

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOBİL TRAFO MERKEZİ TASARIMI VE KISA DEVRE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağın ÖZÇİVİT

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOBİL TRAFO MERKEZİ TASARIMI VE KISA DEVRE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağın ÖZÇİVİT
504161016

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Canan ZOBİ KARATEKİN

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504161016 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Çağın ÖZÇİVİT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MOBİL TRAFİ MERKEZİ TASARIMI VE KISA DEVRE ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Canan Karatekin**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ramazan Çağlar**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Feriha Erfan Kuyumcu
İstanbul Gedik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 25 Nisan 2019
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2019



ÖNSÖZ

Bu çalışmada 34.5/0.4 kV'luk 1600 kVA mobil trafo merkezi tasarımı, modellenmesi ve kısa devre analizleri yapılmıştır. Tez çalışmamda bana değerli katkılarını sunan, desteğini ve zamanını benden esirgemeyen değerli Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Canan ZOBİ KARATEKİN'e teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım boyunca bana verileri elde etmemde yardımcı olan, çalışmalarına katkılarından dolayı İnş.Yük.Müh. Sayın Mehmet ERGÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Çağın ÖZÇİVİT
Elektrik Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Literatür Araştırması	2
2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ	5
2.1. Elektrik Şebekeleri Hakkında Genel Bilgiler.....	5
2.2. Elektrik Dağıtım Şebeke Çeşitleri	6
2.2.1. Radyal şebeke	6
2.2.2. Ring şebeke	7
2.2.3. Ağ (gözlü) şebeke	8
3. TRAFO MERKEZLERİ	9
3.1. Trafo Merkezleri Hakkında Genel Bilgiler	9
3.2. Trafo Merkezleri Elemanları	15
3.2.1. Ayırıcılar ve yük ayırıcılar	15
3.2.2. Kesiciler.....	16
3.2.3. Ölçü transformatörleri	18
3.2.4. Koruma röleleri	21
3.2.5. Parafudrlar	22
3.2.6. OG modüler hücreler	23
3.2.7. Dağıtım transformatörleri	27
3.2.7.1. Yağlı tip dağıtım transformatörleri	27
3.2.7.2. Kuru tip dağıtım transformatörleri.....	29
3.2.7.3. Dağıtım transformatörlerinin bağlantı grupları ve kayıpları	30
3.2.8. Kablolar	33
3.2.9. Köşk.....	35
3.2.10. AG panolar	36
3.2.11. Akü redresör grupları	37
3.2.12. Güvenlik ekipmanları	38
4. MOBİL TRAFO MERKEZİ TASARIMI	39
4.1. Mobil Trafo Merkezi Kullanımına İhtiyaç Duyulan Durumlar	39
4.2. Mobil Trafo Merkezi Hakkında Genel Bilgiler.....	41
4.3. Mobil Trafo Merkezi Tasarım Hesapları	42

4.3.1. Yağlı tip dağıtım transformatörü	42
4.3.2. Kablo kesiti hesabı.....	51
4.3.3. Orta gerilim modüler hücreler	51
4.3.3.1. Yük ayırıcılı giriş hücresi	53
4.3.3.2. Yük ayırıcılı akım-gerilim ölçü hücresi	53
4.3.3.3. Kesicili trafo koruma hücresi.....	55
4.3.4. Alçak gerilim panosu.....	56
4.3.5 Akü ve redresör grubu	59
4.3.6. Güvenlik malzemeleri.....	61
4.3.7. Metal köşk ve yarı römork.....	62
4.4. Mobil Trafo Merkezinin Topraklama Sistemi.....	67
5. MOBİL TRAFİ MERKEZİNİN MODELLENMESİ VE KISA DEVRE ANALİZİ.....	71
5.1. Mobil Trafo Merkezinin MATLAB (Simulink) ile Modellenmesi.....	71
5.1.1. Gerilim kaynağı	71
5.1.2. Kesici	72
5.1.3. Ölçü bloğu	72
5.1.4. Kablo bloğu	73
5.1.5. Dağıtım transformatörü bloğu	73
5.1.6. Yük bloğu	75
5.1.7. Kısa devre bloğu	75
5.1.8. Grafiksel kullanıcı arayüzü (powergui)	76
5.2. Mobil Trafo Merkezinin Simülasyonu ve Kısa Devre Analizi	76
5.2.1. Normal çalışma durumunda Simulink modeli, akım ve gerilim ölçümleri.....	76
5.2.2. Mobil trafo merkezinin OG barasında kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda Simulink modeli, akım ve gerilim ölçümleri	79
5.2.2.1. Üç faz kısa devre analizi akım ve gerilim grafikleri..	80
5.2.2.2. Faz-toprak kısa devre analizi akım ve gerilim grafikleri.....	81
5.2.2.3. Faz-faz kısa devre analizi akım ve gerilim grafikleri	82
5.3. Gerçek Tabanlı Bir Dağıtım Şebekesinde Mobil Trafo Merkezinin Simülasyonu ve Kısa Devre Analizi.....	83
5.3.1. Dağıtım şebekesi yapısı	83
5.3.2. Simülasyon parametreleri	85
5.3.2.1. Şebeke parametreleri.....	85
5.3.2.2. Kablo parametreleri	86
5.3.2.3. Dağıtım transformatörü parametreleri	86
5.3.2.4. Yük parametreleri	87
5.3.3 Normal çalışma durumunda dağıtım şebekesinin simülasyonu ve kısa devre analizi	87
5.3.3.1. Dağıtım şebekesinin Simulink modeli, akım ve gerilim ölçümleri	87
5.3.3.2. Beykoz GIS çıkış fideri akım ve gerilim ölçümleri...	92
5.3.3.3. DM-16126 akım ve gerilim ölçümleri	94
5.3.3.4. DM-16126 - 1600 kVA mobil trafo merkezi akım ve gerilim ölçümleri.....	95
5.3.4 Mobil trafo merkezinin OG barasında kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda Simulink modeli, akım ve gerilim ölçümleri	98
5.3.4.1. Üç faz kısa devre analizi akım ve gerilim grafikleri..	99

5.3.4.2. Faz-toprak kısa devre analizi akım ve gerilim grafikleri	100
5.3.4.3. Faz-faz kısa devre analizi akım ve gerilim grafikleri	101
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ.....	109





KISALTMALAR

OG	: Orta Gerilim
AG	: Alçak Gerilimi
YG	: Yüksek Gerilim
TM	: Trafo Merkezi
DM	: Dağıtım Merkezi
MTM	: Mobil Trafo Merkezi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
YTM	: Yükseltici Trafo Merkezi
İTM	: İndirici Trafo Merkezi
AIS	: Air Insulated Substation
GIS	: Gas Insulated Substation
SF6	: Sülfür Hekzaflorür
ACSR	: Aluminium Conductor Steel Reinforced
AWG	: American Wire Gauge
XLPE	: Crosslinked Polyethylen
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
MYD	: Malzeme Yönetimi ve Satın Alma Dairesi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
IEC	: International Electrotechnical Commission
TS	: Türkiye Standartları
Fs	: Security Factor
LPCT	: Low Power Current Transformer
RMU	: Ring Main Unit
PVC	: Polivinil-klorid
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor
IP	: Internation Protection
RMS	: Root Mean Square
MATLAB	: Matrix Laboratory



SEMBOL LİSTESİ

I_{th}	: Akım trafosu termik dayanım akımı
U_k	: Transformatör kısa devre gerilimi
U_e	: Anma işletme gerilimi
P_o	: Transformatör boşa çalışma kaybı
P_k	: Transformatör kısa devre çalışma kaybı
S	: Görünür güç
f	: Frekans
I_n	: Anma akımı
I_k	: Kısa devre akımı
U_x	: Transformatör kısa devre gerilimi
V_k	: Transformatör kısa devre deney gerilimi
V_n	: Transformatör anma gerilimi
$\cos\alpha_k$	: Transformatör kısa devre güç faktörü
Z_k	: Transformatör kısa devre empedansı
R_k	: Transformatör toplam sargı direnci
r_1	: Transformatör primer sargı direnci
r'_2	: Transformatör primere indirgenmiş sekonder sargı direnci
r_2	: Transformatör sekonder sargı direnci
X_k	: Transformatör toplam sargı reaktansı
x_1	: Transformatör primer sargı reaktansı
x'_2	: Transformatör primere indirgenmiş sekonder sargı reaktansı
x_2	: Transformatör sekonder sargı reaktansı
L_1	: Transformatör primer sargı indüktansı
L_2	: Transformatör sekonder sargı indüktansı
I_0	: Transformatör boşa çalışma akımı
U_0	: Transformatör boşa çalışma gerilimi
$\cos\alpha_0$	: Transformatör boşa çalışma güç faktörü
I'_{fe}	: Transformatör sekondere indirgenmiş aktif boşa çalışma akımı
I'_m	: Transformatör sekondere indirgenmiş reaktif boşa çalışma akımı

Z'_0 : Transformatör sekondere indirgenmiş boşa çalışma empedansı
 R_{fe} : Transformatör manyetik direnci
 X_m : Transformatör manyetik reaktansı
 L_m : Transformatör manyetik indüktansı
 V : Verim
 n : Transformatör yük faktörü
 P : Aktif güç
 Z_s : Şebeke kısa devre empedansı
 X_s : Şebeke kısa devre reaktansı
 R_s : Şebeke kısa devre direnci



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : IEC standartları izolasyon gerilimleri	14
Çizelge 3.2 : Ayırıcı anma değerleri.	15
Çizelge 3.3 : Kesici anma değerleri.....	18
Çizelge 3.4 : Bazı ANSI kodları ve koruma tipi fonksiyonu açıklamaları.....	22
Çizelge 3.5 : OG hücrelerin TEDAŞ MYD/95-007.E şartnamesine göre istenen anma değerleri	25
Çizelge 3.6 : TEDAŞ şartnamesine göre kuru tip transformatörlerin kayıp değerleri	32
Çizelge 3.7 : TEDAŞ şartnamesine göre yağlı tip transformatörlerin kayıp değerleri.....	33
Çizelge 3.8 : AG kompakt tip devre kesici anma değerleri.....	37
Çizelge 4.1 : Dağıtım transformatörü teknik değerler tablosu	44
Çizelge 4.2 : Transformatör boşa gerilim kademeleri.....	44
Çizelge 4.3 : 1600 kVA dağıtım transformatörü parametre değerleri.....	50
Çizelge 4.4 : Transformatörün yüklenme oranına göre verim değerleri	51
Çizelge 4.5 : 1x95/16 XLPE kablo teknik değerler.....	51
Çizelge 4.6 : 1x240 N2XH kablo teknik değerler	51
Çizelge 4.7 : Kesici teknik özellikleri	55
Çizelge 4.8 : AG kesici teknik özellikleri	58
Çizelge 4.9 : AG pano malzeme listesi	58
Çizelge 4.10 : Kesici kontrol gerilimi ve güç değerleri.....	61
Çizelge 4.11 : Metal köşk teknik özellikleri.....	64
Çizelge 5.1 : Normal çalışma sonrasında elde edilen akım ve gerilim değerleri ..	79
Çizelge 5.2 : Her üç tip arıza durumu için MTM kısa devre akım ve gerilim değerleri	79
Çizelge 5.3 : Şebeke parametreleri	85
Çizelge 5.4 : Trafo merkezleri trafo güç ve gerilim değerleri	86
Çizelge 5.5 : Simülasyon kullanılacak dağıtım transformatörleri kısa devre parametreleri	87
Çizelge 5.6 : Trafo merkezleri yük parametre değerleri.....	87
Çizelge 5.7 : Dağıtım şebekesinde yer alan trafo merkezlerinin primer akım ve gerilim değerleri	97
Çizelge 5.8 : Dağıtım şebekesinde yer alan trafo merkezlerinin sekonder akım ve gerilim değerleri	98
Çizelge 5.9 : Her üç tip arıza durumu için MTM kısa devre akım ve gerilim değerleri.	99



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Radyal şebeke yapısı	7
Şekil 2.2	: Ring şebeke yapısı.....	8
Şekil 2.3	: Ağ şebeke yapısı	8
Şekil 3.1	: Açık tip trafo merkezleri	10
Şekil 3.2	: Gaz izoleli trafo merkezleri.....	11
Şekil 3.3	: Beton köşk.....	12
Şekil 3.4	: Metal köşk.....	12
Şekil 3.5	: Modüler hücre içinde ayırıcı görünüşü	16
Şekil 3.6	: Modüler hücre içinde SF6 gazlı kesicinin görünüşü.....	17
Şekil 3.7	: Metal clad hücre içinden çıkarılmış vakum kesici görünüşü	17
Şekil 3.8	: Akım ve gerilim trafolarının modüler hücre içindeki görünüşü	20
Şekil 3.9	: Hermetik yağlı tip dağıtım transformatörün görüntüsü	28
Şekil 3.10	: Kuru tip dağıtım transformatörün görüntüsü	30
Şekil 4.1	: Mobil trafo merkezi elektrik tek hat diyagramı	43
Şekil 4.2	: Transformatörün primere indirgenmiş eş değer devre modeli	46
Şekil 4.3	: Transformatörün kısa devre deneyi eş değer devre modeli	46
Şekil 4.4	: Transformatörün boşa çalışma deneyi eş değer devre modeli	48
Şekil 4.5	: Mobil trafo merkezi orta gerilim elektrik tek hat diyagramı.....	52
Şekil 4.6	: Mobil trafo merkezi alçak gerilim tek hat diyagramı.....	57
Şekil 4.7	: AG odasının köşk içerisinden görünüşü	59
Şekil 4.8	: Akü redresör grubunun bağlantı noktaları	60
Şekil 4.9	: OG hücre ve trafo odasının metal köşk içerisindeki görünüşleri	63
Şekil 4.10	: Metal köşk çatı ve kapı detayı.....	63
Şekil 4.11	: Mobil trafo merkezi üstten görünüşü	64
Şekil 4.12	: Mobil trafo merkezi A-A' görünüşü	65
Şekil 4.13	: Mobil trafo merkezi B-B' görünüşü.....	65
Şekil 4.14	: Mobil trafo merkezi C-C' görünüşü.....	66
Şekil 4.15	: Mobil trafo merkezi D-D' görünüşü	66
Şekil 4.16	: Koruma topraklaması bağlantısı için kullanılan bakır çubuklar	68

Şekil 4.17	: Mobil trafo merkezi topraklama planı.....	69
Şekil 5.1	: Dağıtım sistemi orta gerilim elektrik tek hat diyagramı.....	71
Şekil 5.2	: Gerilim kaynağı Simulink bloğu	72
Şekil 5.3	: Üç fazlı kesici Simulink bloğu	72
Şekil 5.4	: Simulink üç fazlı ölçü bloğu	73
Şekil 5.5	: XLPE kablo Simulink bloğu	73
Şekil 5.6	: Üç fazlı transformatör bloğu	74
Şekil 5.7	: Transformatör bloğu parametreler bölümü	74
Şekil 5.8	: Üç fazlı yük bloğu	75
Şekil 5.9	: Yük bloğu parametreler bölümü	75
Şekil 5.10	: Üç fazlı kısa devre bloğu.....	75
Şekil 5.11	: Simulink Powergui bloğu.....	76
Şekil 5.12	: Mobil trafo merkezinin normal çalışma durumundaki Simulink modeli	76
Şekil 5.13	: Normal çalışma durumunda MTM primer gerilim grafiği	77
Şekil 5.14	: Normal çalışma durumunda MTM primer akım grafiği	77
Şekil 5.15	: Normal çalışma durumunda MTM sekonder gerilim grafiği	78
Şekil 5.16	: Normal çalışma durumunda MTM sekonder akım grafiği.....	78
Şekil 5.17	: MTM kısa devre arıza durumundaki Simulink modeli	79
Şekil 5.18	: Üç faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği	80
Şekil 5.19	: Üç faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.....	80
Şekil 5.20	: Faz-toprak kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği	81
Şekil 5.21	: Faz-toprak kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.....	81
Şekil 5.22	: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği.....	82
Şekil 5.23	: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği	82
Şekil 5.24	: Dağıtım şebekesi orta gerilim tek hat diyagramı.....	84
Şekil 5.25	: Mobil trafo merkezinin dağıtım şebekesine bağlantısı.....	85
Şekil 5.26	: Dağıtım şebekesi Simulink modeli	88
Şekil 5.27	: TM-16140 Simulink modeli.....	89
Şekil 5.28	: TM-16141 Simulink modeli.....	89
Şekil 5.29	: TM-16142 Simulink modeli.....	90
Şekil 5.30	: TM-16143 Simulink modeli.....	90
Şekil 5.31	: TM-16064 Simulink modeli.....	90
Şekil 5.32	: DM-16126 Simulink modeli	91
Şekil 5.33	: TM-16126 (400 kVA) Simulink modeli	91

Şekil 5.34	: TM-16126 (1250 kVA) Simulink modeli 92
Şekil 5.35	: TM-16126 (1600 kVA) mobil trafo merkezi Simulink modeli 92
Şekil 5.36	: Normal çalışma durumunda Beykoz GIS çıkış fideri gerilim grafiği 93
Şekil 5.37	: Normal çalışma durumunda Beykoz GIS çıkış fideri akım grafiği.. 93
Şekil 5.38	: Normal çalışma durumunda DM-16126 çıkış fideri gerilim grafiği 94
Şekil 5.39	: Normal çalışma durumunda DM-16126 çıkış fideri akım grafiği ... 94
Şekil 5.40	: Normal çalışma durumunda MTM primer gerilim grafiği..... 95
Şekil 5.41	: Normal çalışma durumunda MTM primer akım grafiği 96
Şekil 5.42	: Normal çalışma durumunda MTM sekonder gerilim grafiği 96
Şekil 5.43	: Normal çalışma durumunda MTM sekonder akım grafiği 97
Şekil 5.44	: Dağıtım şebekesi MTM OG barasında kısa devre durumu Simulink modeli 98
Şekil 5.45	: Üç faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği 99
Şekil 5.46	: Üç faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği 100
Şekil 5.47	: Faz-Toprak kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği..... 100
Şekil 5.48	: Faz-Toprak kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği 101
Şekil 5.49	: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği 101
Şekil 5.50	: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği 102



MOBİL TRAFÖ MERKEZİ TASARIMI VE KISA DEVRE ANALİZİ

ÖZET

Ülkemizde artan nüfusla birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Elektrik enerjisi enerji santrallerinde üretilir, yükseltici trafo merkezleri ile gerilim yükseltilir, enerji iletim hatları vasıtasıyla uzun mesafelerce taşınır ve indirici trafo merkezleri ile alçak gerilim seviyesine indirilerek son kullanıcıya ulaştırılır. Enterkonnekte sistemde trafo merkezleri çok kritik öneme sahip yapılardır. Enerji ihtiyacının artışı, trafo merkezlerinin artışına sebep olur. Trafo merkezleri elektrik enerjisinin üretildiği noktadan enterkonnekte sisteme, iletim sisteminden dağıtım sistemine bağlandığı kritik noktalarda yer almaktadır. Ayrıca trafo merkezleri sadece gerilim değiştirilmesine sağlamaz, aynı zamanda enerji dağıtımının da bu merkezlerden yapılmasına olanak sağlar. Bu noktalarda meydana gelebilecek bir arıza, tüm sistemi enerjisiz bırakabilir. Sadece bağlı olduğu tüketim noktasını değil, diğer tüketim noktalarını da enerjisiz bırakabilir. Trafo merkezleri herhangi bir nedenden dolayı devre dışı kalabilir. Bu nedenlerden bazıları; trafonun patlaması, orta gerilim modüler hücrelerdeki ekipmanların zarar görmesi, doğal afetler, savaş durumları vb. durumlar olabilir. Böyle bir durumda ya mevcut sistemdeki arıza çabuk bir şekilde giderilmeli ya da dağıtım sistemine ek enerji takviyesi yapılmalıdır. Bu enerji takviyesi jeneratör sistemleri, mobil trafo merkezleri vb. yöntemler olabilmektedir. Bazı arıza durumlarında mevcut durumdaki arıza hemen giderilemeyebilir. Bu durumda jeneratör sistemleri bir çözüm olabilmektedir. Enerji kesintisi uzun süre olarsa bu yöntem maliyetli olabilir. Jeneratörler yerine mobil trafo merkezleri kullanılabilir. Elektrik enerjisini tedarik eden kurum veya kuruluşlarda yedekte hazır mobil trafo merkezleri varsa hızlı bir süre içerisinde sistem devreye alınır ve son kullanıcıya enerji verilir. Mobil trafo merkezleri sadece enerji kesintisi nedeniyle kullanılmaz. Aynı zamanda bir bölgeye geçici enerji tedariki durumunda da kullanılabilir. Ayrıca büyük ve uzun mesafeler içeren büyük inşaat projelerinde enerji iletimi yüksek maliyet sebebiyle alçak gerilimden ziyade orta gerilimde yapılır. Bu durumlarda mobil trafo merkezleri kullanıcının tam ihtiyacına yönelik yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında gerilimi 34.5 kV'dan 400 V'a indiren 1600 kVA anma gücünde indirici tip bir mobil trafo merkezi tasarımı yapılmıştır. Tasarımda mobil trafo merkezinin orta gerilim ve alçak gerilim elektrik dağıtım tek hat şemaları oluşturulmuştur. Orta gerilim devresindeki kesicilerin, ayırıcıların, ölçü transformatörlerinin, dağıtım transformatörünün, koruma rölesinin, parafudrların ve modüler hücrelerin seçimi yapılmıştır. Kablo kesitleri hesaplanmıştır. Alçak gerilim devresindeki kesicinin seçimi ve akü redresör grubu hesabı yapılmıştır. Mobil trafo merkezinin metal köşk mimari çizimleri ve ekipmanların köşk içerisindeki yerleşimi yapılmıştır. Daha sonra ise mobil trafo merkezinin topraklama sistemi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Elektrik dağıtım şebekelerindeki en önemli problemlerin başında kısa devre arızaları gelmektedir. Kısa devre arızası her an meydana gelebilir. Dolayısıyla sisteme bağlı

tüm ekipmanlar daima kısa devre arızasından korunması gerekmektedir. Eğer koruma yapılamazsa can ve mal kayıpları meydana gelebilir. Mobil trafo merkezi tasarımında seçilen koruma ekipmanları en yüksek kısa devre arıza şartlarına göre seçilmiştir. Tez çalışmasında mobil trafo merkezi tasarımında seçilen ekipmanların en kötü kısa devre şartlarına göre sistemi koruyup korumadığı incelenmiştir. Kısa devre arızaları simetrik ve asimetrik olarak iki farkı tipte incelenir. Simetrik arıza, dengeli üç fazlı kısa devre arızasının meydana geldiği durumdur. Genelde en yüksek kısa devre akımları bu durumda oluşur. Asimetrik (simetrik olmayan) kısa devre arızaları ise faz-toprak, faz-faz ve iki faz-toprak kısa devre arızası olmak üzere üç tipte incelenir. Genelde dağıtım şebekelerinde en çok tek faz-toprak kısa devre arızaları meydana gelir.

Tez çalışmasında MATLAB/Simulink programında bulunan elektrik şebekesi modelleri kullanılarak mobil trafo merkezinin modeli oluşturulmuştur. Mobil trafo merkezinin orta gerilim baralarında üç faz, faz-toprak ve faz-faz kısa devre arızaları meydana geldiği varsayılmıştır. Çalışmada iki farklı simülasyon yapılmıştır. Birincisi, mobil trafo merkezi direkt 100 MVA kısa devre gücündeki bir gerilim kaynağına (sonsuz güçlü dağıtım şebekesine) bağlı olduğu durum için simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonda önce tam yükte normal çalışma durumundaki osilografik akım ve gerilim grafikleri elde edilmiş, daha sonrasında 34.5 kV orta gerilim barasında üç faz, faz-toprak ve faz-faz kısa devre arızaları meydana gelmesi durumunda kısa devre akımı hesaplanmış ve osilografik akım ve gerilim grafikleri oluşturulmuştur. İkinci simülasyonda ise tasarlanan mobil trafo merkezinin, İstanbul'un Beykoz ilçesindeki 9 adet trafo merkezinin bulunduğu bir mahallenin dağıtım şebekesine bağlandığı durum incelenmiştir. Bu trafo merkezleri kısa devre gücü 16500 MVA olan, 100 MVA anma gücünde 380/34.5 kV'luk Beykoz GIS indirici merkezden beslenmektedir. Dokuz adet trafo merkezlerinden biri 1600 kVA anma gücündedir. Senaryo olarak bu şebekede işletmede olan 1600 kVA trafo merkezinin arıza yaptığı ve yerine çalışmada tasarımı yapılan 1600 kVA gücündeki mobil trafo merkezinin devre alındığı düşünülmüştür. Gerçek tabanlı bu dağıtım şebekesi MATLAB programının Simulink alt programındaki elektrik şebekesi modelleri kullanılarak modeli oluşturulmuştur. Her bir trafo merkezi bir alt sistem olarak kutucuklar halinde modellenmiştir. Sistemin genel modeli ve her bir trafo merkezinin modelleri gösterilmiştir. Mobil trafo merkezinin bağlı durumda tüm trafo merkezleri tam yükteyken önce mobil trafo merkezinin, arızanın olmadığı normal çalışma durumundaki osilografik akım ve gerilim grafikleri elde edilmiş, daha sonrasında 34.5 kV orta gerilim barasında üç faz, faz-toprak ve faz-faz kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda kısa devre akımı hesaplanmış ve osilografik akım ve gerilim görünümleri elde edilmiştir.

Sonuç olarak elde edilen her iki simülasyon senaryosunda, elde edilen tüm akım ve gerilim değerleri bir tablo haline getirilip sunulmuştur. İki simülasyonda kendi içerlerinde hem normal çalışma simülasyonlarına hem de kısa devre arıza simülasyonlarına bakılarak, tasarımda seçilen ekipmanların normal ve kısa devre çalışma koşullarına uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir.

DESIGNING AND SHORT CIRCUIT ANALYSIS OF MOBILE SUBSTATION

SUMMARY

Need of electrical energy gradually increases owing to population increase. Electrical energy is produced in power plants and the voltage of power is converted to high voltage by step-up substations, then it is transferred long distance by transmission line and finally is converted to distribution network voltage level which end user can use. Substations are very important in this process. Increase of energy need causes increase the number of substations. Substations play an important role during from the point of producing to interconnected, transmission and distribution system of electricity. It makes possible to distribute the electricity as well as converting the voltage. Any fault that may be occurred in substations may cause power outage or black out on not only the places they supply, also for a town, city or a country depending on protection selectivity. There may be a fault for some reason. For instance, some of them can be exploding of transformers, fault in modular switchgears, natural disasters or state of war etc. If there is a fault in substations, it must be troubleshot as soon as possible. Otherwise, power is needed to supply to end-users by emergency systems such as diesel generators or mobile substations. In some cases, faults may not be troubleshot in a short time. Diesel generator systems can supply the power if it is short time cut. However, cost of fuel consumption can be higher than using mobile substation if the fault is serious and troubleshooting takes a long time. Mobile substations can be used for kind of these situations as emergency or temporary power supply. If there is a mobile substation which belongs to electricity distribution companies that supply the energy to related area and waits for emergency or temporary supply, it can be sent and commissioned. Then it supplies power to the end-users in a short time. It is not only used during the energy cut, also used for temporary supply as an example of transmitting the power on medium voltage instead of low voltage for a long distance in some kind of big road construction sites, industrial projects because transmission of power on low voltage has higher cost than medium voltage. Mobile substations are the answer for those kinds of problems. It provides steady and stable energy to end-users. It can be produced according to related need. It saves cost of makeshift power installation. In this study, 1600 kVA 34,5/0,4 kV a mobile substation which is in accordance with Turkey electricity distribution network standards has been designed. Short circuit analyze has been determined and simulated at MATLAB/Simulink program. First, medium and low voltage single line diagram of the mobile substation have been created and then selected the devices used in substation such as SF6 gases circuit breakers, load breaks, measurement transformers, distribution transformer, protection relay, surge arrester and modular medium voltage switchgears. Cable section and battery charger unit have been calculated for the substation. Thereafter, architectural, layout and view drawing in the metal kiosk have been made. In addition, earthing system of the mobile substation have been explained.

Short circuit fault is the most important fact because short circuit causes energy cut, it damages electrical equipment at the point where it occurs. Thereby, equipment connected on the network must be protected from it. It may cause loss of life and property if it is not taken precaution. Protection equipment in mobile substation are selected according to short circuit analyze. In this study, selected devices in the design have been determined in the worst-case short circuit fault on medium voltage side of mobile substation. Short circuit faults are classified as two groups as symmetrical and unsymmetrical faults. Symmetrical fault is a balanced three phase short circuit fault. Its short circuit currents are highest if compared with the others. Because of that, circuit breaker short circuit breaking capacity is determined according to this fault. Unsymmetrical fault types are single line-to-ground, line-to-line and double line-to-ground fault.

In this study, after modelling the mobile substation, two different simulation have been done. One of them is that mobile substation has been supposed to be connected to only mains which has 100 MVA short circuit capacity. In that simulation, current and voltage oscillographic graphs have been obtained when there is no fault as a first case. In the second case, three phase, single line to ground and line to line fault have been carried out on medium voltage busbars of mobile substation and values of the short circuit currents and oscillographic graphs have been obtained from results of simulations. In second simulation, current and voltage of mobile substation have been examined in case of connected to a real distribution network including 9 pieces substations which are located in a street in Beykoz, Istanbul. Short circuit power of 380/34,5 kV Beykoz GIS network is 16500 MVA and rated power of it is 100 MVA. 9 pieces substation are in operating in that network which are supplied from Beykoz GIS. One of the operating substations has 1600 kVA rated power. It is supposed that operating 1600 kVA substation had a fault, it was out of operation and designed mobile substation in this study have been connected to that network for temporary power supply as a case. This real network distribution system has been used for simulation of designed mobile substation by modelling at MATLAB/Simulink program. Each substation has been modelled and formed as a subsystem in the study. In the first case, Current and voltage oscillographic graphs have been obtained from results of the simulation when there was no fault which means operating under normal conditions. Then as a second case, three phase, single line to ground and line to line fault have been carried out on medium voltage busbars of mobile substation and values of the short circuit currents and oscillographic graphs have been obtained from results of simulations for this network.

As a result, obtained all simulation of current, voltage and fault currents have been submitted as a chart. Selected protection equipment in the designed mobile substation have been check and compared whether they are suitable under the fault cases or not, according to results from the simulations if it is connected to a network in Turkey.

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Dünya toplumları geçmişe göre günümüzde daha çok elektrik enerjisine bağımlı hale gelmiştir. İnsanların enerji kesintisine tahammülü kalmamakla beraber, enerji kesintisini minimuma indirecek yeni yöntemler keşfedilmektedir. Enterkonnekte bir sistemde elektriğin üretimi, iletimi ve dağıtımı birbirinden ayrı düşünülemez. Dolayısıyla keşfedilecek yeni sistem veya yöntemin herhangi bir sonucu diğer bölümleri etkileyebilmektedir. Enerji kesintisinin birçok nedeni olabilir. Doğal afetler, savaş durumları, izolasyon hataları vb. gibi nedenlerle üretim santralleri, enerji iletim hatları veya trafo merkezleri devre dışı kalabilir. Önemli olan, bu kesinti süresini minimuma indirerek tüketiciye bunu minimum seviyede yansıtmaktır.

Trafo merkezleri elektrik dağıtım şebekesinin en önemli bölümlerinden biridir. Yükseltici trafo merkezleri elektrik enerjisini daha düşük akım seviyelerinde iletmek için şebekenin gerilimini yükseltirken, indirici trafo merkezleri elektrik enerjisinin tüketicinin kullanacağı gerilim seviyesine indirir. Arıza nedenleri trafo merkezlerinde meydana geliyorsa, arıza hemen giderilemeyebilir. Çünkü orta gerilim ekipmanlarının çoğu, maliyeti yüksek olduğundan yedek parça olarak tutulmaz, üretimleri ise belirli bir zaman alır. Bu süre zarfında tüketiciler enerjisiz bırakılmamalıdır. Sadece arıza nedeniyle enerji kesintisinde değil, geçici enerji ihtiyacının bulunduğu durumlarda olabilir. Bu tez çalışmasında elektrik enerjisini tedarik eden kurum veya kuruluşların bu tür durumlara karşı hazırda bekletip acil durumlarda kullanabileceği 34.5/0.4 kV'luk 1600 kVA anma gücünde bir mobil trafo merkezi tasarımının ve hesaplarının yapılması, orta gerilim dağıtım şebekesinde meydana gelebilecek kısa devre arıza türlerine simülasyonları yapılarak elde edilen veriler değerlendirmeye sunulması amaçlanmıştır. MATLAB/Simulink programında bulunan elektrik şebekesi modelleri kullanılarak mobil trafo merkezinin modeli oluşturulmuştur. Daha sonra iki farklı simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlar MATLAB programının Simulink alt programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. İlk simülasyonda, mobil trafo merkezi sadece 100

MVA kısa devre gücündeki bir gerilim kaynağına bağlı olduğu durum için hem normal çalışma hem de orta gerilimde meydana gelebilecek kısa devre çalışma koşullarına göre simülasyonları yapılmıştır. İkinci simülasyonda ise tasarlanan mobil trafo merkezinin, İstanbul'un Beykoz ilçesindeki 9 adet trafo merkezinin bulunduğu bir mahallenin dağıtım şebekesine bağlandığı durum incelenmiştir. Bu bölgedeki trafo merkezleri kısa devre gücü 16500 MVA olan, 100 MVA anma gücünde 380/34.5 kV'luk Beykoz GIS indirici merkezden beslenmektedir. Trafo merkezlerinden birinin önceden belirtilen nedenlerden birisi dolayısıyla devre dışı kalmış ve yerine tasarlanan mobil trafo merkezinin devreye alındığı düşünülmüştür. Bu senaryoda hem normal çalışma hem de orta gerilimde meydana gelebilecek kısa devre çalışma koşullarına göre simülasyonları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda mobil trafo merkezinin tasarımında seçilen ekipmanların arızanın olmadığı normal ve arızanın olduğu kısa devre çalışma koşullarına uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Mobil trafo merkezleri; enerji iletiminin ve dağıtımının zor olduğu bölgelere geçici enerji temininde, sistemde var olan trafo merkezlerinin belirli bir nedenle devre dışı kalması durumunda kullanılabilir. Dizel jeneratörlere göre maliyeti daha azdır ve daha düzgün, kaliteli elektrik enerjisi sağlar. Hindistan'da Ankit Malvi ve Gopal Sharma'nın bir çalışmasında [1] 5 MVA anma gücünde 66/11 kV'luk bir mobil trafo merkezinin MATLAB/Simulink programı vasıtasıyla modellenmesi ve kısa devre analizi yapılmıştır. Simülasyonda mobil trafo merkezi sadece bir gerilim kaynağına bağlı olduğu varsayılmıştır. Yüksek gerilim mobil trafo merkezinin boyutları anma gücüne bağlı olarak 14 ile 25 metre arasında bir uzunluğa sahiptir. Hem 66 kV hem de 11 kV baralarında üç faz kısa devre simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucuna göre yüksek ve orta gerilimde seçilen koruma ekipmanlarının doğruluğu test edilmiştir.

İsveç'te 170/52/24 (12) kV'luk 25 MVA anma gücünde bir mobil trafo merkezi gerektiği durumlarda kullanılmaktadır [2]. Transformatör bölümü treyler üzerinde, diğer ekipmanlar konteyner içerisinde bulunmaktadır. Transformatör 170 kV'luk gerilimi 52 veya 24(12) kV'a dönüştürebilen çift sekonderli bir yüksek gerilim transformatörüdür. Mobil trafo merkezine elektrik enerjisi 170 kV'luk bir enerji iletim hatları vasıtasıyla gelmektedir. 52 kV'luk sekonder bölümü, gaz izoleli metal clad

hücrelerden (GIS), 24 (12kV)'luk sekonder bölümü ise hava izoleli metal clad hücrelerden oluşmaktadır. Mobil trafo merkezinin yüksek gerilim primer bölümünde ise 170 kV'luk SF6 gaz izoleli kesici bulunmaktadır. Her bir hücre bölümü ayrı bir treyler üzerinde olup toplam 3 adet treyler sistemi bulunmaktadır. İsveç'te bir bölgede herhangi bir kesinti olması durumunda bu mobil trafo merkezi kullanılarak kesintinin başladığı süreden itibaren 8 saat içerisinde enerji vermeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada sadece sistem tanıtılmış olup, herhangi bir simülasyon çalışması yapılmamıştır.

Mobil trafo merkezleri yarı römork veya treyler vasıtasıyla karayolunda bulunabilen içerisinde elektriksel ekipmanların bulunduğu bir yapıdır [3]. Bu yüzden dizayn ve montaj doğru bir şekilde hesaplanmalı ve uygulanmalıdır. Transformatörler bu yapının en ağır ekipmanlarından biridir ve doğru yere yerleştirilmelidir. Bu ve bunun gibi durumlar göz önünde bulundurularak mimari tasarım, yerleşim, ağırlık ve denge noktası hesabı, treyler dingil hesabı gibi konular yükü normal şartlar altında taşıyabilecek ve karayolu şartlarına uygun bir şekilde yapılmalıdır.

Bu tez çalışması sadece mobil trafo merkezi ile ilgili konuları değil, genel bir trafo merkezinin tasarımı, kısa devre analizleri vb. konuları da içermektedir. Sonuçta yapısal olarak farklı olsa da, elektriksel analizler birebir mevcut var olan trafo merkezleriyle aynı olması gerekmektedir. Türkiye'nin enterkonnekte şebekesine bağlı olan Sakarya bölgesinde 2 adet 400 kV'luk trafo merkezlerinden beslenen 154 kV'luk iletim şebekesi ile ilgili başka örnek bir çalışmada kısa devre analizleri yapılmıştır [4]. Bu iletim şebekesi radyal olarak açık sistem şeklinde işletmededir. Bu şebekeye bağlı toplamda 5 adet 154 kV'luk trafo merkezleri bulunmaktadır. Bu trafo merkezlerinden iki tanesi arasına yaklaşık 48 km'lik bir iletim hattı tesis edilmiş ancak sistem devreye henüz alınmamıştır. Sistemin devreye alması durumunda iletim şebekesi çift taraflı beslenen kapalı bir sistem olacaktır. Bu durumdaki MATLAB/Simulink programı vasıtasıyla iletim şebekesinin modeli oluşturulmuş ve sistem hem açık hem de kapalı durumdayken orta gerilim baralarında meydana gelecek kısa devre simülasyonları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda trafo merkezlerindeki koruma ekipmanlarının kısa devre şartlarına uygun olup olmadığı incelenmiştir. Trafo merkezlerinin simülasyonları ile ilgili başka bir çalışmada ise 154 kV'luk Van trafo merkezinin kısa devre akımları incelenmiştir [5]. Trafo merkezi MATLAB/Simulink programı vasıtasıyla modellenmiştir. Hem 154 kV hem de 33 kV primer ve sekonder

baralarında faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak, üç faz ve üç faz toprak kısa devre arıza tipleri incelenerek akım ve gerilim osilografik görünümleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre trafo merkezinin koruma elemanlarının kısa devre şartlarına uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir.



2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ

2.1. Elektrik Şebekeleri Hakkında Genel Bilgiler

Elektrik enerjisi, üretim santrallerinde alçak veya orta gerilimde üretilir, bir güç transformatörüyle gerilim yükseltilerek yüksek gerilimde enerji nakil hatları vasıtasıyla kilometreler boyu iletilir. Bir indirici güç transformatörü ile iletilen enerji, orta gerilime düşürülür. Daha sonra da bir dağıtım transformatörü ile gerilim, 380 V alçak gerilim seviyesine indirilerek bu seviyede son kullanıcılara dağıtılır.

Bir elektrik şebekesinin gerilim seviyesi arttığında;

1. İletkenlerin izolasyon maliyeti artar.
2. Daha büyük güçler transfer edilir.
3. Hat kayıpları azalır.

Eğer elektrik şebekesinin gerilim seviyesi azalırsa;

1. İletkenlerin izolasyon maliyeti büyük ölçüde azalır.
2. İletken kesiti artar.
3. Aynı kesitte daha küçük güçler transfer edilir.
4. Hat kayıpları artar.

Ülkemizde iletim hatları için yüksek gerilim seviyeleri 154, 170, 380 ve 400 kV'dur. Orta gerilim dağıtım şebekeleri ise 6.3, 10.5, 15, 31.5 ve 34.5 kV'tur. Alçak gerilim seviyesi ise tek fazlı sistemlerde 220 V ve 230 V, üç fazlı sistemlerde 380 V ve 400 V'dur. Orta gerilim dağıtım şebekelerinde gerilim 34.5 kV standart olarak belirlenmiştir. Ancak Türkiye'nin bazı bölgelerinde 6.3, 10.5, 15, 31.5 kV da kullanılmaktadır. Gelecekte bu bölgelerde 34.5 kV'luk gerilim seviyesine dönüştürülmesi planlanmaktadır.

Elektrik şebekelerinin planlanması yapılırken tüketicilerin ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Kurulması planlanan elektrik şebekesinde enerji kesinti sayısı ve

süresi az olmalıdır. Elektrik enerjisinin gerilimi ve frekansı sabit olmalıdır. Şebekeler sağlam, basit ve güvenilir olmalı, tüketicinin her türlü ihtiyacına cevap verebilmelidir. Ayrıca Türkiye’de kurulacak elektrik şebekesi, 28/5/2014 Tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan EPDK’nın Elektrik Şebeke Yönetmeliği’ne uygun olmalıdır [21].

2.2. Elektrik Dağıtım Şebeke Çeşitleri

Anma gerilimleri aynı olan, birbirine bağlanmış elektrik şalt tesislerinin tümünü içeren sisteme elektrik şebekesi denir. Elektrik şebekesi, elektrik enerjisinin üretildiği noktadan son kullanıcının kullandığı bölgeye kadar uzanan bileşik bir ağ yapısıdır. Bu sistemde üretim santralleri, enerji iletim hatları, dağıtım merkezleri bulunur. Elektrik dağıtım şebekeleri 154 ve 380 kV’luk enerji iletim hatlarının 6.3, 10.5, 15 ve 34.5 kV’luk gerilime indirildiği indirici trafo merkezleri ve dağıtım merkezlerinden oluşur. Dağıtım şebekeleri elektrik enerjisinin büyük güç kaynaklarını tüketicinin kullanımına bağlayan bölümdür. Elektrik dağıtım şebekeleri işletim olarak farklı türlerde oluşturulabilmektedir.

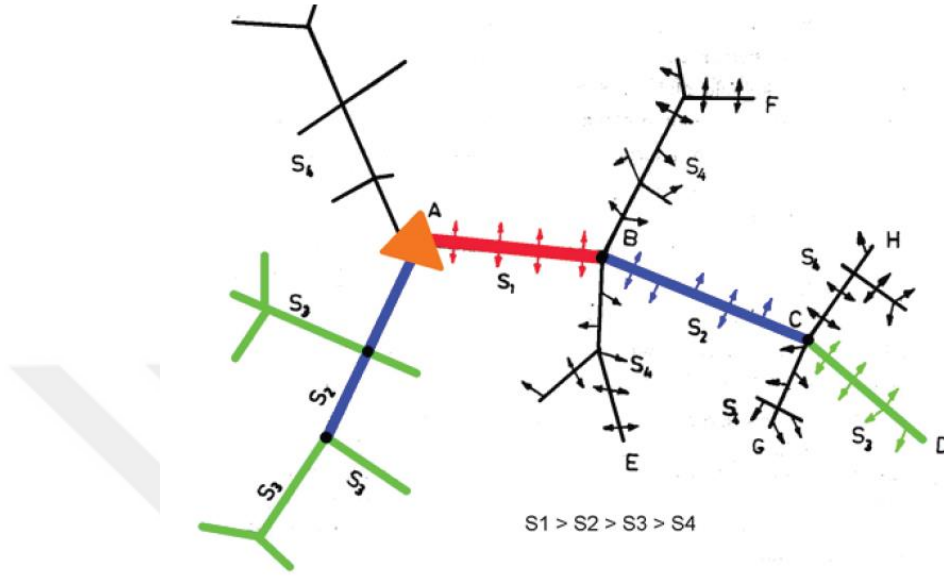
2.2.1. Radyal Şebeke

Radyal şebekeler dallı şebekeler olarak da adlandırılır. Yük akışı tek yönlüdür. Elektrik enerjisi beslemesi genelde tek kaynaklı ve tek bir yöne doğrudur. Birden fazla yüklü fiderler ağaç dallarına benzer bir şekilde belirli noktalara yayılmıştır. Besleme radyal yapıdadır. Genelde küçük yerleşim yerleri, şehir merkezleri, köy ve kasabalarda yaygın olarak kullanılır. Tek bir dağıtım transformatörü, iletkenlerin yük olarak ağırlık merkezine konur. İletken kesitleri transformatörün bulunduğu bölgeden uzaklaştıkça küçülür. Bununla birlikte hat verimi düşer ve gerilim düşümü artar. Radyal şebekenin en uzak bölgelerindeki tüketiciler bazı durumlarda enerjisiz kalabilmektedir.

Radyal şebekeler sadece enerji nakil hatlarından veya yer altı kablolarından oluşabilir. Ülkemizde genelde 6.6, 10.5 veya 34.5 kV seviyelerinde kullanılır. Açık tip bir dağıtım şebekesidir.

Radyal şebekelerde besleme transformatörüne yakın olan fiderler için kullanılan kalın kesitli hatlara ana hat denir. Ana merkezden uzaklaştıkça incelen son alıcıya uzanan hatlara (dallara) ise branşman hatları denir [7].

Şebekenin koruma sistemi basittir. Sistemin maliyetinin düşük olması, bakım ve işletmesinin basit olması avantajlarındandır. Korumanın ve emniyetin az olması ise dezavantajlarından sayılabilir. Yüksek elektrik enerjisi ihtiyacı olan bölgelerde tercih edilmez.

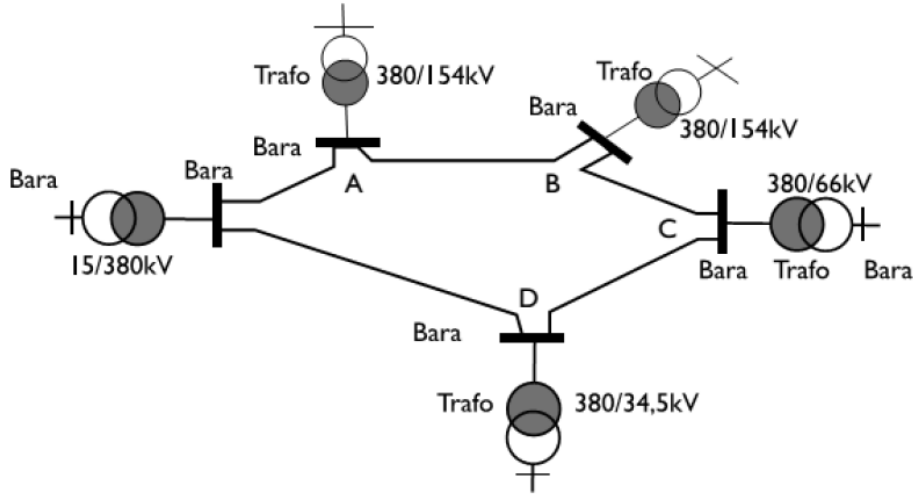


Şekil 2.1: Radyal şebeke yapısı.

2.2.2. Ring Şebeke

Ring (halka) şebekeler, bir bölgeyi birden fazla transformatör ile beslediği ve bu transformatörlerin birbirleriyle paralel çalıştığı kapalı tip bir şebeke türüdür. Genelde besleme tek bir kaynaktan yapılmaz. Arıza durumlarında arızalı kısım sistemden devre dışı bırakılır, diğer tüketiciler etkilenmez.

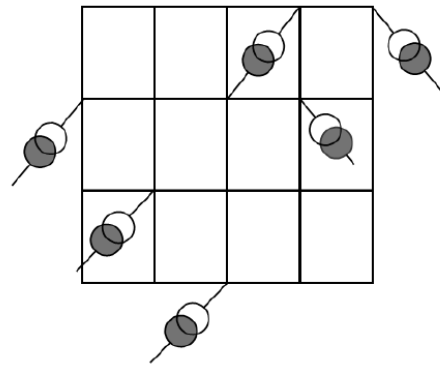
Ring sistemindeki iletken kesitleri tüm bölümlerinde aynıdır. Dolayısıyla bu sistemin tesis kurulum maliyeti yüksektir. Radyal şebekelere göre daha emniyetlidir. Koruma sistemi daha gelişmiştir. Selektif koruma yapılabilir. Genelde büyük şehirler gibi enerji tüketimin yoğun olduğu bölgelerde kullanılır.



Şekil 2.2: Ring şebeke yapısı.

2.2.3 Ağ (Gözlü) Şebeke

Enerji ihtiyacının bulunduğu bölgelerde tüketicileri besleyen hatlar, hat sonunda birleştirilerek bir ağ sistemi oluşturulur. Ring şebeke gibi birden fazla transformatör ile beslenir. Sistemde bir arıza veya bakım gereksinimi meydana geldiğinde bu bölge devre dışı bırakılır ve diğer tüketiciler bu durumdan etkilenmez. Ağ şebekelerin kurulum, bakım ve yönetilmesi zor olan şebeke tipidir. Yedekli olarak çalışan transformatörler bulunabilir. Dolayısıyla hastane ve fabrika gibi daha yüksek seviyede güvenilirlik gerektiren kurumların bulunduğu bölgelerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.3: Ağ şebeke yapısı.

3. TRAFO MERKEZLERİ

3.1. Trafo Merkezleri Hakkında Genel Bilgiler

Hidroelektrik, termik, nükleer santrallerden veya alternatif enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin gerilim seviyeleri genelde 0.4 kV, 3.1 kV, 6.3 kV, 10.5 kV veya 15 kV'dur. Gerilim, Yükseltici Trafo Merkezleri (YTM) ile 154 kV veya 380 kV seviyesine yükseltilir ve enerji nakit hatları ile çeşitli bölgelerdeki elektrik dağıtım şebekelerine TEİAŞ tarafından taşınır. İndirici Trafo Merkezleri (İTM) ile bu bölgelerde gerilim 36 kV seviyesine indirilir ve buradan itibaren dağıtım şebekesi başlar. Bölgesel elektrik dağıtım şirketleri elektrik enerjisini trafo merkezleri veya dağıtım merkezleri ile 0.4 kV'luk tüketicinin kullanabileceği gerilim seviyesine düşürür ve şehirleri, ilçeleri, mahalleleri veya köyleri besler. Elektrik enerjisinin, üretimden başlayarak iletim hatlarına ve dağıtım şebekesine dönüştüren bu tesisler trafo merkezleri olarak adlandırılır. Trafo merkezleri elektrik şebekesinin üretim noktasından enterkonnekte sisteme aktarıldığı ve iletim sisteminden dağıtım sistemine bağlandığı noktalarda yer alır. Trafo merkezleri şalt merkezleri olarak da adlandırılır. Bu tesislerin güvenilir olması ve sürekli çalışması hem üretici hem de tüketici açısından çok önemlidir. Elektrik enerjisini orta gerilimden yüksek gerilime yükselten veya indiren (OG/YG veya YG/OG) trafo merkezleri iki türlü tasarlanabilir. Bunlardan biri, ülkemizde çok yaygın olarak kullanılan açık tip şalt tesisleridir. AIS (Air Insulated Substation), olarak adlandırılan açık tip şalt tesisleri açık havaya direkt maruz kalan hava yalıtımlı ölçü ve koruma ekipmanlarından oluşur. Açık tip hava yalıtımlı şalt tesislerinde kullanılan açık tip kesiciler, ayırıcılar, ölçü transformatörleri veya büyük güç transformatörleri zemini sağlam ve estetiği bozulmayan yerlere kurulması gerekir. Bu tesisler yüksek gerilimin varlığı sebebiyle genelde il merkezlerinin dışında bir alanda kurulması daha uygun olur. Bazı trafo merkezleri geçmişte şehir dışında kurulsalar bile zamanla o bölgenin yerleşim alanı haline gelmesinden dolayı şehir merkezi içinde kalmış olabilir. İndirici veya yükseltici tip trafo merkezleri yüksek gerilim enerji nakil hatlarına yakın olması gerekir. Bu tesislerde kullanılan ekipmanlar açık havaya direkt maruz kaldığından her türlü hava koşullarına dayanıklı olması gerekir.

Türkiye, enerji nakil hatları uzunluğu bakımından Avrupa’da ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemizde TEİAŞ’a ait yaklaşık 46.000 km YG/OG iletim hattı mevcuttur. Kurulu güç olarak 2018 yılı itibariyle ülkemiz 89.046,9 MW seviyesine ulaşmıştır [22]. İndirici trafo merkezleri (YG/YG veya YG/OG) genelde 100-250 MVA güç aralığında gerilimi 380/154 kV, 154/34.5 kV, 34.5/15 kV, 34.5/10.5 kV veya 34.5/6.3 kV seviyelerine dönüştürür. Açık tip trafo merkezlerinde koruma elemanı olarak sigortalar, kesiciler, parafudurlar, topraklı ayırıcılar, kuşkonmazlar, topraklama ekipmanları ve koruma röleleri kullanılır.



Şekil 3.1: Açık tip trafo merkezleri.

Diğer bir tip ise gaz izoleli şalt tesisleridir. GIS (Gas Insulated Substation) olarak adlandırılan bu tip tesisler, hem açık alanda hem de kapalı alanlarda kurulur. Ölçü ve koruma ekipmanları SF₆ gazı ile yalıtılmış kapalı bir yapı içerisinde bulunan mahfazalı şalt tesisleridir. Ülkemizde gaz izoleli şalt sahaları da kullanılmaktadır. Gaz izoleli şalt sahalarında iletkenler, yüksek gerilim kesicileri, ölçü transformatörleri topraklanmış metal mahfazalarda SF₆ gazı içerisinde bulunur. Yalıtım amaçlı kullanılan SF₆ gazı, 2.5 bar basıncın altında tutulur. Eğer anahtarlama işlemi yapılacaksa devreyi kesme işlemi için basıncın 5-7 bar arasında tutulması gerekir.



Şekil 3.2: Gaz izoleli trafo merkezleri.

Trafo merkezlerinde iletken olarak orta gerilimde dağıtım sisteminde havai hat olarak çelik özlü alüminyum iletkenler tercih edilir. ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) olarak adlandırılan çelik özlü alüminyum iletkenler güçlü çekme ve gerilme mukavemetlerinden, düşük ağırlığından ve ülkemizde üretilebilir oluşundan dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. 3 AWG Swallow, 3/0 Pigeon ve 1/0 AWG Raven tipi iletkenler orta gerilimde bu tür iletkenlere örnektir. Ancak yer altı kablo kullanılması durumunda ise 36 kV XLPE izoleli, tek veya üç damarlı, bakır veya alüminyum iletkenli kablolar kullanılır. Trafo merkezlerinde kullanılan tüm ekipmanlar TEİAŞ'ın MYD şartnamelerine uyumlu olması gerekmektedir.

Gerilimin 34.5 kV'dan 0.4 kV seviyesine dönüştürüldüğü trafo merkezleri dağıtım merkezleri olarak da adlandırılır. Bu tip tesisler genelde bina tipi olur. Binaların zemini sağlam, dayanıklı ve güvenilirliği artırılmış olmalıdır. Genelde anma gerilimi 36kV'a kadar 630-2500 kVA arasındaki güçlerde bina tipi trafo merkezleri kullanılır. Şehir merkezlerinde yer alabilirler. Genelde kule tipi ve köşk tipi olarak ikiye ayrılır. Kule tipi trafo merkezleri direk tipi trafo merkezlerinin kurulamayacağı yerlerde kullanılır. Köşk tipi trafo merkezleri ise fabrika ortamında betonarme veya metal sactan yapılmış bir köşk içine monte edilmiş, uygulamaya göre orta gerilim hücrelerinden, dağıtım transformatöründen ve alçak gerilim panolarından oluşan trafo merkezidir. Gerilim 34.5 kV'dan tüketicinin kullanabileceği 400 V (OG/AG) seviyesine indirilir. Köşk tipi trafo merkezlerinde havai hat ile veya yer altı kabloları ile dağıtım yapılabilir.



Şekil 3.3: Beton köşk.

Beton köşkler TEDAŞ MYD/2000-036.C “Beton Mahfazalı Kompakt Tip YG/AG Dağıtım Transformatör Merkezleri Teknik Şartnamesi’ne” uygun bir şekilde üretilmelidir. Bu şartnameye göre beton köşkler ülkemizin coğrafi koşulları göz önünde bulundurulduğunda 2000 m yükseltiye, (-50) ile (+45) derece sıcaklıkları arasında çalışmaya uygun olmalıdır [23]. Ayrıca yağlı tip dağıtım transformatörleri TEDAŞ MYD/99-032.E “Hermetik Tip OG/AG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi’ne” uygun olarak üretilmelidir.



Şekil 3.4: Metal köşk.

Monoblok beton ve metal köşkler YG bölümü, transformatör bölümünden ve AG dağıtım bölümünde oluşacaktır. YG bölümünde 36 kV'luk orta gerilim hücreleri ve akü redresör grubu bulunur. Transformatör bölümünde dağıtım transformatörü bulunurken AG dağıtım bölümünde AG dağıtım panoları bulunur. Bölümler veya odalar arası geçişler OG ve AG kablolarla sağlanır. Şehir, ilçe, mahalle veya köy bu AG bölümündeki alçak gerilim kesiciler vasıtasıyla beslenir.

Orta gerilim sistemleri dizayn edilirken önce sistemin nominal gerilim değeri belirlenir. Bu değer, hücrelerin test standardına göre değişebilmektedir. Her standardın kendi nominal gerilim değeri vardır. Nominal gerilim değeri, sistemin çalışma geriliminin bir üstündeki standart olarak seçilen nominal değer olarak kabul edilir. IEC standartlarına göre nominal gerilimler 3.6 kV, 7.2 kV, 12 kV, 17.5 kV, 24 kV ve 36 kV olarak belirlenmiştir. Örneğin 20 kV bir çalışma gerilimi için 24 kV nominal gerilim değeri seçilir. Ülkemizde orta gerilim sistemlerinde genelde 31.5 kV ve 34.5 kV kullanıldığı için nominal gerilim değeri 36 kV'dur. 36 kV ve üzeri gerilimler yüksek gerilim sınıfına girer. Elektrik şebekesinin frekansı ülkeden ülkeye değişiklik gösterir. Avrupa, Afrika, bazı Ortadoğu ülkeleri ve Asya'nın büyük çoğunluğu 50 Hz kullanırken, Suudi Arabistan, ABD, Kanada, Asya ülkelerinin bir kısmı ve Güney Amerika ülkelerinin büyük bir kısmında 60 Hz kullanılır. Bu yüzden orta gerilim hücrelerinin testleri, kullanılacak frekans değerine göre üretilmeli, sistemle beraber çalışacak elektrik ekipmanları (transformatörler, ölçü transformatörler vb.) bu değere göre seçilmelidir.

Orta gerilim sistemlerinde izolasyon gerilimleri belirlenmelidir. Ekipmanların izolasyon gerilimleri iki türlü ifade edilir. Bu ifadeler şebeke frekanslı dayanım gerilimi (Power frequency withstand voltage – AC) ve yıldırım darbe dayanım gerilimi (lighting impulse withstand voltage – LI) şeklindedir. Bu değerler IEC standartlarına göre deniz seviyesinden 1000 m. yüksekliğe kadar geçerlidir [24].

Çizelge 3.1: IEC standartları izolasyon gerilimleri.

Nominal Gerilim	Şebeke Frekanslı Dayanım Gerilimi (AC)	Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi (LI)
3,6 kV	10 kV	40 kV
7,2 kV	20 kV	60 kV
12 kV	28 kV	75 kV
17,5 kV	38 kV	95 kV
24 kV	50 kV	125 kV
36 kV	70 kV	170 kV

OG şebekelerde nominal akım, beslediği yüke veya güç transformatörlerine göre seçilmektedir. Ayrıca ileride eklenecek yedek yüklerde nominal akım hesabında göz önünde bulundurulmalıdır. Ortam sıcaklığına ve yüksekliğe göre OG hücrelerde akım taşıma kapasitesinde bir miktar düşme meydana gelebilir. Orta gerilimde standart nominal akım değerleri 630 A, 1250 A, 1600 A, 2000 A, 2500 A, 3150 A ve 4000 A'dır. Trafo merkezi kurulmadan önce kısa devre ve yük akışı analizleri yapılırken nominal akım değerleri belirlenir. Trafo merkezlerindeki OG hücrelerde kullanılan nominal bara akımları ülkemizde genelde 630 A ve 1250 A'dır. Nominal akım sistemin sürekli çalışabileceği maksimum akımdır. Bir bara üzerinden sürekli akımın akması o bölümün sıcaklığının artmasına neden olur. Genelde OG hücreler için maksimum çalışma ortamı sıcaklığı 40 °C şeklinde düşünülür. Eğer hücrelerin çalıştıkları ortam bu değerden yüksek ise, hücre odasına klima takılmalıdır.

Bir OG sisteminde yapılan kısa devre hesabına göre hücrelerin kısa devre kesme kapasitesi belirlenir. Bu değeri hesaplarken ileri de kurulması planlanan elektrik santralleri, büyük güçlü motorlar vb. parametrelerde göz önünde bulundurulmalıdır. Bir dağıtım şebekesine bağlanacak trafo merkezinin kısa devre kapasitesini hesaplamak için, öncelikle simülasyon programları vasıtasıyla dağıtım şebekesinin kısa devre analizi yapılır. Analizler sonucu dağıtım merkezinin bağlanacağı baralarda olabilecek en yüksek kısa devre akımına göre OG hücrelerdeki kesici ve dağıtım transformatörü seçilir. IEC standartlarına göre orta gerilim şebekeler için kısa devre dayanım değerleri 16 kA; 25 kA; 31.5 kA, 40 kA ve 50 kA'dır. Bunun yanında bu değerleri ne kadar sürede hücrelerin dayanabileceği belirlenmelidir. Bu süre 1 sn veya 3 sn olarak standartlarda belirtilir. Sürenin 1 sn veya 3 sn olmasını selektivite çalışması belirler. Bu değerler bulunduktan sonra rölenin ayarları bu değerlere göre set edilir. Elektrik enerjisinin üretimden başlayarak son kullanıcıya giden bu yolculuğunda her

parametrenin doğru bir şekilde hesaplanması gerekir. Aksi takdirde bu parametrelerin yanlış hesaplamaları sonucunda can ve mal kayıpları meydana gelebilir.

3.2. Trafo Merkezleri Elemanları

3.2.1. Ayırıcılar ve Yük Ayırıcılar

Ayırıcılar yük altında açma kapama yapamayan, ancak enerji akış doğrultusunda sistemin kendisinden sonra gelen kısmını gerilimden izole edilmesine yarayan anahtarlama ekipmanıdır. Devrede akım olmadığı durumda devam eden hattı enerjisiz bırakır. Yük altında açma ve kapama yapamaz. Açık tip şalt sahalarında açık tip ayırıcı (seksiyoner), modüler hücrelerde ise SF6 gazlı ayırıcı kullanılır. Açık tip ayırıcılar şasi, mesnet izolatörleri, sabit kontaklar, hareketli kontaklar, yaylar, kilit tertibatı ve açma-kapama yapan mekanik bir düzenden oluşur. Hat, bara, by-pass, toprak, transfer ve bara bölümleyici ayırıcılar olarak kullanılabilir. Hem dahili tip hem de harici tip olarak üretilir. Yapı özelliklerine ve kullanım yerlerine göre bıçaklı tip, döner izolatörlü ve yük ayırıcısı olarak sınıflandırılır. Manuel veya uzaktan kontrol ile açma-kapama yapılabilir. Ülkemizde bu tip ayırıcılar TEDAŞ MYD/96-017 “Orta Gerilim Ayırıcıları Teknik Şartnamesi’ne” uygun olmalıdır. Modüler tip orta gerilim hücrelerde ise ayırıcılar SF6 gazlı mühürlü basınç yapısında bir tankın içerisinde bulunur. Bu tankın içindeki SF6 gazı 30 yıl boyunca gaz takviyesi gerektirmez. Modüler hücrenin içerisinde topraklama ayırıcısıyla birlikte teçhiz edilmelidir. Ülkemizde bu tip ayırıcılar TEDAŞ MYD/95-007.E “YG Hava Yalıtımlı Metal Mahfazalı Modüler Anahtarlama ve Kontrol Düzenleri Teknik Şartnamesi’ne” uygun olmalıdır. Bu şartnameye göre ayırıcıların anma değerleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2: Ayırıcı anma değerleri.

Anma normal akımı	630 A veya 1250 A
Anma kısa süreli dayanım akımı	16 kA-etken
Anma kısa devre süresi	1 saniye
Anma tepe dayanım akımı	40 kA-tepe
Sınıfı	MO6 (1000 açma kapama)

Yük ayırıcılar ise kendi anma akımlarını yük altında açma-kapama yapabilen ayırıcı tipidir. Kesiciler kadar hem hızlı değildirler hem de açma-kapama sayıları kesicilere göre daha azdır. Kısa devre koruması sağlamaz. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisler

Yönetmeliği'ne göre 1600 kVA güce kadar dağıtım trafolarının sigortalı yük ayırıcısı ile koruması sağlanabilir.



Şekil 3.5: Modüler hücre içinde ayırıcı görünüşü.

3.2.2. Kesiciler

Elektrik enerjisini yükte veya kısa devre arıza anında açmaya, kapamaya, kesmeye yarayan cihazlardır. Açma ve kapama işlemi otomatik veya manuel şekilde yapılabilir. OG dağıtım şebekelerinde kullanılan kesiciler SF6 gazlı veya vakum kesicilerdir. Röleden gelen sinyale göre arıza anında çok kısa süre içerisinde otomatik açma-kapama yapabilirler. Açık tip şalt sahalarında, GIS trafo merkezlerinde, bina tipi trafo merkezlerinde modüler hücre içinde kullanılabilir. Havalı, yağlı, gazlı ve vakumlu tip olmak üzere sınıflandırılır. Yağlı tip kesicilerde izolasyon maddesi yağdır. Patlama dolayısıyla yangına sebep olabilme ihtimali yüksek olmasından dolayı artık pek kullanılmamaktadır. Havalı tip kesiciler açık tip trafo merkezlerinde yüksek gerilimi kesmek için kullanılır. Kesicinin açma ve kapaması sırasında oluşan arkın basınçlı hava ile soğutulması esasına göre çalışır. Dahili ve harici olarak kullanılabilir. Basit yapılıdır, fazla bakım gerektirmez, maliyeti yüksektir. Gazlı kesiciler son yıllarda en çok kullanılan kesici tiplerinden biridir. Gaz olarak metaller ile tepkimeye girmeyen, renksiz, kokusuz SF6 (Sülfür Hekzaflorür) gazı kullanılır. Yangın çıkarma ihtimali yoktur. Kesicinin açma ve kapaması esnasında kesici kontaklarında meydana gelen arkın üzerine SF6 gazı üflenmesiyle ark söndürülür. Genelde orta gerilim hücrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.6: Modüler hücre içinde SF6 gazlı kesicinin görünüşü.

Vakum kesicilerde ise havası boşaltılmış yüksek vakumlu bir silindir hücresinin içerisinde bulunmasından dolayı hareketli kontağın, sabit kontaklarından ayrılması sonucu oluşan ark, akım sıfır noktasına ulaşana kadar söner. Ark bölgesi dışındaki diğer bölümlerde yüksek vakum bulunduğundan, oluşan metal buharı diğer bölgelere kaçar ve ortam hemen yalıtkan halini alır. Kesme bölümü vakumla yalıtıldığından ark bir daha oluşmaz.



Şekil 3.7: Metal clad hücre içinden çıkarılmış vakum kesici görünüşü.

Ülkemizde SF6 gazlı veya vakum kesiciler TEDAŞ MYD/95-008.A “Orta Gerilim Kesicileri Teknik Şartnamesi’ne” uygun olmalıdır. Bu şartnameye göre kesicilerin bazı anma değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.3: Kesici anma değerleri [24].

Anma normal akımı	630 A veya 1250 A
Anma kısa süreli dayanım akımı	16 kA
Anma kısa devre süresi	3 saniye
Anma kısa devre kapama akımı	40 kA
İlk açan kutup katsayısı	1,5
Geçici toparlanma gerilimi	TS EN 62271-100/IEC 62271-100’e göre
Kesme ortamı	SF6 gazlı veya vakum
Anma gerilimi (kV)	7.2 12 17.5 36
Boşta kablo kesme akımı (kA)	10 25 31.5 40
Kesme süresi	80 ms'den az
Kapama süresi	120 ms'den az
Kutuplar arası faz uyuşmazlığı (Açma ve kapamada)	5 ms'den az
Sınıfı	M1 ⁴ ve E1

3.2.3. Ölçü Transformatörleri

Ölçü transformatörleri, yüksek gerilimi veya akımı kendisine bağlı röle, sayaç, ölçü aletleri gibi cihazların çalışabileceği değerlere düşüren özel transformatörlerdir. Orta ve yüksek gerilim şebekelerinde ölçme ve koruma görevleri vardır. Elektrik enerjisinde akım ve gerilim değerlerini ölçmek için kullanılan bu değerler, rölelerin veya sayaçların çalışabildiği değerlere dönüştürülür. Çünkü orta gerilimdeki akım ve gerilimi bu cihazlardan izole etmek gerekmektedir. Ölçü transformatörlerin dönüştürdüğü akım ve gerilim değerine göre sistemde sayaçlar veya ölçü aletleri vasıtasıyla ölçme, koruma röleleri vasıtasıyla koruma işlemi yapılır.

Akım transformatörleri primer sargıları üzerinden geçen akımı sekonder sargılarından koruma ve kontrol ekipmanlarına güvenilir sınırlar içerisinde bir değere dönüştüren ölçü transformatörleridir. Bu transformatörler sekonder devrelerine bağlı olan röle, sayaç gibi koruma veya ölçü cihazlarını şebekeden izole ederler. Herhangi bir aşırı akım veya kısa devre durumunda bu cihazlar akım transformatörleri tarafından

korunmaktadır. Akım trafolarının sekonder akımları genelde 1 A veya 5 A'dır. Sekonder uçları topraklanır. Akım trafosu seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar; hata sınıfı, doyma faktörü (n), trafo gücü (VA), termik ve dinamik dayanım akımıdır. Hem ölçü hem de koruma için aynı trafonun sekonder uçları farklı fonksiyonlar için kullanılabilir. Bir akım trafosunun ölçme mi yoksa koruma mı yapacağını etiketindeki kodlarından anlaşılabilir. Bu kodlar P (Protection) ve Fs (Security Factor) kodlarıdır. P kodu koruma için, Fs kodu ölçü için kullanılır. Ölçü için kullanılan akım trafoları, herhangi bir aşırı akım veya kısa devre durumunda manyetik çekirdekleri çabuk doymaya gider. Akım transformatörünün primer sargılarında akım değeri arttıkça, sekonder sargılarından geçen akım da artar. Ancak belli bir akım değerinden sonra primer akımı arttıkça sekonder akımı artmaz. Bu olaya doyma denir. Bu sayede ölçü aletlerini korur. Doyma katsayısı (n) primer akımın, anma akımına oranıdır. Ölçme için kullanılan akım transformatörlerinin manyetik doyma oranı nominal akımın 5 veya 10 katından küçük ($n < 5$ veya $n < 10$) olmalıdır. Ölçme için bu kodlar Fs5 veya Fs10 şeklindedir. Bu durumda doyma faktörü nominal akımın kaç katına kadar doğruluk limitleri içinde ölçeceğini belirtir. Koruma için kullanılacak akım transformatörleri sekonder uçlarında akımı doğrulukla çevirmelidir. Yoksa koruma hatalı olabilir. Akım transformatörünün çekirdeği manyetik doymaya hemen gitmemelidir. Bu yüzden manyetik doyma nominal akımın 5 veya 10 katından büyük ($n > 5$ veya $n > 10$) olmalıdır.

Bir akım trafosunun sınıfı, primerden geçen anma akımın sekonder uçlarında geçecek akımın hassasiyetini belirlemede kullanılır. Ölçü için kullanılacak akım trafolarında bu sınıflar 0.1, 0.2, 0.5, 1, 3 ve 5 sınıfları kullanılır. Koruma için kullanılacak akım trafolarında ise 5P veya 10P sınıfları kullanılır. Akım trafosu seçiminde dikkat edilmesi gereken bir önemli nokta da termik dayanım akımıdır. " I_{th} " olarak gösterilen termik dayanım akımı nominal akımın en az 100 katı kadar olmalıdır. Akım trafosunun dinamik akım değeri ise termik dayanım akımın 2.5 katı kadar olmalıdır. Ayrıca akım trafolarının primer uçlarında bir akım geçerken sekonder uçları açık devre halini alırsa, primer uçlarında yüksek gerilimler indüklenebilir. Bu yüzden eğer primer devrede bir gerilim varken sekonder devrede bir çalışma yapılacak ise akım trafosunun sekonder uçları kısa devre edilmelidir. Çalışma bittikten sonra sekonder uçları eski haline getirilmelidir.

Orta gerilim hücrelerinde kullanılan akım trafoları mesnet tip, toroidal tip ve LPCT (Low Power Current Transformer) olmak üzere üç tiptir. Bu zamana kadar belirtilen akım trafoları özellikleri mesnet tip akım trafoları içindir. Gerilimin yalıtılması için epoksi reçine dökümü ile imal edilirler. Modüler tip hücre içine monte edilebilirler. Toroidal tip akım trafoları ring tipi 0.72 kV'luk gerilime sahip akım trafolarıdır. Sekonder uçlarından 5 A veya 1 A değerine kadar akım alınabilir. LPCT tip akım trafoları ise yine toroidal tipe benzer ring tipi akım trafolarıdır. Ancak mV'luk gerilim ile çalışırlar ve koruma rölesi ile direkt RJ45 kablo ile haberleşerek akım bilgisini iletir. Set akım değeri 0-1250 A arasında ayarlanabilen LPCT akım trafoları basit yapılı ve çok kullanışlıdır. Mesnet veya toroidal tip akım trafoları gibi sekonder uçlarında 5 veya 1 A'luk akım çıkışı vermez, gerilim çıkışlıdır. Genelde kesicili trafo koruma hücrelerinde kullanılır. TEDAŞ'a devredilecek orta gerilim hücrelerde kullanılacak akım trafoları MYD/96-010.A OG Akım Transformatörleri Teknik Şartnamesi'ne uygun olması gerekmektedir.



Şekil 3.8: Akım ve gerilim trafolarının modüler hücre içindeki görünüşü.

Gerilim trafoları, voltmetrelerin, sayaçların okuyamayacağı gerilimin yüksek olduğu baralarda gerilimin bu cihazların okuyabileceği gerilime dönüştüren transformatörlerdir. Hem ölçme hem de koruma işlemi için kullanılırlar. Koruma rölelerini ve ölçü aletlerini primerdeki yüksek gerilimden izole ederler. Gerilim trafolarının sekonder gerilimleri ise faz-faz arası 100 V, faz-nötr arası 57,7 V'dur. Gerilim trafolarının doğruluk sınıfı, primer uçlarındaki gerilime göre sekonder

uçlarında indüklenen gerilimin yüzdesel ne kadar hassasiyetle sapacağını belirtir. Bu sapma pozitif veya negatif yönde olabilir. Ölçmede 0.1, 0.2, 0.5, 1, ve 3, korumada 3P ve 6P sınıfları kullanılır. Gerilim trafosu seçimindeki en önemli noktalar; nominal gerilim, dönüştürme oranı, sınıfı, gücü, aşırı gerilim kat sayısı ve tipidir. Test tepe gerilimlerine dikkat edilmelidir. Akım trafolarına göre daha ağırdır. Mesnet tipi olarak epoksi reçine dökümü tip olarak üretilir.

3.2.4. Koruma Röleleri

Elektrik enerjisi üretim santrallerinde alçak veya orta gerilimde üretilir, bir güç trafosu ile gerilim yükseltilerek yüksek gerilim ile iletilir. Yine bir güç trafosu ile üretilen enerji orta gerilime düşürülür. Daha sonra da bir dağıtım trafosu ile gerilim, 400 V alçak gerilim seviyesine indirilerek bu seviyede yüklere dağıtılır. Böyle bir sistemin koruması yapılmazsa oluşabilecek bir arıza, ilk başta üretilen santralden en sondaki kullanıcıya kadar zarar verebilir. Elektrik sistemlerinde korumalar, üretimden tüketime elektrik enerjisinin kesintisiz olarak var olması için yapılır. Devredeki koruma sisteminin başlıca görevi elektrik tesisinde çıkan arızaları çabuk ve güvenilir biçimde tespit etmek ve gerektiğinde işletme elemanını (hat, transformatör veya jeneratör) hızlı bir şekilde devre dışı bırakmaktır. Koruma işlemi yapılırken rölenin seçiciliği doğru yapması (selektivite), hızlı çalışması ve güvenilir olması beklenir. Böylece enerjinin mümkün olabildiğince sürekli olması sağlanır.

Orta gerilim şebekeleri baz alınır; şebekede bazı elektrik ekipmanları bulunmaktadır. Bunlar güç trafoları, dağıtım trafoları, step-up trafolar, OG hücreler, kesiciler, ayırıcılar, ölçü trafoları, koruma röleleri, parafudurlar, akü ve redresör grupları, sigortalar ve daha birçok ekipman olabilir. Belirtilen elemanların çoğu şebeke koruma sisteminde yer alabilir. Sistemde ark flaş, kısa devre vb. bir arıza olduğunda OG hücrelerde bulunan kesiciler bu arızayı algılayarak sistemin enerjisini keser. Arıza akımını veya gerilimini akım - gerilim trafoları vasıtasıyla mikroişlemci tabanlı röleler, devredeki anlık bilgiyi okur ve açma yapıp yapmayacağını ayarlanmış set değerlerine göre karar verir. Koruma röleleri arızayı tespit eder ve kesiciye açma-kapama yapması için gerekli sinyali gönderir. Ölçü transformatörlerinden gelen değerleri kendi içinde tekrar ölçü trafolarının oranı kadar yükselterek akımın ve gerilimin gerçek değerini hesaplar. Arıza akımı veya arıza geriliminde kesiciye açma-kapama sinyali göndererek sistemi korur. Korumanın hangi akım ve gerilim

değerlerinde isteniyorsa, röle ayarları bu değerlere göre set edilir. ANSI koruma kodlarına göre istenilen fonksiyonu yerine getiren röleler devreye entegre edilir. Genelde orta gerilim dağıtım şebekelerinde trafo koruma hücrelerinde akım ve toprak akımı koruması yapan röleler kullanılırken, daha fonksiyonel hat giriş ve otoproduktör hücrelerinde kullanılan, akım, gerilim, toprak arızaları, frekans koruma gibi özellikleri bulunan daha fonksiyonel dijital röleler kullanılmaktadır. Orta gerilim şebekelerinde koruma rölesi olmadan da koruma yapılabilir. Aşırı akımda ve kısa devre arızalarında sigortalar, yıldırım darbe gerilimine karşı parafudrlar da elektrik şebekelerinde kullanılmaktadır. Bazı ANSI koruma kodları ve açıklamaları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4: Bazı ANSI kodları ve koruma tipi fonksiyonu açıklamaları.

ANSI Kodu	Koruma Fonksiyonu Tanımı
27	Düşük Gerilim Koruma
46	Dengesiz Yük, Negatif Bileşen Akımı
47	Negatif Bileşen Gerilimi
49	Termal Aşırı Akım Koruma
50	Ani Aşırı Akım Koruma
50N	Ani Toprak Akımı Koruma
51	Zamanlı Aşırı Akım Koruma
51N	Zamanlı Toprak Akımı Koruma
59	Aşırı Gerilim Koruma
67	Yönlü Aşırı Akım Koruma
67N	Yönlü Toprak Akımı Koruma
81U	Düşük Frekans Koruma
81O	Aşırı Frekans Koruma
87G	Jeneratör Diferansiyel Koruma
87L	Hat Diferansiyel Koruma
87T	Trafo Diferansiyel Koruma

3.2.5. Parafudrlar

Elektrik dağıtım şebekesine yıldırım gibi ani aşırı darbe gerilimi etki etmesi durumunda bu gerilimi direkt toprağa aktaran koruma cihazlarıdır. Parafudrlar sistem normal şebeke geriliminde çalışırken pasif haldedir ve şebekeye paralel bağlanır. Trafo merkezlerini aşırı gerilimden mikro saniyeler mertebesinde korur. Sisteme bir yıldırım darbe gerilimi etki ettiğinde bu sisteme bağlı elektronik cihazlarının koruması için kullanılır. Böylece devre, yüksek gerilim etkisine maruz kalmasına rağmen kesintiye uğramadan çalışmaya devam eder. Yüksek gerilim etkileri yıldırım

düşmeleri, hat arızaları veya kesicinin açması sırasında yanlış manevralar sonucu meydana gelebilir. Yapısında yarı iletken metal oksit bloklar bulunmaktadır. Bu bloklar polimer bir sızdırmaz gövde içerisinde bulunur. Mekanik dayanımları yüksektir. Dış ortamda çalışabilirler. Şebeke nominal gerilimde çalışırken yalıtkan haldedirler ve metal oksit blokları bir rezistans görevi görür. Devreye bir darbe gerilimi etki ettiğinde metal oksit yarı iletken madde iletken durumuna geçerek yıldırım akımını direkt toprağa iletirler. Yarı iletken malzeme olmasından dolayı mikro saniyeler mertebelerinde çok hızlı anahtarlama yapar.

Parafudrlar, kullanıldığı şebekeye bağlı olarak şebekenin anma değerlerine göre seçilmelidir. Parafudrun kapama yapabilmesi için bağlanacağı bölgedeki en yüksek gerilimden daha düşük bir gerilime sahip olmalıdır. Genelde şebekeye paralel olarak faz toprak arasına bağlanır. Parafudrun bağlanacağı bölgenin seçimi ayrı bir çalışma konusudur. Genelde korunması istenen bölgeden en fazla 10 metre mesafede bulunması önerilir. Ülkemizde dağıtım şebekelerinde kullanılan metal oksit parafudrlar TEDAŞ-MYD/96-019.A “OG Sistemler İçin Metal Oksitli Parafudrlar Teknik Şartnamesi’ne” uygun olması gerekir.

3.2.6. OG Modüler Hücreler

36 kV’a kadar ki trafo merkezlerinde, endüstriyel tesislerde dahili mekanlarda kullanılan anahtarlama, koruma veya ölçme gibi fonksiyonlar içeren orta gerilim şalt ekipmanlarıdır. Modüler hücreler dağıtım şebekesinde kullanılan koruma rölelerini, akım ve gerilim transformatörlerini, kesicileri, ayırıcıları, kablo giriş noktalarını, baraları gibi birçok ekipmanları barındırır ve insanların ulaşabileceği güvenli hale getirir. Optimize edilmiş kompakt yapıdadırlar ve bakım gerektirmezler. Kolay ve güvenilir bir şekilde işletilir. Hava yalıtımlı veya gaz yalıtımlı olmak üzere ikiye ayrılır. SF6 gazı ile yalıtılmış metal mahfazalı hücreler, hücre içinde gerilim altındaki aktif bölümleri SF6 gazı ile yalıtılmış halde bulunur. Bu tip hücreler kompakt tip RMU (Ring Main Unit) diye adlandırılır. Hava yalıtımlı metal mahfazalı hücreler ise gerilim altındaki baralar hava ile yalıtılır ancak ayırıcı ve kesiciler SF6 gazı ile yalıtılmış bir tankın içinde bulunur. Enerjinin ayrılması ve kesilmesi işlemi SF6 gazlı ortamda yapılır. Baralar hava yalıtımlıdır. Yapısında, kullanım amacına ve hücre tipine göre baralar, ayırıcı, yük ayırıcısı, topraklama ayırıcısı, kesici, koruma rölesi, kablo giriş

buşingleri, gerilim göstergeleri, parafudrlar, OG sigorta, akım ve gerilim transformatörleri, aydınlatma ekipmanları, alçak gerilim bölmesi bulunabilir [15].

52 kV'a kadar olan gerilimler IEC 62271-200 standardına göre orta gerilim olarak kabul edilir. Bu standarda göre orta gerilim hücreleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

Orta gerilim hücre izolasyon maddesine göre;

1. Hava İzoleli Hücreler
2. Gaz İzoleli Hücreler
3. Katı İzoleli Hücreler

Hücre içi kompartmanlar arasındaki bölmelendirme malzemesinin yapısına göre;

1. PM Bölmelendirme: Bu tipte hücrenin açık erişilebilir bölümleri ile gerilim altındaki ana bölümler topraklı metal bölmeler ile birbirinden ayrıdır.
2. PI Bölmelendirme: Bu tipte hücrenin açık erişilebilir bölümleri ile gerilim altındaki ana bölümler metal olmayan izole malzemeler ile birbirinden ayrıdır.

İç ark arızası (IAC sınıflandırması)

1. A: Yalnız yetkili personel erişilebilir
2. F: Ön taraftan erişilebilir
3. L: Yan taraflardan erişilebilir
4. R: Arka tarafından erişilebilir

Servis sürekliliği kaybına göre (LSC-1, LSC2-A, LSC2-B);

1. LSC-1: Hücre içinde baralar, kesiciler, ayırıcılar, kablolar, ölçü transformatörleri vs. tek bir bölme içerisinde. Enerji kesilmeden anahtarlama elemanını müdahale edilemez.
2. LSC-2A: Hücrede enerji varken hücrenin baraları enerji iken anahtarlama elemanının bulunduğu bölmeye müdahale edilebilir.
3. LSC-2B: Hücrede kablo ve bara bölümleri enerjili iken anahtarlama elemanının bulunduğu bölmeye müdahale edilebilir.

Hücrenin boyutu gerilimin büyüklüğü ile alakalıdır. Dağıtım şebekesinin nominal gerilimi yükseldikçe hücrenin boyutları da büyür. Bunun nedeni baralar arasındaki gerilimin atlama mesafesidir. Havanın dielektrik atlama mesafesi yaklaşık 1 kV için 1 cm olarak kabul edilir. Bu yüzden 36 kV'luk modüler hücrelerde her bir bara arasında

ortalama en az 35-36 cm'lik bir mesafe olmalıdır. Yoksa baralar arasında gerilim atlama yapar ve bu da kısa devre arızasına neden olur. Nominal gerilimi 24 kV olan hava yalıtımlı hücrelerde ise her bir bara arası en az 24-25 cm olmalıdır. Dolayısıyla 24 kV'luk hava yalıtımlı hücreler boyutsal olarak 36 kV'luk hücrelere göre daha küçüktür. Eğer gaz yalıtımlı hücreler kullanılırsa, SF6 gazının dielektrik atlama mesafesi havaya göre daha düşük olduğu için aynı nominal gerilimdeki bir hücre, gaz yalıtımlı olarak daha küçük boyutta imal edilir. Bazen alandan tasarruf etmek için hava yalıtımlı hücreler yerine gaz yalıtımlı hücreler kullanılabilir. Ülkemizde 36 kV'a kadar dağıtım şebekelerinde kullanılan SF6 gaz yalıtımlı modüler hücreler TEDAŞ-MYD/95-002.B "Orta Gerilim SF6 Gaz Yalıtımlı Metal Mahfazalı Hücreler Teknik Şartnamesi'ne", hava yalıtımlı modüler hücreler ise TEDAŞ-MYD/95-007.E "YG Hava Yalıtımlı Metal Mahfazalı Modüler Anahtarlama ve Kontrol Düzenleri Teknik Şartnamesi'ne" uygun olmalıdır. TEDAŞ-MYD/95-007.E şartnamesine göre OG hücrelerde bulunması gereken anma değerleri Çizelge 3.5'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.5: OG hücrelerin TEDAŞ MYD/95-007.E şartnamesine göre istenen anma değerleri [9].

Anma Frekansı	50 Hz			
Anma Bara Akımı	630 A, 1250 A			
Sıcaklık Artışı	TS EN 62271-200 ve TS EN 62271-1'e göre			
Anma Kısa Süreli (1sn) Dayanım Akımı	16 kA-etken			
Anma Kısa Devre Süresi	1 saniye			
Anma Tepe Dayanım Akımı	40 kA-tepe			
İç Ark Dayanımı	16 kA-etken, 1 saniye			
İç Ark Sınıfı	IAC AFL			
İşletme Sürekliliği Kategorisi	En Az LSC2			
Anma Gerilimleri ve Anma Yalıtım Düzeyleri				
Anma Gerilimleri (kV)	7,2	12	17,5	36
Normal İşletme Gerilimleri (kV)	6,3	10,5	15,8	33
Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimleri				
Toprağa Göre ve Fazlar Arası (kV-tepe)	60	75	95	170
Ayırma Uzaklığında (kV-tepe)	70	85	110	195
1 Dakika Süreli Şebeke Frekanslı Dayanım Gerilimi				
Toprağa Göre ve Fazlar Arası (kV-etken)	20	28	38	70
Ayırma Uzaklığında (kV-etken)	23	32	45	80
Yardımcı Servis Besleme Gerilimleri				
AC (50 Hz)	220/380 V, +/- %10			
DC Malzeme Listesine Göre	24 V, 110 V			

OG hücrelerin pano koruma sınıfları genelde IP 3x, 4x, 41 vs. olabilir. OG hücrelerde eğer IP koruma sınıfı artarsa, akım taşıma kapasitesi düşer. Orta gerilim hücrelerinin açma, kapama, ölçü, kuplaj vb. operasyonların yapılabilmesi için birçok tipi vardır. Bunlardan en çok kullanılanları aşağıdaki gibidir.

Yük ayırıcılı giriş-çıkış hücresi: Dağıtım şebekesinde devreye bir hattın giriş veya çıkış yapmak için kullanılır. Kısa devre arızasında koruma yapmaz. Nominal akımına göre yük ayırıcısı yük altında açma veya kapama yapılabilir. Kullanım amacına göre hücre içinde bulunan bazı ekipmanlar; baralar, yük ayırıcısı, topraklama ayırıcısı, kablo giriş terminalleri, gerilim göstergeleri, alçak gerilim dolabı ve hücre içi aydınlatma ekipmanları sayılabilir.

Sigortalı trafo koruma hücresi: Bağlı olduğu transformatörü aşırı akımdan sigorta ile korumak istendiği durumlarda kullanılır. Kullanım amacına göre hücre içinde bulunan bazı ekipmanlar; baralar, yük ayırıcısı, topraklama ayırıcısı, orta gerilim sigortaları, kablo giriş terminalleri, gerilim göstergeleri, gerilim trafoları, alçak gerilim dolabı ve hücre içi aydınlatma ekipmanları sayılabilir.

Kesicili giriş-çıkış hücresi: Şebekede bir hattın giriş, çıkış yapmak veya transformatörü SF6 gazlı kesici ile koruma yapmak için kullanılır. Koruma rölesinin fonksiyonlarına göre birçok arıza durumunda şebekeyi veya bağlı olduğu transformatörü korur. Kullanım amacına göre hücre içinde bulunan bazı ekipmanlar; baralar, ayırıcı, topraklama ayırıcısı, SF6 gazlı kesici, koruma rölesi, kablo giriş terminalleri, gerilim göstergeleri, akım ve gerilim trafoları, alçak gerilim dolabı ve hücre içi aydınlatma ekipmanları sayılabilir.

Kuplaj hücresi: İki besleme hattını birleştirmek veya ayırmak için kullanılır. Kullanım amacına göre hücre içinde bulunan bazı ekipmanlar; baralar, çift ayırıcı, topraklama ayırıcısı, SF6 gazlı kesici, koruma rölesi, kablo giriş terminalleri, gerilim göstergeleri, akım trafoları, alçak gerilim dolabı ve hücre içi aydınlatma ekipmanları sayılabilir.

Akım ve gerilim ölçü hücresi: Kendisinden sonra gelen hattın çektiği akımı ve sistemin gerilimi ölçmek için kullanılır. Sağdan veya soldan girişli olabilir. Enerjinin giriş yaptığı yöne göre yük ayırıcısı sağdaki veya soldaki barada bulunur. Kullanım amacına göre hücre içinde bulunan bazı ekipmanlar; baralar, yük ayırıcısı, topraklama ayırıcısı, orta gerilim sigortaları, kablo giriş terminalleri, elektrik sayacı, ampermetre,

voltmetre, akım ve gerilim trafoları, alçak gerilim dolabı ve hücre içi aydınlatma ekipmanları sayılabilir.

Gerilim ölçü hücresi: Bağlı olduğu baranın gerilimini ölçmek için kullanılır. Kullanım amacına göre hücre içinde bulunan bazı ekipmanlar; baralar, yük ayırıcısı, topraklama ayırıcısı, orta gerilim sigortaları, kablo giriş terminalleri, voltmetre, gerilim trafoları, alçak gerilim dolabı ve hücre içi aydınlatma ekipmanları sayılabilir

Kablo bağlantı hücresi: Herhangi bir korumanın gerekli olmadığı durumlarda enerjinin kablo ile bir hatta giriş veya çıkış yapılması için kullanılır. Baralar, kablo giriş terminalleri, gerilim göstergeleri ve hücre içi aydınlatma ekipmanlarından oluşur. En basit yapılı hücrelerden biridir.

3.2.7. Dağıtım Transformatörleri

Orta gerilim şebekelerinde 36 kV'a kadar kullanılan, güç aralığı 25-2500 kVA arası değişen transformatörlerdir. Üç fazlı olarak üretilirler. Gerilimi orta gerilim şebeke geriliminden tüketicinin kullanabileceği faz-faz arası 400 V seviyesine düşürür. Hem dahili hem de harici olarak kullanılabilir. Kuru tip ve yağlı tip olmak üzere iki çeşittir.

3.2.7.1. Yağlı Tip Dağıtım Transformatörleri

Yağlı tip dağıtım transformatörleri, normal şartlar altında çalışma sırasında sargılarda oluşan ısının özel tip trafo yağı ile atılması ve soğutmanın yağ ile sağlandığı, ülkemizde ve dünyada en çok kullanılan transformatör tipidir. Hermetik ve genleşme depolu olmak üzere iki çeşittir. Hermetik tip trafolar, vakum altındaki bir kazan içerisinde sargılar, yağ ile doldurularak sargılar arası izolasyonu ve soğutulması sağlanır. Atmosfer basıncı ve yağ basıncı istenen sıcaklığa göre dengelenir. Soğutma yağı atmosfer ile temas etmez. Transformatör içinde oluşan ısıdan dolayı soğutma yağı genleşir veya büzülür. Kazanın hermetik olmasının en önemli özelliği transformatör kazanında bulunan dalga duvarları sayesinde transformatör yağının genleşip ve büzülmesi kontrol altına alınır. Genleşme depolu trafolar, boyutlar biraz daha küçüktür. Kazan içindeki yağın değişmesine gerek yoktur, bakım gerektirmezler.

Genleşme depolu transformatörlerin çalışma prensibi, sargılar ve çekirdek yapısına göre hermetik tip trafolarla göre bir farkı yoktur. Sadece kazan içinde bulunan soğutma yağının transformatörün çalışması esnasında oluşan ısı nedeniyle genleşmesini depolayacak bir hazne bulunur. Transformatör yağı, atmosferle temas eder. Bu yüzden

silikajel denilen bir madde trafoya giren havanın nemini alır. Transformatör yağı ile hava temas eder, basınç dengesi sağlanır. Zamanla silikajel nem alma özelliğini kaybeder, bu yüzden belirli periyotlarla değişmesi gerekir. Ayrıca transformatör yağından belirli zamanlarda numune alınarak yağın delinme geriliminin ölçülmesi önerilir. Bakım gerektirir.

Yağlı tip transformatörler boşa ve otomatik yükte kademe değiştiricili olarak üretilirler. Transformatörün primer ve sekonder sargı malzemesi bakır veya alüminyum sargı olabilir. Bakır sargılı transformatörler, alüminyum sargılı olanlara göre daha maliyetlidir. Soğutma tipi genelde ONAN veya ONAF olarak kullanımı daha yaygındır. Transformatörün bulunacağı ortamın sıcaklığı ve rakımı da transformatörün çalışmasını etkiler. Bu yüzden ortam şartlarına göre transformatörün üretilmesi gerekir.



Şekil 3.9: Hermetik yağlı tip dağıtım transformatörün görüntüsü.

Ülkemizde genelde transformatörler maksimum ortam sıcaklığının 40°C ve rakımının 1000 metreden az olduğu düşünülerek üretilir. Irak, Katar gibi ülkelerde transformatörler ortam sıcaklığı 55°C olacak şekilde üretilir. Transformatörler üretilirken ortam sıcaklığının ve sargı sıcaklık değerinin toplamının 105°C 'nin üzerine çıkılması istenmez. Yoksa transformatör YG ve AG sargıları arasındaki yalıtkan maddelerin ve transformatör yağının izolasyonu bozulabilir. Bu yüzden ülkemizde kullanılan transformatörlerin 40°C ortam sıcaklığına göre çalışması istendiğinde sargı

sıcaklığı maksimum 65⁰C'ye kadar ısınabilir. Sargı sıcaklığı bu değerin üzerine çıkması durumunda transformatör zarar görebilir.

Transformatörün OG primer buşingleri porselen buşingli veya plug-in buşingli olabilir. Plug-in buşingler genelde açık tip porselen buşinglere göre daha güvenilir olduğundan tercih edilir. Geçmeli tip epoksi reçineden yapılmış plug-in kablo başlığı ile kullanılır. OG sargılarına gelen elektrik enerjisi dış ortama kapalıdır. Ülkemizde kullanılan TEDAŞ'a devredilecek yağlı tip transformatörleri TEDAŞ-MLZ/99-032.E "Hermetik Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi'ne" uygun olmalıdır.

3.2.7.2. Kuru Tip Dağıtım Transformatörleri

Kuru tip dağıtım transformatörlerin imalatı üreticiye bağlı olarak genelde 400 kVA'dan başlar. Soğutma şekli yağlı tip transformatörlere göre farklıdır. Yüksek gerilim sargı kaplamaları elektriksel izolasyonu yüksek neme ve kimyasala karşı dayanıklılığı fazla olan epoksi dökme reçineden yapılır. Alçak gerilim sargıları dökme reçine kaplanır ve prepreg yöntemiyle imal edilir. Sargıları saran epoksi reçineler herhangi bir kazan veya kapalı bir ortam içerisinde değildir, tamamen dış ortama açıktır. Dağıtım şebekeleri için üretilen kuru tip transformatörler, hem doğal hava ile soğutma yöntemi (AN) hem de fan ile soğutma yöntemiyle (AF) soğutulabilir. Trafonun alt bölgesine 6 adet fan grubu monte edilir. Bu fan grubunu transformatörün sıcaklığına göre devreye alıp, devreden çıkaran bir fan panosu vardır. Fan panosundaki bir koruma rölesi, transformatörden gelen sargıların sıcaklık bilgisine göre fan grubunu devreye alır veya devreden çıkarır. Ayrıca fanlar, trafoda %40'a varan güç artışının talep edildiği durumlarda da kullanılabilir. Kuru tip transformatörler sadece dahili ortamlarda çalışır. Harici ortamlarda çalışacaksa, transformatör dışarıdan sıvı, nem vs. etki almayan bir kabin içerisine konmalıdır. Sargılar epoksi dökme reçine yapısı içinde dış ortama açık bir şekilde bulunduğu ortanın sudan ve nemden arındırılması gerekmektedir. Patlama özellikleri yoktur. Boşta ve otomatik yükte kademe değiştiricili olarak üretilebilirler. Sargıların izolasyonlarında F sınıfı veya H sınıfı malzemeler kullanılır. F sınıfı izolasyon malzemesi sargı sıcaklık artış limiti 155⁰C iken H sınıfı izolasyon malzemesinin sıcaklık artış limiti 180⁰C'dir. Transformatörün teknik föyünde OG/AG sargılar F/F veya H/H olarak sıcaklık sınıfı belirtilir. Maliyeti yağlı tip transformatörlere göre daha yüksektir. Patlama özelliği

olmadığından genelde insanların yoğun olduğu hastanelerde, alışveriş merkezlerinde vs. kullanılır. Ülkemizde kullanılan TEDAŞ’a devredilecek kuru tip transformatörlerin TEDAŞ-MLZ/99-031.B “Sargıları Epoksi Reçine İle Örtülü Kuru Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi’ne” uygun olmalıdır.



Şekil 3.10: Kuru tip dağıtım transformatörün görüntüsü.

3.2.7.3. Dağıtım Transformatörlerinin Bağlantı Grupları ve Kayıpları

Üç fazlı transformatörler primer ve sekonder sargıları yıldız, üçgen veya zigzag olarak bağlanabilir. Transformatör uçlarının bağlantı şekillerine bağlı olarak güç, akım, gerilim vb. gibi hesapları yapılır. Transformatörlerin primer sargısının bir fazında belirli gerilim bulunurken, aynı fazın sekonder sargılarında da bir gerilim indüklenir. Aynı fazın primer ve sekonder sargılarında indüklenen gerilimler arasında oluşan faz farkına grup açısı denir. Yıldız, üçgen, zigzag gibi bağlantı gruplarında grup açısı 30 dereceye bölünür. Grup açısı 30 ile çarpıldığında bir fazdaki primer ve sekonder gerilimleri arasındaki faz farkı bulunur. Transformatörün vektör grubu yazılırken ilk yazılan bağlantı şekli büyük harfle yazılır. İkinci sıradaki bağlantı şekli (yıldız, üçgen vs.) ise küçük harfle kodlanır. Bu iki harften sonra ise grup açısı yazılır. Dağıtım transformatörlerinde en çok kullanılan bağlantı grubu Dyn11’dir. Step-up yükseltici transformatörleri, otoproduktör fiderlerinde oluşacak bir kısa devre akımını nötr direnci üzerinden toprağa akıtmak için Ynd11 bağlantı gruplu transformatörler

olarak kullanılır. Ynd11 vektör gruplu transformatörün OG primer kısmında nötr hattı bulunur [27].

Dağıtım transformatörlerinin diğer bir önemli parametresi ise kısa devre gerilimidir. Transformatör teknik föylerinde “%U_k” olarak belirtilir. Dağıtım transformatörünün sekonder sargıları kısa devre edildiği zaman, primer sargılarında nominal akımın geçmesine neden olan gerilimdir. Bu gerilimin nominal gerilime oranı %U_k olarak tarif edilir. Bu değer, transformatörün sekonder sargısında herhangi bir kısa devre olduğundan primer sargısından akacağı maksimum akım değerini gösterir ve ona göre koruma elemanları seçilmelidir. Transformatörlerin verimliliğini etkileyen en önemli faktör kayıplarıdır. Boşta kayıp ve yükte kayıp olmak üzere iki türlü kayıp vardır. Boşta kayıplar transformatörün demir veya nüve kaybı olarak bilinir. Transformatörün çalışması esnasında çekirdeğindeki histeresis ve eddy akımı kayıplarından oluşmaktadır. Yükte çalışma kaybı ise transformatörün iletken kayıplarını temsil etmektedir. Bu iki tip kaybın en aza indirgenmesi, transformatörün verimliliğini artırır. TEDAŞ-MLZ/99-031.B “Sargıları Epoksi Reçine İle Örtülü Kuru Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi’ne” göre TEDAŞ’a devredilecek trafoların kayıpları Çizelge 3.6’da, TEDAŞ-MLZ/99-032.E “Hermetik Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi’ne” göre yağlı tip trafoların kayıpları Çizelge 3.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.6: TEDAŞ şartnamesine göre kuru tip transformatörlerin kayıp değerleri [26].

Anma Gerilimi (kV)	Anma Gücü (kVA)	Boşta Kayıplar (W)	Yükte Kayıplar (W)
15,8 kV'a Kadar	400	750	4500
	630	1100	7100
	800	1300	8000
	1000	1550	9000
	1250	1800	11000
	1600	2200	13000
	2000	2600	16000
	2500	3100	19000
33 kV'a Kadar	400	865	4950
	630	1265	7810
	800	1495	8800
	1000	1785	9900
	1250	2070	12100
	1600	2530	14300
	2000	2990	17600
	2500	3565	20900

Çizelge 3.7: TEDAŞ şartnamesine göre yağlı tip transformatörlerin kayıp değerleri [8].

Anma Gerilimi (kV)	Anma Gücü (kVA)	Boşta Kayıplar (W)	Yükte Kayıplar (W)
15,8 kV'a Kadar	25	70	600
	50	90	750
	100	145	1250
	160	210	1750
	250	300	2350
	400	430	3250
	630	600	4600
	800	650	6000
	1000	770	7600
	1250	950	9500
	1600	1200	12000
	2000	1450	15000
	2500	1750	18500
33 kV'a Kadar	25	81	660
	50	105	825
	100	170	1375
	160	242	1925
	250	345	2585
	400	495	3575
	630	690	5060
	800	750	6600
	1000	885	8360
	1250	1095	10450
	1600	1380	13200
	2000	1670	16500
	2500	2015	20350

3.2.8. Kablolar

Kablolar, elektrik akımını iletiminde kullanılan, elektrik cihazlarının birbirleriyle bağlantı yapılmasına olanak sağlayan üzeri yalıtkan ile kaplı bir malzemedir. Enerji kabloları, data kabloları, maden ocağı kabloları, gemi kabloları vb. birçok çeşidi vardır. Trafo merkezlerinde enerji kabloları kullanılır. Enerji kabloları gerilim değerine göre sınıflandırılır; 600 V'dan küçük olan kablolar tesisat kabloları, gerilimi 600-1000 V arasında bulunan kablolar alçak gerilim enerji kabloları, gerilimi 1-45 kV arasında olan kablolar orta gerilim kabloları olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca iletken tipine göre kablolar, bakır veya alüminyum iletkenli kablolar olarak ayrılmaktadır.

Yalıtkan malzemesine göre ise enerji kabloları PVC veya XLPE izoleli olarak ayrılırlar. PVC (Polivinil-klorid) malzemesi, bünyesinde halojen esaslı yanıcı özellik barındıran, kabloların yalıtımında ve kılıflanmasında kullanılır. Daha az maliyetli bir yalıtandır. Kolay uygulanabilir olmasından dolayı çok tercih edilen yalıtım malzemesidir. En büyük dezavantajı, yangın sırasında duman ve korozyif zehirli gazlar çıkarmasıdır. Ancak trafo merkezi gibi yapılarda çıkabilecek bir yangın büyük patlamalara neden olabilir ve etraftaki insanlara zarar verme durumları söz konusu olabilir. Can ve mal kayıpları oluşabilir. Dolayısıyla orta gerilim trafo merkezlerinde yangın esnasında yangını daha da büyütme ihtimali olan PVC izolasyon maddesi kabloların kullanılması önerilmez. Bu tür yerlerde halojensiz malzemeden üretilen kablolar kullanılması daha doğrudur. Halojensiz malzemeler alev iletmez, alev geciktirici özelliğe sahiptir. Düşük duman çıkarırlar ve korozyif zehirli gaz yaymazlar. XLPE çapraz bağlı polietilen (Crosslinked Polyethylen) malzemesi yüksek yalıtkan özelliğe sahip, saf polietilenin bazı yöntemler ile çapraz bağlanarak elde edilen termoplastik yalıtkan bir malzemedir. Bu malzeme mekanik özellikleri yüksek olup ısıya dayanıklıdır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda erimezler. XLPE izole maddesi, üstün özellikleri ile kablo sanayisinin en önemli izolasyon malzemelerinden biridir. Yüksek sıcaklık değişimlerinde bile hem fiziksel hem de elektriksel özellikleri zarar görmez. XLPE esnek bir malzemedir ve düşük sıcaklıklarda bile bu esnekliğini koruyabilir. XLPE kabloların dielektrik kayıpları düşüktür. Bu nedenle orta ve yüksek gerilim kabloları olarak kullanılır. Su emmez, mekanik dayanımı yüksek ve çeşitli kimyasallara karşı dayanımı güçlüdür. XLPE kabloların sürekli akım taşıma kapasitesi ve kısa devre dayanımı yüksektir.

Orta gerilimde kullanılan kablolar için en önemli noktalardan biri gerilime ve çevresel koşullara dayanıklı olmasıdır. Günümüzde orta gerilimde XLPE izoleli kablolar kullanılır. XLPE izoleli kablolar, orta gerilim sistemlerinde PVC izoleli kablolarla göre elektriksel ve mekanik özellikler dikkate alındığında daha çok avantajlıdır. Ülkemizde 36 kV dağıtım ve trafo merkezlerinde orta gerilim kablosu olarak 20,3/35 kV XLPE izoleli tek damarlı orta gerilim güç kabloları kullanılır. Standartlara göre farklı kodlar alır. YXC7V-R (TSE), N2XSY(VDE), 2XSY(IEC) olarak kodlanır. Ağır işletme şartlarının bulunduğu yerlerde, şalt tesislerinde, trafo merkezlerinde, endüstriyel tesislerde hem yer üstü hem de yer altında orta veya yüksek gerilim kablosu olarak kullanılır. Trafo merkezlerinde alçak gerilim tarafında 400 V enerji dağıtımında ise

genelde halojensiz XLPE yalıtımlı kablolar tercih edilir. 0,6/1 kV halojensiz, alev iletmeyen, XLPE izoleli N2XH veya NHXMH kablolar dağıtım ve trafo merkezlerinde kullanılması gereken daha güvenli işletme sağlayan kablolardır. Nedeni ise bir beton veya metal köşk içerisinde yangın tehlikesinin bulunmasıdır. Transformatörde veya orta gerilim hücrelerinde oluşabilecek bir patlama sebebiyle yangın çıkabilir. Dolayısıyla alçak gerilim kablosunun alev iletmeyen kablo seçilmesi can ve mal güvenliği açısından çok önemlidir. Trafo merkezlerinde PVC izoleli NYY, NYM, NYA ve NYAF kabloların yangın sırasında zehirli gaz çıkarma ve alev iletme riskinden dolayı daha az tercih edilmektedir.

3.2.9. Köşk

Trafo merkezleri orta gerilim hücrelerinden, transformatörden, alçak gerilim panolardan, kablolardan ve daha birçok ekipmandan oluşur. Bu ekipmanları dış çevresel ortamda koruyan kompakt tip yapılar köşk olarak adlandırılır. Sadece trafo merkezleri değil, jeneratörler, orta ve alçak gerilim dağıtım sistemleri ve birçok uygulama köşk içerisinde yapılabilmektedir. Trafo köşkleri insanların kolayca ulaşabileceği halka açık alanlarda kullanılabilir. Bu yapılar beton veya metal köşk olabilir. Köşk içinde YG bölümünde orta gerilim hücreleri, transformatör bölümünde dağıtım transformatörü ve AG bölümünde ise alçak gerilim panosu bulunur. Uygulamaya göre bazı ekipmanlar çıkarılabilir veya eklenebilir.

Beton köşklerin gövdesi, betonarmeden yapılmış, temel bölümü ve duvarların beraber döküldüğü kısım monoblok bir yapıdadır. Köşkün duvar ile temel kısmının birleştiği ara kesit ve bütün yapıyı saran ana kirişler betonarme gövdeye taşıyıcı özellik sağlar. Köşkün mahfaza sınıfı 10 olarak istenir. Zeminin beton ile birleştiği bölümde kablo giriş çıkış yerleri bulunur. Bu da kablonun yeraltından girişine olanak sağlar. Çatı yapısı özel tasarlanabilir olup, bir iç ark arızasında oluşabilecek yüksek basınçlı gaz çıkışlarının dış ortama atılabilmesi için çatının etrafında hava sirkülasyon kanalları bulunur. Betonarme gövdenin dış yüzeyi silikon bazlı dış cephe kaplama ile kaplanır. Yağmur veya kar yağışı durumlarında çatılar su sızıntısı olmayacak şekilde imal edilir. Köşkün kapıları operatörün rahat çalışması amacıyla 120 derece açılabilen 2 mm kalınlıkta pregalvaniz sacdan üretilmektedir. Genelde 400 kVA ve üzeri güçler için trafo köşkleri istenir. Orta gerilimden alçak gerilime indirici tip trafo merkezleri için kullanılır. Ekipmanlar dış ortama kapalı olduğu için enerji kesintisi en az düzeye iner.

Sistemin çalışması esnasında kapısının kapalı ve kilitli olması gerekir. Köşk üzerinde ayrıca tehlike sembolleri içeren çeşitli işaret plakaları, yazılar ve levhalar bulunur. Ülkemizde kullanılan beton köşkler TEDAŞ MYD/2000-036.C “Beton Mahfazalı Kompakt Tip YG/AG Dağıtım Transformatör Merkezleri Teknik Şartnamesi’ne” uygun şekilde üretilmelidir.

Metal köşkların kapısı, ara bölmeleri, havalandırma panjurları en az 2 mm kalınlıktaki sıcak daldırma galvanizli hazır çelik saclardan imal edilir. Galvanizli sacılar monte edilirken veya birleştirilirken, ark ya da oksijen kaynaklı malzemeler kullanılmaz. Çünkü birleştirme işlemi sırasında galvanize zarar gelebilir. Köşkün çatısı ısı yalıtımlıdır. Aksi belirtilmedikçe metal köşkün iç ve dış yüzeyleri RAL 7032 renginde toz boya ile boyanır. 50 kVA gibi küçük güçlerden 4000 kVA gibi büyük güçlere kadar metal köşklar kullanılabilir. Metal köşkün boyutu tasarımcı tarafından belirlenir. Köşk içine konulacak orta gerilim hücreleri, trafolar, AG panolar, akü redresör grupları veya jeneratörler içinde montajı yapılmış bir şekilde veya içi boş bir şekilde sevk edilebilir. Beton köşklere göre daha hafiflerdir. Kara yolu ile uzak yerlere taşınabilir. Yurt dışı projeleri için üretilmek istenen trafo merkezleri genelde metal köşklardan oluşur. Römork, treyler gibi araçlar kullanılarak mobil trafo merkezleri imal edilebilir. TEDAŞ’ın sac köşklere ilişkin herhangi bir şartnamesi bulunmamaktadır.

3.2.10. AG Panolar

AG panolar trafo merkezinin alçak gerilim bölümünde bulunur. Bir veya birden fazla gözlü panodan oluşabilir. Dağıtım transformatörün alçak gerilim buşinglerinden çıkan kablolar tüketiciiyi besleyecek AG panonun ana bara girişlerine bağlanır. Bir alçak gerilim panosunun içerisinde bakır baralar, ana besleme şalteri, çıkış şalterleri, termik manyetik kompakt şalterler, sigortalar, sayaçlar, enerji analizörleri, akım trafoları vs. ekipmanlar bulunur. Panolar sacıtan imal edilir. Ana karkas üretildikten sonra içine baralar monte edilir. Sonrasında ise şalterler, sigortalar, akım trafoları gibi ana elektrik malzemeleri eklenir. Birden fazla gözlü pano varsa bu panolar hem zemine hem de birbirlerine civatalarla bağlanır. AG pano içerisinde kullanılan ana bara ve açık tip devre kesicisi, bağlı oldukları devre yük akımlarını taşıyabilmeli, açma ve kapama yapabilmelidir. Bunun yanında kısa devre akımlarında açma ve kapamaya uygun olmalıdır. 3 veya 4 kutuplu kompakt tip hava yalıtımlı devre kesiciler kullanılır. Kompakt tip devre kesicilerin anma değerleri Çizelge 3.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.8: AG kompakt tip devre kesici anma değerleri.

Anma Değerleri	
Anma Frekansı	50 Hz
Anma İşletme Gerilimi Ue	400 VAC
Anma Yalıtım Gerilimi Ui	660 VAC
Dielektrik Deney Gerilimi	2500 VAC - Etken
Anma Akımı In	80-160-250-400-630-800-1000-1250- 1600-2000-2500-3200-4000 A

3.2.11. Akü Redresör Grupları

Trafo merkezlerinde bulunan doğru akım yüklerine sürekli bağlı olan, sabit gerilimli, şebeke gerilimi değişimine göre otomatik regülasyonlu yarı iletken tabanlı bir redresörden ve akü gruplarından oluşan yapıya akü redresör grubu denir. Akü redresör grupları bulunduğu trafo merkezindeki orta gerilim hücrelerinin motor ve açma-kapama bobinlerini, aydınlatma lambalarını, sinyal lambalarını vb. ekipmanları besler. Şebeke besleme gerilimi 220 VAC iken redresörün çıkış gerilimi 24 VDC veya 110 VDC olabilir. Orta gerilim hücrelerindeki kesicilerin motor ve açma-kapama bobinleri bu gerilimde çalışacak şekilde seçilir. Ayrıca trafo merkezindeki tüm aydınlatma lambaları da bu gerilimle çalışır. Akü redresör grupları anma çıkış gerilimleri ve akünün amper-saat (Ah) değerleriyle belirtilir. Örneğin bir akü redresör grubunun değeri 24 VDC 26 Ah olabilir. Redresörlerin giriş gerilimi 220/230 VAC ve çalışma frekansı 50 Hz olup yarı iletken tabanlı bir doğrultucu devresi ile bu gerilimi 24 veya 110 VDC gerilime çevirir. Akü grupları ise tam kapalı bakımsız kuru tip (VRLA) akülerden oluşur. Her bir akünün nominal gerilimi 12 VDC olup akım taşıma kapasitesi 7 ile 150 Ah arası değişebilir. Ek olarak taşıma kapasitesi gerekli görüldüğü durumlarda bu değerlerden daha yüksek olabilir. Çalışma ortam sıcaklığı (-20) ile (+40) derece arasındadır. Devrede şebeke gerilimi varken aküler MOSFET bazlı yüksek frekanslı bir şarj devresi vasıtasıyla şarj edilir. Şebeke enerjisi gittiğinde ise akülerde depolanan güç, trafo merkezindeki DC yük beslemelerine aktarılır. Akü redresör grupları, uygulamaya göre SCADA'ya uyumlu olabilir. SCADA'ya uyumlu akü redresör grupları, mikro işlemci kontrollü tristör ve switch mode tip IGBT'li redresör devreleri sayesinde yeteri miktarda kuru kontak ve uzaktan haberleşme protokolleriyle çalışır.

3.2.12. Güvenlik Ekipmanları

Trafo merkezlerinde operatörün gerekli kontroller veya bakım onarım için yapacağı işlemler sırasında operatörü orta gerilime karşı tedbirli davranmasını ve korunmasını sağlayan bazı ekipmanlar kullanılır. Bu ekipmanlar trafo merkezi köşkünün içerisinde mutlaka bulundurulmalıdır. Bunlar izole halı, izole eldiven, izole sehpa, tehlike levhası, izole manevra çubuğu, neon lambalı kontrol kalemi olabilir.

İzole halı, dağıtım merkezinde köşk zeminini topraklayarak yalıtımı sağlar. Orta gerilim hücrelerinin ve panoların bulunduğu yerlere döşenir. Personelin güvenli çalışmasını sağlar. İzole eldiven, personelin baraların enerjili bulunma ihtimaline karşı en azından elle yaptığı manevralar, bara sökme veya takma gibi işleri yaparken bir nevi güvenli çalışmasını sağlar. Personel eğer orta gerilim hücrelerinin içinde bir işlem yapacaksa, hücrelerin enerjisiz olduğundan emin olsa bile 36 kV'luk izole eldivenlerini giymelidir. İzole sehpa ise tesislerde bakım veya temizlik esnasında kullanılan, personelin toprakla olan bağlantısını kesen üzerine malzeme koyabileceği sehpadır. Personelin yüksekte çalışmasını kolaylaştırır. Üst zemini cam elyaftan üretilmiştir ve üzerinde ürünler kaymaz. Kolay fark edilmesi için personelin ortamda hemen ayırt edebileceği renklerde imal edilir. Tehlike levhası, sadece köşk içerisinde bakım onarım işleri yapan personelin değil dışarıdaki insanlar için de tesis çevresine konulan veya duvarlarına yapıştırılan güvenlik ekipmanlarıdır. İnsanlara trafo merkezinin ölüm tehlikesini içerdiği farkındalığını yaratır. İzole manevra çubuğu, orta gerilimde ayırıcı, kesici gibi anahtarlama elemanlarının açma-kapama işlemlerinde kullanılır. Hücrelerde manevra işlemi yapılırken mutlaka izole manevra çubuğu kullanılmalıdır. Kanca bağlantısı sayesinde kuvvet gerektiren işlemlerde kullanılır. Neon lambalı kontrol çubukları ise orta gerilim baralarında barada enerji olup olmadığını anlamaya yarayan güvenlik ekipmanıdır. Barada enerji olduğunda neon lambalı düzenekte ışık yanar. Gün ışığında bile ışığı fark edilecek şekilde imal edilir. Çubuk, kullanıcının isteğine göre uzayıp kısalabilir veya tek parça olarak da kullanılabilir.

4. MOBİL TRAFÖ MERKEZİ TASARIMI

Bilim ve teknolojinin gelişmesi, enerji kesintisinin minimum düzeye indirilmesinde etkin rol oynamaktadır. Sadece enerjinin sürekliliği değil, daha fazla enerji tüketimi için de ihtiyacın karşılanması ve buna göre önceden birçok tedbirin alınması gerekmektedir. Modern toplumlarda uzun süreli enerji kesintilerine artık tahammül kalmamaktadır. Günümüzde insanların akıllı telefonlarını bile şarj etmek için yanlarında yedek batarya taşıdıkları düşünülecek olursa, insanların enerji kesintilerine çok fazla tahammülü olmadığı anlaşılabilmektedir. Evlerde elektrik kesintisi yaşandığında bile hemen tüketiciler elektrik dağıtım şirketlerini telefon veya mail yağmuruna tutmaktadırlar. Konutların, apartmanların dışında elektrik enerjisine daha çok ihtiyacı olan hastaneler, fabrikalar, okullar vb. gibi yapılarda elektrik kesintisi olması durumunda can ve mal kayıpları gelebilir, büyük maddi zararlar oluşabilir. Bu tür durumların üstesinden gelmek, bir nevi çözüm sunabilmek adına enerji kesintileri süresince tüketicilerin enerjisiz kalmaması adına mobil trafo merkezlerinin kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada 1600 kVA 34,5/0,4 kV'luk bir mobil trafo merkezinin tasarımı, mimari boyutlandırılması ve elektriksel hesapları yapılacaktır.

4.1. Mobil Trafo Merkezi Kullanımına İhtiyaç Duyulan Durumlar

Trafo merkezlerinin bakım-onarım durumlarında beslediği bölge, bakım sırasında enerjisiz kalmaması için geçici olarak mobil trafo merkezleri ile beslenebilir. Örneğin bir mahallenin trafo merkezi eski tip, açık şalt tesisi olabilir. Trafo merkezi eski tip bir transformatör binası, açık tip kesici ve ayırıcılardan oluşabilir. Artık trafo merkezinin yeni tip, TEDAŞ şartnamelerine uygun beton köşk, SF6 gazlı kesicili ve ayırıcılı modüler hücrelerden oluşan kompakt tip monoblok bir beton köşk içerisinde bir trafo merkezi olarak restore etmek gerekebilir. Üretilen yeni tip trafo merkezinin fabrika testleri, saha ve montaj işleri, devreye alınması ve TEDAŞ kabulü biraz zaman almaktadır. Bu tür durumlarda trafo merkezinin restorasyonu sırasında mobil trafo merkezleri geçici çözüm olarak kullanılabilir. Mobil trafo merkezleri sadece geçici enerji ihtiyaçlarında değil, hızlı enerji ihtiyacı artışlarında da şebekesi kapasitesini artırmak için kullanılmaktadır. Örneğin bir bölgeye göç dalgası

yaşandığında veya nüfusu hızla arttığında o bölgeyi besleyen transformatör merkezinin gücü artık yeterli olmayabilir. Bu durumda ek enerji desteği olarak mobil trafo merkezleri kullanılabilir. Uzun süreli, ciddi enerji kesintilerinde ve trafo arızalarında mobil trafo merkezi kullanılması önerilmektedir.

Bir bölgede birçok olay enerji kesintilerine neden olabilir. Bu nedenlerden ilk akla gelenlerden biri doğal afetlerdir. Depremler, heyelanlar, fırtınalar, kasırgalar vb. doğa olayları elektrik direklerinin yıkılmasına, kısa devre arızalarına, yüksek veya orta gerilim dağıtım merkezlerinin zarar görmesine sebep olabilir. Bunun yanında doğal afet sebebiyle bir trafo merkezinde transformatör patlaması veya orta gerilim hücre içerisindeki akım-gerilim transformatörlerinin patlaması gibi nedenlerle trafo merkezi çalışmaz hale gelebilir, beslediği bölgeyi enerjisiz bırakabilir. Doğal afet veya trafo merkezinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza sebebiyle enerjisiz kalan bölge geçici olarak mobil trafo merkezleri ile beslenebilir ve bölgenin geçici enerji ihtiyacı giderilebilir. Bir ülkede savaş durumu söz konusu olabilir. Havadan yağın bombalar, füzeler, düşen uçaklar vb. durumlar nedeniyle bölgedeki hastaneler, üretim santralleri, fabrikalar, askeri bölgeler, trafo merkezleri zarar görebilir. Savaş bölgesinde, ilk hedef alınan noktalardan biri transformatör merkezleridir. Savaş durumlarında da mobil trafo merkezleri enerji ihtiyaçlarında en çok talep edilen ürünler arasında yer alır. Transformatör merkezlerinde büyük hasarlar meydana gelir. Savaş esnasında yeni bir trafo merkezi inşa etmek yerine enerji ihtiyacı için mobil trafo merkezleri kullanmak önemli bir çözüm olmaktadır.

Mobil trafo merkezlerinin kullanılma nedenlerinden biri de enerjinin uzun mesafelere götürülerek kullanılması durumudur. Yüksek güce ihtiyacı olan bölgelere düşük akımlarla enerji ihtiyacını sağlayabilmek için kullanılmaktadır. Örnek olarak bir tünel veya baraj inşaatı projesi sırasında, bu tür şantiyelerin yüksek güç ihtiyacı bulunur. Şantiyelerin uzunluğu 2, 3, 5 veya 10 kilometrelere çıkabilir. Yüksek güç ihtiyacını 400 V alçak gerilimde uzun mesafelerde taşımak çok tercih edilmez. Çünkü enerji kayıpları artar, kablo kesitleri artar ve maliyet yükselir. Dolayısıyla bu tür yüksek mesafelere enerjiyi, orta gerilimde taşıyıp daha sonra alçak gerilime düşürülmesi tercih edilir. Şantiye bölgesine kompakt tip beton köşklü bir trafo merkezi kurmak yerine, mobil trafo merkezlerinin kullanılması daha avantajlı olmaktadır. Ayrıca dağıtım şebekesinin ulaşmadığı ve coğrafi koşulların zor olduğu bölgelere dağıtım şebekesi

kurmak hem zor hem de daha maliyetli olur. Bu tür bölgelere genelde askeri üsler veya fabrikalar kurulduğu için bu bölgelere özel mobil trafo merkezleri kullanmak daha avantajlı gözükmemektedir.

Mobil trafo merkezlerinin hızlı enerji ihtiyacını karşılaması, minimum alan kaplaması, minimum bakım gereksinimi, hızlı işletme ve devreye alma süresi, düşük yatırım ve işletme maliyeti nedeniyle anlatılan olası durumlarda kullanılması hem üreticiler hem de tüketiciler açısından büyük avantajlar sağlamaktadır.

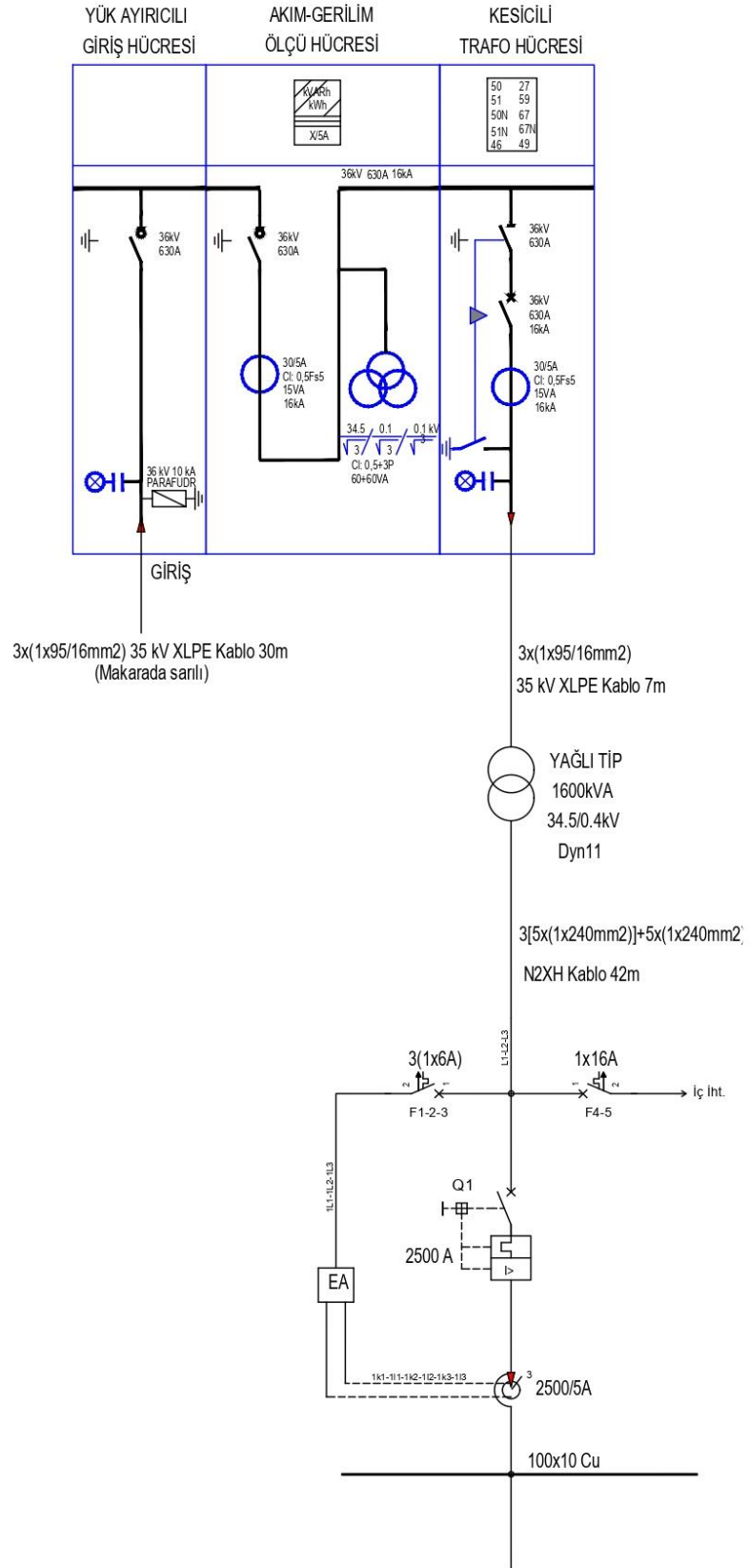
4.2. Mobil Trafo Merkezi Hakkında Genel Bilgiler

Tüketicinin orta gerilim dağıtım seviyesinde enerji talebi kesintisiz karşılanması gerekmektedir. Türkiye'nin herhangi bir dağıtım şebekesi bölgesinde çeşitli sebeplerden dolayı 34,5 kV'luk trafo merkezi geçici olarak kullanılamaz hale gelebilir. Bu yüzden dağıtım seviyesinde genelde kullanılan 630, 1000, 1250, 1600, 2000 ve 2500 kVA'lık mobil trafo merkezleri her ihtimale karşı hazırda tutulmalıdır. Bu tez çalışmasında örnek bir 1600 kVA gücünde 34,5/0,4 kV gerilim seviyesinde OG/AG mobil trafo merkezi tasarımı yapılacaktır. Genel olarak standart trafo merkezleri bir beton köşk içerisinde kurulur. Ancak tasarlanacak trafo merkezinin mobil olması nedeniyle metal (sac) köşk içerisinde kurulacaktır. Metal köşk, beton köşke daha hafif bir yapılardır. Dolayısıyla kara yolu ile daha uzak noktalara kolaylıkla taşınır. Tasarımsal olarak istenilen ölçülere göre uygulamaya özel metal köşk imal edilebilir. Mobil trafo merkezlerinde metal köşkler bir yarı römork üzerinde taşınırlar. Böylece kara yolu ile istenilen noktalara ulaştırılabilir. Mobil trafo merkezindeki donanım ve elektriksel teçhizatlar, bir adet yarı römork üzerinde bir metal köşk içerisinde bulunmaktadır. Mobil trafo merkezinde kullanılacak ekipmanlar aşağıdaki gibidir.

1. Bir adet yağlı tip dağıtım transformatörü
2. Ayırıcı, yük ayırıcı, kesici, ölçü transformatörleri, parafudr ve koruma rölelerini içeren toplam üç adet hava izoleli metan mahfazalı orta gerilim modüler hücreler
3. Bir adet alçak gerilim panosu
4. Bir adet akü ve redresör grubu
5. Orta gerilim ve alçak gerilim enerji kabloları
6. Kablo başlıkları

7. Orta gerilim güvenlik malzemeleri
8. Bir adet metal (sac) köşk
9. Bir adet yarı romörk

Yarı römork üzerine yerleştirilen metal köşk, orta gerilim bölümü, transformatör bölümü ve alçak gerilim pano bölümünden oluşmaktadır. Bu ekipmanlar yarı römork üzerinde olup bir adet çekici tarafından taşınmaktadır. Orta gerilim odasında modüler hücreler, akü redresör grubu ve güvenlik malzemeleri bulunurken, transformatör odasında yağlı tip dağıtım transformatörü, alçak gerilim pano odasında ise dağıtım panosu ve kablolar makaraya sarılı bir şekilde yer almaktadır. Orta gerilim enerji kabloları transformatör ve hücre arasında bağlantısı yapılmış şekilde hazır vaziyette bulunacaktır. Hat giriş kabloları dışarıdan dağıtım şebekesinden gelerek trafo merkezine köşk altındaki kablo giriş deliklerinden yük ayırıcılı giriş hücresine bağlanacaktır. Orta gerilim kesici, ayırıcı, yük ayırıcı, ölçü transformatörleri, parafudr ve koruma röleleri hücre içerisinde bulunacaktır. Dağıtım şebekesinden 36 kV XLPE kablolarla gelen hat, öncelikle yük ayırıcılı giriş hücresine girecektir. Ölçü hücresiyle elektrik enerjisi ölçümü yapılacaktır. SF6 gazlı kesicili, koruma röleli trafo koruma hücresi ile elektrik enerjisi, 36 kV XLPE kablo vasıtasıyla dağıtım transformatörüne aktarılmaktadır. Dağıtım transformatörü, gerilimi 34,5 kV'dan 0,4 kV'a dönüştürerek N2XH alçak gerilim enerji kabloları vasıtasıyla alçak gerilim panosuna taşınacaktır. 2500 A'lık alçak gerilim kesicisi bulunan panodan elektrik enerjisi tüketicilere ulaştırılacaktır. Mobil trafo merkezinin elektrik tek hat şeması Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Mobil trafo merkezi elektrik tek hat diyagramı.

4.3. Mobil Trafo Merkezi Tasarım Hesapları

4.3.1. Yağlı Tip Dağıtım Transformatörü

Transformatörler, trafo merkezinin en önemli elemanlarından biridir. Yüke bağlı olarak doğru güçte ve standartlarda seçilmesi gerekmektedir. Elektriksel koruması doğru bir şekilde yapılmalıdır. Tasarlanacak mobil trafo merkezinde TEDAŞ-MLZ/99-032.E “Hermetik Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi’ne” uygun hermetik yağlı tip 1600 kVA gücünde 34,5/0,4 kV’luk bir dağıtım transformatörü kullanılacaktır. Transformatörün teknik değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1: Dağıtım transformatörü teknik değerler tablosu.

Transformatör Tipi	Yağlı Tip, Hermetik
Soğutma Tipi	ONAN
Anma Gücü	1600 kVA
Primer Gerilimi	33000 V
Sekonder Gerilimi	400 V
YG Boşta Gerilim Kademe Değiştirici	(+2 -3) x4.55%
Frekans	50 Hz
Faz Sayısı	3
Bağlantı Grubu	Dyn11
Kısa Devre Gerilimi (Uk)	6%
Boşta Çalışma Kaybı (Po)	1380 W
Yükte Çalışma Kaybı (Pk)	13200 W
Sargı Malzemesi (YG/AG)	AL/AL
Boyutlar (UzunlukxGenişlikxYükseklik)	1700x1150x2100 mm
Toplam Ağırlık	3750 kg

Transformatör boşta kademe değiştiriciye sahiptir. Altı kademelidir ve orta kademe 33 kV olup diğer gerilim kademeleri Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2: Transformatör boşta gerilim kademeleri.

Kademe	1	2	3	4	5	6
Primer Gerilimi (V)	28500	30000	31500	33000	34500	36000
Kademe Dönüştürme Oranı	71,25	75	78,75	82,5	86,25	90
Sekonder Gerilimi (V)	400	400	400	400	400	400

Türkiye’de genelde orta gerilim dağıtım şebekelerinde 31,5 kV veya 34,5 kV gerilimi kullanılır. Mobil trafo merkezi, bağlanacak şebekenin primer gerilimine göre transformatör gerilim kademesi 3. veya 5. kademeye alınmalıdır. Tasarımda dağıtım şebekesi 34,5 kV olarak düşünülmüştür. Transformatörün tam yükte primer nominal ve kısa devre akımı;

$$S = \sqrt{3}.U.I_n \quad (4.1)$$

$$I_n = \frac{1600}{\sqrt{3}.34,5} = 26,77 \text{ A} \quad (4.2)$$

$$I_k = \frac{I_n}{U_k} \times 100 = \frac{26,77}{6} \times 100 = 446,16 \text{ A} \quad (4.3)$$

Transformatörün tam yükte sekonder nominal ve kısa devre akımı;

$$I_n = \frac{1600}{\sqrt{3}.0,4} = 2309,4 \text{ A} \quad (4.4)$$

$$I_k = \frac{I_n}{U_k} \times 100 = \frac{2309,4}{6} \times 100 = 38,49 \text{ kA} \quad (4.5)$$

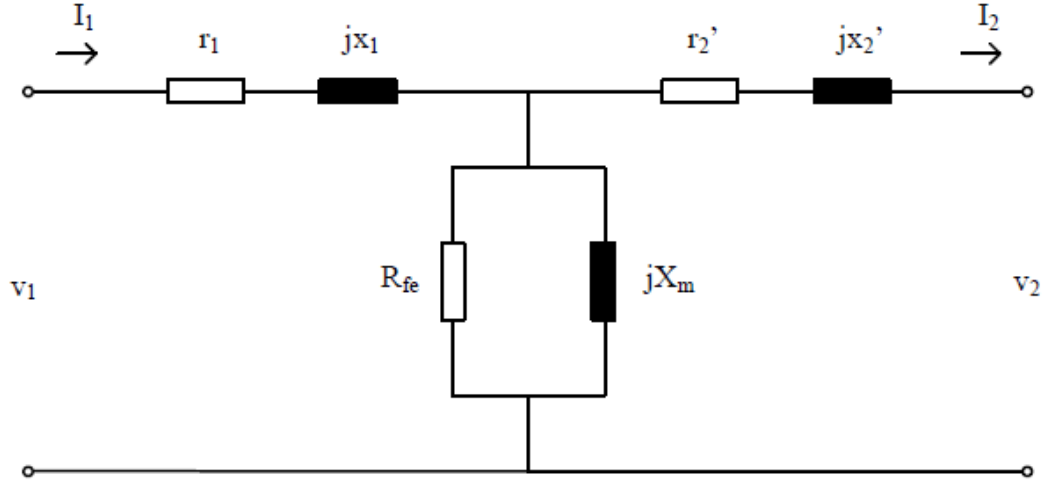
Transformatörün kısa devre gerilim değerleri;

$$U_r = \frac{P_k}{S_n} \times 100 = \frac{13,2}{1600} \times 100 = 0,825 \quad U_r = \%0,825 \quad (4.6)$$

$$U_x = \sqrt{U_k^2 - U_r^2} = \sqrt{6^2 - 0,825^2} = 5,94 \quad (4.7)$$

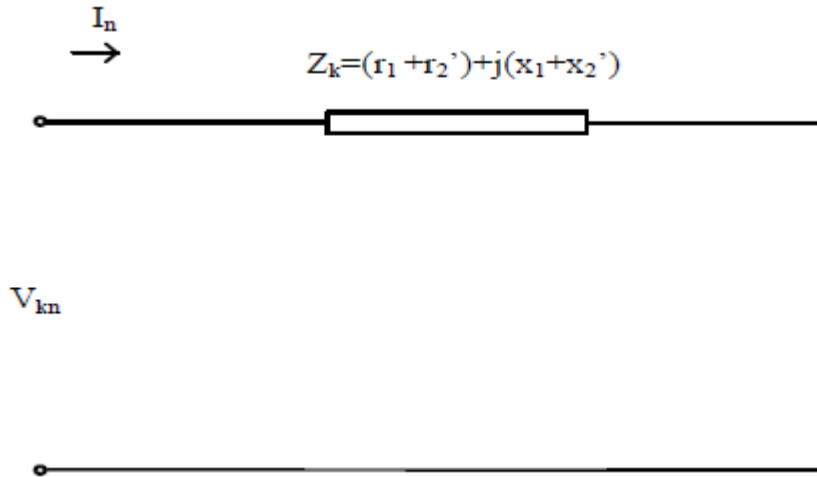
$$U_x = \%5,94 \quad (4.8)$$

Genel olarak bir transformatörün primere indirgenmiş T tipi eş değer devresi Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Transformatörün primere indirgenmiş eş değer devre modeli.

Burada r_1 ve x_1 transformatörün primer devresi sargı direncini ve reaktansını belirtirken, r_2' ve x_2' ise primere indirgenmiş sekonder devresi sargı direncini ve reaktansını belirtir. R_{fe} transformatörün nüvedeki manyetik direncini, X_m ise manyetik reaktansı simgelemektedir. Bu iki parametre transformatörün nüve kayıplarını temsil eder. Transformatörün bu parametreleri boştaki çalışma ve kısa devre deneyleriyle elde edilir. Kısa devre deneyi ile transformatörün sargı dirençleri ve reaktansları, boştaki çalışma deneyi ile manyetik direnci ve reaktansı hesaplanır. Transformatörün kısa devre deneyi eş değer devresi Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Transformatörün kısa devre deneyi eş değer devre modeli.

Kısa devre çalışma deneyinde transformatörün sekonder devresi kısa devre edilir. Primer tarafına ise nominal akım oluşacak şekilde bir gerilim uygulanır. Uygulanan bu gerilim değerine transformatörün bağıl kısa devre gerilimi denir. Kısa devre testinde transformatörün manyetik devresinde çok küçük bir akım geçtiğinden bu değer ihmal edilir. Mobil trafo merkezinde kullanılacak transformatörün kısa devre deneyine göre primer ve sekonder devreleri empedans parametreleri hesaplanmaktadır.

$$P_k = 13200 \text{ W} \quad (4.9)$$

$$I_n = 26,77 \text{ A} \quad (4.10)$$

$$P_k = \sqrt{3} \cdot V_k I_n \cos \alpha_k \quad (4.11)$$

$$\frac{U_k}{100} = \frac{V_k}{V_n} \quad (4.12)$$

$$\frac{6}{100} = \frac{V_k}{34500} \quad (4.13)$$

$$V_k = 2070 \text{ V} \quad (4.14)$$

$$13200 = \sqrt{3} \cdot 2070 \cdot 26,77 \cdot \cos \alpha_k \quad (4.15)$$

$$\cos \alpha_k = 0,137 \quad (4.16)$$

$$Z_k = \frac{V_k}{\frac{\sqrt{3}}{I_n}} = \frac{2070}{\frac{\sqrt{3}}{26,77}} = 44,63 \text{ Ohm} \quad (4.17)$$

$$R_k = Z_k \cdot \cos \alpha_k = 44,63 \cdot 0,137 \quad (4.18)$$

$$R_k = 6,11 \text{ Ohm} \quad (4.19)$$

$$R_k = r_1 + r'_2 \quad (4.20)$$

$$X_k = Z_k \cdot \sin \alpha_k = 44,63 \cdot 0,99 \quad (4.21)$$

$$X_k = 44,18 \text{ Ohm} \quad (4.22)$$

$$X_k = x_1 + x'_2 \quad (4.23)$$

Primer ve primere indirgenmiş sekonder devredeki sargı dirençleri ve kaçak reaktansları birbirlerine çok yakın değerde olduklarından eşit olarak kabul edilebilir.

$$r_1 \sim r'_2 \quad (4.24)$$

$$x_1 \sim x_2' \quad (4.25)$$

$$r_1 = 3,07 \text{ Ohm} \quad (4.26)$$

$$r_2' = \dot{u}^2 \cdot r_2 \quad (4.27)$$

$$3,07 = \left(\frac{34500}{400}\right)^2 \cdot r_2 \quad (4.28)$$

$$r_2 = 0,0004125 \text{ Ohm} \quad (4.29)$$

$$x_1 = 22,09 \text{ Ohm} \quad (4.30)$$

$$X = 2\pi fL \quad (4.31)$$

$$L_1 = \frac{X}{2\pi f} = \frac{22,09}{2\pi 50} = 0,0704 \text{ H} \quad (4.32)$$

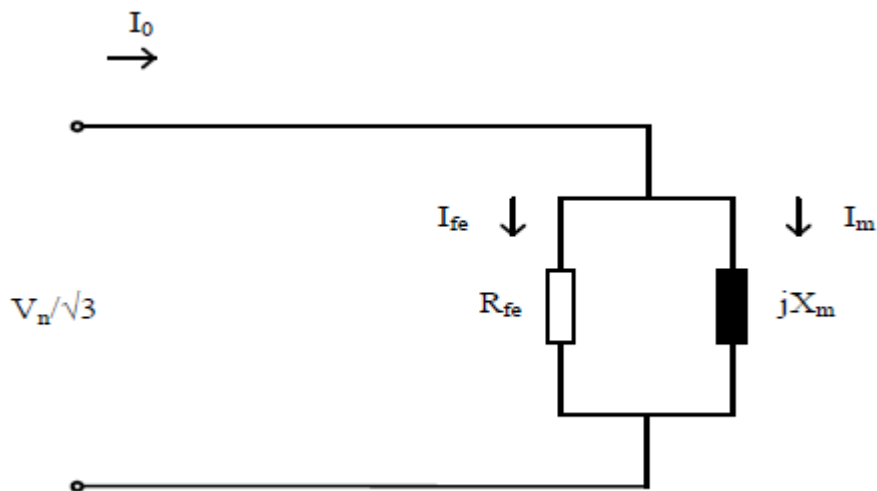
$$x_2' = \dot{u}^2 \cdot x_2 \quad (4.33)$$

$$22,09 = \left(\frac{34500}{400}\right)^2 \cdot x_2 \quad (4.34)$$

$$x_2 = 0,00297 \text{ Ohm} \quad (4.35)$$

$$L_2 = \frac{X}{2\pi f} = \frac{0,00297}{2\pi 50} = 0,00000946 \text{ H} \quad (4.36)$$

Transformatörün boşa çalışma deneyinden manyetik direnci ve reaktansı hesaplanmaktadır. Boşa çalışma deneyinin eş değer devresi Şekil 4.4'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Transformatörün boşa çalışma deneyi eş değer devre modeli.

Transformatörün örnek test raporundan sekonder ortalama boşa çalışma akımı (I_0) 4,117 A ölçülmüştür [10].

$$P_0 = 1380 \text{ W} \quad (4.37)$$

$$I_0 = 4,117 \text{ A} \quad (4.38)$$

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot U_0 I_0 \cos\alpha_0 \quad (4.39)$$

$$1380 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 4,117 \cdot \cos\alpha_0 \quad (4.40)$$

$$\cos\alpha_0 = 0,4838 \quad (4.41)$$

Boşa çalışma deneyinden sekondere indirgenmiş R_{fe} ve X_m değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$I'_{fe} = I_0 \cdot \cos\alpha_0 = 4,117 \cdot 0,4838 = 1,99 \text{ A} \quad (4.42)$$

$$I'_m = I_0 \cdot \sin\alpha_0 = 4,117 \cdot 0,875 = 3,60 \text{ A} \quad (4.43)$$

$$Z'_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{4,117} = 56,09 \text{ Ohm} \quad (4.44)$$

$$R'_{fe} = Z'_0 \cdot \cos\alpha_0 = 56,09 \cdot 0,4838 = 27,13 \text{ Ohm} \quad (4.45)$$

$$X'_m = Z'_0 \cdot \sin\alpha_0 = 56,09 \cdot 0,875 = 49,07 \text{ Ohm} \quad (4.46)$$

Primere indirgenmiş R_{fe} ve X_m değerleri ise dönüştürme oranı vasıtasıyla hesaplanır.

$$R_{fe} = \dot{u}^2 \cdot R'_{fe} = \left(\frac{34500}{400}\right)^2 \cdot 27,13 = 201.821,76 \text{ Ohm} \quad (4.47)$$

$$X_m = \dot{u}^2 \cdot X'_m = \left(\frac{34500}{400}\right)^2 \cdot 49,07 = 365.034,79 \text{ Ohm} \quad (4.48)$$

$$X_m = 2\pi f L_m \quad (4.49)$$

$$L_m = \frac{X}{2\pi f} = \frac{365034,79}{2\pi 50} = 1161,94 \text{ H} \quad (4.50)$$

Yapılan hesaplar sonucunda mobil trafo merkezinin dağıtım transformatörü parametre değerleri Çizelge 4.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3: 1600 kVA dağıtım transformatörü parametre değerleri.

Parametreler	Değer	Birim
Güç (S)	1600	kVA
Frekans (f)	50	Hz
Primer Gerilimi (V1)	34,5	kV
Sekonder Gerilimi (V2)	0,4	kV
Yükte Çalışma Kaybı (Pk)	13200	W
Boşta Çalışma Kaybı (Po)	1380	W
Kısa Devre Gerilimi (%Uk)	6	-
Ortalama Boşta Çalışma Akımı (Io)	4,117	A
Boşta Çalışma Hat Gerilimi (Vo)	400	V
Primer Sargı Direnci (r1)	3,07	Ohm
Sekonder Sargı Direnci (r2)	0,0004125	Ohm
Primer Sargı İndüktansı (L1)	0,0704	H
Sekonder Sargı Direnci (L2)	0,00000946	H
Manyetik Direnç (Rfe)	201821,76	Ohm
Manyetik İndüktans (Lm)	1161,94	H

Transformatör TEDAŞ-MLZ/99-032.E “Hermetik Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi şartnamesi gereği alüminyum sargılı, A sınıfı düşük kayıplı bir transformatördür. Transformatörü daha düşük kayıplı üretmek, daha düşük dirençli olarak sargılarını oluşturmak anlamına gelir. Bu da, daha büyük kesitli iletkenlerin kullanılmasını gerektirir. Daha büyük kesitli iletkenler kullanıldığında, primer ve sekonder sargılarının hacimleri artar. Böylece nüvenin ve transformatör kazanının hacminin artmasına neden olur. Nüvenin hacmi artarsa transformatörün boşta kayıpları (Po) artar. Transformatör üretiminde daha büyük kesitli iletkenler kullanarak yükte kayıpların azaltılması sağlanırken, büyüyen nüve hacminden artan nüve kayıplarını minimuma indirmek için daha kaliteli silisli sacların kullanılması gerekir. Transformatörün hacminin artması A sınıfı düşük kayıplı transformatörlerinin üretim maliyetini artırır. Bu nedenle daha yüksek maliyetli transformatörler olmaktadır. Ancak diğer transformatörlerle karşılaştırıldıklarında, daha verimli oldukları görülmektedir. Yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen verimlilik bakımından daha avantajlı olan A sınıfı düşük kayıplı dağıtım transformatörler bu nedenle tercih sebebi olmaktadır.

Transformatörün verimi **(4.51)** formülü ile hesaplanabilmektedir.

$$V = \frac{S.n.100}{(S.n)+Po+(Pk.n^2)} \quad (4.51)$$

Transformatörün %25, %50, %75, %100 ve %125 yüklenme oranına göre verim hesapları Çizelge 4.4’de belirtilmektedir.

Çizelge 4.4: Transformatörün yüklenme oranına göre verim değerleri.

Yük Faktörü	25%	50%	75%	100%	125%
Verim	99,45	99,42	99,27	99,10	98,91

4.3.2. Kablo Kesiti Hesabı

Trafo merkezinde OG sargılarının nominal yükteki akımı 26,77 A’dır. Primer bölümde her bir faz için 36 kV (1x95/16 mm²) kesitinde bakır iletkenli XLPE izoleli orta gerilim enerji kablosu kullanılacaktır. Çizelge 4.5’deki değerlere göre 1x95/16 mm² XLPE kablo havada 375 A taşıyabilmektedir. Dolayısıyla seçilen kablo uygundur.

Çizelge 4.5: 1x95/16 XLPE kablo teknik değerler [16].

Normal Kesit (mm²)	Kablo Dış Çapı (mm²)	Akım Taşıma Kapasitesi		Çalışma İndüktansı (mH/Km)	Çalışma Kapasitesi (µF/km)	İletken DC Direnci (20°C) (Ohm/Km)
		Havada	Toprakta			
1x95/16	38.00	375	339	0,6	0,15	0,193

Trafo merkezinin AG bölümün tam yükteki akımı 2309,4 A’dır. Sekonder sargılarında her bir faz için 5 adet 0,6/1 kV (1x240 mm²) kesitinde N2XH enerji kablosu kullanılacaktır. Çizelge 4.6’deki değerlere göre (1x240 mm²) N2XH kablosu havada 605 A taşıyabilmektedir. Dolayısıyla faz başına 5 adet (1x240 mm²) kesitinde kablo seçilirse 3025 A’a kadar akım taşıyabilir. Dolayısıyla 2309,4 A için seçilen kablo uygundur.

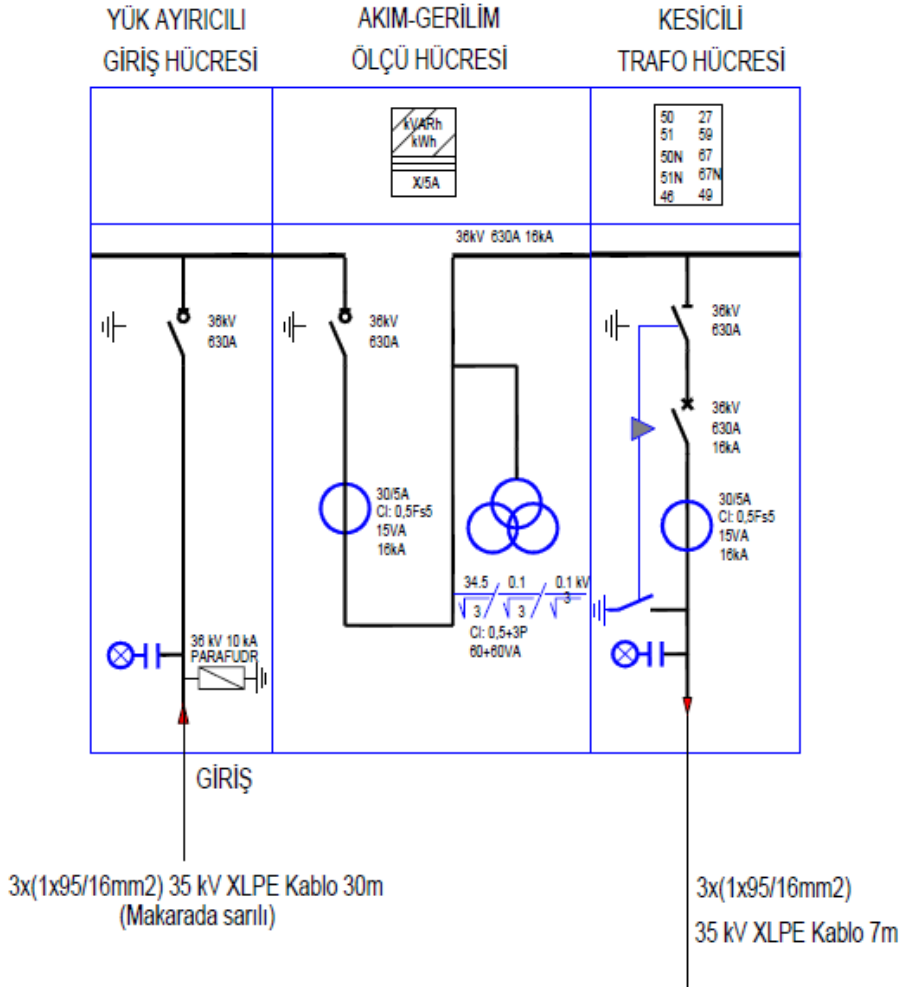
Çizelge 4.6: 1x240 N2XH kablo teknik değerler [17].

Normal Kesit (mm²)	Kablo Dış Çapı (mm²)	Akım Taşıma Kapasitesi		İletken DC Direnci (20°C) (Ohm/Km)
		Havada	Toprakta	
1x240	26	605	521	0,0754

4.3.3. Orta Gerilim Modüler Hücreler

Mobil trafo merkezi tasarımında 36 kV 630 A 16 kA hava yalıtımlı metal mahfazalı modüler hücreler kullanılacaktır. Bu hücreler TEDAŞ-MYD/95-007.E “YG Hava

Yalıtımlı Metal Mahfazalı Modüler Anahtarlama ve Kontrol Düzenleri Teknik Şartnamesi'ne uygun olarak seçilmiştir. Orta gerilim elektrik tek hat şeması Şekil 4.5'de belirtilmektedir.



Şekil 4.5: Mobil trafo merkezi orta gerilim elektrik tek hat diyagramı.

Şekil 4.5'de görüldüğü gibi tasarımda; bir adet yük ayırıcılı giriş hücresi, bir adet yük ayırıcılı akım-gerilim transformatörlü ölçü hücresi ve bir adet koruma röleli kesici trafo koruma hücresi kullanılmıştır. Hücrelerin ortak ana baraları sürekli 630 A akım taşıyabilecek kapasitededir. Mobil trafo merkezinde kullanılacak hücreler, IEC 62271-200 standardına göre servis sürekliliği kaybı LSC2A'dır. Canlı parçalar ile ulaşılabilir açık bölmeler arasındaki bölmelendirme PI'dır. İç ark dayanımı IAC A FL: 16 kA- 1s şeklindedir. Toz ve suya karşı TS 3033 EN 60529 standardına göre koruma sınıfı IP 3X'dir [15].

Hücreler, ana bara bölmesi, anahtarlama elemanı, kablo bağlantı bölümü, işletme mekanizması ve alçak gerilim bölmesi olmak üzere beş bölümden oluşur. Ayrıca her

hücrede üç faz birbirinden izoleli baralar, topraklama ayırıcısı, işletme mekanizmaları, neon lambalı gerilim göstergeleri, tek damarlı kuru tip kablolar için bağlantı terminalleri ve 150 W'lık ısıtma elemanı standart olarak bulunmaktadır. Hücrelerde her bir fazda birer adet olmak üzere toplam üçer adet kapasitif izolatör bulunmaktadır. Kapasitif izolatör sayesinde baralarda gerilim olması durumunda hücre üzerinde bulunan ışıklı gerilim göstergesi baralarda gerilim olduğuna dair bilgi vermektedir.

4.3.3.1. Yük Ayırıcılı Giriş Hücresi

Yük ayırıcılı giriş hücresinin yük ayırıcısı 36 kV 630 A olarak seçilmiştir. Sadece kendi nominal akımı sınırları içerisinde açma kapama yapabilirler. Seçilen yük ayırıcısı 630 A akımdan fazla bir akım gelmesi durumunda sistemi korur. Kısa devre koruması yapmaz.

Bu hücre içerisine her bir faza bir adet, toplamda 3 adet olmak üzere 36 kV 10 kA orta gerilim metal oksit parafudr bulunmaktadır. Dağıtım şebekesinden gelecek 36 kV 1x95mm²'lik XLPE orta gerilim kablosu bu giriş hücresine bağlanacaktır. Dağıtım şebekesinin mobil trafo merkezine enerji girişi bu hücre tarafından sağlanacaktır.

4.3.3.2. Yük Ayırıcılı Akım-Gerilim Ölçü Hücresi

Yük ayırıcılı akım-gerilim ölçü hücresindeki yük ayırıcısı 36 kV 630 A olarak seçilmiştir. Ek olarak ölçü yapılması için her bir faza bir adet, toplamda 3 adet olmak üzere akım ve gerilim transformatörleri yer almaktadır. Bunların yanı sıra hücre üzerinde bir adet ampermetre, bir adet voltmetre, bir adet gerilim komütatörü ve bir adet X/5A kombi sayaç bulunmaktadır.

Mobil trafo merkezindeki dağıtım transformatörün gücü 1600 kVA ve primer gerilimi 34,5 kV olduğundan sistemin nominal akımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S = \sqrt{3}.U.I_n \quad (4.52)$$

$$I_n = \frac{1600}{\sqrt{3}.34,5} = 26,77 \text{ A} \quad (4.53)$$

Ölçü hücresinden geçecek nominal akım 26,77 A'dır. Dolayısıyla akım transformatörünün primer akımı 30 A, sekonder akımı 5 A seçilecektir. Akım transformatörü 30/5A'lık bir oranda dönüştürme yapacaktır. Transformatörün manyetik doyması, nominal akımın 5 katından küçük olacağından Fs5 sınıfı seçilmiştir. Hassasiyet olarak akım transformatörünün primer sargılarından nominal

akım akarken, sekonder sargılarında % olarak en fazla %0,5 sapma yapması için doğruluk sınıfı 0,5 seçilmiştir. Bu durumda primerde 26,77 A akarken sekonder sargılarında sekonder sargılarında anma akımının %100,5 ile %99,5 arasında bir akım akacaktır. Transformatörün sekonder sargıları bir adet kombi sayaca bağlanacaktır. Kombi sayacın ve bağlantılarda kullanılacak kablo gücü 15 VA değerini geçmeyeceği varsayıldığından akım transformatörünün gücü 15 VA olarak seçilmiştir.

Hücrelerin kısa devre kesme kapasitesi 16 kA'dır. Oluşabilecek herhangi bir kısa devre durumunda akım transformatörü termik bakımdan zorlanır. Akım trafosunun kısa devre anında 1 saniye boyunca dayanabileceği maksimum bir değer vardır. 1 saniye boyunca zarar görmeden taşıyabileceği akım değeri termik anma akımı olarak ifade edilir. Dolayısıyla nominal akımı 30 A olan bir akım transformatörün termik anma akımı;

$$I_{th} = \frac{16000}{30} = 533 \quad (4.54)$$

olarak bulunur. I_{th} değeri akım transformatörün anma akımının 600 katı olarak ($600I_n$) olarak seçilmiştir. Sonuç olarak ölçü hücresinde kullanılacak akım transformatörü 36 kV 30/5A C1:0,5Fs5 15 VA, $I_{th}=600I_n$ olarak seçilmiştir.

Tasarlanacak ve simülasyonu yapılacak mobil trafo merkezinin işletme gerilimi 34,5 kV'dur. Ölçü hücresinde çift sekonderli bir gerilim transformatörü kullanılması uygun görülmüştür. Bunun nedeni ise sekonder uçlarından bir tanesi bulunduğu ölçü hücresindeki kombi sayaca, diğeri ise kesicili trafo koruma hücresindeki koruma rölesine bağlanacak olmasıdır. Böylece kesicili trafo koruma hücresinde bir adet fazladan gerilim transformatörü monte edilmesine gerek kalmayacaktır. Gerilim transformatörlerinin sekonder uçlarındaki gerilim faz-faz arası 100 V, faz-nötr arası 57,7 V'dur.

Gerilim transformatörün tek faz, faz-nötr primer gerilimi $34,5/\sqrt{3}$ kV olup, sekonder gerilimi ise $0,1/\sqrt{3}$ kV'dur. Transformatör çift sekonderli olduğu için primer ve sekonder gerilimleri $34,5/\sqrt{3} - 0,1/\sqrt{3} - 0,1/\sqrt{3}$ kV diye belirtilir. Doğruluk sınıfı ise sekonder uçlarında indüklenen gerilimin yüzdesel olarak pozitif veya negatif yönde ne kadar sapacağını belirteceğinden sekonder uçlarından sayaca giden ölçme devresinde 0,5 olarak seçilirken, kesicili hücrede röleye giden koruma devresinde ise 3P olarak seçilmiştir. Transformatörün anma gücü her bir sekonder devresi için 60 VA

seçilmiştir. Çünkü sayaç, koruma rölesi ve bağlantılarda kullanılan kabloların toplam gücü 60 VA değerini geçmeyeceği varsayılmıştır. Sonuç olarak ölçü hücresinde kullanılacak gerilim transformatörü $34,5/\sqrt{3} - 0,1/\sqrt{3} - 0,1/\sqrt{3}$ kV Cl: 0,5 + 3P, 60+60 VA değerlerinde seçilmiştir.

4.3.3.3. Kesicili Trafo Koruma Hücresi

Dağıtım transformatörün primer sargı uçlarının bağlanacağı hücre kesicili trafo koruma hücresidir. Transformatöre elektrik enerjisi bu hücreden gelir. Kesicili trafo koruma hücresinde standart bulunan ekipmanlar dışında bir adet ayırıcı, bir adet SF6 gazlı kesici, kesici ve ayırıcı işletme mekanizmaları, kesici üzerindeki yardımcı kontaklar, bir adet kesici motoru, birer adet kesici açma ve kapama bobini, bir adet koruma rölesi ve 3 adet akım transformatörü bulunmaktadır.

Kesicili trafo koruma hücresindeki kesici, birbirinden bağımsız her biri SF6 gazı ile doldurulmuş üç ayrı kutuptan oluşur. SF6 gazı ile dolu kutuplar gaz sızdırmaz özelliği vardır. Fabrika ortamında kontrol edilir ve mühürlü basınç sistemine uygundur. SF6 gazlı ayırıcı ve kesicinin nominal gerilimi 36 kV, nominal akımı üreticilerin en düşük değer olarak ürettikleri 630 A olarak belirlenirken kesicinin kesme kapasitesi 16 kA olarak seçilmiştir. Kesicinin bu değerlerinin işletme şartlarında uygun olup olmayacağı simülasyon ortamında kısa devre hesabı yapılarak kontrol edilecektir. Kesicinin teknik özellikleri Çizelge 4.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7: Kesici teknik özellikleri.

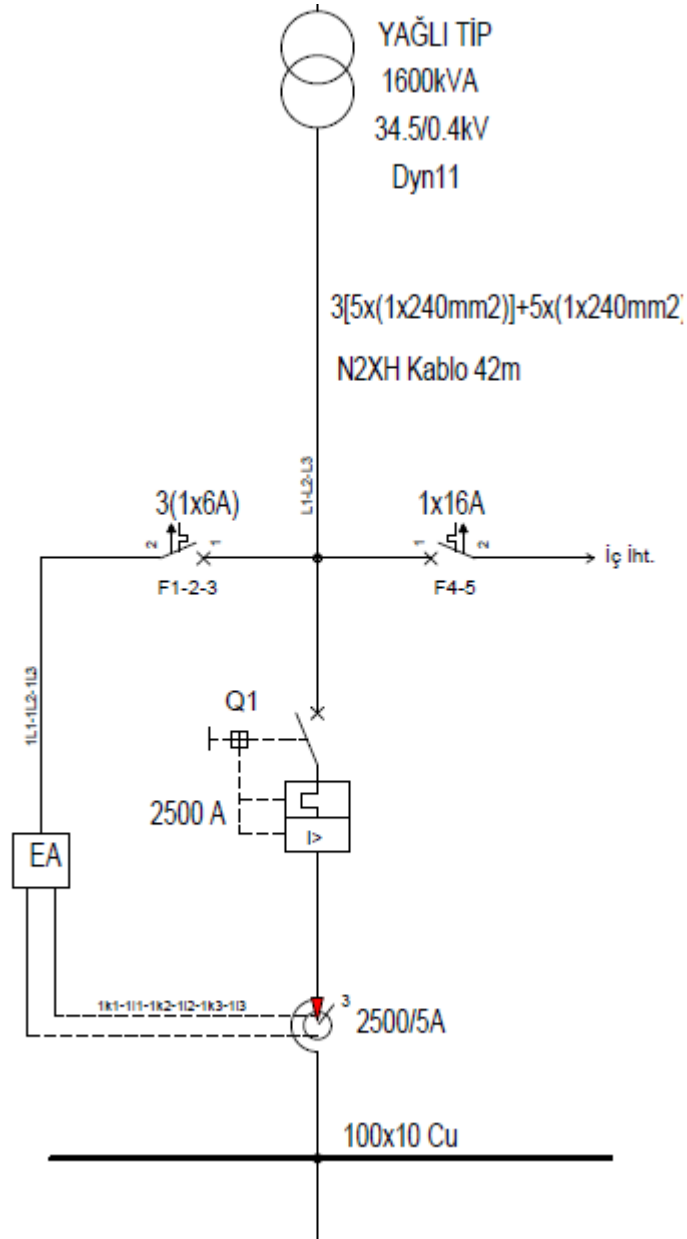
Anma Gerilimi	36 kV
Şebeke Frekanslı Dayanım Gerilimi	70 kV
Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi	170 kV
Anma Akımı	630 A
Anma Kısa Devre Akımı	16 kA
Tk	3 sn
Motor Gerilimi	24 VDC
Bobin Gerilimi	24 VDC
Açma Süresi	< 60 ms
Kesme Süresi	< 75 ms
Kapama Süresi	< 100 ms
Çalışma Sıcaklığı	(-5) ile (+40) Derece
Mekanik Dayanım	M2
Açma-kapama sayısı	10.000

Ölçü hücresinden gelen akım aynı şekilde bu hücre vasıtasıyla dağıtım transformatörüne gideceğinden bu hücrede kullanılacak akım transformatörü değeri, ölçü hücresinde kullanılan transformatörün değeri ile aynı olacaktır. Dolayısıyla bu hücredeki akım transformatörü 36 kV 30/5A Cl:0,5Fs5 15 VA, Ith=600In olarak seçilmiştir.

Koruma rölesi olarak ANSI kodlarına göre 50, 51, 50N, 51N, 46, 49, 27, 59, 67, 67N koruma fonksiyonları içeren bir röle seçilmiştir. Dağıtım transformatörü üzerindeki röleden gelen sıcaklık ve basınç arıza sinyaline göre hücredeki koruma rölesi programlanacaktır. Ayrıca röle programına bağlanan akım transformatörleri dönüştürme oranı belirtilmelidir. Dağıtım transformatöründe yaşanacak sıcaklık, basınç arızasından veya orta gerilim şebekesinde meydana gelecek bir kısa devre, yüksek gerilim, düşük gerilim, aşırı akım vb. arızalardan koruma rölesi kesiciye açma komutu vererek transformatörün enerjisini kesecektir. Kesicili trafo koruma hücresinin üst ön yüzeyinde alçak gerilim bölümü yer almaktadır. Bu bölümde sinyallerin, akım ve gerilim bilgilerinin, minyatür rölelerin, klemens grupları, koruma rölesi, açma-kapama butonları, etiketler, LED sinyal lambaları bulunmaktadır. Koruma ve kumanda devrelerinde 24 V DC gerilim kullanılacaktır.

4.3.4. Alçak Gerilim Panosu

1600 kVA dağıtım transformatörü şebeke gerilimini 34,5 kV'dan 400 V gerilime dönüştürmektedir. Transformatörün sekonder sargılarında 400 V gerilim indüklenir. Sekonder sargı uçları alçak gerilim kabloları vasıtasıyla bir adet alçak gerilim panosuna bağlanmaktadır. Mobil trafo merkezinin alçak gerilim tek hat şeması Şekil 4.6'deki gibidir. Bu tek hat şemasına göre bir alçak gerilim panosu dizayn edilmiştir.



Şekil 4.6: Mobil trafo merkezi alçak gerilim tek hat diyagramı.

Transformatörün sekonder sargılarındaki akımı tam yükte 2309,4 A hesaplanmıştı. Alçak gerilim panosunda 1 adet 3 kutuplu 2500 A nominal akımında, 65 kA kesme kapasitesinde sabit tip alçak gerilim kesicisi kullanılacaktır. Kesicinin teknik özellikler Çizelge 4.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8: AG kesici teknik özellikleri.

Anma Gerilimi	690 V
İzolasyon Gerilimi	1000 V
Kutup Sayısı	3
Frekans	50/60 Hz
Anma Akımı	2500 A
Anma Kısa Devre Akımı	65 kA - 220-440 VAC 50 kA - 690 VAC
Motor Besleme Gerilimi	220 VAC
Kumanda Gerilimi	220 VAC
Kesme Süresi	25 ms
Kapama Süresi	<70 ms
Çalışma Sıcaklığı	(-5) ile (+70) Derece

Alçak gerilim panosunda faz başına 2 adet 100x10 mm kesitinde bakır baralar kullanılacaktır. Panonun koruma sınıfı TS 3033 EN 60529 standardına göre dahili tip IP31'dir. Alçak gerilim panosunun malzeme listesi Çizelge 4.9'de belirtilmektedir.

Çizelge 4.9: AG pano malzeme listesi.

Açıklama	Adet
60x180x60 cm Dahili Tip Pano Kasedi	1
2500 A, 65kA 3 Kutuplu AG Kesici	1
2500/5A 10VA Akım Transformatörü	3
Enerji Analizörü	1
1 Kutuplu 16 A C Tipi Otomatik Sigorta	2
1 Kutuplu 6 A C Tipi Otomatik Sigorta	3
IP 54 220 VAC Yeşil Renk Led Sinyal Lambası	3
Pano Etiket Tutucu	3
Faz-Faz Arası Gerilimli Voltmetre Komitatörü	1
0-500V Voltmetre 96x96 mm	1

Alçak gerilim panosunun metal köşk içerisinde montajlı şekilde görüntüsü Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



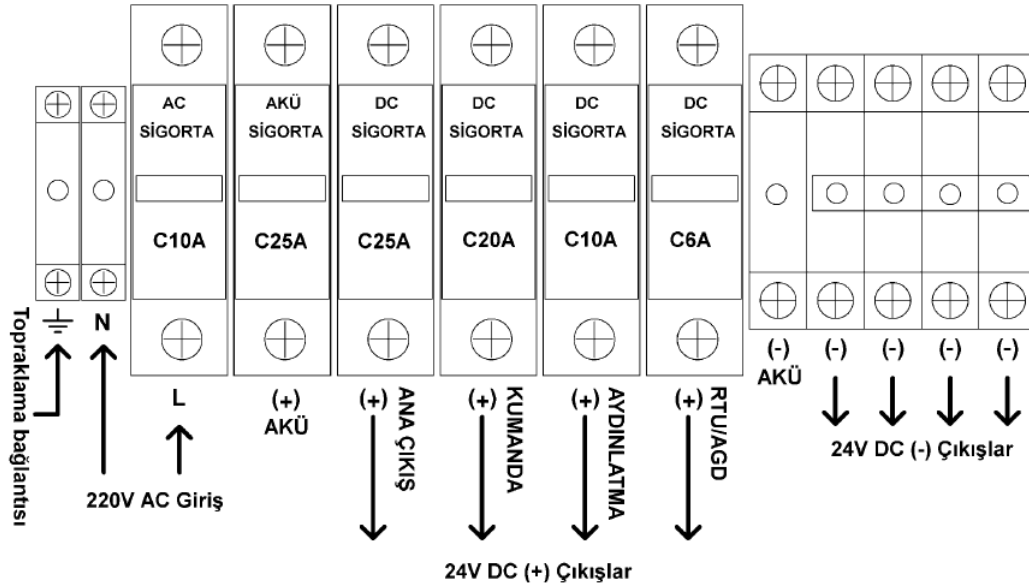
Şekil 4.7: AG odasının köşk içerisinde görünüşü.

Sonuç olarak dağıtım transformatörünün sekonder sargıları çıkışında 400 V seviyesinde tüketiciye iletilen elektrik enerjisi bir kesici vasıtasıyla korunur. Aynı zamanda orta gerilimde ölçü hücresi vasıtasıyla ölçülen elektrik enerjisi, panodaki enerji analizörü vasıtasıyla alçak gerilim tarafında da ölçülür. Böylece tüketici tükettiği elektrik enerjisini kWh olarak analizör ekranında görebilir. Alçak gerilim kesicisi, enerji analizörleri, akım transformatörleri vb. malzemeler bir pano içerisinde, mobil trafo merkezinin AG pano odasında bulunur. Alçak gerilim panosu olmadan tüketiciye transformatörden direkt elektrik enerjisi verilmemelidir.

4.3.5. Akü ve Redresör Grubu

Akü ve redresör grubu, trafo merkezlerinin yardımcı kontrol DC besleme gerilimi ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan, VRLA tipi akülerden, mikrodenetleyici ve tristör kontrollü redresörden oluşan bir güç kaynağıdır. Ayrıca bu cihazlar, genel olarak akülerin şarjı ve ekstra DC güç kaynağı olarak da kullanılabilir. Elektrik kesintisi olduğunda, trafo köşkündeki transformatör enerjisiz kaldığında DC beslemenin sürekliliğini sağlayan dahili VRLA tip aküleri her daim şarj altında tutar. İçerisindeki mikrodenetleyici sayesinde hem yük akımı hem de akü şarj akımı ayrı

olarak kontrol edilir. Redresörün giriş besleme gerilimi 380 veya 220 VAC iken çıkış gerilimi 24, 48 veya 110 VDC olabilir. Genelde Türkiye’deki trafo merkezlerinde 24 VDC veya 110 VDC çıkış gerilimli akü redresör grupları tercih edilmektedir. Akü redresör grupları, trafo merkezlerinde bulunan aydınlatma cihazlarını, orta gerilim kesici motorlarını, açma ve kapama bobinlerini, röleleri beslemektedir. Bu cihazların besleme kontrol gerilimleri ile akü redresör grubunun çıkış gerilimi aynı olmalıdır. Diğer hücre içi ısıtıcılar, trafo odasındaki aydınlatma elemanları vb. cihazlar 220 VAC şebeke geriliminden beslenecektir. Tasarlanacak olan mobil trafo merkezindeki akü redresör grubunun giriş 220 VAC iken çıkış gerilimi 24 VDC olarak seçilmiştir. Akü redresör grubunun küçük bir pano bölümü bulunur. Bu bölümde giriş ve çıkış gerilim klemensleri, sigortalar, LED sinyal lambaları ve klemens grupları bulunur. Şekil 4.8’de akü redresör grubunun bağlantı bölümü gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Akü redresör grubunun bağlantı noktaları.

Akü redresör grubunun en önemli elemanlarından biri akülerdir. Aküler dahili ve kuru tip, VRLA aküler olarak seçilmiştir. Aküler cihazın en alt kısmında akü bölmesinde yer alırlar. Akülerden her biri 12 VDC’dir. 24 VDC olabilmesi için 2 adet 12 V’luk akü birbirine seri bağlanmıştır. Akülerin Ah değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değeri hesaplamak için kesicinin motor ve bobinlerin güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Diğer hücre içi aydınlatma, röle beslemesi gibi düşük güçlü cihazların etkisi ihmal edilecektir. Yüksek akımın ihtiyaç olduğu durumlarda ise aküler ekstra

olarak yük akımına takviye yapar. Örneğin kesici motoru çalışırken yük akımı yetmeyebilir ancak bu durumda akülerden yüke doğru tamamlayıcı akım akar. Motorun kurması bittiğinde akülerin kaybettiği kapasite yine redresör tarafından şarj edilir. Çizelge 4.10’da orta gerilim hücrelerindeki kesicinin motor ve bobinlerin güç değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.10: Kesici kontrol gerilimi ve güç değerleri.

Malzeme	Besleme Gerilimi (VDC)	Güç (W)
Motor	24	300
Açma Bobini	24	85
Kapama Bobini	24	85

Tasarımda bir adet kesicili trafo koruma hücresi bulunmaktadır. Burada pek mümkün olmasa da motor, açma ve kapama bobinlerinin aynı anda çalışma durumu göz önünde bulundurularak en kötü şartlara göre akünün akım değeri hesaplanmaktadır.

$$P = 300 + 85 + 85 \quad (4.55)$$

$$P = 470 \text{ W} \quad (4.56)$$

$$P = V.I \quad (4.57)$$

$$470 = 24.I \quad (4.58)$$

$$I = \frac{470}{24} = 19,58 \text{ A} \quad (4.59)$$

Akülerin akımı standart olarak 7 Ah, 12 Ah, 18 Ah, 26 Ah, 40 Ah, 55 Ah, 65 Ah ve 80 Ah olarak bulunur. Dolayısıyla hesap edilen akıma göre 26 Ah’lik akülerin kullanılması uygun görülmektedir. Orta gerilim kesici motoru, açma ve kapama bobinleri aynı anda çalışmayacağından dolayı akünün yük akımı bu değerlere ulaşmayacaktır ancak akü akımının her zaman biraz yüksek seçilmesi önerilir. Sonuç olarak mobil trafo merkezi tasarımında 24 VDC 26 Ah akü redresör grubu kullanılacaktır.

4.3.6. Güvenlik Malzemeleri

Artan enerji ihtiyacı ile birlikte kurulan trafo merkezleri için iş güvenliği tedbirlerinin de artırılması gerekmektedir. İş güvenliği konusu günümüzde artık kurallarına uyulması gereken, uyulmaz ise cezası olan, en önemlisi de can ve mal kaybına sebep

olabilen dikkate alınması gereken bir husustur. Özellikle trafo merkezlerinde gerilimin 1 kV'dan fazla olması, Türkiye'de genelde 30 kV'dan yüksek olması sebebiyle yüksek güvenlik tedbirlerinin alınmasını gerektirmektedir. Tasarlanan mobil trafo merkezinde gerilimin 34,5 kV olduğu bölümler orta gerilim hücrelerin bulunduğu YG odası ve transformatör odasıdır. Buralarda kullanılacak güvenlik malzemeleri 6 m2 36kV izole halı, bir çift izole eldiven, bir adet 36 kV neon lambalı kontrol kalemi, bir adet 36 kV izole manevra çubuğu, bir adet izole sehpa, bir adet ölüm tehlike levhasıdır.

4.3.7. Metal Köşk ve Yarı Römork

Mobil trafo merkezinin orta ve alçak gerilim üniteleri, bir yarı römork üzerine sabitlenmiş, galvanizli sacdan yapılmış bir köşk içerisinde bulunur. Metal köşkün üç adet bölümü vardır. Bunlar OG hücrelerinin ve akü redresör grubunun bulunduğu YG bölümü, dağıtım transformatörünün bulunduğu trafo bölümü ve alçak gerilim panosunun, kablo makarasının bulunduğu AG bölümüdür. Hücrelere ait orta gerilim XLPE güç kablolarının metal köşk OG bölümü içerisine alttan girişli olacak şekilde dizayn edilir. Gelen 36 kV 1x95mm² XLPE enerji kabloları yük ayırıcılı giriş hücresinin alt tarafından dahili tip harici kablo başlıklarıyla bağlanır. Köşk zemininde OG XLPE kablolar ile diğer AC ve DC kabloların düzenli bir biçimde bağlantı yapılabilmesi veya sökülebilmesi için yükseltilmiş döşeme sistemi oluşturulur. Metal köşk, esnemeye, titreşime dayanıklı olup, toz ve suya karşı TS 3033 EN 60529 standardına göre trafo bölümü IP23, YG ve AG bölümü IP44 koruma sınıfına aittir. Mobil trafo merkezine erişim için, bakım, montaj veya demontaj esnasında endüstriyel tip alüminyum platform merdiven kullanılacaktır.

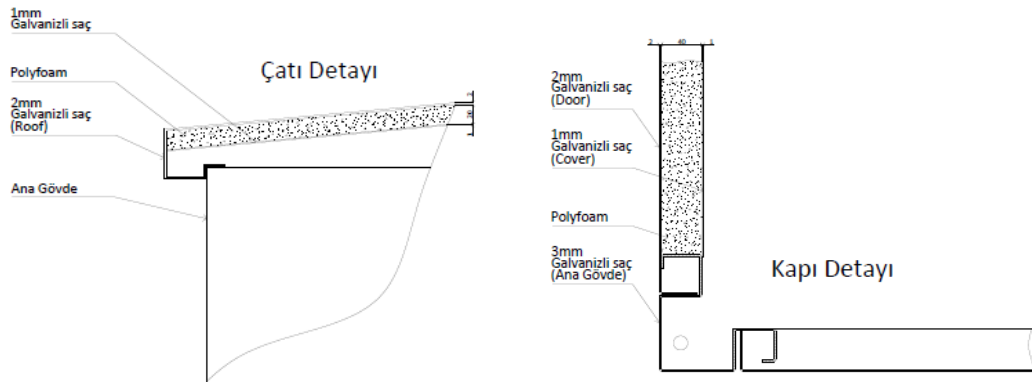
OG odasında üç adet orta gerilim hücresi ve bir adet akü redresör grubu bulunmaktadır. Trafo odasında ise bir adet dağıtım transformatörü bulunurken, AG odasında ise bir adet dağıtım panosu ve kablo makarası bulunur. Kablo makarası 50 mt. uzunluğunda 36 kV 1x95mm² kesitinde XLPE kablo sarılı bir şekilde bulunmaktadır. Şebeke hattından gelecek orta gerilim enerjisi 36 kV 1x95mm² XLPE kablo vasıtasıyla yük ayırıcılı giriş hücresine her bir faza bir adet olacak şekilde toplam üç adet 36 kV 1x95mm²'lik dahili tip kablo başlıkları ile bağlanır. Kesicili trafo koruma hücresinden yine her bir faza bir adet olacak şekilde toplam üç adet dahili tip kablo başlıkları ile çıkan XLPE kablolar trafo odasına gelerek transformatörün buşinglerine yine aynı kablo başlıkları ile bağlanmaktadır. Daha sonra transformatörün sekonder baralarından

her bir faza beş adet olmak üzere 1x240mm² N2XH alçak gerilim enerji kablolarıyla AG odasına gelerek dağıtım panosuna bağlanır. Bu bağlantıda hem transformatör çıkışı hem de AG pano giriş baralarında 1x240 mm² kesitinde kablo pabuçları kullanılmaktadır.



Şekil 4.9: OG hücre ve trafo odasının metal köşk içerisindeki görünüşleri.

Metal köşkün kapıları ve çatısı 2 mm kalınlığında galvanizli sacdan oluşurken 1 mm kalınlığında bir kılıfla kaplanır. Metal köşk RAL 7032 rengine boyanmaktadır. Köşkün çatı ve kapı detayları Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10: Metal köşk çatı ve kapı detayı.

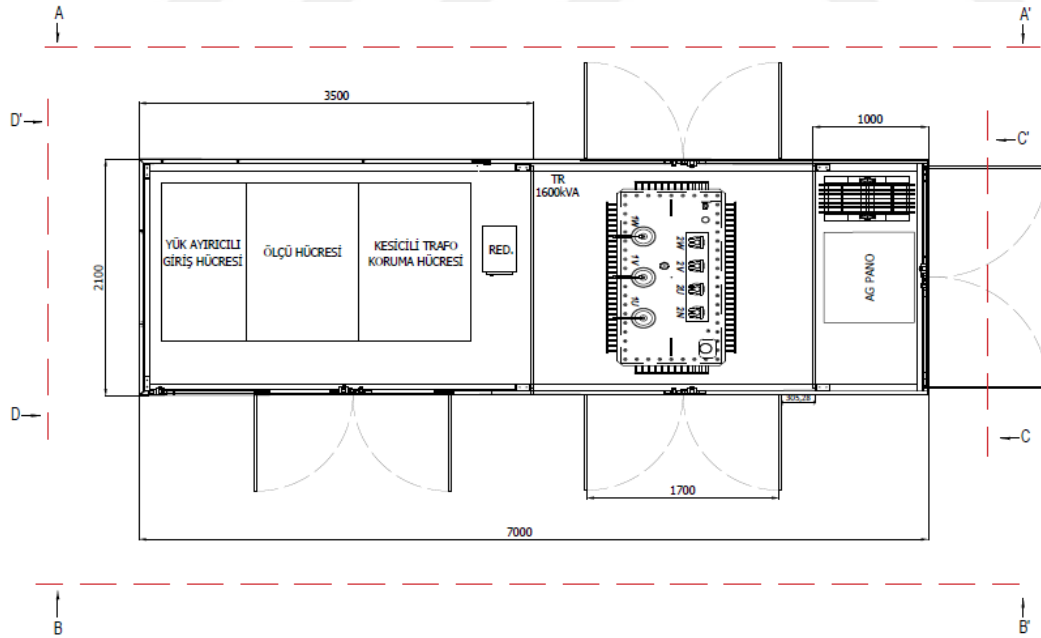
Mobil trafo merkezinin tasarımına ilişkin metal köşk teknik özellikleri Çizelge 4.11'de belirtilmiştir. Genel olarak yarı römorklarda ağırlığın üçte biri çekici tarafından taşınır. Geri kalan üçte ikilik bölümü yarı römorktaki dingiller tarafından taşınmaktadır. Metal

köşkün ağırlığı yaklaşık 9 ton olup, şasi ile birlikte 12 tonluk bir ağırlığın yarı römork tarafından taşınması gerekmektedir. Bu durumda yaklaşık 3-4 tonluk bir kısmı çekici tarafından taşınmaktadır. Geri kalan ağırlık ise iki adet 5 tonluk iki tekerlekli dingiller tarafından taşınacağı düşünülmüştür.

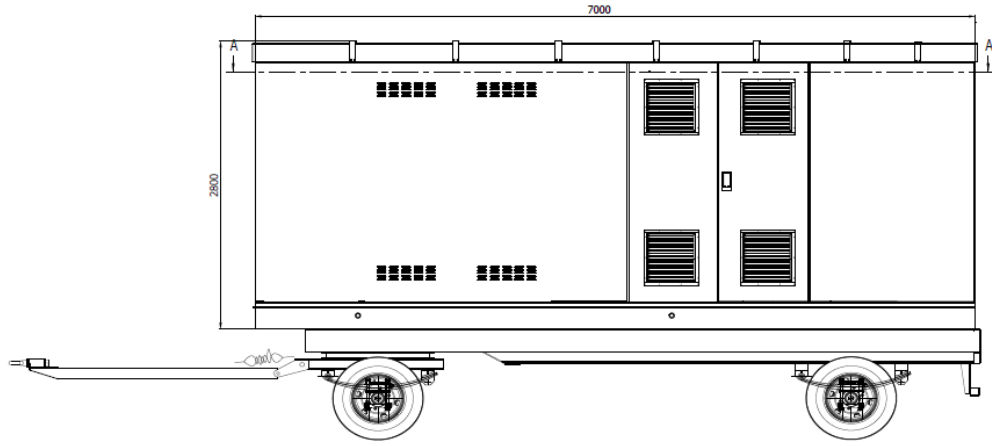
Çizelge 4.11: Metal köşk teknik özellikleri.

Boyut	2100x7000x2800 mm
Ağırlık	8990 kg
Sac Tipi	Sıcak daldırma galvanizli çelik sac
Sac Kalınlığı	2 mm
IP Koruma Sınıfı	Trafo bölümü IP23 YG ve AG bölümü IP44
Oda Sayısı	3 adet
Kapı adedi	4 adet
Renk	RAL 7032

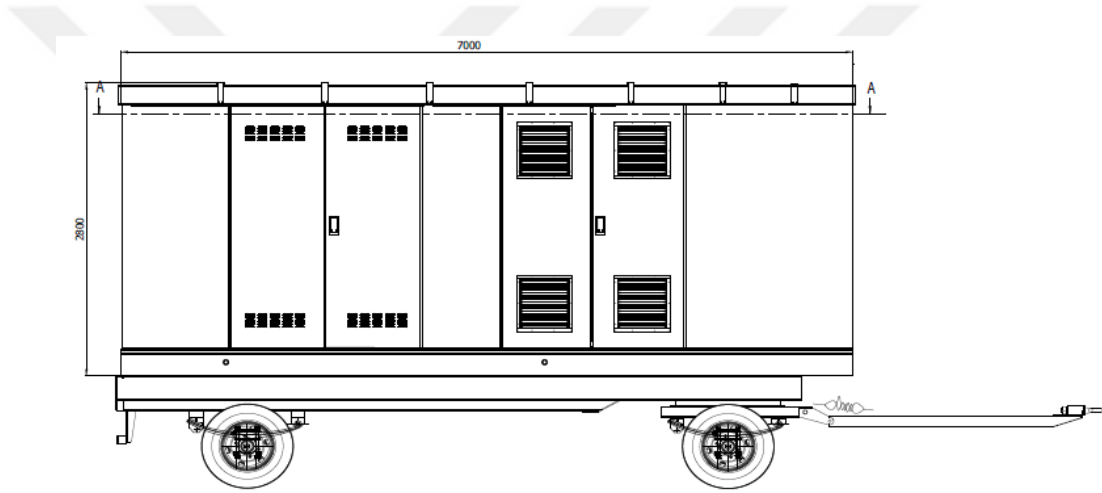
Mobil trafo merkezinin mimari çiziminin üstten görünüşü Şekil 4.11’de, A-A’ görünüşü Şekil 4.12’de, B-B’ görünüşü Şekil 4.13’de, C-C’ görünüşü Şekil 4.14’de ve D-D’ görünüşü Şekil 4.15’de gösterilmektedir.



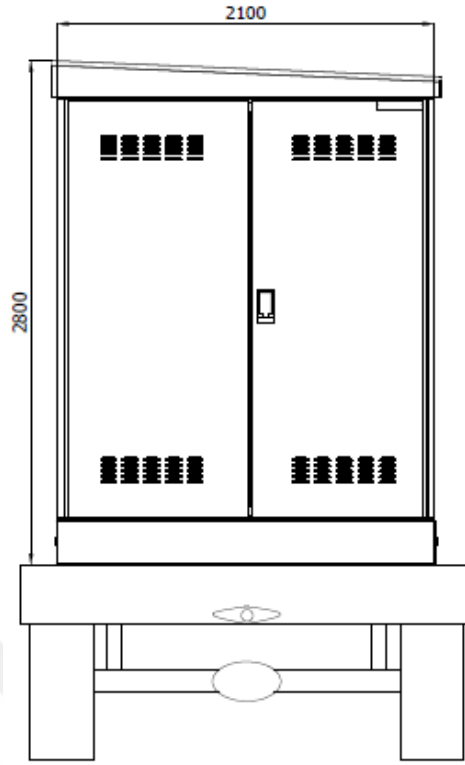
Şekil 4.11: Mobil trafo merkezi üstten görünüşü.



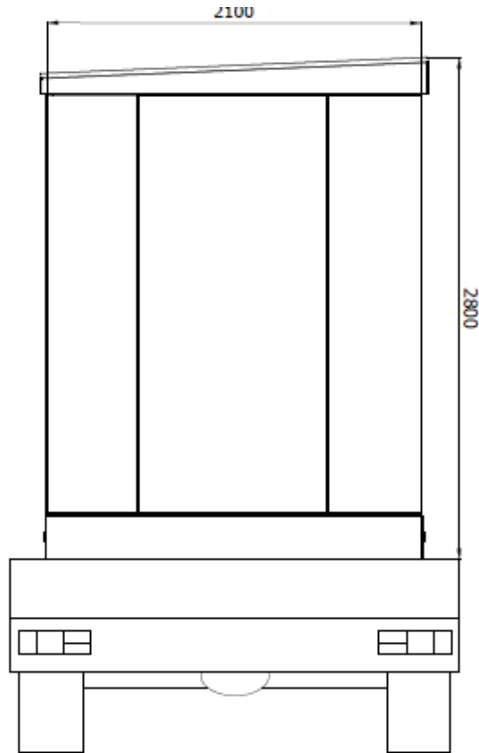
Şekil 4.12: Mobil trafo merkezi A-A' görünüşü.



Şekil 4.13: Mobil trafo merkezi B-B' görünüşü.



Şekil 4.14: Mobil trafo merkezi C-C' görünüşü.



Şekil 4.15: Mobil trafo merkezi D-D' görünüşü.

4.4. Mobil Trafo Merkezinin Topraklama Sistemi

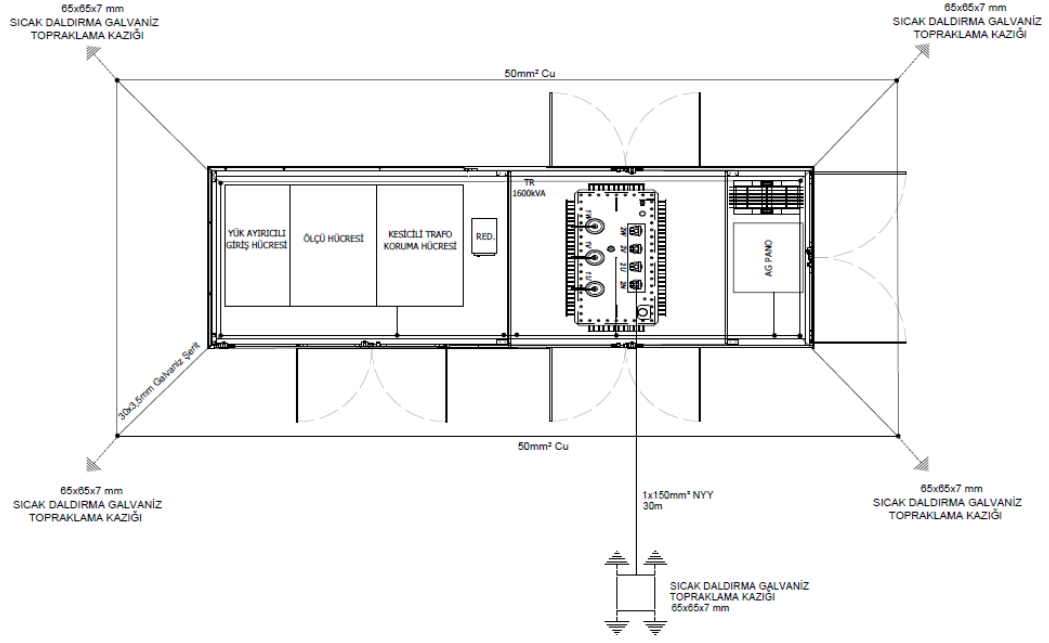
Trafo merkezlerinde topraklama konusu tek başına bir çalışma konusudur. Elektrik tesislerindeki topraklama sistemi normal işletme sırasında varlığını hiç hissettirmemesine rağmen herhangi bir kısa devre arızası durumunda görevini yaparak can ve mal kaybını engelleyebilir. Tesisteki makinede, cihazda veya tesisin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek bir yalıtım hatası, bu noktaların gerilim altında kalmasına neden olur. Buraya bir personel girdiğinde ve temas etmesi durumunda personel elektrik çarpmasına maruz kalabilir. Dolayısıyla elektrik tesislerinin topraklama sistemi doğru bir şekilde yapılması gerekir. Elektrik tesislerinde özellikle can kaybına sebep olabilen temas ve adım gerilimi de doğru hesaplanması gereken konuların başında gelir. İşletmedeki herhangi bir fazın hata sonucu tesisin topraklanmış kısmına temas etmesi ve topraklanmış kısma ise bir insanın temasıyla insan vücudu ile toprak arasında oluşan potansiyel fark temas gerilimidir. Açık havada bulunan bir elektrik tesisinde herhangi bir yalıtım hatası sonucu toprağa hata akımı akmasıyla topraklayıcı ile referans toprağı arasında bir potansiyel fark oluşur. Bu bölgeye bir insanın veya hayvanın girmesi sonucu adım gerilimine maruz kalmasına sebep olur. Her iki durumda da canlı üzerinden bir akım akabilir. Topraklaması yapılmamış veya yanlış yapılmış bir tesiste arıza sonucu can ve mal kaybı meydana gelebilir. Trafo merkezlerinde koruma ve işletme topraklaması birbirlerinden ayrı yapılır. Elektrik tesislerinde insanların temas geriliminden korunması için koruma topraklaması yapılır. Bunun için işletmenin akım devresinde yer almayan ancak bir arıza anında gerilim altında kalabilecek ekipmanlar bir iletken üzerinden topraklayıcıya bağlanır. İşletme topraklaması ise işletmenin akım devresine ait bir noktasının topraklanması işlemidir. Koruma topraklamasında mobil trafo merkezi içerisindeki orta gerilim hücreleri, dağıtım transformatörü, alçak gerilim panosu, metal köşk ve kapıları da örgülü bakır iletkenler yardımıyla eş potansiyel dengeleme barasına bağlanır. Metal köşkün taban döşemesinin altında 30x3,5 mm'lik galvaniz topraklama şeridi tüm köşkün tabanını çevrelemiştir. Bu şeritten köşkün her odasına, odadaki ekipmanların gövdeleriyle irtibatlandırmak için Şekil 4.16'daki gibi bakır çubuklar çıkmaktadır.



Şekil 4.16: Koruma topraklaması bağlantısı için kullanılan bakır çubuklar.

Mobil trafo merkezinin koruma topraklaması, sahada var olan trafo merkezinin bağlı olduğu eş potansiyel dengeleme barasını kullanabilir. MTM'nin dört köşesinden yaklaşık 2 veya 3 metre uzaklığa 65x65x7 mm sıcak daldırma galvaniz topraklama kazığı çakılır ve MTM'nin tabanını çevreleyen, ekipmanların gövdelerinin irtibatlandırıldığı topraklama şeridi ile bağlanır. Bu bağlantı 30x3,5 mm'lik galvaniz şeritler ile yapılır. Böylece eş potansiyel dengeleme barası oluşturularak MTM'nin koruma topraklama sistemi tamamlanır.

MTM'de işletme topraklaması ise dağıtım transformatörün yıldız noktasının direkt topraklanmasıyla yapılır. Yıldız noktası bir direnç üzerinden de topraklanabilir ancak bu tez çalışmasında trafonun yıldız noktası, doğrudan topraklama yöntemiyle topraklanmıştır. Transformatörün yıldız noktası ile toprak arası bağlantı için alçak gerilim 0,6/1 kV 1x150 mm² NYY kablo kullanılmıştır. İşletme topraklaması için MTM'den 30 metre uzaklığı 65x65x7 mm sıcak daldırma galvaniz topraklama kazığı toprağa çakılır ve transformatörün yıldız noktasından çıkan 1x150 mm² NYY kablo bu kazığa bağlanır. Böylece MTM'nin işletme topraklanması da tamamlanmış olur. Sistemin koruma ve işletme topraklaması ayrı ayrı yapılmıştır. MTM'nin topraklama şeması Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



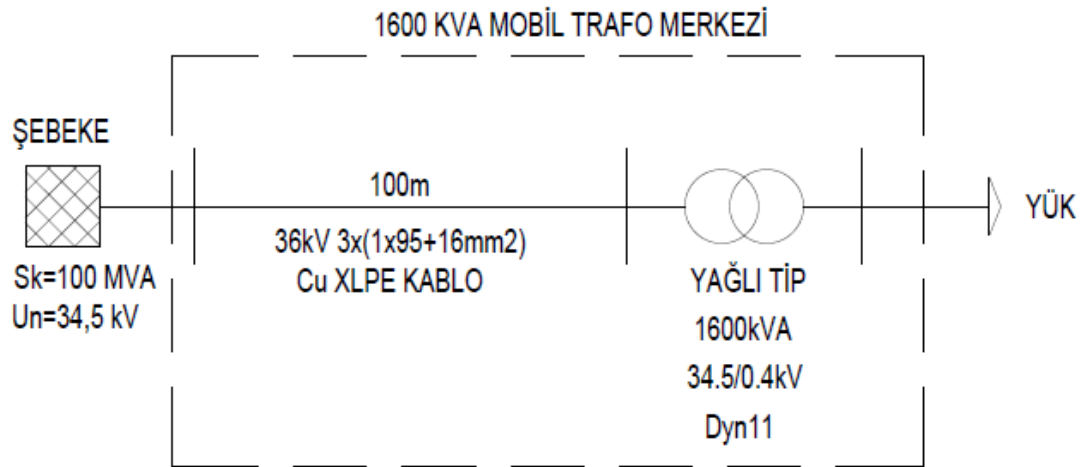
Şekil 4.17: Mobil trafo merkezi topraklama planı.



5. MOBİL TRAFÖ MERKEZİNİN MODELLENMESİ VE KISA DEVRE ANALİZİ

5.1. Mobil Trafo Merkezinin MATLAB (Simulink) İle Modellenmesi

Bu bölümde tasarımı ve hesapları yapılmış 1600 kVA gücünde 34,5/0,4 kV'luk gerilim seviyesinde OG/AG mobil trafo merkezinin, mevcut şebeke ve trafo merkezi parametreleri ile tek başına bir dağıtım şebekesine bağlanması durumunda MATLAB programının Simulink alt programı kullanılarak bilgisayar benzetimi yapılmıştır. Bu simülasyonda normal çalışma durumunda akım, gerilim ölçümleri grafikler halinde elde edilmiştir. Ayrıca mobil trafo merkezinin orta gerilim barasında üç faz, faz-toprak ve faz-faz kısa devre arızaları oluşturularak kısa devre akımları incelenmiştir. Kesicinin kısa devre akımına göre uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Mobil trafo merkezine bağlanacak şebekenin gerilimi 34,5 kV olup, kısa devre gücü 100 MVA gücündedir. Simülasyonu yapılacak dağıtım sisteminin elektrik tek hat şeması Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

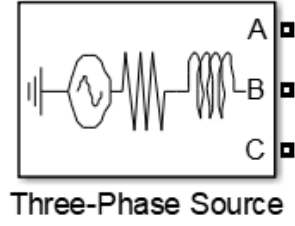


Şekil 5.1: Dağıtım sistemi orta gerilim elektrik tek hat diyagramı.

Dağıtım şebekesinde ve MTM'deki var olan elemanlar, bloklar halinde modellenir. Bu nedenle modellenen sistemde dağıtım transformatörü, şebeke temel elemanlarının gerekli büyüklükleri hesaplanarak programa veri girişi sağlanmıştır.

5.1.1. Gerilim Kaynağı

Mobil trafo merkezinin bağlanacağı üç fazlı 34,5 kV'luk dağıtım şebekesinin bloğu Şekil 5.2'de verilmiştir. Şebekenin kısa devre gücü 100 MVA olarak düşünülmüştür.



Şekil 5.2: Gerilim kaynağı Simulink bloğu.

Kısa devre hesabı için dağıtım şebekesinin empedansının belirlenmesi gerekir.

$$S_k = 100 \text{ MVA} \quad (5.1)$$

$$U_k = 34,5 \text{ kV} \quad (5.2)$$

$$Z_s = \frac{c_{max} \cdot U_n^2}{S_k} \quad (5.3)$$

Gerilim katsayısı (c_{max}) 1,1 olarak alınmıştır.

$$Z_s = \frac{1,1 \cdot 34,5^2}{100} = 13,09 \text{ Ohm} \quad (5.4)$$

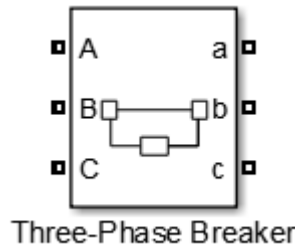
Şebeke empedansları aşağıdaki formüllerden bulunabilir.

$$X_s = 0,995 \cdot Z_s = 0,995 \cdot 13,09 = 13,02 \text{ Ohm} \quad (5.5)$$

$$R_s = 0,1 \cdot X_s = 0,1 \cdot 13,02 = 1,302 \text{ Ohm} \quad (5.6)$$

5.1.2. Kesici

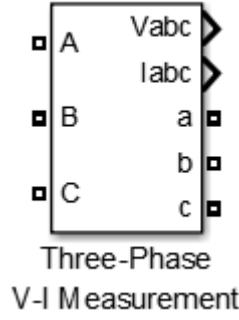
Şekil 5.3’de Simulink araç kutusundaki kesici simgesi verilmiştir. Simulink’te üç fazlı kesici bloğu devreyi açma ve kapama zamanını dış bir sinyalden (external control) veya iç kontrol zamanlayıcısı (internal control) olarak kontrol edebilmektedir.



Şekil 5.3: Üç fazlı kesici Simulink bloğu.

5.1.3. Ölçü Bloğu

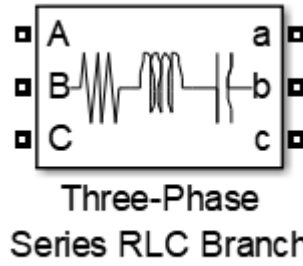
V-I ölçü bloğu devredeki üç fazlı akım ve gerilim bilgisini ölçmektedir. Şekil 5.4’de üç fazlı akım-gerilim ölçü bloğu gösterilmektedir.



Şekil 5.4: Simulink üç fazlı ölçü bloğu.

5.1.4. Kablo Bloğu

1x95 mm² bakır XLPE izoleli kablo bloğu üç fazlı seri R-L-C bloğu ile modellenmiştir. Şekil 5.5’de kablo bloğu gösterilmektedir.



Şekil 5.5: XLPE kablo Simulink bloğu.

3x(1x95+16mm²) bakır XLPE kablo için empedans ve indüktans değerleri aşağıdaki gibi verilmiştir. [16]

$$R_h = 0,193 \text{ Ohm/km} \quad (5.7)$$

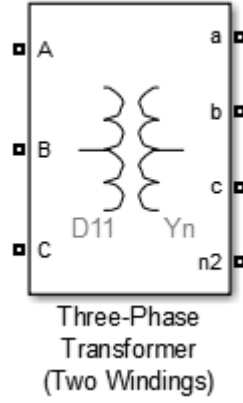
$$X_h = 0,144 \text{ Ohm/km} \quad (5.8)$$

$$L_h = 0,44 \text{ mH/km} \quad (5.9)$$

100 metre için kablonun direnç değeri 0,0193 Ohm iken, indüktans değeri 0,044 mH’dir.

5.1.5. Dağıtım Transformatörü Bloğu

Simulink’te transformatör bloğu Şekil 5.6’da gösterilmektedir.



Şekil 5.6: Üç fazlı transformatör bloğu.

Mobil trafo merkezinde 1600 kVA 34,5/0,4 kV iki sargılı yağlı tip bir dağıtım transformatörü kullanılacaktır. Çizelge 4.3'teki parametreler kullanılarak Şekil 5.7'deki gibi parametre girişi yapılmıştır.

Block Parameters: DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters Advanced

Units SI

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)]

[1600000 , 50]

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(Ohm) , L1(H)]

[34500, 3.07, 0.0704]

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(Ohm) , L2(H)]

[400, 0.0004125, 0.946e-5]

Magnetization resistance Rm (Ohm)

201821.76

Magnetization inductance Lm (H)

1161.94

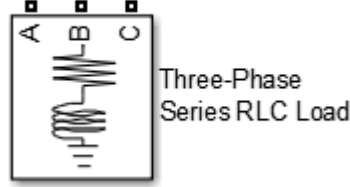
Inductance L0 of zero-sequence flux path return (H)

OK Cancel Help Apply

Şekil 5.7: Transformatör bloğu parametreler bölümü.

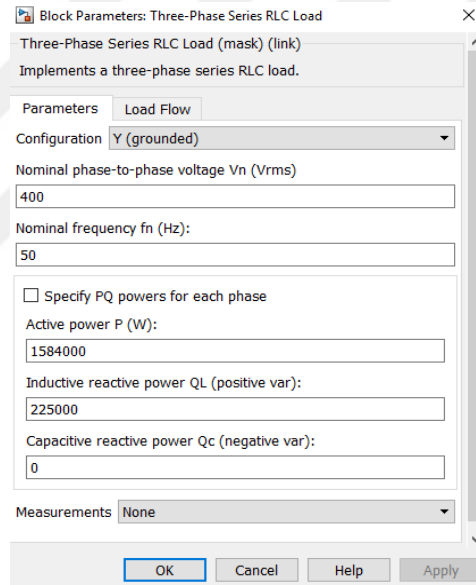
5.1.6. Yük Bloğu

Bu tez çalışmasında yükler, Simulink'te üç fazlı seri R-L-C yük bloğu kullanılarak modellenmiştir. Şekil 5.8'de yük bloğu, Şekil 5.9'da ise yük parametreleri veri girişi gösterilmektedir.



Şekil 5.8: Üç fazlı yük bloğu.

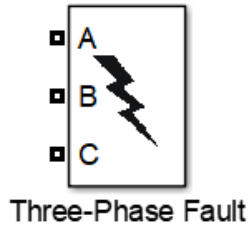
1600 kVA mobil trafo merkezi tam yükte çalışacağı varsayılmıştır. Güç faktörü 0,99 olarak alınarak aktif yük 1584 kW iken, reaktif yük değeri 225 kVAr olarak simülasyon yapılmıştır.

The image shows the 'Block Parameters: Three-Phase Series RLC Load' dialog box. It has two tabs: 'Parameters' and 'Load Flow'. The 'Parameters' tab is active. The 'Configuration' dropdown is set to 'Y (grounded)'. The 'Nominal phase-to-phase voltage Vn (Vrms)' is set to 400. The 'Nominal frequency fn (Hz)' is set to 50. There is a checkbox 'Specify PQ powers for each phase' which is unchecked. Below it, 'Active power P (W)' is set to 1584000, 'Inductive reactive power QL (positive var)' is set to 225000, and 'Capacitive reactive power Qc (negative var)' is set to 0. The 'Measurements' dropdown is set to 'None'. At the bottom, there are buttons for 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply'.

Şekil 5.9: Yük bloğu parametreler bölümü.

5.1.7. Kısa Devre Bloğu

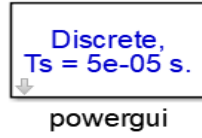
Simülasyonda orta gerilim dağıtım transformatörünün primer tarafında kısa devre arızası oluşturulacaktır. Simulink'te kısa devre bloğu Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



Şekil 5.10: Üç fazlı kısa devre bloğu.

5.1.8. Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Powergui)

Şekil 5.11’de gösterilen Powergui bloğu sistemi frekans domeninde fazör, zaman domeninde ise ayrık veya sürekli zamanda yürüterek simülasyonunu yapabilir. Tez çalışmasında 50 mikro saniyelik zaman dilimleri (sample time) alınarak ayrık zamanda güç sistemi simülasyonu yapılmıştır.



Şekil 5.11: Simulink Powergui bloğu.

5.2. Mobil Trafo Merkezinin Simülasyonu ve Kısa Devre Analizi

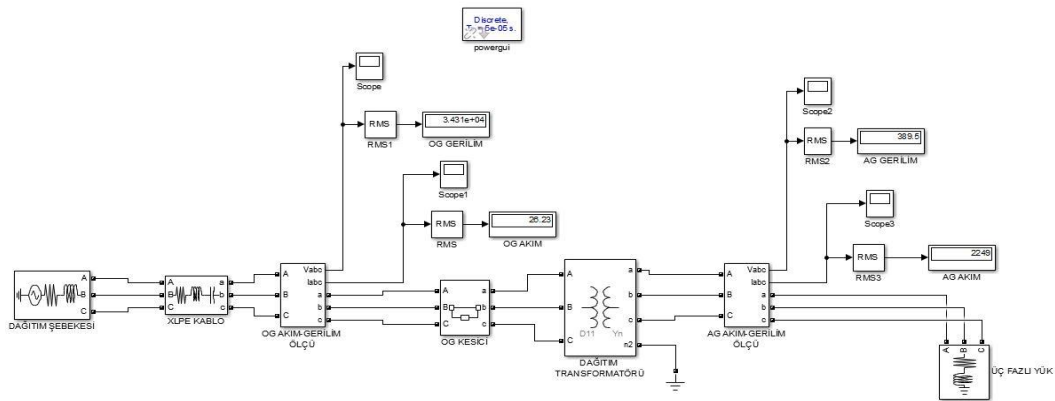
Elektriksel cihazların boyutlandırılmasında “üç faz arıza analizi” yapılmaktadır. Simetrik olmasından dolayı dengeli sistem eşdeğeri “veya pozitif dizi” kullanılarak çözüm yapılır. Arıza noktasından görülen eşdeğer devrenin çözümü ile arıza akımı doğrudan bulunabilmektedir. Şebeke kısa devre empedansları denklem (5.3)’deki formülle hesaplanırken, kablo empendansları denklem (5.7) ve (5.8)’de verilmiştir. Transformör kısa devre reaktansı denklem (5.10)’de gösterilmektedir. U_k trafonun kısa devre gerilimidir. (5.11)’de kısa devre akımı formülü gösterilen denklemde C_{max} gerilim katsayısını, U_n fazlar arası gerilimi, $Z_{eş}$ ise kısa devre arıza noktasından görülen Thevenin eşdeğer empedansını belirtmektedir.

$$X_{tr} = \frac{U_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} \quad (5.10)$$

$$I_k = \frac{C_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{eş}} \quad (5.11)$$

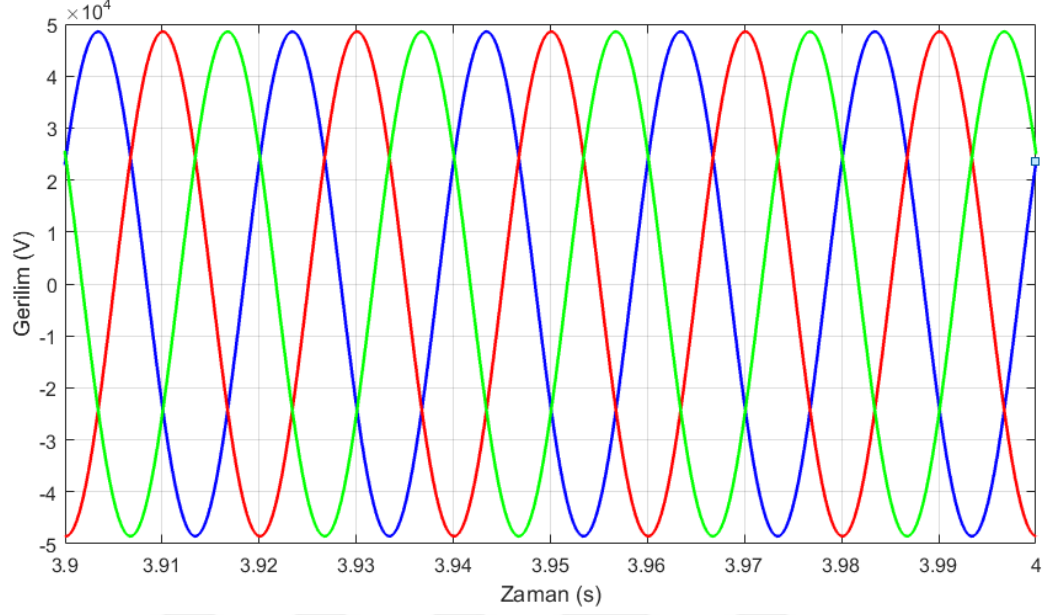
5.2.1. Normal Çalışma Durumunda Simulink Modeli, Akım ve Gerilim Ölçümleri

100 MVA kısa devre gücündeki şebekenin tasarlanan mobil trafo merkezine bağlanması durumundaki simulink modeli Şekil 5.12’de verilmiştir. Bu durumda mobil trafo merkezinin primer ve sekonder taraflarındaki akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır.

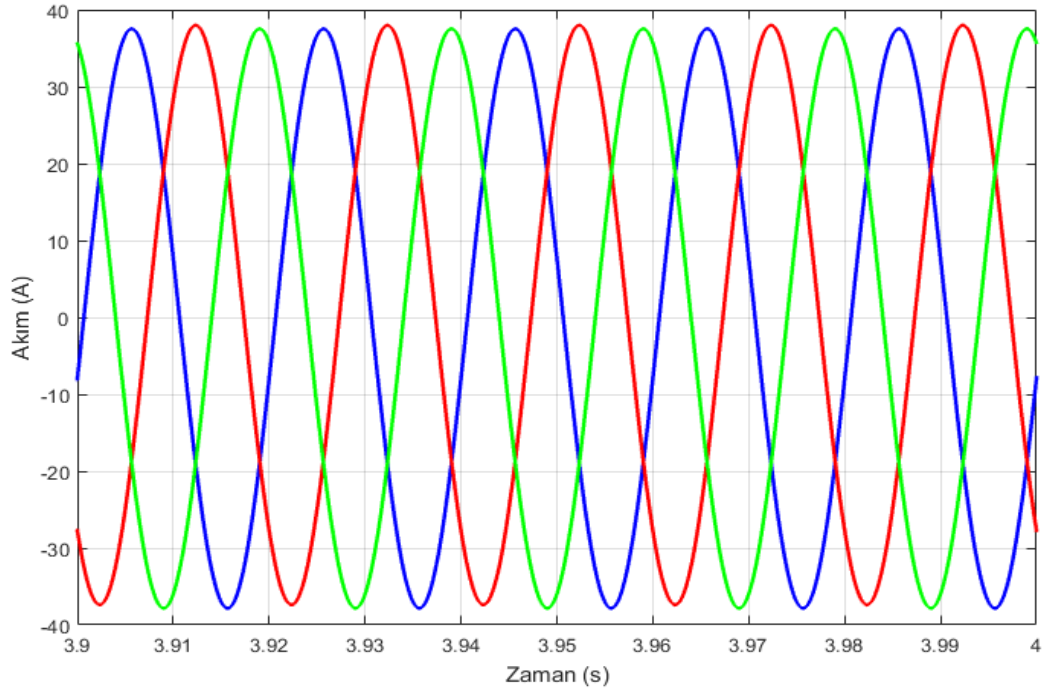


Şekil 5.12: Mobil trafo merkezinin normal çalışma durumundaki Simulink modeli.

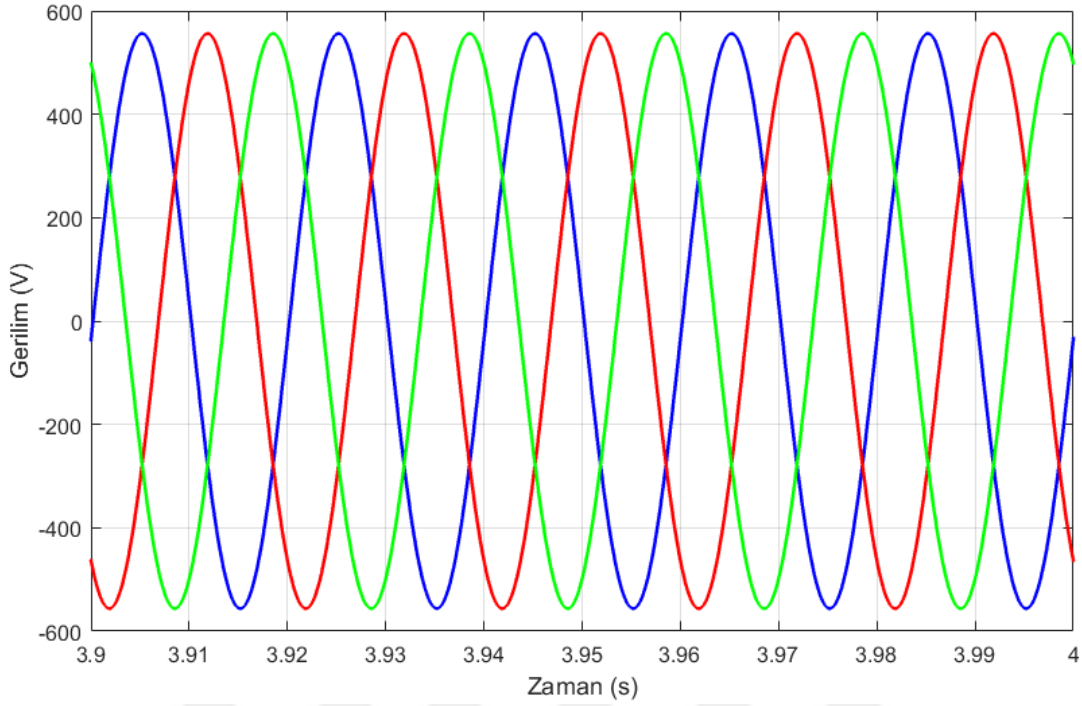
Mobil trafo merkezinin bağılı olduğu 100 MVA kısa devre gücündeki bir dağıtım şebekesiyle normal çalışma durumunda 34,5 kV barasındaki gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de, 0,4 kV barasındaki gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da görülmektedir.



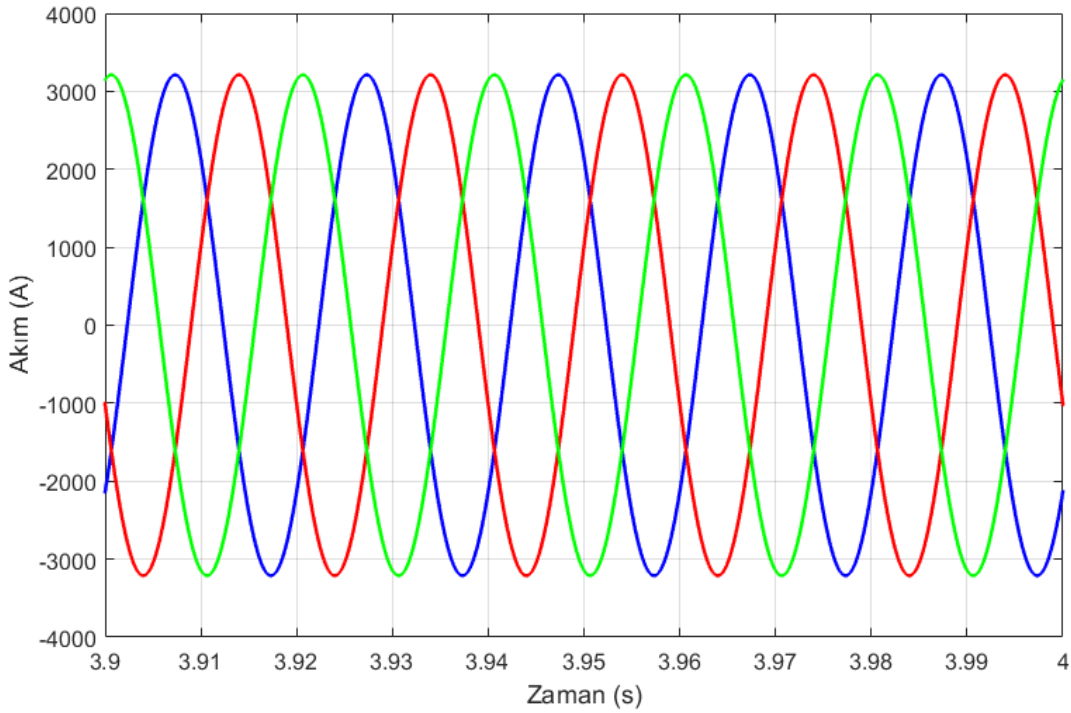
Şekil 5.13: Normal çalışma durumunda MTM primer gerilim grafiği.



Şekil 5.14: Normal çalışma durumunda MTM primer akım grafiği.



Şekil 5.15: Normal çalışma durumunda MTM sekonder gerilim grafiği.



Şekil 5.16: Normal çalışma durumunda MTM sekonder akım grafiği.

Normal çalışma koşullarındaki grafikler incelendiğinde elde edilen rms değerler Çizelge 5.1’de gösterilmektedir. Arıza koşullarının olmadığı, normal çalışma koşullarında ve transformatör tam yükte iken (güç faktörü 0,99 olarak alınmıştır) simülasyon sonuçlarına göre orta ve alçak gerilim kesici parametreleri seçilmiştir.

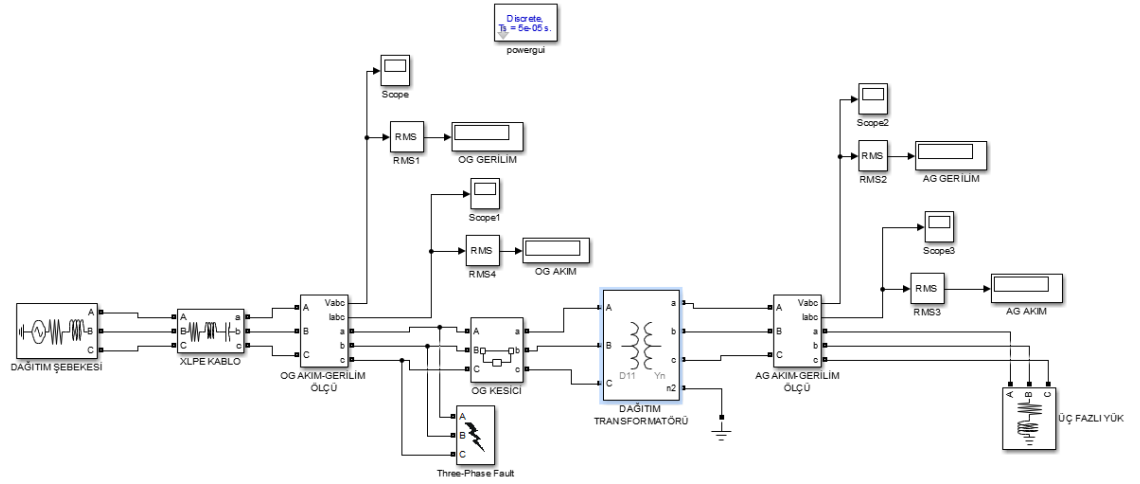
Orta gerilim kesicisinin nominal akımı 630 A, alçak gerilim kesicisinin nominal akımı 2500 A olarak belirlendiğinden, kesiciler normal çalışma koşullarına uygun olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.1: Normal çalışma durumunda elde edilen akım ve gerilim değerleri.

Parametreler	Gerilim (V)	Akım (A)
Primer	34130	26,23
Sekonder	389,5	2249

5.2.2. Mobil Trafo Merkezinin OG Barasında Kısa Devre Arızası Meydana Gelmesi Durumunda Simulink Modeli, Akım ve Gerilim Ölçümleri

Mobil trafo merkezinin 34,5 kV orta gerilim barasında üç faz, faz-toprak ve faz-faz kısa devre arızası olacağı varsayılmıştır. Sistemin kısa devre Simulink modeli Şekil 5.17’de gösterilmektedir. Her üç tip kısa devre arızası olması durumundaki mobil trafo merkezinin 34.5 kV orta gerilim barasındaki akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.17: MTM kısa devre arıza durumundaki Simulink modeli.

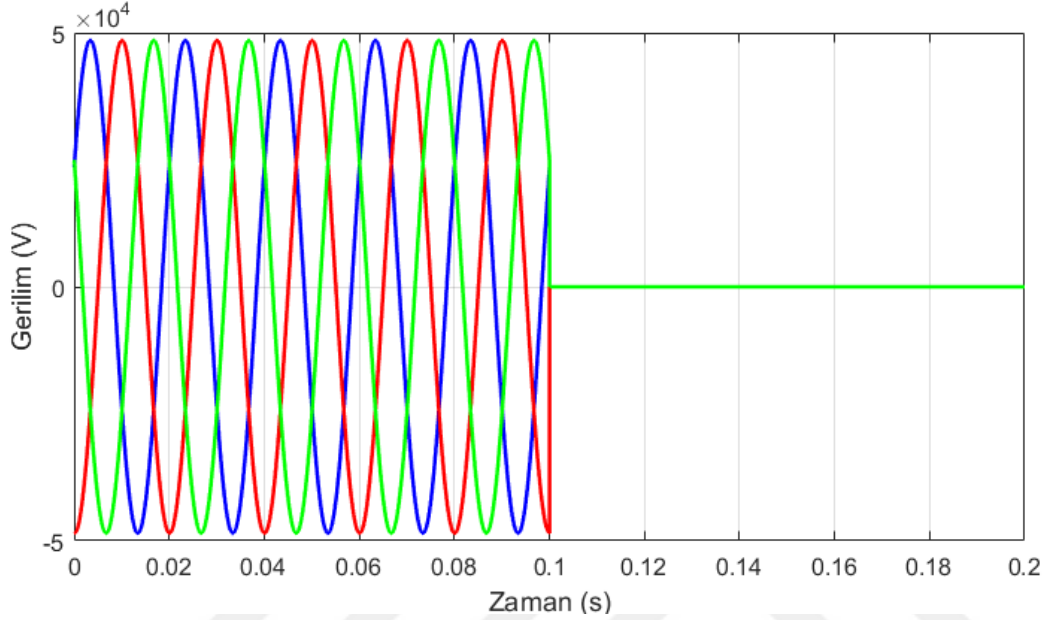
MTM’nin OG barasında yapılan kısa devre simülasyonları sonucu Çizelge 5.2’de her üç tip kısa devre arıza durumuna göre elde edilen kısa devre akım ve gerilim değerleri gösterilmektedir. Çizelgeden anlaşılabacağı gibi en yüksek kısa devre akımı rms değeri 2,61 kA olarak ölçülmüştür. Üç faz kısa devre arızası meydana geldiğinde, bu baradaki gerilim neredeyse sıfıra inmektedir. MTM’nin orta gerilim kesicisinin kısa devre kesme kapasitesi 16 kA olduğundan kesici, kısa devre çalışma koşullarına uygun olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.2: Her üç tip arıza durumu için MTM kısa devre akım ve gerilim değerleri.

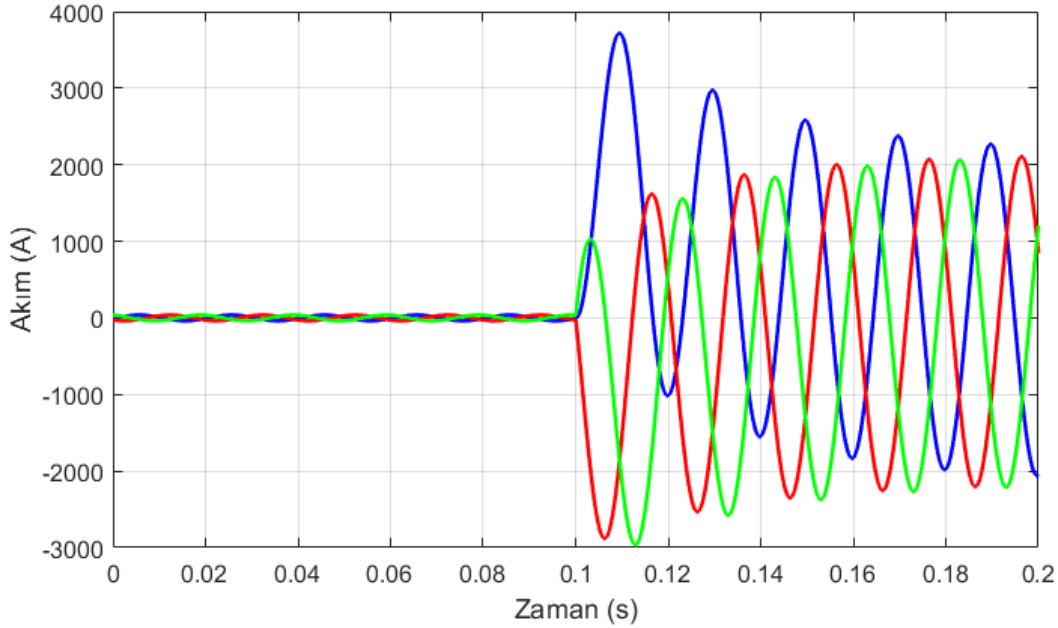
Arıza Durumu	Primer Gerilimi (V)	Kısa Devre Akımı (kA)
Üç Faz Kısa Devre Arızası	0	2,61
Faz- Toprak Kısa Devre Arızası	0	2,37
Faz- Faz Kısa Devre Arızası	10118	2,15

5.2.2.1. Üç Faz Kısa Devre Analizi Akım ve Gerilim Grafikleri

Mobil trafo merkezinin 34.5 kV barasında üç faz kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda primer gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da görülmektedir. Simülasyonda 0.1 saniyesinden itibaren üç faz kısa devre arızası başlamaktadır. Gerilim değeri rms değeri 2.52 V (sıfır olarak düşünülebilir), maksimum akım değeri rms değeri 2,61 kA değerlerine ulaşılmıştır.



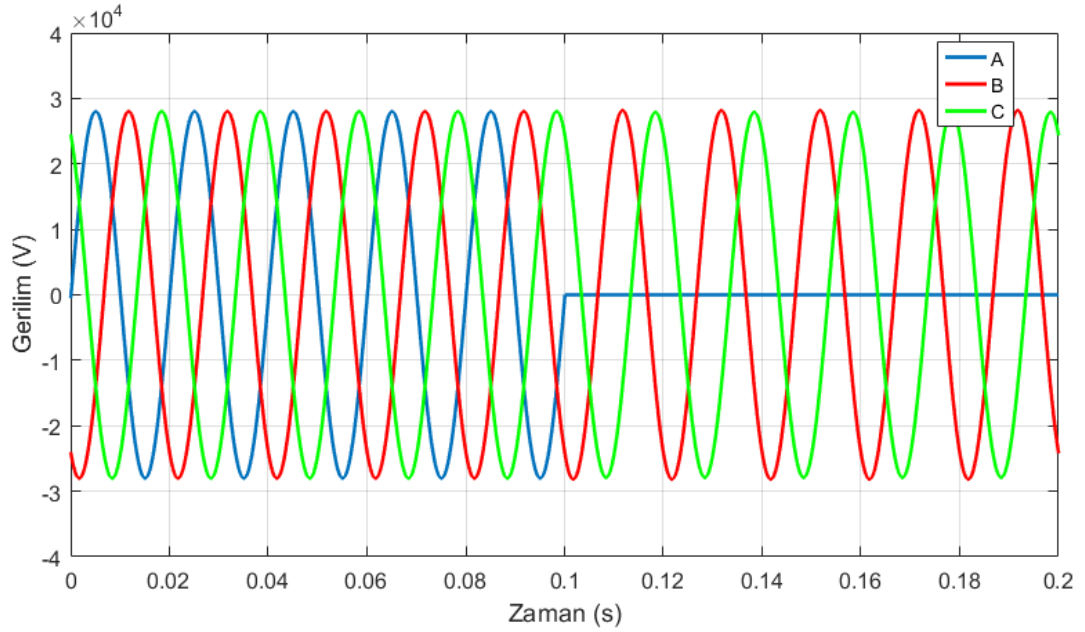
Şekil 5.18: Üç faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği.



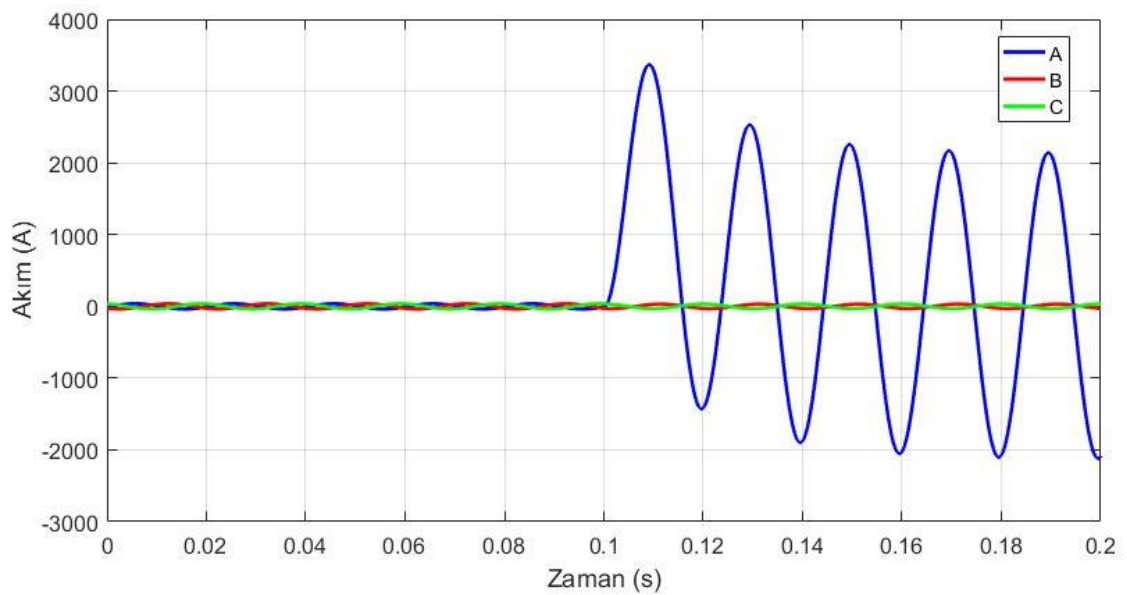
Şekil 5.19: Üç faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.

5.2.2.2. Faz-Toprak Kısa Devre Analizi Akım ve Gerilim Grafikleri

Mobil trafo merkezinin 34.5 kV barasında faz-toprak kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda primer gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de görülmektedir. Simülasyonda 0.1 saniyesinden itibaren faz-toprak kısa devre arızası başlamaktadır. Arızanın olduğu faz A fazıdır. Ölçü bloğu faz-toprak gerilimlerini ölçmektedir. Gerilim değeri A fazında sıfır iken, B ve C fazında rms değeri faz-toprak 19926 V olarak ölçülmüştür. A fazının maksimum akım değeri rms değeri 2,37 kA değerindedir. Kısa devre akımı sadece arızanın meydana geldiği fazda oluşmaktadır.



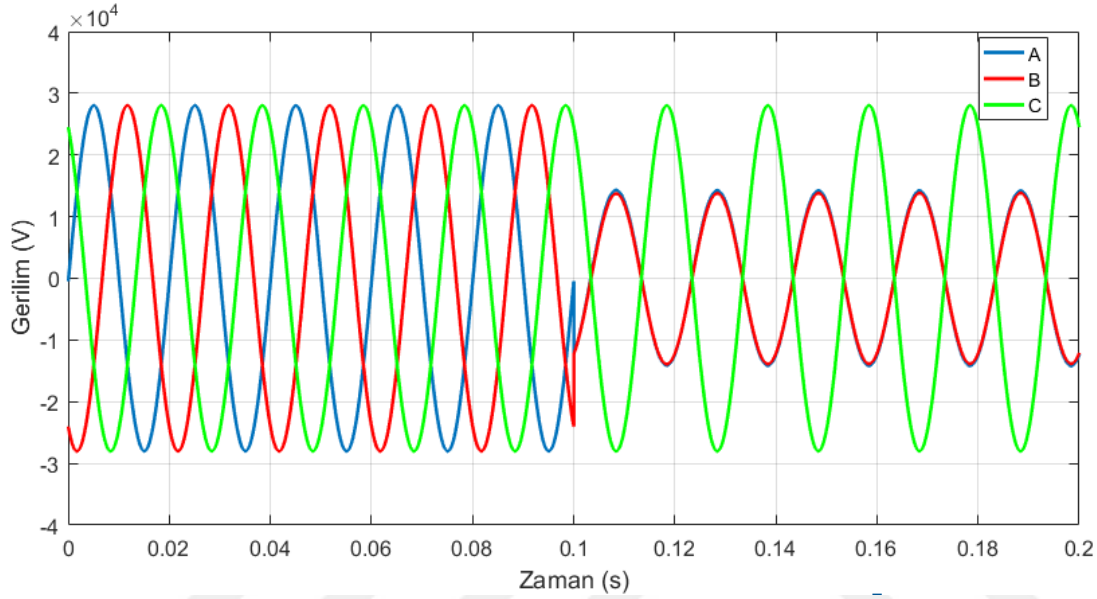
Şekil 5.20: Faz-toprak kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği.



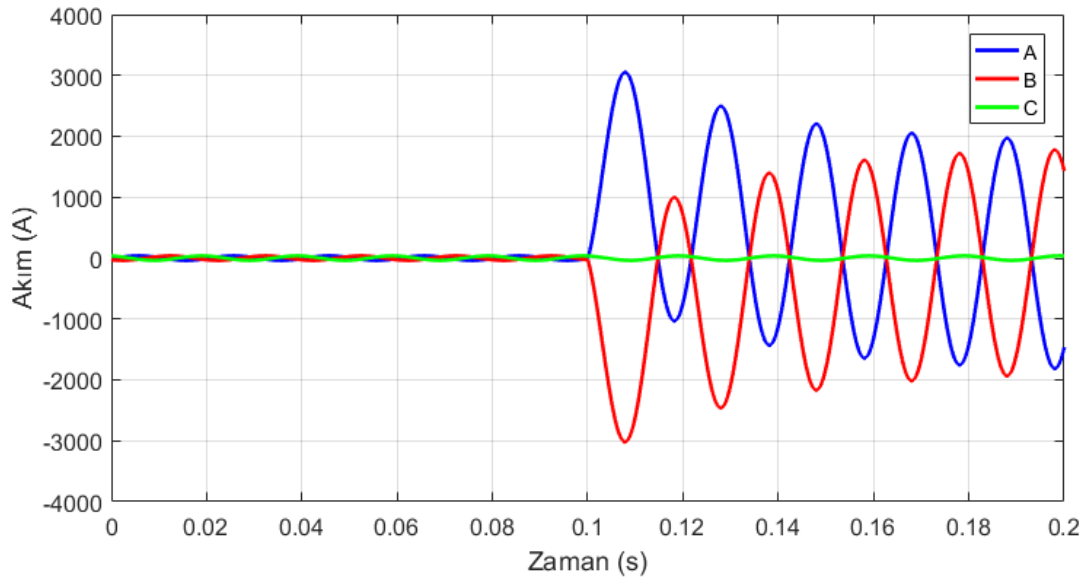
Şekil 5.21: Faz-toprak kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.

5.2.2.3. Faz-Faz Kısa Devre Analizi Akım ve Gerilim Grafikleri

Mobil trafo merkezinin 34.5 kV barasında faz-faz kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda primer gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de görülmektedir. Simülasyonda 0.1 saniyesinden itibaren faz-faz kısa devre arızası başlamaktadır. Arızanın olduğu fazlar A ve B fazlarıdır. Ölçü bloğu faz-toprak gerilimlerini ölçmektedir. Gerilim değeri C fazında rms değeri 19813 V (faz-faz 34317 V) iken, A ve B fazında rms değeri faz-toprak 10118 V olarak ölçülmüştür. A ve B fazları kısa devre akımlarının rms değeri 2.15 kA’dır.



Şekil 5.22: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği.



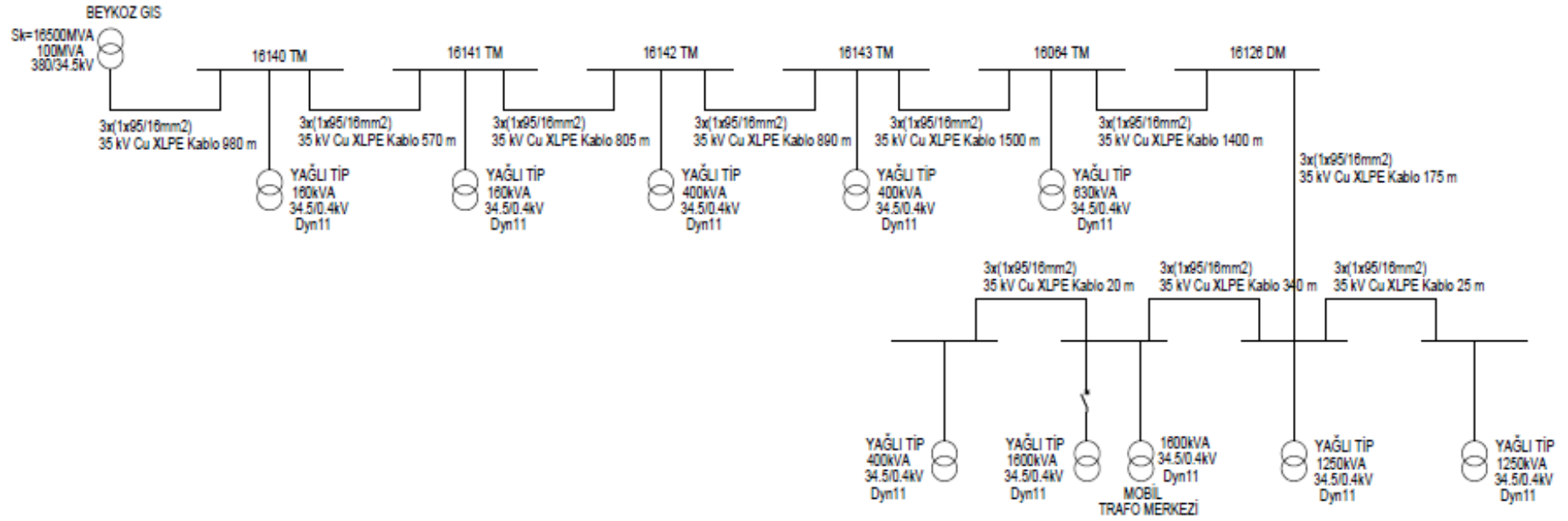
Şekil 5.23: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.

5.3. Gerçek Tabanlı Bir Dağıtım Şebekesinde Mobil Trafo Merkezinin Simülasyonu ve Kısa Devre Analizi

5.3.1. Dağıtım Şebekesi Yapısı

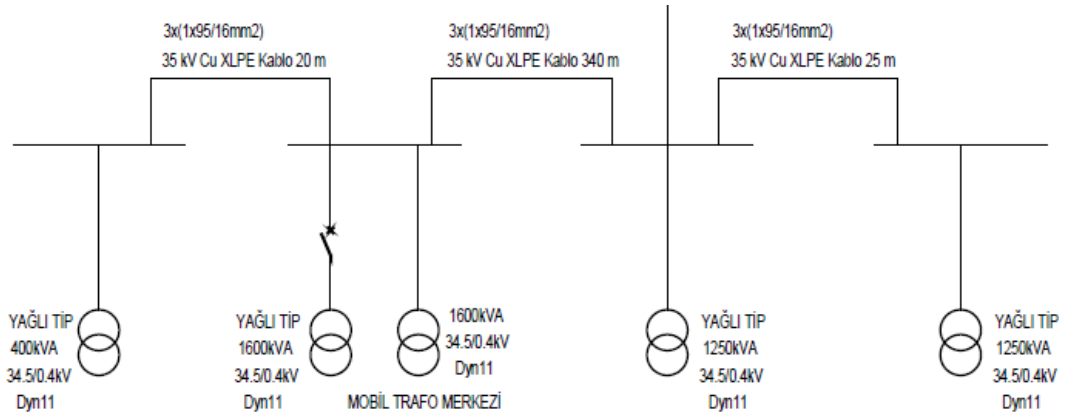
Bu bölümde, tasarımı yapılmış 1600 kVA gücünde, 34,5/0,4 kV'luk gerilim seviyesinde OG/AG mobil trafo merkezinin İstanbul Beykoz bölgesinde bulunan gerçek bir dağıtım şebekesi üzerinde yük akışı benzetimi ve kısa devre analizi MATLAB programının Simulink alt programı kullanılarak yapılmıştır. Hem yük akışı hem de kısa devre analizlerinde mobil trafo merkezinin akım ve gerilim grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda acil bir durum oluştursa mobil trafo merkezinin kullanılmasının bir sorun oluşturup oluşturmayacağı, sistemi sağlıklı bir şekilde besleyip besleyemeyeceği, orta gerilim bölümündeki anahtarlama ekipmanlarının kısa devre çalışma koşullarına uygun olarak seçilip seçilmediği kontrol edilmiştir.

İstanbul'un Beykoz ilçesinin bir bölgesinde yer alan 4500 kVA'lık bir dağıtım merkezinin (16126-TM) beslediği 400 kVA, 1600 kVA ve iki adet 1250 kVA olmak üzere toplam dört adet alt trafo merkezi bulunmaktadır. Bu bölge 100 MVA 380/34,5 kV'luk Beykoz GIS indirici merkezden beslenmektedir. Beykoz GIS indirici merkezindeki tek hat fideri, 16140-TM, 16141-TM, 16142-TM, 16143-TM ve 16064-TM'lerini de beslemekte ve bu trafo merkezlerinde ring yaparak 16126-TM'ye ulaşmaktadır. 100 MVA Beykoz GIS'te 34,5kV'a indirilen elektrik enerjisi 36 kV 3(1x95/16 mm²) XLPE yer altı kablosu vasıtasıyla 16140-TM'ye iletilmektedir. Her bir trafo merkezi arası bağlantı 36 kV 3(1x95/16 mm²) bakır iletkenli XLPE izoleli yer altı kablolarıyla yapılmaktadır. Simülasyonu yapılacak dağıtım şebekesinin orta gerilim elektrik tek hat diyagramı Şekil 5.24'de gösterilmektedir.



Şekil 5.24: Dağıtım şebekesi orta gerilim tek hat diyagramı.

Bu dağıtım sisteminde 16126-TM'ye bağlı 1600 kVA'lık alt trafo merkezinde bir arıza olduğu varsayılmış ve yerine geçici olarak bu çalışmada tasarımı yapılmış 1600 kVA'lık mobil trafo merkezinin bağlandığı ve devrede olduğu düşünülmüştür. Mobil trafo merkezi, bağlı olduğu durum varsayılarak sistemin yük akışı ve kısa devre simülasyonları MATLAB programının Simulink alt programı vasıtasıyla yapılmıştır. Dağıtım sisteminde gerçek parametreler kullanılmıştır. Dağıtım transformatörlerinin modellenmesinde fabrika test raporları baz alınarak hesaplamalar yapılmış ve bu değerlere göre blok parametrelerinin veri girişleri yapılmıştır. 36 kV bakır iletkenli XLPE izoleli orta gerilim kablolarının teknik değerleri üretici firmalardan alınmıştır. Her bir trafo merkezinin aktif ve reaktif yük parametrelerinin güç faktörü 0,99 varsayılmıştır. Mobil trafo merkezinin bağlantısının yapıldığı dağıtım şebekesi tek hat diyagramı Şekil 5.25'de gösterilmektedir. Önceden var olan 1600 kVA'lık trafo merkezinde bir arıza meydana geldiği için trafo merkezi devre dışı bırakılmıştır. Onun yerine sistemi mobil trafo merkezi besleyecektir. Sistem devreye alınmıştır.



Şekil 5.25: Mobil trafo merkezinin dağıtım şebekesine bağlantısı.

5.3.2. Simülasyon Parametreleri

5.3.2.1. Şebeke Parametreleri

100 MVA gücünde 16500 MVA kısa devre gücü olan Beykoz GIS indirici merkez Simulink'te bir gerilim kaynağı olarak modellenmiştir. (5.3), (5.5) ve (5.6) ifadelerinden şebeke empedans değerleri Çizelge 5.3'de gösterilmektedir. Hesaplamalarda c gerilim katsayısı 1,1 olarak alınmıştır.

Çizelge 5.3: Şebeke parametreleri.

Parametreler	Değer	Birim
Kısa Devre Gücü (S_k)	16500	MVA
Şebeke Gerilimi (U_n)	34,5	kV
Şebeke Empedansı (Z_s)	0,0794	Ohm
Şebeke Reaktansı (X_s)	0,079	Ohm
Şebeke Direnci (R_s)	0,0079	Ohm
Şebeke İndüktansı (L_s)	0,00025144	H

5.3.2.2. Kablo Parametreleri

1x95 mm² bakır iletkenli XLPE kablo bloğu üç fazlı seri R-L-C bloğu ile modellenmiştir. 3x(1x95+16mm²) bakır XLPE kablo için empedans ve indüktans değerleri için (5.7) (5.8) ve (5.9)'daki değerler kullanılmıştır.

5.3.2.3. Dağıtım Transformatörü Parametreleri

Dağıtım şebekesinde toplam 9 adet trafo merkezi bulunmaktadır. Bunlardan dört tanesi bir adet dağıtım merkezine (DM-16126) bağlı olup, alt trafo merkezleridir. Trafo merkezlerinde kullanılan tüm dağıtım transformatörleri TEDAŞ-MLZ/99-032.E “Hermetik Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi’ne” uygun hermetik yağlı tip, Dyn11 vektör gruplu ve 34,5/0,4 kV gerilim seviyesindeki transformatörlerdir. Trafo merkezlerindeki trafoların güç ve gerilim değerleri Çizelge 5.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.4: Trafo merkezleri güç ve gerilim değerleri.

Trafo Merkezi	Trafo Gücü (kVA)	Primer Gerilim (kV)	Sekonder Gerilim (kV)
16140-TM	160	34,5	0,4
16141-TM	160	34,5	0,4
16142-TM	400	34,5	0,4
16143-TM	400	34,5	0,4
16064-TM	630	34,5	0,4
	400	34,5	0,4
	1250	34,5	0,4
	1250	34,5	0,4
	1600	34,5	0,4
16126-TM			

Aynı güçteki dağıtım transformatörleri özdeş olarak kabul edilmektedir. Her bir trafo merkezindeki transformatörlerin kısa devre parametreleri tasarım bölümündeki boşta çalışma ve kısa devre deneyi ifadelerinden yola çıkılarak ve fabrika test raporları baz alınarak hesaplanmıştır. Mobil trafo merkezinde bulunan 1600 kVA dağıtım transformatörünün kısa devre parametre değerleri Çizelge 4.3’de gösterilmişti. 160, 400, 630 ve 1250 kVA dağıtım transformatörleri için kısa devre parametreleri Çizelge 5.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.5: Dağıtım transformatörleri kısa devre parametreleri.

Parametreler	160 kVA	400 kVA	630 kVA	1250 kVA	Birim
Güç (S)	160	400	630	1250	kVA
Frekans (f)	50	50	50	50	Hz
Primer Gerilimi (V1)	34,5	34,5	34,5	34,5	kV
Sekonder Gerilimi (V2)	0,4	0,4	0,4	0,4	kV
Yükte Çalışma Kaybı (Pk)	1925	3575	5060	10450	W
Boşta Çalışma Kaybı (Po)	242	495	690	1095	W
Kısa Devre Gerilimi (%Uk)	4,5	4,5	4,5	6	-
Boşta Çalışma Akımı (Io)	0,72	1,47	2,04	3,26	A
Boşta Çalışma Gerilimi (Vo)	400	400	400	400	V
Primer Sargı Direnci (r1)	44,75	13,30	7,59	3,98	Ohm
Sekonder Sargı Direnci (r2)	0,006015625	0,0017875	0,001019904	0,00053504	Ohm
Primer Sargı İndüktansı (L1)	0,51	0,21	0,13	0,09	H
Sekonder Sargı Direnci (L2)	0,00006904	0,00002809	0,00001791	0,00001211	H
Manyetik Direnç (Rfe)	1157570,17	568025,04	411136,19	255491,16	Ohm
Manyetik İndüktans (Lm)	6641,51	3249,26	2338,70	1466,84	H

5.3.2.4. Yük Parametreleri

Her bir trafo merkezinin tam yükte çalışacağı varsayılmıştır. Güç faktörü 0,99 alınarak her bir trafo merkezinin aktif ve reaktif yük değerleri hesaplanmıştır. Trafo merkezlerinin yük parametreleri Çizelge 5.6’da gösterilmektedir.

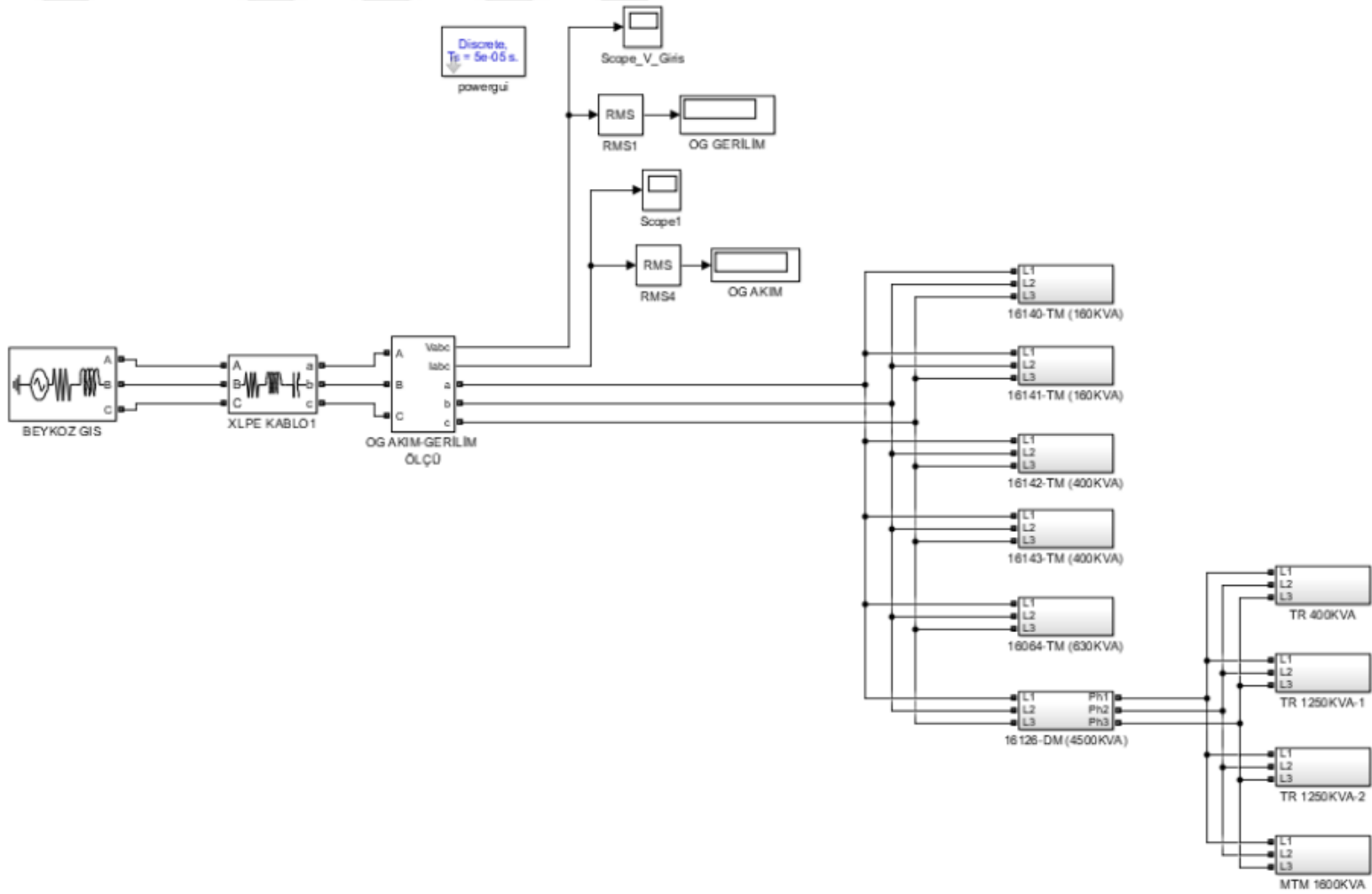
Çizelge 5.6: Trafo merkezleri yük parametre değerleri.

Trafo Merkezi	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)
TM-16140	158	22,57
TM-16141	158	22,57
TM-16142	396	56,427
TM-16143	396	56,427
TM-16064	624	88,87
TM-16126 (400 kVA)	396	56,427
TM-16126 (1250 kVA)-1	1238	176
TM-16126 (1250 kVA)-2	1238	176
TM-16126 (1600 kVA)	1584	226

5.3.3 Normal Çalışma Durumunda Dağıtım Şebekesinin Simülasyonu ve Kısa Devre Analizi

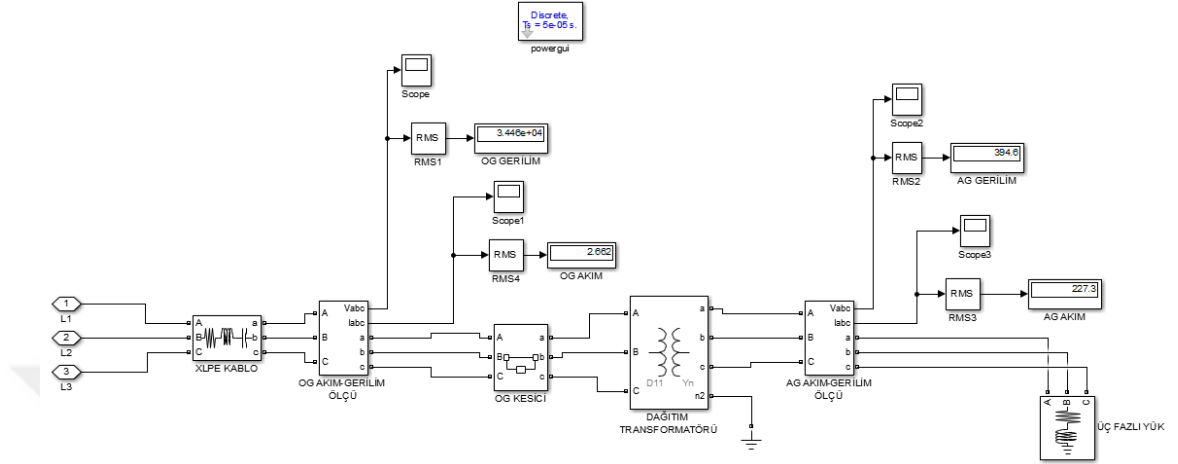
5.3.3.1. Dağıtım Şebekesinin Simulink Modeli, Akım ve Gerilim Ölçümleri

100 MVA gücünde, 16500 MVA kısa devre gücünde 34,5 kV’luk 9 adet trafo merkezinin bulunduğu bir dağıtım şebekesinin simulink modeli Şekil 5.26’da verilmiştir.

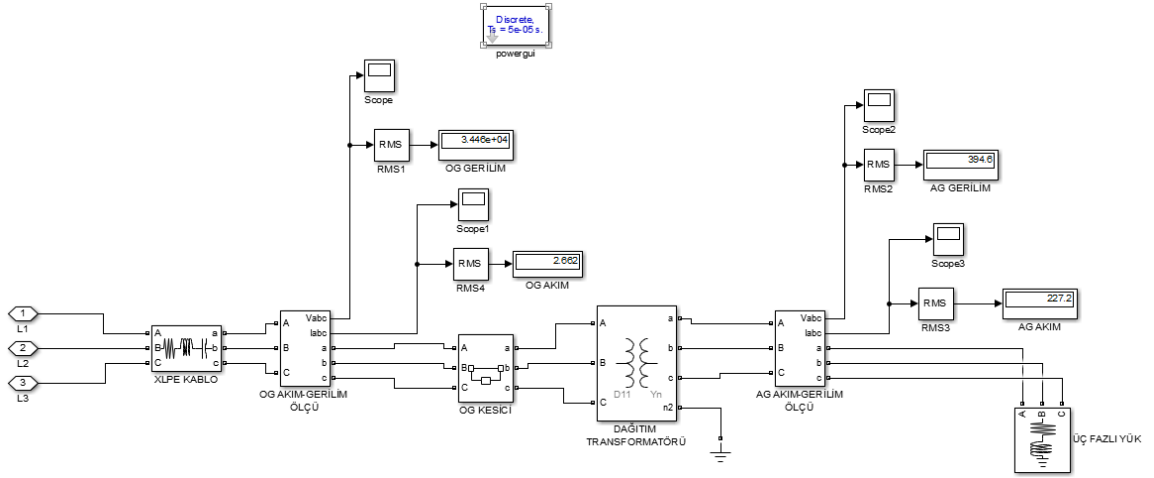


Şekil 5.26: Dağıtım şebekesi Simulink modeli.

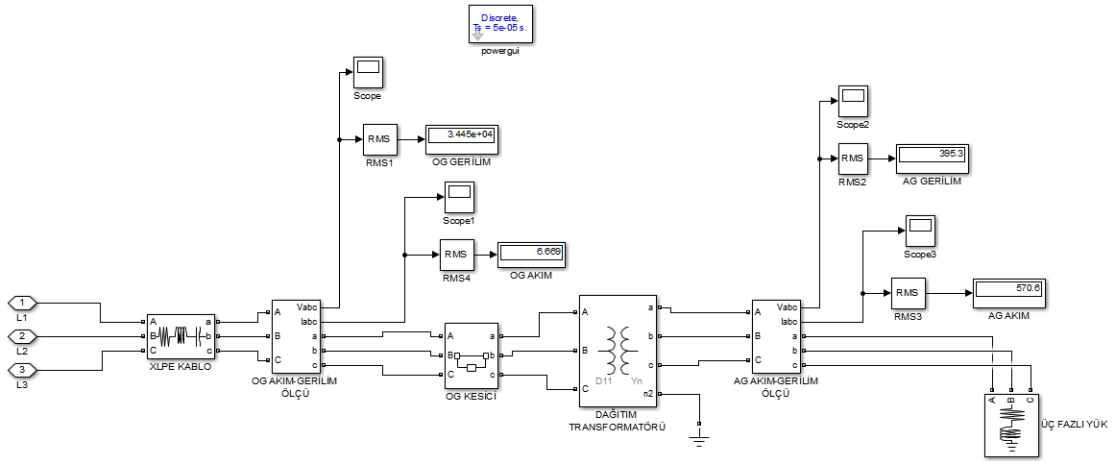
Trafo merkezleri bir alt sistem (subsystem) olarak modellenmiştir. Trafo merkezlerinin Simulink alt sistem modelleri TM-16140 Şekil 5.27’de, TM-16141 Şekil 5.28’de, TM-16142 Şekil 5.29’da, TM-16143 Şekil 5.30’da ve TM-16064 Şekil 5.31’de gösterilmektedir.



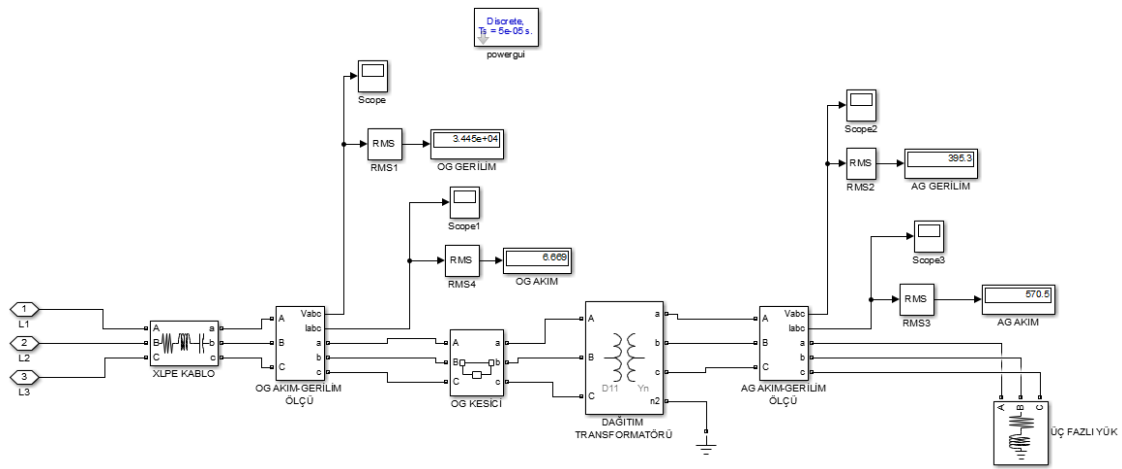
Şekil 5.27: TM-16140 Simulink modeli.



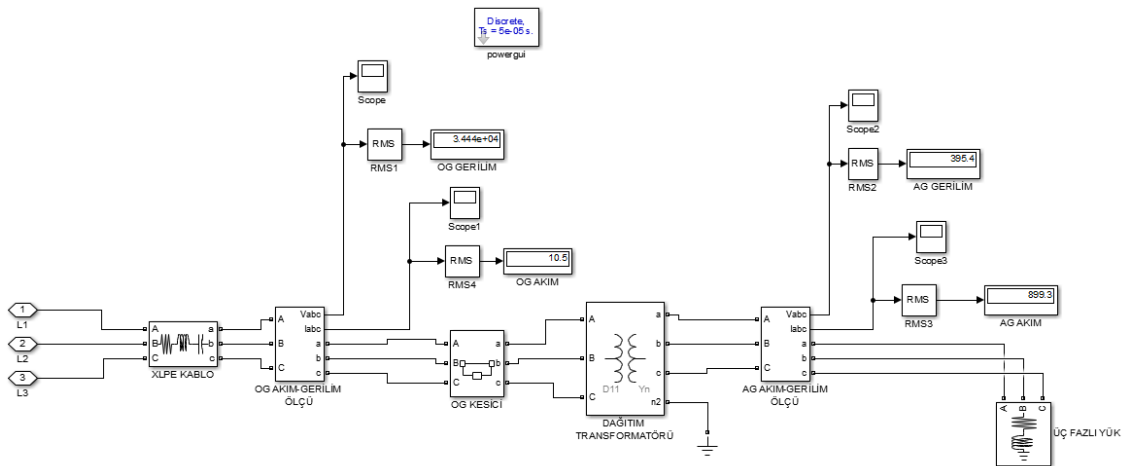
Şekil 5.28: TM-16141 Simulink modeli.



Şekil 5.29: TM-16142 Simulink modeli.



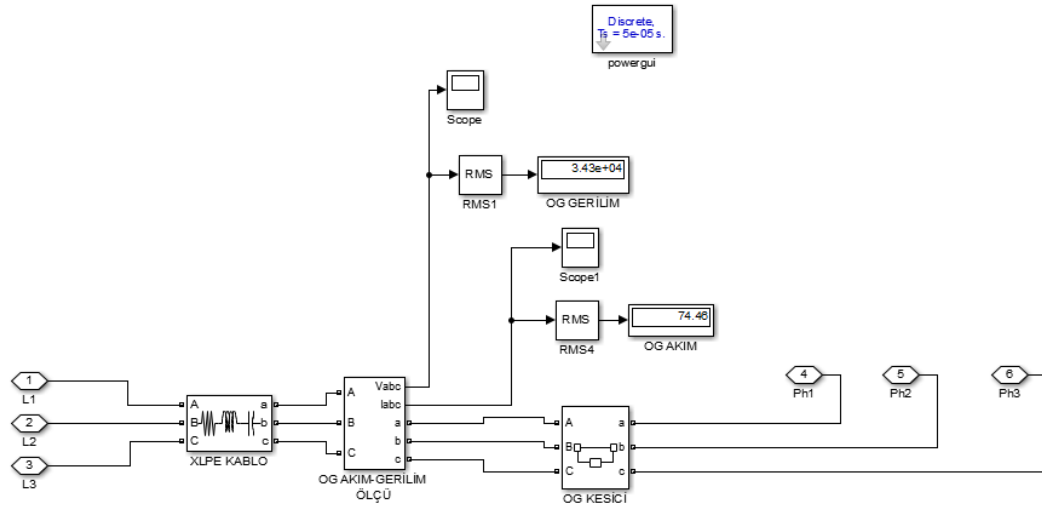
Şekil 5.30: TM-16143 Simulink modeli.



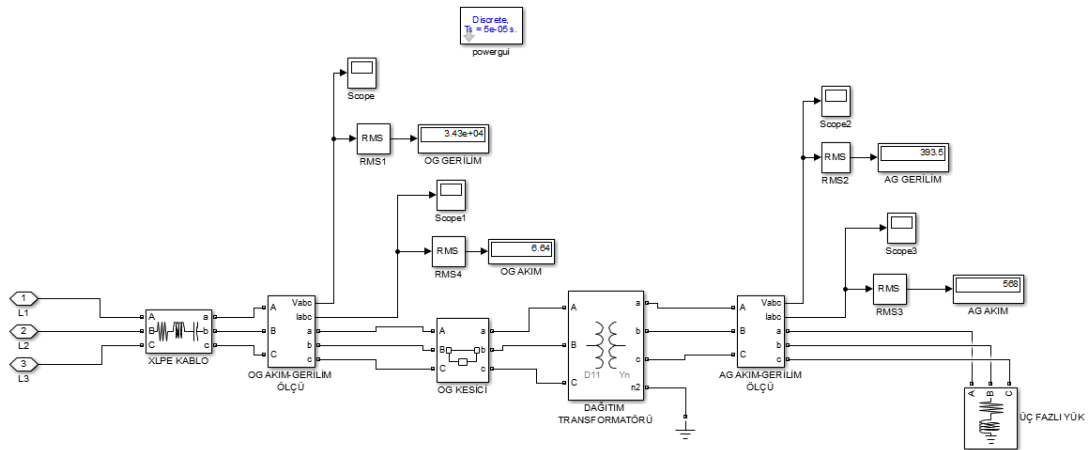
Şekil 5.31: TM-16064 Simulink modeli.

DM-16126'nin Simulink modeli Şekil 5.32'de gösterilmektedir. Bu dağıtım merkezine dört adet alt trafo merkezi bağlı olduğundan merkezin toplam enerji giriş, çıkış ve ölçü hücreleri burada bulunmaktadır. DM-16126'dan çıkan tek hat fideri Şekil

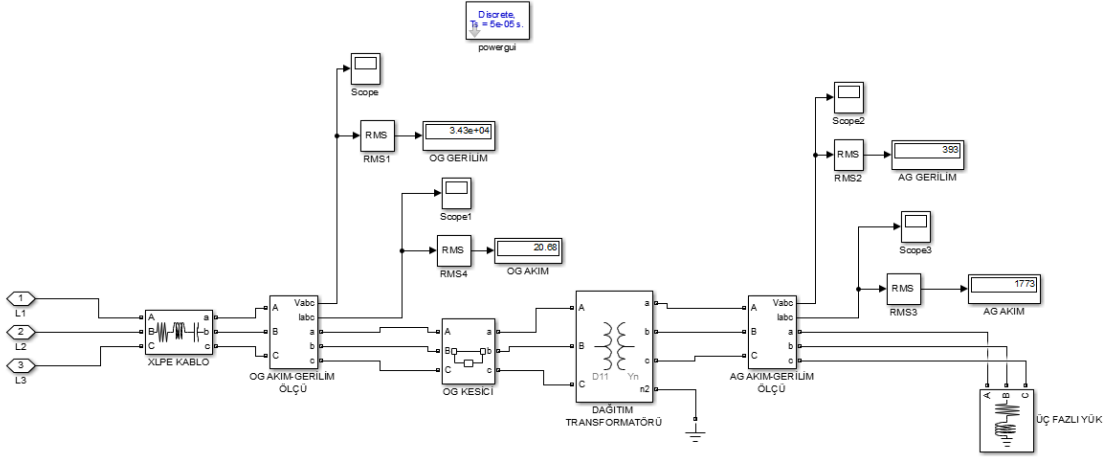
5.24'deki tek hat diyagramına göre yer altı kabloları ile bir adet 400 kVA, iki adet 1250 kVA trafo merkezlerini ve bir adet 1600 kVA'lık mobil trafo merkezini beslemektedir. 400 kVA trafo merkezinin Simulink modeli Şekil 5.33'de, 1250 kVA trafo merkezinin Simulink modeli Şekil 5.34'de ve 1600 kVA mobil trafo merkezinin Simulink modeli Şekil 5.35'de gösterilmektedir. 1250 kVA trafo merkezi iki adet bulunmaktadır. İki merkez aynı modeli içerdiğinden sadece Şekil 5.34'de gösterilmiştir.



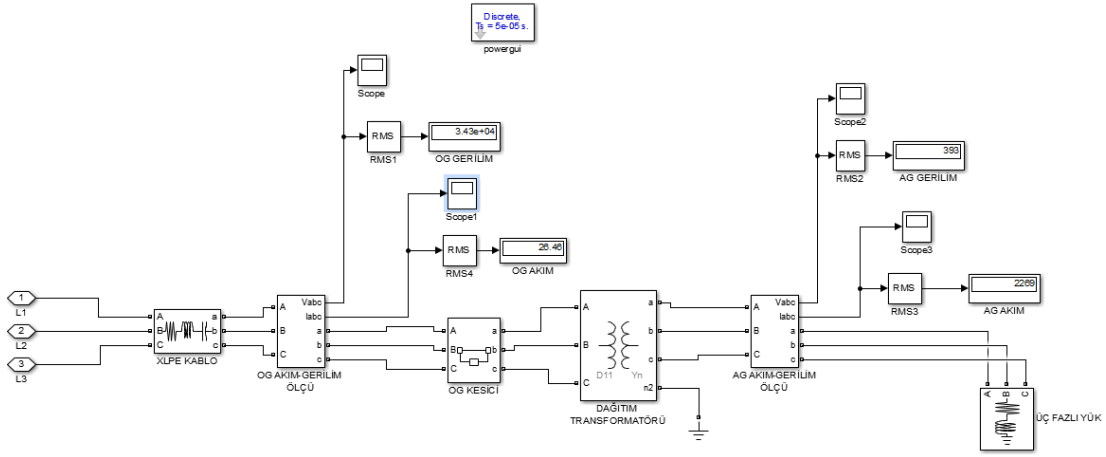
Şekil 5.32: DM-16126 Simulink modeli.



Şekil 5.33: TM-16126 (400 kVA) Simulink modeli.



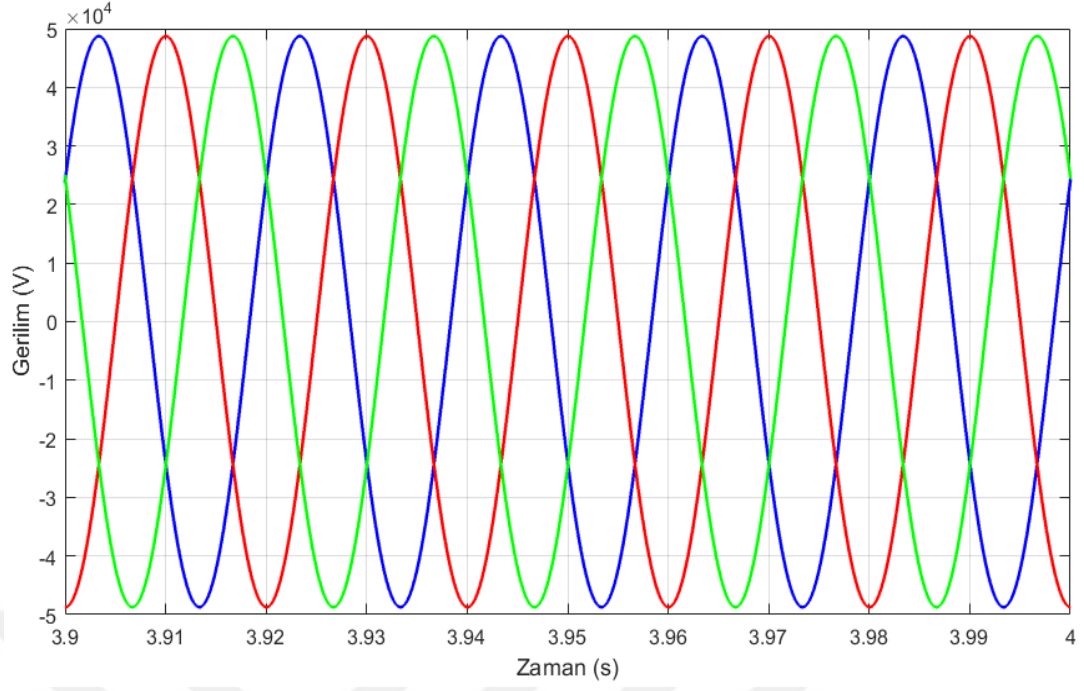
Şekil 5.34: TM-16126 (1250 kVA) Simulink modeli.



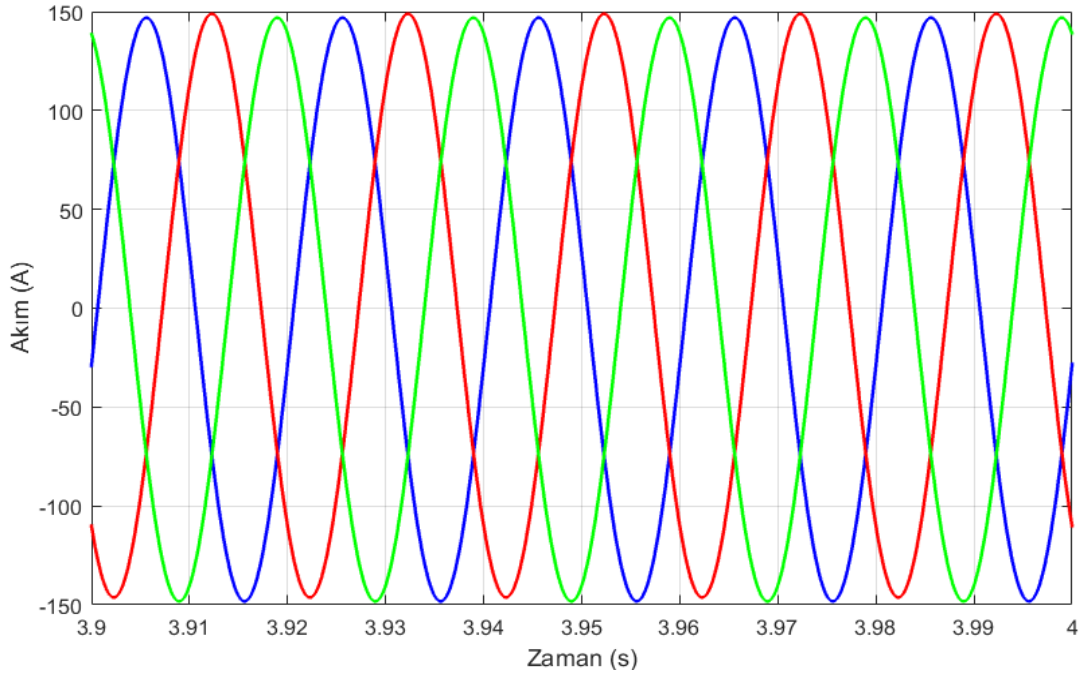
Şekil 5.35: TM-16126 (1600 kVA) mobil trafo merkezi Simulink modeli.

5.3.3.2. Beykoz GIS Çıkış Fideri Akım ve Gerilim Ölçümleri

Dağıtım şebekesinin yük akışı simülasyonu sonucu toplam 6250 kVA'lık yükün Beykoz GIS tek hat fideri ölçü bloğu 34,5 kV barasındaki gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de görülmektedir.



Şekil 5.36: Normal çalışma durumunda Beykoz GIS çıkış fideri gerilim grafiği.

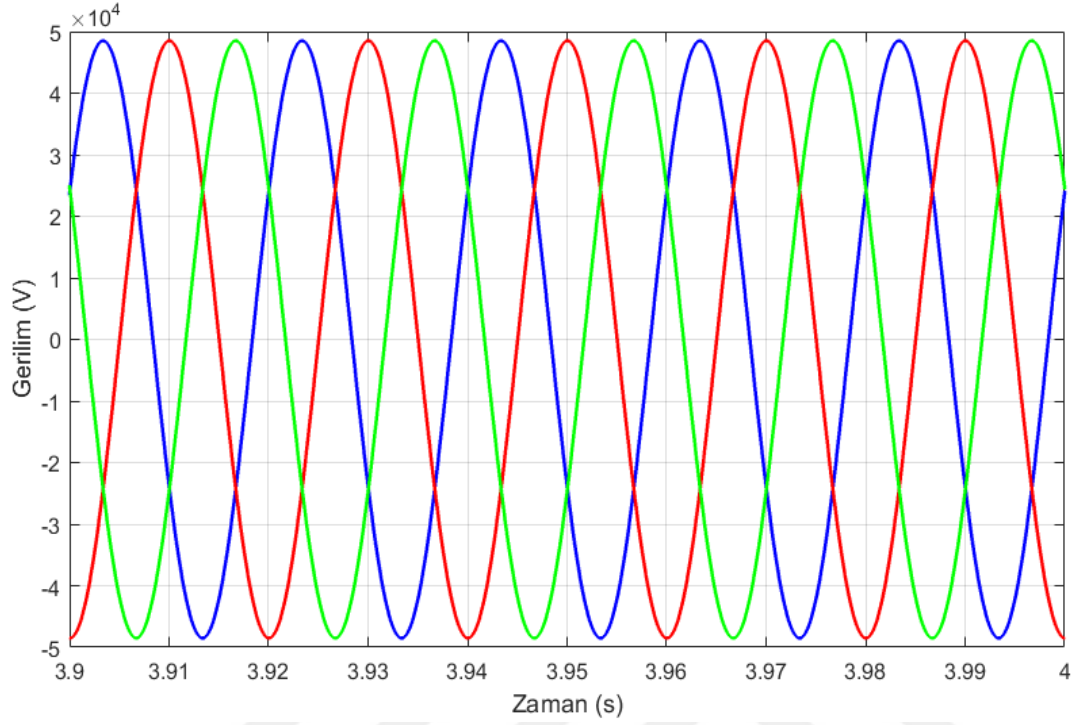


Şekil 5.37: Normal çalışma durumunda Beykoz GIS çıkış fideri akım grafiği.

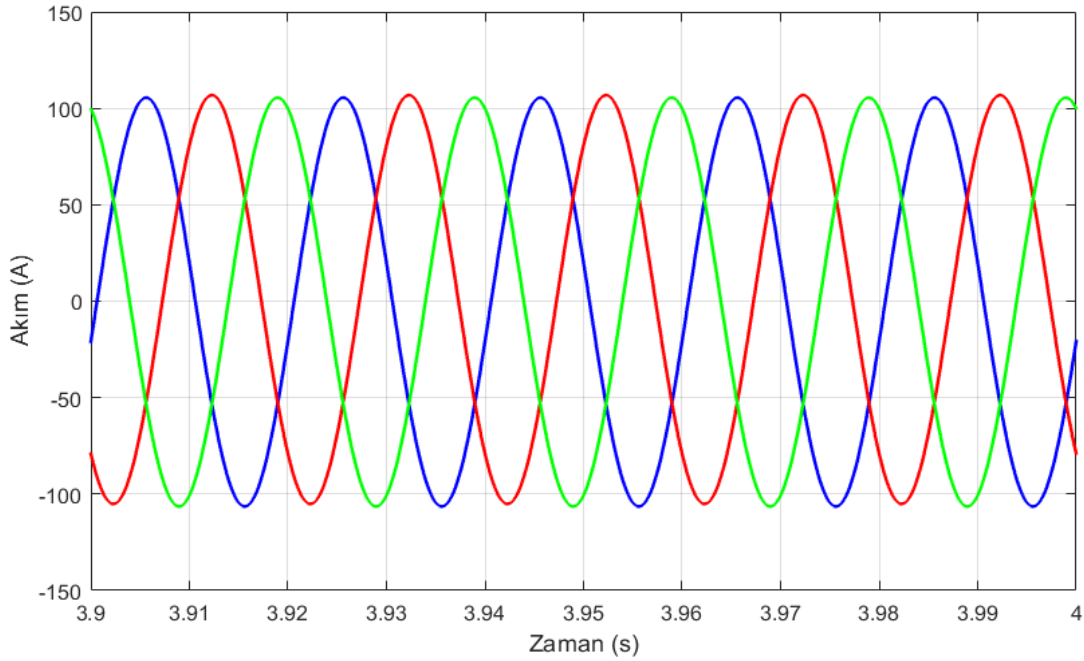
Dağıtım şebekesindeki 9 adet trafo merkezi Beykoz GIS'teki tek hat fiderinden beslenmektedir. Bu trafo merkezlerinin toplam gücü 6250 kVA'dır. Buradaki fiderin etkin değer olarak ölçülen gerilim rms değeri 34446 V olup, akım rms değeri 103,6 A'dır. Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de gösterilen grafikteki değerler beklenen akım ve gerilim grafikleridir. Sistem, arızanın olmadığı normal çalışma koşulları altındadır.

5.3.3.3. DM-16126 Akım ve Gerilim Ölçümleri

DM-16126 dağıtım merkezindeki ölçü bloğu 34,5 kV barasındaki gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.38 ve Şekil 5.39’da görülmektedir.



Şekil 5.38: Normal çalışma durumunda DM-16126 çıkış fideri gerilim grafiği.



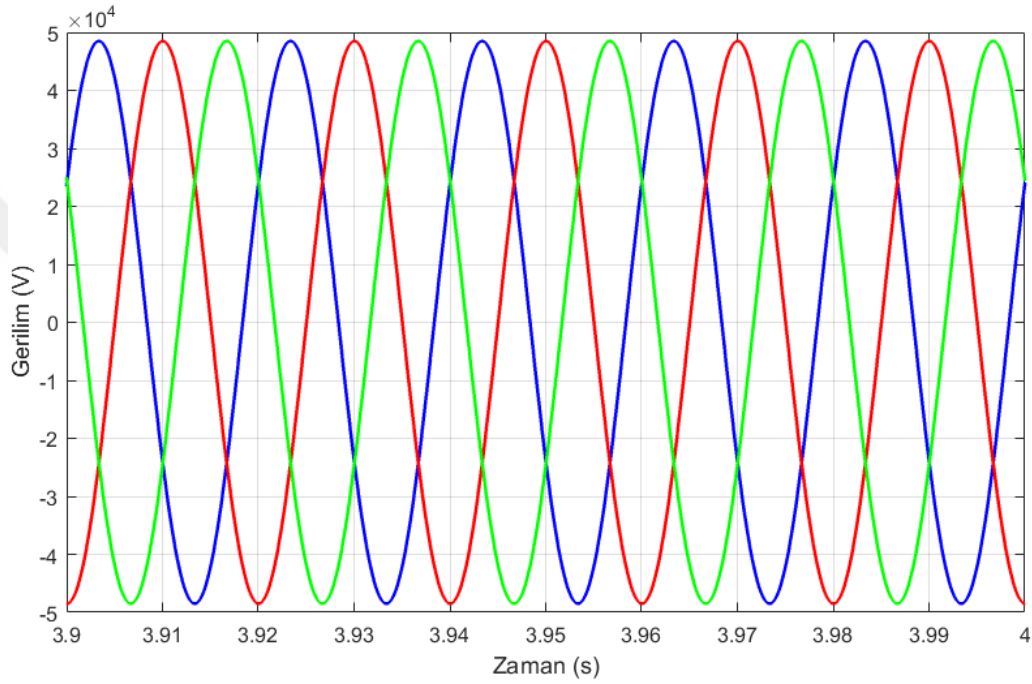
Şekil 5.39: Normal çalışma durumunda DM-16126 çıkış fideri akım grafiği.

Dağıtım şebekesindeki DM-126 dağıtım merkezi 4 adet alt trafo merkezini beslemektedir. Bu trafo merkezlerinin toplam gücü 4500 kVA’dır. Buradaki çıkış

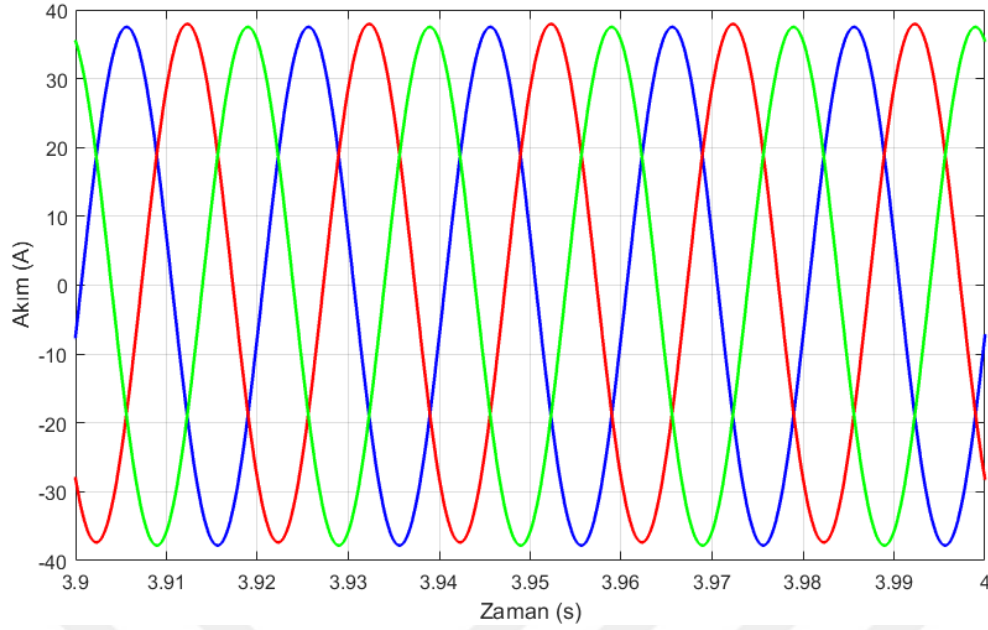
fiderinin etkin değer olarak ölçülen gerilim rms değeri 34300 V olup, akım rms değeri 74,48 A'dır. Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'da gösterilen grafikteki değerler normal şartlar altında beklenen akım ve gerilim grafikleridir. Sistem, arızanın olmadığı normal çalışma koşulları altındadır. Bu çalışmada tasarımı yapılan 1600 kVA'lık mobil trafo merkezi de bu dağıtım merkezinden beslenmektedir.

5.3.3.4. DM-16126 - 1600 kVA Mobil Trafo Merkezi Akım ve Gerilim Ölçümleri

DM-16126 dağıtım merkezine bağlı olan 1600 kVA gücündeki mobil trafo merkezinin normal çalışma durumundaki primer gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de görülmektedir.

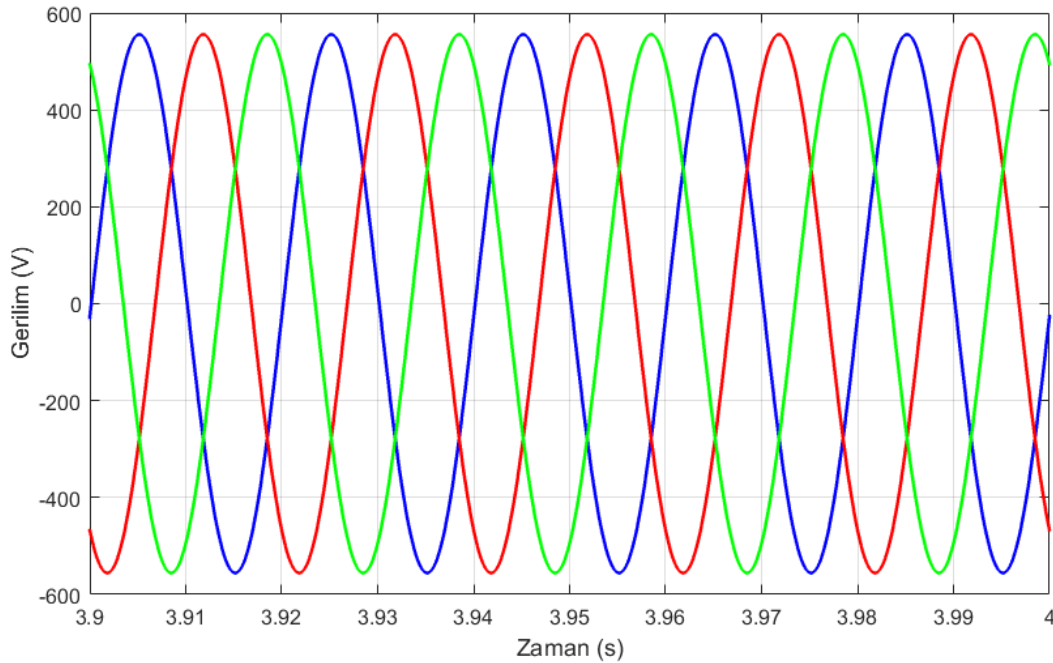


Şekil 5.40: Normal çalışma durumunda MTM primer gerilim grafiği.

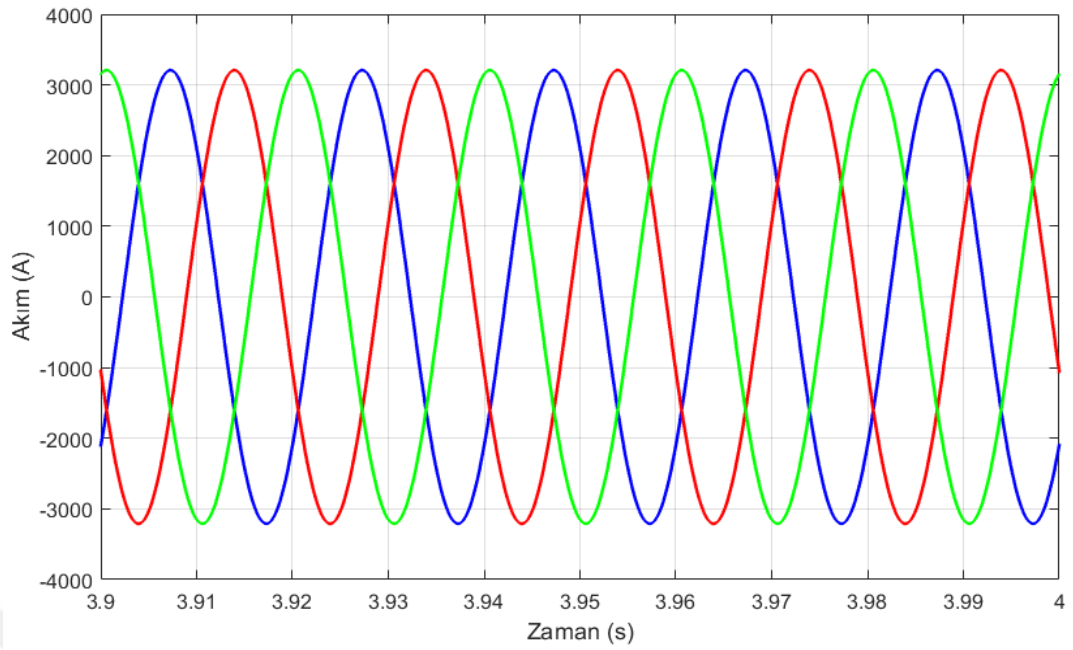


Şekil 5.41: Normal çalışma durumunda MTM primer akım grafiği.

Mobil trafo merkezinin etkin değer olarak ölçülen gerilim değeri 34300 V olup, akım rms değeri 26.47 A'dır. Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de gösterilen grafikteki değerler beklenen akım ve gerilim grafikleridir. Sistem, arızanın olmadığı normal çalışma koşulları altındadır. MTM'nin sekonder gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'de görülmektedir.



Şekil 5.42: Normal çalışma durumunda MTM sekonder gerilim grafiği.



Şekil 5.43: Normal çalışma durumunda MTM sekonder akım grafiği.

MTM'nin etkin değer olarak ölçülen gerilim değeri 393 V olup, akım rms değeri 2269 A'dır. Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'de gösterilen grafikteki değerler beklenen akım ve gerilim grafikleridir. Sistem, arızanın olmadığı normal çalışma koşulları altındadır. Gerilimin düşmesinin sebebi Beykoz GIS'ten gelen enerjinin uzun mesafeler sonucunda mobil trafo merkezine ulaşırken gerilim düşümüne uğramasından kaynaklıdır. Ama bu düşüm, ihmal edilebilir sınırlar içerisindedir. Bu simülasyonda elden edilen sonuçlar bir tablo haline getirilmiştir. Simülasyonu yapılan dağıtım şebekesindeki tüm trafo merkezlerinin arıza durumunun olmadığı simülasyon sonucu elde edilen primer ve sekonder akım-gerilim değerleri Çizelge 5.7 ve 5.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.7: Dağıtım şebekesinde yer alan trafo merkezlerinin primer akım ve gerilim değerleri.

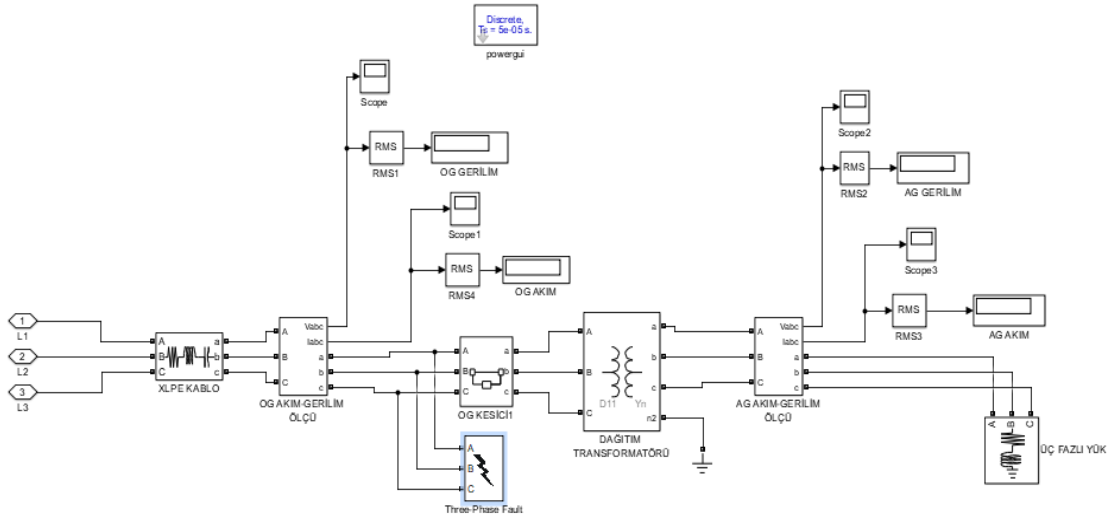
Trafo Merkezi	Primer Gerilim (V)	Primer Akım (A)
TM-16140	34460	2,662
TM-16141	34460	2,662
TM-16142	34450	6,669
TM-16143	34450	6,669
TM-16064	34440	10,5
TM-16126 (400 kVA)	34300	6,64
TM-16126 (1250 kVA)-1	34300	20,68
TM-16126 (1250 kVA)-2	34300	20,68
TM-16126 (1600 kVA)	34300	26,46

Çizelge 5.8: Dağıtım şebekesinde yer alan trafo merkezlerinin sekonder akım ve gerilim değerleri.

Trafo Merkezi	Sekonder Gerilim (V)	Sekonder Akım (A)
TM-16140	394,6	227,3
TM-16141	394,6	227,2
TM-16142	395,3	570,6
TM-16143	395,3	570,5
TM-16064	395,4	899,3
TM-16126 (400 kVA)	393,5	568
TM-16126 (1250 kVA)-1	393	1773
TM-16126 (1250 kVA)-2	393	1773
TM-16126 (1600 kVA)	393	2269

5.3.4 Mobil Trafo Merkezinin OG Barasında Kısa Devre Arızası Meydana Gelmesi Durumunda Simulink Modeli, Akım ve Gerilim Ölçümleri

İncelenen dağıtım sisteminde mobil trafo merkezinin 34,5 kV orta gerilim barasında üç faz, faz-toprak ve faz-faz kısa devre arızası olacağı varsayılmıştır. Sistemin kısa devre Simulink modeli Şekil 5.44’de gösterilmektedir. Bu model, Şekil 5.26’da gösterilen modeldeki 1600 kVA mobil trafo merkezi alt bloğunu temsil etmektedir. Her üç tip kısa devre arızası olması durumundaki mobil trafo merkezinin 34.5 kV barasındaki akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.44: Dağıtım şebekesi MTM OG barasında kısa devre durumu Simulink modeli.

MTM’nin OG barasında yapılan kısa devre analizleri sonucu Çizelge 5.9’da her üç tip kısa devre arıza durumuna göre elde edilen kısa devre akımı ve gerilim değerleri gösterilmektedir. Çizelgeden anlaşılabacağı gibi en yüksek kısa devre akımı rms değeri 11,29 kA olarak ölçülmüştür. Üç faz kısa devre arızası meydana geldiğinde bu baradaki gerilim neredeyse sıfıra inmektedir. MTM’nin orta gerilim kesicisinin kısa

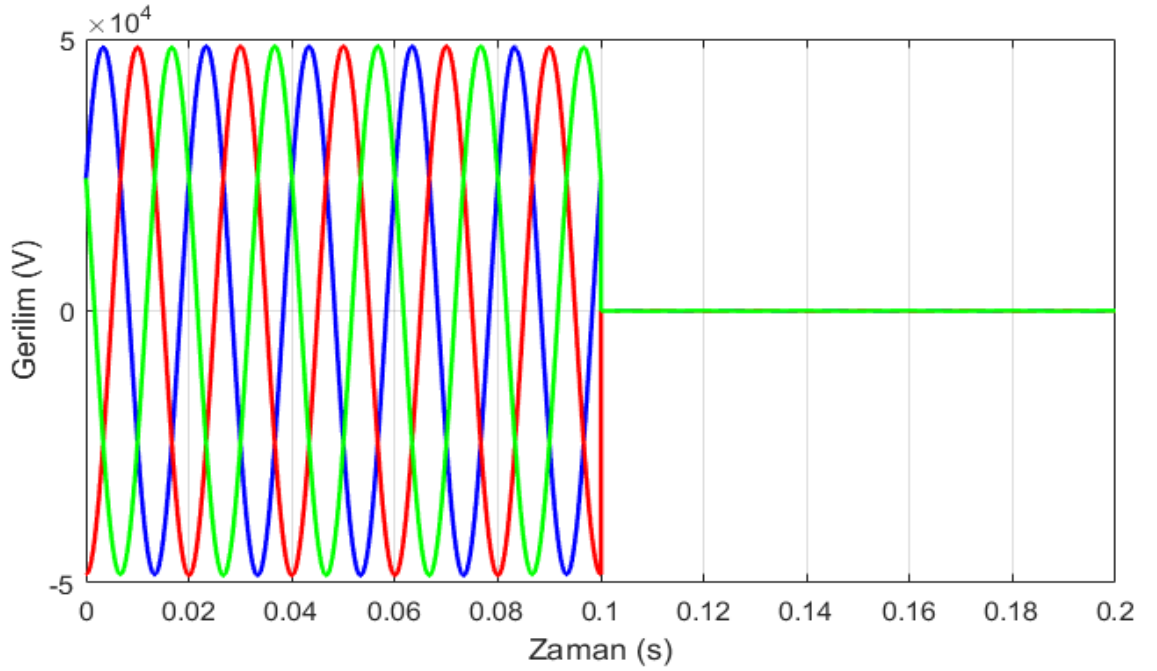
devre kesme kapasitesi 16 kA olduğundan kısa devre çalışma koşullarına uygun olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.9: Her üç tip arıza durumu için MTM kısa devre akım ve gerilim değerleri.

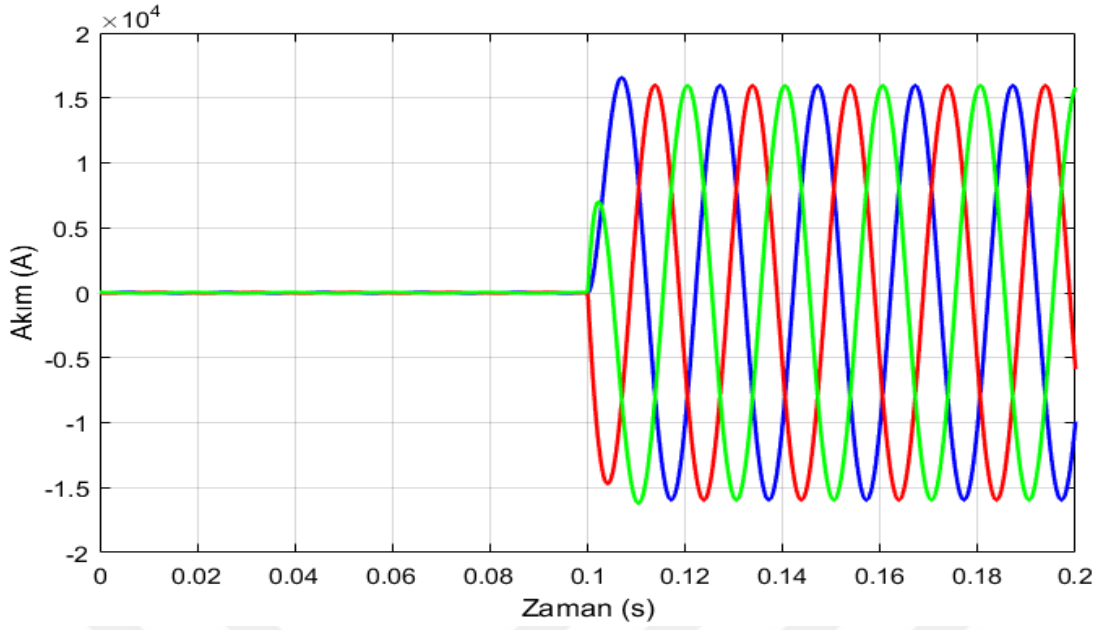
Arıza Durumu	Primer Gerilimi (V)	Kısa Devre Akımı (kA)
Üç Faz Kısa Devre Arızası	0	11,29
Faz- Toprak Kısa Devre Arızası	0	7,63
Faz- Faz Kısa Devre Arızası	10458	9,97

5.3.4.1. Üç Faz Kısa Devre Analizi Akım ve Gerilim Grafikleri

İncelenen dağıtım sisteminde mobil trafo merkezinin 34.5 kV barasında üç faz kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda primer gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.45 ve Şekil 5.46’da görülmektedir. Simülasyonda 0.1 saniyesinden itibaren üç faz kısa devre arızası başlamaktadır. Gerilim değeri rms değeri 19.56 V (sıfır olarak düşünülebilir), maksimum akım değeri rms değeri 11.29 kA değerlerine ulaşmıştır.



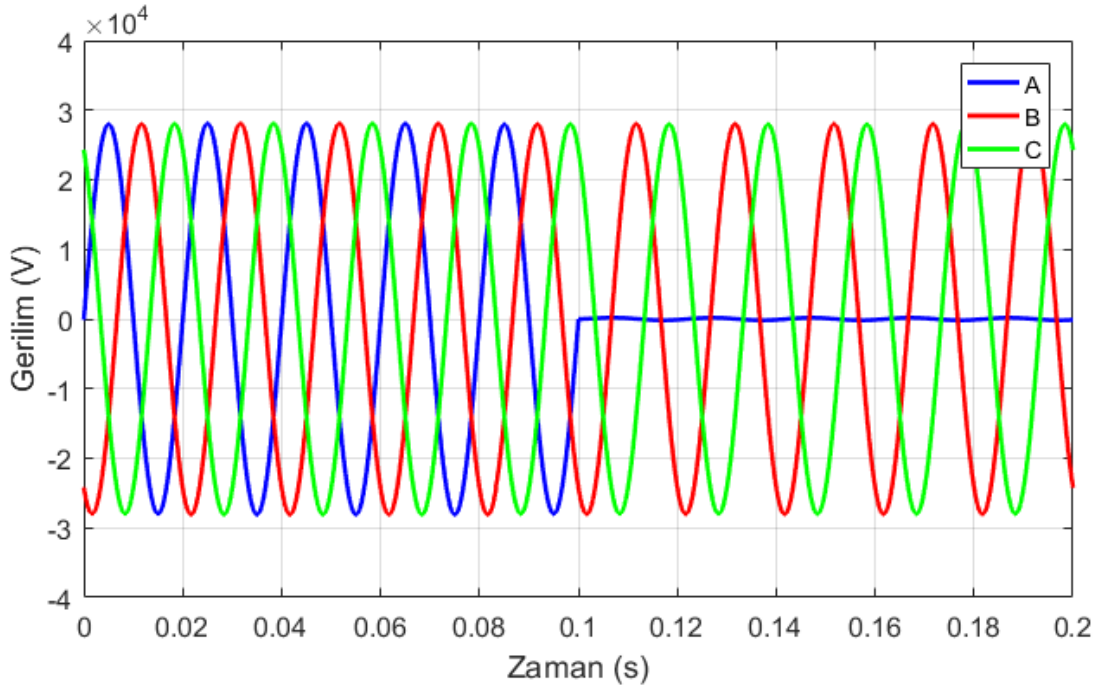
Şekil 5.45: Üç faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği.



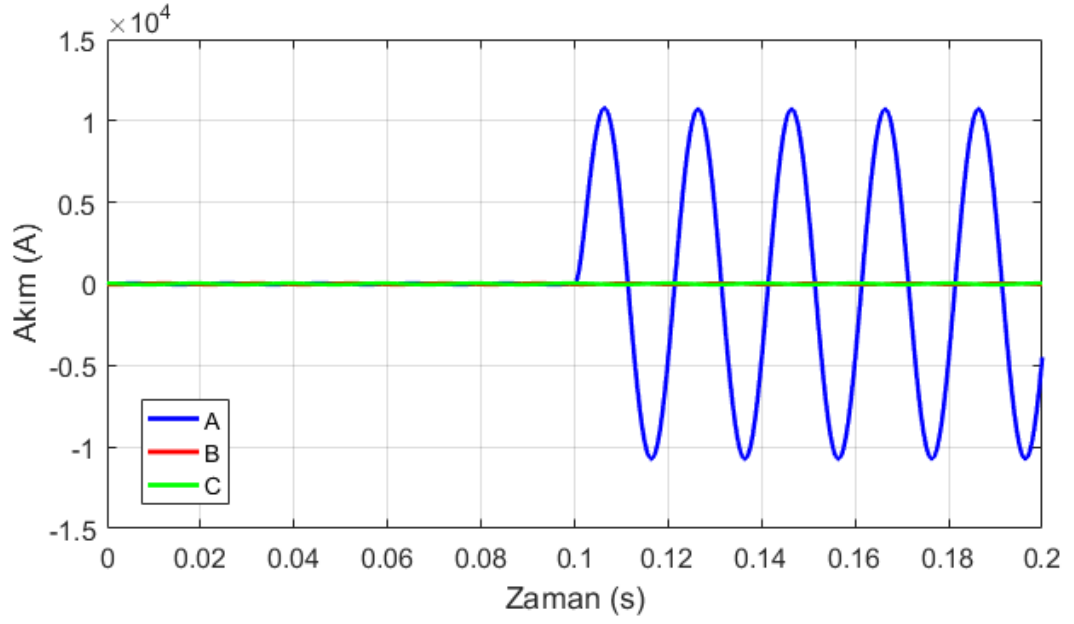
Şekil 5.46: Üç faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.

5.3.4.2. Faz-Toprak Kısa Devre Analizi Akım ve Gerilim Grafikleri

İncelenen dağıtım sisteminde mobil trafo merkezinin 34.5 kV barasında faz-toprak kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda primer gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de görülmektedir. Simülasyonda 0.1 saniyesinden itibaren faz-toprak kısa devre arızası başlamaktadır. Arızanın olduğu faz A fazıdır. Ölçü bloğu faz-toprak gerilim değerlerini ölçmektedir. Gerilim değeri A fazında sıfıra düşerken, B ve C fazında rms değeri faz-toprak 19827 V (faz-faz 34341 V) olarak ölçülmüştür. A fazının maksimum akım değeri rms değeri 7.63 kA değerindedir. Kısa devre akımı sadece arızanın meydana geldiği fazda oluşmaktadır.



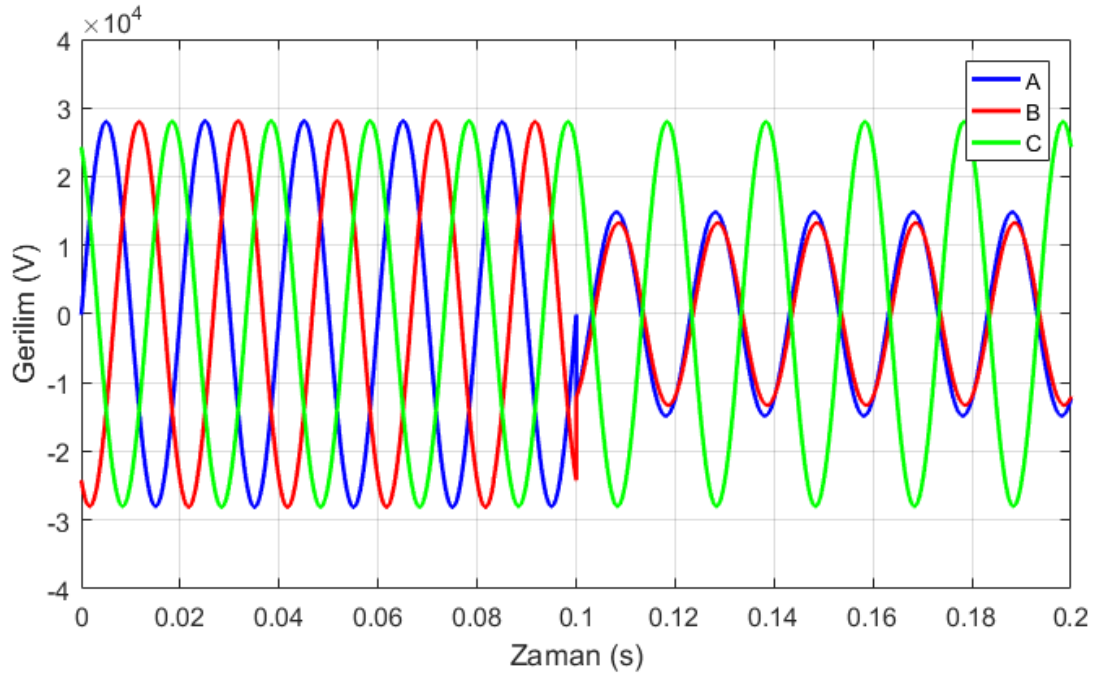
Şekil 5.47: Faz-Toprak kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği.



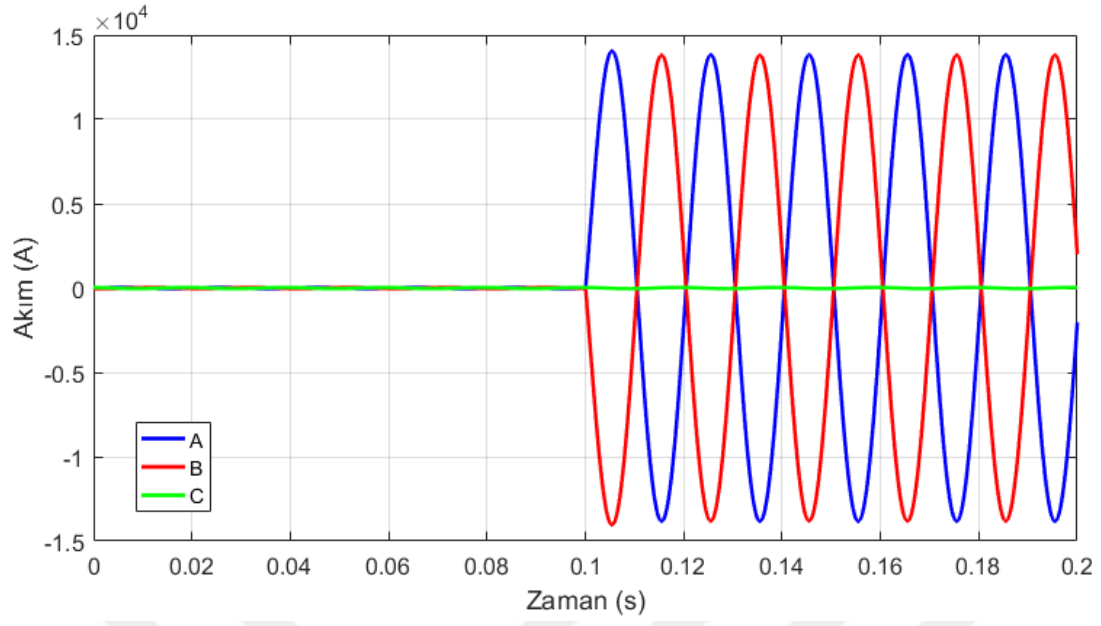
Şekil 5.48: Faz-Toprak kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.

5.3.4.3. Faz-Faz Kısa Devre Analizi Akım ve Gerilim Grafikleri

İncelenen dağıtım sisteminde mobil trafo merkezinin 34.5 kV barasında faz-faz kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda primer gerilim ve akım değerlerinin osilografik gösterimleri Şekil 5.49 ve Şekil 5.50’de görülmektedir. Simülasyonda 0.1 saniyesinden itibaren faz-faz kısa devre arızası başlamaktadır. Arızanın olduğu fazlar A ve B fazlarıdır. Ölçü bloğu faz-toprak gerilim değerlerini ölçmektedir. Gerilim, A fazında rms değeri faz toprak 10458 V, B fazında ise 9340 V iken, arızanın olmadığı C fazında rms değeri faz-toprak 19800 V (34294 V) olarak ölçülmektedir. Arızanın olduğu A ve B fazının maksimum kısa devre akım rms değeri 9.97 kA’dır.



Şekil 5.49: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer gerilimi grafiği.



Şekil 5.50: Faz-faz kısa devre durumu MTM primer akımı grafiği.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında 1600 kVA anma gücünde, 34/0,4 kV gerilim seviyesinde, yarı römork üzerinde işletilmesi yapılabilen bir mobil trafo merkezi tasarımı, modellenmesi ve kısa devre analizleri yapılmıştır. İlk olarak mobil trafo merkezinin hem orta gerilim hem de alçak gerilim elektrik tek hat diyagramları oluşturulmuştur. Sistemin dağıtım transformatörü kısa devre parametreleri, kablo kesiti ve akü redresör grubu hesapları yapılmıştır. Kesici, akım ve gerilim transformatörleri seçimi yapıldıktan sonra modüler orta gerilim hücre tipleri belirlenmiştir. Belirlemeler minimum maliyette mobil trafo merkezinin güvenli bir şekilde çalışmasına yönelik yapılmıştır. Bir adet yük ayırıcılı giriş, bir adet ölçü ve bir adet SF6 gazlı kesicili trafo koruma hücresinden oluşan modüler hücre grubu tasarlanmıştır. Bara gerilim seviyelerine göre yaklaşma seviyeleri göz önünde bulunarak mobil trafo merkezinin mimari çizimleri yapılmıştır. Tasarım kısmının son bölümünde mobil trafo merkezinin topraklama sistemi hakkında bilgiler verilmiştir. Trafo merkezleri birden fazla dağıtım transformatörlerinden de oluşabilir. Orta gerilim hücre ve alçak gerilim dağıtım pano sayıları işletme koşullarına göre farklılık gösterebilir. Bu tasarım yapılırken sistemin, minimum maliyette en güvenli şekilde işletilmesi amaçlanmıştır. Bu koşullar altında tasarlanan mobil trafo merkezinin bir sonraki aşamada yapılan yük akışı ve kısa devre analizleri ile sağlıklı bir şekilde çalışabileceği görülmüştür.

Tasarlanan mobil trafo merkezinin hem direkt bir gerilim kaynağına (şebekeye) bağlı olduğu durumda hem de 380/34.5 kV'luk Beykoz GIS indirici merkezden beslenen 9 adet trafo merkezinin radyal olarak bağlı olduğu gerçek bir sistem üzerinde yapılan yük akışı ve kısa devre analizleri yapılmıştır. İkinci durumda işletmede var olan 1600 kVA bir trafo merkezinde arıza meydana geldiği ve devre dışı kaldığı düşünülmüş ve onun yerine tasarlanan mobil trafo merkezinin devreye alındığı varsayılmıştır.. Kısa devre simülasyonları üç faz, faz-toprak ve faz-faz kısa devre arızaları olarak incelenmiştir. Her iki durumda da en yüksek kısa devre akımları üç faz kısa devre

arızasında meydana gelmiştir. Mobil trafo merkezinin direkt şebekeye bağlanması durumunda en yüksek kısa devre akımı 2,61 kA iken 9 adet trafo merkezinin bulunduğu Beykoz bölgesinde bir mahallenin orta gerilim şebekesine bağlanması durumunda kısa devre akımı 11,29 kA olduğu görülmüştür. Dolayısıyla orta gerilim kesicisinin nominal akımı 630 A, kesme kapasitesi 16 kA olarak belirlendiğinden kısa devre çalışma koşullarına uygun olarak seçilmiştir ve sorunsuz bir şekilde çalışmaktadır. Trafolar özdeş olduğu içi ilk durumda sahada var olan 1600 kVA trafo merkezi ile herhangi bir fark bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Beykoz GIS'den beslendiği simülasyondaki kısa devre akımının yüksek çıkmasının sebebi indirici merkeze (kaynağa) 6,6 km uzaklıkta yani yakın olması ve şebeke kısa devre gücünün yüksek olmasından dolayıdır. Eğer bu MTM kaynağa daha yakın bir bölgede devreye alınırsa, MTM'nin orta gerilim baralarında oluşabilecek bir kısa devre arızasının 16 kA değerini aşma ihtimali vardır. Dolayısıyla MTM'nin bağlanacağı fider üzerinde öncesinde kısa devre analizleri yapılmalı ve elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulmalıdır. Hesaplanan kısa devre akımı 16 kA geçmesi durumunda MTM'de kullanılacak kesicinin kesme kapasitesi 25 kA olmalıdır.

Mobil trafo merkezi bir metal köşk içerisinde bir yarı römork üzerinde bulunmaktadır. Metal köşkün içerisindeki ekipmanlarla birlikte boyut ve ağırlığına göre mekaniksel dayanımlar göz önünde bulundurularak makine mühendisliği alanında yeni bir çalışma konusu olarak dingil hesaplarında optimizasyon yapılabilir.

Türkiye'de 34.5 kV orta gerilim dağıtım seviyesinde 21 adet dağıtım şirketi ve bölgesi vardır. Her dağıtım şirketi kendi bölgesindeki elektriğin dağıtımından sorumludur. Bu şirketlerin, kendilerine devredilecek trafo merkezlerinde kullanılan modüler hücre, transformatör, kablo, akü redresör grubu vb. gibi bazı ekipmanlarla ilgili kendi bölgelerinde kullanılmasını istediği birtakım özellikler olabilmektedir. MTM'nin kullanılacağı dağıtım bölgesine göre yeni mobil trafo merkezleri tasarlanabilir. Her an belirli bir nedenden dolayı elektrik kesintisi meydana gelebilir, dağıtım şirketlerine bağlı trafo merkezlerinde arızalar olabilir. Tedbir amaçlı olarak her dağıtım şirketi kendi bölgesine uygun, belirli bir güç ihtiyacı kadar mobil trafo merkezi yedeği bulundurmalıdır. Bir bölgede enerji kesintisinden dolayı elde edilemeyen enerji satışı geliri, MTM'nin bir defaya mahsusluk maliyetinden yüksek olabilir. Bu yüzden dağıtım şirketlerinin arıza hallerinde geçici enerji temini için mobil trafo merkezlerini yedek olarak bulundurması büyük avantajlar sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında OG/AG dağıtım seviyesinde kullanılabilecek bir mobil trafo merkezi tasarımı, simülasyonu ve kısa devre analizi yapılmıştır. Başka bir çalışma konusu olarak, büyük bir bölgeyi besleyebilen YG/OG indirici merkezler için mobil trafo tasarımı, simülasyonu ve kısa devre analizi yapılabilir.





KAYNAKLAR

- [1] **Ankit M. Malvi, Gopal K. Sharma** (2015). Design Development and Simulation of Mobile Substation for Distribution Network, *JSRD-International Journal for Scientific Research & Development*| Vol. 3, Issue 10, India.
- [2] **Willy Lord** (2007). Mobile Substations, 19th International Conference on Electricity Distribution, Vienna, 21-24 May.
- [3] **J. Lopez Roldan, J. Alfasten, J. Declercq, R. Gijs, P. Mossoux, M. Van Dyck** (2004). Technical Considerations Regarding The Design and Installation of Mobil Substations, 21, rue d'Artois, F-75008, Paper B3-210, Session 2004, Belgium.
- [4] **Bilal Erim** (2015). *154 kV Bir İletim Şebekesinin Kapalı (Ring) Sisteme Dönüşmesiyle Çift Taraflı Beslenen Trafo Merkezlerinde Bara Kısa Devre İncelemesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [5] **İlter Demir** (2012). *154 kV'luk Van Trafo Merkezinde Kısa Devre Akımlarının Analizi ve Simülasyonu*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van.
- [6] **Kaşıkcı, İ.** (2007). Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları IEC 60909. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [7] <<https://www.elektrikport.com/universite/elektrik-dagitim-sebekeleri/8703>>, alındığı tarih: 18.09.2018
- [8] **TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satınalma Dairesi Başkanlığı** (2018), TEDAŞ-MLZ/99-032.E Hermetik Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi.
- [9] **TEDAŞ Genel Müdürlüğü** (2016), TEDAŞ-MYD/95-007.E YG Hava Yalıtımlı Metal Mahfazalı Modüler Anahtarlama ve Kontrol Düzenleri Teknik Şartnamesi.
- [10] **ABB** (2018). Test Raporu (1600 kVA Dağıtım Transformatörü).
- [11] **ABB** (2018). Test Raporu (160 kVA Dağıtım Transformatörü).
- [12] **ABB** (2018). Test Raporu (400 kVA Dağıtım Transformatörü).
- [13] **ABB** (2018). Test Raporu (630 kVA Dağıtım Transformatörü).
- [14] **ABB** (2018). Test Raporu (1250 kVA Dağıtım Transformatörü).
- [15] **Schneider Elektrik** (2011). 36 kV SM6-36 Modüler Hücre Serisi Kataloğu

- [16] **Öznur Kablo** (2017). 20,3/35 kV XLPE İzoleli Tek Damarlı Orta Gerilim Güç Kabloları Kataloğu, Sayfa 98.
- [17] **Öznur Kablo** (2017). 0,6/1 kV N2XH Halojensiz Alev İletmeyen Tek Damarlı Bakır İletkenli Enerji Kabloları Kataloğu, Sayfa 70.
- [18] **Johnny Vikesjo** (2008). Reliability Comparison Between Different 400 kV Substation Designs, Chalmers University of Technology Department of Energy and Environment, Master of Science Thesis, Goteborg, Sweden.
- [19] **Aslan İnan, Mirza Tercan, Huzeyfe Kara** (2012). Orta Gerilim Transformatör Merkezlerin Projelendirilmesi, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [20] **M. Hazar Çintoğlu** (2011). *Alçak ve Orta Gerilim Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Dağıtım Üretim Santrallerinin MATLAB/Simulink Ortamında Modellenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [21] **EPDK** (2014). Elektrik Şebeke Yönetmeliği.
- [22] **TEİAŞ** (2019). Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, Kurulu Güç Raporu Şubat 2019
- [23] **TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satınalma Dairesi Başkanlığı** (2014). TEDAŞ MYD/2000-036.C Beton Mahfazalı Kompakt Tip YG/AG Dağıtım Transformatör Merkezleri Teknik Şartnamesi.
- [24] **IEC 62271-200** (2011). High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.
- [25] **TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satınalma Dairesi Başkanlığı** (2006). TEDAŞ MYD/95-008.A Orta Gerilim Kesicileri Teknik Şartnamesi.
- [26] **TEDAŞ Genel Müdürlüğü** (2017). TEDAŞ-MLZ/99-031.B “Sargıları Epoksi Reçine İle Örtülü Kuru Tip AG/OG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi
- [27] <<https://www.elektrikport.com/makale-detay/transformatorlerde-baglanti-gruplari-ve-grup-acilari/11967#ad-image-0>>, alındığı tarih: 25.09.2018

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Çağın ÖZÇİVİT
Doğum Tarihi ve Yeri : 05.08.1992, İstanbul
E-posta : cagin_25@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2015, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektrik Mühendisliği