



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

KASTAMONU İLİ ENERJİ İLETİM VE DAĞITIM
SİSTEMİNİN MODELLENEREK ANALİZİ VE
UYGULAMASI

Yüksek Lisans Tezi

İlker TOSUN

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet KURBAN

Bilecik, 2014

Referans Numarası: 10044288



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

KASTAMONU İLİ ENERJİ İLETİM VE DAĞITIM
SİSTEMİNİN MODELLENEREK ANALİZİ VE
UYGULAMASI

Yüksek Lisans Tezi

İlker TOSUN

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet KURBAN

Bilecik, 2014



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCES**

Department of Electrical and Electronics Engineering

**ANALYSIS OF POWER TRANSMISSION AND
DISTRIBUTION SYSTEMS OF KASTAMONU PROVINCE
AND APPLICATION**

Master's Thesis

İlker Tosun

Thesis Advisor

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Kurban

Bilecik, 2014

Tez Kabul ve Onay Sayfası



YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **12.06.2014 tarih ve 26/4 sayılı kararıyla** oluşturulan jüri tarafından **27.06.2014 tarihinde** tez savunma sınavı yapılan **İlker Tosun'un " Kastamonu İli Enerji İletim ve Dağıtım Sisteminin Modellenerek Analizi ve Uygulaması "** başlıklı tez çalışması Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Mehmet KURBAN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Gürhan ERTAŞGIN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Salim CEYHAN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Elektrik enerjisi büyük çaplarda depolanamayan bir enerji türüdür. Bu nedenle elektrik enerjisi üretildiği anda hemen kullanıcıya ulaştırılması gerekmektedir. Santrallerde üretilen elektrik enerjisi, yüksek gerilim ve alçak gerilim hatlarıyla iletimi ve dağıtım yapılmaktadır. Yüksek gerilim hatlarıyla enterkonnekte şebekede iletim ve dağıtım sağlanırken alçak gerilim hatları ile de tüketici tesislere ulaştırılır. Elektrik enerjisi hattı sırasıyla santrallerdeki jeneratörler, güç trafoları, enerji nakil hat veya kabloları, orta gerilime indiren trafolar, dağıtım hatları ve güç trafolarından oluşmaktadır.

Yapılan bu çalışmada Kastamonu ilinin iletim ve dağıtım şebekesinin Matlab simulink programı kullanılarak modellenmiştir. Hatların yük durumları, akım-gerilim değişimleri, 3 faz-toprak kısa devre durumundaki maksimum akım değerleri iletim ve dağıtım modeli ile elde edilmiştir. Bu ilde bulunan bir fabrikadan alınan verilere göre de aynı program yardımıyla trafo modellemesi yapılarak yükün çektiği akım değeri gözlemlenmiş ve yükün harmonik analizi yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan devre elemanlarının parametreleri TEİAŞ, ENERJİSA, trafo modellemesi için gerekli olan trafo rutin test raporları AEG ETİ firmasından temin edilmiştir. 2012-2014 yılları arasında alınan verilere göre iki yılda Kastamonu ilinin enerji talebinde %10.26 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Enerji İletim ve Dağıtım Sistemleri, Güç Sistemleri, Kısa Devre Analizi, Yük Akışı, Harmonik Analiz.

ABSTRACT

Electrical energy is an energy type which can't be stored at large scale. Accordingly, it is immediately necessary to deliver to the user once the electrical energy produces. The transmission and delivery of the electrical energy produced in plants are performed through high and low voltage lines. In interconnected network, the transmission and delivery provide using the high voltage lines. However, in order to deliver to the user installation, the low voltage lines are utilized. The electrical energy line consists of generators in the plants, power transformers, energy power transmission line or cables, transformers reducing to mid-voltage, delivery lines and power transformers, respectively.

In this study, the transmission and delivery network of the Kastamonu Province is modeled using the MATLAB SIMULINK program. Line load case, current-voltage variations, the maximum current values in three phase-ground short circuit conditions are obtained with the transmission and delivery model. According to data taken from a factory in this province, the current values that the load draws are observed by modeling the transformer by means of the same program and the load harmonic analysis is made.

The parameters of circuit components are taken from the commercial companies in Turkey, TEİAŞ and ENERJİSA. Further, routine test reports required for modeling the transformer are supplied from a commercial company, AEG ETİ. According to data between 2012 – 2014 years, an increase of 10.26 percent is observed in the energy demand of the Kastamonu Province.

Keywords : Energy transmission and distribution Systems, Power Systems, Short Circuit Analysis, Load Flow, Harmonic Analysis

TEŞEKKÜR

Bilimsel çalışmalarımıza her zaman destek olan ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. MehmetKURBAN 'a , TEİAŞ 22. Bölge İletim Müdürlüğü çalışanlarına, Sayın Sefer SOYSAL'a, tez aşamalarında zamanını benden esirgemeyen Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU 'na ve her zaman yanımda olan eşime çok teşekkür ederim.

İlker TOSUN
Temmuz 2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİ	3
2.1. Enerji İletim Hattı.....	3
2.2. Enerji Dağıtım Sistemi	4
2.3. Elektrik Şebekeleri	4
2.3.1. Gerilimlerine Göre Şebeke Çeşitleri	4
2.3.2. Yapılarına göre şebeke çeşitleri	6
2.4. Çelik Özlü Alüminyum İletkenler	11
3. KISA DEVRE ve HARMONİK ANALİZ	13
3.1. Kısa Devre Akımların Hesaplanması	13
3.1.1. Tek faz-toprak kısa devresi.....	13
3.1.2. Üç fazlı kısa devre.....	14
3.2. Harmonik Analiz	16

4. KASTAMONU İLİNİN İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİ VE BİR İŞLETMENİN MODELLENMESİNDE KULLANILAN DEVRE ELEMANLARI.....	17
4.1. Kastamonu İli İletim ve Dağıtım Modellemesinde Kullanılan Devre Elemanları ve Özellikleri.....	19
4.1.1. Gerilim Kaynağı.....	19
4.1.2. Kesici.....	20
4.1.3. Subsystem.....	21
4.1.4. Ölçü metre blokları.....	22
4.1.5. İletim hatları.....	24
4.1.6. Kısa devre	25
4.1.7. Hatların yükleri	26
4.1.8. Yıldız-Yıldız bağlı trafo	28
5. KASTAMONU İLİNİN İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİ GÜÇ AKIŞI VE BİR İŞLETMENİN GÜÇ AKIŞI, KISA DEVRE VE HARMONİK ANALİZİ.....	29
5.1. Güç akışı ve kısa devre akım grafikleri	29
5.1.1. Trafo A akım, gerilim değerleri	30
5.1.2. Trafo A'ya bağlı yüklerin çektiği akım, gerilim değerleri	34
5.1.3. Trafo B akım, aktif-reaktif güç değerleri.....	40
5.1.4. Trafo B'ye bağlı yüklerin çektiği akım, gerilim değerleri.....	42
5.1.5. Trafo A'ya bağlı yüklerin üç faz-toprak kısa devre akım değerleri.....	59

5.1.6. Trafo B'ye bağlı yüklerin üç faz-toprak kısa devre akım değerleri	62
5.1.7. İşletmenin güç akışı kısa devre ve harmonik analizi.....	70
6. SONUÇ	77
EKLER	78
Ek A. Trafo parametreleri hesaplama programı	78
Ek B. Yüklerin Alt Sistem Model ve İç Şemaları	79
Ek C. 2MVA'lık Trafonun Test Raporu	83
Ek D. 2 MVA'lık Trafonun Matlabda hesaplanan parametreleri.....	84
Ek E. Diyot Datasheet PDF Değerleri	85
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1 Hatların Matlab da kullanılan değerleri	25
Çizelge 4.2 Dağıtım hatlarının güç değerleri	27
Çizelge 5.1 Yüklerin elde edilen akımlarının, gerçek değerler ile karşılaştırılması	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Açık şebeke prensip şeması.....	6
Şekil 2.2 Ring şebeke prensip şeması.....	8
Şekil 2.3 Ağ şebeke prensip şeması	9
Şekil 2.4 Enterkonnekte şebeke prensip şeması.....	10
Şekil 2.5 Türkiye Elektrik (Enterkonnekte) İletim Sistemi	11
Şekil 3.1 Tek faz-toprak kısa devre prensip şeması	13
Şekil 3.2 Tek kutuplu kısa devre akımı prensip şeması.....	14
Şekil 3.3 Üç faz kısa devre.....	14
Şekil 3.4 Üç kutuplu kısa devre akımı prensip şeması	15
Şekil 3.5 Üç kutuplu kısa devre eşdeğer şeması	15
Şekil 4.1 Kastamonu ili iletim elektrifikasyon şeması	17
Şekil 4.2 Kastamonu ili 154 / 31,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesi..	18
Şekil 4.3 154 kV gerilim kaynağı sembolü.....	19
Şekil 4.4 154 kV gerilim kaynak sembolünün parametreleri.....	19
Şekil 4.5 Kesici Sembolü	20
Şekil 4.6 Kesici parametreleri	20
Şekil 4.7 Subsystem Blok Şeması	21
Şekil 4.8 Subsystem bloğun iç şeması.....	21
Şekil 4.9 Volt ölçme bloğu	22

Şekil 4.10 Volt ölçü bloğunun parametreleri	22
Şekil 4.11 Amper ölçme bloğu.....	22
Şekil 4.12 Amper ölçü bloğunun parametreleri	22
Şekil 4.13 Aktif-reaktif güç ölçüm bloğu	23
Şekil 4.14 Aktif-reaktif güç ölçüm bloğu parametreleri.....	23
Şekil 4.15 Üç fazlı ölçü metre sembolü	23
Şekil 4.16 Üç fazlı ölçü metrenin parametreleri	24
Şekil 4.17 Enerji nakil hattının gösterimi	24
Şekil 4.18 Enerji nakil hattının Pi eşdeğer devresinin parametreleri	24
Şekil 4.19 Üç-faz hata sembolü.....	25
Şekil 4.20 Üç-faz hata sembolü parametreleri	26
Şekil 4.21 Yük sembolü.....	26
Şekil 4.22 Yük parametreleri	27
Şekil 4.23 Yıldız-Yıldız bağlı trafo sembolü	28
Şekil 4.24 Yıldız-Yıldız bağlı trafonun parametreleri.....	28
Şekil 5.1 Trafo A giriş gerilim değeri.....	30
Şekil 5.2 Trafo A çıkış gerilim değeri	31
Şekil 5.3 Trafo A çıkış akım değeri.....	32
Şekil 5.4 Trafo A çıkış aktif reaktif güç değerler	33
Şekil 5.5 SFC yükünün çektiği akım değeri	34
Şekil 5.6 SFC yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri	35

Şekil 5.7 Sarıkaya yükünün çektiği akım değeri.....	36
Şekil 5.8 SARIKAYA yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri	37
Şekil 5.9 ŞEHİR TR24 yükünün çektiği akım değeri	38
Şekil 5.10 ŞEHİR TR24 yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri	39
Şekil 5.11 Trafo B çıkış akım değeri.....	40
Şekil 5.12 Trafo B çıkış aktif-reaktif güç değerleri.....	41
Şekil 5.13 Küre yükünün çektiği akım değeri.....	42
Şekil 5.14 Küre yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri	43
Şekil 5.15 ŞEKER TAŞKÖPRÜ yükünün çektiği akım değeri.....	44
Şekil 5.16 ŞEKER TAŞKÖPRÜ yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri.....	45
Şekil 5.17 AKKAYA KÖYLER yükünün çektiği akım değeri	46
Şekil 5.18 AKKAYA KÖYLER yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri.....	47
Şekil 5.19 TOSYA yükünün çektiği akım değeri	48
Şekil 5.20 TOSYA yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri	49
Şekil 5.21 ARAÇ yükünün çektiği akım değeri.....	50
Şekil 5.22 ARAÇ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri	51
Şekil 5.23 ILGAZ yükünün çektiği akım değeri.....	52
Şekil 5.24 ILGAZ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri	53
Şekil 5.25 DEVREKÂNI yükünün çektiği akım değeri.....	54

Şekil 5.26 DEVREKÂNİ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri.....	55
Şekil 5.27 DADAY yükünün çektiği akım değeri	56
Şekil 5.28 DADAY yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri	57
Şekil 5.29 SFC yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri.....	59
Şekil 5.30 SARIKAYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri.....	60
Şekil 5.31 SEHİR TR24 yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri.....	61
Şekil 5.32 KÜRE yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri	62
Şekil 5.33 ŞEKER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri.....	63
Şekil 5.34 AKKAYA KÖYLER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri.	64
Şekil 5.35 TOSYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri.....	65
Şekil 5.36 ARAÇ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri	66
Şekil 5.37 ILGAZ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri	67
Şekil 5.38 DEVREKÂNİ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri	68
Şekil 5.39 DADAY yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri.....	69
Şekil 5.40 İşletmenin Matlab yazılım programında modellenmesi.....	70
Şekil 5.41 İşletme yükünün çektiği akım değeri	71
Şekil 5.42 İşletme yükünün harmonik analizi devre şeması.....	71
Şekil 5.43 1.Yükün akım harmonik analizi	72
Şekil 5.44 Yükün gerilim harmonik analizi	73
Şekil 5.45 Toplam yük akımının 6 periyot için harmonik analizi.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	: Açıklamalar
AG	: Alçak gerilim şebekeleri
Al	: Alüminyum
AWG	: American Wire Gauge (İletken çeşidi)
C	: Gerilim faktörü
CM	: Circular Mile (İletken çeşidi)
ÇYG	: Çok yüksek gerilim şebekeleri
ENH	: Enerji Nakil Hattı
H	: Henry
HES	: Hidro Elektrik Santrali
HV	: High Voltage
I	: Akım
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
I"k3	: Üç fazlı başlangıç kısa devre akımı
Kg	: Kilo gram
km	: Kilometre
kV	: Kilo Volt
KVAR	: Kilo Volt-Amper Reaktif
L ₁	: 1. Faz hattı

L_2	: 2. Faz hattı
L_3	: 3. Faz hattı
L_m	: Magnetik endüktans
LV	: Low Voltage
MCM	: CM değerinin bin katı
mm	: Milimetre
MVAR	: Mega Volt-Amper Reaktif
MW	: Mega watt
OG	: Orta gerilim şebekeleri
P	: Aktif Güç
R	: Direnç
R_k	: Seri olarak bağlanmış dirençlerin toplamı
S1	: Açık Şebekede Ana Hat
S2	: Açık Şebekede Branşman Hat
S3	: Açık Şebekede Branşman Hat
St-Al	: Çelik Alüminyum
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş
Trafo	: Transformatör
TS	: Türk Standardı
V	: Volt
V_0	: $v(wt)$ eğrisinin ortalama değeri

- V_1 : $v(\omega t)$ eğrisinin ana (birincil) harmonik bileşeninin maksimum değeri
- V_2 : $v(\omega t)$ eğrisinin ikinci harmonik bileşeninin maksimum değeri
- V_n : $v(\omega t)$ eğrisinin n. harmonik bileşeninin maksimum değeri
- $v(\omega t)$: Ani değer
- YG : Yüksek gerilim şebekeleri
- Z_k : Kısa devre empedansı
- $Z_{(0)}$: Kısa devre sıfır bileşen empedansı
- $Z_{(1)}$: Kısa devre pozitif bileşen empedansı
- X_k : Seri olarak bağlanmış reaktansların toplamı
- Φ : Referansa göre açı farkı
- ω : Açısal frekans

1. GİRİŞ

Yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası olan elektrik enerjisi termik, hidrolik ve doğalgaz ile tahrik edilen jeneratörlerden az da olsa rüzgar, güneş ve jeotermal kaynaklardan elde edilmektedir. Yapılan çalışmalar ile önümüzdeki yıllarda nükleer enerji santralleri de enerji üretiminde önemli bir katkı sağlayacaklardır. Elektrik enerjisini üreten santraller genellikle tüketim merkezlerinden uzakta kurulurlar. Santralde üretilen elektrik enerjisi yüksek gerilim iletim hatlarıyla tüketim yerlerine kadar ulaştırılmakta ve tüketim yerlerindeki trafo merkezlerinde gerilimleri düşürülerek dağıtılmaktadır.

Üretilen elektrik enerjinin tüketim yerlerine kadar ulaşımı için belli bir sıralama mevcuttur. Santrallerde üretilen enerji yükseltici güç transformatörleri ile yükseltilir, enterkonnekte sisteme bağlı olan yüksek gerilim enerji nakil hatları ile tüketim bölgelerindeki orta gerilime indirme güç transformatörlerine gönderilir. Takiben dağıtım hatları ve orta gerilimi kullanma gerilimine indiren güç transformatörleri yoluyla tüketicilere aktarılmaktadır.

Gerilim seviyesi arttığında enerji iletim tesislerinde büyük ölçüde mali tasarruflar sağlanır. İletim hattı boyunca elektrik enerjisi kaybı gerilim ile ters orantılı olup, gerilim arttıkça elektrik enerjisi kayıp gücünde o nispette azalmaktadır. Buna bağlı olarak iletim hattı sayısında da azalma olacaktır.

Yapılan literatür taramasında Bolu-Düzce Bölgesi 154 / 34.5 kV İletim ve Dağıtım Şebekesinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi yüksek lisans tezinde bu bölge için güç akışı ve kısa devre simülasyonları incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, Matlab yazılım programının Simulink araç kutusu kullanılarak Kastamonu ili 154 / 31,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellenmesi yapılmıştır. TEİAŞ ve ENERJİSA'dan alınan veriler kullanılarak, modellemede kullanılan devre elemanlarının parametreleri girilmiştir. TEİAŞ'tan tüm yüklerin aktif, reaktif güç değerleri ve akım değerleri temin edilmiştir. Enerjisa'dan ise Kastamonu ilinin dağıtım hatlarının kablo kesitleri ve hat uzunlukları temin edilmiştir. Simülasyon çalıştırıldığında elde edilen akım değerlerinin gerçek değerler ile kıyaslaması

yapılmıştır. 3 faz-toprak kısa devre yaptırılarak her bir yükün maksimum akım değeri gözlemlenmiştir.

İşletmeden trafonun çektiği akım, gerilim ve $\cos\phi$ değerleri temin edilmiştir. Trafonun modellemesi için gerekli olan trafo rutin test raporları AEG ETİ firmasından temin edilerek, Matlab yazılım programından trafo parametreleri hesaplanarak simülasyonda kullanılmıştır.

2. Bölümde, enerji iletim ve dağıtım sistemleri hakkında genel bilgi verilerek elektrik şebekelerinin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Tezde kullanılan pi eşdeğer hattın parametrelerinde iletken cinsi önem arz etmektedir. Bölüm sonunda iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan iletkenlerin özelliklerinden bahsedilmiştir.

3. Bölümde, kısa devre ve harmonik analizin tarifi yapılmıştır. Kısa devre durumunda elektrik tesislerinde ne gibi olumsuzluklara sebep olduğundan bahsedilmiştir.

4. Bölümde, Matlab yazılım programında yapılan modelleme ve bu modellemede kullanılan devre elemanları ve parametreleri gösterilmiştir. Dağıtım hatlarının güç değerleri, iletim hatlarının pi eşdeğer parametreleri gösterilmiştir.

5. Bölümde, yapılan modelleme ile Kastamonu ilinin iletim ve dağıtım şebekesi güç akışı, kısa devre durumları incelenerek yükün maksimum akım değeri gözlemlenmiştir. Yüklerin çektiği akım değerleri gerçek değerler ile kıyaslanmıştır. Kastamonu ilindeki bir işletmeden alınan veriler ile, işletmenin güç akışı ve harmonik analizi incelenmiştir.

6. Bölümde de sonuçlara yer verilmiştir.

2. ENERJİ İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİ

2.1. Enerji İletim Hattı

Elektrik iletim hatları; elektrik santralinde kontrollü ve planlı olarak elde edilmiş elektrik enerjisinin, santrallerden dağıtım hatlarına iletilmesini sağlayan hatlardır. Elektrik üretim tesisleri ile elektrik tüketim bölgeleri yakınlarındaki transformatör istasyonları; transformatör istasyonları ile son tüketici arasında elektrik enerjisi iletimini sağlayan sistemdir. Elektrik hatlarının döşenmesinde maliyet, iletim hattının güzergâhı, coğrafik durum, arazi durumu, hattın güvenlik konumu gibi hususlar incelenir. Elektrik hattının güvenli bir şekilde yapımı ve elektriğin minimum kayıplarla iletilmesi çok önemlidir.

Elektrik iletim hatları yüksek ve düşük gerilim olmak üzere ikiye ayrılır. Yüksek gerilim hatları genellikle santral ile yerleşke arasına döşenir. Düşük gerilim hatları ise şehir içi elektrik dağıtımında kullanılır. Taşıdıkları enerjinin gerilimine göre adlandırılırlar. Enerji yükü ve gerilimine bağlı olarak boyutlandırılırlar. Modern çağda; açık arazide, uzun ENH' ları havai hat; yerleşim yerlerinde ise yeraltı ENH olarak tesis edilirler. Yer altı ENH yüksek izolasyon gerektirdiğinden, hava hattına oranla oldukça pahalı olmasına karşın güvenlik ve görsel açıdan yeğlenirler. Hava hattı bir ENH; bakır veya alüminyumdan iletken kablo, taşıyıcı direk (pilon) ve pilon ile iletken arasındaki bağlantıyı sağlayan yalıtkan izolatörden meydana gelir.

Elektrik üretim tesisleri ile transformatör istasyonları arasındaki hatlar yüksek gerilim; büyük transformatör istasyonları ile küçük transformatör istasyonları arasındaki hatlar orta gerilim, küçük transformatör istasyonları ile son tüketici arasındaki hatlar alçak gerilim olarak adlandırılır. Türkiye'de ki ENH sistemleri Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından tesis edilip çalıştırılmaktadır.(www.elektrikport.com, 2014)

Elektriksel yönden ele alındığında enerji iletim hatları, hat parametreleri ve uzunluklarıyla karakterize edilirler. Bütün sinüsoidal alternatif akımla çalışan iletkenlerde olduğu gibi, enerji iletim hava hatlarının da omik direnç, endüktans, kapasite katsayıları kısaca R-L-C hat sabitleri bulunmaktadır. Enerji nakil hatlarının omik direnci doğru akım direncinden daha büyüktür, bunun nedeni de deri etkisi olayıdır.

Günümüzde hat sabitleri gerekli tüm detayları ile bilgisayar ortamlarında hesaplanıp, sanal ortamdan takip edilebilmektedir.(www.elektrikport.com, 2014)

2.2. Enerji Dağıtım Sistemi

Enerji Dağıtım Sistemleri; güç sistemlerinin enerjiiyi son kullanıcıya ulaştıran son basamağıdır. Dağıtım hatları birincil ve ikincil dağıtım sistemleri olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Birincil dağıtım sistemleri 4 ile 35kV arasında gerilim seviyesine sahiptir. Genellikle küçük endüstriyel müşteriler bu tip besleme hatları üzerinden enerjilendirilirler. İkincil dağıtım sistemleri ise ev ve işyerlerini ülkemizde 220\380 V seviyesinde beslerler. Bu gerilim seviyesi ülkeler arasında farklılıklar göstermektedir.

2.3. Elektrik Şebekeleri

Elektrik enerjisinin üretildiği santraller çoğu zaman tüketim bölgelerinden uzakta kurulur. Bu bakımdan elektrik enerjisinin üretildiği yerlerden tüketim bölgelerine taşınması gerekmektedir. Günlük hayatta pek çok kullanım alanı bulunan elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımının ekonomik bir şekilde yapılabilmesi, enerji alanında en önemli konulardan biridir.

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaşması için düzenlenen bütün elektrik tesislerine elektrik şebekeleri adı verilir. (Tosun, 2007)

2.3.1. Gerilimlerine Göre Şebeke Çeşitleri

Gerilimlerine göre şebeke çeşitleri dört gruba ayrılır:

- » Alçak gerilim şebekeleri (AG) (1-1000 Volt)
- » Orta gerilim şebekeleri (OG) (1 kV-40 kV)
- » Yüksek gerilim şebekeleri (YG) (35 kV-154 kV)
- » Çok yüksek gerilim şebekeleri (ÇYG) (154 kV'tan fazla) (Tosun, 2007)

Alçak gerilim şebekeleri (AG)

Alçak gerilim şebekeleri 1000 volt'a kadar olan gerilim değerleridir. Alçak gerilim şebekeleri üzerinde gerilim düşümü fazla olacağından bu tür gerilim şebekeleri enerji iletiminde kullanılmayıp sadece enerji dağıtımında kullanılır.

Türkiye’de kullanılan alçak gerilim şebekelerinin fazlar arası gerilim 380 volt, faz-nötr arası gerilim değeri ise 220 voltur.(Tosun, 2007)

Orta gerilim şebekeleri (OG)

Şebeke gerilim değeri 1 kV ile 40 kV arası olan şebekelere orta gerilim şebekeleri adı verilir. Orta gerilim şebekeleri, alçak gerilim şebekeleri ile yüksek gerilim şebekelerini birbirine bağlar. Yüksek gerilim şebekeleri ile iletilen gerilim değerlerini alıcıların doğrudan kullanmaları uygun olmadığı için sadece yüksek gerilim şebekeleri ile iletilen enerjiyi tüketicilere ulaştırmak için kullanılır.

Bu tür gerilim şebekeleri küçük şehirlerin ve kasabaların birbirine bağlanmasında kullanılır. Türkiye’de TEİAŞ tarafından kullanılan orta gerilim şebekeleri 34,5 kV değerindedir. (Tosun, 2007)

Yüksek gerilim şebekeleri

Şebeke gerilim değeri 40 kV-154 kV arası olan şebekelere yüksek gerilim şebekeleri denir. Yüksek gerilim şebekelerinde, orta gerilim şebekelerinde olduğu gibi enerji dağıtımı yapılmaz. Bu tür gerilim şebekeleri enerji iletiminde kullanılır. Yüksek gerilim şebekelerinin görevi; santrallerde üretilen elektrik enerjisini santralden başlayarak şehirlerarası veya bölgeler arası iletmektir. Türkiye’de kullanılan yüksek gerilim değerleri ise 66 kV ve 154 kV’tur.

Enerji iletiminde yüksek gerilim kullanma nedeni ise, enerji iletiminde kayıpları en aza indirmektir. Bunun için gerilim yükseltilecek akım azaltılır. $P=I^2.R$ formülünden görüldüğü gibi güç kaybı akımın karesi ile orantılı olduğundan, akımın azaltılması ile güç kayıpları oldukça azalır. Akım azaltılarak iletken kesiti küçültülmüş olur. Buda maliyeti düşürmektedir. (Tosun, 2007)

Çok yüksek gerilim şebekeleri

Şebeke gerilim değeri 154 kV değerinin üstündeki şebekelere çok yüksek gerilim şebekeleri denir. Enerji ihtiyacının artması ve bazı bölgelerdeki enerji miktarının o bölgenin enerji ihtiyacını karşılayamaması durumunda, enerji üretimi fazla olan bölgeden enerji üretimi az olan uzak bölgeye enerji iletimi yaparken çok yüksek gerilim

şebekeleri kullanılır. Çok yüksek gerilim şebekeleri santraller arası ve şehirlerarası bağlantılarda kullanılır.

Türkiye’de kullanılan çok yüksek gerilim şebekelerinin gerilim değerleri 380 kV değerindedir. (Tosun, 2007)

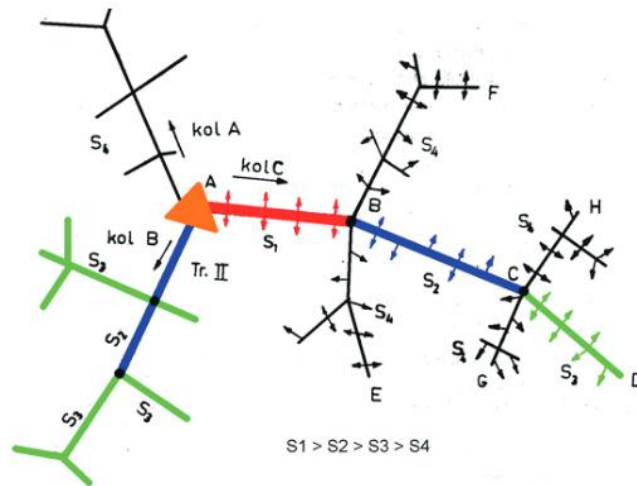
2.3.2. Yapılarına göre şebeke çeşitleri

- » Açık (dal budak = radyal) şebeke
- » Kapalı (ring ve gözlü) şebeke
- » Enterkonnekte şebeke (Tosun, 2007)

Açık (dal budak = radyal) şebeke

Beslemenin genellikle tek kaynaktan yapıldığı ve genelde nüfusun yoğun olmadığı köy, kasaba şehir, sanayi merkezleri ve yerleşim merkezlerinde kullanılan şebeke çeşitlerine denir.

Bu tür şebekelerde dağıtım transformatöründen son alıcıya kadar (tek besleme olduğundan dolayı) hatta gerilim düşümü olur. Bu şebekelerin maliyetini düşürmek için dağıtım transformatörüne yakın olan hatlar kalın kesitli iletkenlerle ve alıcıya kadar olan hat boyunca iletken kesiti azaltılır. (Tosun, 2007)



Şekil 2.1 Açık şebeke prensip şeması (www.elektrikport.com, 2014)

Dağıtım transformatörüne yakın olan hatlara (S1) ana hat denir. Ana hattan ayrılan ve son alıcıya kadar olan hatlara **branşman** denir. Branşmanların (S2, S3) kesitleri, ana hatta göre küçüktür. (Tosun, 2007)

Açık (dal budak = radyal) şebekelerin avantajları

- » Arıza noktalarının bulunması kolaydır.
- » Kuruluşu, işletmesi ve bakımı hem ucuz hem de kolaydır.
- » Bakım ve işletmeleri kolaydır.
- » Kısa-devre gücü düşük olduğundan az sayıda kesici kullanmak yeterlidir.

Açık (dalbudak = radyal) şebekelerin dezavantajları

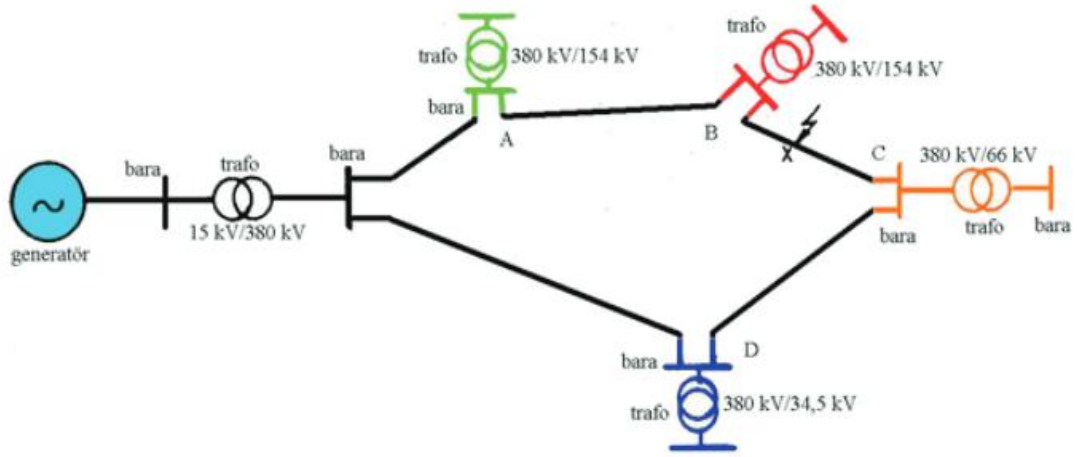
- » Transformatörde oluşacak arıza şebekeyi enerjisiz bırakır.
- » Arıza oluşan noktalardan sonraki alıcılar enerjisiz kalır.
- » Şebekede gerilim dengesizliği vardır. Trafodan uzaklaştıkça gerilim düşer.

Kapalı (ring ve gözlü) şebeke

Bu tür şebekeler kapalı olarak tasarlanır ve oluşturulur. Ring şebeke ve gözlü şebeke olmak üzere iki kısımda incelenir. (Tosun, 2007)

Ring şebeke

Birbirine paralel olarak bağlanan birden fazla besleme transformatörünün kullanıldığı kapalı şebeke tipine **ring şebeke** adı verilir. Ring şebekelere halka, bukle vb. isimler de verilmektedir. Ring şebeke tipinde besleme birden fazla transformatör ile yapıldığı için şebekenin herhangi bir noktasında oluşabilecek bir arıza durumunda şebekenin tamamı etkilenmez. Arızalı bölge haricindeki abonelerin enerji ihtiyacı kesintisiz olarak sağlanabilir. Sadece arızalı bölgenin aboneleri enerjisiz kalır. Ring şebekelerde, kapalı tip ve birden fazla besleme transformatörü kullanıldığından şebekenin iletken kesiti her yerde aynı olur; bundan dolayı daha fazla iletken kullanılır ve maliyet artar. (www.elektrikport.com, 2014)



Şekil 2.2 Ring şebeke prensip şeması (www.elektrikport.com, 2014)

Ring şebekelerin avantajları

» Şebekenin herhangi bir yerinde oluşacak arızadan dolayı şebekenin tamamı enerjisiz kalmayıp sadece arızalı hat enerjisiz kalır.

» Şebekede gerilim düşümü azdır.

» Şebekenin işletme güvenliği fazladır. (Tosun, 2007)

Ring şebekelerin dezavantajları

» Kurulum maliyeti yüksektir.

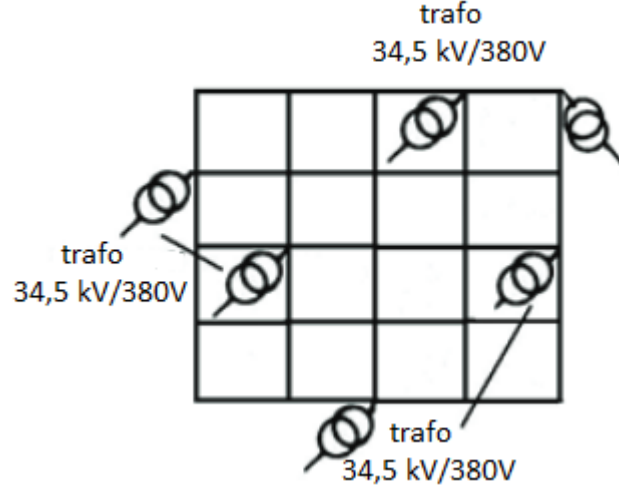
» Ring içerisinde iletken kesitlerinin her yerde aynı olması maliyeti arttırır.

» Fazladan koruma elemanına ihtiyaç vardır. (Tosun, 2007)

Ağ (Gözlü) şebeke

Beslemenin bir veya birden fazla yerden yapıldığı ve alıcıları gözlere ayırarak bir ağ şeklinde besleyen şebekelere ağ şebeke adı verilir. Şebekenin herhangi bir noktasında arıza olması durumunda sadece arızalı hatta bağlı aboneler enerjisiz kalır, diğerleri bu durumdan etkilenmezler. Arızalı hat koruma elemanlarıyla devreden çıkarılarak diğer aboneleri etkilemeden sorun giderilebilir. Bu şebekelerde iletim baraları en az iki koldan enerji almaktadır. Bu nedenle besleme sürekli şekilde yapılabilmektedir. Düğüm noktalarından beslenen baralar ve bu baralardan enerji alan abonelerde enerjinin kesilmesi çok düşük bir ihtimal dahilindedir. Düğüm noktalarından ayrıldıkça kısa-

devre akımı küçülür. Bu şebekelerin kuruluşu ve bakımı zordur fakat bu sistemde gerilim düşümü oldukça küçük değerlerde olduğundan gerilim açısından verimlidir. (Tosun, 2007)



Şekil 2.3 Ağ şebeke prensip şeması (www.elektrikport.com, 2014)

Ağ (Gözlü) şebekelerin avantajları

- » Alıcılar kesintisiz olarak beslenir.
- » Gerilim düşümü azdır.
- » Büyük güçlü alıcılar bağlanabilir. (Tosun, 2007)

Ağ (Gözlü) şebekelerin dezavantajları

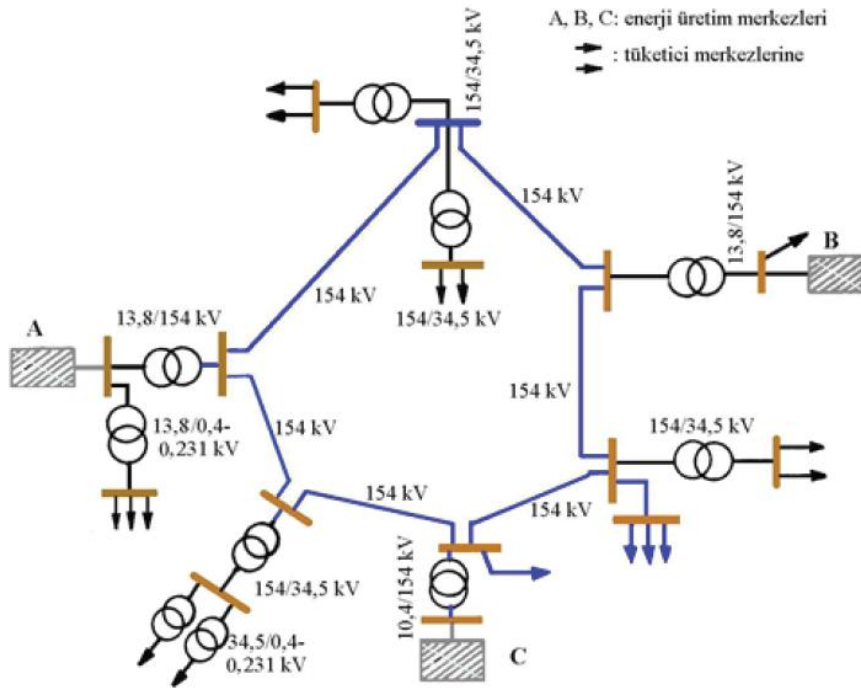
- » Şebekenin kurulum, işletme ve bakımları zordur.
- » Şebekenin maliyeti yüksektir.
- » Fazladan koruyucu düzeneklere ihtiyaç vardır.
- » Kısa devre akımının etkisi büyüktür. (Tosun, 2007)

Enterkonnekte şebekeler

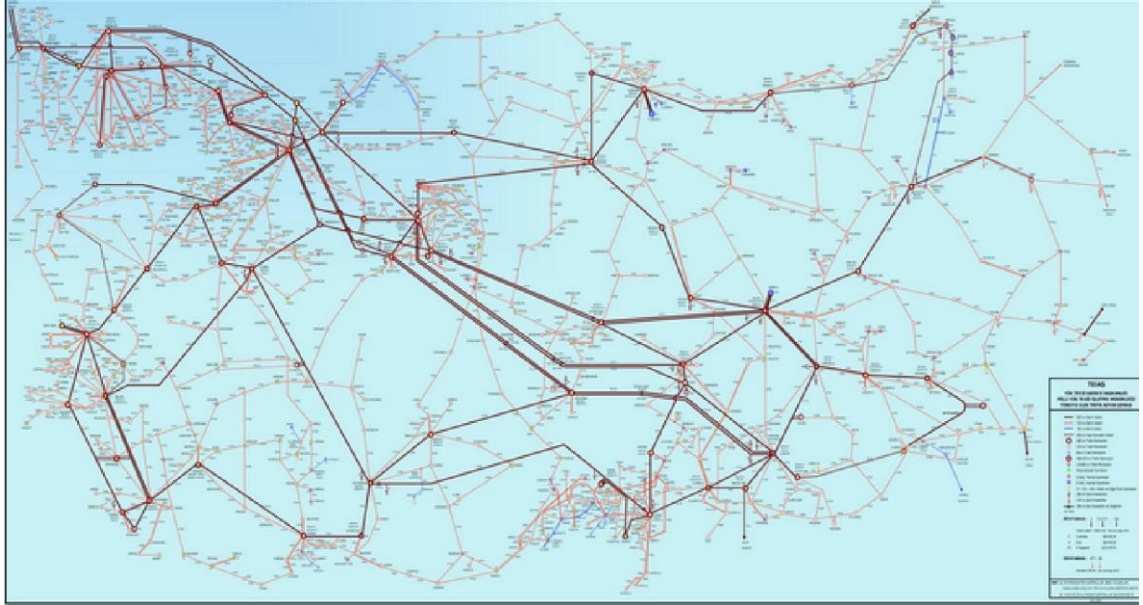
Dilimize İngilizceden interconnect (bir elektrik veya makine güçleri taşıyanları arasında bağ kuran şebeke) kelimesiyle giren bir ülkenin tamamının yada belirli bölgelerinin elektrik enerji gereksinimlerini karşılayabilecek bir biçimde üretim ile

tüketim merkezleri arasındaki enerji alışverişini sağlayan enerji taşıma sistemine **enterkonnekte sistemi** denir. (www.elektrikport.com, 2014)

Bu tür sistemlerde santral farkı gözetilmeksizin bütün santraller (HES, Termik, Doğalgaz, vb.) sisteme dahil edilir. Ayrıca santrallerin büyüklüğü veya küçüklüğü sisteme dahil olması için engel teşkil etmez. Bu sayede ülke genelinde bütün şebekeler birbirine bağlanmış olur. Bu bağlama şekli ile ülkeler arası bağlantılar da kurularak enerji alışverişi sağlanır. Enterkonnekte sistemde, arıza meydana geldiğinde sadece arızalı olan kısım enerjisiz kalır. (Tosun, 2007)



Şekil 2.4 Enterkonnekte şebeke prensip şeması
 (www.elektrikport.com, 2014)



Şekil 2.5 Türkiye Elektrik (Enterkonnekte) İletim Sistemi
(www.elektrikport.com, 2014)

Enterkonnekte şebekelerin avantajları

- » Verimleri yüksektir.
- » Sistemde kesintisiz enerji vardır. Alıcılar enerjisiz kalmaz.
- » Santraller ekonomik olarak çalışır.
- » Yedek generatör sayısı azdır. (Tosun, 2007)

Enterkonnekte şebekelerin dezavantajları

- » Sistemin kısa devre akımı çok fazladır.
- » Sistemin kısa devre akımından alıcılar etkilenebilir.
- » Sistemin kararlılığını sağlamak zordur. (Tosun, 2007)

2.4. Çelik Özlü Alüminyum İletkenler

Orta-gerilim enerji nakil hatlarında, mekanik zorlamaların fazla olması nedeniyle çelik özlü alüminyum iletkenler (St-Al) kullanılmaktadır. Genellikle Kanada Standartlarına uygun olarak üretilen bu tip iletkenlerle ilgili TS-490 Türk Standardı aynı esaslara dayanmaktadır. Enerji hatlarında kullanılan alüminyum iletkenler çelik damarlarla donatılarak mekanik mukavemetleri artırılır. Akım taşıma kapasiteleri aynı

olan alüminyum ve bakır iletkenlerin kopma yükleri yaklaşık olarak aynıdır. Bir alüminyum iletkenin kopma gerilmesi 18 kg/mm^2 iken, çelik özlü alüminyum iletkenin (St-Al) kopma gerilmesi 30 kg/mm^2 ' dir. Bu ise St-Al iletkeninin, normal Al iletkenine göre 1,66 kat daha dayanıklı olduğu anlamına gelmektedir.

Bunun yanı sıra St-Al iletkenin bakır iletkene oranla 2,5-2,6 kat daha hafif olması, özellikle engebeli arazide nakliye ve montajda büyük ekonomi sağlamaktadır. Bu gün ülkemizde orta-gerilim enerji hatlarında, 3 AWG, 1/0 AWG, 3/0 AWG, 266,8 MCM ve 477 MCM çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Kullanılan iletken sembollerinin anlamları ise şöyledir;

AWG (American Wire Gauge): Bu adlandırmada AWG'nin ön kısmı 0000, 000, 00, 0, 1, 2, 3, 40'a kadar numaralandırılmıştır. Fakat kısaltma amacıyla 0000=4/0, 000=3/0, 00=2/0, 0=1/0 şeklinde ifade edilir. Her bir numara belli bir çap, dolayısıyla da bir kesite karşılık gelir. Örneğin;

3 AWG=3 AWG (Swallow)

0 AWG=1/0 AWG (Raven)

000 AWG=3/0 AWG (Pigeon)

MCM: Daha büyük kesitli St-Al çelik özlü alüminyum iletken kesitler, CM (Circular Mile) olarak adlandırılan bir birimle ifade edilir. Burada 1 CM, çapı 0,001 inch olan daire yüzey kesitine eşittir. O halde; $1 \text{ CM}=506,7 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ' dir. CM değerinin 1000 katı ise 1 MCM' ye eşit olup, $1 \text{ MCM}=506,7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2=0,5067 \text{ mm}^2$ olur.

St-Al iletkenler; iletkenin direktteki askı noktalarında meydana gelen titreşimler nedeniyle zarar görmesini önlemek, hat üzerinde gerekli esnekliği (fleksibilite) sağlamak, iletkenin yorulmasını ve kopmasını engellemek için spiral şekilde örgülü olarak sarılırlar. Swallow, raven ve pigeon iletkenler; en iç kısımda 1 adet çelik tel üzerine, değişik kesitlerde bir kat alüminyum iletken sarılarak imal edilmişlerdir. 266,8 MCM ve 477 MCM iletkenlerde ise; 1. katta 1, 2. katta 6 olmak üzere toplam 7 adet St iletken ile, 3. katta 10 ve 4. katta 16 olmak üzere çeşitli kesitlerde toplam 26 adet Al iletken burularak örgü şeklinde sarılmıştır. (www.anadolu.edu.tr, 2014)

3. KISA DEVRE VE HARMONİK ANALİZ

Elektrik tesislerinde ortaya çıkan kısa devre akımları istenmeyen olaylardır. İşletme cihazlarını canı ve malı önemli derecede etkiler, zarar ve ziyan verir. Elektrik tesislerinin kısa devre sırasında termik ve dinamik zorlanmalara karşı dayanabilecek biçimde tasarlanmasında üç fazlı başlangıç kısa devre akımı I''_{k3} oldukça önemlidir. Sistemin güvenli ve ekonomik olması için gerekli olan hata akımları, projeyi yapan mühendis ve fen adamları tarafından hesaplanmalıdır.

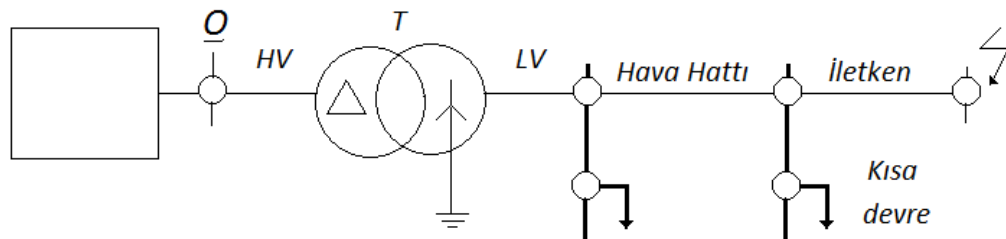
Elektrik şebekelerinde kısa devre akımlarının hesabı için IEC 60 900 dünyada tek geçerli standarttır. Bu standart kısa devre noktasındaki devrenin eş değer gerilim kaynağı yöntemine göre temel bilgiler bulunmaktadır. Bu yöntem, aktüel işletme konumundan ve gelecekteki yük akışından bağımsız olduğundan, hesabı kolaylaştırır ve tüm şebeke beslemeleri, jeneratörler ve motorlar iç reaktanslarından sonra kısa devre edilmiş kabul edilir.

Bu nedenle eşdeğer gerilim kaynağı $\frac{C.U_n}{\sqrt{3}}$ şebekedeki tek gerilimdir. Olası en büyük kısa devre akımı I''_{k3} işletme ekipmanının seçimi için ve en küçük kısa devre akımı I''_{k1} koruma önlemleri 'Açma ile koruma' ve termik manyetik kesicilerde şebeke korumasının ayarı için baz alınır. (Kaşıkçı, 2007)

3.1. Kısa Devre Akımların Hesaplanması

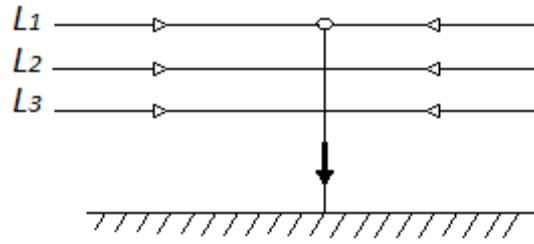
3.1.1. Tek faz-toprak kısa devresi

Tek kutuplu kısa devre akımı tesislerde %85 en fazla ortaya çıkan hata akımıdır. Hesaplanması için çevrim empedansının tüm değerleri bilinmelidir. Hesaplandıktan sonra kesicinin açma akımı ile karşılaştırılır ve sonuca varılır. Simetrik bileşenler metodu kullanılarak iletken sonunda faz-toprak hatası incelenir. (Kaşıkçı, 2007)



Şekil 3.1 Tek faz-toprak kısa devre prensip şeması

Hata ana dış iletken (L1) ile toprak arasında gösterimi



Şekil 3.2 Tek kutuplu kısa devre akımı prensip şeması

Tek fazlı toprak kısa devresi, simetrik bileşenler yardımı ile hesaplanan bir asimetrik arızadır. Pratikte hata oranı çok az olan basit bir yöntem uygulanır. Artık akım koruma düzenekleri ve iletken kesiti birbirleri ile uyumlu olarak seçildiğinden, açma zamanı 0,2s, 0,4s veya 5s içinde gerçekleşir. Tek fazlı bir toprak kısa devresinde başlangıç kısa devre akımı $Z_{(1)} + Z_{(0)}$ ile aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{2 \cdot Z_{(1)} + Z_{(0)}} \quad (3.1)$$

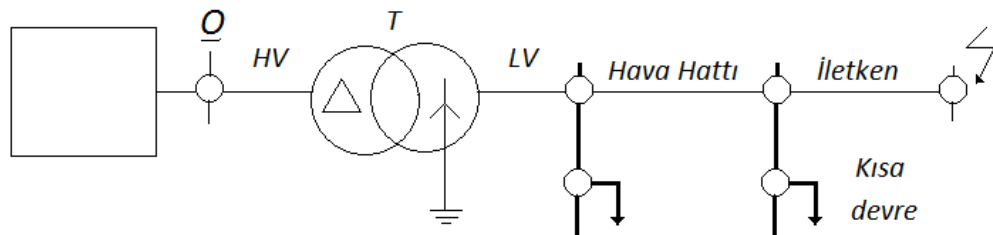
$Z_{(1)}$ = Kısa devre pozitif bileşen empedansı

$Z_{(0)}$ = Kısa devre sıfır bileşen empedansı

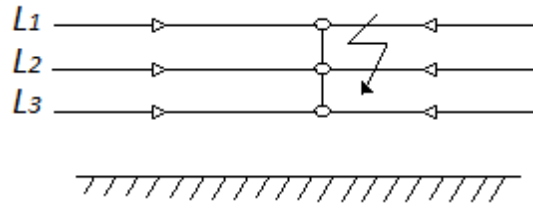
c = Gerilim faktörü (Kaşıkçı, 2007)

3.1.2. Üç fazlı kısa devre

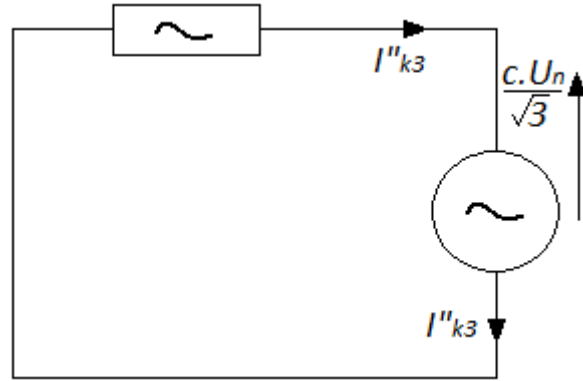
Tek kutuplu kısa devre akımının aksine üç kutuplu kısa devre, aşırı akım koruma cihazının açma kapasitesinin seçilmesinde, dinamik ve termik dayanırlığın saptanmasında baz alınan simetrik bir arızadır. Burada her üç ana iletken kısa devre edilir. Hesap tek faz üzerinden yapılır.



Şekil 3.3 Üç fazlı kısa devre



Şekil 3.4 Üç kutuplu kısa devre akımı prensip şeması



Şekil 3.5 Üç kutuplu kısa devre eşdeğer şeması (Kaşıkçı, 2007)

HV (high Voltage) tarafından LV (Low Voltage)'ye kadar tüm transformatör ve kabloların omik ve endüktif dirençleri hesaplanır.

$$Z_k = \sqrt{(R_{\phi t} + R_{tk} + R_l)^2 + (X_{\phi t} + X_{tk} + X_l)^2} \quad (3.2)$$

$$I''_{k3} = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (3.3)$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad (3.4)$$

$$R_k = R_{\phi t} + R_{tk} + R_l \quad (3.5)$$

$$X_k = X_{\phi t} + X_{tk} + X_l \quad (3.6)$$

R_k = Seri olarak bağlanmış dirençlerin toplamı

X_k = Seri olarak bağlanmış reaktansların toplamı

Z_k = Kısa devre empedansı

c = Gerilim faktörü (Kaşıkçı, 2007)

3.2. Harmonik Analiz

Fourier analizinde, sinüzoidal olmayan bir gerilim dalga matematiksel olarak;

$$v(\omega t) = V_0 + V_1 \sin(\omega t + \Phi_1) + V_2 \sin(2\omega t + \Phi_2) + \dots + V_n \sin(n\omega t + \Phi_n) \quad (3.7)$$

formunda yazılabilir. İfadeye göre sinüzoidal olmayan $v(\omega t)$ eğrisi, n tane sinüzoidal eğrinin toplamı olarak yazılabilir. Verilen ifadede

$v(\omega t)$: Ani değer

V_0 : $v(\omega t)$ eğrisinin ortalama değeri

V_1 : $v(\omega t)$ eğrisinin ana (birinci) harmonik bileşeninin maksimum değeri

V_2 : $v(\omega t)$ eğrisinin ikinci harmonik bileşeninin maksimum değeri

V_n : $v(\omega t)$ eğrisinin n . harmonik bileşenin maksimum değeri

Φ : referansa göre açı farkı

ω : $2 \cdot \pi \cdot f$

Verilen $v(\omega t)$ ifadesi $\sin \omega t$ ve $\cos \omega t$ fonksiyonlarını içerecek şekilde açıldığında;

$$v(\omega t) = V_0 + a_1 \sin \omega t + a_2 \sin 2\omega t + a_3 \sin 3\omega t + \dots + a_n \sin n\omega t + b_1 \cos \omega t + b_2 \cos 2\omega t + b_3 \cos 3\omega t + \dots + b_n \cos n\omega t \quad (3.8)$$

Fourier açılımı olarak bilinir ve bu ifade

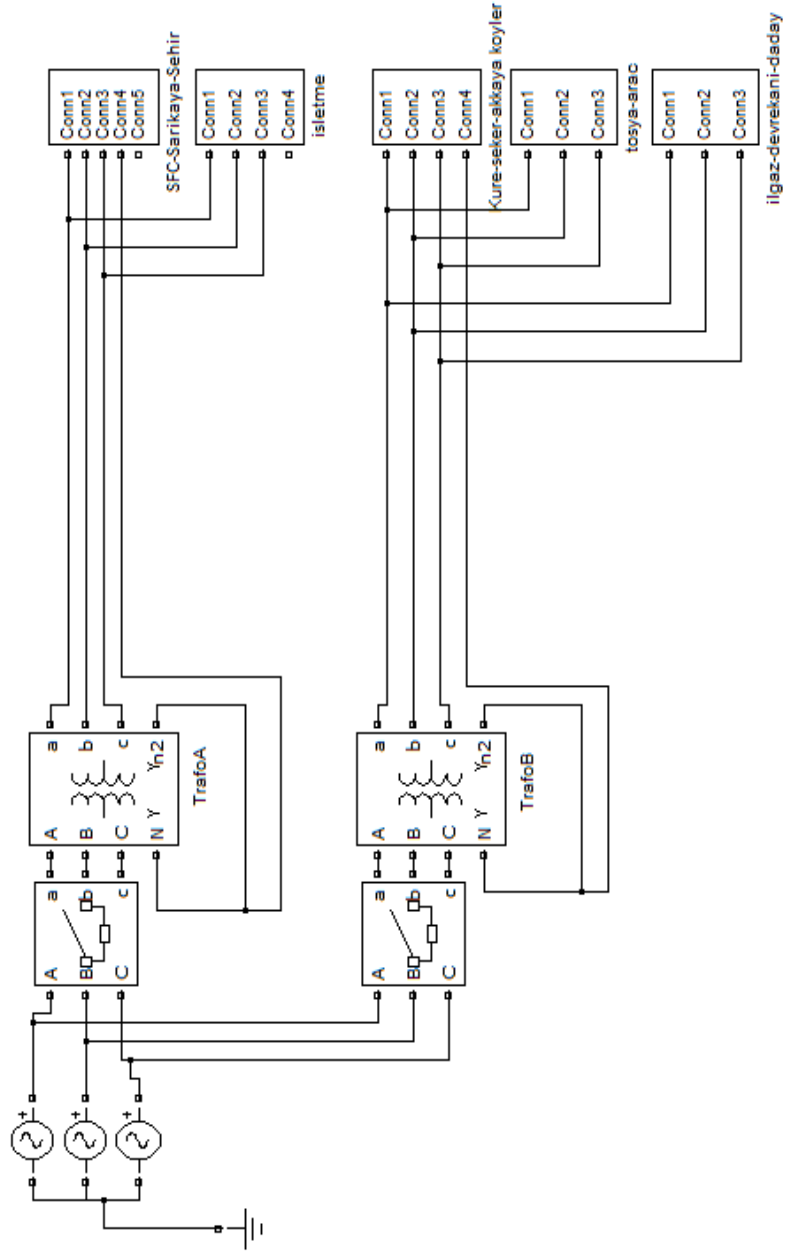
$$V_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v(\omega t) d\omega t \quad (3.9)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v(\omega t) \sin(n\omega t) d\omega t \quad (3.10)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v(\omega t) \cos(n\omega t) d\omega t \quad (3.11)$$

olarak yazılır. (Arifoğlu, 2002)

Şekil 4.2' deki şemada ise Matlab simulink araç kutusu kullanılarak Kastamonu ilinin iletim ve dağıtım şebekesi modellenmesi gösterilmiştir.

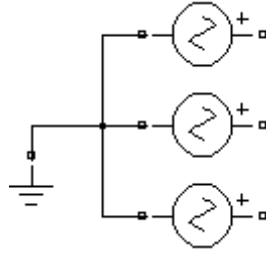


Şekil 4.2 Kastamonu ili 154 / 31,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellenmesi

4.1. Kastamonu İli İletim ve Dağıtım Modellemesinde Kullanılan Devre Elemanları ve Özellikleri

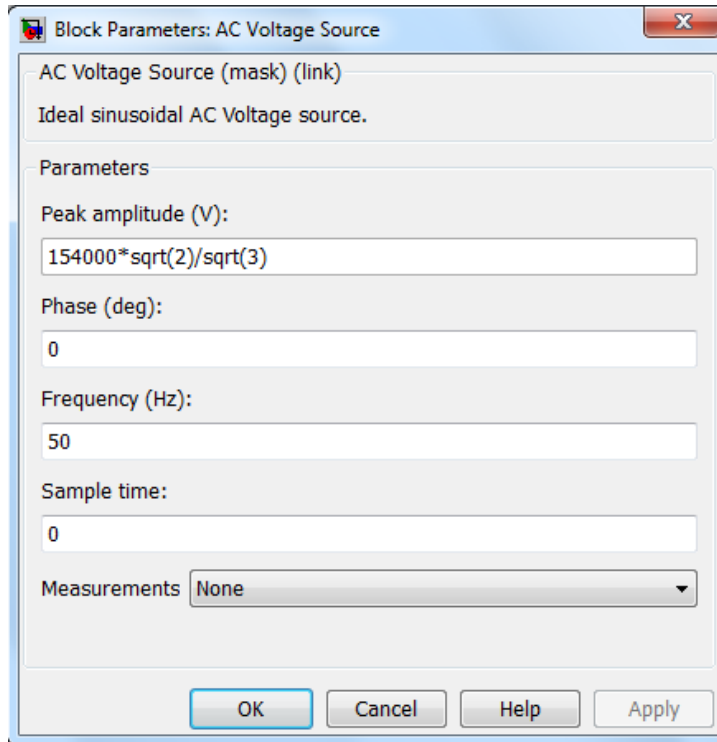
4.1.1. Gerilim Kaynağı

Kastamonu ili elektrik beslemesi 154 kV'luk baradan beslenmektedir. Şekil 4.3'te gerilim modelleme için kullanılan gerilim kaynağı sembolü verilmektedir.



Şekil 4.3 154 kV gerilim kaynağı sembolü

Şekil 4.4'te bu gerilim kaynağına ait parametreleri verilmiştir. Kaynağın $\sqrt{3}$ 'e bölünmesinin sebebi Matlab 7.11.0 (R2010b) yazılımından kaynaklanan bir hatadan dolayıdır.



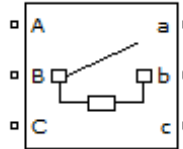
Şekil 4.4 154 kV gerilim kaynak sembolünün parametreleri

4.1.2. Kesici

Yüksek gerilimli ve büyük akımlı şebeke ve tesislerde, yük akımlarını açmaya ve kapamaya yarayan şalt cihazlarına kesici (disjonktör) denir.

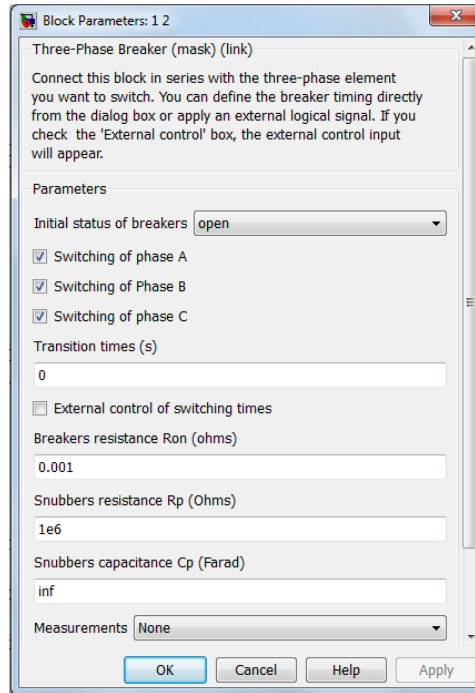
Yüksek gerilimli ve büyük akımlı şebekelerde devre açma işlemleri basit yapıllı şalterlerle yapılamaz. Yük altında yapılan akım kesme işlemi esnasında arklar oluşmaktadır. Bu arklar, kontaklara zarar vererek kısa zamanda kullanılamaz hale getirmektedir. Bu sebeple yüksek gerilimli ve büyük akımlı şebekelerde devre açma ve kapama işlemleri kesicilerle gerçekleştirilir.

Şekil 4,5'te Matlab simulink araç kutusundaki kesici sembolü gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Kesici Sembolü

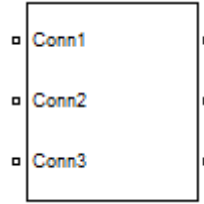
Şekil 4.6'da Kesici sembolünün parametreleri verilmektedir.



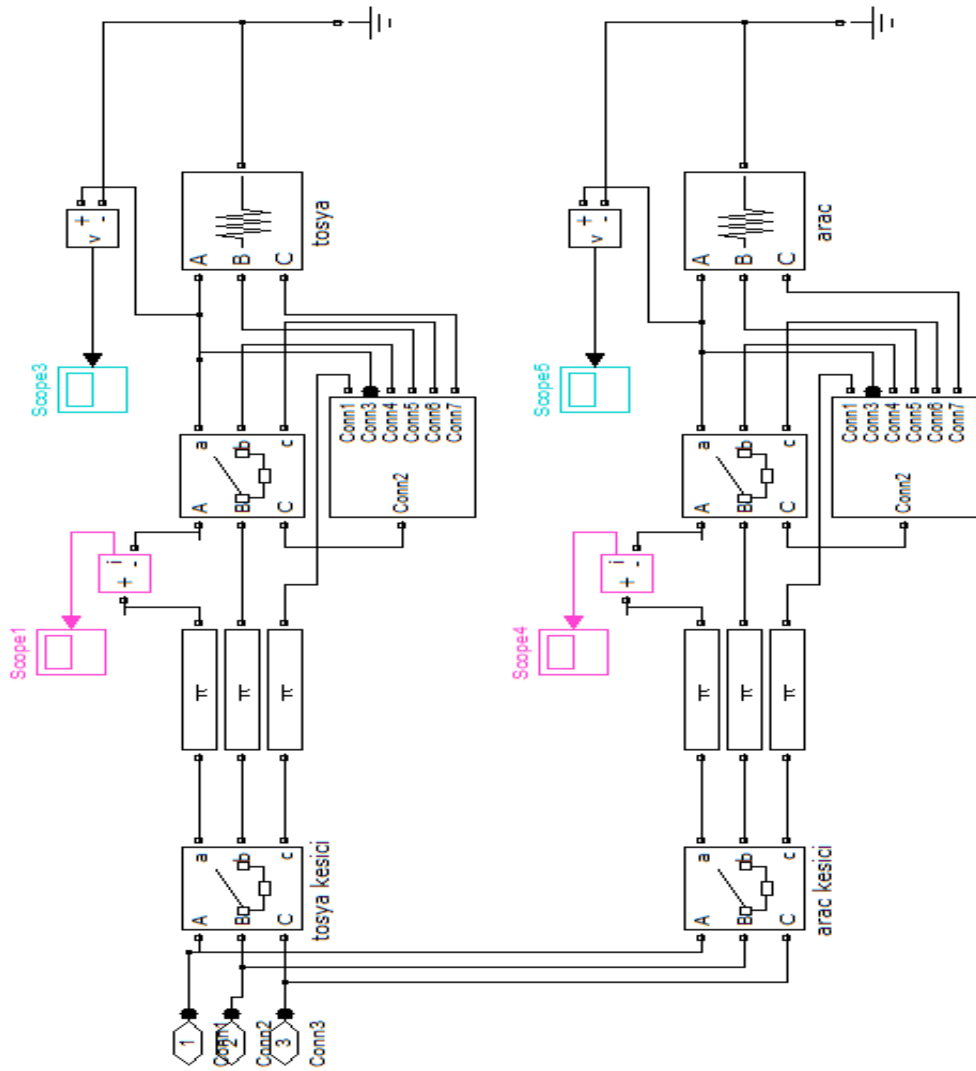
Şekil 4.6 Kesici parametreleri

4.1.3. Subsystem

Bu blok yardımı ile bir den fazla devre elemanları bu blok içerisine atılarak oluşturulan modellemenin daha basite indirgenmesini sağlamaktadır. Şekil 4.8’de ise bir bölgenin bu bloğa ait iç şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Subsystem Blok Şeması



Şekil 4.8 Subsystem bloğun iç şeması

4.1.4. Ölçü metre blokları

Akım, gerilim, aktif-reaktif güç ölçümlerinde kullanılan devre elemanlarıdır.

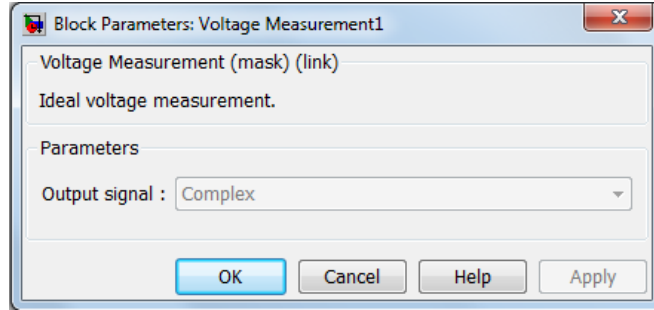
Voltmetre bloğu

Modellemede istenilen hattın volt değerini ölçmek için kullanılır. Şekil 4.9'da Matlab yazılımındaki gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.9 Volt ölçme bloğu

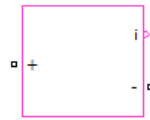
Şekil 4.10'da Volt ölçme bloğunun parametreleri verilmektedir.



Şekil 4.10 Volt ölçü bloğunun parametreleri

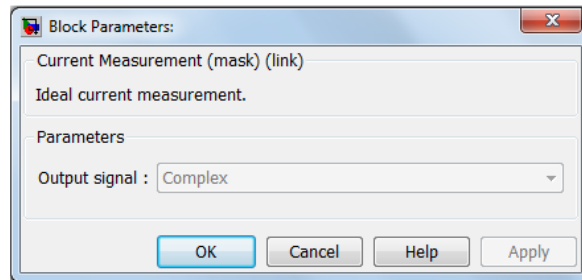
Ampermetre bloğu

Modellemede istenilen yerlerin amper değerini ölçmek için kullanılır. Şekil 4.11'de Matlab yazılımındaki gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.11 Amper ölçme bloğu

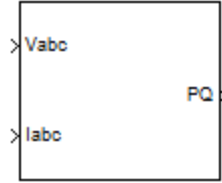
Şekil 4.12'de Amper ölçme bloğunun parametreleri verilmektedir.



Şekil 4.12 Amper ölçü bloğunun parametreleri

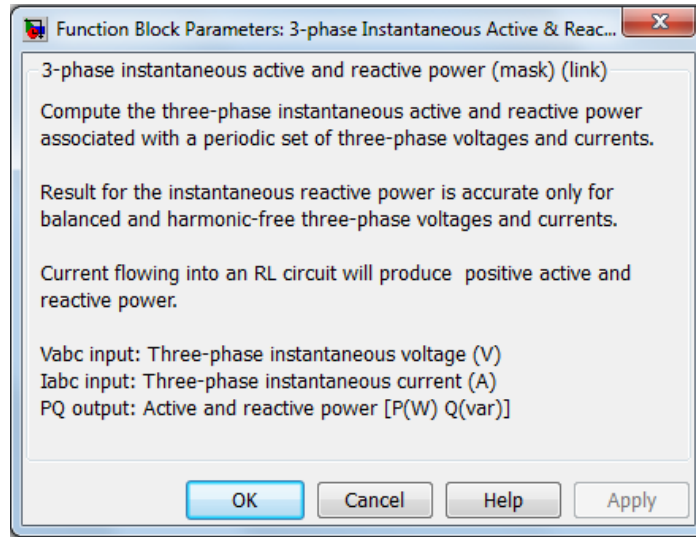
Aktif-reaktif güç ölçüm bloğu

Modellemede istenilen yerlerin aktif-reaktif güç ölçümü için kullanılır. Şekil 4.13'te Matlab yazılımındaki gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.13 Aktif-reaktif güç ölçüm bloğu

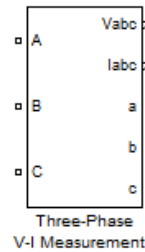
Şekil 4.14'te Aktif-reaktif güç ölçüm bloğunun parametreleri verilmektedir.



Şekil 4.14 Aktif-reaktif güç ölçüm bloğu parametreleri

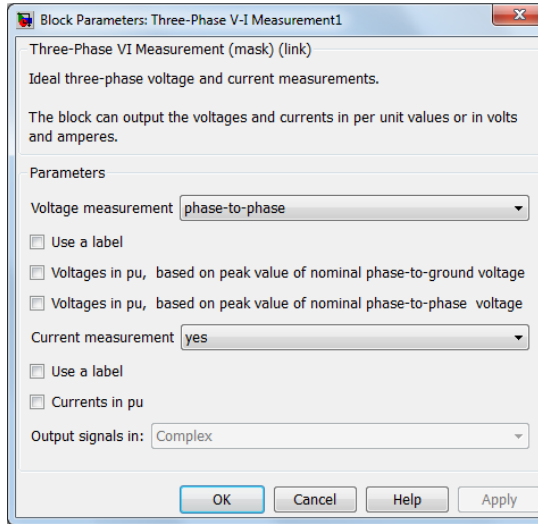
Üç fazlı ölçü metre bloğu

Şekil 4.15'te üç fazlı ölçü metre sembolü verilmektedir.



Şekil 4.15 Üç fazlı ölçü metre sembolü

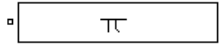
Şekil 4.16’da üç fazlı ölçü metrenin parametreleri verilmektedir.



Şekil 4.16 Üç fazlı ölçü metrenin parametreleri

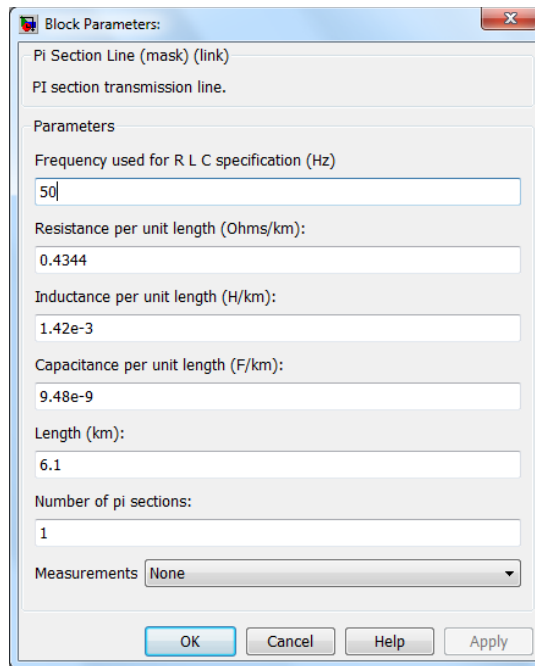
4.1.5. İletim hatları

Şekil 4.17’de dağıtım hatlarının π (pi) eşdeğer devresine ilişkin Matlab simulink araç kutusundaki gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.17 Enerji nakil hattının gösterimi

Şekil 4.18’de Enerji nakil hattının Pi eşdeğer devresinin parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 4.18 Enerji nakil hattının Pi eşdeğer devresinin parametreleri

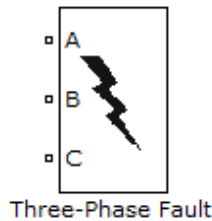
Çizelge4,1’de hatların pi eşdeğer parametre değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 Hatların Matlab da kullanılan değerleri

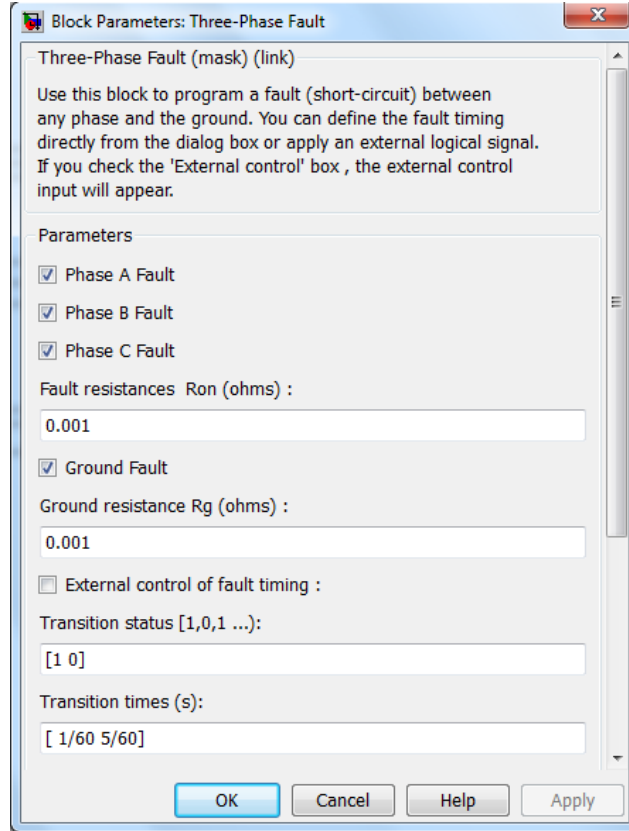
Hatlar	Uzunluk (km)	İletken Cinsi ve Kesiti	R(ohm/km)	L (H/km)	C (μ F/km)
FİDER 1 SFC	6,100	3/0	0,434426	0,001420069	0,009486269
FİDER2 SARIKAYA	1,300	1x240	0,074615	0,006000000	0,200000000
FİDERŞEHİR TR24	2,200	1x240	0,075000	0,006000000	0,200000000
FİDER4 KUZUYKENT (KÜRE)	4,500	266,8 MCM	0,240000	0,001162067	0,008980892
FİDER5ŞEKER-TAŞKÖPRÜ	21,700	266,8 MCM	0,240000	0,001162347	0,008980892
FİDER6 AKKAYA KÖYLER	3,000	1/0	0,674760	0,001479618	0,009808917
FİDER 9 TOSYA	30,200	266,8 MCM	0,240000	0,001162420	0,008980892
FİDER 10ARAÇ	40,200	3/0	0,435000	0,001420366	0,009490446
FİDER 11ILGAZ	29,000	3/0	0,435000	0,001420382	0,009490446
FİDER12 DEVREKANİ	26,800	3/0	0,435000	0,001420287	0,009490446

4.1.6. Kısa devre

Şekil 4.19’da üç-faz kısa devre sembolü gösterilmektedir. Şekil 4.20’de ise bu sembolün parametreleri verilmektedir. Bu sembol sayesinde enerji hatlarında kısa devre yapılarak çekilen maksimum akımı görebilmekteyiz.



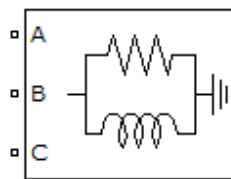
Şekil 4.19 Üç-faz hata sembolü



Şekil 4.20 Üç-faz hata sembolü parametreleri

4.1.7. Hatların yükleri

Şekil 4.21'de modellemede kullanılan üç fazlı paralel RLC yük sembolü verilmektedir. Dağıtım hatlarının çektiği güçler bu sembol yardımı ile gösterilmektedir.



Şekil 4.21 Yük sembolü

Şekil 4.22’de yük sembolünün parametreleri verilmektedir.

Block Parameters:

Three-Phase Parallel RLC Load (mask) (link)
Implements a three-phase parallel RLC load.

Parameters

Configuration: Y (grounded)

Nominal phase-to-phase voltage Vn (Vrms): 31500

Nominal frequency fn (Hz): 50

Active power P (W): 7.4e6

Inductive reactive Power QL (positive var): 17.5e3

Capacitive reactive power Qc (negative var): 0

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

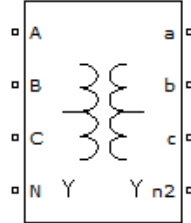
Şekil 4.22 Yük parametreleri

Çizelge 4.2 Dağıtım hatlarının güç değerleri

Yükler	P (MW) Aktif Güç	Q (KVAR) Reaktif Güç
F1 SFC	7,4	17,5
F2 SARIKAYA ŞEHİR	8,8	3,5
F3 ŞEHİR TR 24	5,1	14
F4 KÜRE-KUZEYKENT	10,3	70
F5 ŞEKER TAŞKÖPRÜ	3,1	3,5
F6 AKKAYA KÖYLER	0,1	0,175
F9 TOSYA	0,6	0
F10 ARAÇ	3,7	0
F11 ILGAZ	2,4	0
F12 DEVREKÂNI	1,6	1,75
F13 DADAY	2	0

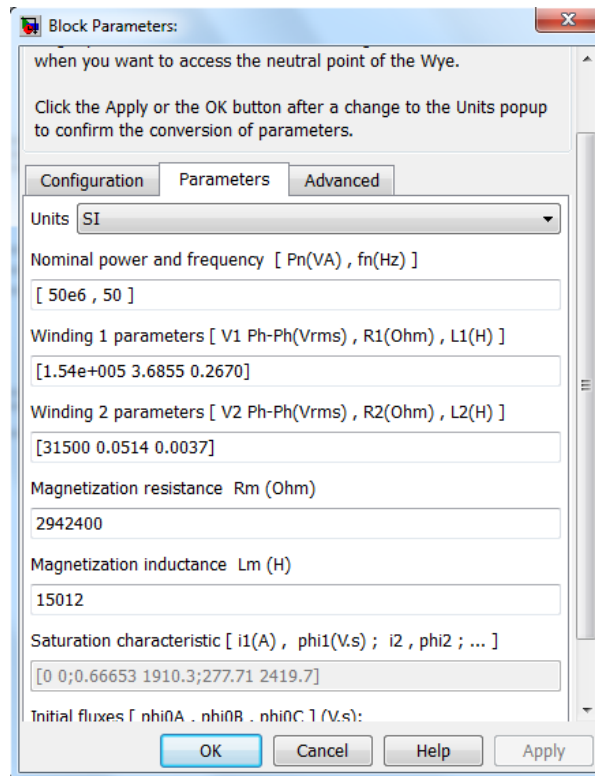
4.1.8. Yıldız-Yıldız bağı trafo

İletim ve dağıtım hatlarında gerilim seviyesini istenilen düzeye getirmek için kullanılır. Şekil 4.23'te modellemede kullanılan Yıldız-Yıldız bağı trafonun sembolü gösterilmektedir.



Şekil 4.23 Yıldız-Yıldız bağı trafo sembolü

Şekil 4.24'te Yıldız-Yıldız bağı trafonun parametreleri verilmektedir. Kastamonu için yapılan bu çalışmada, trafo değerleri firma tarafından temin edilip Matlab yazılım programında parametreler hesaplanmıştır.



Şekil 4.24 Yıldız-Yıldız bağı trafonun parametreleri

5. KASTAMONU İLİNİN İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİ GÜÇ AKIŞI VE BİR İŞLETMENİN GÜÇ AKIŞI, KISA DEVRE VE HARMONİK ANALİZİ

Kastamonu ili 154 / 31,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi ve işletmeden veriler alınarak yapılan modellemede akım, gerilim, güç ve kısa devre değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

İşletmeye ait trafonun verileri alınarak Matlab yazılım programında trafo parametrelerine ait olan R1, L1, R2, L2, Rm ve Lm değerleri hesaplanmıştır.

5.1. Güç akışı ve kısa devre akım grafikleri

Yapılan çalışmada Trafo A, Trafo B ve diğer yüklere ait akım, gerilim aktif-reaktif güç değerleri ve kısa devre akım değerleri Matlab yazılım programında modellenerek osilaskop ekranında grafiksel olarak gösterilmiştir.

Her bir yük için hesaplanan akım değerleri gerçek değerlerle kıyaslama yapılarak yorumlanmıştır.

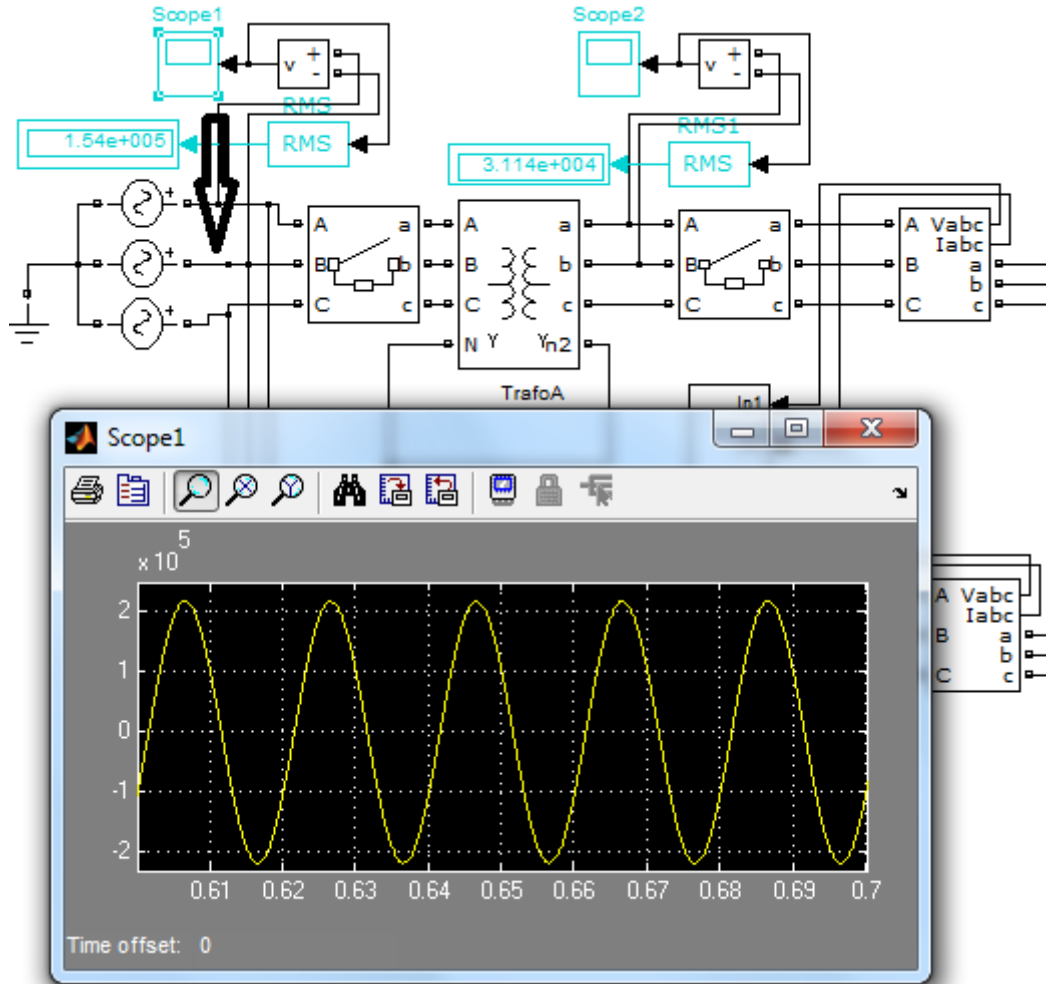
3 faz-toprak kısa devre yapılarak yüklerin çektiği maksimum akım değeri osilaskop ekranında grafiksel olarak gösterilmiştir.

İşletme için yapılan modellemede, trafonun toplam gücü 1. yük ve 2. yük olmak üzere ikiye bölünmüştür. 1. yük yaklaşık olarak 53 A'dir. Harmonik oluşturması açısından 1. yüke 60 amperlik diyot bağlanmıştır. Diyotun datasheet pdf değerleri internetten elde edilerek modellemede bulunan diyot parametrelerine yazılmıştır. Simülasyon çalıştırılarak işletmenin harmonik analizi gözlemlenmiştir.

5.1.1. Trafo A akım, gerilim değerleri

Trafo A giriş gerilim değeri

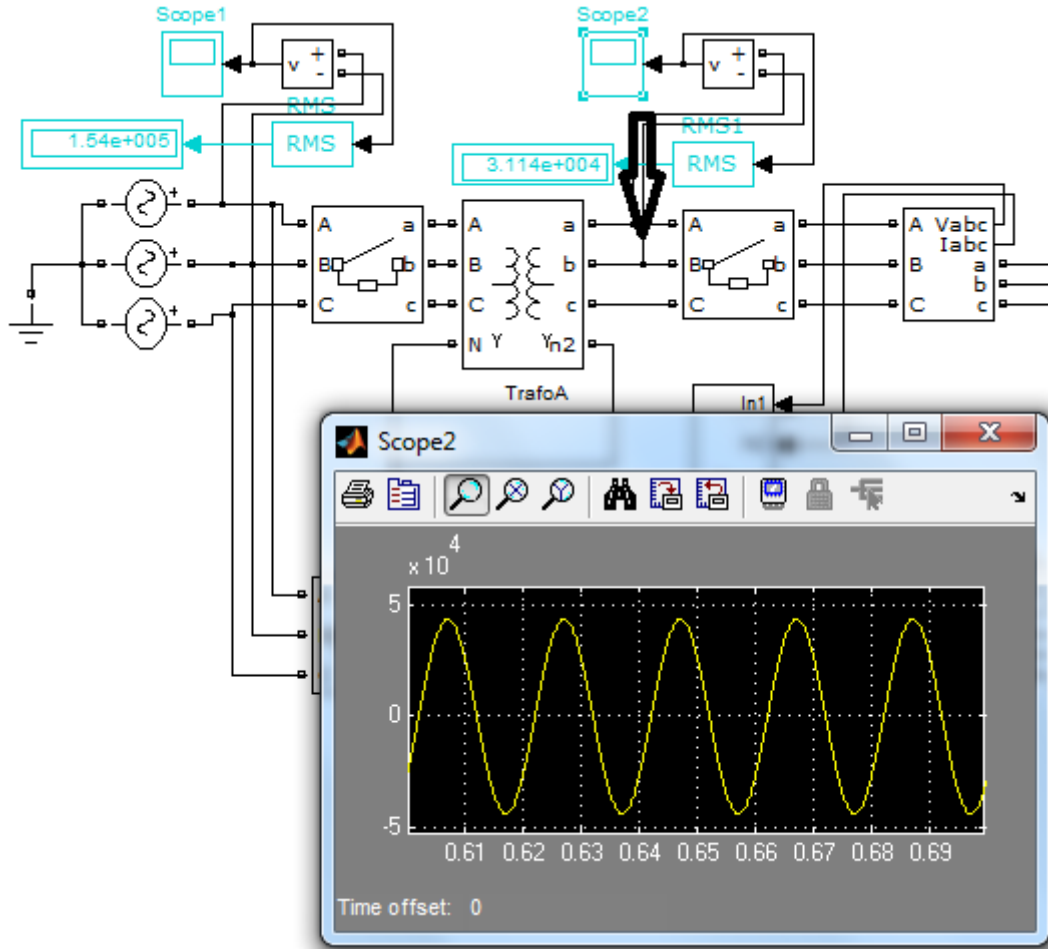
Şekil 5.1’de Trafo A giriş gerilim değerinin osiloskopda 217,7 kV değerine sahip sinüs dalgası görülmektedir. Etkin (rms) değeri ise göstergede 154 kV değerine sahiptir.



Şekil 5.1 Trafo A giriş gerilim değeri

Trafo A çıkış gerilim değeri

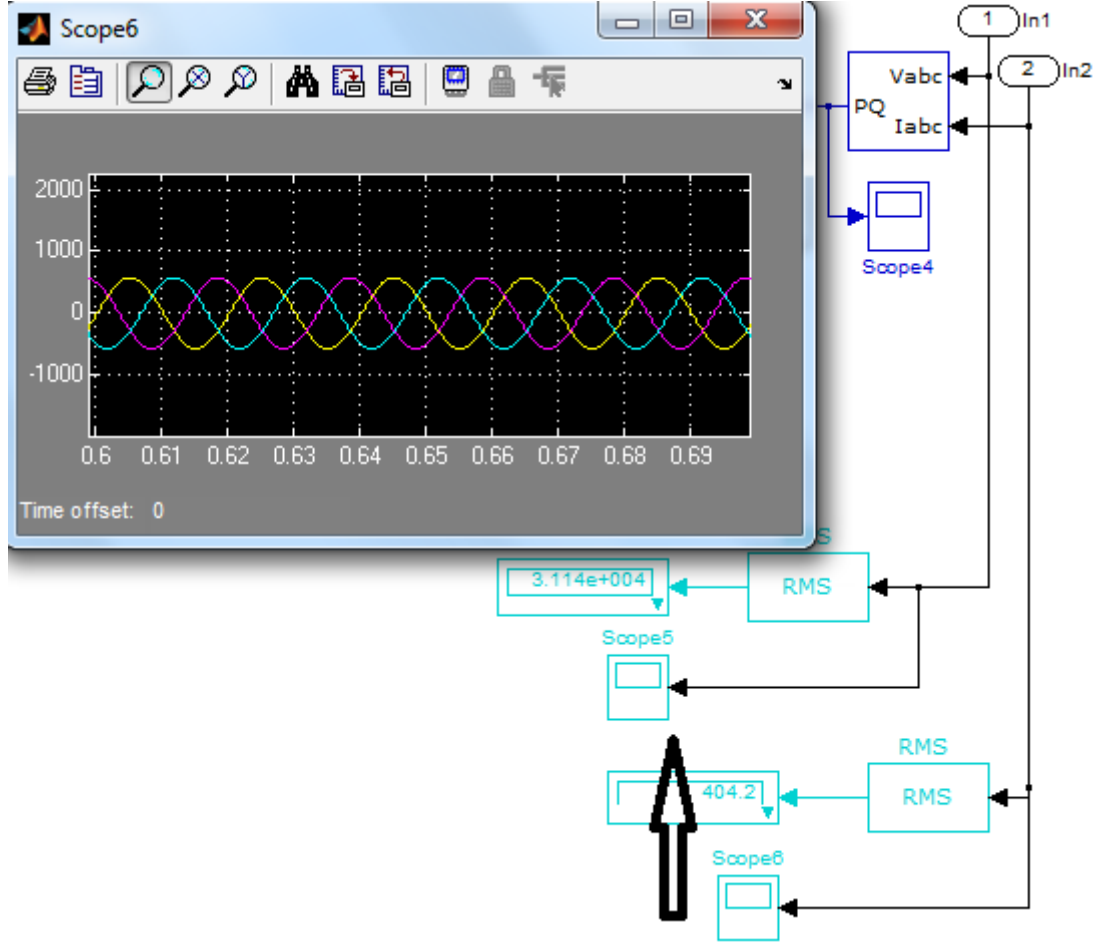
Şekil 5.2’de Trafo A çıkış gerilim değerinin osilaskopda 44,02 kV değerine sahip sinüs dalga grafiği verilmektedir. Etkin (rms) değeri ise göstergede 31,1 kV değerine sahiptir.



Şekil 5.2 Trafo A çıkış gerilim değeri

Trafo A çıkış akım değeri

Şekil 5.3'te Trafo A'nın çıkış akım değerinin osilaskopda 571,3 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Etkin (rms) değeri ise göstergede 404,2 A değerine sahiptir.

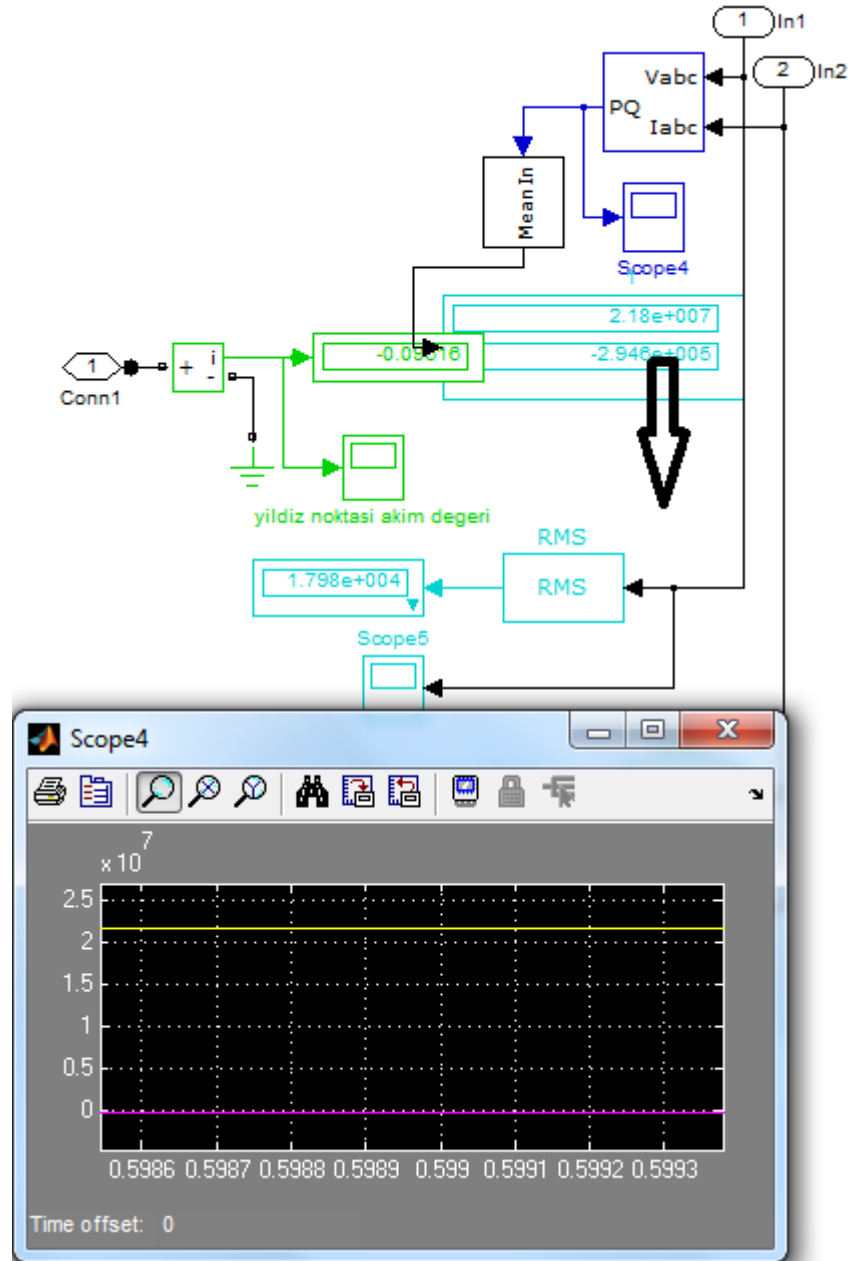


Şekil 5.3 Trafo A çıkış akım değeri

Trafo A çıkış aktif reaktif güç değerleri

Şekil 5.4'te Trafo A'nın çıkış aktif güç değerinin osilaskopda 21,8 MW ve çıkış reaktif güç değerinin 0,29 MVAR değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir.

Şekil 5.4'te verilen grafikte üst kısımdaki aktif, alt kısımdaki eğri ise reaktif güç değerini göstermektedir.

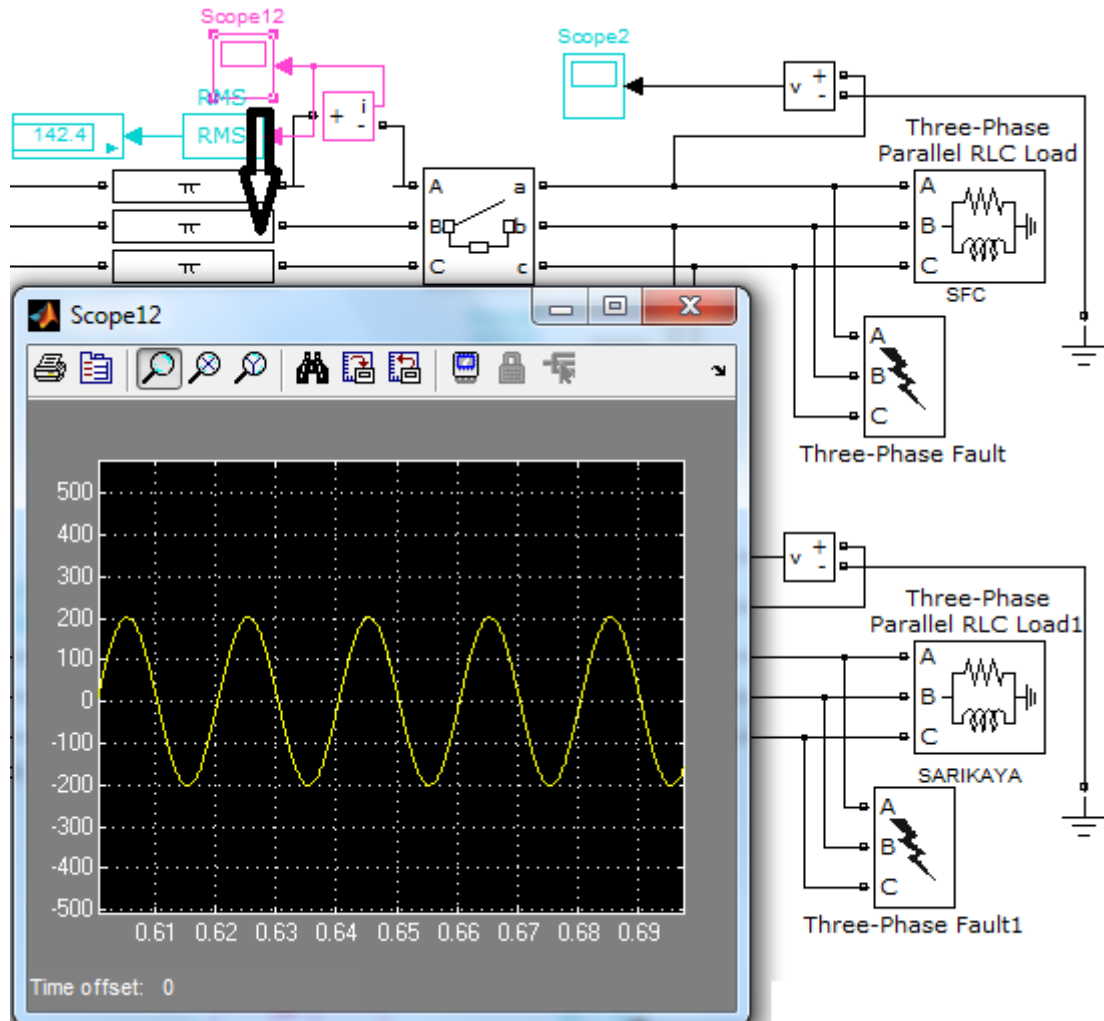


Şekil 5.4 Trafo A çıkış aktif reaktif güç değerler

5.1.2. Trafo A'ya bağı yüklerin çektiği akım, gerilim değerleri

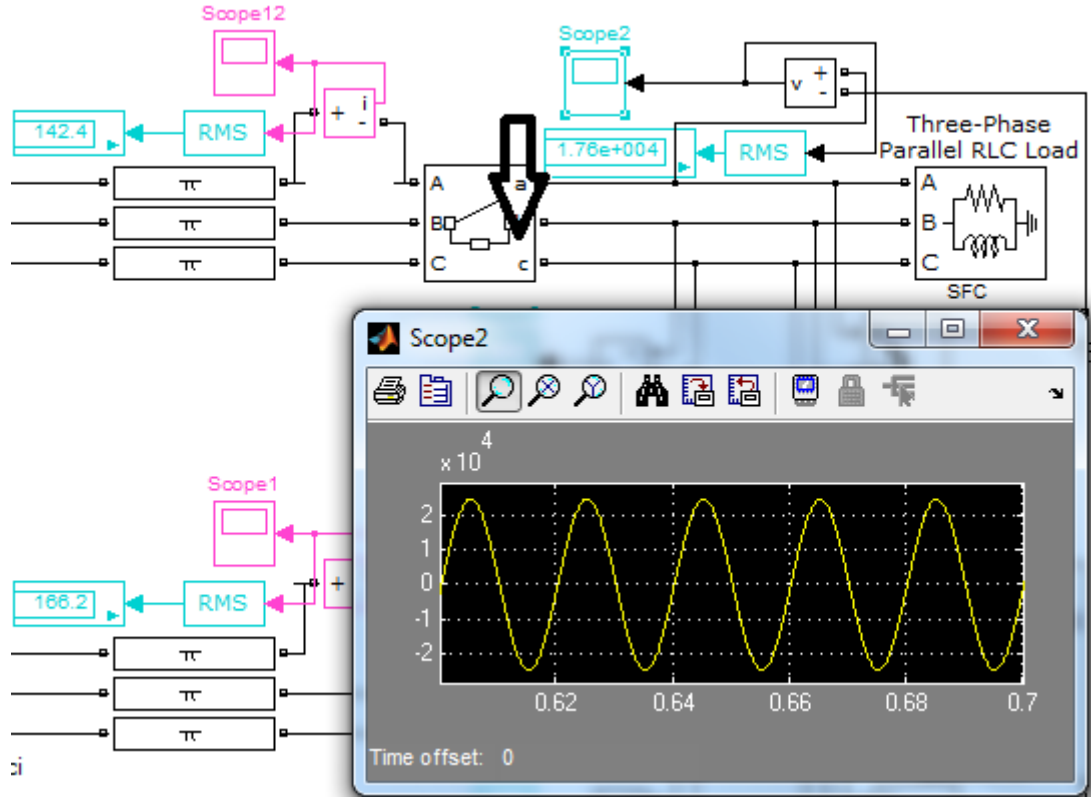
SFC yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.5'te SFC yükünün çektiği akım değerinin osiloskopa 201,8 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 142,4 A değerine sahiptir.



Şekil 5.5 SFC yükünün çektiği akım değeri

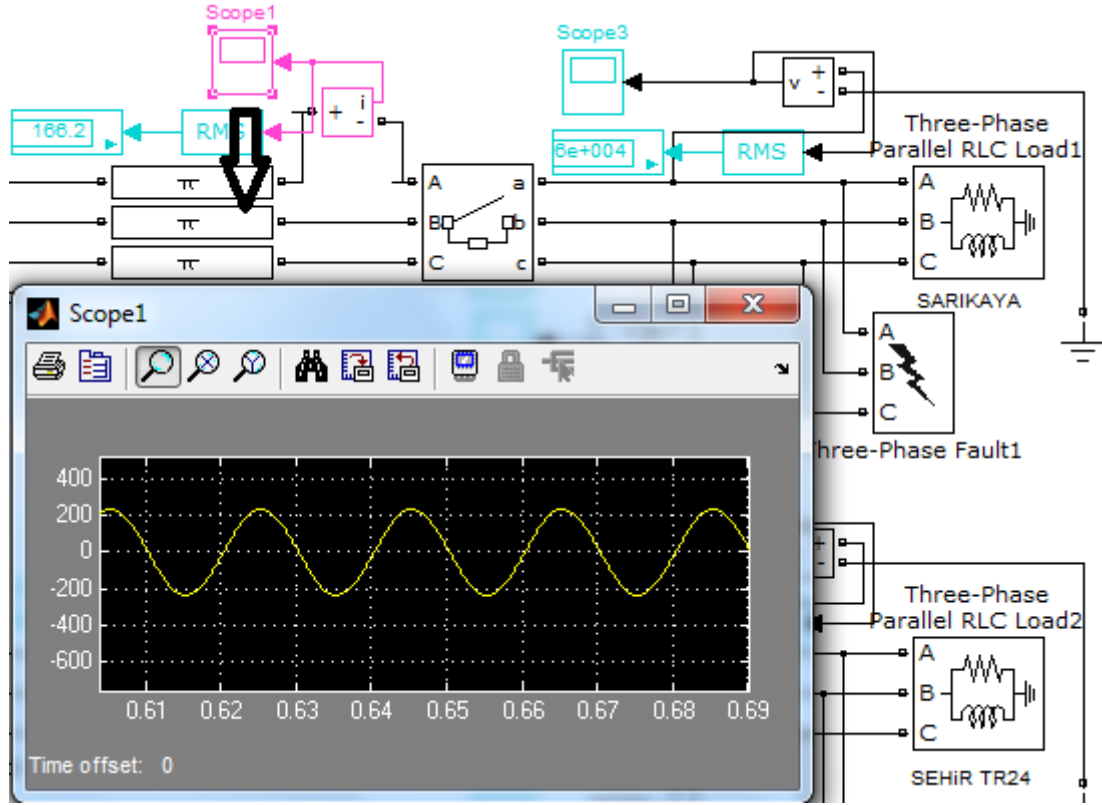
Şekil 5.6'da SFC yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osilaskopda 24,885 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17.6 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 30,484 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.6 SFC yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri

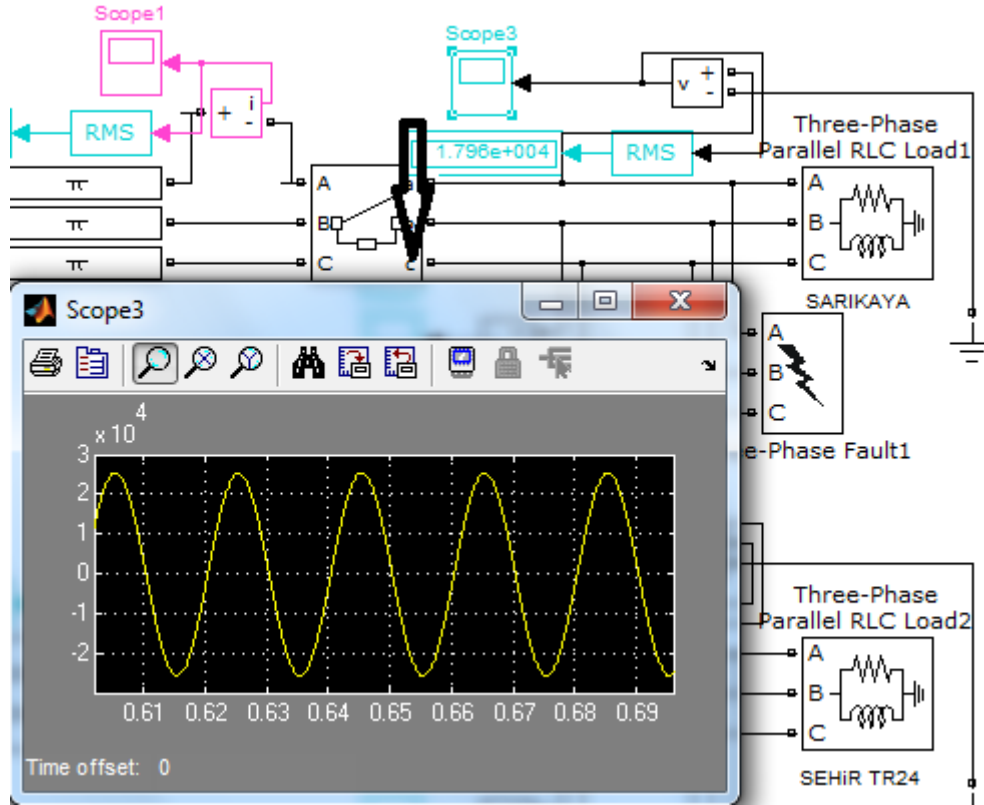
SARIKAYA yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.7’de SARIKAYA yükünün çektiği akım değerinin osilaskopda 235,1 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 166,2 A değerine sahiptir.



Şekil 5.7 Sarıkaya yükünün çektiği akım değeri

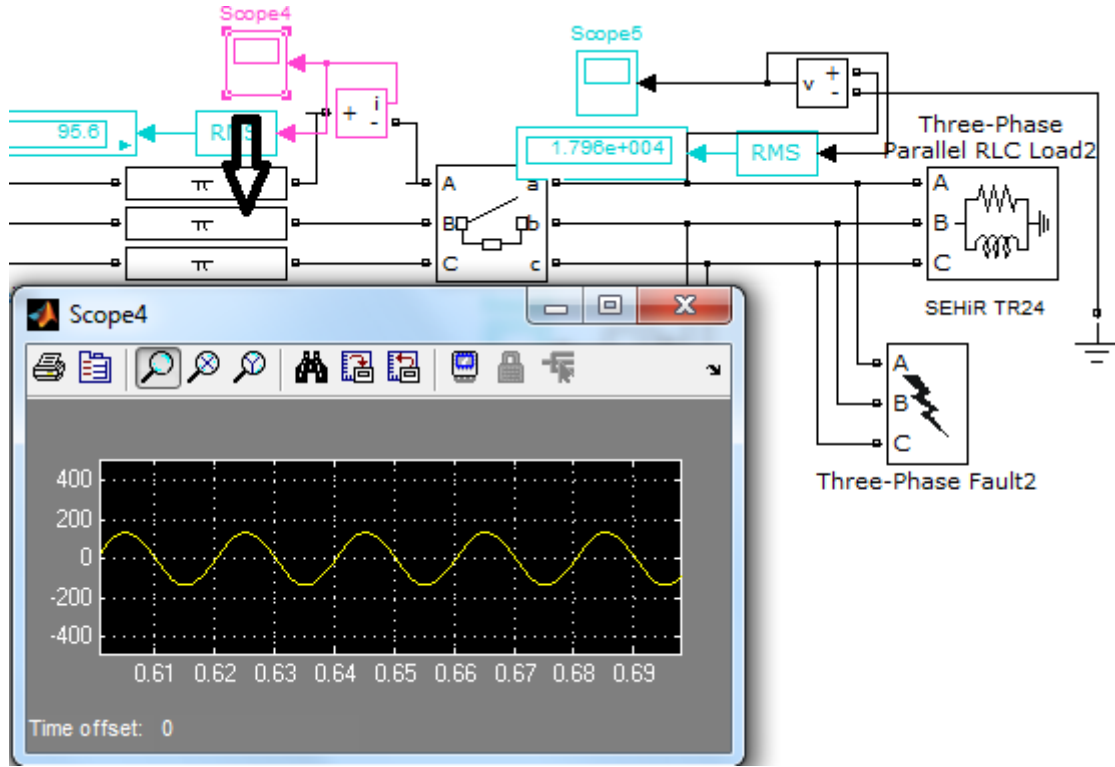
Şekil 5.8’de SARIKAYA yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osilaskopda 25,4 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17.96 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 31,107 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.8 SARIKAYA yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri

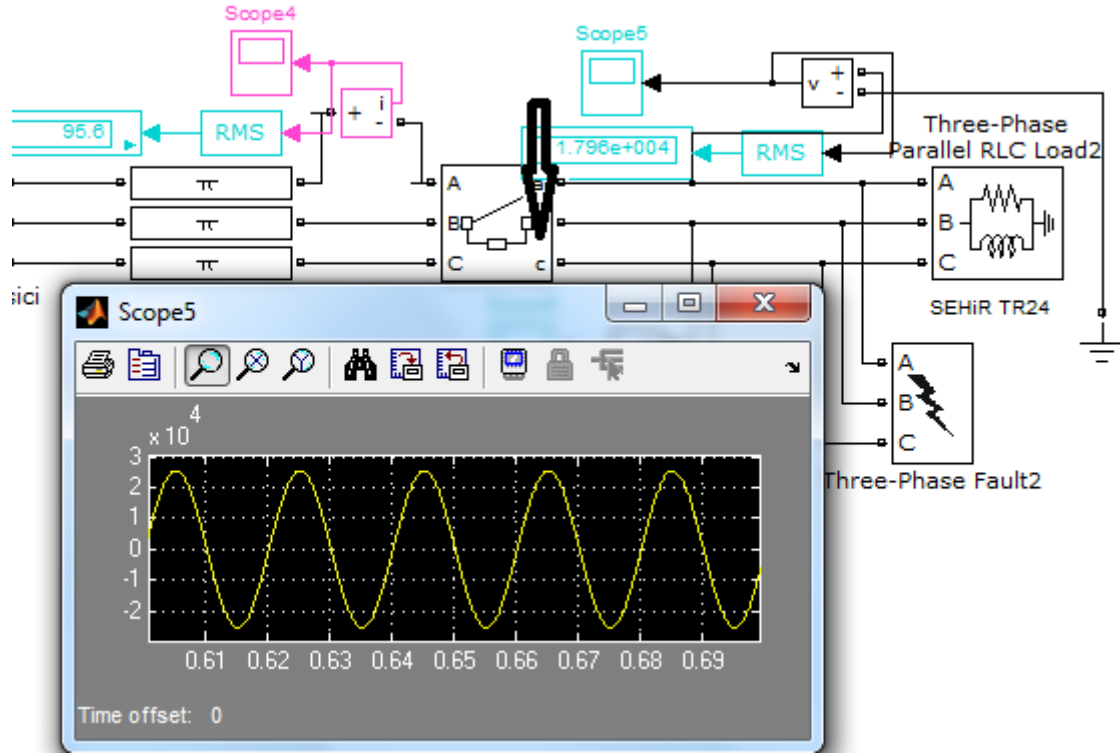
SEHİR TR24 yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.9’de SEHİR TR24 yükünün çektiği akım değerinin osilaskopda 135,5 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 95,6 A değerine sahiptir.



Şekil 5.9 SEHİR TR24 yükünün çektiği akım değeri

Şekil 5.10'da ŞEHİR TR 24 yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osilaskopda 25,404 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,96 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 31,107 kV bulunmaktadır.

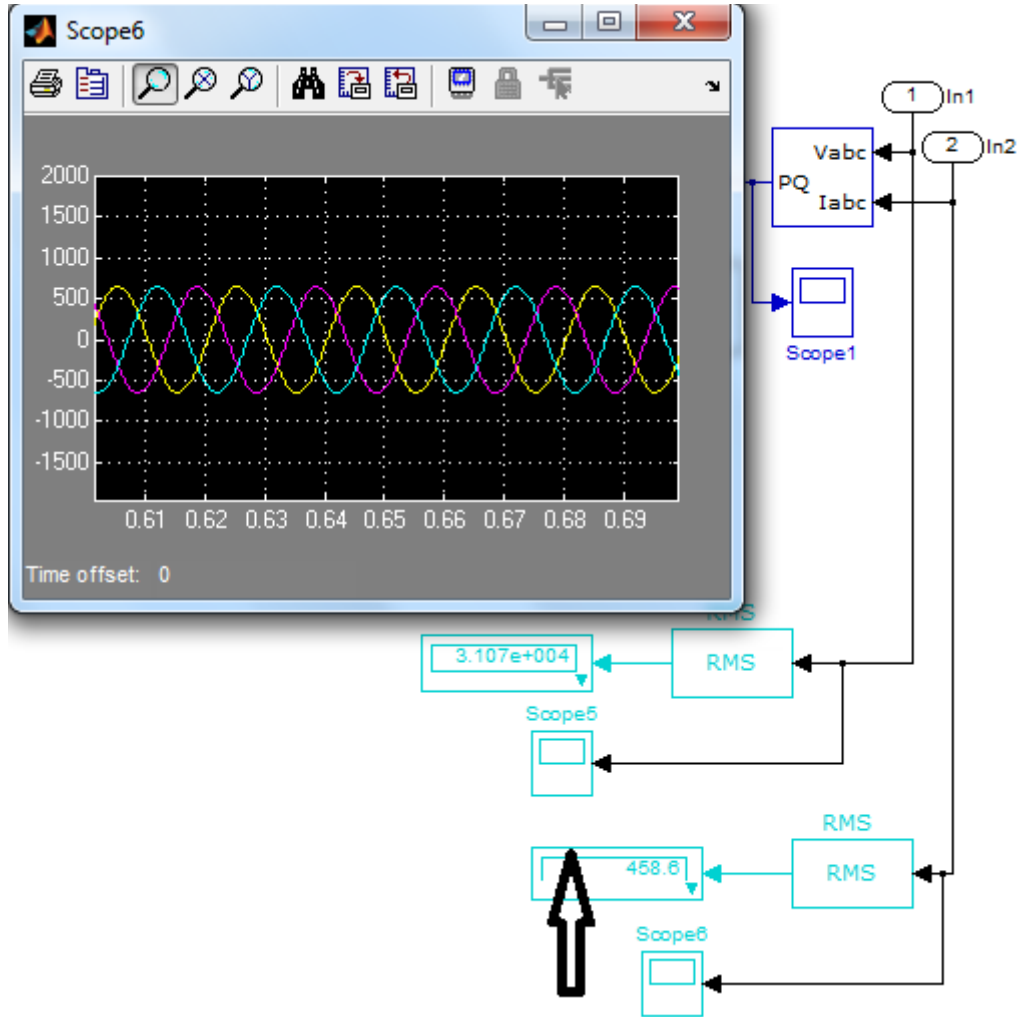


Şekil 5.10 ŞEHİR TR24 yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri

5.1.3. Trafo B akım, aktif-reaktif güç değerleri

Trafo B çıkış akım değeri

Şekil 5.11’de Trafo B’nin çıkış akım değerinin osilaskopda 650 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Etkin (rms) değeri ise göstergede 458,6 A değerine sahiptir.

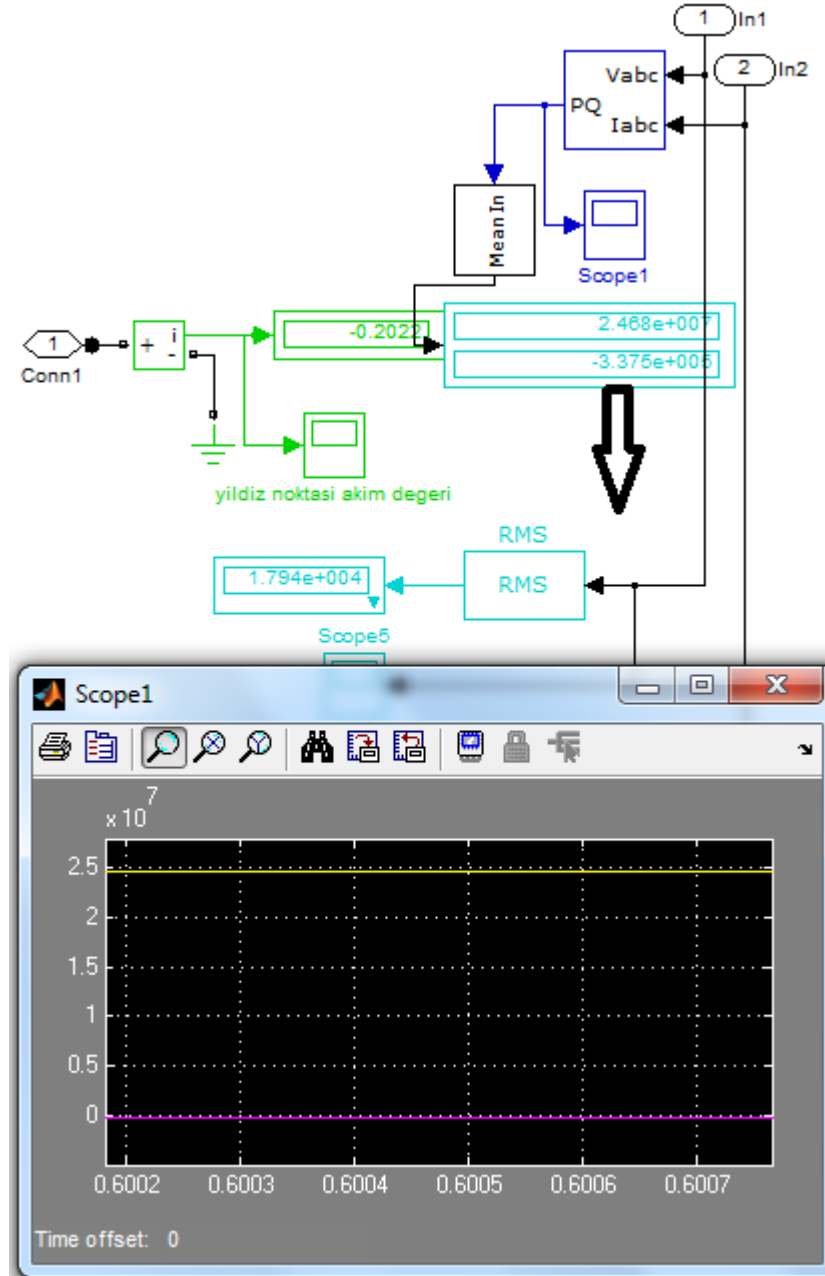


Şekil 5.11 Trafo B çıkış akım değeri

Trafo B çıkış aktif reaktif güç değerleri

Şekil 5.12’de Trafo B’nin çıkış aktif güç değerinin osiloskopa 24,68 MW ve çıkış reaktif güç değerinin 0,337 MVAR değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir.

Şekil 5.12’de verilen grafikte üst kısımdaki aktif, alt kısımdaki eğri ise reaktif güç değerini göstermektedir.

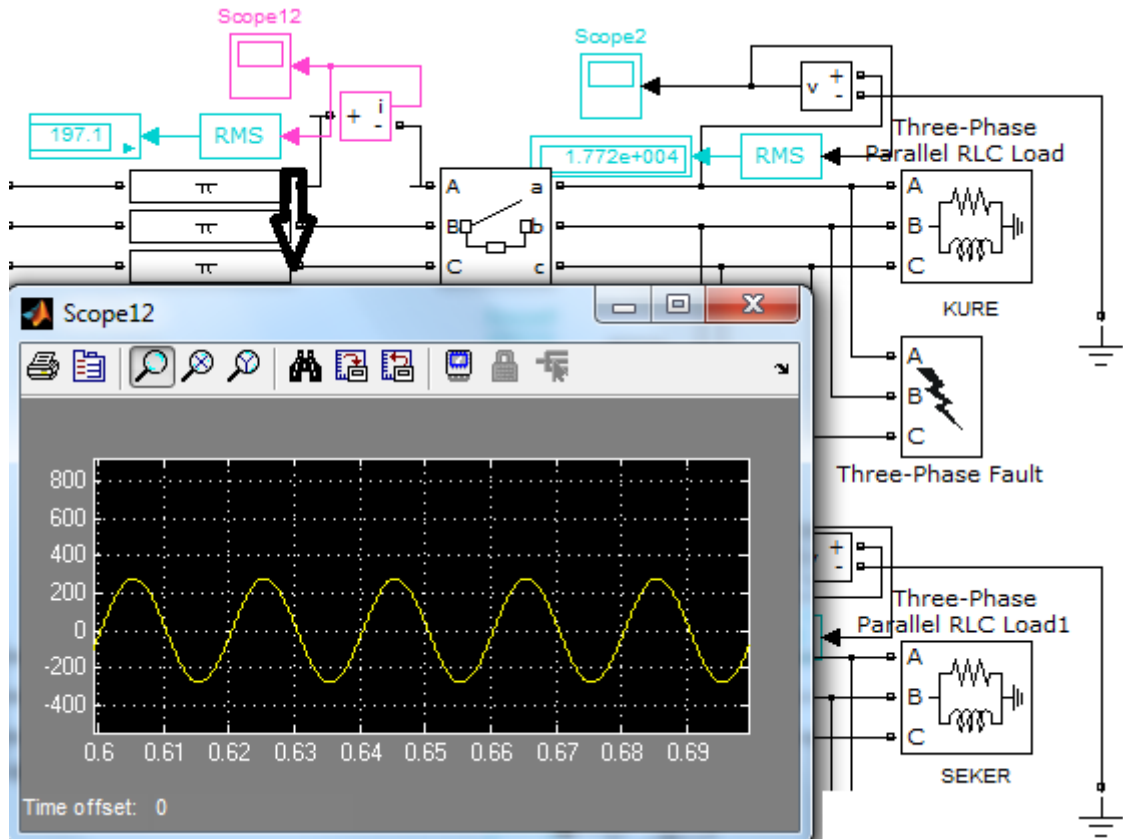


Şekil 5.12 Trafo B çıkış aktif-reaktif güç değerleri

5.1.4. Trafo B'ye bağılı yüklerin çektiğı akım, gerilim değerleri

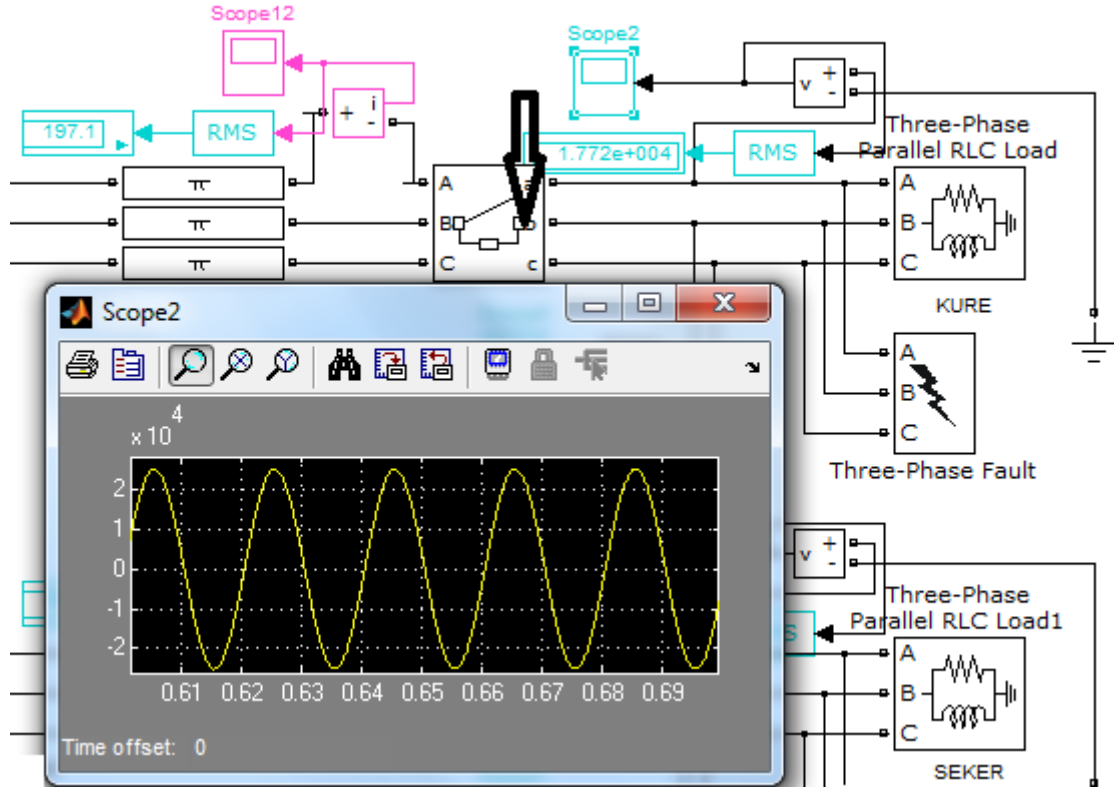
KÜRE yükünün çektiğı akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.13'de KÜRE yükünün çektiğı akım değerinin osilaskopda 280,2 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiğı verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 197,1 A değerine sahiptir.



Şekil 5.13 Küre yükünün çektiğı akım değeri

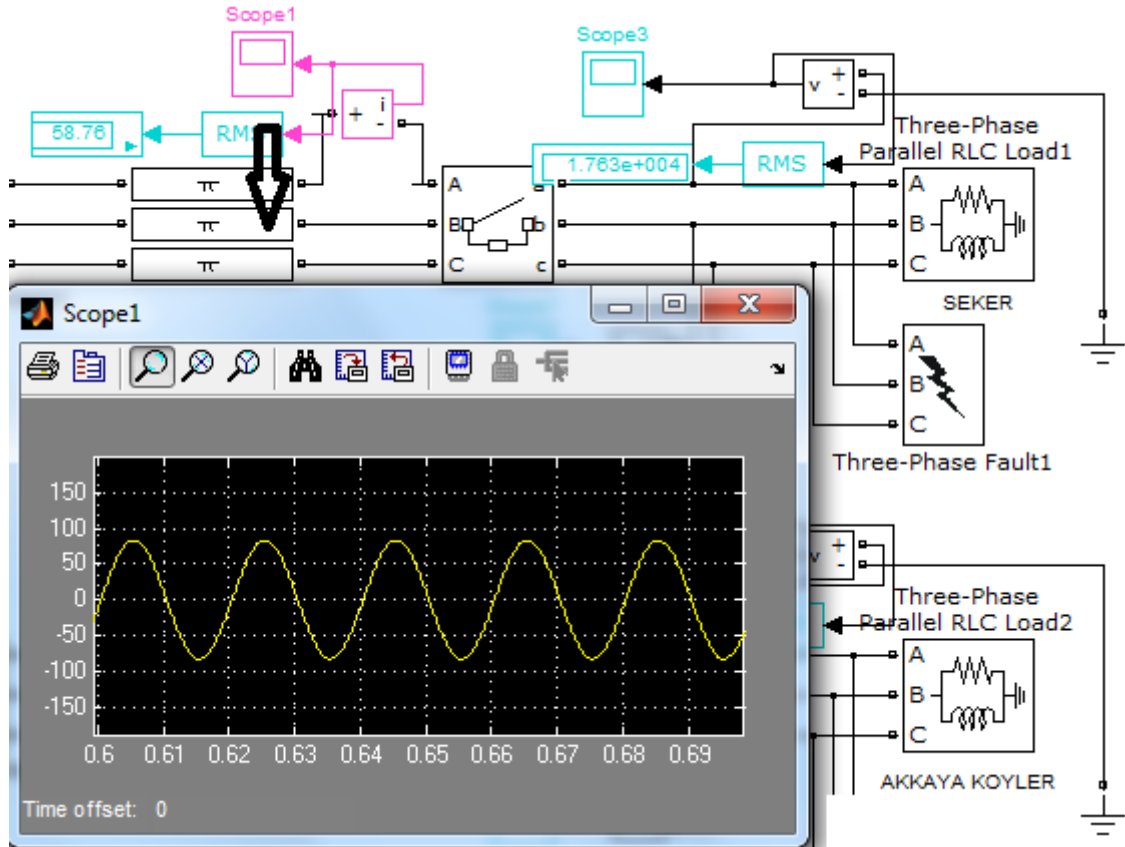
Şekil 5.14’de KÜRE yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osilaskopda 25,056 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,72 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 30,691 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.14 Küre yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri

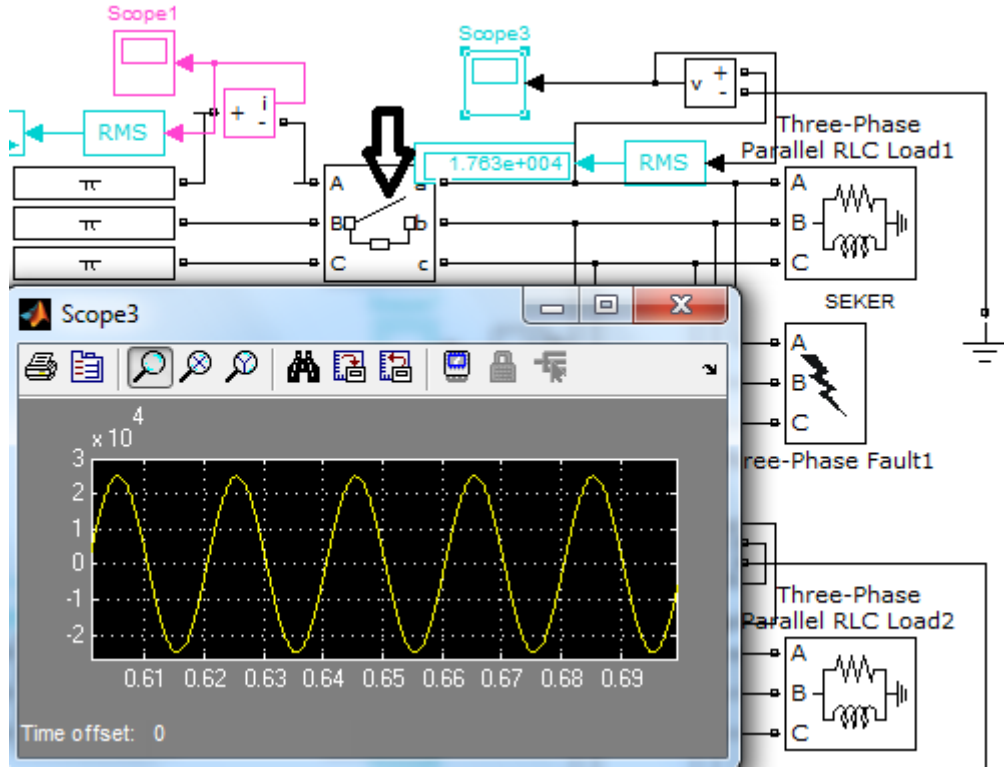
SEKER TAŞKÖPRÜ yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.15’de ŞEKER TAŞKÖPRÜ yükünün çektiği akım değerinin osilaskopda 83,1 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 58,76 A değerine sahiptir.



Şekil 5.15 ŞEKER TAŞKÖPRÜ yükünün çektiği akım değeri

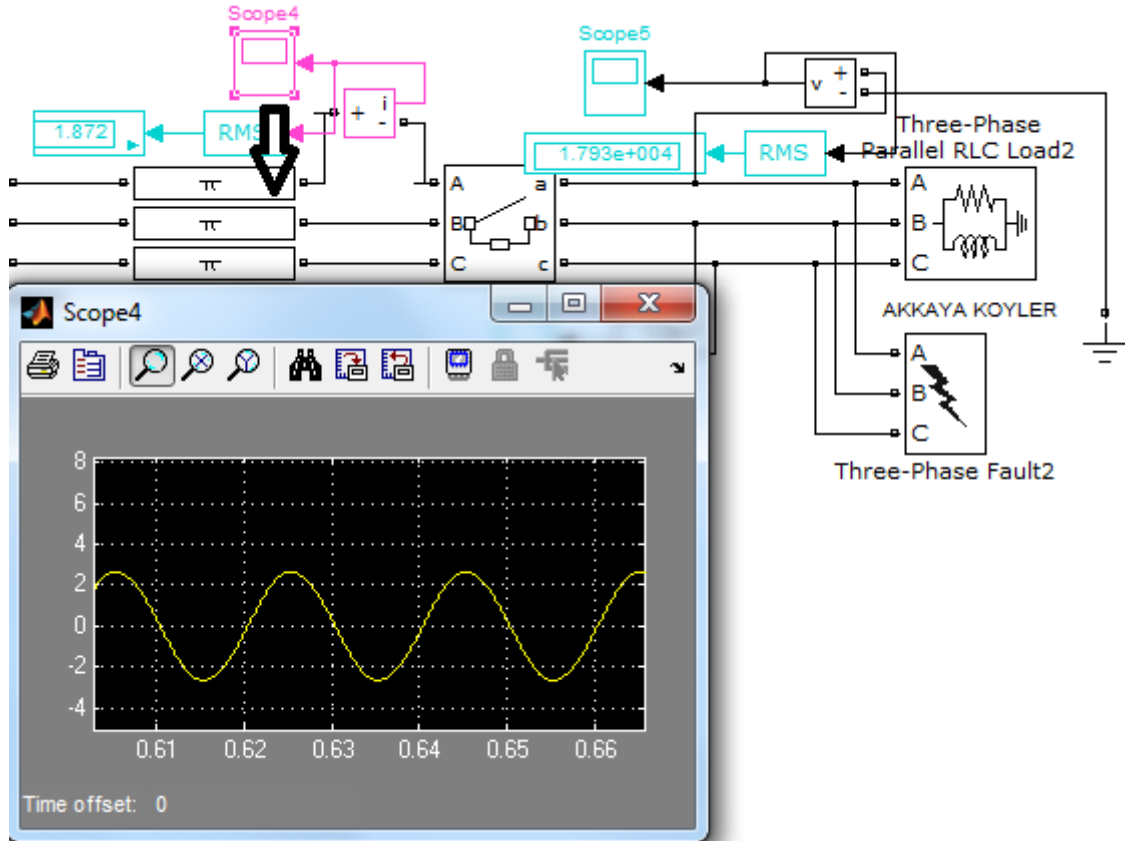
Şekil 5.16'da ŞEKER TAŞKÖPRÜ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osiloskopa 24,930 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,63 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 30,536 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.16 ŞEKER TAŞKÖPRÜ yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri

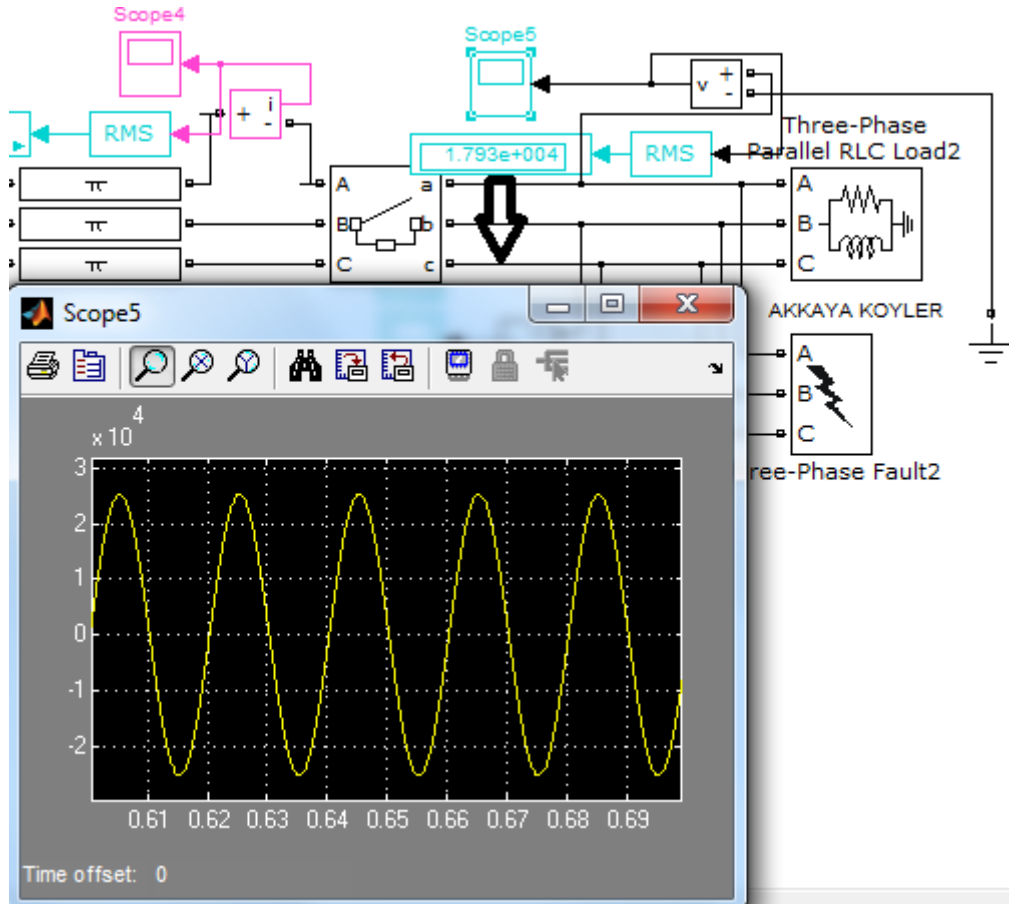
AKKAYA KÖYLER yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.17’de AKKAYA KÖYLER yükünün çektiği akım değerinin osilaskopda 2,64 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 1,872 A değerine sahiptir.



Şekil 5.17 AKKAYA KÖYLER yükünün çektiği akım değeri

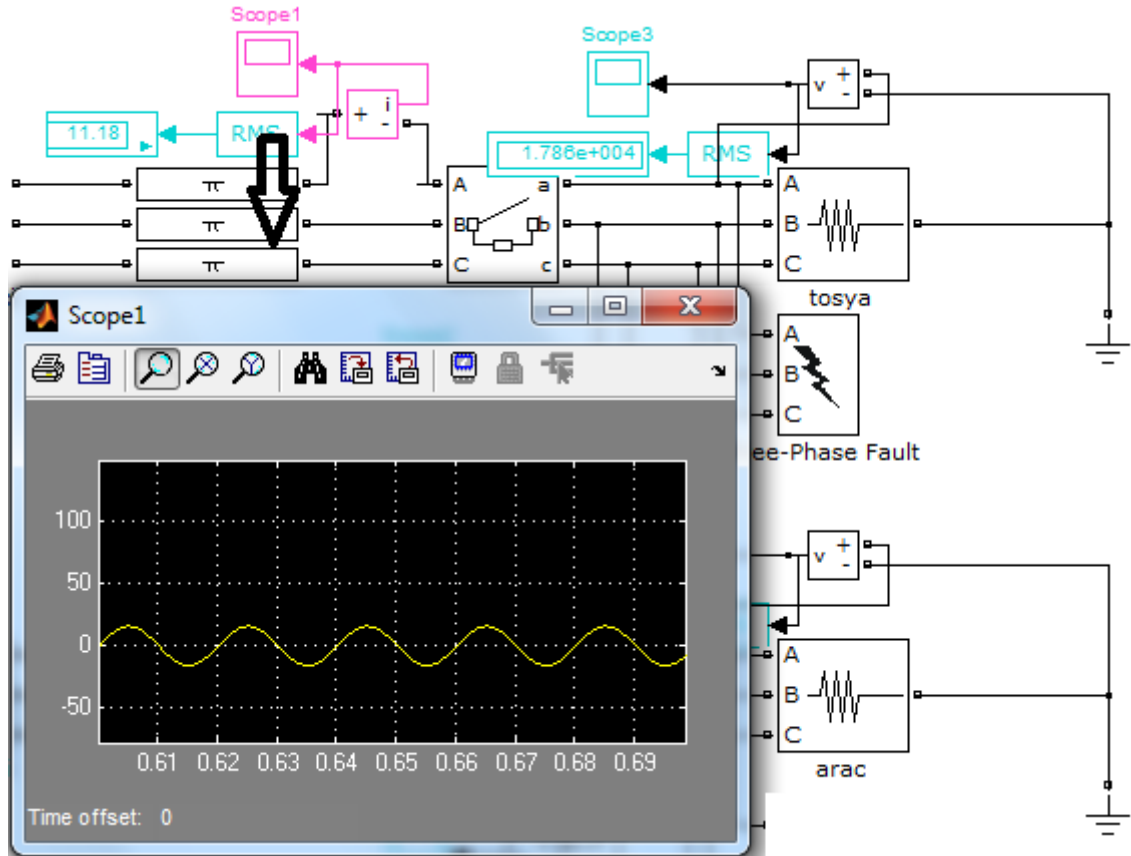
Şekil 5.18'de AKKAYA KÖYLER yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osiloskopa 25,358 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,93 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 31,055 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.18 AKKAYA KÖYLER yükünün çektiği faz-nötr arasındaki gerilim değeri

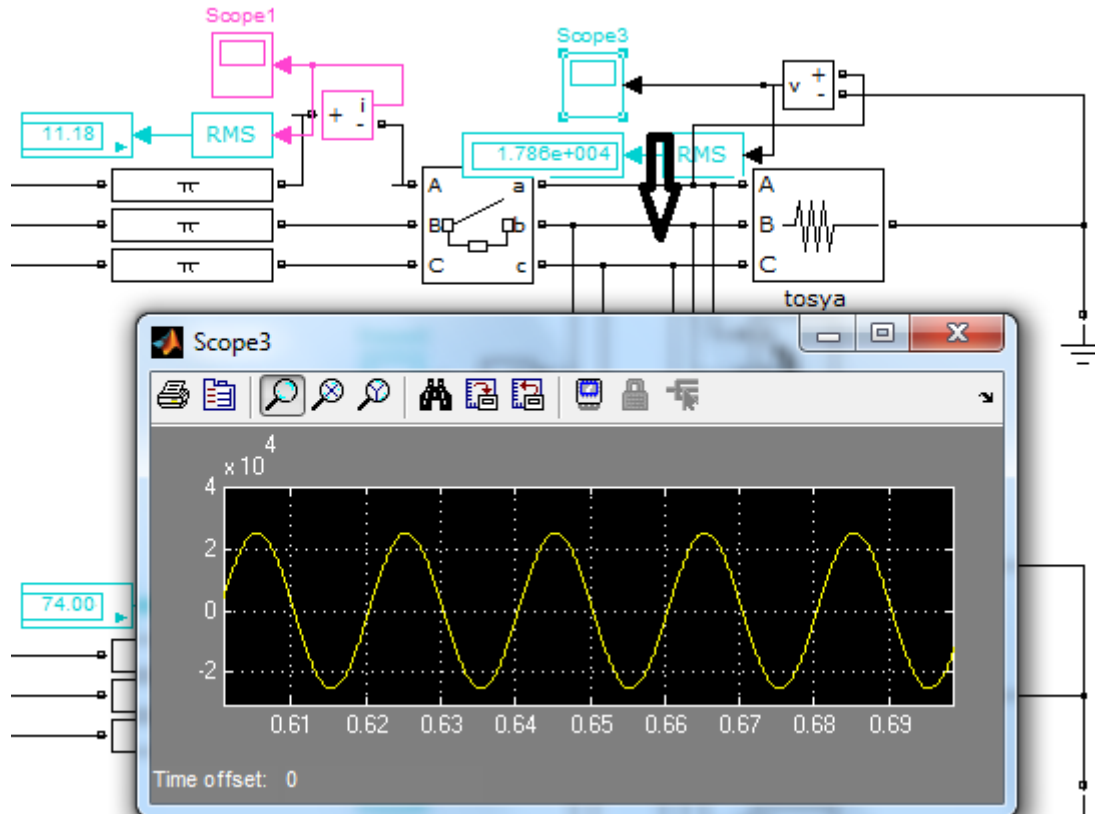
TOSYA yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.19'da TOSYA yükünün çektiği akım değerinin osilaskopda 15,8 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 11,18 A değerine sahiptir.



Şekil 5.19 TOSYA yükünün çektiği akım değeri

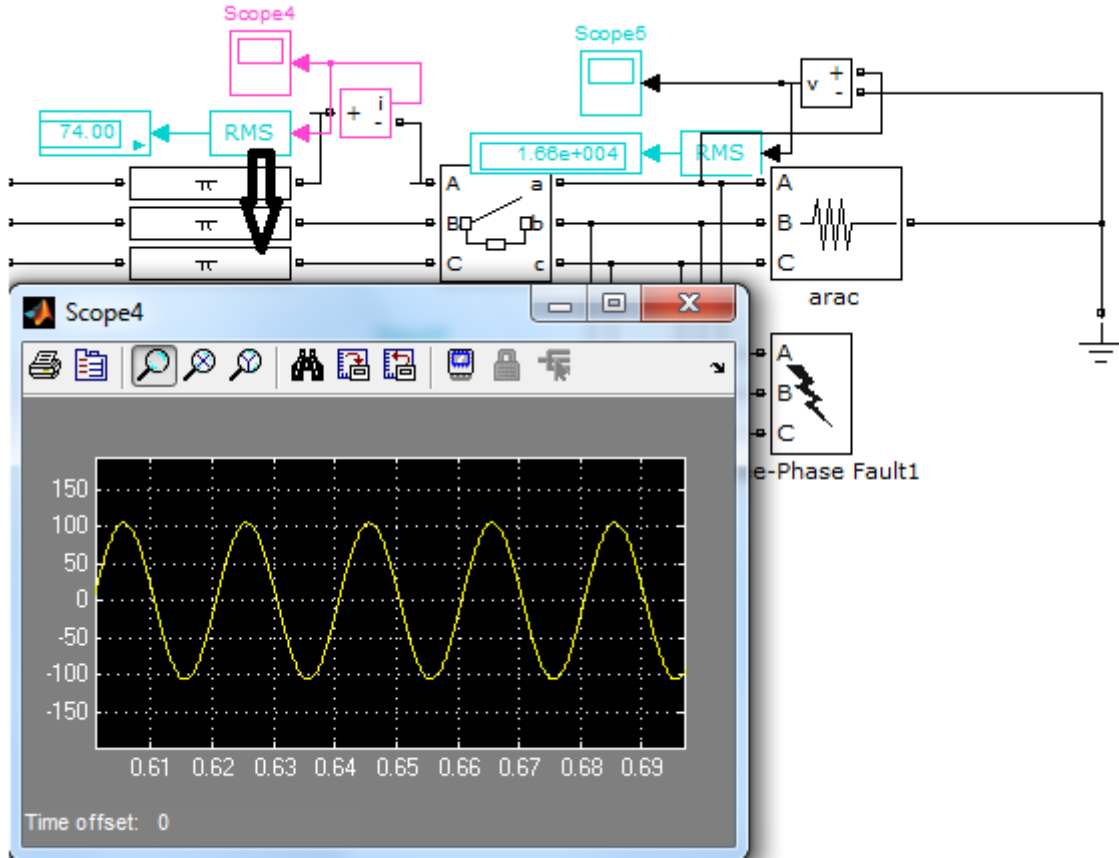
Şekil 5.20’de TOSYA yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osiloskopda 25,263 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,86 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 30,934 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.20 TOSYA yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri

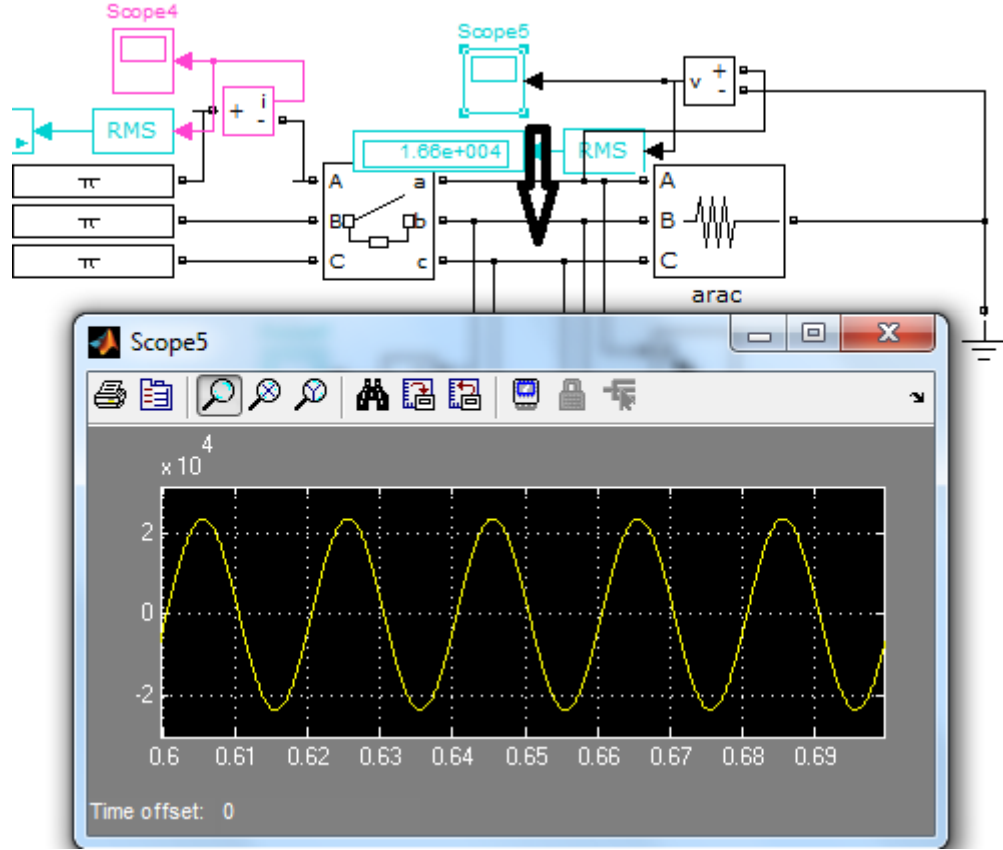
ARAÇ yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.21’de ARAÇ yükünün çektiği akım değerinin osilaskopda 105,6 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 74 A değerine sahiptir.



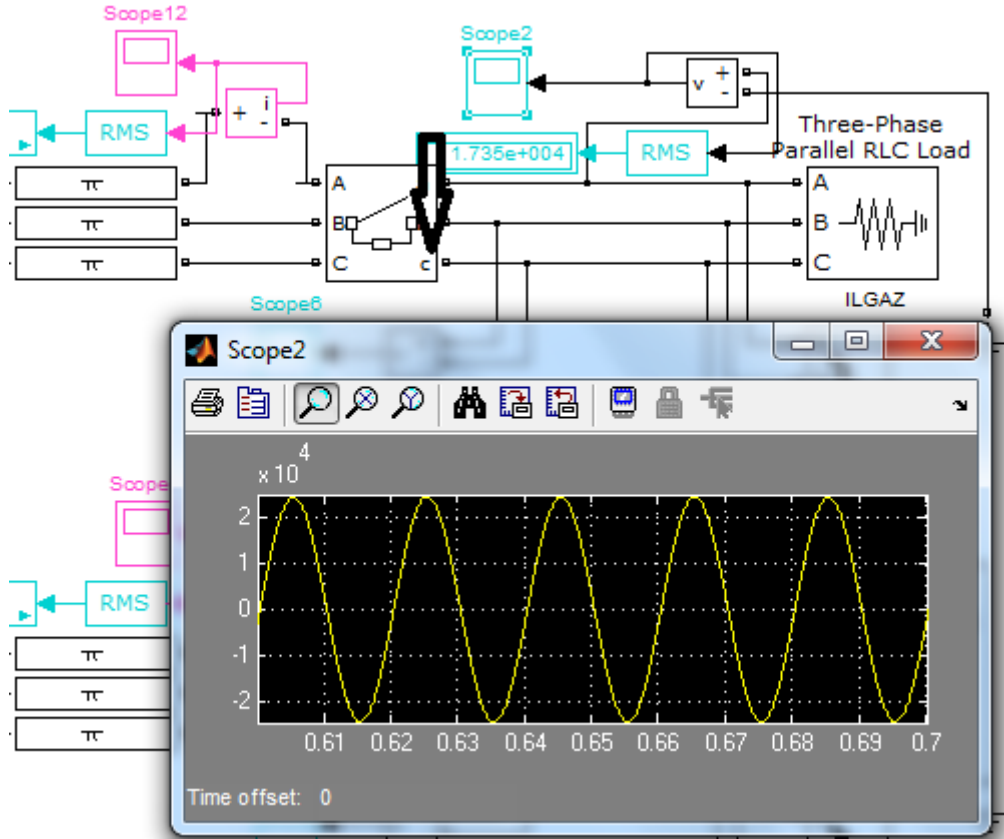
Şekil 5.21 ARAÇ yükünün çektiği akım değeri

Şekil 5.22’de ARAÇ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osiloskopda 23,472 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 16,60 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 28,752 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.22 ARAÇ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri

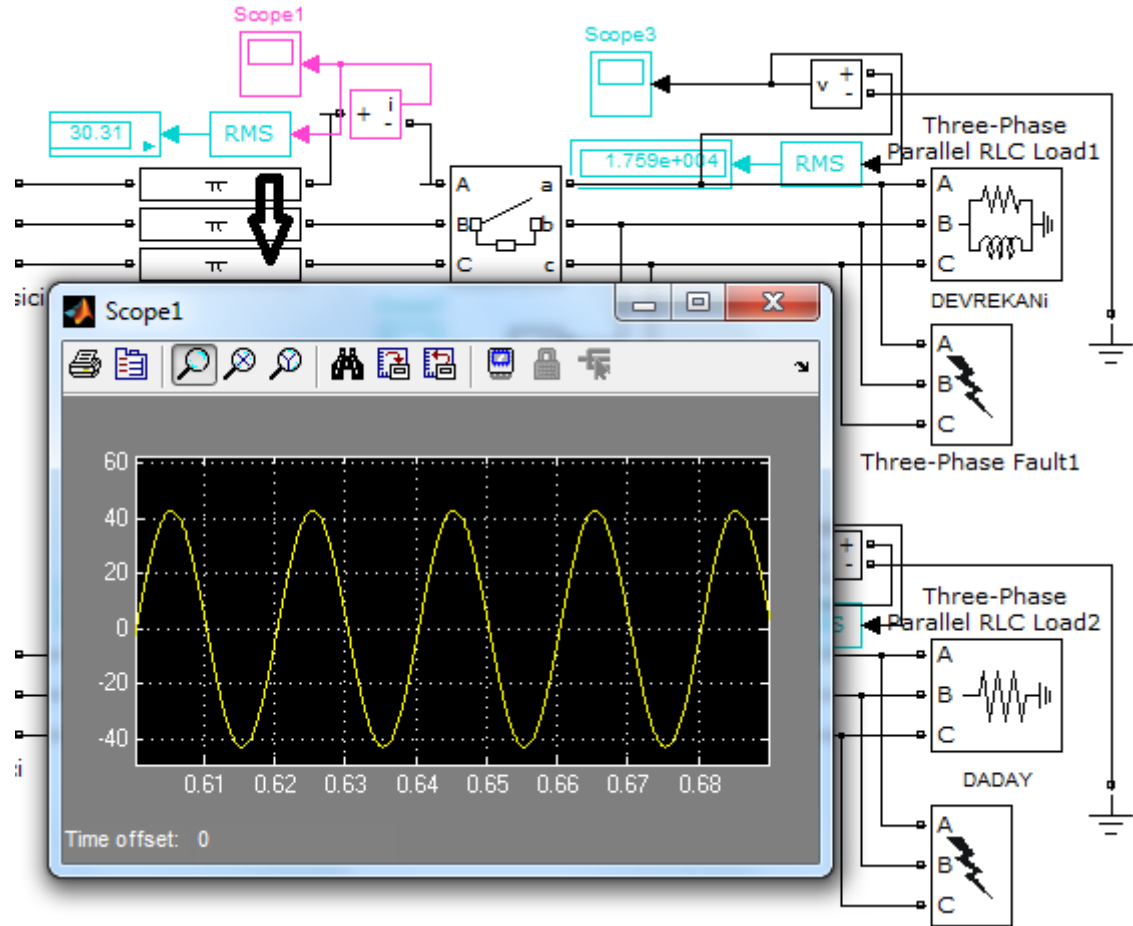
Şekil 5.24'te ILGAZ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osilaskopda 24,543 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,35 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 30,051 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.24 ILGAZ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri

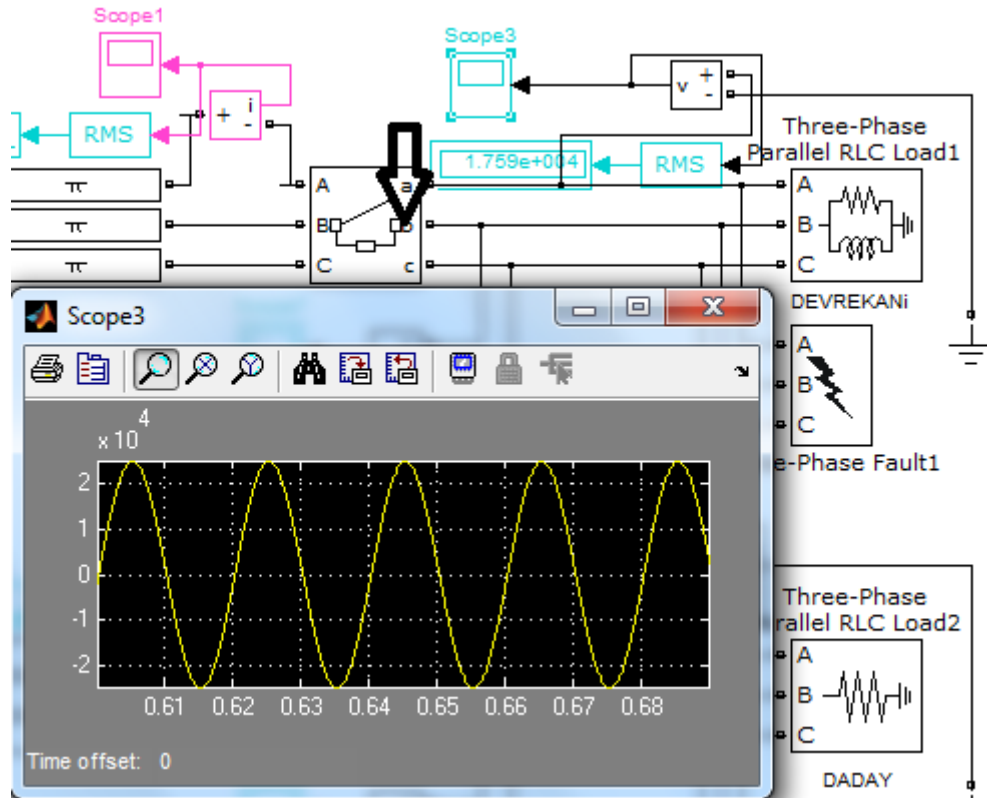
DEVREKÂNÎ yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.25'te DEVREKÂNÎ yükünün çektiği akım değerinin osilaskopda 42,9 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 30,31 A değerine sahiptir.



Şekil 5.25 DEVREKÂNÎ yükünün çektiği akım değeri

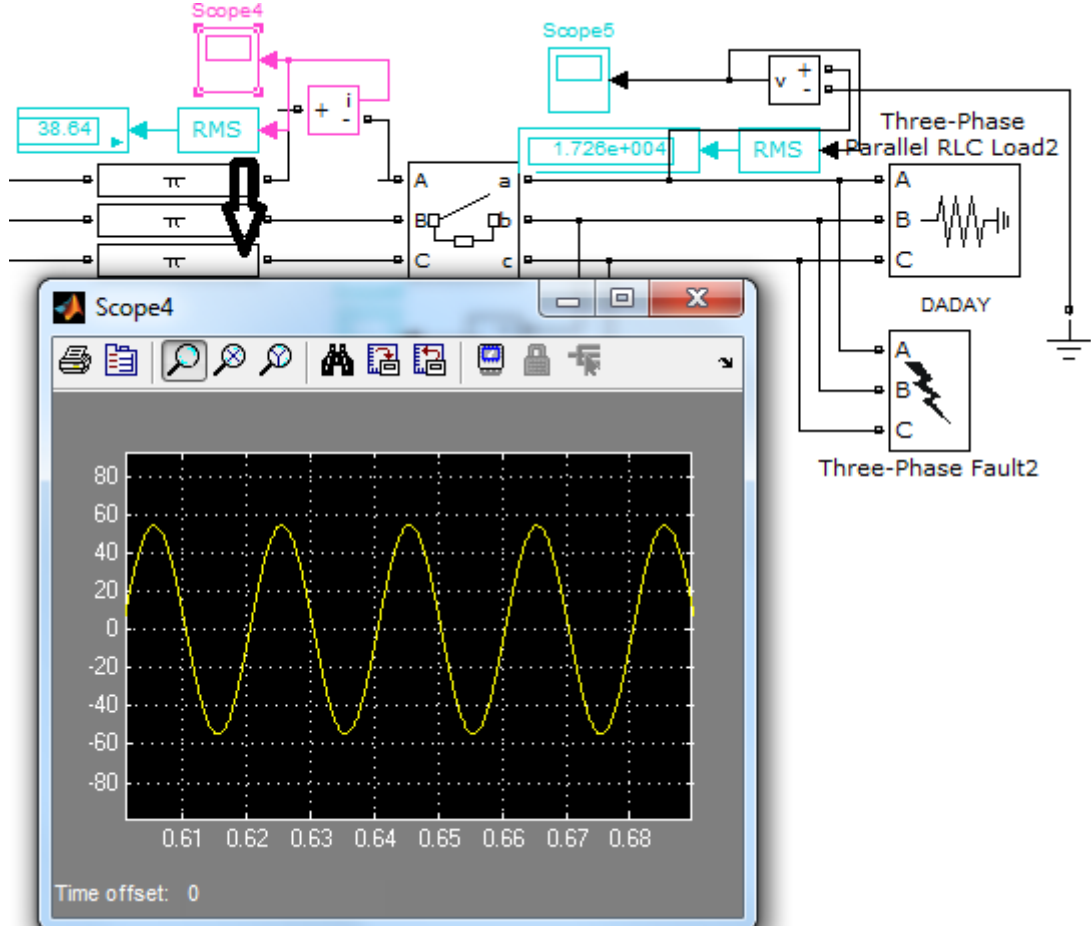
Şekil 5.26’da DEVREKÂNİ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osiloskopta 24,872 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,59 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 30,466 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.26 DEVREKÂNİ yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri

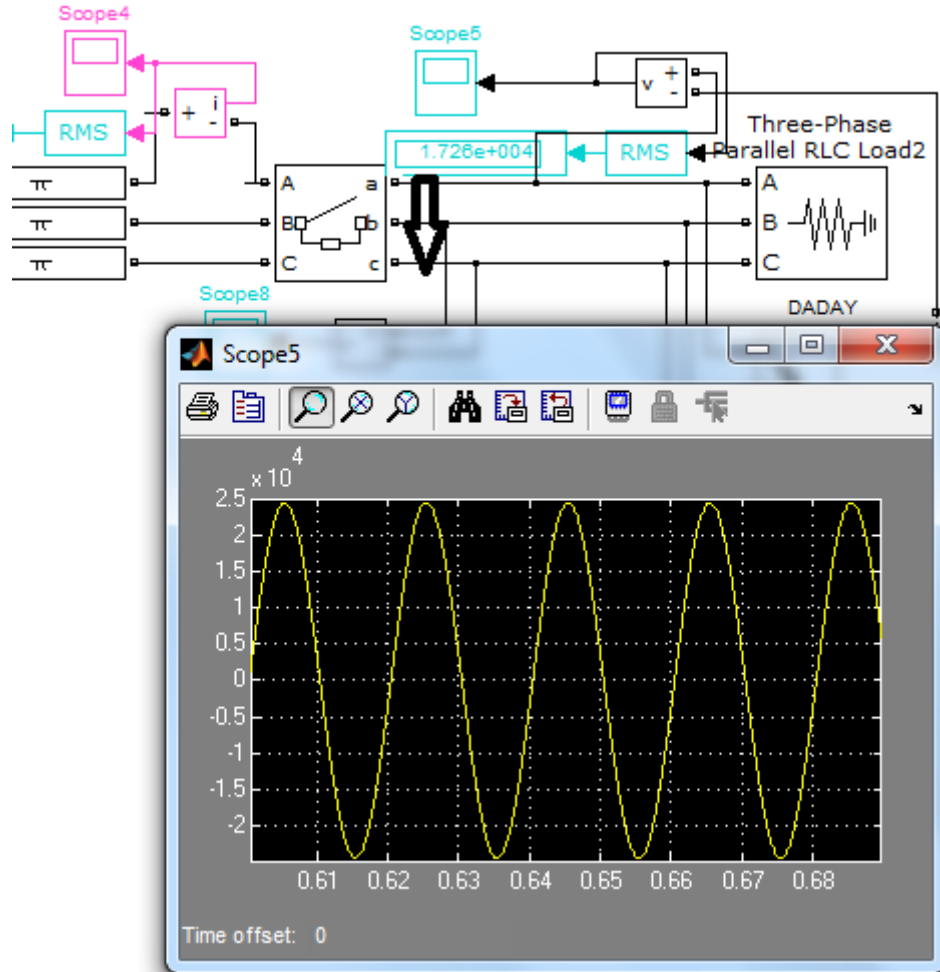
DADAY yükünün çektiği akım ve gerilim değerleri

Şekil 5.27’de DADAY yükünün çektiği akım değerinin osiloskopa 54,6 A değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yükün etkin (rms) değeri ise göstergede 38,64 A değerine sahiptir.



Şekil 5.27 DADAY yükünün çektiği akım değeri

Şekil 5.28’de DADAY yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değerinin osiloskopda 24,415 kV değerine sahip sinüs dalga şekil grafiği verilmektedir. Yük gerilimim etkin (rms) değeri 17,26 kV değerine sahiptir. Bu değer $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında fazlar arasındaki gerilim değeri olan 29,895 kV bulunmaktadır.



Şekil 5.28 DADAY yükünün faz-nötr arasında çektiği gerilim değeri

Modellemede elde edilen akım değerlerin gerçek değerler ile karşılaştırılması

Çizelge 5.1 Yüklerin elde edilen akımlarının, gerçek değerler ile karşılaştırılması

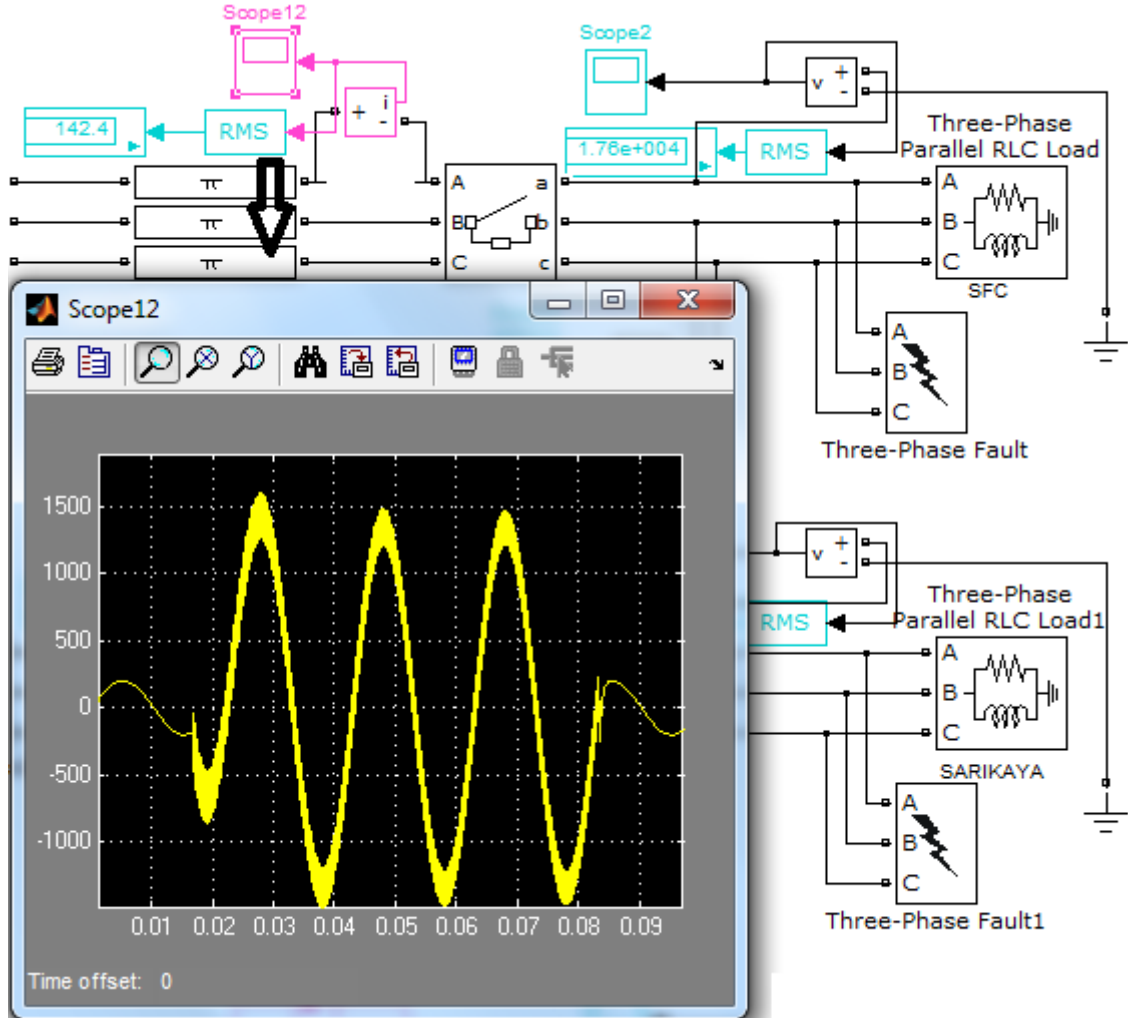
Yükler	Elde Edilen Akım Değerleri	TEİAŞ'tan Alınan Akım Değerleri	Hata Oranı (%)
SFC	142.4 A	148	3.78
SARIKAYA	166.2 A	176	5.56
ŞEHİR TR24	95.6 A	102	6.27
KÜRE	197.1 A	206	4.32
ŞEKER-TAŞKÖPRÜ	58.76 A	62	5.22
AKKAYA KÖYLER	1.872 A	2	6.4
TOSYA	11.18 A	12	6.83
ARAÇ	74 A	74	-
ILGAZ	46.14 A	48	3.87
DEVREKÂNI	30.31 A	32	5.28
DADAY	38.64 A	40	3.4

Elde edilen verilerle gerçek değerler kıyaslandığında sonuçlar arasında %3 ile %6 arasında değişen farklılıklar görülmektedir. Matlab arka planda aynı zamanda hatlardaki gerilim düşümünü hesaplayabilmektedir. Fakat faz-nötr arasında paralel olarak bağlı tüm elemanlarda akım kaybı olabilir. Örnek olarak; iletim hattının şönt elemanları (RC), trafonun mıknatıslanma akımı (RL) üzerinden toprağa akım akar. Bu nedenle hattın başındaki akım ile sonundaki akım farklı olur. Türkiye genelinde hat kayıpları da %4-8 arasında olduğu düşünüldüğünde aradaki farkın bu etkenlere bağlı olardan değiştiği düşünülmektedir.

5.1.5. Trafo A'ya bağlı yüklerin üç faz-toprak kısa devre akım değerleri

SFC yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

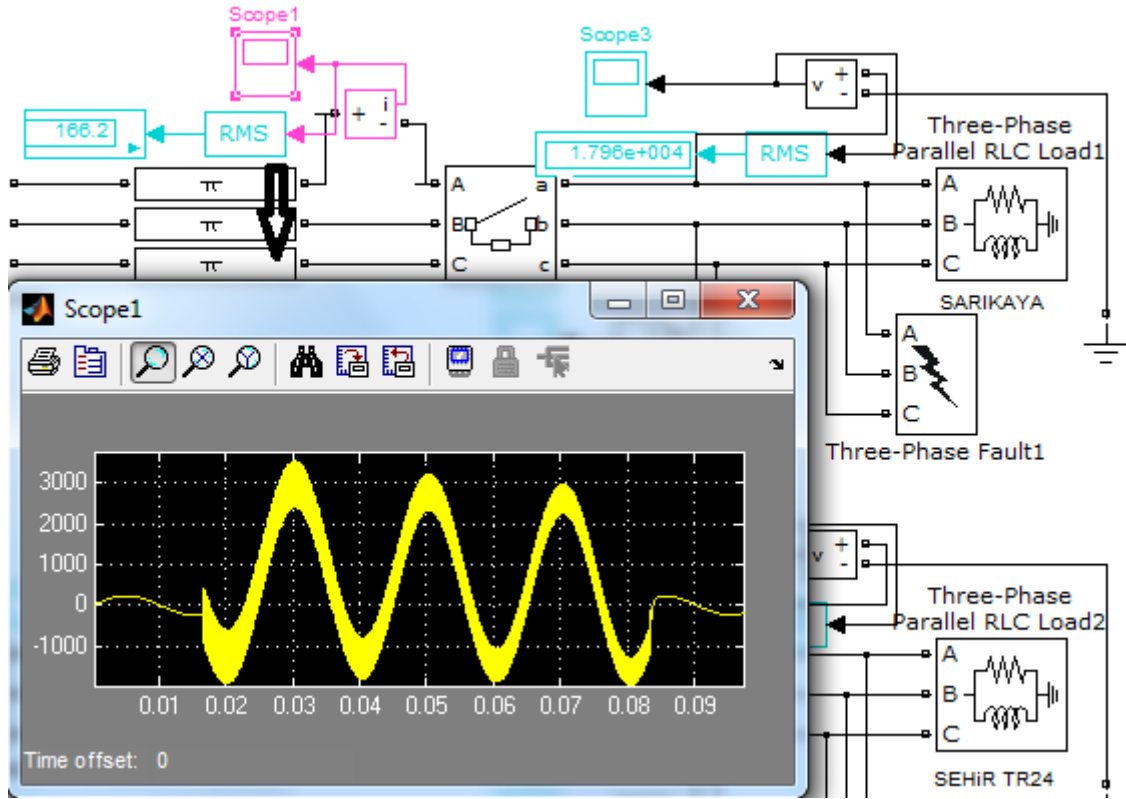
Şekil 5.29'da SFC yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osilaskopda 1600 A tepe değerine sahip dalga Şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.29 SFC yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

SARIKAYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

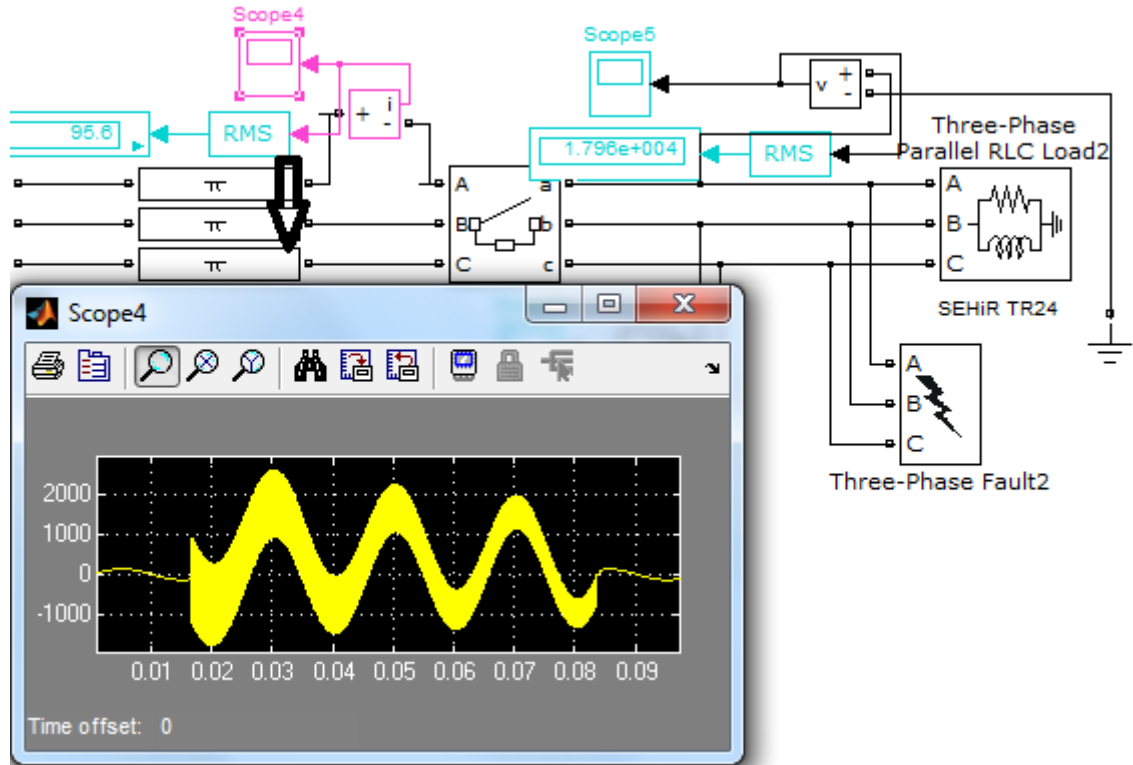
Şekil 5.30'da SARIKAYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osiloskopa 3542 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.30 SARIKAYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

SEHİR TR24 yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

Şekil 5.31’de SEHİR TR24 yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osiloskopa 2594 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.

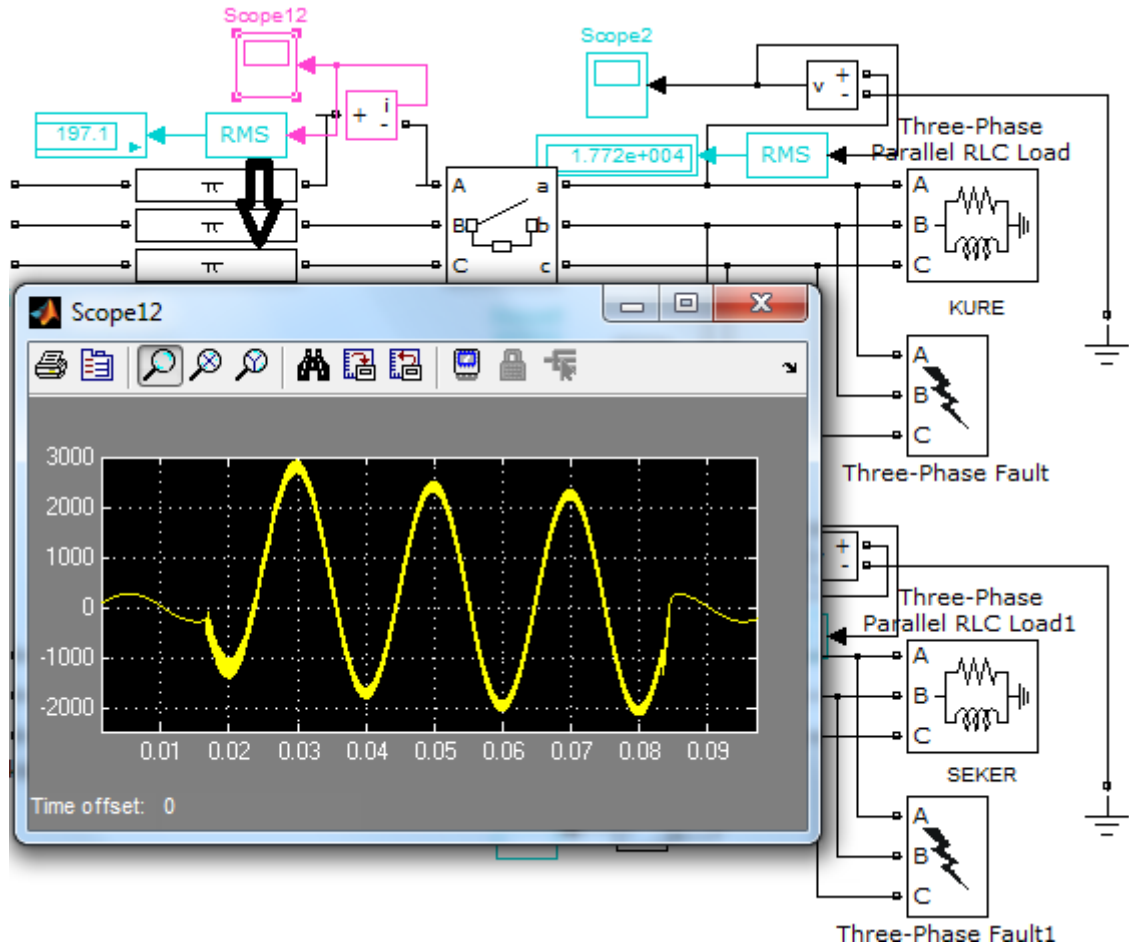


Şekil 5.31 SEHİR TR24 yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

5.1.6. Trafo B'ye bağlı yüklerin üç faz-toprak kısa devre akım değerleri

KÜRE yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

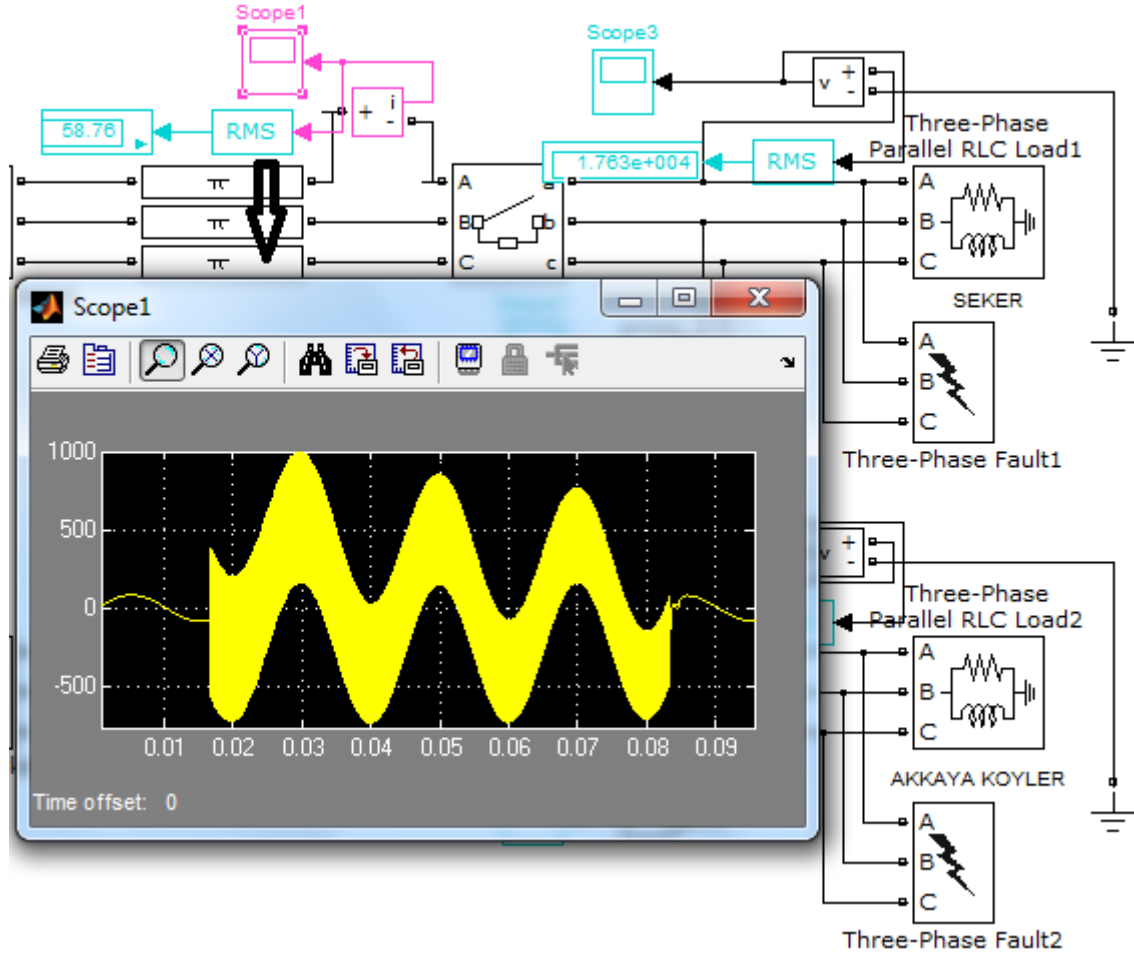
Şekil 5.32'de KRE yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osilaskopda 2920 A tepe değerine sahip dalga Şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.32 KÜRE yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

ŞEKER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

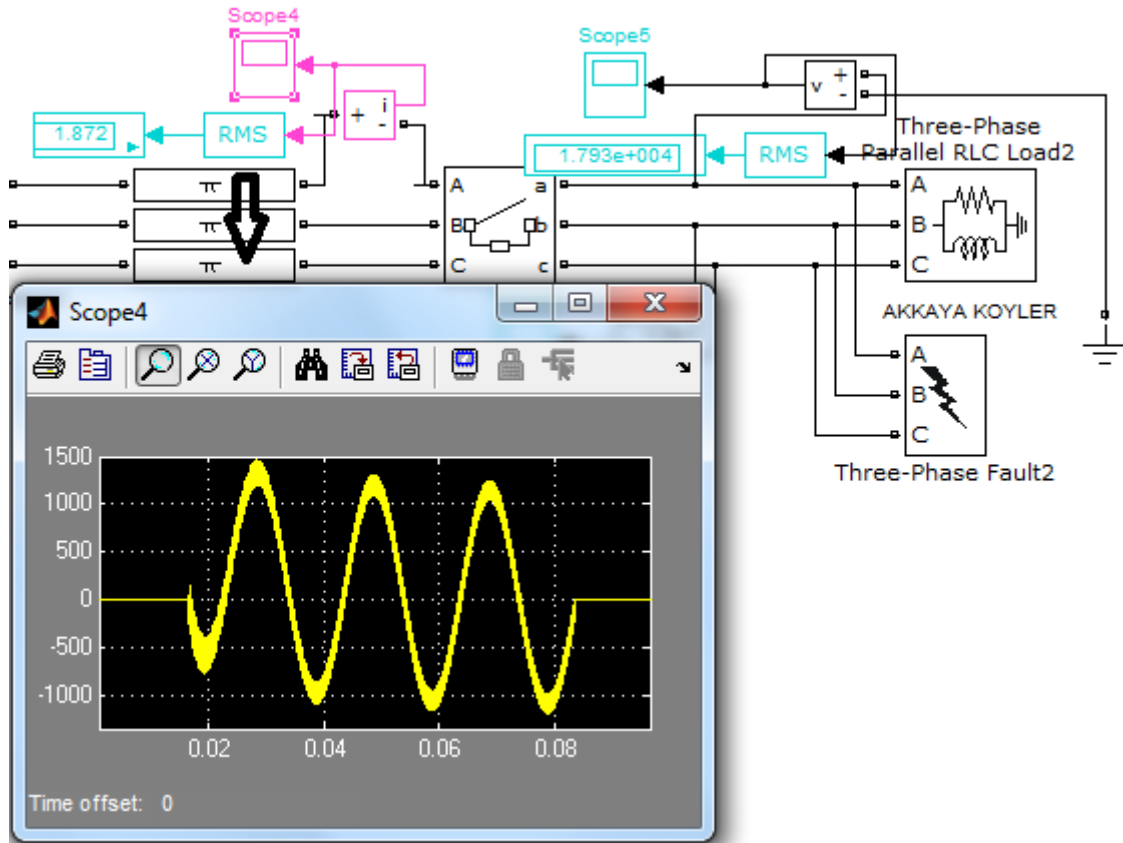
Şekil 5.33'de ŞEKER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osilaskopda 992 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.33 ŞEKER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

AKKAYA KÖYLER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

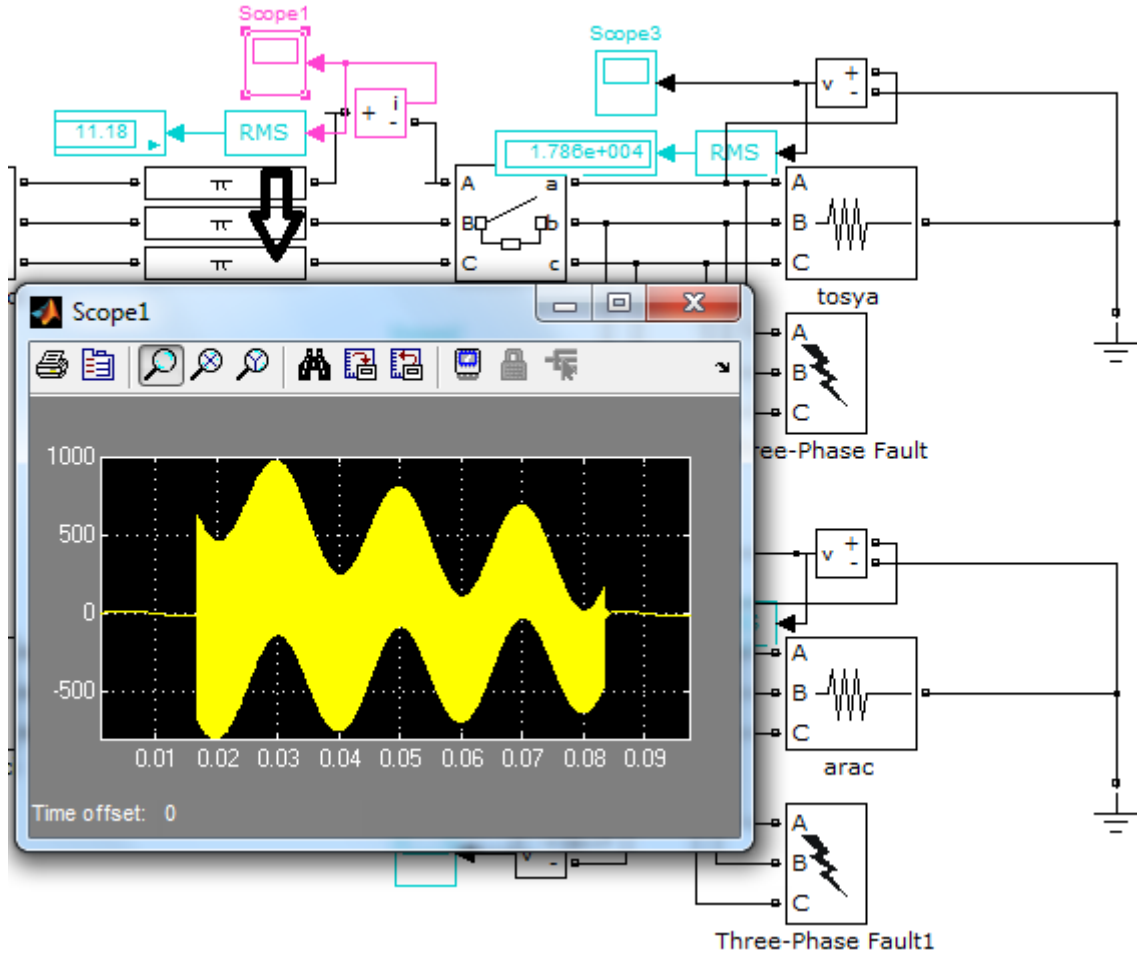
Şekil 5.34'te AKKAYA KÖYLER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osilaskopda 1460 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.34 AKKAYA KÖYLER yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

TOSYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

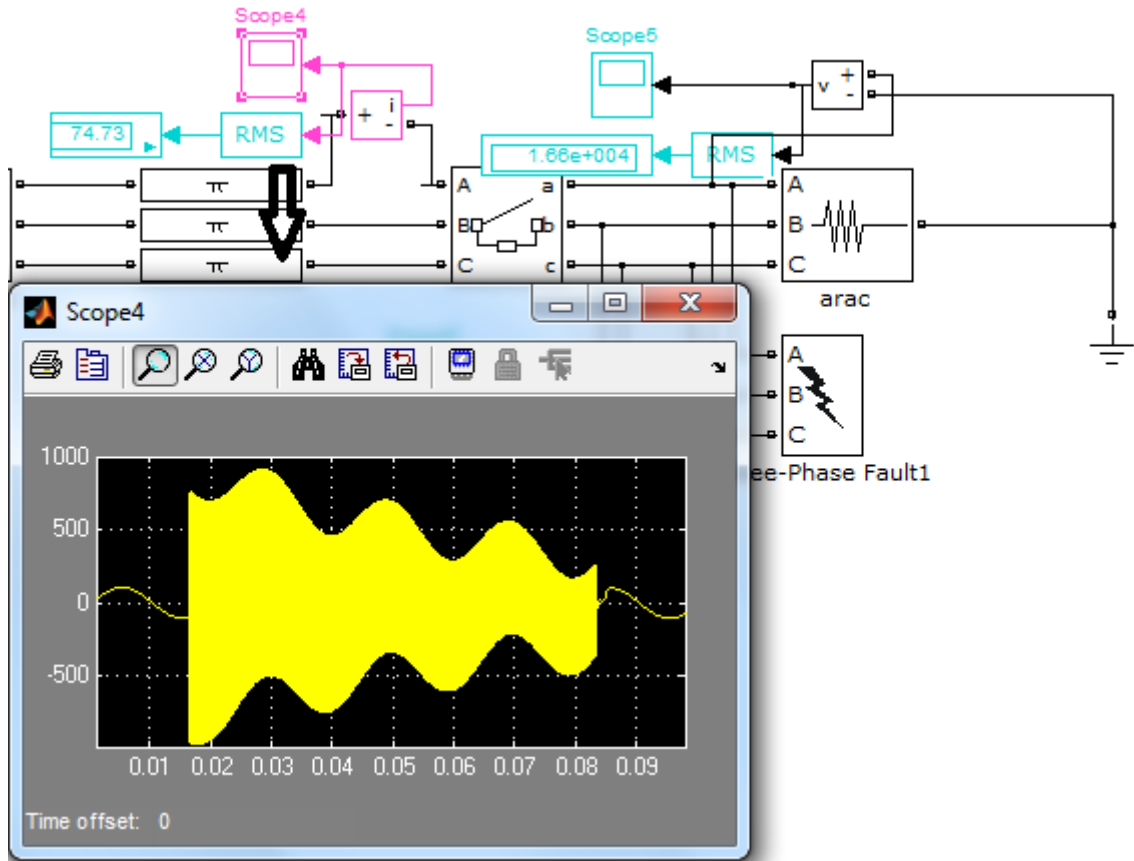
Şekil 5.35'te TOSYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osiloskopa 971 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.35 TOSYA yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

ARAÇ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

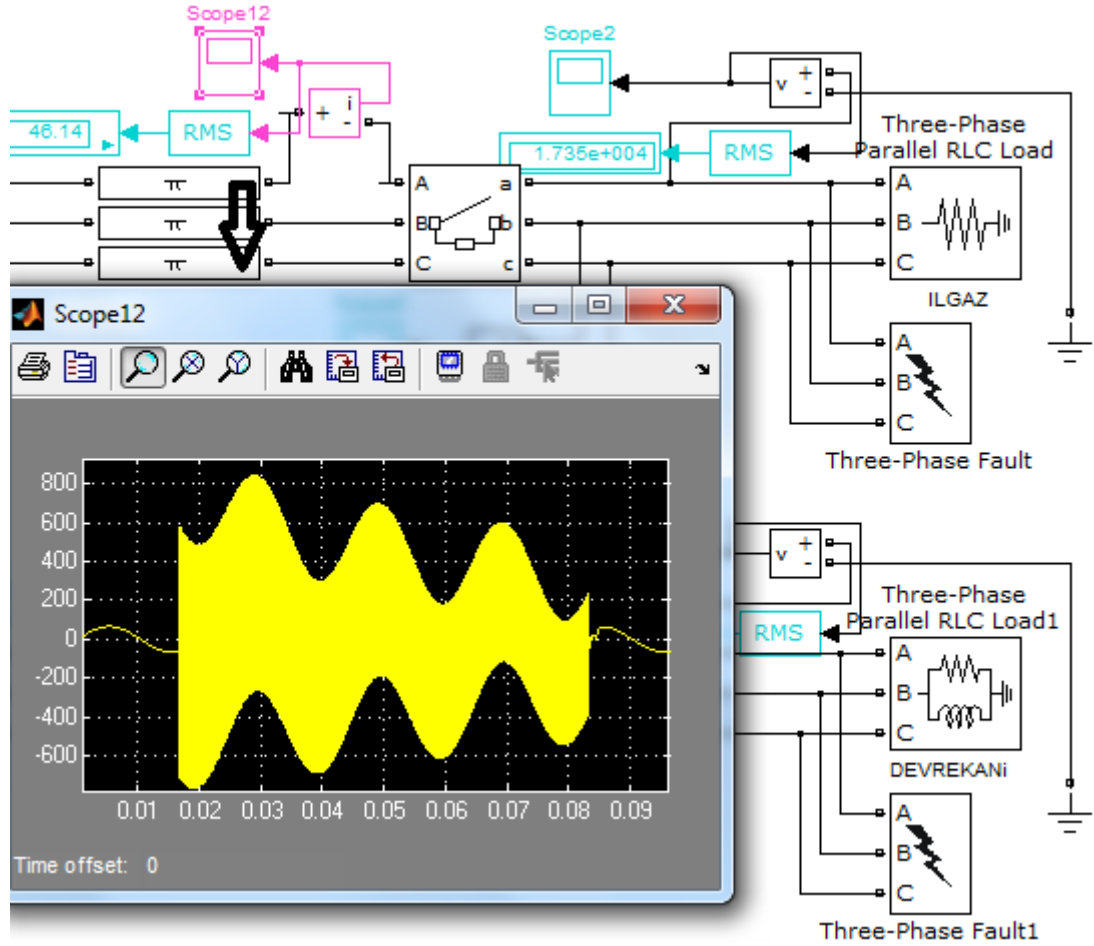
Şekil 5.36'da ARAÇ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osiloskopta 912 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.36 ARAÇ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

ILGAZ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

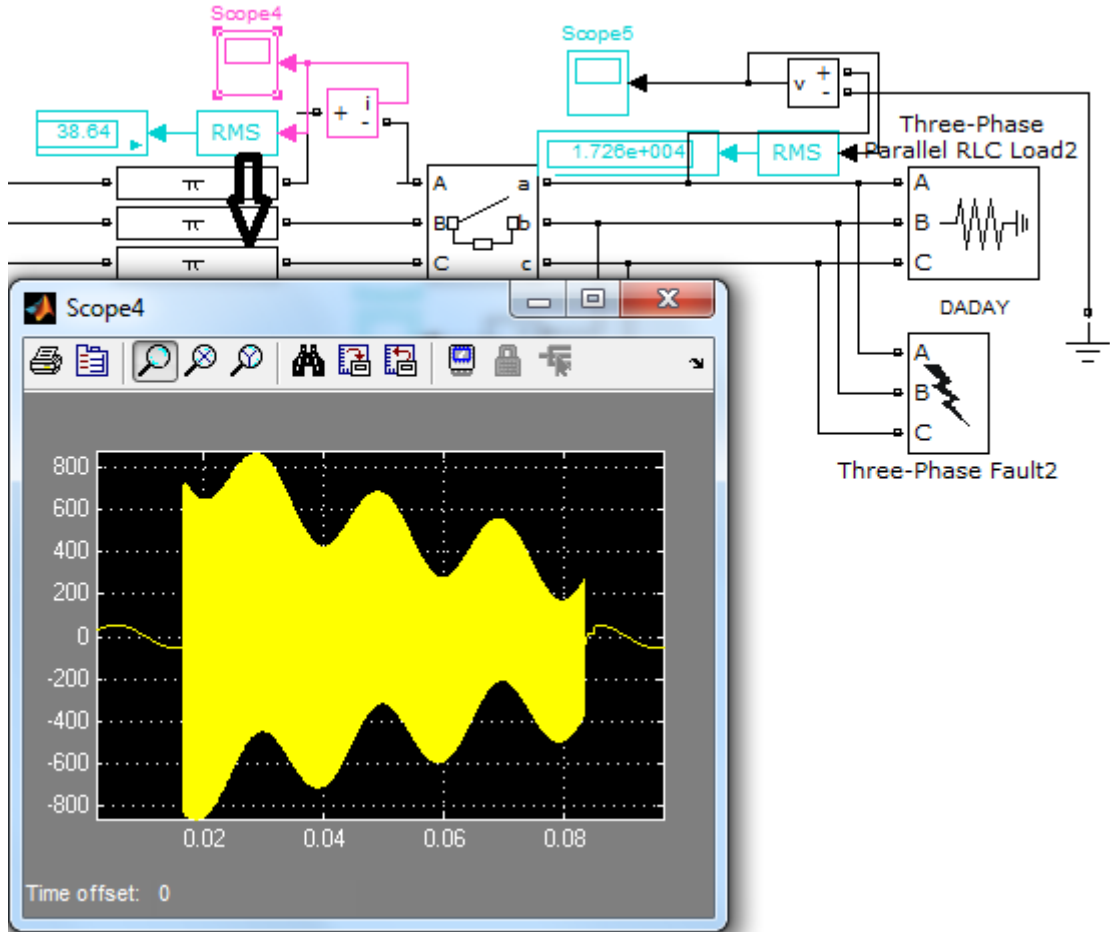
Şekil 5.37’de ILGAZ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osiloskopa 840 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.37 ILGAZ yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

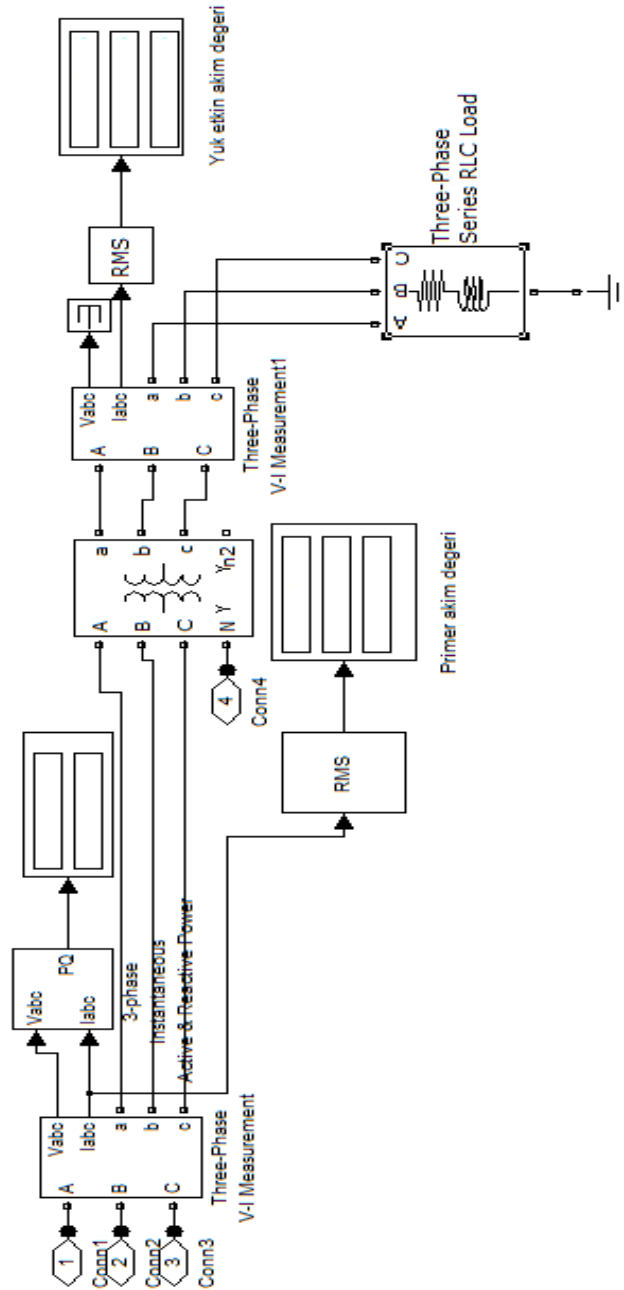
DADAY yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

Şekil 5.39'da DADAY yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değerinin osiloskopta 862 A tepe değerine sahip dalga şekil grafiği verilmektedir.



Şekil 5.39 DADAY yükünün üç faz-toprak kısa devre akım değeri

5.1.7. İşletmenin güç akışı kısa devre ve harmonik analizi
İşletmenin Matlab simulink araç kutusunda gösterimi



Şekil 5.40 İşletmenin Matlab yazılım programında modellenmesi

Harmonik analiz için işletmeden trafonun çektiği toplam aktif ve indüktif-reaktif güç değerleri temin edilmiştir. Bu güç değerleri 1.yük ve 2. yük üzerinde ayrı ayrı paylaştırılarak 1. yükün harmonik analizi ve toplam yük akımının harmonik analizi yapıp $\cos\phi$ değeri hesaplanacaktır.

1. Yükün çektiği akım değeri yaklaşık olarak 53A'dır. 60A'lık diyot bağlanarak harmonik oluşturulacaktır. Diyot datasheet parametreleri internetten temin edilmiştir.

Harmonik analiz için tasarlanan devrede kullanılan elemanların parametre değerleri aşağıda verilmiştir.

1.Yükün Aktif Güç Değeri $P_1= 20300$ W

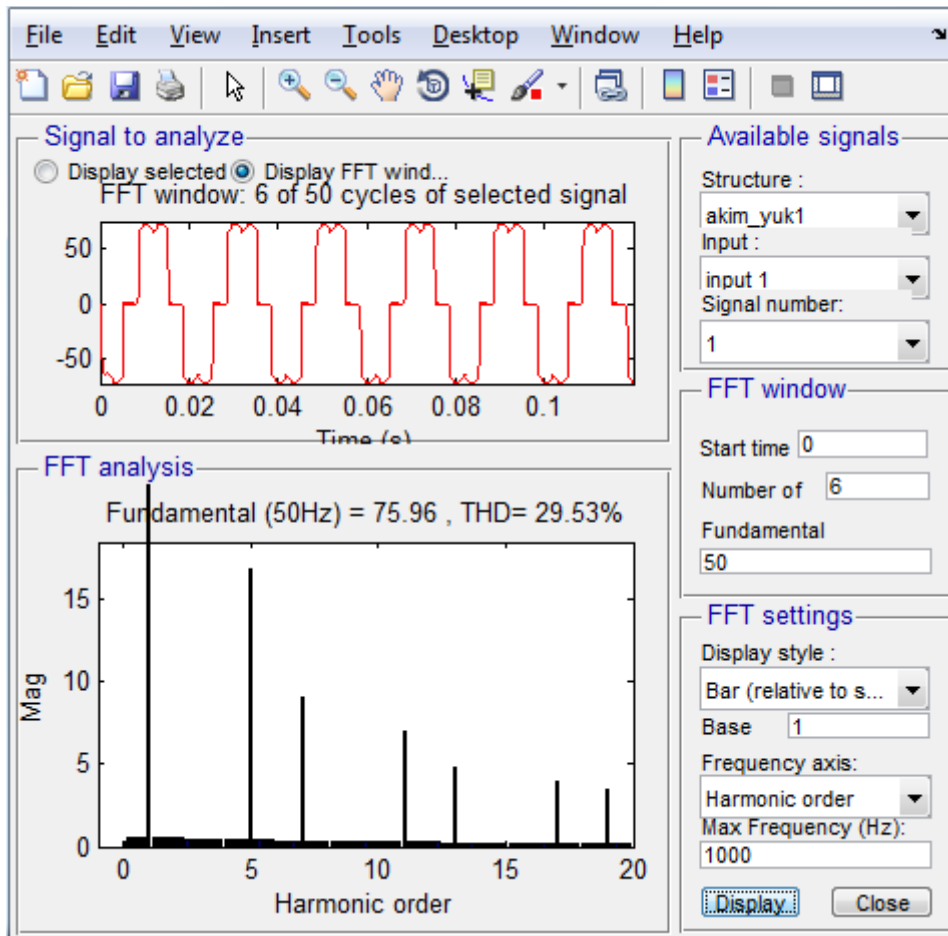
1. Yükün İndüktif Reaktif Değeri $Q_L=1456$ VAR

2. Yükün Aktif Güç Değeri $P_2= 809700$ W

2. Yükün İndüktif Reaktif Değeri $Q_L= 136944$ VAR olarak belirlenmiştir.

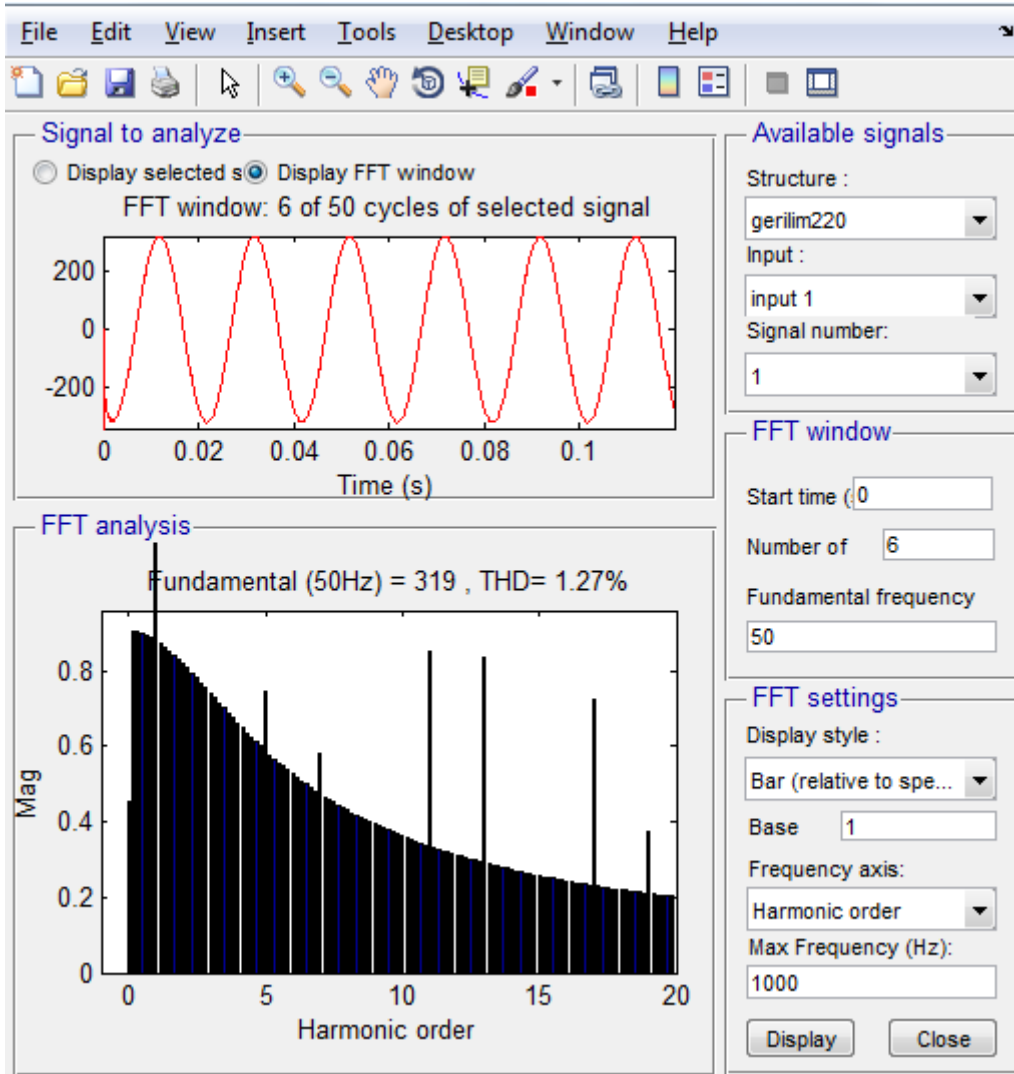
1. Yükün harmonik analizi

Şekil 5.43'te 1. Yükün 6 periyot için akım harmonik analizi görünmektedir.



Şekil 5.43 1.Yükün akım harmonik analizi

Şekil 5.44'te 1.Yükün geriliminin 6 periyot için harmonik analizi görünmektedir.



Şekil 5.44 Yükün gerilim harmonik analizi

Lineer olmayan bir yüke ilişkin akım ve gerilim harmonik analizi yapılmış ve aşağıda verilen harmonik değerlere ulaşılmıştır.

$$i(\omega t) = 75.96\sin(\omega t+233.8) + 16.78\sin(5\omega t+269.8) + 9.03\sin(7\omega t+21.7) + 6.98\sin(11\omega t+53.7) + 4.8\sin(13\omega t+162.9) + 3.93\sin(17\omega t+198.9) + 3.42\sin(19\omega t-47.8)$$

$$v(\omega t) = 319.05\sin(\omega t+236.2) + 0.75\sin(5\omega t+127.4) + 0.58\sin(7\omega t-31.9) + 0.85\sin(11\omega t-21.3) + 0.84\sin(13\omega t+55.3) + 0.72\sin(17\omega t+85.7) + 0.37\sin(19\omega t+218.5)$$

Her bir harmoniğe ilişkin aktif gücün değeri ve yönünü, şebekeden yüke aktarılan net aktif gücü ve yüke ilişkin güç faktörü bulunur.

Birinci harmoniğe ilişkin aktif güç değeri;

$$P_1 = \frac{75.96}{\sqrt{2}} * \frac{319.05}{\sqrt{2}} * \cos(236.2 - 233.8) = 12106.88 \text{ W}$$

Beşinci harmoniğe ilişkin aktif güç değeri

$$P_5 = \frac{16.78}{\sqrt{2}} * \frac{0.75}{\sqrt{2}} * \cos(127.4 - 269.8) = -4.98 \text{ W}$$

bulunur. Benzer işlemler diğer harmonikler içinde yapılırsa;

$$P_7 = 1.55 \text{ W}, \quad P_{11} = 0.52 \text{ W}, \quad P_{13} = -0.6 \text{ W}, \quad P_{17} = -0.55 \text{ W}, \quad P_{19} = -0.04 \text{ W}$$

elde edilir. 7. ve 11. harmoniğin pozitif çıkmasının sebebi 2. Yükün etkisinden dolayıdır. Yükün tükettiği (net) aktif güç değeri

$$P_{net} = 12106.88 - 4.98 + 1.55 + 0.52 - 0.6 - 0.55 - 0.04 = 12102.78 \text{ W bulunur.}$$

Yük gerilim ve akımın etkin değerleri

$$V = \left[\left(\frac{319.05}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{0.75}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{0.58}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{0.85}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{0.84}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{0.72}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{0.37}{\sqrt{2}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 225.6 \text{ V}$$

$$I = \left[\left(\frac{75.96}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{16.78}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{9.03}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{6.98}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{4.8}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{3.93}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{3.42}{\sqrt{2}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

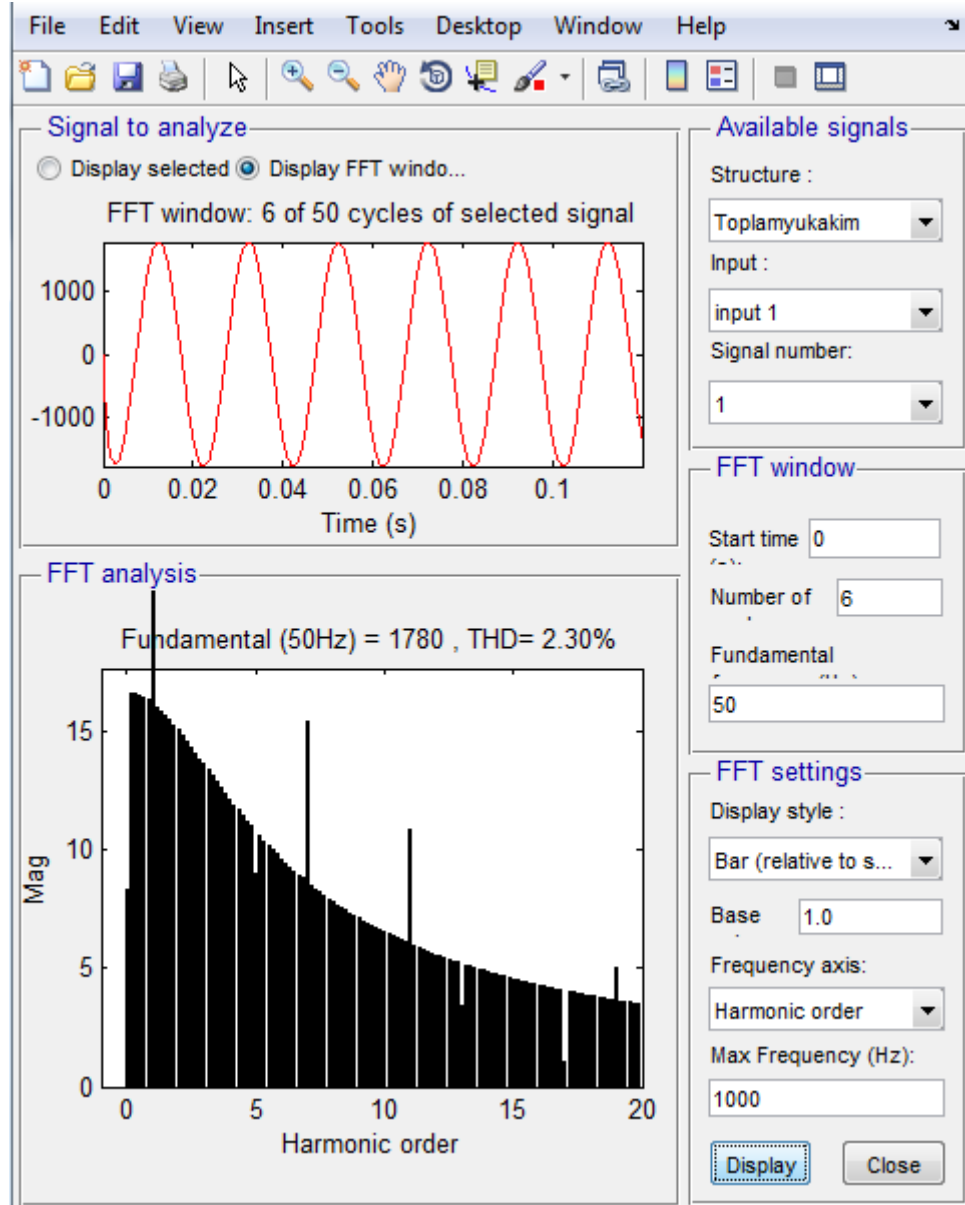
$$I = 55.82 \text{ A}$$

bulunur. 1.Yüke ilişkin güç faktörü ise;

$$\cos\phi_{yük} = \frac{P_{net}}{VI} = \frac{12102.78}{(225.6)(55.82)} = 0.96 \text{ elde edilir.}$$

Toplam yükün Harmonik Analizi

Şekil 5.45'te toplam yük akımının 6 periyot için harmonik analizi görünmektedir.



Şekil 5.45 Toplam yük akımının 6 periyot için harmonik analizi

Toplam yükün gerilim harmonik denklemi ile 1. yükün gerilim harmonik denkleminin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Akımın ve gerilimin harmonik denklemleri çıkarılmıştır.

$$i(\omega t) = 1779.97\sin(\omega t+226.7) + 9.03\sin(5\omega t-52) + 15.38(7\omega t+23.1) + 10.84\sin(11\omega t+33.8) + 3.4\sin(13\omega t+64.8) + 1.04\sin(17\omega t+20.4) + 5.06\sin(19\omega t-12.7)$$

$$v(\omega t) = 319.05\sin(\omega t+236.2) + 0.75\sin(5\omega t+127.4) + 0.58\sin(7\omega t-31.9) + 0.85\sin(11\omega t-21.3) + 0.84\sin(13\omega t+55.3) + 0.72\sin(17\omega t+85.7) + 0.37\sin(19\omega t+218.5)$$

Her bir harmoniğe ilişkin aktif gücün değeri ve yönünü, şebekeden yüke aktarılan net aktif gücü ve yüke ilişkin güç faktörü bulunur.

Birinci harmoniğe ilişkin aktif güç değeri;

$$P_1 = \frac{1779.97}{\sqrt{2}} * \frac{319.05}{\sqrt{2}} * \cos(236.2 - 226.7) = 280055.51 \text{ W}$$

Beşinci harmoniğe ilişkin aktif güç değeri;

$$P_5 = \frac{9.03}{\sqrt{2}} * \frac{0.75}{\sqrt{2}} * \cos(-52 - 127.4) = -3.38 \text{ W}$$

bulunur. Benzer işlemler diğer harmonikler içinde yapılırsa;

$$P_7 = 2.55 \text{ W}, \quad P_{11} = 2.63 \text{ W}, \quad P_{13} = 1.4 \text{ W}, \quad P_{17} = 0.15 \text{ W}, \quad P_{19} = -0.58 \text{ W}$$

elde edilir. 7., 11., 13. ve 17. harmoniğin pozitif çıkmasının sebebi 1. ve 2. Yükün etkisinden dolayıdır. Yükün tükettiği (net) aktif güç değeri

$$P_{net} = 280055.51 - 3.38 + 2.55 + 2.63 + 1.4 + 0.15 - 0.58 = 280058.28 \text{ W bulunur.}$$

Faz-nötr arası olan bu aktif güç değeri 3 ile çarpıldığında toplam aktif güç değerinin bulunacağı unutulmamalıdır.

Yük gerilim ve akımın etkin değerleri

Gerilimin etkin değeri 1. Yükün gerilim etkin değeri ile aynıdır $V = 225.6 \text{ V}$

$$I = \left[\left(\frac{1779.97}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{9.03}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{15.38}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{10.84}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{3.4}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{1.04}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{5.06}{\sqrt{2}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$I = 1258.72 \text{ A}$ bulunur. Toplam Yüke ilişkin güç faktörü ise;

$$\cos\phi_{toplamyük} = \frac{P_{net}}{VI} = \frac{280058.28}{(225.6)(1258.72)} = 0.98 \text{ elde edilir.}$$

6. SONUÇ

Yapılan çalışmada Kastamonu ilinin 154/31,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin güç akışı, üç-faz toprak kısa devre akımının belirlenmesi ve işletmeden alınan veriler ışında trafo parametreleri belirlenerek ayrıca harmonik analizi Matlab yazılım programının simulink araç kutusunda modellenmesi yapılmıştır.

1-) Matlab yazılım programının 7.11.0 (R2010b) versiyonunda $\sqrt{3}$ hatası tespit edilmiştir. Kaynak gerilimi $\sqrt{3}$ 'e bölünerek sorun ortadan kaldırılmıştır.

2-) Hesaplamalar sonucunda Trafo B'nin görünür gücü 2014 yılı itibari ile 24,68 MVA değerindedir. Bir yıl önce 25 MVA olan Trafo B, 50 MVA olarak değiştirildiği öğrenilmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında daha önce kullanılan 25 MVA'lık Trafo B'nin kapasite sınırına ulaştığı gözlemlenmiştir.

3-) Yapılan çalışmada her bir yükün çektiği akım değerleri, gerçek değerlere yakın olduğu gözlemlenmiştir. Her bir yük için elde edilen akımın hata oranları dikkate alınarak, mevcut yük durumu değerleri arttırılarak ileride çekebileceği akım değerleri hesaplanabilir. Hesaplanan bu değerlere göre kesit tayini yapılabilmektedir.

4-) Her bir yükün üç-faz toprak kısa devre durumu incelenmiş olup, kısa devre anında çekebileceği maksimum akım değeri hesaplanmıştır. Bu akım değeri ile anma gerilim değeri çarpılarak güç hesabından kesicinin açma gücü hesaplanabilmektedir.

5-) İşletmeden alınan verilere göre modelleme yapıp işletmenin çektiği akım değeri hesaplanmıştır. Bu akım değerine göre diyotların pdf datasheet değerleri internetten temin edilip diyot parametrelerine eklenmiştir. Buna bağlı olarak 1. Yükün ve toplam yükün harmonik analizi yapıp $\cos\phi$ değeri hesaplanmıştır.

EKLER

Ek A. Trafo parametreleri hesaplama programı

```

Sn=input('Trafo Gücünü Giriniz (kVA) : ');

Vp=input('Trafo Primer Gerilimini Giriniz (V) : ');

Vs=input('Trafo Sekonder Gerilimini Giriniz (V) : ');

CON=menu('Trafo Bağlantı Grubunu Seciniz','Dyn11','Dyn5','Yzn11','Yzn5');

Pcu=input('Trafo Kısa Devre Deneyi Kayıplarını Giriniz (W): ');

Po=input('Trafo Boşta Çalışma Deneyi Kayıplarını Giriniz (W): ');

uk=input('Trafo Kısa Devre Gerilimini(%uk) Giriniz (%): ');

Io=input('Trafo Boşta Çalışma Akımı Yüzdesini Giriniz (% Io/In): ');

Ip=Sn/sqrt(3)/Vp*1000 ; Is=Sn/sqrt(3)/Vs*1000 ;

if CON==1 || CON==2 ; Voc=Vp ; else Voc=Vp/sqrt(3); end

Gm=Po/3/(Voc^2); Rm=1/Gm ;

if CON==1 || CON==2 ; Ioc=Ip*Io/sqrt(3)/100 ; else Ioc=Ip*Io/100 ; end

Ye=Ioc/Voc ; Bm=sqrt(Ye^2-Gm^2);Xm=1/Bm ; Lm=Xm/(2*pi*50) ;

if CON==1 || CON==2 ; Vsc=uk*Vp/100 ; else Vsc=uk*Vp/100/sqrt(3); end

if CON==1 || CON==2 ; Isc=Ip/sqrt(3) ; else Isc=Ip ; end

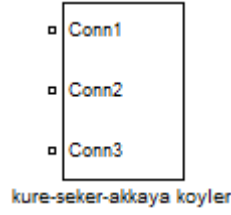
if CON==1 || CON==2 ; n=Vp/(Vs/sqrt(3)) ; else n=Vp/Vs ; end

Zsc=Vsc/Isc ; Rsc=Pcu/3/(Isc^2); Xsc=sqrt(Zsc^2-Rsc^2);Lsc=Xsc/(2*pi*50);

R1=0.5*Rsc ; R2=R1/n^2 ; L1=0.5*Lsc ; L2=L1/n^2 ; (ARİFOĞLU U. 2012)

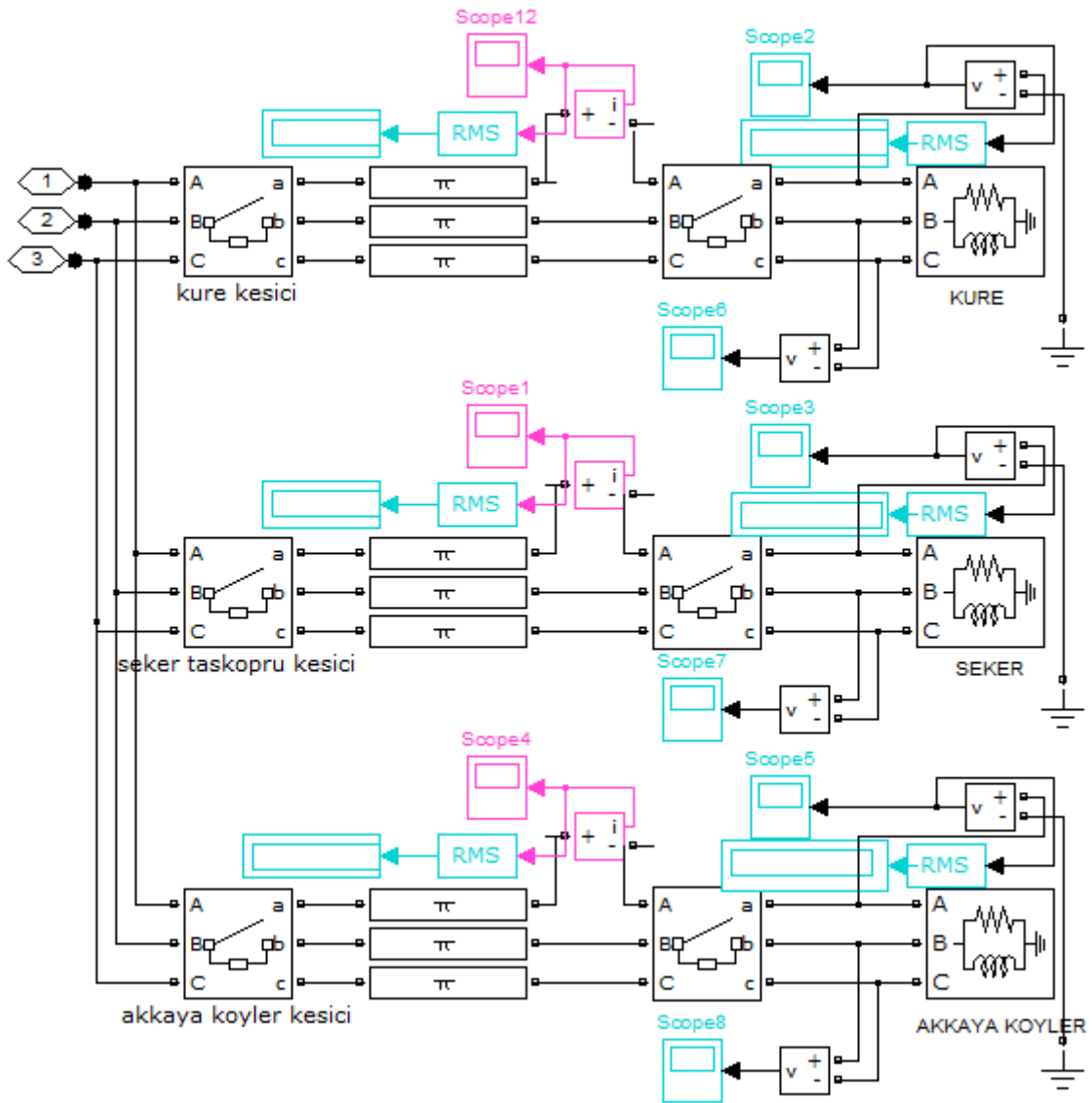
```


2. Küre-Şeker-Akkaya Köyler



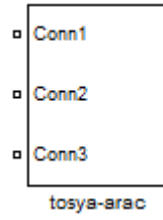
Şekil B.3 Küre-Şeker-Akkaya Köyler alt sistem modellemesi

Şekil B.3’de Kastamonu ilinin iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Küre-Şeker-Akkaya Köyler’in alt sistem modellemesi görülürken, şekil B.4’de ise alt sistem modelinin iç yapısı görülmektedir.



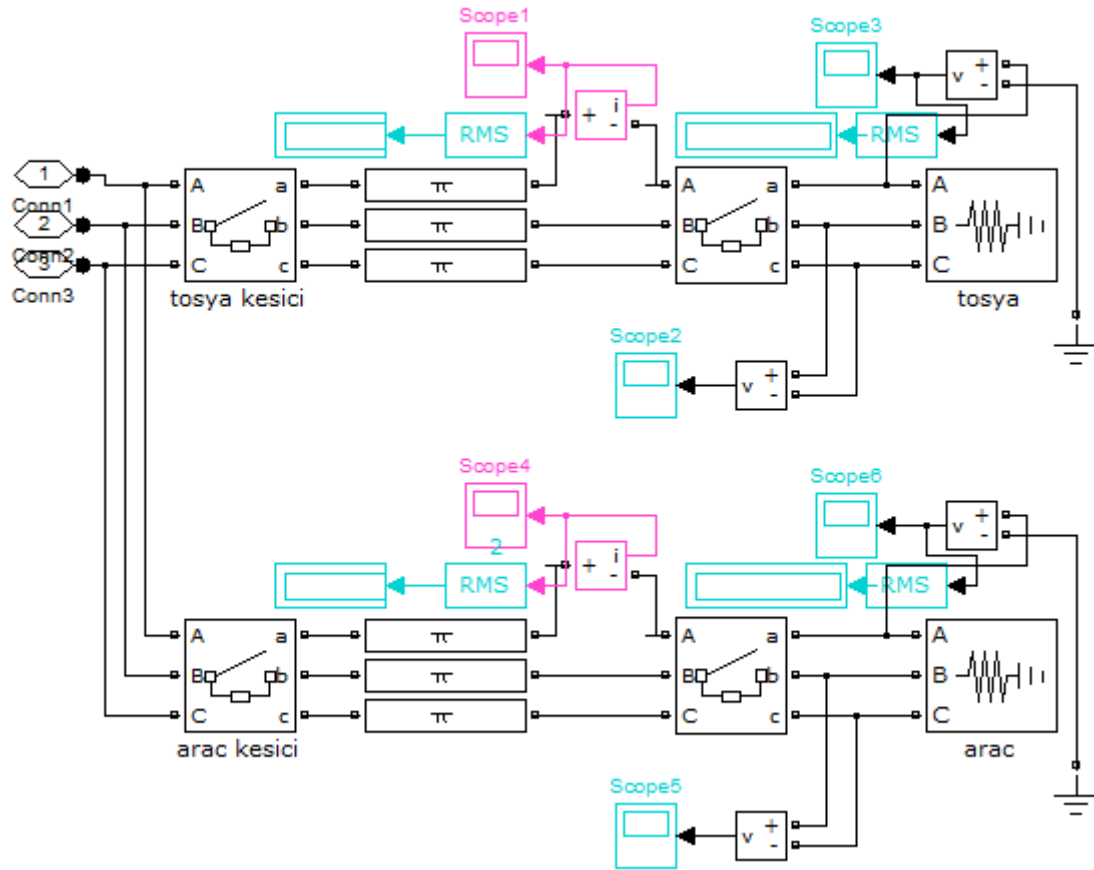
Şekil B.4 Küre-Şeker-Akkaya Köyler alt sistem modelinin iç şeması

3. Tosya-Araç



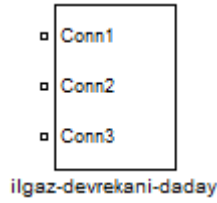
Şekil B.5 Tosya-Araç alt sistem modellemesi

Şekil B.5’de Kastamonu ilinin iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Tosya-Araç’ın alt sistem modellemesi görülürken, şekil B.6’da ise alt sistem modelinin iç yapısı görülmektedir.



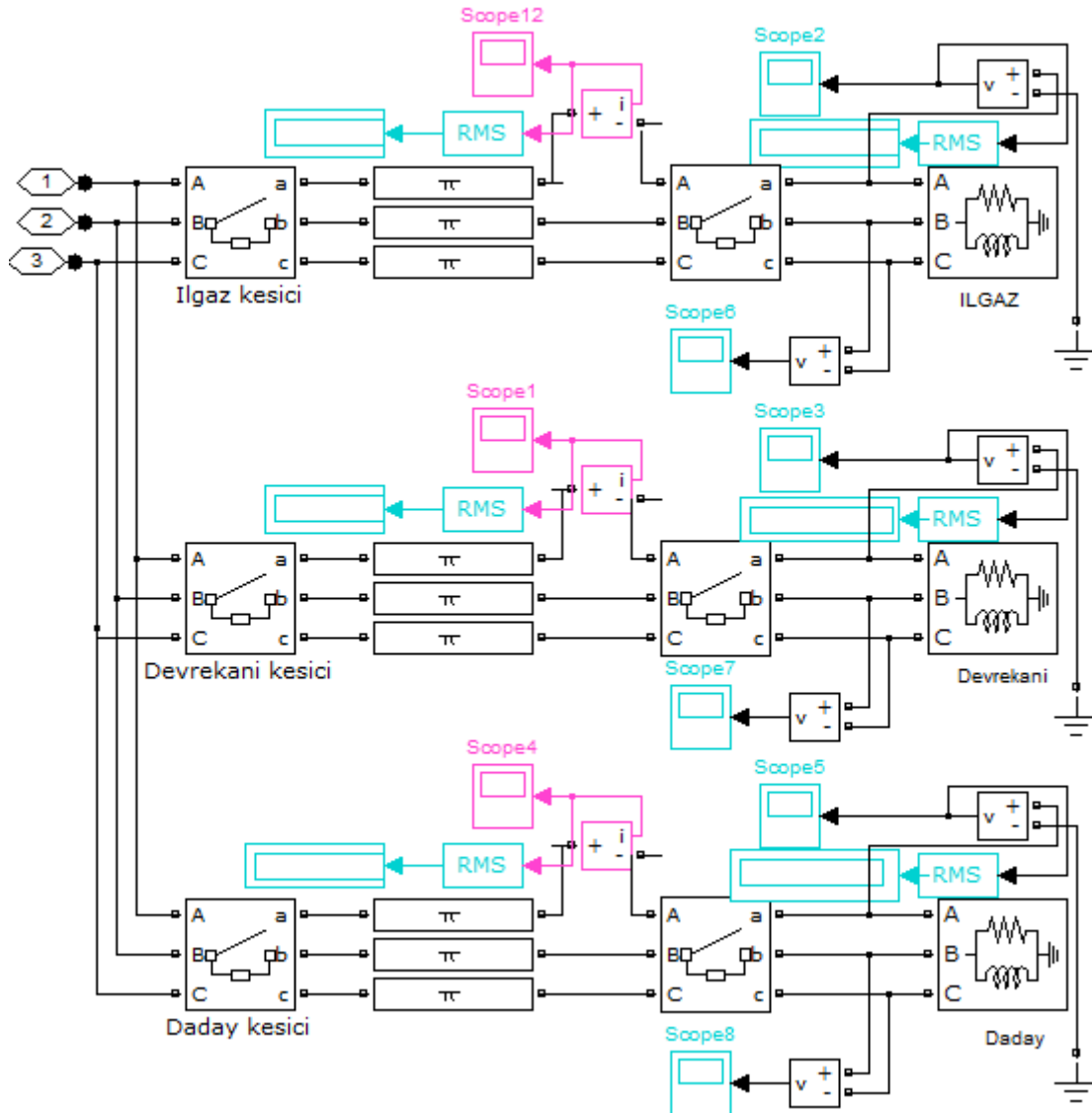
Şekil B.6 Tosya-Araç alt sistem modelinin iç şeması

3. Ilgaz-Devrekani-Daday



Şekil B.7 Ilgaz-Devrekani-Daday alt sistem modellemesi

Şekil B.7’de Kastamonu ilinin iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Ilgaz-Devrekani-Daday’ın alt sistem modellemesi görülürken, şekil B.8’de ise alt sistem modelinin iç yapısı görülmektedir.



Şekil B.8 Ilgaz-Devrekani-Daday alt sistem modelinin iç şeması

Ek C. 2MVA'lık Trafonun Test Raporu

ALSTOM		Fabrika Deney Raporu				
Tip : TG 6346	3-Fazlı Kuru Tip Transformatör				Sayfa No : 1 toplam 1 sayfa	
Müşteri : SFC KASTAMONU	Fb Nr : 650016	Mach. Nr : 408700-01		Rapor No : 4650016-1		
Standard : VDE+IEC	Tap.	YG (V)	AG (V)	Değerler, 75 °C		
Şekli : PT	1	33075		Pozisyon : 3		
İşletme : Continuous	2	32288		Po (kW) Pk (kW) Uk (%)		
Sağutma tipi : AN	3	Un(V) 31500	400	Garanti 4.6 15.5 7.2		
Anma Frekansı : 50 Hz	4	30713		Tolerans (%) 15 15 10		
Kısa devre akımı : 39 kA	5	29925		Fab.testi 4.32 16.19 7.32		
Max.Kısadevre süresi : 3 sec.	Anma Akımı In (A)	36.7	2886.8			
	Anma Gücü (kVA)	2000		Toplam Ağırlık : t		
	Kısadevre emp. (%)	7.32				
	Pozisyon	3				
	Bağlantı grubu	Dyn 5				
Sargı Dirençlerinin Ölçülmesi						
24.6 °C Ω						
Bağlantı/Poz.	1	3	5			
1U - 1V	3.7901	3.5823	3.3728	2U - 2V 0.00032		
1V - 1W	3.7862	3.5789	3.3687	2V - 2W 0.00032		
1W - 1U	3.7855	3.5770	3.3650	2W - 2U 0.000326		
Çevirme Oranlarını Ölçülmesi						
İşaret plakasına göre çevirme oranları ve bağlantı grubu						
Pozisyon	1	2	3	4	5	
Bağlantı/Çevirme Oranı	143.22	139.81	136.4	132.99	129.58	
1U-1V/2U-2N	% 1.1	0.6	0.3	-0.1	-0.4	
1V-1W/2V-2N	% 1.1	0.6	0.3	-0.1	-0.5	
1W-1U/2W-2N	% 1.2	0.8	0.5	0.1	-0.3	
Boştaki Kayıp ve Akımların Ölçülmesi						
Bağlantı : 2U-2V-2W				Frekans : 50 Hz		
Gerilim (V)	Akımlar (A)				(%)	
U	Io u	Io v	Io w	Io ortalama	Io/In	
400	17.788	13.521	17.633	16.314	0.57	
					Po (kW) 4.321	
Kısadevre Gerilimi ve Yük Kaybı Ölçülmesi						
Bağlantı : 1U-1V-1W				20 °C	50 Hz	
Kısadevre : 2U-2V-2W	Akım (A)	Gerilim(V)	(%)	Kayıplar kW		
Pozisyon	I	U	Uk 75 °C	Pk 20.0 °C	Pk 75 °C	
3	36.66	2303.8	7.32	14.410	16.192	
Yalıtım Deneyleri						
	kV	Hz	sec.			
Uygulanan gerilim YG	70	50	60			
Uygulanan gerilim AG	3	50	60			
Endüklenen gerilim AG	0.8	200	30			
Düşünceler :						
Kısmi Boşalma Ölçülmesi						
Deney Frek. : 200Hz	% Um	Saniye	kV	1U(pC)	1V(pC)	1W(pC)
Kalibrasyon : 10 pC	150	30	54	-	-	-
Zemin sev. <10 pC	110	180	39.6	<10	<10	<10
Ölçüm cihazı :						
TETTEX Type : 9126						
Tarih : 20.05.2003	M.ONAT	N.DILER				

Bu dokümanın her hakkı ALSTOM Elektrik End. A.Ş.'ne ait olup saklıdır. İçerisindeki bilgilerin izniniz olmadan yayımlanması yasaktır.


Şekil C.1 2MVA'lık Trafonun Test Raporu

Ek D. 2 MVA'lık Trafonun Matlabda hesaplanan parametreleri

Name ▲	Value	Min	Max
Bm	3.5439e-06	3.5439...	3.5439...
CON	2	2	2
Gm	1.4516e-06	1.4516...	1.4516...
Io	0.5700	0.5700	0.5700
Ioc	0.1206	0.1206	0.1206
Ip	36.6572	36.6572	36.6572
Is	2.8868e+03	2.8868...	2.8868...
Isc	21.1640	21.1640	21.1640
L1	0.1723	0.1723	0.1723
L2	9.2629e-06	9.2629...	9.2629...
Lm	898.1863	898.18...	898.18...
Lsc	0.3447	0.3447	0.3447
Pcu	16190	16190	16190
Po	4321	4321	4321
R1	6.0242	6.0242	6.0242
R2	3.2380e-04	3.2380...	3.2380...
Rm	6.8890e+05	6.8890...	6.8890...
Rsc	12.0484	12.0484	12.0484
ScopeData	<1x1 struct>		
Sn	2000	2000	2000
Voc	31500	31500	31500
Vp	31500	31500	31500
Vs	400	400	400
Vsc	2.3058e+03	2.3058...	2.3058...
Xm	2.8217e+05	2.8217...	2.8217...
Xsc	108.2808	108.28...	108.28...
Ye	3.8297e-06	3.8297...	3.8297...
Zsc	108.9490	108.94...	108.94...
n	136.3990	136.39...	136.39...
tout	<1000x1 double>	0.1255	0.1355
uk	7.3200	7.3200	7.3200


Şekil D.1 2MVA'lık Trafonun Matlabda hesaplanan parametreleri

Ek E. Diyot Datasheet PDF Değerleri



FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

November 2013



FFH60UP40S, FFH60UP40S3

60 A, 400 V, Ultrafast Diode

Features

- Ultrafast Recovery, $T_{rr} = 85 \text{ ns}$ (@ $I_F = 60 \text{ A}$)
- Max Forward Voltage, $V_F = 1.3 \text{ V}$ (@ $T_c = 25^\circ\text{C}$)
- Avalanche Energy Rated
- RoHS compliant

Applications

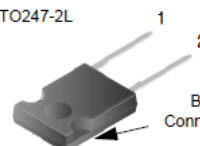
- General Purpose
- SMPS, Welder, UPS
- Free-wheeling Diode for motor application
- Power switching circuits

Description

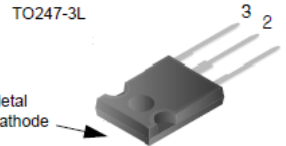
The FFH60UP40S, FFH60UP40S3 is an ultrafast diode with low forward voltage drop and rugged UIS capability. This device is intended for use as freewheeling and clamping diodes in a variety of switching power supplies and other power switching applications. It is specially suited for use in switching power supplies and industrial applications as welder and UPS application.

Pin Assignments

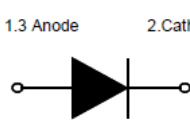
TO247-2L



TO247-3L



1.3 Anode 2. Cathode



Backside Metal Connected to Cathode

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Rating	Unit
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	400	V
V_{RWM}	Working Peak Reverse Voltage	400	V
V_R	DC Blocking Voltage	400	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current @ $T_C = 139^\circ\text{C}$	60	A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Surge Current 60Hz Single Half-Sine Wave	600	A
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Rating	Unit
$R_{\theta JC}$	Maximum Thermal Resistance, Junction to Case	0.2	$^\circ\text{C/W}$

Package Marking and Ordering Information

Device Marking	Device	Package	Packing Method	Reel Size	Tape Width	Quantity
FFH60UP40S	FFH60UP40S	TO247-2L	Tube	N/A	N/A	30
FFH60UP40S3	FFH60UP40S3	TO247-3L	Tube	N/A	N/A	30

©2009 Fairchild Semiconductor Corporation

1

www.fairchildsemi.com

Şekil E.1 Diyot Datasheet PDF değerleri

Ek E. Diyot Datasheet PDF Değerleri (Devam Ediyor)

Electrical Characteristics $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_F1	$I_F = 60\text{ A}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$ $T_C = 100^\circ\text{C}$	- 1.06 0.99	1.3 -	V
I_{R1}	$V_R = 400\text{ V}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$ $T_C = 100^\circ\text{C}$	- -	100 500	μA
t_{rr}	$I_F = 60\text{ A}, di_F/dt = 200\text{ A}/\mu\text{s}, V_R = 260\text{ V}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$ $T_C = 100^\circ\text{C}$	- 59 96	85 -	ns
W_{AVL}	Avalanche Energy ($L = 40\text{ mH}$)	50	-	-	mJ

Notes:

1: Pulse: Test Pulse width = 300 μs , Duty Cycle = 2%

Test Circuit and Waveform

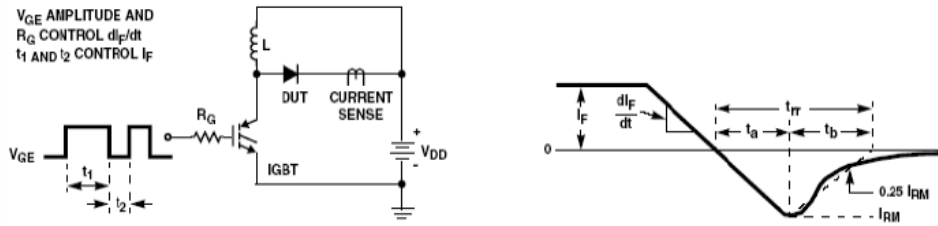


Figure 1. Diode Reverse Recovery Test Circuit & Waveform

$L = 40\text{ mH}$
 $R < 0.1\Omega$
 $V_{DD} = 50\text{ V}$
 $E_{AVL} = 1/2 L I^2 [(V_{R(AVL)}/(V_{R(AVL)} - V_{DD}))]$
 $Q1 = \text{IGBT } (BV_{CES} > V_{R(AVL)})$

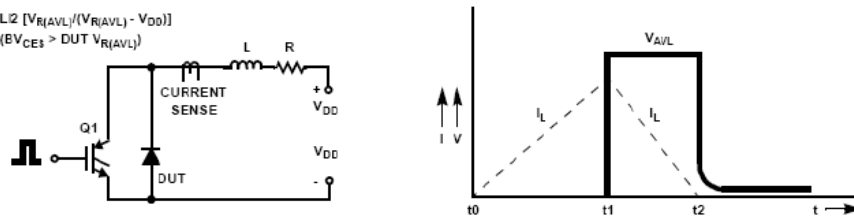


Figure 2. Unclamped Inductive Switching Test Circuit & Waveform

Ek E. Diyot Datasheet PDF Değerleri (Devam Ediyor)

FFH60UP40S, FFH60UP40S3 — Ultrafast Diode

Typical Performance Characteristics

Figure 3. Typical Forward Voltage Drop vs. Forward Current

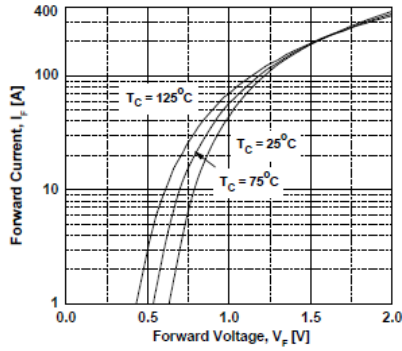


Figure 4. Typical Reverse Current vs. Reverse Voltage

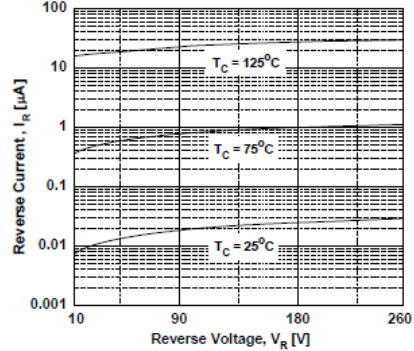


Figure 5. Typical Junction Capacitance

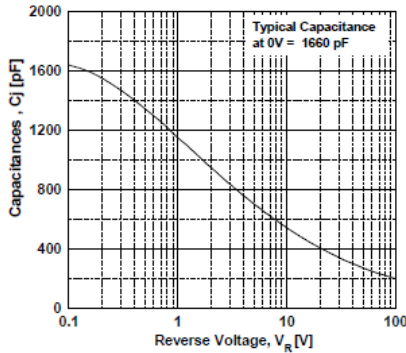


Figure 6. Typical Reverse Recovery Time vs. di/dt

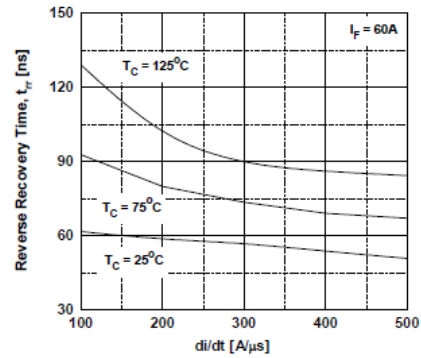


Figure 7. Typical Reverse Recovery Current vs. di/dt

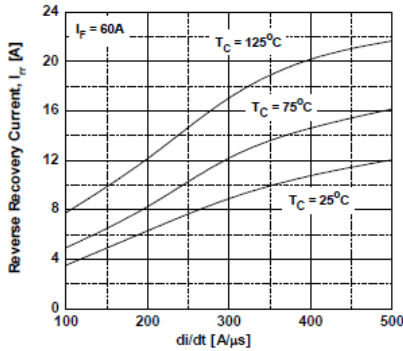
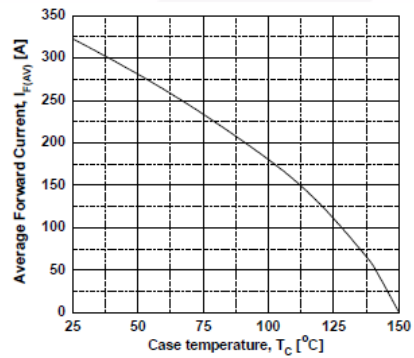


Figure 8. Forward Current Derating Curve



KAYNAKLAR

- Arifoğlu U., “Matlab 7.14 Simulink ve Mühendislik Uygulamaları”,*Alfa Yayınları*, İstanbul, 2012
- Arifoğlu U., “Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi” *Alfa Yayınları*, İstanbul, 2002
- Kaşıkcı İ., “Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları IEC 60 909”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2007
- Tosun İ., “Enerji İletim ve Dağıtım” *Birsen Yayınevi* , İstanbul 2007
- <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/enerji-iletim-hatlar-1-bolum/4176#ad-image-0> (Erişim Tarihi, 02 Mart 2014)
- <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrik-dagitim-sebekeleri/8703#ad-image-0> 2014 (Erişim Tarihi, 02 Mart 2014)
- TEİAŞ, *Kastamonu 22. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü*, 2014
- ENERJİSA *Kastamonu Elektrik Dağıtım Şirketi* 2013
- Soysal S., “ Bolu-Düzce Bölgesi 154 kV / 34,5 kV İletim ve Dağıtım Şebekesinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi”, Yüksek Lisans, *Fen bilimleri Enstitüsü*, Sakarya Üniversitesi, 2008

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İlker TOSUN
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmit/Kocaeli 02.07.1979

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Kocaeli Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi,
Elektrik Öğretmenliği

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Kastamonu Üniversitesi/Araç Rafet Vergili Meslek
Yüksekokulu
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi/Meslek Yüksekokulu

İletişim

Adres : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi/Meslek Yüksekokulu
Telefon : 228 214 1590
E-Posta Adresi : ilker.tosun@bilecik.edu.tr

Tarih: 11.07.2014

İmza: