KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİLİ YÜKSELTİCİ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ ANALİZİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

MUSTAFA ENGİN BAŞOĞLU

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİLİ YÜKSELTİCİ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ ANALİZİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

MUSTAFA ENGİN BAŞOĞLU

Prof. Dr. Bekir ÇAKIR
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç. Dr. Engin ÖZDEMİR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Yrd. Doç. Dr. İsmail AKSOY
Jüri Üyesi, YTÜ .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 23.01.2013

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından önemli bir konuma sahiptir. Özellikle son yıllarda kamu kuruluşları güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda ciddi adımlar atmakta ve bu hususta yönetmelikler çıkarmaktadır. Üniversitelerde ve ar-ge firmalarında güneş enerjisinden en yüksek düzeyde yararlanma konularında çalışmalar yapılmaktadır.

Güneş panellerinin, verimlerinin düşük olması ve güç üretiminin çevresel faktörlere bağlı olması sebebiyle bir güç elektroniği devresi aracılığıyla kontrol edilmesi halinde verim artışı söz konusu olacaktır.

Bu çalışmada uygulaması gerçekleştirilen DA-DA yükseltici dönüştürücüsü aracılığıyla maksimum güç noktası takibi yapılarak güneş panelinin en yüksek verimde çalıştırılması amaçlanmıştır.

Tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Bekir ÇAKIR'A, zorlu süreçte teknik ve manevi desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Abdulvehhap KAZDALOĞLU'na ve Arş. Gör. Nasır ÇORUH'a ve Arş. Gör. İbrahim Gürsu TEKDEMİR'e teşekkür ederim. Ayrıca her konuda yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen kıymetli babam Turan BAŞOĞLU'na, annem Hanım BAŞOĞLU'na, meslektaşım ablam Serap BAŞOĞLU'na ve varlıklarından kuvvet aldığım tüm dostlarıma ve en kıymetlime teşekkür ederim.

Ocak - 2013 Mustafa Engin BAŞOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR viii
ÖZET xi
ABSTRACT xii
GİRİŞ 1
1. GÜNEŞ ENERJİSİ 7
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünyadaki Durumu 8
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'deki Durumu 9
1.3. Güneş Işınımı 11
1.4 Fotovoltaik Etki 12
1.5. Güneş Hücresi Çeşitleri 12
1.5.1. Monokristal güneş hücresi 12
1.5.2. Polikristal güneş hücresi 13
1.5.3. Galyum Arsenit güneş hücresi 13
1.5.4. İnce film malzemeler 14
1.5.5. Amorf Silisyum güneş hücresi 14
1.5.6. Kadmiyum-Tellür güneş hücresi 15
1.5.7. Bakır İndiyum Diseleneid güneş hücresi 15
1.6. Güneş Pili Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli 16
1.6.1. Tek diyotlu güneş hücresi modeli 16
1.6.2. Çift diyotlu güneş hücresi modeli 19
1.6.3. Güneş Paneli Modeli 19
1.7. Güneş Paneli Akım, Gerilim ve Güç Karakteristik Eğrileri 20
1.7.1. Standart test koşullarında I-V ve P-V değişimi 20
1.7.2. Farklı güneş ışınımlarında I-V ve P-V değişimi 21
1.7.3. Farklı hücre çalışma sıcaklıklarında I-V ve P-V değişimi 22
2. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME YÖNTEMLERİ 24
2.1. Mekanik Takip 25
2.2. Elektronik Takip 25
2.2.1. Sabit gerilim yöntemi 26
2.2.2. Kısa devre akımı yöntemi 27
2.2.3. Açık devre gerilimi yöntemi 27
2.2.4. Değiştir Gözle Yöntemi 28
2.2.5. Artan iletkenlik yöntemi 30
3. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER 32
3.1. Endüktanslı ve İzolesiz DA-DA Dönüştürücüler 33
3.1.1. Düşürücü DA-DA dönüştürücüler 33
3.1.2. Yükseltici DA-DA dönüştürücü 36
3.1.3. Düşürücü-Yükseltici DA-DA dönüştürücü 39
3.1.4. Cuk tipi DA-DA dönüştürücü 42

3.2. Endüktanslı ve İzoleli DA-DA Dönüştürücüler 43
3.2.1. İleri yönlü DA-DA dönüştürücüler 43
3.2.2. Geri dönüşlü DA-DA dönüştürücüler 45
4. YÜKSELTİCİ (BOOST) DEVRE TASARIMI 47
4.1. Devre Tasarım Kriterleri 47
4.2. Bobin Nüve Seçimi ve Hesaplamalar 49
4.3. Kontrol Devresi 52
4.4. Yarı İletken Anahtar Seçimi ve Sürücü Devresi 53
4.5. Diyot Seçimi 55
4.6. Besleme Devreleri 56
4.7. Gerilim ve Akım Ölçümü 56
5. SİMÜLASYON VE UYGULAMA DEVRESİ SONUÇLARI 58
5.1. Simülasyon Sonuçları 58
5.2. Uygulama Devreleri ve Sonuçları 60
5.2.1. Uygulama sonuçları-1 (R_Y = 38Ω) 61
5.2.2. Uygulama sonuçları-2 (R_Y = 52Ω) 63
5.2.3. Uygulama sonuçları-3 (R_Y = 38Ω) 65
5.2.4. Uygulama sonuçları-4 (R_Y = 52Ω) 67
5.3. Yükseltici Dönüştürücünün MGNİ Algoritmalı Olarak Çalıştırılması 70
5.3.1. R_Y=38Ω yük durumu 71
5.3.2. R_Y=52Ω yük durumu 73
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 76
KAYNAKLAR 77
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 81
ÖZGEÇMİŞ 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Enerji kaynakları açısından dünyada enerji üretim öngörüsü 8
Şekil 1.2. Enerji kaynakları açısından dünyada enerji kullanımı 9
Şekil 1.3. Türkiye'nin toplam enerji tüketiminde 2012 yılına göre enerji kaynaklarının payları 9
Şekil 1.4. Güneş ışınımı çeşitleri 11
Şekil 1.5. Güneş hücresi a) Monokristal b) Polikristal 13
Şekil 1.6. Galyum Arsenit güneş hücresi 14
Şekil 1.7. Amorf Silisyum güneş hücresi 14
Şekil 1.8. Kadmiyum-Tellür güneş hücresi 15
Şekil 1.9. Bakır İndiyum Diselenid güneş hücresi 15
Şekil 1.10. Monokristal güneş hücresi elektriksel eşdeğer devresi 16
Şekil 1.11. Güneş hücresi kısa devre akımı ölçüm devresi 17
Şekil 1.12. Güneş hücresi akım gerilim (I-V) grafiği 18
Şekil 1.13. Çift diyotlu güneş hücresi eş değer devresi 19
Şekil 1.14. Güneş paneli I-V ve P-V grafiği 21
Şekil 1.15. Farklı ışınım değerleri için I-V ve P-V grafiği 22
Şekil 1.16. Farklı çalışma sıcaklıklarında I-V grafiği 23
Şekil 1.17. Farklı çalışma sıcaklıklarında P-V grafiği 23
Şekil 2.1. Güneş takip sistemi 25
Şekil 2.2 Sabit gerilim yöntemi akış diyagramı 26
Şekil 2.3. Kısa devre akımı yöntemi akış diyagramı 27
Şekil 2.4. Açık devre gerilimi yöntemi akış diyagramı 28
Şekil 2.5. Değiştir gözle algoritması 29
Şekil 2.6. Değiştir gözle yöntemi bulutlanma durumu için açıklama 30
Şekil 2.7. Artan iletkenlik algoritması 30
Şekil 2.8. Artan iletkenlik algoritması çalışma ilkesi 31
Şekil 3.1. Düşürücü dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu 33
Şekil 3.2. Düşürücü dönüştürücü bobin akımı ve çıkış gerilimi değişimi 34
Şekil 3.3. Yükseltici dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu 37
Şekil 3.4. Yükseltici dönüştürücü bobin akımı, gerilimi ve kondansatör gerilim değişimleri 39
Şekil 3.5. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu 40
Şekil 3.6. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü devresi bazı büyüklüklerin değişimi 41
Şekil 3.7. Cuk dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu 42
Şekil 3.8. Cuk dönüştürücü giriş kondansatörü akım ve gerilimi, yarı iletken anahtar gerilimi değişimi 43
Şekil 3.9. İleri yönlü dönüştürücü devresi 44

Şekil 3.10. İleri yönlü DA-DA dönüştürücü devresi bobin akımı, gerilimi ve çıkış gerilimi değişimleri 44
Şekil 3.11. Geri dönüşlü DA-DA dönüştürücü devresi 45
Şekil 3.12. Geri dönüşlü DA-DA ayarlayıcı devresi bobin akımı, gerilimi ve çıkış gerilim değişimi 46
Şekil 4.1. DA-DA yükseltici dönüştürücü devresi 47
Şekil 4.2. E tipi nüve için önemli kesitler 50
Şekil 4.3. Tasarlanan bobin resmi 52
Şekil 4.4. Kontrol devresi 53
Şekil 4.5. Yarı iletken anahtar anahtarlama kaybı resmi 54
Şekil 4.6. Yarı iletken kapı sürme devresi 55
Şekil 4.7. Diyot anahtarlama grafiği 55
Şekil 4.8. ±5V DA besleme devresi 56
Şekil 4.9. +15V DA besleme devresi 56
Şekil 4.10. Gerilim bölücü devreleri 57
Şekil 4.11. Tampon devre 57
Şekil 5.1. Simulink ekran görüntüsü 58
Şekil 5.2. Bobin akımı 59
Şekil 5.3. Çıkış gerilimi 59
Şekil 5.4. Yarı iletken drain-source gerilimi 59
Şekil 5.5. Yarı iletken drain akımı 60
Şekil 5.6. Yükseltici dönüştürücü devresi 60
Şekil 5.7. Kontrol devresi (mikrodenetleyici, MOSFET Sürme ve tampon devresi) 61
Şekil 5.8. Besleme devresi 61
Şekil 5.9. Uygulanan kontrol algoritması (Açık Çevrim) 62
Şekil 5.10. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi – 1 (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:100mV CH2 - Volt/div: 5V) 62
Şekil 5.11. Drain – Source gerilimi ve drain akımı – 1 (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 63
Şekil 5.12. Bobin akımı ve doluluk boşluk oranı (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 63
Şekil 5.13. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi – 2 (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 5V) 64
Şekil 5.14. Bobin akımı – doluluk boşluk oranı (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 64
Şekil 5.15. Drain-source gerilimi ve drain akımı – 2 (Time/div: 25µs, CH1 -Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 64
Şekil 5.16. Uygulanan açık çevrim kontrol 65
Şekil 5.17. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi – 3 (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 65
Şekil 5.18. Bobin akımı ve doluluk boşluk oranı – 3 (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 66
Şekil 5.19. Drain – Source gerilimi ve drain akımı – 3 (Time/div: 10µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 66
Şekil 5.20. R=38Ω için Çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve bobin akımı değişimi 67
Şekil 5.21. R=38Ω Giriş gerilimi & verim grafiği 67

Şekil 5.22. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi – 4 (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 5V) 68
Şekil 5.23. Bobin akımı ve doluluk boşluk oranı – 4 (Time/div: 25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 68
Şekil 5.24. Drain – Source gerilimi ve drain akımı – 4(Time/div: 10µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V) 68
Şekil 5.25. R=52Ω için Çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve bobin akımı değişimi 69
Şekil 5.26. R=52Ω Giriş gerilimi & verim grafiği 69
Şekil 5.27. Uygulanan MGNİ algoritması 70
Şekil 5.28. Test devresi 71
Şekil 5.29. MGNİ denetimli devre 71
Şekil 5.30. R=38Ω durumu için giriş büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma 72
Şekil 5.31. R=38Ω durumu için çıkış büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma 72
Şekil 5.32. R=38Ω durumu için giriş büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma 73
Şekil 5.33. R=38Ω durumu için çıkış büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma 73
Şekil 5.34. R=52Ω durumu için giriş büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma 74
Şekil 5.35. R=52Ω durumu için çıkış büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma 74
Şekil 5.36. R=52Ω durumu için giriş büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma 75
Şekil 5.37. R=52Ω durumu için çıkış büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma 75

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı…….....11
Tablo 4.1. Tasarlanan devrenin parametreleri…….....48
Tablo 4.2. Tasarlanan bobin parametreleri……...51
Tablo 5.1. Simülasyon parametreleri……..…….....58

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

A	:	Diyot kalite faktörü
A_1	:	Çift diyotlu güneş hücresi modeli 1. Diyot kalite faktörü
A_2	:	Çift diyotlu güneş hücresi modeli 2. Diyot kalite faktörü
A_C	:	Nüve kesit alanı, (cm^2)
A_P	:	Nüve kesit alanı ile nüve pencere alanı çarpımı, (cm^4)
$A_{W(B)}$	:	Tel kesiti, (mm^2)
α	:	İzoleli dönüştürücü primer sekonder sarım oranı
B_m	:	Manyetik akı yoğunluğu, (T)
c	:	Bobin akımı yüzdesel dalgalılık miktarı, (%)
C	:	Kondansatör, (μF)
C_1	:	Güneş ışınımına bağlı sabit
D	:	Doluluk boşluk oranı
f_P	:	Anahtarlama frekansı, (Hertz)
F	:	Kaçak akı, (mT)
G	:	Nüve pencere uzunluğu, (cm)
I_C	:	Kondansatör akımı, (A)
I_d	:	Diyot akımı, (A)
I_D	:	Yarı iletken drain akımı, (A)
I_g	:	Dönüştürücü giriş akımı, (A)
I_L	:	Bobin akımı, (A)
I_{mpp}	:	Güneş paneli maksimum güç noktası akımı, (A)
I_o	:	Dönüştürücü yük akımı, (A)
I_P	:	Güneş hücresi paralel direnç akımı, (A)
I_{PV}	:	Güneş paneli akımı, (A)
I_{PH}	:	Işınım akımı, (A)
I_{gmax}	:	Dönüştürücü girişi tepe akımı, (A)
I_S	:	Doyma akımı, (A)
I_{SC}	:	Güneş paneli kısa devre akımı, (A)
J	:	Nüve akım yoğunluğu, (A/cm^2)
k	:	Boltzmann sabiti, (J/K°)
k_1	:	Kısa devre akımı katsayısı
k_2	:	Açık devre gerilimi katsayısı
K_e	:	Nüve elektriksel sabit
K_g	:	Nüve geometrik faktörü, (cm^5)
K_I	:	Sıcaklığa bağlı akım faktörü, (mA/C°)
K_V	:	Sıcaklığa bağlı gerilim faktörü, (mV/C°)
K_u	:	Nüve yararlanma faktörü
L	:	Endüktans, (mH)
l_g	:	Hava aralığı, (mm)
m	:	Bobin verimi, (%)
N_M	:	Mıknatıslanma sarım sayısı, (adet)

N_{1b}	:	Bobin sarım sayısı 1. hesap, (adet)
N_{2b}	:	Bobin sarım sayısı 2. hesap, (adet)
N_P	:	İzoleli dönüştürücü primer sarım sayısı, (adet)
N_S	:	İzoleli dönüştürücü sekonder sarım sayısı, (adet)
P	:	Güneş paneli gücü, (W)
P_i	:	Dönüştürücü girişi gücü, (W)
P_K	:	Yarı iletken iletim kayıp gücü (W)
P_o	:	Dönüştürücü çıkış gücü, (W)
$P_{SW(on)}$	:	Yarı iletken anahtar iletime giriş kayıp gücü, (W)
$P_{SW(off)}$	:	Yarı iletken anahtar kesime giriş kayıp gücü, (W)
q	:	Elektron yükü, (C)
Q_{MEV}	:	Mevcut güneş ışınımı, (W/m^2)
Q_{REF}	:	Referans güneş ışınımı, (W/m^2)
R_{DS}	:	Yarı iletken iletim direnci, (Ω)
R_s	:	Güneş paneli seri direnci, (Ω)
R_p	:	Güneş paneli paralel direnç, (Ω)
R_Y	:	Dönüştürücü yük direnci, (Ω)
S_1	:	Sarım alanının etkin nüve pencere alanına oranı
S_2	:	Etkin nüve alanının, nüve toplam alanına oranı
t_a	:	Diyot akımının sıfıra düştüğü andan, negatif bölgede maksimum değerine ulaşana kadar geçen süre, (ns)
t_b	:	Diyot akımının negatifte maksimum yaptığı değerden sıfıra inene kadar geçen süre, (ns)
t_D	:	Yarı iletken iletim süresi, (μs)
t_P	:	Yarı iletken anahtarlama periyodu, (μs)
t_r	:	Yarı iletken yükselme süresi, (ns)
t_f	:	Yarı iletken düşme süresi, (ns)
t_{rr}	:	Diyot ters toparlanma süresi, (ns)
T_C	:	Güneş paneli çalışma sıcaklığı, (°C)
T_{REF}	:	Referans sıcaklık, (°C)
V_C	:	Kondansatör gerilimi, (V)
V_D	:	Diyot gerilimi, (V)
V_{DS}	:	Yarı iletken drain-source gerilimi, (V)
V_g	:	Dönüştürücü giriş gerilimi, (V)
V_{gmin}	:	Dönüştürücü minimum giriş gerilimi, (V)
V_{mpp}	:	Güneş paneli maksimum güç noktası gerilimi, (V)
V_{OC}	:	Açık devre gerilimi, (V)
$V_{OC,mev}$	:	Mevcut çevresel şartlarda açık devre gerilimi, (V)
$V_{OC,ref}$	:	Referans açık devre gerilimi, (V)
V_{PV}	:	Güneş paneli uç gerilimi, (V)
W_A	:	Kullanılabilir nüve pencere alanı, (cm^2)
$W_{A(eff)}$	:	Etkin nüve pencere alanı, (cm^2)
W_L	:	Bobinde biriken enerji, (Ws)
ΔI_L	:	Bobin akımı değişimi, (A)
ΔI_{Lp}	:	Bobin akımı pozitif yönde dalgalılık (A)
ΔI_{Ln}	:	Bobin akımı negatif yönde dalgalılık, (A)
ΔV_C	:	Kondansatör gerilim dalgalılığı, (V)
η	:	Dönüştürücü verimi, (%)

Kısaltmalar

AA	:	Alternatif Akım
DA	:	Doğru Akım
DGM	:	Darbe Genişlik Modülasyonu
DME	:	Devlet Meteoroloji Enstitüsü
EMI	:	Electro Magnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
ETKB	:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GaAs	:	Galyum Arsenit
MKE	:	Makine Kimya Endüstrisi
MGN	:	Maksimum Güç Noktası
MGNİ	:	Maksimum Güç Noktası İzleme
MGİD	:	Maksimum Güç İzleyicili Dönüştürücü
MPPT	:	Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası İzleme)
NREL	:	National Renewable Energy Laboratory (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Labaratuarı)
TEİAŞ	:	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
UGET -TB	:	International Solar Energy Society Turkey Branch (Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi)
YGEM	:	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİLİ YÜKSELTİCİ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ ANALİZİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda yaygınlaşan önemli bir konudur. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için güneş panelleri kullanılmaktadır. Mevcut teknolojiyi göz önünde bulundurduğumuzda güneş panellerinin verimi oldukça düşüktür. Mevcut panel teknolojisinden daha fazla verim elde etmek amacıyla mekanik ve elektronik bazlı yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada elektronik bazlı yöntemler incelenmiş ve bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda yükseltici DA-DA dönüştürücüsü tasarımı ve bu dönüştürücü türünün maksimum güç noktası izleme (MGNİ) algoritması ile çalıştırılması amaçlanmıştır. Uygulama devresi ilk olarak 60W'lık klasik DA-DA dönüştürücü olarak çalıştırılmış ve çıkış gerilimi, bobin akımı ve verim gibi parametreler gözlenmiştir. Daha sonra, gerçekleştirilen dönüştürücü değiştir gözle algoritması ile ve hiçbir kontrol algoritması olmadan çalıştırılmıştır. Son olarak MGNİ algoritmalı uygulama, farklı güneş ışınım seviyeleri için denenmiş ve güç artışı ile ilgili sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DA-DA Dönüştürücüler, Güneş Enerjisi, Güneş Paneli, MGNİ, Yükseltici Dönüştürücü

ANALYZE AND IMPLEMENTATION OF A DC-DC BOOST CONVERTER WHICH IS USED IN SOLAR ENERGY SYSTEMS WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING

ABSTRACT

Generation of electricity from solar energy is a widespread and important topic in our country. Solar panels are used for generation of electricity from solar energy. If the current solar cell technology is considered, solar panels have low efficiency. In order to get more electrical power from solar panels, some methods based on electonics and mechanical are developed. In this thesis methods are investigated which are based on electronic. In this context, design of a DC-DC boost converter and implementation of it with maximum power point tracking (MPPT) algorithm are intended. Application circuit is firstly implemented for power of 60W and output voltage, inductor current and the efficiency are observed. After that the implemented converter is operated when it is controlled with perturbation&observation algorithm and without using any control algorithm. Finally, an application of MPPT algorithm is operated for different solar radiation levels and the results related with power increase are presented.

Key words: DC-DC Converters, Solar Energy, Solar Module, MPPT, Boost Converter.

GİRİŞ

Günümüzde fosil kaynakların hızla tükenmekte olması, enerjinin sürekliliği, güvenliği ve kalitesi gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sebeple araştırmacılar ve uzmanlar, alternatif enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Fosil kökenli enerji kaynakları yerini alternatif, ham maddesi sınırsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır.

En yaygın yenilenebilir enerji kaynakları, güneş ve rüzgâr enerjisi olup, bunların ham maddesi ise güneş ışınımı ve rüzgâr hızıdır. Ülkemiz gerek güneş ışınımı bakımından gerekse de rüzgâr hızı bakımından önemli bir coğrafi konuma sahiptir. Ülkemize ait güneş enerjisi potansiyeli ele alındığında, yıllık ışınım 1,311kWh/m^2 olup bu değer 3,6kWh/m^2.gün' lük bir enerjiye tekabül etmektedir [1].

Rüzgâr enerjisi potansiyeli ele alındığında, Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir [2]. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası incelendiğinde özellikle Marmara'nın güneyi ve Ege bölgesi rüzgâr santrali kurulabilecek özelliklere sahip olduğunu görmekteyiz.

Ülkemizde güneş enerjisi hem sıcak su ihtiyacının karşılanmasında hem de evlerin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere kullanılmaktadır. Sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş kollektörü, elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla ise güneş panelleri kullanılmaktadır. Güneş panellerinden elektrik üretimi ise genellikle konutlarda ferdi olarak tercih edilmektedir.

Ülkemizde son yıllarda güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda ciddi çalışmalar yapılmakta, bu konuyla ilgili yönetmelikler çıkarılmakta ve üretime yönelik teşvik paketleri açıklanmaktadır. 10 Mart 2012 tarihinde Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından çıkarılan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ' de; kurulu

gücü azami 500 kW olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde üretim yapacak gerçek veya tüzel kişiler lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulmuştur [3].

Fotovoltaik sistemler gerek DA kullanımda DA-DA dönüştürücü devresine, gerekse de AA uygulamalarında evirici gibi güç elektroniği devrelerine ihtiyaç duymaktadır. Fotovoltaik paneller, yapısı gereği lineer olmayan DA güç kaynakları olup, gücünü üzerine düşen güneş ışınlarından üretmektedir. Konut uygulamalarında fotovoltaik paneller tarafından üretilen enerji, bir akü şarj kontrol devresi veya maksimum güç noktası izleyicili bir DA-DA dönüştürücü devresi üzerinden akülere aktarılır. Oluşturulan DA bara ise tam sinus evirici ile 220V AA 50Hz seviyesine dönüştürülerek ev içi elektrik ihtiyacı karşılanabilir. Bu tip uygulamalarda enerjiyi ulusal şebekeye de aktarmak mümkündür. Bunun için çift yönlü sayaçlar kullanılmakta olup, üretilen enerjinin fazlası şebekeye aktarılırken, akü kullanımına gerek kalmaz ve sistemin kurulum maliyeti azaltılabilir.

Fotovoltaik sistemlerin en önemli elemanı güneş panelidir. Piyasadaki güneş panellerinin verimlerine bakıldığında %15-17 civarında olduğu görülmektedir. Bunun anlamı 1 m^2'lik alana 1000W enerji üretebilecek güneş ışınları düşmekte ve bunun sadece 150-170W'ı elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Ayrıca ülkemiz için günlük güneşlenme saatinin ortalama 7,5 saat/gün olduğu düşünüldüğünde, elde edilen enerji yüksek bir verimde kullanılmalıdır. Fotovoltaik panellerin elektriksel performansı, güneş ışınımı ve çevresel sıcaklıktaki değişimlerden etkilenir ve bunun sonucunda çıkış gücünde dalgalanmalar meydana gelir. Üretilen güçteki dalgalanmaları engellemek için maksimum güç noktası izleyici (MGNİ) algoritmalı DA-DA dönüştürücüler fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında çalışmalarını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Petit P., Zgaoui A., Sawicki J. P., Aillerie M. ve Charles J. P. 2000 yılında yaptıkları çalışmada, yüksek verimli bir yükseltici doğru akım ayarlayıcısı önermişlerdir. Çalışmada 10 – 40V aralığındaki DA gerilim 300V DA gerilime çevirmişler ve % 96 verim edilmiştir. Önerilen PV sistem ayrı ayrı DA-DA

dönüştürücüsü üzerinden DA baraya bağlanmış ve paneller arası dengesiz akımlardan (kısmi gölgelenme durumunda vs.) dolayı oluşabilecek olumsuz durumlar ortadan kaldırılmış ve yüksek verim sağlanmıştır [4].

Quan Li tarafından 2002 yılında yapılan yüksek lisans çalışmasında, şebeke etkileşimli, yarım köprü DA-DA dönüştürücünün zorlamalı anahtarlama ve yumuşak anahtarlama durumlarında, farklı anahtarlama frekanslarında analizi yapılmıştır. 17,6V DA gerilim, 340 – 360V DA gerilim seviyesine dönüştürülmüştür. Şebeke etkileşimi kısmında, merkezi eviricili (PV sistem tek bir evirici üzerinden şebekeye bağlanmış) sistem ile her panelin kendine ait bir dönüştürücü üzerinden şebekeye bağlanması durumları karşılaştırılmıştır [5].

L.Santos J., Antunes F., Chehab A., Cruz C. 2006 yılında yaptıkları çalışmada, Değiştir-Gözle algoritmasını 80C51 mikrodenetleyicisi ile yükseltici dönüştürücüye uygulamışlardır. Güneş ışınımı pyranometre (ışınım ölçer) cihazı ile sürekli ölçülerek, algoritmanın giriş parametrelerinden birini oluşturmuştur. Deneysel çalışmada PV sistem maksimum güç izleyicili dönüştürücü (MGİD) üzerinden ve doğrudan yüke bağlanmıştır. MGİD'li sistemin % 45 daha verimli olduğu gözlenmiştir [6].

Tafticht T., Agbossou K., Doumbia M. L., Cheriti A., 2008 yılında yayımladıkları makalede, güneş paneli açık devre geriliminin ölçümüne dayalı maksimum güç noktası algoritmasını düşürücü dönüştürücüye uygulayıp, klasik değiştir gözle algoritmasına göre %17 daha verimli olduğunu ifade etmişlerdir. Önerilen algoritma PIC18F452 mikrodenetleyicisi kullanılarak düşürücü DA-DA dönüştürücüye uygulanmıştır [7].

Lee J. P., Min B. D., Kim T. J., Yoo D. W. ve Lee B. K. ,2007 yılında izoleli ve izolesiz dönüştürücü yapılarını incelemişlerdir. İzolesiz dönüştürücülerde trafo kullanılmadığından izoleli dönüştürücülere göre daha verimli olduğunu belirtmişler ve birbirine seri bağlı 4 adet 5kW 'lık izolesiz tam köprü dönüştürücü uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Uygulamada geniş PV gerilim aralığını (400-650V DA) 200V DA 'ya 30 kHz anahtarlama frekansında dönüştürmüşler ve geniş yük aralığında % 92 dönüştürücü verimine ulaşmışlardır [8].

Özdemir'in 2007 yılında tamamladığı doktora çalışmasında faz kaydırmalı sıralı artıran dönüştürücü topolojisi maksimum güç noktası izleyicili (MGNİ) algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan devre, DA Baraya bağlı ve mikrodenetleyici tarafından denetlenen ikinci bir bağımsız anahtar kullanılarak istenilen akımda akü grubunu şarj edebilecek özelliktedir [9].

Demirtaş M., Sefa İ., Irmak E. Ve Çolak İ., tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, mikrodenetleyici tabanlı, giriş akım ve gerilim sürekli okunarak, çıkıştaki gücün sürekli en yüksek seviyede tutulması amaçlanmıştır. MGNİ algoritması yükselten dönüştürücüye uygulanmış ve IEC 61204 standartlarına uygun % 0,4 çıkış gerilim dalgalılığında (%1'in altında olmalı) % 92 verimli bir dönüştürücü gerçekleştirilmiştir [10].

Masri S. ve Chan P.W'ın 2010 yılında yaptıkları çalışmada, 100 watt gücünde bir güneş panelini giriş olarak kullanıp, yükseltici dönüştürücü topolojisi kullanarak 24V DA gerilimine dönüştürmüştür. Dönüştürücüde kullanılan yarı iletken elemanın anahtarlaması PIC16F876 tarafından 20 kHz değerindeki PWM sinyali ile yapılıp, dönüştürücü çıkış gerilimi sürekli ölçülerek, referans değerde kalması sağlanmıştır [11].

Siwakoti, Prasad Y., Chhetri B. B., Adhikary B. ve Bista D.'nın 2010 yılında yaptıkları çalışmada, fotovoltaik panellerin veriminin çok düşük olması ve bu yüzden fotovoltaik sistemlerde en yüksek gücün eldesinin bir çok araştırmacının ilgisini çeken bir konu olduğunu belirtmişlerdir. Artımsal iletkenlik yöntemi kullanılarak, ani çevresel değişimlerde MGN' yi izleyen bir yükseltici dönüştürücünün Matlab'da simulasyonu yapılmış 31 kHz çalışma frekansında uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonucunda farklı güneş ışınımı ve hücre sıcaklıklarında bile % 92 verime ulaşabilen bir dönüştürücü elde edilmiştir [12].

Yaden M. F., Kassmi Ka., Ouariachi M. El., Tidhaf B., Mrabti T., Chadli El. ve Kassmi K. 2010 yılında yaptıkları çalışmada, fotovoltaik sistemlerde ani hava değişimlerde maksimum gücün üretilebilmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır. Güneş panelinin I-V karakteristiği ölçümler sonucu çıkarılmıştır. Güneş ışınımı $300W/m^2$' den $1000W/m^2$'ye değiştirildiğinde kısa devre akımında doğrusal lineer bir değişim gözlenirken, açık devre geriliminde ise logaritmik %14'lük bir

değişim gözlenmiştir. Geliştirilen algoritma mikrodenetleyici tabanlı bir yükseltici DA-DA dönüştürücüye uygulanmış ve % 90 civarında verim elde edilmiştir [13].

Du Y. ve Lu D. C. 2011 yılında yaptıkları çalışmada yeni bir MGNİ algoritmalı yükseltici DA-DA dönüştürücü topolojisi önerilmiştir. Önerilen topolojide, girişteki PV panele ek olarak paralel bir batarya ilavesi söz konusudur. Bu batarya sayesinde MGNİ'li dönüştürücü PV giriş gücünden ve yükteki değişimlerden etkilenmemiştir. Klasik yükseltici dönüştürücü ile bataryalı yükseltici dönüştürücü karşılaştırılmış ve düşük ışınımlarda klasik dönüştücünün veriminin çok düşük kaldığı ve maksimum güç noktasını tam olarak izleyemediği, bataryalı topolojide ise düşük ya da yüksek ışınım değerlerinde MGN' yi takip edebilmiş ve daha verimli olduğu tespit edilmiştir [14].

Yongchang Y. ve Chuanan Y. 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Değiştir-Gözle algoritması ile artımsal iletkenlik algoritması karşılaştırılmış ve değiştir gözle algoritmasının, maksimum güç noktasında ciddi salınım yaptığı ve artımsal iletkenlik algoritmasına göre daha yüksek kayıpların meydana geldiği tespit edilmiştir [15].

Bu çalışmada 20 kHz anahtarlama frekansında 60W gücünde bir yükseltici DA-DA dönüştürücü uygulaması gerçekleştirilmiş ve fotovoltaik sistemlerde uygulanan değiştir gözle yöntemi ile maksimum güç noktası takibi yapılarak %12 ile %32 arasında güç artışı sağlanarak sistemin daha verimli çalışması sağlanmıştır.

Çalışmanın birinci kısmında, ülkemizde kamu kuruluşlarının güneş enerjisiyle ilgili yaptıkları düzenlemeler, ülkemizin güneş ışınımı açısından potansiyeli yüksek bir konuma sahip olduğu gibi konulara değinilmiş ve güneş hücresi çeşitleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Ayrıca güneş hücresinin elektriksel eş değer devresi modellenmiştir. Güneş hücresinin çevresel şartlara bağlı bir güç kaynağı olduğu belirtilmiş ve güneş ışınımı, sıcaklık gibi parametrelerin güç üretimine etkisi incelenmiştir.

İkinci kısımda, güneş enerjisinden en yüksek oranda faydalanma konusunun önemi belirtilerek, bu kapsamda literatürde var olan maksimum güç noktası izleme yöntemleri ve algoritmaları incelenmiştir.

Üçüncü kısımda, DA-DA dönüştürücüler ile ilgili genel bilgiler kısaca kontrol yöntemine değinilmiş olup, izoleli ve izolesiz olmak üzere iki grupta incelenmiş ve en sık kullanılan dönüştürücü türlerinin matematiksel formülleri ve dönüştürücülere ait temel dalga şekilleri verilmiştir.

Dördüncü kısımda ise uygulama devresi gerçekleştirilen yükseltici DA-DA dönüştürücünün tasarım öncesi yapılan kabullere değinilerek, adım adım yükseltici dönüştürücü nasıl yapılır, devrede kullanılan elemanlar nasıl seçilir gibi soruların cevabı niteliğinde bilgiler verilmiş olup ve uygulama devresine ait devrelerin resimleri verilmiştir.

Beşinci kısımda uygulama devresine ait MATLAB/SIMULINK'te yapılan benzetim sonuçlarına yer verilmiş ve devrenin çeşitli yük durumlarında çıkış gerilimi, bobin akımı, drain – source gerilimi ve drain akımı gibi temel büyüklüklerin grafikleri verilmiştir. Ayrıca iki yük durumu için de devrenin verim analizi yapılmıştır. Daha sonra uygulama devresi değiştir gözle algoritması kullanılarak MGNİ algoritmalı DA-DA dönüştürücü olarak çalıştırılmıştır. İki farklı yük durumu için ve güneş ışınımı değişimlerinde sistemin maksimum güç noktasını yakaladığı gözlenmiş ve devrenin girişinde ve çıkışındaki akım, gerilim ve güç değişimlerinden güç artış oranı yüzdesel olarak tespit edilmiştir.

1. GÜNEŞ ENERJİSİ

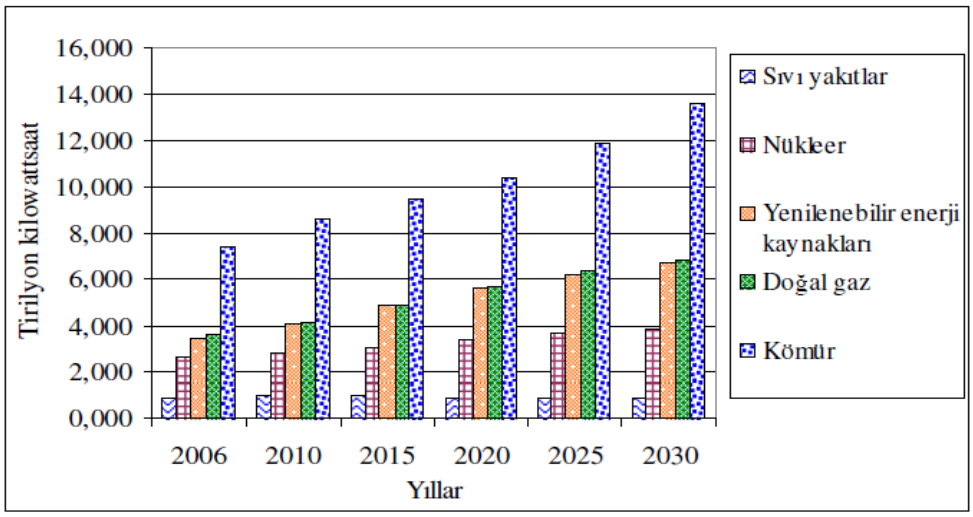
Güneş enerjisi, zirai ürünlerin kurutulması, soğuk mevsimlerde mahal ısıtılması, evlerde havalandırma amacıyla ve tüm dünyada bilhassa gelişmiş ülkelerdeki yaygın uygulamaları ile kullanılmaktadır. Ülkemizde 1960'ların başlarında güneş enerjisi ilk defa alternatif enerji kaynağı olarak anlaşılmış ve bu konuda çalışmalar başlamıştır [16].

1970'lerin ortalarında, dünyadaki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de bilhassa güneş enerjisinin ısıl uygulamaları konusu, üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmış ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir.

Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi (International Solar Energy Society Turkey Branch UGET-TB) 1992 yılından itibaren ülkemiz yetkilileri izniyle aktif olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Devlet Meteoroloji Enstitüsü (DME) geçen yüzyılın başından itibaren gittikçe artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmaktadır. Diğer taraftan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE, yeni adıyla Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü-YGEM) de güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, yoğuşturan toplayıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmalara imkân sağlamaktadır. Bu kuruluş 1982 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının ve özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin geliştirilmesinden sorumludur. Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha ziyâde araştırma ve geliştirme ve projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber son yıllarda kaynakların tespiti ve potansiyel tayini ağırlık kazanmıştır. Makina ve Kimya Enstitüsü (MKE) kurumu ise düzlemsel ve silindirik parabolik toplayıcıların üretimi, testleri ve pazarlanmasına yönelik çalışmaları kısa sürelerle gerçekleştirmiştir [16].

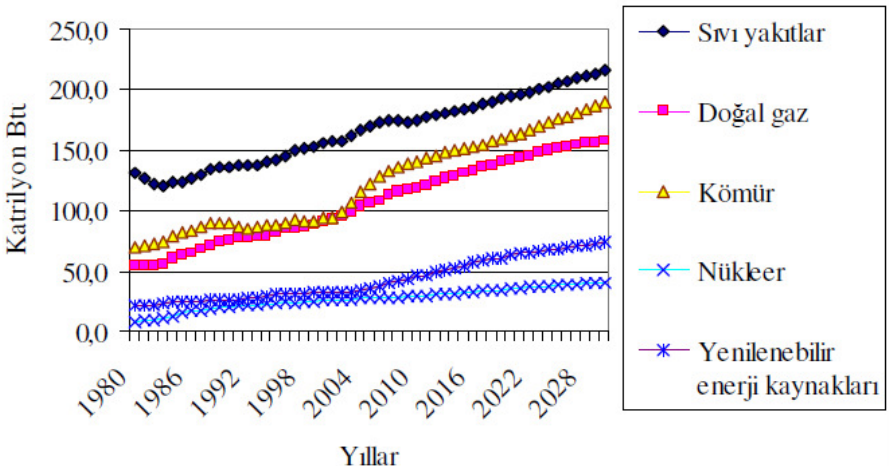
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünyadaki Durumu

2009 yılında yayınlanan bir rapora göre, tüm enerji kaynaklarının kullanım miktarının önümüzdeki yıllarda da artış göstereceği belirtilmiştir. Dünyanın en hızlı büyüyen enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketimindeki artış ise yıllık %3 oranında olacaktır. Petrol fiyatlarındaki değişimin yanında, fosil esaslı yakıtların kullanılmasının çevresel etkileri ve dünyadaki pek çok ülkede, yenilenebilir enerjiyle ilgili gelişen anlayışa yardımcı olan güçlü hükümet teşvikleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin ve yatırımların geliştirilmesini sağlamaktadır. Şu an, dünya elektrik üretiminde en fazla payı, doğal gaz ve kömür birlikte almaktadır (%60). Yenilenebilir enerji kaynakları ise, elektrik üretiminde giderek daha fazla pay almaya çalışmaktadır. Bu alanda, 2006-2030 yılları arasında yıllık ortalama %2,9'luk bir büyüme artışı olması beklenmektedir. Büyüme en fazla hidroelektrik ve rüzgâr enerjisinde olurken, yine bu dönem içerisinde, yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin fiyat olarak fosil esaslı yakıtlarla rekabet edebilecek durumda olmayacağından, yapılacak yatırımlarda hükümet politikalarının ve teşviklerin büyük rol oynayacağı belirtilmiştir [17]. 2006-2030 yılları arasında dünyada öngörülen enerji üretimi hakkında bilgi Şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1.1. Enerji kaynakları açısından dünyada enerji üretim öngörüsü [17]

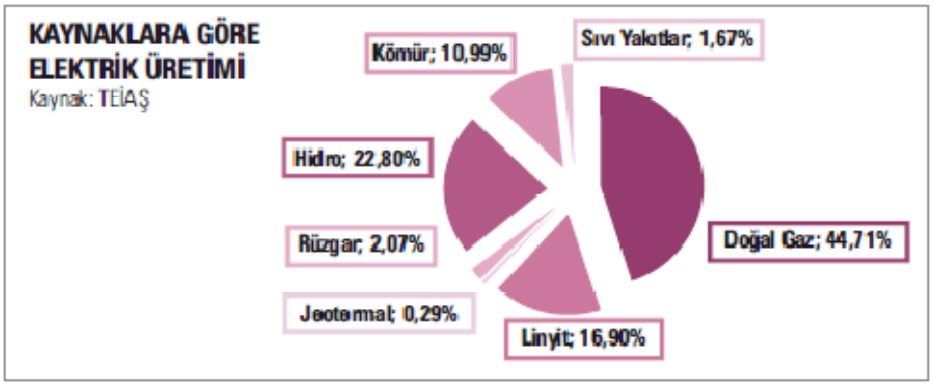
2006-2030 yılları arasında öngörülen dünya enerji kullanımında enerji kaynaklarının payları hakkında bilgi Şekil 1.2'de verilmektedir. Görüldüğü üzere, enerji kullanımında en yüksek miktarlar sıvı yakıtlara ait olmakta, yenilenebilir enerji kaynaklarının ise artış göstereceği belirtilmektedir.



Şekil 1.2. Enerji kaynakları açısından dünyada enerji kullanımı [17]

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'deki Durumu

Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim durumu göz önüne alındığında, 2012 yılı verilerine göre %44,71'lik oranla doğalgaz hammadde olarak ilk sırayı alırken, kömür, linyit gibi fosil kökenli yakıtlar ise doğalgazı takip etmiştir. Şekil 1.3'e bakılırsa yenilebilir enerji olarak hidroelektrik ve rüzgar enerjisi oldukça düşük bir yüzdeye sahip olmakla birlikte, güneş enerjisinden elektrik üretimi henüz listeye bile girememektedir.



Şekil 1.3. Türkiye'nin toplam enerji tüketiminde 2012 yılına göre enerji kaynaklarının payları [17]

Türkiye, elektrik enerjisini, fosil esaslı enerji kaynaklarını (doğal gaz, akaryakıt ve kömür gibi) kullanarak veya jeotermal, rüzgar tribünleri ve hidroelektrik santralleri gibi sistemlerle üretmektedir. TEİAŞ tarafından 2012 yılı için verilen elektrik enerjisi miktarı 174.000 GWsaat'tır. Bu elektrik enerjisi, %72,6 oranında termik santraller, %22,80 oranında hidroelektrik enerjisi ve %2,07 oranında rüzgar enerjisi ile

üretilmektedir. Isıl yöntemle elektrik enerjisi üretiminde linyit %18,37, doğal gaz %44'lük bir paya sahiptir [17].

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE-YGEM), 1981 yılında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca (ETKB) enerji kaynaklarının kullanımı ile yenilenebilir enerji kaynakları konularında görevlendirilmis ve 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile ise sanayi, ulaşım ve enerji sektörleri ile binalarda enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalısmalarda yeni görevler üstlenmiştir. Kuruluş, çalışmalarını, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları (hidrolik, rüzgâr, jeotermal, güneş, biyokütle ve diğer) öncelikli olmak üzere tüm enerji kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik ölçümler yapmak, fizibilite ve örnek uygulama projeleri hazırlamak; araştırma kurumları, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları ile işbirliği yaparak pilot sistemler geliştirmek, tanıtım ve danışmanlık faaliyetleri yürütmek, ayrıca enerji verimliliği, enerji alanındaki bilişim hizmetleri ve teknolojileri konularında çalışmalar yapmaya yoğunlaştırmıştır. EİE'nin 2008 faaliyet raporuna göre, ülkemizdeki yenilenebilir enerji üretiminde en önemli payı, hidroelektrik ve biokütle enerjisi almaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisinin payının ise şu an az olmakla birlikte gelecekte artması beklendiği belirtilmiştir [17].

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Elektrik İsleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından, 1966-1982 yıllarında Devlet Meteoroloji İsleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından ölçülen güneşlenme süresi ve ısınım şiddeti verilerinden de yararlanılarak yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat ve (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısınım şiddeti yılda 1311 kWh/m² (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu potansiyel, toplam 56.000 MW kurulu güce sahip doğal gaz çevrim santrali elektrik enerjisi üretimine eşdeğerdir [16]. Tablo 1.1'de verilen değerler de incelendiğinde, Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresine sahip bölgesinin Güney Doğu Anadolu Bölgesi olduğu, bunu Akdeniz Bölgesinin izlediği anlaşılmaktadır.

Tablo 1.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [16]

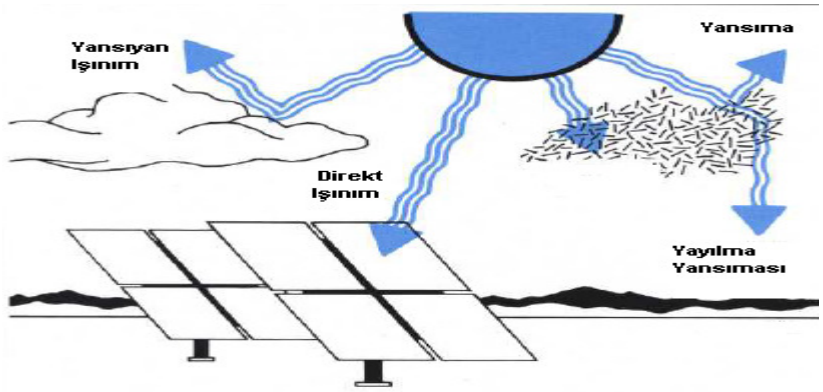
Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En Az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m^2-yıl	kWh/m^2	kWh/m^2	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

1.3. Güneş Işınımı

Güneş, foton yayan bir enerji kaynağıdır. Güneşin sahip olduğu enerji, dünyada ihtiyaç duyulan enerjinin yaklaşık 10000 katı civarındadır.

Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yoğunluğu, Dünya ile Güneş arası uzaklığa bağlıdır. Yıl içinde bu değer 1325W/m^2 ile 1412W/m^2 arasında değişim gösterir. Ortalama değer olarak kabul edilen güneş sabiti 1367W/m^2 dir.

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi güneş ışınları, yansıma, soğurma (ozon, su buharı, oksijen ve CO_2) ve bulut gibi engelleyici faktörler sebebiyle yeryüzüne ulaşana kadar bazı kayıplara uğrarlar. Yeryüzüne ulaşan direkt ve dağınık ışınımlar (yayılma yansıması), elektrik üretimi açısından faydalı ışınımlar olarak tanımlanabilir.



Şekil 1.4. Güneş ışınımı çeşitleri [18]

1.4. Fotovoltaik Etki

Fotovoltaik etki ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel tarafından tanımlanmış ve ilk güneş hücresi, %1 verimliliğe sahip olup Charles Fritts tarafından üretilmiştir [19]. Güneş hücresi, güneşin yaydığı fotonları soğurarak yani fotonun sahip olduğu enerjiyi kendi yapısında bulunan serbest elektronlara kazandırarak elektrik akımı oluşmasını sağlar. Elektrik akımı, DA formdadır ve elektrik akımının büyüklüğü, güneş ışınım şiddeti, hücre ve çevresel sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterir.

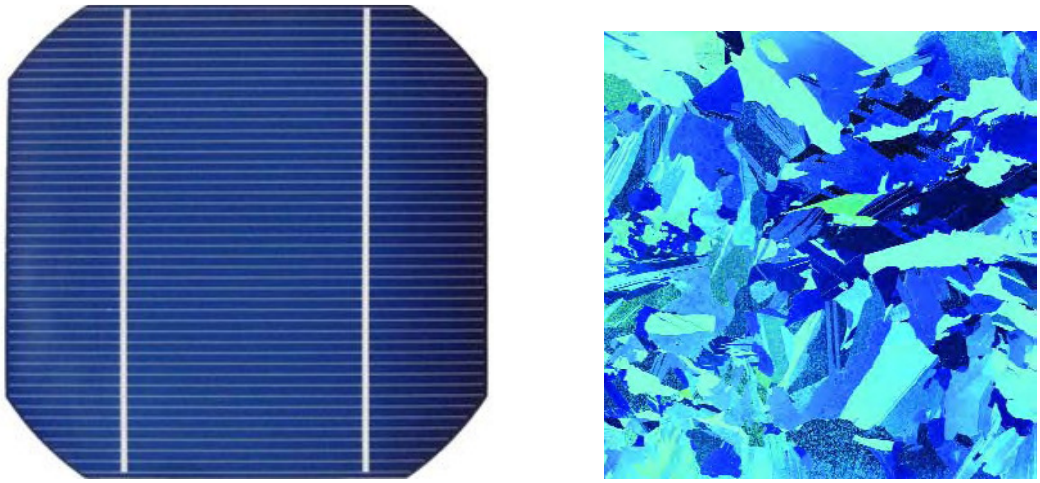
1.5. Güneş Hücresi Çeşitleri

Güneş hücreleri, genellikle silisyum yarı iletkeninin çeşitli süreçlerden geçirilmesi neticesinde üretilmektedir. Eriyik halde bulunan silisyum elementi katkılanarak p ve n tipi malzemeler oluşturulur. Katkılanma, saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır.

En yaygın güneş hücresi maddesi olarak kullanılan silisyumdan " n tipi" silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5A grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. P tipi silisyum elde etmek için ise, silisyum eriyiğine 3A grubundan bir element (alüminyum, indiyum, bor vs.) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

1.5.1. Monokristal güneş hücresi

Yüksek saflıktaki polikristal malzeme kuvars malzemesi içinde eritilir. Tekli kristal silikon tanecikleri erimiş, polikristal malzeme içine batırılır ve bir süre sonra monokristal malzeme eriyik içinden yavaşça çekilir ve külçeler halinde bir yapı meydana gelir. Bu yapı düzgün parçalar halinde 200-400 μm kalınlığında kesilir. Malzeme daha sonra katkılanır, kaplanır ve elektriksel bağlantıları yapılır ve güneş hücresi meydana gelir [20]. Piyasadaki monokristal hücreli güneş panelleri %15-20 verime sahiptir. Tipik bir monokristal hücre Şekil 1.5.a'da görülmektedir.



a b

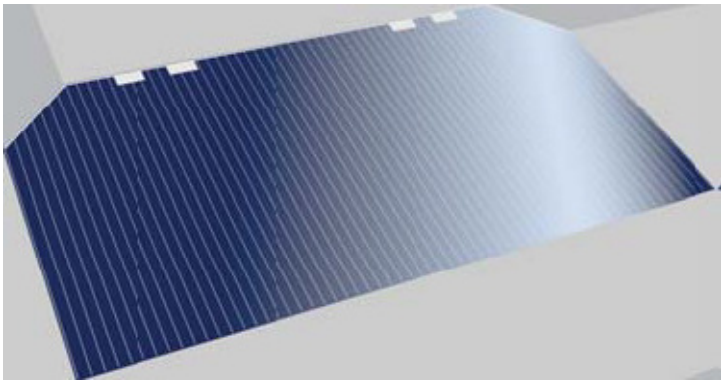
Şekil 1.5. Güneş hücresi a) Monokristal b) Polikristal

1.5.2. Polikristal güneş hücresi

Malzemenin dış kristal yapısı, elektron akışını aksattığından, monokristal güneş hücrelerine göre verimleri daha düşük olup %10-14 civarındadır. Üretimi monokristal hücrelere göre daha kolaydır. Silikon malzeme kendiliğinden, ince şerit şeklinde eriyik malzeme içinden çıkarılır ve kesim işine gerek kalmaz. Ayrıca monokristal hücrelere göre yapısal olarak daha dayanıklıdır [20]. Tipik bir polikristal güneş hücresi Şekil 1.5.b'de görülmektedir.

1.5.3. Galyum Arsenit güneş hücresi

Işığı soğurma yeteneği silikon malzemeye göre daha fazladır. Aynı miktardaki ışığı birkaç mikro metre kalınlığındaki GaAs tabaka soğurabilirken, silikon malzeme için 200-300 μm' lik bir kalınlık gerekmektedir. GaAs tipi güneş hücrelerin verimleri %25-30 civarı olup, laboratuar koşullarında %40'lara ulaşılmıştır [20]. Üretim maliyeti çok yüksek olup ve yüksek sıcaklarda çalışabilmesi daha çok uzay uygulamalarında tercih edilmesine neden olmuştur.



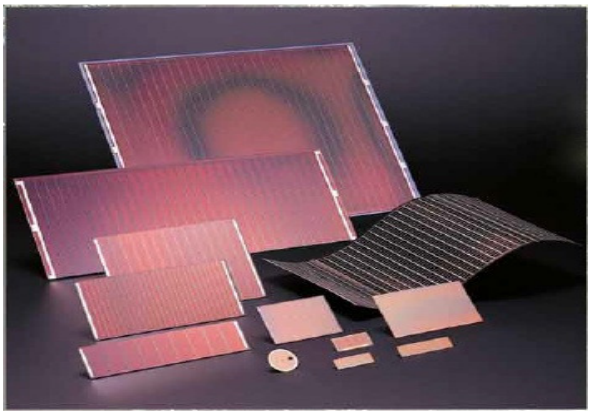
Şekil 1.6. Galyum Arsenit güneş hücresi [21]

1.5.4. İnce film malzemeler

Fotovoltaik malzeme; düşük maliyetli, cam, metal veya plastik folyo ile kaplanmıştır. Silikon malzemelere göre ışığı daha iyi soğururlar. Çok ince bir tabaka, 200-300 μm kalınlığındaki silikon ile aynı miktarda ışığı soğurur. Kaplama malzemesinin maliyeti düşük ve üretim süreci oldukça kısadır. En büyük dezavantajı düşük enerji dönüşüm verimine sahip olmasıdır. Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellür ve Bakır İndiyum Diseleneid ince film malzemelere örnek olarak gösterilebilir [20].

1.5.5. Amorf Silisyum güneş hücresi

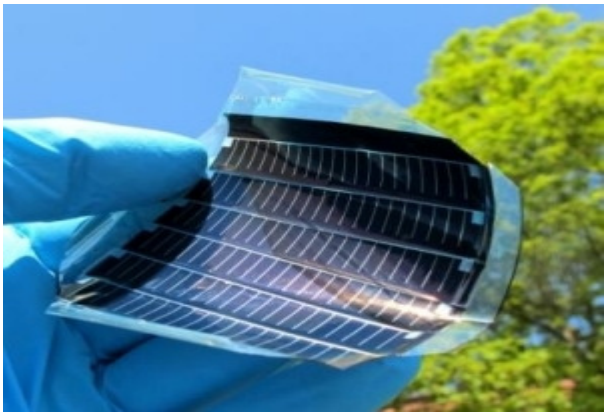
Düşük güç gerektiren elektronik uygulamalarda tercih edilir. Silikon atomunun kristalsiz yapısı şeklindedir. Tekli kristal yapısına göre 40 kat daha fazla ışığı soğurma özelliğine sahiptir. Üretim aşamasında yüksek sıcaklıklara gerek duyulmaz. Üretim süreci, tekli kristal hücreye göre kolay ve az enerji gerektirdiğinden maliyeti düşüktür. Verimleri %5-9 mertebesinde olup, kısa ömürlüdür [20].



Şekil 1.7. Amorf Silisyum güneş hücresi [22]

1.5.6. Kadmiyum-Tellür güneş hücresi

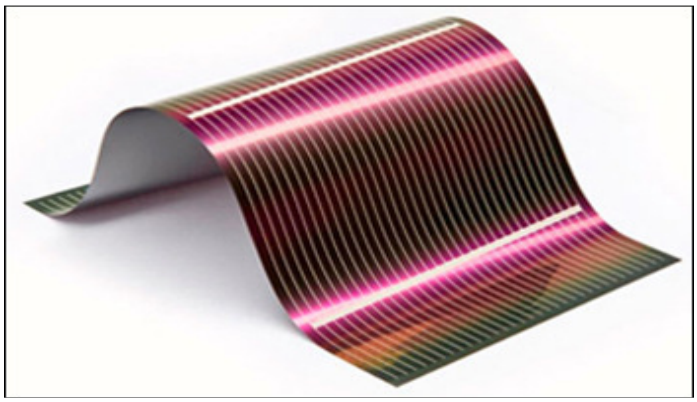
Işığı soğurma yeteneği yüksek olmasına rağmen kadmiyumun zehirli bir malzeme olmasından dolayı, üretim sürecinde ciddi önlemler alınmalıdır. Bu yüzden üretim maliyeti yüksektir. Ayrıca enerji dönüşüm verimi ise %7'ler mertebesinde olup, uygulamada pek tercih edilmez [20].



Şekil 1.8. Kadmiyum-Tellür güneş hücresi [23]

1.5.7. Bakır İndiyum Diseleneid güneş hücresi

İnce film güneş hücrelerinin içinde üzerinde en çok durulan teknoloji olup, ışığı soğurma yeteneği yüksektir. 2008 yılında Uluslar arası Yenilenebilir Enerji Labaratuarı (National Renewable Energy Laboratory - NREL)' nda yapılan çalışma sonucu %19,9 hücre verimine ulaşılmıştır [24]. İnce film teknolojisinde en yüksek verim elde edilen teknoloji budur. Malzeme yapısı karmaşık olduğu için üretim maliyeti yüksektir. Yapısında bulunan Hidrojen Selenür zehirli bir gaz olduğu için üretim sürecinde önlem alınmalıdır [20].



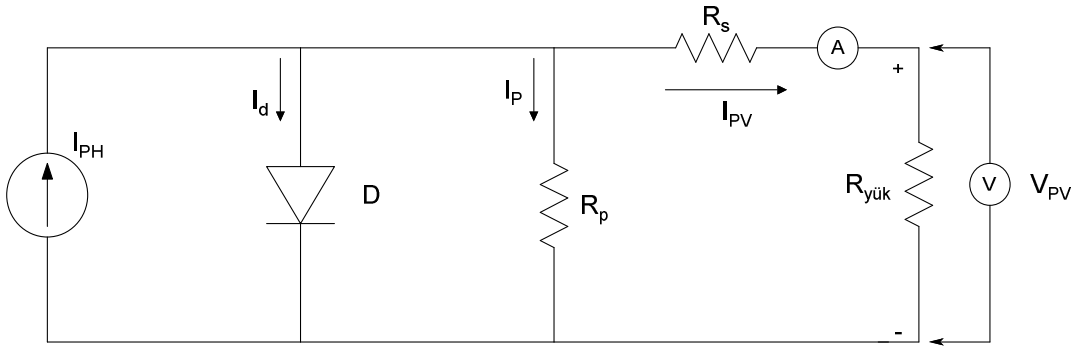
Şekil 1.9. Bakır İndiyum Diselenid güneş hücresi [24]

1.6. Güneş Hücresi Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli

Güneş hücreleri p-n katkılı diyot yapısındadır. Güneş hücresi akımı, Denklem (1.5)'e göre diyot akımına çok benzer ve bu sebeple fotodiyot olarak adlandırılabilir. Araştırmacılar güneş hücresi elektriksel eşdeğer devre modeli için tek diyotlu eşdeğer devreyi tercih etmiştir [25-33]. Bunun sebebi çift diyotlu yapının oldukça karmaşık olması ve çift diyotlu devrenin modelleme sonuçlarına kayda değer bir etkisinin olmamasıdır. Bu kısımda güneş hücresi elektriksel eşdeğer devre modeli tek diyotlu olarak simüle edilmiş ve akım, gerilim ve güç değerlerinde yaklaşık %3 hatalı sonuçlar elde edilmiştir.

1.6.1. Tek diyotlu güneş hücresi modeli

Monokristal güneş hücresi, genel olarak tek diyotlu olarak modellenmektedir. Şekil 1.10'da elektriksel eş değer devresi verilen güneş hücresinde; I_{PH}, güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak değişen ışınım akımını, D, güneş pili p-n diyot yapısında olduğu için diyodu, R_p ve R_s sırasıyla yarı iletken malzemeden dolayı yaşanan kayıpları ve kontak direncini temsil etmektedir. I_{PV} ve V_{PV} güneş pili akımı ve uç gerilimidir.



Şekil 1.10. Monokristal güneş hücresi elektriksel eşdeğer devresi

Güneş hücresi uçlarına yük bağlı iken akan I_{PV} akımı Şekil 1.10'a göre Denklem (1.1)'deki gibi olacaktır.

$$I_{PV} = I_{PH} - I_d - I_P \tag{1.1}$$

I_{PH}, güneş hücresinin ürettiği ışınım akımı olup, Denklem (1.2)'deki gibi ifade edilir. Hava sıcaklığının ya da güneş ışınımının fazla olması güneş hücresi çalışma sıcaklığını olumsuz etkiler. Sıcaklığın güneş hücresi çalışma performansına etkisi

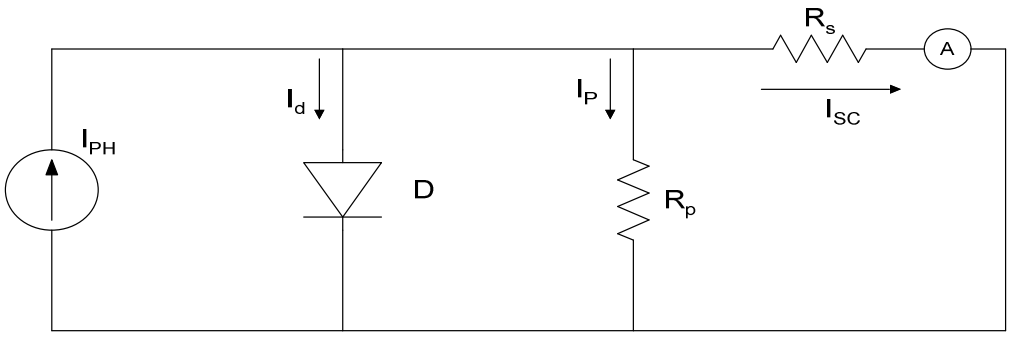
akım ve gerilim büyüklükleri için ayrı ayrı incelenmelidir. Sıcaklık artışının ışık akımını arttırdığı Denklem (1.2)'den anlaşılmaktadır.

$$I_{PH} = [I_{SC} - K_I(T_C - T_{REF})]\frac{Q_{MEV}}{Q_{REF}} \quad (1.2)$$

K_V parametresi, güneş paneli üreticileri tarafından kataloglarda belirtilen bir değerdir ve negatif bir büyüklüktür. Denklem (1.3)'e göre T_C, güneş hücresi eklem bölgesi sıcaklığının artışı $V_{OC,\,mev}$ açık devre gerilimini azaltır.

$$V_{OC,mev} = V_{OC,ref} + K_V(T_C - T_{REF}) \quad (1.3)$$

I_{SC} akımı, güneş paneli üretici firma ürün kataloglarında, standart test koşullarında (1000W/m^2, 25°C, AM1.5) verilen, güneş hücresi uçları kısa devre edildiğinde, akan akımıdır. K_I, çevre sıcaklığına bağlı akım katsayısı olup, üretici firmalar tarafından hesaplanan bir büyüklüktür. T_C güneş hücresi eklem bölgesi sıcaklığı, T_{REF} güneş hücresi referans sıcaklığıdır ve standart test koşullarında 25°C olarak kabul edilmiştir. Q_{MEV} ve Q_{REF} ise sırasıyla anlık güneş ışınımı ve referans güneş ışınımıdır. Şekil 1.11'de I_{SC} ölçüm devresi verilmiştir.



Şekil 1.11. Güneş hücresi kısa devre akımı ölçüm devresi

I_d diyot akımı, güneş hücresi akım-gerilim değişim eğrisini belirleyen belirleyen bir büyüklük olup Denklem (1.4)'e göre hesaplanır.

$$I_d = I_S\left(e^{\frac{[q(V_{PV}+I_{PV}R_s)]}{kT_CA}}\right) - \frac{V_{PV}+I_{PV}R_s}{R_p} \quad (1.4)$$

I_P akımı Şekil 1.11'deki eşdeğer devrede R_p direncinden akan akımdır ve Denklem (1.5)'deki gibi ifade edilir.

$$I_P = \frac{V_{PV} + I_{PV}R_s}{R_p} \tag{1.5}$$

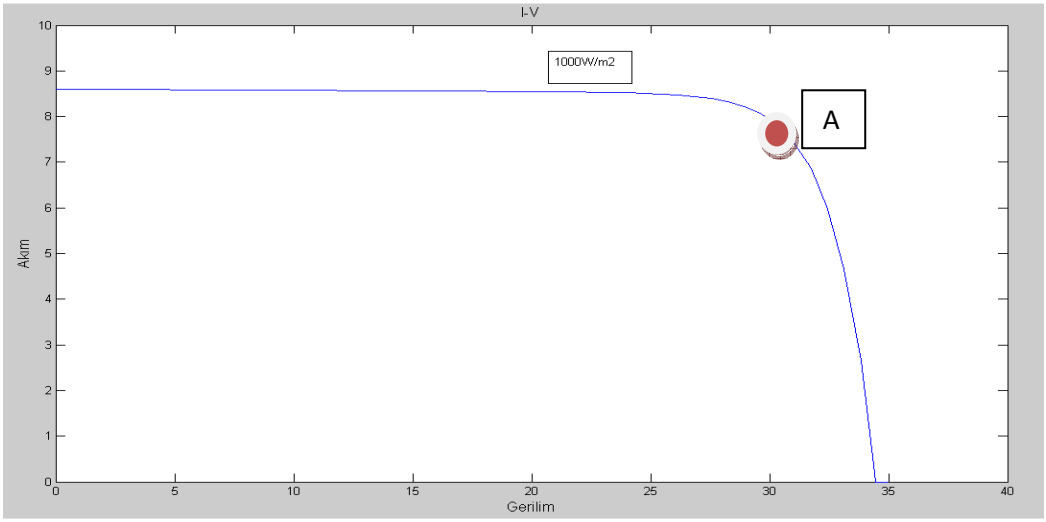
Güneş hücresi uçlarına bir yük bağlandığında güneş hücresinden çekilecek akım, I_{PV} Denklem (1.5)'deki gibi;

$$I_{PV} = I_{PH} - I_S\left(e^{\frac{[q(V_{PV}+I_{PV}R_s)]}{kT_CA}} - 1\right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_s}{R_p} \tag{1.6}$$

olacaktır.

Burada I_S diyot doyum akımı, q elektron yükü, k Boltzmann sabiti, A diyot kalite faktörüdür.

Tipik bir güneş hücresi akım gerilim (I-V) grafiği, Şekil 1.12'deki gibidir.



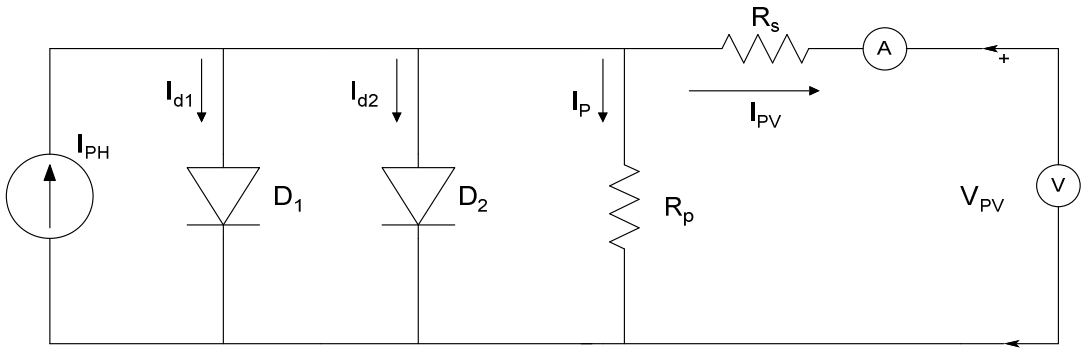
Şekil 1.12. Güneş hücresi akım gerilim (I-V) grafiği

Şekil 1.12'de görüldüğü gibi güneş hücresi lineer olmayan bir güç kaynağıdır. Güneş hücresi, A noktasının sol tarafında bir gerilim kaynağı gibi davranırken, A noktasının sağ tarafında ise akım kaynağı gibi davranmaktadır.

Güneş hücreleri, yapısındaki diyottan dolayı lineer güç kaynakları değillerdir. Doğrudan yüke bağlanmaları durumunda, tek bir yük değeri için en iyi güç eldesi söz konusu olacaktır. Bir başka ifadeyle optimum yük değeri her koşul için tektir. Her çevresel koşul için farklı bir yük tercihi söz konusu olamayacağından, fotovoltaik sistemler DA-DA dönüştürücü, evirici gibi bir ara devre yardımıyla ve genellikle batarya üzerinden yüke güç aktarırlar.

1.6.2. Çift diyotlu güneş hücresi modeli

Güneş hücresi elektriksel modelinde gerçeğe daha yakın sonuçlar almak için kullanılan bir modeldir. Güneş hücresi akım ve gerilim bağlantıları tek diyotlu modele göre daha karmaşıktır. Bu sebeple pek tercih edilmemektedir. Şekil 1.13'te çift diyotlu devre verilmiştir.



Şekil 1.13. Çift diyotlu güneş hücresi eş değer devresi

Çift diyotlu model için akım bağıntısı Denklem (1.7)'deki gibidir.

$$I_{PV}=I_{PH}-I_{S1}\left(e^{\frac{[q(V_{PV}+I_{PV}R_s)]}{kT_CA_1}}-1\right)-I_{S2}\left(e^{\frac{[q(V_{PV}+I_{PV}R_s)]}{kT_CA_2}}-1\right)-\frac{V_{PV}+I_{PV}R_s}{R_p} \qquad (1.7)$$

1.6.3. Güneş Paneli Modeli

Bir güneş hücresinin üretebileceği güç oldukça küçüktür. Piyasadaki mevcut güneş hücreleri 1-5 Watt arası güç üretirler. Güneş hücreleri seri ve/veya paralel bağlanarak istenen akım, gerilim ve güç değerinde paneller oluşturulur. İstenilen güç değeri; Denklem (1.8)'e göre hesaplanır.

$$P = V_{PV}I_{PV} \qquad (1.8)$$

Güneş hücreleri çok hassas bir yapıda olup, çıplak halde kullanıcının elinde dağılabilecek kadar kırılgan özelliktedir. Bu nedenle piyasada genellikle laminasyonu ve çerçevesi yapılmış ticari güneş panelleri şeklinde kullanılmaktadır.

Güneş paneli akım fonksiyonu, N_S, panel içindeki seri hücre sayısı, N_P, paralel hücre sayısı olmak üzere Denklem (1.6) kullanılarak;

$$I_{PV} = N_P I_{PH} - N_P I_S \left(e^{\frac{[q(\frac{V_{PV}}{N_S} + \frac{I_{PV} R_s}{N_P})]}{kT_C A}} - 1 \right) - \frac{\frac{N_P V_{PV}}{N_S} + I_{PV} R_s}{R_p} \quad (1.9)$$

elde edilir.

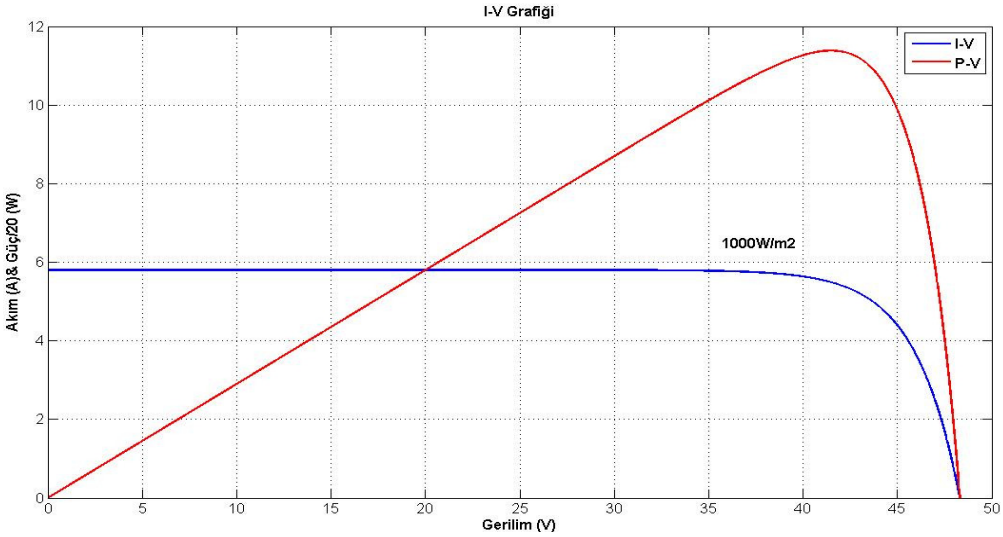
1.7. Güneş Paneli Akım, Gerilim ve Güç Karakteristik Eğrileri

Şekil 1.12'ye göre güneş paneli I-V eğrisindeki çalışma noktasına göre akım ya da gerilim kaynağı olarak karakterize edilebilir. Akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) tipik karakteristik eğrileri olup, bu eğriler güneş ışınımı ve sıcaklık koşullarına göre değişkenlik gösterir.

1.7.1. Standart test koşullarında I-V ve P-V değişimi

Güneş paneli için standart test koşulları, 1000W/m^2 güneş ışınımı, 25°C çevre sıcaklığı, hava kütlesi (A.M.) 1.5 olan durumdur. Karakteristik eğrileri Matlab/m-file ile elde edilmiştir.

Açık devre gerilimi 48,3V, kısa devre akımı 5,80A olan monokristal hücrelerden oluşan güneş paneline ait I-V ve P-V grafiği Şekil 1.14'deki gibidir. Şekil 1.14'de görüldüğü gibi I-V değişimi logaritmiktir ve R_S seri direnç etkisi ihmal edilmiştir.



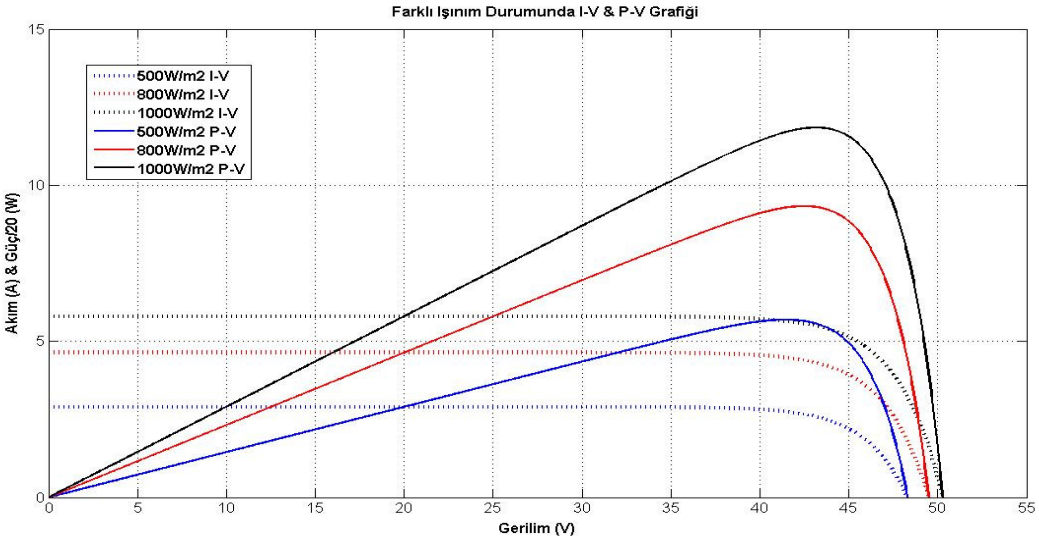
Şekil 1.14. Güneş paneli I-V ve P-V grafiği

1.7.2. Farklı güneş ışınımlarında I-V ve P-V değişimi

Güneş paneli akım bağıntısındaki I_{PH} ifadesini Denklem (1.2) ifadesini incelenerek analiz edilebilir. Denklem (1.2)'de görüldüğü gibi ışık akımı güneş ışınımı ile doğru orantılı bir şekilde değişmektedir. Bu değişim, Şekil 1.15'deki grafikten anlaşılabilir. Buna göre 500W/m^2 güneş ışınımında kısa devre akımı 2,90-3A civarındadır. 1000W/m^2'de ise Denklem (1.2) gereği; 5,8-5,9A civarında olması beklenir. Şekil 1.15'de bu açıkça görülmektedir.

Açık devre gerilimi ise ışınım akımına, dolayısıyla ışınım değişimine bağlıdır. Denklem (1.10)'da verildiği üzere açık devre gerilimi ile ışınım akımı arasındaki değişim logaritmiktir.

$$V_{OC,ref} = \frac{AkT_C}{q} \ln\left(\frac{I_{PH}}{I_S}\right) \tag{1.10}$$



Şekil 1.15. Farklı ışınım değerleri için I-V ve P-V grafiği

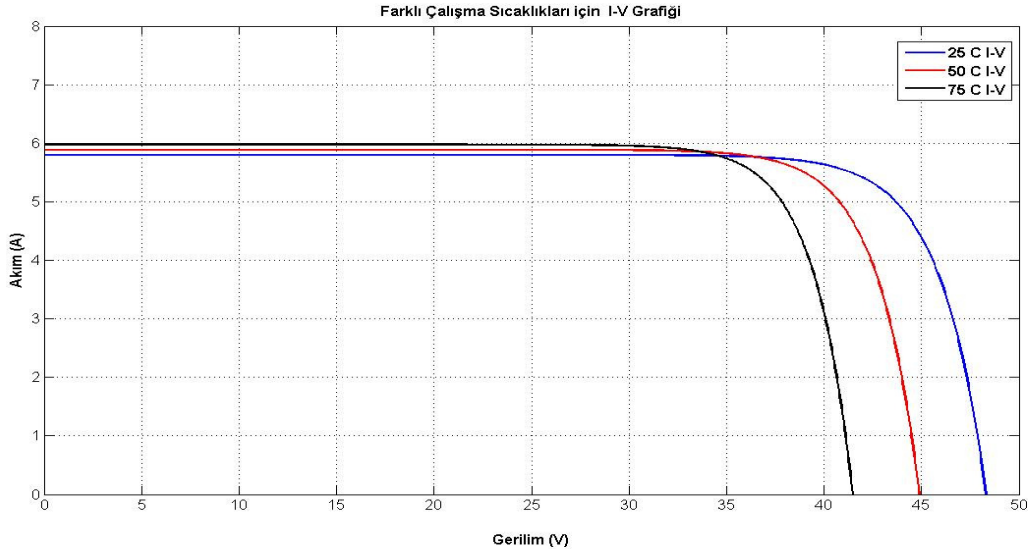
1.7.3. Farklı hücre çalışma sıcaklıklarında I-V ve P-V değişimi

Sıcaklık, güneş panelinin güç üretim performansını etkileyen önemli bir parametredir. Güneş paneli, hem ortam sıcaklığından hem de ışınıma bağlı olarak değişen eklem bölgesi sıcaklığından etkilenir.

Güneş paneli eklem bölgesi çalışma sıcaklığı;

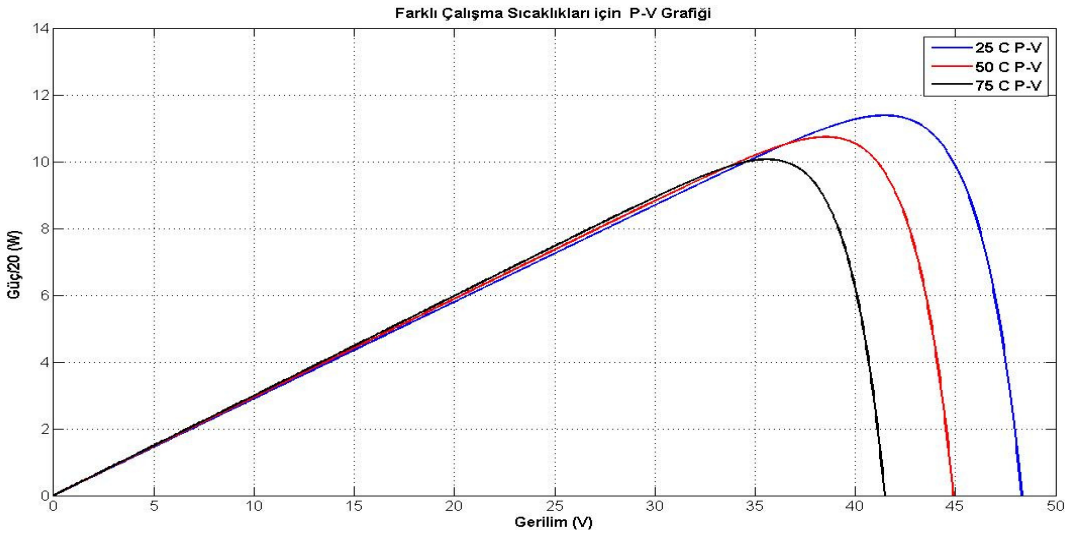
$$T_C = T_{REF} + C_1 Q_{MEV} \tag{1.11}$$

şeklinde formüle edilebilir. Burada C_1 deneysel olarak elde edilen bir katsayıdır [34]. Bu katsayı doğrudan T_C eklem bölgesi sıcaklığını etkilediğinden önemli bir parametredir. Bu yüzden bu katsayının küçük olması istenir. Şekil 1.16 ve Şekil 1.17'de sırasıyla eklem sıcaklığının I-V ve P-V grafiklerine etkisi görülmektedir.



Şekil 1.16. Farklı çalışma sıcaklıklarında I-V grafiği

Sıcaklığın artması, kısa devre akımını, $K_I (T_C - T_{REF})$ büyüklüğünde arttırırken, açık devre gerilimini $K_V (T_C - T_{REF})$ büyüklüğünde azaltmıştır. Gerilimdeki değişimin daha büyük olduğu Şekil 1.16'dan ve Şekil 1.17'den anlaşılmaktadır. Akımdaki artış gerilimdeki azalmayı karşılayamadığı için üretilen güç azalmaktadır.



Şekil 1.17. Farklı çalışma sıcaklıklarında P-V grafiği

2. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME YÖNTEMLERİ

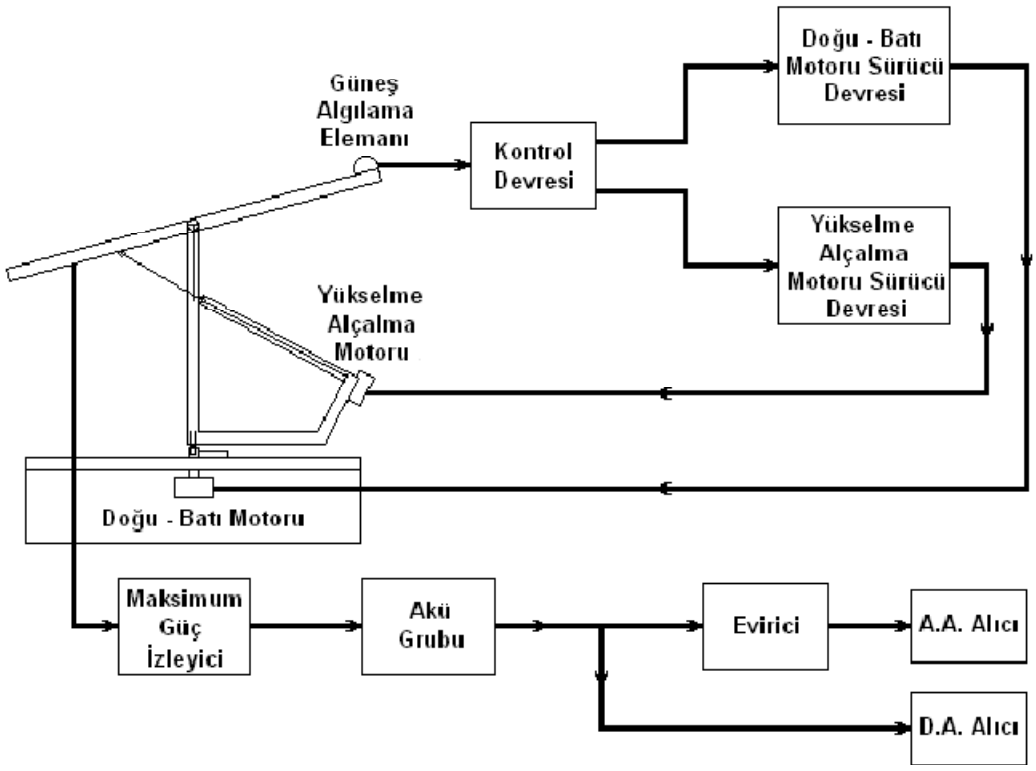
Güneş enerjisinden en yüksek oranda faydalanma konusu araştırmacıların ilgisini çeken, popüler bir konudur. Bu amaçla, özellikle fizikçiler ve malzeme bilimciler, çeşitli güneş hücreleri geliştirmekte ve malzeme bazlı enerji dönüşüm verimini arttırmak için çalışmalarını sürdürmektedir. Bunun yanında elektrik ve enerji mühendisliği alanında ise, daha çok güç elektroniği destekli verim arttırma çalışmaları yapılmakta, donanımsal olarak değişik DA-DA dönüştürücü topolojileri geliştirilmekte ya da yazılımsal olarak farklı algoritmalar geliştirerek güneş panelini maksimum güç noktasında çalıştırmak amaçlanmaktadır. Bu kısımda ayrıntılı olarak bahsedilecek olan maksimum güç noktası izleme yöntemi elektronik bazlıdır.

Ayrıca güneşin konumunu takip eden mekanik düzenekler kullanılarak güneş ışınlarının, sisteme sürekli dik açıda gelmesi sağlanabilmekte, yani takip işi mekanik olarak yapılarak en yüksek güç noktası takip edilebilmektedir.

Şekil 2.1'de örnek bir güneş takip sistemi resmedilmiştir. Şekil 2.1'de güneş takibi çift eksenli olarak yapılmaktadır ve her eksen için ayrı motorlar kullanılmıştır. Algılama elemanından gelen bilgiler kontrol devresinde değerlendirilir ve motorlara uygun sinyaller haline getirilir.

Şekil 2.1'de mekanik takibin yanı sıra elektronik takip de söz konusudur. Sistem en iyi konuma ulaştığında ayrıca algoritma tabanlı bir güç elektroniği devresi ile de elektronik takip yapılmış ve en yüksek güç noktasına ulaşılması hedeflenmiştir.

Özetle; güneş enerjisi sistemlerinde, mekanik takip ve elektronik takip olmak üzere iki çeşit maksimum güç noktası izleme yöntemi vardır.



Şekil 2.1. Güneş takip sistemi [34]

2.1. Mekanik Takip

Mekanik takip sistemlerinde temel olarak güneşin konumunu algılayabilen sensör, mekanik hareket için motor, kontrol devresi ve dişli, kayış gibi mekanik elemanlar bulunmaktadır. Bu sistemler sürekli olarak enerjiye ihtiyaç duymaları ve hareketli parçaları bulundurma sebebiyle sık sık arızalanma ihtimalleri olduğundan yaygın olarak tercih edilmemektedir.

2.2. Elektronik Takip

Fotovoltaik sistemlerde, teorikte Şekil 2.1'deki yapı ideal gibi gözükse de uygulamada hem mekanik hem de elektronik takip yapılması sistemin karmaşıklaşmasına ve maliyetin artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple sistemlerde genellikle tek tip takip yapılmaktadır.

Elektronik takipten anlamamız gereken, bir güç elektroniği devresinin bir algoritma tarafından yönetilmesidir. Literatüre bakıldığında, fotovoltaik sistemler için birçok maksimum güç noktası takip algoritması önerilmiştir [35-45].

Günümüzde birçok maksimum güç noktası izleme (MGNİ) yöntemi kullanılmaktadır. Bu denetim yöntemleri, doğrudan denetim ve dolaylı denetim olarak iki gruba ayrılabilir.

Doğrudan denetim yöntemlerinde sürekli olarak panel çıkış gücü hesaplanarak, bir önceki durumla karşılaştırılır ve en yüksek güç noktasına ulaşmak amaçlanır.

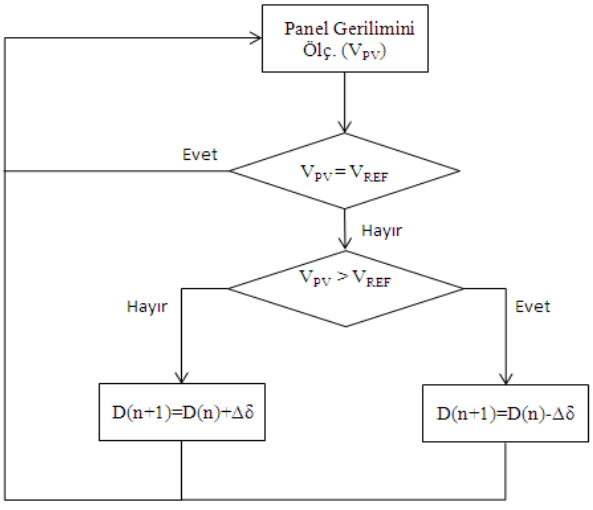
Dolaylı yöntemlerde ise açık devre gerilimi, kısa devre akımı, ışınım ya da hücre sıcaklığı gibi büyüklükler belirli periyotlarda ölçülerek en yüksek güç noktasının takibi yapılır.

2.2.1. Sabit gerilim yöntemi

Sabit gerilim yöntemi en basit MGNİ algoritmasıdır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi panel gerilimi V_{PV} üretici kataloğunda belirtilen referans gerilim değerine getirilerek maksimum güç takibi yapılır. Burada dolayı denetim yapılmaktadır.

Bulutsuz günlerde, gölgelenme gibi durumların oluşma ihtimalinin düşük olduğu şartlarda veya düşük ışıma koşullarında bu yöntem iyi sonuçlar verir [38]. Çevresel parametrelerin değişimi bu yöntemde dikkate alınmamıştır.

Panel sıcaklığının sürekli ölçülerek takip edilmesi durumunda, sabit gerilim yönteminin maksimum güç noktasını daha iyi izlediğini ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır [36].



Şekil 2.2 Sabit gerilim yöntemi akış diyagramı

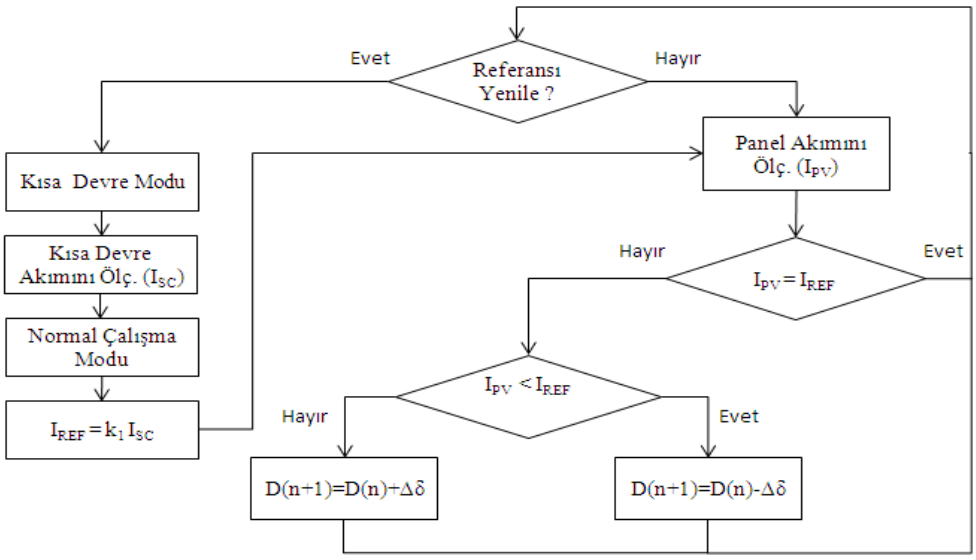
2.2.2. Kısa devre akımı yöntemi

Kısa devre akımı, panel kataloglarında standart test durumları için verilen bir parametredir. Her hangi bir güneş ışınımı ya da sıcaklık durumunda I_{SC} kısa devre akımı, I_{mpp} akımının sabit bir oranıdır kabulü yapılmıştır [37].

$$I_{mpp} = k_1 I_{SC} \tag{2.1}$$

Denklem (2.1)'deki k_1 sabitinin belirlenmesi ve kısa devre akımının anlık ölçülmesi gerekir. k_1 sabitini belirlemek için güneş panelinin çeşitli güneş ışınımlarında kısa devre akımının ölçülmesi ve maksimum güç akımını analitik yöntemlerle veya deneysel olarak belirleyerek tablolaştırmak gerekir. Yapılan çalışmalar, k_1 sabitinin farklı ışınım değerlerinde çok fazla değişmediğini göstermiştir [37]. Şekil 2.3'de algoritmanın akış diyagramı ayrıntılı olarak verilmiştir.

Kısa devre akımı, panele paralel bir statik anahtar bağlanarak ölçülebilir. Ölçüm esnasında yüke enerji aktaramama gibi sorunlar oluşabilir. Bataryalı sistemlerde her ne kadar hissedilmese de özellikle doğrudan şebekeye bağlantılı yapılarda, performansı olumsuz etkilemektedir.



Şekil 2.3. Kısa devre akımı yöntemi akış diyagramı

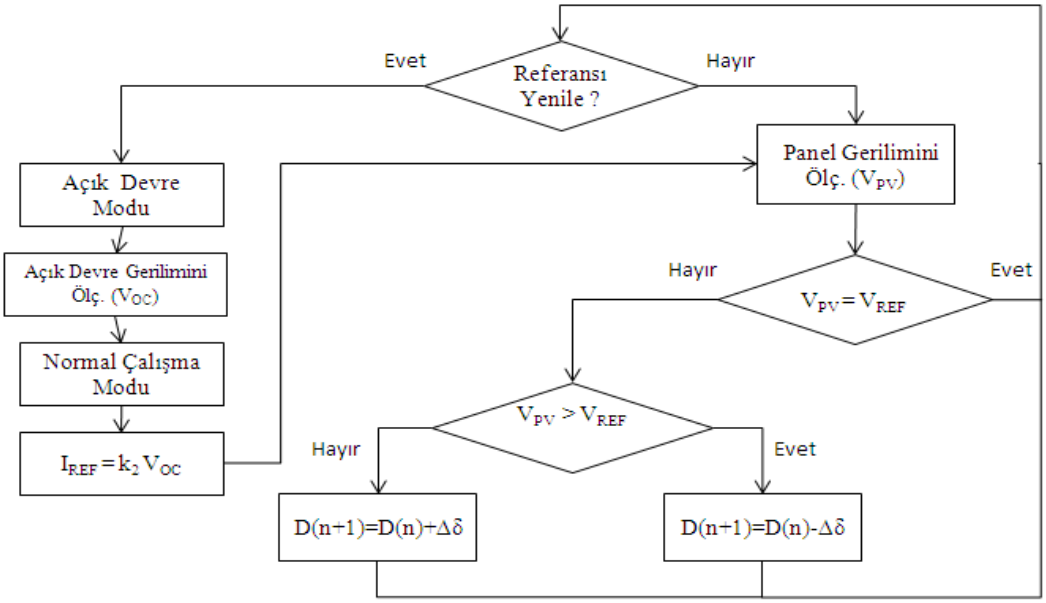
2.2.3. Açık devre gerilimi yöntemi

Kısa devre akımı yöntemine çok benzemektedir. Farkı, bu yöntemde açık devre gerilimi ölçülmektedir. Açık devre gerilimini ölçmek için güneş paneline paralel,

statik anahtar bağlanır ve belli periyotlarda gerilim ölçümü yapılır. Her hangi bir güneş ışınımı ya da sıcaklık durumunda V_{OC} açık devre gerilimi, V_{mpp} geriliminin sabit bir oranıdır kabulü yapılmıştır [36, 38].

$$V_{mpp} = k_2 V_{OC} \tag{2.2}$$

Denklem (2.2)'deki k_2 sabitinin belirlenmesi için farklı ışınım ve sıcaklık koşullarında açık devre gerilimi ve aynı koşullarda oluşan V_{mpp} ölçülmelidir. Daha sonra V_{mpp}/ V_{OC} oranı her çevresel koşul için bulunur. Elde edilen oranların ortalaması alınarak elde edilen değer, referans alınarak maksimum güç noktası takibi yapılabilir.



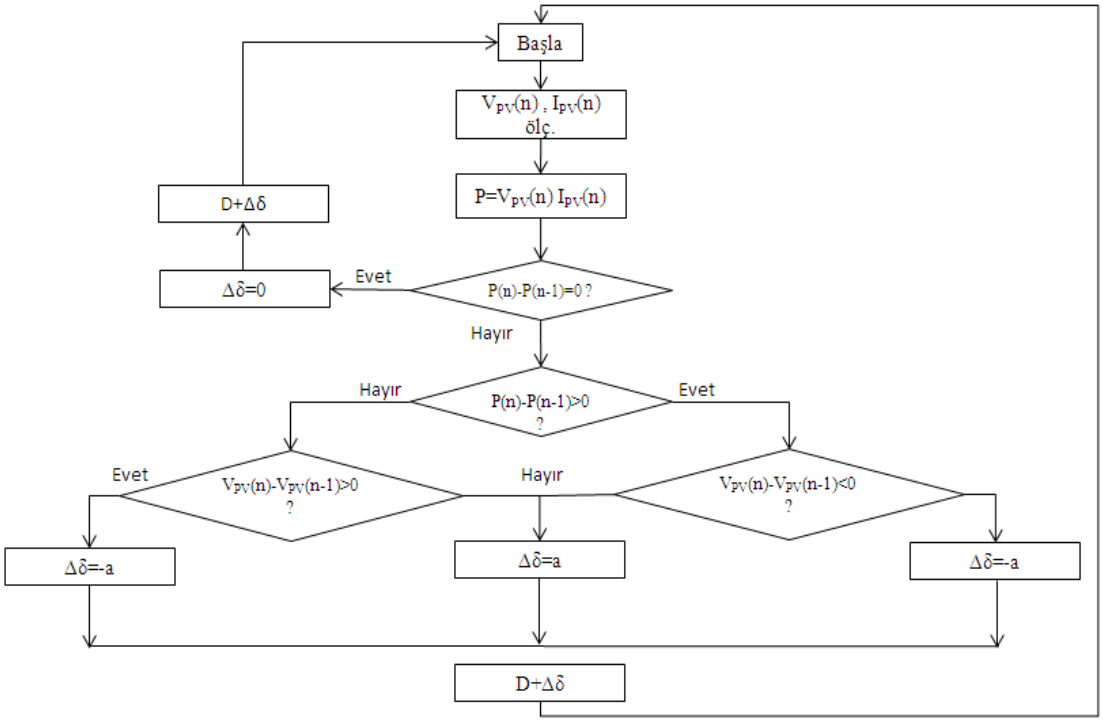
Şekil 2.4. Açık devre gerilimi yöntemi akış diyagramı

2.2.4. Değiştir Gözle Yöntemi

Uygulamada en çok tercih edilen algoritmadır. Donanım, yazılım, maliyet ve sonuç bakımından optimum yöntem olarak kabul edilebilir [36].

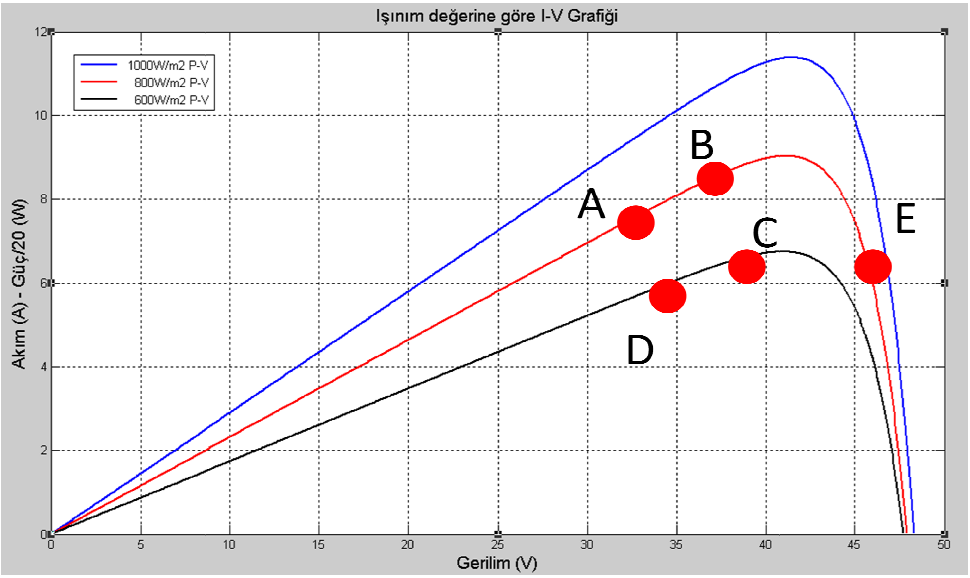
Bu yöntemde, panel akımı ve gerilimi belirli periyotlarda ölçülür ve anlık güç hesabı yapılır. Hesaplanan güç, bir önceki çevrimde hesaplanan güç ile karşılaştırılır ve Şekil 2.5'e göre gerilimin değişimi sorgulanır ve adım yönü belirlenir. Belirlenen adım yönüne göre algoritma sürekli maksimum güç noktasını arar. Artan iletkenlik yöntemine göre maksimum güç noktasında daha büyük salınım oluşur [44].

Değiştir gözle yöntemi, ani değişen hava koşullarında, kısmi gölgelenme durumlarında maksimum güç noktasını bulamayabilir [40].



Şekil 2.5. Değiştir gözle algoritması

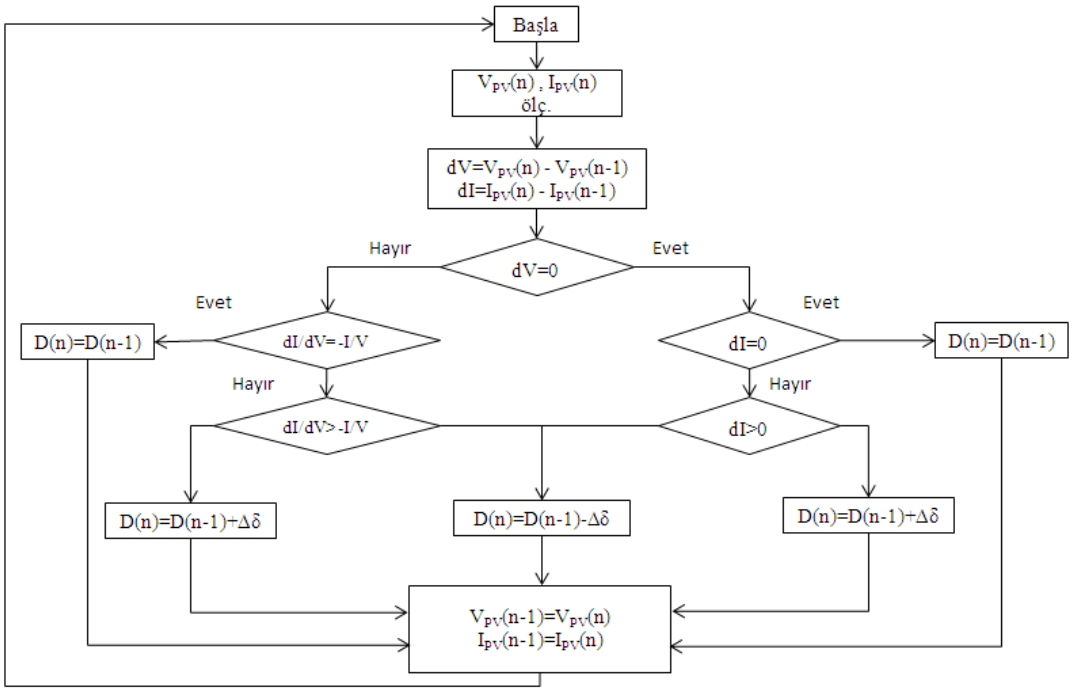
Fotovoltaik sistemin Şekil 2.6'da ki kırmızı grafiğe göre çalıştığını varsayalım. Değiştir gözle algoritması "A" konumundan "B" konumuna geçerken pozitif güç artışı olmuştur ve bir sonraki çevrimde de aynı yönde devam edilmelidir. Fakat bu esnada güneş ışınımında azalma meydana gelirse sistem siyah grafiğe geçecektir ve üretilen güç azalacaktır. Sistem sanki kırmızı eğrinin tepe noktasını aştığı ve "E" noktasına civarında çalışıyormuş gibi algılayabilir. Bu durumda algoritma bir önceki durumun tersine göre hareket edecek ve sistem "C" noktasından "D" noktasına doğru hareket edecektir. Bu durumda sistem gecikmeli olarak maksimum güç noktasına (MGN) ulaşsa da yüksek salınımlı bir çalışma söz konusu olacaktır.



Şekil 2.6. Değiştir gözle yöntemi bulutlanma durumu için açıklama

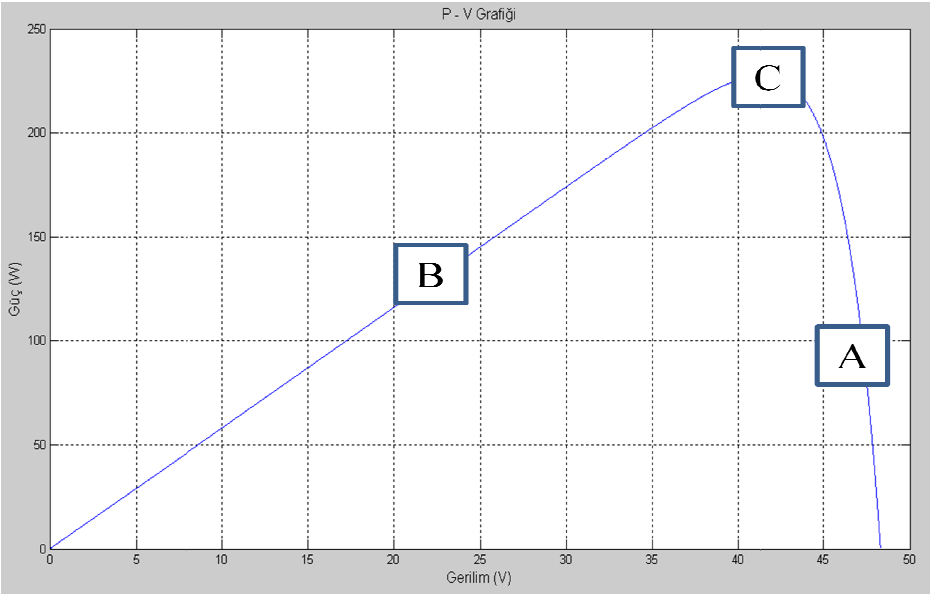
2.2.5. Artan iletkenlik yöntemi

Artan iletkenlik yönteminde, anlık olarak güneş paneli akım ve gerilimi ölçülür ve bir önceki akım ve gerilim bilgisi ile karşılaştırılır. Akım ve gerilim değişimi hesaplanarak Şekil 2.7'deki akış diyagramında görüldüğü üzere çalışır.



Şekil 2.7. Artan iletkenlik algoritması

Artan iletkenlik yönteminin temeli, gücün gerilime göre değişiminin takibi yapılarak maksimum güç noktası takibi gerçekleştirilir. Buna göre Şekil 2.8'den anlaşılacağı üzere gücün gerilime göre türevinin sıfıra eşit olduğu C noktasında gücün değeri maksimumdur.



Şekil 2.8. Artan iletkenlik algoritması çalışma ilkesi

Artan iletkenlik yöntemi değiştir gözle algoritmasına göre karmaşık bir yöntem olmakla birlikte özellikle hızlı değişen atmosfer koşullarına en iyi tepki vermesi sebebiyle maksimum güç noktası takibinde daha başarılıdır [36].

3. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Doğru akım gerilim dönüştürücüsü olarak da isimlendirilen DA-DA dönüştürücüler, bir doğru gerilimi, farklı bir doğru gerilime çeviren güç elektroniği devreleridir. DA-DA dönüştürücüler anahtarlamalı güç kaynakları, güç faktörünün düzeltilmesi, bilgisayar, kontrol ve haberleşme devrelerinin beslenmesi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüktanslı izoleli dönüştürücüler, transformatör kullanımındaki sınırlamalar nedeniyle birkaç kW'a kadar düşük güçlerde uygulanabilmektedir.

DA-DA dönüştürücülerde kondansatör, bobin ve transformatör kullanımı ve tasarımı önemli bir yer tutar. Frekans yükseldikçe, kondansatör, bobin ve transformatör boyutları küçülür.

DA-DA dönüştürücüler yüksek frekansta çalıştırılan güç elektroniği devreleridir. Yüksek frekans, boyut ve dolayısıyla maliyet açısından avantaj sağlamakla beraber devre üzerinde bazı dezavantajlı durumlara da sebep olmaktadır. Hızlı anahtarlama ve yüksek frekans nedeniyle elektro manyetik girişim (EMI), akım gerilim yükselme hızları, akım ve gerilimin maksimum değerleri ile anahtarlama güç kayıpları artar [46].

DA-DA dönüştürücüler genellikle Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) yöntemi ile kontrol edilirler. DGM ile yarı iletken eleman için gereken kontrol sinyali üretilir. Gerekli kontrol sinyali, mikrodenetleyici entegreleri ile pratik olarak ya da testere dişi gerilimi üreten entegre ile bir kontrol geriliminin karşılaştırılması ile analog olarak üretilebilir [46].

DGM yöntemi ile kontrol sinyali $0<D<1$ arasında ayarlanır.

$$D = \frac{t_D}{t_P} \tag{3.1}$$

D doluluk oranı, t_D sinyalin geçerli olduğu süre, t_P ise çalışma periyodu olmak üzere; Denklem (3.1) bağıntısı geçerlidir.

DA-DA dönüştürücü devrelerinde genellikle frekans sabit tutulup, t_D süresinin değiştirilmesi ile kontrol gerçekleştirilir.

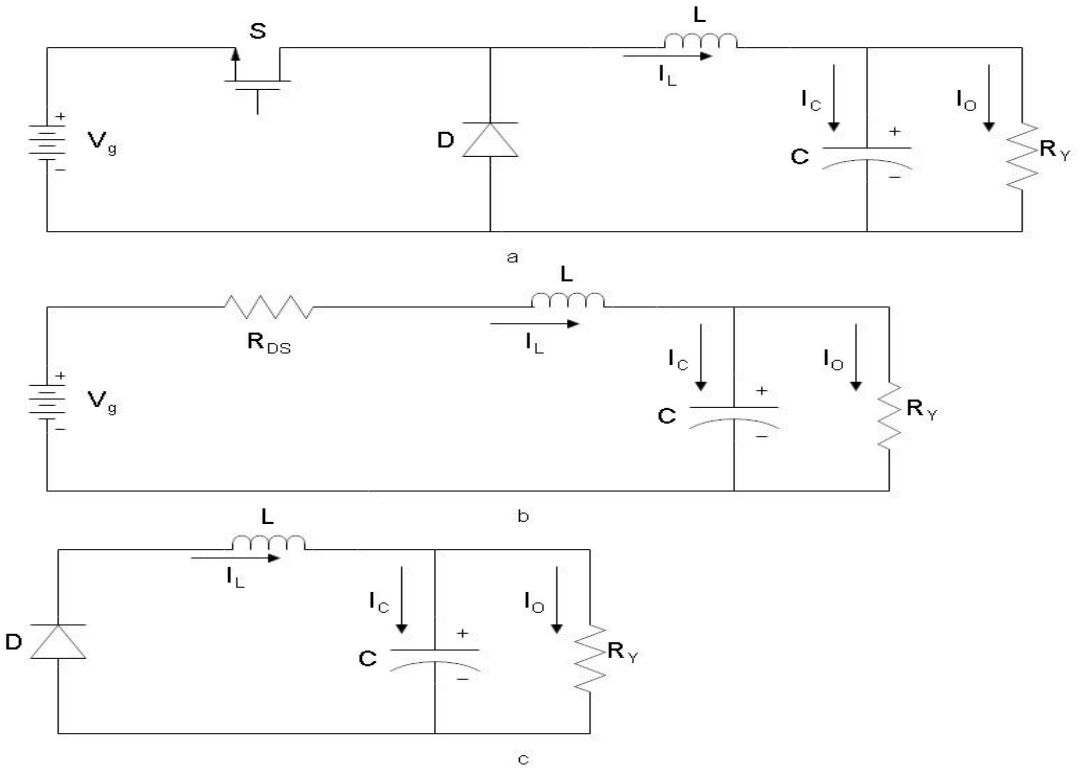
3.1. Endüktanslı ve İzolesiz DA-DA Dönüştürücüler

Endüktanslı dönüştürücülerde enerji aktarımı bobinler tarafından gerçekleştirilir. Yarı iletken elemanın iletimde olduğu süre boyunca bobinde biriktirilen enerji, yarı iletken elemanın kesime girmesiyle çıkıştaki yüke aktarılır. Bu tip dönüştürücülerde giriş ile çıkış arasında elektriksel izolasyon yoktur. Giriş ve çıkışın referans noktaları aynıdır.

Bu tip dönüştürücüler düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici ve cuk tipi şeklinde dört başlıkta incelenebilir.

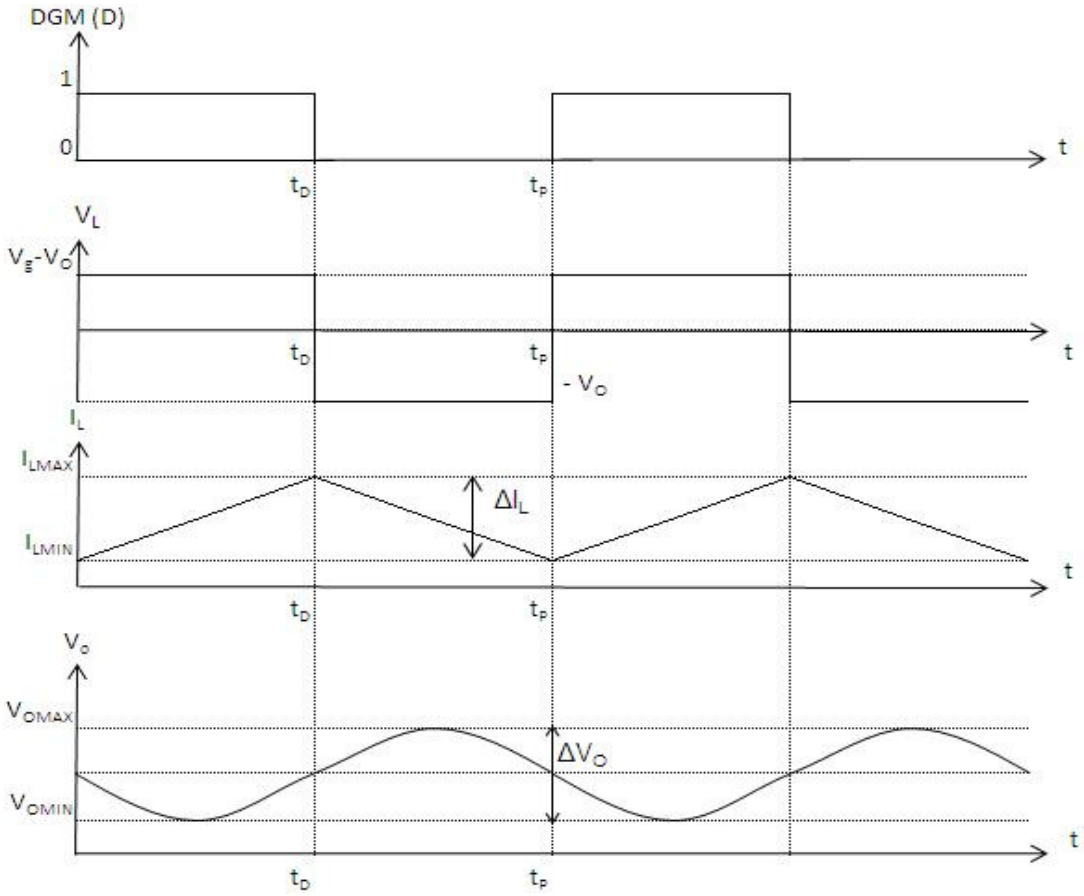
3.1.1. Düşürücü DA-DA dönüştürücüler

Düşürücü dönüştürücüler, temel olarak girişindeki DA gerilimi, çıkışa daha düşük bir seviyede yansıtan devrelerdir. Tipik bir düşürücü dönüştürücü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Düşürücü dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu

Tipik bir DA-DA düşürücü dönüştürücü devresine ait bobin gerilimi, bobin akımı ve çıkış gerilimi gibi temel değişkenlerin değişimi Şekil 3.2'deki gibidir. Dalga şekilleri D=0.5 için verilmiştir.



Şekil 3.2. Düşürücü dönüştürücü bobin akımı ve çıkış gerilimi değişimi

Düşürücü dönüştücülerde, yarı iletkenin kapı ucuna uygulanan sürme sinyali lojik 1 durumunda iken yarı iletken iletim halindedir ve direnç özelliği gösterir (Şekil 3.1.b). t_D anına kadar lojik 1 durumu devam eder ve çıkıştaki R_Y direnci bobin üzerinden beslenir. Bobin akımı artmaya başlar. $t=t_D$ anında, yarı iletken kapı ucundaki sinyal kesilir ve yarı iletken kesime girmesiyle bobin üzerinde biriken enerji D diyodu üzerinden $t=t_P$ anına kadar yükü beslemeye devam eder.

DA-DA dönüştürücüler için iki türlü çalışma durumu söz konusudur. Bunlar sürekli akım modu ve kesintili akım modudur. Bu kısımda incelenen dönüştürücüler için sürekli akım modu için analiz yapılmış ve devre elemanlarını ideal kabul edilmiştir.

Sürekli halde, bobin akımındaki artma ve azalmanın birbirine eşit olduğu kabul edilir. Buna göre;

$$\left(V_g - V_o\right) t_D = V_o (t_P - t_D) \tag{3.2}$$

eşitliğinden sürekli halde bobin geriliminin pozitif ve negatif alternanstaki alanları eşit olduğundan çıkış gerilimi;

$$V_o = DV_g \tag{3.3}$$

şeklinde bulunur. Benzer eşitlik akım için de yazılırsa;

$$I_g = DI_o \tag{3.4}$$

eşitliği elde edilir.

DA-DA dönüştürücü devrelerinde bobin akımındaki ve çıkış kondansatörünün gerilimindeki dalgalılık tasarımda önem arz eder. Pozitif alternansta bobin üzerindeki gerilim;

$$V_g - V_o = L\frac{dI_L}{dt} \tag{3.5}$$

şeklinde, negatif alternansta ise;

$$-V_o = L\frac{dI_L}{dt} \tag{3.6}$$

eşitliği geçerlidir. Denklem (3.5) ve Denklem (3.6)'dan bobin akımının pozitif alternanstaki değişimi;

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_g - V_o}{L} t_D \tag{3.7}$$

şeklinde ve negatif alternanstaki değişimi ise, Denklem (3.8)'e göre hesaplanır.

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_o}{L}\left(t_P - t_D\right) \tag{3.8}$$

Bobin akımındaki dalgalanma değeri, Denklem (3.7) ve Denklem (3.8)'ün ortak çözümünden;

$$\Delta I_L = D(1 - D)\frac{V_g}{f_P L} \tag{3.9}$$

elde edilir. Düşürücü dönüştürücü devre tasarımında gerekli olan bobinin endüktans değeri Denklem (3.9)'dan;

$$L = \frac{V_g}{D(1 - D)f_P \Delta I_L} \tag{3.10}$$

hesaplanabilir. Devrenin çıkışındaki kondansatörün şarj ve deşarjı bobin akımına bağlıdır. Buna göre kondansatör akımı;

$$I_C = I_L - I_O \tag{3.11}$$

olduğundan kondansatör gerilimi tamamen bobin akımına bağlıdır. Kondansatörün uç gerilimi;

$$V_C = \frac{1}{C}\int I_C dt \tag{3.12}$$

olduğundan Denklem (3.12) kullanılarak kondansatörün değeri;

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 f_P \Delta V_C} \tag{3.13}$$

şeklinde bulunur.

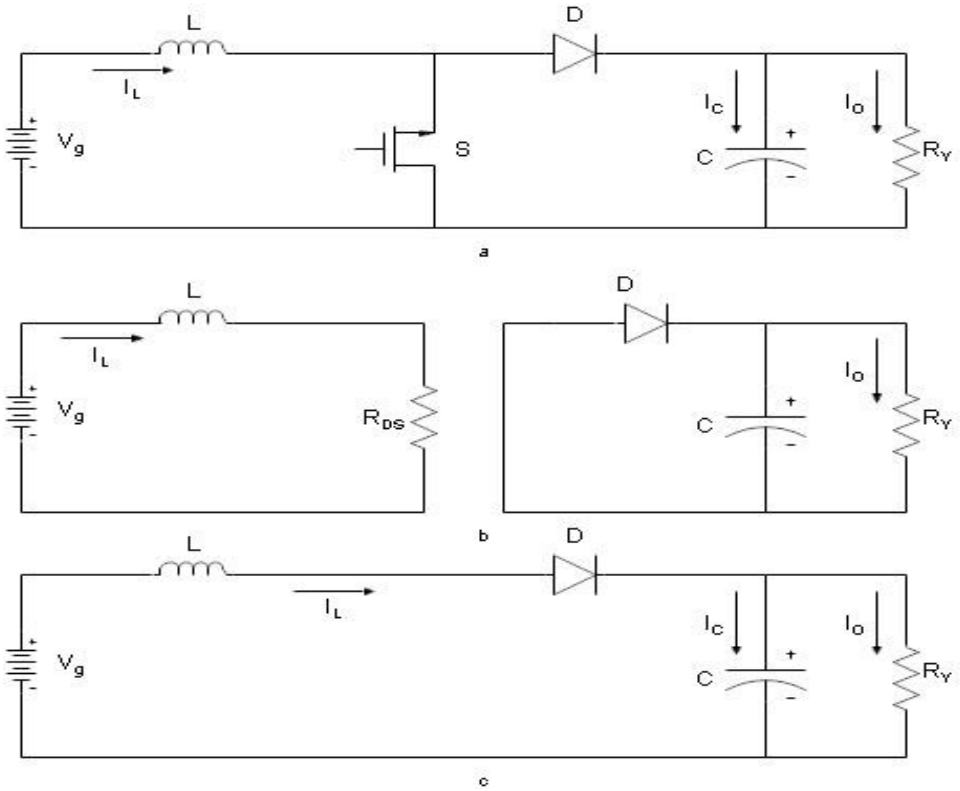
3.1.2. Yükseltici DA-DA dönüştürücü

Yükseltici DA-DA dönüştürücü girişindeki doğru gerilimi, daha yüksek gerilim seviyelerine dönüştüren devrelerdir. Fotovoltaik sistemlerde, güç faktörünün düzeltilmesi amacıyla ve özellikle anahtarlamalı güç kaynaklarında yaygın olarak kullanılır [46].

Yükseltici dönüştürücü devresinin en temel hali Şekil 3.3'de yarı iletken elemanın iletim ve kesim durumları dâhil olmak üzere gösterilmiştir. Yarı iletken elemanın kapı ucuna t=0 anında sürme sinyali uygulandığında, yarı iletken eleman iletime girer ve Şekil 3.3.b'de görüldüğü gibi bobin üzerinden devresini tamamlar, bobin akımı artar ve bobinde depolanan enerji;

$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2 \tag{3.14}$$

olarak ifade edilir. $t=t_D$ anında yarı iletken elemanın kesime girmesiyle bobin üzerinde biriken enerji, $t=t_P-t_D$ süresi boyunca çıkışı besler bu süre boyunca bobin akımında azalma meydana gelir. Yarı iletken elemanın kesimde olduğu süre boyunca V_O çıkış gerilimi V_g+V_L gerilimine maruz kalacağından gerilim yükselecektir. Çıkış kondansatörü ve diyot yükseltilen gerilim seviyesine göre seçilmelidir.



Şekil 3.3. Yükseltici dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu

I_L bobin akımındaki dalgalanma miktarı $t=t_D$ anına kadar;

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_g}{L} t_D \tag{3.15}$$

olarak, $t=(t_P-t_D)$ anında kadar ise

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_o - V_g}{L}\left(t_P - t_D\right) \tag{3.16}$$

şeklinde ifade edilir.

Sürekli halde V_L bobin üzerindeki gerilimin pozitif ve negatif alanları eşit olmalıdır. Bu eşitlikten yararlanarak;

$$V_o = \frac{V_g}{1 - D} \tag{3.17}$$

çıkış geriliminin ortalama değeri elde edilebilir. Denklem (3.17)'den çıkış akımı bulunabilir. Buna göre giriş akımı;

$$I_g = \frac{I_o}{1 - D} \tag{3.18}$$

şeklinde hesaplanabilir. Sürekli halde bobin akımının pozitif ve negatif dalgalanma miktarı Denklem (3.16) ve Denklem (3.17)'nin ortak çözümünden bobinin endüktans değeri;

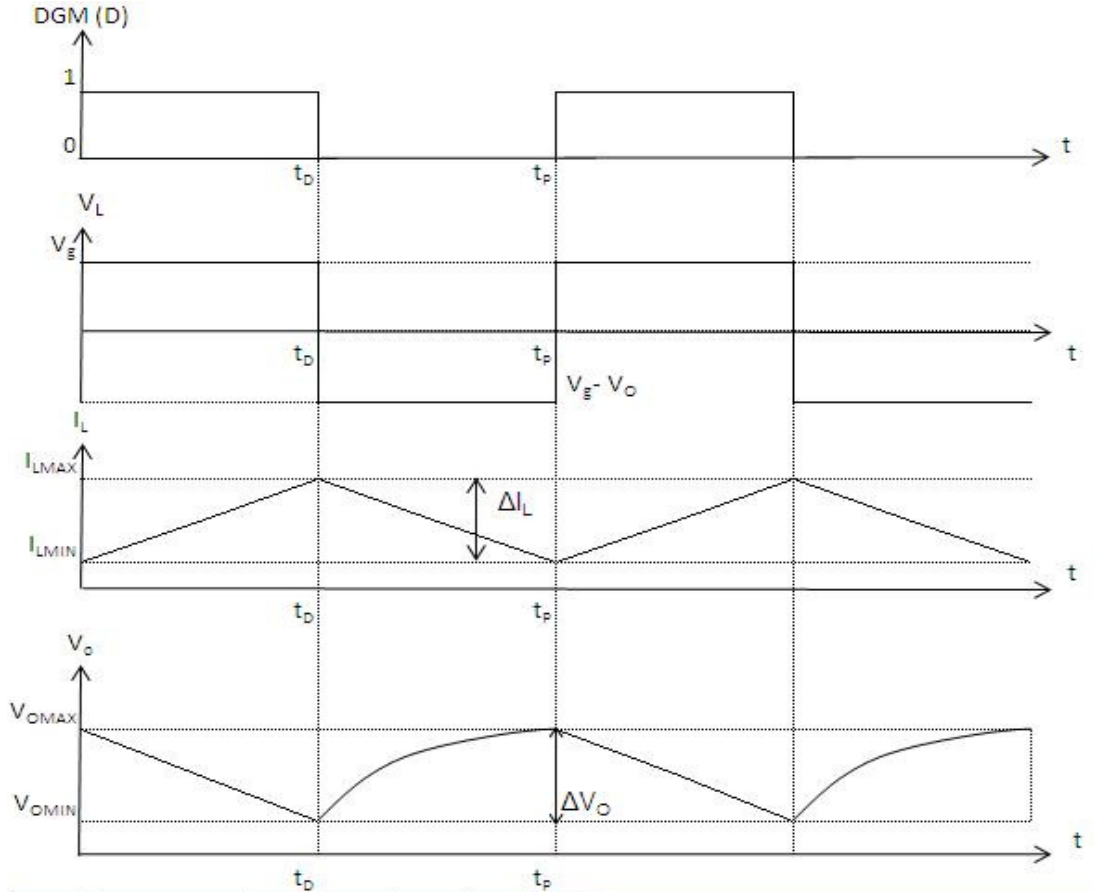
$$L = \frac{V_o D\left(1 - D\right)}{f_P \Delta I_L} \tag{3.19}$$

bulunabilir. Aynı şekilde çıkış kondansatörünün değeri de çıkış geriliminde ki istenen dalgalılığı sağlamak için önemlidir. Yükseltici dönüştürücülerde, yarı iletken eleman iletim halindeyken, yük tamamen kondansatör üzerinden beslenir. Kesim anında boşalan kondansatör tekrar dolmaya başlar. Sürekli halde kayıpsız, ideal bir yükseltici dönüştürücü devresinde kondansatörün geriliminin artma ve azalma miktarı birbirine eşittir. Gerekli kondansatör değeri, Denklem (3.12)'den türetilir ve;

$$C = \frac{I_O D}{f_P \Delta V_C} \tag{3.20}$$

şeklinde bulunur.

Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi, bobin akımı ve gerilimi gibi büyüklüklerin değişimi D=0.5 için Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Yükseltici dönüştürücü bobin akımı, gerilimi ve kondansatör gerilim değişimleri

3.1.3. Düşürücü-Yükseltici DA-DA dönüştürücü

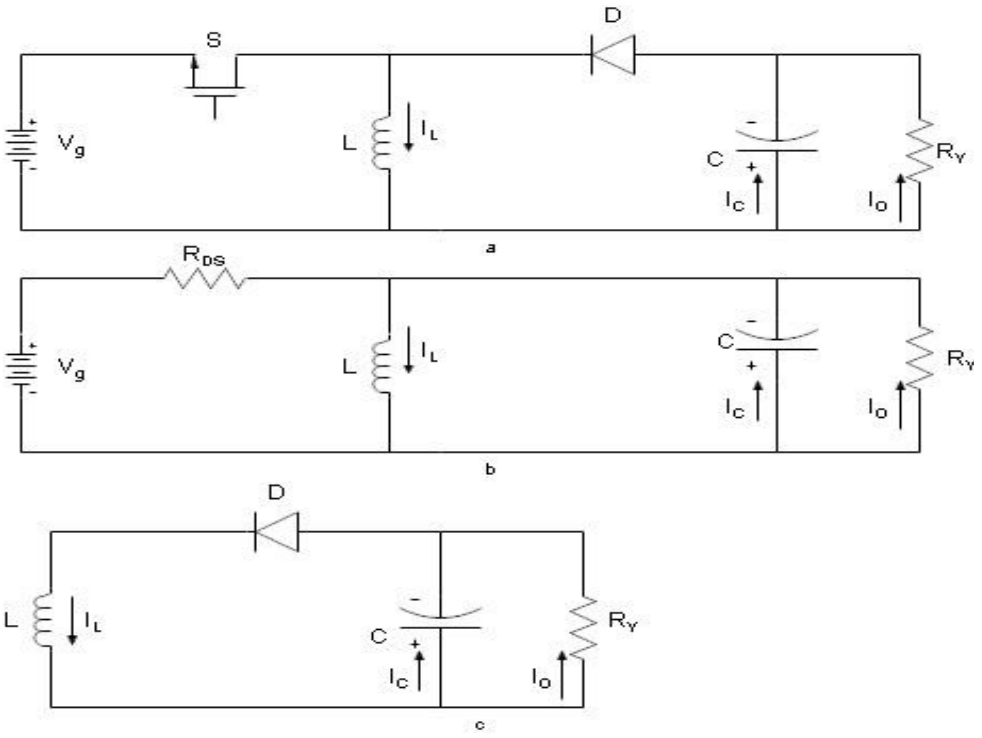
Düşürücü-yükseltici dönüştürücü devresi Şekil 3.5.a'da verilmiştir. D doluluk oranının değerine göre düşürücü ya da yükseltici dönüştürücü olarak görev yapan bu devrenin çalışma prensibi daha önce bahsedilen düşürücü ve yükseltici devreler gibidir.

t=0 anından $t=t_D$ anına kadar yarı iletken elemanın kapı ucuna uygulanan sürme sinyali ile güç anahtarı iletimde kalır. Bu durum Şekil 3.5.b'de verilmiş olup burada giriş akımı bobin üzerinden devresini tamamlamakta ve bobin üzerinde Denklem (3.14) gereğince bir enerji birikmektedir. Bu süre zarfında yük, çıkış kondansatöründen beslenmekte ve Şekil 3.6'da görüldüğü üzere kondansatör gerilimi V_O azalmaktadır. $t=t_D$ anında yarı iletken elemanın kesime girmesiyle 3.5.c.'deki

devre geçerli olur ve girişten bağımsız bir devre haline gelinir. Burada bobin devrenin yeni enerji kaynağı haline gelir ve yükü besler. Şekil 3.6'daki grafikler D=0.5 için geçerlidir. Tüm devre elemanları ideal kabul edirse, bobin akımı için Denklem (3.21) ve Denklem (3.22) yazılabilir.

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_g}{L} t_D \tag{3.21}$$

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_o}{L}\left(t_P - t_D\right) \tag{3.22}$$



Şekil 3.5. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu

Denklem (3.21) ve Denklem (3.22)'ün ortak çözümünden çıkış gerilimi Denklem (3.23)'de ve giriş akımı için Denklem (3.24) elde edilir.

$$V_o = \frac{D}{1 - D} V_g \tag{3.23}$$

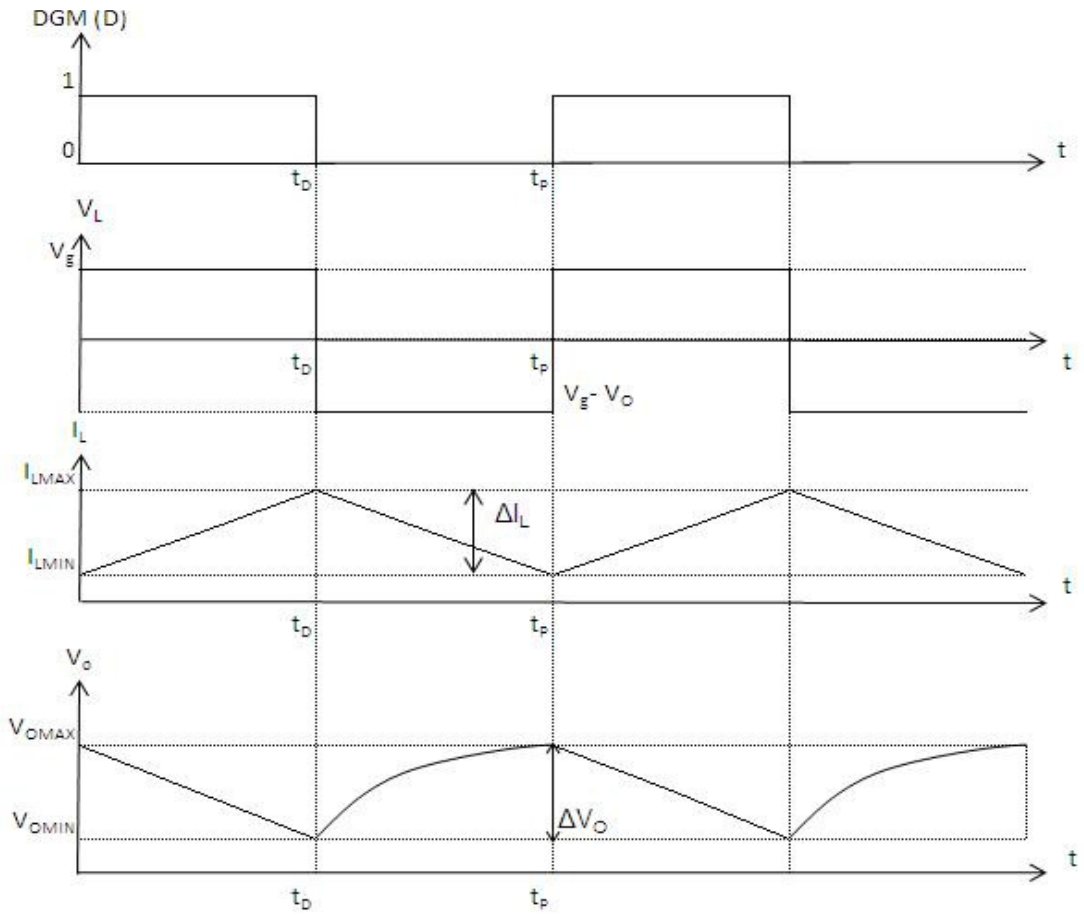
$$I_g = \frac{D}{1 - D} I_o \tag{3.24}$$

Bobin akımı ve endüktans değeri için;

$$I_L = I_g + I_o \tag{3.25}$$

$$L = \frac{D(1 - D)(V_g + V_o)}{f_P \Delta I_L} \tag{3.26}$$

bağıntıları yazılabilir.



Şekil 3.6. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü devresi bazı büyüklüklerin değişimi

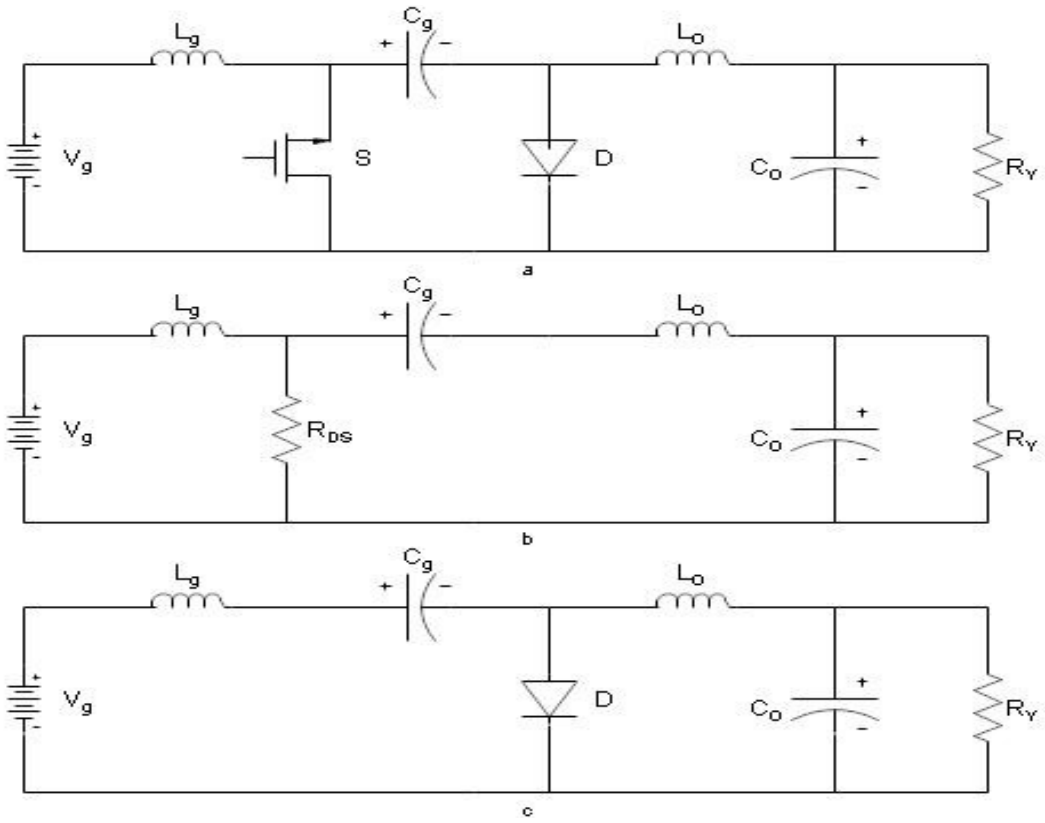
Devrenin çıkışındaki kondansatörün şarj ve deşarjı bobin akımına bağlıdır. Buna göre kondansatör akımı için Denklem (3.11) ve kondansatör gerilimi için Denklem (3.12) için denklemleri geçerli olup, bu denklemlerden kondansatör gerilimi;

$$C = \frac{DI_o}{f_P DV_C} \tag{3.27}$$

şeklinde elde edilir.

3.1.4. Cuk tipi DA-DA dönüştürücü

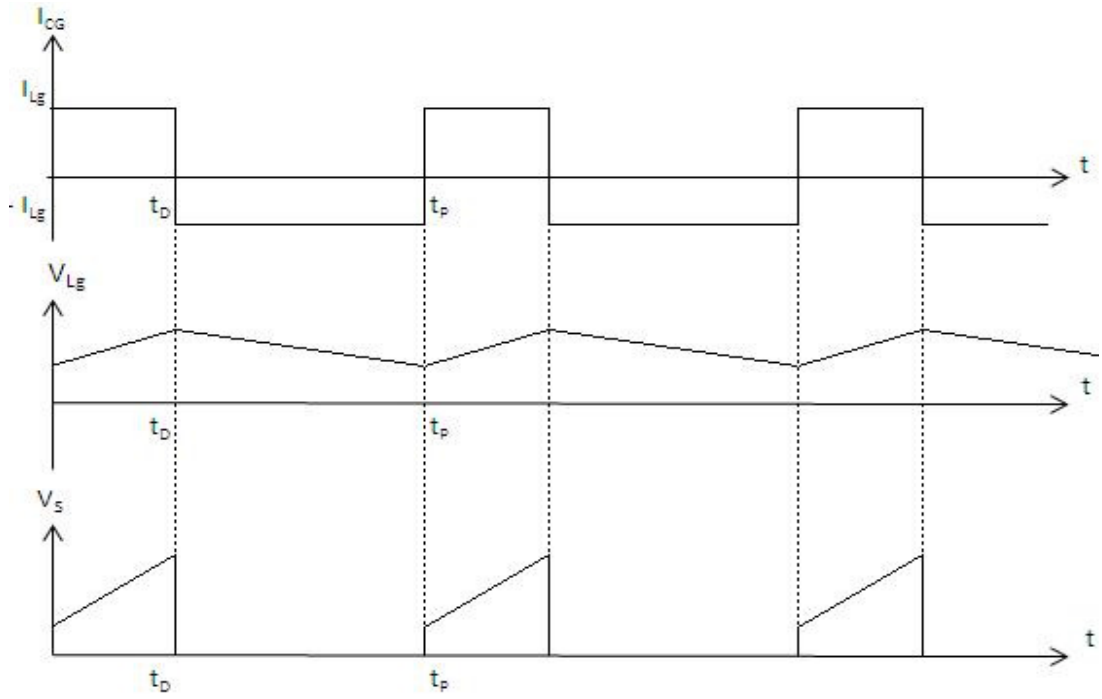
Düşürücü-yükseltici devrenin gelişmiş versiyonudur. En önemli avantajı, devrenin girişinde ve çıkışında bulunan bobinler sayesinde akım dalgalılığının azaltılmasıdır [47]. Devre yapısı ve içerdiği eleman sayısının fazla olması sebebiyle daha karmaşık olup, tasarımı diğer dönüştürücülere göre daha zordur. Temel bir cuk DA-DA dönüştürücü devresi Şekil 3.7.a'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Cuk dönüştürücü devresi a) genel b) iletim durumu c) kesim durumu

Yarı iletken eleman iletim durumundayken, devre yükseltici moda çalışır. L_g bobini giriş gerilimi tarafından beslenir. C_g kondansatörü ise L_o ile yükü besler. Yarı iletken eleman kesime girdiğinde ise giriş gerilimi enerjili olan L_g bobini ile birlikte C_g kondansatörünü besler, diğer tarafta ise L_o bobini ise yükü besler.

Cuk tipi dönüştürücüde yarı iletken elemanın iletimde olduğu durumda devre yükseltici modda çalışırken, yarı iletken kesime geçtiği anda düşürücü devre gibi çalışır. Giriş ile çıkışı arasındaki bağıntı Denklem (3.23)'teki gibidir.



Şekil 3.8. Cuk dönüştürücü giriş kondansatörü akım ve gerilimi, yarı iletken anahtar gerilimi değişimi

3.2. Endüktanslı ve İzoleli DA-DA Dönüştürücüler

İzoleli dönüştürücü devrelerinin çalışma prensibi bir önceki bölümde anlatılan izolesiz ayarlayıcılardan farksızdır. Fark olarak giriş ve çıkış devresi elektriksel olarak birbirinden izole edilmiştir. İzolasyon trafo ile sağlanır Trafoda kullanılan nüvenin B-H özellikleri, gerekli akıyı hangi akımda sağladığı, mıknatıslanma akımının sıfırlanması ve kaçak endüktanslar olumsuzluk teşkil eden unsurlardır.

3.2.1. İleri yönlü DA-DA dönüştürücüler

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devrenin izoleli hali olan bu devre Şekil 3.9'da gösterilmiş olup, D=0.33 için dalga şekilleri Şekil 3.10'da verilmiştir.

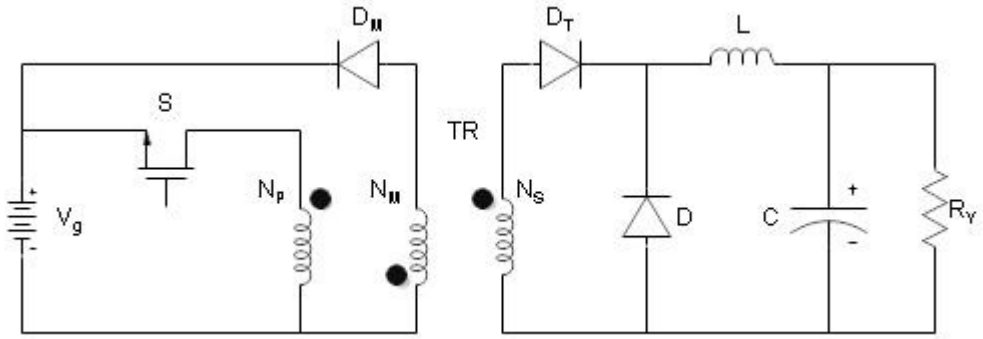
İleri yönlü ayarlayıcı çıkış gerilimi, α trafo primer ve sekonder sarım sayısı oranı;

olup, ortalama DA çıkış gerilimi ise;

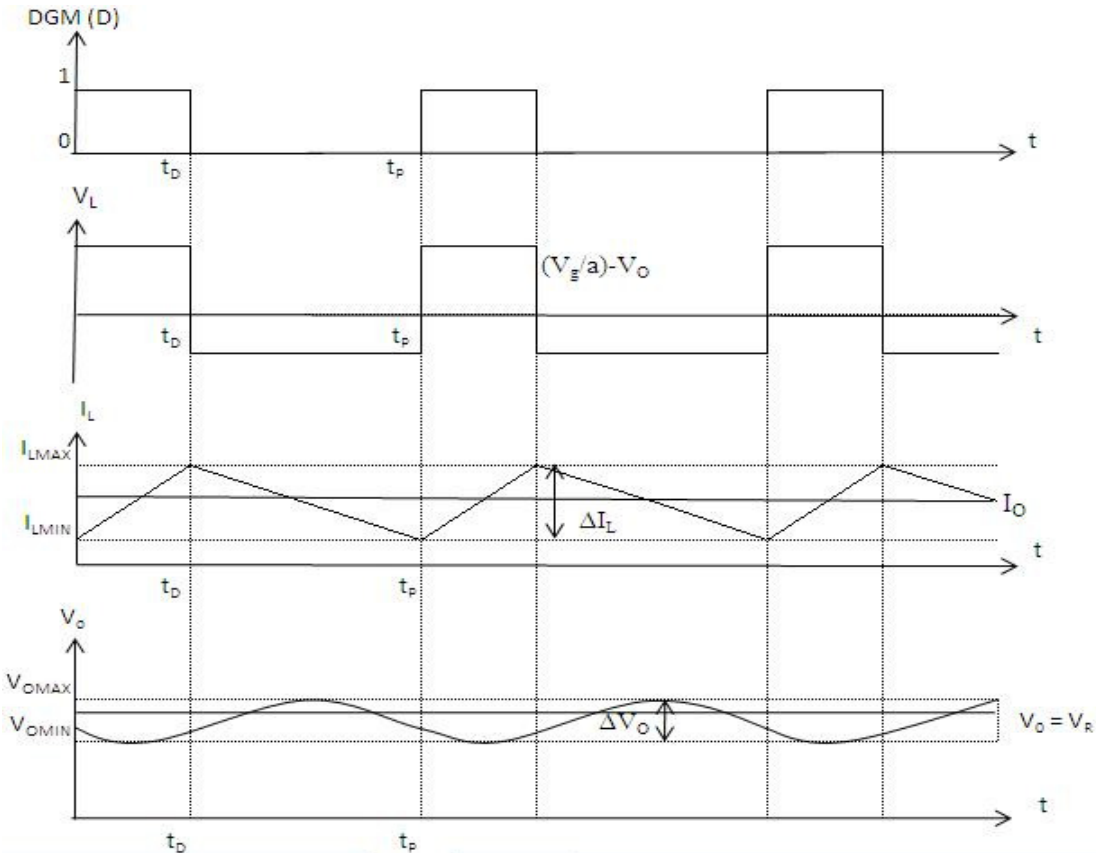
$$\alpha=\frac{N_P}{N_S} \tag{3.28}$$

$$V_o = D\frac{V_g}{\alpha} \tag{3.29}$$

şeklinde bulunur. Trafo sadece iletim aralığında enerji aktarır. Bu sırada trafonun primer sargısında endüklenen emk yarı iletken kesimdeyken N_M üzerinden sıfırlanır. Bu işlem sırasında yarı iletken anahtar üzerinde yüksek gerilim darbeleri oluşacağından koruma önlemleri alınmalıdır. D doluluk oranı ise 0…..0.5 aralığında kontrol edilir. Uygulamada 100W ile 500W arasında uygulanır [46].



Şekil 3.9. İleri yönlü dönüştürücü devresi



Şekil 3.10. İleri yönlü DA-DA dönüştürücü devresi bobin akımı, gerilimi ve çıkış gerilimi değişimleri

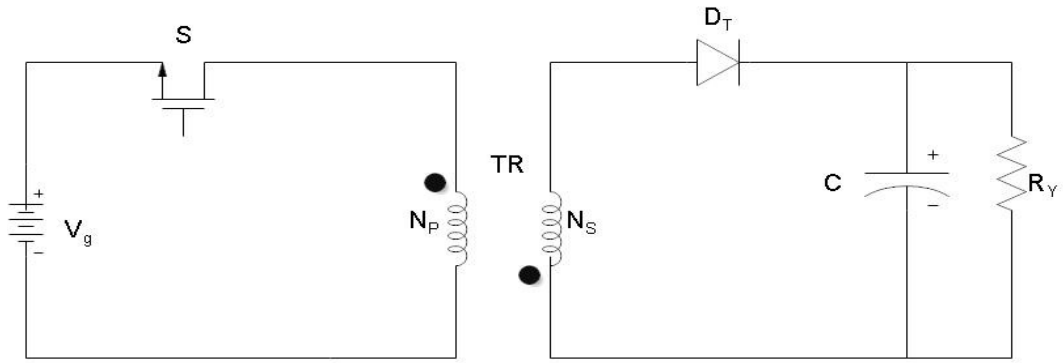
3.2.2. Geri dönüşlü DA-DA dönüştürücüler

Düşürücü yükseltici dönüştürücü devresinin bobin yerine trafo kullanılmış halidir. Trafonun primer ve sekonder sargıları birbirine kuplajlı olup, yarı iletken iletimdeyken giriş gerilimiyle primer sargısı N_1 sarım sayılı L_P bobini beslenir. Kesim aralığında kuplajlı L_S bobini diyot üzerinden çıkıştaki yükü besler. Kuplajlı endüktans hem izolasyonu sağlar hem de enerji aktarımını yapar. Bu tür dönüştürücü devrelerinde çıkış geriliminin; giriş gerilimi, α ve D doluluk oranı cinsinden değeri;

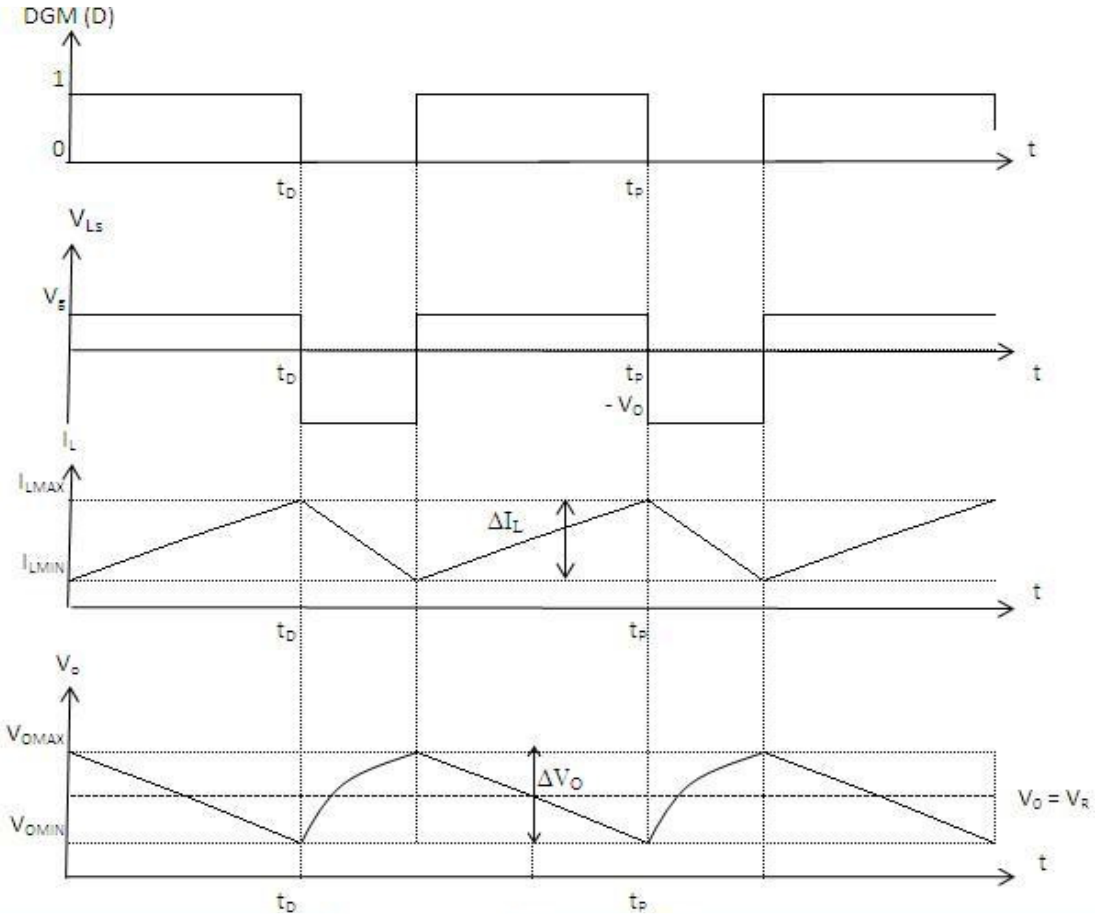
$$V_o = \frac{DV_g}{(1 - D)\alpha} \tag{3.30}$$

şeklinde bulunur. α=1 durumunda izolesiz düşürücü-yükseltici ayarlayıcı devrenin çıkış gerilimine eşit olduğu görülebilir. Burada çıkış gerilimi giriş gerilimi ile aynı polaritedir. Dalga şekilleri düşürücü-yükseltici devre ile aynı olup Şekil 3.12'de tekrar verilmiştir.

Uygulamada trafo kullanımındaki sınırlamalar nedeniyle yüksek güçlere çıkılamaz. 100W civarı uygulamalarda tercih edilebilir [47].



Şekil 3.11. Geri dönüşlü DA-DA dönüştürücü devresi

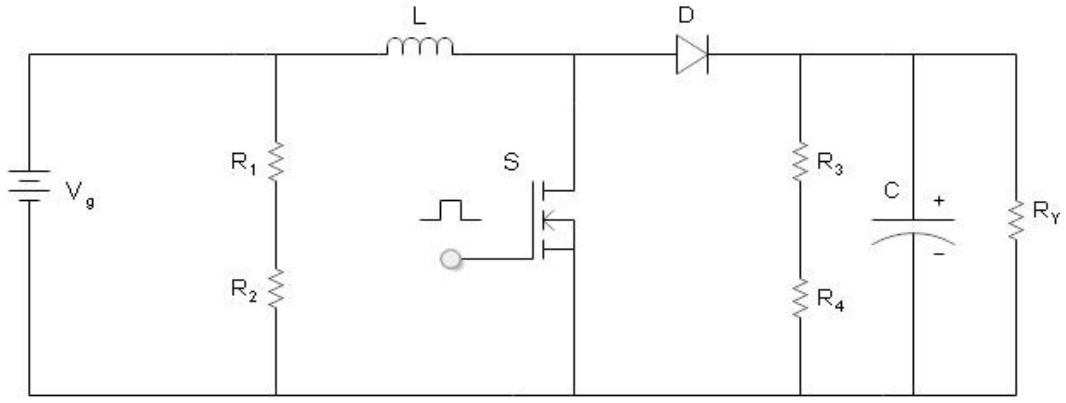


Şekil 3.12. Geri dönüşlü DA-DA ayarlayıcı devresi bobin akımı, gerilimi ve çıkış gerilim değişimi

4. YÜKSELTİCİ (BOOST) DEVRE TASARIMI

4.1. Devre Tasarım Kriterleri

Genel olarak devre tasarımı aşamasında bazı kabuller yapılarak işe başlanır. Tasarımı gerçekleştirilen DA-DA yükseltici dönüştürücü devresi için belirlenen devre parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Giriş gerilim seviyesi 24V DA olarak belirlenmiştir. 24V DA gerilimi, iki adet 12V 7Ah etiket değerindeki kurşun asit akünün seri olarak bağlanması ile elde edilmiştir. Akü grubunun boş ve tam dolu olduğu andaki açık devre gerilimleri, devrenin giriş gerilim aralığını oluşturmuştur. Tasarımı gerçekleştirilen devre Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1. DA-DA yükseltici dönüştürücü devresi

Çıkış gerilim seviyesi 48V DA olarak belirlenmiş olup, 60W'lık bir çıkış gücü hedeflenmiştir. Bu durumda devrenin çıkış akımı Denklem (4.1)'e göre bulunur.

$$I_o = \frac{P_o}{V_o} \tag{4.1}$$

Yük direnci ise çıkış geriliminin çıkış akımına oranından bulunur.

Tablo 4.1 Tasarlanan devrenin parametreleri

Tasarım İçin Yapılan Kabuller	
Giriş Gerilimi	22-27V
Giriş Maks. Ort. Akım	~3,03A
Yük Gerilimi	48V
Yük Akımı	1,25A
Yük Direnci	38.4Ω
Anahtarlama Frekansı	20 kHz
Akım Dalgalılığı	0,606A
Çıkış Gerilim Dalgalılığı	(%1)0,48V
Hesaplanan Değerler	
Endüktans	1,02mH
Çıkış Kondansatörü	67μF

Devre tasarımında bobin, kondansatör gibi pasif elemanların değerlerinin belirlenmesi amacıyla bir verim hedefi koyulmalıdır. Bu sebeple beklenen verim %90 olarak belirlenmiş ve sürekli halde akü grubundan çekilecek güç değeri hesaplanmıştır. Çıkış gücü 60W olan bir DA-DA yükseltici dönüştürücü devresinin girişinden sürekli halde;

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} \tag{4.2}$$

bağıntısına göre 67W güç çekileceği hesaplanmış ve giriş gerilimini minimum olduğu durumda aküden çekilecek akım;

$$I_{gmax} = \frac{P_i}{V_{gmin}} \tag{4.3}$$

bağıntısından 3,03A olarak bulunmuş ve bobin akımındaki dalgalılığın %20 kadar olması kabulü yapılarak bobin akımı değişimi;

$$\Delta I_L = \% \text{ c } I_{gmax} \tag{4.4}$$

'e göre 0,606A olarak hesaplanmıştır. Minimum giriş gerilimi durumunda yarı iletken anahtarın iletimde kalma süresini belirleyen D doluluk boşluk oranı;

$$D = \frac{V_o - V_{gmin} + V_D}{V_o} \tag{4.5}$$

bağıntısına göre V_D diyot gerilim düşümü 1V kabul edilerek 0,56 olarak hesaplanmıştır. 20 kHz anahtarlama frekansında gerekli olan endüktans değeri Denklem (3.19)'dan 1,02 mH olarak bulunmuş ve %1 çıkış gerilim dalgalılığı için çıkış kondansatörü ise Denklem (3.20) kullanılarak 67 μF olarak hesaplanmıştır.

4.2. Bobin Nüve Seçimi ve Hesaplamalar

DA-DA dönüştürücü devrelerinde bobinin endüktans değeri kolay hesaplanmakla beraber, tespit edilen frekans ve akımda çalışacak bobinin tasarımı ve nüve seçimi karmaşık bir iştir. Konuyla ilgili Mclyman "Transformer and Inductor Design Handbook" kitabında tasarımcılar için yol göstermiştir.

Bobinde depo edilecek enerji, Denklem (3.14)'e göre hesaplanır. Daha sonra nüve seçimi için K_e elektrik sabiti Denklem (4.6)'ya göre hesaplanır.

$$K_e = 0.145 P_o B_m^2 10^{-4} \tag{4.6}$$

DA-DA dönüştürücülerde birçok nüve çeşidi ve tipi kullanılmakla beraber, gerçekleştirilen uygulamada ferrit nüve tercih edilmiştir.

B_m akı yoğunluğu olup ferrit nüvelerde maksimum 0,44T olarak kabul edilmiştir [47]. K_g nüve geometrik faktörü olup Denklem (4.7)' ye göre hesaplanır.

$$K_g = \frac{W_L^2}{K_e m} \tag{4.7}$$

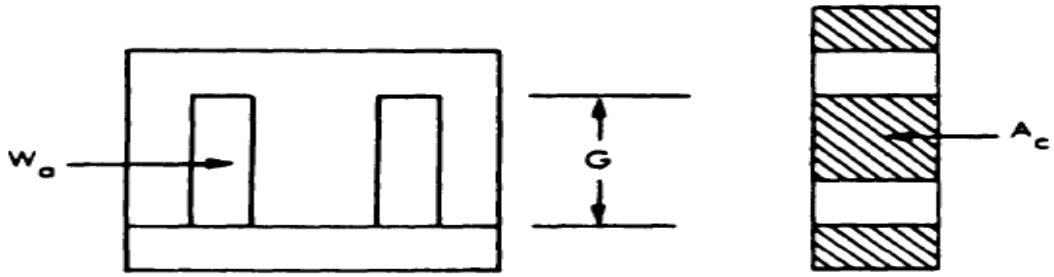
Denklem (4.7)'de m, bobin regülasyon katsayısı olup, bobinde oluşan bakır kaybının, bobinin aktardığı çıkış gücüne oranının yüzdesel değeridir. Hesaplanan K_g değerine göre bir nüve seçilir ve hesapladığımız endüktans değerini elde etmek için sarım sayısı, tel kesiti gibi hesaplara geçilir. Bu amaçla ilk önce akım yoğunluğu;

$$J = \frac{2 W_L 10^4}{B_m A_p K_u} \tag{4.8}$$

bağıntısına göre hesaplanır. Burada A_P, nüvenin geometrisine bağlı bir sabittir ve Denklem (4.9)'a göre bulunabilir.

$$A_P = W_A A_C \tag{4.9}$$

W_A ve A_C sırasıyla kullanılabilir nüve alanı ile nüve kesit alanıdır. Şekil 4.2'de E tipi nüve için önemli kesitler belirtilmiştir. Sarım yapılacak telin kesiti;



Şekil 4.2. E tipi nüve için önemli kesitler [48]

$$A_{W(B)} = \frac{I_o + \frac{\Delta I_L}{2}}{J} \tag{4.10}$$

bağıntısına göre belirlenir. Nüveye ait kullanılabilir sarım alanı, sarım sayısı açısından sınırlayıcı bir büyüklük olup Denklem (4.11)'e göre hesaplanır.

$$W_{A(eff)} = W_A S_2 \tag{4.11}$$

N_{1b} sarım sayısı;

$$N_{1b} = \frac{W_{A(eff)} S_1}{A_W} \tag{4.12}$$

olarak hesaplanır. S_1 ve S_2 katsayıları sırasıyla toplam sarım alanının kullanılabilir nüve pencere alanına oranı ve kullanılabilir nüve pencere alanının nüve pencere alanına oranı olup 0,75-0,6 olarak kabul edilmiştir [48]. Seçilen nüvenin, daha yüksek akım değerlerinde doymadan çalıştırılabilmesi için nüveler arası hava aralığı bırakılması gerekir. Bu hava aralığı;

$$l_g = \frac{0.4\Pi N_{1b}^2 A_C 10^{-8}}{L} \quad (4.13)$$

olarak cm cinsinden bulunur. Genellikle hava aralığına kraft kağıdı koyulur. Bu kağıt çok ince bir kağıt olup 1 mils kalınlığındadır. 1 mils 0,0254 mm kalınlığında olup, hesaplanan hava aralığı büyüklüğü bu değere bölünüp kraft kağıdından kaç kat yapılacağı belirlenir. Hava aralığının bırakılması bir miktar kaçak akı oluşumuna yol açar [48]. Kaçak akı büyüklüğü;

$$F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{A_C}} \ln\left(\frac{2G}{l_g}\right) \quad (4.14)$$

olarak hesaplanır ve yeni sarım sayısı;

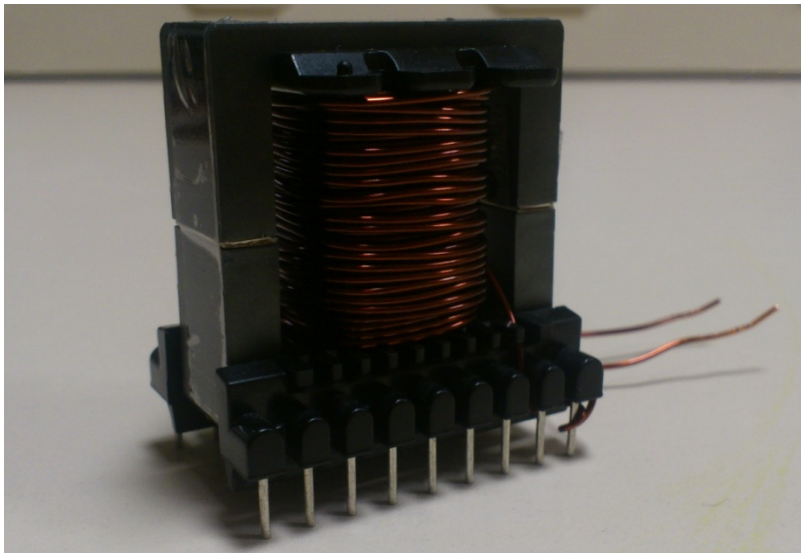
$$N_{2b} = \sqrt{\frac{l_g L}{0,4\Pi A_C F 10^{-8}}} \quad (4.15)$$

olarak hesaplanır.

Uygulama için tasarlanan bobin Şekil 4.3'de verilmiş olup bobine ait parametreler Tablo 4.2'deki gibidir.

Tablo 4.2 Tasarlanan bobin parametreleri

Çıkış gücü	60W
Giriş maks. akımı	3.33A
AC dalgalılık Akımı (ΔI_L)	0.606A
Bobinde depolanan enerji	5.65mW.s
Elektriksel sabit	$1.684x10^{-4}$
Geometrik faktör	0.019
Nüve	EE40 MnZn
Akım yoğunluğu	$505.54A/cm^2$
$A_{W(B)}$	$5.4x10^{-3}$ cm^2
$W_{a(eff)}$	0,825 cm^2
1. Sarım hesabı (N_{1b})	91
Hava aralığı	1.3mm
Kaçak akı	1.42 mT
2. Sarım hesabı (N_{2b})	77

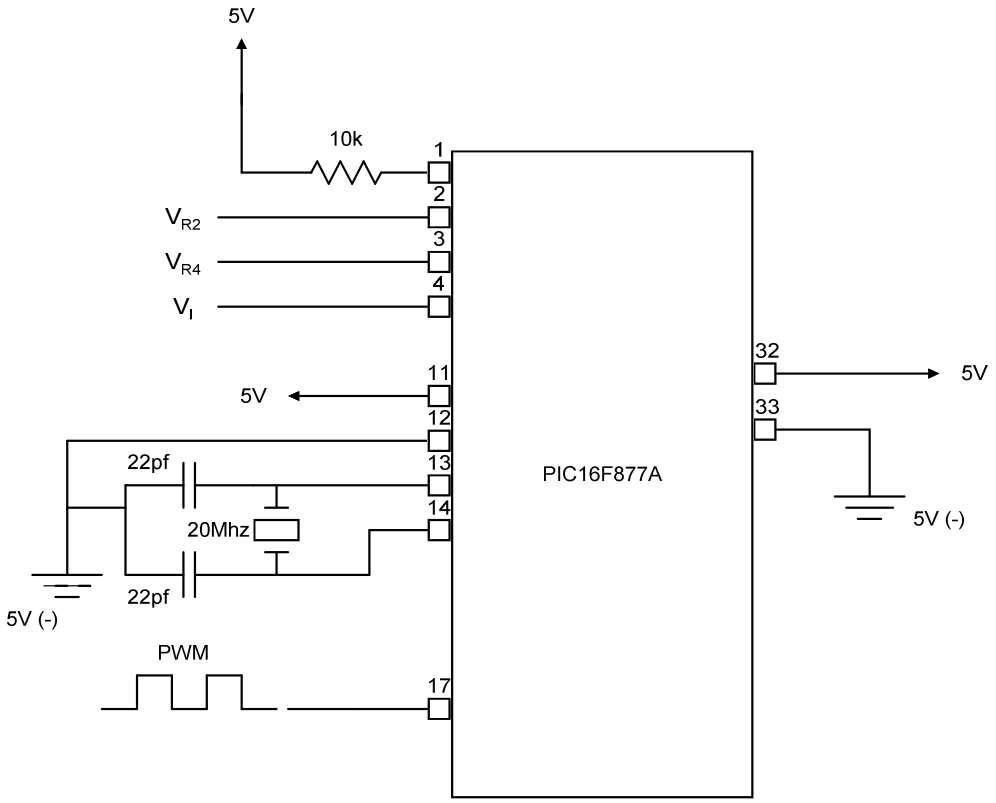


Şekil 4.3. Tasarlanan bobin

4.3. Kontrol Devresi

Tasarımı gerçekleştirilen DA-DA yükseltici dönüştürücü devresinde değişken giriş geriliminde çıkış geriliminin sabit tutulması gerekmektedir. Bu sebeple bir kontrol devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Çıkış geriliminin sabit tutulması için uygulamada açık çevrim kontrol tercih edildiği için giriş geriliminin sürekli olarak ölçülmesi ve yarı iletken anahtara uygun PWM sinyalinin üretilmesi gerekmektedir.

Microchip firmasının yaygın olarak kullanılan PIC16F877A entegresi gerek analog bilgilerin okunması gerekse de PWM yarı iletken sürme sinyallerinin üretilmesi amacıyla kullanılmıştır. Entegrenin analog-dijital dönüştürücü özelliği sayesinde giriş gerilimi program döngüsü içinde sürekli olarak ölçülmüş ve 20 kHz frekansta ve uygun doluluk boşluk oranında PWM sinyali üretilmiştir. PWM sinyalinin üretildiği kontrol devresinin prensip devre şeması Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Kontrol devresi

4.4. Yarı İletken Anahtar Seçimi ve Sürücü Devresi

Bir güç elektroniği devresinde, yarı iletken elemanın seçimi kuşkusuz büyük öneme sahiptir. Yarı iletken elemanın seçimi yapılmadan önce yük akımı, giriş ve çıkış gerilimi, anahtarlama frekansı gibi büyüklüklere karar verilmiş olması gerekir. Tasarlanan devrenin endüstriyel bir ürün olması hedefleniyorsa hacim ve maliyet en önemli parametreler olmasına rağmen, araştırma amaçla tasarımlar için bu ayrıntı göz ardı edilebilir. Bu sebeple burada maliyet ve hacimsel kritik yapılmayacaktır.

Yükseltici dönüştürücü devresinde anahtar kesimdeyken, çıkış geriliminin tamamı (diyot gerilim düşümü ihmal edildiği takdirde) yarı iletken anahtar üzerinde olur. Çıkış gerilim seviyesinin büyüklüğünü referans alarak en az 3-5 katı büyüklüğünde drain source devrilme gerilimine sahip bir yarı iletken seçilmelidir [49].

Yarı iletken anahtar üzerinden akan akım, üretici firma veri sayfalarında I_{DR} drain akımı olarak adlandırılır ve yarı iletken eklem bölgesi sıcaklığına göre akım değeri değişir. Yükseltici dönüştürücü devrede, Şekil 3.3.b.'ye göre yarı iletken anahtar üzerinden iletim durumunda I_L kadar akım akar. Bu akım değerini hesaplayarak ve

bobin üzerinden sürekli hale ulaşana kadar geçen akım değerini simülasyon sonuçlarına göre değerlendirerek uygun drain akımına sahip yarı iletken seçilmelidir. Aksi takdirde aşırı akımdan dolayı yarı iletken zamanla ısınıp, kullanılmaz hale gelebilir.

Yarı iletken anahtar iletim durumunda bir direnç gibi davranır ve;

$$P_k = I_D^2 R_{DS} \tag{4.16}$$

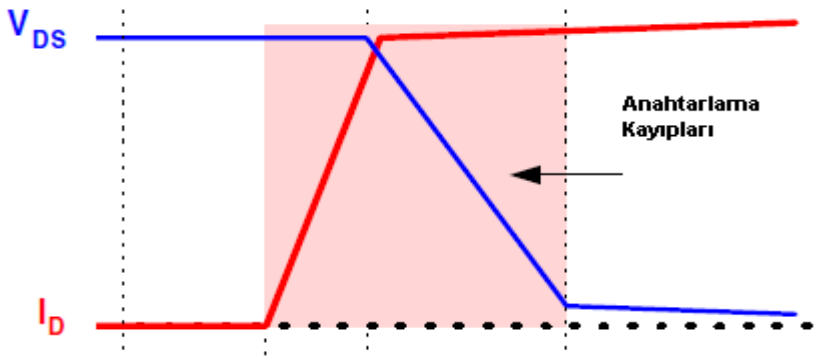
bağıntısına göre bir kayıp güç oluşur. R_{DS} direnci iletim kaybını doğrudan etkilediğinden küçük olması istenir.

Bunun yanında yarı iletken elemanın iletime giriş ve kesime giriş anlarında da anahtarlama frekansı, yükselme ve düşme zamanlarına bağlı olarak anahtarlama kayıpları meydana gelir. İletime giriş ve kesime giriş anlarındaki kayıplar sırasıyla Denklem (4.17) ve Denklem (4.18)'de verilmiştir.

$$P_{SW(on)} = \frac{I_D V_{DS} t_r f_P}{2} \tag{4.17}$$

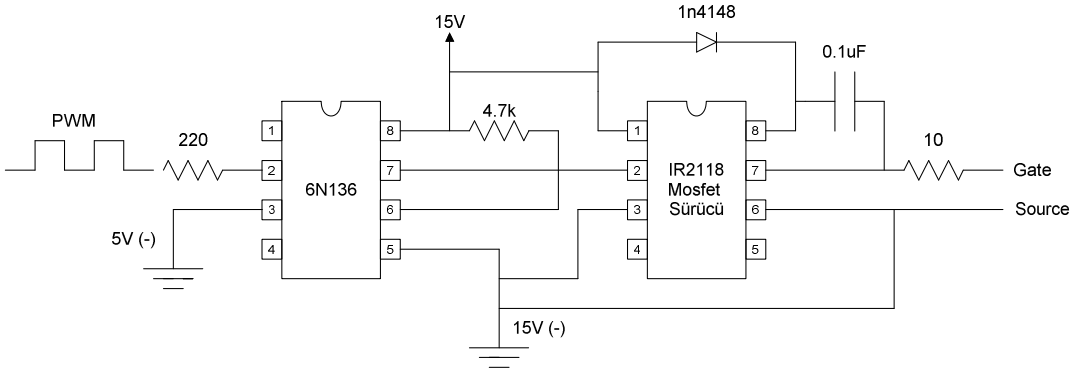
$$P_{SW(off)} = \frac{I_D V_{DS} t_f f_P}{2} \tag{4.18}$$

Denklem (4.17) ve Denklem (4.18)'deki I_D drain akımı, V_{DS} yarı iletken drain source gerilimi, t_r yükselme süresi, t_f ise düşme süresidir. Görüldüğü gibi t_r ve t_f süreleri ve anahtarlama frekansı, kayıpları doğrudan etkilemektedir. Şekil 4.5'te anahtarlama kaybının yarı iletken akım ve geriliminin yükselme ve düşme sürelerine bağlı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Yarı iletken anahtar anahtarlama kaybı resmi [50]

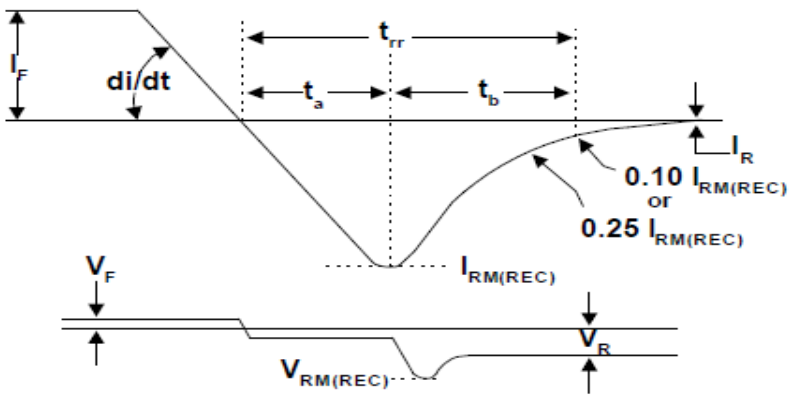
Uygulamada IRFP450 MOSFET'i için aynı firmanın IR2118 sürücü entegresi kullanılmıştır. IR2118 sürücü entegresine genliği yükseltilmiş ve kontrol devresinden izole edilmiş PWM sinyali 6N136 optokuplörü tarafından sağlanmıştır. Şekil 4.6'da MOSFET sürme devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Yarı iletken kapı sürme devresi

4.5. Diyot Seçimi

Yükseltici DA-DA dönüştürücü devresinde diyot, yarı iletken anahtar iletim durumundayken çıkış gerilimini ters polariteli olarak üzerinde tutmaktadır. Bu gerilimin büyüklüğü, ileri yönlü akım taşıma kapasitesi çıkış akımına uygun ve diyotun ters toparlanma süresinin ise çalışma periyoduna göre daha küçük süreli olması gerekir. Ters toparlanma süresi t_{rr} Şekil 4.7'deki $t_a + t_b$ sürelerinin toplamıdır. Ayrıca diyot iletim halindeyken oluşan ileri yönlü gerilim düşümünün de küçük olması istenir. Gerçekleştirilen uygulamada ters toparlanma süresi ns.'ler mertebesinde olan MUR 840 çok hızlı (ultra-fast) diyotu seçilmiştir.

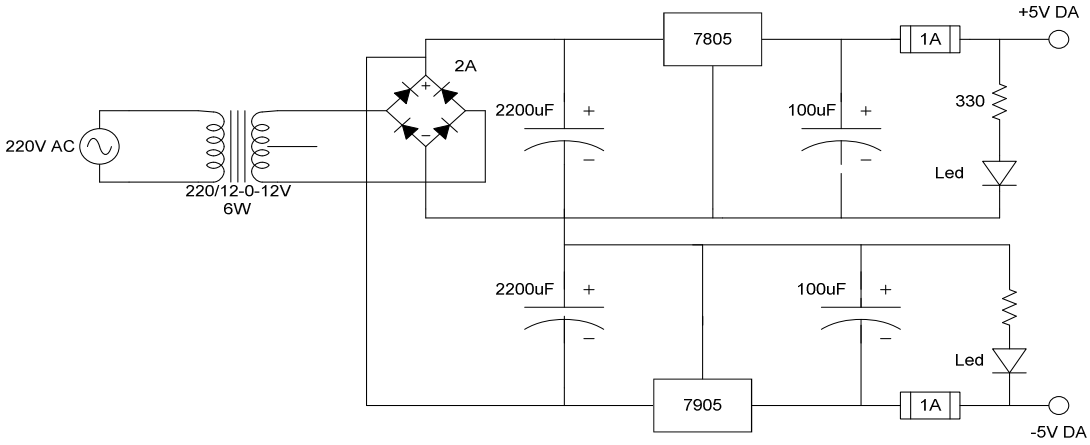


Şekil 4.7. Diyot anahtarlama grafiği [49]

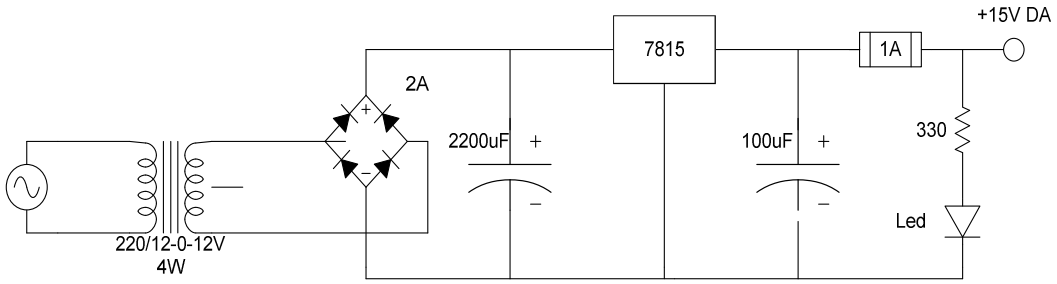
4.6. Besleme Devreleri

Tasarımı gerçekleştirilen DA-DA yükseltici dönüştürücü devresinde mikrodenetleyici, optokuplör, sürücü entegresi gibi devre elemanları sabit besleme gerilimine ihtiyaç duyarlar. Bu amaçla ±5V DA ve +15V DA besleme devreleri kurulmuştur. ±5V DA besleme devresi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'daki devrelerde şebeke gerilimi 12V AC'ye çevrilir ve daha sonra bir köprü diyot ile doğrultulurak, yüksüz durumda doğru akım formunda $\sqrt{2}$ katı kadar bir gerilime dönüştürülür. Son olarak ise regüle entegreleri ile ±5V ve 15V DA gerilim seviyesine dönüştürülür.



Şekil 4.8. ±5V DA besleme devresi



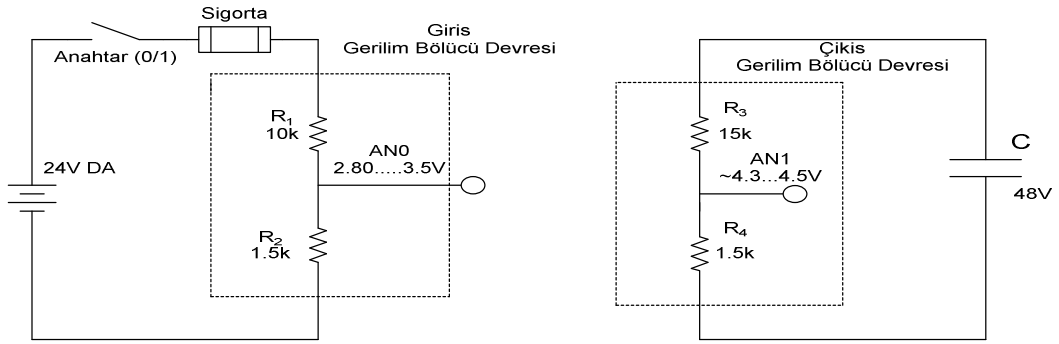
Şekil 4.9. +15V DA besleme devresi

4.7. Gerilim ve Akım Ölçümü

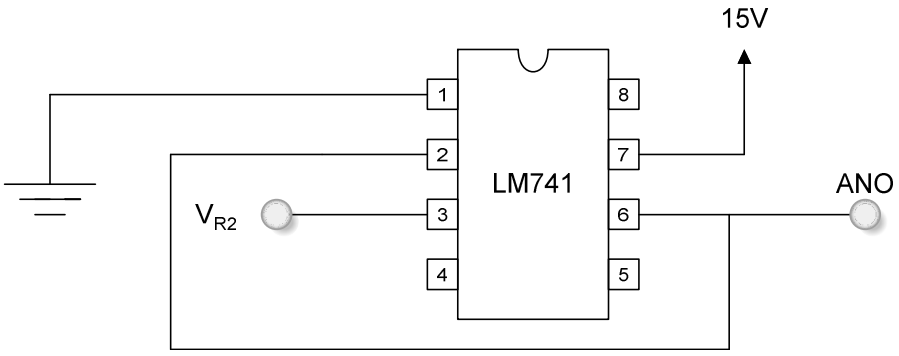
DA-DA dönüştürücü devresinin giriş ve çıkış geriliminin ölçülmesi için Şekil 4.10' daki gerilim bölücü devreleri dönüştürücü devresine eklenmiştir. Seçilen direnç değerleri mikrodenetleyici için sınır değer olan 5V'u geçmeyecek şekilde

ayarlanmmıştır. Gerilim bölücü devreleri Şekil 4.11'deki tampon devre aracılığıyla mikrodenetleyici analog girişine bağlanmıştır. Analog veriler mikrodenetleyici içinde bulunan yazılım sayesinde gerçek değerine çevrilmiştir. Tampon devresi, güç devresi ile kontrol devresi arasında suni bir izolasyon oluşturmuş ve iki devre arasında megaohm mertebesinde direnç sağlanmıştır. Bu devre, kontrol devresinin güç devresinden dolayı oluşabilecek aşırı akımlardan korunması açısından önemlidir.

Tasarlanan yükseltici dönüştürücü devresinin giriş akımını ölçmek için LTS-25NP akım transdüseri kullanılmıştır.



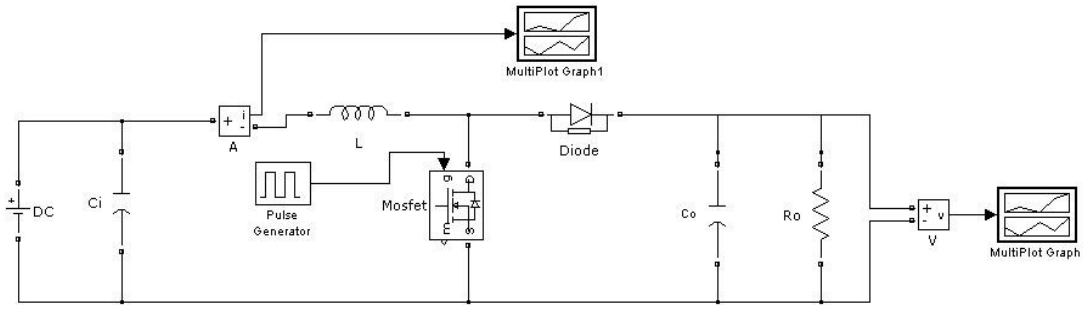
Şekil 4.10. Gerilim bölücü devreleri



Şekil 4.11. Tampon devre

5. SİMÜLASYON VE UYGULAMA DEVRESİ SONUÇLARI

Tasarımı gerçekleştirilen dönüştürücünün MATLAB/SIMULINK programı aracılığıyla simülasyonu yapılmış olup simülasyon ekran görüntüsü Şekil 5.1'deki gibidir. Devre elemanları ve simülasyon parametreleri; Tablo 5.1'deki gibidir.



Şekil 5.1. Simulink ekran görüntüsü

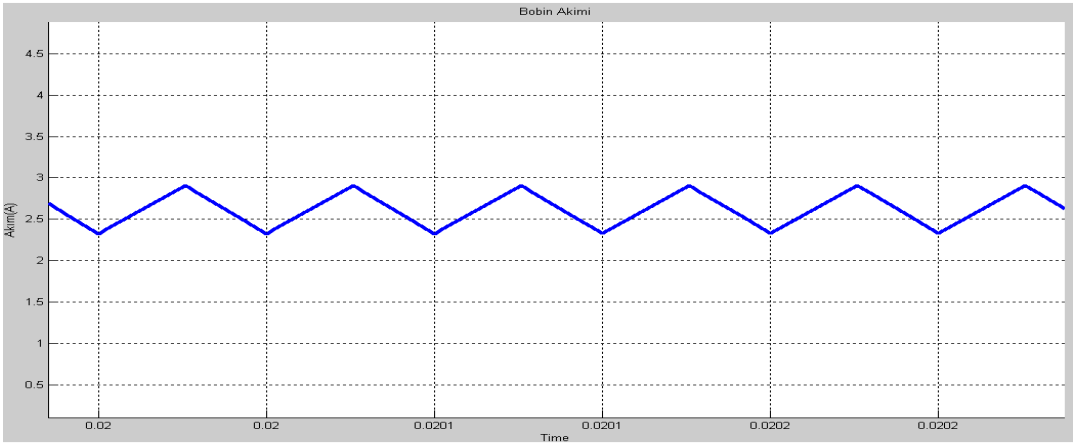
Tablo 5.1 Simülasyon parametreleri

Simülasyon	
Giriş Gerilimi	24V
Yük Gerilimi	48V
Anahtarlama Frekansı	20 kHz
Doluluk Boşluk Oranı	%51,5
Devre Elemanı Değerleri	
$L = 1{,}02$ mH	
$C_o = 67\ \mu F$	
$R_Y = 38.4\ \Omega$	

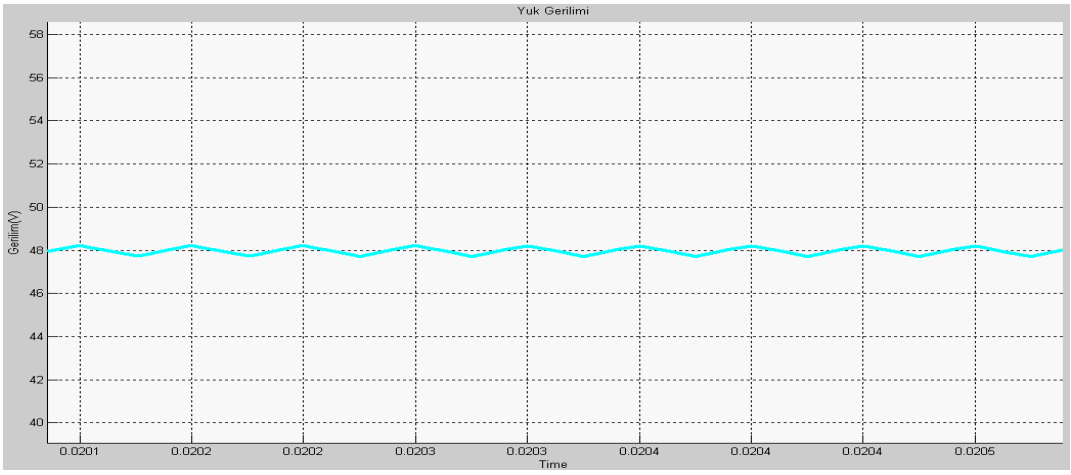
5.1. Simülasyon Sonuçları

Belirlenen nominal giriş gerilimi için yapılan simülasyon sonuçlarına göre çıkış gerilimi, bobin akımındaki değerler hesaplanan değerlerle örtüşmektedir.

Yarı iletken elemanın kapısına uygulanan sürme sinyalinin doluluk boşluk oranı %51.5 iken bobin akımı Şekil 5.2'de çıkış gerilimi Şekil 5.3'deki gibidir.

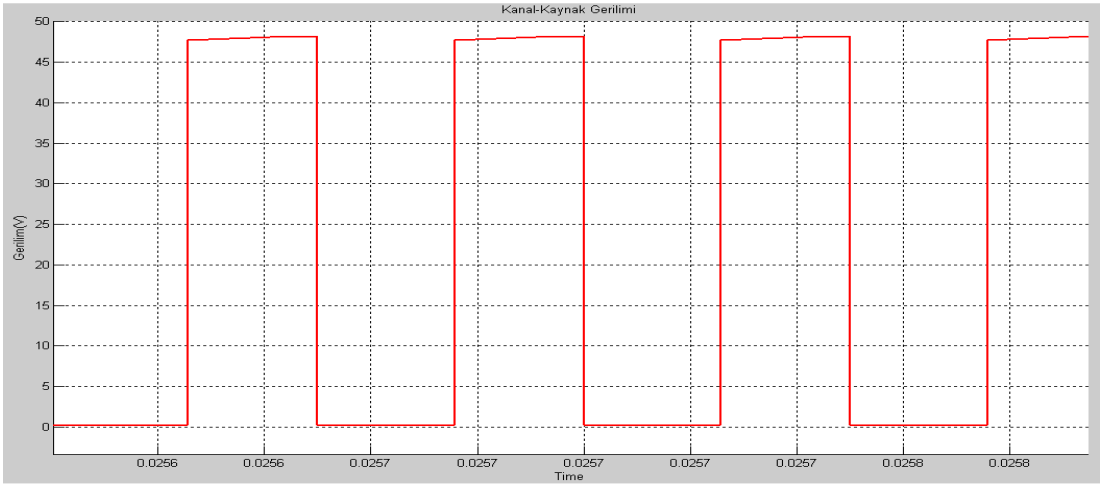


Şekil 5.2. Bobin akımı

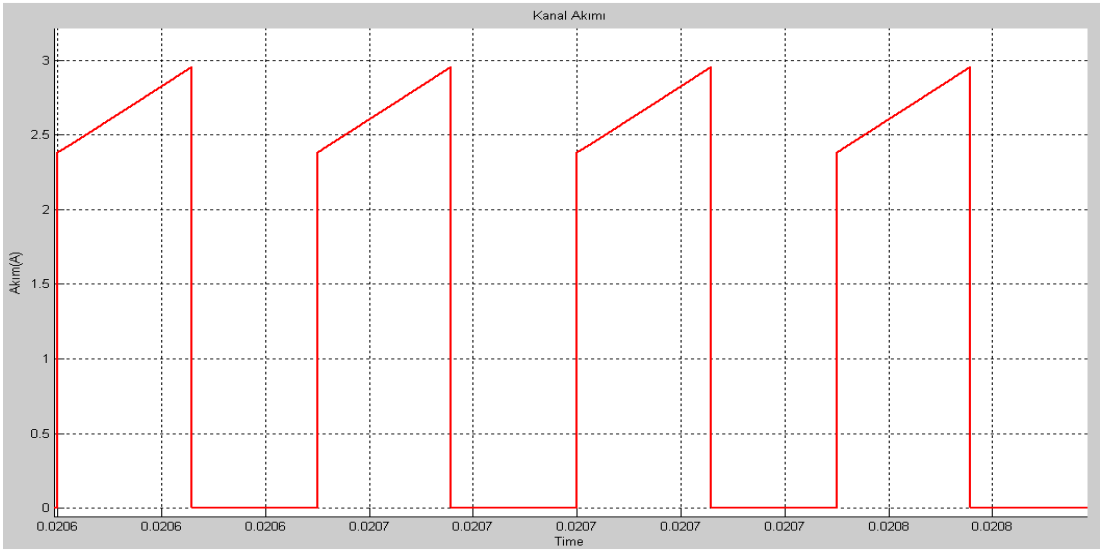


Şekil 5.3. Çıkış gerilimi

Yarı iletken drain - source arası gerilimi ve drain akımı değişimi Şekil 5.4'de ve Şekil 5.5'de verilmiştir.



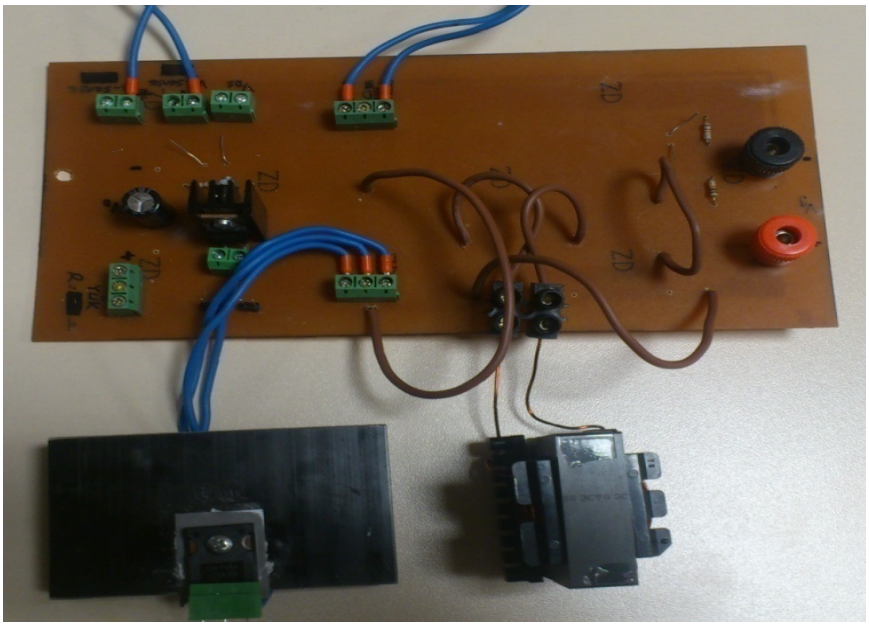
Şekil 5.4. Yarı iletken drain-source gerilimi



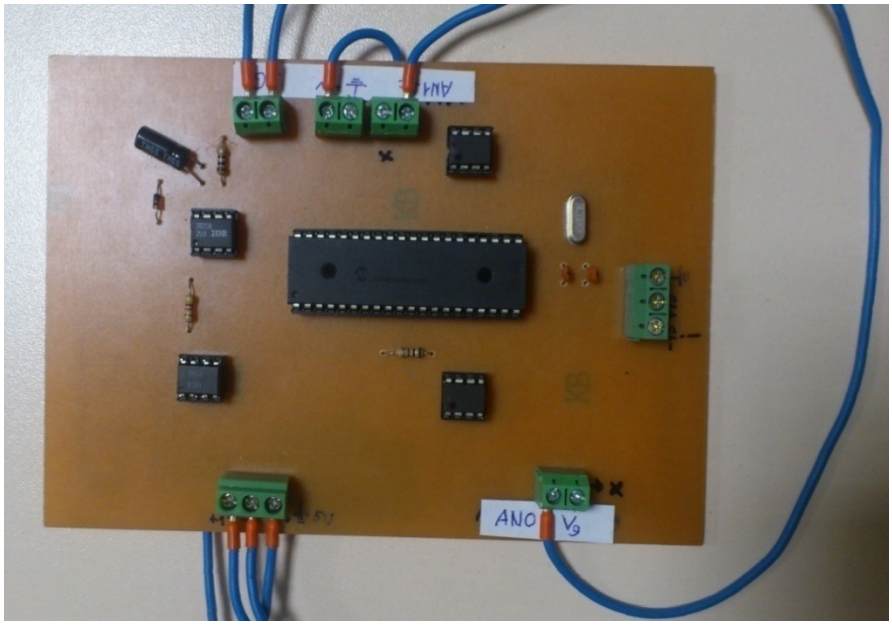
Şekil 5.5. Yarı iletken drain akımı

5.2. Uygulama Devreleri ve Sonuçları

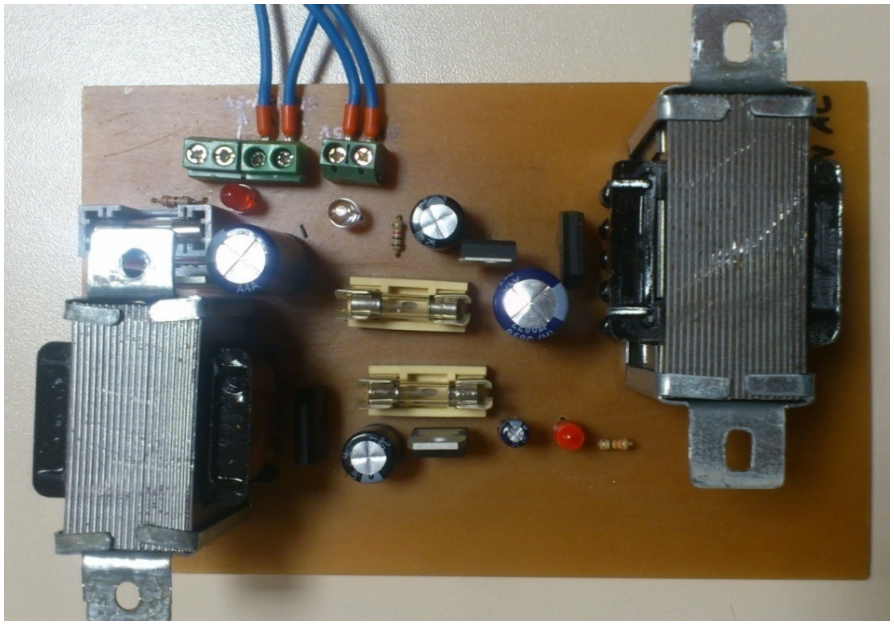
Tasarımı gerçekleştirilen yükseltici dönüştürücü devresi Şekil 5.6'da, kontrol devresi Şekil 5.7'de, besleme devresi ise Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Yükseltici dönüştürücü devresi



Şekil 5.7. Kontrol devresi (mikrodenetleyici, MOSFET Sürme ve tampon devresi)

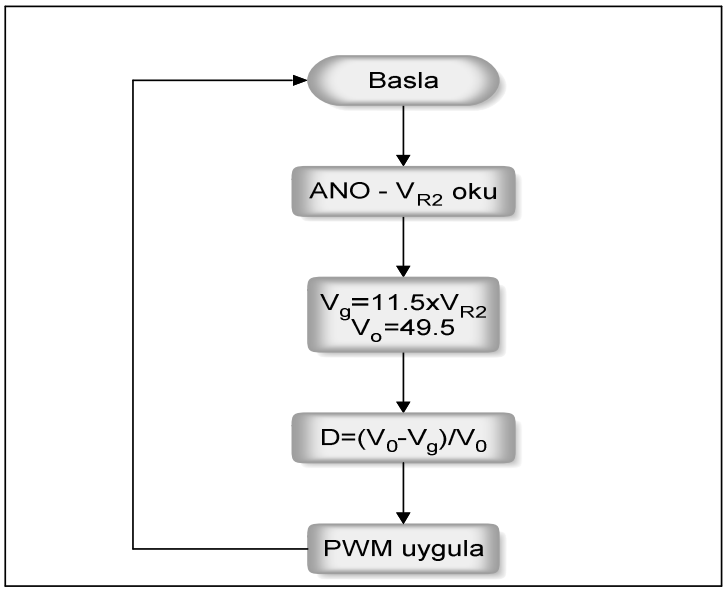


Şekil 5.8. Besleme devresi

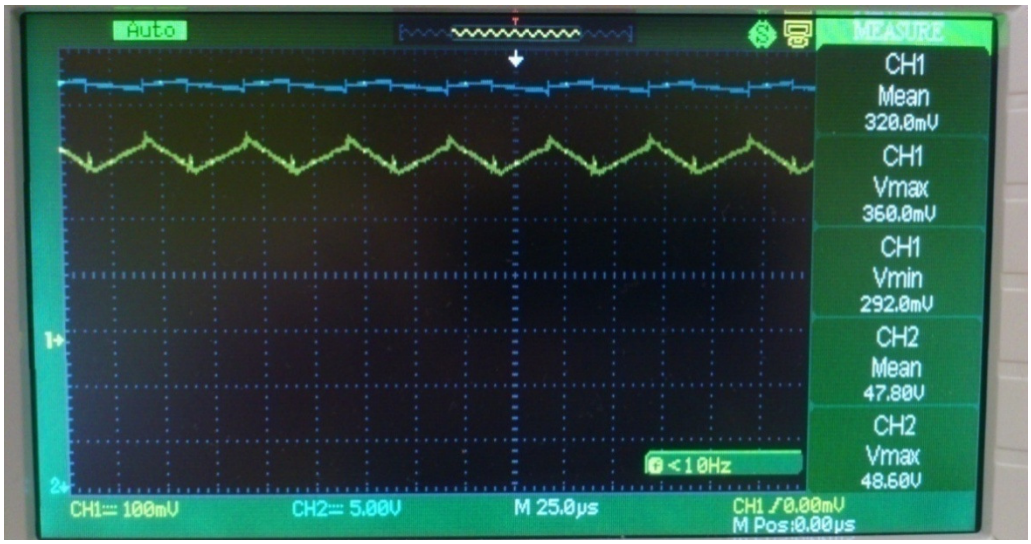
5.2.1. Uygulama sonuçları-1 (R_Y = 38Ω)

Uygulaması gerçekleştirilen yükseltici dönüştürücü devresi çıkışına R_Y = 38Ω değerinde metal soğutmalı direnç bağlanarak bir ısıtıcı modeli düşünülmüştür. Devrenin girişine tam dolu 24V 7Ah etiket değerlerine sahip kurşun asit akü bağlanmış ve açık devre gerilimi tam dolu anda 26.5V olarak ölçülmüştür. Yüklü durumda ilk anda 25V seviyesine düşen giriş gerilimi, 21V oluncaya kadar devre

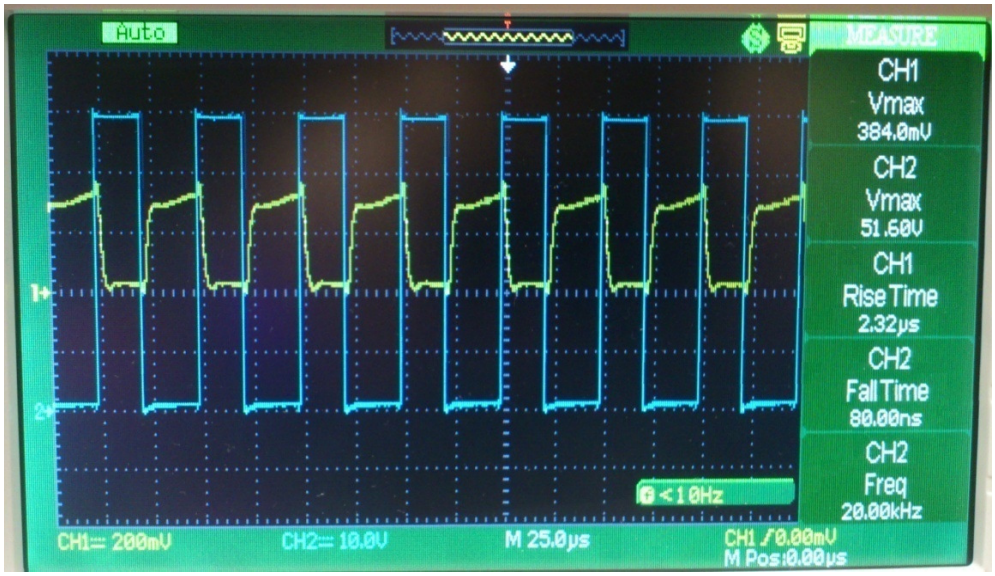
çalıştırılmış ve çıkışta 47,3V – 48,7V arası değişen bir gerilim gözlenmiştir. Devrenin kontrolü için Şekil 5.9'daki akış diyagramı kullanılmıştır. Burada yapılan kontrol açık çevrim kontroldür ve Şekil 5.10'da yük gerilimi - bobin akımı değişimi, Şekil 5.11'de yarı iletken drain-source arası gerilimi – drain akımı değişimi ve Şekil 5.12'de doluluk boşluk oranı – bobin akımı değişimi verilmiştir. Bobin akımını ölçmek için 100mV/A'lik bir akım probu kullanılmış ve Şekil 5.10'da görüldüğü üzere akım dalgalılığı %20 yani 0,6A civarındadır.



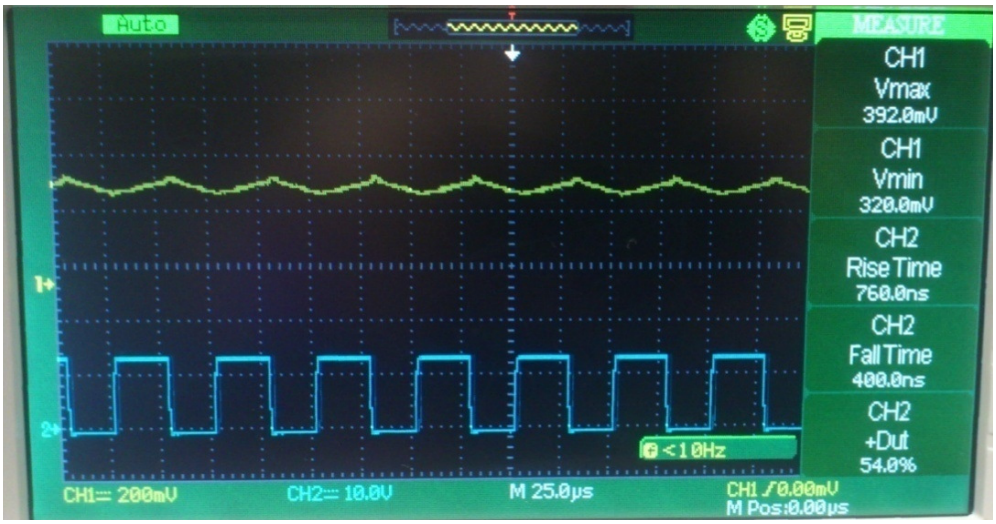
Şekil 5.9. Uygulanan kontrol algoritması (Açık Çevrim)



Şekil 5.10. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi - 1 (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:100mV CH2 - Volt/div: 5V)



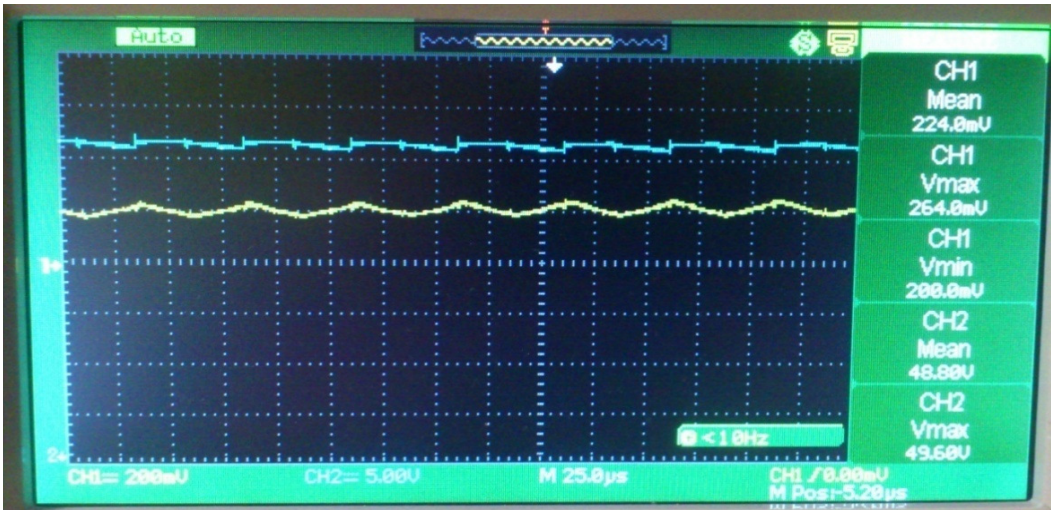
Şekil 5.11. Drain – Source gerilimi ve drain akımı – 1 (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)



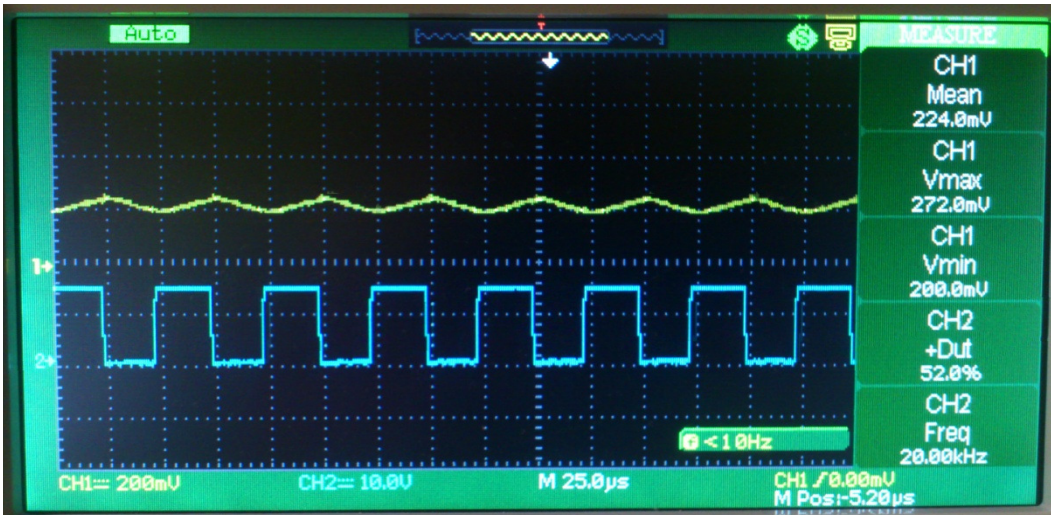
Şekil 5.12. Bobin akımı ve doluluk boşluk oranı (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)

5.2.2. Uygulama sonuçları-2 (R_Y = 52Ω)

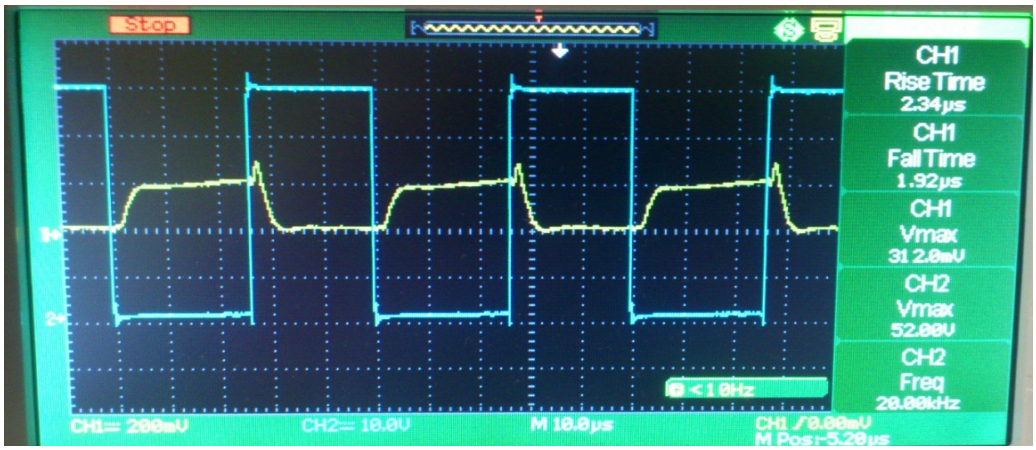
Şekil 5.8'deki akış diyagramına göre 52Ω yük direnci için uygulama gerçekleştirilmiş ve ortalama çıkış geriliminin istenen gerilim değeri olan 48V'u aştığı gözlenmiş (yaklaşık 49V) ve çıkış gerilimi %2 (yaklaşık 1V) salınımlıdır. Şekil 5.13'de çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi, Şekil 5.14'de bobin akımı-doluluk boşluk oranı ve Şekil 5.15'de drain akımı ve drain - source gerilimi değişimi verilmiştir.



Şekil 5.13. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi - 2(Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 5V)



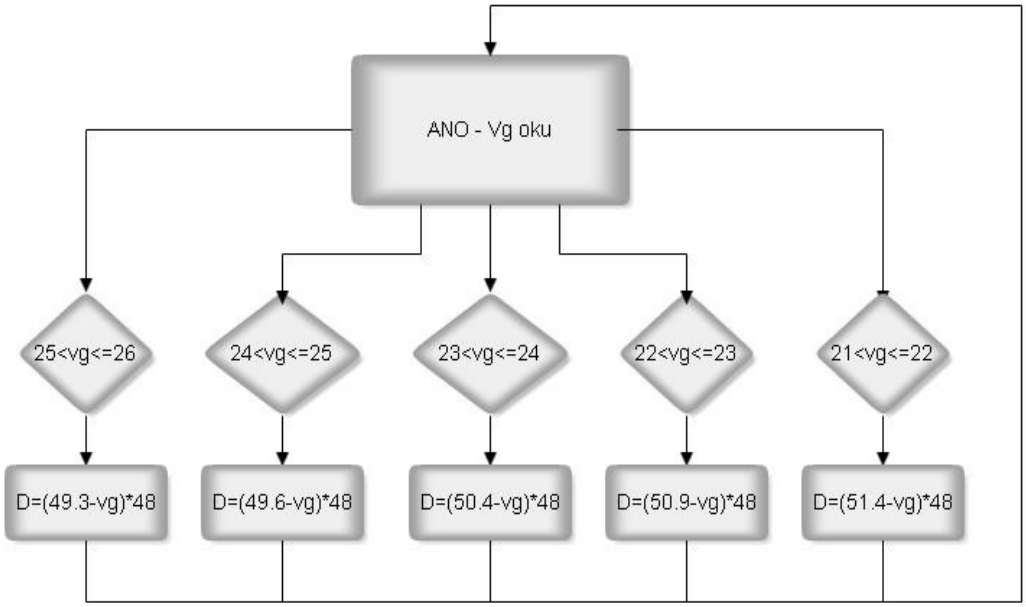
Şekil 5.14. Bobin akımı – doluluk boşluk oranı (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)



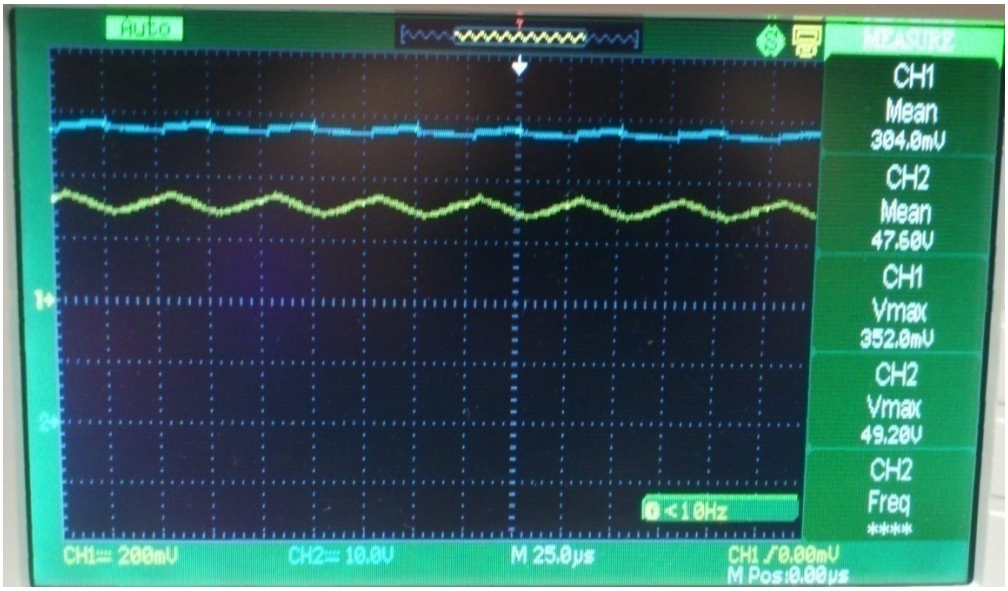
Şekil 5.15. Drain-source gerilimi ve drain akımı - 2 (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)

5.2.3. Uygulama sonuçları-3 (R_Y = 38Ω)

Uygulama devresi Şekil 5.16'deki akış diyagramına göre kontrol edilmiş olup, çıkış geriliminin ortalama değeri 47,6V ile 48,2V arası gezinmiş ve çıkıştaki salınım beklenen seviyede kalmıştır. (~ 0,6V (%1 civarında)) Bu çalışma durumu ile ilgili Şekil 5.17'de bobin akımı ve çıkış gerilimi, Şekil 5.18'de bobin akımı ve doluluk boşluk oranı, Şekil 5.19'da drain - source gerilimi ve drain akımı değişimi verilmiştir.



Şekil 5.16. Uygulanan açık çevrim kontrol



Şekil 5.17. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi – 3 (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)

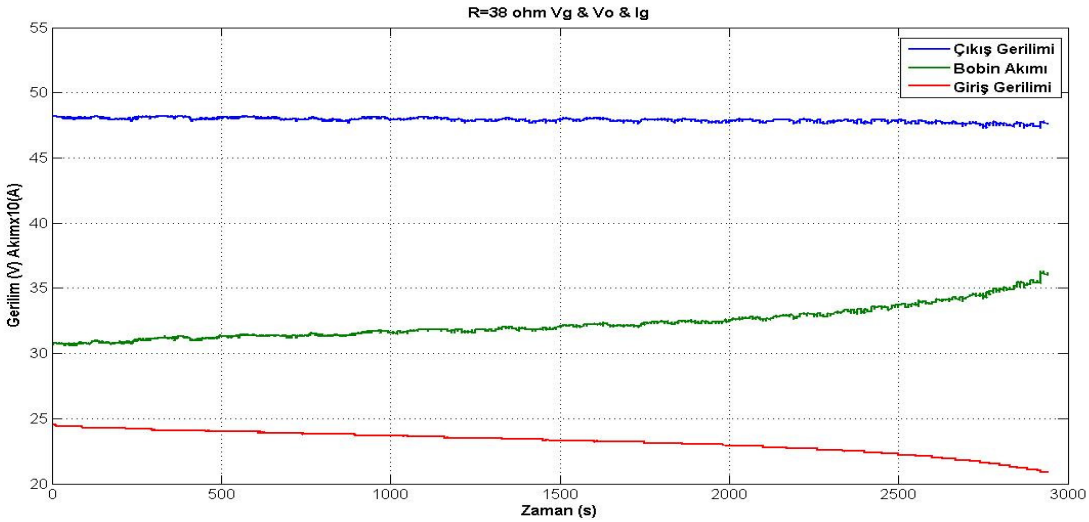


Şekil 5.18. Bobin akımı ve doluluk boşluk oranı - 3 (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)

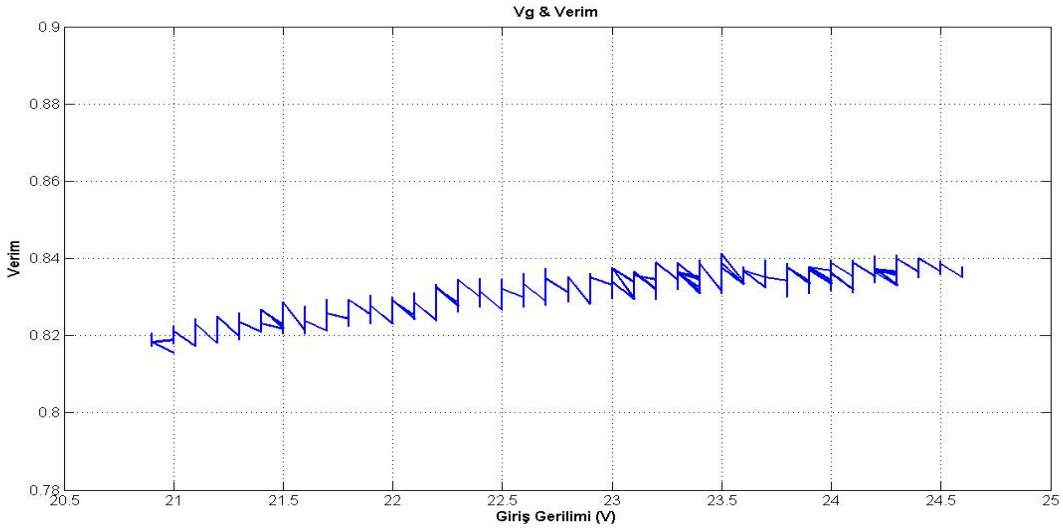


Şekil 5.19. Drain – Source gerilimi ve drain akımı – 3 (Time/div:10µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)

R=38Ω için yükseltici dönüştürücünün 21V – 24,5V aralığından verim analizi yapılmıştır. Devre yaklaşık 45 dk. çalıştırılmış ve devrenin giriş akım, gerilim ve çıkış akım, gerilim gibi büyüklükleri Fluke 434 Güç analizörüne kaydedilmiş ve MATLAB'da veri olarak işlenmiştir. Buna göre yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve bobin akımının (10 kat büyütülerek) zamana göre değişimi Şekil 5.20'de, giriş gerilimi verim grafiği ise Şekil 5.21'de verilmiştir. Şekil 5.21'den anlaşılacağı üzere verim %84 seviyelerindedir.



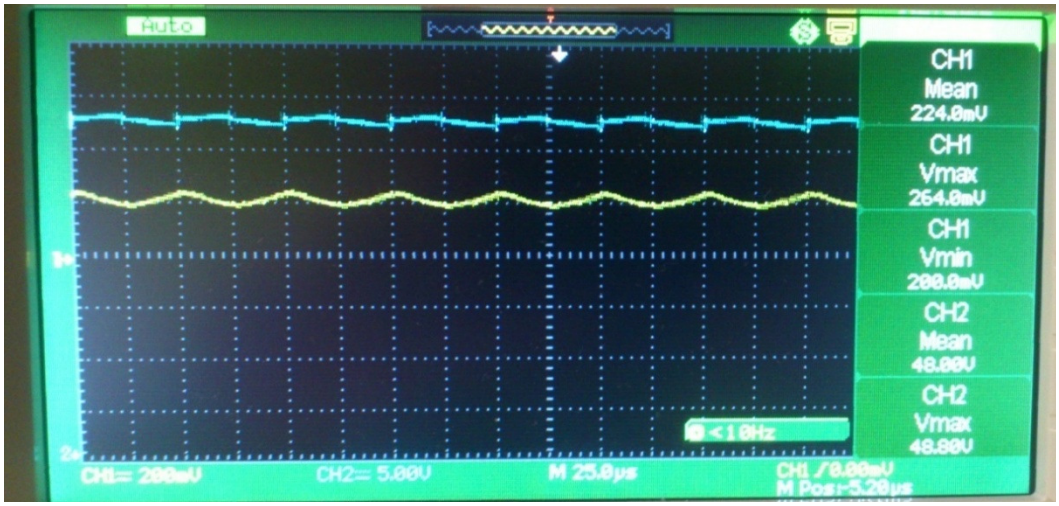
Şekil 5.20. R=38Ω için Çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve bobin akımı değişimi



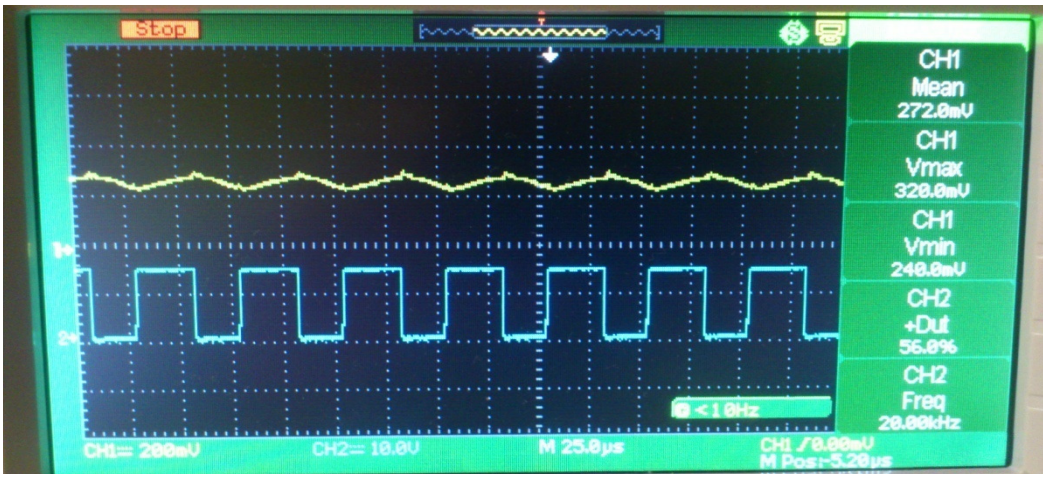
Şekil 5.21. R=38Ω Giriş gerilimi & verim grafiği

5.2.4. Uygulama sonuçları-4 (R_Y = 52Ω)

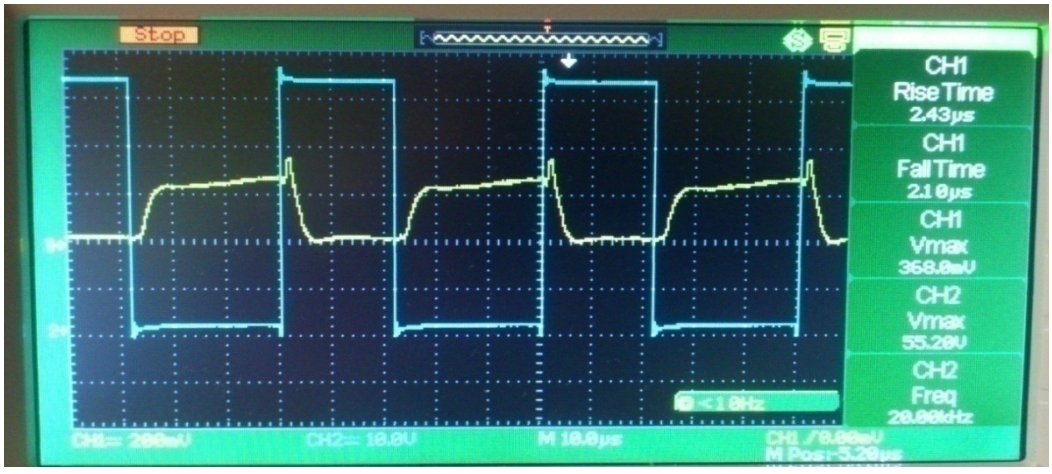
Gerçekleştirilen dönüştürücü Şekil 5.16'daki akış diyagramına göre ve çıkışında 52Ω yük direnci durumunda çalıştırılmış ve çıkış geriliminin 47,8V ile 48,2V arası değiştiği gözlenmiştir. ve Şekil 5.22'de çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi, Şekil 5.23'de bobin akımı ve doluluk boşluk oranı ve Şekil 5.24'deki drain source gerilimi ve drain akımı değişimi verilmiştir.



Şekil 5.22. Çıkış gerilimi ve bobin akımı değişimi – 4 (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 5V)

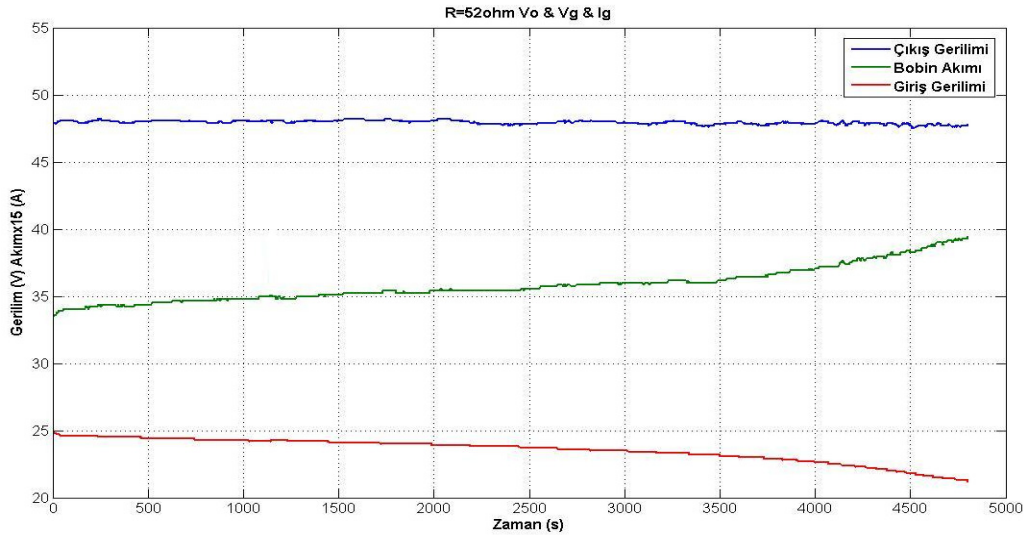


Şekil 5.23. Bobin akımı ve doluluk boşluk oranı (Time/div:25µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)

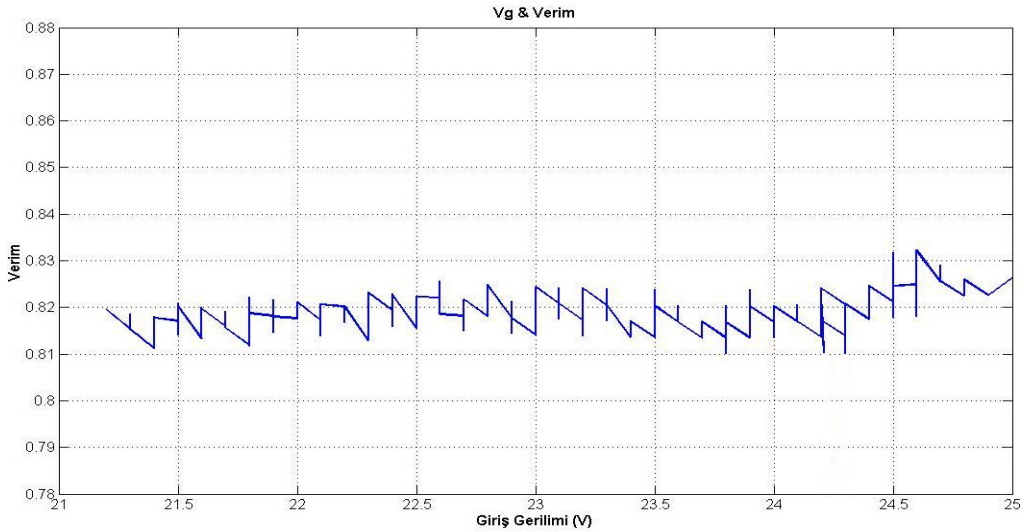


Şekil 5.24. Drain – Source gerilimi ve drain akımı – 4 (Time/div:10µs, CH1 - Volt/div:200mV CH2 - Volt/div: 10V)

R=52Ω için yükseltici dönüştürücünün 21V – 24.,5V aralığından verim analizi yapılmıştır. Devre yaklaşık 45 dk. çalıştırılmış ve devrenin giriş akım gerilim ve çıkış akım gerilim gibi büyüklükleri Fluke 434 Güç analizörüne kaydedilmiş ve MATLAB'da veri olarak işlenmiştir. Buna göre yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve bobin akımının (10 kat büyütülerek) zamana göre değişimi Şekil 5.25'de, giriş gerilimi verim grafiği ise Şekil 5.26'da verilmiştir. Bu deneysel çalışmada, yük direnci bir önceki deneysel çalışmaya göre %25 düşürülmüş ve düşük güçte verim %1-2 kadar azalmış ve %81 - %83 civarında gezinmiştir.



Şekil 5.25. R=52Ω için Çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve bobin akımı değişimi

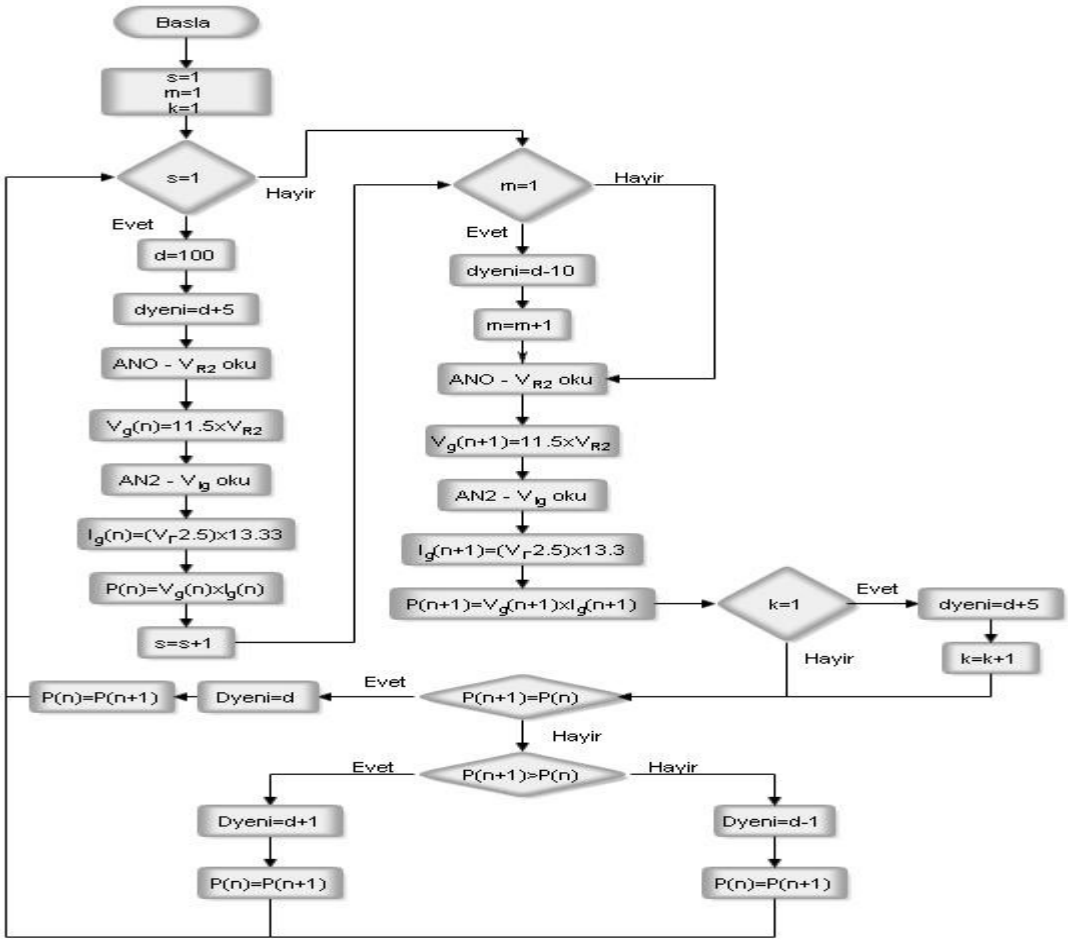


Şekil 5.26. R=52Ω Giriş gerilimi & verim grafiği

5.3. Yükseltici Dönüştürücünün MGNİ Algoritmalı Olarak Çalıştırılması

Uygulaması gerçekleştirilen yükseltici dönüştürücü devresi, değiştir gözle algoritması tabanlı bir kontrol yöntemi ile çalıştırılmış ve maksimum güç noktası takibi gerçekleştirilmiştir.

Maksimum güç noktası takibi Şekil 5.27'deki akış diyagramına göre yapılmıştır. Akış diyagramına göre; yarı iletken anahtar sürme sinyali doluluk boşluk oranı için bir başlangıç değeri belirlenmiş ve bu değerin %2 ve %-2 fazlası durumları için güneş paneli akım ve gerilimi ölçülmüştür. Bu iki durumda üretilen güç karşılaştırılmış ve hangi durumda gücün büyük olduğu belirlenmiştir. Bu aşamada yarı iletken sürme sinyalinin, doluluk boşluk oranının artıp ya da azalması gerektiği tespit edilmiş demektir. Bundan sonra sürekli olarak güneş paneli akım ve gerilim ölçümü yapılmış ve gücün değişimine göre yarı iletken anahtar maksimum güç noktasını takip edecek şekilde kontrol edilmiştir.

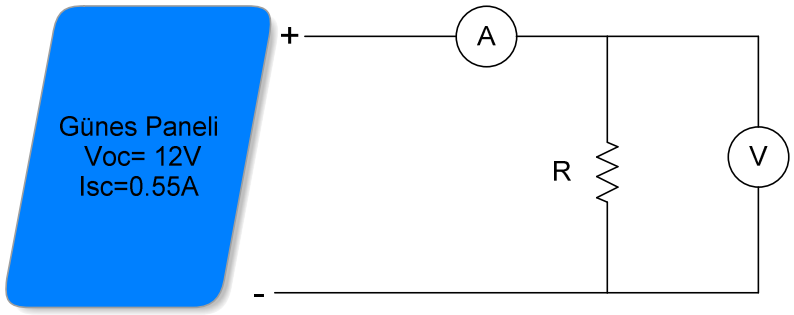


Şekil 5.27. Uygulanan MGNİ algoritması

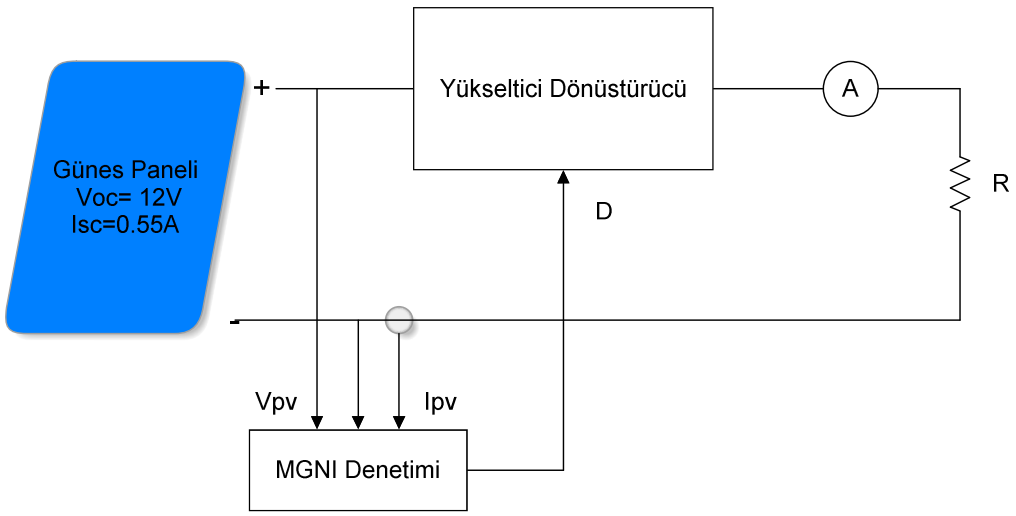
MGNİ denetimli çalışmanın, verimsel artışını tespit etmek amacıyla iki farklı yük durumu için güç üretim karşılaştırması yapılmıştır.

5.3.1. R=38Ω yük durumu

Maksimum güç noktası takibi yapılarak güç üretiminin arttığını göstermek amacıyla Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'daki devreler kullanılmıştır.

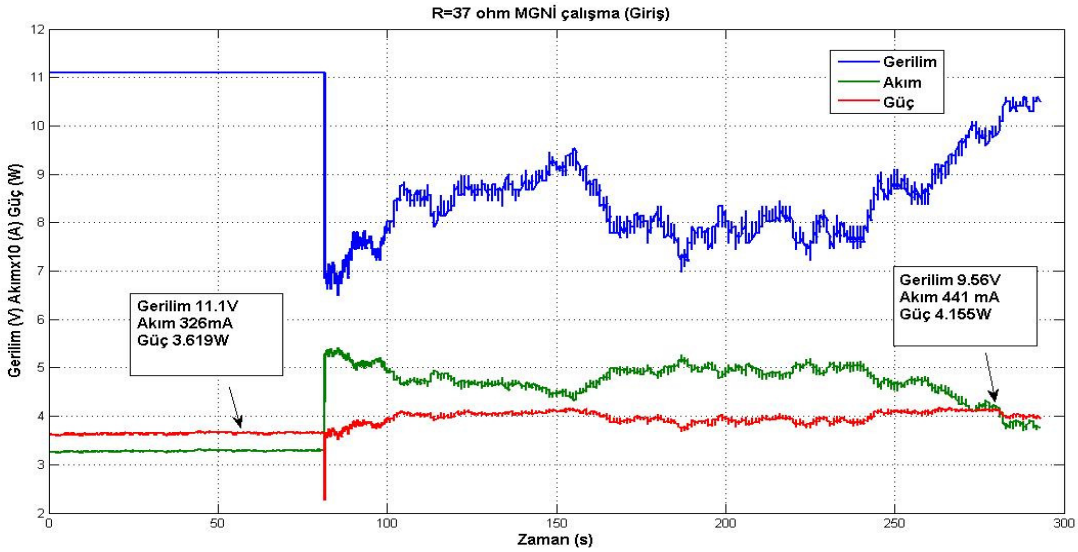


Şekil 5.28. Test devresi



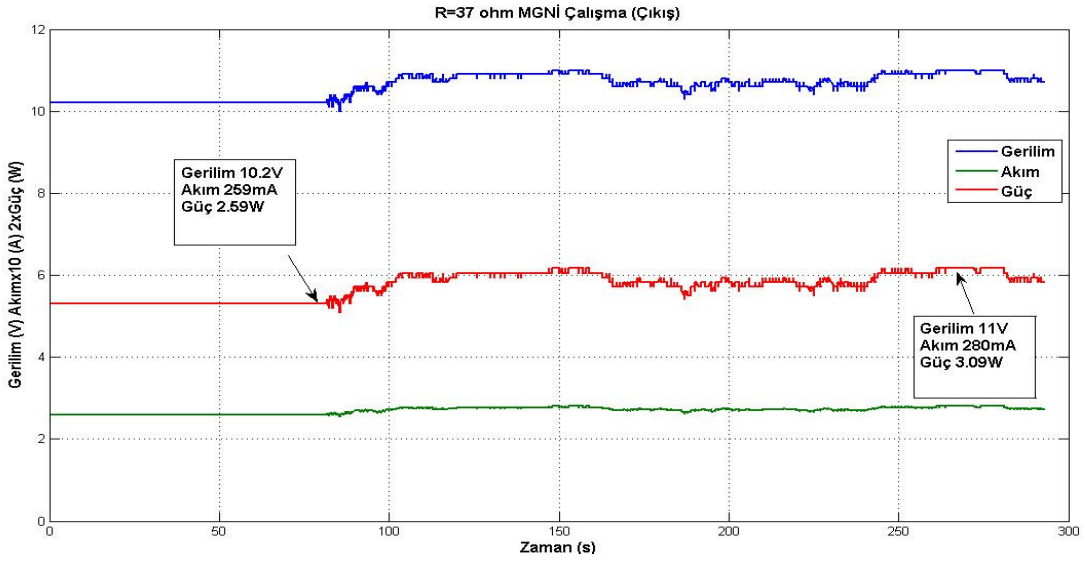
Şekil 5.29. MGNİ denetimli devre

İlk olarak R=38Ω için devre MGNİ algoritmalı dönüştürücü devrede olmadan ve devrede iken ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.31'da başlangıç anında yüke 2,59W güç aktarılırken, MGNİ algoritmalı denetim ile bu güç 3,09W mertebelerine yükseltilmiş ve %19'luk güç artışı sağlanmıştır.



Şekil 5.30. R=38Ω durumu için giriş büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma

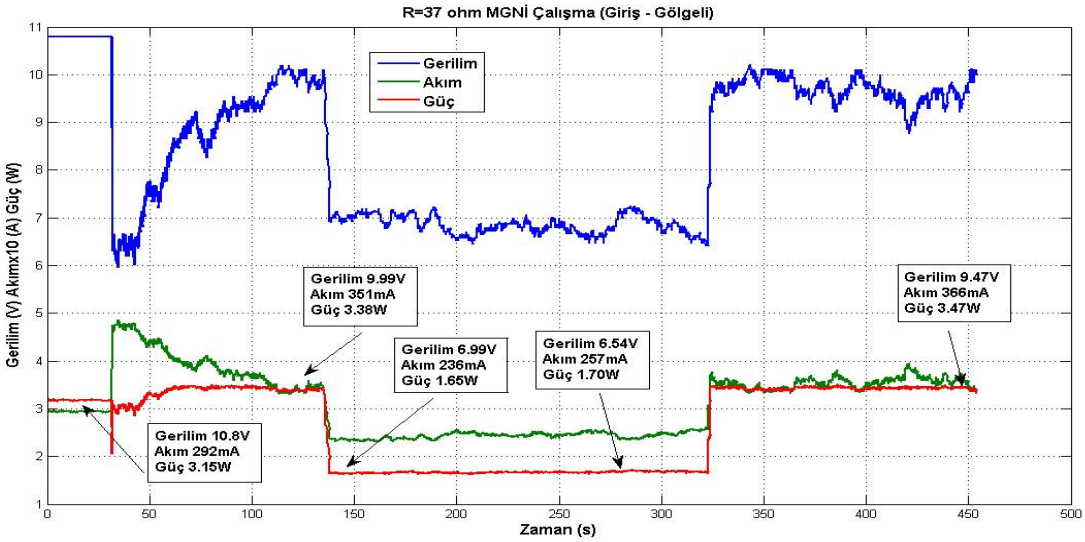
Şekil 5.30'da ise yükseltici dönüştürücü devresi girişi için akım gerilim ve güç değişimi verilmiştir.



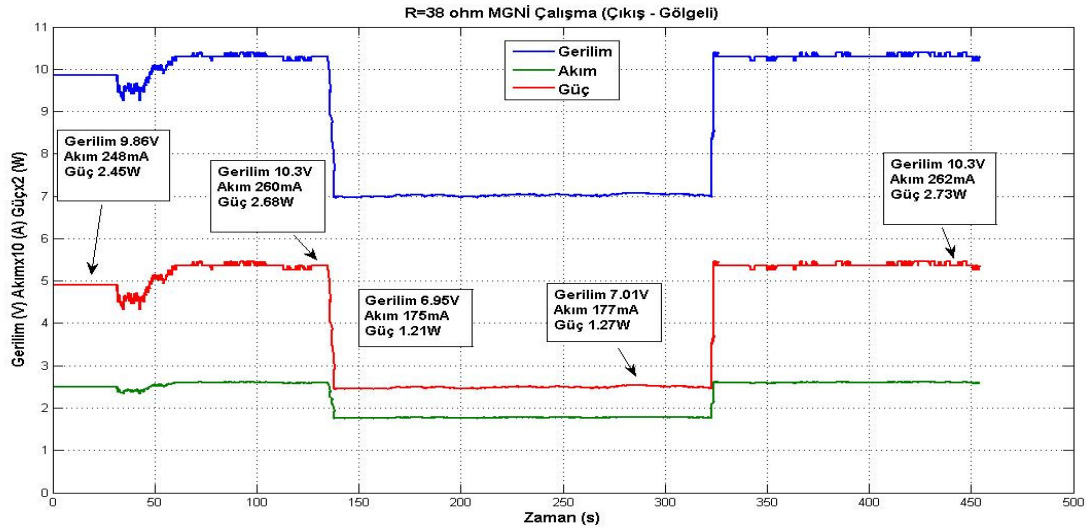
Şekil 5.31. R=38Ω durumu için çıkış büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma

Aynı yük durumunda devre bir süre çalıştırıldıktan sonra gölgelenme etkisi sağlanmış ve Şekil 5.32'de ışınımın azaldığı bölgede gerilim ve akım anlık düşüş yaşamış, fakat sistem maksimum güç noktasını takip edebilmiştir. (1,65W'dan 1,70W'a yükselmiştir.) Daha sonra ışınım eski konumuna ulaştığı anda ilk duruma göre %11'lik verim artışı gözlenmiştir. Aynı durum için yükseltici dönüştürücü çıkış gerilim, akım ve güç değişimi Şekil 5.33'de verilmiştir. Giriş ve çıkış grafikleri

incelendiğinde, giriş akım gerilim ve güç değişimleri yüksek salınımlı olmasına rağmen çıkış değişimleri düşük salınmlıdır. Bunun sebebi düşük ışınım koşullarında çalışılması ve P-V grafiğinin doğrusala yakın olmasıdır.



Şekil 5.32. R=38Ω durumu için giriş büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma

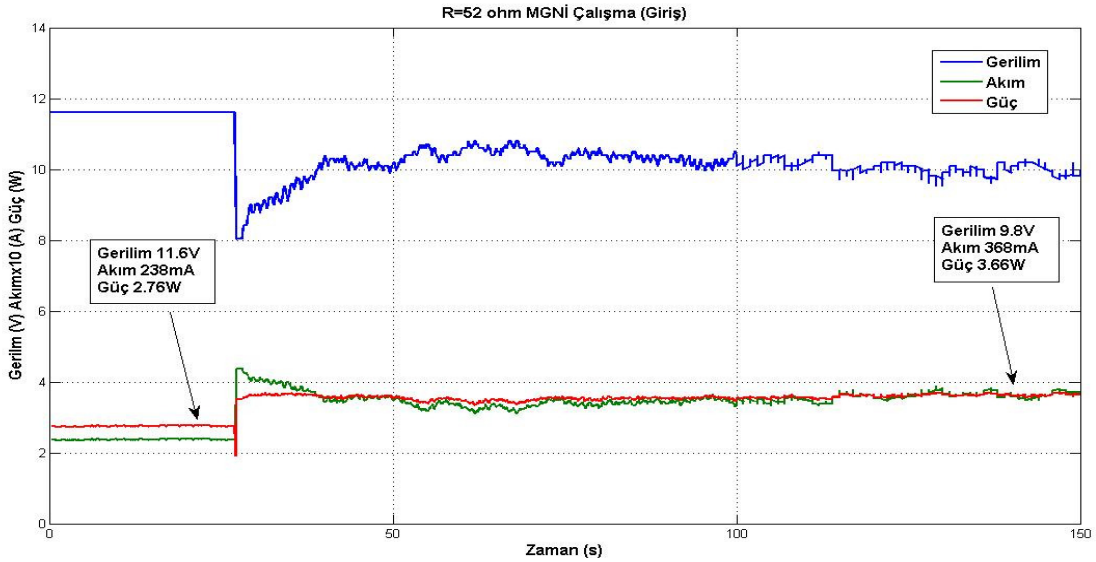


Şekil 5.33. R=38Ω durumu için çıkış büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma

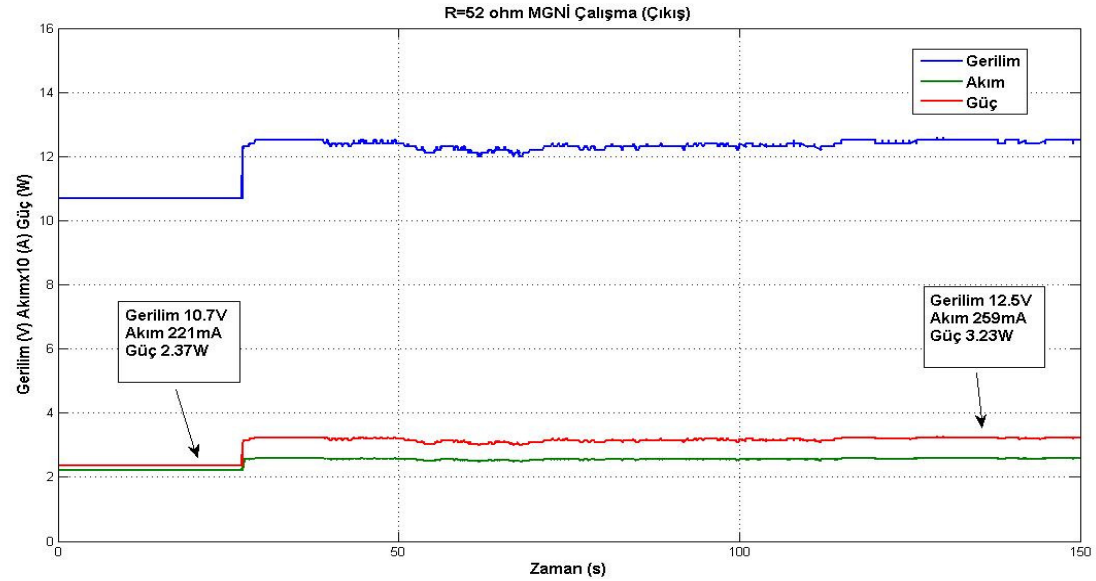
5.3.2. R=52Ω yük durumu

R=52Ω yük durumu için ilk olarak gölge etkisi olmadan deneysel çalışma yapılmış ve Şekil 5.34'de devrenin giriş akım gerilim ve güç değişimleri verilmiştir. Belirli bir süre sonra MGNİ algoritmalı dönüştürücü devreye alınmış ve güneş paneli maksimum güç noktasına ulaştığında ilk duruma göre %32'lik güç artışı

sağlanmıştır. Şekil 5.35'de ise yükseltici dönüştürücü çıkış büyüklük değişimleri verilmiştir. Güç artışının R=38Ω çalışma durumuna göre daha fazla olmasının sebebi, ilk durumda güneş paneli optimum yük değerine daha yakın çalışması ve 52Ω'un I-V eğrisinde açık devre gerilimi noktasına daha yakın olmasıdır



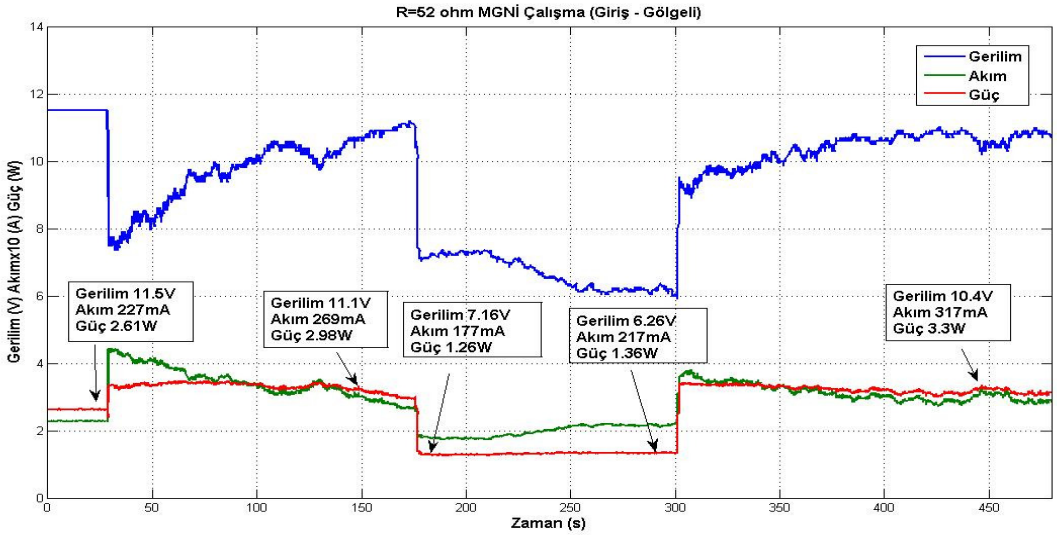
Şekil 5.34. R=52Ω durumu için giriş büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma



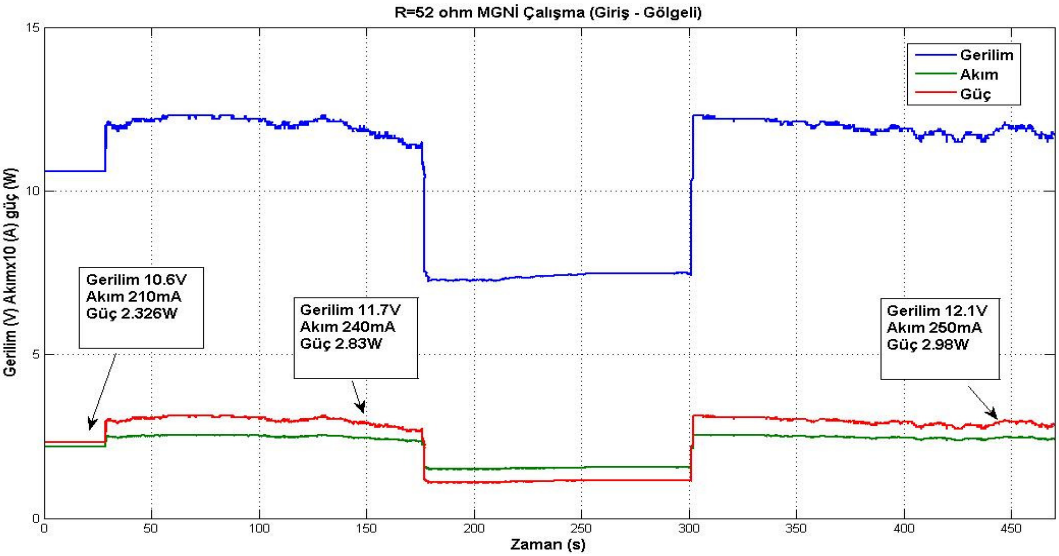
Şekil 5.35. R=52Ω durumu için çıkış büyüklükleri MGNİ algoritmalı çalışma

R=52Ω için gölgelenme etkisini görmek amacıyla devre bir süre MGNİ denetimi olmadan çalıştırılmış daha sonra MGNİ denetimi devreye alınmış ve sistem maksimum güç noktasına ulaşınca güneş paneline gölge düşürülmüş ve MGNİ denetimi gözlenmiştir. Şekil 5.36'dan ve Şekil 5.37'den anlaşılacağı üzere 175. sn'de gölgelenme meydana gelmiştir. Bu andan itibaren gerilim ve akım bir süre sabit

kalmış, daha sonra panel gücünü arttıracak yönde gerilim azalmış, akım artmış ve 220. sn.'de maksimum güç noktasına ulaşmıştır. Bir süre sonra gölgelenme etkisi devre dışı bırakılmış ve sistemin eski maksimum güç noktasına ulaştığı gözlenmiş ve ilk duruma göre %26'lık güç artışı tespit edilmiştir.



Şekil 5.36. R=52Ω durumu için giriş büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma



Şekil 5.37. R=52Ω durumu için çıkış büyüklükleri (Gölgeli) MGNİ algoritmalı çalışma

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uygulama devresi gerçekleştirilen yükseltici DA-DA dönüştürücü devresine ilişkin tasarım öncesi yapılan kabuller, devre tasarımı ve eleman seçimi gibi ayrıntılar dördüncü kısımda, tasarlanan devrenin MATLAB/SIMULINK'te benzetimi beşinci kısımda verilmiştir.

Uygulama olarak iki farklı direnç değeri için açık çevrim ve kapalı çevrim kontrol yöntemi kullanılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Beşinci kısımda verilen 1 nolu kontrol algoritması (açık çevrim kontrol) ile yapılan deneysel çalışmada çıkış geriliminde istenmeyen salınımlar meydana gelmiş ve çıkış geriliminin istenen değerden uzak kaldığı gözlenmiştir. Daha sonra açık çevrim kontrol geliştirilmiş ve yapılan deneysel çalışma sonucu çıkış dalgalılığı istenen değere oturmuş ve salınımlar tasarım kabullerinde belirtilen %1 civarına çok yakın seyretmiştir. Ayrıca çıkış gerilimi beklenen gerilim düzeyindedir. Gerçekleştirilen yükseltici DA-DA dönüştürücü devresi için verim %84 civarındadır.

Gerçekleştirilen DA-DA yükseltici dönüştürücü devresinin girişine güneş paneli bağlanmış ve iki farklı yük durumu ve farklı ışınım koşulları için deneysel çalışma yapılmıştır. Yükseltici dönüştürücü devre maksimum güç noktası izleme algoritması olan değiştir gözle algoritması ile kontrol edilmiş ve çıkış gücünün maksimum seviyede olması sağlanmıştır. MGNİ denetimsiz ve MGNİ denetimli sonuçlar iki farklı yük durumunda incelenmiş ve elde edilen verim artışı incelenmiştir. Farklı yük ve ışınım koşullarında yapılan denemeler sonucunda %11 ile %32 arası güç artışı tespit edilmiştir. Optimum yük değerleri için güç artışı az olurken, optimum yük direncine uzak değerler için güç artışı yüzdesel olarak fazla olmaktadır.

Çalışmanın devamında, literatürdeki diğer MGNİ algoritmalarının, gerçekleştirilen DA-DA dönüştürücü devresi için denenmesi ve farklı dönüştürücü türleri için MGNİ denetimi yapılması düşünülmektedir. DA-DA dönüştürücülerde verim arttırmaya yönelik çalışmalar yapılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Varınca K. B., Gönüllü M. T., Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 21-23 Haziran 2006.

[2] http://www.yegm.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_en_hak.html (Ziyaret Tarihi: 04.08.2012).

[3] http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/03/20120310-12.htm (Ziyaret Tarihi: 4 Ocak 2013).

[4] Petit P., Zgaoui A., Sawicki J. P., Aillerie M., Charles J. P., New architecture for high efficiency DC-DC converter dedicated to Photovoltaic conversion, *Energy Procedia*, 2011, **6**, 688-694.

[5] Li Q., Development of high frequency power conversion Technologies for grid interactive pv systems, Master of Engineering Thesis, James Goldston Faculty of Engineering Central Quennsland University, Australia, 2002.

[6] Santos J. L., Antunes F., Chehab A., Cruz C., A maximum power point tracker for pv systems using a high performance boost converter, *Solar Energy*, 2006, **80**, 772-778.

[7] Taftich T., Agbossou K., Doumbia M. L., Cheriti A., An improved maximum power point tracking method for Photovoltaic systems, *Renewable Energy*, 2008, **33**, 1508-1516.

[8] Lee J. P., Min B. D., Kim T. J., Yoo D. W, Lee B. K., A novel topology for Photovoltaic series connected DC/DC converter with high efficiency under wide load range, *Power Electronics Specialists Conference*, Changwon, 17-21 June, 2007.

[9] Özdemir Ş., Fotovoltaik sistemler için mikrodenetleyicili en yüksek güç noktasını izleyen bir konvertörün gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.

[10] Demirtaş M., Sefa İ., Irmak E., Çolak İ., Güneş Enerjili sistemler için mikrodenetleyici tabanlı DA/DA yükselten dönüştürücü, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, 2008, **3**, 719-728.

[11] Masri S., Chan P.W., Development of a microcontroller based boost converter for Photovoltaic system, *European Journal of Scientific Research*, 2010, **41**, 38-47.

[12] Prasad S.Y., Chhetri B.B., Adhikary B., Bista D., Microcontroller based intelligent DC/DC converter to track maximum power point for solar Photovoltaic module, *Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply*, Waltham, USA, 27-29 September 2010.

[13] Yaden M. F., Kassmi Ka., Ouariachi M. E., Tidhaf B., Mrabti T., Chadli E., Kassmi K., Design and realization of a Photovoltaic system equipped with a digital MPPT control, *Multimedia Computing and Systems International Conference*, Moldova, 7-9 April 2011.

[14] Du Y., Lu D. D-C., Battery-integrated boost converter utilizing distributed MPPT configuration for Photovoltaic systems, *Solar Energy*, 2011, **85**, 1992-2002.

[15] Yongchang Y., Chuanan Y., Implementation of a MPPT controller based on AVR Mega16 for Photovoltaic systems, *Energy Procedia*, 2012, **17**, 241-248

[16] http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php (Ziyaret Tarihi: 3 Ağustos 2012)

[17] Bedeloğlu A., Demir A., Bozkurt Y., Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki durumu, genel uygulama alanları ve fotovoltaik tekstiller, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2010, **4**, 43-58.

[18] http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/16319.pdf (Ziyaret Tarihi: 30 Ocak 2012.

[19] http://www.docstoc.com/docs/36670682/Solar-Cells-Solar-Cell-Technology-Current-State-of-the-Art-Where-are (Ziyaret Tarihi: 30 Ocak 2013).

[20] http://userwww.sfsu.edu/ciotola/solar/pv.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2012)

[21] http://www.emcore.com/wp-content/themes/emcore/pdf/ZTJ_datasheet.pdf (Ziyaret Tarihi: 11 Aralık 2012).

[22] http://us.sanyo.com/Dynamic/customPages/docs/solarPower_Amorphous_PV_Product_Brochure%20_EP120B.pdf (Ziyaret Tarihi: 11 Aralık 2012).

[23] http://www.renewableenergyworld.com/rea/news (Ziyaret Tarihi: 15 Haziran 2012).

[24] http://www.treehugger.com/clean-technology/199-new-thin-film-solar-efficiency record.html (Ziyaret Tarihi: 7 Haziran 2012)

[25] King D. L., Boyson W. E, Kratochvil J. A., Photovoltaic array performance model, *Sandia National Laboratories*, SAND2004-3535,1-43, 2004.

[26] Leban K., Argeseanu A., Titchie E., Experimental testing of two solar panel simulations, *Industrial Electronics Conference*, Porto, 3-5 November 2009.

[27] Dusabe D., Munda J., Jimoh A., Modelling of cloudless solar radiation for pv module performance analysis, *Journal of Electrical Engineering*, 2009, **60**, 192-197.

[28] AlRashidi M. R., AlHajiri M. F., El-Naggar K. M., Al-Othman A. K., A new estimation approach for determining the I-V characteristics of solar cells, *Solar Energy*, 2011, **85**, 1543-1550.

[29] AlRashidi M. R., AlHajiri M. F., El-Naggar K. M., Al-Othman A. K., Simulated annealing algorithm for Photovoltaic parameters identification, *Solar Energy*, 2012, **86**, 266-274.

[30] Bayındır R., Çolak İ., Kaplan O., Can C., Matlab/GUI based simulation for photovoltaic systems, *Proceedings of the International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Malaga, May 2011.

[31] Tsai H. L., Tu C. S., Su Y. J., Development of generalized Photovoltaic model using Matlab/Simulink, *Procedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, San Fransisco, USA, 22-24 October 2008.

[32] Nema S., Nema R. K., Agnihotri G., Matlab/Simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification, *International Journal of Energy and Environment*, 2010, **1**, 487-500.

[33] Saetre T. O., Midtgard, Yordanov G. H., A new analytical solar cell I-V Curve Model, *Elsevier Renewable Energy*, 2011, **36**, 2171-2176.

[34] Arifoğlu B., Çamur S., Beşer E. K., Beşer E., Güneş panellerinin üretim kapasitesini arttıracak güneşi takip edebilen güneş panel sisteminin prototipi, *Enerji Verimliliği Kongresi*, Kocaeli, 2009.

[35] http://130.226.56.153/rispubl/vea/veapdf/ris-r-1219.pdf (Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2013).

[36] Dolara A., Faranda R., Leva S., Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for pv systems, *Journal of Electromagnetic Analysis & Applications*, 2009, **3**, 152-162.

[37] Lin C. H., Huang C. H., Du Y. C., Chen J. L., Maximum photovoltaic power tracking fort he PV array using the fractional-order incremental conductance method, *Applied Energy*, 2011, **88**, 4840-4847.

[38] Ahmad J., A fractional open circuit voltage based maximum power point tracker for Photovoltaic arrays, *Second International Conference on Software Technology and Engineering*, Porto Riko, 3-5 October 2010.

[39] Coelho R. F., Concer F. M., Martins Denizar C., A MPPT approach based on temperature measurements applied in pv systems, *International Conference on Sustainable Energy Technologies*, Kandy, Sri Lanka, 6-9 December 2010.

[40] Jie D., Chun-Jiang Z., Yan-Bang L., Comparison of duty ratio perturbation&observation and reference voltage perturbation observation methods applied in MPPT, *7th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Harbin, 2-5 June 2012.

[41] Houssamo I., Locment F., Sechilariu M., Maximum power tracking for Photovoltaic power system: Development and experimental comparison of two algorithms, *Renewable Energy*, 2010, **35**, 2381-2387.

[42] Noguchi T., Togashi S., Nakamoto R., Short-current pulse-based maximum-power-point tracking method for multiple photovoltaic and converter module system., *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2002, **49**, 217-223.

[43] Santos J. L., Antunes F., Chehab A., Cruz C., A maximum power point tracker for pv system using a high performance boost converter, *Elsevier Solar Energy*, 2006, **80**, 772-778.

[44] Esram T., Chapman P. L., Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2007, **22**, 439-449.

[45] Bennett T., Zilouchian, Messenger R., Photovoltaic model and converter topololgy consideration for MPPT purposes, *Elsevier Solar Energy*, 2012, **86**, 2029-2040.

[46] Bodur H., *Güç Elektroniği Temel Analiz ve Sayısal Uygulamalar*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2010.

[47] Mohan N., Undeland T. M., Robbins P. W., *Converters Applications and Design Second Edition,* John Wiley High Education, USA, 1995.

[48] Mclayman C.Wm.T., *Transformer and Inductor Design Handbook Third Edition,* CRC Press, USA, 2011.

[49] http://www.vishay.com/docs/68952/an836.pdf (Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2012).

[50] http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-6005.pdf (Ziyaret Tarihi: 7 Ocak 2013).

KİŞİSEL YAYIN ve ESERLER

[1] **Başoğlu M. E.,** Şahin T., Baştürk G., Oral Y., Önümlü Ö., Çakır B., Güneş arabalarının elektrik elektronik sisteminin tasarım kriterleri, *Nuclear&Renewable Energy Resources Conference*, Gazi University, Ankara, September 2009.

[2] **Başoğlu M. E.,** Çakır B., Simulation of solar module characteristics and boost converter using Matlab/m-file and Simulink, *Solar Electricity Conference and Exhibition*, Antalya, November 2012.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2012 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.