

**ALÇAK VE ORTA GERİLİM ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE
DAĞINIK ÜRETİM SANTRALLERİNİN MATLAB/SIMULINK
ORTAMINDA MODELLENMESİ**

M. Hazar ÇINTUĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2011
ANKARA**

M.Hazar ÇİNTUĞLU tarafından hazırlanan ALÇAK VE ORTA GERİLİM ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE DAĞINIK ÜRETİM SANTRALLERİNİN MATLAB/SIMULINK ORTAMINDA MODELLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU
Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sezai DİNÇER
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 20/07/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

M.Hazar ÇİNTUĞLU

**ALÇAK VE ORTA GERİLİM ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE
DAĞINIK ÜRETİM SANTRALLERİNİN MATLAB/SIMULINK
ORTAMINDA MODELLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

M. Hazar ÇİNTUĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2011**

ÖZET

Son yıllarda alternatif enerji kaynağı olarak görülen dağınık üretim santrallerinin elektrik dağıtım şebekelerine bağlantısı artmıştır. İlerleyen yıllarda üretilen enerjinin büyük bir kısmının dağınık üretim santrallerinden karşılanmasına yönelik çalışmalar da sürmektedir. Yapılan bu bağlantıların sisteme zarar vermemesi için ya da sisteme faydalı şekilde çalışması için şebeke analizlerinin iyi yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada üretim santrallerinin büyük kısmını oluşturan senkron generatörlerin, asenkron generatörlerin ve evirici tabanlı üretim kaynaklarının elektrik dağıtım sistemlerinde farklı baralardan ve farklı bağlantı güçleriyle sisteme bağlantısının bara gerilim seviyelerinde oluşturduğu etkiler, kısa devre analizleri ve kayıp analizleri araştırılmıştır. Dağınık üretim sistemleri bağlanan baralarda gerilim belirli oranlarda gerilim yükselmeleri meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kısa devre akımlarının dağınık üretim santralleri tarafından da beslenmesi sonucu baralardaki kısa devre güçleri artmıştır. Araştırmada benzetim programı olarak Matlab/Simulink Simpowersystems araç kutusu kullanılmıştır. Modellenen şebekeler sırası ile; OG dağıtım sistemi için, indirici merkez trafosuna direk bağlı olan dağıtım merkezine ait bir fiderin 10 adet dağıtım trafosundan oluşan halka şebekeli bir kolu, AG şebeke için ise bu halka şebekeli trafo bölgesine ait olan bir dağıtım trafosunun alçak gerilim saha dağıtım

şebekesidir. Söz konusu şebekeler yaklaşık gerçek değerler kullanılarak Simulink ortamında modellenmiştir. Modellenen bağlantılar için yerel ve uluslararası standartlardan bağlantı koşulları ve bağlantı güçleri referans alınmıştır. Yine söz konusu standartlara göre modellenen örnek şebekemizde oluşturduğu etkiler gözlemlenmiştir. Bulunan sonuçlara hitaben dağıtık üretim santrallerinin şebekeye bağlantısı konusunda öneriler sunulmuştur.

Bilim Kodu : 905.1.033
Anahtar Kelimeler : Dağıtım Şebekesi, Dağıtık Üretim, Simulink
Sayfa Adedi : 164
Tez Yöneticisi : Prof.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

**MODELING OF DISTRIBUTED GENERATION PLANTS IN LOW
VOLTAGE AND MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS WITH
MATLAB/SIMULINK PROGRAM
(M.Sc. Thesis)**

M. Hazar ÇİNTUĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2011**

ABSTRACT

In recent years, connection of distributed generation plants which are also considered as alternative energy source highly increased. Respectable amount of research projects are carried out to enable providing most of the energy need from renewable distributed generation resources. Connection of these plants should be examined in detail in order not to be harmful for existing electricity network or to encourage them to work on behalf of the network. Most of the distributed generation plants consist of synchronous generators, asynchronous generators and inverter-based generation plants. In this research on MV and LV distribution network, connection of these plants to different bus bars with various connection power rates are observed. In the distributed generation plant connected busbars, voltage rates gone upward due to connection of new plants. But also, as a result of distributed generation plants' feeding the short circuit current, there is a increase in the amount of shortcircuit power in the busbars. Observed parameters are the changes in voltage profile, short-circuit analysis and power loss analysis. Matlab/Simulink SimPowerSystems Toolbox is used for observations. Distribution network systems which are modelled in Matlab/Simulink are as follows: For MV distribution network, a distribution center which is directly connected to a substation power transformer side and a ring network branch which consists of 10 distribution transformers. For LV

distribution network, a field distribution network which is connected to one of these 10 distribution transformers. Pronounced networks are modelled with approximate real values of existing electricity distribution network. For modelled connections, local and international connection standards and requirements are taken as reference. Simulation results are observed according to these standards. As per simulation results, suggestions were given regarding to connection of distributed generation plants to distribution network.

Science Code : 905.1.033

Key Words : Distribution Network, Distributed Generation, Simulink

Page Number : 164

Adviser : Prof.Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Prof. Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na, Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca destekleyen değerli arkadaşım Gökhan ÇAKIR'a, kız arkadaşım Ece BİLGİÇ'e ve tezimde kullandığım kıymetli bilgileri edinmemde yardımlarını esirgemeyen değerli Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ.....	5
2.1. Birincil Dağıtım Sistemleri.....	5
2.2. İkincil Dağıtım Sistemleri.....	6
2.3. Radyal (Dalbudak) Şebekeler.....	6
2.4. Ring (Halka) Şebekeler.....	7
3. DAĞINIK ÜRETİM SİSTEMLERİ.....	8
3.1. Senkron Generatörlü Sistemler.....	8
3.2. Asenkron Generatörlü Sistemler.....	16
3.3. Evirici Tabanlı Sistemler.....	21
4. DAĞINIK ÜRETİM SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ MEVZUATLAR.....	26
4.1. (EPDK) Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmelik.....	26
4.2. (IEEE) Dağınık Üretim Kaynaklarının Elektrik Güç Sistemlerine Bağlantısına İlişkin Standartlar.....	28

Sayfa

5. MODELLENECEK ŞEBEKELER VE BAĞLANABİLİRLİK ANALİZİ.....	35
5.1. Orta Gerilim Trafo Bölgesi ve Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesi Modeli.....	35
5.1.1. Orta gerilim trafo bölgesi.....	38
5.1.2. Alçak gerilim dağıtım şebekesi.....	39
5.2. Kısa Devre Hesapları ve Dağınık Üretim Sistemi Bağlanabilirlik Analizi....	39
6. SIMPOWERSYSTEMS ARAÇ KUTUSU VE ŞEBEKE MODELLERİ.....	46
6.1. SimPowerSystems Analiz Araç Kutusu.....	46
6.2. Orta Gerilim Trafo Bölgesinin Modellenmesi.....	49
6.3. Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesinin Modellenmesi.....	55
6.4. Dağınık Üretim Sistemlerinin Modellenmesi.....	60
6.4.1. Orta gerilim trafo bölgesinde asenkron generatörlü dağınık üretim sistemlerinin modellenmesi.....	60
6.4.2. Orta gerilim trafo bölgesinde senkron generatörlü dağınık üretim sistemlerinin modellenmesi.....	65
6.4.3. Alçak gerilim dağıtım şebekesinde asenkron generatörlü dağınık üretim sistemlerinin modellenmesi.....	68
7. DAĞINIK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN MODELLEME SONUÇLARI.....	74
7.1. Orta Gerilim Trafo Bölgesi Santral İçermeyen Sürekli Durum Analizi.....	74
7.2. Alçak Gerilim Santral İçermeyen Sürekli Durum Analizi.....	86
7.3. Orta Gerilim Trafo Bölgesine Dağınık Üretim Santrali Bağlanması.....	99
7.3.1. Senkron generatörlü geçici-sürekli durum analizi.....	99
7.3.2. Asenkron generatörlü geçici-sürekli durum analizi.....	111
7.4. Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesine Dağınık Üretim Santrali Bağlanması....	123
7.4.1. Senkron generatör saha dağıtım kutularına bağlantı durumu.....	123

Sayfa

7.4.2. Senkron generatör abone yüklerine bağlantı durumu.....	132
7.4.3. Asenkron generatör saha dağıtım kutularına bağlantı durumu.....	140
7.4.4. Asenkron generatör abone yüklerine bağlantı durumu.....	148
7.4.5. Evirici tabanlı dağıtım üretim santrali bağlantı durumu.....	157
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	160
KAYNAKLAR	161
ÖZGEÇMİŞ	162

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Bir dağıtım transformatöründe bir kişiye bir yıl içinde tahsis edilebilecek kapasiteye ilişkin tablo.....	27
Çizelge 4.2. Senkron bağlantı için şebeke ile senkronizasyon limitleri.....	30
Çizelge 4.3. Anormal gerilim durumunda bağlantı sistemi cevabı	32
Çizelge 4.4. Anormal frekans durumunda bağlantı sistemi cevabı.....	33
Çizelge 4.5. Kabul edilebilir gerilim değişim seviyesi.....	34
Çizelge 4.6. Maksimum harmonik bozulma akım oranı.....	34
Çizelge 7.1 Dağılık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durum karşılaştırması.....	102
Çizelge 7.2 Dağılık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması.....	104
Çizelge 7.3. Dağılık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için kısa devre seviyeleri karşılaştırması.....	111
Çizelge 7.4. Dağılık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durum karşılaştırması.....	114
Çizelge 7.5. Dağılık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması.....	116
Çizelge 7.6. Dağılık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için kısa devre seviyeleri karşılaştırması.....	123
Çizelge 7.7. Dağılık üretim içermeyen ve Sdk senkron generatör içeren durum karşılaştırması.....	126
Çizelge 7.8. Dağılık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması.....	128
Çizelge 7.9. Dağılık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için kısa devre seviyeleri karşılaştırması.....	131
Çizelge 7.10. Dağılık üretim içermeyen ve abone yüklerinde senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması.....	133

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.11. Dağılık üretim içermeyen ve abone yüklerinde senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması.....	136
Çizelge 7.12. Dağılık üretim içermeyen ve Sdk asenkron generatör içeren durum karşılaştırması.....	143
Çizelge 7.13. Dağılık üretim içermeyen ve saha dağıtım kutularında asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması.....	145
Çizelge 7.14. Dağılık üretim içermeyen ve Abn asenkron generatör içeren durum karşılaştırması.....	151
Çizelge 7.15. Dağılık üretim içermeyen ve saha dağıtım kutularında asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması.....	153
Çizelge 7.16. Dağılık üretim içermeyen ve Abn evirici tabanlı dağılık üretim içeren durum karşılaştırması.....	159

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Güç trafosu ve dağıtım merkezi içeren birincil dağıtım yapısı.....	5
Şekil 2.2. Radyal (dalbudak) şebeke yapısı.....	6
Şekil 2.3. Ring(halka) şebeke yapısı.....	7
Şekil 3.1. Senkron generatör.....	8
Şekil 3.2. Senkron generatör iç yapısı.....	9
Şekil 3.3. Serbest uyartım mekanizması.....	10
Şekil 3.4. Özel uyartım mekanizması.....	11
Şekil 3.5. Uyartım bağlantı şeması.....	11
Şekil 3.6. Uyartım makinasız senkron generatörün komponent bağlantısı.....	13
Şekil 3.7. Senkron makina eş değer devre şeması.....	15
Şekil 3.8. Senkron generatör fazör diyagramı.....	15
Şekil 3.9. Asenkron generatör eşdeğer devresi.....	19
Şekil 3.10. Asenkron makina moment-kayma karakteristiği.....	20
Şekil 3.11. Kendinden uyartımlı asenkron generatör.....	21
Şekil 3.12. Eviricinin endüktans ile şebekeye bağlanması fazör diyagramı.....	24
Şekil 3.13. Eviricinin endüktans ile şebekeye bağlanması fazör diyagramı.....	25
Şekil 3.14. Üç fazlı bir eviricinin şebekeye bağlantısı.....	25
Şekil 5.1. Orta gerilim ve alçak gerilim şebeke krokisi.....	36
Şekil 5.2. Orta gerilim ve alçak gerilim şebekeye ait tek hat şeması.....	37
Şekil 6.1. Trafo modeli.....	46
Şekil 6.2. Yük modeli.....	46

Şekil	Sayfa
Şekil 6.3. Kesici modeli.....	47
Şekil 6.4. Hat modeli.....	47
Şekil 6.5. Senkron generatör modeli.....	48
Şekil 6.6. Asenkron generatör modeli.....	48
Şekil 6.7 Orta gerilim trafo bölgesi modeli.....	49
Şekil 6.8. İndirici merkez trafo modeli.....	50
Şekil 6.9. 3x(1x95+16mm ²) XLPE kablo modeli.....	51
Şekil 6.10. 630 kVa 0,38/34,5 kV dağıtım trafosu modeli.....	51
Şekil 6.11. Yük modeli.....	52
Şekil 6.12. Generatör ve kısadevre ölçü birimi.....	53
Şekil 6.13. Orta gerilim trafo bölgesi ölçü birimi.....	54
Şekil 6.14. Alçak gerilim dağıtım şebekesi modeli.....	55
Şekil 6.15. Orta gerilim Kaynağı.....	56
Şekil 6.16. Tm1 trafo parametreleri.....	56
Şekil 6.17. 3x120+70 mm ² NYY kablo.....	57
Şekil 6.18. 3x95+50 mm ² NYY kablo.....	57
Şekil 6.19. 50 kW yük modeli.....	58
Şekil 6.20. Ölçü alt birimleri.....	58
Şekil 6.21. Alçak gerilim dağıtım şebekesi ölçü birimi.....	59
Şekil 6.22. Orta gerilim asenkron generatör bağlı şebeke modeli.....	60
Şekil 6.23. Asenkron generatör bağlantısı.....	61
Şekil 6.24. Asenkron generatör altbirimi.....	62
Şekil 6.25. 65 kVar kondansatör modeli.....	62

Şekil	Sayfa
Şekil 6.26. Rüzgar türbin modeli.....	63
Şekil 6.27.. Asenkron generatör parametreleri.....	64
Şekil 6.28. Orta gerilim senkron generatör bağlı şebeke.....	65
Şekil 6.29. Senkron generatör bağlantısı.....	66
Şekil 6.30. Senkron generatör altbirimi.....	66
Şekil 6.31. Senkron generatör parametreler.....	67
Şekil 6.32. Asenkron generatör Sdk tarafına bağlı şebeke.....	68
Şekil 6.33.. Asenkron generatörler Abn tarafına bağlı şebeke.....	69
Şekil 6.34. Senkron generatör Sdk tarafına bağlı şebeke.....	70
Şekil 6.35. Senkron generatörler Abn tarafına bağlı şebeke.....	71
Şekil 6.36. Yakıt hücresi eviricili dağıtık üretim bağlı şebeke.....	72
Şekil 6.37. Yakıt hücresi eviricili dağıtık üretim alt birim [6].....	73
Şekil 7.1. Orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen sürekli durum analizi.....	75
Şekil 7.2. Orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen durum gerilim seviyesi....	76
Şekil 7.3. Orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen durum akım seviyesi.....	77
Şekil 7.4. Ölçü birimi ve trafo güçleri.....	78
Şekil 7.5. İndirici trafo 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	79
Şekil 7.6. Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	80
Şekil 7.7. Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli.....	80
Şekil 7.8. Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	81
Şekil 7.9. Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli.....	81
Şekil 7.10. Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	82
Şekil 7.11. Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli.....	82

Şekil	Sayfa
Şekil 7.12. Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	83
Şekil 7.13. Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli.....	83
Şekil 7.14. Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	84
Şekil 7.15. Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli.....	84
Şekil 7.16. Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	85
Şekil 7.17. Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli.....	85
Şekil 7.18. Alçak gerilim dağıtım şebekesi dağınık üretim santrali içermeyen sürekli durum analizi.....	86
Şekil 7.19. Alçak gerilim dağıtım şebekesi dağınık üretim santrali içermeyen durum gerilim seviyesi.....	87
Şekil 7.20. Alçak gerilim dağıtım şebekesi dağınık üretim santrali içermeyen durum akım seviyesi.....	88
Şekil 7.21. Sdk ölçü birimi.....	89
Şekil 7.22. Tm1 0,4 kV tarafında kısa devre modeli.....	90
Şekil 7.23. Tm1 0,4 kV tarafında kısa devre dalga modeli.....	90
Şekil 7.24. Sdk1 kısa devre modeli.....	91
Şekil 7.25. Sdk1 tarafında kısa devre dalga modeli.....	91
Şekil 7.26. Abn1 kısa devre modeli.....	92
Şekil 7.27. Abn1 tarafında kısa devre dalga modeli.....	92
Şekil 7.28. Sdk2 kısa devre modeli.....	93
Şekil 7.29. Sdk2 tarafında kısa devre dalga modeli.....	93
Şekil 7.30. Abn2 kısa devre modeli.....	94
Şekil 7.31. Abn2 tarafında kısa devre dalga modeli.....	94
Şekil 7.32. Sdk3 kısa devre modeli.....	95

Şekil	Sayfa
Şekil 7.33. Sdk3 tarafında kısa devre dalga modeli.....	95
Şekil 7.34. Abn3 kısa devre modeli.....	96
Şekil 7.35. Abn3 tarafında kısa devre dalga modeli.....	96
Şekil 7.36. Sdk4 kısa devre modeli.....	97
Şekil 7.37. Sdk4 tarafında kısa devre dalga modeli.....	97
Şekil 7.38. Abn4 kısa devre modeli.....	98
Şekil 7.39. Abn4 tarafında kısa devre dalga modeli.....	98
Şekil 7.40. Orta gerilim senkron generatörler için yük akışı.....	100
Şekil 7.41. Orta gerilim senkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren sürekli durum analizi.....	101
Şekil 7.42. Senkron generatörlü ölçü birimi trafo güçleri.....	103
Şekil 7.43. Senkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	105
Şekil 7.44. Senkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında dalga modeli.....	105
Şekil 7.45. Senkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	106
Şekil 7.46. Senkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında dalga modeli.....	106
Şekil 7.47. Senkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	107
Şekil 7.48. Senkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında dalga modeli.....	107
Şekil 7.49. Senkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	108
Şekil 7.50. Senkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında dalga modeli.....	108
Şekil 7.51. Senkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	109
Şekil 7.52. Senkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında dalga modeli.....	109
Şekil 7.53. Senkron generatör ve T6 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	110
Şekil 7.54. Senkron generatör ve Tm6 34,5 kV tarafında dalga modeli.....	110

Şekil	Sayfa
Şekil 7.55. Orta gerilim asenkron generatörler için yük akışı.....	112
Şekil 7.56. Orta gerilim asenkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren sürekli durum analizi.....	113
Şekil 7.57. Asenkron generatör ölçü birimi trafo güçleri.....	115
Şekil 7.58. Asenkron generatör ölçü birimi generatör güçleri.....	116
Şekil 7.59. Asenkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre modeli.....	117
Şekil 7.60. Asenkron generatör ve Tm1 34,5 kV kısa devre dalga modeli.....	117
Şekil 7.61. Asenkron generatör ve Tm2 34,5 kV kısa devre modeli.....	118
Şekil 7.62. Asenkron generatör ve Tm2 34,5 kV kısa devre dalga modeli.....	118
Şekil 7.63. Asenkron generatör ve Tm3 34,5 kV kısa devre modeli.....	119
Şekil 7.64. Asenkron generatör ve Tm3 34,5 kV kısa devre dalga modeli.....	119
Şekil 7.65. Asenkron generatör ve Tm4 34,5 kV kısa devre modeli.....	120
Şekil 7.66. Asenkron generatör ve Tm4 34,5 kV kısa devre dalga modeli.....	120
Şekil 7.67. Asenkron generatör ve Tm5 34,5 kV kısa devre modeli.....	121
Şekil 7.68. Asenkron generatör ve Tm5 34,5 kV kısa devre dalga modeli.....	121
Şekil 7.69. Asenkron generatör ve Tm6 34,5 kV kısa devre modeli.....	122
Şekil 7.70. Asenkron generatör ve Tm6 34,5 kV kısa devre dalga modeli.....	122
Şekil 7.71. Sdk senkron generatörler için yük akışı.....	124
Şekil 7.72. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Sdk senkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren sürekli durum analizi.....	125
Şekil 7.73. Ölçü birimi saha dağıtım kutuları güçleri.....	127
Şekil 7.74. Senkron generatör ve Sdk1 kısa devre modeli.....	129
Şekil 7.75. Senkron generatör ve Sdk1 kısa devre dalga modeli.....	129

Şekil	Sayfa
Şekil 7.76. Senkron generatör ve Sdk2 kısa devre dalga modeli.....	130
Şekil 7.77. Senkron generatör ve Sdk3 kısa devre dalga modeli.....	130
Şekil 7.78. Senkron generatör ve Sdk4 kısa devre dalga modeli.....	131
Şekil 7.79. Abn senkron generatörler için yük akışı.....	132
Şekil 7.80. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Abn senkron generatörlü dağınık üretim santrali içeren sürekli durum analizi.....	133
Şekil 7.81. Ölçü birimi abone yükleri güçleri.....	135
Şekil 7.82. Senkron generatör ve Abn1 kısa devre modeli.....	137
Şekil 7.83. Senkron generatör ve Abn1 kısa devre dalga modeli.....	137
Şekil 7.84. Senkron generatör ve Abn2 kısa devre dalga modeli.....	138
Şekil 7.85. Senkron generatör ve Abn3 kısa devre dalga modeli.....	138
Şekil 7.86. Senkron generatör ve Abn4 kısa devre dalga modeli.....	139
Şekil 7.87. Sdk asenkron generatörler için yük akışı.....	141
Şekil 7.88. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Sdk asenkron generatörlü dağınık üretim santrali içeren sürekli durum analizi.....	142
Şekil 7.89. Ölçü birimi Sdk güçleri.....	144
Şekil 7.90. Asenkron generatör ve Sdk1 kısa devre modeli.....	146
Şekil 7.91. Asenkron generatör ve Sdk1 kısa devre dalga modeli.....	146
Şekil 7.92. Asenkron generatör ve Sdk2 kısa devre dalga modeli.....	147
Şekil 7.93. Asenkron generatör ve Sdk3 kısa devre dalga modeli.....	147
Şekil 7.94. Asenkron generatör ve Sdk4 kısa devre dalga modeli.....	148
Şekil 7.95. Abn asenkron generatörler için yük akışı.....	149
Şekil 7.96. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Abn asenkron generatörlü dağınık üretim santrali içeren sürekli durum analizi.....	150

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Amper
V	Volt
W	Watt
VAR	Volt Amper Reaktif
EPDK	Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu
IEEE	Elektrik Elektronik Mühendisleri Entitüsü
Lead	Faz Gerilemeli
Lag	Faz İlerlemeli
Kısaltmalar	Açıklama
E.M.K	Elektromanyetik motor kuvvet
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
Sdk	Saha dağıtım kutusu
Abn	Abone yükü

1. GİRİŞ

Günümüzde geleneksel olarak kullanılan elektrik şebekesi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinden oluşur. Elektrik enerjisi, merkezi üretim santrallerinden iletim sistemlerine bağlanırlar. İletim sistemi ise tüketim noktalarında bulunan dağıtım sistemlerine bağlanırlar. Üretim sisteminden uzak noktalarda olan son kullanıcıya elektrik enerjisi dağıtım sistemi ile ulaştırılır.

Mevcut olan bu sistemde genellikle elektrik üretim santralleri büyük güçlerde ve kömür, doğalgaz, büyük su havzaları gibi kaynaklara yakın olan bölgelerde kurulmuştur. Elektrik enerjisinin üretim biriminden uzun enerji nakil hatları ile son kullanıcıya ulaştırılması kayıplı ve yüksek miktarda yatırım gerektiren bir iştir.

Son zamanlarda geleneksel elektrik üretim sistemine alternatif olarak dağınık üretim sistemlerinden elektrik enerjisi elde etme isteği artmıştır. Dağınık üretim sisteminin temel düşüncesi lokal bazda üretilen elektrik enerjisinin iletim sistemine katılmadan üretilen noktada tüketilmesidir. Üretilen ihtiyaç fazlası elektrikğin dağıtım sistemine verilmesi ile dağınık üretim sisteminin yakın çevresini enerjilendirmesi de mümkündür.

Yeni bir anlayış olan dağınık üretim sistemlerinin, mevcut elektrik şebekelerine bağlanması durumunda şebekeye zarar vermemesi, şebekeye ve kullanıcıya faydalı şekilde çalışması için bağlantı analizlerinin iyi yapılması gerekmektedir.

Literatür araştırması yapıldığında son yıllarda dağınık üretim sistemleri ile ilgili bir çok araştırma ve tezin yayınlandığı görülmektedir. İlerleyen yıllarda bu sayının katlanarak artması ön görülmektedir.

Conti ve arkadaşları tarafından alçak gerilim fiderinden fotovoltaik enerji üretim sisteminin bağlantısı konusunda geçici ve sürekli durum analizlerinin gözlemlenmesi adına bir çalışma yapılmıştır [1].

Ciobotaru ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada evirici tabanlı bir fotovoltaiik sistemin şebekeye bağlantısına ilişkin Matlab/Simulink üzerinde bir model sunulmuştur. Bu çalışmada gerçek zamanlı uygulama yapılmadan önce sistemin kontrol simülasyonu oluşturulmuştur [2].

Gözel tarafından yapılan doktora tezi çalışmasında dağıtık üretim santrallerinin optimum seviyede çalışması için dağıtım sistemine hangi noktalarda bağlanması gerektiği yönünde güç kayıplarını en aza indirmek amacı ile iki analitik metot geliştirilmiştir. [3].

Fattahi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Azerbaycan elektrik şebekesi modellenerek çalışmasında şebekeye rüzgar ve gaz türbini bazlı dağıtık üretim santralleri bağlantısını içeren bir çalışma yapılmıştır [4].

Soysal tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında iletim ve dağıtım şebekeleri modellenmesi konusunda yapılan çalışmalardan, Matlab/Simulink SimPowerSystems araç kutusu ile yapılan çalışmasında; 154 / 34,5 iletim ve dağıtım şebekesinin Simulink üzerinde modellenmesi yapılarak, gerilim düşümü, kısa devre akımları değişimi, akım ve güç miktarlarındaki değişim bilgisayar ortamında modellenmiştir [5].

Gezer'in Türkiye'de ki dağıtım otoritesinin şebekeye bağlantı izni vermeden önce yapılması gereken teknik analizler konusunda bir öneri maksadı ile hazırlanmış bir tez çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada öneri bir yönetmelik taslağı ve bu yönetmeliğin ekonomik doğrulanması için bazı çalışmalar sunulmuştur [6].

Massoud ve arkadaşları tarafından evirici tabanlı ve senkron makine tabanlı dağıtık üretim santrallerinin hata kısa devre akımı limitleme ve koruma konuları hakkında çalışmasında bir karşılaştırma yapılmıştır [7].

Lei ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada endüksiyon generatörlerinin dağıtım sistemine bağlantısı konusunda Matlab/Simulink'de bir model oluşturulmuştur [8].

Angelopoulos tarafından yapılan dağınık üretim santrallerinin alçak gerilim şebekesine entegrasyonu konusunda yapılan tez çalışmasında şebekenin enerji kalitesi ve yapılan yatırımların ekonomik fizibilitesi konusunda çalışmalar yapılmıştır [9].

Soultanis ve arkadaşları tarafından mikroşebekeler üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Örnek bir alçak gerilim şebekesi oluşturularak, sisteme mikrotürbin, rüzgar türbini, üç-fazlı endüksiyon generatörü bağlantı modeli oluşturulmuştur [10].

Saha ve arkadaşları tarafından mikrotürbin temelli dağınık üretim akıllı şebekesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Modelde farklı yüklerin farklı zaman dilimlerinde devreye girip çıkması sonucu oluşan değışiklikler gözlemlenmiştir [11].

Chiradeja'nın çalışmasında dağınık üretim santrallerinin dağıtım hatları üzerinde oluşan kayıpların azaltılmasındaki etkilerine ilişkin bir çalışma yapılmıştır [12].

Asari ve arkadaşlarının çalışmasında dağınık üretim santrallerinin bağlantı statülerinin bilinmesinin hata ve gerilim yükselmeleri durumunu engellemek amaçlı kullanılabileceği konusunda bir araştırma yapılmıştır [13].

Karaaslanın tez çalışmasında dağınık üretim santralleri çeşitleri anlatılarak örnek bir çalışma olan 13 düğümlü IEEE test fiderine ait bir modelleme yapılarak düğümelerde oluşan gerilim, kısa devre analiz sonuçları gözlemlenmiştir [14].

Londero ve arkadaşlarının çalışmasında dağınık üretim santrallerinin sürekli durum analizinde gerilim ve transient durumları incelenmiştir. Brezilya dağıtım sisteminde gerçek bir durum modellenmesi yapılmıştır [15].

Khadkikar ve arkadaşları tarafından şebeke gerilim regölasyonu yapılmak üzere fotovoltaiik, rüzgar enerjisi tabanlı dağınık üretim sistemleri beslemeli enerji bataryalarının kullanılması konusunda bir çalışma yapılmıştır [16].

Bu tez çalışmasında ikinci bölümde genel hatlarıyla elektrik dağıtım şebekeleri incelenecektir. Bu kapsamda birincil dağıtım sistemleri, ikincil dağıtım sistemleri anlatılacaktır. Türkiye’de yoğunlukla kullanılan şebeke tipleri olan radyal (dalbudak) ve ağ (gözlü) şebeke tiplerinden bahsedilecektir. Son olarak dağıtık üretim sistemlerinin şebeke ile çalışma durumundan bahsedilecektir.

Üçüncü bölümde en yaygın kullanılan dağıtık üretim sistemleri olarak senkron generatörlü, asenkron generatörlü ve evirici tabanlı dağıtık üretim sistemleri tanıtılacaktır.

Dördüncü bölümde dağıtık üretim sistemleri ile ilgili yasal mevzuatlara ilişkin genel bir inceleme yapılacak olup, “EPDK Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik” ve “IEEE Dağıtık Üretim Kaynaklarının Elektrik Güç Sistemlerine Bağlantısı” adlı standart referans alınacaktır.

Beşinci bölümde tez çalışmasında kullanılacak olan orta gerilim trafo bölgesi ve alçak gerilim dağıtım şebesine ait sistemler anlatılarak, bu şebekelere bağlanacak olan dağıtık üretim sistemleri için kısa devre güçleri ve mevzuat kısıtlarına göre bağlanabilirlik analizleri yapılacaktır.

Altıncı bölümde sistem modellemesini ve simülasyonda kullanılacak olan Matlab Simulink SimPowerSystems yazılım ve araç kutusu tanıtılacak olup, model orta gerilim trafo bölgesi ve alçak gerilim dağıtım şebekesi oluşturulacaktır.

Yedinci bölümde şebekelerin dağıtık üretim sistemi içeren ve içermeyen durumlarına göre simulasyon sonuçları verilerek, şebekelerin voltaj, akım, kısa devre ve güç profilleri gösterilecektir.

Son bölümde dağıtık üretim sistemlerinin orta gerilim ve alçak gerilim şebekelere etkilerinden çıkan sonuçlara ilişkin öneriler sunulmuştur.

2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ

Elektrik dağıtım şebekeleri, National Academy of Engineering tarafından insanoğlunun yarattığı en karmaşık ve en iyi yirmi mühendislik başarısından biri olarak kabul edilmektedir [17]. Elektrik dağıtım operasyonlarındaki en büyük zorluk, gelecek problemlerden kaçınmak ve müşteri ihtiyaçlarını sağlamak için öngörü yaparak uygun aksiyonları almaktır.

2.1. Birincil Dağıtım Sistemleri

Birincil dağıtım sistemi bir enerji nakil hattından beslenen indirici trafo merkezi tarafı ve buna bağlı olan dağıtım merkezi olarak nitelendirilebilir.



Şekil 2.1. Güç trafosu ve dağıtım merkezi içeren birincil dağıtım yapısı [18]

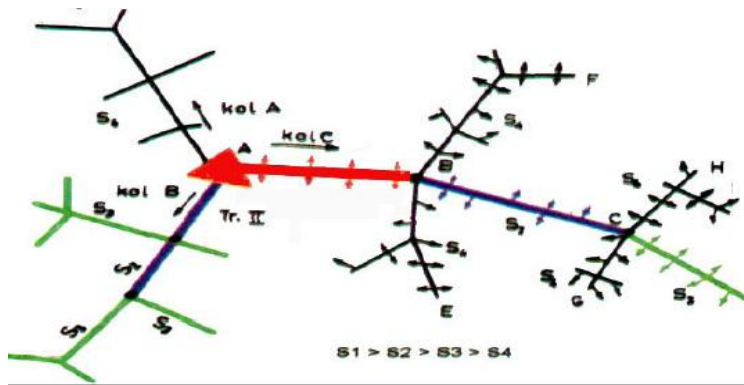
Eğer bağlı yükler çok büyük veya doğası gereği kritik durum arz ediyor ise ikinci bir iletim beslemesi ve trafo da birincil dağıtım sistemi dahilinde düşünülebilir. Birincil dağıtım sistemleri genellikle havai hat enerji nakil hatlarından oluşmaktadır, fakat son yıllarda yerleşim alanları ve ticari alanlarda yer altı kablo şebeke tesis sayısı artmıştır. Aynı şekilde bir çok birincil dağıtım sistemi tek bir kaynaktan beslenen radyal (dalbudak) şebeke olarak işletilmektedir. Şehir merkezlerinde ve şehir merkezlerine yakın olan bölgelerde enerji arz güvenliğini artırmak için genellikle ring (halka) şebeke yapısına geçilmiştir.

2.2. İkincil Dağıtım Sistemleri

İkincil dağıtım sistemi, birincil dağıtım sistemi fiderleri ile son kullanıcıya kadar olan kısmı kapsar. İkincil dağıtım sistemi, dağıtım trafoları, dağıtım hatları, saha dağıtım kutuları ve son kullanıcı sayaçlarından oluşmaktadır. Şebeke aboneleri genellikle dağıtım şebekesine dağıtım trafolarının alçak gerilim kısmından bağlanırlar. Yüksek miktarda enerji tüketen birimler ve özel kullanıcılar orta gerilim kısmından bağlantı yapabilirler.

2.3. Radyal (Dalbudak) Şebekeler

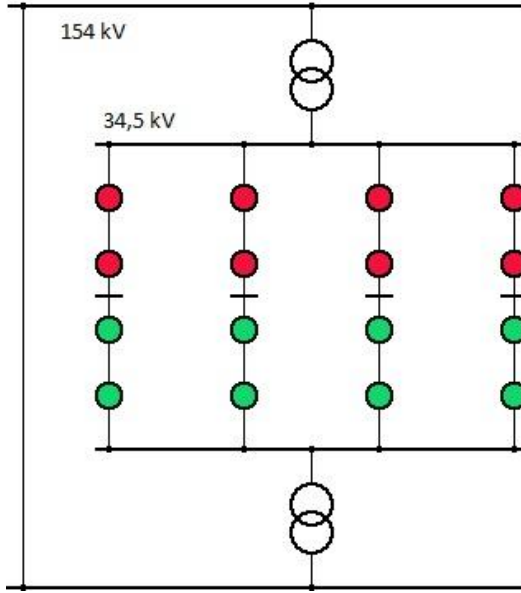
Radyal (dalbudak) dağıtım şebekeleri herhangi bir zaman diliminde sadece tek bir besleme noktası ve yönü ihtiva eden sistemlerdir. Radyal şebekeler %100 enerji nakil hattı, %100 yer altı kablosu veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilirler. Kombine olan sistemler daha çok yaygındır. Radyal şebeke üzerinde farklı gerilim seviyeleri bulunabilir bu değerler genellikle 6,6 kV, 10,5 kV, 36 kV mertebelerindedir. Kaynaktan en uzakta olan hat 1 kilometreden az olabileceği gibi, 20 kilometreden uzun hatlar da olabilmektedir. Radyal hat üzerindeki farklı noktalarda kısa devre akımları da yerlerine göre çok farklılık gösterir. Kısa devre güç seviyeleri dağıtım üretim sistemlerinin bağlantısı için belirleyici bir kıstas olduğu için bu konu önemlidir.



Şekil 2.2. Radyal (dalbudak) şebeke yapısı [19]

2.4. Ring (Halka) Şebekeler

Ring (halka) şebekeler yedekli besleme şekilde tasarlandığı için işletmeciye maximum güvenilirlik ve esnek operasyon kabiliyeti sunar. Tek bir ekipmanda oluşacak arıza durumunda sistemde enerji kesintisi yaşanmaz. Arıza oluşan kısım şebekeden izole edilir ve kalan kısım diğer tarafta bulunan kaynaktan beslenir. Ring (halka) şebeke uygulaması birincil ve ikincil dağıtım şebekelerinde uygulanabilmektedir.



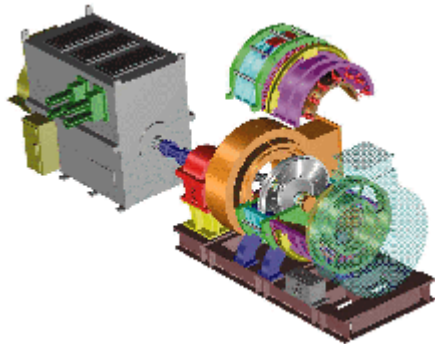
Şekil 2.3. Ring(halka) şebeke yapısı [20]

3. DAĞINIK ÜRETİM SİSTEMLERİ

Dağınık üretim sistemleri rüzgar, güneş, dalga, hidrojen, biyoyakıt gibi farklı kaynaklardan oluşabilmektedir. Şebekede kullanılmak üzere alternatif akım elektrik enerjisi elde edilirken kullanılan jenerasyon sistemleri genellikle aynıdır. Bu tez çalışmasında jenerasyon sistemlerinden senkron makinalar, asenkron makinalar ve evirici tabancılı sistemler incelenecektir.

3.1. Senkron Generatörlü Sistemler

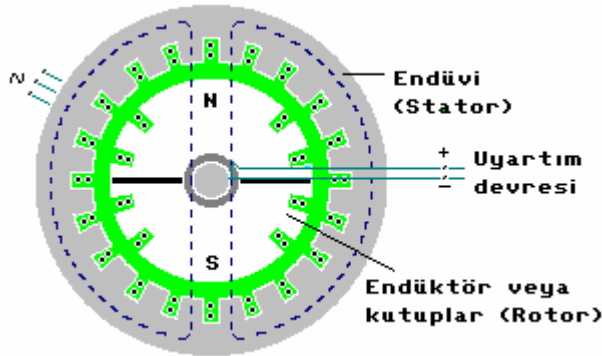
“Günümüzde serviste olan generatörlerin birçoğu senkron makinalardan oluşmaktadır. Senkron generatörler normal çalışma durumlarında sabit hızlı ve bağlandığı şebekenin frekansı ile senkron halde çalışan alternatif akımlı elektrik makinalardır. Senkron, kelime olarak eşit zamanlı anlamına gelmektedir. Senkron makinalar grubuna; alternatörler (generatörler) , senkron motorlar ve senkron konvertörler girer. Senkron motor ile generatör arasında yapısal bakımdan bir fark yoktur. Senkron makinada rotor devri ile stator devri eşittir. Senkron makinaya mekanik enerji verilip, elektrik enerjisi alınırsa alternatör; elektrik enerjisi verilip mekanik enerji alınırsa senkron motor olur. Bir başka tanımla senkron makina, stator sargılarında alternatif akım, rotor sargılarında ise doğru akım bulunan ve rotor hızı senkron devirle dönen veya döndürülen makinalardır [21].”



Şekil 3.1. Senkron generatör [5]

Senkron Makinaların Yapısı

“Alternatif akım senkron generatörlerle üretilir. Bu makinalara kısaca alternatörler de denir. Alternatörler milinden aldığı mekanik enerjiyi alternatif gerilime dönüştüren veya alternatif gerilim üreten makinalardır. Endüvi, alternatörlerde alternatif gerilimin elde edildiği kısma denir. Endüvi yapısına göre duran endüvili ve dönen endüvili olmak üzere iki kısma ayrılır. Döner endüvili alternatörün endüktörü sabittir. Duran endüvili alternatörün endüktörü ise hareketlidir. Alternatör ister döner endüvili olsun isterse duran endüvili olsun, endüvi üzerinde daima alternatif gerilimin üretildiği sargılar bulunur. Genelde endüvi küçük güçlü alternatörlerde döner kısımda bulunur. Büyük güçlü alternatörlerde ise duran kısımdadır. Döner endüvili alternatörler büyük güçler için yapılmazlar. Döner endüvili makinalarda akım ve gerilimler dış devreye bilezik ve fırçalar yardımı ile alınmaktadır. Endüktör (kutuplar), manyetik alanın meydana geldiği uyarım (kutup) sargılarını taşıyan büyük güçlü makinalarda döner kısımdır. Endüktör bu yüzden rotor olarak da isimlendirilir [21].”



Şekil 3.2. Senkron generatör iç yapısı [21]

Senkron Makinaların Generatör Olarak Çalıştırılması

“Senkron generatörler mekanik enerjiyi alternatif akıma dönüştürürlü. Alternatif akım üretilmesinde genellikle senkron generatörler kullanıldığı için alternatörlerin önemi büyüktür [21].”

Alternatörlerin Uyartılması

“Generatörler şebekeye enerji aktarırken çıkış gerilimlerinin sabit ve istenilen değerde olması arzu edilir. Fakat alternatörlerin yükleri günün her saatinde aynı değildir. Buna bağlı olarak çıkış geriliminde değişimle gözlemlenir. Yüklü çalışma durumlarında çıkış gerilimi düşerken, boşta çalışma durumunda çıkış gerilim yükselir. Değişik yük durumlarına göre çıkış geriliminin ayarlanması gerekmektedir. Alternatörlerdeki gerilim devir sayısı ve kutuplardaki akı miktarı değişkenlerine bağlıdır

“Devir sayısının değişmesi aynı zamanda frekansı da değiştireceğinden ($F=P.n/120$) gerilim ayarının yapılması için en mantıklı yok manyetik akının değiştirilmesidir. Manyetik akının değiştirilmesi için de uyartım akımı ayarı yapılır [21].”

Uyartım akımı üç şekilde sağlanır.

- 1) Serbest uyartım
- 2) Özel uyartım
- 3) Kendi kendine uyartım

Serbest Uyartım

“Uyartım makinası, ana makinadan tamamen ayrıdır; arada yalnız elektriki bir bağlantı vardır. Serbest uyartımda enerji bir akümülatör bataryasından veya doğru akım dinamosundan sağlanır. Bu enerjiyle santralde bulunan diğer makinalar da uyartılabilir [21].”



Şekil 3.3.. Serbest uyartım mekanizması [21]

Özel Uyarım

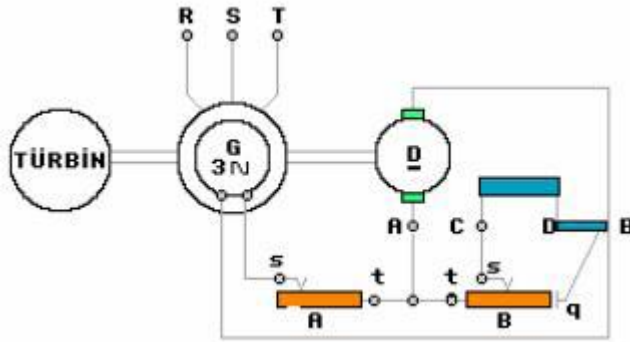
“Bu sistemde senkron makina miline bir uyarım dinamosu yerleştirilmiştir. Böylece gerekli uyarım akımı sağlanır. Uyarım akımı sağlayan dinamomun gücü, senkron makina gücünün en çok % 5 kadarıdır [21].”



Şekil 3.4. Özel uyarım mekanizması [21]

Kendi Kendine Uyarım

“Son zamanlarda senkron makinalarda kendi kendine uyarım çok kullanılmaya başlamıştır. Bunlarda, aynen kendi kendine uyarımlı dinamolarda olduğu gibi alternatörün artık manyetik alanından yararlanır. Alternatörün ürettiği alternatif gerilim, doğrultmaçlar aracılığı ile doğrultulur ve kutuplar uyarılır [21].”



Şekil 3.5. Uyarım bağlantı şeması [21]

Devir Regülatörleri

“Aktif yük değişimleri alternatörün devir sayısının değişmesine neden olur. Ancak devir sayısı, devir regülatörleri yardımı ile kararlı bir şekilde tutularak gerilimin frekansında gelebilecek değişmeler önlenir. Bu regülatörler, alternatörlerin yüküne göre mekanik enerjiyi azaltıp çoğaltarak frekansı sabit tutabilirler [21].”

Gerilim Regülatörleri

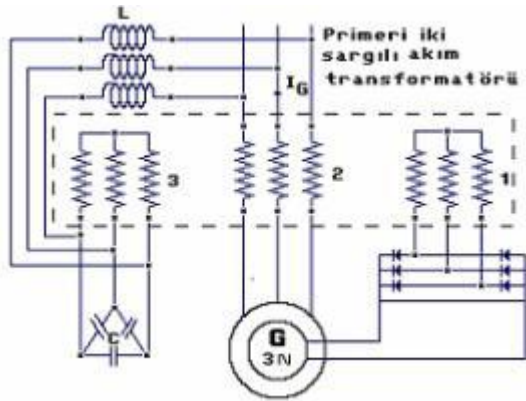
“Alternatör gerilimini yük durumuna göre ayarlayan düzeneklere gerilim regülatörleri denir. Regülatörün çalışma prensibi alternatörün uyarımını sağlayan uyarım dinamosunun kutup sargılarına seri olarak bir direncin girip çıkması şeklindedir [21].”

Uyarım Makinasız Alternatörler

“Yük durumuna göre alternatör geriliminin değişmesini önlemek için alternatör uyarım akımının ayarlanması gerekmektedir. Uyarma akımı değiştirme hızı sınırlı olduğu için uyarım dinamomu kullanılmadan, alternatörlerde gerekli manyetizmayı oluşturma fikri doğmuştur. Bu yöntemler kompound bağlantı ve tristörlü regülatörlerin kullanılmasıdır [21].”

Kompout Bağlantı

“Generatöre uygulanan gerilimi sabit tutan bağlantıya kompound bağlantı ve bu bağlantının uygulandığı generatöre de sabit gerilim generatörü denir.



Şekil 3.6. Uyartım makinasız senkron generatörün komponent bağlantısı [21]

Bu tip uyartmada alternatör kutuplarındaki artık mıknatisiyet ve alternatör çıkışındaki doğrultulan gerilimden faydalanılır. Bobinlere bağlı olan kondansatörlerin görevi, alternatörün kendi kendini uyarmasını sağlamak içindir. Alternatörün normal hızındaki remanans gerilimi, bobin ve kondansatörler $XL=XC$ rezonansı oluşturacak biçimde düzenlenmiştir. Generatör harekete geçirildikten sonra devir sayısının artması ile rezonansa yakın hızda remanans gerilimi o kadar büyür ki redresörün iletme bağlama değeri aşılır ve böylece kendi kendine uyarma başlar [21].”

Tristörlü Regülatörler

“Kompound bağlantısına ilave bir regülatör kullanarak generatör gerilimini sabit tutmak mümkündür. Senkron generatörün gerilim regülasyonu tamamen mikrokontrolör denetiminde gerçekleştirilir [21].”

Senkron Makinalarda Frekans ve Hız

“Statorda meydana gelen kutupların dönüş hızına senkron hız denir. Senkron hız, makinanın kutup sayısı ile ters orantılı, frekans ile doğru orantılıdır.

$$N_{syc} = \frac{120 \cdot f}{p}$$

N_{syc} : Senkron hız (Döner manyetik alanın hızı), d/dk

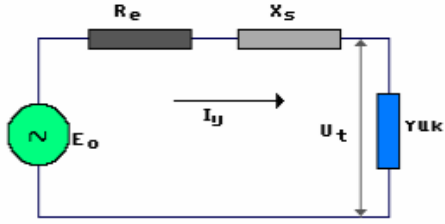
f : Frekans (Stator akımı frekansı), Hz

p : Kutup sayısı

Senkron makinalar genellikle çok büyük güçlü olarak yapılmaktadır. Bu makinaların güçlerini sınırlayan iki kistas ısınma ve rotor çevresel hızıdır. Makinayı oluşturan her bir malzemenin belli bir ısı dayanım sınırı ve hıza bağlı olarak kritik fırlama değeri vardır. Büyük güçlü alternatörlerde rotor çapı büyültülemediği için genellikle rotor uzunluğu arttırılır [21].”

Senkron Makinaların Eşdeğer Devresi

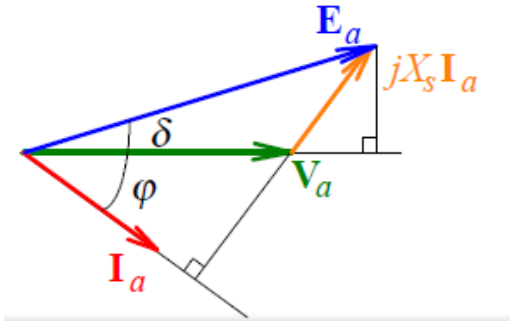
“Senkron makinalar yuvarlak ve çıkık kutuplu yapıldıklarından vektör diyagramları ile eş değer devreleri bazı değişiklikler gösterir. Ayrıca senkron makinanın alternatör ve motor olarak çalışma durumları ile her iki durumda omik, endüktif ve kapasitif çalışma durumlarında vektör diyagramları ayrı ayrı çizilebilir. Senkron makinalar genellikle üç fazlı imal edilirler fakat eş değer devreleri ve hesaplamalar bir faza göre yapılır. Yıldız bağlanmış üç fazlı senkron makina sargılarında rotorun dönmesi ile e.m.k indüklenir. Bunun sonucunda alıcılardan çeşitli akımlar geçer. Bu akımlar sargılarda omik ve endüktif gerilim düşümleri meydana getirmektedir. Endüvi sargılarında etkin direnç R_e 'de düşen gerilimden başka, sargıların L endüktansından dolayı da bir gerilim düşümü olur [21].”



- E₀:** Bir faz sargısının boştaki emk'si,
R_e: Bir faz eşdeğer etkin direnci
X_s: Bir faz senkron reaktansı (Kaçak akı + endüvi reaksiyonu)
I_y: Yük akımının
U_t: Yüklü çalışmadaki faz gerilimini, göstermektedir.

Şekil 3.7. Senkron makina eş değer devre şeması [21]

Güç ve Tork Eşitlikleri



Şekil 3.8. Senkron generatör fazör diyagramı [21]

$$P_{em} = T \cdot \omega_s = 3 \cdot E_a \cdot I_a \cdot \cos \phi$$

$$V_a = E_a - jX_s \cdot I_a$$

$$E_a \cdot \sin \zeta = X_s \cdot I_a \cdot \cos \phi$$

$$P_{em} = P_{out} = 3 \cdot V_a \cdot I_a \cdot \cos \phi$$

$$P_{em} = \frac{3 \cdot E_a \cdot V_a}{X_s} \cdot \sin \zeta$$

$$T = \frac{P_{em}}{\omega_s} = \frac{3 \cdot E_a \cdot V_a}{\omega_s \cdot X_s} \cdot \sin \zeta$$

3.2. Asenkron Generatörlü Sistemler

Asenkron makinalar genellikle motor olarak kullanılmakla beraber, generatör olarak kullanılma uygulamaları da bulunmaktadır. Eski nesil rüzgar türbinleri genellikle asenkron generatörlerden yapılmıştır. En çok kullanılan asenkron makinalar sincap kafesli ve rotoru sargılı (bilezikli) asenkron makinlardır.

Sincap Kafesli Asenkron Makinlar

“Sincap kafesli asenkron makinlar, rotorun üzerindeki oluklara gömülü olan çıplak çubukların her iki uçtan halka boyunca kısa devre edilmesi ile oluşturulur. Asenkron generatörün statoru ise üç faz gurubundan oluşan birçok sarıma yataklık yapar. Bu üç grup sargı fiziksel olarak stator etrafına yayılmıştır. Bu sargılar üzerindeki akım akışından dolayı rotor etrafında, çevresinde dönen bir manyetik alan oluşur. Döner manyetik alanın açısai hızı aynı zamanda senkron hızdır.

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

N_s : Senkron hız (Döner manyetik alanın hızı), d/dk

f : Frekans (Stator akımı frekansı), Hz

p : Kutup sayısı

Stator sargıları yüksek manyetik geçirgenliğe sahip bir nüve içerisindeki oluklara yerleştirilmiştir. Böylece yeterli miktardaki manyetik alan yoğunluğu düşük uyarma akımları ile elde edilebilir. Rotorda ise katı iletken çubuklar rotor nüvesindeki oluklara gömülmüşlerdir. Bu çubuklar her iki taraf uçları karşılıklı olarak iletken yüzükler tarafından kısa devre edilmişlerdir [22].”

Asenkron Generatörün Çalışma Prensipleri

“Stator manyetik alanı N_{sync} senkron hızı ile döner. Döner manyetik alanı ile rotor arasındaki bağıl hız her bir rotor dönüşünde gerilim indükler.

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Φ : Rotor dönüşlerini kesen manyetik akı miktarı

Bu indüklenen gerilim rotorda bir sirkülasyon akımı oluşturur. Rotor akımı ile stator akısı arasındaki etkileşim bir momente neden olur.

$$T = K \cdot \Phi \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2$$

K : Oransallık katsayısı

Φ : Stator akı genliği

I_2 : Rotor çubuklarındaki akımın genliği

$\cos\phi_2$: Rotor akımı ile rotor gerilimi arasındaki faz açısı

Rotor bu moment altında ivmeleneyecektir. Boşta çalışma durumunda rotor, stator döner alanı ile aynı hızda (senkron hızda) dönecektir. Bu hızda rotorda herhangi bir akım indüklenmez, dolayısı ile moment oluşturmaz. Yani bu noktada rotor dengede olup, sürekli olarak senkron hızda döner. Eğer rotor fan gibi mekanik bir yükü çalıştırıyor ise, yavaşlayacaktır. Fakat stator akısı her zaman senkron hızda döner ve rotora göre bağıl hızı vardır. Sonuçta elektromanyetik olarak indüklenen gerilim, akım ve moment rotorda üretilir. Buradaki moment, yükü sürmek için gerekli olan momente eşit olmak zorundadır. Makina bu durumda motor olarak çalışır.

Eğer rotoru bir rüzgar türbinine bağlarsak ve senkron hızdan yüksek bir hızda döndürürsek, rotorda indüklenen akım ve momentin yönü motor çalışma durumuna göre ters yönde olur. Bu durumda makina generatör olarak çalışır. Türbinin mekanik

gücünü elektrik gücüne çevirir ve stator uçlarına bağlı yükü besler. Eğer makina şebekeye paralel çalışıyor ise, şebekeye güç temin edecektir.

Makinanın generatör olarak çalışması için senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürülmesi gerekir. Asenkron makinalarda stator ile rotor arasında elektriksel bir bağlantı olmayıp, tamamen elektromanyetik endüksiyon prensibine göre çalışır. Statordaki yüksek gerilim sargıları kendi üzerinde kısa devre edilmiştir. Güç her iki sargı yönünde de akabilir. Bu hız kayma indisi ile ifade edilir.

$$s = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} = 1 - \frac{N_r}{N_s}$$

s : Rotorun kayması (Motor çalışmada pozitif, generatör çalışmada negatif)

N_s : Senkron hız

N_r : Rotor hızı

“s”, rotor kayma miktarı büyüdükçe elektromekanik enerji dönüşümü büyür ve elektriksel kayıp da artar. Elektriksel kayıp ısı şeklinde açığı çıktığından bu ısının rotordan uzaklaştırılması gerekir. Bu amaç ile genellikle fan kullanılır.

Sürekli hal işletme şartlarında ve “s” kaymasında asenkron generatörde bazı hızlar tanımlanır [22].”

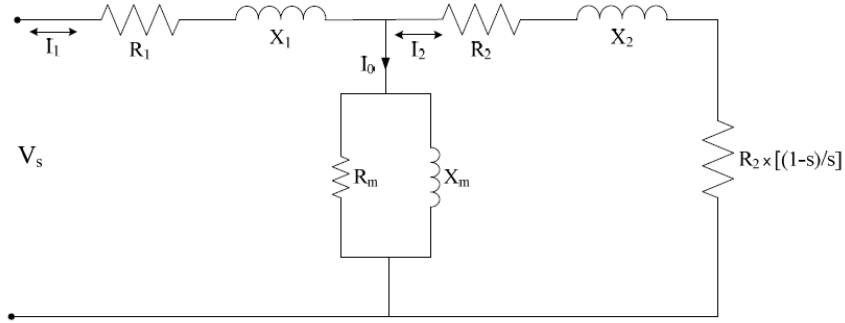
Stator akısı hızı : N_s

Rotor mekanik hızı : N_r = (1-s).N_s

Rotora göre stator akı hızı : s.N_s

Statora göre rotor akı hızı : N_s=N_r + s.N_s

Asenkron Generatörün Hız-Moment Karakteristiği



Şekil 3.9. Asenkron generatör eşdeğer devresi [22]

- I_1 : Stator akımı
 I_2 : Rotor akımı
 R_1 : Stator sargı direnci
 R_2 : Rotor direnci
 X_1 : Stator kaçak reaktansı
 X_2 : Rotor kaçak reaktansı

“Kayma miktarına bağlı olan “ $R_2 \cdot [(1-s)/s]$ ” direnci elektromekanik güç dönüşümünü temsil eder.

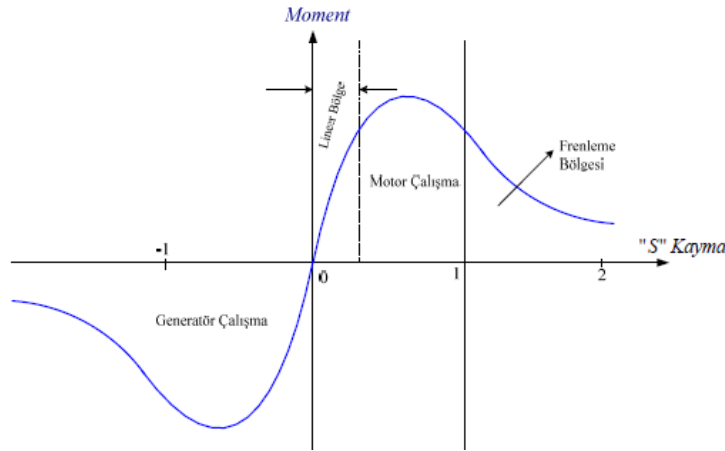
Üç fazlı bir sistem için güç dönüşümü : $P_{em} = 3 \cdot I^2 \cdot R_2 \cdot [(1-s)/s]$ watt

Mekaniksel moment : $T_{em} = P_{em} / \omega$

T_{em} : Rotorda oluşan elektromekanik moment (Newton-metre)

ω : Rotorun açısal hızı, $2 \cdot N_s \cdot \pi \cdot (1-s) / 60$

$T_{em} = 180 / (2 \cdot \pi \cdot N_s) \cdot I^2 \cdot (R_2 / s)$ (Newton-metre)



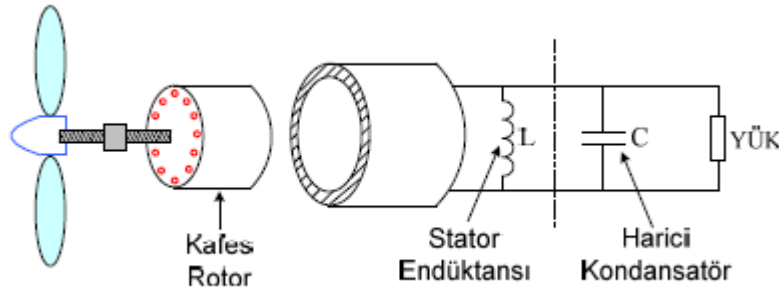
Şekil 3.10. Asenkron makina moment-kayma karakteristiği [22]

Makina $s > 1$ bölgesinde çalışıyor ise motor karakteristiği gösterir, $s < 1$ bölgesinde çalışıyor ise generatör karakteristiği gösterir [22].”

Kendinden uyarımlı asenkron generatörler

“Eğer stator üç fazlı uyarma akım sistemi ile birlikte dizayn edilirse mili rüzgar türbinine ve dişli kutusuna bağlı olan makina başlangıçta motor olarak çalışmaya başlayacak ve senkron hızı yakalama yönünde hızını arttıracaktır. Rüzgar hızı generatör miline senkron hızı aşacak seviyede etki edince, asenkron makina otomatik olarak generatör çalışmaya geçecektir. Elde edilen elektriksel güç stator sargıları üzerinden şebekeye aktarılacaktır. Eğer makina şebeke ile paralel çalışıyor ise, mıknatıslama akımı şebekeden temin edilir. Bununla birlikte, makina harici bir kondansatör bağlanarak makinanın ihtiyacı olan uyarma akımı şebekeye ihtiyaç olmaksızın sağlanabilir.

Kendinden uyarımlı generatörün temel mantığı, stator uyarma sargısının sahip olduğu endüktans ile ilave edilen harici kondansatör arasında rezonans durumu oluşturmaya dayanır. Buradaki osilasyon frekansı yani rotor uyarma frekansı harici kondansatör boyutuna bağlıdır. Buradaki kondansatör tek yönlü olarak rüzgar türbin hızını kontrol etmeye imkan verir [22].”



Şekil 3.11. Kendinden uyarımlı asenkron generatör [22]

Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generatörler

“Rotor üzerinde statorda bulunan sargılara benzer üç fazlı sargılar mevcuttur. Sargılar, rotor üzerindeki oluklar boyunca düzgün olarak dağıtılır ve genelde yıldız bağlıdır. Rotor üzerindeki sargının diğer uçları ise bilezik ve fırçalar üzerinden direnç veya frekans konvertörüne bağlıdır. Böylece bu tip asenkron makinaların rotor ve statorları birbirinden farklı frekanslara sahip iki farklı alternatif kaynağa bağlanabilirler. Bu tür makinalar çift beslemeli makinalar olarak adlandırılırlar. Bu makinalar, motor olarak çalıştırılırken değişken hızlı pompaları sürmede kullanılabilirler, aynı zamanda rüzgar türbinleri tarafından sürülen değişken hızlı generatör olarak da kullanılabilirler [22].”

3.3. Evirici Tabanlı Sistemler

“Bazı dağınık üretim sistemleri bağlandıkları şebeke ile senkron olmayan gerilim kademelerinde güç üretebilirler. Evirici tabanlı sistemlerin amacı senkron olmayan dağınık üretim çıkışı ile şebeke arayüzünü oluşturmaktır. Senkron olmayan gerilim kademelerinde güç üretimi iki şekilde olabilir.

DC-AC eviricilerin kullanıldığı dağınık üretim uygulamaları; DC generatörler, yakıt pilleri, fotovoltatik cihazlar ve depolama bataryalarıdır. Bu uygulamalarda DC gerilim üretilir ve DC-AC evirici sayesinde alternatif gerilime dönüştürülür. AC-

DC-AC eviricilerin kullanıldığı dağınık üretim uygulamaları ise senkron olmayan hız ile çalışan senkron generatör veya asenkron generatördür [23].”

DC-AC Güç Dönüştürücüler

“Bu dönüştürücülerde genellikle giriş gerilimi evirilmemiş DC voltajdan elde edilir. DC-AC güç dönüştürücülerin çıkışı, şebeke frekansı ve gerilim genliği bağlı olduğu şebeke ile uyumludur. Bir çok küçük ve yenilenebilir dağınık üretim sistemi bağlantısı bu şekilde bir ara yüz kullanmaktadır [23].”

AC-DC-AC Güç Dönüştürücüler

“Bu uygulamada eviricinin giriş frekansı veya gerilimi bağlı olduğu şebeke gereksinimlerini karşılamaz. Bu yüzden güç dönüşümü yapılarak eviricinin çıkışı bağlanacak şebekenin frekansına ve gerilim genliğine göre ayarlanır. Bu uygulama genellikle mikrotürbin uygulamalarında yaygındır. Mikrotürbin alternatörleri genellikle kilohertz mertebesinde elektrik gücü üretmektedir.

Eviriciler dağınık üretim sisteminin kapasiteleri ile uyumlu olan diyot, transistör ve tristörlerden meydana gelmektedir. Bu cihazlar doğrultucu (AC gerilimi DC gerilime çeviren dönüştürücü), evirici (DC gerilimi AC gerilime çeviren dönüştürücü) veya cyclodönüştürücü (bir frekansdaki AC gerilimi başka bir frekansdaki AC gerilime dönüştürücü) olarak üretilmektedirler. Bazıları çalışma durumuna geçmek için şebeke kaynağına ihtiyaç duymakla beraber bir kısmında oluşabilecek bir hata sonunda şebekeye ihtiyaç duymadan yine normal şartlarda çalışması mümkündür. Güç dönüştürücülerin döner makinalara göre en büyük avantajı daha yüksek verimle ve güvenilirlik ile çalışmalarıdır. Yine bu teknoloji, koruma röleleri koordinasyonunda ve haberleşmede esnek yetileri sayesinde büyük avantajlar sunar. Evirici sistemlerin hemen hemen hiç ataleti yoktur ve değişiklik durumundaki sistem cevabı beslendiği kaynaklar ile sınırlıdır. Enerji depolama sistemleri ile çalışmaları durumunda sistem cevapları çok hızlı olmakla beraber, birincil enerji olarak örneğin yakıt hücresi kullanılıyor ise sistem cevabı rampalıdır. Evirici tabanlı

dönüştürücülerde senkron makinalardaki gibi çıkış gerilim genliği ve frekans şebeke gerilimi ile aynı seviyede olmalıdır. Fakat evricilerde atalet bulunmadığı için bu değerler senkron makinalara göre biraz daha esnek olabilmektedir. Voltaj regülatörleri çok hızlı olduğu için güç faktörü uygulaması 0.0 “lead” durumundan 0.0 “lag” durumuna kadar geniş bir yelpazede kontrol yapılabilmektedir.

Dağınık üretim sistemlerinde kullanılan bazı eviriciler anahtarlama frekansı olarak 3 kilohertzden, 6 kilohertze kadar kullanabilmektedir. 50 hertz olan şebeke frekansı ile kıyaslandığında, bu eviriciye çıkış akımını ve çıkış dalga formunu 100 katdan daha fazla mertebelerde örneklemesine ve kontrol etmesine imkan tanır. Bu uygulamaya imkan tanıyan mikroişlemci tabanlı eviriciler kısa devre durumlarında, kısa devre akımlarını limitlemeye yardımcı olmaktadır. Bu özellik koruma kordinasyonu için bir avantaj sunar.

Kendinden komüteli evirici bir induktans aracılığıyla voltaj kaynağı olarak şebekeye bağlanabilir. Bu dönüştürücüler iki çeşittir, adımli kare dalga doğrultucular ve anahtarlama modlu dönüştürücülerdir.

Adımlı kare dalga dönüştürücüler genellikle çok darbeli ayarlanırlar. Şebeke bağlantısından önce harmonik elemesi yapmak için faz kaydırma gibi teknikler uygulanır. Anahtar modu dönüştürücüler induktans üzerinden voltaj kaynağı olarak şebeke bağlantısı yapılan dönüştürücü modelidir. Günümüzdeki dağınık üretim sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Alternatif gerilim dalga formu elde edilmek için PWM tekniği ve IGBT transistörler kullanılır.

Adım kare dalga ve anahtar modu dönüştürücülerde gerçek ve reaktif güç kontrol prensibi hemen hemen aynıdır. Senkron makinalarda olduğu gibi, tork açısı kontrolü ve alan uyarım kontrolü kullanılmaktadır.

Senkron generatörlerde gerçek güç iç makine açısı ile, reaktif güç ise alan uyarım etkisi ile kontrol edilmektedir. Endüktans ile bağlı statik gerilim kaynağında gerçek ve reaktif güç akış kontrolü de aynı mantık ile yapılmaktadır. Bağlantı

endüktansından önceki dönüştürücü gerilimi V_g olsun, sistem terminal gerilimi V_s ve λ açısına göre sistemin “lead” veya “lag” durumunda çalıştığı belirlenir. Resistif dirençler ihmal edilerek bağlantılar için eşitlikler verilir ise;

$$P = [V_g V_s \sin(\lambda)] / X$$

$$Q = V_s^2 / X [1 - (V_g / V_s) \cos(\lambda)]$$

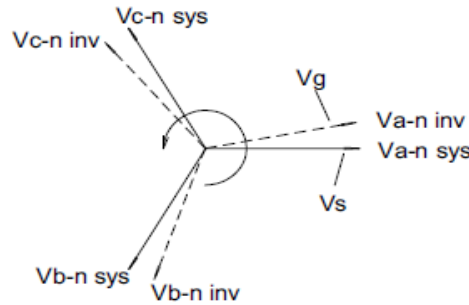
P : Şebekeye aktarılan gerçek güç

Q : Şebekeye aktrarılan reaktif güç

Dağınık üretim sisteminin gerçek güç enerji transferi şebeke gerilimini “lead” eden dönüştürücü gerilimi durumunda λ açısının ayarlanması ile kontrol edilir. Dönüştürücüden çekilen reaktif güç, doğrudan iç geriliminin (V_g), sistem terminal gerilimine (V_s) oranı ve λ açısı ile ilintilidir. Sistem aşağıdaki eşitlik durumuna getirilirse reaktif güç alış veriş olmaz ve sistem birim güç faktörü ile çalışır.

$$V_g \cos(\lambda) = V_s$$

İç geriliminin (V_g), sistem terminal geriliminin (V_s) üstüne çıkması durumunda, dönüştürücü sistemden reaktif enerji çekmekten ziyade, şebekeye reaktif güç sağlar. Bu bağlamda, dağınık üretim sistemi şebekeye sadece gerçek güç vermek ile kalmaz reaktif güç takviyesi de yapabilir.



Şekil 3.12. Eviricinin endüktans şebekeye bağlanması oluşan fazör diyagramı [23]

4. DAĞINIK ÜRETİM SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ MEVZUATLAR

Dağınık üretim sistemlerinin şebekeye bağlanmasında bağlantı gücü, bağlantı noktası, bağlantı izni ve santralin gereksinimleri mevzuatlar ile belirlenmiştir. Son günlerde EPDK tarafından yayımlanan “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik” dağınık üretim sistemlerinin bağlantılarının artmasına zemin hazırlamıştır. Bu mevzuat dışında ve mevzuatın yetersiz kaldığı durumlarda genellikle dünyaca kabul edilmiş olan IEEE tarafından yayımlanan “Dağınık Üretim Kaynaklarının Elektrik Güç Sistemlerine Bağlantısına İlişkin Standartlar” referans alınacaktır.

Tezin dördüncü bölümünde EPDK ve IEEE tarafından yayımlanan standartlar referans alınarak dağınık üretim sistemlerinin bağlantı ve çalışma durumlarında sağlaması gereken gerek ve şartlar irdelenecektir. Ayrıca oluşturacağımız simülasyon modeli için bağlantı gücü kıstasları ve çalışma özellikleri belirlenecektir.

4.1. (EPDK) Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik

“Bu Yönetmelik, elektrik piyasasında; yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulacaklara ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulanlara uygulanacak usul ve esaslar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ve mikro kojenerasyon tesisi kuran tüzel kişilerin ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisinin sisteme verilmesi halinde uygulanacak teknik ve mali usul ve esasları kapsar [24].”

Orta gerilim ve alçak gerilim dağıtım şebekelerinde dağınk üretim santralinin bağlantı noktası ve gücü

Epdk'nın yönetmeliği azami 500 kW olan üretim tesislerini kapsamaktadır. Orta gerilim ve alçak gerilim kademesinden yapılacak bağlantı güçleri farklılık göstermektedir. Madde-8 uyarınca kurulacak dağınk üretim sisteminin gücü 11 kW ve altında olması halinde alçak gerilim şebeke kısmından bağlantı yapılacaktır. 11 kW üzerinde olan dağınk üretim tesisleri, teknik değerlendirmeye göre şebekenin alçak gerilim veya orta gerilim kısmından bağlanabilmektedir.

Bir dağıtım transformatöründe bir kişiye bir yıl içinde tahsis edilebilecek kapasiteye ilişkin çizelge aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1. Bir dağıtım transformatöründe bir kişiye bir yıl içinde tahsis edilebilecek kapasiteye ilişkin tablo [24]

Trafo Gücü (t.g.) (kVA)	Bağlanabilir Kapasite (kW)	Toplam	Bir kişiye bir yıl içerisinde tahsis edilebilecek kapasite (kW)
t.g. < 100	t.g. x 0,3		7,5
$100 \leq \text{t.g.} \leq 1000$			t.g. x 0,1
t.g. >1000			100 kW

“Bağlanabilirlik oranı; dağıtım sistemine bağlı üretim tesislerinin kısa devre katkısı hariç bağlantı noktasındaki üç faz kısa devre akımının, bağlanacak üretim tesisinin nominal akımına bölümü ile elde edilecek değeri belirtir. Kurulu gücü 500 kW üzeri kojenarasyon tesisleri için 35, diğer üretim tesisleri için 100 değerinin üzerinde olması gerekmektedir [24].”

Yapılacak olan simulasyon modelimizde alçak gerilim seviyesinden bağlanacak dağınk üretim sistemi gücü 20 kVa olarak seçilecektir. Trafo güçlerimiz 630 kVa olduğundan, orta gerilim seviyesinden bağlanacak dağınk üretim sistemi gücü 200 kVa olarak seçilecektir.

Orta gerilim ve alçak gerilim dağıtım şebekelerinde dağılık üretim işletim ile ilgili standartlar

“Dağılık üretim işletim ile ilgili standartlar Madde-7, Madde-10 ve Madde-13 içeriğinde belirtilmiştir.

Bağlanacak dağılık üretim santrali, sayacın bulunduğu nokta itibarıyla dağıtım sisteminin gerilim seviyesi ve frekans düzeyi ile uyumlu çalışacak, akım ve gerilim harmonikleri ile fliker etkisi bakımından diğer dağıtım sistemi kullanıcılarına ulumsuz etki yapmayacaktır. Üretim santralının topraklama sistemi dağıtım sisteminin topraklama sistemine ve ilgili teknik mevzuata uygun olarak yapılması gerekmektedir. Orta gerilim seviyesinden bağlantı yapacak dağılık üretim santrallerinin gerilim, frekans, aktif ve reaktif güç değerlerine erişebilmek için izleme sistemi kurulmalıdır. Evirici ile bağlanacak üretim tesislerinin, dağıtım sistemine enjekte edeceği DC akım miktarının nominal akımın binde beşini geçmemesi gerekmektedir. Ölçüm yapılmak üzere bağlantı noktasına çift yönlü sayaç takılması gerekmektedir [24].”

4.2. (IEEE) Dağılık Üretim Kaynaklarının Elektrik Güç Sistemlerine Bağlantısına İlişkin Standartlar

IEEE tarafından yayımlanan standartlar birincil veya ikincil şebeke farketmeksizin şebeke ile bağlantı noktasında 10MVA veya daha küçük dağılık üretim santrallerine hitaben yazılmıştır. Fakat bu standartta bağlantı gücü için kesinlikle bir limit verilmemiştir.

Bağlantı gücü

“Bağlanacak santrallerin şebeke ile uyumu “Stiffness ratio” yani “Katılık oranı” ile ifade edilmiştir. Katılık oranını, şebekenin dağılık üretim santrallerinden kaynaklanan gerilim değişimlerine karşı koyabilme yetisi olarak tanımlayabiliriz. Bağlantı noktasında şebekenin ve dağılık üretim kaynağının göreceli güçleri iki sistemin kilovoltamper cinsinden kısa devre güçleri ile ifade edilir [23].”

$$\text{Katılık oranı} = \frac{Scc(kVa) + SccDü(kVa)}{SccDü(kVa)} = \frac{Scc(kVa)}{SccDü(kVa)} + 1 \quad [23]$$

$Scc(kVa)$: Şebeke tarafı kısa devre gücü

$SccDü(kVa)$: Dağılık üretim tarafı kısa devre gücü

Gerilim Regülasyonu

“Dağılık üretim santrali şebekeye bağlantı noktasında aktif olarak gerilim regülasyonuna katılmayacaktır. Dağılık üretim santrali şebeke servis gerilimini lokal mevzuatlarla belirlenmiş sınırlar haricine çıkarmayacaktır [23].”

İzin verilebilir gerilim düşümü şartları alçak gerilim elektrik dağıtım şebekelerinde %5, orta gerilim şebekelerde ise %10 olarak kabul edilmektedir. Simülasyonlarımızda gerilim regülasyonunu daha iyi takip edebilmek amaçlı yüksek gerilim düşümü olan modeller irdelenecektir.

Topraklama

“Dağılık üretim santrali bağlantısının topraklama düzeni şebeke alanına bağlandığı ekipmanın limitlerini aşacak şekilde gerilim yükselmelerine sebepe olmayacaktır ve mevcut toprak arıza koruma kordinasyonunu bozmayacaktır [23].”

Senkronizasyon

“Dağılık üretim santrali şebeke ile bağlantı noktasında $\pm 5\%$ gerilim regülasyonu dahili dışında gerilim dalgalanmalarına sebep olmadan şebeke ile paralel çalışacaktır ve şebekede flicker (titreşim) gereksinimlerini karşılayacaktır.

Senkronizasyon, dağınık üretim sistemini şebeke ile paralel çalıştırmadan önce, gerilim genliğinin, faz açısının ve frekansın şebeke değerlerine getirilmesine denir. Senkron generatörler için şebeke senkronizasyonu önemli bir konudur. Şebeke ile paralel çalışmaya bağlamadan önce, şebeke gerilimi, şebeke frekansı ve şebeke faz açısı ile eş bir çıkış ürettiyor olması gerekmektedir. Asenkron generatörler için şebeke ile paralellemeden önce generatörün senkron hızın biraz üstünde bir hızla çalışıyor olması yeterlidir. Çoğu evirici tabanlı santraller şebekenin mevcut olduğu yerde basitçe gerilim üretebilir [23].”

Çizelge 4.2. Senkron bağlantı için şebeke ile senkronizasyon limitleri [23]

Aggregate rating of DR units (kVA)	Frequency difference (Δf , Hz)	Voltage difference (ΔV , %)	Phase angle difference ($\Delta \Phi$, °)
0–500	0.3	10	20
>500–1500	0.2	5	15
>1500–10 000	0.1	3	10

Ters Enerjilendirme

“Dağınık üretim sistemi şebeke enerjisiz iken şebekeye enerji vermeyecektir [23].”

İzleme ve Takip

“250 kVa ve daha büyük güçlü dağınık üretim santrallerinin bağlantı noktasında, bağlantı durumlarını, transfer edilen gerçek ve kapasitif gücü ve bağlantı noktasındaki gerilimi gösteren izleme düzeneği kurulacaktır [23].”

Santral statülerinin görüntülemek ve ihtiyaç durumunda veri transferi ve uzaktan müdahaleler yapmak amacı ile SCADA sistemleri kurulmaktadır. SCADA sistemleri santralin işletilmesinde operatöre bir çok kolaylık sunar.

İzolasyon Mekanizması

“Gerektiği durumlarda dağıtık üretim sisteminin şebekeden izolasyonu için, operatör tarafından sürekli ulaşılabilir, kilitlenebilir bir izolasyon mekanizması bulunması gerekmektedir [23].”

Elektromanyetik Gürültülere Karşı Koruma

“Dağıtık üretim şebeke bağlantı sistemi IEEE C37.90.2 stardartında belirtilen elektromanyetik gürültürelere karşı dayanabilecek kapasitede olmalıdır.Gürültüden etkilenme sonucu bağlantı sisteminde durum değişimi veya operasyonda aksama meydana gelmemelidir [23].”

Dalgalanma Dayanım Performansı

“Dağıtık üretim şebeke bağlantı sistemi IEEE C37.90.1 stardartında belirtilen gerilim ve akım dalgalanmalarına karşı dayanabilecek kapasitede olmalıdır [23].”

Şebekede bir çok dağıtık üretim sistemi bulunması durumunda ve bu santrallerin çok sık zaman aralıklarında şebekeye girip çıkmaları sonucu şebekede yoğun olarak dalgalanmalar meydana gelecektir.

Şebeke Paralleleme Sistemi

“Şebeke bağlantı paralelleme cihazı bağlantı yapacağı şebeke geriliminin %220 değerine kadar dayanabilecek yapıda olmalıdır [23].”

Şebekede Oluşabilecek Hata Durumu

“Dağınık üretim sistemi şebekede oluşabilecek hata durumunda bağlı olduğu şebekeye enerji vermeyi durduracaktır [23].”

Şebekede Tekrar Kapama Koordinasyonu

“Herhangi bir hata durumunda şebekede tekrar kapama operasyonu gerçekleşmeden önce dağınık üretim sistemi şebekeye enerji vermeyi kesecektir [23].”

Gerilim

“Şebeke bağlantı sistemi koruma fonksiyonları her faz-faz arası gerilimin şebekeye ait efektif (Rms) değerini veya ana frekans değerini tespit edecektir. Tek faz sistemler için faz-nitr gerilim tespit edilecektir. Tablo 4.3.’de verilen gerilim sınırları dışında olması durumunda, dağınık üretim sistemi verilen temizleme süreleri içerisinde şebekeye enerji vermeyi kesecektir. Temizleme süresi anormal çalışma durumu ile enerjinin kesilmesi arasındaki zamanı göstermektedir. Maksimum kapasitesi 30 kW ve daha küçük olan dağınık üretim sistemleri için, gerilim ayarı sabit veya alan ayarlamalı olabilir. 30 kW üstü dağınık üretim sistemleri için gerilim ayarı alan ayarlamalı olacaktır [23].”

Çizelge 4.3. Anormal gerilim durumunda bağlantı sistemi cevabı [23]

Voltage range (% of the base voltage ^a)	Clearing time ^b (s)
V<50	0.16
50≤V<88	2.00
110<V<120	1.00
V≥120	0.16

^a Base voltages are the nominal system voltages stated in ANSI C84.1 Table 1.

^b DR≤30 kW, maximum clearing times; DR>30 kW, default clearing times.

Frekans

“Şebeke frekansı Çizelge 4.4.’de verilen frekans sınırları dışında olması durumunda, dağıtık üretim sistemi verilen temizleme süreleri içerisinde şebekeye enerji vermeyi kesecektir. Temizleme süresi anormal çalışma durumu ile enerjinin kesilmesi arasındaki zamanı göstermektedir. Maksimum kapasitesi 30 kW ve daha küçük olan dağıtık üretim sistemleri için, frekans ayarı sabit veya alan ayarlamalı olabilir. 30 kW üstü dağıtık üretim sistemleri için gerilim ayarı alan ayarlamalı olacaktır [23].”

Çizelge 4.4. Anormal frekans durumunda bağlantı sistemi cevabı [23]

DR size	Frequency range (Hz)	Clearing time ^a (s)
≤30 kW	>60.5	0.16
	<59.3	0.16
>30 kW	>60.5	0.16
	<{59.8 to 57.0} (adjustable set point)	Adjustable 0.16 to 300
	<57.0	0.16

^a DR ≤30 kW, maximum clearing times; DR >30 kW, default clearing times.

DC Akım Sınırlaması

“Dağıtık üretim sistemi ve bağlantı sistemi şebekeye enjekte edilen maximum akım değerinin %0,5 değerinden fazla olmayacaktır [23].”

İstenmeyen Ada Durumu

“Dağıtık üretim sisteminin enerjilendirdiği şebeke bölümünde oluşacak istenmeyen ada modunda, dağıtık üretim sistemi ada modu çalışmayı tespit edecek ve ada modu oluşumundan iki saniye içerisinde şebekeyi enerjilendirmeyi durduracaktır [23].”

Gerilim Kırprışım Sınırlaması

“Dağılık üretim sistemi şebekede bulunan diğer abonelerde istenmeyen gerilim kırprışmalarına sebep olmayacaktır [23].”

Çizelge 4.5. Kabul edilebilir gerilim değışim seviyesi [23]

Voltage changes per minute (r)	$(\Delta S/SSC)_{\max}$ (%)
$r > 200$	0.15
$10 \leq r \leq 200$	0.23
$r < 10$	0.46

Harmonikler

“Dağılık üretim sistemi dengeli lineer yükleri beslerken, şebekeye enjekte edilen harmonik akımları Tablo 4.6.’da verilen değerler dışına çıkmayacaktır [23].”

Çizelge 4.6. Maksimum harmonik bozulma akım oranı [23]

Individual harmonic order (odd harmonics) ^b	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	Total demand distortion
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

^a I = The greater of the local EPS maximum load current integrated demand (15 min or 30 min) without the DR unit or the DR unit rated current capacity (transformed to the PCC when a transformer exists between the DR unit and the PCC).

^b Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits shown.

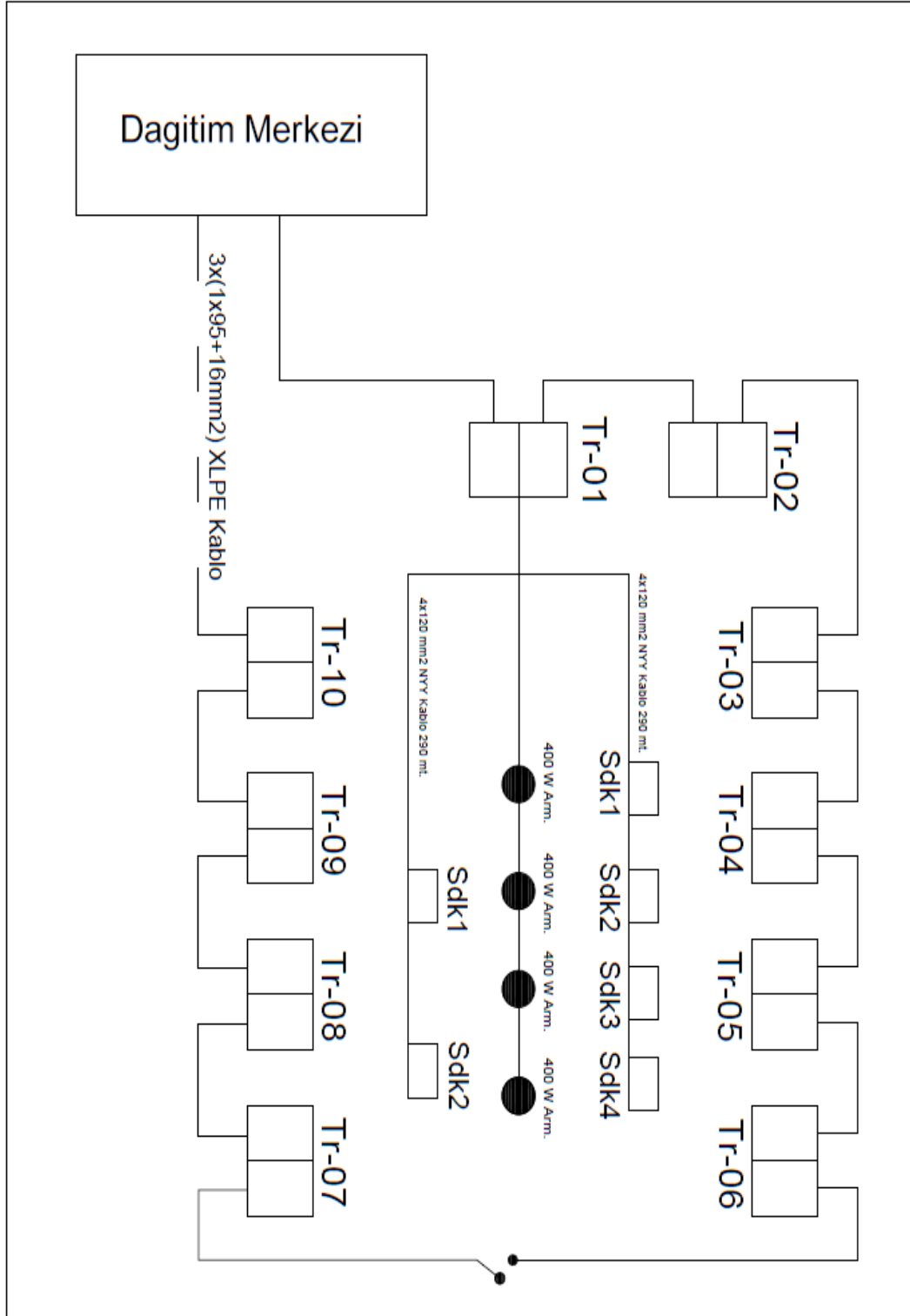
5. MODELLENECEK ŞEBEKELER VE BAĞLANACAK SİSTEMLERİN BAĞLANABİLİRLİK ANALİZİ

Bu bölümde simülasyon çalışmasında kullanılacak olan orta gerilim trafo bölgesi ve alçak gerilim dağıtım şebesine ait sistemler anlatılarak, bu şebekelere bağlanacak olan dağıtım üretim sistemleri için kısa devre güçleri ve mevzuat kısıtlarına göre bağlanabilirlik analizleri yapılacaktır.

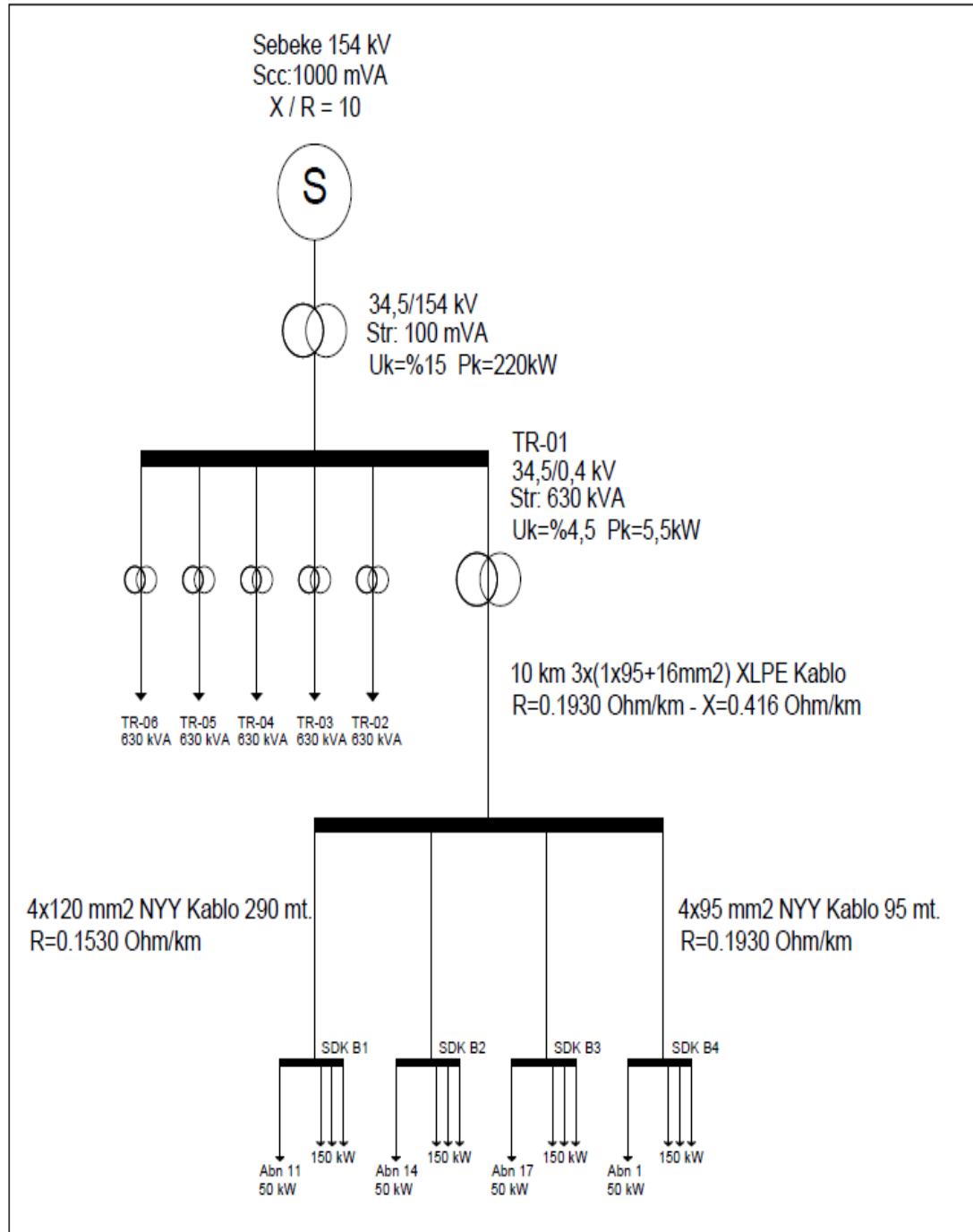
5.1. Orta Gerilim Trafo Bölgesi ve Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesi Modeli

Modellenecek orta gerilim şebekesi, iletim sistemine bağlı olan bir indirici merkez trafosu ve buna bağlı olan dağıtım merkezi ile başlar. Daha sonra bu dağıtım merkezinden çıkan bir fider kolunun üzerinde bulunan on adet 630kVa dağıtım trafosundan oluşmaktadır.

Alçak gerilim şebekesi ise, yine orta gerilim şebekesi dahilinde bulunan on adet dağıtım trafosundan birine ait olan alçak gerilim çıkışı ile başlayıp, bu trafoya bağlı olan saha dağıtım kutularını ve şebeke kullanıcısı aboneleri kapsamaktadır.



Şekil 5.1. Orta gerilim ve alçak gerilim şebeke krokisi



Şekil 5.2. Orta gerilim ve alçak gerilim şebekeye ait tek hat şeması

5.1.1. Orta gerilim trafo bölgesi

Orta gerilim trafo bölgesi modeli; eş değer iletim şebekesi, indirici merkez güç trafosu, dağıtım merkezi, fider kolları ve dağıtım trafolarından oluşmaktadır.

Eş değer iletim şebekesi modeli

Yapacağımız benzetme çalışmasında bütün iletim şebekesini modelleyemeyeceğimiz için Türkiye iletim sistemine ait yaklaşık değerler olarak modellenecektir. Şebeke gerilim 154kV olarak, şebeke frekansı ise 50 Hertz olarak alınmıştır. Sistemin toplam kısa devre gücü S_{cc} : 1000 MVA ve X/R oranı 10 olarak kabul edilmiştir.

İndirici merkez güç trafosu modeli

Benzetme çalışmasında kullanılacak olan indirici merkez güç trafosu 100MVA gücünde, 154/34,5kV gerilim mertebesinde çalışan bir trafo olarak kabul edilmiştir. Trafo empedansı ve kısa devre akımı hesaplamalarında kullanılacak olan nispi kısa devre gerilimi (U_k) %15 olarak seçilmiştir. Ayrıca trafonun yükte kayıp miktarı $P_k = 220$ kW olarak seçilmiştir.

Dağıtım trafoları arası kablo modeli

Orta gerilim trafo bölgesinde trafolar arası kablo irtibatı 1x95/16 mm² XLPE kablo bulunduğu kabul edilmiştir. Söz konusu kabloya ait direnç ve endüktans parametreleri 0,1930 Ω /km ve 0,416 mH/km olarak belirlenmiştir.

Dağıtım trafoları modeli

Dağıtım trafo bölgesini oluşturan on adet dağıtım trafosunun tamamı 630 kVA gücünde, 34,5 / 0,4 kV gerilim mertebesinde çalışan trafolar olarak kabul edilmiştir. Trafo empedansları ve kısa devre akımı hesaplamalarında kullanılacak olan nispi kısa devre gerilimi (U_k) %4,5 olarak seçilmiştir. $P_k = 5,5$ kW olarak seçilmiştir.

5.1.2. Alçak gerilim dağıtım şebekesi

Alçak gerilim dağıtım şebekesi dağıtım trafosunun alçak gerilim çıkış barasından itibaren saha dağıtım kutularını, bu dağıtım kutularının irtibatını yapan alçak gerilim kablolarını, şebeke aboneleri kutularını ve abone kablolarını içermektedir.

Saha dağıtım ve şebeke abone kutuları modeli

Alçak gerilim dağıtımın yapıldığı saha dağıtım kutuları benzetmemiz ölçü hücreleri olarak modellenmiştir. Herhangi bir empedans içermemektedir.

Saha dağıtım ve şebeke abone kutuları arası kablo modeli

Saha dağıtım kutuları arası kablo irtibatı trafodan ilk saha dağıtım kutusuna 4x120mm² NYY kablo ile, ikinci saha dağıtım kutusuna 4x120mm² NYY kablo ile, daha sonraki iki adet saha dağıtım kutusuna 4x95mm² NYY kablo ile irtibat yapılmıştır. Saha dağıtım kutularından şebeke abonelerine irtibat ise 4x16mm² NYY kablo ile yapılmıştır. Alçak gerilim kablolarının direnç değerleri, endüktans değerlerine göre çok yüksek olduğu için endüktans değerleri ihmal edilip sadece direnç değeri hesaba katılacaktır. 4x120mm² NYY kablo için direnç değeri 0,1530 Ω /km, 4x95mm² NYY kablo için direnç değeri 0,1930 Ω /km ve 4x16mm² NYY kablo için direnç değeri 0,787 Ω /km'dir.

5.2. Kısa Devre Hesapları ve Dağınık Üretim Sistemi Bağlantısı İçin Bağlanabilirlik Analizi

Dağınık üretim sistemlerinin şebekeye bağlantı gücünün karar verilmesinde kısa devre gücü önemli bir ölçüttür. Dağınık üretim sistemlerin şebekeye bağlanmasından sonra oluşabilecek arızalarda meydana gelen kısa devre güçleri mevcut şebeke kısa devre güçlerine göre daha büyük olur. Normal şebeke kısa devre şartlarına göre seçilmiş olan ekipmanlar koruma bakımından yeterli olmayabilmektedir. Dağınık

üretim içeren ve içermeyen durumlarda şebeke üzerindeki bütün noktalarda kısa devre güçlerinin bilinmesi bu açıdan önem arz etmektedir.

İletim sistemi eş değer devre kısa devre gücü

$$U_{\phi} = 154/34,5 \text{ kV} \quad S_{cc} = 1000 \text{ MVA} \quad X_{\phi}/R_{\phi} = 10 \text{ Ohm}$$

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\phi}^2}{S_{cc}} = \frac{34,5^2}{1000} = 1,190$$

$$X_{\phi} = \frac{Z_{\phi}}{1,005} = \frac{1,190}{1,005} = 1,184 \text{ Ohm}$$

$$R_{\phi} = 0,1 X_{\phi} = 0,1 \times 1,184 = 0,1184 \text{ Ohm}$$

$$I_{k\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\phi}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 1,190} = 16,738 \text{ kA}$$

İndirici merkez güç trafosu kısa devre gücü

$$U_{\phi} = 154/34,5 \text{ kV} \quad S_{tr} = 100 \text{ MVA} \quad U_{kr} = \%15 \quad P_k = 220 \text{ kW}$$

100 MVA trafonun %U_r omik direnci:

$$\%U_r = \frac{P_k}{S_{tr}} \times 100 = \frac{220 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^6} = \%0,22$$

100 MVA trafonun %U_x omik reaktansı:

$$\%U_x = \sqrt{10^2 - 0,22^2} = \%9,99$$

$$R_{tr} = \frac{U_r \cdot U_{tr}^2}{100 \cdot S_{tr}} = \frac{0,22 \cdot 34,5^2}{100 \cdot 100} = 0,0261 \text{ Ohm}$$

$$X_{tr} = \frac{U_x \cdot U_{tr}^2}{100 \cdot S_{tr}} = \frac{9,99 \cdot 34,5^2}{100 \cdot 100} = 1,189 \text{ Ohm}$$

$$Z_{tr} = \sqrt{R_{tr}^2 + X_{tr}^2} = \sqrt{0,0261^2 + 1,189^2} = 1,414 \text{ Ohm}$$

$$Z_{34,5 \text{ Bara}} = \sqrt{X_{34,5 \text{ Bara}}^2 + R_{34,5 \text{ Bara}}^2} = \sqrt{(1,184 + 1,189)^2 + (0,1184 + 0,0261)^2} = 2,393 \text{ Ohm}$$

$$I_{k\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\phi}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 2,393} = 8,323 \text{ kA}$$

Tr-1 dağıtım trafosu kısa devre gücü

10 km 3x(1x95+16mm²) XLPE Kablo İçin Empedans Değerleri:

$$R_{Tr1-Hat} = 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 10 \text{ Km} = 1,930 \text{ Ohm}$$

$$X_{Tr1-Hat} = 0,4160 \text{ Ohm/Km} * 10 \text{ Km} = 4,160 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr1-Hat} = \sqrt{R_{Tr1-Hat}^2 + X_{Tr1-Hat}^2} = \sqrt{1,930^2 + 4,16^2} = 4,585 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr1-34,5Bara} = Z_{34,5Bara} + Z_{Tr1-Hat} = 2,393 + 4,585 = 6.978 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\text{ş}}'' = \frac{U_{\text{ş}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{ş}}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 6,978} = 8,323 = 2,854 \text{ kA}$$

Tr-2 dağıtım trafosu kısa devre gücü

20 km 3x(1x95+16mm²) XLPE Kablo İçin Empedans Değerleri:

$$R_{Tr2-Hat} = 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 20 \text{ Km} = 3,860 \text{ Ohm}$$

$$X_{Tr2-Hat} = 0,4160 \text{ Ohm/Km} * 20 \text{ Km} = 8,320 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr2-Hat} = \sqrt{R_{Tr2-Hat}^2 + X_{Tr2-Hat}^2} = \sqrt{3,860^2 + 8,320^2} = 9,171 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr2-34,5Bara} = Z_{34,5Bara} + Z_{Tr2-Hat} = 2,393 + 9,171 = 11,564 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\text{ş}}'' = \frac{U_{\text{ş}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{ş}}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 11,564} = 1,722 \text{ kA}$$

Tr-3 dağıtım trafosu kısa devre gücü

30 km 3x(1x95+16mm²) XLPE Kablo İçin Empedans Değerleri:

$$R_{Tr3-Hat} = 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 30 \text{ Km} = 5,790 \text{ Ohm}$$

$$X_{Tr3-Hat} = 0,4160 \text{ Ohm/Km} * 30 \text{ Km} = 12,480 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr3-Hat} = \sqrt{R_{Tr3-Hat}^2 + X_{Tr3-Hat}^2} = \sqrt{5,790^2 + 12,480^2} = 13,757 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr3-34,5Bara} = Z_{34,5Bara} + Z_{Tr3-Hat} = 2,393 + 13,757 = 16.150 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\text{ş}}'' = \frac{U_{\text{ş}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{ş}}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 16,150} = 1,233 \text{ kA}$$

Tr-4 dağıtım trafosu kısa devre gücü

40 km 3x(1x95+16mm²) XLPE Kablo İçin Empedans Değerleri:

$$R_{Tr4-Hat} = 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 40 \text{ Km} = 7,720 \text{ Ohm}$$

$$X_{Tr4-Hat} = 0,4160 \text{ Ohm/Km} * 40 \text{ Km} = 16,64 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr4-Hat} = \sqrt{R_{Tr4-Hat}^2 + X_{Tr4-Hat}^2} = \sqrt{7,720^2 + 16,64^2} = 18,343 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr4-34,5Bara} = Z_{34,5Bara} + Z_{Tr4-Hat} = 2,393 + 18,343 = 20,736 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\zeta}'' = \frac{U_{\zeta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\zeta}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 20,736} = 960,57 \text{ A}$$

Tr-5 dağıtım trafosu kısa devre gücü

50 km 3x(1x95+16mm²) XLPE Kablo İçin Empedans Değerleri:

$$R_{Tr5-Hat} = 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 50 \text{ Km} = 9,65 \text{ Ohm}$$

$$X_{Tr5-Hat} = 0,4160 \text{ Ohm/Km} * 50 \text{ Km} = 20,8 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr5-Hat} = \sqrt{R_{Tr5-Hat}^2 + X_{Tr5-Hat}^2} = \sqrt{9,65^2 + 20,8^2} = 22,929 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr5-34,5Bara} = Z_{34,5Bara} + Z_{Tr5-Hat} = 2,393 + 22,929 = 25,322 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\zeta}'' = \frac{U_{\zeta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\zeta}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 25,322} = 786,61 \text{ A}$$

Tr-6 dağıtım trafosu kısa devre gücü

$$R_{Tr6-Hat} = 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 60 \text{ Km} = 11,58 \text{ Ohm}$$

$$X_{Tr6-Hat} = 0,4160 \text{ Ohm/Km} * 60 \text{ Km} = 24,96 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr6-Hat} = \sqrt{R_{Tr6-Hat}^2 + X_{Tr6-Hat}^2} = \sqrt{11,58^2 + 24,96^2} = 27,515 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr6-34,5Bara} = Z_{34,5Bara} + Z_{Tr6-Hat} = 2,393 + 27,515 = 29,908 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\zeta}'' = \frac{U_{\zeta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\zeta}} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 29,908} = 665,99 \text{ A}$$

Dağıtım trafosu AG (0,4 kV) çıkış noktasındaki kısa devre gücü

$$U_{tr3} = 34,5/0,4 \text{ kV} \quad S_{tr} = 630 \text{ kVA} \quad U_{kr} = \%4,5 \quad P_k = 5,5 \text{ kW}$$

630 KVA trafonun % U_r omik direnci:

$$\%U_{rtr3} = \frac{P_k}{S_{tr3}} \times 100 = \frac{5,5 \cdot 10^3}{630 \cdot 10^3} = \%0,87$$

630 KVA trafonun % U_x omik reaktansı:

$$\%U_{xtr3} = \sqrt{U_{kr3}^2 - U_{rtr3}^2} = \sqrt{4,5^2 - 0,87^2} = \%4,41$$

$$R_{tr3} = \frac{U_{rtr3} \cdot U_{tr3}^2}{100 \cdot S_{tr3}} = \frac{0,87 \cdot 400^2}{100 \cdot 630 \cdot 10^3} = 0,002209 \text{ Ohm}$$

$$X_{tr3} = \frac{U_{xtr3} \cdot U_{tr3}^2}{100 \cdot S_{tr3}} = \frac{4,41 \cdot 400^2}{100 \cdot 630 \cdot 10^3} = 0,0112 \text{ Ohm}$$

$$Z_{tr3} = \sqrt{R_{tr3}^2 + X_{tr3}^2} = \sqrt{0,002209^2 + 0,0112^2} = 0,01141 \text{ Ohm}$$

$$I_{k\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Tr3-AG}} = \frac{0,38}{\sqrt{3} \cdot 0,01141} = 19,22 \text{ kA}$$

Sdk1 saha dağıtım kutusu bara kısa devre gücü

290 mt. 3x120+70mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{290mt} = 0,1530 \text{ Ohm/Km} \cdot 0,29 \text{ Km} = 0,04437 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr3-Sdk1} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{290mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,04437 = 0,05795 \text{ Ohm}$$

$$I_{k\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Tr3-Sdk1}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,05795} = 3,985 \text{ kA}$$

Abn1 abone barası kısa devre gücü

25 mt. 3x25+16mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{315mt} = 0,04437 + 0,727 \text{ Ohm/Km} \cdot 0,025 \text{ Km} = 0,06254 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Sdk1-Abn1} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{315mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,06254 = 0,07612 \text{ Ohm}$$

$$I_{k\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Sdk1-Abn1}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,07612} = 3,033 \text{ kA}$$

Sdk2 saha dağıtım kutusu bara kısa devre gücü

580 mt. 3x120+70mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{580mt} = 0,1530 \text{ Ohm/Km} * 0,58 \text{ Km} = 0,08874 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr3-Sdk2} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{580mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,08874 = 0,10232 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Tr3-Sdk2}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,10232} = 2,257 \text{ kA}$$

Abn2 abone barası kısa devre gücü

25 mt. 3x25+16mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{605mt} = 0,08874 + 0,727 \text{ Ohm/Km} * 0,025 \text{ Km} = 0,1069 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Sdk2-Abn2} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{605mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,1069 = 0,1204 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Sdk2-Abn2}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,1204} = 1,918 \text{ kA}$$

Sdk3 saha dağıtım kutusu bara kısa devre gücü

95 mt. 3x95+50mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{675mt} = 0,08874 + 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 0,095 \text{ Km} = 0,107 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr3-Sdk2} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{675mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,107 = 0,1205 \text{ Ohm}$$

$$Ik_{\phi}'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Tr3-Sdk3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,120} = 1,924 \text{ kA}$$

Abn3 abone barası kısa devre gücü

25 mt. 3x25+16mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{700mt} = 0,107 + 0,727 \text{ Ohm/Km} * 0,025 \text{ Km} = 0,125 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Sdk3-Abn3} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{700mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,125 = 0,1385 \text{ Ohm}$$

$$Ik\dot{s}'' = \frac{U\dot{s}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Sdk3-Abn3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,1385} = 1,667 \text{ kA}$$

Sdk4 saha dağıtım kutusu bara kısa devre gücü

95mt. 3x120+70mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{770mt} = 0,107 + 0,1930 \text{ Ohm/Km} * 0,095 \text{ Km} = 0,1253 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Tr3-Sdk2} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{770mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,1253 = 0,1388 \text{ Ohm}$$

$$Ik\dot{s}'' = \frac{U\dot{s}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Tr3-Sdk4}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,13888} = 1,662 \text{ kA}$$

Abn4 abone barası kısa devre

25 mt. 3x25+16mm² NYY Kablo İçin Empedans Değeri:

$$R_{805mt} = 0,1253 + 0,727 \text{ Ohm/Km} * 0,025 \text{ Km} = 0,1434 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Sdk4-Abn4} = Z_{Tr3} + Z_{Tr3-Ag} + Z_{805mt} = 0,01141 + 0,00217 + 0,1434 = 0,15698 \text{ Ohm}$$

$$Ik\dot{s}'' = \frac{U\dot{s}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Sdk4-Abn4}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,15698} = 1,471 \text{ kA}$$

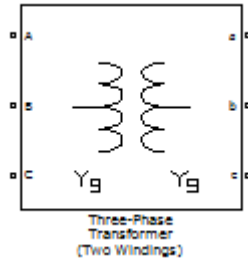
6. MATLAB/SIMULINK SIMPOWERSYSTEMS ARAÇ KUTUSU VE ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ MODELLERİ

6.1. SimPowerSystems Analiz Araç Kutusu

SimPowerSystems, Simulink ortamında çalışan bir modelleme dizayn yazılımıdır. Bu yazılım güç sistemleri ile ilgili bir modellemeyi hızlı bir şekilde simule etme imkanı vermektedir. SimPowerSystem kütüphanesi tipik güç sistemleri modellerini bulundurmaktadır. Trafolar, hatlar, kesiciler, elektrik makinaları, yük modelleri ve güç elektroniği modelleri bunlara örnektir.

Trafo Modeli

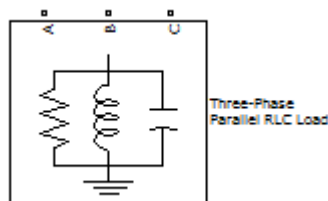
Simulasyonlarımızda kullanacağımız trafo modeli üç faz – çift sargılı trafodur.



Şekil 6.1. Trafo modeli

Yük Modeli

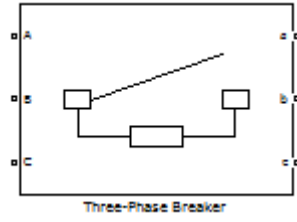
Simulasyonlarımızda yükler üç faz RLC paralel yük hücresinde resistif, kapasitif ve endüktif olarak uygun değerler girilerek modellenmiştir



Şekil 6.2. Yük model

Kesici Modeli

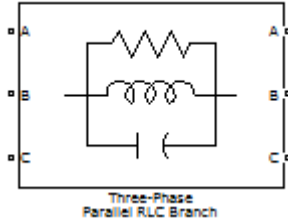
Modelde trafolar, hatlar ve yükler arası bağlantı kesici hücreleri ile irtibatlanmıştır. Hat irtibatının kesilmesi istenilen durumlarda kesici manuel veya otomatik olarak açılır – kapatılır.



Şekil 6.3. Kesici modeli

Hat Modeli

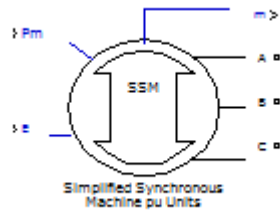
Simulasyonlarımızda hat empedansları üç faz RLC hücresinde resistif, kapasitif ve endüktif olarak uygun değerler girilerek modellenmiştir.



Şekil 6.4. Hat modeli

Senkron Generatör Modeli

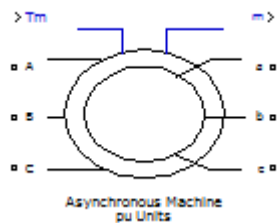
Simulasyonlarımızda kullanacağımız senkron generatör, SimPowerSystem kütüphanesinde bulunan basitleştirilmiş senkron generatör modelidir.



Şekil 6.5. Senkron generatör modeli

Asenkron Generatör Modeli

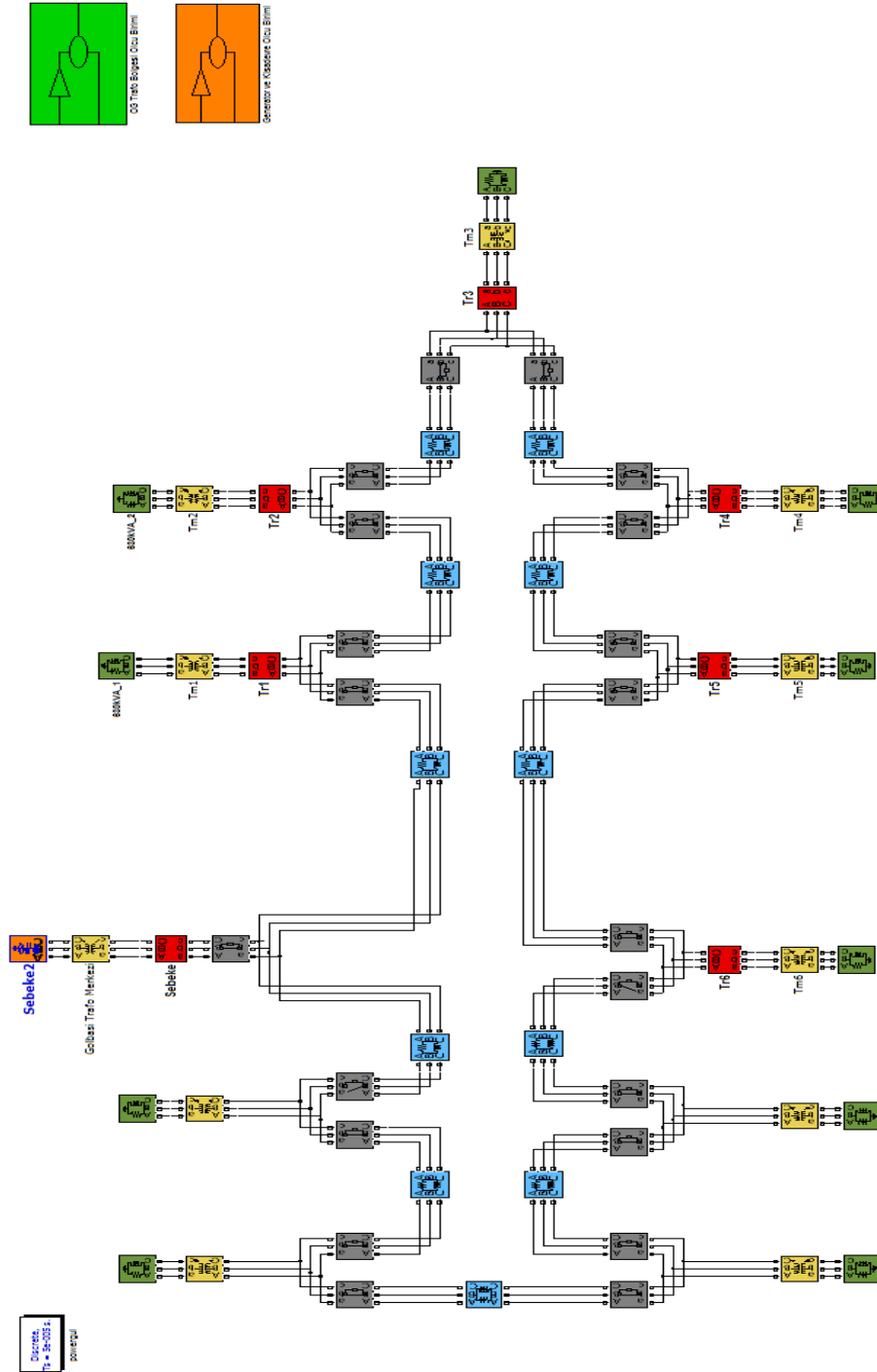
Simulasyonlarımızda kullanacağımız asenkron generatör, SimPowerSystem kütüphanesinde bulunan per unit birimli asenkron generatör modelidir. Generatör modeli olarak sincap kafesli model seçilmiştir.



Şekil 6.6. Asenkron generatör modeli

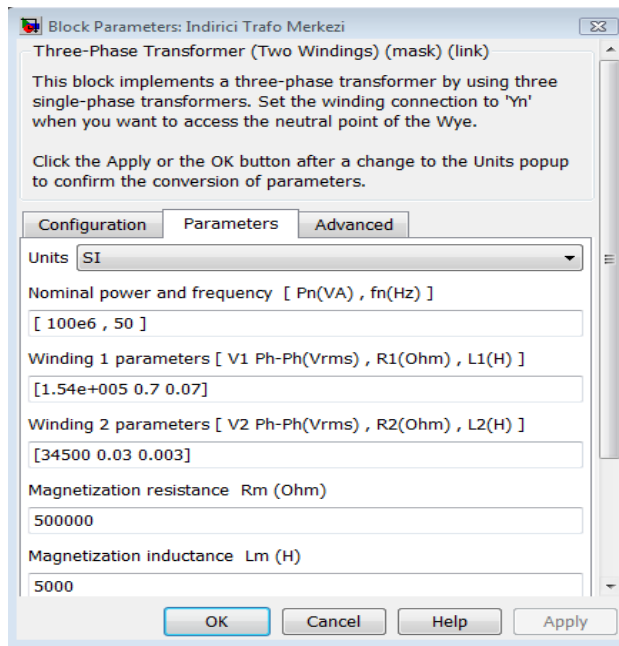
6.2. Orta Gerilim Trafo Bölgesinin Modellenmesi

Şekil 6.7.'de orta gerilim trafo bölgesine ait Matlab/Simulink modeli verilmiştir.



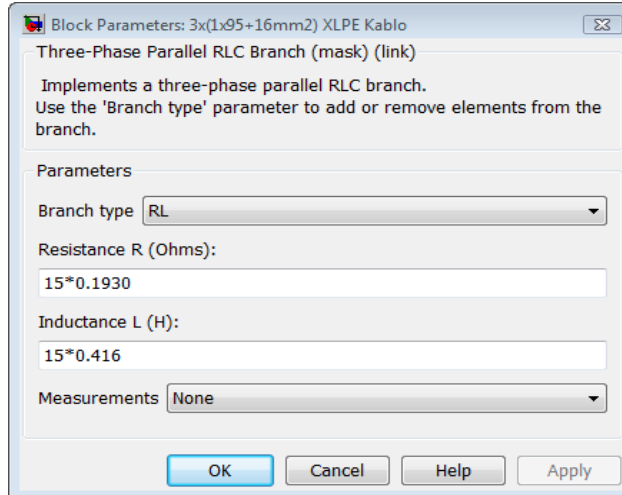
Şekil 6.7. Orta gerilim trafo bölgesi modeli

Orta gerilim şebekesi, iletim sistemi eş değer devresine bağlı bir indirici trafo merkezi bulunmaktadır. İndirici merkez trafosundan sonra “Sebeke” isimli ölçü hücresi vardır. Bu ölçü hücresinde indirici merkez trafosuna ait akım ve gerilim kayıtları tutulmakta ve bu kayıtlar ölçü birimine gönderilmektedir. İndirici merkez trafosu on adet dağıtım trafosunun bulunduğu trafo bölgesine bir adet kesici ile bağlanmakta olup, söz konusu kesicinin empedansı çok küçük olarak modellenmiştir.



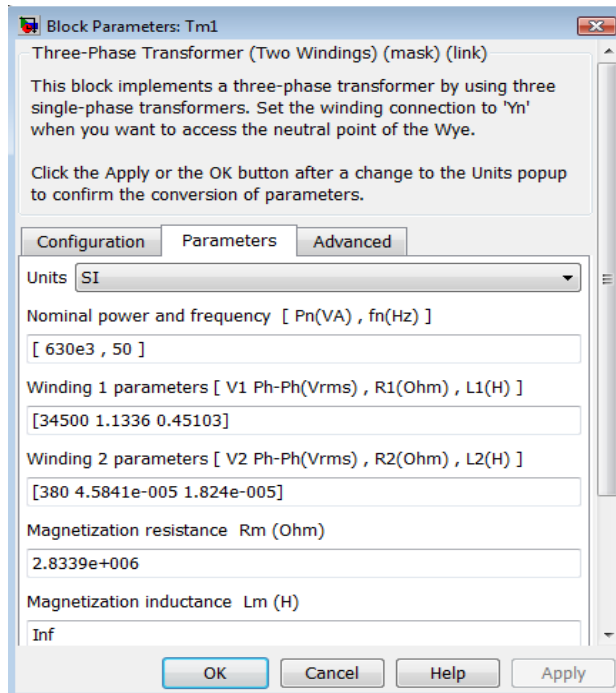
Şekil 6.8. İndirici merkez trafo modeli

Şekil 6.8.’de indirici merkez trafosuna ait parametreler verilmiştir. Trafo gücü 100Mva olarak seçilmiş olur, işletme gerilimi 34,5/154 kV’dur. İndirici merkez trafosu çıkışı ve dağıtım trafo bölgesi ilk trafoya bağlantı 3x(1x95+16mm²) XLPE kablo modeli ile irtibatlanmıştır. Bu kabloya ait empedans değerleri direnç için (R) 0,1930 km/Ω , endüktans için 0,416 km/Ω ’dur. Kablo uzunluğu 15 kilometre alınmıştır.



Şekil 6.9. 3x(1x95+16mm2) XLPE kablo modeli

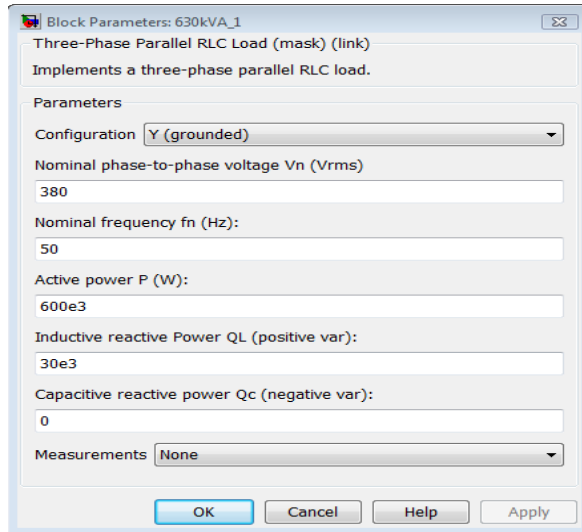
İndirici merkez trafosundan ilk trafo girişi Tm1 trafosudur. Tm1 trafosu 630kVa gücünde 0,38/34,5 kV olarak modellenmiştir. Trafonun orta gerilim girişi delta, alçak gerilim çıkışı ise yıldız noktası topraklı olarak seçilmiştir. Trafoya ait parametreler Şekil 6.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. 630 kVa 0,38/34,5 kV dağıtım trafosu modeli

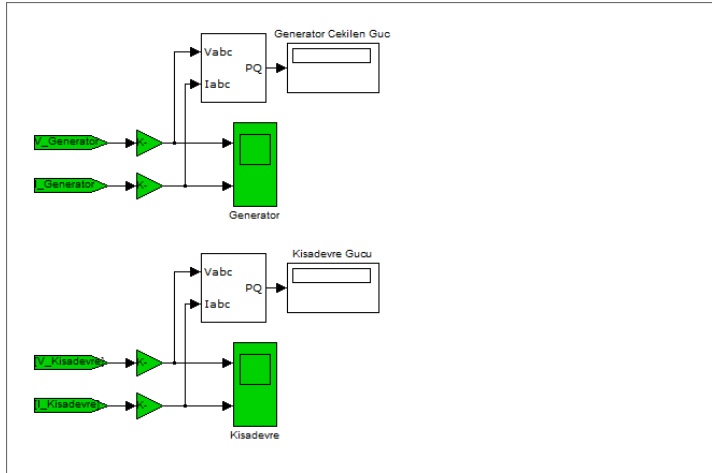
Yine modelimizde Tm1 trafosuna bağı olan “Tr1” isimli ölçü hücresi bulunmaktadır. Bu ölçü hücresi de Tm1 trafosuna ait akım ve gerilim değerlerini olarak ölçü bloğuna göndermektedir. Tm1 trafosuna kablo irtibatları giriş ve çıkış kısmında bulunan kesici modeli ile yapılır. Yine söz konusu kesicilerin empedans değerleri çok küçük ayarlanmış olup, hat irtibatı yapmak dışında şebekeye pek fazla bir etkisi yoktur.

Tm1 trafosuna bağı yük modeli ise Şekil 6.11.’de gösterilmiştir. Yük modeli aktif ve endüktif güç çeken bir yük modeli olup, çekilen aktif güç 600kW, endüktif güç ise 30 kVar olarak ayarlanmıştır. Yıldız bağlantılı yük modeli, yıldız noktasından topraklıdır. Yükün gerilim değeri ise şebeke gerilimimizle aynı olarak 380 Vrms faz-faz gerilimidir.



Şekil 6.11. Yük modeli

Orta gerilim trafo bölgesine ait modellemede Tm1’den Tm10’a kadar olan bütün trafolar, yükler ve kablolar eşleniktir olarak modellenmiştir.

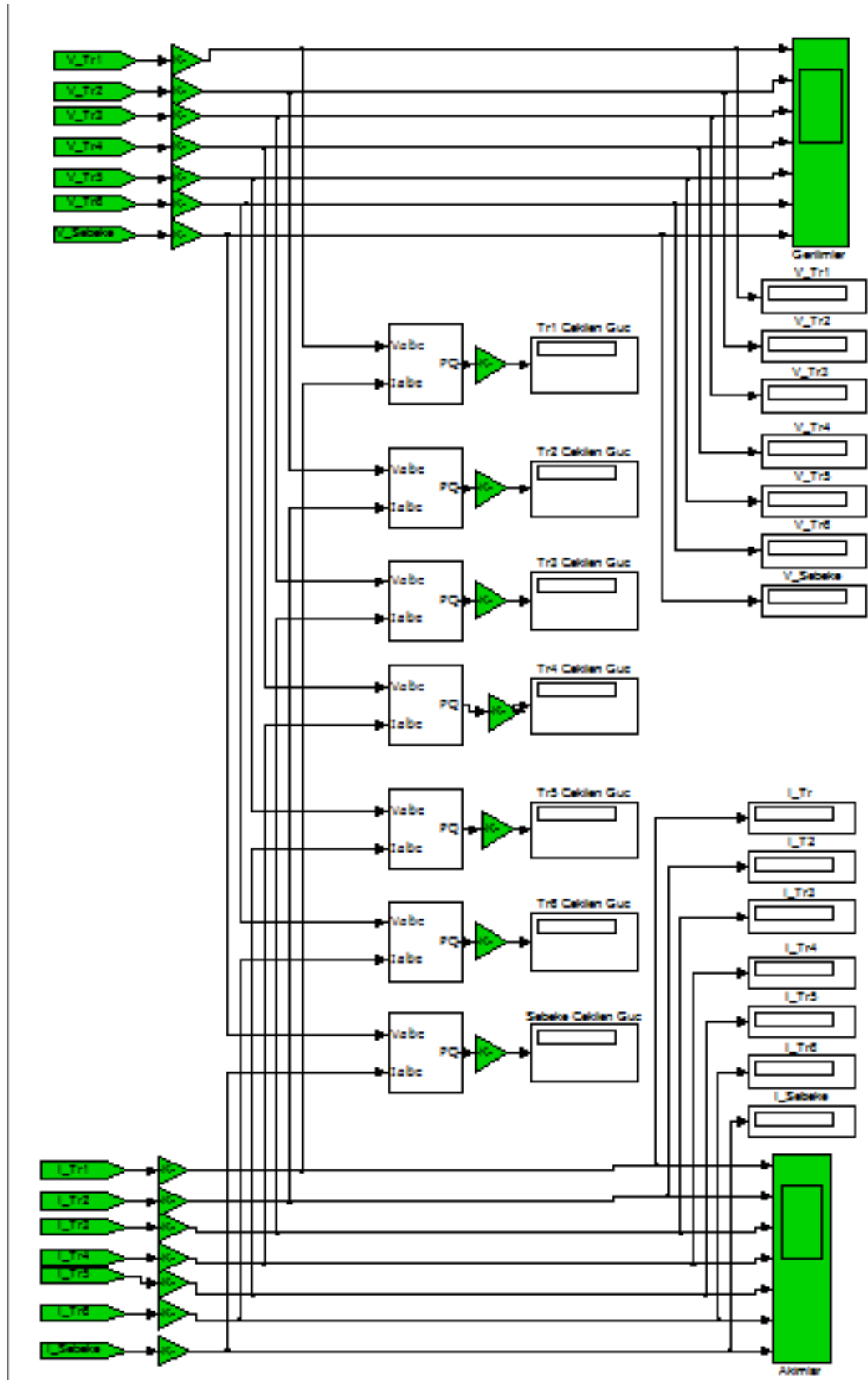


Şekil 6.12. Generatör ve kısadevre ölçü birimi

Şekil 6.12.'de generatör ve kısadevre ölçü birimi iç yapısı verilmiştir. Ölçü biriminde bağlanacak generatöre ve uygulanabilecek kısa devreye ait akım gerilim ve güç bilgileri gösterilmektedir.

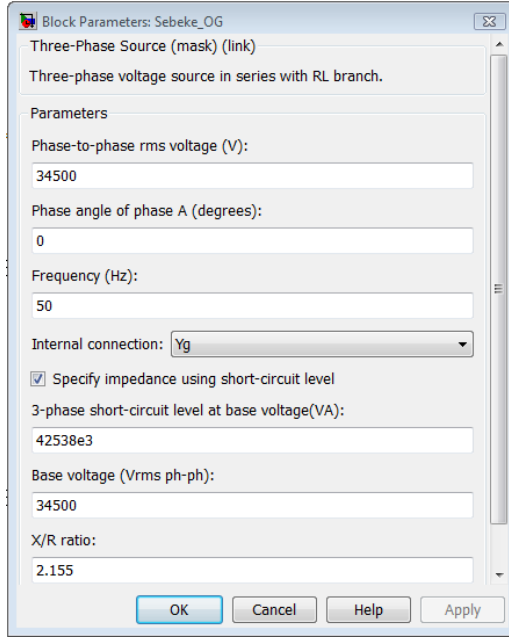
Şekil 6.13.'de orta gerilim trafo bölgesi ölçü birimi iç yapısı verilmiştir. Ölçü biriminde her trafoya ait ölçü değerleri ölçülmekte ve gösterilmektedir.

Orta gerilim trafo bölgesi şebekesine ait yapılan modellemelerde Tm1'den Tm10'a kadar olan trafolar aynı özellikte seçilmiştir. Ayrıca trafolar arası irtibatda kullanılan 15 kilometre 3x(1x95+16mm²) XLPE kablo modeli de bütün durumlarda eşleniktir

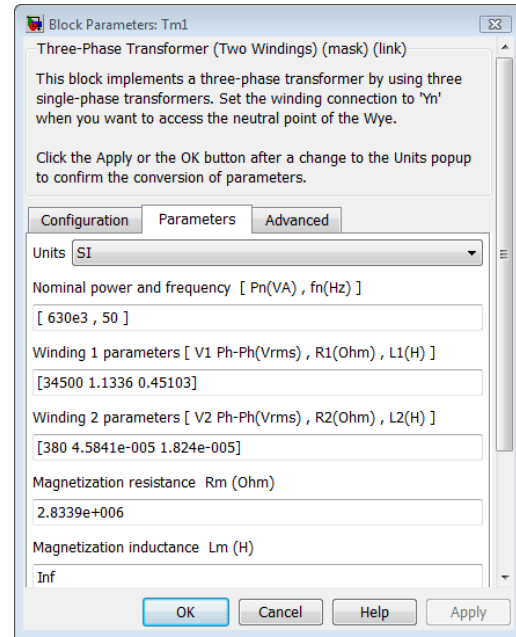


Şekil 6.13. Orta gerilim trafo bölgesi ölçü birimi.

Alçak gerilim şebekesi, orta gerilim trafo bölgesinin eş değer karakteristikleri alınarak 34,5 kV mertebesinde orta gerilim kaynağı ile başlamaktadır. Bu gerilim kaynağına bağlı olarak Tm1 dağıtım trafosu işlenmiştir. Tm1 dağıtım trafosu orta gerilim trafo bölgesinde modellenen Tm1 dağıtım trafosu ile aynı değerlere sahiptir.



Şekil 6.15. Orta gerilim Kaynağı

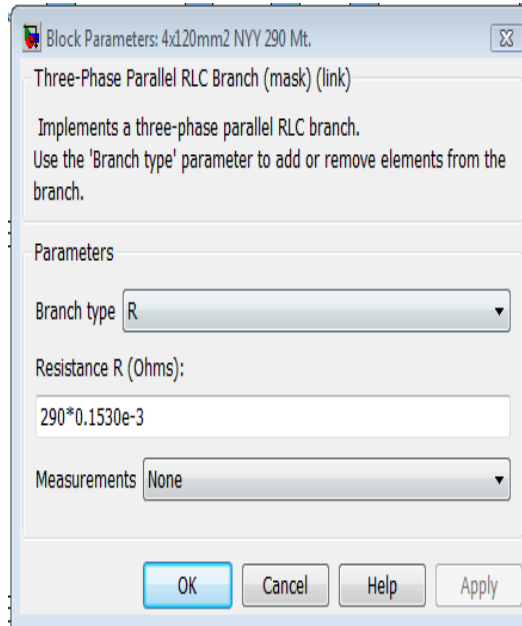


Şekil 6.16. Tm1 trafo parametreleri

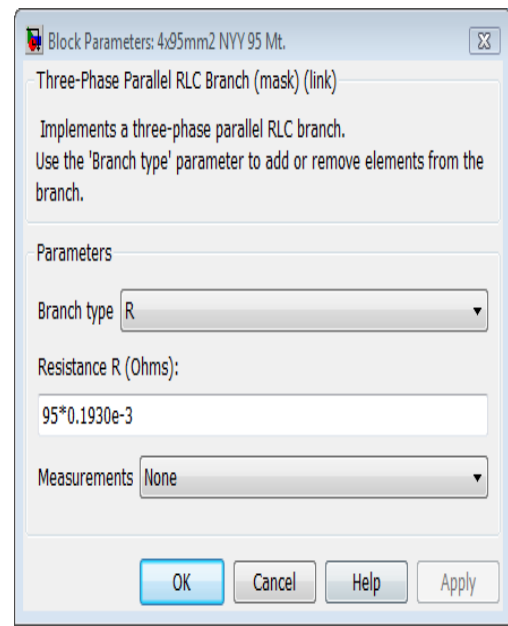
Üç faz kısa devre gücü 42,538 MVA bir önceki bölümde bağlanabilirlik analizi verilerinden alınmıştır. Baz gerilimi 34,5 kV ve yine X/R oranı bağlanabilirlik analizinden alınmış olan 2,155 değeridir.

Tm1 trafosunun alçak gerilim çıkışına “Tr” ölçü hücresi koyulmuştur. Ölçü hücresi dağıtım trafosuna ait akım, gerilim ve güç bilgilerini alçak gerilim dağıtım şebekesi ölçü birimine göndermekte ve parametreler burda görüntülenmektedir. Dağıtım trafosu ile daha dağıtım kutuları arası kablo irtibatı alçak gerilim NYY kablolar ile yapılmıştır. Trafo ve birinci dağıtım kutusu arası 3x120+70 mm² NYY kablo ile birinci dağıtım kutusu ve ikinci dağıtım kutusu 3x120+70 mm² NYY kablo ile ikinci dağıtım kutusu ve üçüncü dağıtım kutusu 3x95+50 mm² NYY kablo ile üçüncü dağıtım kutusu ve dördüncü dağıtım kutusu yine 3x95+50 mm² NYY kablo ile irtibatlanmıştır. Alçak gerilim kablolarıda direnç değerleri reaktans değerlerinden

çok yüksek olduğu için reaktans değerleri ihmal edilerek sadece direnç değerleri hesaba katılmıştır. 3x120+70 mm² NYY kablo için direnç değeri 0,153 Ω /km, 3x95+50 mm² NYY kablo için direnç değeri 0,153 Ω /km alınmıştır.

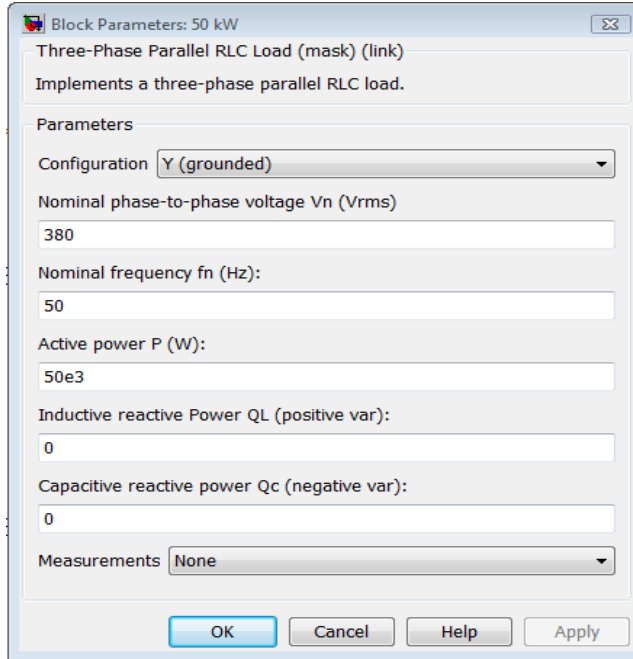


Şekil 6.17. 3x120+70 mm² NYY kablo

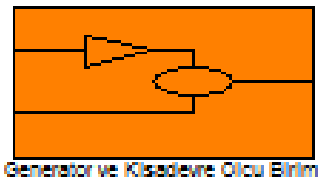
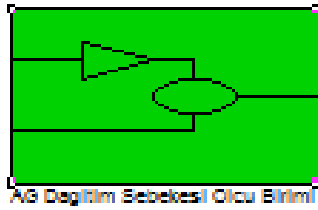


Şekil 6.18. 3x95+50 mm² NYY kablo

Saha dağıtım kutuları SDK1, SDK2, SDK3 ve SDK4 isimli ölçü hücreleri ile modellenmiştir. Saha dağıtım kutuları ve kablo arasında termik manyetik şalter modellemesi olarak yine empedansı çok küçük olan bir kesici modeli kullanılmıştır. Saha dağıtım kutusundan sonra şebeke kullanıcısı olarak 50 kW gücünde yük hücreleri modellenmiştir. Yük hücreleri ile kablo arasındaki irtibat 4x16 mm² NYY kablo ile yapılmıştır. 4x16 mm² NYY kablo için direnç değeri 0,727 Ω /km alınmıştır. Şebeke kullanıcılarının bilgisini almak üzere Abn1, Abn2, Abn3 ve Abn4 isimli abone ölçü hücreleri bulunmaktadır.



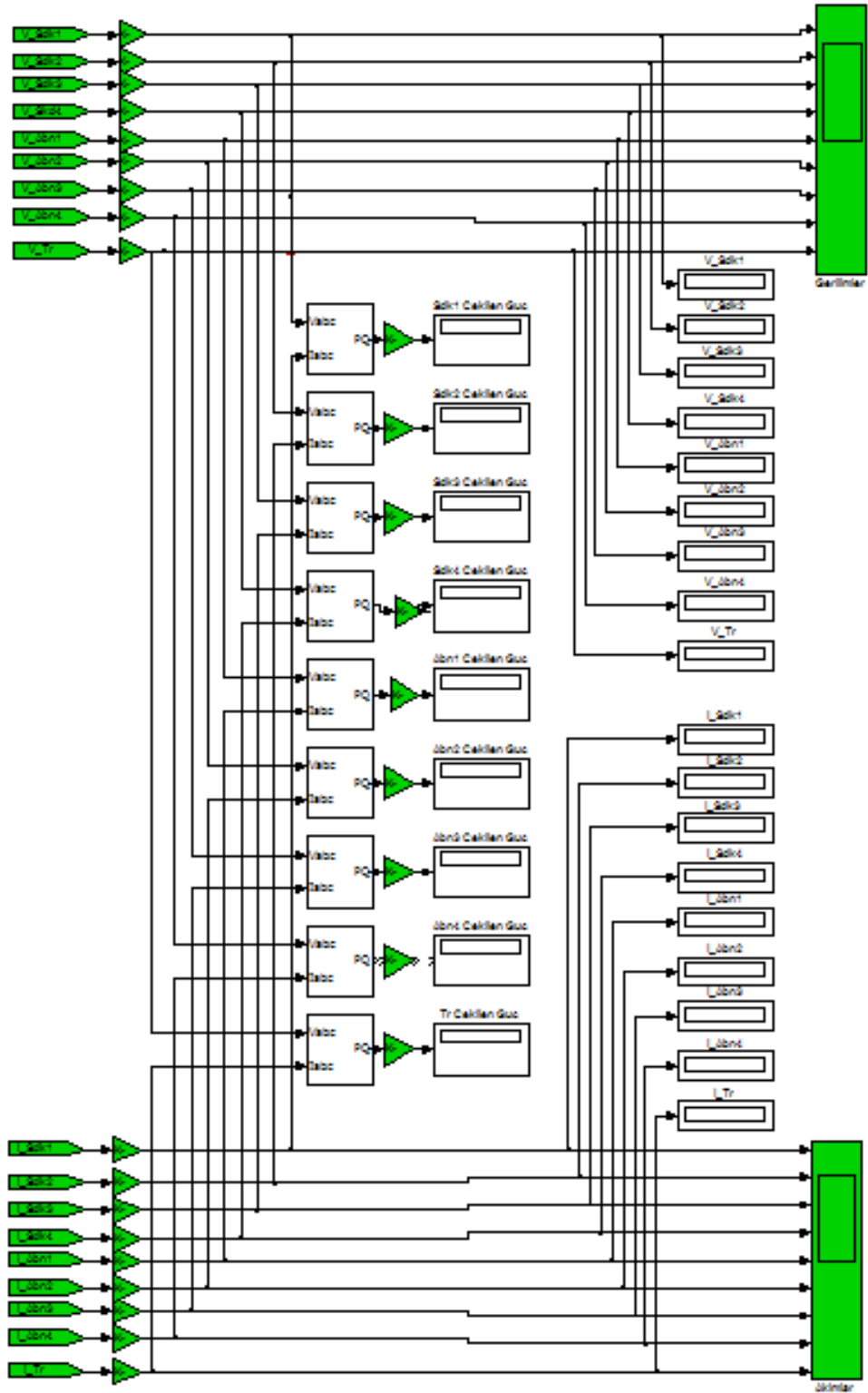
Şekil 6.19. 50 kW yük modeli



Şekil 6.20. Ölçü alt birimleri

Şekil 6.20.'da alçak gerilim dağıtım şebekesinin ölçü birimlerine ait anasayfada alt birimi verilmiştir.

Şekil 6.21.'de Alçak gerilim dağıtım şebekesi ölçü birimi iç yapısı verilmiştir. Ölçü biriminde her saha dağıtım kutusu ve şebeke abone değerleri ölçülmekte ve gösterilmektedir.



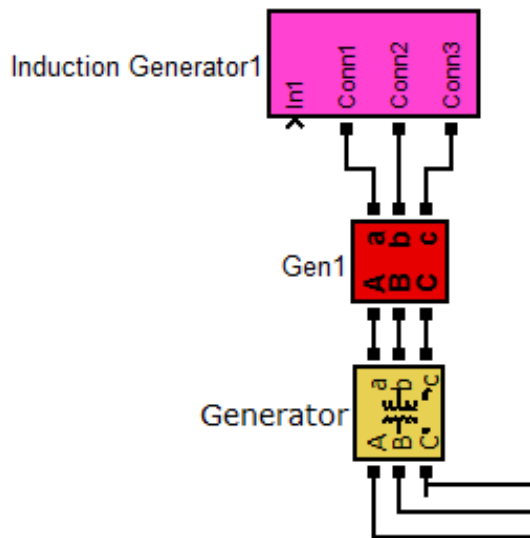
Şekil 6.21. Alçak gerilim dağıtım şebekesi ölçü birimi

6.4. Dağılık Üretim Sistemlerinin Modellenmesi

Simulasyonlarımızda orta gerilim trafo bölgesi için 200 kVA gücünde asenkron generatörlü ve senkron generatörlü dağılık üretim sistemleri modelleri kullanılacaktır. Alçak gerilim dağıtım şebekesinde ise 20 kVA gücünde asenkron generatörlü ve senkron generatörlü dağılık üretim modelleri kullanılacaktır. Evirici tabanlı dağılık üretim sistemlerine simulasyon programımızın olanak tanımamasından dolayı sadece alçak gerilim dağıtım şebekesinde ada modu çalışma durumu irdelenecektir.

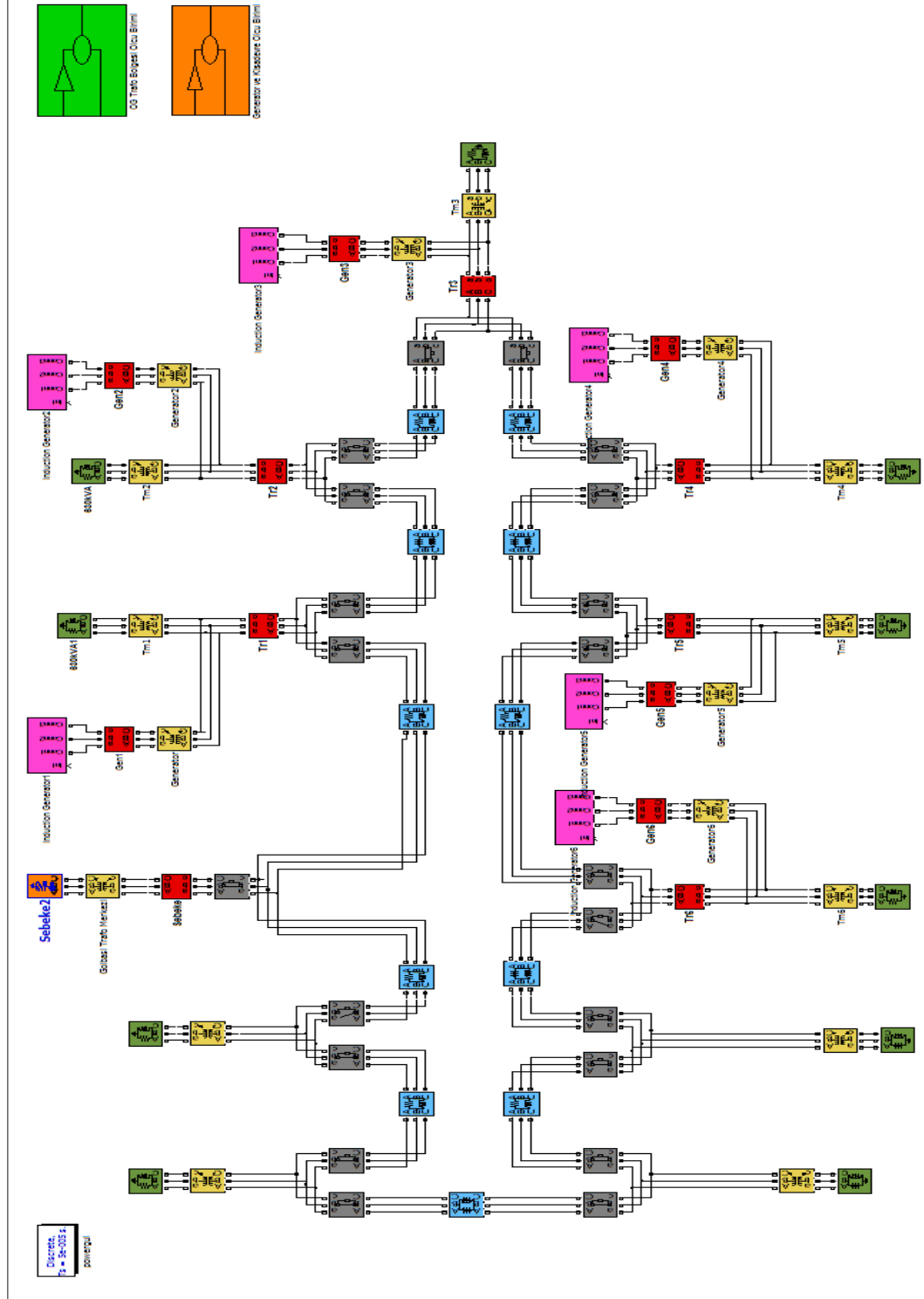
6.4.1. Orta gerilim trafo bölgesinde asenkron generatörlü dağılık üretim sistemlerinin modellenmesi

Mevcut orta gerilim trafo bölgesine altı adet 200 kVA gücünde asenkron generatörlü dağılık üretim santrali bir trafo irtibatı ile bağlanmıştır. Generatör ve trafo arasında her bir generatör için akım, gerilim ve güç değerlerini kayıt etmek üzere ölçü hücresi modeli de kullanılmıştır.



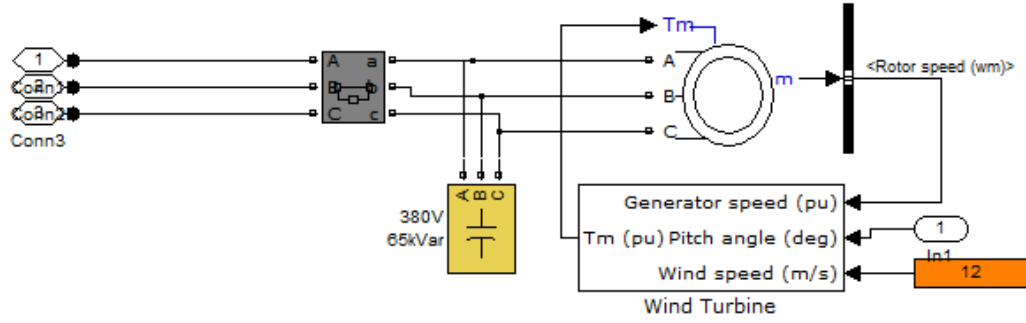
Şekil 6.22 Asenkron generatör bağlantısı

Şekil 6.23.'de orta gerilim trafo bölgesinde asenkron generatörlü dağıtık üretim sistemi modeli bulunmaktadır.



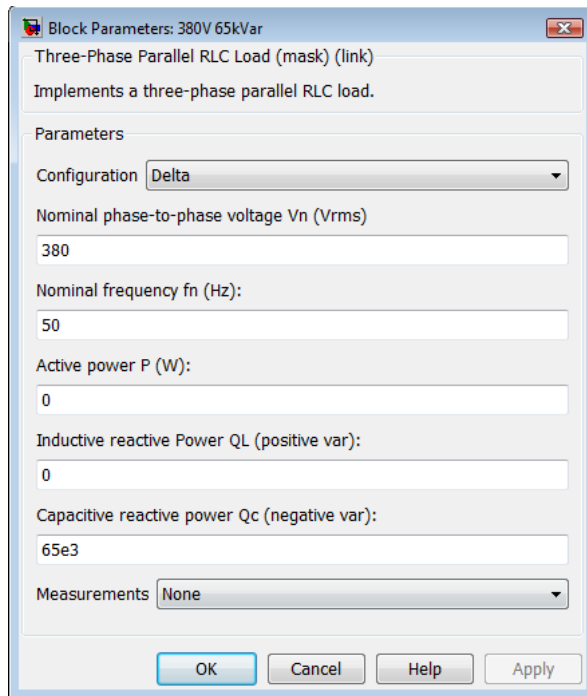
Şekil 6.23. Orta gerilim asenkron generatör bağlı şebeke modeli

“Induction Generator1” isimli alt birimde asenkron generatör modeli yapılmıştır. Şekil 6.24.’de altbirime ait yapı gösterilmektedir.



Şekil 6.24. Asenkron generatör altbirimi

Induction Generator1 altbirimi ve ölçü birimi yine empedansı küçük olan bir kesici ile irtibatlıdır. Generatörün çıkışında ise şebekeden çekilen reaktif gücü azaltmak amacıyla 380 V, 65 kVar değerinde sabit bir kondansatör bağlanmıştır. Bağlanan kondansatör modeli Şekil 6.25’de gösterilmiştir.



Şekil 6.25. 65 kVar kondansatör modeli

Modelimizdeki asenkron generatör bir rüzgar türbini modeli ile sürülmektedir. Rüzgar türbinine ait parametreler Şekil 6.26.'da gösterilmiştir.

Function Block Parameters: Wind Turbine

Wind Turbine (mask) (link)

This block implements a variable pitch wind turbine model. The performance coefficient C_p of the turbine is the mechanical output power of the turbine divided by wind power and a function of wind speed, rotational speed, and pitch angle (β). C_p reaches its maximum value at zero β . Select the wind-turbine power characteristics display to plot the turbine characteristics at the specified pitch angle.

The first input is the generator speed in per unit of the generator base speed. For a synchronous or asynchronous generator, the base speed is the synchronous speed. For a permanent-magnet generator, the base speed is defined as the speed producing nominal voltage at no load. The second input is the blade pitch angle (β) in degrees. The third input is the wind speed in m/s.

The output is the torque applied to the generator shaft in per unit of the generator ratings.

The turbine inertia must be added to the generator inertia.

Parameters

Nominal mechanical output power (W):
200e3

Base power of the electrical generator (VA):
200e3/0.9

Base wind speed (m/s):
12

Maximum power at base wind speed (pu of nominal mechanical power):
0.73

Base rotational speed (p.u. of base generator speed):
1.2

Pitch angle β to display wind-turbine power characteristics ($\beta \geq 0$) (deg):
0

OK Cancel Help Apply

Şekil 6.26 Rüzgar türbin modeli

Rüzgar türbini için nominal çalışma gücü mekanik güç olarak 200 kW, elektriksel baz gücü 200/0,9 kVa olarak ayarlanmıştır. Rüzgar hızı modellememizde optimal değer olan 12 metre/saniye olarak ayarlanmıştır. Rüzgar türbininde üretilen tork asenkron motor tork girişine bağlanarak, asenkron generatörden rotor hızı çıkışı alınarak çıkış bilgisi tekrar rüzgar türbini modeline giriş bilgisi olarak alınmaktadır.

Rüzgar türbini tarafından sürülen asenkron generatöre ait parametreler Şekil 6.27.'de gösterilmiştir. Generatör sincap kafesli asenkron makinadır. Mekanik giriş olarak tork bilgisi, referans çerçevesi olarak rotor kullanılmaktadır. Nominal gücü 200 kVa, çalışma gerilimi 380 Volt faz-faz olarak ayarlanmıştır. Eylemsizlik katsayısı 10, sürtünme katsayısı 0 ve kutup sayısı 4 olarak seçilmiştir.

Block Parameters: Asynchronous Machine pu Units1

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]

[200e3 380 50]

Stator resistance and inductance [Rs,Lls] (pu):

[0.002 0.038]

Rotor resistance and inductance [Rr',Llr'] (pu):

[0.038 0.004]

Mutual inductance Lm (pu):

0.73

Inertia constant, friction factor, pole pairs [H(s) F(pu) p()]:

[10 0 4]

Initial conditions

[-0.0413494 0 1.64696 1.64696 1.64696 -64.3165 175.683 55.6835]

☐ Simulate saturation

Saturation Parameters [i1,i2,... (pu) ; v1,v2,...(pu)]

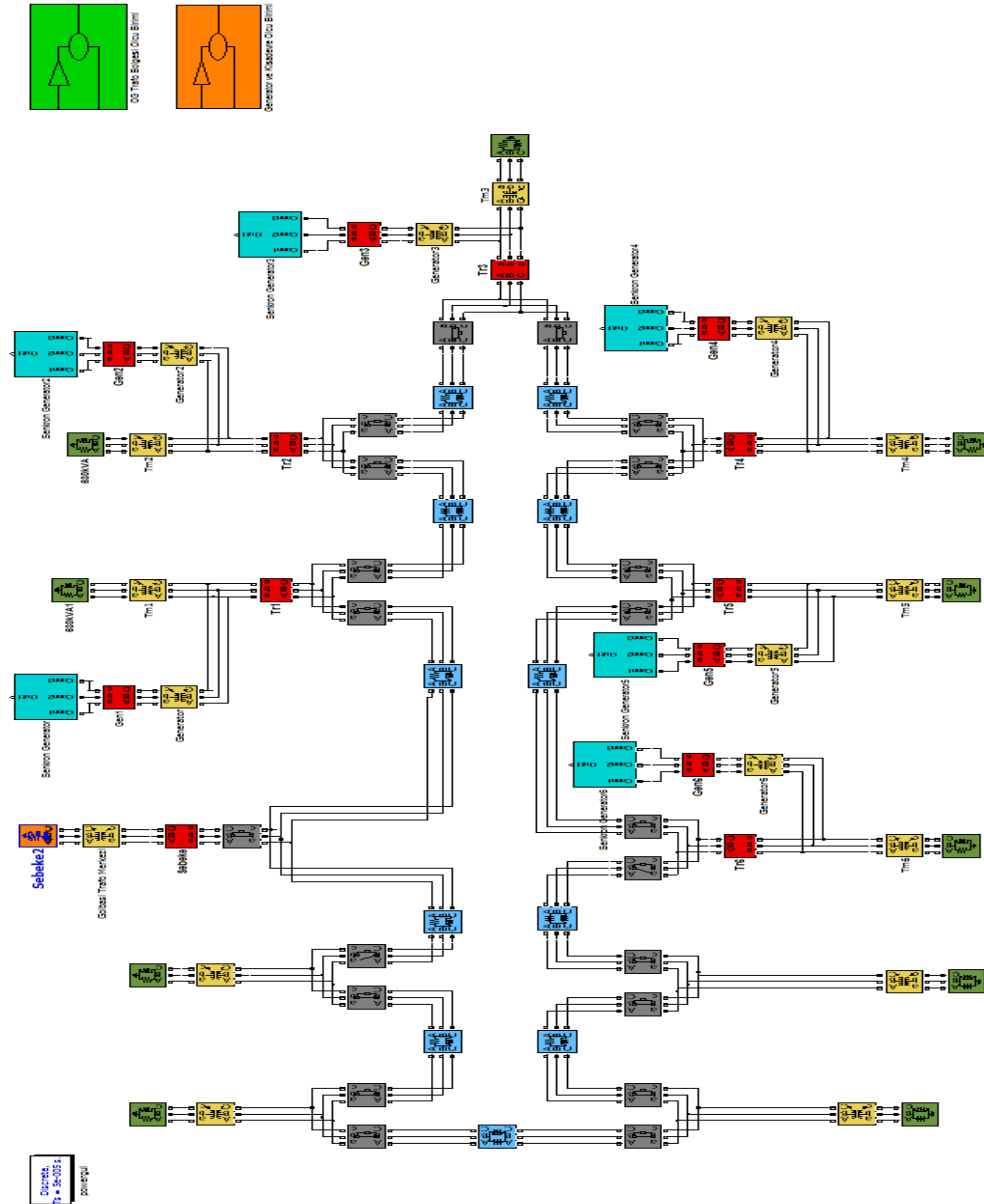
[979,1.4799,2.2457,3.2586,4.5763,6.4763 ; 0.5,0.7,0.9,1,1.1,1.2,1.3,1.4,1.5]

OK Cancel Help Apply

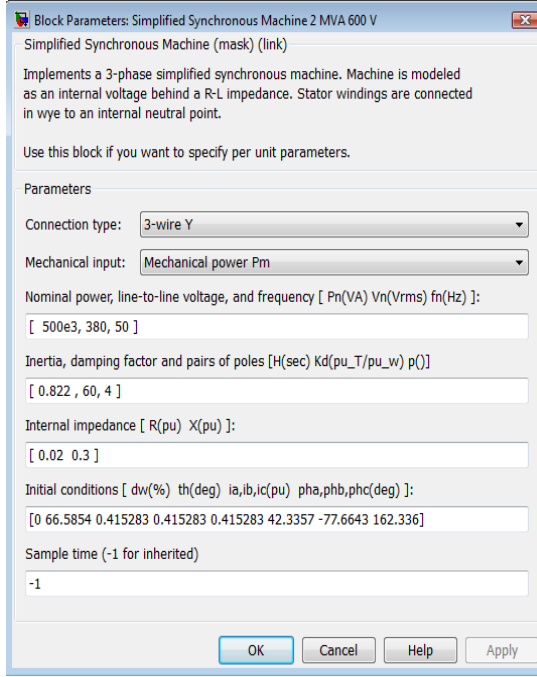
Şekil 6.27. Asenkron generatör parametreleri

6.4.2. Orta gerilim trafo bölgesinde senkron generatörlü dağıtık üretim sistemlerinin modellenmesi

Şekil 6.28.'de orta gerilim trafo bölgesinde senkron generatörlü dağıtık üretim sistemi modeli bulunmaktadır.



Şekil 6.28. Orta gerilim senkron generatör bağlı şebeke

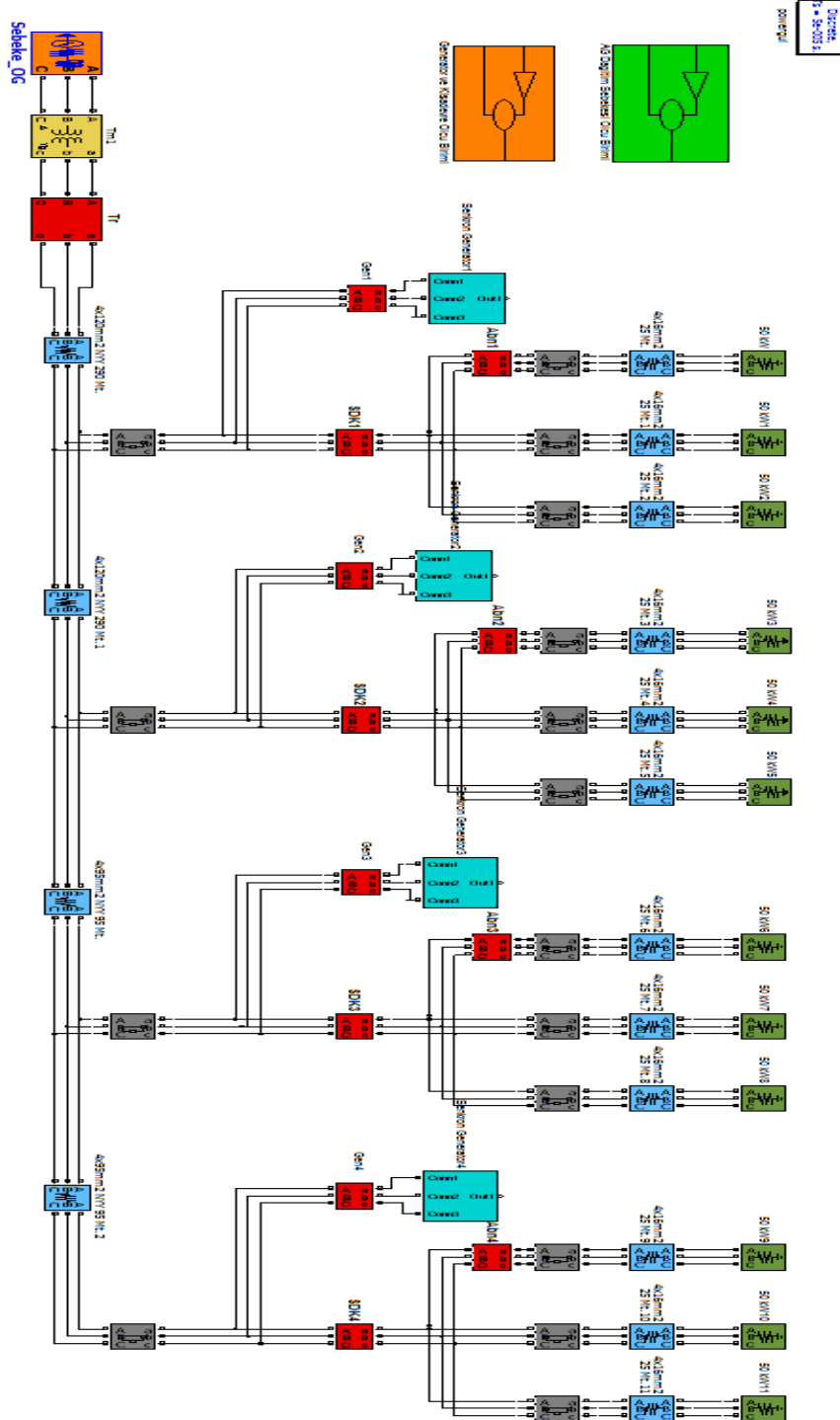


Şekil 6.31. Senkron generatör parametreler

Şekil 6.31.'de senkron makinaya ait parametreler verilmiştir. Bağlantı tipi 3 kablolu, yıldız bağlantı olarak seçilmiştir. Mekaniksel giriş olarak “Pm” makinanın mekanik giriş gücü seçilmiştir. Senkron generatörün nominal gücü 500 kVa olarak seçilmesine rağmen, simülasyonlarda 200 kVa olarak çalıştırılacaktır. Makinanın atalet katsayısı 0,822, sönümleme faktörü 60, kutup çifti sayısı 4 olarak seçilmiştir.

Senkron makinanın iki adet giriş parametresi bulunmaktadır. “E” ile gösterilen parametre, makinanın iç gerilim genliğini per unit cinsinden ifade eder. “Pm” ile gösterilen parametre ise makinaya sağlanan mekanik güçtür. Her iki parametre de simülasyon başlamadan önce ayarlanan gerilim ve güç seviyelerine göre sabit bir değer alacaktır.

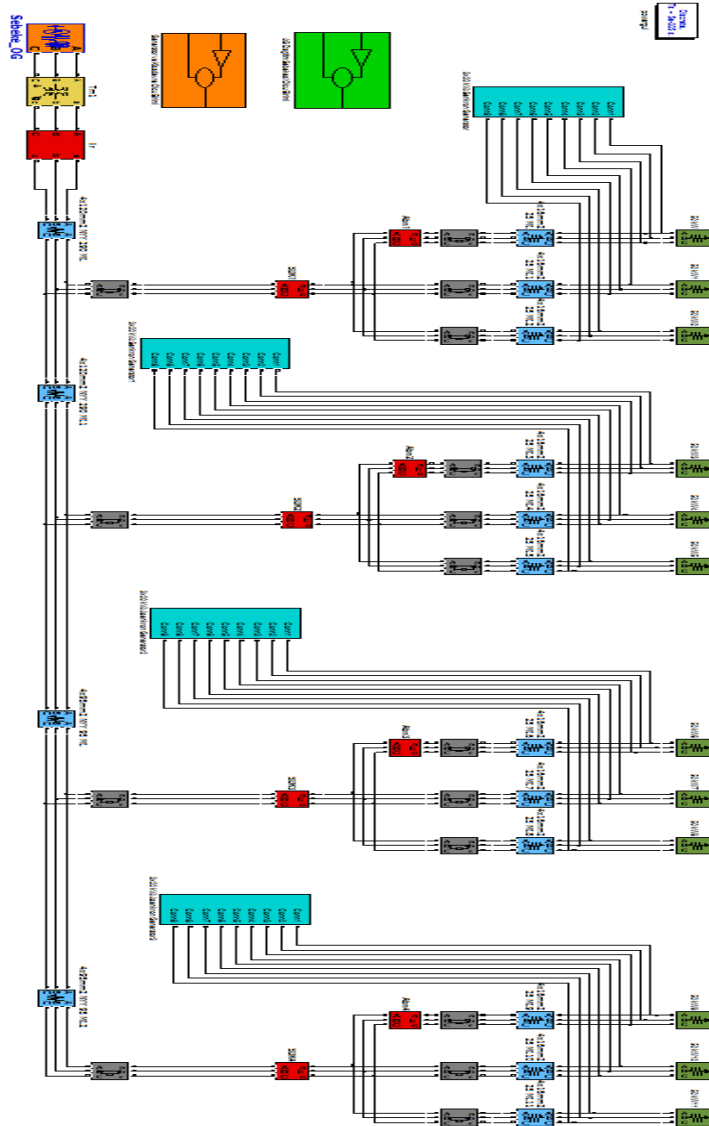
Şekil 6.34’de alçak gerilim dağıtım şebekesinde senkron generatörlü dağıtım üretim sistemi modeli bulunmaktadır.



Şekil 6.34. Senkron generatör Sdk tarafına bağlı şebeke

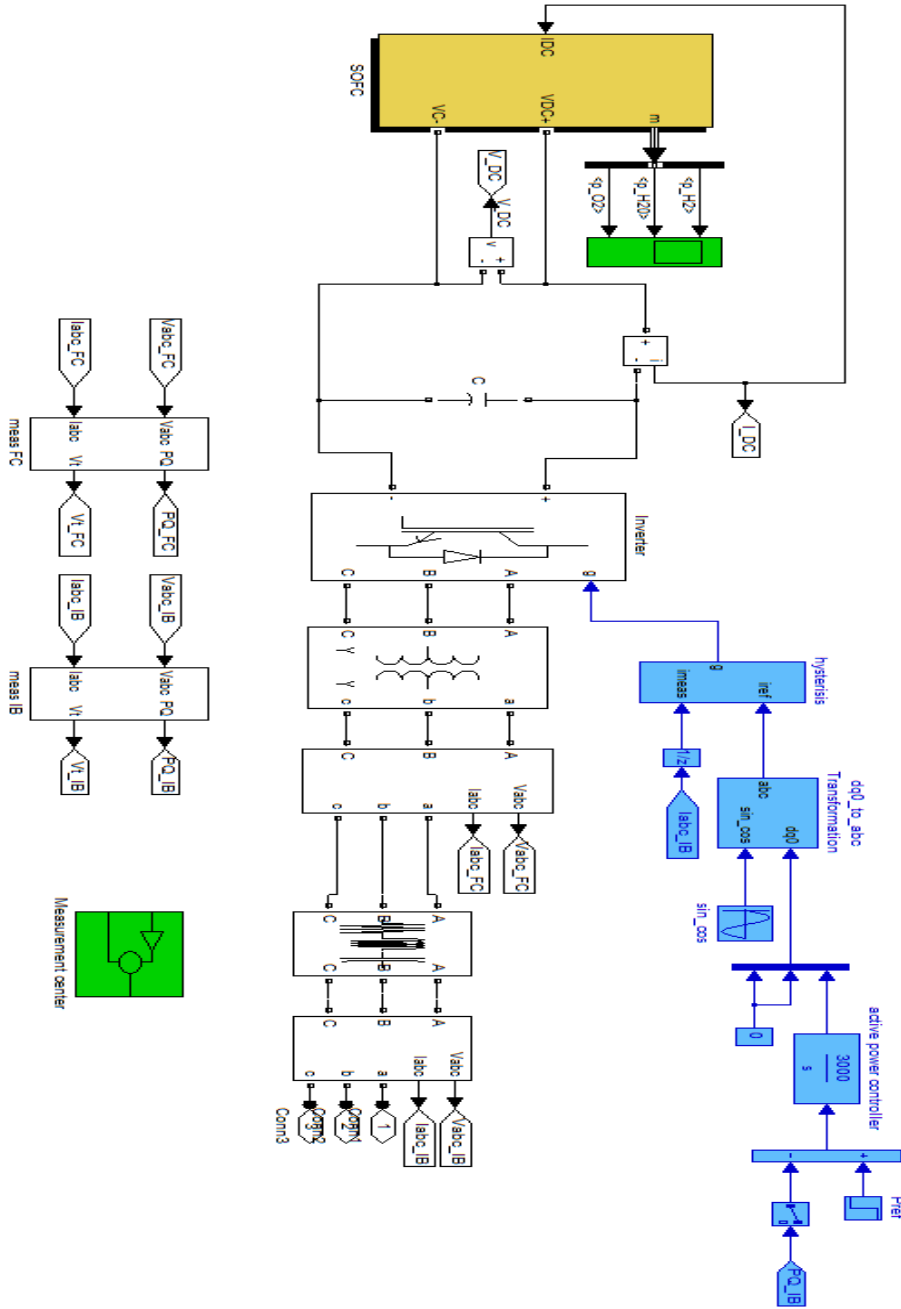
Asenkron generatörlü modelde olduğu gibi alçak gerilim şebekede senkron generatörler her bir saha dağıtım kutusuna bağlanmıştır. Senkron generatörlerin güçleri 20 kVa olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.35’de ikinci model olarak alçak gerilim dağıtım şebekesinde senkron generatörlerin bütün abonelere ayrı ayrı bağlantısı yapılmış modeli bulunmaktadır. Generatörler şebeke ile paralel olarak çalışmakta ve ada modu çalışma durumu söz konusu değildir.



Şekil 6.35. Senkron generatörler Abn tarafına bağlı şebeke

Yakıt hücresi evirici tabanlı dağıtık üretim sistemi için SimPowerSystems araç kutusunda hazır bulunan bir model kullanılmıştır. Bu hazır model direk şebeke yükü ile bağlanarak yükün ada modunda beslendiği farz edilmiştir. Evirici tabanlı dağıtık üretim sisteminin şebeke arayüzü bir endüktans olarak modellenmiştir.



Şekil 6.37. Yakıt hücresi eviricili dağıtık üretim alt birim [25]

7. DAĞINIK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN MODELLEME SONUÇLARI

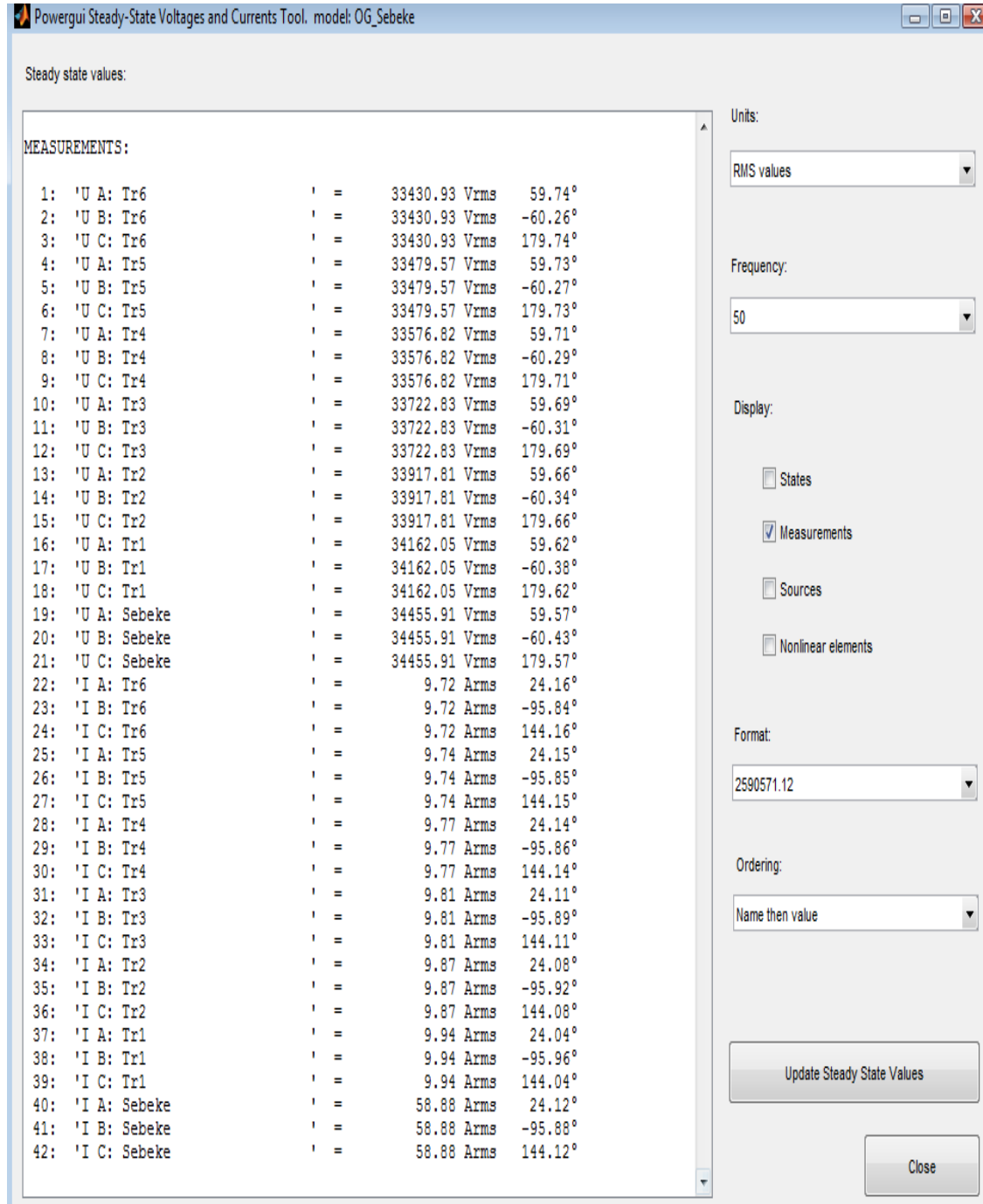
Bu bölümde dağınık üretim sistemlerinin modelleme sonuçları anlatılacaktır. Dağınık üretim sistemi içeren dağınık üretim sistemi içeren durumlara ait Matlab/Simulink ortamında oluşturulan simulasyon modelleri verilecektir. Bu modellerin simulasyonları yapılarak sonuçlar anlatılacaktır. Orta gerilim trafo bölgesi modeli için asenkron generatör ve senkron generatör olmak üzere iki ayrı dağınık üretim sistemi şebekeye adapte edilmiştir. Alçak gerilim dağıtım şebekesi için ise asenkron generatörlerin, senkron generatörlerin şebeke ile paralel çalışacak şekilde modellenmesi yapılmış, evirici tabanlı dağınık üretim sistemi için dağınık üretim sisteminin çalışması durumunda şebeke ile bağlantısı kesilmiş, ada modunda çalıştırılmıştır.

7.1. Orta Gerilim Trafo Bölgesi Santral İçermeyen Sürekli Durum Analizi

Bu bölümde orta gerilim trafo bölgesi için herhangi bir dağınık üretim santrali içermeyen durum analizleri yapılacaktır. Simulasyonumuzda sürekli durum verileri bölümünden, şebekeye ait gerilim seviyeleri ve çekilen akım miktarları verilecektir. Sürekli durum verilerinden alınan veriler ölçü hücresinden gözlemlenen şebekenin dalga modelleri ile doğrulanacaktır. Çekilen yükler bölümünde ise yine ölçü hücresinden alınan bilgiye göre her bir trafodan çekilen yük miktarları belirtilecektir. Son olarak kısa devre durumları bölümünde, daha önceden bağlanabilirlik analizinde hesaplanmış şebekenin farklı bölümlerindeki kısa devre seviyeleri irdelenecektir.

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.1.'de orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



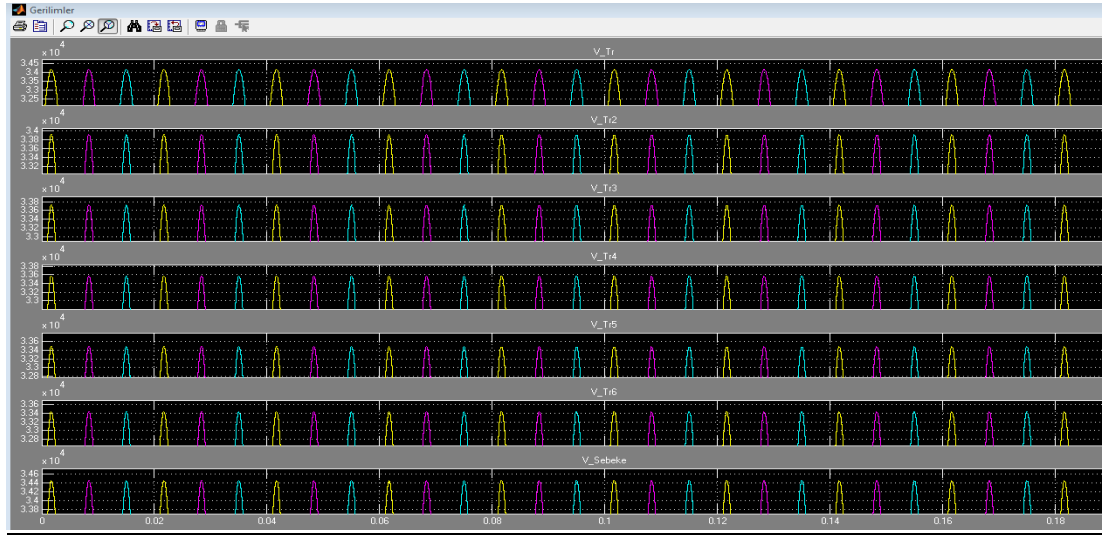
Şekil 7.1. Orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen sürekli durum analizi

Sürekli durum analizine göre orta gerilim seviyesinde gerilim düşümü çok fazla olmamakla beraber şebekenin en sonunda bulunan Tr-6 trafosuna ait gerilim düşümü %3 civarındadır.

$$\%Uk = \frac{34,5 - 33,430}{34,5} \cdot \%100 = \%3,1$$

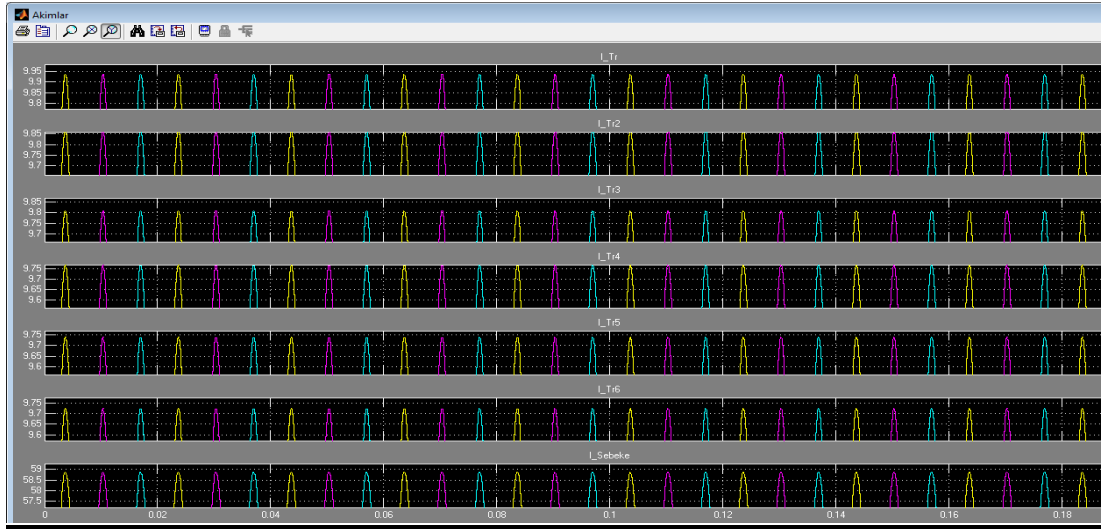
Altı adet trafodan çekilen akım seviyeleri yaklaşık olarak aynı olup 9,94 - 9,72 A mertebesindedir. Toplam şebekeden çekilen akım, bütün trafolardan çekilen toplam akıma eşit olup 58,88 A değerindedir.

Şekil 7.2’de ölçü biriminden alınan gerilim dalga modelleri verilmektedir. Tepe gerilim değerleri sürekli durum analizinde verilen sonuçlarla aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.2. Orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen durum gerilim seviyesi

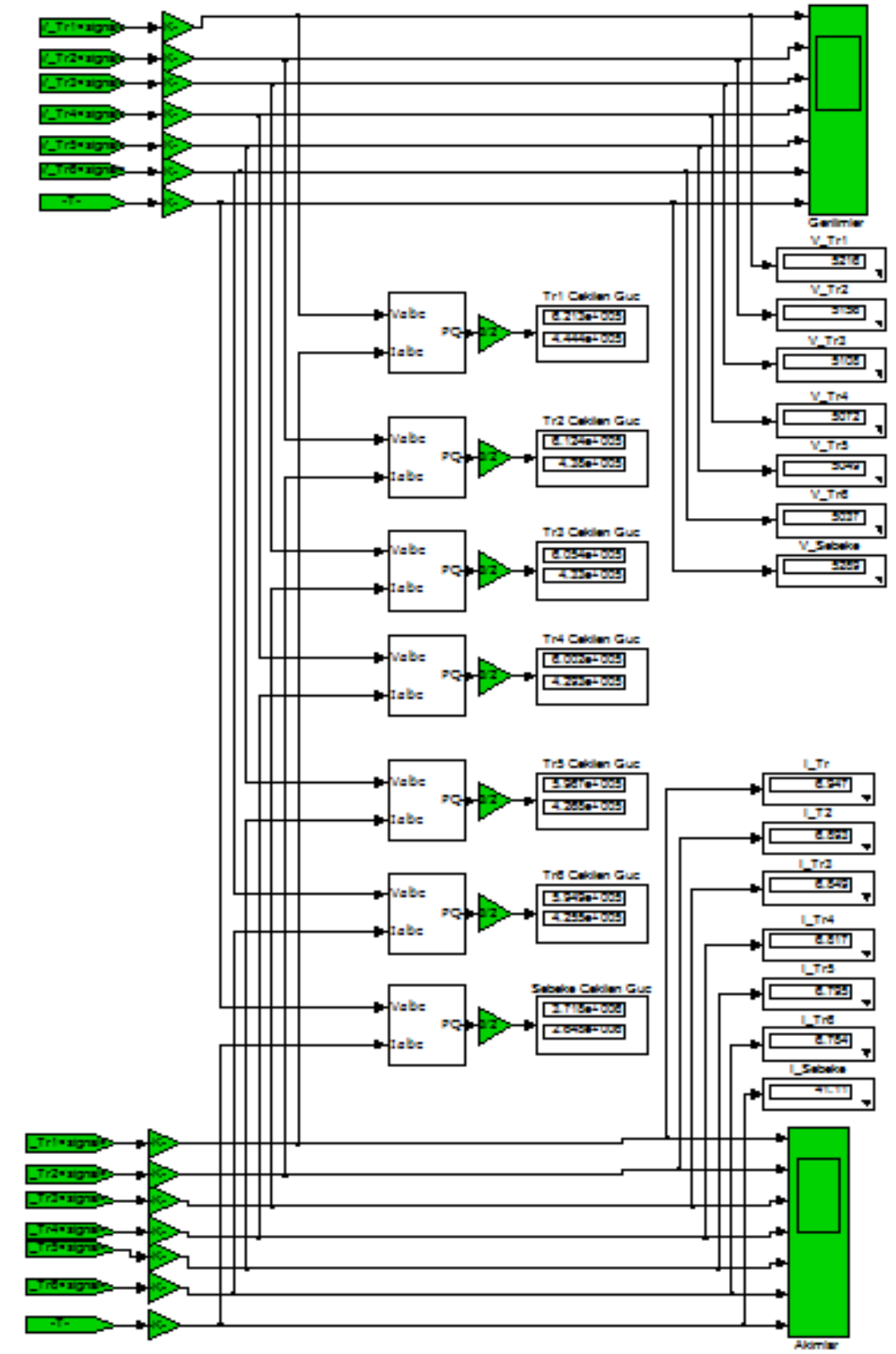
Şekil 7.3.’de ölçü biriminden alınan akım seviyeleri için dalga modelleri verilmektedir. Tepe gerilim değerleri sürekli durum analizinde verilen sonuçlarla aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.3. Orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen durum akım seviyesi

Çekilen Yükle

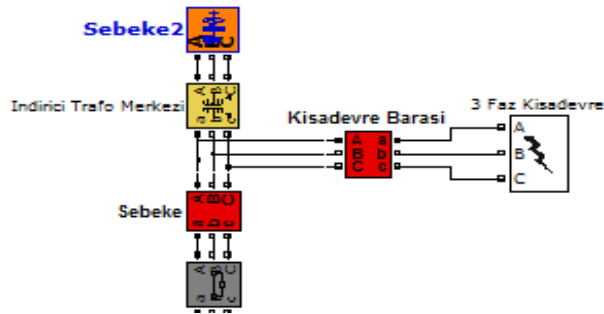
Şekil 7.4. Orta gerilim dağıtık üretim santrali içermeyen durum için ölçü hücresinde herbir trafo tarafından çekilen güçler görülmektedir. Trafolarla bağlı yüklerin eşlenik olmasına rağmen (600kW & 30 kVAR) simulasyon sapmaları ve şebeke kayıplarından dolayı çekilen yükler az da olsa farklılık göstermektedir. Trafolardan çekilen güçler Tr1 için 621 kW – 444 kVar, Tr2 için 612 kW – 435 kVar, Tr3 için 605 kW – 433 kVar, Tr4 için 600 kW – 423 kVar, Tr5 için 596 kW – 426 kVar, Tr6 için 594 kW – 425 kVar.



Şekil 7.4. Ölçü birimi ve trafo güçleri

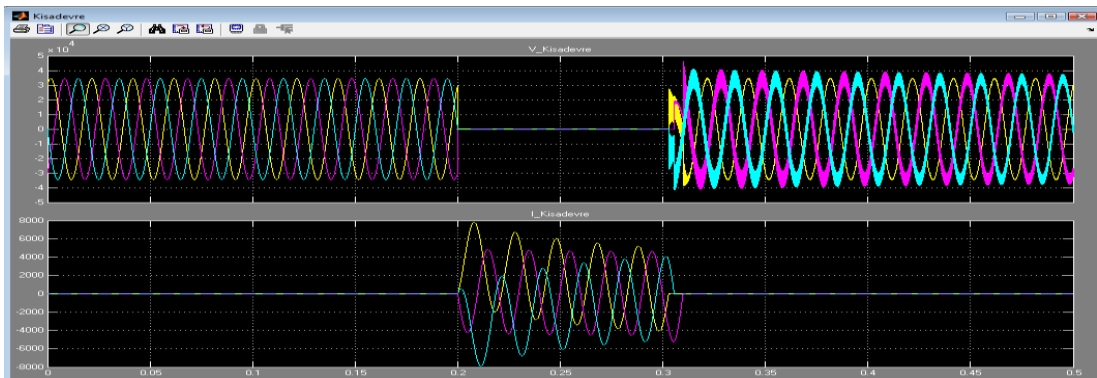
Kısadevre Durumu

Şekil 7.5 İndirici trafo 34,5 kV tarafında kısa devre modeli verilmiştir. Kısa devre zamanı 0.2 ve 0.3 saniyeler arası olarak tanımlanmıştır. Kısa devre ölçümlerini yapabilmek için kısadevre bloğunun önüne “kısadevre barası” isimli bir ölçü bloğu koyulmuştur.

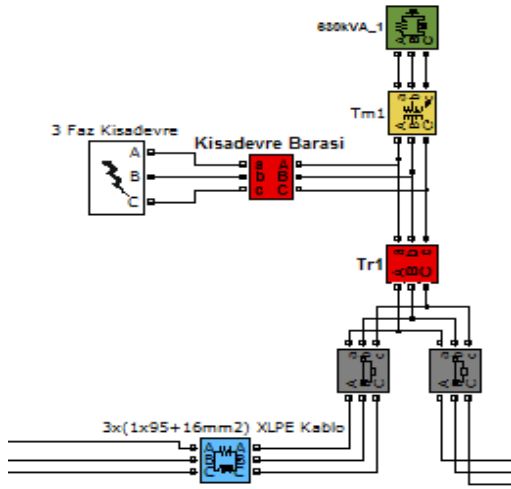


Şekil 7.5. İndirici trafo 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.5. İndirici trafo 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Normal işletme gerilimi 34,5 kV mertebesinde iken 0.2 - 0.3 saniyeler arası üç faz toprak kısadevre durumu ile gerilim seviyesi “0” seviyesine inip, 0.3 saniye sonunda kısa devre durumunun temizlenmesi ile gerilim seviyesi dalgalanmalar sonunda normal haline dönmüştür. Kısa devre durmu yok iken kısadevre barasından geçen akım “0” seviyesindedir. 0.2-0.3 saniyeler arası üç faz toprak kısadevre durumu ile akım seviyesi bağlanabilirlik analizinde de hesaplandığı üzere 8 kA mertebelerindedir.

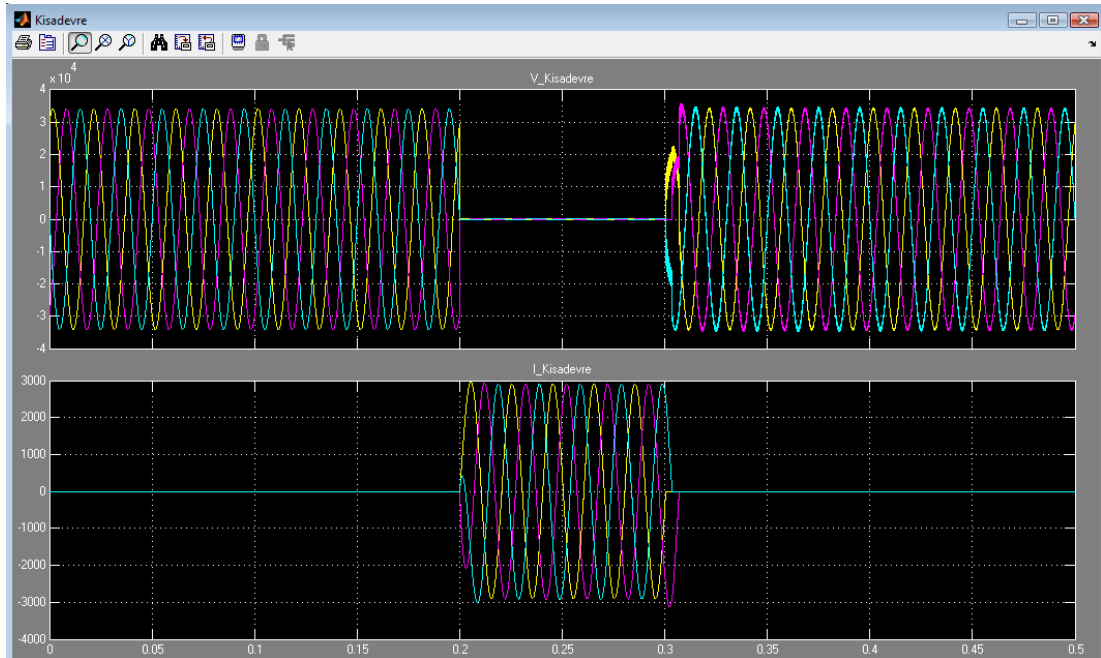


Şekil 7.5. İndirici trafo 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

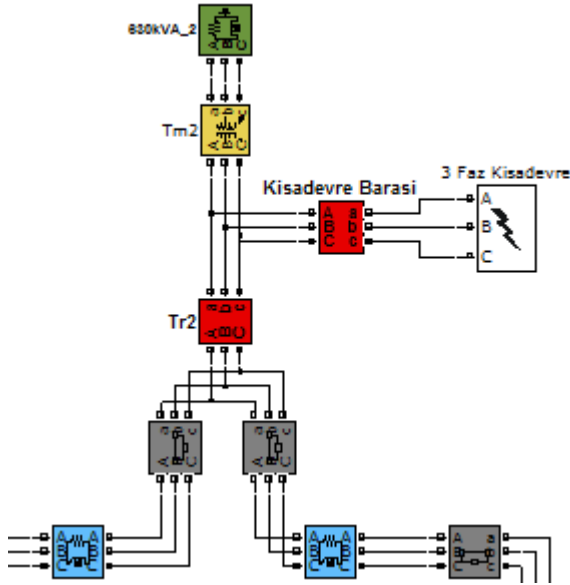


Şekil 7.6. Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.7.'de Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 2,8 kA mertebelerindedir.

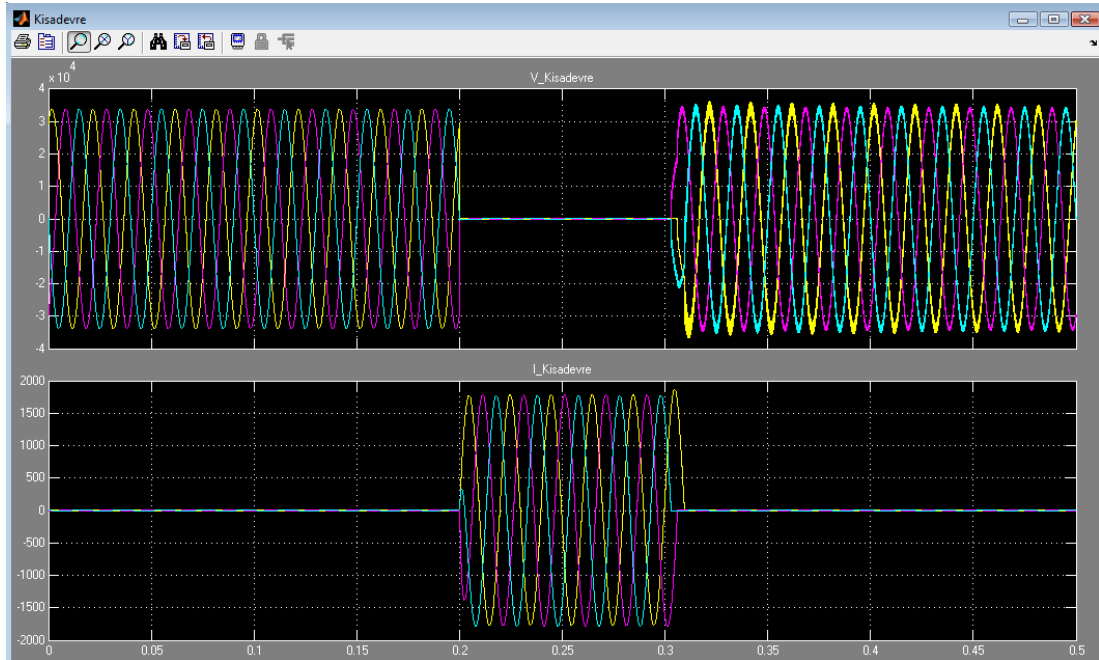


Şekil 7.7. Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

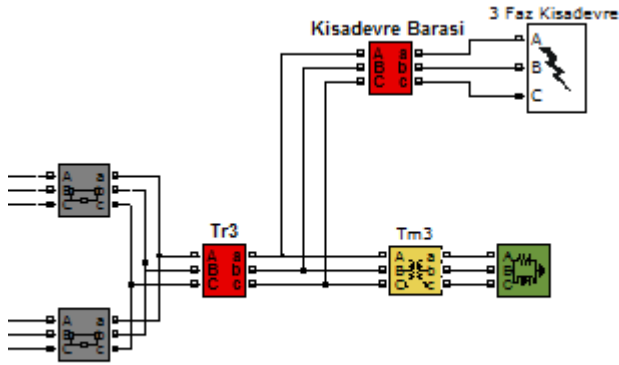


Şekil 7.8. Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.9.'da Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 1,7 kA mertebelerindedir.

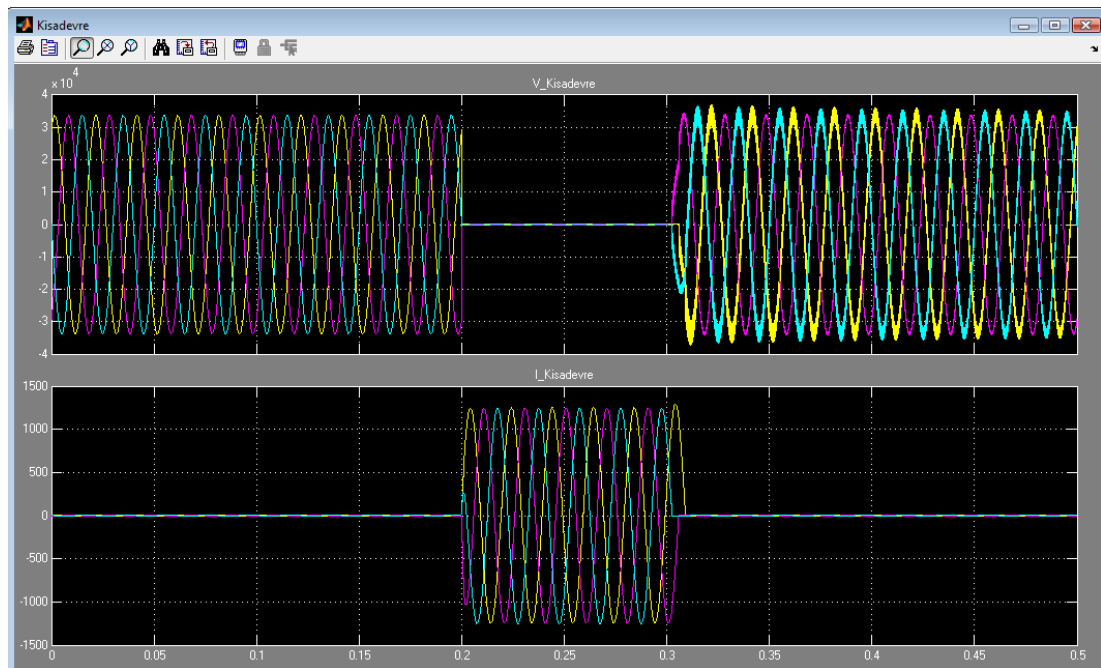


Şekil 7.9. Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

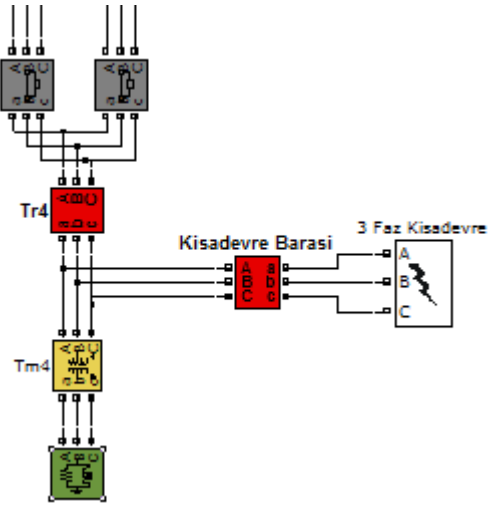


Şekil 7.10. Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.11.'de Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 1,2 kA mertebelerindedir.

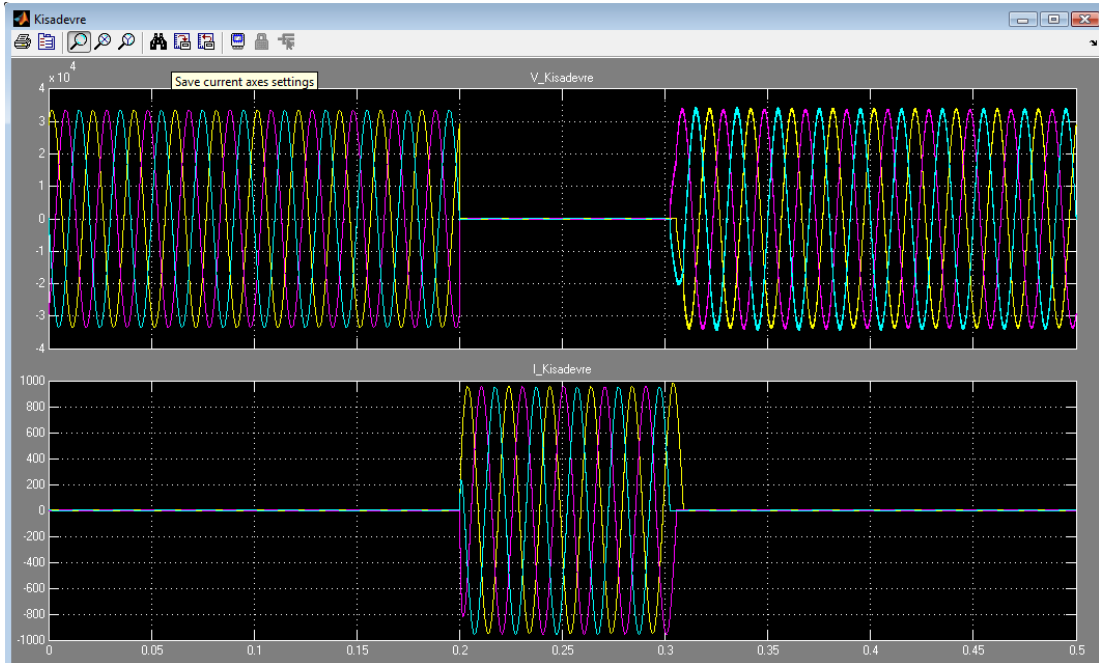


Şekil 7.11. Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

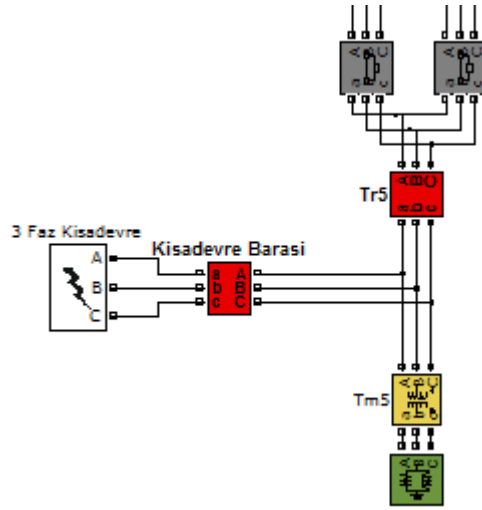


Şekil 7.12. Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.13.'de Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kisadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 960 A mertebelerindedir.

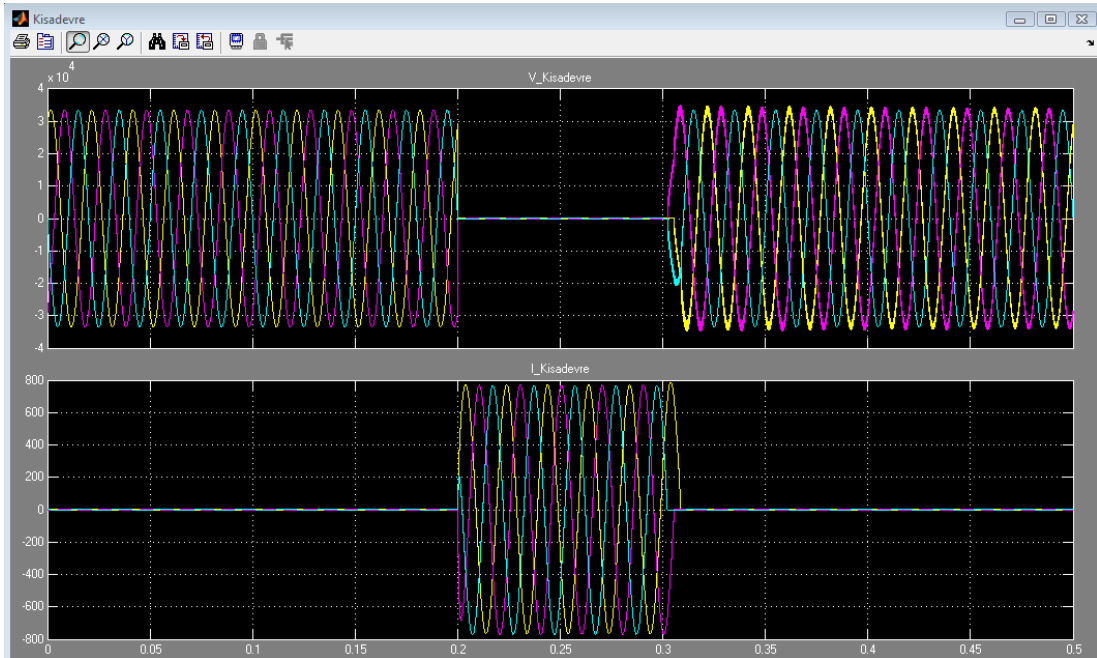


Şekil 7.13. Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

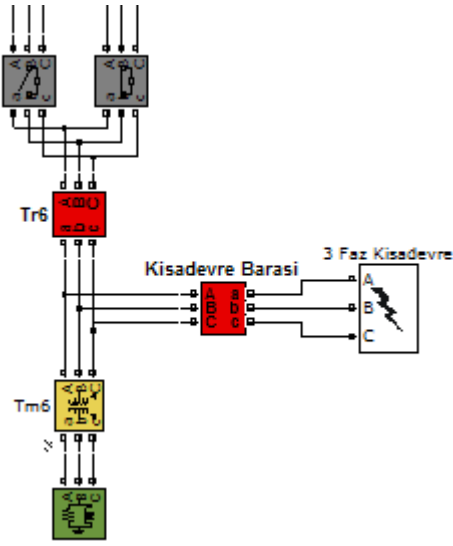


Şekil 7.14. Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.15.'de Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 780 A mertebelerindedir.

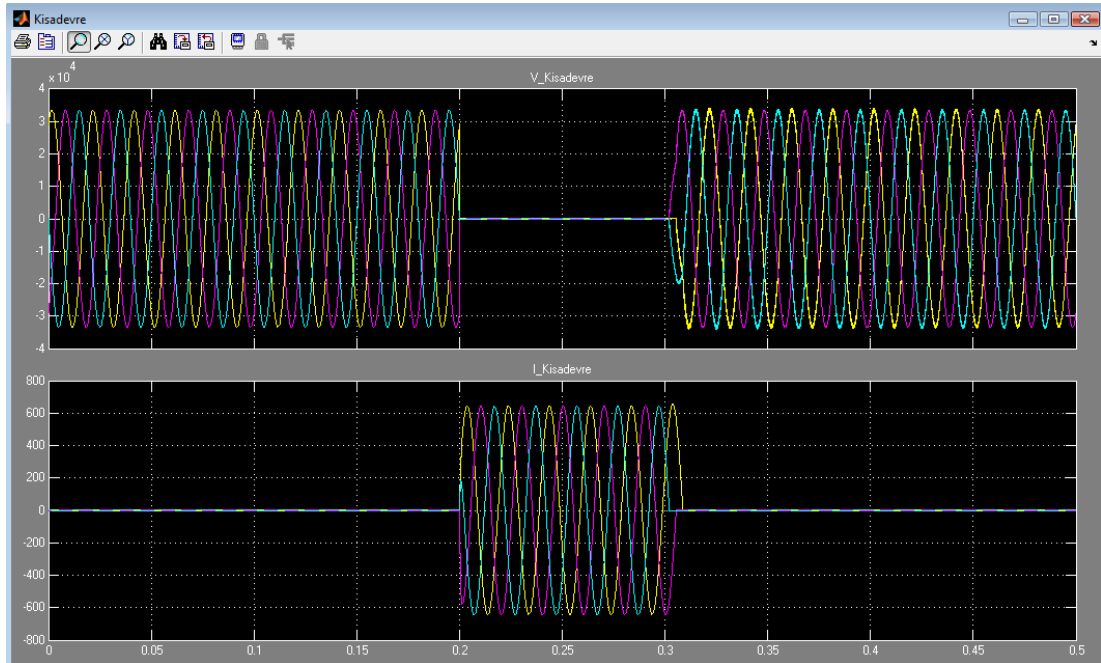


Şekil 7.15. Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli



Şekil 7.16. Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.17.'de Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kisadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 650 A mertebelerindedir.

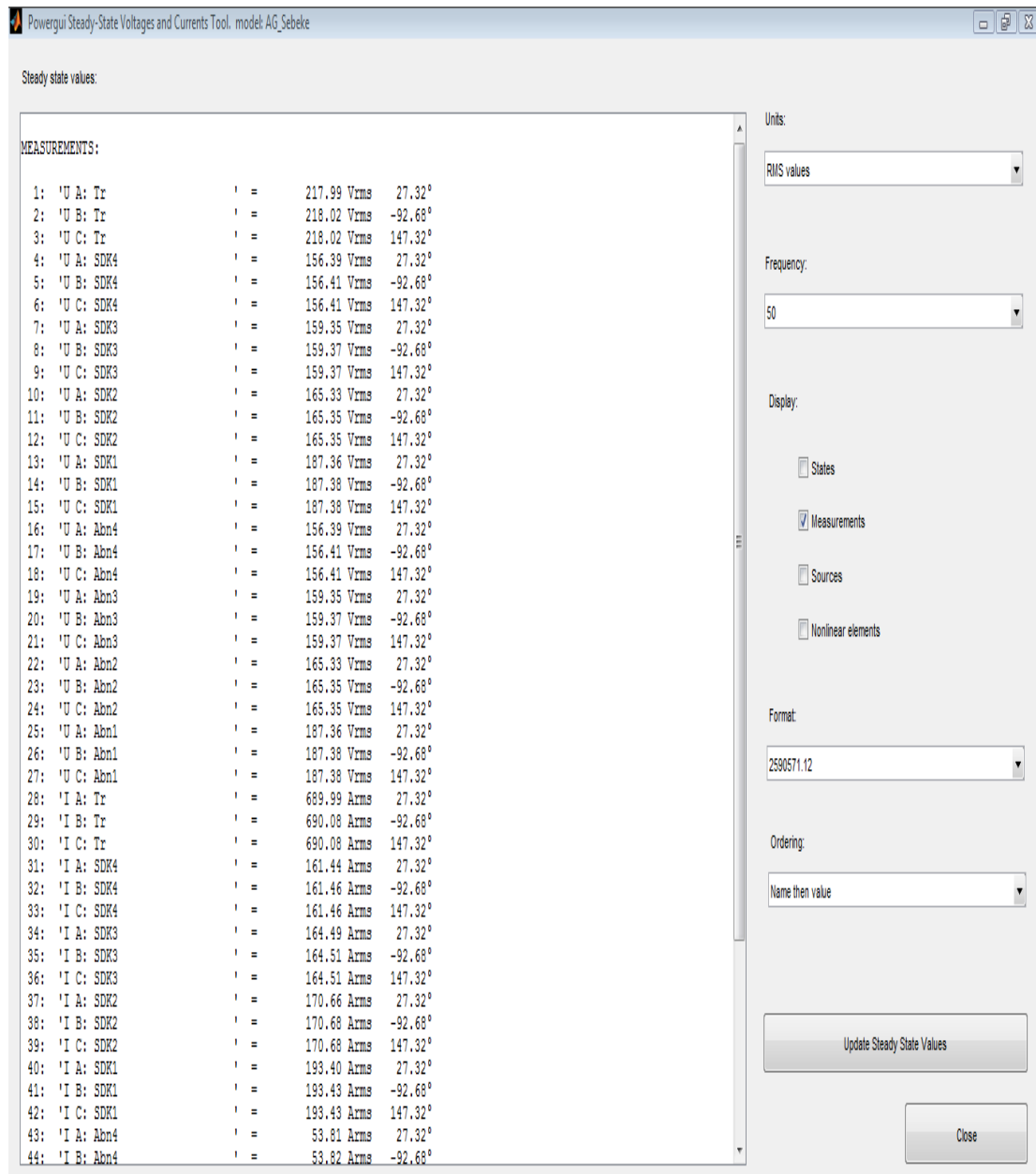


Şekil 7.17. Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

7.2. Alçak Gerilim Santral İçermeyen Sürekli Durumu Analizi

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.18.'de alçak gerilim dağıtım şebekesi için dağıtık üretim santrali içermeyen durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 7.18. Alçak gerilim dağıtım şebekesi dağıtık üretim santrali içermeyen sürekli durum analizi

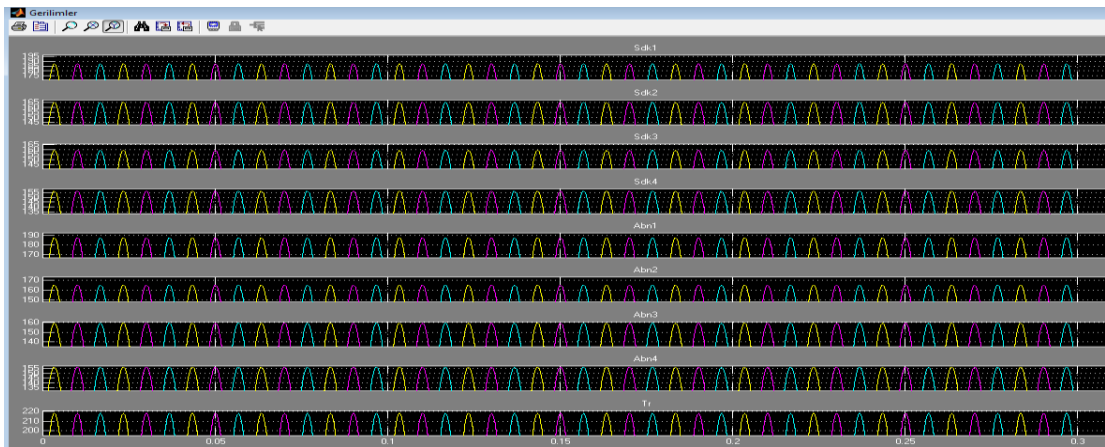
Sürekli durum analizine göre alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesinde gerilim düşümü izin verilen %5 sınırından çok yüksek olarak modellenmiştir. Gerilim düşümü son saha dağıtım kutusu olan Sdk4’de %29 civarındadır. İlk saha dağıtım kutusu olan Sdk1’de ise gerilim düşümü %14 civarındadır. Burda gerilim düşümünün büyük olması, trafonun hemen hemen %100 (600kW) kapasite ile yüklenmesinin etkisi büyüktür.

$$\%Uk_{Sdk4} = \frac{220 - 156,41}{220} \cdot \%100 = \%28,9$$

$$\%Uk_{Sdk1} = \frac{220 - 187,38}{220} \cdot \%100 = \%14,8$$

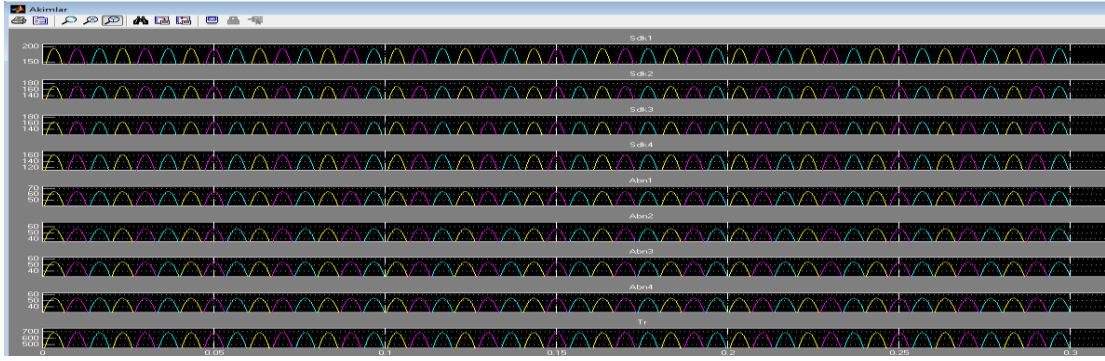
Dört adet saha dağıtım kutularından çekilen akım seviyeleri simulasyon sapmalarına ve hat kayıplarına göre değişiklik göstermekle beraber yaklaşık değerler olup 161 - 193 A mertebesindedir. Toplam şebekeden çekilen akım, bütün saha dağıtım kutularından çekilen toplam akıma eşit olup 690 A değerindedir.

Şekil 7.19.’da ölçü biriminden alınan gerilim dalga modelleri verilmektedir. Tepe gerilim değerleri sürekli durum analizinde verilen sonuçlarla aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.19. Alçak gerilim dağıtım şebekesi dağınık üretim santrali içermeyen durum gerilim seviyesi

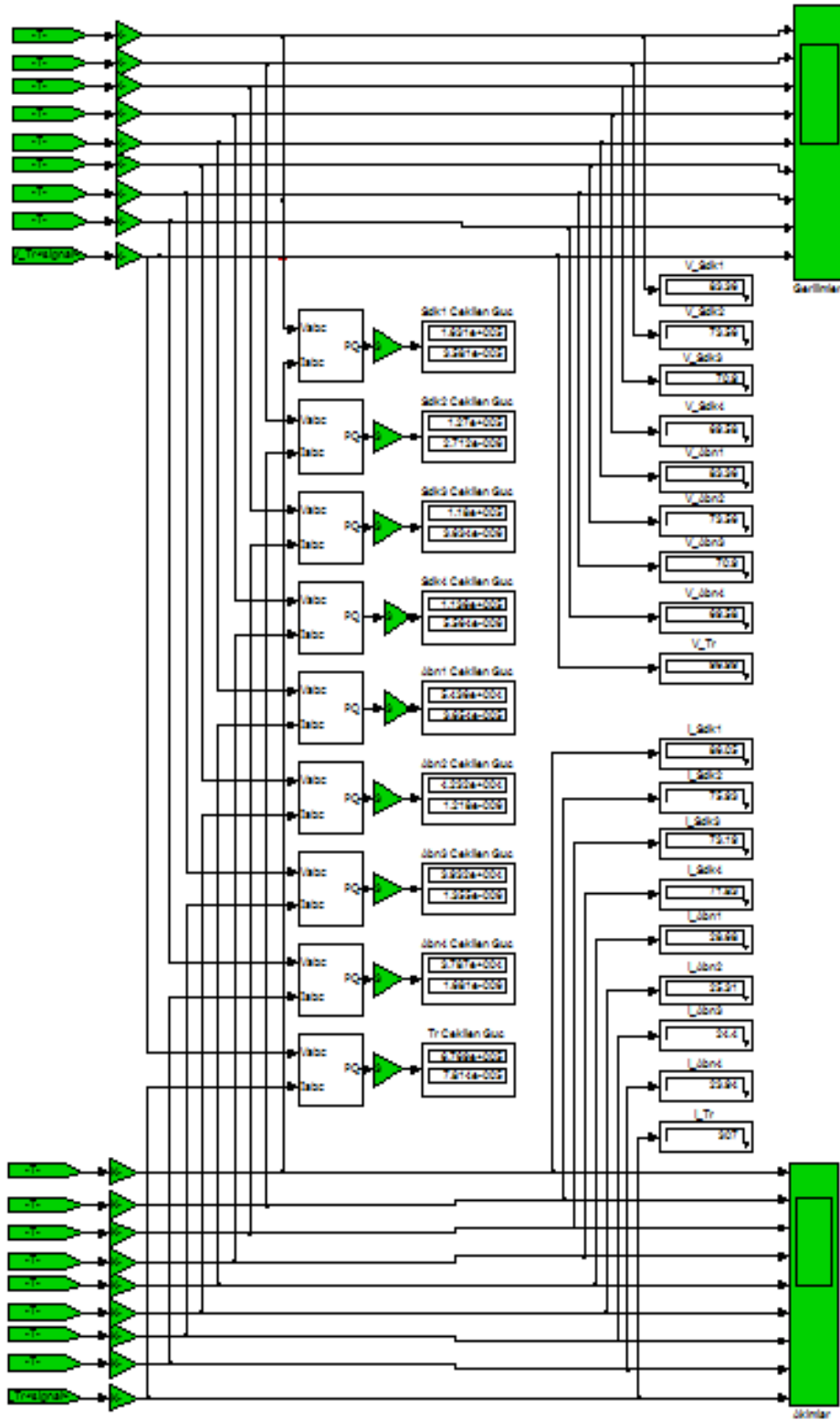
Şekil 7.20.'de ölçü biriminden alınan akım seviyeleri için dalga modelleri verilmektedir. Tepe gerilim değerleri sürekli durum analizinde verilen sonuçlarla aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.20. Alçak gerilim dağıtım şebekesi dağınık üretim santrali içermeyen durum akım seviyesi

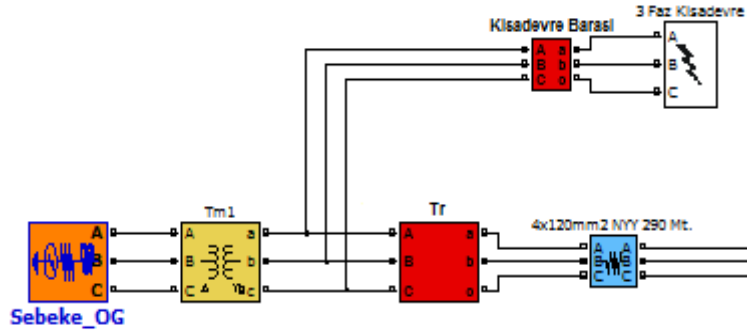
Çekilen Yükler

Şekil 7.21.'de alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi dağınık üretim santrali içermeyen durum için ölçü hücresinde her bir saha dağıtım panosundan çekilen güçler görülmektedir. Saha dağıtım panolarına bağlı yüklerin eşlenik olmasına rağmen (50 x 3 kW) simulasyon sapmaları ve şebeke kayıplarından dolayı çekilen yükler az da olsa farklılık göstermektedir. Panolardan çekilen güçler Sdk1 için 163 kW, Sdk2 için 127 kW, Sdk3 için 118 kW, Sdk4 için 113 kW. Abonelerden çekilen güçler Abn1 için 54 kW, Abn2 için 42 kW, Abn3 için 39 kW, Abn4 için 37 kW.



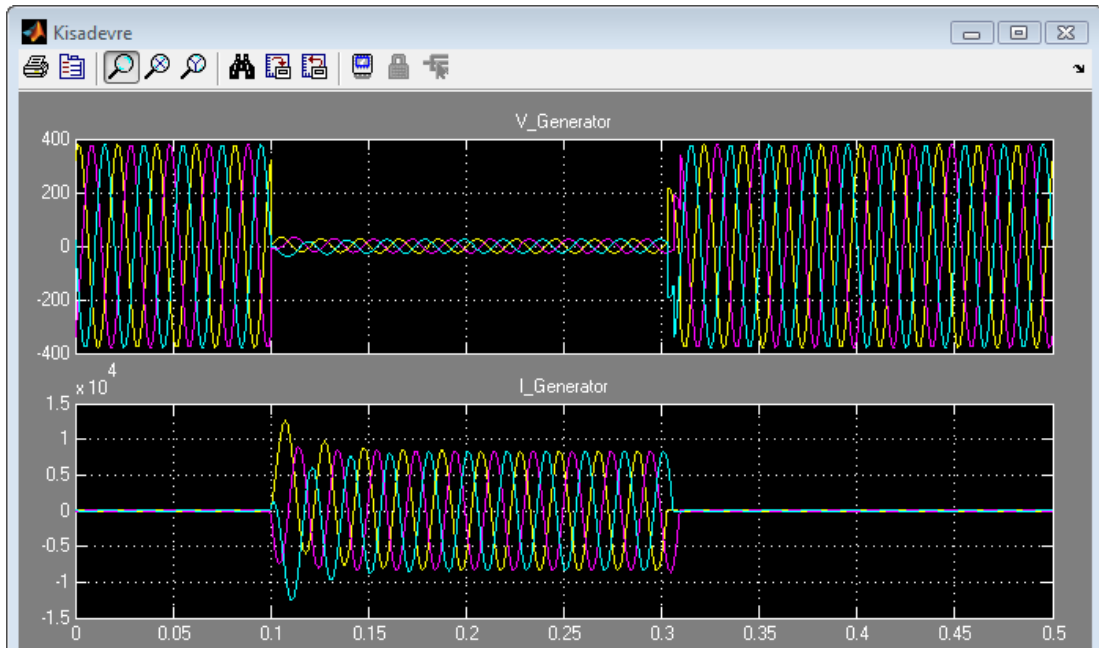
Şekil 7.21. Sdk ölçü birimi

Kısadevre Durumu

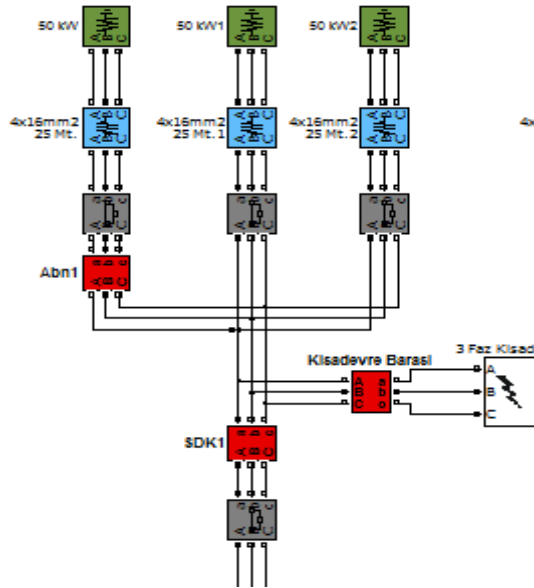


Şekil 7.22. Tm1 0,4 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.23.'de Tm1 0,4 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 14 kA mertebelerindedir.

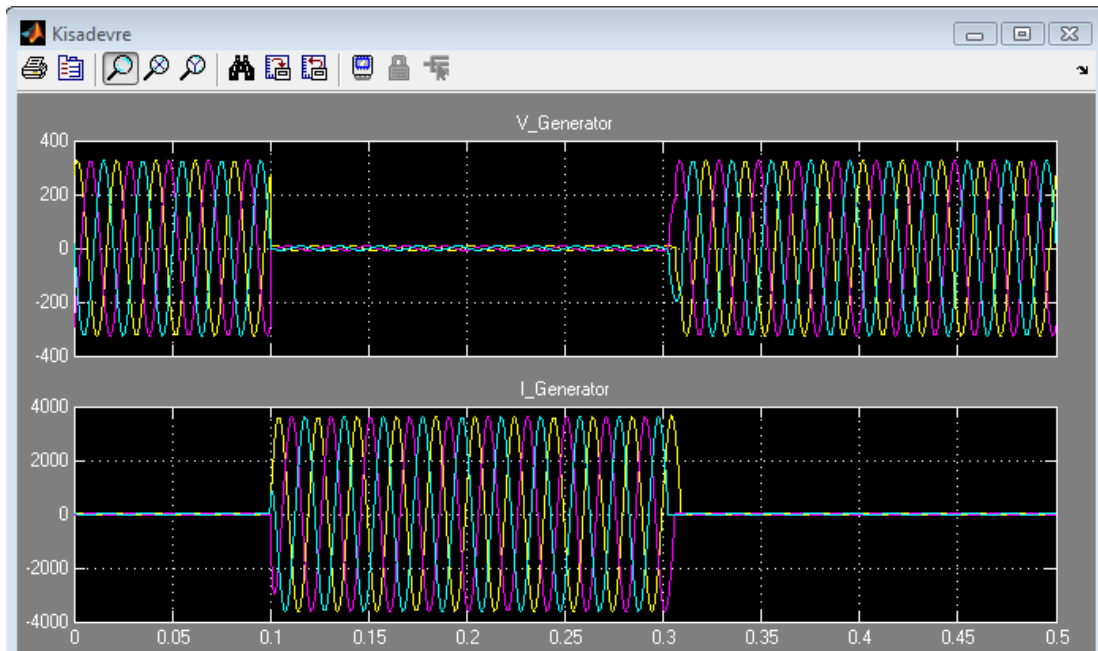


Şekil 7.23. Tm1 0,4 kV tarafında kısa devre dalga modeli

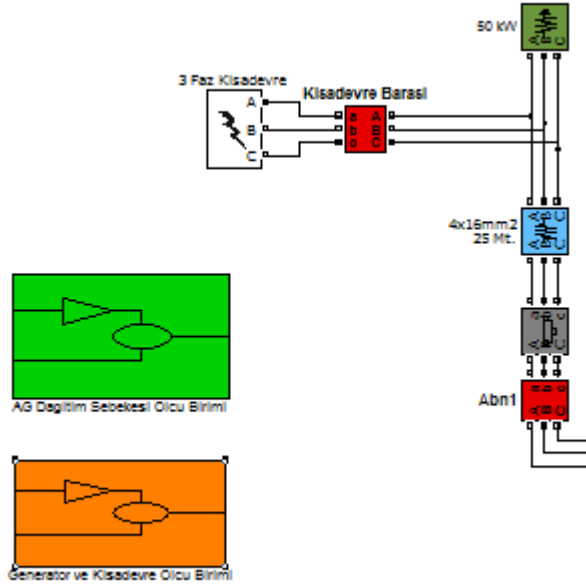


Şekil 7.24. Sdk1 kısa devre modeli

Şekil 7.25.'de Sdk1 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 3,9 kA mertebelerindedir.

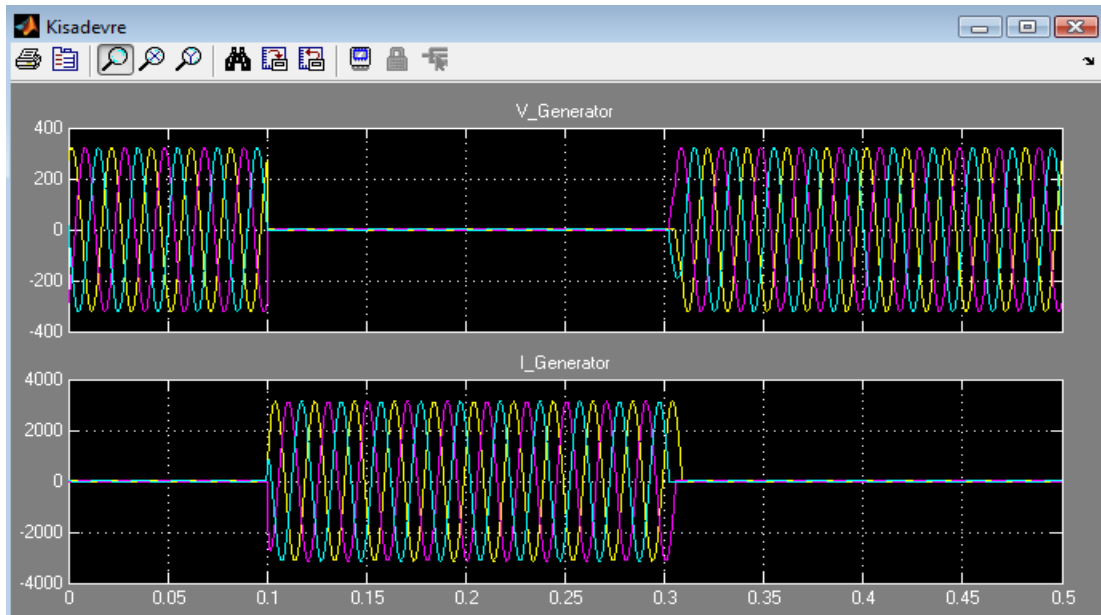


Şekil 7.25. Sdk1 tarafında kısa devre dalga modeli

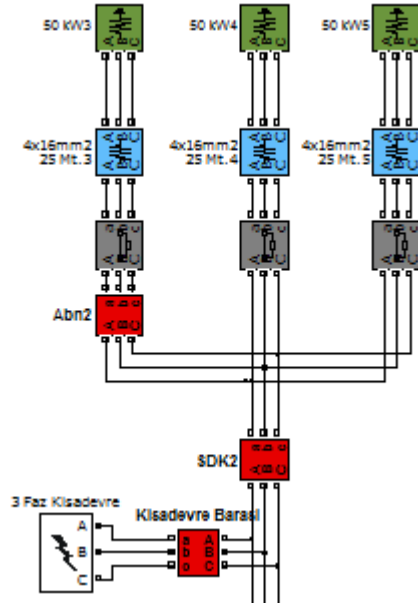


Şekil 7.26. Abn1 kısa devre modeli

Şekil 7.27.'de Abn1 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 3 kA mertebelerindedir.

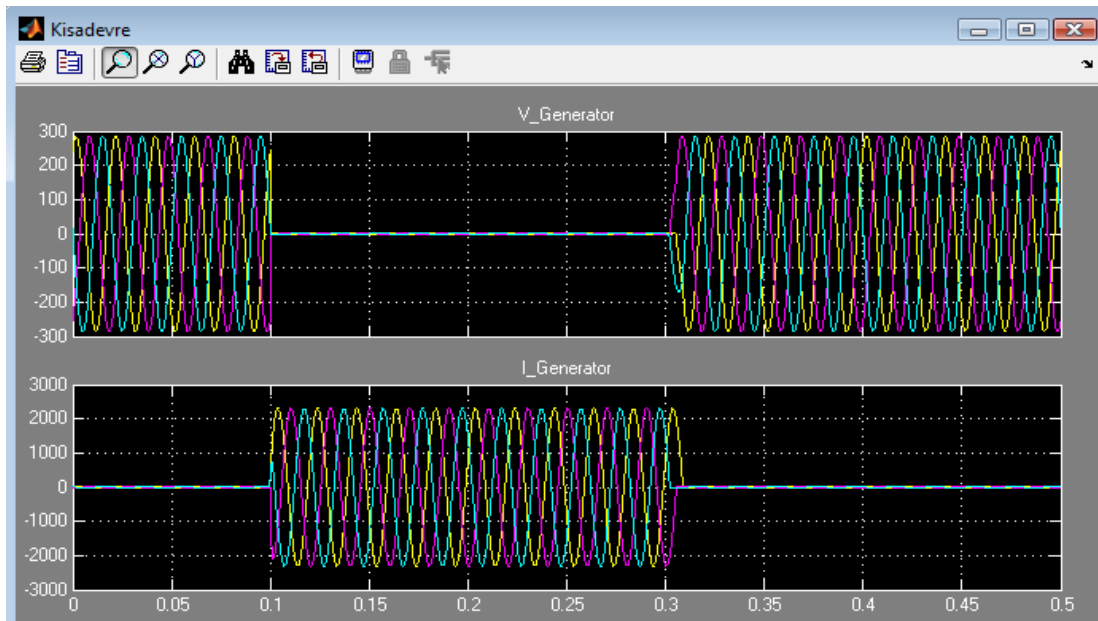


Şekil 7.27. Abn1 tarafında kısa devre dalga modeli

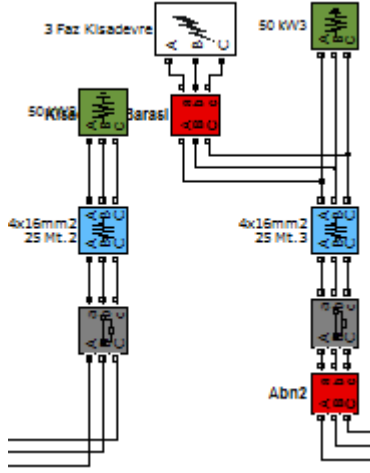


Şekil 7.28. Sdk2 kısa devre modeli

Şekil 7.29.'da Sdk2 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 2,2 kA mertebelerindedir.

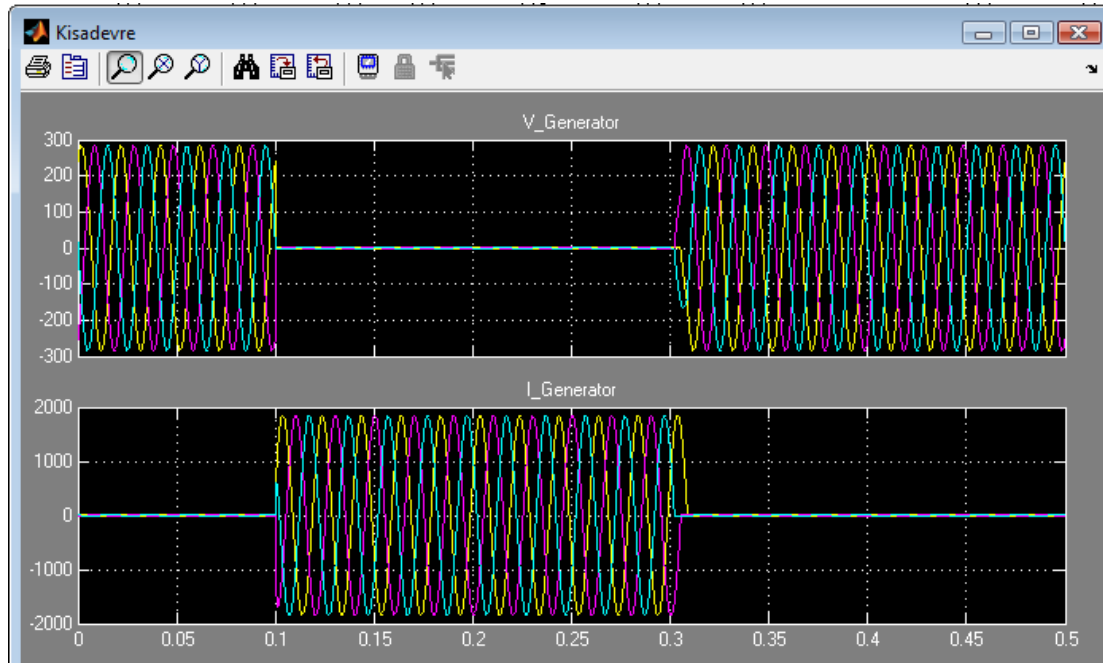


Şekil 7.29. Sdk2 tarafında kısa devre dalga modeli

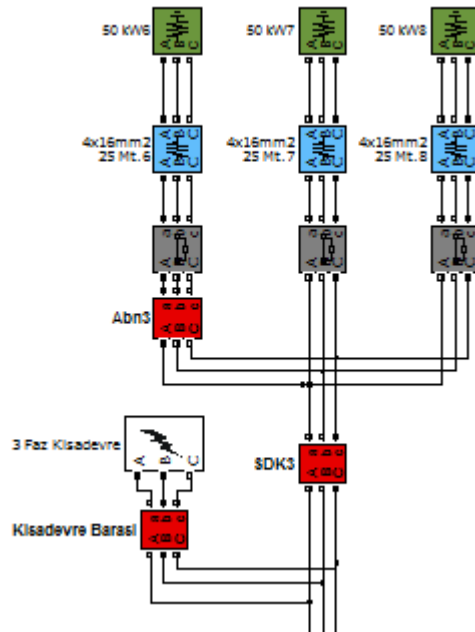


Şekil 7.30. Abn2 kısa devre modeli

Şekil 7.31.'de Abn2 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 1,9 kA mertebelerindedir.

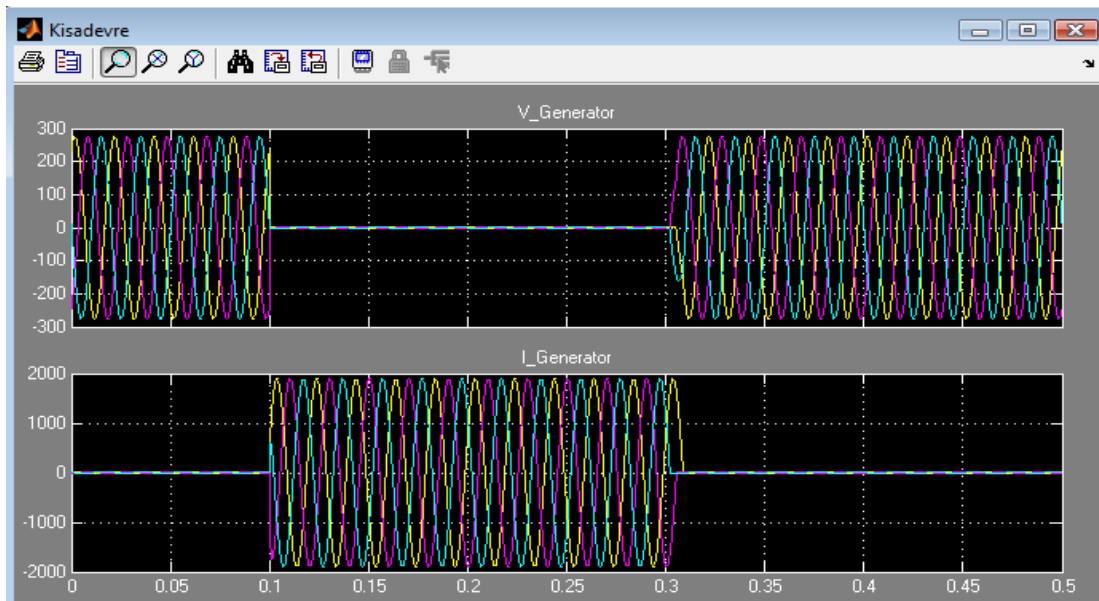


Şekil 7.31. Abn2 tarafında kısa devre dalga modeli

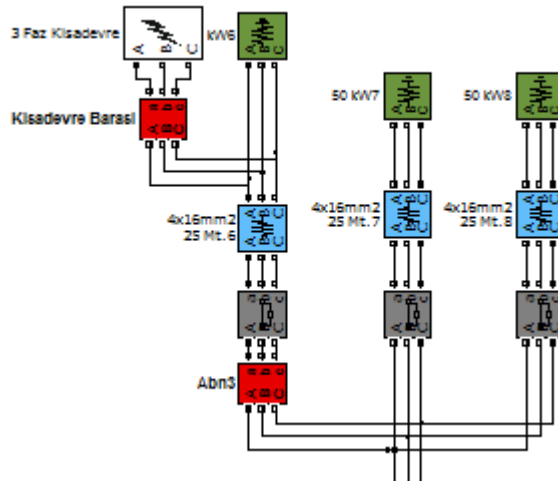


Şekil 7.32. Sdk3 kısa devre modeli

Şekil 7.33.'de Sdk3 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 1,9 kA mertebelerindedir.

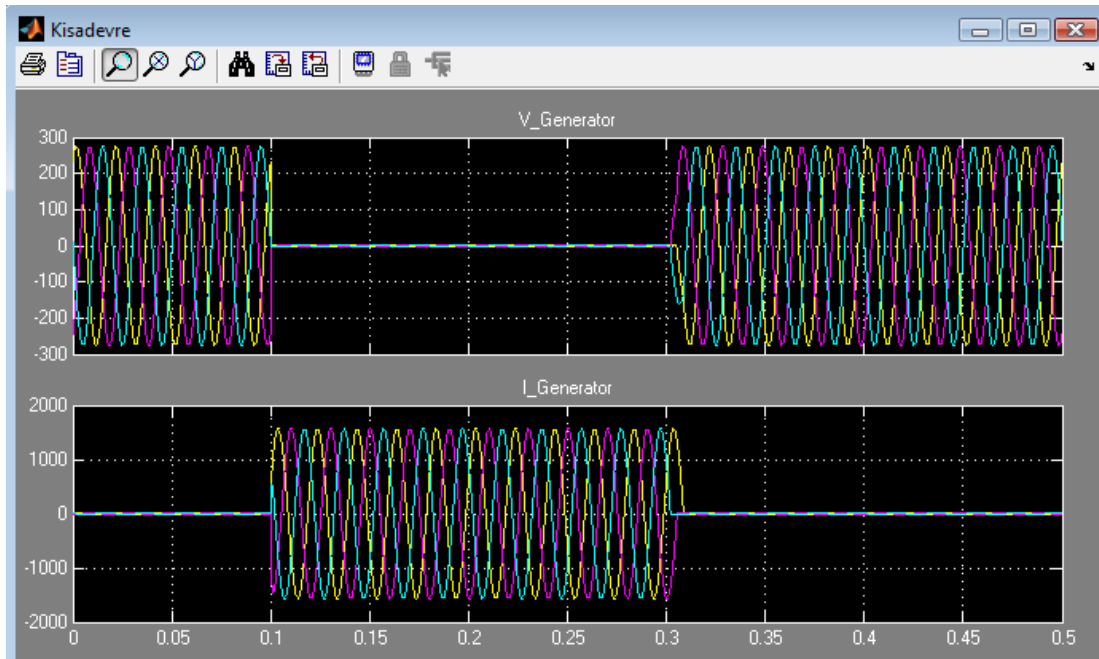


Şekil 7.33. Sdk3 tarafında kısa devre dalga modeli

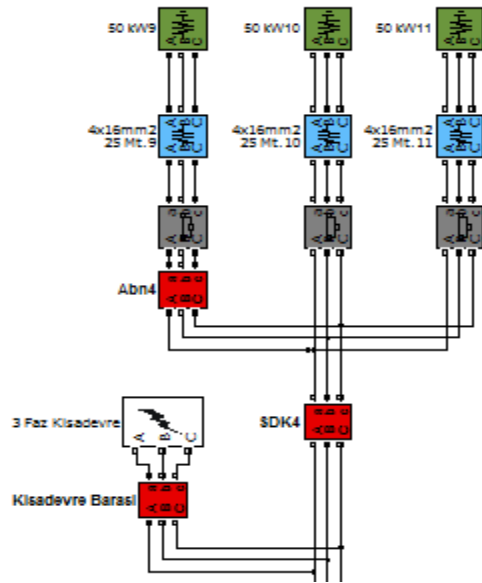


Şekil 7.34. Abn3 kısa devre modeli

Şekil 7.35.'de Abn3 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısa devre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 1,6 kA mertebelerindedir.

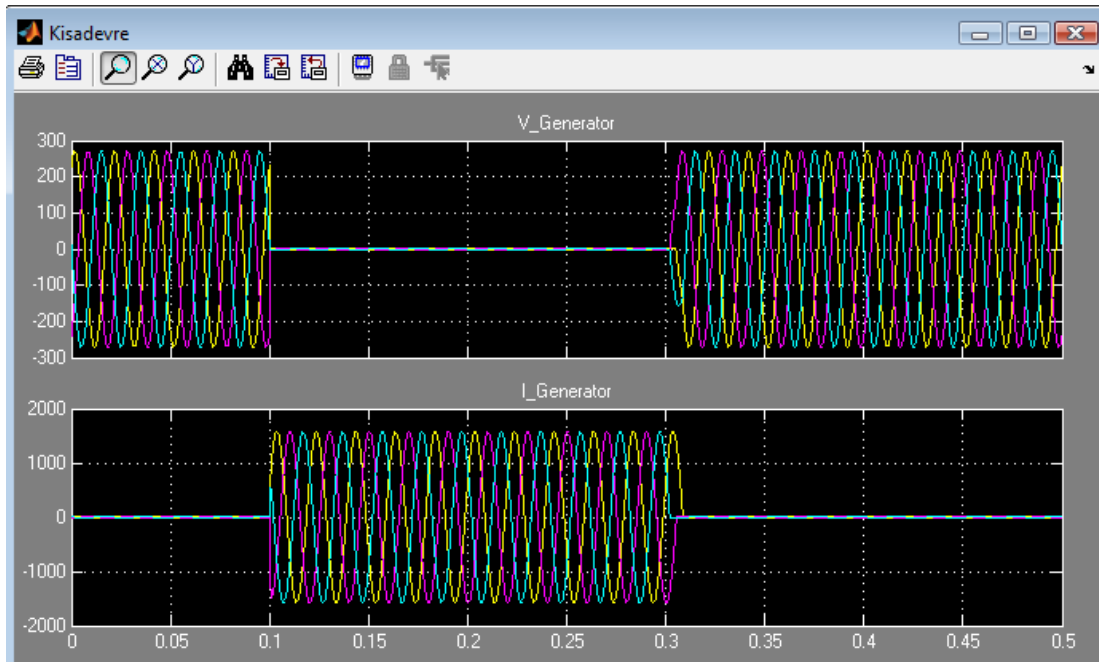


Şekil 7.35. Abn3 tarafında kısa devre dalga modeli

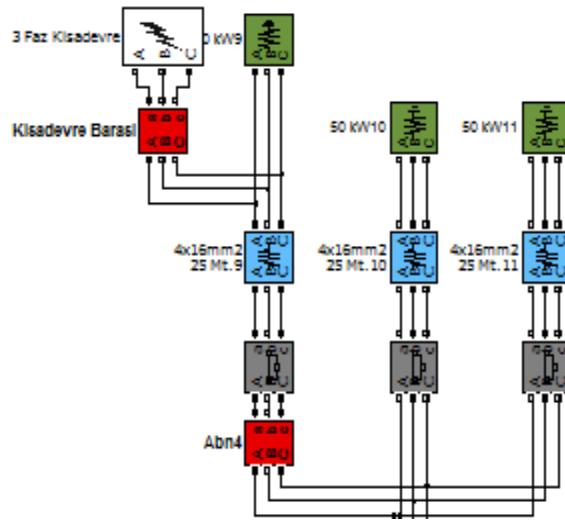


Şekil 7.36. Sdk4 kısa devre modeli

Şekil 7.37.'de Sdk4 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısadevre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 1,6 kA mertebelerindedir.

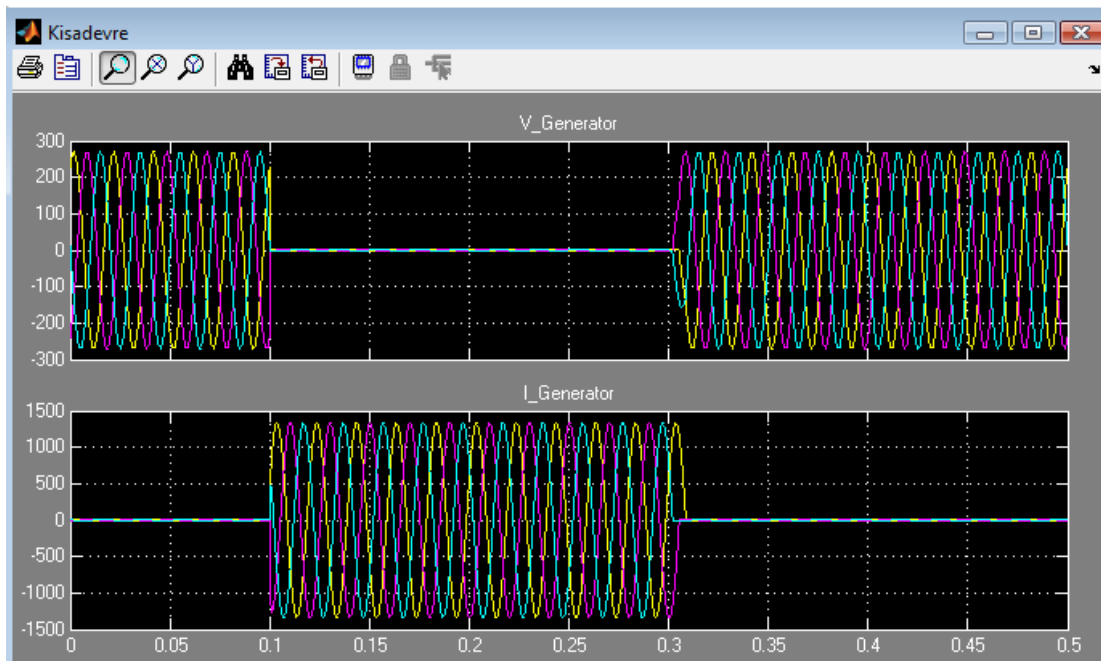


Şekil 7.37. Sdk4 tarafında kısa devre dalga modeli



Şekil 7.38. Abn4 kısa devre modeli

Şekil 7.39.'da Abn4 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Kısa devre akımı büyüklüğü bağlanabilirlik analizinde bulunan sonuca yakın olarak 1,4 kA mertebelerindedir.



Şekil 7.39. Abn4 tarafında kısa devre dalga modeli

7.3. Orta Gerilim Trafo Bölgesine Dağılık Üretim Santrali Bağlanması

Bu bölümde orta gerilim trafo bölgesi için 200 kW & 65 kVar gücünde dağılık üretim santrali içeren durum analizleri yapılacaktır. İlk olarak generatörlerin başlatılabilmesi için yük akışı ve generatörlerin başlatılması bölümünde şebeke senkronizasyonu üzerine veriler verilecektir. Simulasyonumuzda sürekli durum verileri bölümünden, şebekeye ait gerilim seviyeleri ve çekilen akım miktarları verilecektir. Sürekli durum verilerinden alınan veriler ölçü hücresinden gözlemlenen şebekenin dalga modelleri ile doğrulanacaktır. Çekilen yükler bölümünde ise yine ölçü hücresinden alınan bilgiye göre her bir trafodan çekilen yük miktarları belirtilecektir. Son olarak kısa devre durumları bölümünde, daha önceden bağlanabilirlik analizinde hesaplanmış şebekenin farklı bölümlerindeki kısa devre seviyeleri irdelenecektir.

7.3.1. Senkron generatörlü geçici sürekli durum analizi

Yük Akışı ve Generatörlerin Başlatılması

Şekil 7.40.'da orta gerilim trafo bölgesine senkron generatörlerin yerleştirilmesi durumunda generatörlerin başlatılabilmesi için yapılması gereken yük akışı bilgileri verilmiştir. Sistemimizde kullanacağımız bütün senkron generatörlerin nominal değerleri 500 kVA ve 380 Vrms dir. Bizim sistemde üretilmesini istediğimiz güçler 200 kW ve 65 kVar'dır. Bu sebeple örnek olarak birinci senkron generatör için bara tipi P & Q seçilerek, generatörlerde üretilmesi ön görülen aktif ve reaktif güçler girilmiştir. Şebeke ile adaptasyon için yük akışı değerleri alındığı zaman örnek olarak birinci generatör için faz açısı $60,28^\circ$ olarak, faz gerilimleri 387,09 Vrms, faz akımları 313,66 Arms olarak belirlenmiştir. Senkron generatörlerde mekanik girdi olarak "Pm" ile generatöre sabit değerde bir giriş uygulanmaktadır. 200 kW aktif güç, 65 kVar reaktif güç için $2.017e+0005$ W olarak gösterilen mekanik kuvvet bulunmuştur. İkinci generatör için bu değer $2.0172e+0005$ W olarak bulunmuştur. Senkron generatörün iç gerilimi "E" üretilcek güçler için 1.071 per unit olarak bulunmuştur. Bu değer ikinci generatör için 1.066 per unit'dir.

Powergui Load Flow and Machine Initialization Tool. model: OG_Sebeke_SG

Machines load flow:

Machine: Senkron Generator/Simplified Synchronous Machine 2 MVA
 Nominal: 500 kVA 380 V rms
 Bus Type: P & Q generator
 Uan phase: 60.28°
 Uab: 387.09 Vrms [1.019 pu] 90.28°
 Ubc: 387.09 Vrms [1.019 pu] -29.72°
 Uca: 387.09 Vrms [1.019 pu] -149.72°
 Ia: 313.66 Arms [0.4129 pu] 42.27°
 Ib: 313.66 Arms [0.4129 pu] -77.73°
 Ic: 313.66 Arms [0.4129 pu] 162.27°
 P: 2e+005 W [0.4 pu]
 Q: 65000 Vars [0.13 pu]
 Pmec: 2.017e+005 W [0.4034 pu]
 Torque: NaN N.m [NaN pu]
 E: 1.071 pu

Machine: Senkron Generator2/Simplified Synchronous Machine 2 MVA
 Nominal: 500 kVA 380 V rms
 Bus Type: P & Q generator
 Uan phase: 60.23°
 Uab: 385.31 Vrms [1.014 pu] 90.23°
 Ubc: 385.31 Vrms [1.014 pu] -29.77°
 Uca: 385.31 Vrms [1.014 pu] -149.77°
 Ia: 315.11 Arms [0.4148 pu] 42.23°
 Ib: 315.11 Arms [0.4148 pu] -77.77°
 Ic: 315.11 Arms [0.4148 pu] 162.23°
 P: 2e+005 W [0.4 pu]
 Q: 65000 Vars [0.13 pu]
 Pmec: 2.0172e+005 W [0.4034 pu]
 Torque: NaN N.m [NaN pu]
 E: 1.0666 pu

Machines:

Senkron Generator/Simplified Sy
 Senkron Generator2/Simplified S
 Senkron Generator3/Simplified S

Bus type :
 P & Q generator

Terminal voltage UAB (Vrms):
 X

Active power (Watts):
 200000

Reactive power (Vars):
 65000

Phase of UAN voltage (deg):
 X

Load flow frequency (Hz):
 50

Load flow initial condition:
 Auto

Update Circuit & Measurements

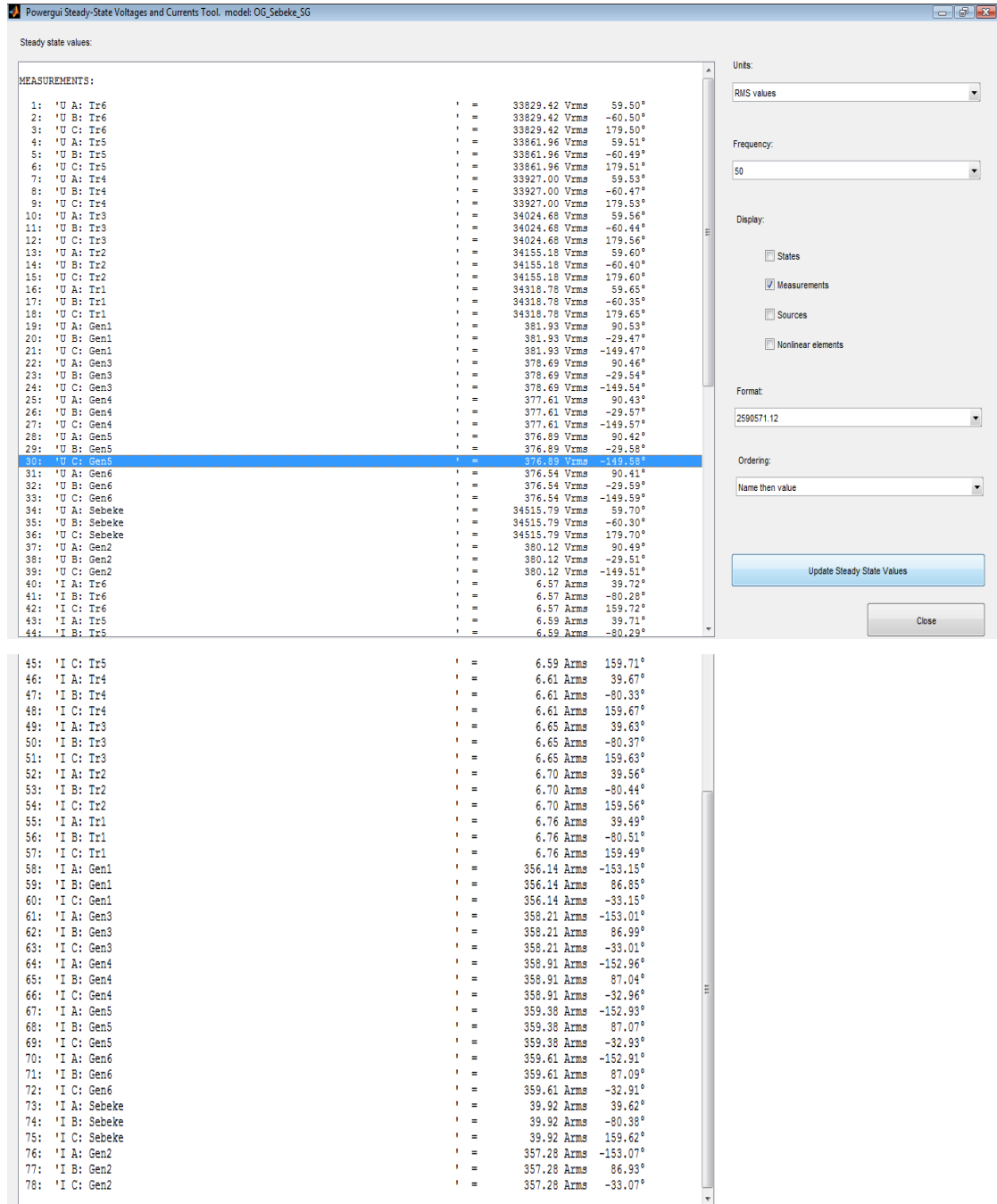
Update Load Flow

Close

Şekil 7.40. Orta gerilim senkron generatörler için yük akışı

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.41.'de orta gerilim senkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 7.41. Orta gerilim senkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren sürekli durum analizi

Analiz sonucuna göre 200 kW & 65 kVar senkron generatör bağılı dağıtık üretim içeren orta gerilim şebekede gerilim profilinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Şebekeden çekilen akımlarda bağlanan generatör gücü ile orantılı olarak azalmalar görülmüştür. Şebekeden daha az akımın çekilmesi yeni yapılması gereken yatırımların ertelenebilmesine olanak tanıyarak şebekeye olumlu katkıda bulunmaktadır. Örneğin kablo kesitleri ve trafo gücünün yükseltilmesine gerek kalmayacaktır.

Çizelge 7.1.'de dağıtık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durum karşılaştırması verilmiştir. Her trafoda şebekeden çekilen akımlarda %30 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Gerilim profilindeki düzelme ise Tr6 trafosundaki gerilim düşümü değişimi ile gösterilebilir. Daha önce %3,1 olan gerilim düşümü, senkron generatör bağılı durumda iken %1,9 seviyesine düşmüştür.

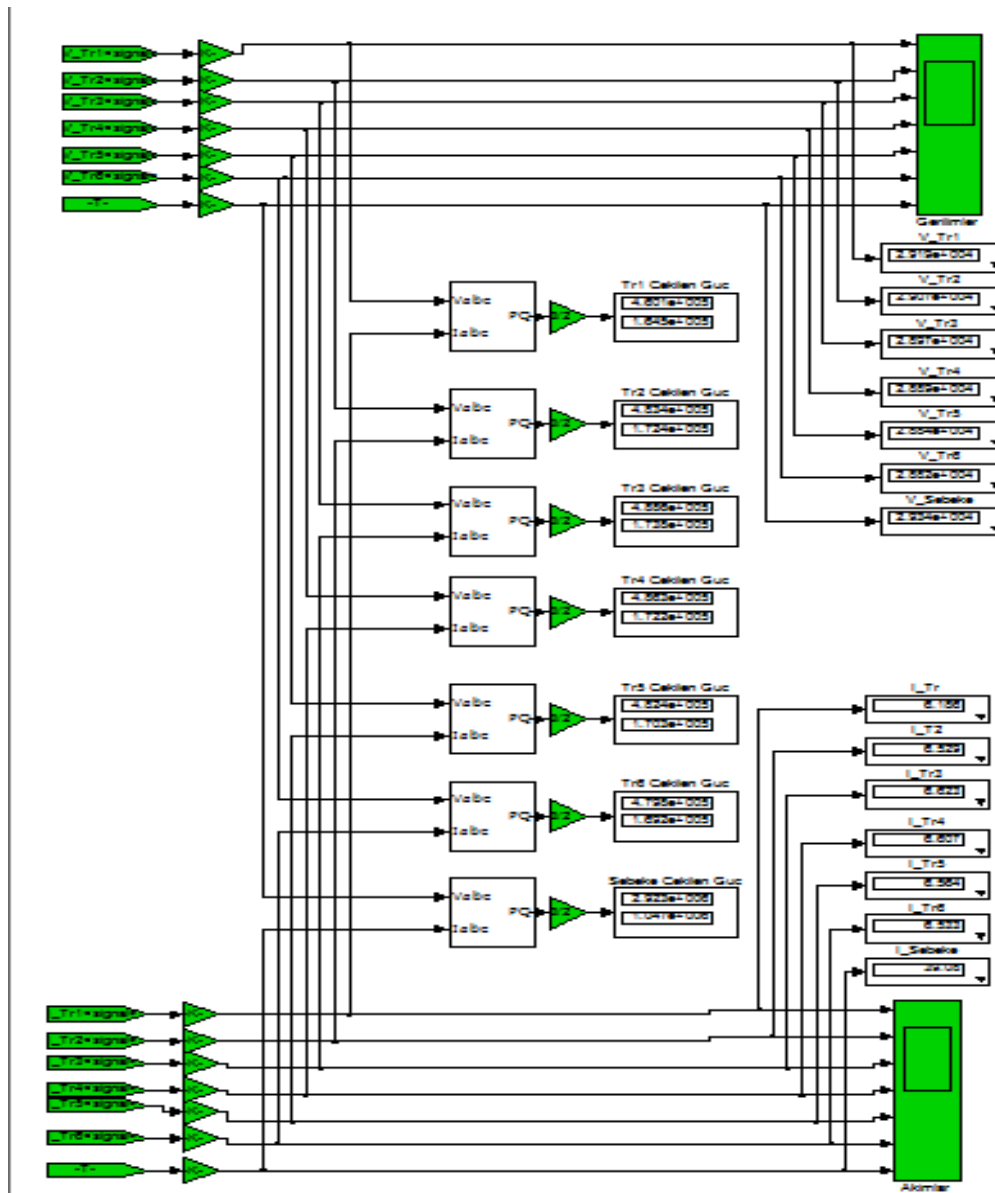
$$\%U_k = \frac{34,5 - 33,829}{34,5} \cdot \%100 = \%1,9$$

Çizelge 7.1. Dağıtık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durum karşılaştırması

Dağıtık Üretim İçermeyen Durum	U (Gerilim)		I (Akım)		Dağıtık Üretim İçeren Durum Senkron Generatör	U (Gerilim)	I (Akım)	Çekilen akım % azalış	Gerilim düşümü % azalış
Tr1	34162	V	9,94	A	Tr1	34318	6,76	31,99	0,46
Tr2	33917	V	9,87	A	Tr2	34155	6,7	32,12	0,70
Tr3	33722	V	9,81	A	Tr3	34024	6,65	32,21	0,90
Tr4	33576	V	9,77	A	Tr4	33927	6,61	32,34	1,05
Tr5	33479	V	9,74	A	Tr5	33861	6,59	32,34	1,14
Tr6	33430	V	9,72	A	Tr6	33829	6,57	32,41	1,19
Şebeke	34455	V	58,88	A	Şebeke	34515	39,92	32,20	0,17

Çekilen Yükle

Şekil 7.42. orta gerilim şebekede senkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren durum için ölçü hücresinde herbir trafo tarafından çekilen güçler görülmektedir. Trafolardan çekilen güçler Tr1 için 480 kW – 164 kVar, Tr2 için 483 kW – 172 kVar, Tr3 için 488 kW – 173 kVar, Tr4 için 488 kW – 172 kVar, Tr5 için 482 kW – 170 kVar, Tr6 için 479 kW – 162 kVar.



Şekil 7.42. Senkron generatörlü ölçü birimi trafo güçleri

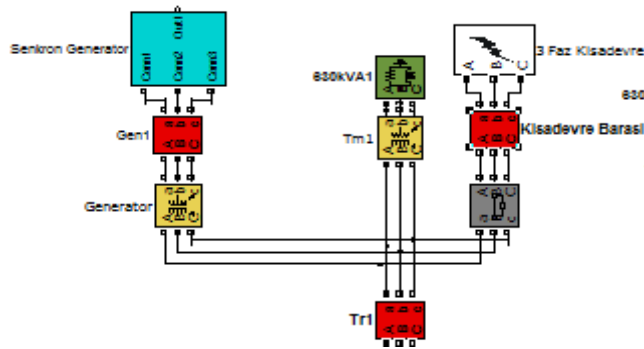
Çizelge 7.2.'de dağınık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu senkron generatörün 200 kW'lık bir yükü beslemesi sonucu trafolardan çekilen yükler 600 kW mertebelerinde iken 480 kW mertebelerine düşmüştür. Reaktif güçlerdeki azalış, senkron generatörün şebekeye reaktif güç sağlayabilmesinden ötürü ve generatör çıkışında bulunan kompanzasyon ünitesi sayesinde olmuştur.

Çizelge 7.2. Dağınık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması

Dağınık Üretim İçermeyen Durum	P Aktif Güç		Q Reaktif Güç		Dağınık Üretim İçeren Durum Senkron Generatör	P Aktif Güç	Q Reaktif Güç	Fark P (Aktif Güç)	Fark Q Reaktif Güç
Tr1	621	W	444	Var	Tr1	480	164	141	280
Tr2	612	W	438	Var	Tr2	483	172	129	266
Tr3	605	W	423	Var	Tr3	488	173	117	250
Tr4	600	W	422	Var	Tr4	488	172	112	250
Tr5	598	W	426	Var	Tr5	482	170	116	256
Tr6	594	W	425	Var	Tr6	479	162	115	263
Şebeke	3715	W	2645	Var	Şebeke	2923	1047	792	1598

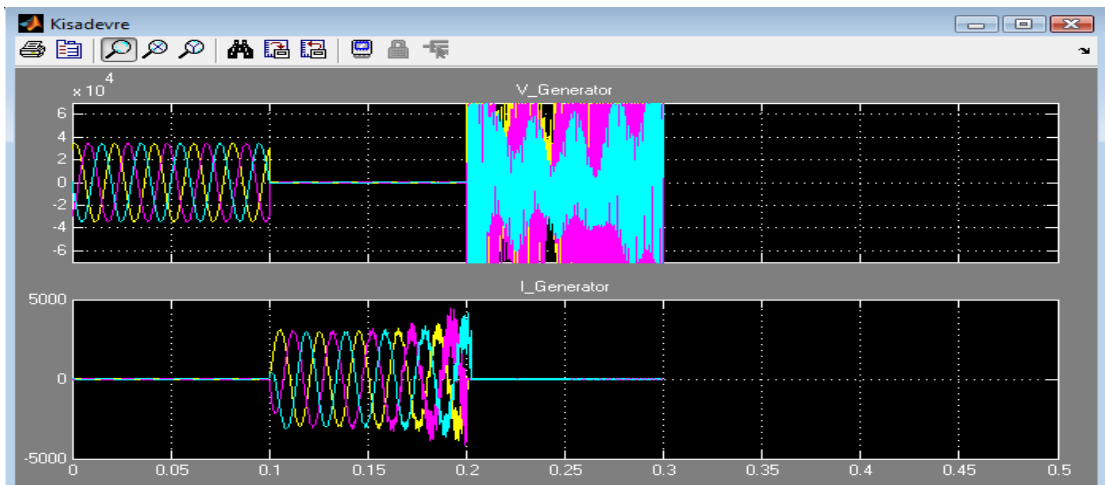
Kısadevre Durumu

Bu bölümde senkron generatör entegre edilmiş şebekedeki kısa devre durumları incelenecektir. Normal şebeke kısa devre durumuna artı olarak senkron generatörün kısa devre akımına katkıda bulunması beklenmektedir. Yapılan üç faz kısa devre simülasyonları ile kısa devre katkısı doğrulanmıştır.

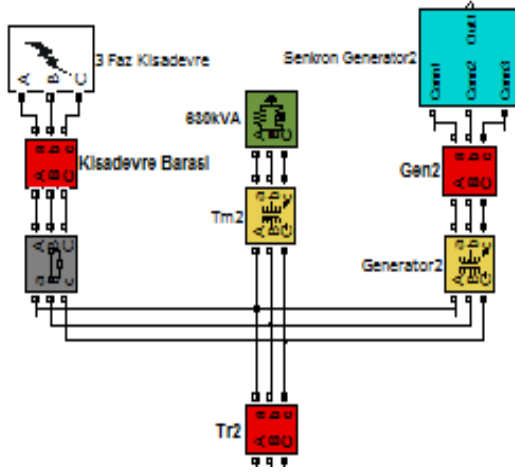


Şekil 7.43. Senkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.44.'de senkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Normal işletme koşullarında oluşan kısa devre durumlarından farklı olarak senkron generatörlü sistemde kısa devre sonucu yüksek ölçüde gerilim dalgalanmaları ve kısa devre akımında sapmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Senkron generatörlü sistemde kısa devre sonucu 3 kA mertebelerindedir.

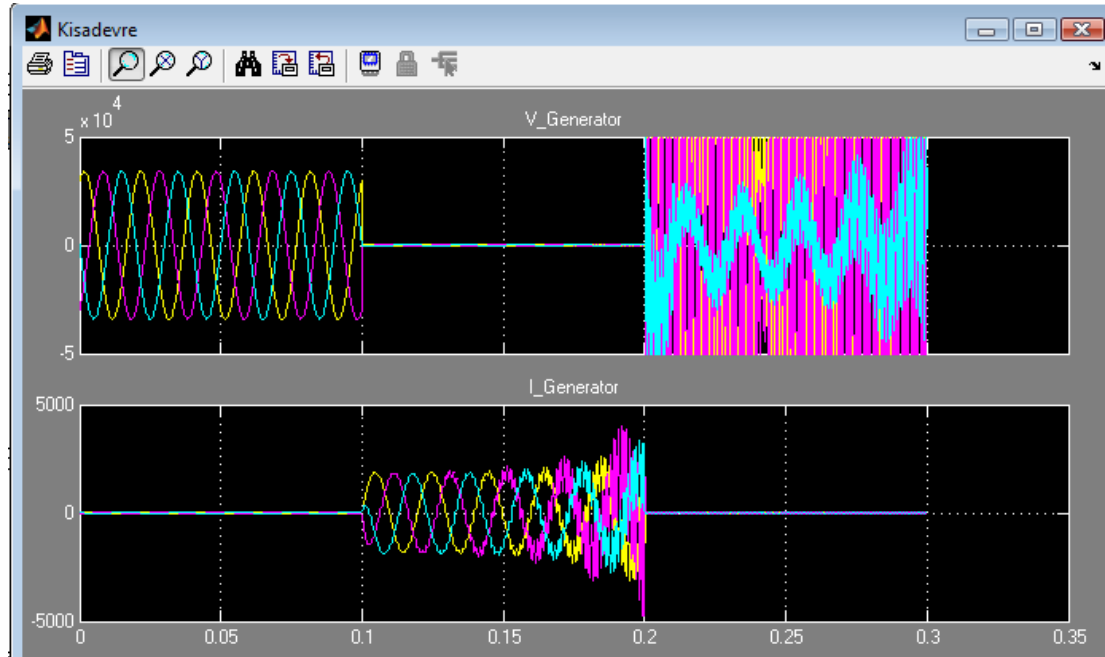


Şekil 7.44. Senkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

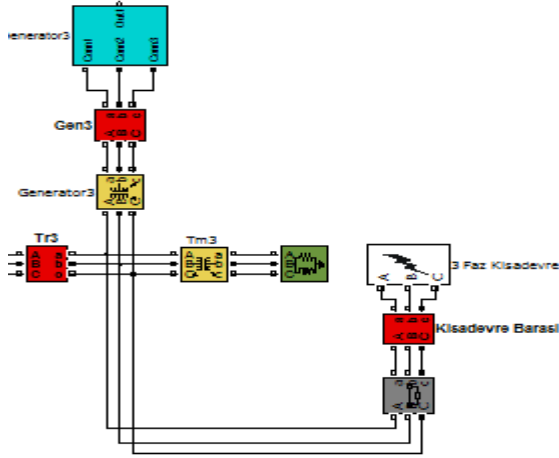


Şekil 7.45. Senkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.46.'da Senkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 1,9 kA seviyesine gelmiştir.

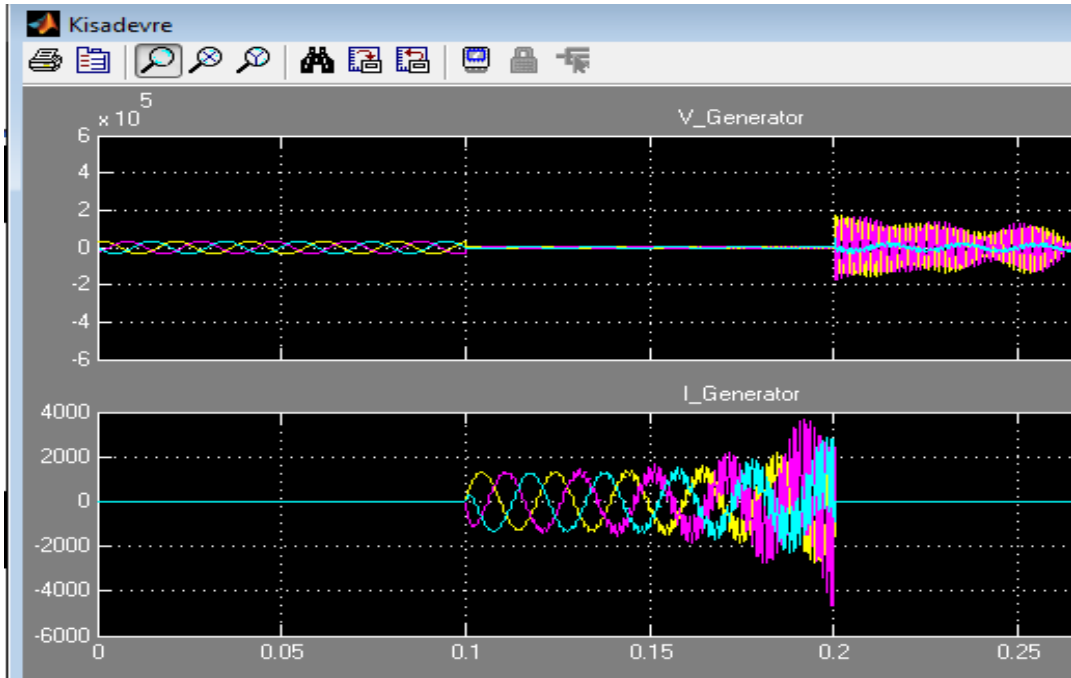


Şekil 7.46. Senkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

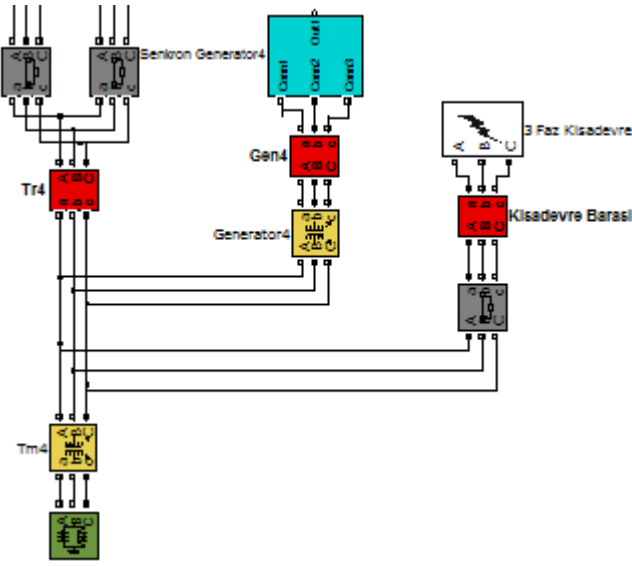


Şekil 7.47. Senkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.48’de Senkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 1,35 kA seviyesine gelmiştir.

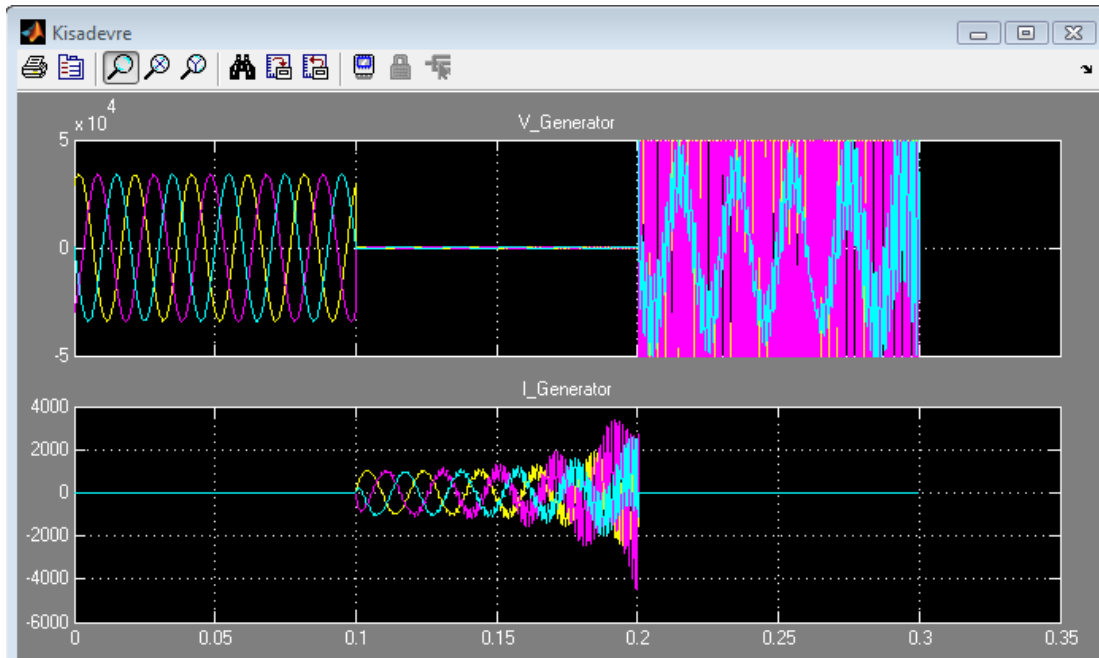


Şekil 7.48. Senkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

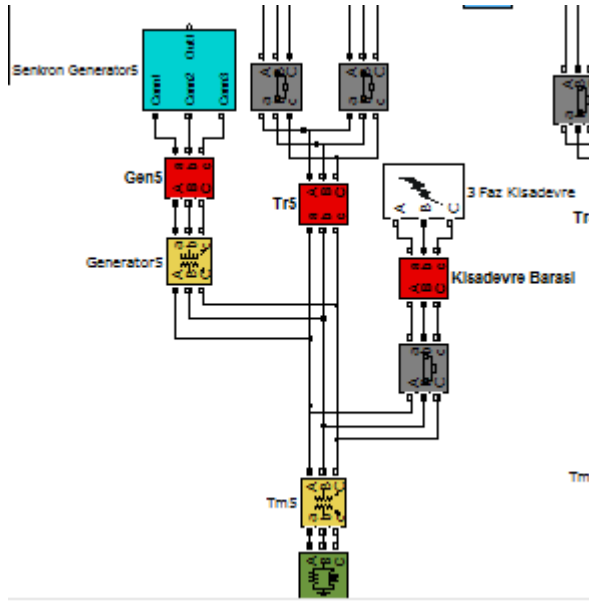


Şekil 7.49. Senkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.50.'de Senkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 1,04 kA seviyesine gelmiştir.

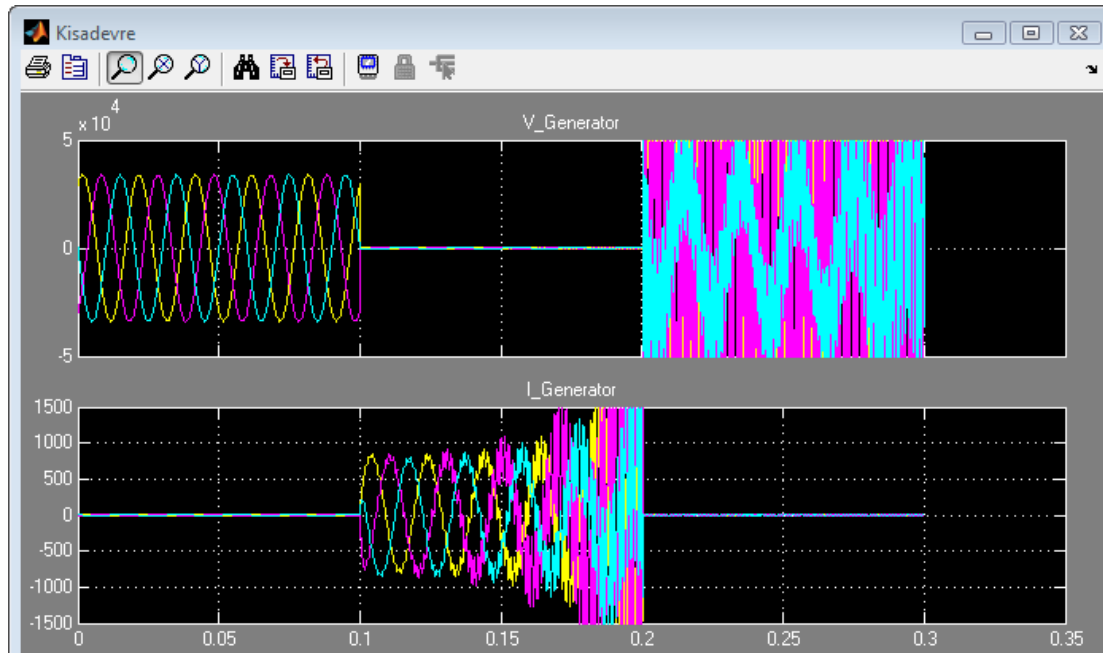


Şekil 7.50. Senkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

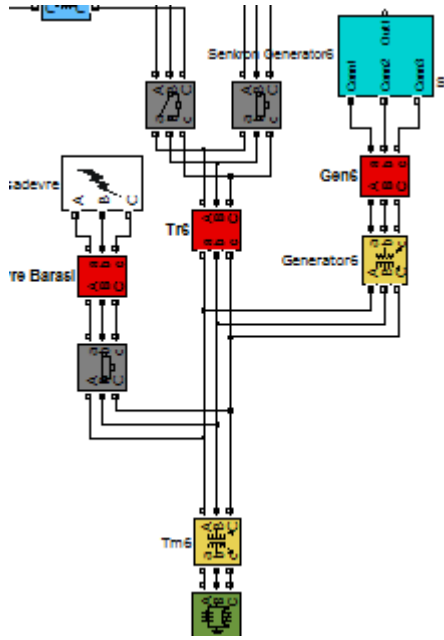


Şekil 7.51. Senkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.52.'de senkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 840 A seviyesine gelmiştir.

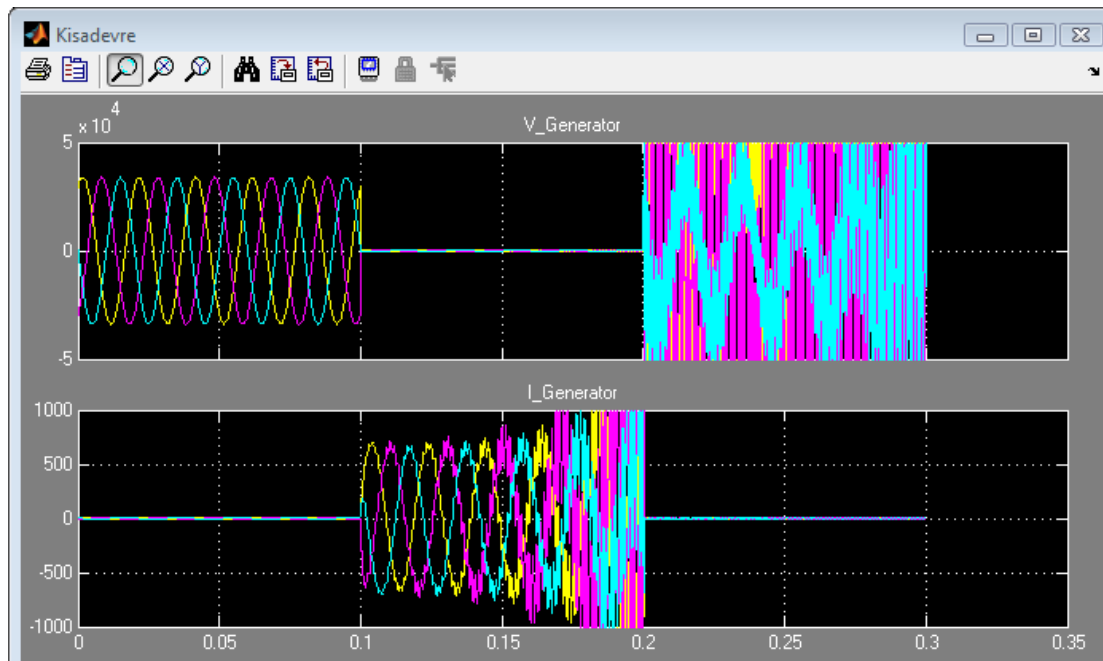


Şekil 7.52. Senkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli



Şekil 7.53. Senkron generatör ve Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.54.'de Senkron generatör ve Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 700 A seviyesine gelmiştir.



Şekil 7.54. Senkron generatör ve Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

Çizelge 7.3.'de dağınık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için kısadevre seviyeleri karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu dağınık üretim sistemi içeren şebekede senkron generatörün kısadevre akımı katkısı % 6 - 9 mertebelerindedir.

Çizelge 7.3. Dağınık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için kısadevre seviyeleri karşılaştırması

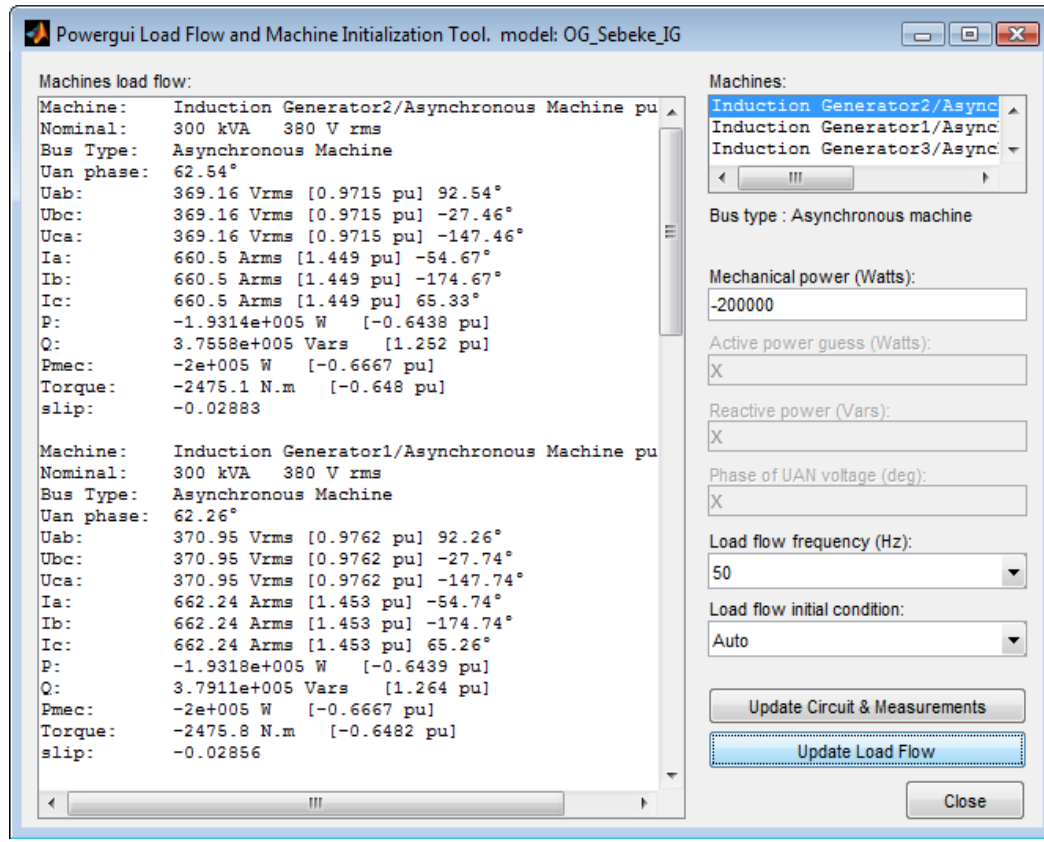
Dağınık Üretim İçermeyen Durum	Kısadevre Akımı		Dağınık Üretim İçeren Durum Senkron Generatör	Kısadevre Akımı	Fark Kısadevre	Bağlanabilirlik Analizi	Kısadevre akımı % artış
Tr1	2902	A	Tr1	3100	198	2854	6,82
Tr2	1775	A	Tr2	1890	115	1722	6,48
Tr3	1245	A	Tr3	1350	105	1233	8,43
Tr4	951	A	Tr4	1040	89	960,57	9,36
Tr5	768	A	Tr5	840	72	786,61	9,38
Tr6	642	A	Tr6	700	58	665,99	9,03
Şebeke	7798	A	Şebeke	7900	102	8323	1,31

7.3.2. Asenkron generatörlü geçici sürekli durum analizi

Yük Akışı ve Generatörlerin Başlatılması

Şekil 7.55.'de orta gerilim trafo bölgesine asenkron generatörlerin yerleştirilmesi durumunda generatörlerin başlatılabilmesi için yapılması gereken yük akışı bilgileri verilmiştir. Sistemimizde kullanacağımız bütün senkron generatörlerin nominal değerleri 300 kVA ve 380 Vrms dir. Bizim sistemde üretilmesini istediğimiz güç ise 200 kW'dır. İstenilen güç için mekanik güç girdisi olarak -200000 Watt değeri verilmiştir. Bu asenkron makinaya dışarıdan uygulanacak mekanik gücü ifade eder. Gücün eksi değerde olması da asenkron makinanın generatör olarak çalıştığı anlamına gelmektedir. Şebeke ile adaptasyon için yük akışı değerleri alındığı zaman örnek olarak birinci generatör için faz açısı 62,54 ° olarak, faz gerilimleri 369,16 Vrms, faz akımları 660,5 Arms olarak belirlenmiştir. Asenkron generatörlerde mekanik girdi olarak "Tm" ile gösterilen rüzgar türbini tarafından üretilen tork

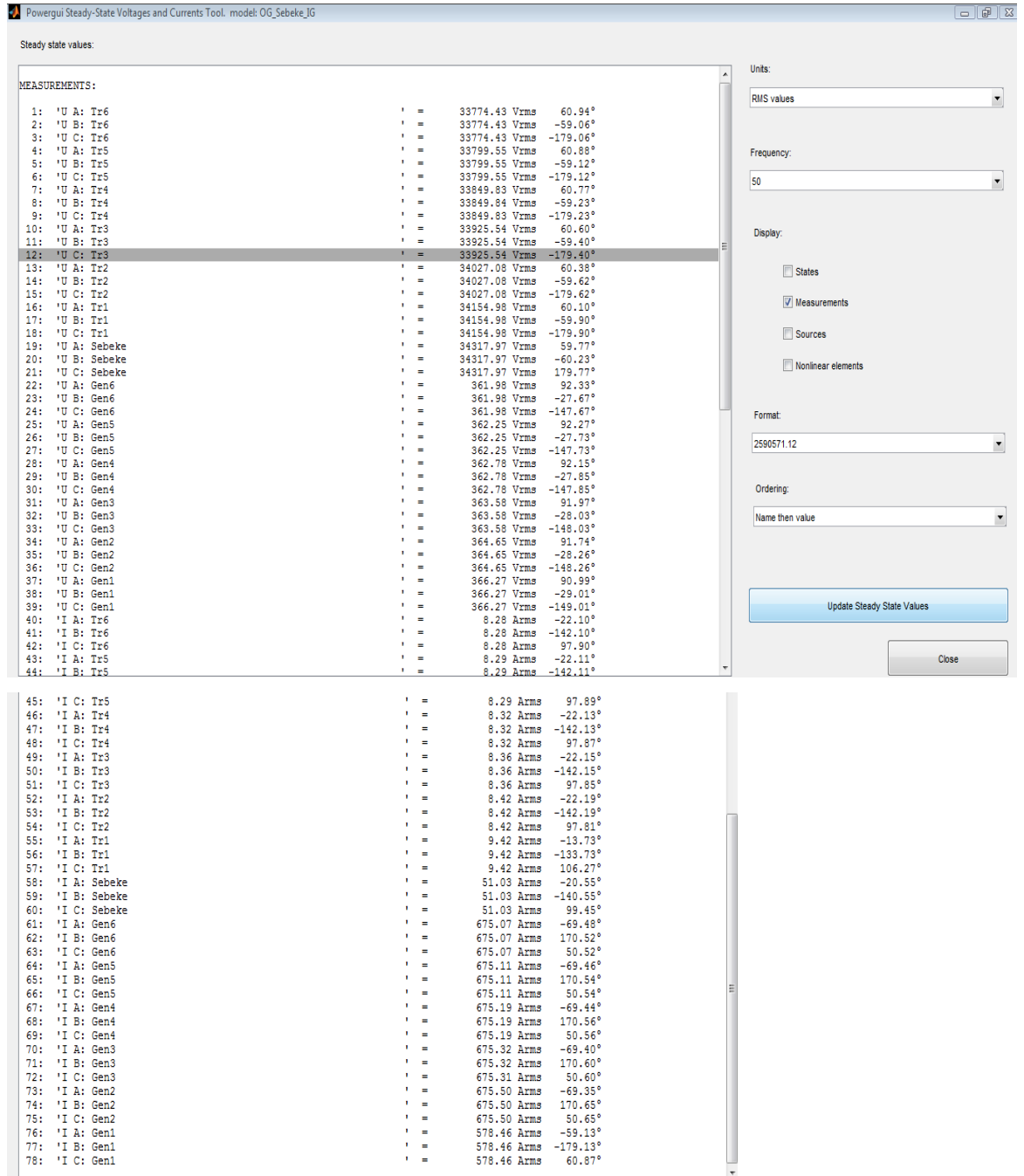
generatöre değişken değerde bir giriş uygulanmaktadır. Uygulamamızda rüzgar hızı değerleri hep sabit 12 m/s değerinde olduğu için, uygulanan tork değeri değişken olmayacaktır. Yük akışı analizinden sonra mekanik güç olarak girilen -200 kW değere karşın birinci asenkron generatörün üreteceği aktif güç -1.9314×10^5 W, şebekeden çekeceği reaktif güç ise 3.7558×10^5 Var olarak bulunmuştur. İkinci generatör için bu değerler aktif güç -1.9318×10^5 W, şebekeden çekeceği reaktif güç ise 3.7911×10^5 Var olarak bulunmuştur. Asenkron generatörlere uygulanan tork miktarları ise birinci generatör için -2475.1 N.m, ikinci generatör için -2475.8 N.m'dir. Generatörlerde rotor ve stator arasındaki kayma miktarları da birinci generatör için -0,02883, ikinci generatör için -0,02856'dır. Asenkron generatörlerin doğal karakteristiğine bağlı olarak şebekeden yüksek miktarda reaktif güç çekmektedirler. Şebekeden çekilen reaktif gücü azaltmak üzere generatör modellememizde 65 kVar değerinde bir kompanzasyon ünitesi eklemiştik.



Şekil 7.55. Orta gerilim asenkron generatörler için yük akışı

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.56’da orta gerilim asenkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 7.56. Orta gerilim asenkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren sürekli durum analizi

Analiz sonucuna göre 200 kW mekanik güç ile sürülen asenkron generatör bağlı dağınık üretim içeren orta gerilim şebekede gerilim profilinde bazı trafo bölgelerinde iyileşmeler, bazı bölgelerde ise az miktarda kötüleşme olduğu görülmüştür. Şebekeden çekilen akımlarda bağlanan generatör gücü ile orantılı olarak azalmalar görülmüştür. Şebekeden çekilen akımın senkron generatörlü sisteme kıyasla daha yüksek olması ve gerilim profilindeki bariz iyileşme sağlayamayışı, asenkron generatörün sistemden yüksek miktarda reaktif güç çekmesi ile ilgilidir. Generatör çıkışına bağlanan kompanzasyon ünitesinin gücü yükseltildikçe gerilim ve akım profillerinde iyileşmeler gözlemlenecektir.

Çizelge 7.4.'de dağınık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durum karşılaştırması verilmiştir. Şebekeden çekilen akımlarda %14 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Gerilim profilindeki değişim ise Tr6 trafosundaki gerilim düşümü değişimi ile gösterilebilir. Daha önce %3,1 olan gerilim düşümü, senkron generatör bağlı durumda iken %2,1 seviyesine düşmüştür.

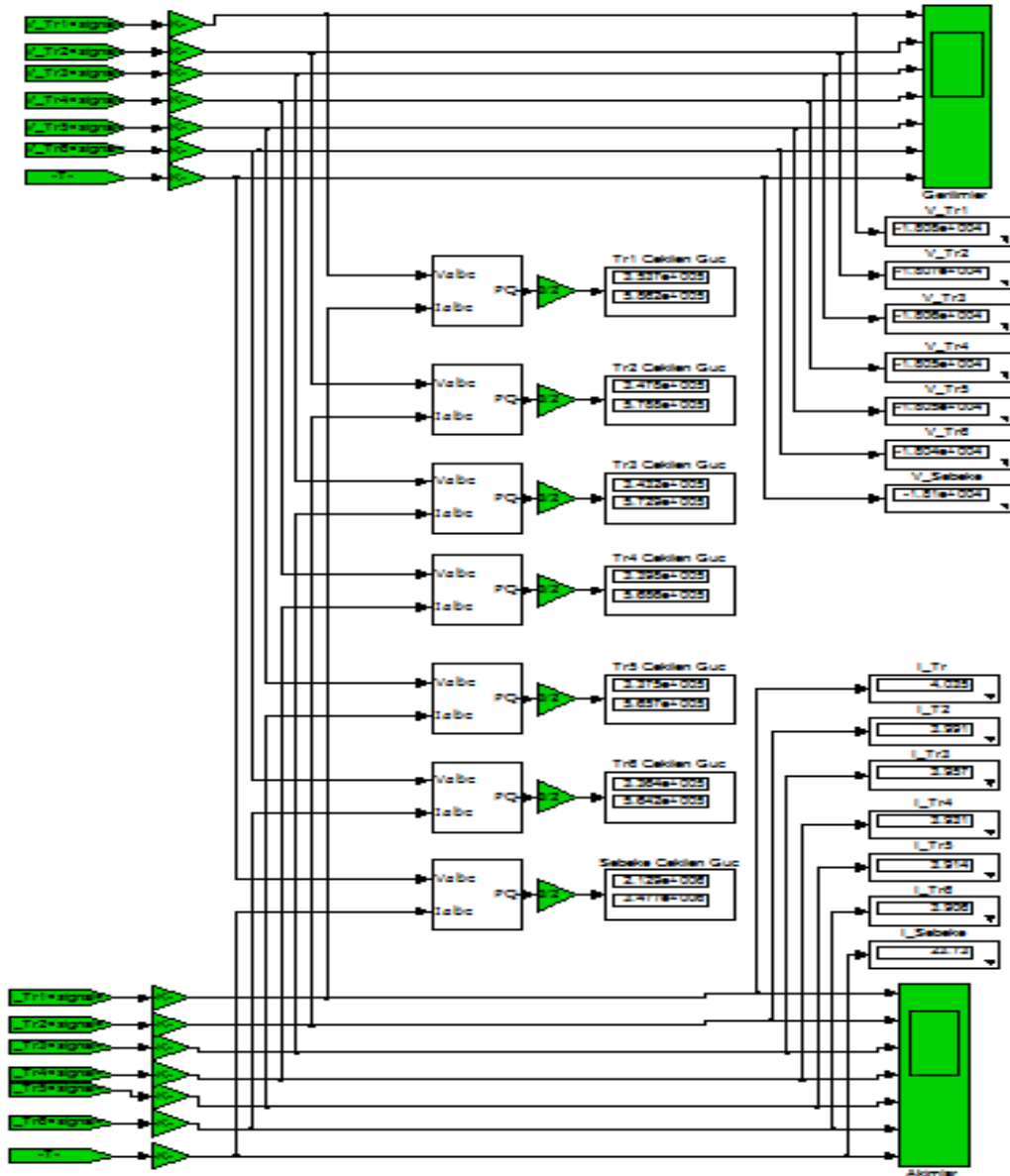
$$\%Uk = \frac{34,5 - 33,774}{34,5} \cdot \%100 = \%2,1$$

Çizelge 7.4. Dağınık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durum karşılaştırması

Dağınık Üretim İçermeyen Durum	U (Gerilim)		I (Akım)		Dağınık Üretim İçeren Durum Asenkron Generatör	U (Gerilim)	I (Akım)	Çekilen akım % azalış	Gerilim düşümü % azalış
Tr1	34162	V	9,94	A	Tr1	34154	9,42	5,23	-0,02
Tr2	33917	V	9,87	A	Tr2	34027	8,42	14,69	0,32
Tr3	33722	V	9,81	A	Tr3	33925	8,36	14,78	0,60
Tr4	33576	V	9,77	A	Tr4	33849	8,32	14,84	0,81
Tr5	33479	V	9,74	A	Tr5	33799	8,29	14,89	0,96
Tr6	33430	V	9,72	A	Tr6	33774	8,28	14,81	1,03
Şebeke	34455	V	58,88	A	Şebeke	34317	51,03	13,33	-0,40

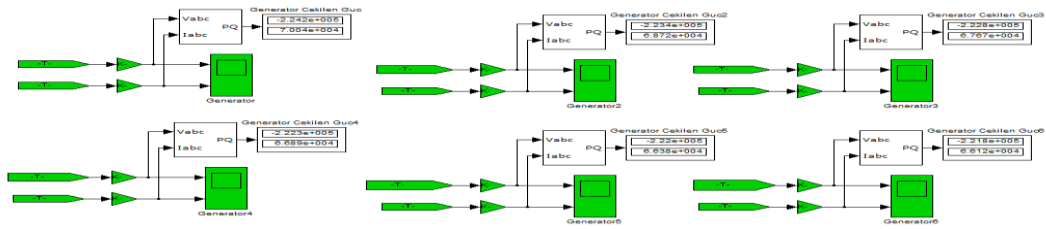
Çekilen Yükle

Şekil 7.57’de orta gerilim şebekede asenkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren durum için ölçü hücresinde herbir trafo tarafından çekilen güçler görülmektedir. Trafolardan çekilen güçler Tr1 için 353 kW – 586 kVar, Tr2 için 347 kW – 578 kVar, Tr3 için 343 kW – 572 kVar, Tr4 için 339 kW – 568 kVar, Tr5 için 337 kW – 565 kVar, Tr6 için 336 kW – 564 kVar.



Şekil 7.57. Asenkron generatör ölçü birimi trafo güçleri

Şekil 7.58’de orta gerilim şebekede asenkron generatörlü dağılık üretim santrali içeren durum için ölçü hücresinde her bir generatör tarafından şebekeye verilen aktif güç ve şebekeden çekilen reaktif güçler görülmektedir. Asenkron generatörlerden çekilen güçler Gen1 için -224 kW – 70 kVar, Gen2 için -223 kW – 68 kVar, Gen3 için 222 kW – 67 kVar, Gen4 için -222 kW – 66 kVar, Gen5 için -222 kW – 66 kVar, Gen6 için -221 kW – 66 kVar.



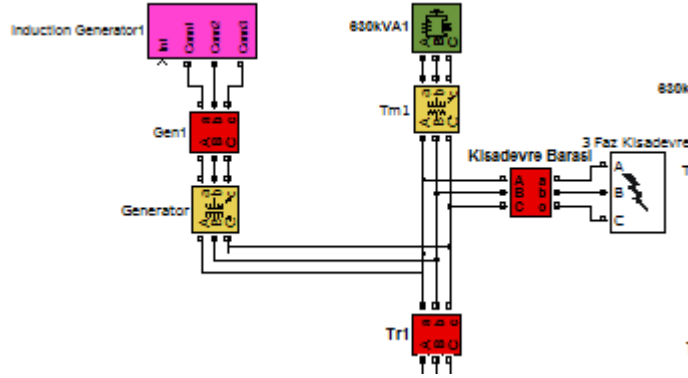
Şekil 7.58. Asenkron generatör ölçü birimi generatör güçleri

Çizelge 7.5.’de dağılık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu senkron generatörün 200 kW’lık bir yükü beslemesi sonucu trafolardan çekilen aktif yükler 600 kW mertebelerinde iken 350 kW mertebelerine düşmüştür, fakat şebekeden çekilen reaktif güç 140 kVar civarında bir artış göstermiştir. Bu artış asenkron generatörün çalışabilmesi için şebekeden yüksek miktarda reaktif güç çekmesinden kaynaklanmıştır.

Çizelge 7.5. Dağılık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar

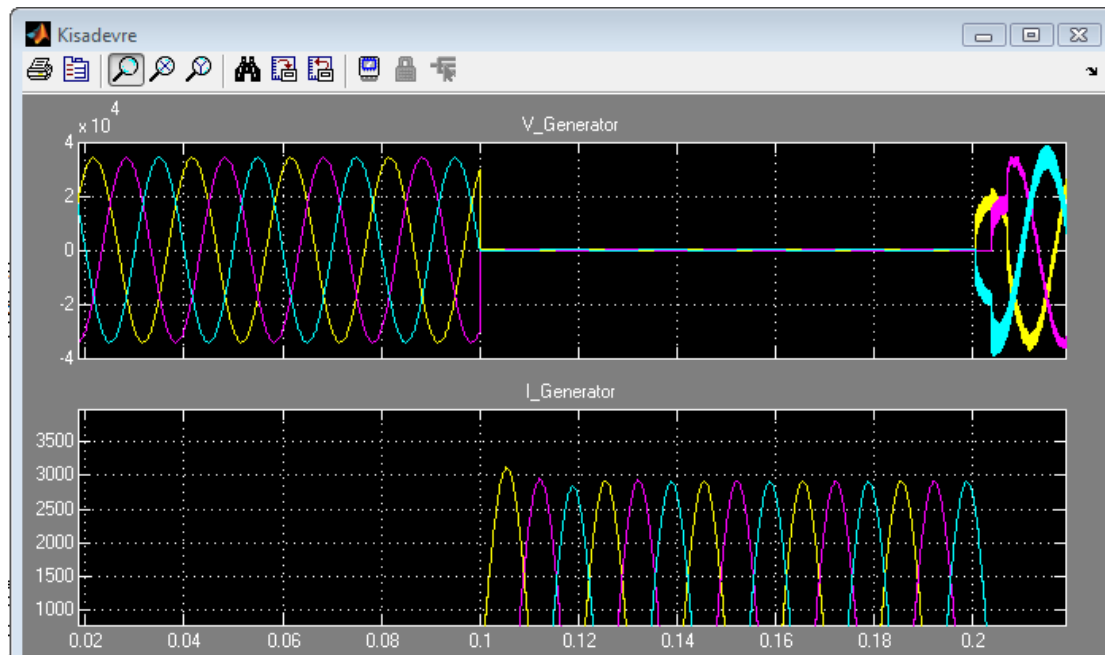
Dağılık Üretim İçermeyen Durum	P Aktif Güç		Q Reaktif Güç		Dağılık Üretim İçeren Durum Asenkron Generatör	P Aktif Güç	Q Reaktif Güç	Fark P (Aktif Güç)	Fark Q Reaktif Güç
Tr1	621	W	444	Var	Tr1	353	586	268	-142
Tr2	612	W	438	Var	Tr2	347	578	265	-140
Tr3	605	W	423	Var	Tr3	343	572	262	-149
Tr4	600	W	422	Var	Tr4	339	568	261	-146
Tr5	598	W	426	Var	Tr5	337	565	261	-139
Tr6	594	W	425	Var	Tr6	336	564	258	-139
Şebeke	3715	W	2645	Var	Şebeke	2129	3477	1586	-832

Kısa devre Durumu

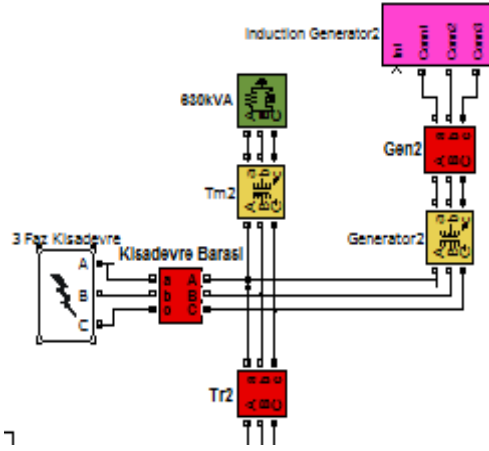


Şekil 7.59.. Asenkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.60.'da Asenkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Asenkron generatörün kısa devre durumunun temizlenmesinden sonra, senkron generatörde karşılaşılan kısa devre sonucu gerilim dalgalanmalarına rastlanmamıştır. Asenkron generatörlü sistemde kısa devre sonucu 3 kA mertebelerindedir.

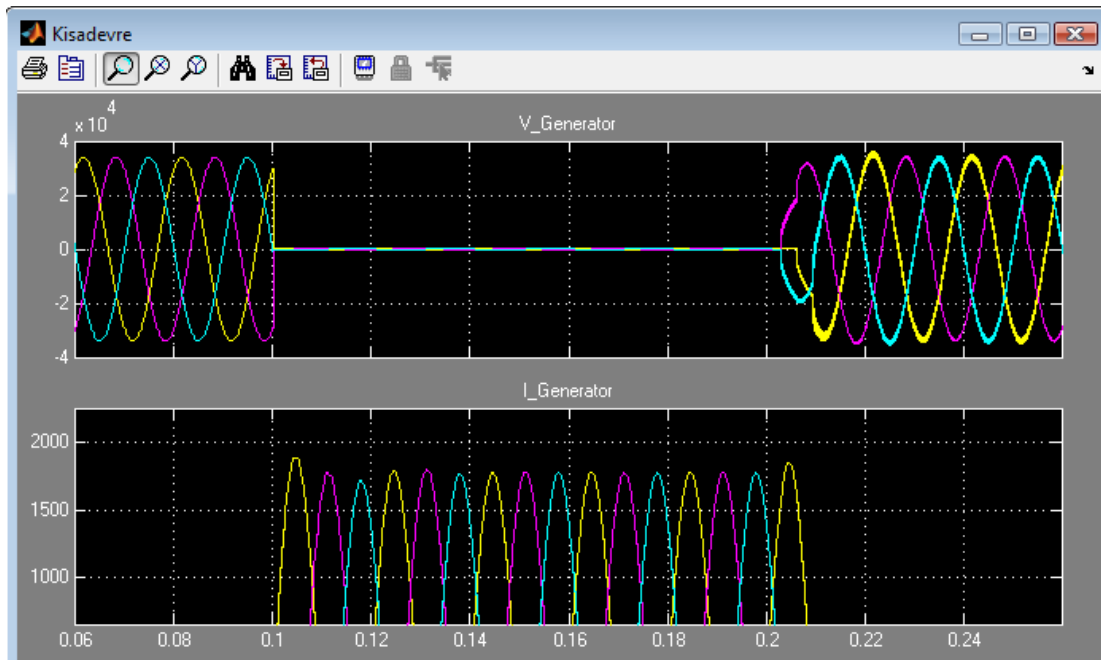


Şekil 7.60. Asenkron generatör ve Tm1 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

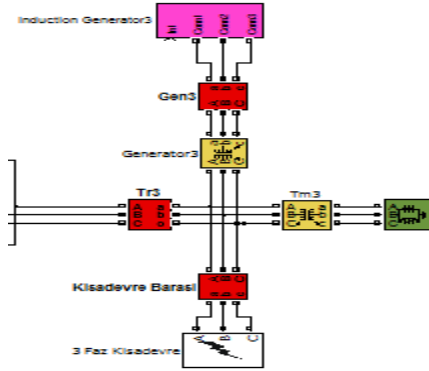


Şekil 7.61. Asenkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.62’de Asenkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 1,85 A seviyesine gelmiştir.

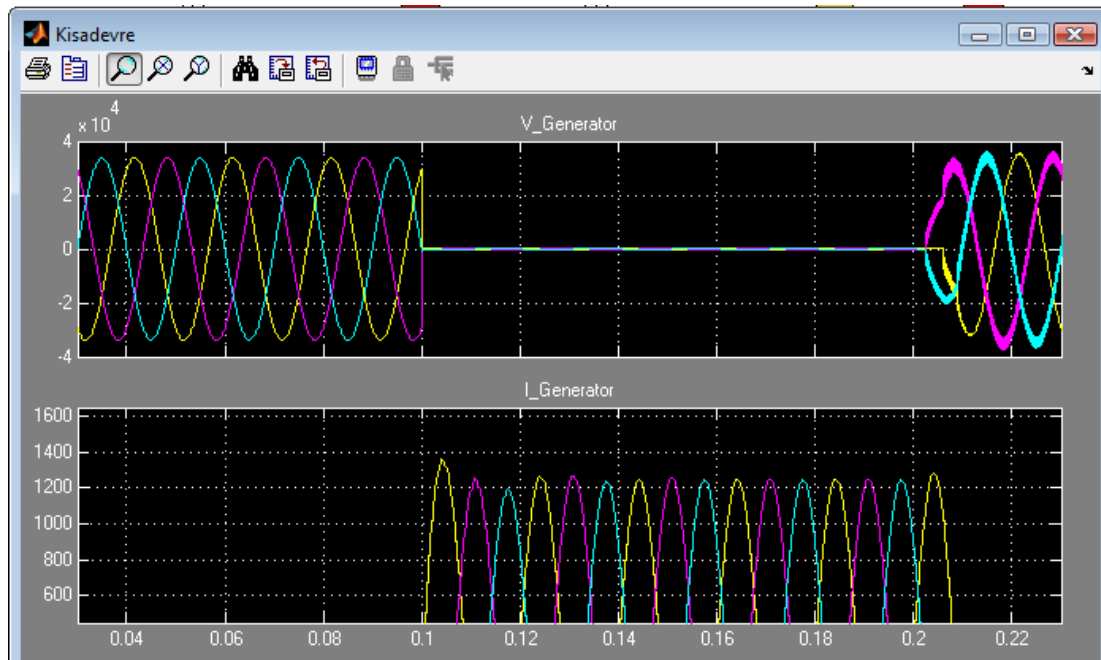


Şekil 7.62. Asenkron generatör ve Tm2 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

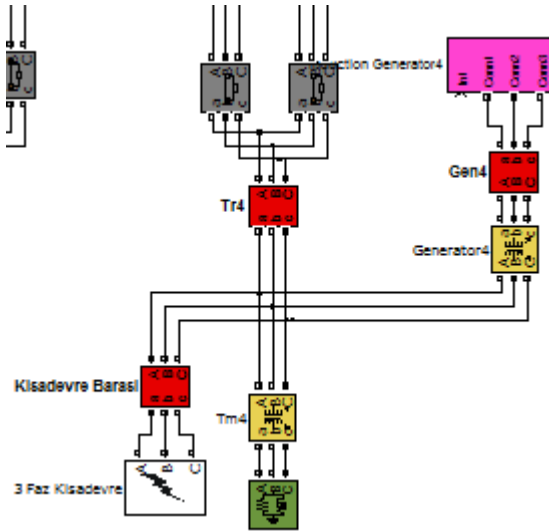


Şekil 7.63. Asenkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.64.'da Asenkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 1,38 kA seviyesine gelmiştir.

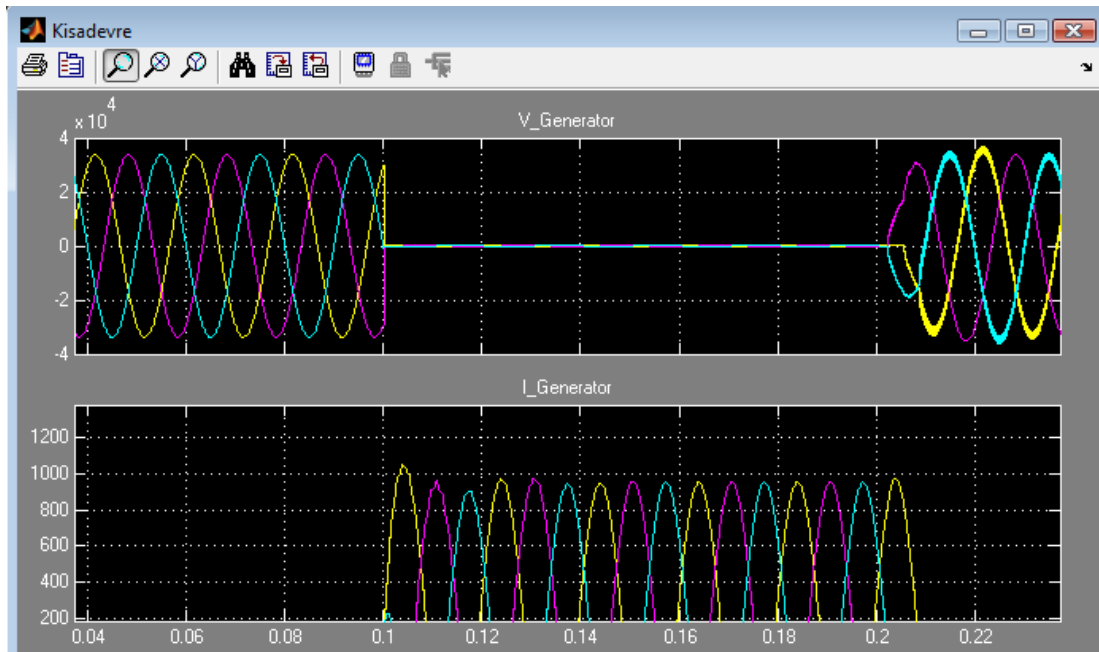


Şekil 7.64. Asenkron generatör ve Tm3 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

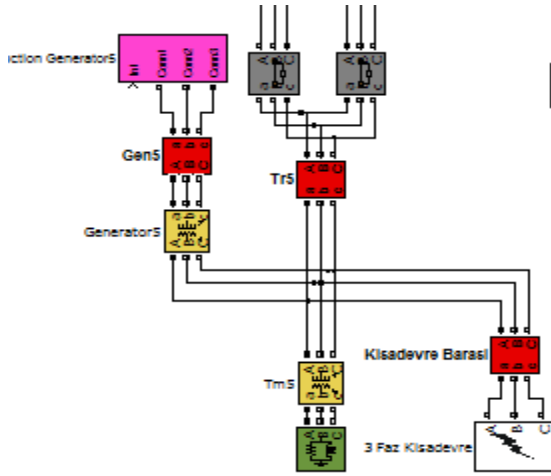


Şekil 7.65. Asenkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.66.'da Asenkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 1,04 kA seviyesine gelmiştir.

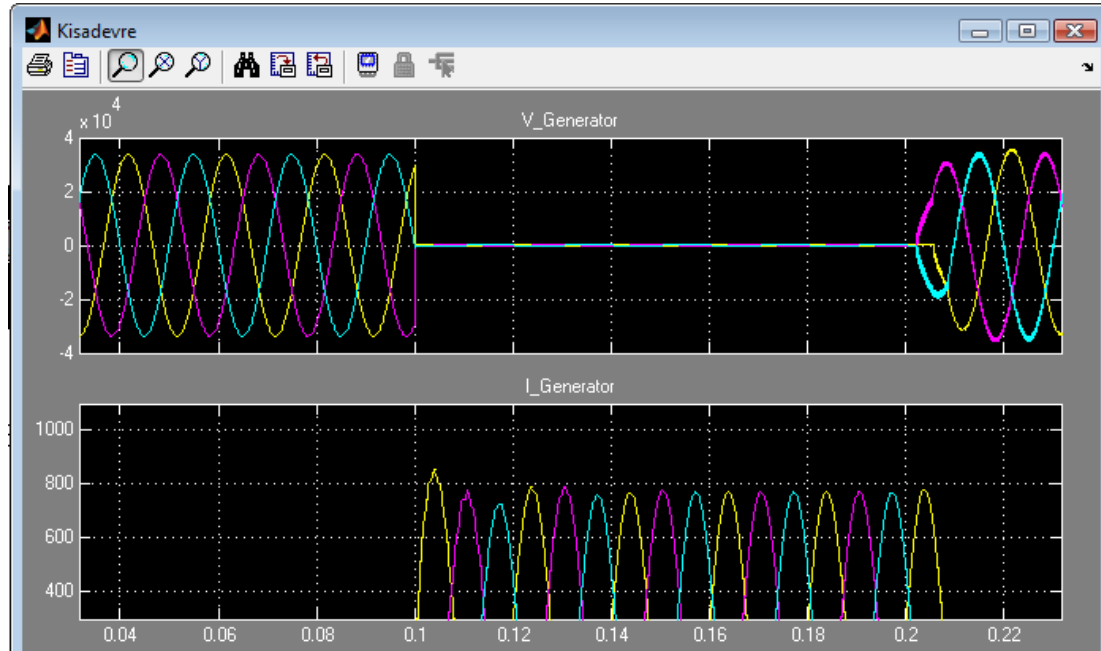


Şekil 7.66. Asenkron generatör ve Tm4 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

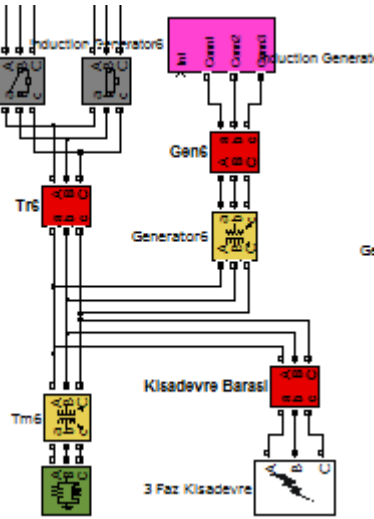


Şekil 7.67. Asenkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.68.'de Asenkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 830 A seviyesine gelmiştir.

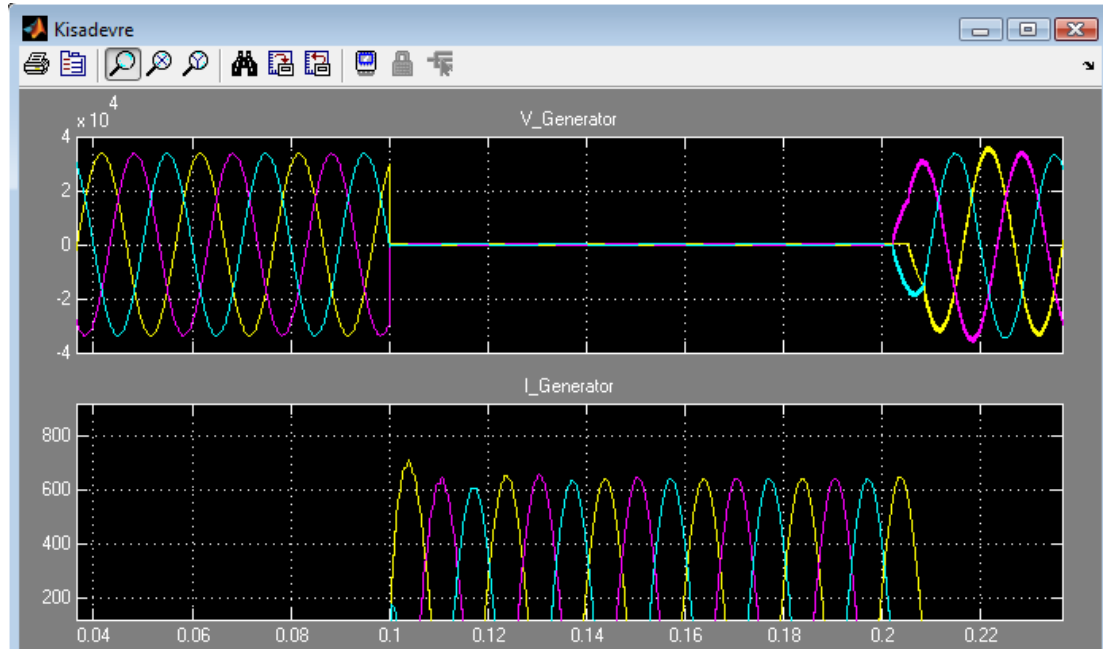


Şekil 7.68. Asenkron generatör ve Tm5 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli



Şekil 7.69. Asenkron generatör ve Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre modeli

Şekil 7.70’de asenkron generatör ve Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde artış meydana gelerek 680 A seviyesine gelmiştir.



Şekil 7.70. Asenkron generatör ve Tm6 34,5 kV tarafında kısa devre dalga modeli

Çizelge 7.6.'da dağınık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için kısadevre seviyeleri karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu dağınık üretim sistemi içeren şebekede asenkron generatörün kısadevre akımı katkısı % 5 - 10 mertebelerindedir.

Çizelge 7.6. Dağınık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için kısadevre seviyeleri karşılaştırması

Dağınık Üretim İçermeyen Durum	Kısadevre Akımı		Dağınık Üretim İçeren Durum Asenkron Generatör	Kısadevre Akımı	Fark Kısadevre	Bağlanabilirlik Analizi	Kısadevre akımı % artış
Tr1	2902	A	Tr1	3000	98	2854	3,38
Tr2	1775	A	Tr2	1850	75	1722	4,23
Tr3	1245	A	Tr3	1380	135	1233	10,84
Tr4	951	A	Tr4	1040	89	960,57	9,36
Tr5	768	A	Tr5	830	62	786,61	8,07
Tr6	642	A	Tr6	680	38	665,99	5,92
Şebeke	7798	A	Şebeke	-	-	8323	

7.4. Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesine Dağınık Üretim Santrali Bağlanması

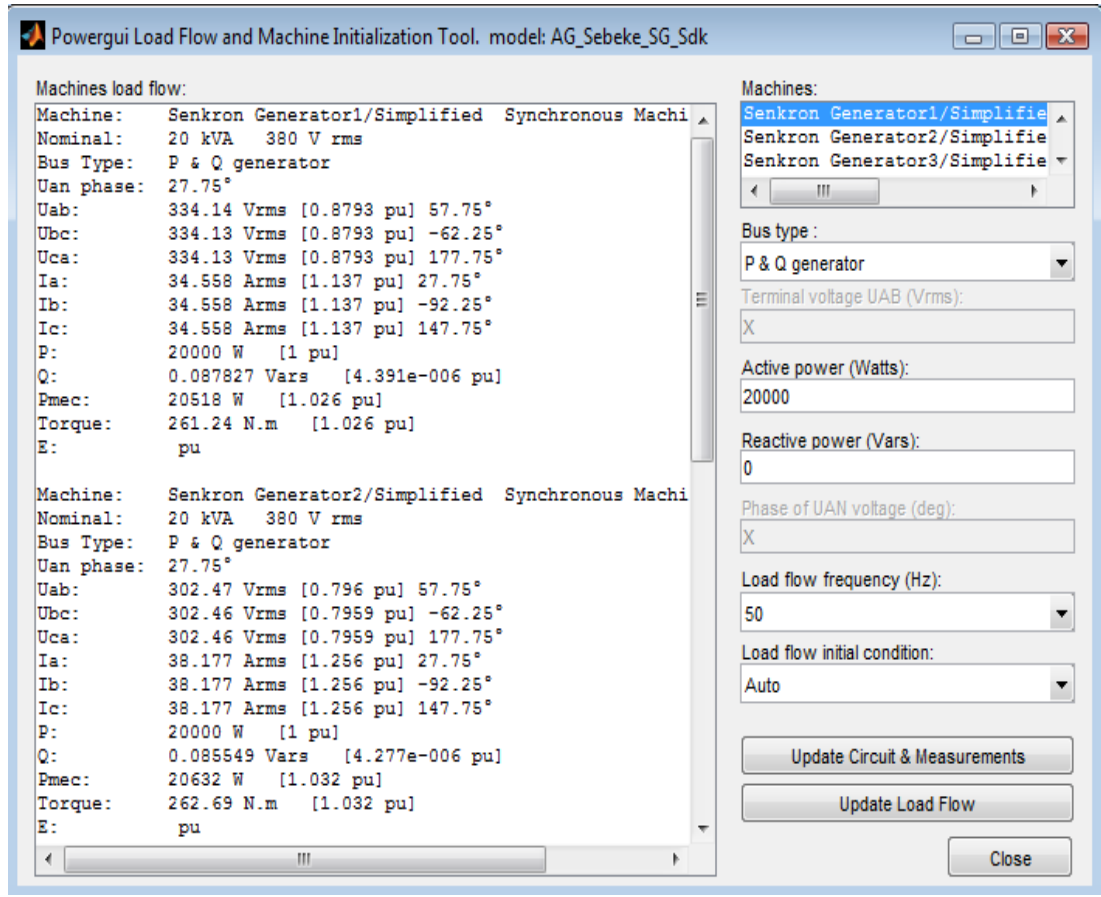
Bu bölümde daha önce modellemiş olduğumuz alçak gerilim dağıtım şebekesine farklı generatör tiplerinin farklı baralara bağlantı durumları incelenecektir. İlk olarak 20 kVA gücündeki senkron generatörler saha dağıtım kutularına bağlanmıştır. Daha sonraki modelde ise 20 kVA gücündeki generatörler her bir abone yüküne ayrı ayrı bağlanmıştır. Asenkron generatörlü durum analizleri için de aynı bağlantı durumları incelenmiştir. Son olarak ada modu çalışma durumunu olarak SimPowerSystems kütüphanesinde demo olarak bulunan evirici tabanlı yakıt hücresi incelenmiştir.

7.4.1. Senkron generatör saha dağıtım kutularına bağlantı durumu

Yük Akışı ve Generatörlerin Başlatılması

Şekil 7.71.'de alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesine senkron generatörlerin saha dağıtım kutularına bağlantısı durumunda generatörlerin başlatılabilmesi için

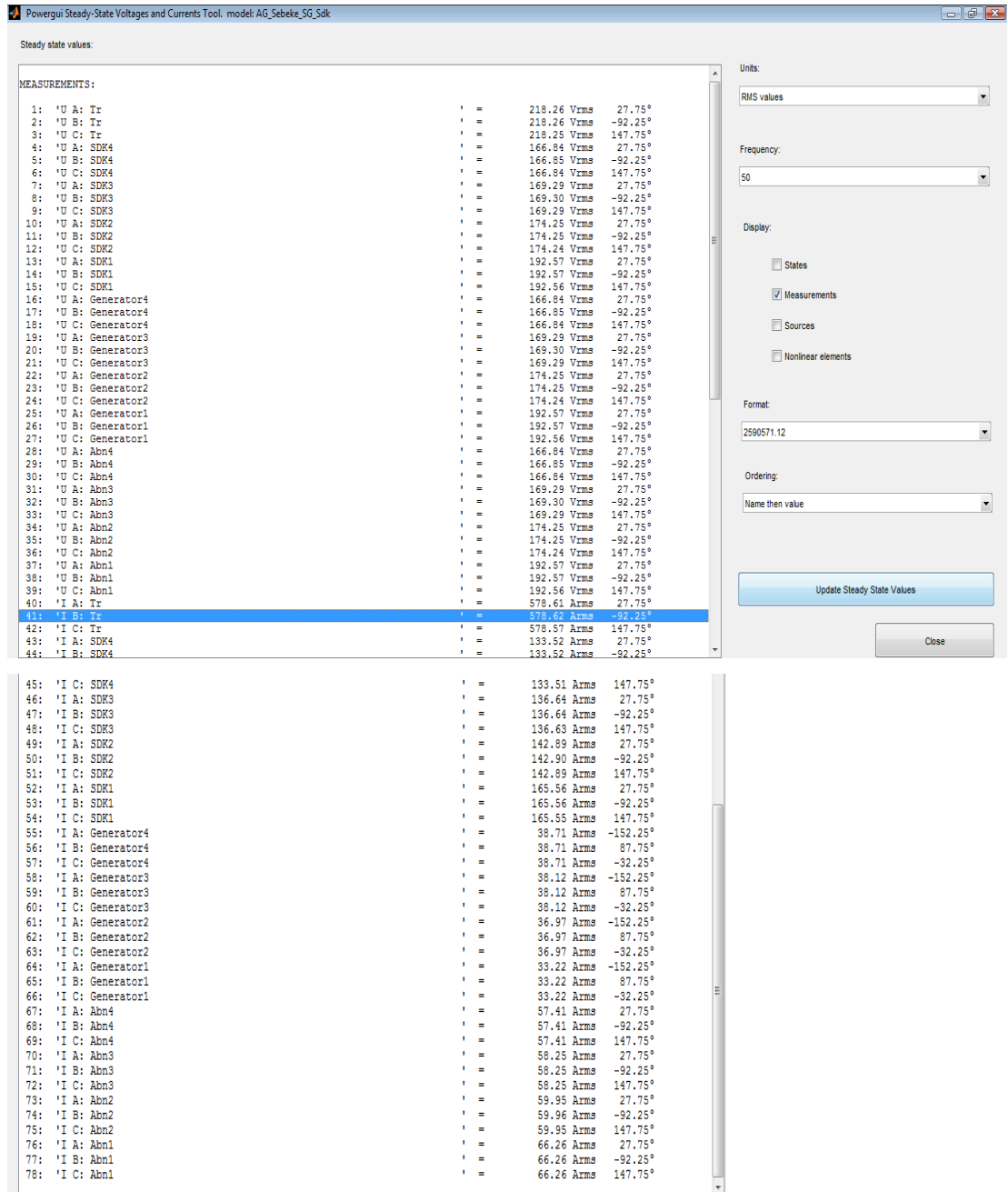
yapılması gereken yük akışı bilgileri verilmiştir. Sistemimizde kullanacağımız bütün senkron generatörlerin nominal değerleri 20 kVA ve 380 Vrms dir. Bizim sistemde üretilmesini istediğimiz güç 20 kW'dır. Bu sebeple örnek olarak birinci senkron generatör için bara tipi P & Q seçilerek, generatörlerde üretilmesi ön görülen aktif ve reaktif güçler girilmiştir. Şebeke ile adaptasyon için yük akışı değerleri alındığı zaman örnek olarak birinci generatör için faz açısı $27,75^\circ$ olarak, faz gerilimleri 334,13 Vrms, faz akımları 34,558 Arms olarak belirlenmiştir. Senkron generatörlerde mekanik girdi olarak "Pm" ile generatöre sabit değerde bir giriş uygulanmaktadır. 20 kW aktif güç için 20518 W olarak gösterilen mekanik kuvvet bulunmuştur. İkinci generatör için bu değer 20632 W olarak bulunmuştur. Senkron generatörün için kullanılması gereken tork değeri "Tm" üretilcek güçler için 261,24 N.m olarak bulunmuştur. Bu değer ikinci generatör için 262,69 N.m'dir.



Şekil 7.71. Sdk senkron generatörler için yük akışı

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.72’de alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi saha dağıtım kutularında senkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 7.72. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Sdk senkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren sürekli durum analizi

Analiz sonucuna göre 20 kW Sdk senkron generatör bağlı dağıtım üretim içeren alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi gerilim profilinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Şebekeden çekilen akımlarda bağlanan generatör gücü ile orantılı olarak azalmalar görülmüştür.

Çizelge 7.7.'de dağıtım üretim içermeyen ve saha dağıtım kutularına bağlı senkron generatör içeren durum karşılaştırması verilmiştir. Saha dağıtım kutularında şebekeden çekilen akımlarda %16 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Gerilim profilindeki düzelme ise Sdk4 dağıtım kutusundaki gerilim düşümü değişimi ile gösterilebilir. Daha önce %28,9 olan gerilim düşümü, senkron generatör bağlı durumda iken %24,1 seviyesine düşmüştür.

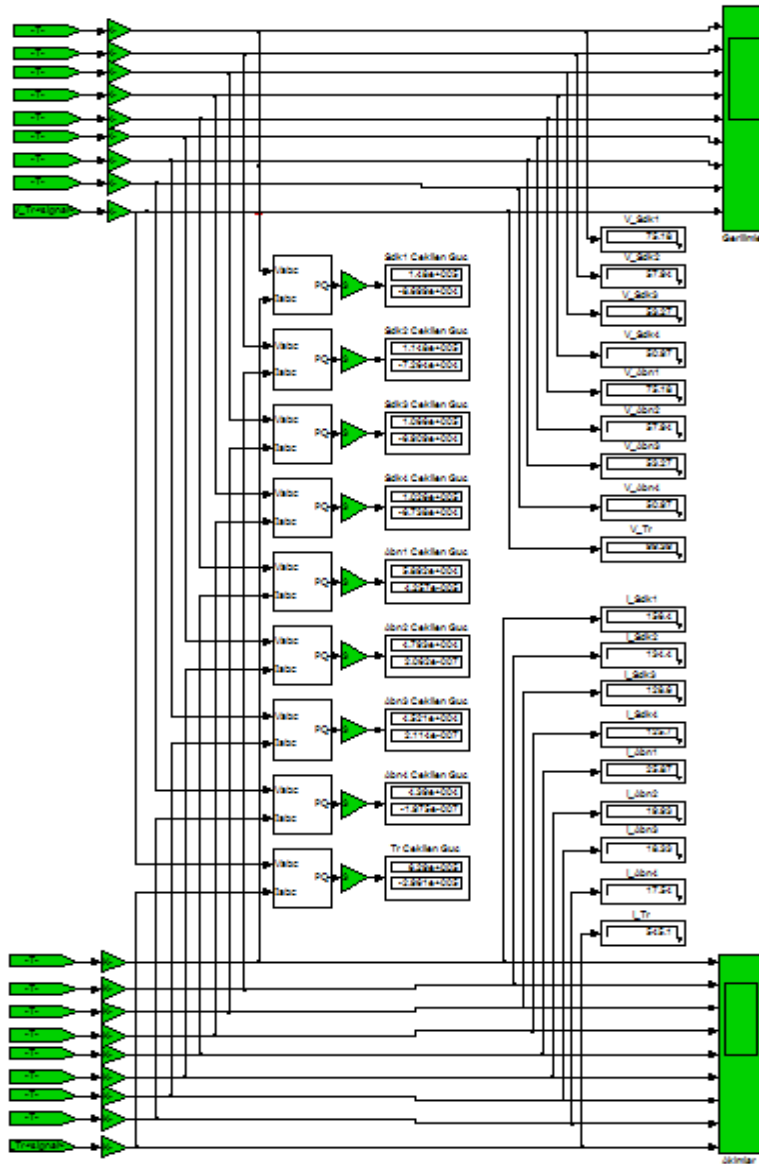
$$\%U_k = \frac{220 - 166,85}{220} \cdot \%100 = \%24,1$$

Çizelge 7.7. Dağıtım üretim içermeyen ve Sdk senkron generatör içeren durum karşılaştırması

Dağıtım Üretim İçermeyen Durum	U (Gerilim)		I (Akım)		Dağıtım Üretim İçeren Durum (Sdk Senkron Generatör)	U (Gerilim)	I (Akım)	Çekilen akım % azalış	Gerilim düşümü % azalış
Sdk1	187,38	V	193,43	A	Sdk1	192,57	165,56	14,41	2,77
Sdk2	165,35	V	170,68	A	Sdk2	174,25	142,9	16,28	5,38
Sdk3	159,37	V	164,51	A	Sdk3	169,3	136,64	16,94	6,23
Sdk4	156,41	V	161,46	A	Sdk4	166,85	133,52	17,30	6,67
Şebeke	218,02	V	690,08	A	Şebeke	218,26	578	16,24	0,11

Çekilen Yükle

Şekil 7.73.'de alçak gerilim dağıtım şebekesinde saha dağıtım kutularına bağlı senkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren durum için ölçü hücresinde her bir saha dağıtım kutusu tarafından çekilen güçler görülmektedir. Saha dağıtım kutularından çekilen güçler Sdk1 için 353 kW, Sdk2 için 347 kW, Sdk3 için 343 kW, Sdk4 için 339 kW, Sdk5 için 337 kW, Sdk6 için 336 kW.



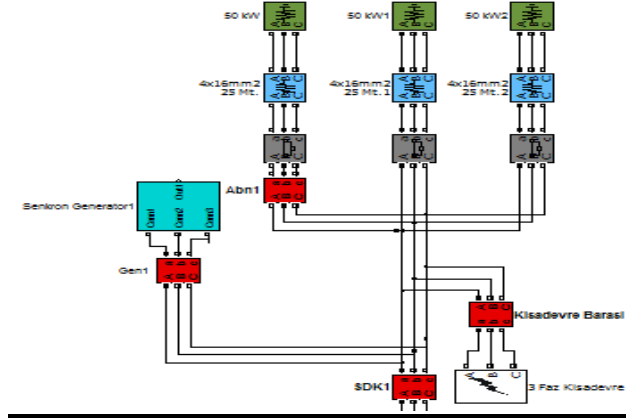
Şekil 7.73. Ölçü birimi saha dağıtım kutuları güçleri

Çizelge 7.8.’de dağıtık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu senkron generatörün 20 kW’lık bir yükü beslemesi sonucu saha dağıtım kutularından çekilen aktif yükler ortalama 150 kW mertebelerinde iken ortalama 12 kW düşerek, 130 kW mertebelerine düşmüştür, şebekeden çekilen reaktif güç seviyesi “0” olduğu için herhangi bir analiz yapılmamıştır.

Çizelge 7.8. Dağıtık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması

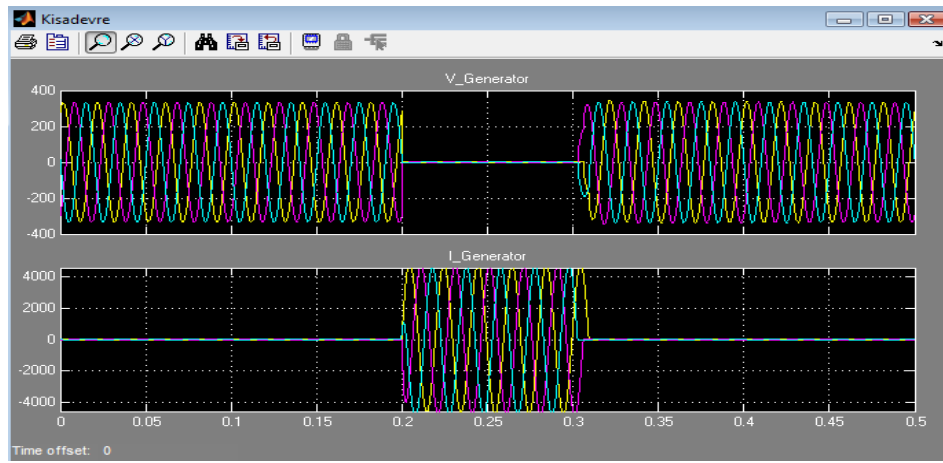
Dağıtık Üretim İçermeyen Durum	P Aktif Güç		Q Reaktif Güç		Dağıtık Üretim İçeren Durum Sdk Senkron Generatör	P Aktif Güç	Q Reaktif Güç	Fark P (Aktif Güç)	Fark Q Reaktif Güç
Sdk1	164	kW	-	kVar	Sdk1	148		16	-
Sdk2	127	kW	-	kVar	Sdk2	114		13	-
Sdk3	118	kW	-	kVar	Sdk3	106		12	-
Sdk4	113	kW	-	kVar	Sdk4	102		11	-
Şebeke	676	kW	-	kVar	Şebeke	629		47	-

Kısadevre Durumu



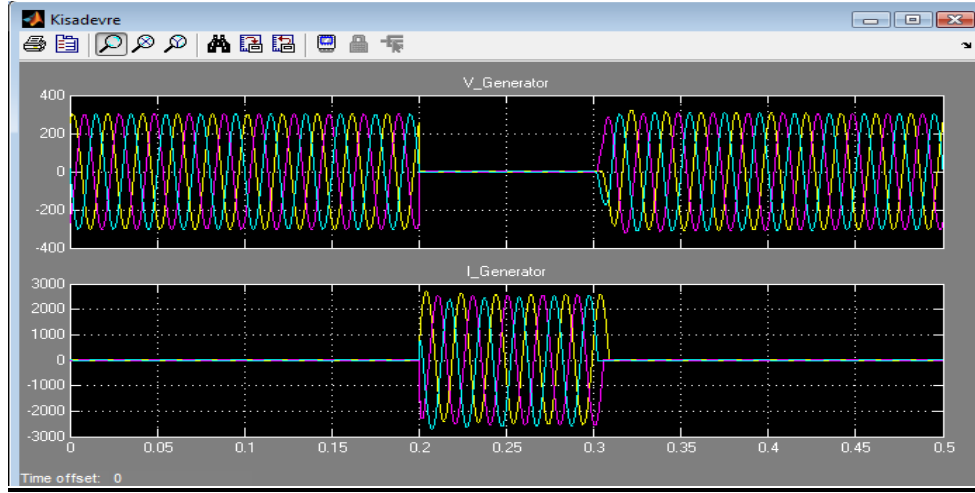
Şekil 7.74. Senkron generatör ve Sdk1 kısa devre modeli

Şekil 7.75.'da senkron generatör ve Sdk1 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Senkron generatörün kısa devre durumunda kısa devre akımını beslediği kısa devre miktarının artışından gözlemlenmektedir. Generatörsüz sistemde kısa devre akımı 3,9 kA mertebelerinde iken senkron generatörün kısa devre akımını beslemesi ile bu sonuç 4,25 kA seviyesine çıkmıştır. Oluşan kısa devre akımı artışı 350 A seviyesindedir. Senkron generatörün nominal akımı 33,22 A değerinde olup, $X_d'' = 0,1$ p.u için kısa devre akımı beklendiği gibi nominal akımın yaklaşık 10 katı değerindedir.



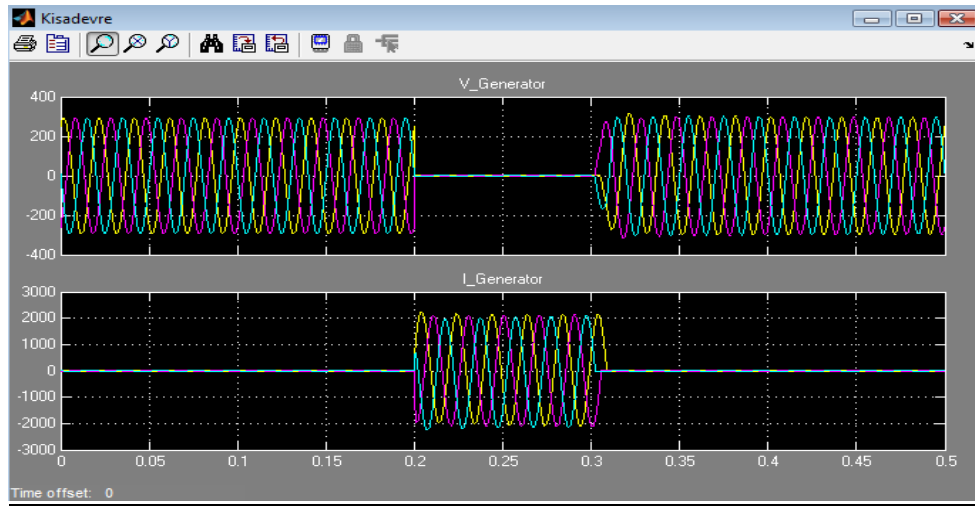
Şekil 7.75. Senkron generatör ve Sdk1 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.76.'de senkron generatör ve Sdk2 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 350 A artış meydana gelerek 2,55 kA seviyesine gelmiştir



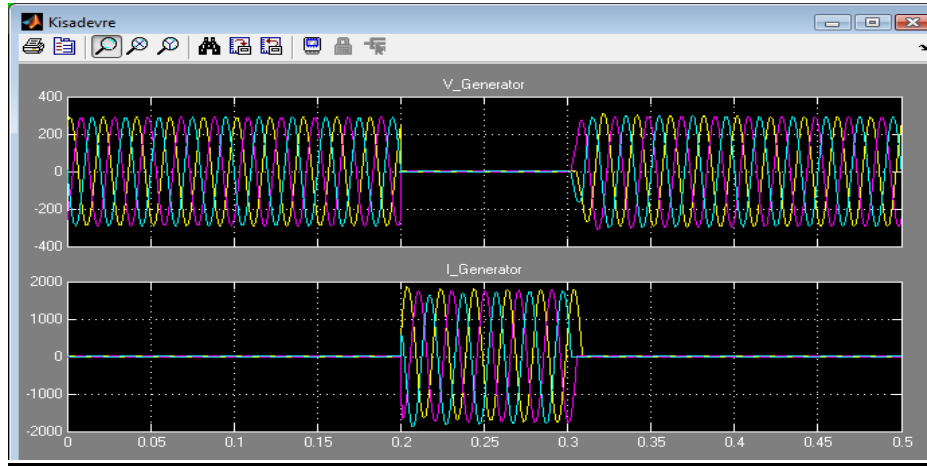
Şekil 7.76. Senkron generatör ve Sdk2 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.77.'de senkron generatör ve Sdk3 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 250 A artış meydana gelerek 2,15 kA seviyesine gelmiştir



Şekil 7.77. Senkron generatör ve Sdk3 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.78.'da senkron generatör ve Sdk4 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 200 A artış meydana gelerek 1,8 kA seviyesine gelmiştir



Şekil 7.78. Senkron generatör ve Sdk4 kısa devre dalga modeli

Çizelge 7.9.'da dağıtık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için kısadevre seviyeleri karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu dağıtık üretim sistemi içeren şebekede senkron generatörün kısadevre akımı katkısı % 10 - 15 mertebelerindedir.

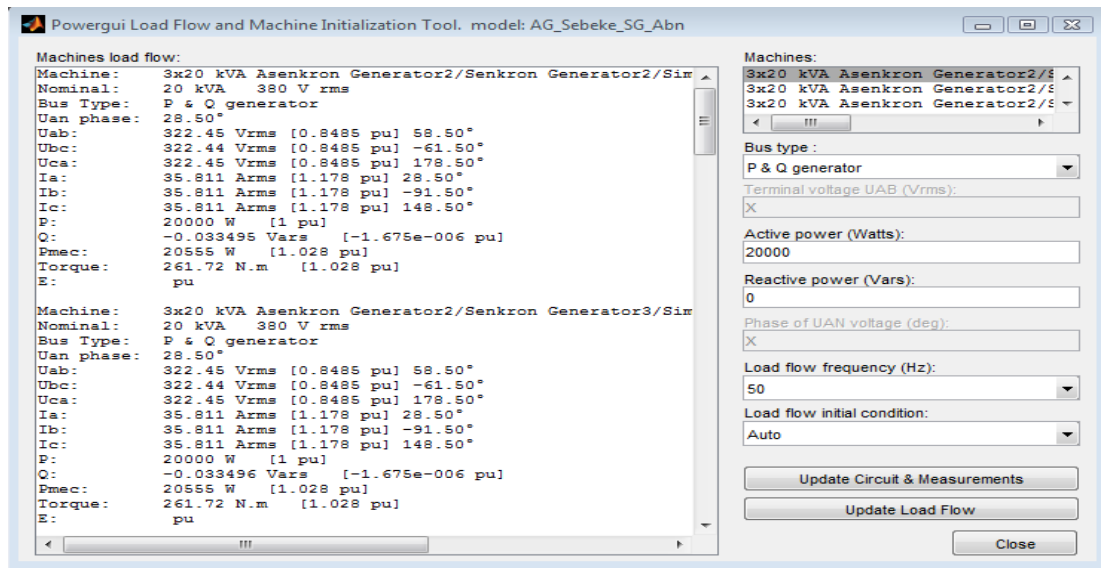
Çizelge 7.9. Dağıtık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için kısadevre seviyeleri karşılaştırması

Dağıtık Üretim İçermeyen Durum	Kısadevre Akımı		Dağıtık Üretim İçeren Durum (Sdk Senkron Generatör)	Kısadevre Akımı	Fark Kısadevre	Bağlanabilirlik Analizi	Kısadevre akımı % artış
Sdk1	3900	A	Sdk1	4250	350	3950	8,97
Sdk2	2200	A	Sdk2	2550	350	2257	15,91
Sdk3	1900	A	Sdk3	2150	250	1924	13,16
Sdk4	1600	A	Sdk4	1800	200	1662	12,50
Şebeke	14000	A	Şebeke	-	-	19220	-

7.4.2. Senkron generatör abone yüklerine bağlantı durumu

Yük Akışı ve Generatörlerin Başlatılması

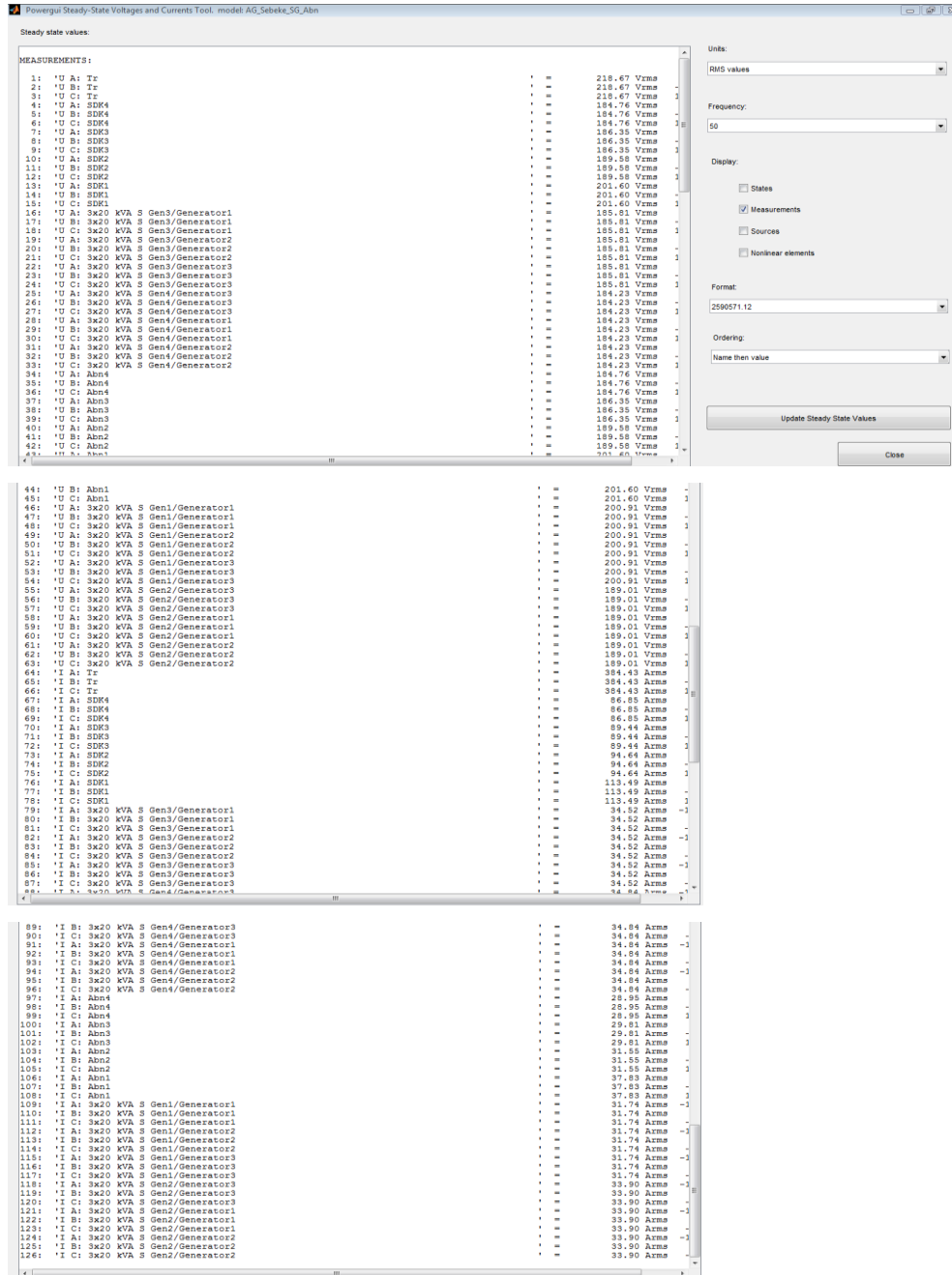
Şekil 7.79.'da alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesine senkron generatörlerin abone yüklerine direk bağlantı durumunda generatörlerin başlatılabilmesi için yapılması gereken yük akışı bilgileri verilmiştir. Sistemimizde kullanacağımız bütün senkron generatörlerin nominal değerleri 20 kVA ve 380 Vrms dir. Bizim sistemde üretilmesini istediğimiz güç 20 kW'dır. Bu sebeple örnek olarak birinci senkron generatör için bara tipi P & Q seçilerek, generatörlerde üretilmesi ön görülen aktif ve reaktif güçler girilmiştir. Şebeke ile adaptasyon için yük akışı değerleri alındığı zaman örnek olarak birinci generatör için faz açısı $28,50^\circ$ olarak, faz gerilimleri 322,45 Vrms, faz akımları 35,811 Arms olarak belirlenmiştir. Senkron generatörlerde mekanik girdi olarak "Pm" ile generatöre sabit değerde bir giriş uygulanmaktadır. 20 kW aktif güç için 20556 W olarak gösterilen mekanik kuvvet bulunmuştur. İkinci generatör için bu değer 20556 W olarak bulunmuştur. Senkron generatörün için kullanılması gereken tork değeri "Tm" üretilcek güçler için 261,72 N.m olarak bulunmuştur. Bu değer ikinci generatör için 261,72 N.m'dir.



Şekil 7.79. Abn senkron generatörler için yük akışı

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.80.'de alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi abone yüklerinde senkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 7.80. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Abn senkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren sürekli durum analizi

Analiz sonucuna göre 20 kW Abn senkron generatör bağlı dağıtık üretim içeren alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi gerilim profilinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Şebekeden çekilen akımlarda bağlanan generatör gücü ile orantılı olarak azalmalar görülmüştür. Profillerdeki değişim saha dağıtım kutusuna bağlantılardan daha iyi olmuştur.

Çizelge 7.10.'da dağıtık üretim içermeyen ve abone yüklerine bağlı senkron generatör içeren durum karşılaştırması verilmiştir. Abone yüklerinde şebekeden çekilen akımlarda %45 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Gerilim profilindeki düzelme ise Abn4 abone yükündeki gerilim düşümü değişimi ile gösterilebilir. Daha önce %28,9 olan gerilim düşümü, senkron generatör bağlı durumda iken %16 seviyesine düşmüştür.

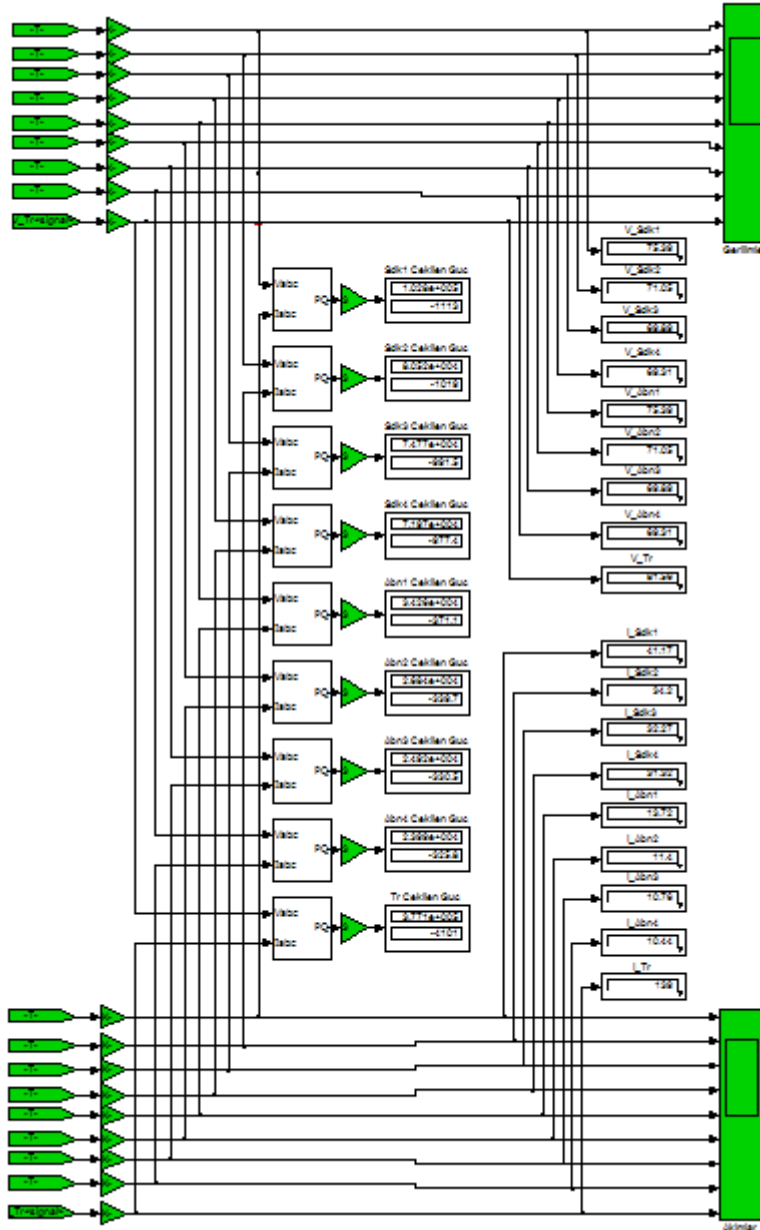
$$\%U_k = \frac{220 - 184,76}{220} \cdot \%100 = \%16$$

Çizelge 7.10. Dağıtık üretim içermeyen ve Abn senkron generatör içeren durum karşılaştırması

Dağıtık Üretim İçermeyen Durum	U (Gerilim)		I (Akım)		Dağıtık Üretim İçeren Durum (Abn Senkron Generatör)	U (Gerilim)	I (Akım)	Çekilen akım % azalış	Gerilim düşümü % azalış
Abn1	187,36	V	64,48	A	Abn1	201,6	37,83	41,33	7,60
Abn2	165,35	V	56,89	A	Abn2	189,58	31,55	44,54	14,65
Abn3	159,35	V	54,84	A	Abn3	186,35	29,81	45,64	16,94
Abn4	156,39	V	53,81	A	Abn4	184,76	28,95	46,20	18,14
Şebeke	218,02	V	690,08	A	Şebeke	218,67	384,43	44,29	0,30

Çekilen Yükler

Şekil 7.81.'de alçak gerilim dağıtım şebekesinde abone yüklerine bağlı senkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren durum için ölçü hücresinde her bir abone yükün tarafından çekilen güçler görülmektedir. Abone yüklerinden çekilen güçler Abn1 için 34 kW, Abn2 için 26 kW, Abn3 için 25 kW, Abn4 için 24kW.



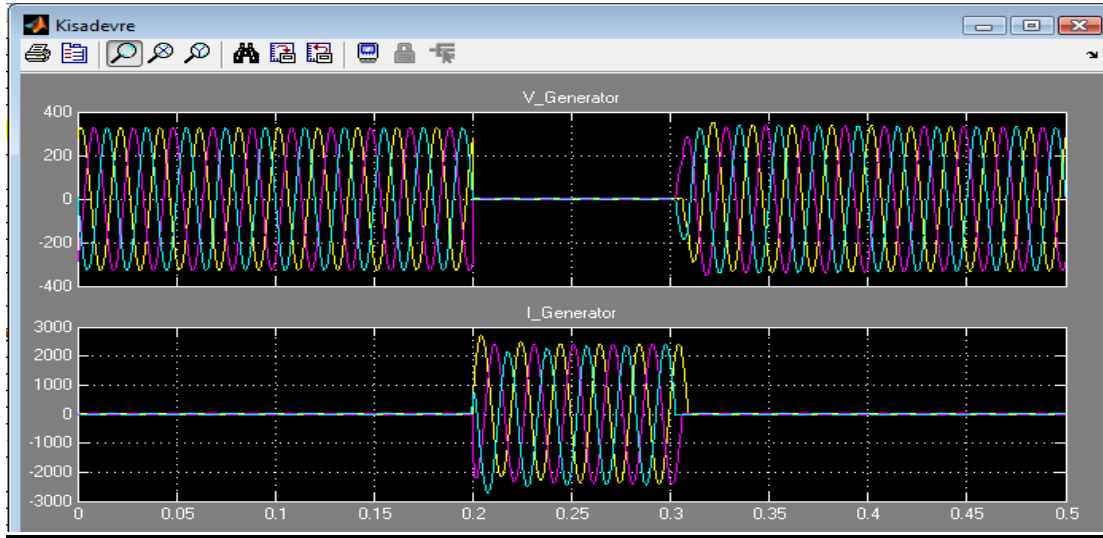
Şekil 7.81. Ölçü birimi abone yükleri güçleri

Çizelge 7.11.'de dağınık üretim içermeyen ve senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu senkron generatörün 20 kW'lık bir yükü beslemesi sonucu abone yüklerinden çekilen aktif yükler ortalama 50 kW mertebelerinde iken ortalama 15 kW düşerek, 35 kW mertebelerine düşmüştür, şebekeden çekilen reaktif güç seviyesi "0" olduğu için herhangi bir analiz yapılmamıştır.

Çizelge 7.11. Dağınık üretim içermeyen ve abone yüklerinde senkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması

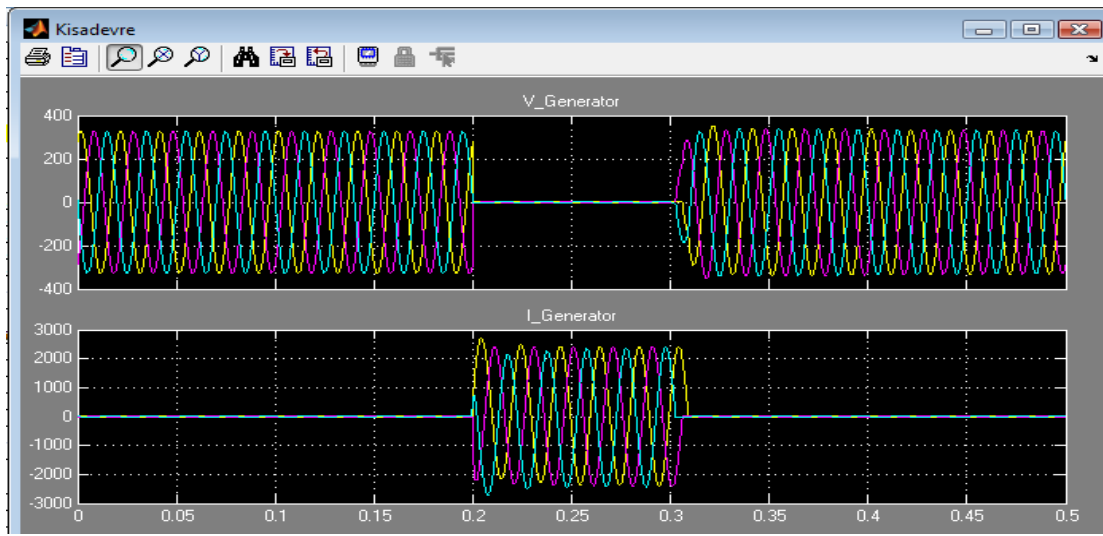
Dağınık Üretim İçermeyen Durum	P Aktif Güç		Q Reaktif Güç		Dağınık Üretim İçeren Durum Abn Senkron Generatör	P Aktif Güç	Q Reaktif Güç	Fark P (Aktif Güç)	Fark Q Reaktif Güç
Abn1	54	kW	-	kVar	Abn1	34	-	20	-
Abn2	42	kW	-	kVar	Abn2	26	-	16	-
Abn3	39	kW	-	kVar	Abn3	25	-	14	-
Abn4	37	kW	-	kVar	Abn4	24	-	13	-
Şebeke	676	kW	-	kVar	Şebeke	377	-	299	-

Şekil 7.84.'de senkron generatör ve Abn2 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 350 A artış meydana gelerek 2,25 kA seviyesine gelmiştir



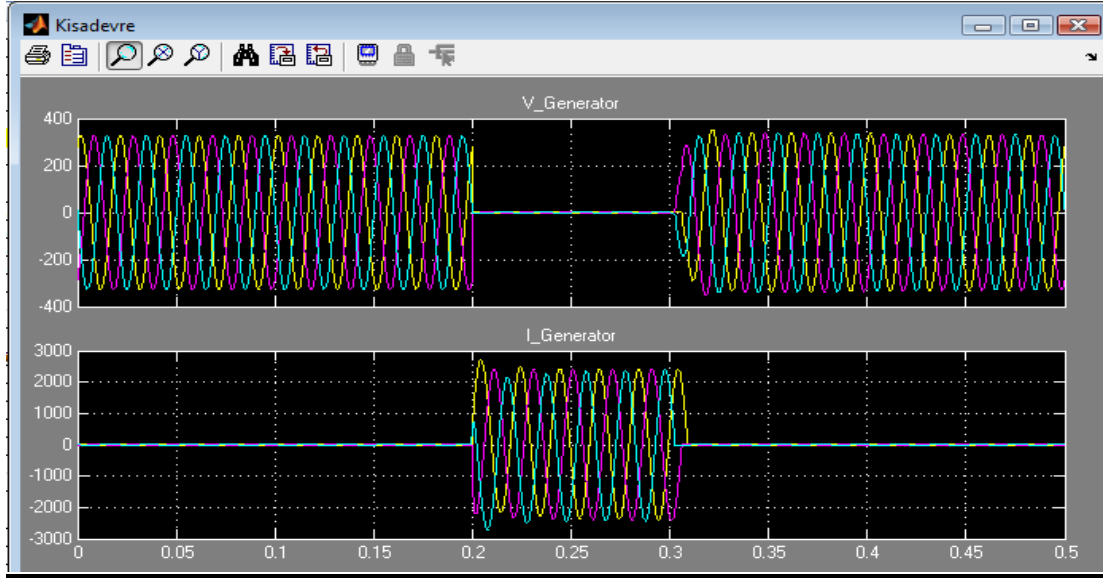
Şekil 7.84. Senkron generatör ve Abn2 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.85.'da senkron generatör ve Abn3 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 220 A artış meydana gelerek 1,82 kA seviyesine gelmiştir



Şekil 7.85. Senkron generatör ve Abn3 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.86.'de senkron generatör ve Abn4 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 400 A artış meydana gelerek 1,8 kA seviyesine gelmiştir.



Şekil 7.86. Senkron generatör ve Abn4 kısa devre dalga modeli

7.4.3. Asenkron generatör saha dağıtım kutularına bağlantı durumu

Yük Akışı ve Generatörlerin Başlatılması

Şekil 7.87.'de alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesine asenkron generatörlerin saha dağıtım kutularına direk bağlantı durumunda generatörlerin başlatılabilmesi için yapılması gereken yük akışı bilgileri verilmiştir. Sistemimizde kullanacağımız bütün senkron generatörlerin nominal değerleri 20 kVA ve 380 Vrms dir. Bizim sistemde üretilmesini istediğimiz güç ise 20 kW'dır. İstenilen güç için mekanik güç girdisi olarak -20000 Watt değeri verilmiştir. Şebeke ile adaptasyon için yük akışı değerleri alındığı zaman örnek olarak birinci generatör için faz açısı 29° olarak, faz gerilimleri 331,97 Vrms, faz akımları 49,162 Arms olarak belirlenmiştir. Asenkron generatörlerde mekanik girdi olarak "Tm" ile gösterilen rüzgar türbini tarafından üretilen tork generatöre değişken değerde bir giriş uygulanmaktadır. Uygulamamızda rüzgar hızı değerleri hep sabit 12 m/s değerinde olduğu için, uygulanan tork değeri değişken olmayacaktır. Yük akışı analizinden sonra mekanik güç olarak girilen -20 kW değere karşın birinci asenkron generatörün üreteceği aktif güç -19046 W, şebekeden çekeceği reaktif güç ise 21002 Var olarak bulunmuştur. İkinci generatör için bu değerler aktif güç -18836 W, şebekeden çekeceği reaktif güç ise 17597 Var olarak bulunmuştur. Asenkron generatörlere uygulanan tork miktarları ise birinci generatör için -241.95 N.m, ikinci generatör için - 239.44 N.m'dir. Generatörlerde rotor ve stator arasındaki kayma miktarları da birinci generatör için -0,05255, ikinci generatör için -0,06359 'dır. Asenkron generatörlerin doğal karakteristiğine bağlı olarak şebekeden yüksek miktarda reaktif güç çekmektedirler. Şebekeden çekilen reaktif gücü azaltmak üzere generatör modellememizde 6,5 kVar değerinde bir kompanzasyon ünitesi eklemiştik.

Powergui Load Flow and Machine Initialization Tool. model: AG_Sebeke_IG_Sdk

Machines load flow:

Machine: Induction Generator1/Asynchronous Machine p
 Nominal: 20 kVA 380 V rms
 Bus Type: Asynchronous Machine
 Uan phase: 29.00°
 Uab: 332.97 Vrms [0.8762 pu] 59.00°
 Ubc: 331.97 Vrms [0.8736 pu] -61.13°
 Uca: 331.83 Vrms [0.8732 pu] 179.09°
 Ia: 49.162 Arms [1.618 pu] -103.20°
 Ib: 49.162 Arms [1.618 pu] 136.80°
 Ic: 49.162 Arms [1.618 pu] 16.80°
 P: -19046 W [-0.9523 pu]
 Q: 21002 Vars [1.05 pu]
 Pmec: -20000 W [-1 pu]
 Torque: -241.95 N.m [-0.9501 pu]
 slip: -0.05255

Machine: Induction Generator2/Asynchronous Machine p
 Nominal: 20 kVA 380 V rms
 Bus Type: Asynchronous Machine
 Uan phase: 30.00°
 Uab: 301.14 Vrms [0.7925 pu] 60.00°
 Ubc: 300.24 Vrms [0.7901 pu] -60.12°
 Uca: 300.14 Vrms [0.7899 pu] -179.92°
 Ia: 49.419 Arms [1.626 pu] -106.95°
 Ib: 49.419 Arms [1.626 pu] 133.05°
 Ic: 49.419 Arms [1.626 pu] 13.05°
 P: -18836 W [-0.9418 pu]
 Q: 17597 Vars [0.8798 pu]
 Pmec: -20000 W [-1 pu]
 Torque: -239.44 N.m [-0.9403 pu]
 slip: -0.06359

Machines:

Induction Generator1/Async
 Induction Generator2/Async
 Induction Generator3/Async

Bus type : Asynchronous machine

Mechanical power (Watts):
 -20000

Active power guess (Watts):
 X

Reactive power (Vars):
 X

Phase of UAN voltage (deg):
 X

Load flow frequency (Hz):
 50

Load flow initial condition:
 Auto

Update Circuit & Measurements

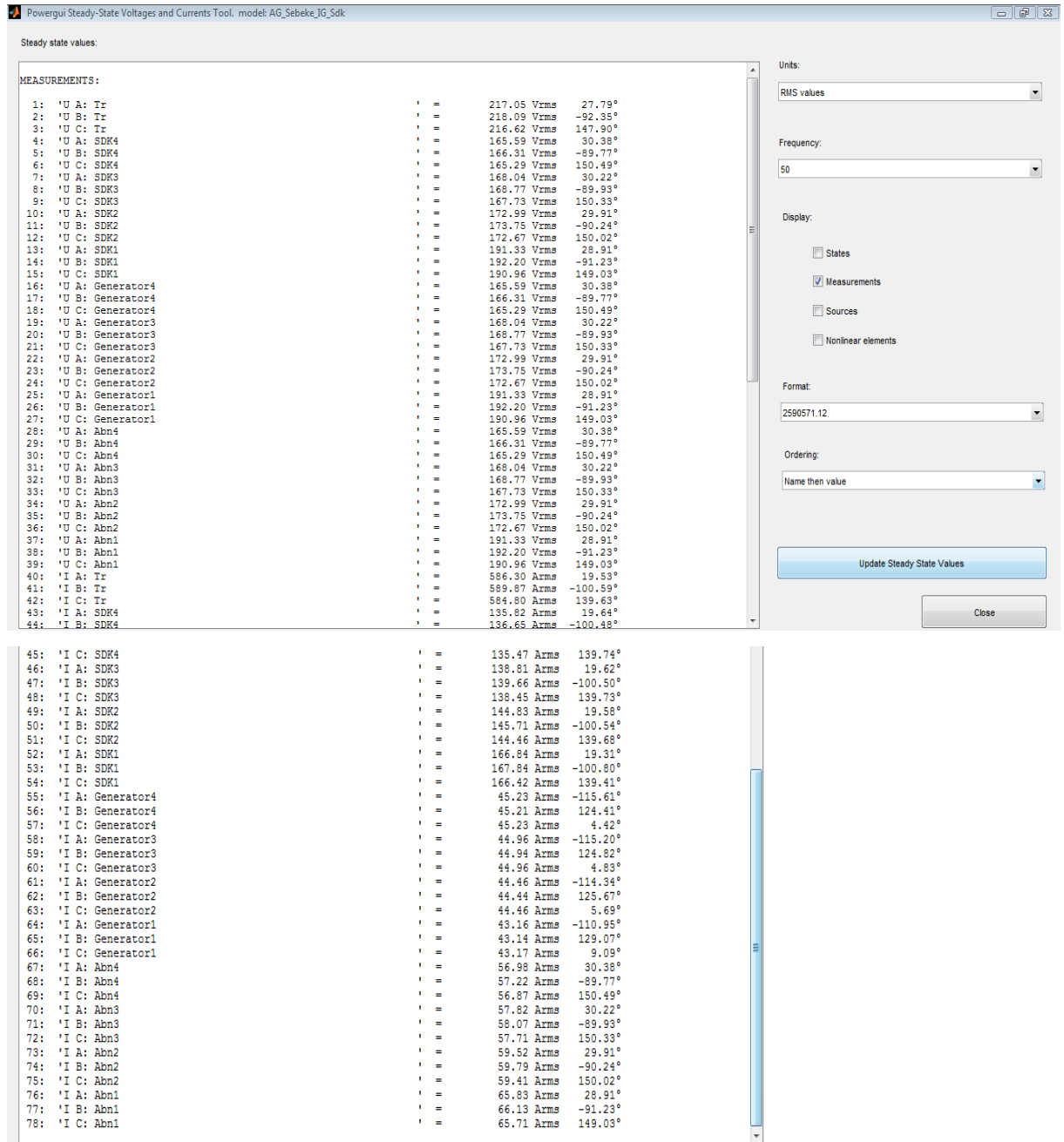
Update Load Flow

Close

Şekil 7.87. Sdk asenkron generatörler için yük akışı

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.88.'da alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi saha dağıtım kutularında asenkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 7.88. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Sdk asenkron generatörlü dağıtık üretim santrali içeren sürekli durum analizi

Analiz sonucuna göre 20 kW Sdk asenkron generatör bağılı dağıtım üretim içeren alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi gerilim profilinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Şebekeden çekilen akımlarda bağlanan generatör gücü ile orantılı olarak azalmalar görülmüştür.

Çizelge 7.12.'de dağıtım üretim içermeyen ve saha dağıtım kutularına bağlı asenkron generatör içeren durum karşılaştırması verilmiştir. Saha dağıtım kutularında şebekeden çekilen akımlarda %15 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Gerilim profilindeki düzelme ise Sdk4 abone yükündeki gerilim düşümü değişimi ile gösterilebilir. Daha önce %28,9 olan gerilim düşümü, asenkron generatör bağılı durumda iken %24,4 seviyesine düşmüştür.

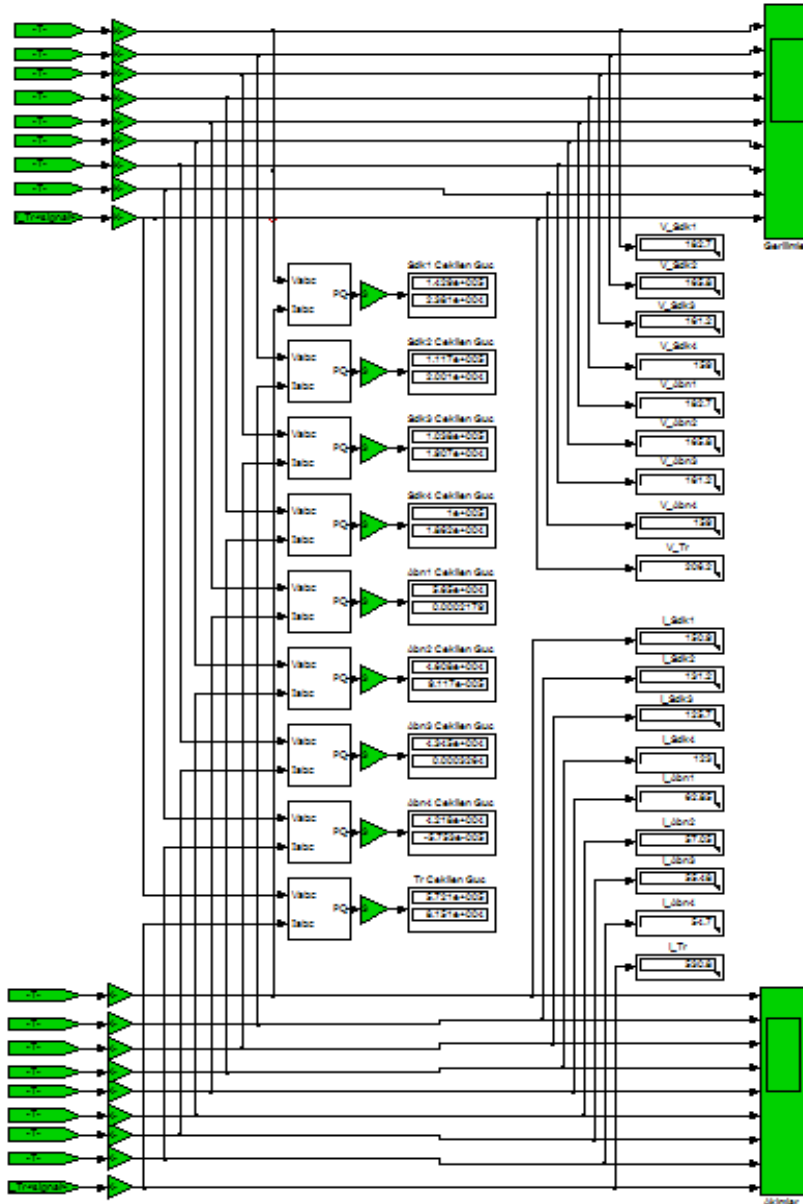
$$\%U_k = \frac{220 - 166,31}{220} \cdot \%100 = \%24,4$$

Çizelge 7.12. Dağıtım üretim içermeyen ve Sdk asenkron generatör içeren durum karşılaştırması

Dağıtım Üretim İçermeyen Durum	U (Gerilim)		I (Akım)		Dağıtım Üretim İçeren Durum (Sdk Asenkron Generatör)	U (Gerilim)	I (Akım)	Çekilen akım % azalış	Gerilim düşümü % azalış
Sdk1	187,38	V	193,43	A	Sdk1	190,96	167,84	13,23	1,91
Sdk2	165,35	V	170,68	A	Sdk2	173,75	145,71	14,63	5,08
Sdk3	159,37	V	164,51	A	Sdk3	168,77	139,66	15,11	5,90
Sdk4	156,41	V	161,46	A	Sdk4	166,31	136,65	15,37	6,33
Şebeke	218,02	V	690,08	A	Şebeke	218,09	589,87	14,52	0,03

Çekilen Yükle

Şekil 7.89.'da alçak gerilim dağıtım şebekesinde saha dağıtım kutularına bağlı asenkron generatörlü dağınık üretim santrali içeren durum için ölçü hücresinde her bir saha dağıtım kutusu tarafından çekilen güçler görülmektedir. Saha dağıtım kutuları yüklerinden çekilen güçler Sdk1 için 142 kW, 23 kVar; Sdk2 için 111 kW, 20 kVar; Sdk3 için 103 kW,19 kVar; Sdk4 için 100kW, 18kVar.



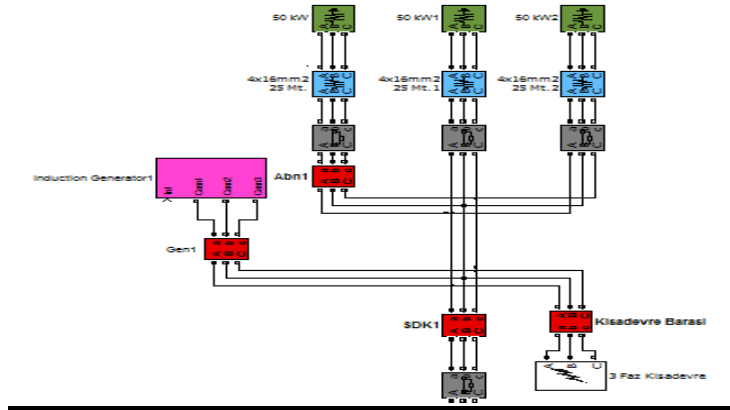
Şekil 7.89. Ölçü birimi Sdk güçleri

Çizelge 7.13.'de dağınık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu senkron generatörün 20 kW'lık bir yükü beslemesi sonucu abone yüklerinden çekilen aktif yükler ortalama 130 kW mertebelerinde iken ortalama 20 kW düşerek, 10 kW mertebelerine düşmüştür. Fakat asenkron generatör şebekeden reaktif güç çekmeye başlamıştır. Çekilen reaktif güçler tabloda verilmiştir.

Çizelge 7.13. Dağınık üretim içermeyen ve saha dağıtım kutularında asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması

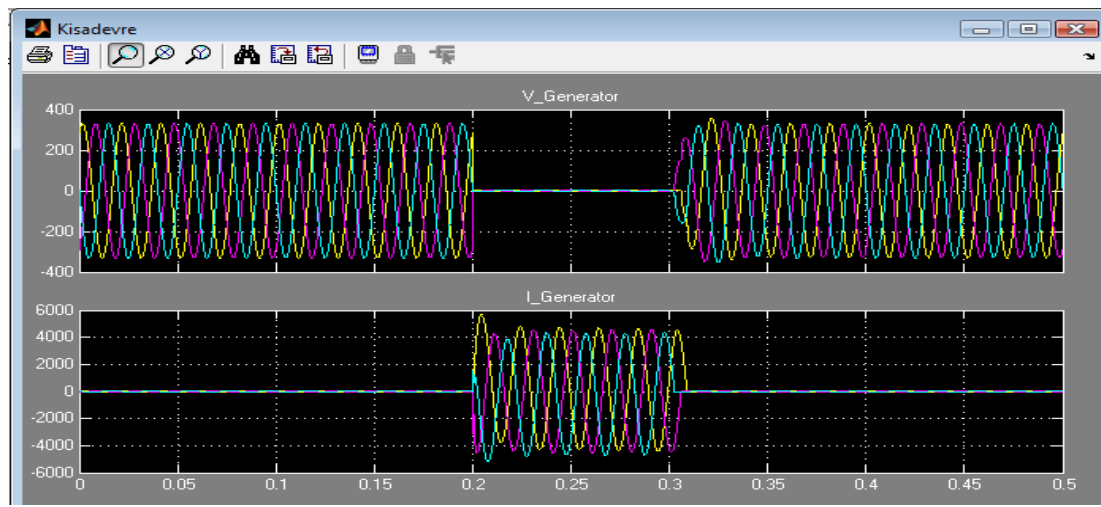
Dağınık Üretim İçermeyen Durum	P Aktif Güç		Q Reaktif Güç		Dağınık Üretim İçeren Durum (Sdk Asenkron Generatör)	P Aktif Güç	Q Reaktif Güç	Fark P (Aktif Güç)	Fark Q Reaktif Güç
Sdk1	164	kW	-	kVar	Sdk1	142	23	22	-23
Sdk2	127	kW	-	kVar	Sdk2	111	20	16	-20
Sdk3	118	kW	-	kVar	Sdk3	103	19	15	-19
Sdk4	113	kW	-	kVar	Sdk4	100	18	13	-18
Şebeke	676	kW	-	kVar	Şebeke	572	81	104	-81

Kısadevre Durumu



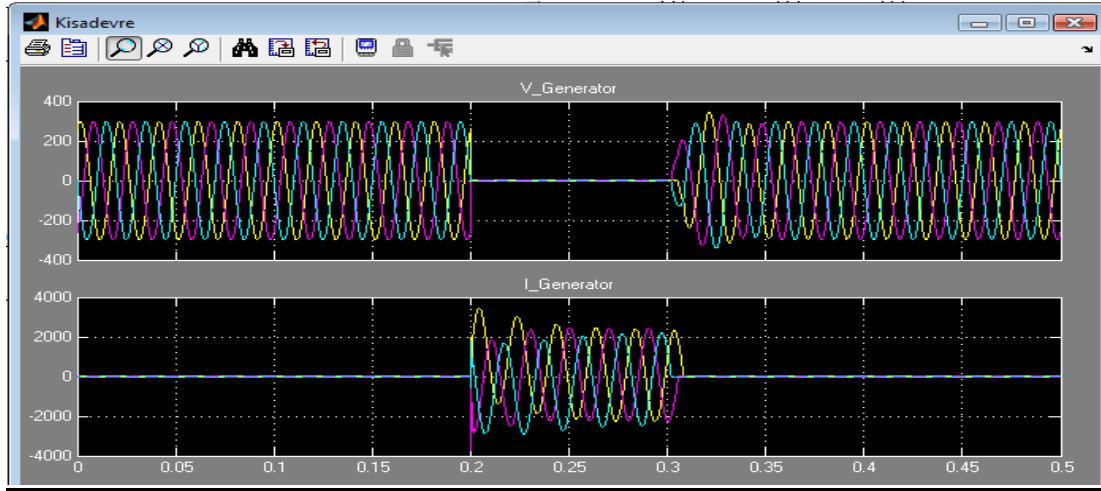
Şekil 7.90. Asenkron generatör ve Sdk1 kısa devre modeli

Şekil 7.91.'de asenkron generatör ve Sdk1 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Asenkron generatörün kısa devre durumunda kısa devre akımını beslediği kısa devre miktarının artışından gözlemlenmektedir. Generatörsüz sistemde kısa devre akımı 3,9 kA mertebelerinde iken senkron generatörün kısa devre akımını beslemesi ile bu sonuç 4,8 kA seviyesine çıkmıştır. Oluşan kısa devre akımı artışı 900 A seviyesindedir. Senkron generatörün nominal akımı 43,17 A değerinde olup, kısa devre akımı seviyesindeki artış beklenen değerin üstündedir.



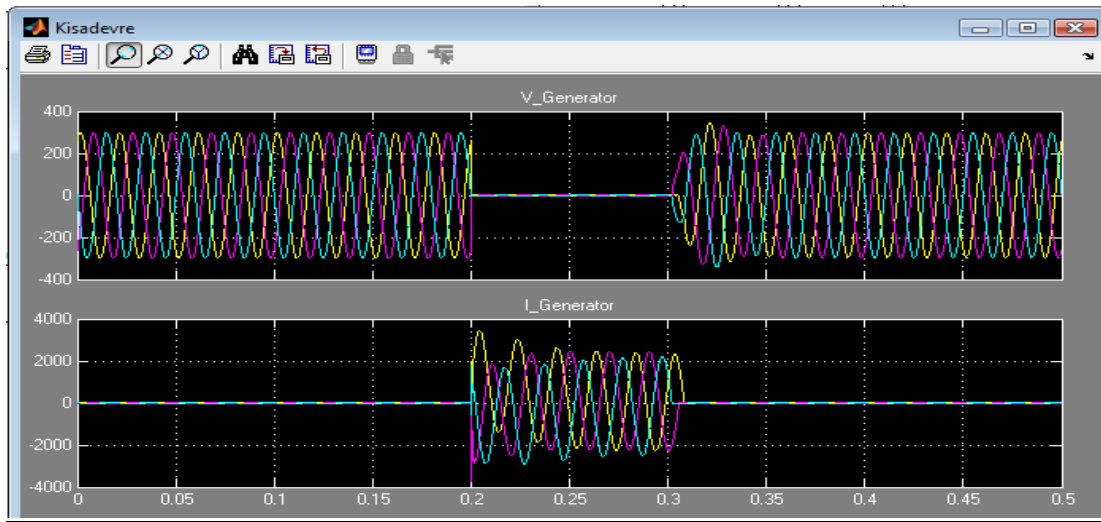
Şekil 7.91. Asenkron generatör ve Sdk1 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.92.'de asenkron generatör ve Sdk2 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 850 A artış meydana gelerek 3,05 kA seviyesine gelmiştir.



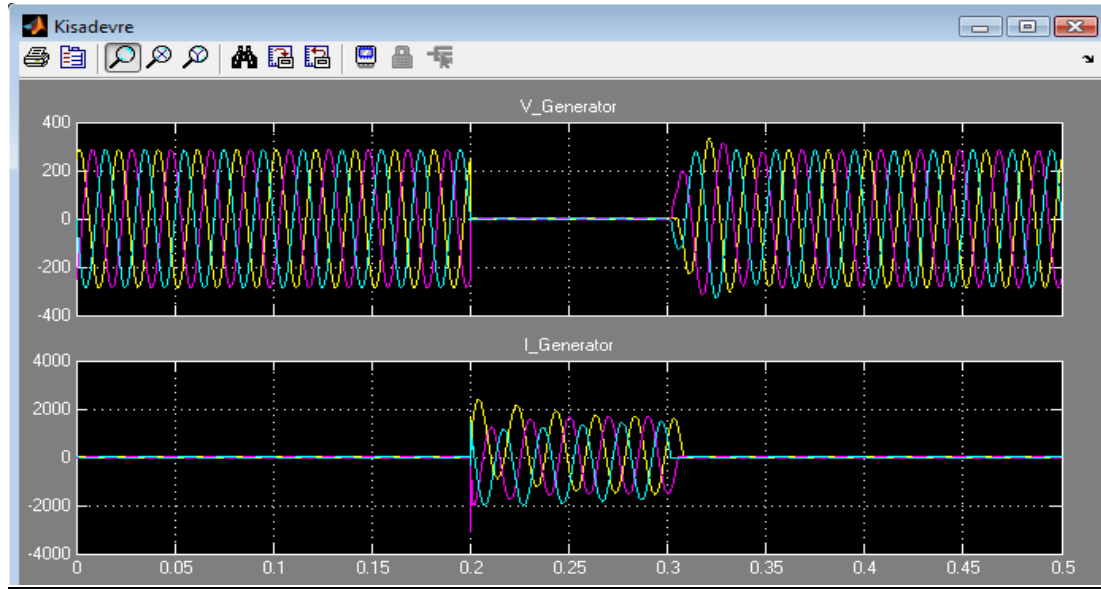
Şekil 7.92.Asenkron generatör ve Sdk2 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.93.'de asenkron generatör ve Sdk3 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 780A artış meydana gelerek 2,68 kA seviyesine gelmiştir.



Şekil 7.93.Asenkron generatör ve Sdk3 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.94.'de asenkron generatör ve Sdk4 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 550 A artış meydana gelerek 2,15 kA seviyesine gelmiştir.



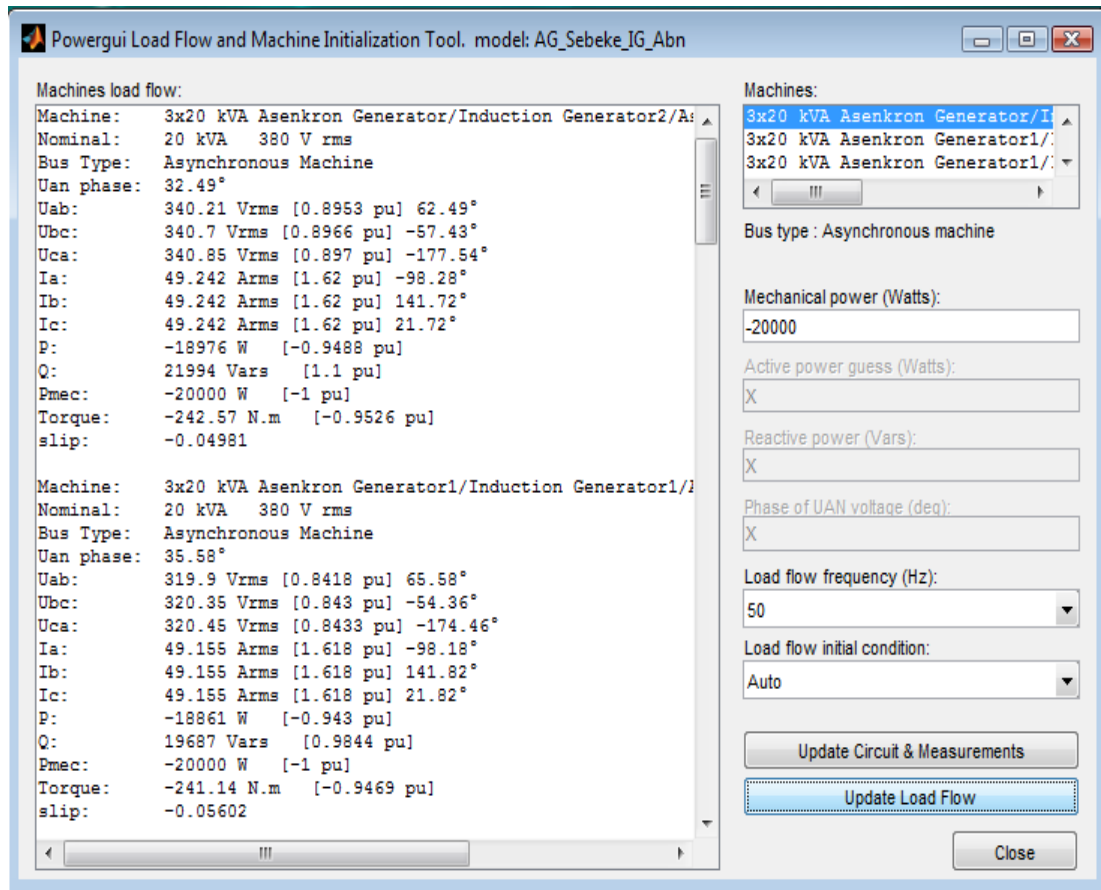
Şekil 7.94. Asenkron generatör ve Sdk4 kısa devre dalga modeli

7.4.4. Asenkron generatör abone yüklerine bağlantı durumu

Yük Akışı ve Generatörlerin Başlatılması

Şekil 7.95.'da alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesine asenkron generatörlerin abone yüklerine direk bağlantı durumunda generatörlerin başlatılabilmesi için yapılması gereken yük akışı bilgileri verilmiştir. Sistemimizde kullanacağımız bütün senkron generatörlerin nominal değerleri 20 kVA ve 380 Vrms dir. Bizim sistemde üretilmesini istediğimiz güç ise 20 kW'dır. İstenilen güç için mekanik güç girdisi olarak -20000 Watt değeri verilmiştir. Şebeke ile adaptasyon için yük akışı değerleri alındığı zaman örnek olarak birinci generatör için faz açısı 32.49° olarak, faz gerilimleri 340,70 Vrms, faz akımları 49,242 Arms olarak belirlenmiştir. Asenkron generatörlerde mekanik girdi olarak "Tm" ile gösterilen rüzgar türbini tarafından üretilen tork generatöre değişken değerde bir giriş uygulanmaktadır. Uygulamamızda rüzgar hızı değerleri hep sabit 12 m/s değerinde olduğu için, uygulanan tork değeri

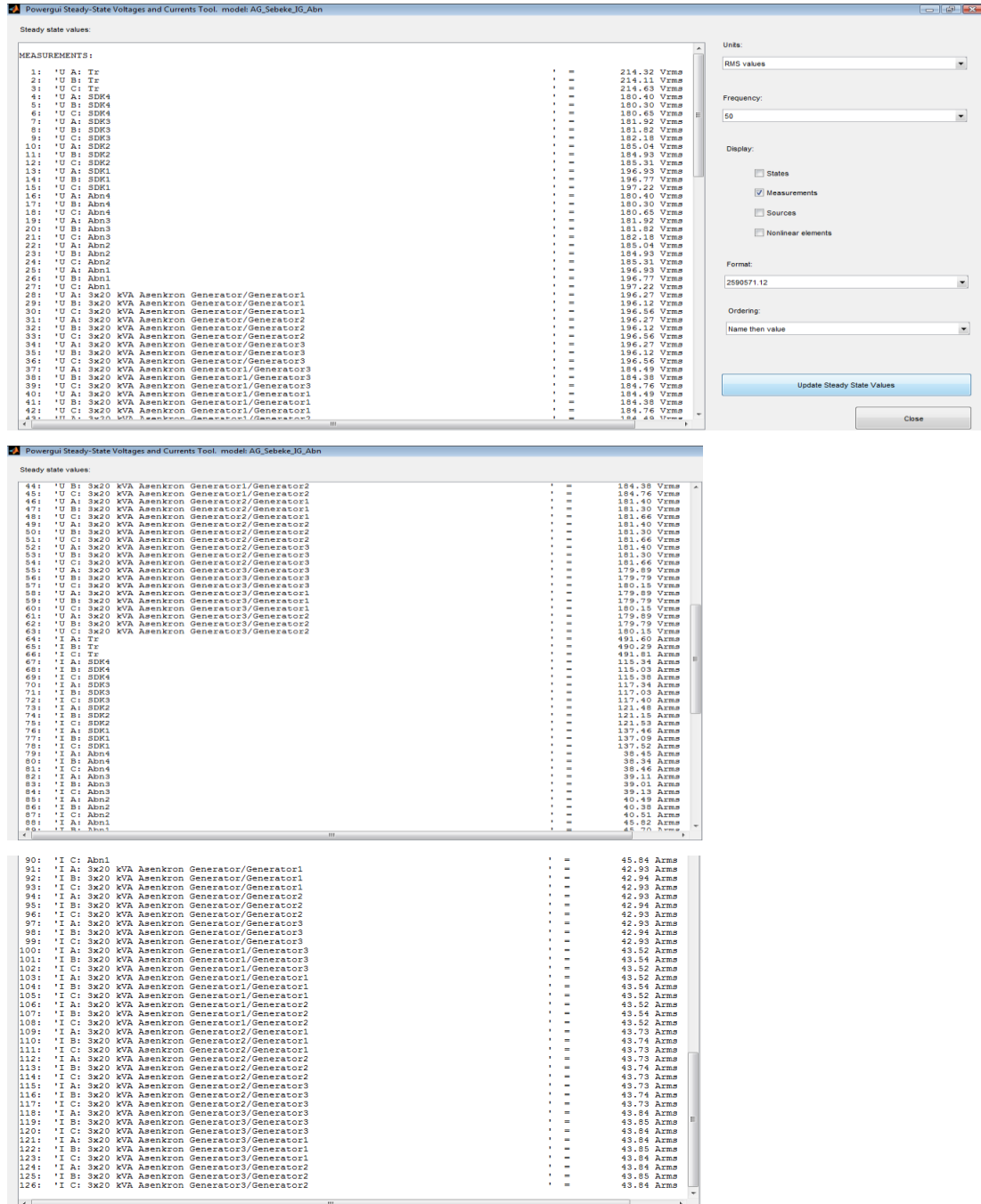
değişken olmayacaktır. Yük akışı analizinden sonra mekanik güç olarak girilen -20 kW değere karşın birinci asenkron generatörün üreteceği aktif güç -18976 W, şebekeden çekeceği reaktif güç ise 21994 Var olarak bulunmuştur. İkinci generatör için bu değerler aktif güç -18861 W, şebekeden çekeceği reaktif güç ise 19687 Var olarak bulunmuştur. Asenkron generatörlere uygulanan tork miktarları ise birinci generatör için -242.57 N.m, ikinci generatör için - 241.14 N.m'dir. Generatörlerde rotor ve stator arasındaki kayma miktarları da birinci generatör için -0,04981, ikinci generatör için -0,05602 'dır. Asenkron generatörlerin doğal karakteristiğine bağlı olarak şebekeden yüksek miktarda reaktif güç çekmektedirler. Şebekeden çekilen reaktif gücü azaltmak üzere generatör modellememizde 6,5 kVar değerinde bir kompanzasyon ünitesi eklemiştik.



Şekil 7.95. Abn asenkron generatörler için yük akışı

Gerilim Seviyeleri ve Çekilen Akımlar

Şekil 7.96.'de alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi abone yüklerinde asenkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren durum analizine ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 7.96. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Abn asenkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren sürekli durum analizi

Analiz sonucuna göre 20 kW Abn asenkron generatör bağlı dağıtık üretim içeren alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi gerilim profilinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Şebekeden çekilen akımlarda bağlanan generatör gücü ile orantılı olarak azalmalar görülmüştür.

Çizelge 7.14.'de dağıtık üretim içermeyen ve abone yüklerine bağlı asenkron generatör içeren durum karşılaştırması verilmiştir. Abone yüklerinde şebekeden çekilen akımlarda %28 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Gerilim profilindeki düzelme ise Abn4 abone yükündeki gerilim düşümü değişimi ile gösterilebilir. Daha önce %28,9 olan gerilim düşümü, asenkron generatör bağlı durumda iken %24,4 seviyesine düşmüştür.

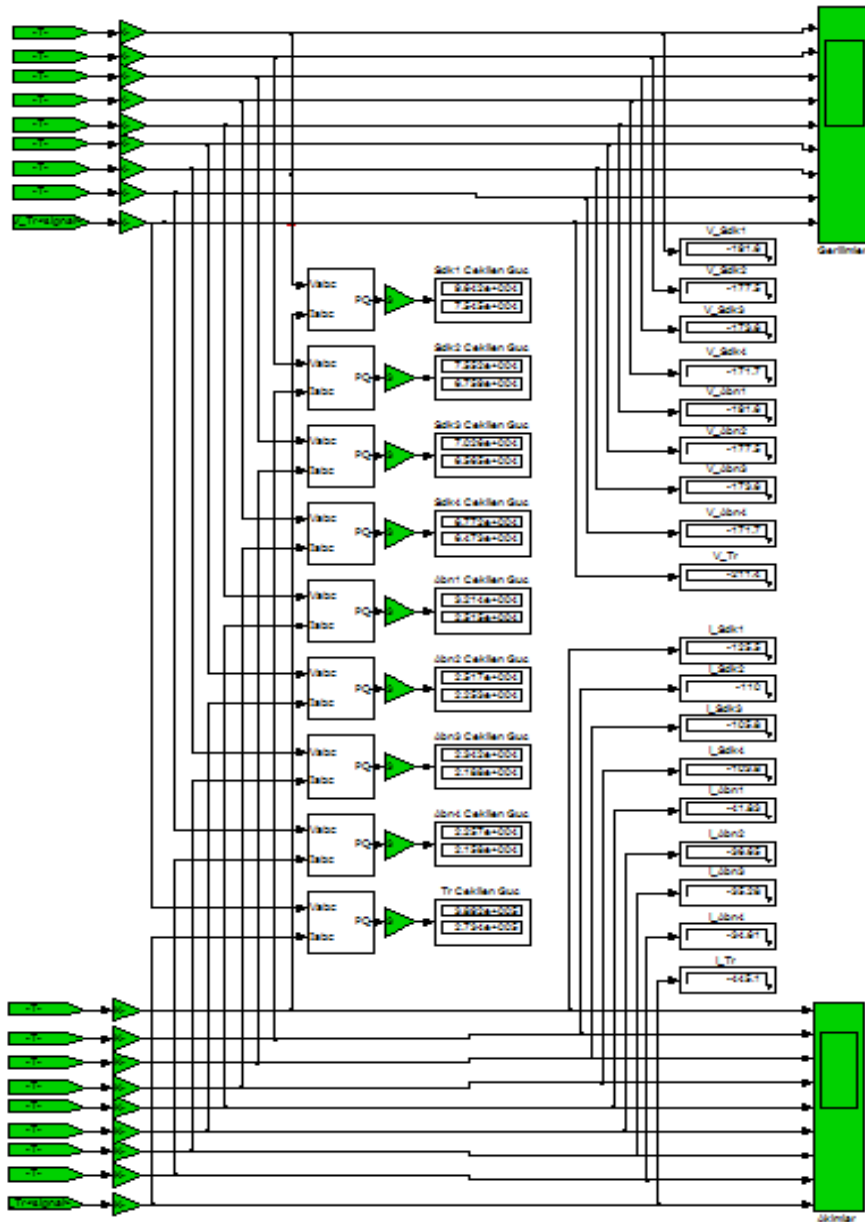
$$\%U_k = \frac{220 - 180,65}{220} \cdot \%100 = \%17,88$$

Çizelge 7.14. Dağıtık üretim içermeyen ve Abn asenkron generatör içeren durum karşılaştırması

Dağıtık Üretim İçermeyen Durum	U (Gerilim)		I (Akım)		Dağıtık Üretim İçeren Durum (Abn Asenkron Generatör)	U (Gerilim)	I (Akım)	Çekilen akım % azalış	Gerilim düşümü % azalış
Abn1	187,36	V	64,48	A	Abn1	197,22	45,84	28,91	5,26
Abn2	165,35	V	56,89	A	Abn2	185,31	40,51	28,79	12,07
Abn3	159,35	V	54,84	A	Abn3	182,18	39,13	28,65	14,33
Abn4	156,39	V	53,81	A	Abn4	180,65	38,46	28,53	15,51
Şebeke	218,02	V	690,08	A	Şebeke	214,63	491,81	28,73	-1,55

Çekilen Yükle

Şekil 7.97.'de alçak gerilim dağıtım şebekesinde abone yüklerine bağlı asenkron generatörlü dağıtım üretim santrali içeren durum için ölçü hücresinde her bir abone yükü tarafından çekilen güçler görülmektedir. Saha dağıtım kutuları yüklerinden çekilen güçler Abn1 için 32 kW, 25 kVar; Abn2 için 25 kW, 22 kVar; Abn3 için 23 kW,21 kVar; Abn4 için 22kW, 21kVar.



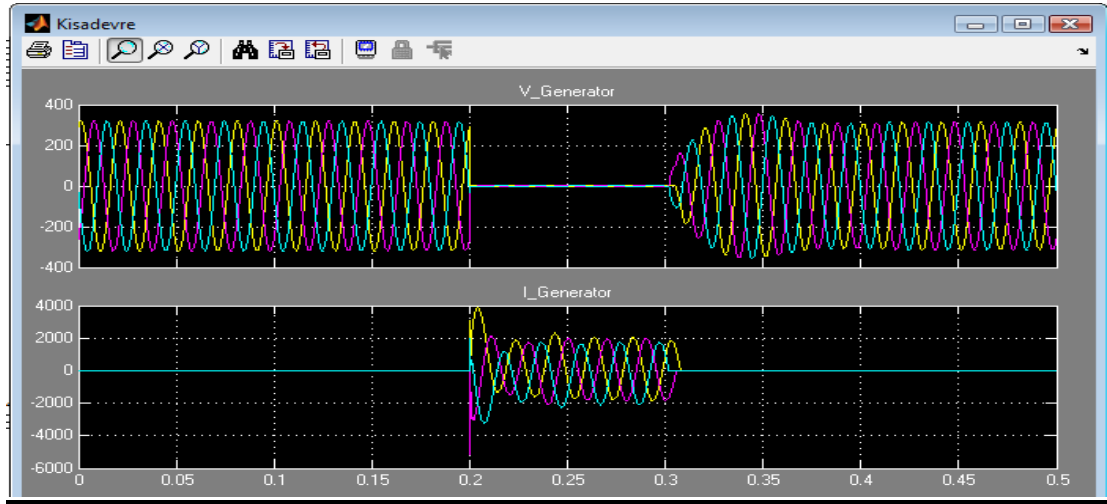
Şekil 7.97. Ölçü birimi Abn güçleri

Çizelge 7.15.'de dağınık üretim içermeyen ve asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması verilmiştir. Simulasyon sonucu senkron generatörün 20 kW'lık bir yükü beslemesi sonucu abone yüklerinden çekilen aktif yükler ortalama 50 kW mertebelerinde iken ortalama 20 kW düşerek, 25 kW mertebelerine düşmüştür. Fakat asenkron generatör şebekeden reaktif güç çekmeye başlamıştır. Çekilen reaktif güçler tabloda verilmiştir.

Çizelge 7.15. Dağınık üretim içermeyen ve saha dağıtım kutularında asenkron generatör içeren durumlar için güç karşılaştırması

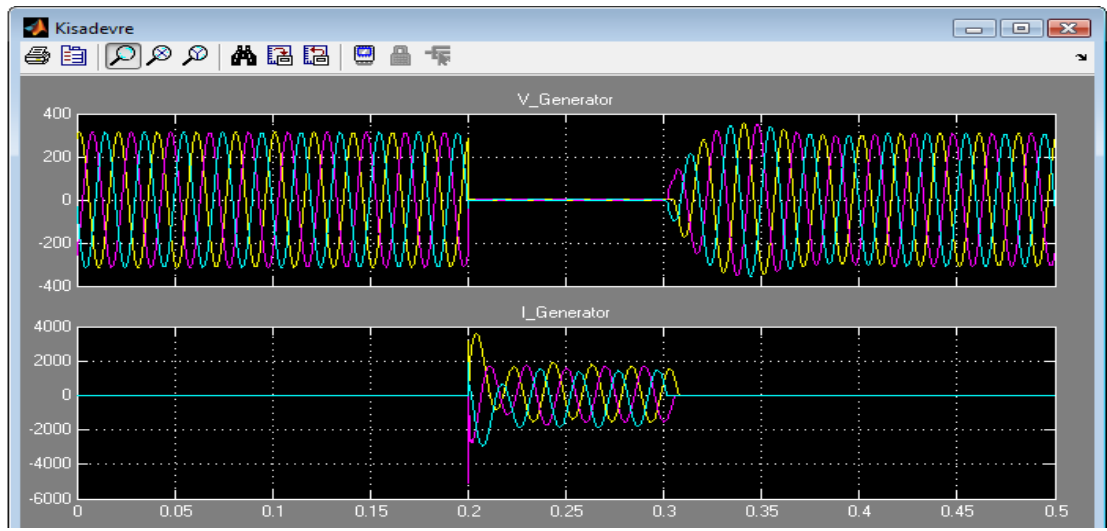
Dağınık Üretim İçermeyen Durum	P Aktif Güç		Q Reaktif Güç		Dağınık Üretim İçeren Durum (Abn Asenkron Generatör)	P Aktif Güç	Q Reaktif Güç	Fark P (Aktif Güç)	Fark Q Reaktif Güç
Abn1	54	kW	-	kVar	Abn1	32	25	22	-25
Abn2	42	kW	-	kVar	Abn2	25	22	17	-22
Abn3	39	kW	-	kVar	Abn3	23	21	16	-21
Abn4	37	kW	-	kVar	Abn4	22	21	15	-21
Şebeke	676	kW	-	kVar	Şebeke	389	273	287	-273

Şekil 7.100.'de asenkron generatör ve Abn2 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 410 A artış meydana gelerek 2,31 kA seviyesine gelmiştir.



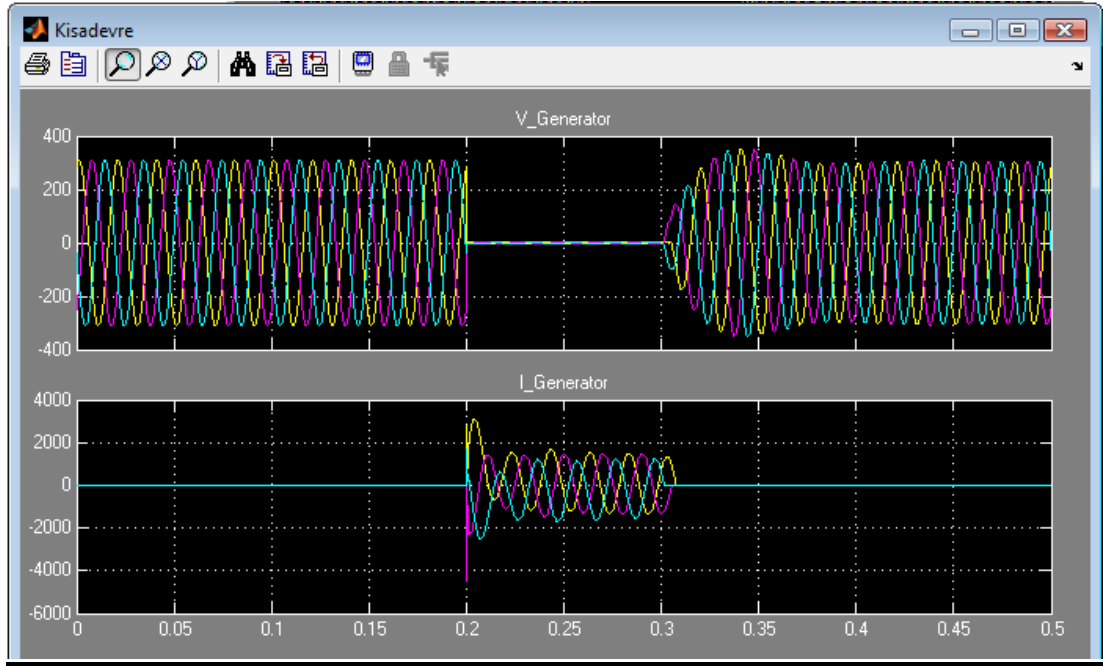
Şekil 7.100. Asenkron generatör ve Abn2 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.101.'de asenkron generatör ve Abn3 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 300 A artış meydana gelerek 1,9 kA seviyesine gelmiştir.



Şekil 7.101. Asenkron generatör ve Abn3 kısa devre dalga modeli

Şekil 7.102.'de asenkron generatör ve Abn4 tarafında kısa devre dalga modeli verilmiştir. Simulasyon sonucuna göre kısa devre seviyesinde 310 A artış meydana gelerek 1,71 kA seviyesine gelmiştir.

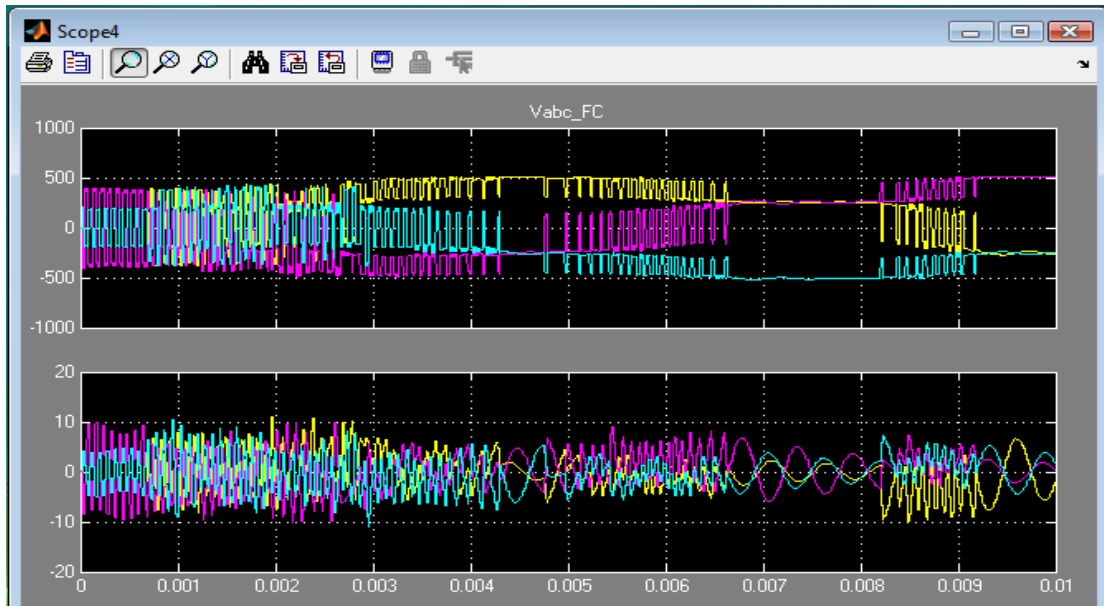


Şekil 7.102. Asenkron generatör ve Abn4 kısa devre dalga modeli

7.4.5. Evirici tabanlı dağıtık üretim santrali bağlantısı durumu

SimPowerSystem araç kütüphanesinde bulunan “Solid-oxide Fuel Cell Connected to Three-Phase Electrical Power System” isimli hazır demoda evirici tabanlı bir yakıt hücresinin şebekeye bağlantısı incelenmiştir. Söz konusu modelimizi şebeke ile çalıştırmaya simulasyon programımız izin vermemektedir. Evirici tabanlı dağıtık üretim sisteminin abone yükünü ada modunda beslediği düşünülerek, eviricinin bağlı olduğu yüklerdeki kesiciler açılarak hat ile irtibatları kesilerek simulasyon sonuçları verilecektir.

Şekil 7.103.’de evirici tabanlı dağıtık üretim gerilim ve akım profili verilmektedir. Modelin çıkış değerlerinin yüksek miktarda gerilim dalgalanması ve harmonikler içerdiği görülmektedir.



Şekil 7.103. Evirici tabanlı dağıtık üretim gerilim ve akım profili

Abn1-2-3-4'ün ada modunda çalışması sonucu sistemin gerilim seviyesi ve çekilen akımlar

Şekil 7.104.'de alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi abone yüklerinde evirici tabanlı dağıtım üretim santrali bağlı durum analizine ait veriler bulunmaktadır.

Powergui Steady-State Voltages and Currents Tool. model: AG_Sebeke_PV

Steady state values:

MEASUREMENTS:

1:	'U Fuel Cell/Voltage Measurement1	' =	0.00 Vrms	0.00°
2:	'U Fuel Cell2/Voltage Measurement1	' =	0.00 Vrms	0.00°
3:	'U Fuel Cell3/Voltage Measurement1	' =	0.00 Vrms	0.00°
4:	'U Fuel Cell4/Voltage Measurement1	' =	0.00 Vrms	0.00°
5:	'U A: Tr	' =	218.43 Vrms	28.06°
6:	'U B: Tr	' =	218.43 Vrms	-91.94°
7:	'U C: Tr	' =	218.43 Vrms	148.06°
8:	'U A: SDK4	' =	173.50 Vrms	28.06°
9:	'U B: SDK4	' =	173.51 Vrms	-91.94°
10:	'U C: SDK4	' =	173.51 Vrms	148.06°
11:	'U A: SDK3	' =	175.69 Vrms	28.06°
12:	'U B: SDK3	' =	175.70 Vrms	-91.94°
13:	'U C: SDK3	' =	175.70 Vrms	148.06°
14:	'U A: SDK2	' =	180.10 Vrms	28.06°
15:	'U B: SDK2	' =	180.10 Vrms	-91.94°
16:	'U C: SDK2	' =	180.10 Vrms	148.06°
17:	'U A: SDK1	' =	196.26 Vrms	28.06°
18:	'U B: SDK1	' =	196.26 Vrms	-91.94°
19:	'U C: SDK1	' =	196.26 Vrms	148.06°
20:	'U A: Abn4	' =	173.50 Vrms	28.06°
21:	'U B: Abn4	' =	173.51 Vrms	-91.94°
22:	'U C: Abn4	' =	173.51 Vrms	148.06°
23:	'U A: Abn3	' =	175.69 Vrms	28.06°
24:	'U B: Abn3	' =	175.70 Vrms	-91.94°
25:	'U C: Abn3	' =	175.70 Vrms	148.06°
26:	'U A: Abn2	' =	180.10 Vrms	28.06°
27:	'U B: Abn2	' =	180.10 Vrms	-91.94°
28:	'U C: Abn2	' =	180.10 Vrms	148.06°
29:	'U A: Abn1	' =	196.26 Vrms	28.06°
30:	'U B: Abn1	' =	196.26 Vrms	-91.94°
31:	'U C: Abn1	' =	196.26 Vrms	148.06°
56:	'I A: Tr	' =	499.30 Arms	28.06°
57:	'I B: Tr	' =	499.32 Arms	-91.94°
58:	'I C: Tr	' =	499.32 Arms	148.06°
59:	'I A: SDK4	' =	119.40 Arms	28.06°
60:	'I B: SDK4	' =	119.40 Arms	-91.94°
61:	'I C: SDK4	' =	119.40 Arms	148.06°
62:	'I A: SDK3	' =	120.91 Arms	28.06°
63:	'I B: SDK3	' =	120.91 Arms	-91.94°
64:	'I C: SDK3	' =	120.91 Arms	148.06°
65:	'I A: SDK2	' =	123.94 Arms	28.06°
66:	'I B: SDK2	' =	123.94 Arms	-91.94°
67:	'I C: SDK2	' =	123.94 Arms	148.06°
68:	'I A: SDK1	' =	135.06 Arms	28.06°
69:	'I B: SDK1	' =	135.06 Arms	-91.94°
70:	'I C: SDK1	' =	135.06 Arms	148.06°

Şekil 7.104. Alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi Abn evirici tabanlı dağıtım üretim santrali içeren sürekli durum analizi

Analiz sonucuna göre saha dağıtım kutularında evirici tabanlı dağıtım üretim içeren alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesi gerilim profilinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Şebekeden çekilen akımlarda bağlanan santral gücü ile orantılı olarak azalmalar görülmüştür.

Çizelge 7.16.'da dağıtım üretim içermeyen ve abone yüklerine bağlı evirici tabanlı dağıtım üretim santrali içeren durum karşılaştırması verilmiştir. Saha dağıtım kutularında şebekeden çekilen akımlarda %27 civarında bir azalış meydana gelmiştir. Gerilim profilindeki düzelme ise Sdk4 abone yükündeki gerilim düşümü değişimi ile gösterilebilir. Daha önce %28,9 olan gerilim düşümü, evirici tabanlı dağıtım üretim santrali bağlı durumda iken %24,4 seviyesine düşmüştür.

$$\%U_k = \frac{220 - 173,51}{220} \cdot \%100 = \%21,13$$

Çizelge 7.16. Dağıtım üretim içermeyen ve Abn evirici tabanlı dağıtım üretim içeren durum karşılaştırması

Dağıtım Üretim İçermeyen Durum	U (Gerilim)		I (Akım)		Dağıtım Üretim İçeren Durum (Sdk Asenkron Generatör)	U (Gerilim)	I (Akım)	Çekilen akım % azalış	Gerilim düşümü % azalış
Sdk1	187,38	V	193,43	A	Sdk1	196,26	135,06	30,18	4,74
Sdk2	165,35	V	170,68	A	Sdk2	180,1	123,94	27,38	8,92
Sdk3	159,37	V	164,51	A	Sdk3	175,7	120,91	26,50	10,25
Sdk4	156,41	V	161,46	A	Sdk4	173,51	119,4	26,05	10,93
Şebeke	218,02	V	690,08	A	Şebeke	218,43	499,32	27,64	0,19

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Belirli bir güç sınırına kadar lisanssız elektrik üretiminin serbest bırakılması sonucu bir çok kullanıcı gelecek dönemlerde kendi elektriğini kendi üretme yoluna gidecektir. Elektrik üretmek amaçlı kullanılacak sistemler farklılık göstermekle beraber genellikle kullanılacak yöntemler aşağı yukarı aynı olup asenkron generatör, senkron generatör ve evirici tabanlı sistemlerdir.

Bu tez çalışmasında alçak gerilim ve orta gerilim elektrik dağıtım şebekelerinde dağınık üretim santrallerinin Matlab/Simulink ortamında modellenmesi yapılmıştır. Yapılan simulasyonlara göre asenkron generatör, senkron generatör ve evirici tabanlı üretim sistemlerinin şebeke cevapları irdelenmiştir. Dağınık üretim santrali bağlantısı yapılan baralarda, şebekeden çekilen akım ve yük miktarları büyük ölçüde azalarak şebekenin rahatlaması sağlanmıştır. Buna bağlı olarak kapasite artırımları gerektiren bölgelerde gerekli yatırımların geciktirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Dağınık üretim sistemlerinin bağlanması ile şebeke gerilim seviyelerinde iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Gerilim düşümü olan bölgelerde bara geriliminin yükselmesinde katkıda bulunarak bu sayede enerji kalitesinin artırılmasında etkin rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Şebekeye dağınık üretim santrallerinin bağlanması sonucu, kısa devre durumlarında yapılan incelemede ise yeni bağlanan santrallerinin kısa devre akımına katkıda bulunarak söz konusu baralarda belirlenen kısa devre güçlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle mevcut elektrik dağıtım sisteminde bulunan komponentlerin yeni oluşacak kısa devre akımlarına göre seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Elektrik dağıtım şebekeleri çok geniş alanlara yayıldığından ötürü, bu sistemlerin gerçekten incelenebilmesi için, gelecekte yapılacak olan çalışmalarda daha büyük sistemlerin modellenmesi yapılarak farklı güçlerdeki santrallerin kontrollü olarak devreye girip çıkması sonucu oluşan şebeke etkileri incelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Conti, S., Raiti, S. And Tina, G., “Simulink Modelling of LV Photovoltaic Grid-Connected Distributed Generation” , **18th International Conference on Electricity Distribution.**, Turin, 6-9 (2005).
2. Ciobotaru, M., Kerekes, T., Teodorescu, R., “PV inverter simulation using MATLAB/Simulink graphical environment and PLECS blockset”, **Aalborg University Institute of Energy Technology** , Aalborg, (2010)
3. Gözel, T., “Dağıtım sistemlerine yerel elektrik santrallerinin yerleştirilmesi”, Doktora Tezi, **Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, (2009).
4. Fattahi, F., Rahmanov, N., Hashimov, A., “Modeling and control of distibuted generation systems including wind and gas turbine on Azarbaijan electric network”, **International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering.**,1: 38-47 (2009).
5. Soysal, S., “Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2008).
6. Gezer, D., “A proposed rule for the interconnection of distibuted generation and its economic justification”, Yüksek Lisans Tezi, **Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2009).
7. Massoud, M., Ahmed, S., Finney, S., Williams, W., “Inverter-based versus synchronous-based distributed generation: fault current limitation and protection issues”, **Strathclyde University** , Glasgow, (2010)
8. Lei, Y., Burt, G., Anaya-Lara, O., McDonald, J., “Aggregated modelling of distibuted networks with distibuted generation”, **Strathclyde University**, Glasgow, (2010)
9. Angelopoulos, K., “Integration of distibuted generation in low voltage networks: Power quality and economics”, Yüksek Lisans Tezi, **University of Strathclyde in Glasgow Department of Mechanical Engineering**, Glasgow, (2004).
10. Kariniotakis, N., Soultanis, L., Tsouchnikas, A.I., Papathanasiou, S.A., Hatziargyriou, N.D., “Dynamic modeling of microgrids”, **MICROGRIDS-Large Scale Integration of Micro Generation to Low Voltage Grids**, Athens, (2010)
11. Saha, A.K., Chowdhury, S.P., Chowdhury, S., Crossley, P.A., Gaunt, C.T., “Microturbine based distributed generator in smart grid application”, **20th International Conference on Electricity Distribution.**,1052: 8-11 (2009).

12. Chiradeja, P., "Benefit of distibuted generation: A line loss reduction analysis", **IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China.**, (2005).
13. Asari, M., Nakano, Y., Ito, N., Onoda, T. Matsuda, K., Horikoshi, K., Tamaki, M., "Method of inferring operation status od distributed generation systems in distribution section", **Central Research Institute of Electric Power Industry**, Tokyo, (2009)
14. Karaarslan, K., "Dağıtılmış üretim kaynaklarının elektrik dağıtım sistemlerine etkileri", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, (2010).
15. Londero, R.R., Affonso, C.M., Nunes, M.V.A., "Impact of distributed generation in steady state, voltage and transient stability – Real Case", **IEEE Bucharest Power Tech Conference.**, (2008).
16. Khadkikar, V., Rajiv, K., Seethapathy, R., "Grid voltage regulation utilizing storage batteries in PV solar – wing plant based distibuted generation system", **IEEE Electrical Power & Energy Conference** (2009).
17. United States. IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems . NY: **IEEE**, 2009. Print.
18. "Primary Distribution System." **Electrical Distribution System Overview**. Web. 16 April 2011.
19. İnternet : Dalbudak Şebeke "Dallı şebekede ana hatlar be branşmanlar" <http://www.elektroteknoloji.com> (2011).
20. İnternet : Dağıtım Trafolarının Seçimi "Ring Elektrik Şebekesi" http://www.emo.org.tr/ekler/670ef5d2d6bdf8f_ek.pdf?dergi=126 (2011).
21. "Türkiye Enerji Üretimi", **MEB**, Ankara 57-75 (2007).
22. Tanrıöven, Muğdeşem. "Rüzgar ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri.", **Yıldız Teknik Üniversitesi**, 1-7 (2007).
23. United States. IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems . **NY: IEEE**, 128-71 (2009).
24. "Türkiye Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği". **EPDK**,Ankara, (2009).
25. SimPowerSystem Toolbox Y. Zhu and K. Tomsovic, 'Development of models for analyzing the load-following performance of microturbines and fuel cells', **Electric Power Systems Research**, 1-11 (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇİNTUĞLU, Mehmet Hazar
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.06.1986 Adana
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 573 56 69
 Faks : 0 (312) 573 50 30
 e-mail : hazar.cintuglu@enerjisa.com.tr

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2008
Lise	Adana Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

2008-2009	Mitaş Enerji A.Ş	Proje Mühendisi
2009-2010	EnerjiSA/Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Rusça

Hobiler

Yüzme, Scuba, Kayak, Müzik, Yabancı Dil