



**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN
ORTAM KOŞULLARINA DUYARLI
İNVERTÖR VOLTAJ REGÜLATÖRÜ
DEVRESİNİN GELİŞTİRİLMESİ
EMRE KEKLİK**

**Yüksek Lisans Tezi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hafız ALİSOY**

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL
ÜNİVERSİTESİ FEN
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN ORTAM KOŞULLARINA DUYARLI
İNVERTÖR VOLTAJ REGÜLATÖRÜ DEVRESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

EMRE KEKLİK

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

PROF. DR. HAFIZ ALİSOY

TEKİRDAĞ-2020

Her hakkı saklıdır



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Emre KEKLİK

Prof. Dr. Hafız ALİSOY danışmanlığında, Emre KEKLİK tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Sistemler İçin Ortam Koşullarına Duyarlı İnvvertör Voltaj Regülatörü Devresinin Geliştirilmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Hafız ALİSOY

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Korhan CENGİZ

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hasan DEMİR

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN ORTAM KOŞULLARINA DUYARLI İNVERTÖR VOLTAJ REGÜLATÖRÜ DEVRESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Emre KEKLİK

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hafız ALİSOY

Teknolojinin hızlı gelişimine bağlı olarak yeni nesil fotovoltaik sistemlerde gün geçtikçe verimin yükselmesi, maliyetin düşmesi ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacının karşılanması, fotovoltaik sistemlerin kullanımına olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Güneş pilleri tabanlı otonom güç kaynağı sistemlerinin tasarımı ve onların sistemde çalışmaları esnasında ortaya çıkan bir takım problemlerin çözümü ve olayların fiziksel mekanizmasını anlamak için simülasyon (benzetim) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, otonom güç kaynaklı bir sistemde ihtiyaç duyulan güç balansını(dengesini) temin etmek için, benzetim modelinden hareketle güneş pili güç değeri ve akü pili kapasite değerleri belirlenmiştir. Düşük doğrusal olmayan distorsiyon faktörü ile çok çeşitli yüklerde ve sıcaklıklarda voltaj stabilizasyonunun doğruluğunu sağlayan yüksek hızlı invertör voltaj regülatörü devresi geliştirilmiştir. Güç trafosunun çekirdeğinin doğrusal olmayan ve histerezis özelliklerini dikkate alarak inverter transformatörünün parametreleri hesaplanmış ve simülasyonu yapılmıştır. Salınım devresindeki bobin fonksiyonlarının dikkate alınmasıyla invertör trafo yapısı incelenmiş ve güneş pili için, ışıyım radyasyonunu ve ortam sıcaklığını dikkate alan maksimum güç ve verimlilik katsayısına sahip matematik model geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnvörtör, Güneş pili, Fotovoltaik Sistem, Benzetim

2020, 68 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DEVELOPMENT OF AN INVERTER REGULATOR CIRCUIT FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS UNDER EXPLOITATION CONDITIONS

Emre KEKLİK

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics and Communications Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hafız ALİSOY

Due to the rapid development of technologies, increasing efficiency in new generation photovoltaic systems, reducing costs and, consequently, satisfying energy needs, interest in using photovoltaic systems has increased. Modeling methods are widely used in the design of autonomous power systems based on solar cells, as well as to solve problems that arise during their operation in the system, and to understand the physical mechanism of events. In this thesis, the value of the power of the solar cell and the capacity of the battery were determined from the simulation model to ensure the power balance needed in an autonomous power supply system. A high-speed inverter voltage regulator has been designed to provide accurate voltage stabilization over a wide range of loads and temperatures with a low coefficient of non-linear distortion. The parameters of the inverter transformer were calculated and modeled taking into account the nonlinear and hysteretic properties of the core of the power transformer. Taking into account the functions of the coil in the oscillatory circuit, the structure of the inverter transformer is investigated and a mathematical model is developed for a solar cell with maximum power and efficiency taking into account radiation and ambient temperature.

Keywords: Inverter, Solar cell, Photovoltaic system, Simulation

2020, 68 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİL DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. FOTOELEKTRİK TESİSAT YAPISI SENTEZİ.....	3
2.1. Bir Konutta Elektrik Tüketiminin Grafiği	3
2.2. Batarya Tipi Seçimi ve Onun Servis Sistemi:	6
2.3. Otonom Bir Fotovoltaik Tesis Kurulumun Geleneksel Yapısının Analizi.....	8
3. GÜNEŞ PİLİNİN ALANININ HESABI VE PİLİN KAPASİTESİ.....	11
3.1. Güneş pili türünün seçimi	12
3.2. Ortam sıcaklığının güneş pilinin özellikleri üzerine etkisi	16
3.3. Simulink Programında ve SimPower System Bölümünde Güneş Pillerinin Simülasyonu.....	19
3.4. PVT'nin enerji dengesi	27
4. MUSTAKİL BİR VİLLADA KULLANILACAK FOTOELEKTRİK TESİSATIN ÖZELLİKLERİ VE GERİLİM İNVERTERÜ (EVRİCİSİ)	34
4.1. Bir Fotovoltaik Kurulum Oluştururken Çözülen Sorunlar	34
4.2. İntertör Devreleri İçin Farklı Seçeneklerin İncelenmesi.....	36
4.3. Doğrusal Olmayan Simetrik Bir Mıknatıslanma Özelliğine Sahip Bir İnterter Trafosunun Hesaplanması.....	43

4.4. Sarımların Farklı Çekirdeklere(Nüvelere) Yerleştirilmesi İle Transformatorün Yayılma Endüktansının Hesaplanması.....	48
4.4.1. Çıkış geriliminin harmonik kompozisyonunun sağlanması	50
4.5. Güç Transformatorünün Çekirdek Doygunluğunu Hesaba Katan Bir İnvörtör Devresinin Simülasyonu.....	56
4.5.1. PVT'in, Sargıların Farklı Çekirdeklere Yerleştirildiği Bir Transformatorle Modellenmesi.....	57
4.5.2. Transformator Çekirdeğinin Histerezisini Dikkate Alarak PVT'nin Modellenmesi	60
4.6. Akü Bataryasının Şarj Modu Regülatörünün Güç Elemanlarının Hesaplanması.....	62
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	63
6. KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Soğuk mevsimlerde, bir konut binasında günlük elektrik tüketimi (Gece 00: 00 - Sabah 12: 00 saatleri arasında)	3
Çizelge 2.2. Soğuk mevsimlerde, bir konut binasında günlük elektrik tüketimi (Öğlen 13: 00 - Akşam 24: 00 saatleri arasında)	3
Çizelge 2.3. Akü pil özellikleri.....	6
Çizelge3.1. Farklı GP tipleri için akım-gerilim karakteristikleri.....	13
Çizelge3.2. Farklı GP tipleri için verimlilik değerleri.....	16
Çizelge3.3. Ortam sıcaklığının değişimine bağlı olarak güneş pil parametrelerinin hesabı... ..	19
Çizelge3.4. 6 tip akü pili için alan hesabı.....	30
Çizelge3.5. Akü pilinin teknik karakteristik değerleri.....	31
Çizelge3.6. Akü pil kapasitesinin farklı yöntemlerle hesabı.....	33
Çizelge 4.1. TGI'lerin sıfır nokta ile modellenmesinin sonuçları (Şekil 4.2 ve 4.3).....	40
Çizelge 4.2. TGI'lerin sıfır nokta ile modellenmesinin sonuçları (Şekil 4.4 ve 4.5).....	41
Çizelge 4.3. SPE köprü devresinin bir trafo ile düşük voltajda modellenmesinin sonuçları (Şekil 4.6 ve 4.7).....	41
Çizelge4.4. Transformatorün mıknatıslanma karakteristiği.....	46
Çizelge 4.5. Simülasyon sonuçları ve transformator parametreleri.....	59
Çizelge 4.6. Mıknatıslanma Karakteristiği.....	61
Çizelge 4.7. DC şoklu alçak gerilim köprü devresine göre hesaplanan bir PVT'nin modelleme sonuçları.....	61

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çizelge 2.1’de verilen bilgilere göre saat 1 ile 12 arasında gerçekleşen enerji tüketimi.....	4
Şekil 2.2. Çizelge 2.2’de verilen bilgilere göre saat 13:00 ile 24:00 arasında gerçekleşen enerji tüketimi.....	4
Şekil2.3. Çamaşır makinesinin dahil edilmesi nedeniyle zirvesi 1.8 kW'a ulaşan bir güç tüketimi grafiğidir.....	5
Şekil 2.4. Kontrollü bir akım kaynağı PV1 biçiminde bir GP modeline ve güneş bataryasının gerilimini yükselten bir L2, VT3, VD6 konvertöre sahip PVT eşdeğer devresi.....	8
Şekil 3.1. Farklı GP tipleri için akım-gerilim karakteristikleri.....	13
Şekil 3.2. Bir güneş pilinin belirli kısa devre akımı için teorik limit.....	14
Şekil 3.3. Akım gerilim karakteristiği ve güneş pillerinin gücü.....	15
Şekil 3.4. Sıcaklığın GP'nin akım-gerilim özellikleri üzerine etkisi.....	19
Şekil 3.5. GP modeli.....	21
Şekil 3.6. Üç noktalı GP modeli.....	21
Şekil 3.7. GP Akım-Gerilim Karakteristiği Blok Parametresi	22
Şekil 3.8. Subsystem /initialization bloğunun parametre penceresi.....	23
Şekil 3.9. Subsystem \ Parameters bloğunun parametrelerinin penceresi.....	24
Şekil 3.10. GP Akım-Gerilim Karakteristiğinin Parametre penceresi.....	25
Şekil 3.11. SimPower System’de PV Solar hücre3 bağlantı şeması.....	26
Şekil 3.12. PV Solar hücre3 solar modülünün SimPowerSystem’e dahil edilmesi.....	26
Şekil 3.13. Şekil 3.5 ve 3.11'e göre Akım_Gerilim Karakteristiği.....	27

Şekil 3.14. GP ve AP'nin özelliklerinin koordinasyonu.....	28
Şekil 4.1. PVT simülasyon modeli Simulink.....	35
Şekil 4.2. DC şoklu alçak gerilim devresi.....	37
Şekil 4.3. AC şoklu alçak gerilim devresi.....	38
Şekil 4.4. DC şoklu yüksek gerilim köprü devresi.....	38
Şekil 4.5. AC şoklu yüksek gerilim köprü devresi.....	38
Şekil 4.6. DC şoklu alçak gerilim köprü devresi.....	39
Şekil 4.7. Alternatif akım şoklu alçak gerilim köprü devresi.....	39
Şekil 4.8. PMT çalışma süreçlerini modelleyen osilogramlar: a) İnvertör çıkışındaki voltaj. b) yük akımı. c) Güç kaynağı akımı.....	42
Şekil 4.9. AP akım dalga osilogramı, AC şoklu köprü devresi.....	42
Şekil 4.10. Transformator çekirdeğinin şematik gösterimi.....	45
Şekil 4.11. Trafo mıknatıslanma özelliği.....	45
Şekil 4.12. Transformator eşdeğer devresi.....	46
Şekil 4.13. Sarımlı bir maça kesiti.....	49
Şekil 4.14. Seri Rezonans Devresi.....	51
Şekil 4.15. Paralel rezonans devresi.....	53
Şekil 4.16. Transformator parametrelerini ayarlama penceresi.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SC	:	Solar Cell
PVT	:	Fotovoltaik Tesis
OGKS	:	Otonom Güç Kaynağı Sistemleri
TFKÇA	:	Tek fazlı kuru çok amaçlı
TGI	:	Tek Fazlı Gerilim invertörü
GP	:	Güneş Pili
AP	:	Akü Pili
PV	:	Fotovoltaik
SE	:	Solar Element
SP	:	Solar Panel

ÖNSÖZ

Çalışmam süresi boyunca verdiği desteklerinden ötürü başta aileme ve bana her konuda yardımcı olan danışmanım Sayın Prof Dr. Hafız ALİSOY'a ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

OCAK, 2020

Emre KEKLİK



1. GİRİŞ

Güneş pillerinin (GP) birincil güç kaynağı olarak kullanıldığı otonom güç kaynağı sistemleri (OGKS), yaşamın çeşitli alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır.(Dontsov O. A, 2004; Ishtiak ve Ahmed 2013, Rauschenbach H., 1983; Wurfel 2005)

Güneş pilleri tabanlı otonom güç kaynağı sistemlerinin tasarımı ve onların sistemde çalışmaları esnasında bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde meydana gelen olayların fiziksel mekanizmasını anlamak için simülasyon (benzetim) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. (Fahrenbrugh A.L, 1983; Ivanchura V.I., 2012; S.Said ve Ark ,2012).

Tanımlanan koşullar doğrultusunda otonom güç kaynaklı bir sistemde ihtiyaç duyulan güç balansını(dengesini) temin etmek için, benzetim modelinden hareketle tasarım aşamasında güneş pili güç değeri ve akü pili kapasite değerleri doğru bir biçimde belirlenebilir(Khakhar, 2013; M. Seifi, A.Bt. Che Soh, N. Izzrib. Abd. Wahab, M. Khair B. Hassan., 2013). Ayrıca, benzetim modeli otonom güç kaynaklı bir sistemde çalışma esnasında sistemin bileşenlerinde (güneş pilinde, akü pilinde ve sistem kontrol devresinde) meydana gelen değişimleri belirlemeye olanak sağlar.

Böylece, otonom güç kaynaklı bir sistemin benzetim modelini oluşturmak için sistemi oluşturan tüm bileşenlerinin (güneş pili, akü pili, yük ve mikro denetleyici) benzetim modelinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Düşük doğrusal olmayan distorsiyon faktörü ile çok çeşitli yüklerde ve sıcaklıklarda voltaj stabilizasyonunun doğruluğunu sağlayan yüksek hızlı invertör voltaj regülatörü devresinin geliştirmesi tez çalışmasının temel amacını oluşturmaktadır.

Belirlenen amaca varmak için tez çalışmasında aşağıdaki problemlerin çözülmesi öngörülmektedir. Darbe genişlikli voltaj regülasyonu ile bir invertörün sinüzoidal çıkış voltajının üretilmesi için yöntemlerin araştırılması. Yükün nominal değerden rölantiye değişmesi durumunda, çıkış geriliminin (% 5) ve harmonik katsayının (Kg)% 10'dan az olmasının doğruluğunu sağlamak tezin amaçlarından biridir.

Aşırı gerilim dalgalanmaları, trafonun geometrik boyutları ve diyot üzerinden akan sızıntı akımlarının dikkate alınmasıyla düşük veya yüksek voltaj sürümlü akü ve güneş pillerinin

voltaj değerinin seçimi. G trafosunun çekirdeğinin doğrusal olmayan ve histerezis özelliklerini dikkate alarak invertör transformatörünün hesaplanması ve simülasyonu. Salınım devresindeki bobin fonksiyonlarının dikkate alınmasıyla invertör trafo yapısının incelenmesi ve güneş pili için, ışınım radyasyonunu ve ortam sıcaklığını dikkate alan maksimum güç ve verimlilik katsayısına sahip matematik modelinin oluşturulması hedeflenmiştir.



2. FOTOELEKTRİK TESİSAT YAPISI SENTEZİ

2.1. Bir Konutta Elektrik Tüketiminin Grafiği

Tekirdağ kenti yakınında, 4 kişinin daimi olarak yaşadığı (40 ° 59 ' 13 " W 27 ° 34 ' 55 " D°) koordinatlara sahip otonom bir konut binasının fotovoltaiik tesisi yaklaşık 9 kWh / gün tüketmektedir. (Çizelge 2.1 ve 2.2)), yani ortalama güç tüketimi 375 W'tır.

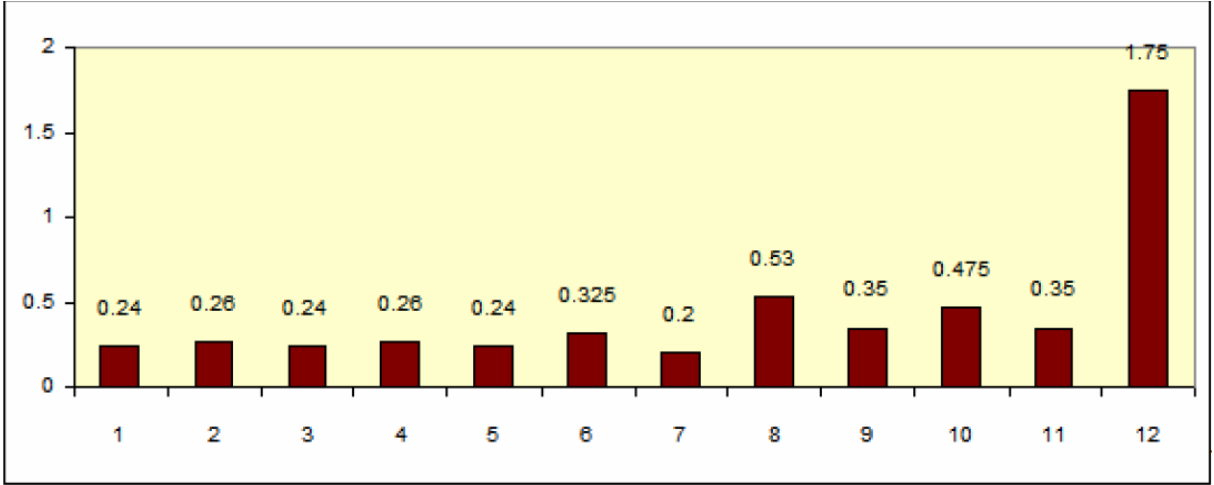
Çizelge 2.1. Soğuk mevsimlerde, bir konut binasında günlük elektrik tüketimi (Gece 00: 00 - Sabah 12: 00 saatleri arasında)

Tüketici Aygıt	Tüketilen Güç (W)	Miktar	Saatlik Enerji tüketimi (kW · h)											
			W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12
Buzdolabı	200	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Çay Seti	1500	1						0.125					0.125	
LED'li Aydınlatma Lambaları	40	2	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04							
Lambalar	20	2		0.02		0.02								
Ocak Fırın	1600	1												
Televizyon	50	2												
Camışır Makinesi	1500	1												1.5
Bulaşık Makinesi	1500	1												1.5
Elektrik Süpürgesi	2000	1												1
Su Pompası		1								0.28				

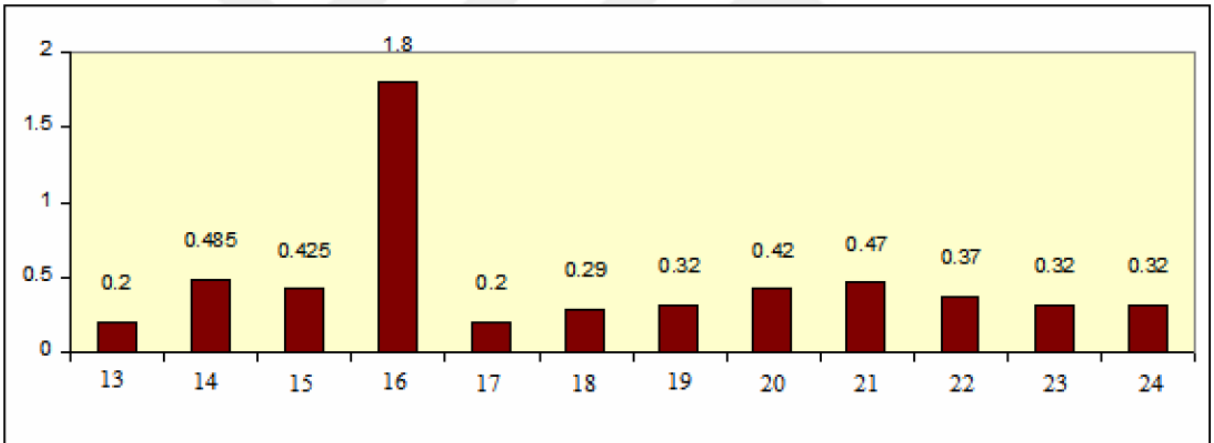
Çizelge 2.2. Soğuk mevsimlerde, bir konut binasında günlük elektrik tüketimi (Öğlen 13: 00 - Akşam 24: 00 saatleri arasında)

Tüketici Aygıt	Tüketilen Güç (W)	Miktar	Saatlik Enerji tüketimi (kW · h)											
			W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24
Buzdolabı	200	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Çay Seti	1500	1							0.125				0.125	
LED'li Aydınlatma Lambaları	40	2							0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Lambalar	20	2							0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Ocak Fırın	1600	1												
Televizyon	50	2												
Camışır Makinesi	1500	1				1.5								
Bulaşık Makinesi	1500	1				1.5								
Elektrik Süpürgesi	2000	1												1
Su Pompası		1								0.28				

Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de verilen değerlerinin grafiksel gösterimi uygun olarak Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çizelge 2.1’de verilen bilgilere göre saat 1 ile 12 arasında gerçekleşen enerji tüketimi



Şekil 2.2. Çizelge 2.2’de verilen bilgilere göre saat 13:00 ile 24:00 arasında gerçekleşen enerji tüketimi

Çizelge 2.1 ve 2.2 verilerine göre kilowat -saat cinsinden gecelik tüketilen toplam enerji :

$$\Sigma W_{Gece} = W_{19} + W_{20} + W_{21} + W_{22} + W_{23} + W_{24} + W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 = 5.62kW \cdot h \quad (2.1)$$

Gündüz saatlerinde saatindeki kilowat -saat cinsinden tüketilen toplam enerji:

$$\Sigma W_{Gündüz} = W_7 + W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{15} + W_{16} + W_{17} + W_{18} = 6.17kWh \quad (2.2)$$

Günlük toplam enerji tüketimi:

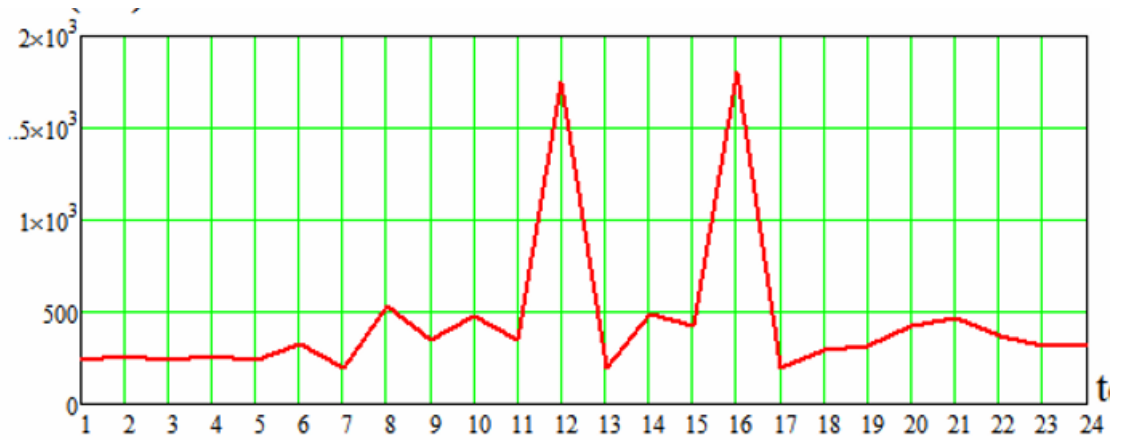
$$\Sigma W_{Toplam} = \Sigma W_{Gece} + \Sigma W_{Gündüz} = 11,79kW \cdot h \quad (2.3)$$

Gecelik ortalama güç (Şekil 2.1) $P_{ort,Gece}$:

$$P_{ort,Gece} = \frac{\Sigma W_{Gece}}{T_{Gece}} = \frac{5,62}{12 \text{ saat}} = 0,468kW \quad (2.4)$$

Gün ışığı ortalama gücü $P_{ort,Gündüz}$:

$$P_{ort,Gündüz} = \frac{\Sigma W_{Gündüz}}{T_{Gündüz}} = \frac{6,17}{12 \text{ saat}} = 0,514kW \quad (2.5)$$



Şekil 2.3. Çamaşır makinesinin dahil edilmesi nedeniyle zirvesi 1.8 kW'a ulaşan bir güç tüketimi grafiğidir.

Bir tam gün içerisinde tüketilen güç siklogramını Şekil 2.3.'te verilmiştir.

2.2. Batarya Tipi Seçimi ve Onun Servis Sistemi:

Burada Akü Pilinin (AP) seçimine ilişkin durumlar analiz edilecektir. İstatistiksel analize istinaden akü pillerinin genişletilmiş matris özelliklerini içeren bilgiler Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Akü pil özellikleri

Özellikler	Akü Pil türleri					
	Ni-Cd	Ni-MH	Kurşun-asitik	Li-İyon	Li-İyon Polimerik	Jel
Enerji yoğunluğu, W / kg	45...80	60...120	150	110...160	100...130	180
İç direnç, mOhm	100...20 (6V pil)	200...300 (6V pil)	<100 (12V pil)	150...200 (7.2V pil)	150...200 (7.2Vpil)	<100 (12V pil)
Kapasite% 80 oranında düşene kadar şarj / deşarj döngüsü sayısı	1500	300...500	200...300	500...1000	300...500	700
Hızlı şarj süresi, h	1	2...4	8...16	2...4	2...4	3,5
İzin Verilen Aşırı Yük	Orta	Düşük	Yüksek	Çok düşük	Düşük	Düşük
Oda sıcaklığında bir ayda kendiliğinden boşalma,%	20	30	5	10	10	3
Hücredeki voltaj, V	1,25	1,25	2	3,6	3,6	2
C Kapasitesine göre yük akımı : - tepe değer - en kabul edilebilir	20C (1C)	5C(0,5C)	5C(0,2C)	>2C(1C)	>2C (0,2C)	5C(0,2C)
Çalışma sıcaklığı aralığı, ° C	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	-20...60	-20...60
servis yoluyla	30...60 gün	60...90 gün	Düzenlenmemiş	Düzenlenmemiş	Düzenlenmemiş	Düzenlenmemiş
Üretim başlangıç yılı	1950	1990	1970	1991	1999	2000

Çizelge 2.4 ile ilgili olarak aşağıdaki durumlar önemlidir.

- Akünün iç direnci, her bir elemanın iç direncine, koruma devresinin tipine ve aküdeki eleman sayısına bağlıdır. Li-İyon ve lityum polimer pillerin koruma devresi onların iç dirençlerini ortalama olarak 0,1 Ohm artırır;
- Batarya ömrü, servis bakımın düzenli olmasına ve tedavi döngülerinin (tam periyodik boşalma ve şarj işlemleri) kullanımına bağlıdır;
- Servis ömrü deşarj derecesine bağlıdır - kısmi deşarjlarda tam deşarjlardan daha uzundur;
- Nikel-kadmiyum (Ni-Cd) ve nikel metal hidrit (Ni-MH) pillerin en yüksek boşalma akımına şarj işleminden hemen sonra izin verilir. Kendiliğinden boşalma nedeniyle, Ni-Cd piller şarj olduktan sonraki ilk 24 saat boyunca kapasitelerinin% 10'unu kaybederler, daha sonra kapasitedeki düşüş her 30 günde bir% 10'dur. Kendiliğinden boşalma sıcaklıkla artar;
- Lityum-iyon ve lityum-polimer pillerin içine yerleştirilmiş bir koruma devresi, ayda yaklaşık% 3 oranında enerji tüketir; nikel-kadmiyum ve nikel-metal hidrit pil hücreleri

üzerindeki voltajın tipik değeri boş moddayken 1.25 V iken, yük altında ise bu değer - 1.2 V 'tur.

- Nikel - kadmiyum piller en küçük şarj süresine sahiptir. En yüksek yük akımına olanak sağlayan bu piller, en düşük (fiyat/ömür) oranına sahip olup, doğru çalışma şartlarının tam olarak yerine getirilmesinin bu piller için kritik öneme sahip olduğu bilinmektedir.
- Fotovoltaik tesisler (PVT) için bilinen akü batarya tipleri arasında, kurşun asit ve jel akü batarya tipleri en sık kullanılır. Eşsiz özelliklerinden dolayı jel aküleri seçiyoruz: bir şarj akımı regülatörüne gereksinim kalmaksızın, çok sayıda şarj-deşarj döngüsü, boşaltılmış bir durumda uzun süre kalmak, kendiliğindendeşarj derecesinin düşük olması, bir konutta herhangi bir pozisyonda çalışma imkanı sağlar.
- Şimdi elektrikli ulaşımda, güçlü ev kesintisiz güç sistemlerinde, alternatif enerjide yaygın olarak kullanılıyorlar. Polimer akü pil teknolojilerinin hızlı büyümesi, küçük ve orta kapasite jel pilleri uzaklaştırmak için muhtemeldir. Ancak büyük kapasitelerde (100Ah'dan itibaren) jel akü pillerin çok uzun süre hakim olacağı muhtemeldir. Jel aküleri, sadece aşırı şarjlara karşı koruma gerektirir ve şarj olurken, 700'den fazla şarj-deşarj döngüsünün maksimum kullanım ömrünü garanti eden voltaj sınırlandırıcısına sahip olmalıdır.

Jel akülerin avantajları:

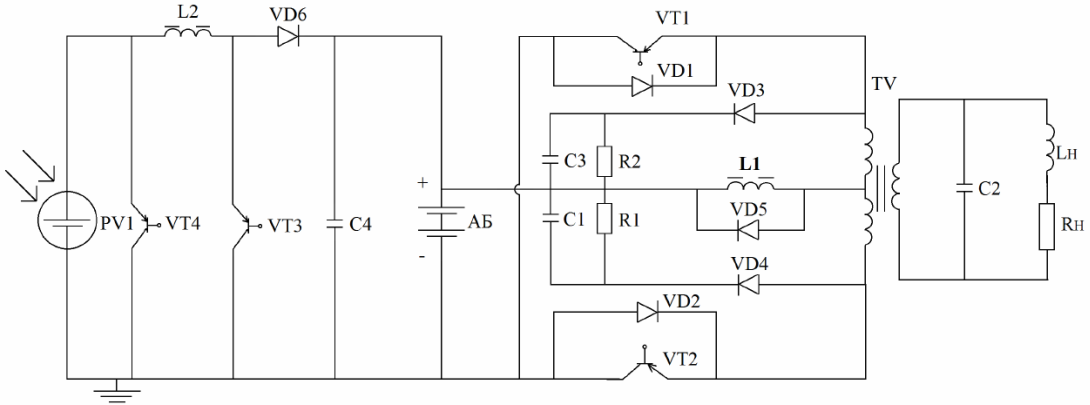
- Kesinlikle bakım gerektirmez
- Hava yoluyla olası ulaşım
- Dökülmeye / sızıntıya karşı korunurlar
- Paslanmaya karşı dayanıklıdır
- Derindeşarjda yüksek performans gösterir
- Yana monte edilebilirler (% 10 güç kaybı mümkündür)
- Gaz emisyonu yok
- Hassas elektronik cihazların yakınında kullanılabilirler.
- Uzun raf ömrüne sahipler (uzun süreli depolamaya daha iyi tahammül edebilirler)
- Daha hızlı şarj edilir (3,5 saat içinde% 0 -% 90 arasında) - benzer bir asit bataryasına kıyasla 7 kat daha hızlı sarj olur.
- Şarj ederken 13,8 V'a kadar akım sınırlaması yoktur
- Titreşime dayanıklı

- Nemli ortamlarda (su altında 10 metre derinlikte bile) çalışır
- En düşük birim maliyete sahiptir (fiyat / sarj-deşarj sayısı)

2.3. Otonom Bir Fotovoltaik Tesis Kurulumun Geleneksel Yapısının Analizi

Bir batarya (AB) ile bir GP'ni simüle eden fotovoltaik (PV) akım kaynağına ve bir yükseltici transformatör TV'ye sahip bir invertörden oluşan fotovoltaik tesisatın (PVT) öngörülen yapısını temsil eden eşdeğer devre Şekil 2.4 'da gösterilmiştir.

Aydınlatmadaki artış nedeniyle güneş pili voltajı, akü bataryasının minimum voltaj seviyesi olan $10 \div 12$ V 'a yükseldiğinde, pil şarj olmaya başlar. Bu durumda, GP ve AP arasında bir yükseltici voltaj dönüştürücü L2, VT3, VD6'nın (Şekil 2.4) gerekli olup olmadığını analiz edelim.



Şekil 2.4. Kontrollü bir akım kaynağı PV1 biçiminde bir GP modeline ve güneş bataryasının gerilimini yükselten bir L2, VT3, VD6 konvertöre sahip PVT eşdeğer devresi

Hem şebekeye paralel hem de bağımsız modda çalışan küçük güneş fotovoltaik tesislerinin (PVT) geliştirilmesi, büyük bir enerji sisteminin geliştirilmesinden daha haneye elektrik arzını daha verimli ve daha hızlı şekilde artırabilir. Bu nedenle, küçük bir güneş

fotovoltaik tesisinin (PVT) ekipmanının çalışmasına ve geliştirilmesine yönelik çalışma daha yaygın olarak tercih edilmektedir.

Güneş pillerinin (GP) birincil güç kaynağı olarak kullanıldığı otonom güç kaynağı sistemleri (OGKS), yaşamın çeşitli alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır (Dontsov O. A, 2004; Ishtyak ve Ahmed 2013, Rauschenbach H., 1983; Wurfel 2005).

Güneş pilleri tabanlı otonom güç kaynağı sistemlerinin tasarımı ve onların sistemde çalışmaları esnasında bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde meydana gelen olayların fiziksel mekanizmasını anlamak için simülasyon (benzetim) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Fahrenbrugh A.L, 1983; Ivanchura V.I., 2012; S.Said ve Ark ,2012).

Tanımlanan koşullar doğrultusunda otonom güç kaynaklı bir sistemde ihtiyaç duyulan güç balansını(dengesini) temin etmek için, benzetim modelinden hareketle tasarım aşamasında güneş pili güç değeri ve akü pili kapasite değerleri doğru bir biçimde belirlenebilir (Khakhar, 2013; M. Seifi, A.Bt. Che Soh, N. Izzrib. Abd. Wahab, M. Khair B. Hassan., 2013). Ayrıca, benzetim modeli otonom güç kaynaklı bir sistemde çalışma esnasında sistemin bileşenlerinde (güneş pilinde, akü pilinde ve sistem kontrol devresinde) meydana gelen değişimleri belirlemeye olanak sağlar.

Böylece, otonom güç kaynaklı bir sistemin benzetim modelini oluşturmak için sistemi oluşturan tüm bileşenlerinin (güneş pili, akü pili, yük ve mikro denetleyici) benzetim modelinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Düşük doğrusal olmayan distorsiyon faktörü ile çok çeşitli yüklerde ve sıcaklıklarda voltaj stabilizasyonunun doğruluğunu sağlayan yüksek hızlı invertör (evrici) voltaj regülatörü devresinin geliştirmesi tez çalışmasının temel amacını oluşturmaktadır.

Belirlenen amaca varmak için tez çalışmasında aşağıdaki problemlerin çözülmesi öngörülmüştür.

1. Darbe genişlikli voltaj regülasyonu ile bir invertörün (evricinin) sinüzoidal çıkış voltajının üretilmesi için yöntemlerin araştırılması.

Yükün nominal değerden rölantiye değişmesi durumunda, çıkış geriliminin (% 5) ve harmonik katsayısının (Kg)% 10'dan az olmasını sağlamanın doğruluğunu sağlamak.

2. Aşırı gerilim dalgalanmaları, trafonun geometrik boyutları ve diyot üzerinden akan sızıntı akımlarının dikkate alınmasıyla düşük veya yüksek voltaj sürümlü akü ve güneş pillerinin voltaj değerinin seçimi.
3. Güç trafosunun çekirdeğinin doğrusal olmayan ve histerezis özelliklerini dikkate alarak invertör (evrici) transformatörünün hesaplanması ve simülasyonu.
4. Salınım devresindeki bobin fonksiyonlarının dikkate alınmasıyla invertör (evrici) trafo yapısının incelenmesi.
5. Güneş pili için, ışınım radyasyonunu ve ortam sıcaklığını dikkate alan maksimum güç ve verimlilik katsayısına sahip matematik modelinin oluşturulması.



3. GÜNEŞ PİLİNİN ALANININ HESABI VE PİLİN KAPASİTESİ

Fotovoltaik tesislerin (PVT) sentezlenmiş yapısı ile ilgili olarak aşağıdaki sorunlar çözülmelidir (Şekil 2.8):

1. PVT sisteminin enerji dengesinin hesaplanması, GP ve AP modelinin geliştirilmesi.
2. SimPowerSystem bölümündeki Matlab Simulink'te orijinal GP modelinin oluşturulması.
3. En iyi seçeneği seçmek için 6 GP tipinin analizi.

Konuya ilişkin literatür analizi (Plekhanov, 2014; Tom ve Luis, 2003) tropik koşullar için otonom bir fotoelektrik tesisatının oluşturulması için aşağıdaki problemlerin çözülmesi gerektirdiğini göstermektedir:

1. Çatıya montaj edilebilme koşullarına en uygun olan, piyasada bulunan güneş pillerinin özelliklerinin analizi ve güneş pillerinin tipinin seçimi
2. Enerji dengesine dayalı olarak seçilen çalışma algoritmasında güneş pillerinin alanının hesaplanması.
3. Ek bir voltaj dönüştürme adımı olmaksızın bir fotoelektrik tesisatının en basit şemasının sentezlenmesi.
4. İnverter devrelerini, L-C devresinin faydalı filtreleme özelliklerini kullanarak, çıkış voltajının şekli ve büyüklüğünün parametrik stabilizasyonu ile araştırılması.
5. Konum pozisyonuna göre sınırlı teknik olanaklar göz önünde bulundurularak, geri besleme döngüsünde atalet unsurları içermeyen yüksek hızlı bir kontrol şemasını sentezlenmesi.
6. Bu tür devrelerin tasarlanmasıyla ilgili öneriler almak için invertörlerin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının karmaşık devrelerini simüle etmek için mevcut programların (Matlab) kullanımı.

Güneş pili alanının ve akü kapasitesinin hesaplanması:

- ❖ Güneş pili tipinin seçilmesi
- ❖ Ortam sıcaklığının güneş pili karakteristiklerine etkisi

Güneş pili tipleri	I_{KD}	U_{AD}	I_{opt}	U_{opt}	P_{max}	ζ	η
--------------------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	---------	--------

- ❖ SimPower System'de güneş pili simülasyonu
- ❖ Fotovoltaik cihazın enerji dengesi
 - .Güneş pili alanının hesabı
 - Piyasada mevcut olan ürünlerden hareketle bir güneş modülü tasarlanması
- ❖ Akü kapasitesinin çalışma siklogramının hesaplanması
 - Şarj akım değerine göre akü pilinin nominal kapasite değerinin hesaplanması
 - Deşarj akım değerine göre akü pilinin nominal kapasite değerinin hesaplanması

3.1. Güneş pili türünün seçimi

Referans (Nyan, 2013)'te verilen bilgilere dayanarak, GP'nin genişletilmiş matris (çizelge halinde) özellikleri tanımlanmıştır. Bu çizelgede verilen bilgilerin istatistiksel analizle istinaden, GP türlerinin seçimi gerçekleştirilebilir. Birinci fotoelektrik dönüştürücü grubu, ikinci ince film GP olan kristal GP'yi içerir. Tek kristalli silisyum bazlı yapıların üretimi teknolojik olarak karmaşık ve pahalı bir işlemdir. Bu nedenle ekonomik açıdan daha uygun olan, amorf a-Si: H alaşımları, galyum arsenit ve polikristal yarı iletkenler gibi malzemeleri içeren güneş pilleri kullanılmasına dikkat edilir.

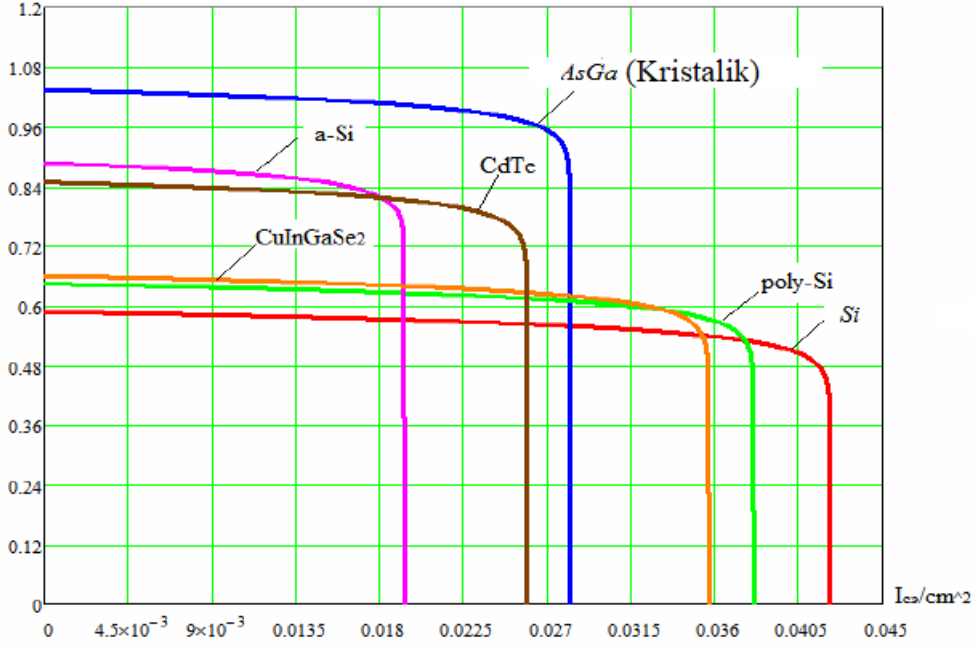
İnce film güneş pilleri (SC'ler) birkaç ince fotovoltaik malzeme katmanından oluşabilir. Bu gibi katmanların kalınlık aralığı birkaç nanometreden onlarca mikrometreye kadardır. İnce film güneş pili bileşenleri farklı tiplerdedir:

1. silikon (TF-Si)
2. kadmiyum tellürür (CdTe)
3. İndiyum ve galyum selenit (CuInGaS)
4. titanyum dioksit (TiO₂) içeren bakır bileşikler.

Şekil. 3.1, Çizelge 3.1 ve Şekil 3.2'de aynı ölçekte çeşitli güneş hücreleri için akım - gerilim karakteristikleri gösterilmektedir.

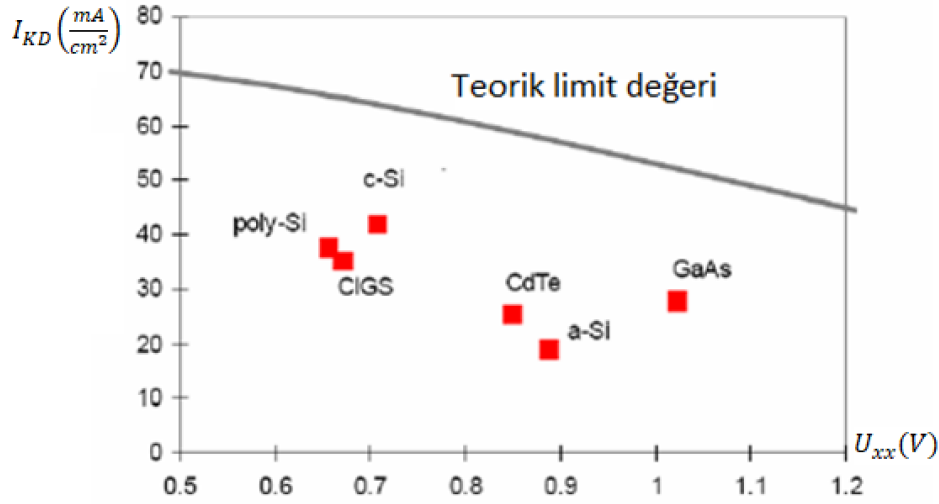
C-Si	42,2	0,672	40,4	0,59	23,85	0,842	24
AsGa	28,2	1,034	27,422	0,92	25,826	0,886	26
poly-Si	38,1	0,644	36,409	0,564	20,54	0,837	20,5
a-Si	19,4	0,723	18,619	0,64	11,916	0,85	11,9
CuInGaSe2	35,7	0,66	34,120	0,58	19,791	0,84	19
CdTe	25,9	0,726	24,882	0,643	15,995	0,851	16

Çizelge3.1. Farklı GP tipleri için akım-gerilim karakteristikleri



Şekil 3.1. Farklı GP tipleri için akım-gerilim karakteristikleri

Çizelge 3.1: I_{KD} - özgül kısa devre akımı, U_{AD} - açık devre voltajı, I_{opt} - özgül optimum akım, U_{opt} optimal voltaj, P_{max} - maksimum güç, ζ -doluluk faktörü, η - maksimum güç noktasındaki verimlilik.



Şekil 3.2. Bir güneş pilinin belirli kısa devre akımı için teorik limit

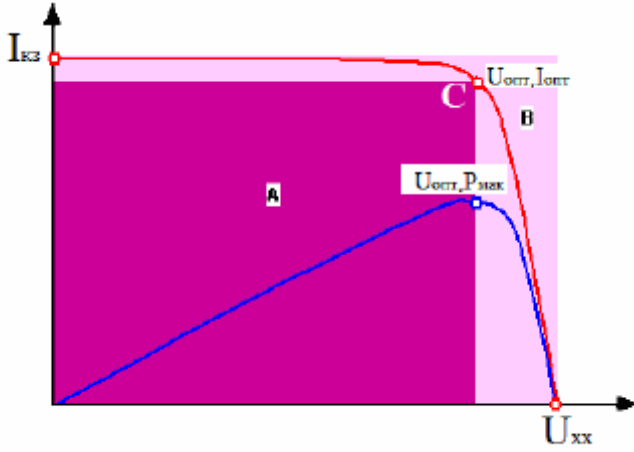
Çizelge 3.1.'de verilen değerlere istinaden, en yüksek verimin iki tür GP'ye sahip olduğu görülmektedir (C-Si ve GaAs). C-Si'den daha pahalı olan GaAs özel siparişle üretilir, PVT için kristal tabanlı C-Si GP seçilir. Doldurma faktörü, maksimum gücün, güneş enerjisinin açık devre gerilimi ile kısa devre akımının çarpımı ile belirlenen güce olan orandır. Bu, güneş panellerinin verimliliğinin değerlendirilmesinde kilit bir parametredir. Tipik ticari güneş panelleri > 0.70 bir doldurma faktörüne sahipken, düşük maliyetli B sınıfı güneş panelleri 0.4 ila 0.7 arasında bir doldurma faktörüne sahiptir. Yüksek verimli bir güneş panelinde seri ve paralel dirençler nedeniyle daha az kayıp olur.

Güneş pilinin çıkış akımının ve gücünün voltaja bağlılığı Şekil 3.3.'de verilmiştir. Çıkış gerilimini U_{xx}'den sıfıra değiştirerek SC için üretilen güç (P = I_{SE}*U_{SE}) karakteristiği belirlenir. Bu özellikten hareketle en yüksek P_{max} değerinin C noktasında olduğu görülür.

Bu noktaya, GP'nin akım-gerilim karakteristiğinin optimum çalışma noktası denir ve bu noktadaki voltaj ve akım, optimum voltaj U_{opt} ve optimum akım I_{opt} olarak adlandırılır. Otonom bir PVT tasarlarken, GP'nin bu noktada çalışmasını temin etmek gerekmektedir.

$$\zeta = \frac{I_{opt} \cdot U_{opt}}{I_{KD} \cdot U_{AD}} = \frac{Atan(A)}{Atan(B)} = K_I \cdot K_U \quad (3.1)$$

GaAs tabanlı GP için, optimum akımın bağıl değeri ve görev döngüsü (doluluk oranı) voltajı $\zeta = 0,75 \div 0,89$.



Şekil 3.3. Akım gerilim karakteristiği ve güneş pillerinin gücü

Seçilen C-Si tabanlı GP için $\zeta = 0,8 \div 0,84$ gelecekte dikkate alınacaktır. Verimlilik, güneş pilleri tarafından üretilen gücün, gelen güneş ışınım gücüne oranı olarak tanımlanır. Güneş pillerinin verimliliği, spektruma, gelen güneş ışınlarının yoğunluğuna ve güneş pillerinin sıcaklığına bağlıdır.

İki SC'yi karşılaştırmak için kabul edilen standart koşullar altında test edilmeleri gerekir. Hava kütlesi AM1.5 ve sıcaklık 25°C , yani Güneşin yüksekliğindeki orta enlemlerde $41^\circ 49'$. Uzayda kullanılması amaçlanan SE'ler, AM0 hava kütlesi ile ölçülür. Genellikle, SE'nin enerji özellikleri nominal aydınlatma koşulunda ($1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) belirlenir.

Panelin verimliliği, camın, çerçevenin, gölgelenmenin, yüksek sıcaklıkların, vb. yansımaları nedeniyle güneş hücresinin verimliliğinden genellikle% 1-3 ila daha düşüktür.

$$VK(\%) = \frac{U_{AD} \cdot I_{KD} \cdot \zeta}{P_c} \quad (3.2)$$

Çizelge3.2. Farklı GP tipleri için verimlilik değerleri.

Güneş Pili Tipi	Verimlilik
Silikon	
Si (kristal)	24,7
Si(polikristal)	20,3
Si (ince film iletimi)	16,6
Si (ince film alt modülü)	10,4
Galyum arsenit	
GaAs (Kristal)	25,1
GaAs (ince film)	24,5
GaAs(polikristal)	18,2
Kalkojenitlerin ince filmleri	
CIGS (fotosel)	19,9
CIGS (alt modül)	16,6
CdTe (fotosel)	16,5
Amorf / Nanokristalin Silikon	
Si(amorf)	9,5
Si(nanokristal)	10,1
Fotokimyasal	
Organik Boyalara Dayalı	10,4
Organik bazlı (alt modül)	7,9
Organik	
Organik polimer	5,15
Çok katmanlı	
GaInP/GaAs/Ge	32
GaInP/GaAs	30,3
GaAs/CIS (ince film)	25,8
a-Si/mc-Si(ince alt modül)	11,7

3.2. Ortam sıcaklığının güneş pilinin özellikleri üzerine etkisi

GP'nin çalışma modundaki temel özelliği, elektrik gücünün dış koşullara, sıcaklığa ve fotoelektrik akımının I_f yoğunluğuna bağımlı olmasıdır.

SE üzerinde oluşan akım, panel üzerine gelen ışığın yoğunluğu ile doğru orantılıdır.

$$I_{gp} = I_f - I_d \left(e^{\frac{qU_{gp}}{kT}} - 1 \right) \quad (3.3)$$

Burada, I_f - fotoelektrik akım, I_d - doyum akımı, q - elektronun yükü, ve T - mutlak sıcaklıktır. Referans (Anonim, 1991)'e göre oda sıcaklığında ($T = 293 \text{ }^\circ\text{K}$) Güneş Panelinin voltajı, fotoelektrik akımının yoğunluğunun artmasıyla logaritmik olarak artar. Güneş

panelinin akım-gerilim özelliği, eşitlik(3.3)'den hareketle aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$U_{gp} = \frac{k*T}{q} * \ln\left(\frac{I_f - I_{gp}}{I_d}\right) + 1 \quad (3.4)$$

Denklem (3.4), SE voltajının fotoakım, doygunluk akımı ve sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir. Doyma akımı Güneş hücresindeki rekombinasyon şarj taşıyıcılarına bağlıdır. Yüksek kaliteli kristalli SC bazlı Silisyum, açık devre voltajı U_{xx} , 730 mV'ye ulaşır ve çok saydam bir durumda, polikristalin silikon tabanlı ticari SC için 600 mV değerine sahiptir.

SE için I_f foto akımı sıcaklığa ve aydınlatmaya bağlı olarak aşağıdaki gibidir:

$$I_f = (I_{f,H} + K_i * \Delta T) * \frac{G}{G_N} \quad (3.5)$$

Burada; $\Delta T = T - T_N$, T - anlık sıcaklık, T_N - nominal sıcaklık 25°C, K_i - akıma göre sıcaklık katsayısı, G - Güneşten gelen akım ışığı. G_N - nominal aydınlatma $1000 \frac{W}{m^2}$

GP diyot akımını sıcaklığa bağlı olarak hesaplamak mümkündür;

$$I_D = I_{D,N} * \left(\frac{T_N}{T}\right)^3 * \exp\left[\frac{q*\Delta W}{a*K} * \left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (3.6)$$

Burada, $\Delta W = 2.1$ eB bant genişliğine karşılık gelen enerjidir, a - GP'nin gerçek özellikleri ile koordinasyonu sağlayan bir parametre olup değeri $a = 1.3$ alınır. (Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho, 2009) $I_{D,N}$ - nominal diyot akımıdır:

$$I_{D,N} = \frac{I_{KD,SP,N}}{\exp\left(\frac{U_{xx,SP,N}}{aV_{T,N}}\right) - 1} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.17'de aşağıdakiler belirtilmiştir: U_{xx} - standart koşullar altında açık devre gerilimi ($1000 W \cdot m^{-2}$ ve $s \cdot 25$ 'te), $V_{T,N}$ - sıcaklık potansiyeli $V_{T,N} = \frac{K*T*N_S}{q}$, N_S - modüldeki seri bağlı güneş hücrelerinin sayısını ifade etmektedir. Silikon elemanın açık devre voltajı sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\Delta U_{xx}/\Delta T = 2,8 * 10^{-3} V/C^\circ \quad (3.8)$$

(3.8) denklemi, sıcaklığın 1 ° C'lik artışına karşılık, SE'nin açık devre voltajının % 5'lik bir azalmasını ifade etmektedir. Silikon tabanlı SE'nin akımı sıcaklığın 1 ° C'lik artışına karşılık, (0,15÷0,3)mA mertebesinde artış göstermektedir. Çıkış gücünün sıcaklığa bağımlılığı ise genelde U_{xx} voltajının sıcaklığa bağımlılığı ile belirlenir.

$$\text{Akıma göre sıcaklık katsayısı} - K_i = \frac{dI_{KD}}{dT}$$

$$\text{Açık devre gerilimine göre sıcaklık katsayısı} - K_U = \frac{dU_{xx}}{dT}$$

Kısa devre akımına ve açık devre gerilimine göre sıcaklık katsayılarının ortalama değeri silikon tabanlı bir SE için aşağıdaki biçimde belirlenir(Anonim, 1991):

$$\begin{aligned} (dU_{xx}/dT)/U_{xx}(60C^\circ) &= -0,005/C^\circ; \\ (dI_{K3}/dT)/I_{K3}(60C^\circ) &= 0,0001/0,002/C^\circ; \end{aligned} \quad (3.9)$$

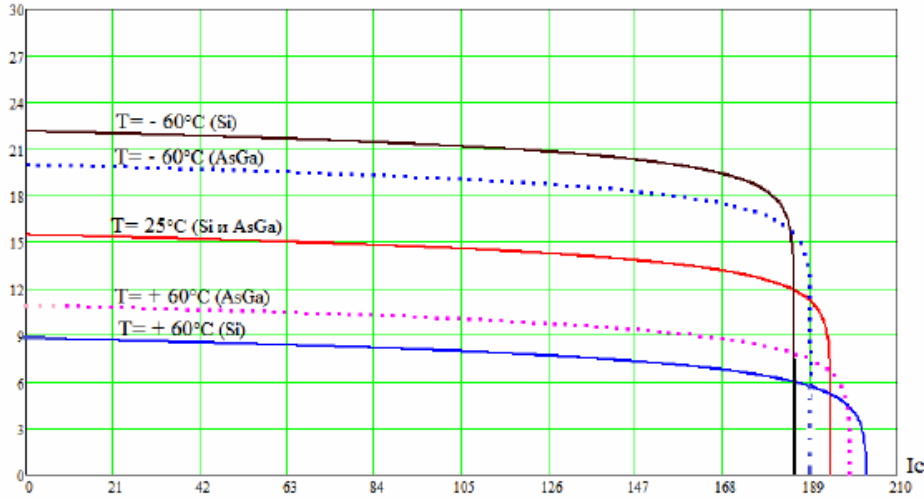
GaAs elemanları için

$$\begin{aligned} (dU_{xx}/dT)/U_{xx}(60C^\circ) &= -0,0019/C^\circ; \\ (dI_{K3}/dT)/I_{K3}(60C^\circ) &= 0,0016/C^\circ; \end{aligned} \quad (3.10)$$

Şekil 3.4. ve çizelge 3.3. denklemlere (3.9 ve 3.10) göre ortam sıcaklığına bağlı olarak iki tür SE'nin (C-Si, GaAs) akım - gerilim özelliklerini göstermektedir. Akım - gerilim karakteristikleri -60 ° ÷ +60° arasında farklı sıcaklık aralığında belirlenir. Si elemanları için sıcaklığın etkisi, açık devre gerilimi U_{xx} üzerinde kısa devre akımından daha güçlü bir etkiye sahiptir; GaAs elemanları için, sıcaklık katsayıları yaklaşık olarak eşittir. Uygulamada, açık devre geriliminin belirlenmesi için aşağıdaki ifade sıklıkla kullanılır (Aldo, 2009; Nyan, 2015):

$$U_{xx,SP} = K_i \left(\frac{B}{^\circ C} \right) * [T_N(^{\circ}C) - T(^{\circ}C)] + U_{xx,SE,N}(V) \quad (3.11)$$

Burada $U_{xx,SP}$ - solar panelin verilen sıcaklıktaki açık devre voltajını ifade etmektedir.



Şekil 3.4. Sıcaklığın GP'nin akım-gerilim özellikleri üzerine etkisi

Çizelge 3.3. Ortam sıcaklığının değişimine bağlı olarak güneş pil parametrelerinin hesabı

Güneş Pili Tipi	Güneş Pili Sıcaklığı, T_{GP} (°C)	Açık Devre Gerilimi, U_{xx} (V)	Kısa Devre Akımı, I_{KD} (A)	Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim, U_{opt} (V)	Maksimum Güç Noktasındaki Akım, I_{opt} (A)	U_{opt} ve I_{opt} Değerlerine karşılık gelen güç, $P_{GP,max}$ (kW)
Si	-60	22,2	184,6	19,3	175,4	3,39
AsGa	-60	19,9	189,2	17,6	172,1	3,03
Si	25	15,4	193,5	13,5	183,8	2,47
AsGa	25	15,4	193,5	13,5	183,8	2,47
Si	60	8,72	202,2	7,58	192,1	1,46
AsGa	60	10,9	198,7	9,64	180,8	1,73

Sıcaklık +60 ° C'dan -60 ° C'ye değiştiğinde, C-Si SB'nin voltajı 2.54 kat artar, bu da güçte 1.75 ÷ 2.3 kat artışa neden olur. SP'nin akım – gerilim karakteristiği (3.4 ÷ 3.11) ifadeleri ile tanımlanan formüllere göre yapılabilir.

3.3. Simulink Programında ve SimPower System Bölümünde Güneş Pillerinin Simülasyonu

Matlab programındaki SimPowerSystems bölümü ile uyumlu, güneş ışınımındaki ve ortam sıcaklığındaki değişiklikleri hesaba katarak güç kaynağı sisteminin simüle edilmesine izin veren evrensel bir güneş pili modeli önerilmiştir. Modelin temel özelliği, SP için belirlenen akım-gerilim karakteristiğinin üç noktasından geçmesidir. Bu noktalar sırası ile

açık devre gerilimi, kısa devre akımı, SP'nin maksimum güç noktası (Nyan, 2014a, 2014b, 2015). SP modelinin eş değer devresi, Şekil 3.5.'te tanımlanmış bir benzetim modeli ile gösterilebilir. Gerçek akım-gerilim karakteristiğine yakın bir SP modeli için parametreler aşağıdaki ifadelerden hareket ile hesaplanabilir.

Açık Devre gerilimi durumunda:

$$U_{xx} = U + U_{VD} + I_{KD} * r \quad (3.12)$$

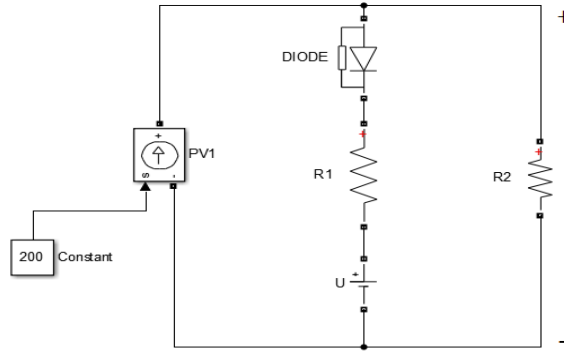
Maksimum güç noktasında:

$$(I_{KD} - I_{OPT}) * r + U_{VD} + U = U_{OPT} \quad (3.13)$$

(3.12) ve (3.13) denklemlerinden hareket ile, bilinmeyen U ve r parametreleri hesaplanır.

$$U = U_{xx} \frac{(K_i + K_u - 1)}{K_i} - U_{VD} \quad (3.14)$$

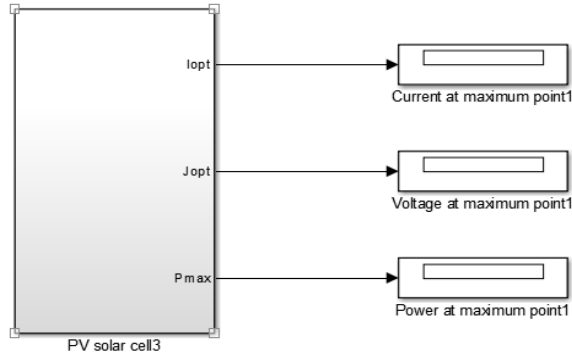
$$r = \frac{U_{xx}}{I_{KD}} \left(\frac{1 - K_u}{K_i} \right) \quad (3.15)$$



Şekil 3.5. GP modeli

SimPowerSystem bölümünde önceden kısmen az çalışılan ve diğer enerji kaynaklarına paralel bağlı çalışmalarını incelemeye olanak sağlayan GP modelleri incelendi. SP'yi simüle ederken, maksimum güç noktasındaki voltaj ve akım değerleri, gerçek bir akım-voltaj karakteristiğine uygun olarak seçilir.

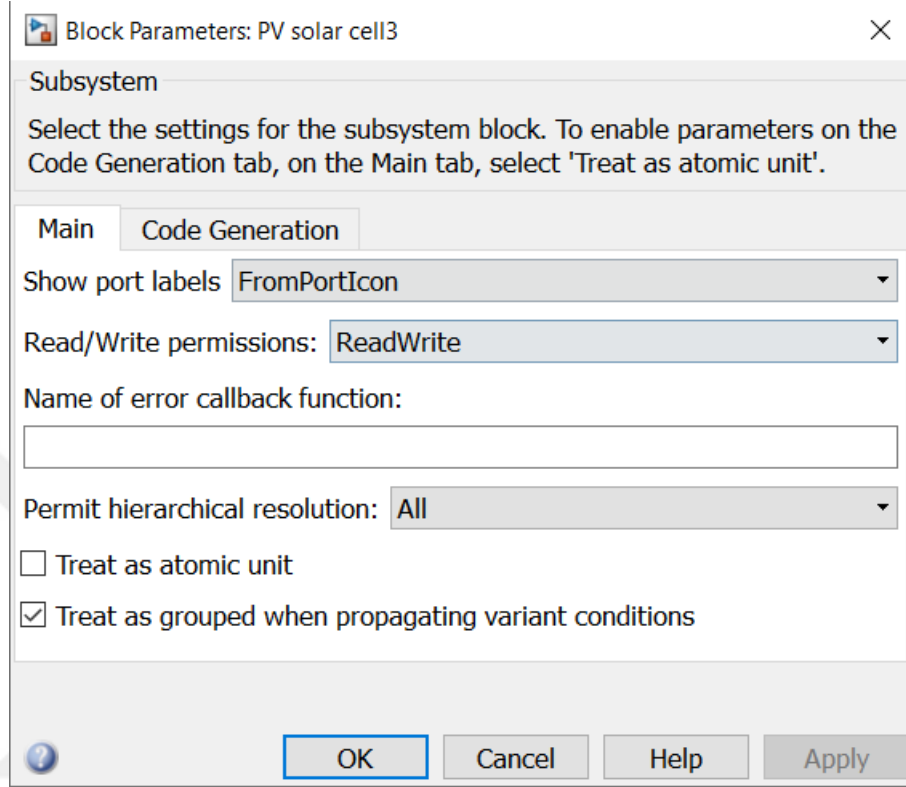
Şekil 3.6.'dan hareketle tasarlanan PV solar hücreye karşılık gelen gerçek akım – gerilim karakteristiği Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Üç noktalı GP modeli

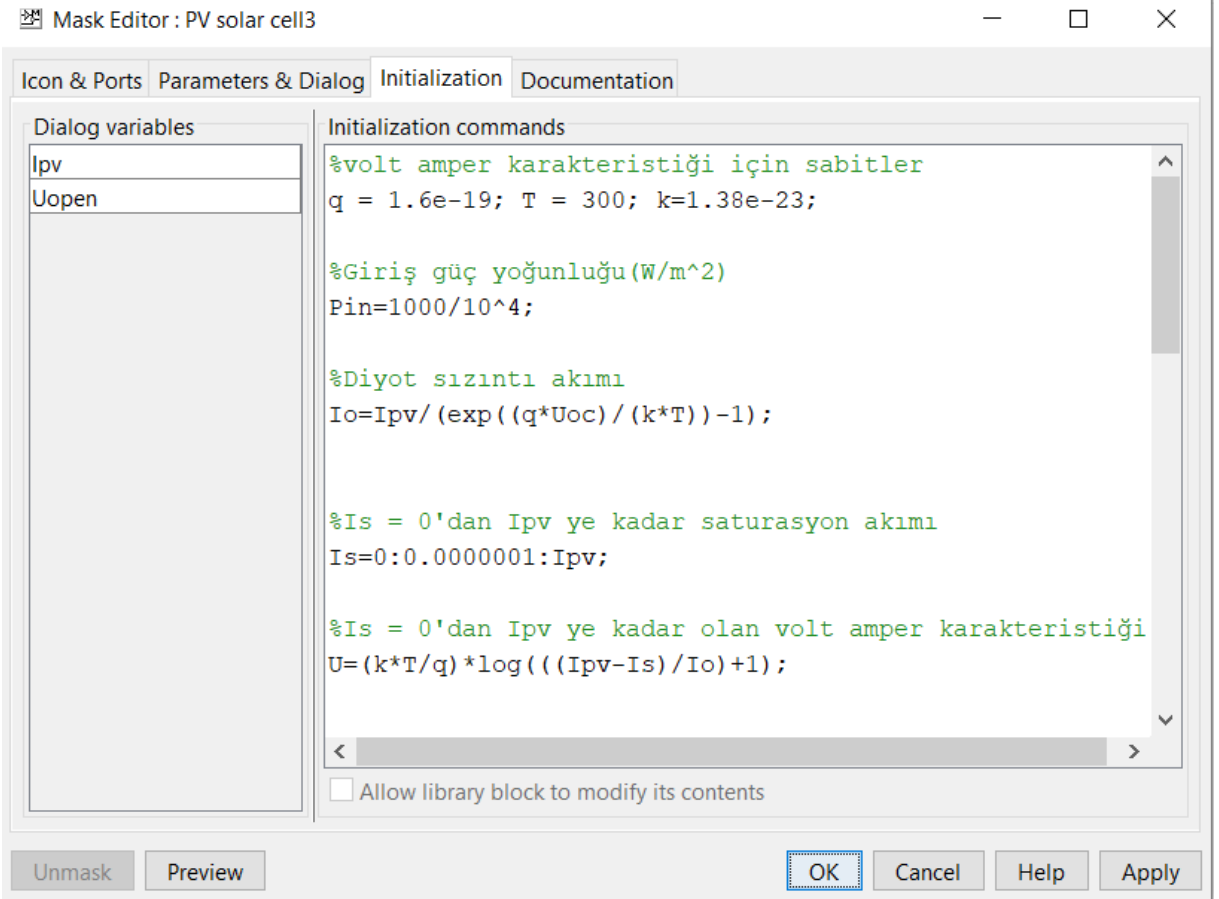
Modelin özelliği, kısa devre akımını ve açık devre voltajını bilerek sadece bir güneş hücresini değil aynı zamanda bir güneş panelini de simüle etmenin mümkün olmasıdır.

Modelleme yaparken, akım ve gerilimin Subsystem'de yer alan uygun değerleri dikkate alınmalıdır(Şekil 3.7).



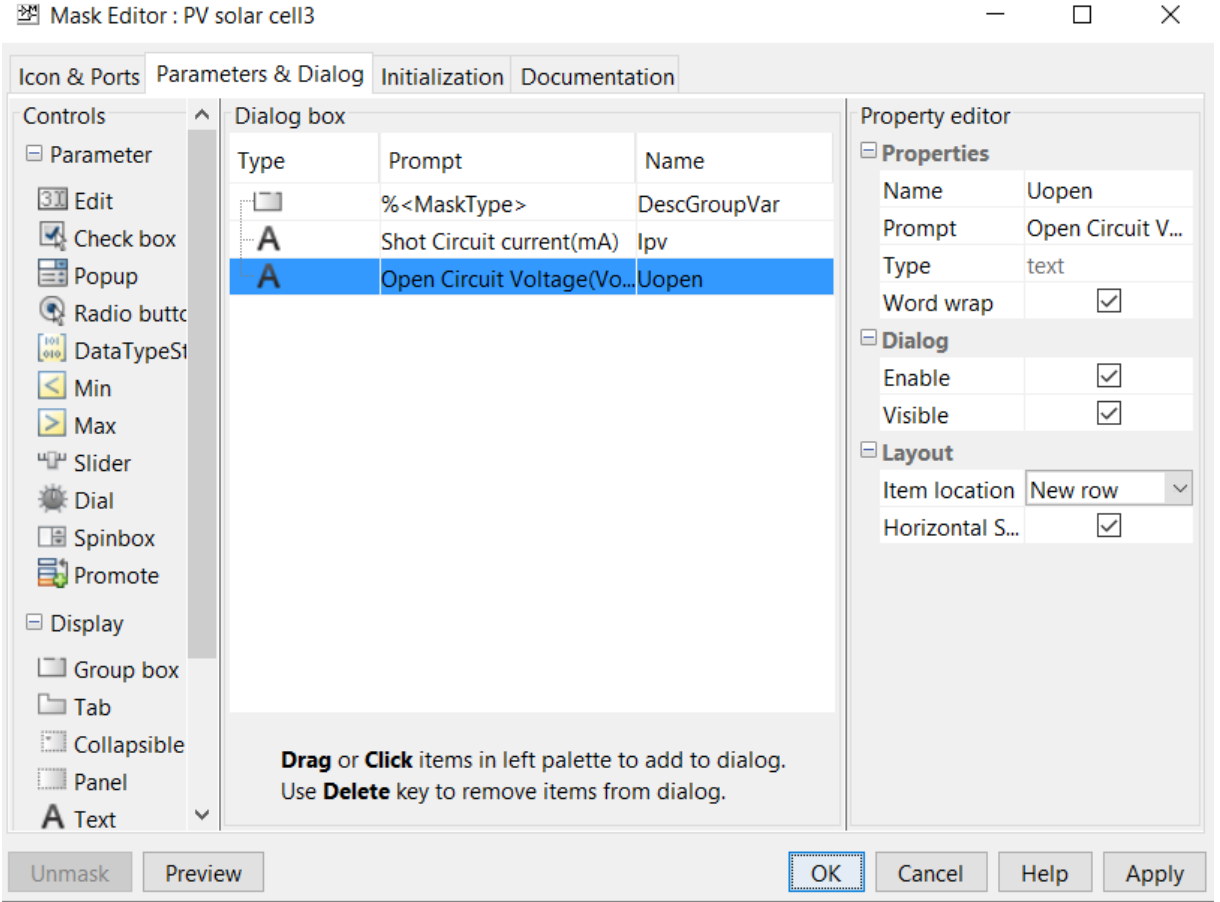
Şekil 3.7. GP Akım-Gerilim Karakteristiği Blok Parametresi

Bu model, SC'yi denklem (3.4) uyarınca simüle etmek için tasarlanmıştır. Bir SC modeli oluşturmak için, önce (3.2, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.11) denklemlere göre matlab ortamında matematiksel denklemler yazılmalıdır. Daha sonra, bir blok (PV Solar Cell) oluşturulur. Bir model oluşturmak için, Simulink \ Ports & Subsystems bölümünde Subsystem bloğu seçilir, ardından Maske Subsystem işlevini seçmeniz gerekir (Şek. 3.8).



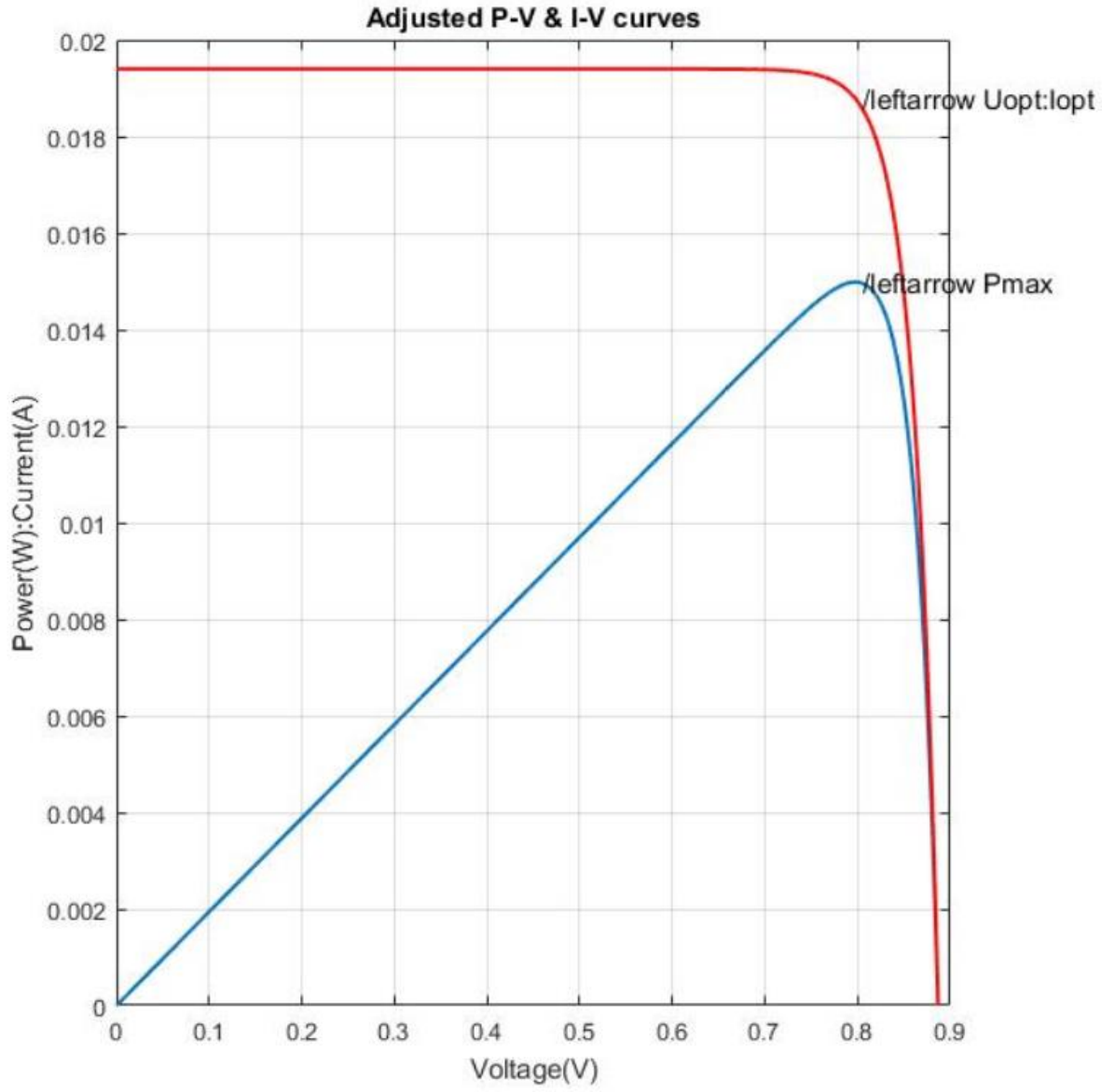
Şekil 3.8. Subsystem /initialization bloğunun parametre penceresi.

Şek. 3.8. Subsystem \ initialization Bloğu Parametreleri Penceresi gerekli parametreleri değişken yapmak için, Parametreler alanında U_{xx} ve I_{KD} seçebilmektedir (Şekil 3.9.).

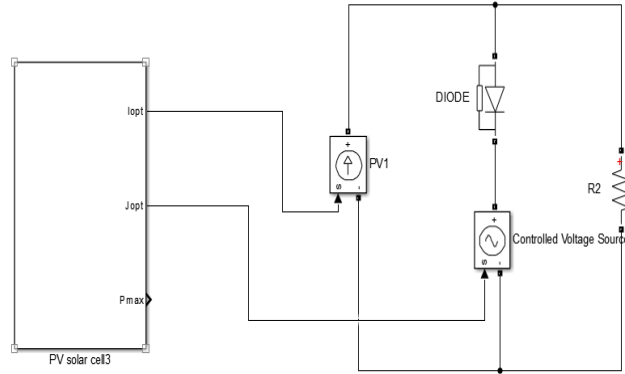


Şekil 3.9. Subsystem \ Parameters bloğunun parametrelerinin penceresi

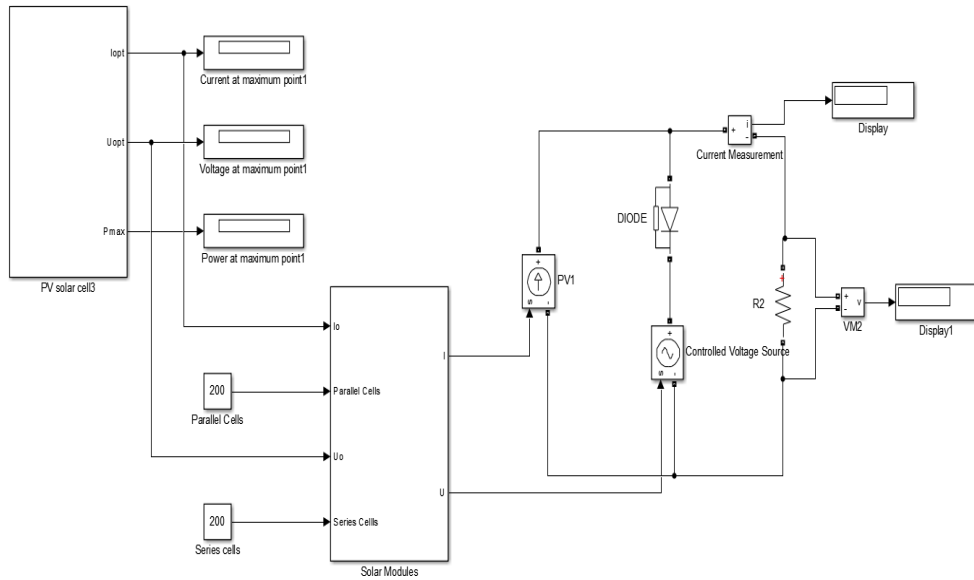
Ünitenin (PV) SimPowerSystem bölümünde çalışması için, Şekil 3.11.'de gösterildiği gibi diğer yönetilen kaynaklara bağlanması gerekir. Solar modülün modellenmesi, Şek. 3.12. SE modellemesinin sonuçları, Şek. 3.10. Diğer parametreler, örneğin, doluluk oranı katsayısı ζ , verimlilik η , gerilim ve akımın sıcaklık katsayısı K_i , K_u , Matlab'daki çalışma alanında şu görülebilir.



Şekil 3.10. GP Akım-Gerilim Karakteristiğinin Parametre penceresi

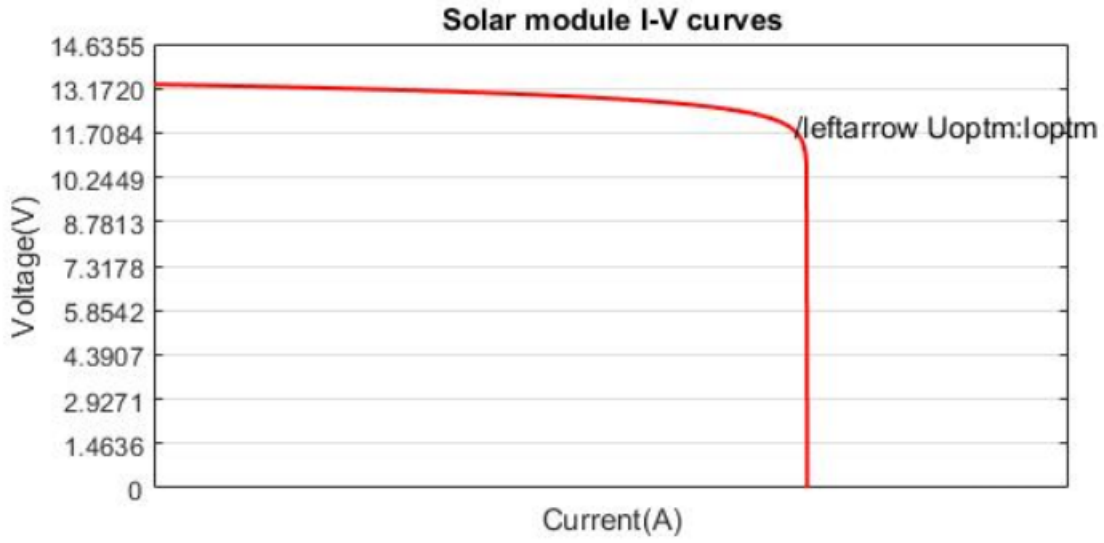


Şekil 3.11. SimPower System’de PV Solar hücre bağlantı şeması



Şekil 3.12. PV Solar hücre ve solar panelinin SimPowerSystem’e dahil edilmesi

GP'nin I - V özelliği (Şekil 3.5), Şekil 3.13'te noktalı bir çizgi ile gösterilmektedir ve buradaki düz çizgi, GP'nin I - V karakteristiğini de göstermektedir (bakınız, Şekil 3.11).



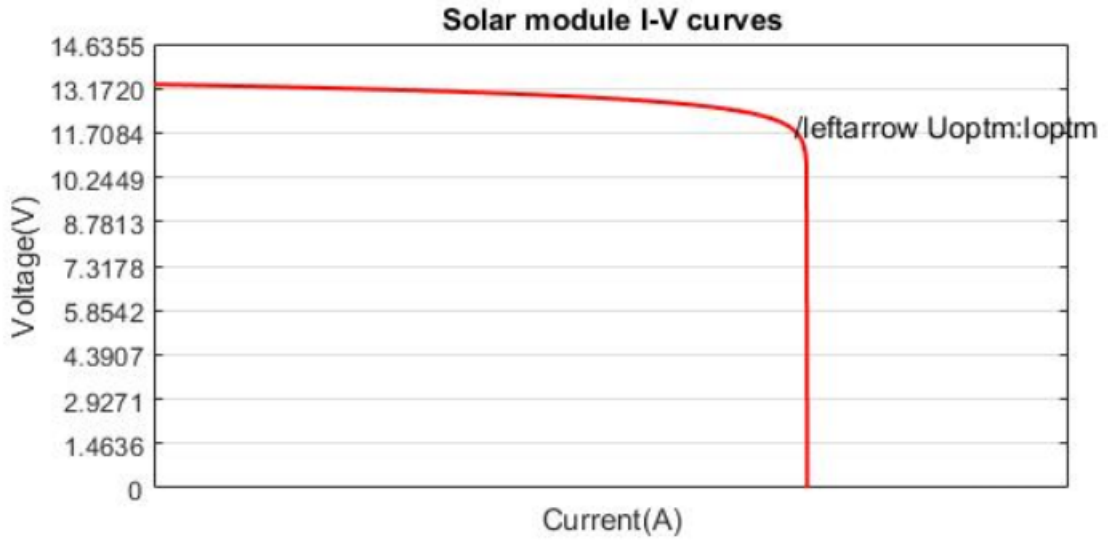
Şekil 3.13. Şekil 3.5 ve 3.11'e göre Akım - Gerilim Karakteristiği

SimPowerSystem bölümünde hazır SE modeli yoktu. Bu model (Şekil 3.11), akım-gerilim karakteristiklerini otomatik olarak daha doğru bir şekilde elde etmeye olanak sağlar ve SimPowerSystem'in diğer elemanlarına kolayca bağlanır. Çalışmanın ileriki aşamasında PVT'leri incelemek için GP'nin Şekil 3.11.'deki devre modeli kullanılacaktır.

3.4. PVT'nin enerji dengesi

Günlük enerji tüketim dengesi Çizelge 2.1. ve Çizelge 2.2. 'de verilen değerlerden hareketle belirlenir. Aydınlatma arttığında ve $U_{xx} \geq U_{AP,min}$ koşullarına, güneş pili (GP) akü pilini (AP) şarj etmeye başlar. Akü şarjı sırasında, çalışma noktası (Şekil 3.14) 2. noktadan 1. noktaya hareket eder.

Bu durumda ilkin aşamada akü pilinin şarj akımı, panelin kısa devre akımı olan I_{KD} değerinden I_{opt} değerine kadar azalır ve daha sonra ise $U_{xx} = U_{AP,max}$ koşulunu sağlayan 1 noktasında şarj akım değeri sıfırlanır. Bu çalışmada PVT akü pilinin gerilim değerinin sınırlanması ile çalışır. Akü pilinin deşarj gerilim değeri $U_{AP} = 12 V$ için akü pilinin gecelik ortalama deşarj akım değeri I_{ort,d_1} uygun olarak aşağıdaki biçimde belirlenir.



Şekil 3.14. GP ve AP'nin özelliklerinin koordinasyonu

$$I_{ort,d_1} = \frac{P_{ort,1}}{U_{AP}} = \frac{0,3 \text{ kW}}{12V} = 25A \quad (3.16)$$

Benzer şekilde, akü pilinin gündüz ortalama deşarj akım değeri I_{ort,d_2} uygun olarak aşığıdaki biçimde belirlenir.

$$I_{ort,d_2} = \frac{P_{ort,2}}{U_{AP}} = \frac{0,6 \text{ kW}}{12V} = 50A \quad (3.17)$$

Burada $P_{ort,1}$ - gecelik, $P_{ort,2}$ ise gündüz tüketilen ortalama güç değeriştir.

Akü pilinin gecelik ve gündüz saatlerindeki enerji kapasite değeri, uygun olarak sırasıyla T_1, T_2 – gecelik ve gündüz saatlerini ve η_d - ise akü pilinin verimlilik katsayısı olmak üzere

$$Q_{AP,d_1} = \frac{I_{ort,d_1} * T_1}{\eta_d} = \frac{25A * 12h}{0,85} = 352,94 \quad (A * h) \quad (3.18)$$

$$Q_{AP,d_2} = I_{ort,d_2} * T_2 = 50A * 12h = 600 \quad (A * h) \quad (3.19)$$

olarak belirlenir. Bu durumda pilin toplam enerji kapasitesi

$$\Sigma Q_{GP} = Q_{AP,d_1} + Q_{AP,d_2} = 953 \quad (A * h) \quad (3.20)$$

Güneş pilinin ortalama akım değeri

$$I_{ort,GP} = \frac{\Sigma Q_{GP}}{T_2} = \frac{953(A * h)}{12 h} = 79A \quad (3.21)$$

Konumu sabitlenmiş bir güneş paneli için ortalama akım değeri şöyle belirlenir

$$I_{ort,GP} = \frac{2}{\pi} * I_{max,GP} = 0,64 I_{max,GP}(A) \quad (3.22)$$

(3.22) ifadesinden hareketle güneş pilinin maksimum akım değeri belirlenir

$$I_{max,GP} = \frac{I_{ort,GP}}{0,64} = \frac{79A}{0,64} = 123A \quad (3.23)$$

Normal aydınlatma koşullarında panelin verimlilik katsayısının dikkate alınmasıyla, C-Si tabanlı bir solar panelin maksimum özgül güç yoğunluğu aşağıdaki gibi belirlenecektir

$$P_{GP} = P_c * \eta = 1000 \frac{W}{m^2} * 0,24 = 240 \frac{W}{m^2} \quad (3.24)$$

Öte yandan solar panelin ortalama özgül güç yoğunluğu şöyle olacaktır

$$P_{GPC} = P_{GP} * \frac{t_2}{t_1 + t_2} = 240 \frac{W}{m^2} * \frac{12h}{24h} = 120 \frac{W}{m^2} \quad (3.25)$$

Günlük ortalama güç tüketimi ise uygun olarak gece ve gündüz saatlerinde tüketilen ortalama güç değerlerinin toplamı ile belirlenecektir.

$$P_{Y,ort} = P_{ort,1} + P_{ort,2} = 0,3kW + 0,6kW = 0,9kW \quad (3.26)$$

Böylece, yük üzerinde tüketilen ortalama güç ile solar panelin ortalama özgül güç yoğunluğu arasındaki bağlantıdan hareketle, PVT kullanılacak güneş panelinin alanı belirlenir

$$S_{GP} = \frac{P_{Y,ort}}{P_{GPC}} = \frac{900}{120 \frac{W}{m^2}} = 7,5m^2 \quad (3.27)$$

Bu yöntemle farklı tip güneş panelleri için belirlenen değerler Çizelge3.4. verilmiştir.

Çizelge3.4. 6 tip akü pili için alan hesabı

Güneş Pil tipi	AsGa	C-Si	Poly-Si	a-Si	CuInGaS	CdTe
P_{maxGP} (W)	1670.3	1720	1734	1757	1718	1694
$U_{xx(ocm)}$ (V)	16.6	18.1	18	18.07	17.82	17.4
I_{pvm} (A)	112.9	114.7	115	114.44	114.91	114.42
$U_{opt GP}$ (V)	15.1	15.9	15.7	15.97	15.61873	15.4
I_{opt} (A)	109.9	109.9	110	109.98	110	109.9
S (m^2)	6.41	7,5	8.45	14.75	8.69	10.60
η ($1000 \frac{W}{m^2}$)	26	23.8	20.513	11.914	19.767	15.981
K_I	0.973	0.958	0.956	0.961	0.957	0.961
K_U	0.910	0.878	0.874	0.884	0.876	0.884
GP Max Özgül Gücü	$P_{GP}=P_c * \eta(\%) = 260 \frac{W}{m^2}$	230	205.1	119.14	197.67	160
GP Ort Özgül Gücü	$P_{ortGP} = P_{GP} * \frac{t_2}{t_1 + t_2} = 130 \frac{W}{m^2}$	115	102.5	60	98.83	80

Bu çalışmada solar panel olarak geometrik boyutları (78x78) mm olan, C-Si tabanlı ticari bir solar panelin teknik özellikleri kullanılmıştır.

$$U_{GP, xx} = \frac{U_{GP,opt}}{K_u} = \frac{12 V}{0,878} = 13,67 V \quad (3.28)$$

$U_{cg} = 0,47 V$ çalışma gerilimi olmak üzere, seri bağlı SC hücre sayısı aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$N_{SC} = \frac{U_{GP,opt}}{U_{cg}} = \frac{12B}{0,47B} = 25,5 \cong 26 \quad (3.29)$$

$I_{ca} = 1,6 A$ çalışma akımı olmak üzere, paralel bağlı SC hücre sayısı ise aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$M_{SC} = \frac{I_{GP,opt}}{I_{SC,opt}} = \frac{123A}{1,6A} = 76,87 \cong 77 \quad (3.30)$$

Hatırlayalım ki (3.30) ifadesinde $I_{cg} = I_{SC,opt}$ ve $I_{max,GP} = I_{GP,opt}$ olduğu dikkate alınmıştır.

Böylece toplam solar hücre sayısı

$$\Sigma_{SC} = N_{SC} * M_{SC} = 26 * 77 = 2002 \quad (3.31)$$

Şimdi ise solar panel hücresinin uzunluğunu belirleyelim

$$l_{SC} = M_{SC} * 78mm = 77 * 78mm = 6m \quad (3.32)$$

Solar panel hücresinin genişliği ise

$$b_{SC} = N_{SC} * 78mm = 26 * 78mm = 2m \quad (3.33)$$

Böylece solar panel hücresinin alanı

$$S_{SC} = l_{SC} * b_{SC} = 6m * 2m = 12m^2 \quad (3.34)$$

Akü pilinin yük kapasite cyclogrammını oluşturmak için öncelikli olarak pilin şarj ve deşarj yük kapasitelerini hesaplamamız gerekmektedir. Bu amaçla akü pilinin birim zaman zarfındaki şarj ve deşarj kapasitesi artışlarını belirlememiz gerekmektedir.

$$Q_{AP} = (Q_{GP} - Q_Y) \quad (Ah) \quad (3.35)$$

Çizelge 3.5. Akü pilinin teknik karakteristik değerleri

T(saat)	$Q_{GP} (Ah)$	$Q_Y (Ah)$	Akü pilinin şarj ve deşarj kapasitesi artışları	$Q_{AP} (Ah)$ gerçek
1	0	20	-20	201
2	0	21,7	-21,7	179
3	0	20	-20	159
4	0	21,7	-21,7	137
5	0	20	-20	117
6	0	27,1	-27,1	90
7	40,8	16,7	24,1	24
8	61,7	44,2	17,5	42
9	83	29,2	53,8	96
10	105	39,6	65,4	161
11	127	29,2	97,8	259
12	124	146	-4	255
13	131	17,7	114,3	369
14	109	40,4	68,6	438
15	88	35,4	52,6	490
16	64,6	150	-85,4	405
17	42	16,7	25,3	430
18	0	24,2	-24,2	406
19	0	26,7	-26,7	379
20	0	35	-35	344

21	0	39,2	-39,2	305
22	0	30,8	-30,8	274
23	0	26,7	-26,7	248
24	0	26,7	-26,7	221

Çizelge 3.5. 'de verilen bigilere istinaden, akü pilinin minimum 24 (Ah) ve maksimum 490 (Ah) kapasite değerlerine karşılık gelen artış değeri

$$Q_{cyc} = \Delta Q_{AP} = Q_{max} - Q_{min} = 466 (Ah)$$

Akü pilinin ömrünün uzun süreli olabilmesi için, pilin şarj-deşarj cycloramına karşılık gelen kapasite değerinin bu pilin tipine bağlı olarak Q_{nom} nominal kapasite değerinin %30 ile %80 arasında olması gerekmektedir. Bu husus dikkate alınarak, eğer $Q_{cyc} \cong 470 (Ah)$ alınır ve $Q_{cyc} = 0,5 * Q_{nom} (Ah)$ olarak seçilirse, o halde akü pilinin nominal kapasite değeri

$$Q_{nom} = 2 * Q_{cyc} = 2 * 470 = 940 \approx 1000 (Ah) \quad (3.36)$$

olarak belirlenecektir. Akü pili için belirlenmiş bu nominal kapasite değeri , pil ömrünün artmasına olanak sağlar.

Eğer akü pilinin nominal kapasite değerini pilin şarj akım değerine göre belirlemek istersek o halde

$$I_{şarj,AP} = 0,1 * Q_{şarj,AP} \quad (3.37)$$

Burada $I_{şarj,AP}$ Çizelge 3.5. 'de verilen değerlere istinaden saat 6 ile saat 18 arasında belirlenen akü pilinin ortalama şarj akımını ifade etmektedir.

$$I_{şarj,AP}^{ort} = \frac{Q_{GP} - Q_{nom}}{\Delta t} = \frac{994 - 615}{18 - 6} = 31,6 A$$

Bu durumda akü pili şarj kapasite değeri şöyle olacaktır

$$Q_{şarj,AP} = I_{şarj,AP}^{ort} * 10 = 31,6 * 10 = 316 (Ah) \quad (3.38)$$

Akü pili olarak nominal kapasite değeri 200 (Ah) ve ağırlığı 65 kg olan DELTA (GX 12-200) tipi ticari bir akü pili düşünürsek, o halde yukarıda belirlediğimiz 316 (Ah) bir kapasite değerini elde etmek için paralel bağlı AP sayısı

$$N_{AP} = \frac{Q_{\text{şarj},AP}}{200 (Ah)} = \frac{316}{200} = 1,58 \cong 2$$

Eğer akü pilinin nominal kapasite değerini pilin deşarj akım değerine göre belirlemek istersek o halde

$$I_{\text{deşarj},AP} = 0,1 * Q_{\text{nom},AP} \quad (3.39)$$

Eğer akü pili olarak nominal kapasite değeri 200 (Ah) ve ağırlığı 65 kg olan DELTA (GX 12-200) olan tipi ticari bir akü pili düşünürsek, o halde, müsaide edilen deşarj akım değeri $I_{\text{deşarj},AP} = 20$ A olacaktır. Fakat Çizelge 3.5. 'de verilen değerlere istinaden maksimum deşarj akım değerinin $I_{\text{deşarj},AP}^{\text{max}} = 85,4$ A olduğu görülmektedir. Bu durumda paralel bağlı akü pil sayısı

$$N_{AP} = \frac{I_{\text{deşarj},AP}^{\text{max}}}{I_{\text{deşarj},AP}} = \frac{85,4}{20} = 4,27 \cong 5$$

Akü pil kapasitesinin farklı yöntemlerle hesaplanan değerleri Çizelge3.6.'te verilmiştir.

Çizelge3.6. Akü pil kapasitesinin farklı yöntemlerle hesabı

	Akü pil kapasitesinin hesaplanma yöntemi	Akü pilinin hesaplanan kapasitesi $Q_{AP} (Ah)$	Paralel bağlı akü pili sayısı N_{AP}	Akü pilinin toplam kütlesi $m_{AP} (Kg)$
1.	$Q_{AP} = (Q_{GP} - Q_H)$	1000	5	325
2.	$I_{\text{şarj},AP} = 0,1 * Q_{\text{şarj},AP}$	320	2	130
3.	$I_{\text{deşarj}}(\text{müsade edilen}) = 0,1 * Q_H(\text{seçilen Akü Pili})$	1000	5	325

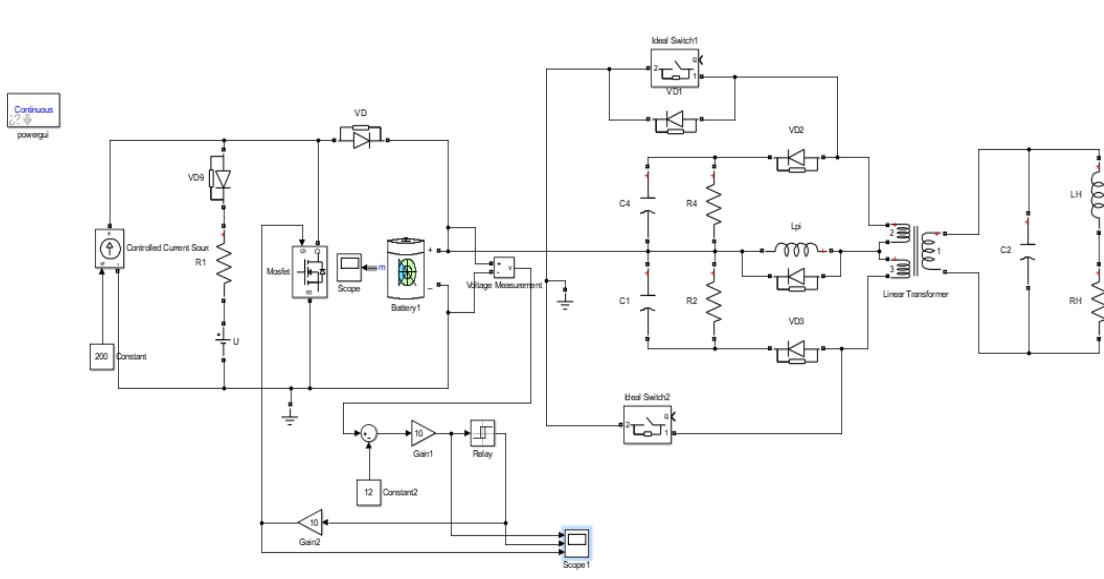
4. MUSTAKİL BİR VİLLADA KULLANILACAK FOTOELEKTRİK TESİSATIN ÖZELLİKLERİ VE GERİLİM İNVERTERÜ (EVRİCİSİ)

4.1. Bir Fotovoltaik Kurulum Oluştururken Çözülen Sorunlar

Bir fotovoltaik tesisatın kurulumunda aşağıdaki problemlerin çözülmesi gerekmektedir.

1. Darbe genişlik voltaj regülasyonlu bir eviricinin sinüzoidal çıkış voltajı üretme yöntemlerinin incelenmesi.
2. Yük nominal değerden rölantiye değiştiğinde, çıkış geriliminin $U_y \leq \pm \% 5$ ve harmonik katsayısının $K_g \leq \%10$ koşulunun sağlanması.
3. Aşağıdaki göstergelere dayanarak AP ve GP voltajlarının seçimi: aşırı gerilim dalgalanmaları olmamalı, transformatörün geometrik boyutları ve diyotlar üzerinden geçen ters akımların büyüklüğü dikkate alınmalıdır.
4. Güç transformatörünün çekirdeğinin histerezis karakteristiğinin doğrusal olmadığını dikkate alarak invertör transformatörünün hesaplanması ve modellenmesi.
5. İnverterin parametrelerinin ve teknik ve ekonomik özelliklerinin hesaplanması.

AP ve GP'nin voltajı 14 V ile 220 V arasında seçilerek, 50 Hz ve $K_g \leq \% 10$ 'dan daha düşük bozulma ile standart 220 V AC sinüzoidal gerilime dönüştürülür. Simülasyon, Matlab – Simulink ortamında farklı anma gerilimi ve farklı invertör tiplerine sahip sistemler için AP ve GP'nin gerilimlerini seçmemize olanak sağlar. GP modeli, bir ayrıcı diyot V_D üzerinden aküye bağlı, kontrollü bir akım kaynağı PV1'den (Şekil 4.1) oluşmaktadır.



Şekil 4.1. PVT simülasyon modeli Simulink

Yük üzerindeki voltajın sinüzoidal şekli, bir T_V transformatörü üzerinden sürücüye bağlanan paralel bir rezonans L-C devresi tarafından sağlanır. Endüktans L_P , sürücünün akım tüketimini yumuşatır. $\cos\phi = 0.8$ ile aktif - endüktif yükün L_y endüktansı ve ona paralel bağlı C2 kapasitörlü transformatör T_V paralel bir rezonans devresi oluşturur. C2 kapasitörüne bağlanmış yük sinüzoidal voltaj şekline sahip olup, $K_g(U_y) \leq \% 10$ koşulunu sağlamaktadır. $U_{AP} = 220$ V seçildiğinde, voltajı 14 V'dan 220 V'a yükselten T_V güç trafosuna ihtiyaç duyulmamaktadır.

Referans (Gottlieb, 2000; Khasaev, 1966; Mytsyk, Berilov, Mikheev 2010; Popkov, 2009; Rudenko, Senko, Chizhenko 1974)'de, PVT için, tek fazlı invertör devreleri ve bunların hesaplama yöntemleri verilmiştir. Güç kontrol transistörleri, çıkış voltajı ve akımının şeklini en uygun şekilde sinüzoidal bir biçime getirecek şekilde oluşturulur. En sık yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan sistemlerde bir invertör kullanılması önerilmektedir. (Castrov, 2008)

Çıkış dögüsünün minimum harmonik katsayısı kriteri kullanılarak farklı modülasyon yasalarına sahip tek çevrim ve push-pull çok bölgeli kontrolörlerde harmonik sinyal iletim kalitesinin karşılaştırmalı bir analizinin sonuçları (Brylina, 2014)'da verilmiştir.

Bu bilgilere dayanarak, Bölüm 4.2'de, invertör devreleri için çeşitli seçenekler araştırılmıştır: köprü, yarım köprü ve orta nokta devreleri. Devrenin seçimi güvenilirlik,

transistörlerde aşırı gerilim istenmemesi, sistemdeki akım dalgalanmalarının seviyesi ve $K_g (U_y) \leq \% 10$ doğrusal olmayan bozulma katsayısı kriterlerine göre yapılır.

4.2. İnvörtör Devreleri İçin Farklı Seçeneklerin İncelenmesi

İnvörtörün yüksek voltajlı ve alçak voltajlı giriş voltajı ile bir düzleme indükleyicisini açmanın iki yolu: DC barası ve AC barasında, invörtörün iki güç devresi: güç transformatörünün orta noktası ve doğrusal bir köprü devresi ile toplam 6 devre araştırıldı (Şekil 4.2 ÷ 4.7) (ideal trafo) .

Düzleştirme bobininin iki farklı yöntemle (DC ve AC baralara) bağlanmasıyla, toplamda yüksek ve düşük giriş gerilimli altı adet invörtör devresi incelenmiştir. Tavsiye edilen tüketici işlem algoritmasıyla farklı GP ve AP voltaj seviyelerine sahip PVT yapıları incelenmiştir. Simülasyon sonuçları uygun olarak Çizelge 4.1 ÷ 4.3. çizelgede verilmektedir. DC barasında, aşırı gerilimi sınırlamak için indüktör L1 (Şekil 4.2) bir diyot tarafından gizlenir.

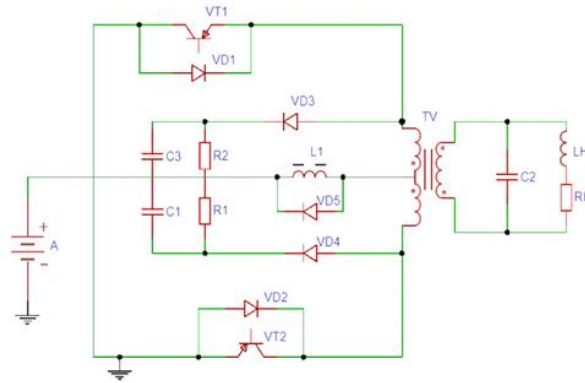
Çalışma, düşük voltajlı devrede, AC devresindeki endüktans L2'nin (Şekil 4.3) DC bara göre 4 kat daha fazla olması gerektiğini göstermiştir (Çizelge 4.1). Bunun sebebi AC boğucuya yüksek bir 220 V voltaj uygulanmasıdır. Yüksek voltaj devresinde endüktans: L1 (Şekil 4.4) DC barasındaki AC barasından 30 kat daha büyüktür. L2 (Şekil 4.5., Çizelge 4.2.), gerilim eğrisinin şeklini iyileştirmek için yüke paralel ek bir indüktör L22 içermesi gerekliliği ile açıklanmaktadır (Şekil 4.4). Aynı zamanda, indüktör DC baraya bağlandığında, yüksek voltajlı köprü devresi (Şekil 4.4) istenen yük gerilimini 220 V değil, kabul edilebilir bir KG (UH) $\leq \% 10$ 'da yalnızca 106 V sağlar. İndüktör L2, AC veriyoluna (Şekil 4.5 ve 4.7) bağlandığında, 220 V'luk bir voltaj sağlanır.

Yüksek voltaj ve düşük voltaj girişlerinde, L2 endüktansı minimumdur ve 40 ÷ 60 mH tutarındadır. AC veriyolunda açıldığında (Şekil 4.3, 4.5 ve 4.7). Yüksek voltaj devresi (Şekil 4.4 ve 4.5) AB'de ters akım dalgalanmalarına sahip değildir ve düşük voltaj devreleri (Şekil 4.2, 4.3, 4.6 ve 4.7) doğru akım dalgalanmalarına göre doğru akım dalgalanmalarına sahiptir (Çizelge 4.3.). Düşük voltajlı köprü devrelerinde (Şekil 4.6), bir DC veriyolundaki L1 = 20 μ H endüktans, bir AC veriyolundaki L2 = 30 μ H endüktanstan 1000 kat daha küçüktür (Şekil 4.7, bakınız Çizelge 4.3.).

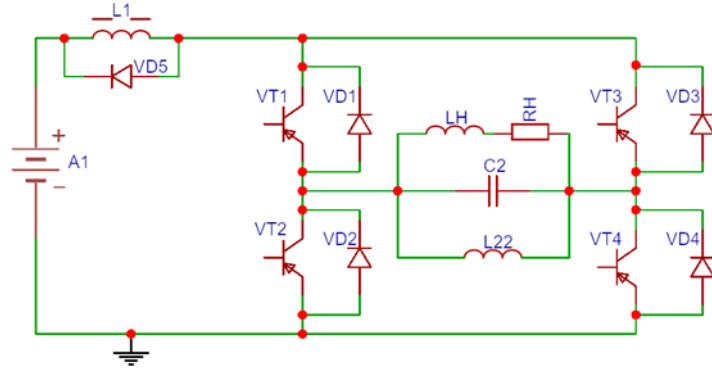
Düşük voltaj devrelerinde (Şekil 4.2, 4.3, 4.6 ve 4.7), 12 ÷ 14V'lık araç aküleri kullanılır ve yüksek voltaj devrelerinde (Şekil 4.4 ve 4.5), her biri 12 V'luk 18 adet akü seri bağlanır. Yüksek voltajlı SP (Şekil 4.4 ve 4.5), özellikle yağmur mevsiminde kaçak akımları azaltmak için kabloların ve tavadaki elektrik bağlantılarının dikkatlice izole edilmesini gerektirir. Düşük voltaj devrelerinde (Şekil 4.2, 4.3, 4.6 ve 4.7), mevcut VT, TV ve VD, üzerinden geçen akım değeri, yüksek voltaj devrelerinden daha yüksek (10 kat) büyüklüktedir (Şekil 4.4, 4.5 ve Çizelge 4.1'e bakınız). Transistörlerdeki anahtarlama gerilimi anlık artışlarına göre Şekil 4.2 ve 4.3 verilen devreler eşdeğerdir: Bu durumda voltaj seviyesi 200 ÷ 220V'dur.

Bir yükseltici transformatöre sahip bir köprü düşük voltaj devresinin avantajı (Şekil 4.6 ve 4.7), VT1 ÷ VT4 maksimum voltaj değerinin düşük olmasıdır (Çizelge 4.3). Transistörler üzerindeki gerilimin bu değeri, L1 ve L2 indüktörlerinin devreye nasıl bağlanmasından bağımsız olup, yaklaşık 14 V'a eşittir. Yüksek voltaj devresinde L2 = 60 mH indüktörün (Çizelge 4.2) AC bus'a dahil edilmesi (Şekil 4.5), ve alçak gerilim devresinde (Şekil 4.6) - DC baraya -L1 = 9.5 mH indüktörünün dahil edilmesi öneriliyor (Çizelge 4.1).

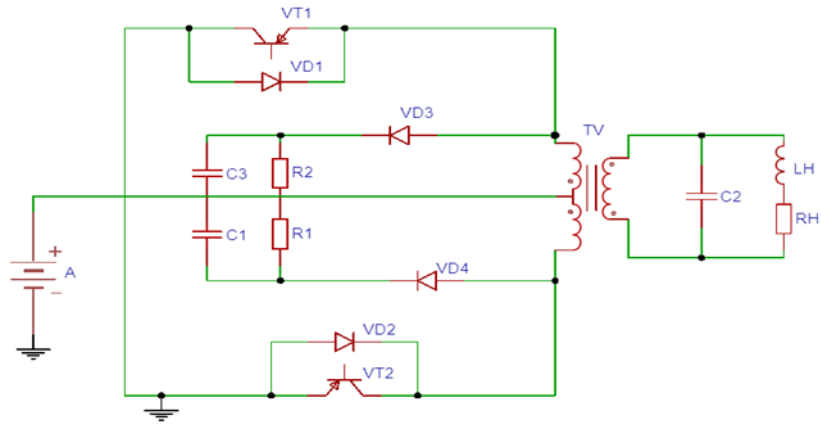
Endüktif yük akımı dengeleme koşulundan hesaplanan kondansatör kapasitansı C2, 80 ÷ 90 µF'ye eşit olmalıdır. Tüm 6 şemada, C2 = 170 ÷ 200 µF kapasitans yüke paralel olarak bağlanır ve % 10 KG (UH) voltaj şekli sağlar. Düşük voltaj devresinde (Şekil 4.2), her biri 100 µF'lik C1 ve C3'lü 2 şönt kapasitör, VT ve + AP kolektörleri arasında bağlanan iki diyot (VD3 ve VD4) ve iki direnç (R1 ve R2), VT üzerindeki anahtarlama aşırı gerilimini sınırlamak için kullanıldı. Yük parametreleri nominal aktif direnç RH = 19,36 Ohm, yükün endüktansı LH = 0,046 H, yük direnci nominal değerden rölantıye değişmiştir.



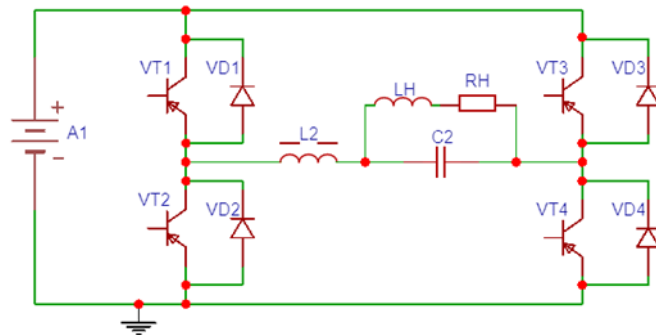
Şekil 4.2. DC şoklu alçak gerilim devresi



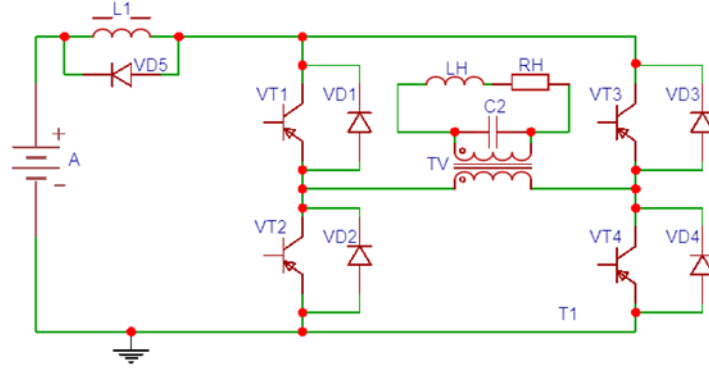
Şekil 4.3. AC şoklu alçak gerilim devresi



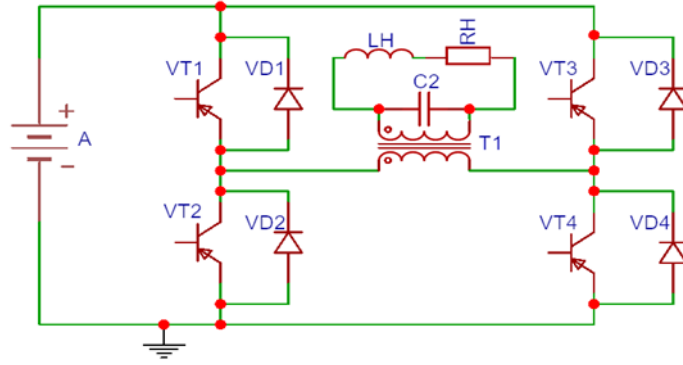
Şekil 4.4. DC şoklu yüksek gerilim köprü devresi



Şekil 4.5. AC şoklu yüksek gerilim köprü devresi



Şekil 4.6. DC şoklu alçak gerilim köprü devresi



Şekil 4.7. Alternatif akım şoklu alçak gerilim köprü devresi

Çizelge 4.1 ÷ 4.3’de aşağıdaki kısaltmalar getirilmiştir:

U_{AB} - akü voltajı, γ - süreye göre anahtar açma zamanı

$U_{VT, \max}$ - transistörlerde maksimum voltaj,

$I_{VT, \max}$ - transistörlerden akan maksimum akım, U_y - yük voltajı,

$K_g (U_Y)$ - Çıkış geriliminin harmonik katsayısı,

I_y - yük akımı

$K_g (I_Y)$ - yük akımının harmonik katsayısı,

$I_{VD, \max}$ - diyotlardan geçen maksimum akımı,

$U_{L, \max}$ - DC devresinde bulunan indüktörün maksimum voltajı,

U_{LY} - yük endüktansındaki voltaj,

U_{RY} - yük direnci üzerindeki voltaj,

I_s - güç kaynağı akımı, $L_1 (=)$ - doğru akım devresinde bulunan indüktör,

$L_{22} (\approx)$ - AC devresinde bulunan indüktör,

$L_2 (\approx)$ - ayrıca AC yük devresinde bulunan indüktör,

C_2 - yüke paralel bağlanmış kapasitör.

Çizelge 4.1. TGI'lerin sıfır nokta ile modellenmesinin sonuçları (Şekil 4.2 ve 4.3)

	L induktansı sabit U geriliminde bağlanmıştır		L induktansı AC Ugeriliminde bağlanmıştır	
İlgili resimler	Şekil 4.2		Şekil4.3	
$U_{AP}(V)$	10	14	10	14
$Y(\%)$	50	34,5	50	33
$U_{VT,max}(V)$	175	200	200	275
$I_{VT,max}(A)$	212	150	205	180
$U_Y(V)$	221,7	219,9	220,4	221,5
$K_g(U_Y)(\%)$	9,09	5,95	4,02	6,75
$I_Y(A)$	9,147	9,088	9,118	9,152
$K_g(I_Y)(\%)$	4,42	2,37	2,0	3,26
$I_{VD,max}(A)$	325	384	344,9	520
$U_{L,max}(V)$	+19,7(-1,4)	+21,6(-1,5)	-	-
$U_{LY}(V)$	133,2	131,7	132	132,9
$U_{RY}(V)$	177,1	195,9	176,5	177,2
$I_s(A)$	225(-33)	+198(-12)	+230	+210
$L_1(=)$ mH	9,5	9,5	-	-
$L_2(=)$ mH	-	-	40	40
$C_2 \mu F$	170	170	155	155

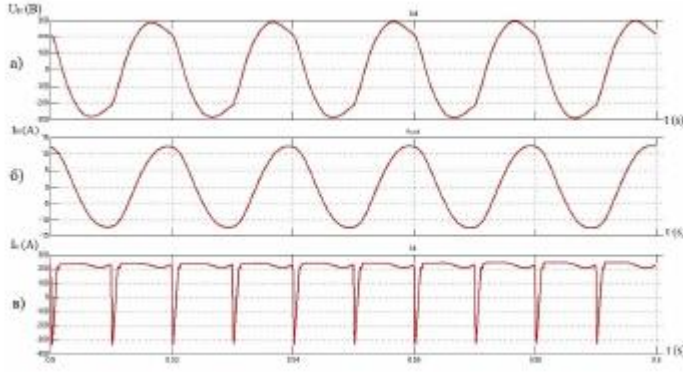
Çizelge 4.2. TGI'lerin sıfır nokta ile modellenmesinin sonuçları (Şekil 4.4 ve 4.5)

İlgili Şekiller	DC indüktörlü devre		AC indüktörlü devre	
	Şekil 4.4		Şekil 4.5	
$U_{AP}(V)$	170	238	170	238
$\gamma(\%)$	50	30,5	50	30,5
$U_{VT,max}(V)$	140	261	185,4	260
$I_{VT,max}(A)$	23,25	13,27	+13(-5)	16,5
$U_Y(V)$	106,1	79,48	215,2	225,2
$K_g(U_Y)(\%)$	7,21	14,01	3,77	5,13
$I_Y(A)$	4,292	3,198	8,902	9,345
$K_g(I_Y)(\%)$	3,43	6,36	1,90	2,96
$I_{VD,max}(A)$	20	13,5	0,4	15
$U_{L,max}(V)$	168	258	-	-
$U_{LY}(V)$	62,17	47,12	128,8	134,6
$U_{RY}(V)$	85,83	63,96	172,3	180,9
$I_s(A)$	4	4,1	+13(-5)	16,14
$L_1(=) \text{ mH}$	20	20	-	-
$L_{22}(\approx) \text{ mH}$	70	70	-	-
$L_2(\approx) \text{ mH}$	-	-	60	60
$C_2 \mu F$	210	210	170	170

Çizelge 4.3. TGI köprü devresinin bir trafo ile düşük voltajda modellenmesinin sonuçları (Şekil 4.6 ve 4.7)

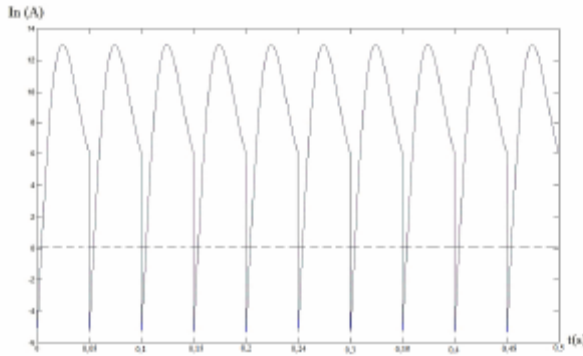
İlgili Şekiller	L induktansı sabit U geriliminde bağlanmıştır		L induktansı AC Ugeriliminde bağlanmıştır	
	Şekil 4.6		Şekil 4.7	
$U_{AP}(V)$	10	14	10	14
$\gamma(\%)$	50	27,5	50	26
$U_{VT,max}(V)$	12,35	17,15	11,15	16,2
$I_{VT,max}(A)$	+253(-200)	300	+252(-230)	342
$U_Y(V)$	220,4	220,6	223,7	219,7
$K_g(U_Y)(\%)$	11,09	9,48	4,64	5,19
$I_Y(A)$	9,083	9,102	9,253	9,086
$K_g(I_Y)(\%)$	5,57	4,69	2,33	2,60
$I_{VD,max}(A)$	0,02	0,03	0,02	0,03
$U_{L,max}(V)$	+3,84(-1)	+5(-1)	-	-
$U_{LY}(V)$	132,9	132,8	134	131,7
$U_{RY}(V)$	175,8	176,2	179,1	175,9
$I_s(A)$	+255(-200)	300	+280(-230)	338,5
$L_1(=) \text{ mH}$	20	20	-1	-
$L_2(=) \text{ mH}$	-	-	30	30
$C_2 \mu F$	130	130	150	150

Şekil 4.8, yük akımının yüksek kalitesini $K_g (I_Y) = \% 2 \div \% 4,4$ 'ün yanı sıra, güç kaynağının ters akımının $I_{sb} = -350A$ 'ya kadar olan önemli akımlarını görebileceğiniz yüksek akım ve voltaj dalga biçimlerini (Şekil 4.1) göstermektedir. ileri akım $I_{sf} = 274A$ (Çizelge 4.2).



Şekil 4.8. PVT çalışma süreçlerini modelleyen osilogramlar: a) İnvörtör çıkışındaki voltaj. b) yük akımı. c) Güç kaynağı akımı

Şekil 4.9, bir AC indüktörlü köprü devresinin güç kaynağı akımının dalga formlarını göstermektedir (Şekil 4.7), bunun ters akım dalgalanmasının büyük olmadığını takip etmektedir ve $I_{sf} = 13A$ doğru akımla $I_{sb} = -5A$ eşittir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.9. AP akım dalga osilogramı, AC şoklu köprü devresi

MATLAB Simulink'te seçilen simülasyon yöntemi PMT işleminin tüm modlarını keşfetmenizi sağlar. Yüksek frekanslı bir invertör için, itme-çekme köprü yapılarında bir güç transformatörünün çekirdeğinin ters asimetrik bir mıknatıslanma modunun modellenmesi ve

analizi sonuçları (Shevtsov, Manbekov, 2008)'de verilmiştir. Bizim vakalarımızda asimetri katsayısının düşük frekanslı invertör nedeniyle önemli ölçüde daha az olması bekleniyor.

Farklı voltaj değerlerinde Güneş Pili ve Akü Pillerinin analizi yapıldı. Fotoelektrik Tesislerin (FET) ana elemanları olan Akü Pili (AP), Güneş Pili (GP), kontrol ve regülatör cihazları için seçilen modeller, farklı yüklerde FET'in kalitesini değerlendirmeyi mümkün kılar. GP ve AP'nin akım-gerilim karakteristikleri, GP'nin maksimum güç noktasında birleştirilir. Orta noktaya sahip en düşük voltaj devresi (Şekil 4.2), transistörlerde minimum kayıplara sahip olduğu için en ucuz düşünülebilir (Çizelge 4.2). En güvenilir devre, içinde aşırı gerilim olmadığından düşük gerilimli bir köprüdür (Şekil 4.7). Yüksek voltajlı köprü devresinin minimum ters akımı $\frac{I_{sb}}{I_{sf}} = 0,3$ (bak Şekil 4.5).

Transistörlerden akan en küçük akım, yüksek voltajlı bir köprü devresi sağlar (Şekil 4.4 ve 4.5). Bu analiz sonucunda, pozitif özelliği nedeniyle bir köprü devresi seçilmiştir: aşırı gerilim, küçük transformatör boyutları, (Mytsyk vd., 2010)'ye göre. diyotlar aracılığıyla önemsiz ters akımlar (Çizelge 4.3), evin çatısında bulunan düşük voltajlı SB, güvenilirlik ve emniyet sağlar.

4.3. Doğrusal Olmayan Simetrik Bir Mıknatıslanma Özelliğine Sahip Bir İnverter Trafosunun Hesaplanması

Ref. (Fochenkov, 2014)' de sargı ürünlerinin otomatik hesaplanması için bir program önerilmektedir. Bu programı, 100 kHz'lik bir frekanstan dolayı veri tabanı sınırlamaları nedeniyle 50 Hz frekansında kullanmak mümkün değildir.

TFKÇA (tek fazlı, kuru, çok amaçlı) serisi transformatörleri 0,6 - 4 kVA gücünde, 660 V'a kadar anma gerilimi olan koruma cihazlarına sahip olup, güç kontrol devreleri, yerel aydınlatma, sinyalizasyon ve otomasyona güç vermek için tasarlanmıştır(Kovalev, 2005). Bu tür trafolar birçok ek sargıya sahip oldukları için bizim durumlarımızda kullanılması tavsiye edilmez.

Devre şeması Şekil 4.7 'de verilen trafonun hesaplanması aşağıda belirtilmiş veriler için yapılmıştır: güç - $P_{TV} = 2000W$, frekans - $f = 50Hz$, giriş voltajı - $U_{AP} = 10 \div 14V$, çıkış voltajı - $U_y = 220V$. Bu değerler için transformatörün aşağıdaki parametreleri hesaplanır: mıknatıslama akımı - I_{μ} (A), manyetik akı Φ (V.s), çekirdek kesit alanı S_c (m^2) ve ortalama

çekirdek hat uzunluğu l_{ort} (m). İndüksiyon $B_s = 1,38$ (T), sargı dolun faktörü $K_d = 0,3$ ve akım yoğunluğu $j = 3 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2}$ 'dir. Bobinlerin yerleştirildiği Bakır sarım penceresinin alanını S_{Cu} (m^2) ile göstereyim. Bu durumda çekirdeğin kesit alanı S_c (m^2) aşağıdaki gibi hesaplanacaktır(Khasaev, 1966; Shmelev, Dyukov, 2010).

$$S_c(cm^2) = 1,2\sqrt{P} = 1,2\sqrt{2000} = 53,67 cm^2 = 5,3 \cdot 10^{-3} m^2 \quad (4.1)$$

$U = 4 * f * B_s * S_c * W$ elektromanyetik indüksiyon yasasından hareketle, bakır sarım penceresinin alanını S_{Cu} hesaplayalım

$$S_c(m^2) = \frac{U_1}{4 * f * B_s * W_1} \quad (4.2)$$

$I_1 W_1 = I_2 W_2$ varsayımının geçerli olması durumunda, bobinlerin yerleştirildiği Bakır sarım penceresinin alanını S_{Cu} (m^2) pencere alanı S_m aşağıdaki gibi belirlenir

$$S_{Cu} = \frac{q_1 * W_1 + q_2 * W_2}{K_3} = \frac{(I_1 / j_1) * W_1 + (I_2 / j_2) * W_2}{K_3} = \frac{2I_1 W_1}{j_1 K_3} \quad (4.3)$$

burada q_1 ve q_2 uygun olarak W_1 ve W_2 sargılarının tel kesitlerini ifade etmektedir.

(4.2) ve (4.3) ifadelerine istinaden

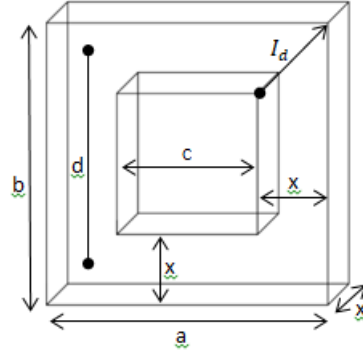
$$S_m * S_c = \frac{2I_1 W_1}{j_1 K_3} * \frac{U_1}{4 * f * B_s * W_1} = \frac{P_1}{2 * j_1 * K_3 * f * B_s} = \frac{2000}{2 * 3 * 10^6 * 0,3 * 1,38} = 1,6 * 10^{-5} m^4 \quad (4.4)$$

(4.1) ifadesi uyarınca trafo çekirdeği alanını dikkate alarak S_M (m^2)'yi hesaplıyoruz:

$$S_c(m^2) = \frac{S_M * S_c}{S_c} = \frac{1,6 * 10^{-5} m^4}{5,3 * 10^{-3} m^2} = 3 * 10^{-3} m^2 \quad (4.5)$$

Eğer çekirdeğin ve pencerenin kesitini kare kabul edersek $S_m = X^2$ (Bak şekil 4.10), o takdirde $X = \sqrt{S_c} = 0,072 m$ ve $S_m = C^2 = 3 * 10^{-3} m^2$, $C = \sqrt{S_m} = 0,05 m$. S_m penceresini kapsayan C (m) tarafındaki merkez kuvvet çizgisinin ortalama uzunluğunu $l_{ort}(m) = (C + X) * 4 = (0,05 + 0,07) * 4 = 0,5 m$ Tek fazlı trafonun çekirdek boyutları (Sekil 4.10)

$$a = b = C + 2X = 0,05 + (2 * 0,072) = 0,19m, \quad d = C + X = 0,05 + 0,072 = 0,12m$$



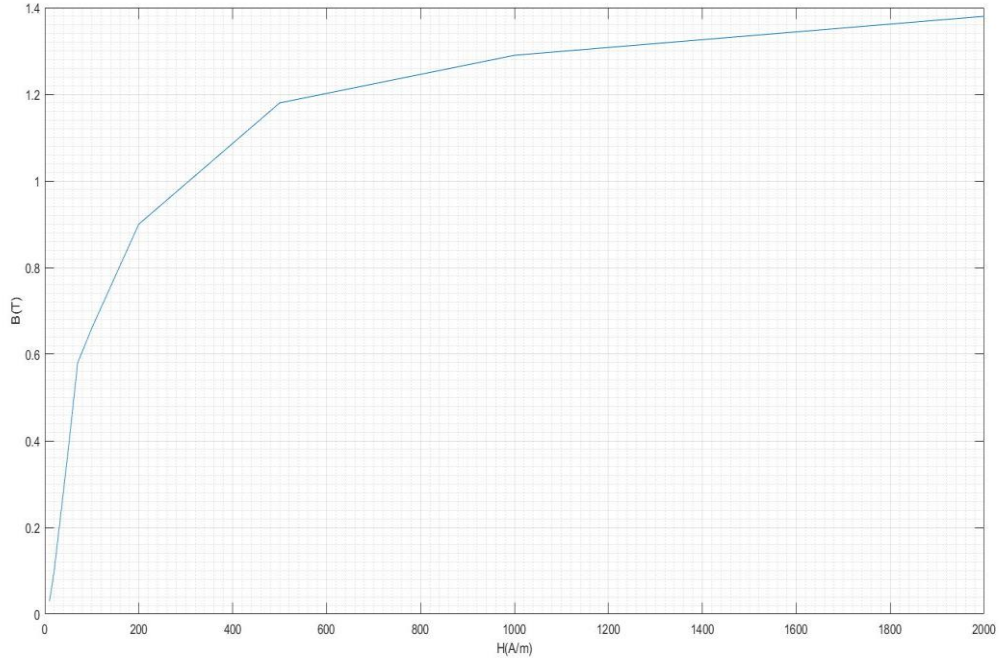
Şekil 4.10. Transformör çekirdeğinin şematik gösterimi

Transformör için Şekil 4.11'de gösterilen $B = f(H)$ mıknatıslama karakteristiğine sahip elektroteknik çelik sınıfından olan 1511 marka $PL75 \times 75 \times 50$ manyetik devresini seçiyoruz (Mikheev, Shevtsov, Ivanoav, 2009).

$U_{AP} = 14V$ ve $B = 1,38T$ değerleri için W_1 hesaplayalım.

$$W_1 = \frac{U_1}{4 * f * B * S_C} = \frac{14}{4 * 50 * 1,38 * 49 * 10^{-4}} = 10,35 \text{ (} W_1 \approx 10 \text{ kabul edelim)}$$

Verilen H ve B [30] için, çekirdek geometrik boyutlarına ($S_C(m^2)$ ve $l_{ort}(m)$) karşılık gelen mıknatıslama akımı $I_\mu = H \cdot l_{ort} / W_1$ (A) ve manyetik akı $\Phi = B \cdot S_C$ (V.s) değerleri Çizelge 4.4'te ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

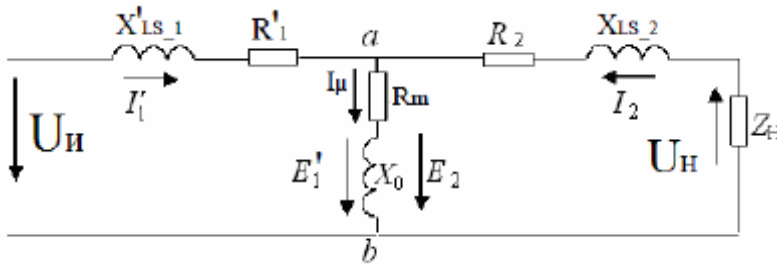


Şekil 4.11. Trafo mıknatıslanma özelliği

Çizelge 4.4. Transformatörün mıknatıslanma karakteristiği

H(A/m)	10	20	50	70	100	200	500	1000	2000
B(T)	0.03	0.1	0.38	0.58	0.66	0.9	1.18	1.29	1.38
I_{μ} (A)	0.57	1.142	2.9	4	5.7	11.43	28.6	57.14	114.28
Φ (V·s)	0.00015	0.00049	0.0019	0.0028	0.0032	0.0049	0.0058	0.00632	0.006762

Simulink paketinde doğrusal olmayan bir transformatöre sahip bir eviriciyi modellerken aşağıda Çizelge 4.4'teki transformatör mıknatıslanma özelliği kullanılmıştır. Transformatör parametrelerini Matlab Simulink programından eşdeğer devresini kullanarak hesaplayacağız (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Transformatör eşdeğer devresi

Akü pilinin $U_{AP} = 10 V$ minimum voltaj değerinde belirlenen $P_{TV} = 2000 W$ için, mıknatıslanma akımı $I_{\mu} = 0.1I_1$ ifadesiyle belirlenecektir. Burada I_1 transformatörün primer sargısının nominal akımıdır. Dönüşüm oranı (Transformasyon katsayısı) K_T :

$$K_T = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_y}{U_{AB}} = \frac{220}{10} = 22$$

$$I_1 = \frac{P_T * \sqrt{2}}{U_{AP}} = \frac{2000 * \sqrt{2}}{10} = 282,84 A$$

Buna göre: $I_{\mu} = 0.1I_1 = 28 A$.

Mıknatıslama devresinin direnci $R_m = \frac{U_{AP}}{I_{\mu}} = \frac{10}{28} = 0,36 Ohm$

Sekonder devre için hesaplanan mıknatıslama akımı I'_{μ} aşağıda verilmiştir.

$$I'_{\mu} = \frac{I_1}{K_{TV}} = \frac{28}{22} = 1,3 A$$

Elektromanyetik indüksiyon $U = 4fWB_mS$ yasasından hareketle, transformatörün oluşturduğu manyetik W akı bağlantısını hesaplar $\Phi_{\delta} = B_s * S_c * W$

$$\Phi_{\delta} = B_s * S_c * W = \frac{U}{4*f} = \frac{10}{4*50} = 0,05 (V.s) \quad (4.6)$$

Sekonder sargı için $\cos\varphi = 0,8$ için, I_L yük akımı

$$I_y = I_2 = \frac{P_y}{U_y} = \frac{2000}{220} = 9 \text{ A} \quad (4.7)$$

Kompleks (karmaşık) yük direnci Z_y :

$$Z_y = \frac{P_y}{I_y^2} = \frac{2000}{9,091^2} = 24,2(\text{Ohm}) \quad (4.8)$$

Aktif yük direnci R_y :

$$R_y = Z_y * \cos \varphi = 24,2\Omega * 0,8 = 19,36 (\text{Ohm}) \quad (4.9)$$

Yükün reaktans direnci:

$$X_{Ly} = Z_y * \sin[\arccos(\cos \varphi)] = 14,52 \text{ Ohm} \quad (4.10)$$

Yük endüktansı L_y :

$$L_y = \frac{X_L}{\omega} = \frac{14,52\Omega}{2 * \pi * f} = 46(\text{mH}) \quad (4.11)$$

Fraksiyonel ünitelerdeki bobinlerin koaksiyel düzenlenmesi ile trafo sargılarının endüktif saçılma direnci, yük direncinin % 0,1'ni, aktif direnç ise yük direncinin % 3'nü oluşturur (Gorsky, Rusin, Ivanov, 1988; Kopylov, Klokov, Morozkin, 1993).

Transformatörün sekonder sarımının aktif direnci

$$R_2 = \%3 * R_y = 0,03 * 19,36 = 0,58 \text{ Ohm}$$

Birincil sarmanın aktif direnci, ikincil sargının direncinin ikincil sargıya indirgenmiş birincil sargının R_1 direncine eşit olması şartıyla aşağıdaki biçimde belirlenecektir.

$$R_1 = \frac{R_2}{K_{TV}^2} = \frac{0,58\Omega}{22^2} = 1,2 \text{ mOhm}$$

Trafo sargılarının endüktif saçılma direnci X_{L_S} :

$$X_{L_S} = 0,15 * Z_y \quad (4.12)$$

Transformatör sargılarının L_S endüktif saçılma direnci:

$$L_S = \frac{X_{L_S}}{\omega} = \frac{3,6\Omega}{2 * \pi * f} = \frac{3,6}{2 * \pi * 50} = 11,46 \text{ mH} \quad (4.13)$$

Genelde, yüksek voltaj sargısının endüktansının, transformatörün saçılma endüktansının yaklaşık yarısı olduğu varsılmaktadır (Mikheev vd., 2009).

Bizim durumumuzda L_{S2} yüksek voltaj sargısının yayılma endüktansı aşağıdaki biçimde belirlenebilir.

$$L_{S2} = \frac{L_S}{2} = \frac{11,46 \cdot 10^{-3}}{2} = 5,73 \text{ mH}$$

Trafo sekonder sarımının endüktif reaktans saçılması aşağıdaki ifade ile belirlenecektir

$$X_{L_{S2}} = \omega * L = 2 * \pi * f * 5,73 \text{ mH} = 1,8 \text{ Ohm}$$

Şimdi ise trafonun primer sargısının saçılma endüktansını, dönüşüm katsayısı değerinden hareketle hesaplayalım

$$L'_{S1} = \frac{L_S - L_{S2}}{K_{TV}^2} = \frac{11,46 * 10^{-3} - 5,73 * 10^{-3}}{22^2} = 0,02 \text{ mH}$$

Trafonun primer sarımının endüktif reaktansı $X_{L_{S1}}$ aşağıdaki ifade ile hesaplanacaktır.

$$X_{L_{S1}} = \omega * L'_{S1} = 2 * \pi * f * L'_{S1} = 2 * \pi * 50 * 0,02 * 10^{-3} = 6,28 \text{ mOhm}$$

Trafo sarım parametrelerinin hesaplanarak belirlenmiş bu değerleri, Simulink ortamında, çalışmada kullanılması düşünülen transformatörün modellenmesinde kullanılır.

4.4. Sarımların Farklı Çekirdeklere(Nüvelere) Yerleştirilmesi İle Transformatörün Yayılma Endüktansının Hesaplanması

Birincil ve ikincil sargıların birbirinden farklı çekirdeklere yerleştirilmesiyle trafo sargılarının yayılma endüktansı aşağıda verilen denklemle belirlenir. (Gorsky vd., 1988):

$$L'_{S1} = \frac{\mu_0 \cdot l_{ort}}{h} \cdot W_1^2 \cdot \left(\frac{2b}{3} + b_{12} \right) \quad (4.14)$$

Burada $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$ - boşluğun manyetik sabiti, W_1 - birincil sargının sarım sayısı, l_{ort} - sarım bobininin ortalama uzunluğu (cm), h - sarımın yüksekliği (cm), b - birincil sarımın kalınlığı (cm), b_{12} - sarımlar arasındaki mesafe ve $S_0 = b \cdot h = \frac{W_1 \cdot q_1}{K_s}$ ise sarım kesitini ifade etmektedir. Şimdi ise Şekil 4.10 'dan hareketle, (4.14) ifadesindeki bilinmeyen parametreleri hesaplayalım.

Öncelikli olarak W_1 sargısının teli kesiti:

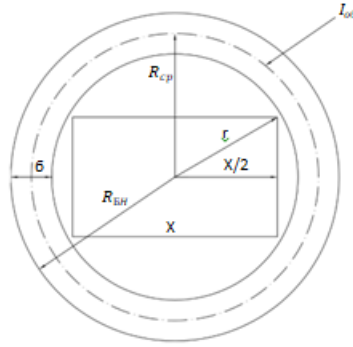
$$q_1 = \frac{I_d}{j} = \frac{282}{3} = 94 \text{ mm}^2$$

Sekil 4.13 'te gösterilen b parametresi şöyle hesaplanır

$$b = \sqrt{\frac{W_1 q_1}{4K_s}} = 22 \text{ mm}$$

$X = \sqrt{S_c} = 0,072 \text{ m}$ manyetik devresinin çekirdeğinin büyüklüğünü bilerek, eksik geometrik parametreleri belirleriz. Başka bir deyişle, bobinin iç yarıçapını (çekirdek bölümün köşegeninin uzunluğu) r belirleriz:

$$r = \sqrt{(0,5X)^2 + (0,5X)^2} = \sqrt{(3,6)^2 + (3,6)^2} = 5 \text{ cm}$$



Şekil 4.13. Sarımlı bir maça kesiti

Sarımın ortalama yarıçapı $R_{ort} = r + 0,5b = 5 + 0,5 * 2,2 = 6,1 \text{ cm}$,

Ortalama sarım sarma uzunluğu $l_{sarm} = 2\pi R_{ort} = 2\pi * 6,1 = 38 \text{ cm}$,

Sarım yüksekliği $h = 4b = 4 * 2,2 = 8,8 \text{ cm}$,

Sarımın dış yüzeyinin yarıçapı $R_{BY} = r + b = 7,2 \text{ cm}$.

Sarımın dışındaki alanın homojen olduğu varsayılarak (her bir sarım H_{Z0} 'ın dış yüzeyindeki alan kuvvetine eşit ve $r = R_{BY}$ ve $r = R_e$ değerleri ile sınırlandırılan belirli bir bölgede

yoğunlaştığı varsayılarak homojen olduğu varsayılmaktadır (Reel manyetik akı Φ_0 'ın homojen alanın oluşturduğu manyetik akıya eşit olma koşulu) (Gorsky vd., 1988),

$$\Phi_0 = \frac{I\mu_0 R_{ort}^2}{2\sqrt{R_{BY}^2 + h^2}} = \mu_0 H_{Z0} \pi (R_e^2 - R_{BY}^2)$$

Bu ifadeden hareketle, $R_e = \sqrt{3R_{BY}^2 + 2h^2} = 17,6cm$. Daha sonra ise bilinen R_e ve R_{BY} değerlerine göre, sargılar arasındaki uzaklık $b_{12} = R_e - R_{BY} = 10,4 cm$ olarak belirlenecektir.,Böylece, transformatörün birincil sargısının saçılma endüktansını hesaplaya biliriz

$$L'_{S1} = \frac{\mu_0 W_1^2 l_{sarıım}}{h} \left(\frac{2b}{3} + b_{12} \right) = \frac{4\pi * 10^{-9} * 6^2 * 38}{8,8} \left(\frac{2 * 2,2}{3} + 10,4 \right) = 32\mu H$$

Primer sargının sekonder sargıya indirgenmiş endüktansı ise

$$L_{S2} = K_{TV}^2 * L'_{S1} = (22^2 * 0,032 * 10^{-3}) = 15 mH$$

olarak hesaplanır. Sekonder sargının ve buna bağlı primer sarmanın toplam endüktansı, primer ve sekonder sargıların aynı geometrik büyüklüklere sahip olduğu varsayılarak

$$L_s = L'_{S1} + L_{S2} = 0,023 * 10^{-3} + 15 * 10^{-3} = 15,023 mH$$

olduğu belirlenmiştir.

4.4.1. Çıkış geriliminin harmonik kompozisyonunun sağlanması

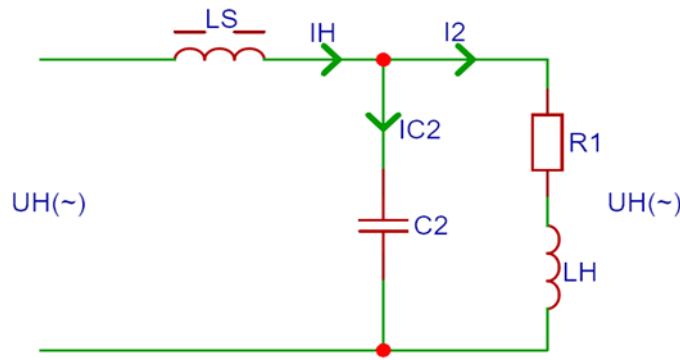
Temel harmoniği izole etmek ve daha yüksek harmonikleri zayıflatmak için düşük (Malyshkov, Kryuchkov, Soloviev, Karzov, 2008)'de, doğru akım enerjisini alternatif akım enerjisine dönüştürmek için yeni bir modifiye strateji olarak önerilmiştir.

Tek bağlantılı normalleştirilmiş alçak geçiren bir filtrenin (AGF) parametreleri, sembolik yöntem kullanılarak seçilir. Yük parametreleri sadece AGF parametrelerini seçerken gereklidir (Chudesnikov, 2008).

Hibrit filtreler, bir rezonans L-C filtresinin ve düşük güçlü bir aktif filtreye dayanan bir aktif elementin bir kombinasyonudur. Bir hibrit filtre, akımın (voltaj) en önemli

harmoniklerine ayarlanmış bir veya iki rezonans devresi içerir (Bure, Khevsuriani, Nurmeeva 2011).

Bu çalışmada, invertörün en yüksek harmoniklerinin filtresi, transformatörün farklı çekirdeklerinde bulunan primer ve sekonder sargıların L_S sızıntı endüktansından ve yükün bağlı olduğu bir kapasitör C_2 'den oluşan çıkış L-C filtresi tarafından gerçekleştirilir. Çıkış devresinin eşdeğer devresi Şekil 4.14, gösterir.



Şekil 4.14. Seri Rezonans Devresi

İnvertör U_{inv} çıkış voltajının spektrumundan

$$U_{inv} = \frac{4}{\pi} * U_k (\sin\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t \dots)$$

Güç kaynağının voltajını belirleyelim

$$U_k = \frac{\sqrt{2} * 220 * \pi}{4} = \frac{310 * \pi}{4} = 245 V$$

İnvertör çıkışındaki birinci harmonik voltajının genliği

$$U_{inv(1)} = \frac{4}{\pi} * U_k = \sqrt{2} * 220 = 311V$$

İnvertör çıkışındaki üçüncü harmoniğin genlik değeri

$$U_{inv(3)} = \frac{4}{\pi} * U_k * \frac{1}{3} = \frac{4}{\pi} * 245 * \frac{1}{3} = 103 V$$

gerilimin bu değerinin $U_{inv(3)} = 0,1 * U_{inv(1)} = 0,1 * 311 = 31 V$ değerine kadar düşürülmesi gerekiyor.

C2 kapasitansını, değeri (4.11) ifadesi ile belirlenen transformatör sargılarının L_S endüktansı ile oluşturduğu L_S -C2 seri rezonans durumundan hareketle hesaplayalım ($X_{L_S} = 3,6 \text{ Ohm}$, $L_S = 11,46 \text{ mH}$)

$$X_{L_S} = \frac{1}{\omega C_2} \text{ ve buradan } C_2 = \frac{1}{\omega X_{L_S}} = \frac{1}{2\pi f \cdot 3,6} = 884 \cdot 10^{-6} F = 884 \mu F$$

$$C_2 \text{ kapasitörünün reaktansı } X_{C_2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{1}{314 \cdot 884 \cdot 10^{-6}} = 3,6 \text{ Ohm}$$

C2 üzerinden geçen akım

$$I_{C_2} = \frac{U_y}{(-jX_{C_2})} = \frac{220}{-j3,6} = j61 A \text{ veya } I_{C_2} = 61 \angle 90^\circ A$$

$\cos \varphi = 0,8$ için , (4.7) ifadesine istinaden Z_y yük direnci (Şekil 4.24):

$$Z_y = R_y + jX_{L_y} = 19,36 + j14,4 = 24 \angle 37^\circ \text{ Ohm} \quad (4.16)$$

Yük üzerinden akan akım I_2 akımı

$$I_2 = \frac{U_y}{Z_y} = \frac{220}{19,36 + j14,4} = 7,3 - j5,4 A \text{ veya } I_2 = 9,11 \angle -36,6^\circ A$$

Yapılan hesaplamalardan da görüldüğü üzere, yük üzerinden akan I_2 akımı, $7,3 A$ aktif bileşen değerine ve $I_{X_L} = 5,4 A$ değerinde bir induktif bileşene sahiptir. İnvörtör çıkışındaki akım ise $7,3 A$ aktif bileşen değerine ve $I_{C_2} - I_{X_L} \approx 56 A$ değere sahip reaktif bileşenlerden oluşmaktadır. İnvörtör çıkışındaki akımın etkin değeri ise $I_{inv} = \sqrt{7,3^2 + 56^2} = 56,5 A$ belirlenir. X_{L_S} üzerindeki gerilim düşümü ise $U_{L_S} = I_{inv} \cdot X_{L_S} = 56,5 \cdot 3,6 = 203 V$.

X_{L_S} üzerindeki gerilim düşümünün dikkate alınmasıyla invörtörün çıkış gerilimi aşağıdaki gibi olacaktır

$$U_{inv} = (U_y + U_{L_S}) = (220 + 203) V = 423 V$$

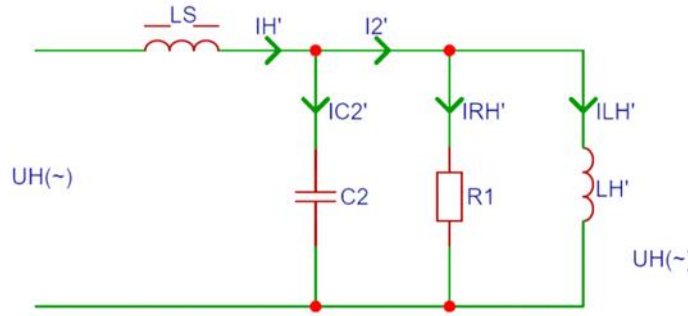
Bunun gerektirdiği trasformasyon katsayısı ise şöyle belirlenir.

$$K_T = \frac{U_{inv}}{U_{AP}} = \frac{423}{10} = 42,3$$

Karakteristik empedans ise $\rho = \sqrt{\frac{L_S}{C_2}} = \sqrt{\frac{11,46 \cdot 10^{-3}}{884 \cdot 10^{-6}}} = 3,6 \text{ Ohm}$ olarak belirlenir. Bu devrenin “koşullu” kalite faktörünün ise $Q = \frac{R_y}{\rho} = \frac{19,36}{3,6} = 5,4$ olduğu belirlenir.

Bu seçeneğin dezavantajı, C2 kapasitansının büyük değere sahip olması, X_{L_S} üzerindeki ULs voltaj düşmesinin büyük bir değere sahip olması ve ayrıca trafo dönüşüm oranının (transformasyon katsayısının) $K_{TV} = 42.3$ gibi büyük bir değere sahip olmasıdır.

C2 ve LH'den oluşan paralel bir rezonans devresi kullanılarak daha düşük bir C2 değeri elde edilebilir.



Şekil 4.15. Paralel rezonans devresi

Şekil 4.15'te, R'_y ve L'_y elemanlarının paralel bağlanmasına oluşan çıkış kaskat devresi verilmiştir. Bu durumda dikkat etmemiz gereken husus, devrede oluşacak I'_2 akımının R_y ve L_y elemanlarının kendi aralarında seri bağlanması durumunda devreden geçen ve (4.6) ifadesi ile tanımlanan I_2 akımına eşit olması gerekmektedir. Başka bir deyişle $\cos \varphi = 0,8$ olmak koşuluyla $I'_2 = I_2 = 9 \text{ A}$ olmalıdır.

Bu varsayımlar doğrultusunda, Şekil 4.15'te verilen paralel rezonans devresinden hareketle akımları ve devre parametrelerini hesaplayalım.

$I'_2 = \sqrt{I_{R'_y}^2 + I_{L'_y}^2}$, $\cos \varphi = \frac{I_{R'_y}}{I'_2} = 0,8$ buradan hareketle $I_{R'_y} = \cos \varphi * I'_2 = 0,8 * 9 = 7,2A$ olduğu belirlenir. Daha sonra $I_{R'_y}$ belirlenmiş bu değeri ve $I'_2 = 9 A$ olduğu dikkate alınrsa bu takdirde

$$I_{L'_y} = \sqrt{I'_2{}^2 + I_{R'_y}^2} = \sqrt{9^2 + 7,2^2} = 5,4 A \text{ olduğunu belirleriz.}$$

Ohm yasasından hareketle, devre elemanlarının parametrelerini belirliyoruz.

$$R'_2 = \frac{U_y}{I_{R'_y}} = \frac{220 V}{7,2 A} = 31 \text{ Ohm}$$

$$X_{L'_H} = \frac{U_H}{I_{L'_H}} = \frac{220 V}{5,4 A} = 40,7 \text{ Ohm}$$

$$L'_H = \frac{X_{L'_H}}{\omega} = \frac{40,7 \text{ OM}}{314} = 129 \text{ mH}$$

Ayrıca, Şekil 4.15'te verilen paralel rezonans devresinin eşdeğer şemasına istinaden, yük devresinin iletkenliği aşağıdaki ifade ile verilecektir.

$$G_1 = \frac{1}{R'_y} + \frac{1}{jX_{L'_y}}$$

Bu ifadenin dikkate alınmasıyla, devrenin eşdeğer yük direnci için

$$Z_{y1} = \frac{1}{G_1} = \frac{(jX_{L'_y})R'_y}{(jX_{L'_y})+R'_y} = \frac{j40,7*31}{j40,7+31} = 19 + j15 = 24 \angle 37^\circ \text{ Ohm}$$

olarak belirlenir.

Şimdi ise, rezonans koşulundan hareketle paralel devredeki C'_2 kapasitans değerini hesaplayalım. Bu amaçla öncelikle rezonans koşuluna istinaden

$$X_{L'_y} = \omega * L'_y = X_{C_2} = \frac{1}{\omega * C'_2}$$

İfadesi yazılır ve daha sonra ise bu koşıldan

$$C'_2 = \frac{1}{\omega^2 * L'_y} = \frac{1}{314^2 * 130 * 10^{-3}} = 78 * 10^{-6} \mu F$$

kapasitans değeri belirlenir. Böylece C'_2 parametresinin hesaplanan bu değerine istinaden kapasitif reaktans ve daha sonra ise bu kapasitans üzerinden geçen akım şiddeti belirlenir.

$$X_{C'_2} = \frac{1}{\omega * C'_2} = \frac{1}{2 * \pi * f * 78 * 10^{-6}} = 40 \text{ Ohm}$$

$$I_{C'_2} = \frac{U_y}{(-jX_{C'_2})} = \frac{220}{(-j40)} = j5,5 = 5,5 \angle 90^\circ \text{ A}$$

İnvertör çıkışındaki akım $I_{inv} = I_{R'_y} + I_{L'_y} - I_{C'_y} = 7,2 + j5,4 - j5,5 = 7,2 \text{ A}$ olarak bulunur.

İnvertör çıkışında oluşan bu akım şiddeti değeri, endüktif reaktans üzerindeki gerilim düşüşünü belirlememize olanak sağlar, dolayısıyla

$$U_{L_S} = I_{inv} * X_{L_S} = 7,2 \text{ A} * 3,6 \text{ Ohm} = 26 \text{ V}$$

olarak belirlenir. U_{L_S} 'in belirlediğimiz bu değeri daha sonra invertör çıkışında oluşan gerilim değerinin belirlenmesinde kullanılır

$$U_{inv} = (U_{L_S} + U_y) = 246 \text{ V}$$

İnvertör çıkışında oluşan bu gerilim değerine karşılık gelen transformasyon katsayısı ise

$$K_T = \frac{U_{inv}}{U_{AB}} = \frac{246 \text{ V}}{10 \text{ V}} = 24,6 \text{ olmalıdır.}$$

Paralel salınım devresinin toplam iletkenliği

$$G = \sqrt{\left(\frac{1}{R'_y}\right)^2 + \left(\omega * C'_2 - \frac{1}{\omega * L'_y}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{31}\right)^2 + \left(314 * 78 * 10^{-6} - \frac{1}{314 * 130 * 10^{-3}}\right)^2} = 0,032 \text{ S}$$

ve toplam direnci $Z_T = \frac{R'_y}{\sqrt{1 + R'_y \left(\omega * C'_2 - \frac{1}{\omega * L'_y}\right)^2}} = 31 \text{ Ohm}$ olarak hesaplanır. Devrenin faz açısı

ise $\tan \varphi = -R_p \left(\omega C_2 - \frac{1}{\omega L_y}\right) = 0$ biçiminde belirlenecektir.

Devrede rezonans durumuna karşılık gelen f_0 frekans değerinde, kapasitif ve endüktif reaktans değerleri mutlak değerce eşit olduğundan

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L'_y * C'_2}} = \frac{1}{\sqrt{129 * 10^{-3} * 78 * 10^{-6}}} = 315 \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L'_y * C'_2}} = \frac{1}{2\pi} * \omega_0 = 50 \text{ Hz değerlerini elde ederiz.}$$

Paralel salınım devresinin rezonans direnci R_{rez} ve kayıp parametresi d uygun olarak aşağıdaki gibi belirlenecektir.

$$R_{rez} = \frac{L'_H}{C'_2 * R'_H} = \frac{129 * 10^{-3}}{78 * 10^{-6} * 31} = 53,35 \text{ Ohm}$$

$$d = \frac{\omega_0 * L'_H}{R_{pez}} = \frac{313 * 129 * 10^{-3}}{53,35} = 0,75$$

Paralel salınım devresinin Q iyileştirme faktörü ise $Q = \frac{1}{d} = \frac{1}{0,75} = 1,33$ olarak belirlenir. Paralel salınım devresinin iletim bandı genişliği $b = f_0 * d = 50 * 0,75 = 37,5 \text{ Hz}$. Uygun olarak iletim bandı aralığı ise $\Delta f = Q * f_0 = 1,33 * 50 = 66,5 \text{ Hz}$.

Yukarıda yapılan işlemlerden özetle, bu bölümde C_2 ve C'_2 kapasite parametrelerinin belirlenmesi iki farklı (seri ve paralel) seçenek için yapılmıştır. i) $L_S - C_2$ seri rezonans devresi için hesaplanan değerler (Şekil 4.14), $C_2 = 884 \mu F$, trafo dönüşüm katsayısı $K_T = 42.3$ ve X_{L_S} endüktif reaktans üzerindeki gerilim düşüşü ise $U_{L_S} = 203 \text{ V}$ olarak belirlenmiştir.

Paralel bir rezonans devresinde (Şekil 4.15), $C'_2 = 78 \mu F$, trafo dönüşüm katsayısı $K_T = 24.6$ ve X_{L_S} endüktif reaktans üzerindeki gerilim düşüşü ise $U_{L_S} = 26 \text{ V}$ olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, transformatör sargılarının X_{L_S} endüktif reaktans üzerindeki gerilim düşüşünü önlemek için, PVT'in simülasyonu için $C'_2 = 78 \mu F$ ve $K_T = 24.6$ alıyoruz. Böylece, dönüştürücülü bir fotovolttaik tesisat yapısı geliştirilmiştir (burada, filtre çıkış kapasitörü yük endüktansı ile paralel bir rezonans devresi oluşturacağından dolayı, AC devresinde seri bağlı bir kısma bobinine ihtiyaç olmadığı görülür.

4.5. Güç Transformatörünün Çekirdek Doygunluğunu Hesaba Katan Bir İvertör Devresinin Simülasyonu

Güç çeviricili invertörün modellenmesi çekirdek doygunluğu dikkate alınır.

4.5.1. PVT'in, Sargıların Farklı Çekirdeklere Yerleştirildiği Bir Transformatörle Modellenmesi

Simulink programında, SimPowerSystems bölümündeki Saturable Transformer modelini kullanarak çekirdek doygunluğunu hesaba katan güç transformatörünü simüle edebiliriz. Bu durumda, trafonun çekirdek malzemesinin mıknatıslanma özelliklerinin doğrusal olmadığı dikkate alınır. Modelleme yaparken, önce bölüm 4.3'te hesaplanan transformatör parametrelerini ayarlamamız gerekir (bkz. Şekil 4.16).

Şekil 4.16 kullanılan parametreler:

1. Nominal güç ve frekans [P_n (VA) f_n (Hz)]:

[Anma görünür gücü (VA) ve anma frekansı (Hz)].

Bu durumda [$P_{TV} = 2000$ VA, $f = 50$ Hz].

2. Primer sargı parametreleri [V_1 (Vrms) R_1 (pu) L_1 (pu)]:

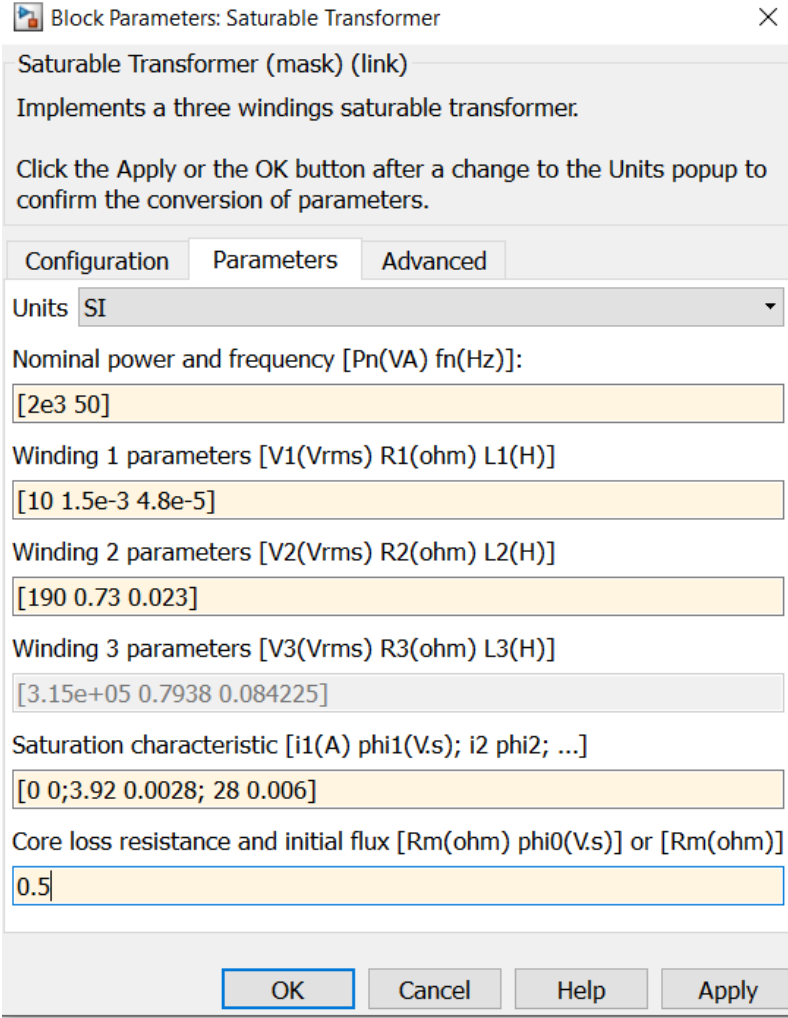
[Primer sargının parametreleri. Sargı geriliminin (V), direnç (Ohm) ve sargının kaçak endüktansının etkin değeri (H)].

Bu durumda [$U_1 = 10$ V, $R_1 = 1,2$ mOhm, $L_1 = 0,019$ mH].

3. Sekonder Sargının parametresi [V_2 (Vrms) R_2 (pu) L_2 (pu)]:

[Sekonder Sargının parametreleri. Sargı geriliminin (V), direnç (Ohm) ve sargının kaçak endüktansının etkin değeri (H)].

Bu durumda [$U_2 = 242$ V, $R_2 = 0.58$ ohm, $L_2 = 5.73$ mH].



Şekil 4.16. Transformatör parametrelerini ayarlama penceresi

4. Üç sargılı transformatör:

[Üç sargılı transformatör].

Bu simülasyonda, PVT sadece iki sargılı bir transformatör kullanır, bu nedenle üçüncü sargı için parametrelere ihtiyaç duyulmamaktadır.

5. Doyma özelliği [i1 (pu) phi1 (pu); i2 phi2; ...]:

Çekirdek Doygunluk Karakteristiği.

Doğrusal olmayan endüktans, transformatör çekirdeğinin doyması ile dikkate alınır. Modeldeki doğrusal olmayan karakteristik, çekirdek manyetik akısı Φ (V.c) ile mıknatıslanma akımı I_m (A) arasındaki parçalı doğrusal bir bağımlılık ile tanımlanır.

Bu durumda, Çizelge 4.1'den hareketle doğrusal olmayan çekirdek doygunluk karakteristiği üç noktayla belirtilir [0 0; 3.92 0.0028; 28 0.006].

6. Sadece çekirdek kaybı direnci ve ilk akı [R_m (pu) ϕ (pu)] veya [R_m (pu)]:
[Mıknatıslanma devresi direnci]

Bu durumda, (4.8) ifadesine göre $R_m = 0.36$ Ohm olarak seçilir. (4.12) ifadesine göre uygun olarak $C_2 = 800\mu F$ ve $C'_2 = 78\mu F$ kapasitör değerleri için modelleme sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir

Çizelge 4.5. Simülasyon sonuçları ve transformatör parametreleri

Trafo Parametreleri	Verilmiş Parametreler		Büyütülmüş Parametreler	
R_1 - primer sargı direnci (mOhm)	1,2	1,2	1,2	1,5
R_2 - Sekondersargı direnci - (Ohm)	0,58	0,58	0,58	0,75
L_1 - primer sargı saçılma endüktansı (mH)	0,02	0,02	0,02	0,048
L_2 - Sekonder sargının saçılma endüktansı (mH)	5,7	5,7	5,7	23
$L_S = (L_2 + L_1') = (L_2 + (L_1 \cdot K_{2T}))$ - trafo toplam endüktans (mH)	11	11	11	46,23
Çekirdek doygunluk özelliği (A, V.s)	[0 0; 3,92 0,00028; 28 0,006]			
R_m - mıknatıslama devresi direnci (Ohm)	0,36			
C_2 - trafo çıkışındaki filtreleme kapasitörü (μF)	800	78	240	180
$K_G(U_y)$ - Çıkış geriliminin harmonik katsayısı	5%	50%	10%	6÷ 10%

Simülasyon sonuçlarına istinaden (bak Çizelge 4.5), yük üzerindeki voltaj değeri $U_y = 220 V$ olup, sinüzoidal biçime sahiptir ve çıkış geriliminin harmonik bozulma katsayısı, akım darbesini sınırlayan ilave bobinlere(indüktöre) ihtiyaç duyulmaksızın % 10'dan daha azdır.

$L_S - C_2$ Seri rezonans devresi için(bak Şekil 4.14) modelleme sonuçlarından hareketle, doğrusal olmayan bozulma katsayısı $K_G(U_y) = 5$ (%) ve L_S üzerindeki voltaj düşüşü $U_{L_S} = 203 V$ olarak belirlenir .

$C'_2 - L'_y$ Paralel rezonans devresi (Şekil 4.15) için modelleme sonucu harmonik bozulma katsayısının belirlenen değeri $K_G(U_y) = 50$ (%) olarak bulunur. Fakat harmonik bozulma katsayısı için belirlenen bu değer ev aletlerinde kullanım için kabul edilemez bir

değerdir. Bu nedenle, harmonik bozulma katsayısını % 50'den% 10'a indirmek için, $C'_2 - L'_y$ paralel rezonans devresinin modellenmesinde C'_2 kapasitörünün değerinin $78 \mu\text{F}$ 'dan $240 \mu\text{F}$ ' da yükseltilmesi gerekmektedir.

Bu durumda, $U_{LS} = I'_k \cdot X_{LS} = 13\text{A} \cdot 3.6 \text{ Ohm} = 46 \text{ V}$

4.5.2. Transformatör Çekirdeğinin Histerezisini Dikkate Alarak PVT'nin Modellenmesi

İnvertörün parametrelerini ve enerji özelliklerini netleştirmek için PVT, çekirdek histerezisi hesaba katılarak simüle edilmelidir. Modelleme için, yukarıda hesaplanan çekirdek parametreleri $l_{CP} (m) = 0.56 \text{ m}$ ve $S_C = X^2 = 49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ alıyoruz.

Modelleme için $B = 1.2 \text{ T}$ doyma noktasını alırsak, bu noktadan başlayarak Simulink açıklamasına göre H değerini arttırırız (Çizelge 4.6).

Başlangıç değeri 28A olan ve akım için bir adım olan 0.00588 V.s'lik bir başlangıç akımı olan bir akım için

$[1 * 2 * 2 * 1.5 * 1.3]$ ve $[1 * 1.125 * 1.1 * 1.04 * 1.01]$ akışı için değerler hesaplanır.

İnvertörün parametrelerini ve enerji özelliklerini netleştirmek için PMT, çekirdek histerezisi hesaba katılarak simüle edildi. Modelleme için, yukarıda hesaplanan çekirdek parametreleri ($l_{ort} = 0.56 \text{ m}$ ve $S_c = X^2 = 49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$) dikkate alınır. Modelleme için $B = 1.2 \text{ T}$ doyma noktasını alırsak, bu noktadan başlayarak Simulink açıklamasına göre H değerini arttırırız (Çizelge 4.6).

Akım için başlangıç değeri olarak 28 A ve manyetik akı için başlangıç değeri olarak $5,88 \cdot 10^{-3} \text{ V.s}$ alınarak, manyetik akı hesaplanan değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Mıknatıslanma Karakteristiği

H (A/m)	500	1000	2000	3000	3900
B (T)	1.2	1.35	1.5	1.56	1.572
I (A)	28	56	112	168	218.4
$\Phi \cdot 10^{-3}$ (V · s)	5.88	6.62	7.35	7.64	7.7

Veri Çizelgesi 4.6, Şekil 4.6'daki PVT devresi için Matlab programındaki Powergui açıklamasına dahil edilmiştir. Matlab histerezis halkaları, Şekil 1'de verilen Çizelge 4.6'dan $H < 500A / m$ için üretilir. 4.19. Masada 4.7, burada: γ (%), transistörün döneme göre açılma süresidir. K_u , UH'nin ($U_{AP} = 14V$ 'da) UH'ye ($U_{AP} = 12V$ 'da) oranıdır.

Simülasyon sonuçları, U_{AP} voltajındaki bir değişimin, UH çıkış voltajındaki bir değişiklikle orantılı olduğunu ve bir ferroresonant stabilizatörün etkisinin oluşmadığını göstermektedir. Histerezi hesaba katan bir transformatörle ve histerezi hesaba katmadan çekirdek modelleme çalıştık. Şekil 4.19. Histerezisin dikkate alınmasıyla transformatörün mıknatıslanma ve doygunluk özellikleri PVT'lerin Şekil 4.6'da verilen şemaya göre modellenmesi sonucu elde edilen sonuçlar izelge 4.7 verilmiştir.

Çizelge 4.7. DC şoklu alçak gerilim köprü devresine göre hesaplanan bir PVT'nin modelleme sonuçları.

Simulink	EH Devre1 'Hysteresis1'							
Mıknatıslanma Karakteristiği	[0 0; 3.92 0.0028; 28 0.006] (A, V s)							
Deneyler	L_1 (mH)	C_2 (μF)	U_{AB} (V)	U_y (V)	K_g (%)	U_L (V)	K_u	γ (%)
1.	60	180	10	220,6	3,51	± 10	1,39	50
			14	207,8	3,51	± 14		
2.	100	180	10	190,8	3,18	± 13	1,39	50
			14	266,2	3,18	± 18		
3.	200	180	10	129	3,05	± 14	1,39	50
			14	180	3,05	± 20		

Histerezi dikkate alınmalıdır, çünkü akü pilinin (AP) yüksek voltaj değerlerinde çıkış voltajının harmonik katsayısı 3,2 kat azalır (Şekil 4.20).

4.6. Akü Bataryasının Şarj Modu Regülatörünün Güç Elemanlarının Hesaplanması

Bir izolasyon diyotu ve bir transistör, bataryadaki şarj voltajını sınırlar. Şekil 4.1 'de verilen devrede VD diyot üzerinden akan akım GP akımıyla belirlenmekte olup, 123 A eşit olacaktır.

Bu diyottaki voltaj, akü üzerindeki voltajı aşmaz ve transistör VT iletimde iken akünün şarj akımını sınırlandırma modunda 14 V'a ulaşır. Transistör VT üzerindeki voltaj, transistör VT kapalıyken, şarj modunda AP 14 V voltajına eşittir. Akım ve gerilimin iki marjı göz önüne alınarak, VD diyot ve VT transistörünü seçeriz. Ek 3'ten Schottky diyotları 122NQ030 (R) 'yi seçeriz.

Paralel bağlı diyot sayısını bulalım: $n_{VD} = \frac{I_{GP}}{I_{VD,br}} = \frac{123}{120} = 1,0025$ (yaklaşık $n_{VD} = 1$ olarak alalım). Bu diyotun çalışma koşullarındaki akımı $I_{VD,çalış} = 110 A$ olarak alınır. İletim durumunda diyot üzerindeki güç $\Delta P_{iletim} = U_{VD,br} \cdot I_{VD,çalış} = 0,49V \cdot 123A = 60,3 W$ olarak belirlenir. Güç kaybı dolayısıyla iletim durumunda diyot üzerinde oluşan ısı miktarı $\Delta T = R_{thCS} \cdot \Delta P_{ilet} = 0,15 \frac{^{\circ}C}{W} \cdot 53,9W = 9^{\circ}C$. Benzer şekilde diyotun kapalı durumunda diyot üzerinde oluşan ısı miktarı ise $\Delta P_{kapalı} = U_y \cdot I_{ters} = 14V \cdot 0,56A = 7,84 W$ olarak belirlenir.

Şimdi ise Ek 2'de verilen bilgilerden hareketle devrede kullanacağımız transistörün parametrelerini belirleyelim. Öncelikli olarak paralel bağlı transistör sayısını bulalım: $n_{VT} = \frac{I_{GP}}{I_{VT,allow}} = \frac{123}{195} = 0,63$. Dolayısıyla yaklaşık $n_{VT} = 1$ olarak alabiliriz. İletim durumunda, transistör üzerindeki voltaj düşüşünü hesaplayalım: $U_{VT,ilet} = I_{VT,çalış} \cdot R_{VT,ilet} = 123 A \cdot 1,5 m\Omega = 0,185 V$. İletim durumunda transistör üzerindeki güç $\Delta P_{iletim} = U_{VT,ilet} \cdot I_{VT,çalış} = 0,185V \cdot 123A = 23 W$ olarak belirlenir.

Güç kaybı dolayısıyla iletim durumunda transistör üzerinde oluşan ısı miktarı $\Delta T = R_{6CS} \cdot \Delta P_{ilet} = 0,5 \frac{^{\circ}C}{W} \cdot 23W = 11,5^{\circ}C$.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Otonom güç kaynaklı bir sistemin benzetim modelini oluşturmak için sistemi oluşturan tüm bileşenlerinin (güneş pili, akü pili, yük ve mikro denetleyici) benzetim modeli geliştirilmiş ve düşük doğrusal olmayan distorsiyon faktörü ile çok çeşitli yüklerde ve sıcaklıklarda voltaj stabilizasyonunun doğruluğunu sağlayan yüksek hızlı invertör voltaj regülatörü devresi oluşturulmuştur.

Darbe genişlikli voltaj regülasyonu ile bir invertörün sinüzoidal çıkış voltajının üretilmesi için yöntemler araştırılmış ve aşırı gerilim dalgalanmaları, trafonun geometrik boyutları ve diyot üzerinden akan sızıntı akımlarının dikkate alınmasıyla düşük veya yüksek voltaj sürümlü akü ve güneş pillerinin voltaj değerinin seçimi gerçekleştirilmiştir.

Güç trafosunun çekirdeğinin doğrusal olmayan ve histerezis özelliklerini dikkate alarak invertör transformatörünün parametreleri hesaplanmış ve simülasyonu yapılmıştır. Salınım devresindeki bobin fonksiyonlarının dikkate alınmasıyla invertör trafo yapısı incelenmiştir.

Güneş pili için, ışınım radyasyonunu ve ortam sıcaklığını dikkate alan maksimum güç ve verimlilik katsayısına sahip matematik modelinin oluşturulmuştur.

6. KAYNAKLAR

- Alatov I.M. Model of the solar cell battery]. *Informatika i sistemy upravleniya*, Krasnoyarsk, vol. 9, pp. 182–190.
- Aldo V. Da Rosa. *Fundamentals of renewable energy processes*/Aldo V. Da Rosa. –London: Elsevier Inc, 2009. – 818 c.
- Brylina O.G. Multizone controllers with various laws of pulse-width and frequency-pulse-width modulation. *Practical power electronics* No. 2 (54) / O.G. Brylina. 2014 .-- 36-40s
- Bure I.G., Bure A.B., Khevsuriani I.M., Nurmeeva D.R. Optimization of parameters of passive elements of power hybrid filters. *Practical power electronics* No. 43 / I.G. Bure, A.B. Bure, I.M. Khevsuriani, D.R. Nurmeeva. 2011.– 10-13s.
- Castrov M.Yu. One-stage step-down - step-up inverter. *Practical Power Electronics* No. (32) / M.Yu. Castres. 2008. - 4-10s
- Chudesnikov M.A. Metodika vybora parametrov fil'tra nizhnikh chastot dlya invertora. *Prakticheskaya silovaya elektronika №30*/ M.A. Chudesnikov. 2008.– 18-20s.
- Controller for solar cell batteries. Available at: <http://inventory.ru/> (accessed 25 May 2014).
- Dontsov O. A Using extreme power gover nor in autonomous systems of power supply. *Molodezh i nauka*, 2012. Available at: <http://conf.sfukras.ru/sites/mn2012/the sis/s006/s006–040.pdf> (accessed 24 May 2014).
- Energy modes of energy sources of spacecraft / textbook. - M .: Publishing House MPEI, 1991. - 92 p.(in Russian)
- Eremenko V.G., Zhirnova NB, Nyan Lynn Aung. Modelling of the system of electricity supply of the space vehicle with arsenigally solar battery. *Practical Power Electronics*, 2012, No. 1 (45). - 43 ÷ 46 s. (in Russian)
- Eremenko VG, Zhirnova NB, Nyan Lynn Aung. Result of designer the electricity system of a cottage with a sunny battery. *Practical power electronics*. No. 1 (53) / 2014 - 12 ÷ 16s. (in Russian)
- Fahrenbrugh A.L., Bube R.H. *Fundamentals of solar cells: Photovoltaic solar energy conversion*. New York, 1983.
- Fochenkov Eduard. The program for calculating winding products in pulse converters ”was published in the journal“ *Electronic Components*”, No2, 2014
- Gorsky, AN, Rusin, Yu.S., Ivanov / *Calculation of electromagnetic elements of secondary power sources: a textbook for high schools* , NR - M .: Radio and communications, 1988. - 176 p.

- Gottlieb, I.M. Power supplies. Inverters, converters, linear and pulse stabilizers / I.M. Gottlieb. - M.: Postmarket, 2000 .-- 552 p.
- Ishtiak Ahmed Karim, Abid Azad Siam, Navid Ahmed Mamun, Irin Parveen, Swaramita Saha Sharmi “Design of a solar charge controller for a 100 WP solar PV system” // Projournal of engine ering research (per). – 2013. – V. 1 (4). URL: <http://www.projournals.org/PER/1220131101>.
- Ivanchura V.I., Chubar A.V., Post S.S. The energetic models of the elements of power supply systems]. Nauchny zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologiya – Scientific journal of the Siberian Federal University, «Technique and technologies», 2012,v 5, no.2.
- Khasaev, O.I. Transistor voltage and frequency converters / O.I. Khasaev. - M .: Nauka, 1966 .-- 175 p.
- Kopylov, I.P., Klovov, B.K., Morozkin, V.P. Design of electrical machines. - M .: Energoatomizdat, 1993.- 464s.
- Kovalev Nikolay, Selection of cores for winding products of switching power supplies, Components and Technologies, 1, 2005
- Malyshkov G.M., Kryuchkov V.V., Soloviev I.N., Karzov B.N. Sine sinusoidal pulse width modulation. Practical Power Electronics No. (32) / G.M. Malyshkov, V.V. Kryuchkov, I.N. Soloviev, B.N. Karzov. 2008 .-- 11-14s. 144
- Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays [Электронный ресурс] / Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho. Brazilian Journal of Power Electronics, vol. 14, no.1, pp. 35-45, 2009 – Access mode:http://www.researchgate.net/publication/224397300_Comprehensive_Approach_to_Modeling_and_Simulation_of_Photovoltaic_Arrays
- Mikheev, G.M., Shevtsov, V.M., Ivanova, T.G. Methods for determining the leakage inductance of power transformer windings [Electronic resource] / VESTNIK OF CHUVASH UNIVERSITY Magazine, Issue No. 2 / 2009. - Access mode: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-opredeleniya-induktivnosti-rasseyaniyaobmotok-silovogo-transformat> /
- Mytsyk, Search design of power electronics devices (transformer semiconductor devices): textbook for universities Mytsyk, G.S., Berilov, A.V., Mikheev, V.V. - M .: Publishing House MPEI, 2010. - 284 p. 143
- M. Seifi, A.Bt. Che Soh, N. Izzrib. Abd. Wahab, M. Khair B. Hassan. A Compara-tive Study of PV Models in Matlab/Simulink // International Scholarly and Scientific Re-search & Innovation. №7(2). 2013. – pp. 97-102.
- Nyan Lynn Aung, Asp .; hands. V.G. Eremenko, Doctor of Technical Sciences, prof. (NRU"MEI"). The power supply system of the cottage with a solar battery. Radio Electronics, Electrical and Power Engineering: Nineteenth Int. scientific and technical conf. undergraduate and graduate students: Abstracts. doc. In 4 vol. T. 2

.: Publishing House MPEI, 2013.195 s

Nyan Lynn Aung, Asp .; hands. V.G. Eremenko, Doctor of Technical Sciences, prof. (NRU "MEI"). Solar battery and battery for an autonomous power supply system: Twenty-first international scientific and technical conference of undergraduate and graduate students: Abstracts. doc. In 4 vol. T. 2 .: Publishing house MPEI, 2015, p. 153. (in Russian)

Nyan Lynn Aung, Asp .; hands. V.G. Eremenko, Doctor of Technical Sciences, prof. (NRU "MEI"). Choosing the type of solar panel for household power supply in tropical conditions: XI International annual conference "Renewable and small energy 2014",. Moscow. UDC 785.78, BBK 45.53 A-99, p.

Nyan Lynn Aung, Asp .; hands. V.G. Eremenko, Doctor of Technical Sciences, prof. (NRU "MEI"). Solar battery voltage inverter for tropical conditions: Twentieth Intern. scientific and technical conf. students and aspirates: Abstracts. doc. In 4 t. T. 2 .: Publishing house MPEI, 2014. - 194s (in Russian) 68. (in Russian)

Nyan Lynn Aung, Asp .; hands. V.G. Eremenko, Doctor of Technical Sciences, prof. (NRU "MEI"). Modeling of the system of electrical supply of the space vehicle with arsenid-gallium solar battery:Aerospace Technologies MNTK-2014. UDC 629.78, BBK 39.53 A-99, ISBN 978-5-7038-3976-8, p. 41. Publishing house of MSTU. N.E. Bauman 2014. (in Russian)

Plekhanov S.I. The sun is life, not a battery // Chemistry and life. - 2012. - No. 8. URL: http://www.hij.ru/read/issu_es/2012/avgust/1174/ (accessed: 05.22.2014).

Popkov, O.Z. Physical foundations of electronics (lecture notes): textbook / O.Z. Popkov. - M.: Publishing House MPEI, 2009. - 100 p.

Prof. Devang Khakhar. The National Centre for photovoltaic research and Education\Jawaharlal nehru national solar mission of the government of India Devang Khakhar/NCPRE. - December 2013.:http://www.ncpre.iitb.ac.in/pages/current_activities_solar_pv_systems_modules.

Rauschenbach H. Directory on designing solar cell batteries. Transl from English. Moscow, Energoatomizdat., 1983. 360 p.

Shevtsov D.A., Manbekov D.R. Analysis of asymmetric magnetization reversal modes of the transformer core in push-pull converters with an AC choke in the primary circuit. Practical Power Electronics No. (32) / D.A. Shevtsov, D. R Manbekov. 2008 .-- 46-47s.

Shmelev V.E., Dyukov A.N. Training and research modeling of a single-phase transformer taking into account the saturation of the magnetic circuit and eddy currents in the plates [Electronic resource] / V.E.Shmelev., A.N. Dyukov. Vladimir State University, Vladimir. - 2010. - Access mode: <http://matlab.ru/upload/resources/EDU%20Conf/pp%20680-688%20Shmeliov.pdf>

S.Said, A.Massoud,M.Benammar, S.Ahmed. A Matlab/Simulink-Based Photovol-taic Array Model Employing SimPowerSystems Toolbox // Journal of Energy and Power En-

gineering 6 (2012). – pp. 1965-1975.

Rudenko V.S., Senko V.I., Chizhenko I.M / Fundamentals of transformative technology: a textbook for high schools.: - M .: Higher school, 1974. - 422 p.

Tom Markvart & Luis Castaner. Practical handbook of photovoltaics fundamentals and applications/ Tom Markvart & Luis Castaner. – Oxford: Elsevier Ltd, 2003. – 1015c.

T. Salmi, M. Bouzguenda, A. Gastli, A. Masmoundi. MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell // International Journal of Renewable energy researcg. №2.2012.– pp. 213-218.

Wurfel, P. Physics of solar cells / P.Wurfel. - Wiley-VCH, 2005.-186p



ÖZGEÇMİŞ

Emre KEKLİK 05.11.1993 yılında Zonguldak'da doğdu. Lisans eğitimini Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesinde tamamladı. 2017 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 yılından itibaren Mesan Kilit A.Ş - Essentra plc Components'de çalışmaktadır.

