

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OPTİMİZE EDİLEREK ANAHTARLANAN ALÇALTAN
DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN MODEL TABANLI GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE
KONTROLÜ**

Yahya BEKTEŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANKIRI
2024**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Yahya BEKTEŞ tarafından hazırlanan “**Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü**” adlı tez çalışması 06/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Göksu GÖREL

Eş Danışman : Doç. Dr. Fatih KORKMAZ

Jüri Üyeleri :

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Göksu GÖREL
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Kıvanç BAŞARAN
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TEKE
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hamit ALYAR

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırladığım **“Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü”** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezi Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve ünvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması hâlinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (06/06/2024).

Yahya BEKTEŞ



Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından MF240223L05 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OPTİMİZE EDİLEREK ANAHTARLANAN ALÇALTAN DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN MODEL TABANLI GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE KONTROLÜ

Yahya BEKTEŞ

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Göksu GÖREL
Eş Danışman: Doç Dr. Fatih KORKMAZ

Bu tez çalışmasında DA-DA alçaltıcı dönüştürücünün TMS320F28379D mikrodenetleyici ile kontrolü sağlanarak istenilen çıkış gerilimleri elde edilmiştir. Tasarım, Matlab/Simulink ortamında modellenerek Texas Instruments (TI) firmasından tarafından üretilen BuckConv kartı ve yine TI firması tarafından üretilen TI C2000 tabanlı TMS320F28379D mikrodenetleyici ile kontrolü sağlanmıştır. Matlab/Simulink uygulaması ile kontrol sisteminin hızlı modellenmesi, simülasyonu, otomatik olarak gömülü kod üretimi ile nihayet sistemin çalıştırılması sağlanmıştır. Tasarımın dijital kontrolünü sağlamak için Matlab/Simulink uygulaması üzerinde bulunan bloklarla ilgili kütüphaneden modüller eklenerek gerekli kodların Matlab tarafından otomatik olarak üretilmesi sağlanmıştır. Öncelikle Matlab/Simulink uygulamasından C2000 tabanlı blokset donanımı çalıştırmak üzere destek paketlerinin kurulumu yapılmıştır. Daha sonra F2837x mikrodenetleyici seçilerek bu mikrodenetleyicinin ara yüzleri olan Kod Composer Studio, Kontrol Suite gibi programların kurulumları yapılmıştır. BuckConv dönüştürücü kartı ve TMS320F28379D mikrodenetleyicinin kılavuzları incelenerek gerçek ortamda tasarım yapılmıştır. Yapılan çalışma sonunda alçaltan dönüştürücünün kontrolü için gerekli tasarımlar gerçekleştirilerek istenilen çıkış gerilimi elde edilmiştir.

2024, 77 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Alçaltan dönüştürücü, DA-DA dönüştürücü,
Optimizasyon, TMS320F28379D

ABSTRACT

Master of Science Thesis

MODEL BASED IMPLEMENTATION AND CONTROL OF OPTIMIZED SWITCHED BUCK CONVERTER

Yahya BEKTES

Cankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Electronics Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Göksu GÖREL
Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih KORKMAZ

In this thesis study, the desired output voltages were obtained by controlling the DC-DC buck converter with the TMS320F28379D microcontroller. The design was modeled in the Matlab/Simulink environment and controlled with the BuckConv card produced by Texas Instruments (TI) and the TI C2000 based TMS320F28379D microcontroller also produced by TI. With Matlab/Simulink, rapid modeling and simulation of the control system, automatic embedded code generation and finally operation of the system have been achieved. In order to ensure digital control of the design, modules from the library related to the blocks on the Matlab/Simulink application were added so that the necessary codes could be automatically generated by Matlab. First of all, support packages were installed to run C2000-based blockset hardware from the Matlab/Simulink application. Then, F2837x microcontroller was selected and programs such as Cod Composer Studio and Control Suite, which are the interfaces of this microcontroller, were installed. The design was made in a real environment by examining the manuals of the BuckConv conversion card and the TMS320F28379D microcontroller. At the end of the study, the necessary designs for the control of the step-down converter were carried out and the desired output voltage was obtained.

2024, 77 pages

Keywords: Buck Converter, DC-DC converter, Optimization, TMS320F28379D

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Eğitim öğretim hayatımın taçlanacağı bu tez, benim için yaptığım bütün çalışmalardan daha değerli. Çünkü meslek lisesiyle başlayan, lisans eğitimlerimle devam eden ve nihayet yüksek lisansımı tamamlayarak iş hayatımla beraber ilerletmeye gayret ettiğim mühendislik maceramın her süreci benim için pek de kolay olmadı. Ancak sonucunda elde ettiğim başarıya değdi. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini paylaştan, zamanını ayırıp sabırla dinleyen ve samimiyetini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Göksu GÖREL'e çok teşekkür ederim. Bu çalışma boyunca bazen kızdığımız, bazen güldüğümüz ve birbirimize destek olduğumuz kardeşim Hakan ÖZKAYA'ya çok teşekkür ederim. Bu akademik çalışmanın en büyük mimarlarından olan ve hiçbir konuda desteğini esirgemeyen eşim Dr. Seda BEKTEŞ'e, bazen oyunlarına katılamayıp üzüdüğüm, ilgilenemediğim, sabırsız canım oğlum Aybars BEKTEŞ'e büyük sabrı için çok teşekkür ederim. Hayatım boyunca desteğini, sevgisini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan kıymetli annem Durdane BEKTEŞ'e ve babam Hamdi BEKTEŞ'e çok teşekkür ederim.

Yahya BEKTEŞ

Çankırı, Haziran 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. MATERYAL METOT	10
3.1 DA-DA Dönüştürücülerin Dijital Kontrolü.....	10
3.2 DA-DA Dönüştürücülerin Uygulamaları.....	11
3.3 DA-DA Dönüştürücü Çeşitleri.....	11
3.3.1 Alçaltıcı (Buck) dönüştürücü.....	13
3.3.2 Boost (Yükseltici) dönüştürücü	18
3.3.3 Buck- Boost (Alçaltıcı – Yükseltici) dönüştürücü.....	23
3.3.4 CUK dönüştürücü.....	27
3.3.5 Ziegler – Nichols yöntemi.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1 TMS320F28379D Mikrodenetleyici.....	31
4.2 Yazılım Programı Matlab/Simulink.....	33
4.3 Boostxl-BuckConv (Alçaltıcı Dönüştürücü Kartı).....	34
4.4 Kod Composer Studio (CCS).....	41
4.5 Kontrol SUITE	42
4.6 Simulink Kodlayıcı.....	42
4.7 Matlab Kodlayıcı.....	43
4.8 Embedded Kodlayıcı.....	44
4.9 C2000 Mikrodenetleyici Blok Seti	44
5. C2000 Mikrodenetleyici Blok Seti için Donanım Kurulumu	45

5.1 LAUNCHXL-F28379D Mikrodenetleyici Modülleri.....	50
5.2 CLA Modülü.....	51
5.3 IPC Modülü	52
5.4 ePWM Modülü	53
5.5 ADC Modülü	55
5.6 DAC Modülü	56
5.7 GPIO Modülü.....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
6.1 Simülasyon Sonuçları	60
6.2 Deneysel Sonuçlar	65
6.3 Sonuç ve Öneriler.....	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

SİMGELER DİZİNİ

A	Amper
f	Frekans (Hz)
Hz	Hertz
I	Akım
I_L	Endüktans akımı
I_C	Kondansatör akımı
K_d	Türevsel kazanç katsayısı
K_i	İntegral kazanç katsayısı
K_p	Oransal kazanç katsayısı
R	Resistor (Direnç)
s	Saniye
t	Zaman (s)
T	Periyot (s)
Δt	Fark süre (s)
M	Mikro
Ω	Ohm
V	Voltage (Gerilim)
C	Kondansatör
A	Amper
D	Doluluk oranı (%)
L	Endüktans
V_s / V_g	Giriş Gerilimi
V_d	Diyot Gerilimi
V_o / V_c	Çıkış Gerilimi
ΔI_L	Toplam bobin akımı
Pin	Giriş Gücü
Pout	Çıkış Gücü
Sw	Anahtar
Ts	Anahtarlama periyodu
I_{min}	İndiktörün minimum akımı
I_{max}	İndiktörün maximum akımı
t_{on}	Anahtarın iletimde olduğu süre (s)
t_{off}	Anahtarın kesimde olduğu süre (s)

KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif Akım
MCU	Mikrodenetleyici
Vref	Referans gerilimi (V)
VD	Diyod gerilimi (V)
ADC	Analog Dijital Dönüştürücü
CCS	Code Composer Studio (Kod Düzenleyici)
CCM	Continuous Conduction Mode (Sürekli İletim Modu)
SMPS	Anahtarlama tip güç kaynağı
D	Diyot
DA	Doğru Akım
DAC	Digital/Analog Converter (Dijital Analog Dönüştürücü)
DCM	Süreksiz İletim Modu
DSP	Digital Signal Processing (Dijital Sinyal İşleme)
MOSFET	Yarı İletken Anahtarlama Elemanı
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
P	Orantısal
PI	Proportional Integral (Oransal İntegral)
PID	Proportional Integral Derivation (Oransal İntegral Türevsel)
S	Anahtarlama Elemanı
VCM	Gerilim modu
D	Görev döngüsü (Duty cycle)
KVL	Kirchhoff'un gerilim kanunu
KCL	Kirchhoff'un akım kanunu
TI	Texas Instruments

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	DA-DA dönüştürücülerin kullanıldığı yerler.....	11
Şekil 3.2	DA-DA dönüştürü çeşitleri (Amir <i>et al.</i> 2019).....	12
Şekil 3.3	DA-DA alçaltıcı dönüştürücü devre şeması	14
Şekil 3.4	Alçaltıcı dönüştürücünün iletimdeki eşdeğer devresi	14
Şekil 3.5	Dönüştürücü elemanları üzerinde oluşan tipik dalga biçimleri	15
Şekil 3.6	Alçaltıcı dönüştürücünün kesimdeki eşdeğer devresi (Şentüre 2023).....	16
Şekil 3.7	Yükseltici dönüştürücü devre şeması	19
Şekil 3.8	Yükseltici dönüştürücünün iletimdeki devre şeması	19
Şekil 3.9	Yükseltici dönüştürücünün kesimdeki devre şeması	20
Şekil 3.10	Yükseltici dönüştürücü dalga şekilleri: (a) İletim-kesim durumu (b) Bobin akımı (c) Bobin gerilimi (d) Çıkış gerilimi (Bulut 2020).....	23
Şekil 3.11	Alçaltıcı-yükseltici dönüştürücünün devre şeması	24
Şekil 3.12	Alçaltıcı-yükseltici dönüştürücünün iletimdeki devre şeması	25
Şekil 3.13	Alçaltıcı-yükseltici dönüştürücünün kesimdeki devre şeması	25
Şekil 3.14	Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü dalga şekilleri: (a) İletim-kesim durumu (b) Bobin akımı (c) Bobin gerilimi (d) Çıkış gerilimi (Bulut 2020)	26
Şekil 3.15	CUK dönüştürücünün devre şeması.....	27
Şekil 3.16	CUK Dönüştürünün anahtar iletimdeki devre şeması	28
Şekil 3.17	CUK dönüştürünün anahtar kesimdeki devre şeması	28
Şekil 4.1	Launchxl- F28379D genel bakış (Anonymous 2014).....	31
Şekil 4.2	TMS320F28379D Mikrodenetleyici.....	32
Şekil 4.3	TMS320F28379D mikrodenetleyici pinleri (Anonymous 2014)	33
Şekil 4.4	Matlab Üzerindeki simulink uygulaması	34
Şekil 4.5	Alçaltıcı dönüştürücü (Anonymous 2020).....	35
Şekil 4.6	Alçaltıcı dönüştürücü elektrik devresi (Anonymous 2020)	35
Şekil 4.7	Kapalı çevrim gerilim mod diyagramı (Anonymous 2020).....	36
Şekil 4.8	Kapalı Çevrim akım mod diyagramı (Anonymous 2020)	37
Şekil 4.9	Alçaltıcı dönüştürücü kartı bileşenleri (Anonymous 2020).....	38
Şekil 4.10	Buck dönüştürücü sinyalleri (Anonymous 2020)	39
Şekil 4.11	Modelin konumlandırılması.....	40
Şekil 4.12	DA-DA Buck dönüştürücünün blok diyagramı (Anonymous 2020).....	40
Şekil 4.13	DA-DA alçaltıcı dönüştürücü host modeli	41
Şekil 5.1	C2000 blok seti kurulumu.....	46
Şekil 5.2	Mikrodenetleyici TI delfino F2837xD	47
Şekil 5.3	TI Code generation tools (kod üretme).....	47
Şekil 5.4	Texas instruments destek yazılımları.....	48
Şekil 5.5	Kod Composer studio (CCS) doğrulama	48
Şekil 5.6	Kurulan yazılımların özeti	49
Şekil 5.7	Texas instruments C2000 işlemci araç kutusu.....	49

Şekil 5.8	Texas instruments launchPad F2837xD için araç kutusu	50
Şekil 5.9	LAUNCHXL-F28379D fonksiyonel blok şeması (Anonymous 2024)	51
Şekil 5.10	CLA modülü	52
Şekil 5.11	CLA'nın faydası (Anonymous 2024)	52
Şekil 5.12	IPC bloğu	53
Şekil 5.13	PWM bloğu	53
Şekil 5.14	Zaman tabanı frekansı ve periyodu (Anonymous 2009)	54
Şekil 5.15	ADC bloğu	55
Şekil 5.16	ADC modülünün blok şeması (Anonymous 2024)	55
Şekil 5.17	DAC bloğu	56
Şekil 5.18	DAC modülü blok diyagramı (Anonymous 2024)	57
Şekil 5.19	GPIO Girdi Çıktı Bloğu	57
Şekil 5.20	GPIO blok diyagramı (Anonymous 2024)	58
Şekil 6.1	Tasarım düzeneği	59
Şekil 6.2	Gözlem sonuçlarının belirlendiği simulink tasarımı	60
Şekil 6.3	Ana simülasyon devresi	60
Şekil 6.4	DA-DA dönüştürücünün kapalı devre şeması	61
Şekil 6.5	DA-DA dönüştürücünün detaylı simulink devresi	61
Şekil 6.6	PI kontrolör simulink blok şeması	62
Şekil 6.7	P, I ve Vout parametrelerinin belirlendiği ayarlama penceresi	62
Şekil 6.8	Vout çıkış geriliminin değişimi	63
Şekil 6.9	Doluluk oranının (Duty Ratio) zamana bağlı değişimi	63
Şekil 6.10	MOSFET elamanları PWM anahtarlama sinyalleri	64
Şekil 6.11	Bobin akımının zamana bağlı değişimi	65
Şekil 6.12	Alçaltıcı dönüştürücü elektriksel şeması (Anonymous 2020)	66
Şekil 6.13	Gerilim altında kurulan deney düzeneği	67
Şekil 6.14	P, I ve İstenilen vout gerilim değerlerinin belirlendiği ayar penceresi	68
Şekil 6.15	İstenilen çıkış gerilimi ve mosfetler için üretilmiş olan PWM sinyalleri	68
Şekil 6.16	Aktif yük uygulanarak gerilim altında kurulan deney düzeneği	69
Şekil 6.17	Aktif yük anahtarı grafiği	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Frekans yanıtı yöntemine göre parametreler.....	30
Çizelge 3.2 Basamak yöntemine göre parametreler.....	30
Çizelge 4.1 Alçaltıcı dönüştürücü bileşenleri (Anonymous 2020)	38
Çizelge 4.2 Bağlantı uçları (Anonymous 2020).....	39



1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de nüfus sürekli artmakla birlikte teknolojinin gelişmesi ve sanayileşme gibi birçok nedenlerden dolayı enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu doğrultuda dünya nüfusunun artması ve küreselleşme eğilimi petrole bağımlı ülkeleri farklı enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Enerjinin günümüzde dünyanın en önemli sorunlarından biri hâline geldiği görülmektedir. Enerjideki arz-talep dengesizliği sürekli artmakla birlikte üretim ve tüketim dengesizliği de olası sorunlar arasındadır. Enerjinin her zaman olduğu gibi günümüzde de ziyadesiyle önemli olduğundan; kayıpların azalması, verimin artması gibi birçok değişkenden dolayı güç elektroniğinin gerekliliği ve anahtarlama güç kaynaklarının önemi öne çıkmaktadır. Bu anahtarlama güç kaynaklarının temelinde DA-DA dönüştürücüler yer almaktadır. Günümüzde özellikle elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri, bilgisayar, televizyon, cep telefonu ve birçok elektrikli ev aletlerinde çoğunlukla DA-DA dönüştürücülerin kullanıldığı görülmektedir.

Dijital sinyal işleme (DSP), telekomünikasyon, akıllı kontrol ve hareket kontrolü vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hızlı hesaplama yeteneği, yüksek güvenilirliği ve maliyetinin düşük olması nedeniyle, DSP kullanılarak DA-DA dönüştürücünün dijital kontrolü güç elektroniği sistemlerinde kullanımı artmaktadır. DA-DA dönüştürücüler günümüzde endüstri alanında da kullanımı oldukça yaygındır. 150 MHz'e kadar işlemci hızına kadar modern 32 bit'lik mikrodenetleyiciler 80 nSec'e kadar dönüştürme hızına sahip 12 bit A/D dönüştürücü ile gerçek zamanlı gibi gelişmiş çevre birimlerinde kod hata ayıklama yeteneği ile kontrolün gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu mikrodenetleyiciler tasarımcılara dijital kontrolün tüm avantajlarını sağlar ve performanstan ödün vermeden yüksek bant genişliğine sahip, yüksek frekanslı güç kaynaklarında uygulanmasına olanak tanır (Jinghai 2001). Ayrıca bu cihazlar, gerçek anlamda tek çipli tasarımlar için birçok kontrol ve iletişim çevre birimiyle birlikte yüksek hassasiyetli, ultra hızlı bir ADA içerir. C/C++ için özel olarak optimize edilmiş mimarisi nedeniyle, bu cihazlar iyi kod verimliliği sunar ve tasarımcılara karmaşık doğrusal olmayan kontrol algoritmalarını tamamen yüksek seviyeli dillerde geliştirme yeteneği verir (Bibian and Jin 2001). Bu nedenle bu çalışmamız da adım adım DSP tabanlı dijital kontrol tasarımını ve bir DA-DA dönüştürücünün uygulanmasını açıklamaktadır. Diğer

anlamıyla, alçaltan dönüştürücünün, DSP ve model tabanlı kontrolü gerçekleştirilecektir. Bir DA-DA alçaltıcı dönüştürücü ve belirli bir performans spesifikasyonu seti ile başlayarak, denetleyiciyi uygulamak için gereken tüm gerekli donanım veya yazılım tekniklerini ve algoritmalarını içermektedir. Bunlar önce Matlab/Simulink'da simülasyonu yapılmış ve daha sonra deneysel devre düzeneği ile sonuçlar elde edilmiştir (Zumel *et al.* 2003).

Gelişen teknolojilere bağlı olarak günümüzde yaygınlıkla C2000 işlemci tabanlı kontrol kartları kullanılmaktadır. Bu çalışmada mikrodnetleyici kullanılarak bir alçaltan dönüştürücünün kontrolü için gerekli tasarımlar gerçekleştirilerek istenilen çıkış gerilimi elde edilmeye çalışılacaktır. Bunun için Matlab/Simulink ortamında tasarım gerçekleştirilecek ve Texas Instruments (TI) C2000 işlemciye sahip kontrol ve uygulama kartlarıyla bir DA-DA alçaltan dönüştürücü denetlenecektir. Bahsedilen çalışmayı yapabilmek için yazılan Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü başlıklı bu tezin amacı DSP ile model tabanlı gömülü kodlar otomatik üretilerek kullanılan Matlab/Simulink uygulamaları ile birlikte kontrol sisteminin hızlı modellenmesi, simülasyonu ve nihayet sistemin çalıştırılarak bir alçaltan dönüştürücü ile istenilen çıkış gerilimini elde etmektir. Söz konusu amaca “Mikrodnetleyici kullanılarak bir alçaltan dönüştürücünün kontrolü için gerekli tasarımlar gerçekleştirilerek istenilen çıkış gerilimi nasıl elde edilebilir?” problem cümlesi kapsamında şu alt problem cümlelerine cevap aranarak ulaşılmıştır:

1. Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü tasarımı için alçaltan dönüştürücünün dijital kontrolünü sağlamak için Matlab/Simulink ve deneysel uygulamalarla uyumlu çalışacak mıdır?
2. Bootxl-BuckConv alçtan dönüştürücüde yer alan statik ve aktif yüklerin istenilen çıkış gerilimine etkisi nedir?
3. Mikrodnetleyici kullanılarak bir alçaltan dönüştürücünün kontrolü için istenilen çıkış gerilimi elde edilebilecek midir?

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Günümüzde enerjinin verimli kullanılması, li-on veya diğer taşınabilir cihazların pil ömrünün arttırılması gibi sebeplerle giriş voltajını görev periyodu oranında azaltan güç elektroniği devrelerinden biri olan DA-DA düşürücü tip konvertörlerin tasarımlarının ve kontrol devrelerinin geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu bağlamda DA-DA alçaltıcı dönüştürücüler ve TMS320F28379D mikrodenetleyici ile yapılan akademik çalışmalardan bazıları bu alanda incelenmiştir.

Akgül (2020) tarafından yapılan çalışmada gerçek zamanlı test edilen DA-DA alçaltıcı dönüştürücü devre mekanizmasının Arduino-UNO kartı üzerinden kontrol edilmekte olup geri adımlamalı program ile sürücüye aktarıldığı belirtilmektedir. Gerçek zamanlı gözlem için tasarlanan bu devre mekanizmasında, Buck dönüştürücünün 12 V'luk bir giriş voltajını kontrol ettiği ve bunu 6 V'luk düzenlenmiş bir DA çıkış voltajına dönüştürdüğü belirtilmektedir. Geri adımlamalı kontrolün performansı DA-DA Buck dönüştürücü için tasarlanan kontrolör, Matlab/Simulink araç kutusunda tasarlanan simülasyon devreleriyle test edildiği belirtilmektedir Referans gerilim değişimi ve giriş gerilimi seviye testleri öncelikle geri adımlamalı kontrole özel olarak uygulanmış, daha sonra da PID kontrole özel olarak uygulanmıştır. Simülasyon testinin sonunda, önerilen testlerin haricinde çıkış yükünün değişim etkisinin de dikkate alındığı bir simülasyon devresi tasarlanarak bozucu etkilerin tümünün bir araya getirildiği simülasyon testleri hem geri adımlı kontrole hem de PID kontrole uygulandığı belirtilmiştir.

Yapılan çalışma sonucuna göre alçaltıcı dönüştürücü için geri adımlamalı doğrusal olmayan mikro denetleyici tasarlanarak gerçek zamanlı olarak test edildiği belirtilmiştir. Bu sisteme birkaç bozucu etkiler uygulanarak etkileri Matlab/Simulink üzerinden görülmüştür. Bu denetleyicinin tepkileri aynı özelliklere ve koşullara sahip standart bir PID denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda Buck dönüştürücü ile geliştirilen mikro denetleyicinin normal bir PID denetleyiciye göre gerçek ve geçici durumlarda daha iyi tepkiler verdiği belirtilmiştir (Akgül 2020).

Sucu (2021) tarafından yapılan çalışmada, 48 V giriş ve 12 V doğru akım çıkış gerilimine sahip bir mikrodenetleyici tabanlı yaklaşık 10 watt'lık PI kontrollü alçaltıcı dönüştürücünün analizi, tasarımı, parametre seçimi, deneysel uygulaması ve kontrolünün yapıldığı belirtilmektedir. Alçaltıcı dönüştürücünün çalışma prensibi detaylı olarak olarak incelenerek teorik bir analiz yapılmıştır. Alçaltıcı tip DA-DA dönüştürücünün modellenmesi, tasarımı ve kontrolü için referans olarak seçilen parametrelere göre güç kademesinin devre elemanlarının değerleri hesaplanarak çıkan sonuçlar doğrultusunda devre elemanlarının seçildiği belirtilmiştir. Kapı sürücü devresinin özellikleri ele alınarak kapı sürücü ünitesinin detaylı tasarımı yapılarak Kataloqlarda yer alan bilgiler doğrultusunda devrenin güç kaybı hesaplanarak devrenin performansının gözlemlendiği belirtilmiştir. Tasarım öncesinde gerekli tüm kontroller yapılarak devrenin doğruluğu MATLAB/Simulink yazılım programı kullanılarak kontrol edilmiştir. Bakı devre kartı (PCB) için oluşturulmasında dikkat edilecek konulara değinilmiş Altium Designer programı kullanılmış ve baskı devre kartı oluşturulmuştur. Tasarlanan baskı devre kartının deneysel olarak testlerinin yapıldığı ifade edilmiştir. TMS320F28379D DSP, tabanlı mikrodenetleyici ile açık ve kapalı döngü kontrol yöntemleriyle farklı yükler altında testlerin gerçekleştirildiği ve TMS320F28379D DSP tabanlı mikrodenetleyicinin programlamasında Kod Composer Studio arayüzünün kullanıldığı belirtilmektedir. Kapalı döngü kontrol çeşitlerinden biri olan gerilim mod kontrol (VMC) tekniği kullanılmıştır. Deneysel devre düzeneği için kurulum yapılmış ve 24 V'luk giriş geriliminde ve 10 Ω , 15 Ω , 20 Ω ve 25 Ω çıkış yük değerleri için, 48 V giriş gerilimleri ve 10 Ω , 15 Ω , 20 Ω ve 25 Ω çıkış yük değerleri için devrenin akım ve gerilim değerleri gözlemlenmiş ayrıca devrenin performansı ve termal performansı test edildiği belirtilmektedir. Tasarlanan devrede 416 W/cm³'lük bir güç yoğunluğu elde edildiği belirtilmektedir.

Yapılan deneysel sonuçlara göre çıkış voltajındaki dalgalanmanın kabul edilebilir bir değer dâhilinde olduğu ve en büyük güç kaybının serbest dolaşım diyotunda olduğu ifade edilmiştir. Tasarlanan devrenin ısı performansı iyi olduğu ve en büyük sıcaklık artışının indüktörde olduğu ayrıca yapılan simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçlarla alçaltıcı dönüştürücünün verimli ve güvenilir sonuçlar için tasarlandığı belirtilmiştir (Sucu 2021).

Tuygar (2022) tarafından yapılan çalışmada, elektronik cihazlarda voltajı depolamak için kullanılan veya fotovoltaiik enerjiden doğru akım şeklinde elde edilen pillerin şarj ihtiyaçları dikkate alınarak, iki anahtarlı Buck dönüştürücü tasarlanmıştır. Doğru akımlı şarj edilebilir olan cihazların aküsü 12 V'luk sabit voltaj ile şarj etmek için DA/DA dönüştürücünün çıkış voltajının MATLAB/Simulink ortamında üç farklı kontrolör ile kontrol edildiği belirtilmiştir.

İki anahtarlı alçaltıcı-yükseltici da/da dönüştürücü tasarımı ve uygulaması için yapılan modellemelerin ilk simülasyon sonuçlarında, iki farklı PI denetleyiciye sahip modelin, yükseltici dönüştürücü modundan düşürücü dönüştürücü moduna geçiş anında çıkış voltajında ani bir voltaj düşüşü olduğu belirtilmiştir. İkinci simülasyonda, tek PI denetleyicili modelde, yükseltici dönüştürücü modundan düşürücü dönüştürücü moduna geçmeden önce anahtarların belirli bir süre birlikte çalıştırılmasıyla gerilimdeki ani değişimin azaltılabileceği ifade edilmektedir. Son simülasyon modelinde ise düşürücü dönüştürücü modu ve yükseltici dönüştürücü modu için bulanık mantık denetleyicinin iki ayrı modeli uygulanarak çıkış geriliminde daha anlık gerilim değişikliklerin elde edildiği ve simülasyon yöntemlerinin kontrolör performans kriterlerinin karşılaştırıldığı belirtilmiştir. Ayrıca, yükseltici dönüştürücü modundan düşürücü dönüştürücü moduna geçiş sırasında gözlemlenen voltajdaki ani değişimin sistem üzerinde meydana gelebilecek bozucu bir etkiye karşı tek PI'lı bir DA-DA dönüştürücünün kullanılmasının uygun olduğu ifade edilmektedir. Kontrolör buna göre ayarlanır. Prototip yapmak. Yapılan simülasyon çalışmasında Giriş voltajı 15V ayarlanmış ve çıkış voltajı 12V olarak ayarlandığında yük akımı 8A ve endüktans dalgalanma değeri 125 mA olurken, çalışma prototipinde şarj akımının 7,35 A'da ölçüldü ve indüktör dalgalanma değerinin ise 206 mA olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre kayıpların olacağı ve bu kayıpların indüktörlerde ve diğer devre elemanlarında enerji kayıplarına neden olabileceği ancak DA-DA dönüştürücü için seçilen kondansatör ve indüktör değerlerinin uygun değerlerde seçildiği belirtilmektedir (Tuygar 2022).

Yiğit (2022) tarafından yapılan çalışmada, Alçaltıcı tipi DA/DA dönüştürücüler için EMI filtre tasarımı ve uygunluk ölçümleri için Elektro Manyetik Girişim (EMI) yani elektro manyetik alanın etrafındaki cihazların etkilenmemesi için EMI filtreleriyle ilgili

araştırmaların yapıldığı ve DA-DA anahtarlamaalı güç kaynakları için ortak mod ve diferansiyel mod EMI filtrelerinin tasarımı optimize edildiğı bir tasarımın yapıldığı belirtilmiştir. Başlangıçta DA-DAdönüştürücünün güç gereksinimi detaylıca incelenerek EMI problemini ortadan kaldırmak için neler yapılabileceğı konusunda değerlendirmelerde bulunduğı belirtilmiştir. DA/DA dönüştürücülerde kullanılan devre elemanlarının seçiminde etkili parametreler incelenmiş ve malzemelerin seçileceğı kriterler belirlenmiştir. Seçilen malzemeler doğrultusunda EMI filtrelerinin temel topolojileri ele alınarak MIL-STD-461G prosedürü CE102'ye göre EMI hat filtre tasarımı yapılarak tasarımın LTspice programında simülasyonun yapıldığı belirtilmiştir. Simülasyon programında malzeme ve parametreler değişebilir olması sonuçların daha gerçekçi olmasında önemli rol oynadığı ifade edilmiştir. Simülasyon programında tasarım optimize edilmiştir. Ölçümler filtreli ve filtresiz olarak 2 değişik durum için yapılmıştır. DA-DA alçaltıcı dönüştürücünün 12V, 5V ve 3.3V çıkış voltaj seviyelerinde besleme hattından pozitif ve negatif terminallerden filtreli ve filtresiz ölçümlerin yapıldığı belirtilmiştir. Farklı gerilim seviyelerinde elde edilen sonuçlarında, çıkış voltajı düştüğünde EMI gürültüsünü bastırmada filtre uygulamanın öneminin büyük olduğı belirtilmektedir. Filtre devresinin prototipi oluşturularak laboratuvarında test edildiğı ifade edilmiştir.

Bu filtre devresini sisteme entegre etmeden önce DA-DA alçaltıcı dönüştürücünün çıkışı üç ayrı voltaj seviyesinde 12 V, 5 V ve 3,3 V ayarlandığı ve toplam hat gürültüsü devrenin pozitif ve negatif terminalden ölçümlerin yapıldığı belirtilmiştir. Filtre devresi sisteme entegre edilerek devre çalıştırılarak aynı ölçümlerin tekrar yapıldığı ifade edilmiştir. Filtreli ve filtresiz yapılan Laboratuvar ölçüm sonuçlarına göre, kullanılan DA-DA alçaltıcı dönüştürücü için özellikle 5 V ve 3,3 V çıkış gerilimlerinde filtre devresi kullanılmasının gerekli olduğı belirtilmektedir. Sistemin gerçek ortamda yapılan ölçüm sonuçlarıyla simülasyon ortamında yapılan ölçüm sonuçlarının farklı olmasının nedeni, gerçek ortamdan simüle edilmiş ortama geçerken tüm bozucu etkilerin doğru bir şekilde tahmin edilememesinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen ölçümlere göre EMI filtrelerinin önemli olduğı ve DA-DAAalçaltıcı dönüştürücünün EMI performansını artırabildiğı belirtilmektedir (Yiğit 2022).

Çökren (2023) tarafından yapılan bu çalışmada öncelikle alçak gerilim DA-DA dönüştürücülerin temel çalışma prensibi, tasarım, devre elmanları hesapları ve kapasitör ile indiktör gibi devre elmanlarının seçiminden bahsedildiği belirtilmektedir. DA-DA dönüştürücülerin kapalı ve açık çevrim kontrol yöntemlerinin olduğu bu çalışmada ise PSIM programı kullanılarak açık çevrim sistem ve kapalı çevrim sistemlerinde simülasyon yapılarak sonuçlarının yorumlandığı belirtilmektedir. Bu çalışmada kullanılan (PID) kontrolörler için Sayısal kontrol ve orantısal-integral-türev hakkında genel bilgiler verildiği ve PID denetleyicinin kazancını belirlemek için hesaplamaların Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak yapıldığı ifade edilmiştir. Geri beslemeli kapalı döngüde PI parametrelerinin kazancının haseplanmasında Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak DA-DA alçaltıcı dönüştürücünün tasarlandığı belirtilmektedir. Kapalı ve açık döngüde çalıştırılan Simülasyonların sonuçları bir bireyleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada PI kontrollü çift çevrimli DA-DA dönüştürücünün akım ve gerilim geri beslemesi ile daha kararlı ve değişime duyarlı çıkış gerilimi ürettiği tespit edildiği belirtilmektedir. Çift döngülü PI denetleyicili DA-DA alçaltıcı dönüştürücü tasarlanarak simülasyonu yapılmış ve simülasyon sonuçlarında, çift döngülü PI denetleyicinin, farklı çıkış akımlarında tek döngülü PI denetleyiciye göre daha kararlı bir çıkış voltajını verdiği belirtilmiştir. Simülasyon sonuçlarıyla istenilen değerler elde edildikten sonra tasarlanan düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün mikrodenetleyici kontrollü deneysel uygulaması gerçekleştirilmiş ve değişken çıkış yükü önce üç kat artırılarak 1,5A'e çıkarılmış ve sonra 1A'e düşürülmüştür. Çıkış yükündeki bu değişikliklere rağmen çıkış geriliminin çok hızlı bir şekilde referans değerine ulaştığı ve kararlılığını koruduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak, çıkış akımının değişmesine rağmen deney sisteminin kararlı ve düzenlenmiş bir çıkış voltajı ürettiği belirtilmektedir.

Sonuç grafikleri incelendiğinde kademeli olarak yükselen istenilen referans voltajına rağmen akım ve gerilim grafiklerine bakıldığında çıkış voltajının referans voltajı yakaladığı ve sabit yükten dolayı da çıkış akımının arttığı belirtilmektedir. PI denetleyici aynı anda referans gerilimini yakalamaya ve akım değişikliklerinin aralıklı bozucu etkilerini en aza indirmeye çalıştığı belirtilmektedir. Örnek olarak şarj cihazlarının yüksek kapasiteye ulaşmak için değişken çıkış voltajına ihtiyaç duyulduğunda çift döngülü PI denetleyicinin kararlı ve verimli çalışabildiği belirtilmektedir (Çökren 2023).

Balta (2021) tarafından yapılan tez çalışmasında, DA-DA alçaltıcı dönüştürücünün sadece çıkış geriliminin ölçüldüğü varsayılarak sensörsüz kontrolü yapıldığı ve sistem modellemesinde Matlab/Simulink üzerinde modellenerek ani değişiklikler sırasındaki sistem davranışı integral geri adımlama tekniği kullanılarak gözlemlendiği belirtilmiştir. Matlab/Simulink simülasyon programı ile tasarlanan devre doğrusal bir sistem olmasına rağmen bu devre için doğrusal olmayan denetleyici tasarımının yapıldığı belirtilmiştir. Söz konusu devrenin ve benzeri diğer devrelerin kararlı çalışması, güç elektroniği devrelerinde yaygın olarak bulunan bazı parazit faktörlerinin varlığından olumsuz yönde etkilendiği ifade edilmiştir. Doğrusal olmayan denetleyici tasarımları bu bozucu etkilere karşı daha dayanıklı olduğundan tercih edildiği ifade edilmiştir. Yapılan uygulamada, doğrusal ve doğrusal olmayan kontrolörlerin giriş gerilimindeki ani değişimler ile referans gerilimindeki değişimlere ve dönüştürücünün yük tarafındaki ani değişimlere tepkisinin çıkış geriliminde çok farklı olduğundan bahsedilmektedir. Sonuç olarak doğrusal olmayan yani önerilen kontrolör yapısının doğrusal kontrolörden çok daha iyi performans sergilediği belirtilmektedir. Kontrolör tasarlanırken Güç elektroniği devresi için doğrusal olmayan kontrol önerilmiş ve önerilen kontrol cihazından istenen kontrol sinyalini elde etmek için, tüm durum değişkenlerinin sensörler tarafından tespit edilmesi gerektiği ve ek sensörlere ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle devreyi kontrol etmek için gözlemciler kullanılarak durum değişkenleri için kullanılan sensör sayısının düşürüldüğü ve Luenberger gözlemcisi bu çalışmada kullanıldığı belirtilmiştir. Bu gözlemcinin doğrusal sistemler için iyi performans gösterdiği ve ölçülmeyen durum değişkenini tahmin etmede çok iyi olduğu söylenmiştir.

Devrenin kontrolü iki farklı kontrolör ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi ise her iki kontrolörün de kendine göre olumlu ve olumsuz yönlerinin olduğu ifade edilmektedir. Sonuç olarak oluşturulan bu tasarım, doğrusal kontrolör ve diğer kontrolörlerin performansı ile karşılaştırıldığında, bu kontrol yapısının daha kararlı bir çalışma sağladığı belirtilmiştir (Balta 2021).

Santra ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada güç elektroniği dönüştürücüleri için TMS320F28379D denetleyici kullanılarak darbe genişlik modülasyonu (DGM) sinyali üretildiği belirtilmiştir. Güç elektroniğinde DSP kullanımının tüm

dönüştürücülerin maliyetinin düşürebileceği belirtilmiştir. TMS320F28379D DSP ile sayısal işlemlerin hızlı ve kolaylıkla sinyal üretebileceği görülmüştür (Santra *et al* 2018).

Hassoune ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada TMS320F28379D mikro denetleyicisine göre elektrikli araç şarj istasyonu için da-da buck dönüştürücünün gerçekleştirilmesi tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Bu tezde, şarj cihazları ile ilgili olarak lityum bataryaların iyileştirilmesi amacıyla bir kontrol yöntemi oluşturulmuştur. Bu yöntem ile deneysel sonuçlarda güç dalgalanmalarının azaldığı ve şarj akımı dalgalanmalarının da yeterli düzeyde azaldığı belirtilmiştir (Hassoune *et al* 2020).

Moursy ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada alçaltıcı tip dönüştürücüler kapalı ve açık çevrim olarak kontrolleri sağlanmaktadır. Giriş gerilimi ile çıkış yükünde meydana gelen farklılıklar elektronik elemanların doğrusal olmayan özellikleri açık döngü doğru akım dönüştürücülerinde referans çıkış gerilimini yani istenilen çıkış geriliminin verilmesini zorlaştırır. Bu bağlamda istenilen çıkış geriliminin sağlanması için geri beslemenin olması gerektiği belirtilmektedir. Çıkış geriliminin regülasyonu için iki temel mod kullanılmakta olup bunlar; akım ve gerilim modlarının olduğu belirtilmektedir. Yükteki dalgalanmalarda çıkış geriliminin regülasyonunda genellikle gerilim mod kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Çıkış geriliminin düzenlenmesinde gerilim mod da diğer kontrol uygulamalarına göre sadece çıkış geriliminin olması yeterlidir. Gerilim mod kontrol yöntemi kullanıldığında bara gerilimindeki anlık dalgalanmalar ve görev periyodu kontrol edilmesindeki gecikme bu kontrol yöntemi için avantaj olmadığı belirtilmektedir (Moursy *et al* 2016).

Yukarıdaki araştırmalardan farklı olarak Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü adlı bu çalışmada, DA-DA alçaltıcı dönüştürücünün TMS320F28379D mikrodenetleyici ile kontrolü sağlanarak farklı P,I parametrelerinde istenilen çıkış gerilimleri hem simülasyon hem de deneysel olarak elde edilmesi sağlanmıştır. Böylece araştırmanın alana farklı bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

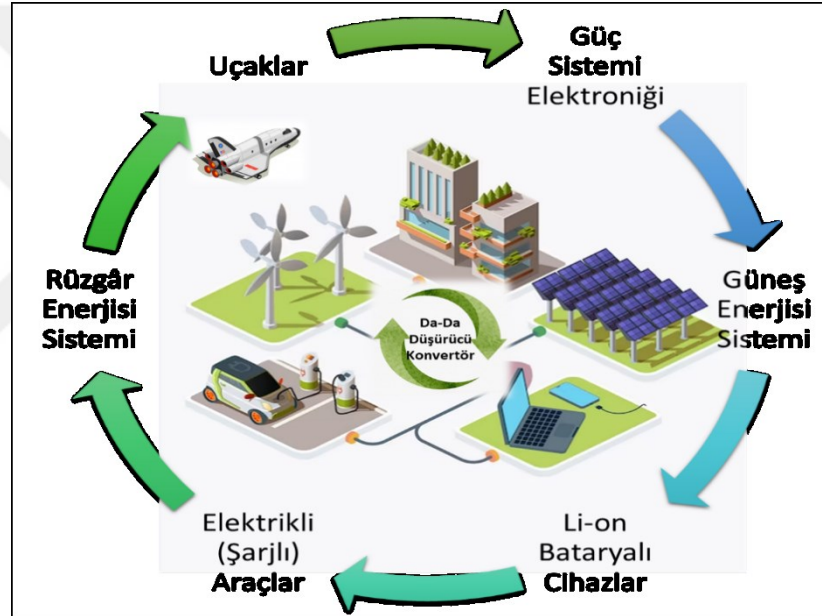
3. MATERYAL METOT

3.1 DA-DA Dönüştürücülerin Dijital Kontrolü

DA-DA dönüştürücüler, bir doğru akım DA voltajının farklı bir DA voltaj seviyesine dönüştüren güç elektroniği devreleridir. Elektronik, doğrusal, anahtarlama mod, manyetik, kapasitif gibi farklı dönüşüm yöntemleri vardır. Genel olarak, bir anahtarın veya anahtarların güç dönüşümü amacıyla kullanılması bir anahtarlama güç kaynağı olarak kabul edilmektedir (Yalduz 2015). Örnek olarak, DA-DA dönüştürücüler kişisel bilgisayarların anakartındaki 5V'luk bir DA'nın, farklı yeni bir işlemci için 3V, 2V veya daha yüksek bir voltaj seviyesine dönüştürülmesini sağlamaktadır. Günümüzde dijital tekniklerin gelişmesiyle birlikte güç elektroniğinde çoğunlukla kontrol algoritmaları uygulanmaktadır. Bu kontrol algoritmaları mikro işlemciler veya dijital çipler gibi DSP'ler ile sağlanmaktadır. Dijital kontrolün analog kontrole göre birçok avantajı vardır; programlanabilirlik, uyarlanabilirlik, düşük parça sayısı, maliyet ve analoğa göre daha iyi bir performans göstermesidir (Wanfeng *et al.* 2004). Geçmiş yıllarda DA enerjiyi, farklı bir DA gerilim seviyesine dönüştürme işlemi motor ve jeneratör setleri yapılmakta olup maliyet ve performans gibi etkenlerden dolayı zorluklar yaşanmaktaydı. Fakat teknolojinin gelişmesi, dijital kontrolün yaygınlaşması ve yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle günümüzde güç elektroniği devre elemanları, mikrodeneleyiciler ve anahtarlama sayesinde düşük maliyet, verim ve dinamik yapısı ile dönüştürme işlemleri kolaylıkla yapılabilmektedir (Bodson and Hossain 2019). Tüm bu dijital uygulamalarda DA enerjisini bir voltaj seviyesinden diğerine değiştirmek ve bu süreçte mümkün olduğunca az kayıp ile gerçekleştirilmesi ve dönüşümü mümkün olan en yüksek verimle gerçekleştirmek asıl amaçtır. Yani çıkış voltajı seviyesi ne olursa olsun, çıkış gücünün tamamı girişten gelir; dönüştürücünün içinde üretilen enerji bulunmamaktadır.

3.2 DA-DA Dönüştürücülerin Uygulamaları

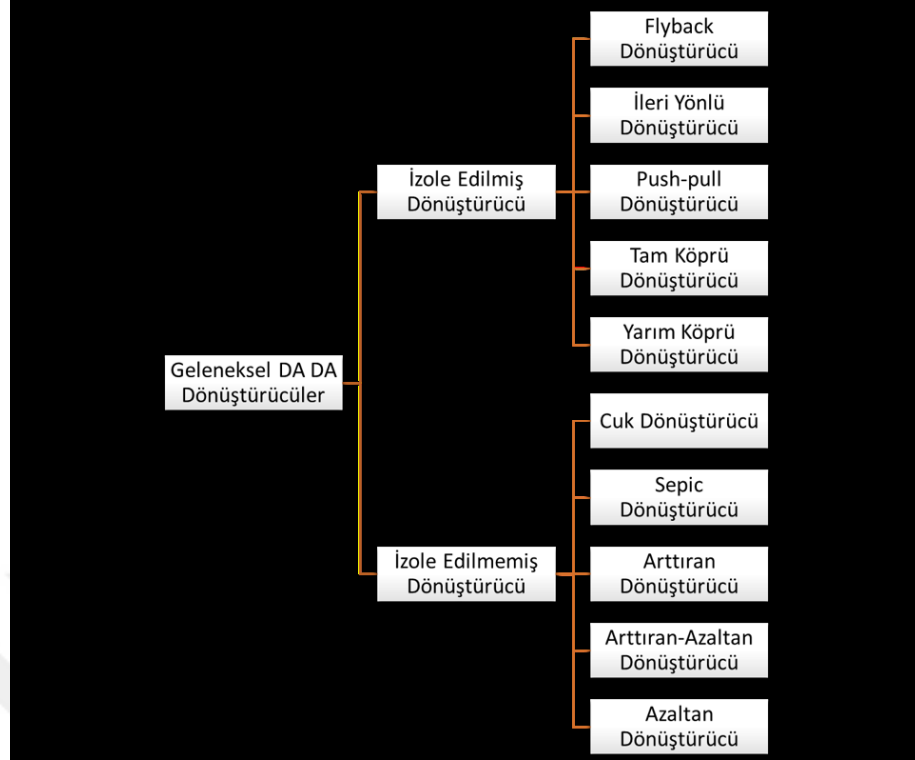
Gelişen teknoloji ve enerji arzının arttığı hayatımızda enerjinin verimli kullanılması şarjlı cihazların batarya ömürünün arttırılması, fotovoltaik sistemler gibi birçok alanda güç elektroniği devlerinden DA-DA alçaltıcı tip (buck) dönüştürücülerin kullanımı ve önemi artmaktadır. DA-DA dönüştürücülerin kullanım alanları örnek olarak; Elektrikli arabalar, Tramvay, Deniz Vinçleri, Forkliftler ve Maden Taşıyıcıları gibi hemen hemen hayatımızın birçok alanında kullanılmaktadır (Sucu 2021). Şekil 3.1’de kullanılan alanlardan örnekler yer almaktadır.



Şekil 3.1 DA-DA dönüştürücülerin kullanıldığı yerler

3.3 DA-DA Dönüştürücü Çeşitleri

Güç elektroniğinde kullanılan farklı DA-DA dönüştürücü türleri vardır. Her bir dönüştürücünün kendine has özelliği bulunmaktadır. Bazı dönüştürücüler istenilen gerilim seviyesine düşürülmesi bazıları ise yükseltmesi gibi güç elektroniğinin kullanıldığı ve ihtiyaç duyulduğu gerilim seviyelerine göre seçilmektedir. Şekil 3.2’de DA-DA yalıtılmış ve yalıtılmamış (izole edilmiş ve izole edilmemiş) dönüştürücü çeşitleri yer almaktadır.



Şekil 3.2 DA-DA dönüştürü çeşitleri (Amir *et al.* 2019)

DA-DA dönüştürücü çeşitleri temel yapısı gereği Şekil 3.2’de gösterildiği gibi izole edilmiş ve izole edilmemiş dönüştürücüler olarak iki başlık altında toplanmıştır.

İzole edilmiş dönüştürücüler, sistemdeki enerjiyi giriş kısmından çıkış kısmına kadar iletmek üzere transformator kullanmaktadır. Çok fazla giriş ve çıkış için dolaylı olarak primer ve sekonderi birden fazla olan transformator olması gerekli olup aynı zamanda, yüksek frekanslı anahtarlamalar ile çalıştırılması gerekmektedir. Bu bağlamda giriş ve çıkış port sayılarının artması dönüştürücülerinin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Ayrıca yüksek frekanslı transformatorların boyutları normal şebeke transformatorlerine göre küçük olmakla birlikte izole edilmemiş dönüştürücülere göre hacim olarak büyük, maliyetli ve kontrolü zordur (Jean *et al.* 2020).

İzole edilmemiş dönüştürücülerde ise giriş ve çıkış arasında herhangi bir yalıtım bulunmamaktadır. Yani giriş ve çıkış arasında trafo, sargı vb. kullanılmamaktadır. İzole edilmemiş dönüştürücülerde güç portları ile transfer edilen toprak bağlantısı bulunmaktadır. Bu dönüştürücüler girişteki farklılıklardan etkilenme özelliğinden

dolayı güç yoğunluğu, maliyet, hacim ve kontrol gibi etkenlerden dolayı izole edilmiş dönüştürücelere göre çok daha avantajlıdır (Lavanya *et al.* 2016).

Yukarıda bahsi geçen DA-DA dönüştürücü çeşitlerinden özellikle bu tez çalışmasında kullanmış olduğumuz buck (alçaltıcı) dönüştürücülerden başlanarak ilk dördü açıklanacaktır.

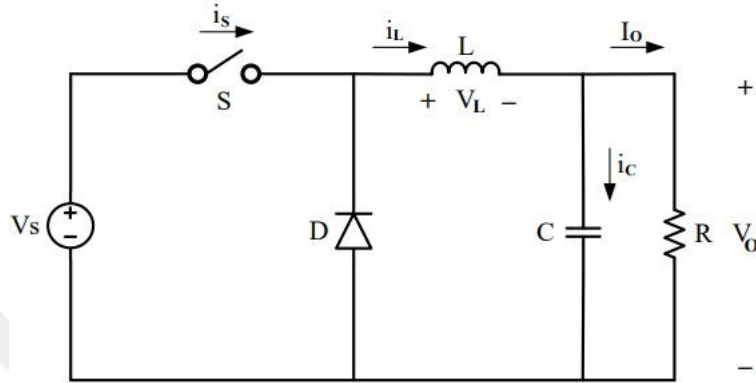
3.3.1 Alçaltıcı (Buck) dönüştürücü

Alçaltıcı dönüştürücü, uygulanan DA giriş sinyalinin kademeli dönüşümünü gerçekleştirmek için tasarlanmış bir dönüştürücü devredir. Alçaltıcı dönüştürücüler sabit DA giriş sinyalini, çıkışta daha düşük değerli başka bir DA sinyaline dönüştürürler. Dönüştürücü devrelerde anahtar görevi gören BJT, MOSFET, IGBT, GTO vb. gibi çeşitli yarı iletken devre elemanları bulunmaktadır (Rashid 2011).

Şekil 3.3'te alçaltıcı dönüştürücü devresi görülmektedir. Devrede yük olarak görev yapan tüm bu düzenlemeye bir direnç (R) bağlanmıştır. Ayrıca devrede bobin (L), kondansatör (C), giriş kaynağı (Vs) , çıkış gerilimi (Vo) ve diyot (D) gibi güç elektroniği devre elemanlarını ifade etmektedir. Devrenin çalışması iki modda gerçekleşir. İlk mod, S anahtarının kapalı olduğu mod diğeri ise S anahtarının açık olduğu moddur.

Başlangıçta devrenin giriş terminaline sabit bir DA voltajı uygulanarak S anahtarının kapalı olduğu durumda, akım devrede akmaya başlar. Bu akan akım nedeniyle bobinde enerji indüklenir. Ayrıca devrede bir kapasitör vardır ve içinden akım da akar, bu nedenle enerjiyi depolamaktadır. Ancak Lenz yasasına göre, indüktörde depolanan enerji, indüklenen bir akım oluşacak ve indüktördeki polarite tersine dönecektir. Akım veya voltaj dalgalanmalarını azaltmak için alçak geçişli LC filtresiyle bir bağlantı oluşturur ve regüle edilmiş bir çıkış sağlanmasına yardımcı olur. Alçaltıcı dönüştürücü, basitlik ve düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Bu dönüştürücülerin çalışması açık olan bir anahtarla başlar (böylece devrenin herhangi bir kısmından akım akmaz). Anahtar kapatıldığında, akım ilk başta yavaşça ve giderek artarak indüktörden akar. Anahtar

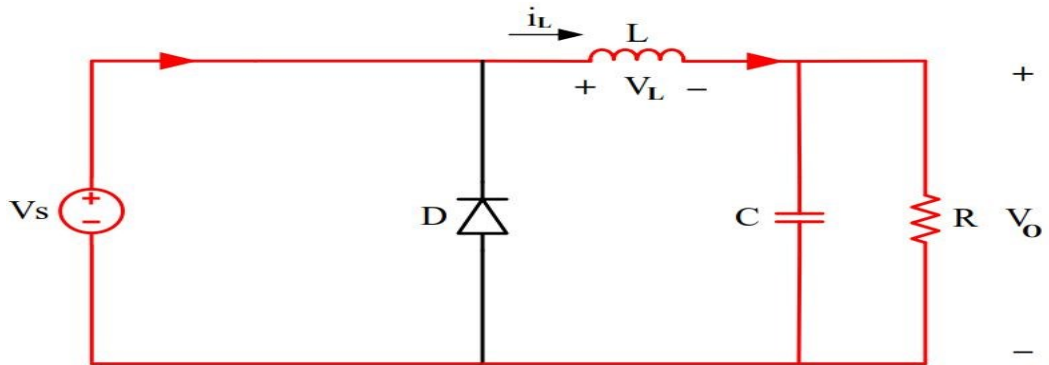
kapatıldığında indüktör diyottan akımı çeker ve bu, indüktörün çıkışındaki voltajın giriş voltajından daha düşük olduğu anlamına gelmektedir (Hart 2010). Sabit bir frekansta S anahtarının kapalı olması yani iletimdeki süresi ile çıkış gerilimi kontrol edilir. Bu durum Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) anahtarlama olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.3 DA-DA alçaltıcı dönüştürücü devre şeması

Anahtarın İletim Modu

Bir alçaltıcı dönüştürücü, eğer indüktörden (I_L) geçen akım, komütasyon döngüsü sırasında asla sıfıra düşmezse, sürekli modda çalışır. S Anahtarının iletimde olduğu çalışma prensibi çalışma prensibi Şekil 3.4'te eş değer devresiyle açıklanmaktadır. (Bryant and Kazimierczuk 2004).



Şekil 3.4 Alçaltıcı dönüştürücünün iletimdeki eşdeğer devresi

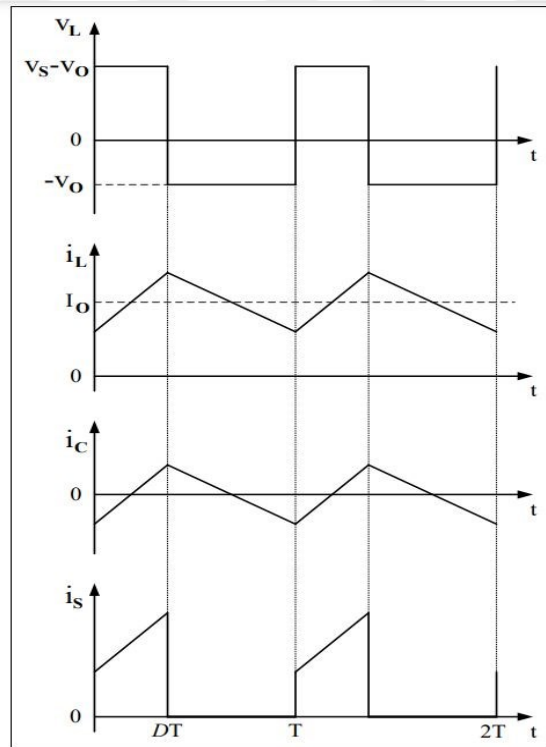
Şekil 3.3'te gösterilen anahtar kapatıldığında Şekil 3.4'te belirtilen akım yönü ile indüktörden geçen akım doğrusal olarak artar. Burada, V_L indüktör gerilimini, V_0 yükteki gerilimi ve V_S giriş voltajını ifade etmektedir. İndüktördeki voltaj $V_S = V_L + V_0$ 'dur. Diyot, giriş voltaj kaynağı tarafından ters kutuplandığından, içinden hiçbir akım geçmez.

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) V_L indüktör geriliminin uç denklemini belirtmektedir.

$$\Delta I_L = I_{maks} - I_{min} = \frac{V_S - V_0}{L} \times D\tau \quad (3.2)$$

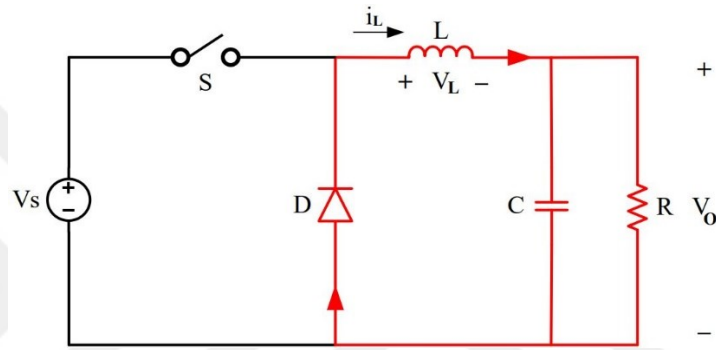
Dönüştürücü devresinde anahtarın iletimdeyken geçen süre $D\tau$ ile gösterilmiştir (Tuygar 2022). İndüktör akımındaki değişim Denklem (3.2)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Dönüştürücü elemanları üzerinde oluşan tipik dalga biçimleri

Şekil 3.5'te dönüştürücü üzerindeki dalga şekillerinde; birinci durumda 0'dan DT zamanına kadar olan yani S anahtarının iletimde olduğu sürede, D diyotunun ters polariteden dolayı kesimdedir. İkinci durumda DT'den T zamanına kadar S anahtarının kesimde olduğu sürede D diyotunun iletimde olduğu görülmektedir. İndüktör birinci durumda enerji depolarken ikinci durumda depoladığı enerjiyi yüke aktarmaktadır (Şentüre 2023).

Anahatarın Kesim Modu



Şekil 3.6 Alçaltıcı dönüştürücünün kesimdeki eşdeğer devresi (Şentüre 2023)

S Anahtar açıldığında yani Şekil 3.6'da belirtildiği gibi diyot ileri yönde kutuplanır. İndüktör üzerindeki voltaj $V_L = -V_0$ 'dur. Akım azalır. (Mokal *et al.* 2017).

L indüktöründe depolanan enerji Denklem (3.3)'de gösterilmiştir:

$$E = \frac{1}{2} L x I_L^2 \quad (3.3)$$

Bu nedenle, L'de depolanan enerjinin S anahtarının açık kalma süresi boyunca arttığı ve S anahtarının kapalı durumdayken azaldığı görülebilir. L, enerjiyi dönüştürücünün girişinden çıkışına aktarmak için kullanılır (Tan *et al.* 2006).

İndüktör akımı I_L 'nin yük direncinden geçen çıkış akımıyla eşit olduğu görülebilmektedir. Bu bağlamda ideal bir devrede kayıplar göz önünde

bulundurulmadığından giriş gücü (Pin) ve çıkış gücü (Pout) de birbirine eşit olduğu Denklem (3.4)'de belirtilmektedir ve Denklem (3.5)'de akım ve gerilim cinsinden eşitlik ifade edilmektedir:

$$P_{in} = P_{out} \quad (3.4)$$

$$V_s \cdot I_s = V_o \cdot I_o \quad (3.5)$$

İstenilen çıkış geriliminin elde edilmesinde devredeki elemanların anahtarlama ve iletim kayıpları göz önünde bulundurulmadığında Denklem (3.6) meydana gelmektedir:

$$(V_s - V_o)DT = -V_o(1 - D)T \quad (3.6)$$

Denklem (3.7)'de Gerilim Kazancı (D) çıkış geriliminin giriş gerilimine oranlanmasıyla bulunmaktadır.

$$D = V_o / V_s \quad (3.7)$$

DA-DA dönüştürücüler, İndüktör akımına göre iki modda çalışma özelliği bulunmaktadır. Şekil 3.4'de indüktör akımının her zaman 0'dan büyük olduğu Sürekli İletim Modu'nu (CCM) göstermektedir. Çıkış akımının düşük olduğu yani direncin yüksek olduğu durumlarda dönüştürücüler Süreksiz İletim Modu'na (DCM) evrilebilmektedirler. DCM modunda anahtarlama periyodunun bazı bölümünde indüktör akımı sıfırdır. CCM modu, performans ve yarı iletken güç elektroniği devre elemanları ile bileşenler arasındaki konfigürasyon iyi olduğundan kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. DCM modu ise indüktörde depolanan enerji anahtarlama süresinin başlangıcında veya sonda sıfır olduğu için spesifik kontrol uygulamalarında tercih edilebilir. Alçaltıcı dönüştürücü için, CCM ve DCM arasındaki farkı aşağıdaki filtre bobini değeri formülü ile belirlenir. Bobin değeri $L > L_b$ koşulu sağlandığında Dönüştürücü Sürekli İletim Modu'nda çalışabilmesi için $L > L_b$ olması gerekmektedir. Denklem (3.8)'de filtre bobin değerinin formülü yer almaktadır:

$$L_b = (1 - D) R 2f \quad (3.8)$$

Sürekli İletim Modu'nda indüktör akımından dolayı DA çıkış gerilimi (V_o) boyunca voltaj dalgalanması meydana gelir. Bu dalgalanma gerilimi (V_r) düşürmek kayıpların önüne geçmek içinde en düşük filtre kondansatörü (C) değeri için Denklem (3.9) ile hesaplanabilmektedir:

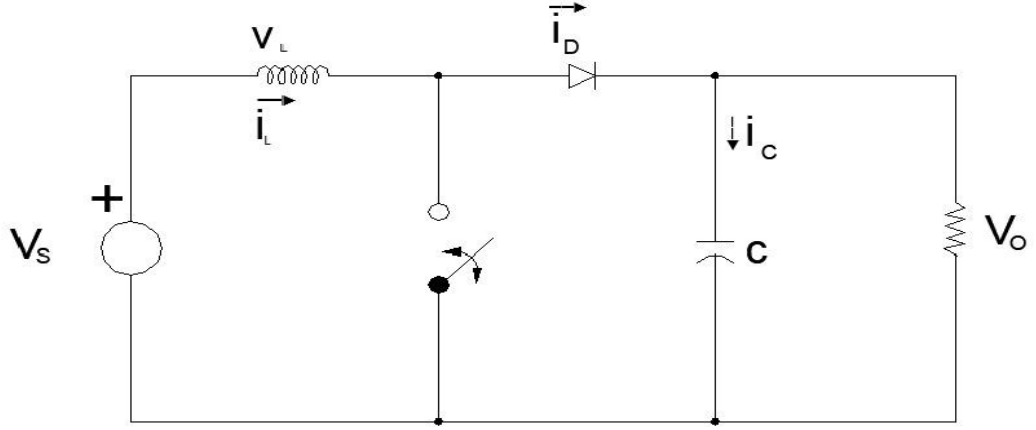
$$C_{min} = \frac{(1 - D)V_o}{8V_r L f^2} \quad (3.9)$$

Dönüştürücü kullanılan devrelerde devre elemanlarının parametreleri seçilirken bobin üzerinde meydana gelen indüktör akımı için bobinin minimum değeri Denklem (3.10) ile bulunabilir (Lee 2015).

$$L = \frac{V_{out} (V_{in} - V_{out}) \Delta i_L}{f \times V_{in}} \quad (3.10)$$

3.3.2 Boost (Yükseltici) dönüştürücü

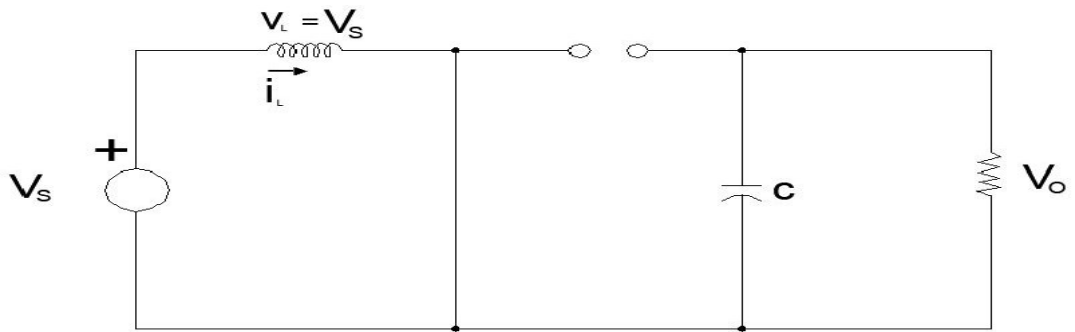
Yükseltici dönüştürücü (boost dönüştürücü), çıkış DA voltajının giriş DA voltajından daha büyük olan bir dönüştürücüdür. Yükseltici dönüştürücüler, iki yarı iletken anahtar (bir diyot ve bir transistör) ve enerji depolamak için bir anahtarlama modlu güç kaynağı (SMPS) sınıfıdır. Çıkış voltajı dalgalanmasını azaltmak için normalde kondansatörlerden (bazen indüktörlerle kombinasyon hâlinde) yapılan filtreler dönüştürücünün çıkışına eklenir. Devrenin gücünün korunması gerektiğinden çıkış akımı kaynak akımından daha düşüktür. Devrenin çalışması iki modda gerçekleşir. İlk mod, anahtarın iletimde olduğu mod diğeri ise anahtarın iletimde olmadığı moddur (Çalışkan vd. 2017).



Şekil 3.7 Yükseltici dönüştürücü devre şeması

Yükseltici dönüştürücü, düşürücü dönüştürücüyle aynı bileşenlere sahiptir, ancak bu dönüştürücü, kaynaktan daha büyük bir çıkış voltajı üretir. Yükseltici dönüştürücüyü çalıştıran temel prensip, bir indüktörün akımdaki değişikliklere direnme eğilimidir. Şarj edildiğinde bir yük gibi davranır ve enerjiyi emer (bir nevi direnç gibi); Deşarj edildiğinde bir enerji kaynağı olarak görev yapar (bir nevi pil gibi). Deşarj aşamasında ürettiği voltaj, orijinal şarj voltajıyla değil, akımın değişim hızıyla ilgilidir, böylece farklı giriş ve çıkış voltajlarına izin verilir (Köse vd. 2017).

Anahtarın iletim Modu



Şekil 3.8 Yükseltici dönüştürücünün iletimdeki devre şeması

Yükseltici dönüştürücüler, Şekil 3.8'deki gibi anahtarın iletimde olduğu durumda voltaj dönüşümlerini indüktörden akan bir akımla başlatarak akımın diyot üzerinden akması sağlanır. Akım daha sonra hızlı bir şekilde yavaşlamak ister ve bunu yapabilmesinin tek

yolu voltajı arttırmaktır. Voltaj yeterince yükseldiğinde diyot kesime gider ve diyottan akım geri akamaz. Bu durum yükseltici dönüştürücünün en temel konseptidir.

Anahtar iletimde iken kirşofun gerilimler kanununa göre Denklem (3.11) elde edilmektedir:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_s}{L} \quad (3.11)$$

Yarı iletkenin iletimde kaldığı periyot (DT)'dir. İletim aralığı Δi_L (*iletim*) şeklinde varsayarsak;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_t}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (3.12)$$

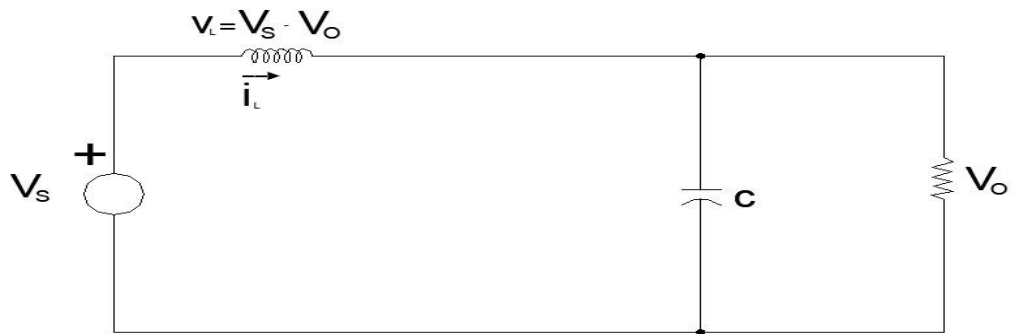
Denklem (3.12)'de gösterilen iletim denklemi oluşmaktadır.

İletim durumunda Δi_L için Denklem (3.12) çözüldüğünde;

$$\Delta i_L (\text{iletim}) = \frac{V_s DT}{L} \quad (3.13)$$

Denklem (3.13) oluşmaktadır (Penbegüllü 2019).

Anahtar Kesim Modu



Şekil 3.9 Yükseltici dönüştürücünün kesimdeki devre şeması

Anahtarın iletimde olmadığı durumda devrede yer alan boşalan kondansatör tekrar dolar ve indüktör üzerindeki enerji diyot ile yükü beslemektedir. Bobinde depolanan enerji bittiğinde, indüktör ile voltaj kaynağı üzerinde gerilim polaritesi eşitlenir. Kirşofun gerilimler kanunu doğrultusunda bobin üzerindeki voltaj ile gerilim kaynağı üzerindeki gerilimin toplamı çıkış gerilimine eşit olmaktadır. Sonuç olarak çıkıştaki gerilim dönüştürücünün çalışma prensibine uygun olarak yükselmektedir.

Şekil 3.9’da yükseltici dönüştürücünün kesim modundaki yanı anahtarın iletimde olmadığı eş değer devresi yer almaktadır. Anahtar kesimde iken kirşofun gerilimler kanununa göre bobin gerilimi;

$$V_L = V_S - V_0 \quad (3.14)$$

$$V_L = \frac{dI_L}{dt} \quad (3.15)$$

Denklem (3.14)’de ve Denklem (3.15)’de elde edilir.

Anahtarın iletimde olmadığı durumda periyod boyunca aralık $(1 - D)T$ ‘dir. İndüktör akımı Denklem (3.16)’daki gibidir.

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{\Delta I_t}{(1 - D)T} = \frac{V_S - V_0}{L} \quad (3.16)$$

Anahtarın kesimde olduğu durumda Denklem (3.16)’da belirtilen ΔI_L indüktör akımı denklemini çözüldüğünde;

$$\Delta I_{L(kesim)} = \frac{(V_S - V_0) (1 - D)}{L} \quad (3.17)$$

Denklem (3.17)’de belirtilen eşdeğer devresi bulunmaktadır.

Denge durumunda ise Denklem (3.13) ile Denklem (3.17)'ye göre indüktör akımının sıfır olması gerekmektedir. Bu durum Denklem (3.18)'de belirtilmektedir:

$$\Delta i_L(\text{iletim}) + \Delta i_L(\text{kesim}) = 0 \quad (3.18)$$

Bu denklemleri Çıkış gerilimine göre çözümlediğimizde;

$$V_s (D + 1 - D) - V_0 (1 - D) = 0 \quad (3.19)$$

$$V_0 = \frac{V_s}{1 - D} \quad (3.20)$$

Denklem (3.20)'deki çıkış gerilimi bulunur.

Ortalama indüktör akımı Denklem (3.21)'de gösterilmiştir.

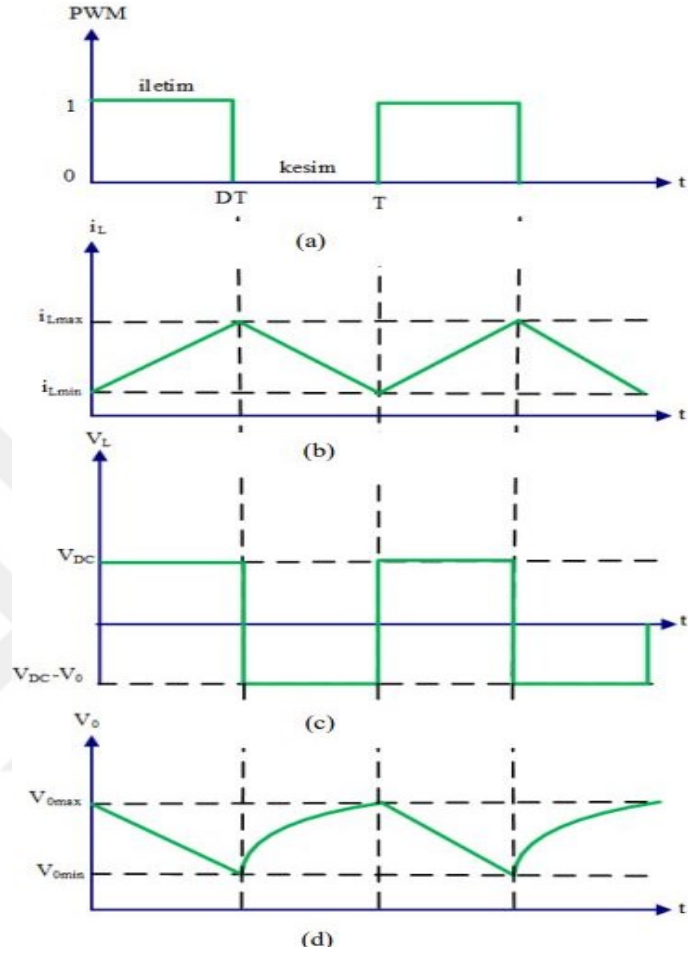
$$I_L = \frac{V_s}{(1 + D)^2 R} = \frac{V_0^2}{R V_s} = \frac{V_0 I_0}{V_s} \quad (3.21)$$

İndüktörün I_{min} ve I_{max} değerleri Denklem (3.22) ve Denklem (3.23)'teki formüllerle hesaplanır:

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1 - D)^2 R} + \frac{V_s D T}{2L} \quad (3.22)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1 - D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L} \quad (3.23)$$

Yükseltici dönüştürücüleri iletimde ve kesimde olduğu periyotlarda Şekil 3.10’da dalga formları oluşmaktadır.



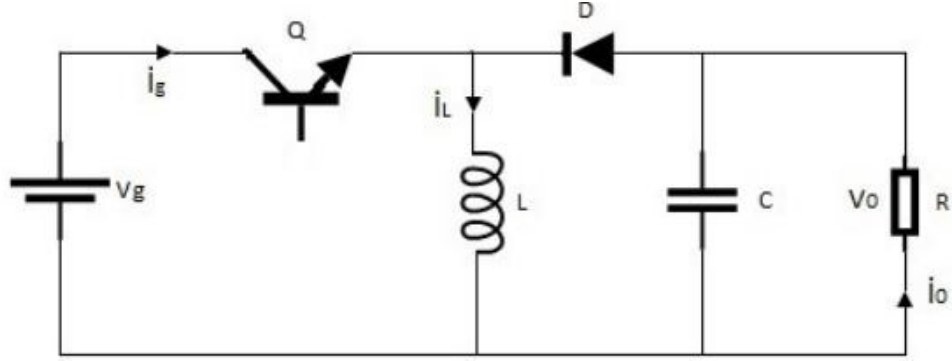
Şekil 3.10 Yükseltici dönüştürücü dalga şekilleri: (a) İletim-kesim durumu (b) Bobin akımı (c) Bobin gerilimi (d) Çıkış gerilimi (Bulut 2020)

Yükseltici dönüştürücünün iletimde olduğu modda çalıştığında, Şekil 3.10’da görüldüğü gibi indüktörden geçen akım asla sıfıra düşmez. Fakat dönüştürücün iletimde olmadığı durumda indüktörden geçen akım periyodun bir kısmında sıfıra düşebilmektedir.

3.3.3 Buck- Boost (Alçaltıcı – Yükseltici) dönüştürücü

Bir başka anahtarlama mod dönüştürücü, düşürücü-yükseltici dönüştürücüdür. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün çıkış, giriş voltajından daha yüksek veya daha

düşük olabilir. Bu devrenin çalışmasıyla ilgili yapılan varsayım önceki dönüştürücü devreleriyle aynıdır (Hwu *et al.* 2011).



Şekil 3.11 Alçaltıcı-yükseltici dönüştürücünün devre şeması

Alçaltıcı-Yükseltici devresinin diğer dönüştürücüler gibi anahtarın iletimde ve kesimde olduğu modları vardır. Şekil 3.11’de gösterilen Q anahtarı ile bu modları analiz etmek için anahtarının iletimde olduğu (Qon) ve anahtarının kesimde olduğu (Qoff) durumları aşağıda açıklanmıştır (Çalışkan vd. 2017).

Anahtarın görev periyodu d ise;

$$d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{Ts} \quad (3.24)$$

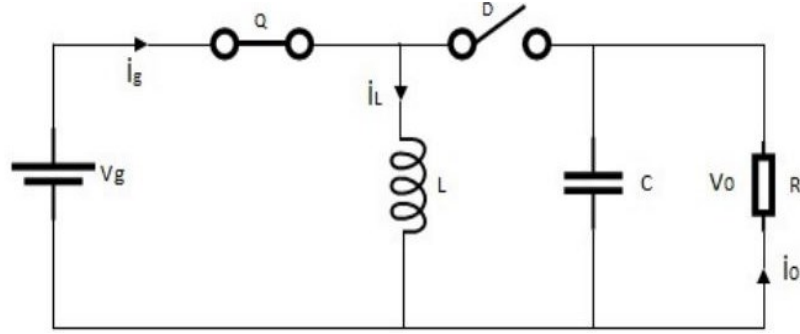
Denklem (3.24)’te yer alan t_{on} ve t_{off} anahtarın iletimde ve kesimde kalma süresini ifade etmekte olup Ts ise anahtarlama periyodunu göstermektedir.

Denklem (3.25)’de dönüştürücünün çıkış gerilimi ifade edilmektedir;

$$V_o = \frac{d}{1-d} \cdot V_g \quad (3.25)$$

Çıkış gerilimi formülünde yer alan d görev periyodu 0-1 aralıklarında değişim gösterir. Farklı periyod değerlerinde yine farklı çıkış voltajları da görülebilir.

Anahtar iletim Modu



Şekil 3.12 Alçaltıcı-yükseltici dönüştürücünün iletimdeki devre şeması

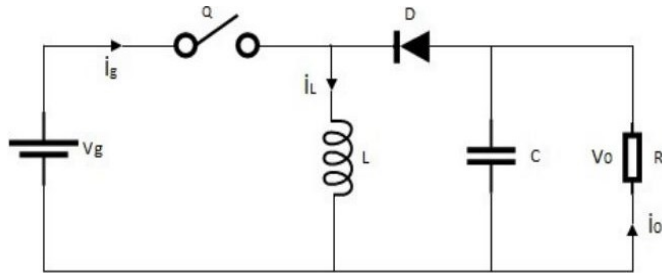
Şekil 3.12’de Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücünün Q anahtarı iletimdeyken devre şeması yer almaktadır. D diyodu ters gerilime maruz kaldığından kesimdedir ve üzerinden akım akmaz. Anahtar iletimde olduğundan akım doğrusal olarak artarak bobin üzerinden akmaktadır.

Denklem (3.26)’da anahtarın iletimde olduğu durumdaki indüktör akımı ve Denklem (3.27)’de kapasitör çıkış gerilimi gösterilmektedir;

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_g}{L} \quad (3.26)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{V_o}{RC} \quad (3.27)$$

Anahtar Kesim Modu



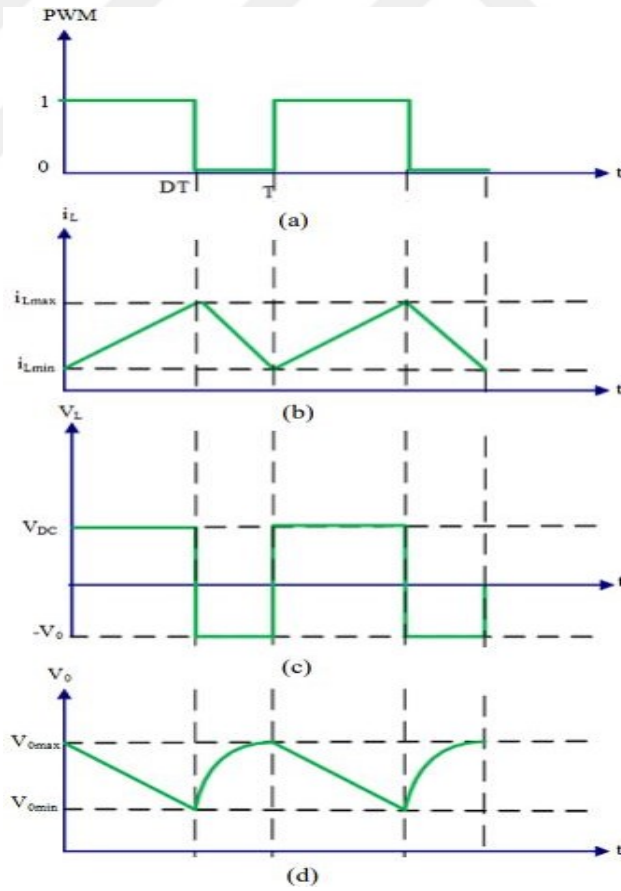
Şekil 3.13 Alçaltıcı-yükseltici dönüştürücünün kesimdeki devre şeması

Şekil 3.13'te Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücünün Q anahtarı kesimdeyken devre şeması yer almaktadır. Anahtar açıldığında, giriş voltajı kaynağı indüktöre akım sağlar. Bobinde enerji depolanarak kapasitör, dirence (çıkış yükü) akım sağlar (Benavides *et al.* 2005).

Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü devresinde Q anahtarın kesimde olduğu durumda indüktör akımının değişimi Denklem (3.28)'de gösterilmektedir;

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{I_L}{C} - \frac{V_c}{RC} \quad (3.28)$$

Periyodun 0.5'ten büyük olduğu durumlarda çıkış voltajı giriş voltajından büyük olmakta olup yükseltici dönüştürücü işlemini yapar. Tam tersi durumda yani periyod görev döngüsü 0.5 küçük olduğu durumlarda çıkış voltajı giriş voltajından küçük olur ve alçaltıcı dönüştürücü işlemini yapar.



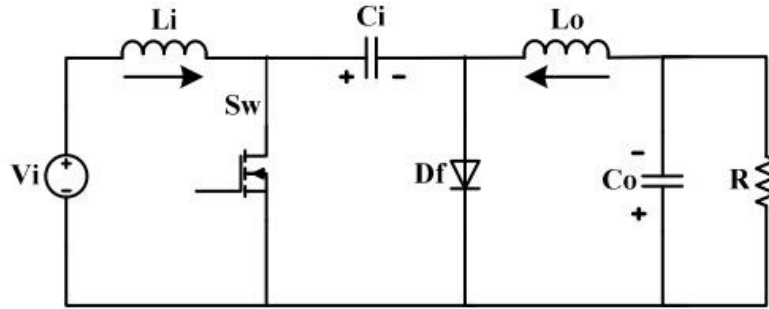
Şekil 3.14 Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü dalga şekilleri: (a) İletim-kesim durumu (b) Bobin akımı (c) Bobin gerilimi (d) Çıkış gerilimi (Bulut 2020)

Şekil 3.14’te Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü temel dalga şekilleri, anhatarın iletimde ve kesimde olduğu durumlar, indüktör akımı ve geirilimi ve çıkış geriliminin dalga şekilleri yer almaktadır.

3.3.4 CUK dönüştürücü

CUK dönüştürücüler, diğer dönüştürücüler farklı olarak iki bobin, iki kondansatör, diyot ve bir anahtarlama elemanından meydana gelmektedir. CUK dönüştürücü, farklı polariteye sahip çıkış voltajını elde etmek için kullanılır. Bu, çıkış voltajı büyüklüğünün girişten daha büyük veya daha küçük olabileceği ve çıkışta bir kutup tersinmesi olduğu anlamına gelir (Güngör 2019).

Girişteki indüktör, büyük harmonik akımı önlemek için DA kaynağı için bir filtre görevi görür. Enerji transferinin indüktörle ilişkilendirildiği önceki dönüştürücü topolojilerinin aksine CUK dönüştürücünün enerji transferi C_i kapasitörüne bağlıdır. Ayrıca aşağıda açıklanan iki çalışma moduna sahiptir. Şekil 3.15’te CUK dönüştürücünün temel devre şeması yer almaktadır (Koçhan vd. 2021).

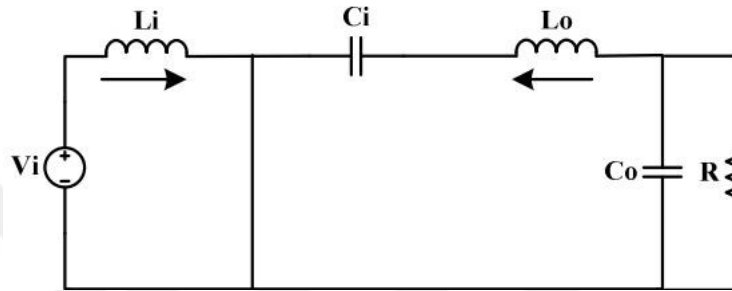


Şekil 3.15 CUK dönüştürücünün devre şeması

CUK dönüştürücüler iki anahtarlama aşamasına sahiptir, yani biri Sw anahtarı açık olduğunda ve diğeri Sw anahtarı kapalı olduğu durumdur. Eğer d ve T_s sırasıyla görev oranı ve anahtarlama periyodu olarak kabul edilirse, dT_s periyodu [Sw açık] ve $(1-d)T_s$ periyodu [Sw kapalı] konumdadır.

Anahtar İletim Modu

CUK dönüştürücülerde, Şekil 3.16'da Sw anahtarı kapalı olduğunda, Li indüktöründeki akım polaritesini tersine çevirerek yönünü korumaya çalışır ve Li indüktöründe depolanan enerji Ci kapasitörünü şarj etmek için kullanılır ve Ci aracılığıyla çıkış aşamasına aktarılır.



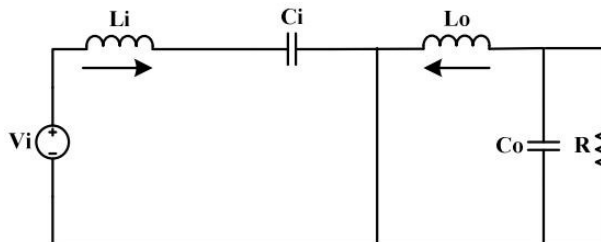
Şekil 3.16 CUK Dönüştürünün anahtar iletimdeki devre şeması

CUK Dönüştürücü şemasında anahtarın iletimde olduğu durumda KVL ve KCL kanunları uygulandığında Denklem (3.29)'da indüktöre gerilimi bulunurken Denklem (3.30)'da indüktör akımı bulunmaktadır;

$$V_{ci} - V_{c0} = \frac{d i_{L0}}{dt} L_0 \quad (3.29)$$

$$i_{L0} - \frac{V_{c0}}{R} = \frac{d V_{c0}}{dt} C_0 \quad (3.30)$$

Anahtar Kesim Modu



Şekil 3.17 CUK dönüştürünün anahtar kesimdeki devre şeması

Sw anahtarı açık olduğunda diyot ters önyargılıdır, giriş akımı I_{Li} giriş kademesi indüktörü L_i 'de manyetik alan oluşturur ve enerji depolama elemanından çıkış kademesine aktarılır. CUK Dönüştürücü şemasında anahtarın kesimde olduğu durumda KVL ve KCL kanunları uygulandığında Denklem (3.31)'de indüktör gerilimi bulunurken Denklem (3.32)'de indüktör akımı bulunmaktadır (Mokal 2017).

$$V_i - V_{ci} = \frac{d i_{Li}}{dt} L_i \quad (3.31)$$

$$i_{L0} - \frac{v_{c0}}{R} = \frac{dV_{c0}}{dt} C_0 \quad (3.32)$$

3.3.5 Ziegler – Nichols yöntemi

Kapalı ve açık çevrim sistemlerinde birçok kontrol yöntemleri bulunmaktadır. Kontrol yöntemlerinin işlevsel olması istenilen verilere ulaşması için P, PI ve PID olmak üzere kontrol mekanizmaları bulunmaktadır. Hassas ve kararlı çıkış elde etmek için bu kontrollerin kazanç kat sayılarının belirlenmesi gerekmektedir. PID kontrolör günümüzde; otomasyon sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri, hız ve sıcaklığın kontrol edilmesi gereken birçok alanda kullanılmaktadır. Ziegler-Nichols yöntemi, P, PI ve PID kontrolör kazanç kat sayılarının belirlenmesi amacıyla 1942 yılında John Ziegler ve Nathaniel Nichols tarafından ortaya çıkarılmıştır. Ziegler-Nichols metodu özetle sistemin kazanç katsayıları oluşturulurken sürecin salınım frekansını ve denge noktasını referans alarak analiz eder ve sistemin parametreleri belirlenir.

K_p : P kazancı (Oransal kazanç) değeri

K_i : İntegral Kazancı

K_u : Kritik kazanç değeri

T_i : İntegral Zaman Sabiti

T_d : Türev Zaman Sabiti

T_u : kritik periyodu ifade etmektedir.

Ziegler-Nichols metodu; frekans yanıtı ve basamak yanıtı yönetimi ile belirli kurallar dâhilinde parametreler bulunmaktadır. Frekans yanıtı yönetiminde kapalı döngü sistemlerde oransal kontrolör ile yönetilirken birim basamak girişi uygulanır. Oransal kazanç değeri (K_p) eşik noktasında belirli bir kararlılığa ulaştığında sistemin cevabı sinüs dalga şekline yaklaşır. Sistem artırılıp istenilen cevaba ulaştığında kritik kazanç değeri k_u ve sinüs dalga biçimi kritik periyod t_u bulunur. Kapalı çevrim sistemlerinde kullanılan kontrole göre Çizelge 3.1’de yer alan Ziegler-Nichols frekans yanıtı yöntemine göre PID katsayıları göre parametreler ayarlanır (Çakmak 2011).

Çizelge 3.1 Frekans yanıtı yöntemine göre parametreler

Kontrolör	Kontrolör Parametreleri		
	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 k_u$	-	-
PI	$0.45 k_u$	$0.8 t_u$	-
PID	$0.6 k_u$	$0.5 t_u$	$0.125 t_u$

Basamak yanıtı yönetimi; PID kontrolör katsayılarını belirlemek için açık çevrim basamak yanıtından gelen verileri kullanarak katsayı elde edilen yöntemdir. Sistem çalıştırıldığında basamak cevabının kararlı olduğu andaki maksimum değer belirlenir ve bu değerden tanjant doğrusu çizilir. Tanjant eğrisi ve eksenlerinin kesiştiği nokta d ve L parametrelerini ortaya çıkarmaktadır. Bu belirlenen değerler doğrultusunda Kontrolör parametreleri ise Çizelge 3.2’ye göre seçilir (Songüler 2006).

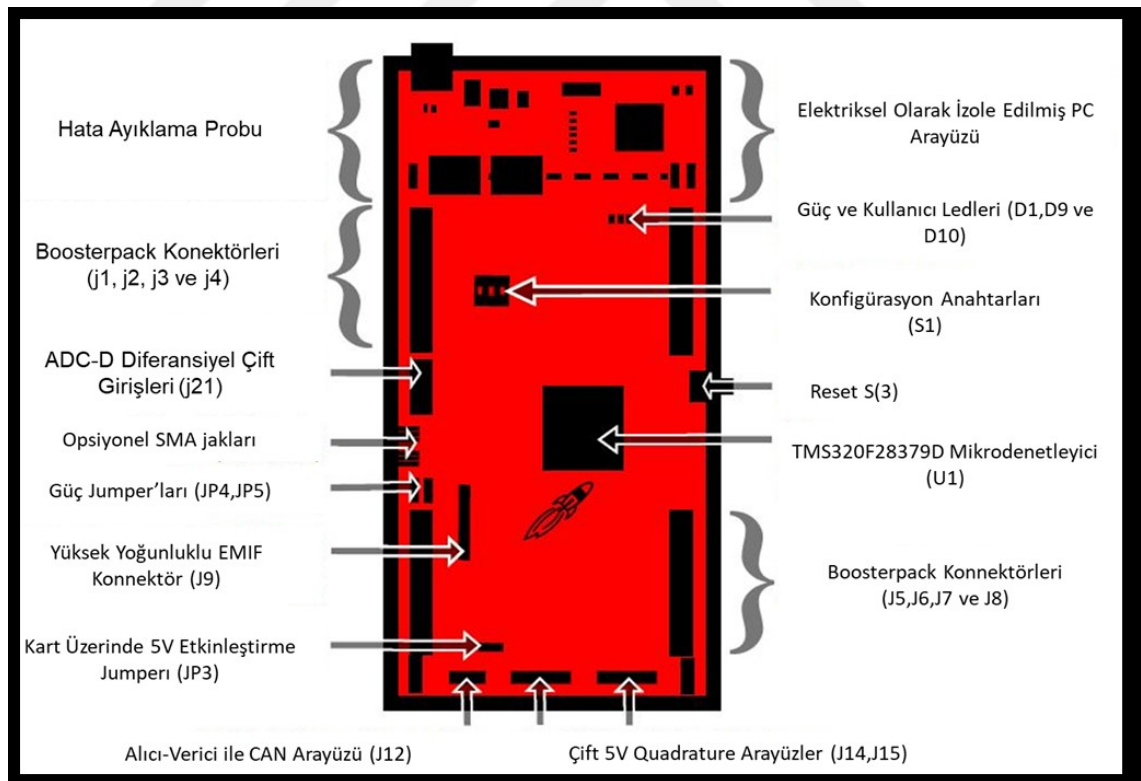
Çizelge 3.2 Basamak yöntemine göre parametreler

Kontrolör	Kontrolör Parametreleri		
	K_p	T_i	T_d
P	L/K_d	-	-
PI	$0.9L/K_d$	$d/0.3$	-
PID	$1.2L/K_d$	$2d$	$0.5d$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

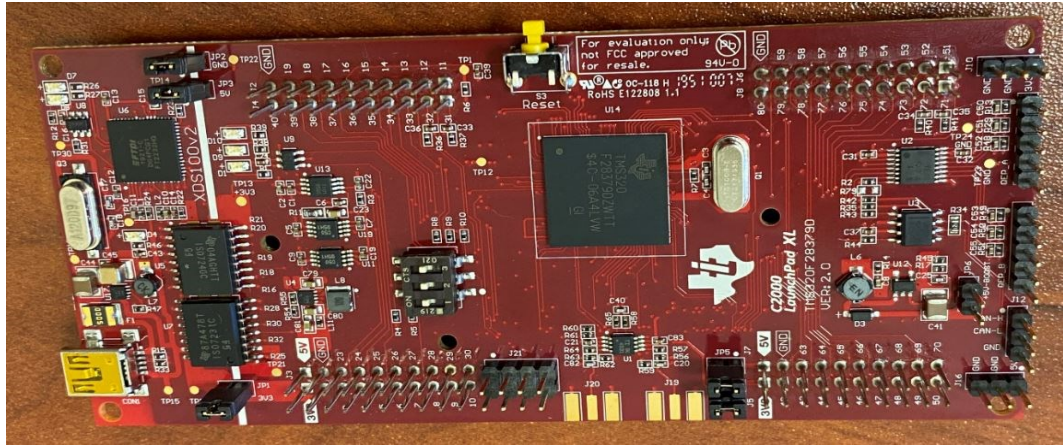
4.1 TMS320F28379D Mikrodenetleyici

Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü tasarımı için alçaltan dönüştürücünün dijital kontrolünü sağlamak ve Matlab/Simulink uygulaması ile uyumlu Texas Instruments firmasından temin edilen TI-C2000 serisi TMS320F28379D Mikrodenetleyici kullanılmıştır. C2000 32 bit mikro denetleyiciler, kapalı döngüyü geliştirmek amacıyla işleme, algılama ve çalıştırmak için optimize edilmiş güç elektroniğinin bir devre elamanıdır. C2000 TMS320F28379D mikro denetleyici kartı endüstriyel motor sürücülerinin gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında, fotovoltaik sistemlerin bileşenleri içerisinde yer alan eviricilerde, ulaşım ve elektrikli şarjlı araçlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Anonymous 2014).



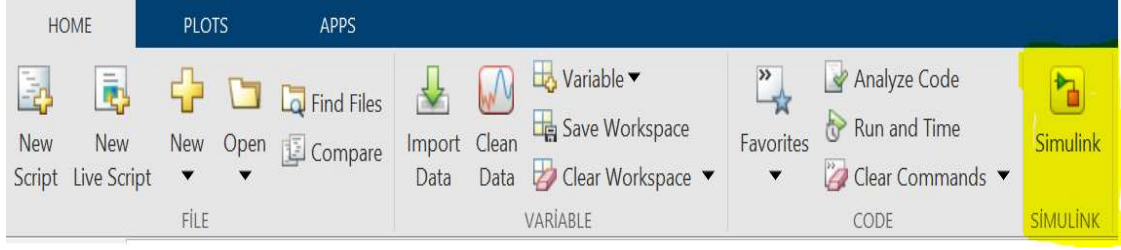
Şekil 4.1 Launchxl- F28379D genel bakış (Anonymous 2014)

Şekil 4.1’de Launchxl- F28379D mikrodnetleyicinin genel bakış şeması yer almakta olup konnektör, jak gibi kartın üzerinde bulunan devre elamanlarıyla ilgili şekilsel bilgiler yer almaktadır. C2000 serisi; TMS320F2837xD, mikro denetleyiciler gelişmiş uygulamalar için tasarlanmış güçlü bir 32 bit mikro denetleyici birimidir. (MCU) yeni F2837xD çift çekirdekli C28x teknolojisini kapsamaktadır. Bu sayede sistem performansını yüksek düzeyde artırır. Karmaşık ve büyük sistemlerde ise çok işlemcili mikrodnetleyici kullanımını azaltmaktadır.



Şekil 4.2 TMS320F28379D Mikrodnetleyici

Şekil 4.2’de mikrodnetleyici kartının üstten görünümü yer almaktadır. Her bir çekirdeğin 200 Mhz sinyal işleme özelliği bulunmaktadır. Mikrodnetleyicilerde, trigonometrik hesaplamalarda algoritmaların hızlı bir şekilde işlenmesini sağlayan TMU hızlandırıcılar ve matematiksel işlemlerde süreyi azaltan VCU hızlandırıcı yer almaktadır. F28379xD mikrodnetleyicisi içerisinde yer alan ana işlemciler ile aynı anda çalışan CLA gerçek zamanlı kontrol işlemcisine sahiptir. Böylelikle kontrol sistemindeki işlem performansı iki kat artırabilmektedir. Bu mikrodnetleyiciler örneğin zamanlamanın mühim olduğu haberleşme işlemlerinde CLA kullanılarak ana işlemci olarak kullanılabilir. CLA işlemcisi farklı bir ünitenin kontrolü için kullanılırken diğer CLA işlemcisi de farklı bir pozisyon için kullanabilme olanağı sağlamaktadır. Böylece çoklu işlemci kullanılmasının önüne geçilmektedir. Analog ve digital kontrol birimleri mikrodnetleyici içerisinde birleştirilmiştir. TMS320F28379xD, mikrodnetleyici üzerinde dört farklı analog dijital dönüştürücü (ADC) yer almaktadır. Birçok analog



Şekil 4.4 Matlab Üzerindeki simulink uygulaması

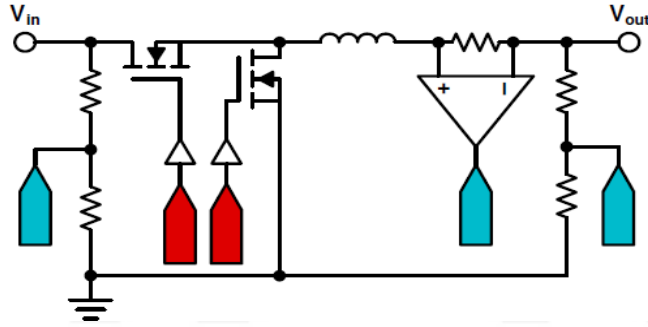
Şekil 4.4'te yer ekran görüntüsü yer alan ve bu tez çalışması için kullanacağımız Matlab/Simulink uygulaması bizim ana çalışma yazılımımız olacaktır. Texas Instruments firmasının C2000 ailesi mikrodenetleyiciler için zorunlu olan bazı ek destek paketlerini indirmemiz gerekmektedir. Öte yandan, bu destek paketinin bize sağladığı gömülü kodlayıcı, C2000 serisi dijital sinyal işlemcimiz DSP için optimize edilmiş C kodu üretir ve ardından bunu üretici Texas Instruments'tan geliştirme kartımıza indirilmesi gerekmektedir. Bu durumda Matlab R2022b versiyonuna sahip olmamız gerekmektedir (Anonymous 2015).

4.3 Boostxl-BuckConv (Alçaltıcı Dönüştürücü Kartı)

DA-DA Buck dönüştürücü daha bahsettiğimiz üzere uygulanan DA giriş geriliminin referans DA çıkış gerilimine dönüşümünü gerçekleştirmek için tasarlanmış bir tür dönüştürücü devredir. Boostxl-Buckconv ve C2000 serisi denetleyici kullanılarak kolay bir şekilde dijital güç kontrol tasarımı yapılmaktadır. Boostxl-Buckconv alçaltıcı dönüştürücü kartına uyumlu bir C2000 LaunchPad mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen bir DA-DA senkron kademeli digital güç kontrol tasarımlarının simülasyonu yapılmaktadır. Bu bağlamda Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü tasarımı için alçaltan dönüştürücünün dijital kontrolünü sağlamak ve Matlab/Simulink uygulaması ile uyumlu Texas Instruments firmasından temin edilen (Boostxl-BuckConv) alçtan dönüştürücü F28379D Mikrodenetleyici üzerinde çalışmaktadır (Anonymous 2020).



Şekil 4.5 Alçaltıcı dönüştürücü (Anonymous 2020)



Şekil 4.6 Alçaltıcı dönüştürücü elektrik devresi (Anonymous 2020)

Şekil 4.5'te alçaltıcı dönüştürücünün üstten görünümü ve Şekil 4.6'da ise alçaltıcı dönüştürücünün elektriksel devre şeması yer almaktadır. DA-DA Alçaltıcı dönüştürücülerin iki tür kontrol modu bulunmaktadır:

-Akım modu kontrolü için F28379D mikrodeneleyici üzerinde ayırık orantısız integral kullanılır. Görev döngüsünü oluşturan ortalama indüktör akımını kontrol eden (PI) denetleyicidir. Referans voltajını ayarlamak için aktif yükü açıp kapatmak ve ayarlamak için kontrol paneli kullanılır.

-Gerilim Mod kontrolü için F28379D mikrodeneleyici (PI) birlikte kullanılır. Referans voltajı ile çıkış voltajı arasındaki hatayı en aza indirmek için PI denetleyicinin görev döngüsü PWM zaman periyodunun %60'ı ile sınırlıdır (Anonymous 2020).

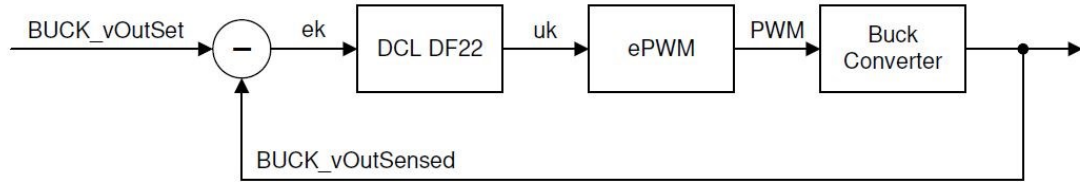
Kapalı Döngü Gerilim Mod Kontrolü:

Bu kontrol yönteminin amacı, bir Buck dönüştürücünün çıkış voltajının VMC kullanılarak düzenlenmesini sağlamaktır. Aktif yük devresi, sisteminin geçici performansını test etmek için bir anahtarlama yükü sağlar ve çalışma anında da ince ayar yapılmak suretiyle kullanılmaktadır. Kapalı çevrim gerilim mod kontrolü için açık çevrim gerilim mod kontrolü ile aynı kod tabanını kullanır:

-Düzenlenmiş çıkış voltajı seviyelerine ilişkin istenilen değerler için BUCK_vOutSetRef_Volts kullanılır.

-PWM görev döngüsü yerine BUCK_dutySetRef_pu kullanılır.

-PWM görev döngüsünü dinamik olarak ayarlamak için dengeli bir voltaj döngüsü kullanılır.

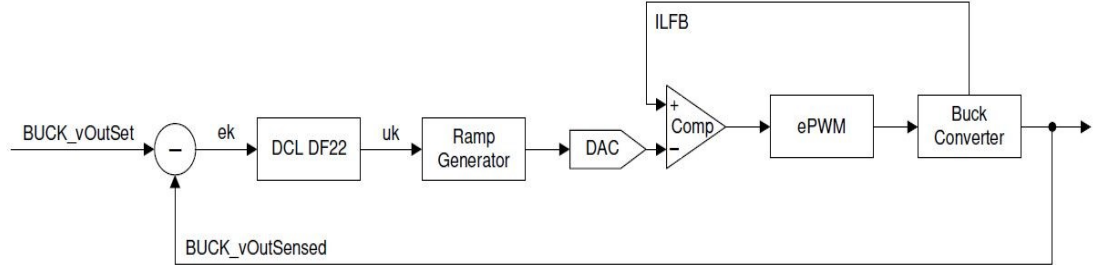


Şekil 4.7 Kapalı çevrim gerilim mod diyagramı (Anonymous 2020)

Şekil 4.7’de yer alan kapalı çevrim gerilim mod diyagramında DCL 2-sıfır kompensatörü (DF22), kontrol döngüsünde DF22 çıkış voltajı hatasını giriş olarak kabul ederek kontrol etkisini sürdürür. Çıkış voltajı hatası (ek), kullanıcı tarafından talep edilen çıkış voltajı arasındaki fark olarak hesaplanır. ADC tarafından algılanan çıkış voltajına göre; kontrol etkisi (dk), birim görev döngüsüne göre yorumlanarak oransal döngüye çevrilir. EPWM[CMPA] değeri, FET anahtarlarını çalıştırmak için gerekli görev döngüsünü elde etmek için kullanılmaktadır (Anonymous 2020).

Kapalı Döngü Tepe Akım Mod Kontrolü:

Bu kontrol yönteminin amacı ise bir dönüştürücünün çıkış voltajının PCMC düzenlenmesini sağlamaktır.



Şekil 4.8 Kapalı Çevrim akım mod diyagramı (Anonymous 2020)

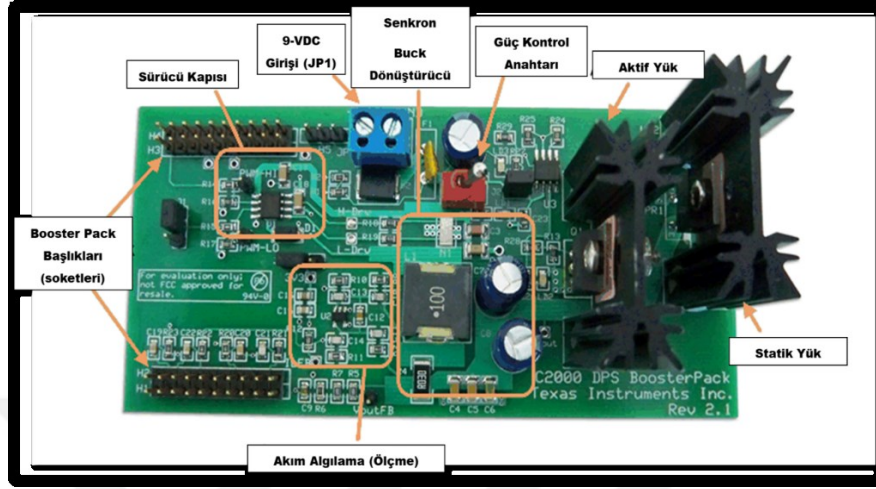
Şekil 4.8’de kapalı çevrim akım modda düzenlenmiş çıkış voltajı seviyelerine ilişkin istenilen değerler için BUCK_vOutSetRef_Volts ve geçerli döngü sınırı yerine BUCK_dacSetRef_pu kullanılmaktadır. Gerekli çıkış voltajı PCMC çözümü aynı DF22 kompanseör hatasını ve çıkış voltajı hesaplamalarını kullanılır. VMC çözümü, kontrol eylemlerini orantısal değerler CMPSS [DACVAL]’e dönüştürerek çalışır. VMC PWM görev döngüsü yerine PCMC eşik akımı bu döngüde kullanılmaktadır (Anonymous 2020).

Donanım ve Kaynaklar Kılavuzu

Tasarıma başlamak için aşağıdaki kit ve yazılımlara sahip olunması gerekmektedir;

- TMS320F28379D LaunchPad (LAUNCHXL-F28379D)
- LAUNCHXL- F28379D 'ye güç sağlamak ve arayüz oluşturmak için mikro-USB kablosu
- C2000 Dijital Güç Buck Dönüştürücü BoosterPack (Boostxl-BuckConv)
- 9-VDC, 1/4" veya 6 mm açık tel uçlu 2-A güç kaynağı
- Ana bilgisayarda Code Composer Studio (CCS) v9.3 veya üstü yüklü olması gerekmektedir.

- C2000 için Digital Power SDK v3.00.00.00 veya üstü yüklü olması gerekmektedir. Matlab/Simulink yazılım programının yüklü olması gerekmektedir (Anonymous 2020).



Şekil 4.9 Alçaltıcı dönüştürücü kartı bileşenleri (Anonymous 2020)

Şekil 4.9’da Boostxl-BuckConv alçaltıcı dönüştürücünün temel bileşenleri yer almaktadır. Çizelge 4.1’de bu bileşenlerin açıklaması yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Alçaltıcı dönüştürücü bileşenleri (Anonymous 2020)

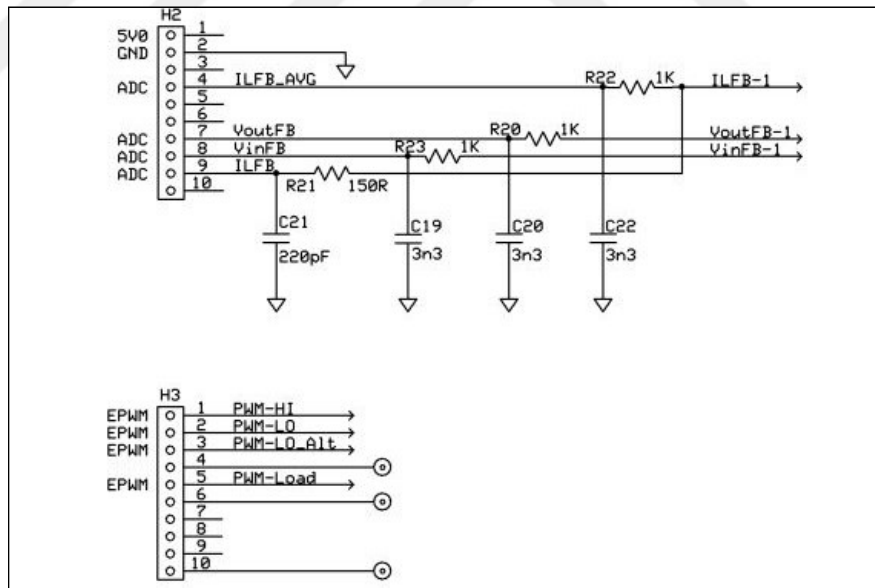
Bileşenler	Açıklamalar
9-VDC Girişi (JP1)	DC güç kaynağı (Minimum 8,5 VDC, Maksimum 12 VDC), Önerilen Besleme: 9 VDC, 2 A
BoosterPack Başlıkları	LaunchPad arayüzü
Güç Kontrol Anahtarı	Buck dönüştürücünün Giriş gerilimine bağlamak için kullanılan güç anahtarı
Buck Dönüştürücü	Senkron buck güç kademesi (TI NexFET Güç Bloğu içerir)
Statik Yük	Sabit bağlı 7,5 Ω dirençli yük
Aktif Yük	Yazılım kontrollü 2 Ω dirençli yük
Sürücü Kapısı	Güç FET'lerinin hızlı ve verimli bir şekilde açılıp kapanmasını sağlamak için kullanılan PWM sürücüsü
Akım Algılama (ölçme)	Akım izleme

Digital Power Buck Converter BoosterPack'i (Boostxl-BuckConv) Texas Instruments F28379D LaunchPad'e Çizelge 4.2'deki gibi bağlantısının yapılması gerekmektedir.

Çizelge 4.2 Bağlantı uçları (Anonymous 2020)

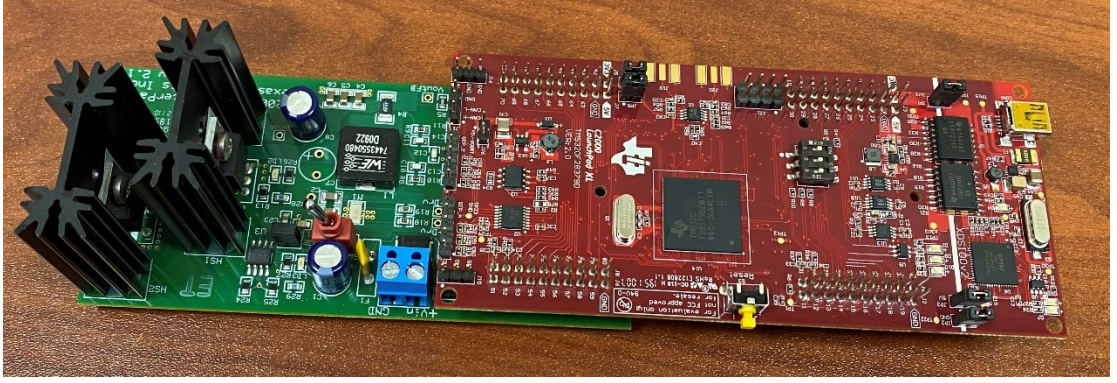
BOOSTXL-BUCKCONV	LaunchPad-F28379D	Açıklamalar
H3[1] PWM-HI	J8[80] EPWM4A	Sürücü sinyalinin yüksek taraf buck senkronizasyonu
H3[2] PWM-LO	J8[79] EPWM4_B	Sürücü sinyalinin düşük taraf buck senkronizasyonu
H3[5] PWM Load	J8[76] GPIO10	Aktif yük için kontrol sinyali
H2[7] VoutFB	J7[67] ADCINC4	Çıkış gerilimi
H2[9] ILFB	J7[69] ADCINA4	İndüktör akımı
H2[4] ILFB_AVG	J7[64] ADCINC5	Ortalama indüktör akımı

Çizelge 4.2'de yer alan bilgiler doğrultusunda Şekil 4.10'da bir alçaltıcı dönüştürücünün sinyal şeması yer almaktadır.



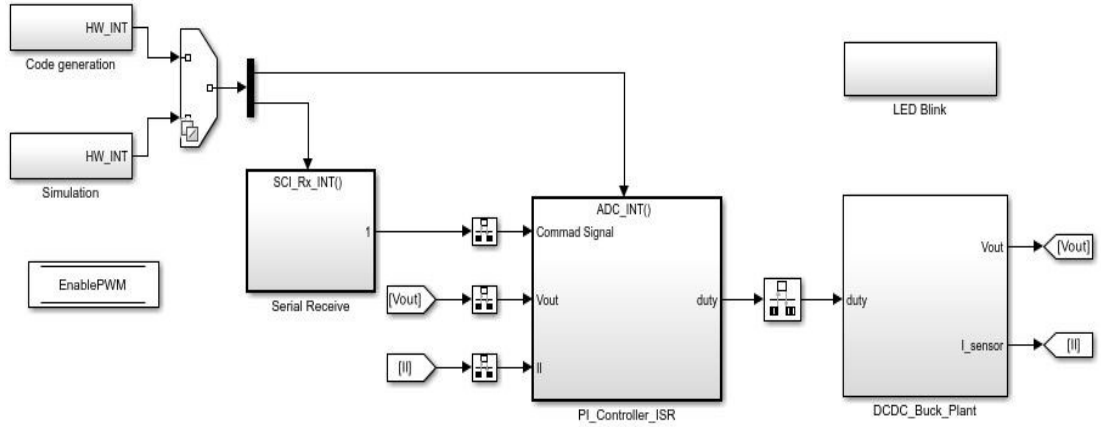
Şekil 4.10 Buck dönüştürücü sinyalleri (Anonymous 2020)

Tasarımı yapılan devrenin konumlandırılmış biçimi Şekil 4.11'de yer almaktadır.



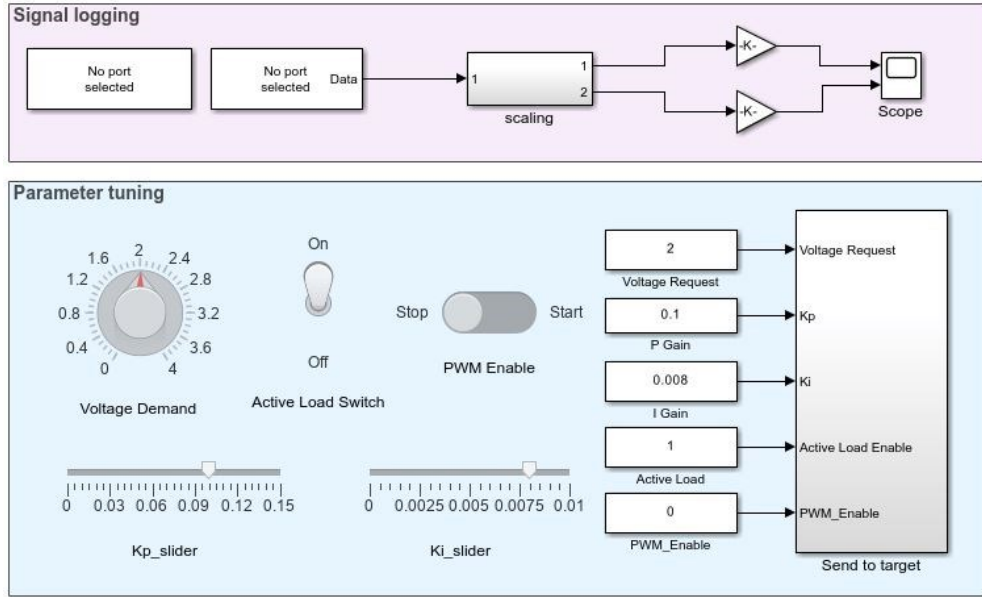
Şekil 4.11 Modelin konumlandırılması

Şekil 4.12’de Digital Power Buck Converter BoosterPack’i (Boostx1-BuckConv) ve Texas Instruments F28379D LaunchPad’in Matlab/Simulink üzerindeki blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.12 DA-DA Buck dönüştürücünün blok diyagramı (Anonymous 2020)

Şekil 4.13’de Simulink’te DA-DA alçaltan dönüştürücünün host modeli yer almakta olup simülasyon çalıştırılmadan önce aktif yük, PWM ayarları ve çıkış voltajı gibi parametrelerin ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 4.13 DA-DA alçaltıcı dönüştürücü host modeli

Voltage Demand: Bu parametre kontrol döngüsünün temel ögesidir. Denetleyici algoritması, referans gerilim seviyesini ölçülen çıkış voltajıyla karşılaştırır ve PWM görev döngüsünü çıkış voltajına ulaşacak şekilde ayarlar.

Active Load Switch: Donanımdaki mevcut aktif yükü açmak veya kapatmak için kullanılmaktadır. Devredeki ani değişikliklerin etkisini incelemek için ekstra bir yük direnci eklemenizi sağlar.

Controller gains: Mevcut Slider bloklarını (Kp_slider ve Ki_slider) kullanarak kontrol cihazı kazançlarını (Kp ve Ki değerleri) değiştirilmesini sağlar.

PWM Enable: PWM'yi açmak veya kapatmak için kullanılır (Anonymous 2020).

4.4 Kod Composer Studio (CCS)

Texas Instruments firmasının ürettikleri mikrodenetleyicilerini destekleyen gömülü işlemcilerin bulunduğu hata ayıklama gibi özellikleri bulunan ara yüzdür. DA-DA Alçaltıcı dönüştürücü ve F28379D kartları Kod Composer Studio ara yüzü ile çalışmaktadır. Kod Composer Studio aslında bir kod düzenleyicidir, bu sayede kullanıcıyı

yönlendirir. Bu ara yüz gömülü işlemciler ile Optimize edici bir C/C++ derleyicisi ve kaynak kodu düzenleyicisi olarak da kullanıcıya uygun bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Kod Composer Studio en önemli özelliklerinden biri de hızlı olmasıdır.

Bu tez çalışmasında kullanılan Model, launchPad LAUNCHXL F28379D mikro denetleyicinin kurulumu için resmî Texas Instruments web sitesinde yer alan kılavuzlardan yararlanılmıştır (Anonymous 2023).

4.5 Kontrol SUITE

Bu, Texas Instruments C2000 ailesi mikrokontrolörleri için bir yazılım ve geliştirme aracıdır. Bu yazılım aracılığıyla, mikrodenetleyicinin düzgün çalıştığını doğrulamak için kılavuzlar, cihaz kullanım kılavuzları, ürün yazılımı belgeleri, destek kitaplıkları ve önceden oluşturulmuş örnekler gibi çalışma için yararlı olabilecek bilgiler resmî Texas Instruments web sitesinde yer almaktadır. Kontrol SUITE yazılımı Texas Instruments web sitesinden indirilmiştir. Bu işlem için bir hesap oluşturmak veya Texas Instruments web sitesinde oturum açmak gerekmektedir. Yazılımın kurulumunda veya kullanımında herhangi bir sorun veya şüphe olması durumunda, web sayfasında bazı kurulum notları yer almaktadır. Kontrol SUITE yazılımı matematik, filtreleme, DSP ve yazılımlar için benzersiz, optimize edilmiş kütüphaneler içermektedir.

Kontrol SUITE tarafından sağlanan projeleri kapsayan geliştirme kartlarının kapsamlı kataloğu görülebilir. Bu projeler için desteklenen modeller şunlardır: c2834x, f28m35x, f28m36x, f2802x, f2802x0, f2803x, f2805x, f2806x, f2807x, f2823x, f2833x, f2837xD, f2837xS ve f28004x (Anonymous 2023).

4.6 Simulink Kodlayıcı

Simulink Kodlayıcı (eski adıyla Real-Time Workshop), Simulink modellerinden, Stateflow grafiklerinden ve MATLAB işlevlerinden C ve C++ kodları üretir ve çalıştırır. Oluşturulan kaynak kodu, simülasyon hızlandırma, hızlı prototip oluşturma ve döngüdeki

donanım testi dahil olmak üzere gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan uygulamalar için kullanılmaktadır. Oluşturulan kodu Simulink kullanarak ayarlayabilir ve izleyebilir veya kodu MATLAB ve Simulink dışında çalıştırabilir ve etkileşimde bulunma olanağı sağlamaktadır. Simulink bağımsız dosyalar, web uygulamaları veya İşlevsel Model Birimleri (FMU'lar) olarak paylaşmak için Simulink Compiler'ı kullanılmaktadır. Simulink koder için öncelikle Simulink, Stateflow ve Simscape ve Deep Learning Toolbox gibi birçok eklenti üründen C, C++, paylaşılan kütüphaneler ve yürütülebilir dosyalar oluşturulur. Daha sonra gömülü denetleyicilerin ve otonom sistemlerin masaüstü yürütülmesi, hızlı prototiplenmesi ve test edilmesi için Simulink'ten oluşturulan kod çalıştırılır. Son olarak kod harici cihazlarda yürütülürken, kontrol panellerini ve grafikleri kullanarak verileri görüntüleyip ayarlayarak tasarımlar Simulink'te optimize edilmektedir (Anonymous 2015).

4.7 Matlab Kodlayıcı

MATLAB Kodlayıcı, masaüstü sistemlerden gömülü donanıma kadar çeşitli donanım platformları için MATLAB kodundan C ve C++ kodları üretir. MATLAB dillerin çoğunu ve çok çeşitli araç kutularını desteklemektedir. Oluşturulan kodları, sabit kütüphaneler veya dinamik kütüphaneler olarak projelere entegre edilebilmektedir. Oluşturulan kod okunabilir ve taşınabilir. MATLAB Coder, Gömülü Kodlayıcı ile kullanıldığında kod özelleştirmeleri, hedefe özel optimizasyonlar, kod izlenebilirliği ve döngüdeki yazılım (SIL) ve döngüdeki işlemci (PIL) doğrulamasını sağlamaktadır. MATLAB programlarını bağımsız uygulamalar olarak dağıtmak için MATLAB Derleyicisini kullanmak gerekmektedir. Diğer programlama dilleriyle entegrasyona yönelik yazılım bileşenleri oluşturmak için de MATLAB Derleyici kullanılmaktadır. Oluşturulan kod, C/C++ türlerini doğal bir şekilde kullanarak harici kodla entegrasyonu basitleştirmektedir. Oluşturulan kodu kaynak kodu veya kitaplıklar olarak entegre edilmektedir. Güvenilir C/C++ kitaplıkları veya bileşenleri, daha yüksek doğrulukta testler için MATLAB'a getirilebilir ve oluşturulan koddan da otomatik olarak çağrılabilir (Anonymous 2015).

4.8 Embedded Kodlayıcı

Embedded Kodlayıcı, seri üretimde kullanılan gömülü işlemciler için okunabilir, kompakt ve hızlı C ve C++ kodları üretmektedir. Oluşturulan fonksiyonların, dosyaların ve verilerin hassas kontrolü için MATLAB Kodlayıcı ve Simulink Kodlayıcı'yı gelişmiş optimizasyonlarla genişletmektedir. Bu optimizasyonlar kod verimliliğini artırır ve eski kod, veri türleri ve kalibrasyon parametreleriyle entegrasyonu kolaylaştırmaktadır. Embedded Kodlayıcı, AUTOSAR, MISRA C® ve ASAP2 yazılım standartları için yerleşik destek sunmaktadır. Ayrıca DO-178, IEC 61508 ve ISO 26262 yazılım geliştirmeyi desteklemek için izlenebilirlik raporları, kod belgeleri ve otomatik yazılım doğrulaması da sağlamaktadır. Embedded Coder kodu taşınabilir ve herhangi bir işlemcide derlenip çalıştırılabilir. Ayrıca Embedded Coder, belirli donanımlar için gelişmiş optimizasyonlar ve aygıt sürücülerini içeren destek paketlerini de sunmaktadır (Anonymous 2015).

4.9 C2000 Mikrodenetleyici Blok Seti

Motor kontrolü, dijital güç kaynakları, yenilenebilir enerji, aydınlatma ve elektrikli araçlar gibi güç elektroniğinin yoğunlukla kullanıldığı yerlerde performans, verimlilik, esneklik ve koruma gibi etkenler çok önemlidir. Bu nedenle C2000 gerçek zamanlı Mikrodenetleyici (MCU) gerçek zamanlı kontrol uygulamaları ile kullanıcılara birçok alanda tasarım imkânı sunmaktadır. C2000 Mikrodenetleyici Blok Seti, TI C2000 mikrodenetleyiciler (MCU'lar) üzerinde dijital güç dönüşümü ve motor kontrol uygulamalarını modellenmesini sağlamaktadır. Bu blok seti, C2000 MCU'ları kullanan endüstriyel ve otomotiv uygulamalarında ADC-PWM senkronizasyonu gerektiren kontrol algoritmalarını simüle etmek için dijital I/O, ADC ve ePWM gibi çevresel blokları içermektedir. Blok kümeleri, işlemciler arası veri iletişimi (IPC) bloklarını ve kontrol yasası hızlandırıcı (yardımcı işlemci) bloklarını kullanarak çok çekirdekli yürütme için algoritmaları bölümlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Hızlı prototip oluşturma amacıyla canlı I/O veri alışverişi için Simulink modellerini doğrudan desteklenen donanıma bağlanmak gerekmektedir.

C2000 Mikrodenetleyici Blok Seti, gerçek zamanlı bir çalıştırılabilir dosya oluşturulmasını ve bunu TI geliştirme kartına indirilmesini sağlamaktadır. Blok seti, Texas Instruments C2000 çevre birimlerini ve iletişim arayüzlerini yapılandırmak ve bunlara erişmek için bir Simulink blokları kütüphanesi içermektedir (Anonymous 2024).

5. C2000 Mikrodenetleyici Blok Seti için Donanım Kurulumu

Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü tasarımı için alçaltan dönüştürücünün dijital kontrolünü sağlamak ve Matlab/Simulink uygulaması ile uyumlu Texas Instruments C2000 donanımı üzerinde bir Simulink modeli çalıştırmak için destek paketlerinin indirilip kurulumunun yapılması gerekmektedir. Texas Instruments C2000 serisi mikroişlemciler için destek paketlerini indirmeye devam etmek için Matlab programlama ortamı açmalı ve ORTAM bölümündeki GİRİŞ sekmesine gitmeliyiz; oradan Eklentiler> Donanım Destek Paketlerini Alın'a erişeceğiz. Eklentiler içerisinde ürünler, uygulamalar, destek paketleri vb. gibi çok çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Matlab üzerinden indirip yüklediğimiz donanım destek paketlerinin yapılandırmasını gösteren bir açılır pencere görünecektir;

-İlk pencerede kullanmak istediğiniz mikroişlemci ailesini seçilir. Yaptığımız çalışmada Texas Instruments C2000 serisi LaunchPad F2837xD üzerinde çalışmaktadır.

-İkinci pencerede CCS sürümünü seçin ve bu proje için Texas Instruments Kod Composer Studio 11.0.0 seçilir.

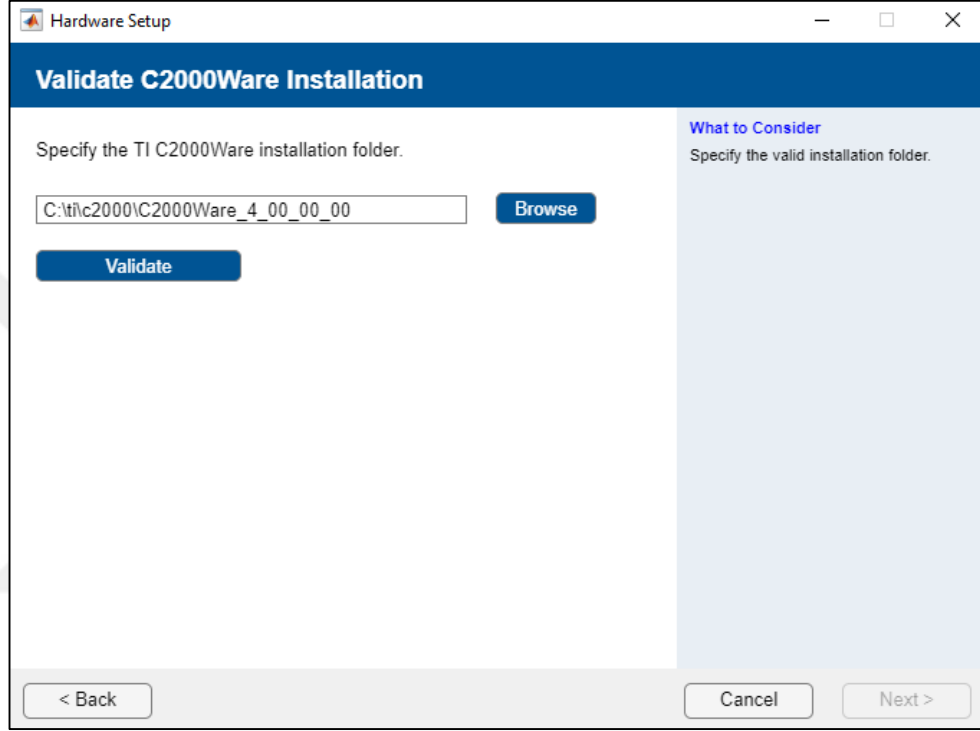
-Üçüncü pencerede CCS, C2000 yazılım ve Kontrol SUITE gibi üçüncü taraf yazılımların yüklenmesini gerekmektedir.

-Dördüncü pencere CCS yazılımının doğru kurulup kurulmadığı kontrol edilir.

- Beşinci pencerede üçüncü taraf kurulum dizinini ve sürümünü kontrol edilir.

Tüm adımlardan sonra Son'a tıklanarak donanım destek paketi yapılandırma adımları tamamlanmış olur. Yukarıdaki bahsedilen kurulum aşamaları aşağıda yer almaktadır.

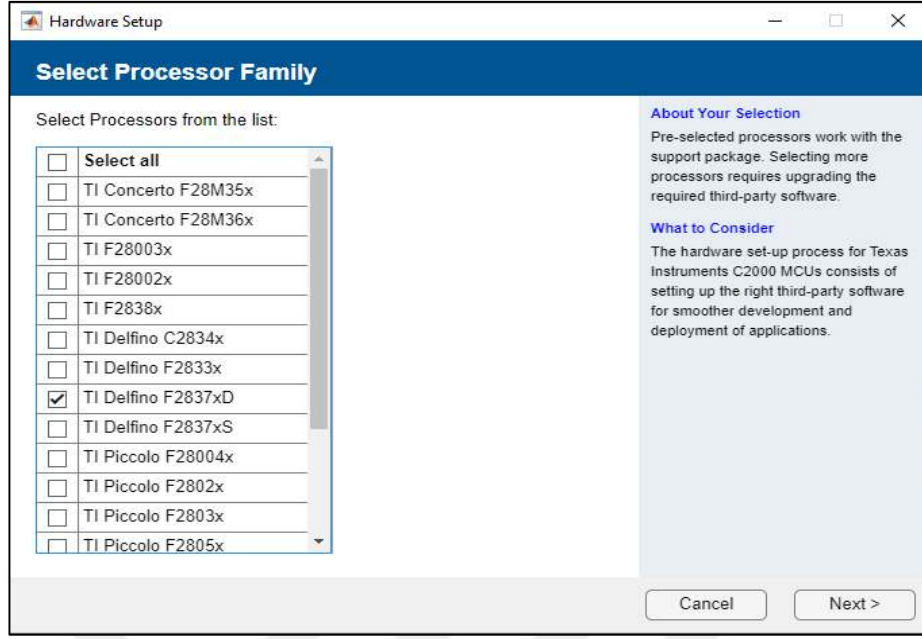
Texas Instruments web sitesinden Şekil 5.1'de gösterilen donanım kurulum penceresinden C2000 blok seti seçilerek ana bilgisayara kurulum yapılır.



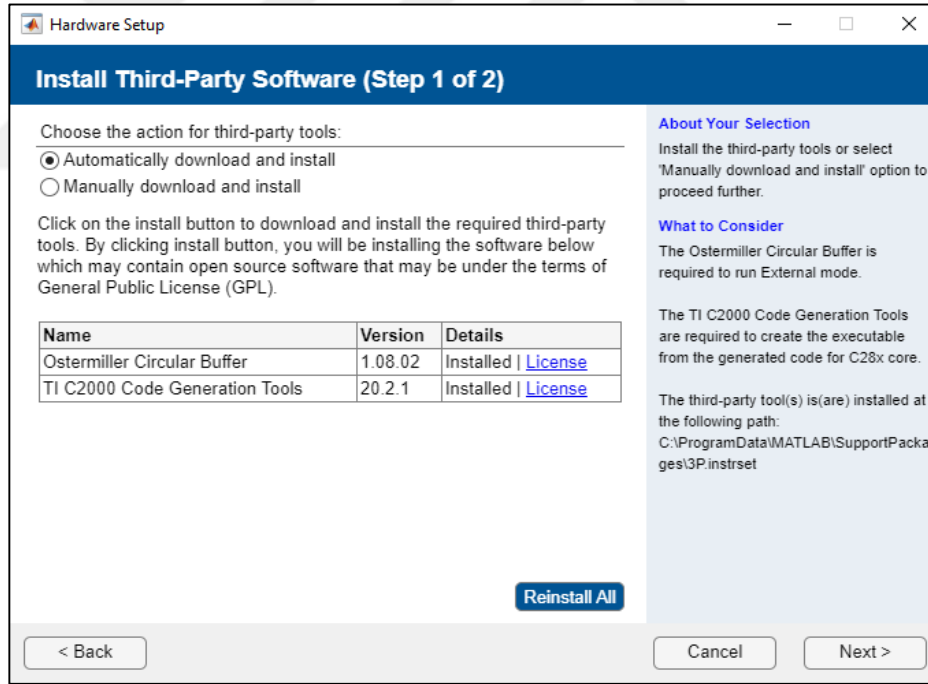
Şekil 5.1 C2000 blok seti kurulumu

C2000 Blokseti kurulumundan sonra Şekil 5.2'de gösterilen C2000 serisinin modellenmesi yapılacak mikrodeneleyici ailesi seçilir.

C2000 serisinin modellenmesi yapılacak TI Delfino F2837xD mikrodeneleyici ailesi seçildikten sonra Şekil 5.3'te gösterilen kod üretme araçlarının otomatik kurulumu sağlanır.

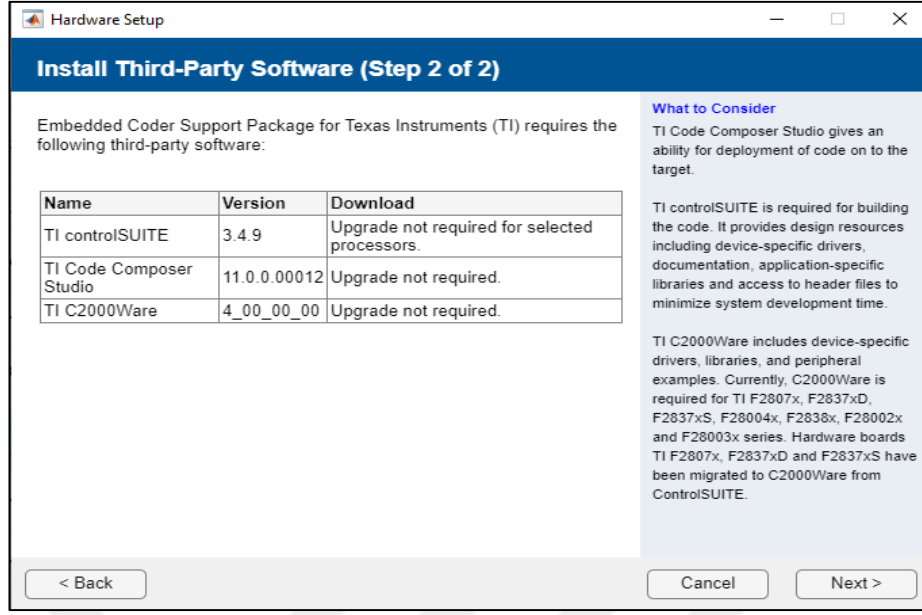


Şekil 5.2 Mikrodeneteleyici TI delfino F2837xD



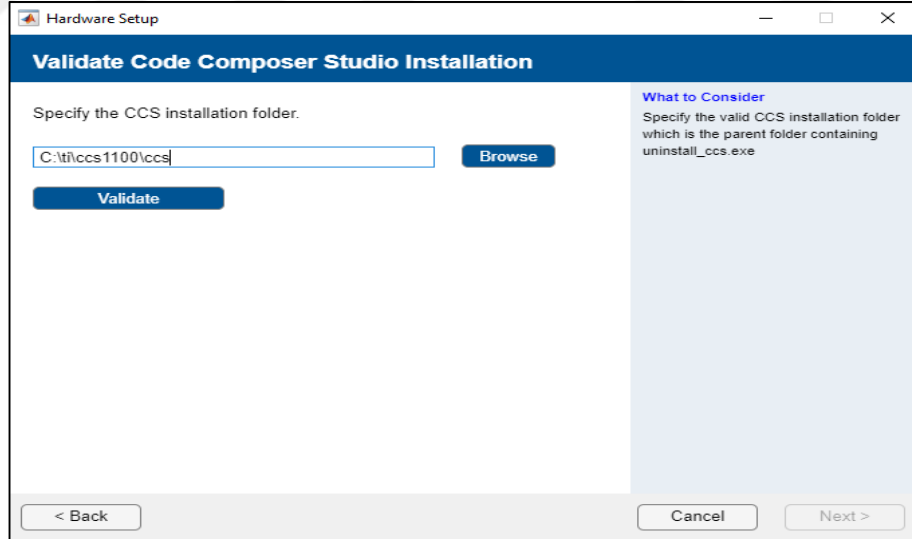
Şekil 5.3 TI Code generation tools (kod üretme)

Kod üretme araçlarının otomatik kurlumunu yaptıktan sonra Şekil 5.4’de gösterilen daha önce bahsedilen ve indirilen Kontrol SUITE ve Kod Composer Studio (CCS) yazılımlarının kurulumu yapılır.



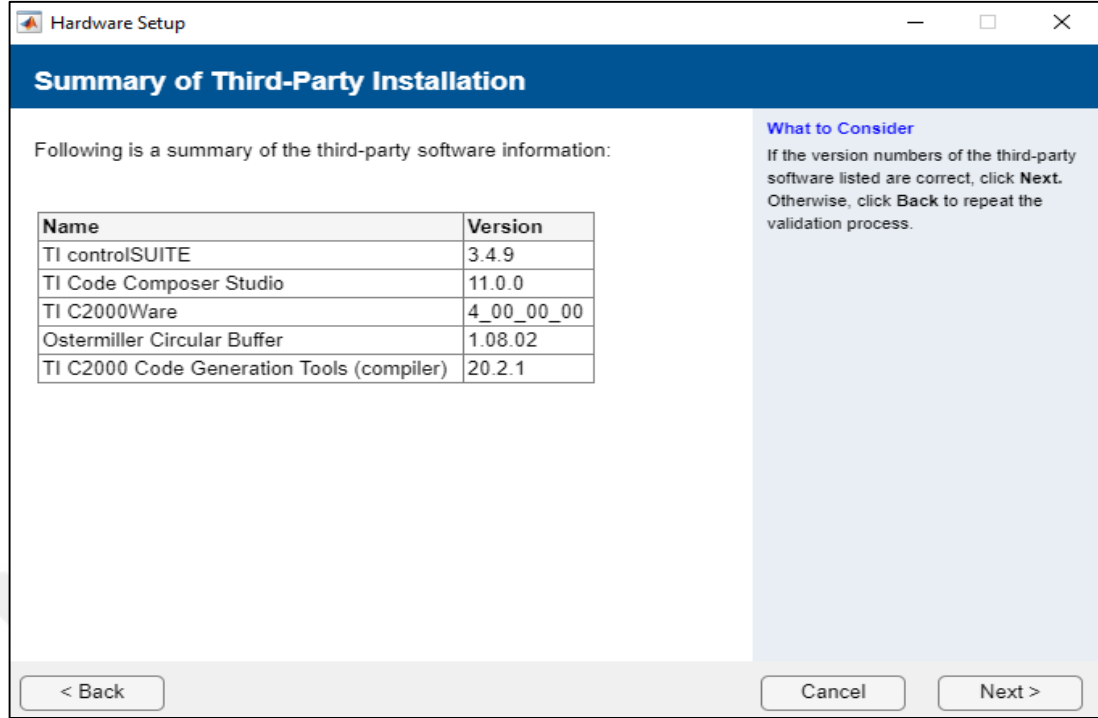
Şekil 5.4 Texas instruments destek yazılımları

Gömülü sistemler Texas Instrumnets Destek Yazılımları kurulduktan sonra Şekil 5.5'te gösterilen Kod Composer Studio (CCS) doğrulaması yapılır.



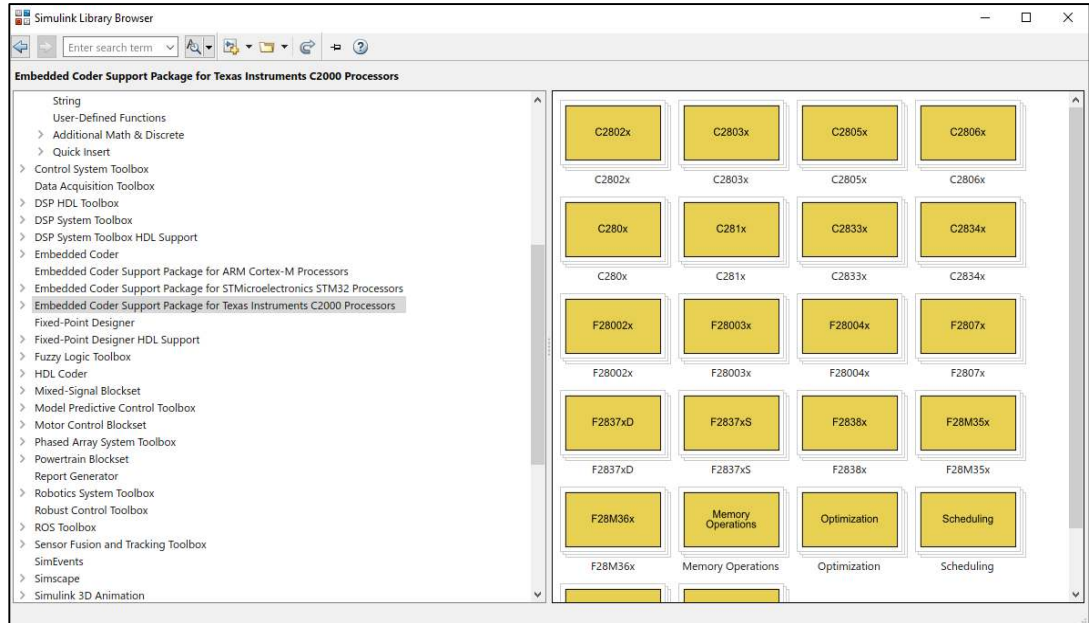
Şekil 5.5 Kod Composer studio (CCS) doğrulama

Kod Composer Studio doğrulaması yapıldıktan sonra Şekil 5.6'da kurulan yazılımların sürümleri ve adları kontrol edilir.



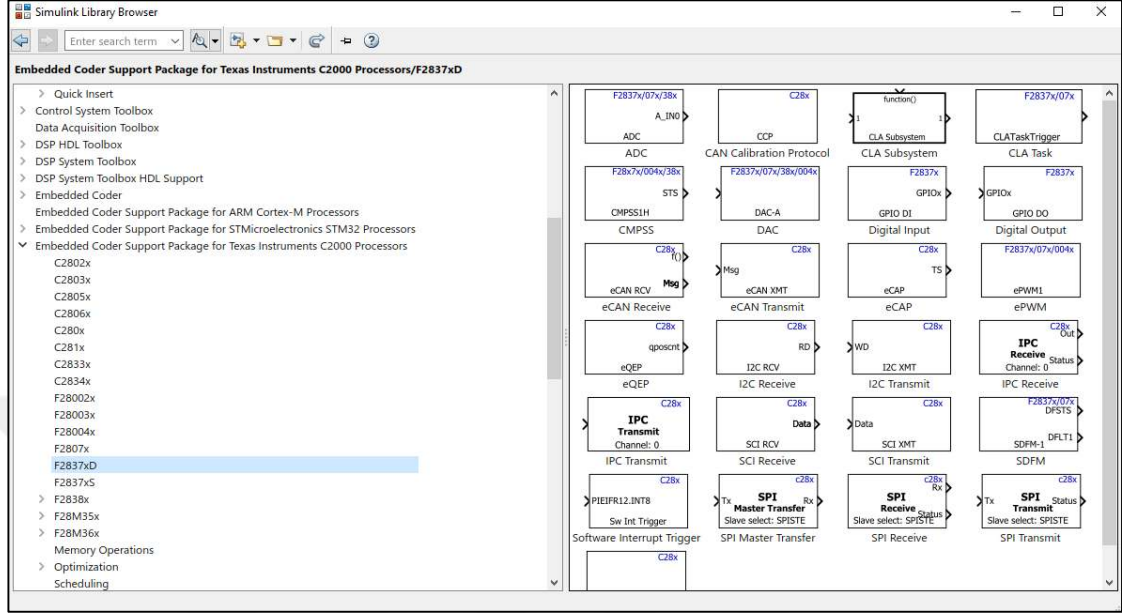
Şekil 5.6 Kurulan yazılımların özeti

Modellemenin çalışması için ilgili tüm yazılımlar kurulduktan sonra Şekil 5.7’de gösterilen Matlab/ Simulink uygulaması açılır ve kütüphaneden Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors seçilir.



Şekil 5.7 Texas instruments C2000 işlemci araç kutusu

Şekil 5.8’de yer alan araç kutusundan Texas Instruments LaunchPad F2837xD seçilerek modellemenin alt yapısı tamamlanır.



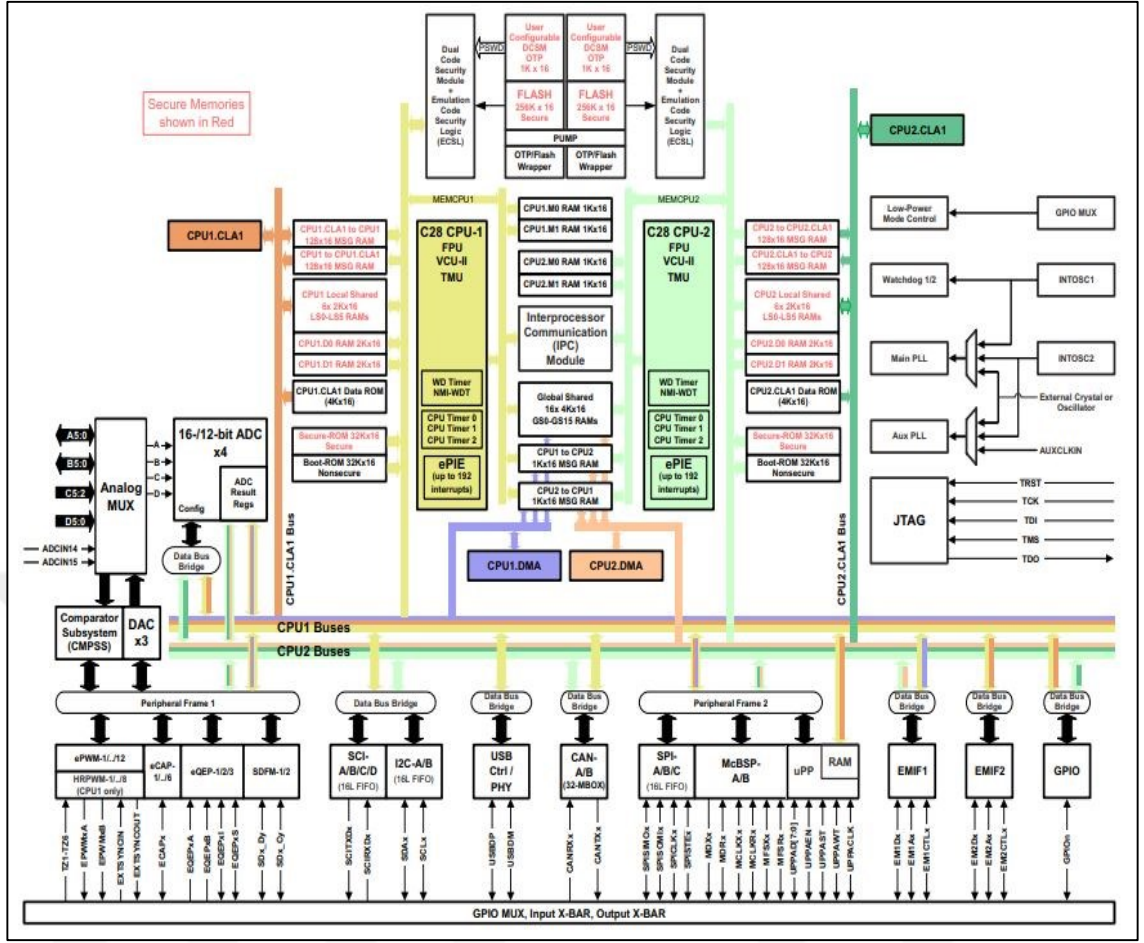
Şekil 5.8 Texas instruments launchPad F2837xD için araç kutusu

Böylece donanım destek paketinin yapılandırma adımları tamamlanmıştır.

5.1 LAUNCHXL-F28379D Mikrodenetleyici Modülleri

Güç elektroniği uygulamalarında birçok işlemci, modül ve elektronik devre elemanları yer almaktadır. Bu çalışmada kullanacağımız Matlab/Simulink yazılım programı ile LAUNCHXL-F28379D kartının senkron bir şekilde çalışabilmesi için mikrodenetleyici içerisinde bulunan modüllerin ve Simulink’taki bu modüllere ait bloklarının ne işe yaradıkları, temel çalışma prensibi gibi kavramlar aşağıdaki bölümde açıklanmıştır.

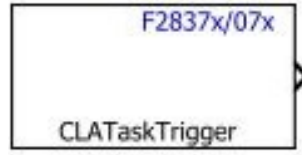
LAUNCHXL-F28379D mikrodenetleyicinin CPU sistemini ve ilgili çevre birimlerini gösteren Fonksiyonel Blok Şeması Şekil 5.9’da yer almaktadır (Anonymous 2024).



Şekil 5.9 LAUNCHXL-F28379D fonksiyonel blok şeması (Anonymous 2024)

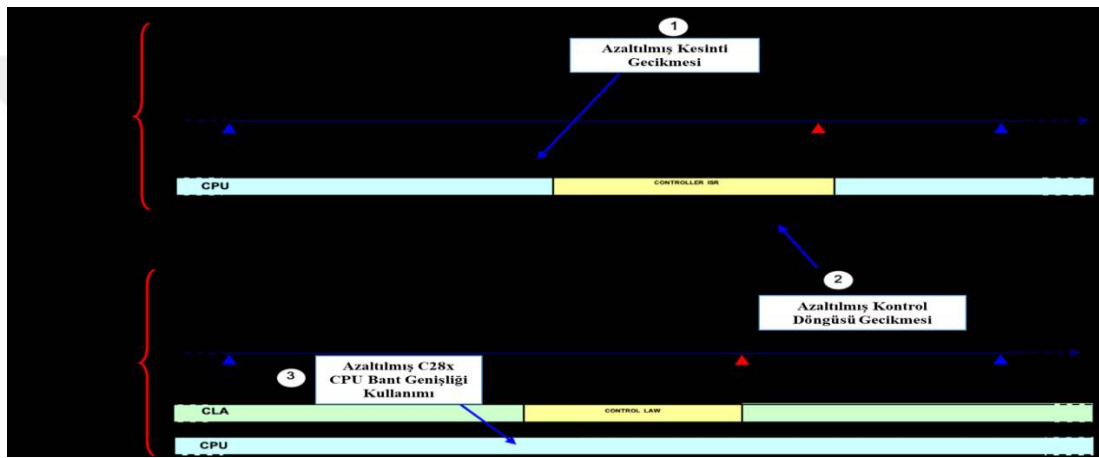
5.2 CLA Modülü

Kontrol yasası hızlandırıcısı (CLA) bloğu esasen karmaşık matematiksel algoritmaları TI C2000 işlemciyle birlikte paralel olarak yürüten bir yardımcı işlemcidir. Sistemin hızlandırılmasının önemli görevi bulunmaktadır. Donanım hızlandırıcıları karmaşık matematiksel algoritmaları işlemciye paralel olarak yürütür. Ayrıca kontrol ve iletişim çevre birimlerine doğrudan erişime sahiptir, böylece işlemcisinin aşırı yüklenmesini önler. Gerçek zamanlı kontrol sistemlerinin her zaman karşılaştığı önemli bir sorun gecikmedir. Görevlerdeki gecikmeler kontrolün yavaş yürütülmesine neden olmaktadır. Şekil 5.10'da yer alan CLA modülü ile bu sorun ortadan kalkacaktır. Matlab/Simulink yazılım programında F2837x seçildiğinde CLA bloğu gözükmemektedir (Anonymous 2024).



Şekil 5.10 CLA modülü

CLA modülü, C2000 MCU'nun işlem bant genişliğini artırır ve CPU'yu iletişim, sistem ve diğer görevler için serbest bırakır. Şekil 5.11'de CLA'nın temel faydalarını göstermektedir.



Şekil 5.11 CLA'nın faydası (Anonymous 2024)

Şekil 5.11'de, 1 numara ile gösterilen “Azaltılmış Kesinti Gecikmesi”dir. 2 numara ile gösterilen “Azaltılmış Kontrol Döngüsü Gecikmesi” dir. 3 numara ile gösterilen ise “Azaltılmış C28x CPU Bant Genişliği Kullanımı” CLA kullanılan bloğun CPU’yu hızlandırdığı gecikmelerin önüne geçildiği açıkça görülmektedir (Anonymous 2024).

5.3 IPC Modülü

İşlemciler Arası İletişim (IPC), işlemciler arası iletişim anlamında kullanılan bir terimdir. Aynı zamanda çok çekirdekli iletişim için bir TI İşlemci destek paketidir. İki CPU arasındaki iletişimi yönetmektedir. TI'nin IPC paketi, işlemciler arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için çeşitli modüller kullanmaktadır. Şekil 5.12'de Matlab/Simulink

yazılım programında F2837x seçildiğinde IPC Transmit bloğu gözükmemektedir (Anonymous 2024).



Şekil 5.12 IPC bloğu

5.4 ePWM Modülü

Darbe genişlik modülasyonu (PWM), invertörler gibi güç bileşenleri için yaygın olarak kullanılan bir kontrol tekniğidir. Bu modül frekans dönüştürücüler gibi güç elemanlarının kontrolünde de kullanılmaktadır. Aynı zamanda motorların hızının kontrol edilmesinde veya LED ışıkların kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Şekil 5.13'te Matlab/Simulink yazılım programında F2837x seçildiğinde PWM bloğu gözükmemektedir (Anonymous 2009).



Şekil 5.13 PWM bloğu

LAUNCHXL-F28379D panelindeki PWM kontrolü, iki çıkış içeren ePWM adlı bir modül tarafından temsil edilir. Bu çıkışlar ise PWMxA ve PWMxB'dir. PWM frekansı, zaman tabanlı periyodu (TBPRD) modu tarafından kontrol edilir. Zaman tabanlı sayaç yukarı sayım, aşağı sayım ve yukarı aşağı sayım için (Tpwm) ve frekans (Fpwm) ilişkilerini göstermektedir (Anonymous 2009).

Şekil 5.14'de Periyot 4'e ayarlandığında (TBPRD = 4) zaman tabanlı sayaç modları her üç durum için zaman artışı, önceden ölçeklendirilmiş bir versiyon olan zaman tabanlı saat (TBCLK) tarafından tanımlanır. Zaman tabanlı sayacın, zaman tabanlı kontrol kaydı (TBCTL) tarafından seçilen üç çalışma modu vardır:

Yukarı-Aşağı-Sayma Modu:

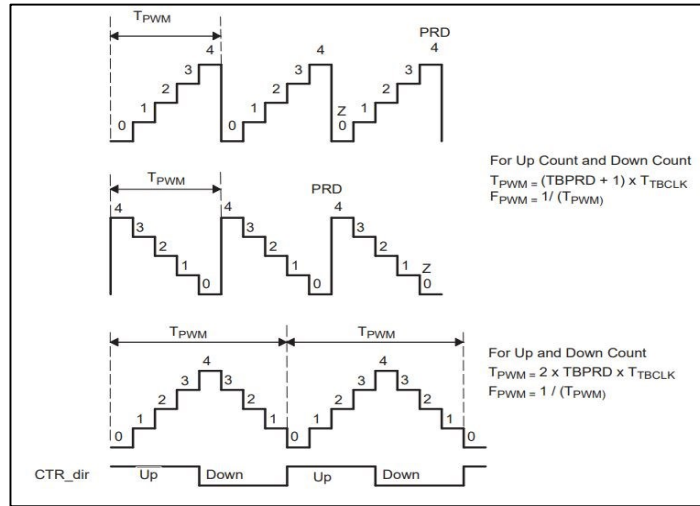
Yukarı-aşağı-sayma modunda zaman tabanlı sayaç sıfırdan başlar ve periyod değerine kadar artar.(TBPRD) değerine ulaşıldığında zaman bazlı sayaç sıfıra ulaşana kadar azalır. Sıfır olunca sayaç aynı düzeni tekrarlar ve artmaya başlar.

• Yukarı Sayım Modu:

Bu modda zaman bazlı sayaç sıfırdan başlar ve belirtilen değere ulaşana kadar artar. (TBPRD) değerine ulaşıldığında zaman bazlı sayaç sıfırlanır ve yeniden artmaya başlar.

• Aşağı Sayım Modu:

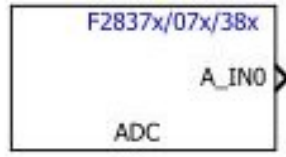
Aşağı sayım modunda, zaman tabanlı sayaç (TBPRD) değerinden başlar ve o periyod değerine kadar azalarak sıfıra ulaşır. Sıfıra ulaştığında zaman bazlı sayaç periyod değerine kadar sıfırlanır ve çalışmaya başlar (Anonymous 2009).



Şekil 5.14 Zaman tabanlı frekansı ve periyodu (Anonymous 2009)

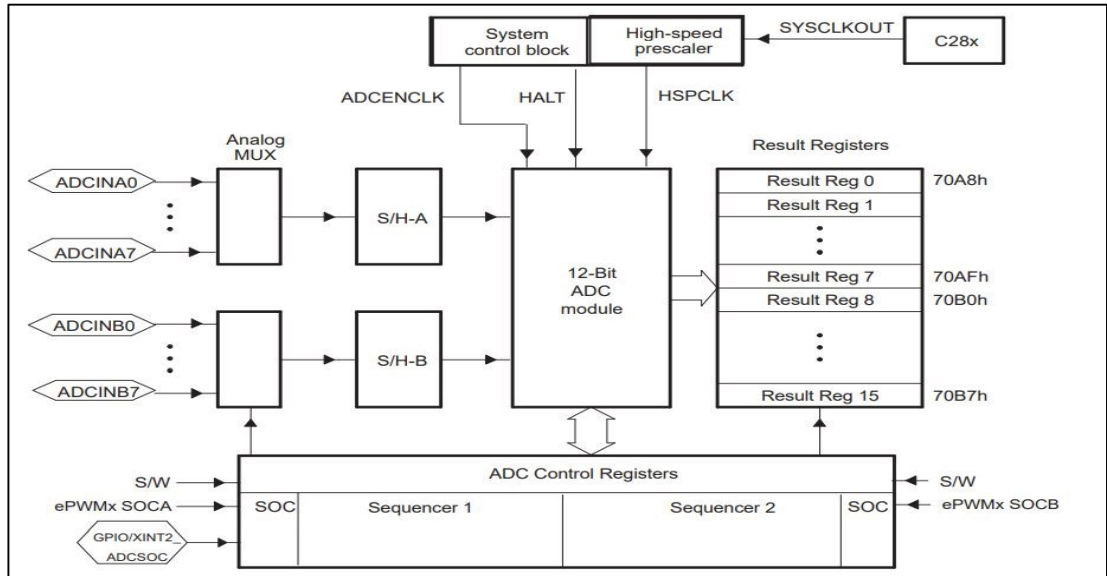
5.5 ADC Modülü

Herhangi bir kontrol sisteminde bilgilerin doğru işlenmesi için Analog Digital Dönüştürücüler (ADC) kullanılır. İşlemci sinyalleri digital olduğundan bu sinyalleri yönetebilmesi için bir ADC'ye ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 5.15'te Matlab/Simulink yazılım programında F2837x seçildiğinde ADC bloğu gözükmemektedir (Anonymous 2024).



Şekil 5.15 ADC bloğu

ADC modülü 16 kanala sahiptir ve iki bağımsız 8 kanallı modül olarak yapılandırılabilirken ePWM modülleri İki bağımsız 8 kanallı modül, 16 kanallı bir modül oluşturacak şekilde basamaklandırılabilir. PWM'de birden fazla giriş kanalı ve iki sıralayıcı olmasına rağmen ADC'de yalnızca bir dönüştürücü vardır. Şekil 5.16'da ADC modülünün blok şemasını gösterilmektedir.



Şekil 5.16 ADC modülünün blok şeması (Anonymous 2024)

ADC Modülü, iki adet 8 kanallı modül ile bir dizi dönüşümü otomatik olarak sıralayabilir. Analog MUX aracılığıyla mevcut olan ilgili sekiz kanaldan herhangi biri seçilerek kademeli olarak otomatik sıralayıcı modunda tek bir 16 kanallı sıralayıcı olarak işlev görür. Her sıralayıcı dönüşümü tamamlandığında seçilen kanal değeri ilgili ADCRESULT kaydında saklanır. Otomatik sıralama, sistemin aynı kanalı birden çok kez dönüştürmesine olanak tanıyarak kullanıcının örnekleme algoritmaları gerçekleştirerek daha yüksek çözünürlük sağlamaktadır (Anonymous 2024).

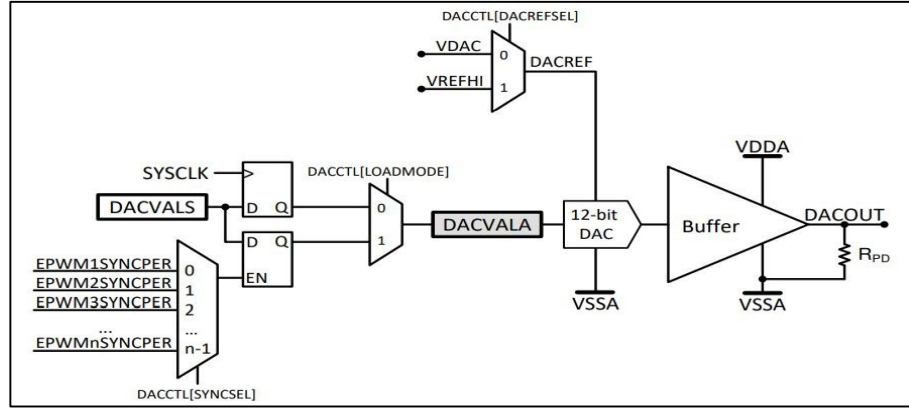
5.6 DAC Modülü

Dijital Analog Dönüştürücü (DAC) LAUNCHXL-F28379D kartında bulunan ve 12 bitlik sabit çözünürlüğe sahip bağımsız bir modüldür. Şekil 5.17’de Matlab/Simulink yazılım programında F2837x seçildiğinde DAC bloğu gözükmektedir.



Şekil 5.17 DAC bloğu

Tamponlanmış DAC modülü, dâhili bir 12 bit DAC analog çıkış arabelleğinden oluşmaktadır. DAC çıkışına entegre bir açılır direnç ile harici bir yük sisteme verildiğinde pin sağlamaya yardımcı olmaktadır. DAC çıkışındaki entegre olan açılır direncin arabelleği devre dışı bırakıldığında pin üzerinden voltaj sağlamaya yardımcı olmaktadır. Bu açılan direnç devre dışı bırakılamaz ve diğer paylaşılan pin mux fonksiyonları için bile pin üzerinde pasif bir bileşen olarak kalmaktadır. Her DAC modülü ayrıca bir analog çıkış tamponundan oluşur ve DAC çıkış voltajını kontrol eder. DAC dönüştürücünün bir diğer önemli özelliği, dönüştürücüyü senkronize etme olasılığıdır. Şekil 5.18’de DAC Modülü Blok Diyagramı gösterilmektedir (Anonymous 2024).

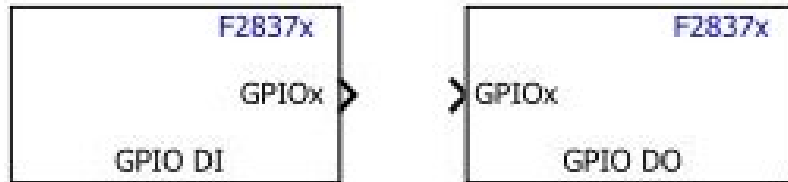


Şekil 5.18 DAC modülü blok diyagramı (Anonymous 2024)

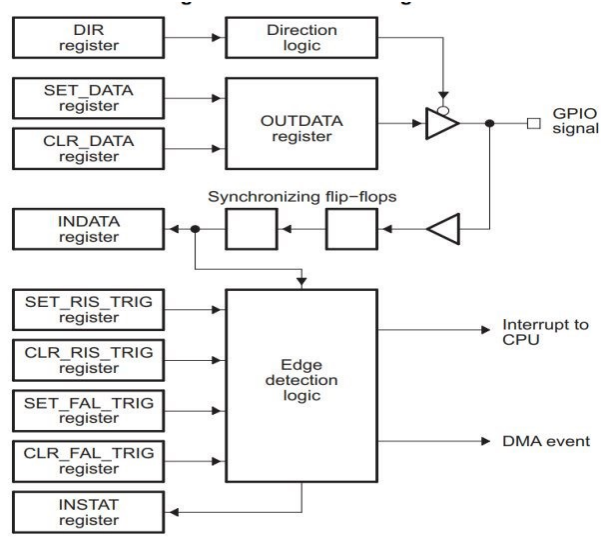
5.7 GPIO Modülü

GPIO modülü, giriş veya çıkış olarak yapılandırılabilen genel amaçlı pinler sağlamaktadır. Çıkış olarak yapılandırıldığında, tahrik edilen durumu kontrol etmek için çıktılar dâhili bir kayda yazılabilmektedir. Giriş olarak yapılandırıldığında girişin durumunu okuyarak çıkış pini girişin durumunu tespit edebilmektedir.

Çevresel sinyaller genel amaçlı giriş/çıkış (GPIO) sinyalleriyle çoğaltılır. Sıfırlama sırasında GPIO pinleri giriş olarak yapılandırılmıştır. GPIO modülü, çeşitli dâhili sinyallerin yönlendirilmesine olanak tanıyan bir Çıkış X-BAR'ı içermektedir. GPIO modülü herhangi bir GPIO girişinden gelen sinyalleri ADC, eCAP, ePWM gibi farklı IP bloklarına yönlendirmek için kullanılan X-BAR, için ayrıca bir giriş içermektedir (Anonymous 2024).



Şekil 5.19 GPIO Girdi Çıktı Bloğu

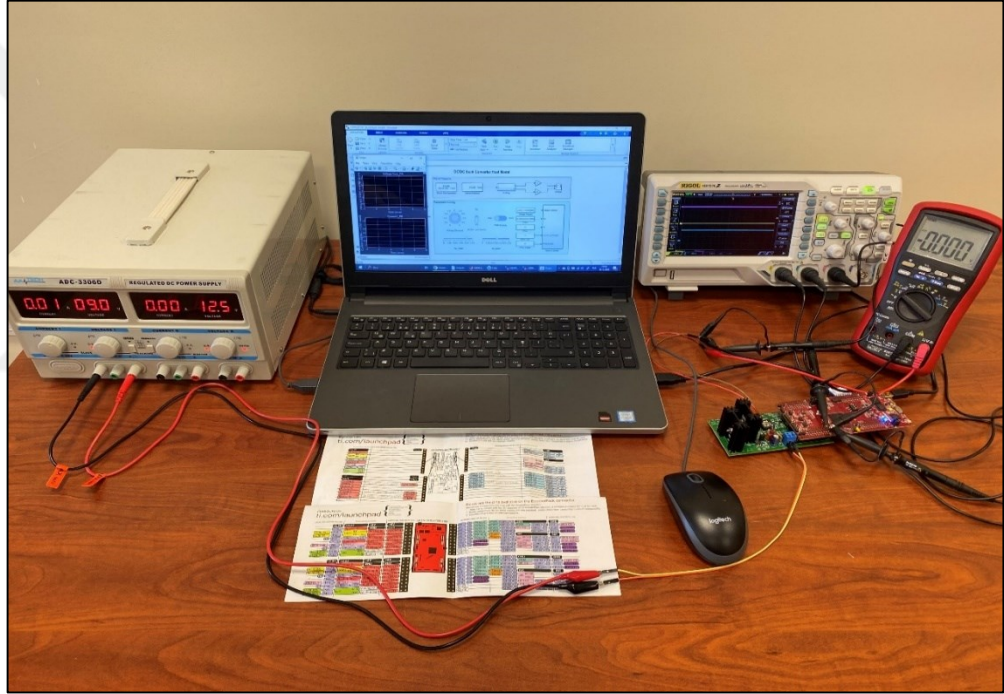


Şekil 5.20 GPIO blok diyagramı (Anonymous 2024)

Şekil 5.19’da GPIO Girdi Çıktı Bloğu ve Şekil 5.20’de GPIO blok diyagramı yer almaktadır.

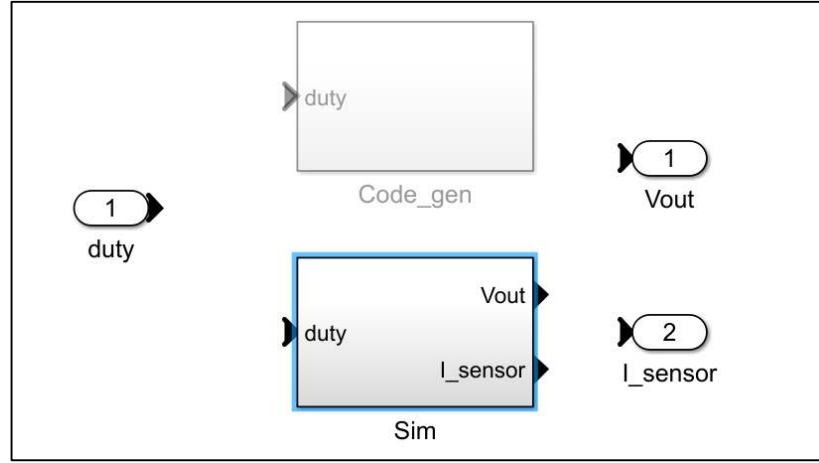
6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü tasarımı için alçaltan dönüştürücünün dijital kontrolünü sağlamak ve Matlab/Simulink uygulaması Texas Instruments firmasından temin edilen TI-C2000 serisi TMS320F28379D Mikrodenetleyici ve (Bootxl-BuckConv) alçaltan dönüştürücü kullanılmıştır. Bu metaryallerle ilgi daha önce detaylı bilgiler verilmiştir. Alçaltan dönüştürücünün dijital olarak kontrolünün sağlanması için devre düzeneği kurulmuş ve istenilen farklı çıkış gerilimleri elde edilmiştir.



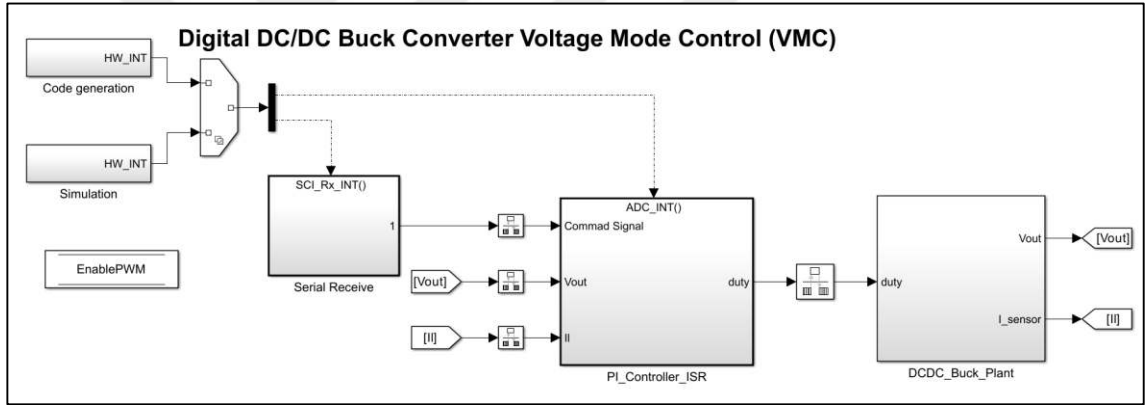
Şekil 6.1 Tasarım düzeneği

Şekil 6.1'deki tasarım düzeneği ile hem Simulink ile simülasyon yapılarak DA/DA dönüştürücünün PI kontrolörlü kapalı çevrim performansı incelenebiliyor, hemde donanım üzerinde karta program atılarak DA/DA alçaltıcı dönüştürücü üzerinde PI kontrolörle birlikte kapalı çevrim denetleyici olarak çalıştırıldı. Bu durumun belirlendiği aşama (Simulation/Built, Deploy) seçeneği Simulink devresi üzerindeki aşağıdaki Şekil 6.2'de ayrımının nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



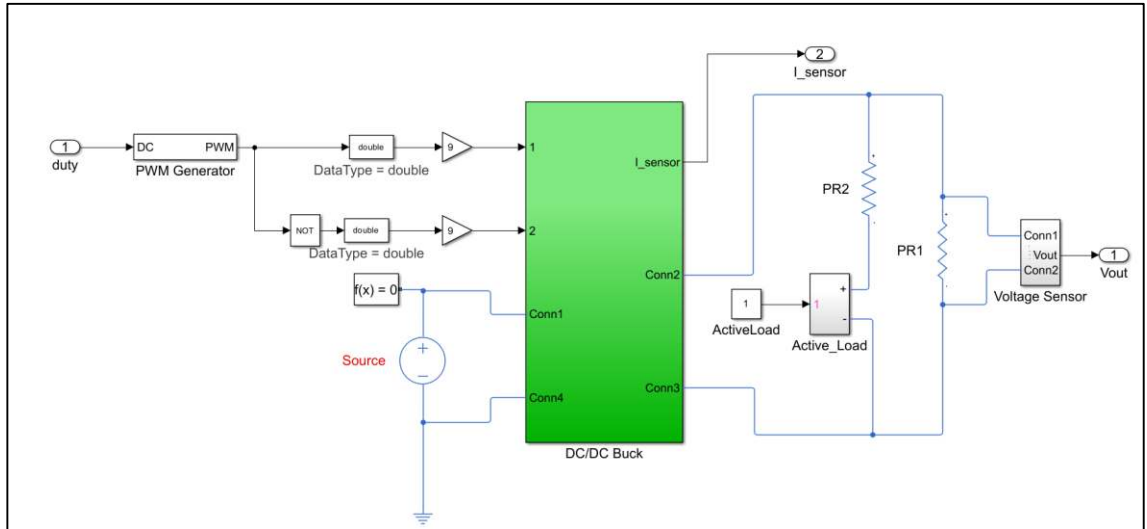
Şekil 6.2 Gözlem sonuçlarının belirlendiği simulink tasarımı

6.1 Simülasyon Sonuçları

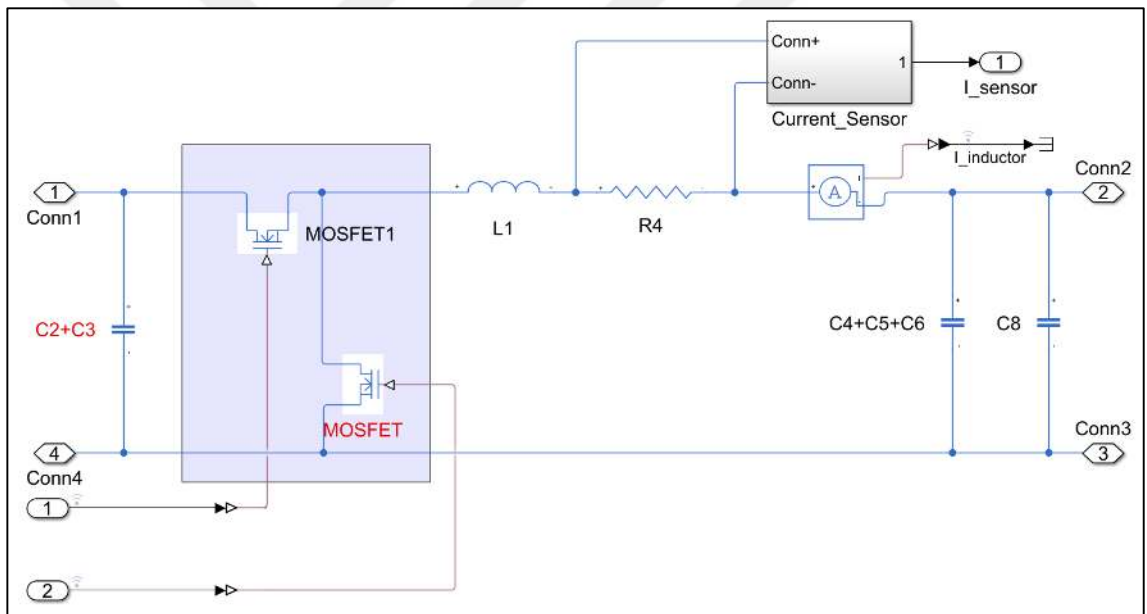


Şekil 6.3 Ana simülasyon devresi

Şekil 6.3'te yer alan ana simülasyon devresi doğrultusunda ilk olarak Şekil 6.2'deki Simulink dosyası 0.01 sn süresi boyunca simülasyon olarak çalıştırılmıştır. Simulink ortamında simülasyon seçeneği kullanılarak çalıştırıldığından dolayı Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te yer alan Simelectronics devre elemanları kullanılarak DA-DA alçaltıcı devre simülasyon ortamında çalıştırılmıştır.

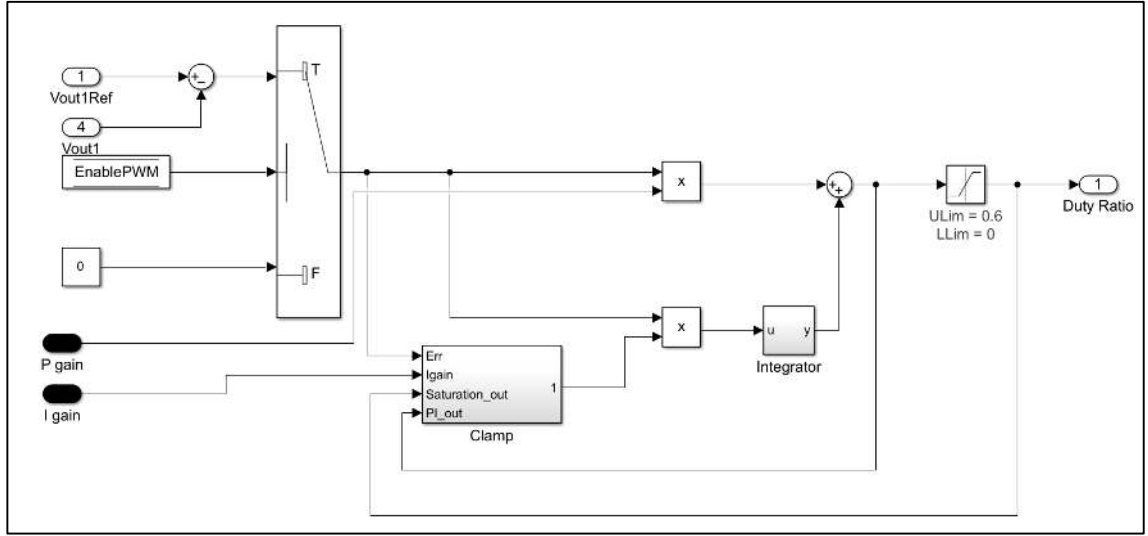


Şekil 6.4 DA-DA dönüştürücünün kapalı devre şeması



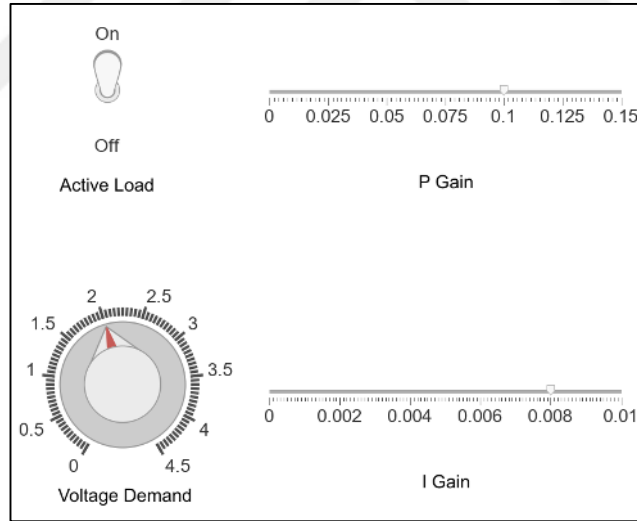
Şekil 6.5 DA-DA dönüştürücünün detaylı simulink devresi

PI kontrolör Simulink alt penceresi Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



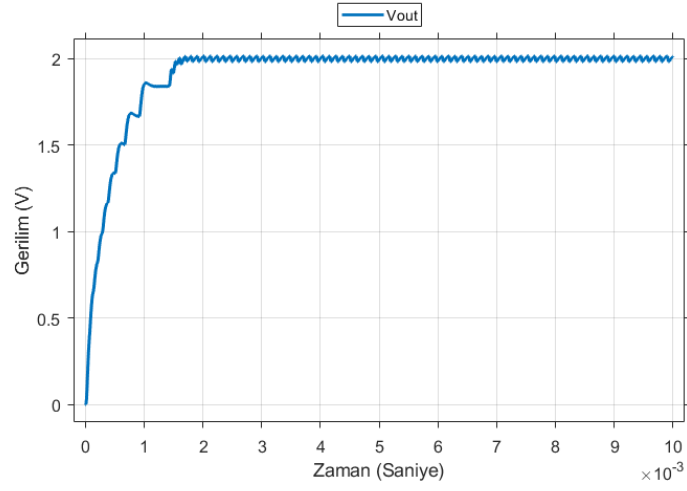
Şekil 6.6 PI kontrolör simulink blok şeması

Şekil 6.7’deki ayarlama penceresinde yer alan parametreler kullanılarak elde edilen ana değişkenlerin sonuçları gösterilmiştir.



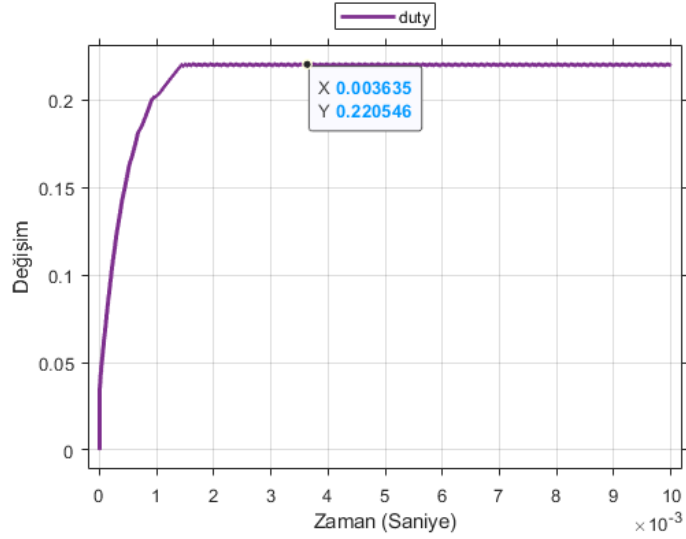
Şekil 6.7 P, I ve Vout parametrelerinin belirlendiği ayarlama penceresi

Simülasyon devresinin çalıştırılması için ilk önce P parametresi 0.1, I parametresi ise 0.008 olarak belirlenmiştir. Vout çıkış gerilimi ise 2V olarak belirlenmiştir. Şekil 6.7’de bu belirlemenin yapıldığı pencere ve değerleri görülmektedir. P I ve Vout gerilimine göre çalıştırılan DA-DA dönüştürücünün referans sonuçları Şekil 6.8 ile Şekil 6.10 arasında gösterilmiştir.



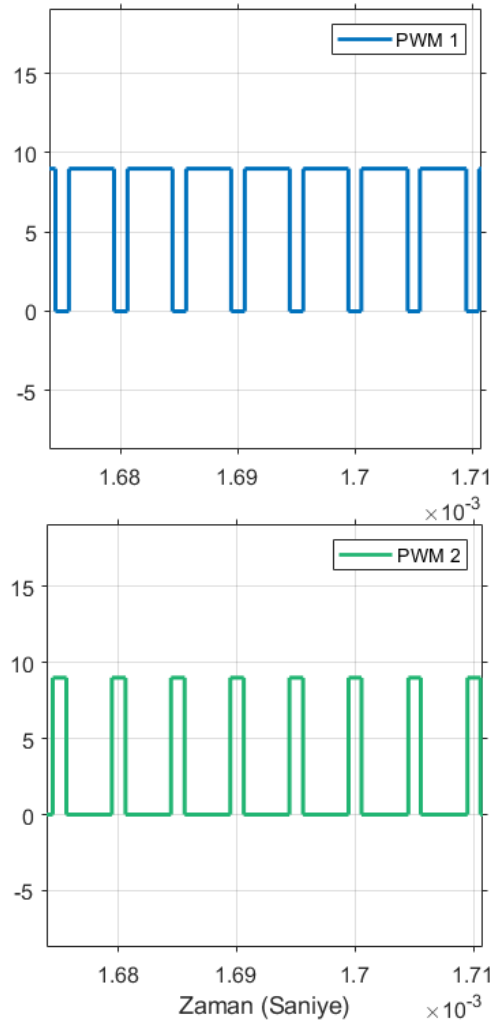
Şekil 6.8 Vout çıkış geriliminin değişimi

Alçaltıcı dönüştürücünün çıkış geriliminin 2 Volt olarak belirlendiği durum için Vout geriliminin değişimi Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Şekil 6.8’de gösterildiği gibi $1,75 \times 10^{-3}$ saniyesinde istenilen gerilim değerine ulaşmaktadır.



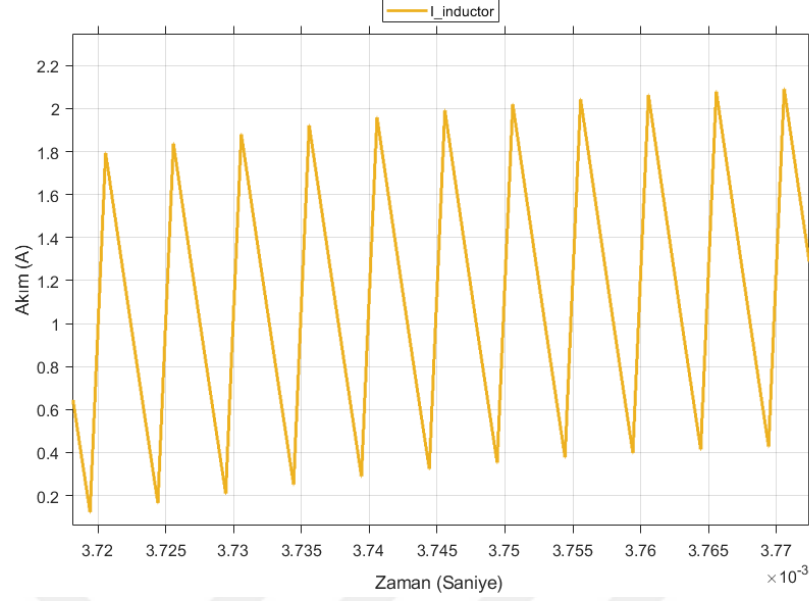
Şekil 6.9 Doluluk oranının (Duty Ratio) zamana bağlı değişimi

Belirlenmiş P ve I değerlerine göre I kontrolörünün çıkışında elde edilen Doluluk Oranının (Duty Ratio) zamana bağlı değişimi Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.10 MOSFET elamanları PWM anahtarlama sinyalleri

Şekil 6.5'te yer alan DA-DA alçaltan dönüştürücü devresinde yer alan iki adet mosfetin birbirlerinin tersi zamanlarda anahtarlandığı PWM sinyalleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

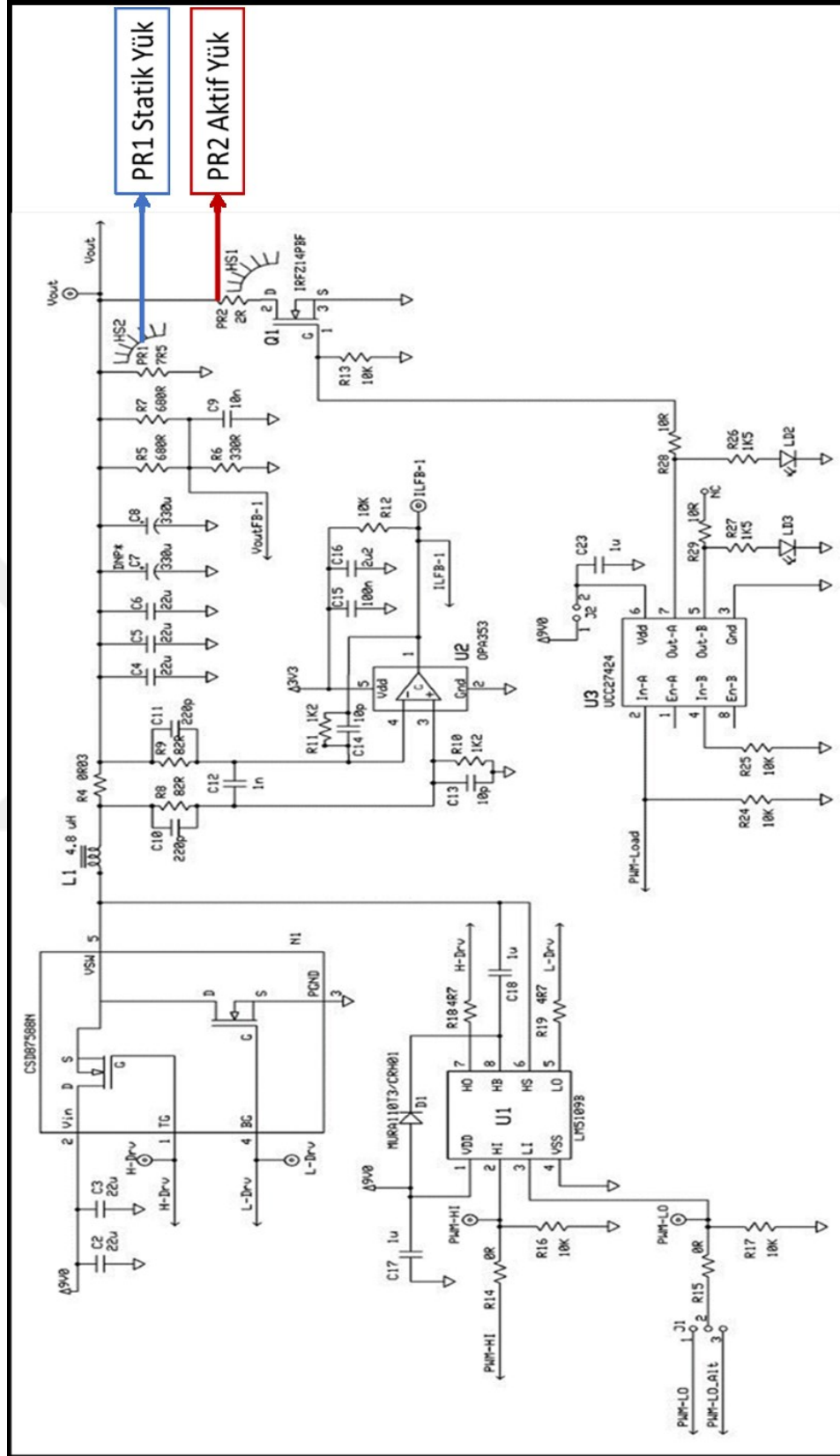


Şekil 6.11 Bobin akımının zamana bağlı değişimi

Şekil 6.10’da gösterilen PWM sinyalleri anahtarlama sürelerine göre devre bobinin akım yönü değişime uğramaktadır. Bu değişim Şekil 6.11’de görülmektedir. Bu şekildeki alçalan kenar süresi ve yükselen kenar süreleri PWM sinyalleri ile bire bir uyumlu olduğu gözlenmiştir.

6.2 Deneysel Sonuçlar

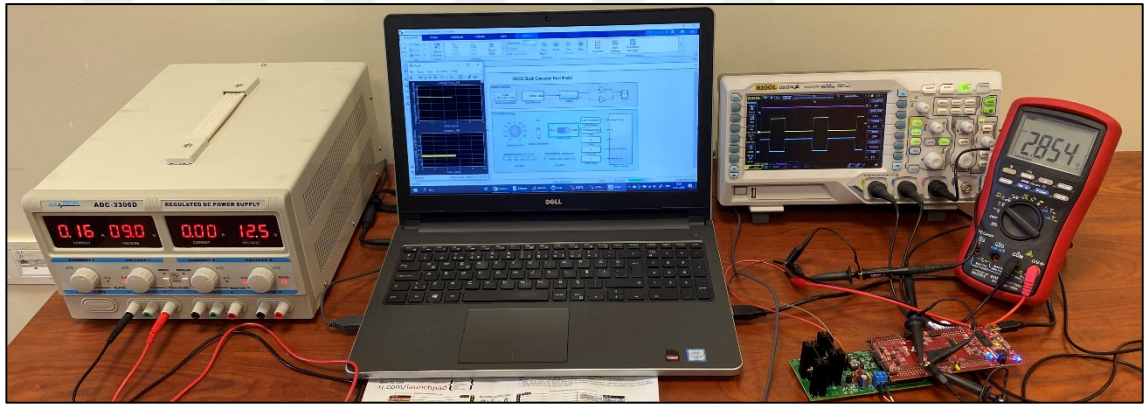
TMS320F28379D Mikrodenetleyici ve Bootxl-BuckConv alçatan dönüştürücü kullanılarak kurulan deney düzeneği Şekil 6.13’te gösterilmiştir. Giriş kaynağı olarak 9 Volt’luk bir DA güç kaynağı, MOSFET anahtarlama sinyallerini görebilmek için bir adet Osiloskop ve DA-DA alçatan dönüştürücünün çıkış gerilimini ölçmek için ise bir adet multimetre kullanılmıştır. Simulink ortamında model temelli tasarlanan devre TMS320F28379D Mikrodenetleyici kartına programlandıktan sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.12 Alçaltıcı dönüştürücü elektriksel şeması (Anonymous 2020)

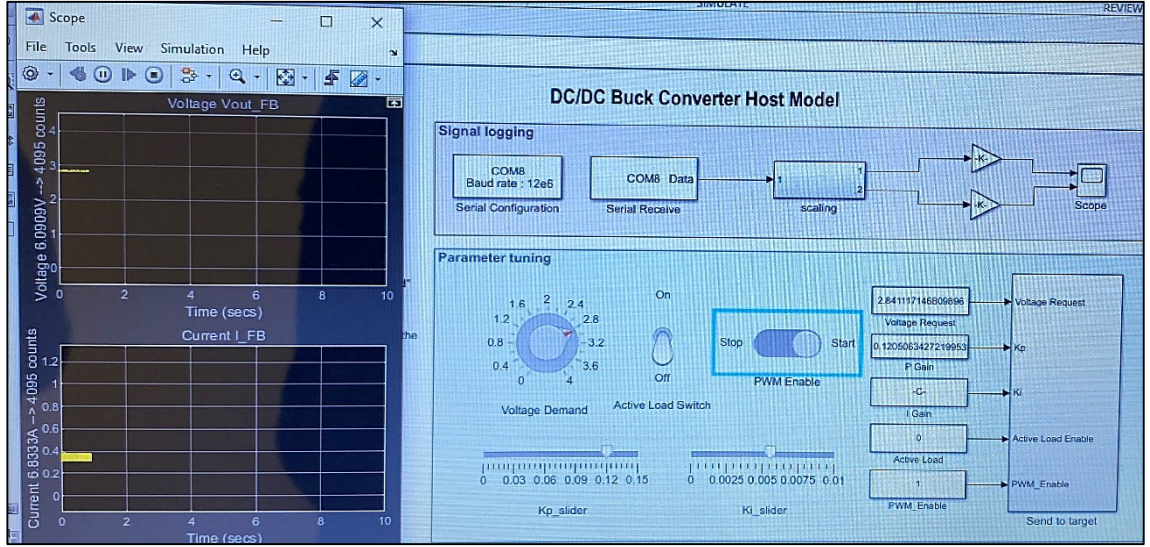
Şekil 6.12’de yer alan alçaltıcı dönüştürücünün elektriksel şemasında LAUNCHXL-F28379D üzerindeki F28379D mikro denetleyici, senkron bir buck çalışmasını kontrol eder. FET güç bloğu yüksek taraf ve alçak taraf anahtarları çip üzerinde çalıştırılan PWM sinyalleri kullanılarak 200 kHz’de R4 direnci ve U2 opampı ile L1 indüktörünün akımını algılamak için kullanılır ve analog sinyali MCU’ya geri gönderir. PR1 statik yükü, senkronize buck çıkışı ile toprak arasına kalıcı olarak bağlanır. Bir dinamik yük olan PR2 aktif yükü, MOSFET anahtarı Q1’i %50 ile sürerek devreye girip çıkabilir.

Bu özellik, geçici durumları desteklemek için çalışma anında aktif bir yük özelliği sağlar. PR2 ayrıca çıkış yükünü artırmak için sürekli olarak açılabilir ve indüktör akımının pozitif kalmasına ve sıfır olmamasına neden olur, böylece daha iyi döngü yanıtı sağlar.



Şekil 6.13 Gerilim altında kurulan deney düzeneği

Bölüm 6.1’deki Simulink devresinde kullanılan PI kontrolör için ayarlanan P ve I değerleri farklı değerler olarak ayarlanarak benzer şekilde bu devre düzeneği için de kullanılmıştır. P parametresi olarak 0.12, I parametresi olarak da 0.0055 belirlenmiştir. Vout çıkış gerilimi ise 2.8 V olarak belirlenmiştir. Şekil 6.14’te bu belirlemenin yapıldığı pencere ve değerleri görülmektedir.



Şekil 6.14 P, I ve İstenilen vout gerilim değerlerinin belirlendiği ayar penceresi

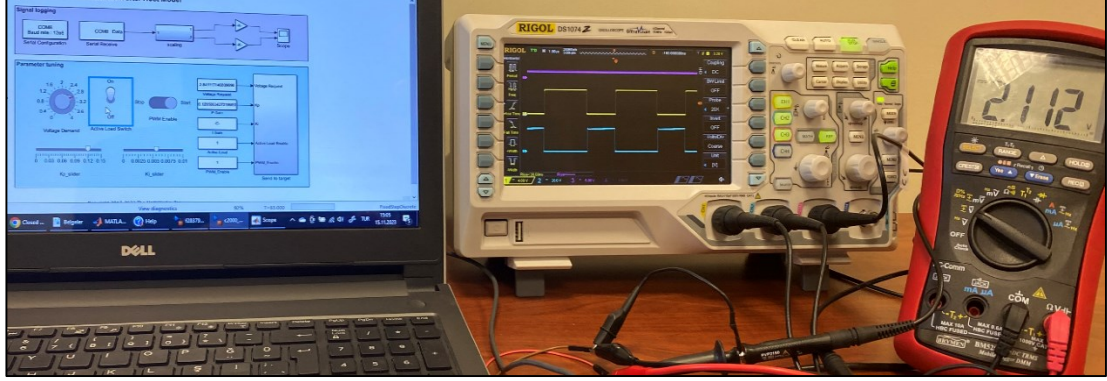
Belirlenen bu parametreler altında alçaltıcı kontrolör çalıştırıldığında istenilen değer olan 2.8 değeri elde edilmiş olup sonuç ve bu sonucu elde etmek için kontrol kartının mosfetler için üretmiş olduğu PWM sinyalleri Şekil 6.15'te gösterilmiştir.



Şekil 6.15 İstenilen çıkış gerilimi ve mosfetler için üretilmiş olan PWM sinyalleri

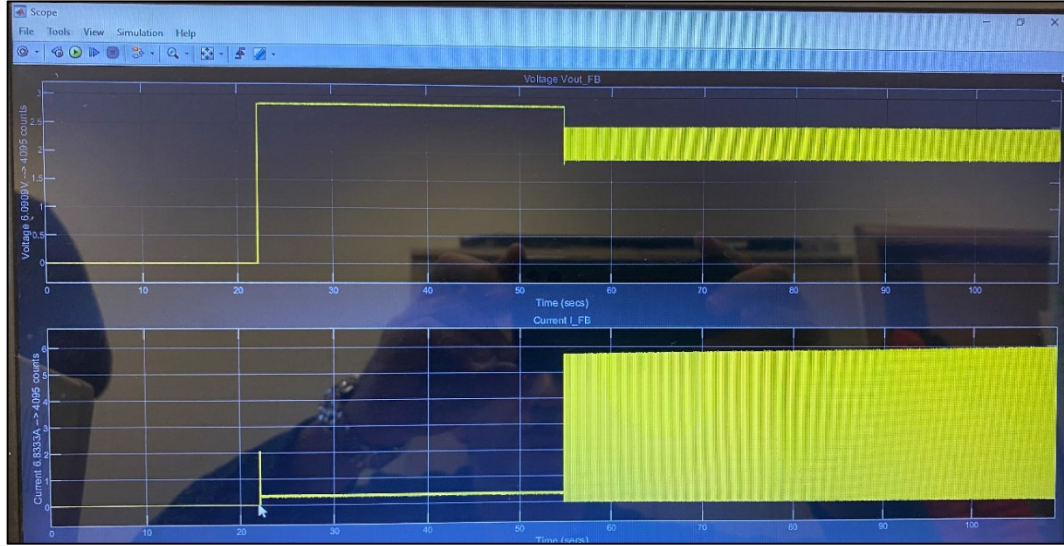
Tasarımı yapılan devrede DA-DA alçaltıcı dönüştürücü kartında Statik yük /Aktif yük olarak farklı seçenekler bulunmaktadır. Yapılan deneyin ilk kısmında elde edilen sonuçlar 7,5 ohm'luk sabit bir direnç yükü ile elde edilmiştir. Ayar penceresinden yük anahtarını aktif yük olarak değiştirildiğinde 2 ohm'luk yazılım kontrollü aktif yük devreye

uygulanabilir. Şekil 6.16’da olduğu gibi farklı karakteristiğe sahip sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 6.16 Aktif yük uygulanarak gerilim altında kurulan deney düzeneği

Deney düzeneği gerilim altındayken ayar penceresi değiştirilmeye elverişlidir. Aktif yükün çıkış değişkenleri üzerindeki etkisini görmek için Şekil 6.17’deki sonuçların 55. saniyesinde aktif yük anahtarı kapatılarak (devreye alınarak) sonuçlar gözlenmiştir.



Şekil 6.17 Aktif yük anahtarı grafiği

Şekil 6.17’de yer alan grafikte aktif yük devredeyken akım ve gerilim değerlerindeki değişimler görülmektedir. Devre statik yük ile 7.5 ohm’luk yük ile çalıştırıldığında 2.8 v

istenilen çıkış gerilimini verdiği fakat 55 saniyede aktif yük devreye alındığında akım ve gerilim değerlerinin değiştiği görülmektedir.

6.3 Sonuç ve Öneriler

Gelişen teknolojilere bağlı olarak günümüzde yaygınlıkla C2000 işlemci tabanlı kontrol kartları kullanılmakta olduğu Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü başlıklı bu tez kapsamında ifade edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu mikrodenetleyici kullanılarak bir alçaltan dönüştürücünün kontrolü için gerekli tasarımlar gerçekleştirilerek istenilen çıkış gerilimi elde edilmiştir. Bunun için Matlab/Simulink ortamında tasarım gerçekleştirilmiş ve Texas Instruments (TI) C2000 işlemciye sahip kontrol ve uygulama kartlarıyla bir DA-DA alçaltan dönüştürücü denetlenmiştir. Bahsedilen çalışma neticesinde, DSP ile model tabanlı gömülü kodlar otomatik üretilerek kullanılan Matlab/Simulink uygulamaları ile birlikte kontrol sisteminin hızlı modellenmesi, simülasyonu ve nihayet sistemin çalıştırılarak bir alçaltan dönüştürücü ile istenilen çıkış gerilimini elde etmek” amacına ulaşılmıştır. Söz konusu amaca “Mikrodenetleyici kullanılarak bir alçaltan dönüştürücünün kontrolü için gerekli tasarımlar gerçekleştirilerek istenilen çıkış gerilimi nasıl elde edilebilir?” problem cümlesi kapsamında şu alt problem cümlelerine cevap bulunarak ulaşılmış ve buna göre:

1. Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü tasarımı için alçaltan dönüştürücünün dijital kontrolünü sağlamak üzere Matlab/Simulink ve deneysel uygulamalarla uyumlu çalışmıştır.
2. Bootxl-BuckConv alçtan dönüştürücüde yer alan statik ve aktif yüklerin istenilen çıkış gerilimine etkisinin anlamlı düzeyde olduğu tespit edilmiş ve çalışmanın ilgili bölümlerinde bu sonuçlara yer verilmiştir.
3. Mikrodenetleyici kullanılarak bir alçaltan dönüştürücünün kontrolü için istenilen çıkış gerilimi elde edilmiş ve araştırmanın ilgili bölümlerinde bu sonuçlara yer verilmiştir.

Basedilen kapsamda Optimize Edilerek Anahtarlanan Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü tasarımı için alçaltan dönüştürücünün dijital kontrolü deneysel ve Matlab/Simulink uygulaması ile yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu kontrol sistemi kapalı çevrim olarak gerçekleşmiştir.

Alçaltan Dönüştürücünün Model Tabanlı kontrolünde Texas Instruments firmasından temin edilen TI-C2000 serisi TMS320F28379D Mikrodenetleyici kullanılmış olup detaylı açıklamalar bölüm 4.1’de yer almaktadır. Alçaltan Dönüştürücü olarak TMS320F28379D Mikrodenetleyiciye uyumlu Boostxl-Buckconv dönüştürücü kullanılmış olup detaylı açıklamalar bölüm 4.3’te yer almaktadır. Araştırma kapsamında öncelikle simülasyon devresi çalıştırılması için gerekli parametre ayarları yapılmıştır. P, I ve Vout parametrelerinin belirlendiği ayarlama penceresinden alçaltıcı dönüştürücünün çıkış gerilimi 2 Volt olarak belirlenmiştir. Simülasyon devresi çalıştırıldığında Şekil 6.8’de yer alan grafikte $1,75 \cdot 10^{-3}$ saniyesinde istenilen gerilim değerine ulaşıldığı görülmektedir.

Gerilim altında kurulan deney düzeneğinde Bölüm 6.2’deki Simulink devresinde kullanılan PI kontrolör için ayarlanan P, I ve Vout parametreleri değiştirilerek farklı değerler Şekil 6.14’deki gibi girilmiştir. Çıkış gerilimi ise 2.85 v olarak belirlenmiştir. DA-DA alçaltıcı dönüştürücü kartında Statik yük/Aktif yük olmak üzere 2 farklı yük seçeneği bulunmaktadır. İlk olarak devre 7.5 ohm’luk sabit yük ile çalıştırıldığında istenilen çıkış geriliminin 2.85 volt olarak elde edildiği Şekil 6.15’te görülmektedir. Daha sonra deney aktif yük için tekrar çalıştırıldığında yazılım destekli 2 ohm’luk aktif yük devreye alınarak referans geriliminin 2.85 v olmasına rağmen Şekil 6.16’da görüldüğü gibi 2.11v’luk bir değer elde edildiği görülmüştür. Ayrıca Şekil 6.17’de yer alan grafikte aktif yük devrede iken statik yükten aktif yüke geçerken akım ve gerilim değerlerindeki değişim net olarak görülmektedir.

Simülasyon ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında DA-DA alçaltıcı dönüştürücü F28379D mikrodnetleyici ile kontrol edilerek farklı P,I değerlerinde istenilen çıkış geriliminin elde edildiği görülmüştür. Yapılan similasyon ve deneysel çalışmalarda verimli ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada yapılan simülasyon ve deneysel sonuçlara bakıldığında istenilen çıkış geriliminin elde edildiği ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak ve ihtiyaçlar doğrultusunda DA-DA alçaltıcı dönüştürücüler farklı kontrol yöntemleri ile çalıştırılabilir. Araştırmanın alanda çalışanlara yol gösterici olabileceği temenni edilmektedir.



KAYNAKLAR

- Akgül, T. 2020. DA-DA azaltıcı (buck) dönüştürücü için doğrusal olmayan geri adımlamalı kontrolcü tasarımı ve gerçek zamanlı uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, 89 sayfa, Erzurum.
- Amir, A., Che, H. S., Elkhateb, A., & Abd Rahim, N. 2019. Comparative analysis of high voltage gain DA-DA converter topologies for photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 136: 1147-1163.
- Anonymous. 2020. C2000 digital power buck converter boosterpack design guide (Rev. A). Texas Instruments, 57 p., U.S.A.
- Anonymous. 2023. Control suite software brochure. Texas Instruments, 13 p., U.S.A.
- Anonymous. 2015. Simulink user's guide. Mathworks, 88 p., U.S.A.
- Anonymous. 2009. TMS320x280x, 2801x, 2804x enhanced pulse width modulator (ePWM) module reference guide. Texas Instruments, 87 p., U.S.A.
- Anonymous. 2024. TMS320F2837xD Dual-Core real-time microcontrollers datasheet (Rev. P). Texas Instruments, 253 p., U.S.A.
- Anonymous. 2014. TMS320F28379D LaunchPad quick start guide (Rev. A). Texas Instruments, 7 p., U.S.A.
- Balta, G. 2021. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün gözlemleyici tabanlı integral geriadımllama sensörsüz kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, 86 sayfa, Erzurum.
- Benavides, N. D., & Chapman, P. L. 2005. Power budgeting of a multiple-input buck-boost converter. *IEEE Transactions on power electronics*, 20(6): 1303-1309.
- Bibian, H. and Jin, 2001. Digital control with improved performance for boost power factor correction circuits, APEC, pp. 137-143, California.
- Bodson, M. and Hossain, M. A. 2019. Integrated control of a motor/generator set composed of doubly fed induction machines. *Journal of emerging and selected topics in power electronics*, 8(2): 1858-1869.
- Bryant, B., & Kazimierczuk, M. K. 2004. Small-signal duty cycle to inductor current transfer function for boost PWM DA-DA converter in continuous conduction mode, In: *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 856-859, Vancouver.

- Bulut, K. 2020. Mantık tabanlı anahtarlama kapasitörlü (Sc) DC-DC yükseltici dönüştürücü tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, 90 sayfa, Bursa.
- Çakmak, C. 2011. Ziegler-Nichols PID kontrolör parametrelerini bulanık tabanlı iyileştirme yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 109 sayfa, İstanbul.
- Çalışkan, A., Ünal, S., & Orhan, A. 2017. Buck-Boost dönüştürücü tasarımı, modellenmesi ve kontrolü. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(2): 265-268.
- Çökren, M.A., 2023. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü tasarımı, kontrolü ve gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 54 sayfa, Kocaeli.
- Hart, D. W., 2010. Power Electronics, 1st Ed. New York, USA: Mcgraw-Hill, pp.196-264.
- Güngör, O. 2019. Güneş panellerinde cuk dönüştürücü tabanlı değişken şartlar altında PNO, BM ve YSA algoritmalarının karşılaştırmalı performans analizi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(1): 66-76.
- Hassoune, A., Khafallah, M., Mesbahi, A., Nouaiti, A., & Bouragba, T. 2020. Experimental implementation of a smart battery charger for electric vehicles charging station. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 11: 1689-1699.
- Hwu, K. I., & Peng, T. J. 2011. A novel buck–boost converter combining KY and buck converters. IEEE Transactions on power electronics, 27(5): 2236-2241.
- Jean, P., Altin, N., El Shafei, N., & Nasiri, A. 2020. Efficiency optimization of dual active bridge DC–DC converter with triple phase-shift control. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 1217-1222, Detroit.
- Jinghai, Z. 2001. Novel sampling algorithm for DSP controlled 2 kW PFC converter. IEEE Transactions Power Electronics, 16(2): 217-222.
- Koçhan, Ö., İşen, E., & Özbay, H. 2021. Fotovoltaik sistemler için sıfır gerilimde anahtarlama cuk dönüştürücü tasarımı ve simülasyonu, In: International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies, pp. 227-241, Türkiye.

- Köse, E., Mühürücü, A., Mühürücü G., & Aydoğan, E. 2017. Buck dönüştürücü çıkış geriliminin karınca koloni algoritması kullanılarak PI tabanlı optimal kontrolü. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4): 153-162.
- Lavanya, A., Navamani, J. D., Vijayakumar, K., & Rakesh, R. 2016. Multi-input DC-DC converter topologies-a review. In: International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), pp. 2230-2233, India.
- Lee, J. 2015. Basic calculation of a buck converter's power stage. Richtek Technology Corporation. Application note, AN041, Taiwan.
- Rashid, M.H. 2011. Power electronics handbook circuits, devices and applications, 3rd. Edition prentice, pp. 1409, U.S.A.
- Mokal, B. P., & Vadirajacharya, K. 2017. Extensive modeling of DC-DC cuk converter operating in continuous conduction mode, In: International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), pp. 1-5, India.
- Coruh, N., Urgun S., Erfidan, T., Oztürk S. 2011. A simple and efficient implementation of interleaved boost converter, In: Proceedings of the 6th IEEE Conference on industrial electronics and applications (ICIEA), pp. 2364-2368, China.
- Özkan Tuygar, N.K. 2022. İki Anahtarlı alçaltıcı-yükseltici DA/DA dönüştürücü tasarımı ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 73 sayfa, Ankara.
- Penbegüllü, İ. 2019. Düşürücü tip DC-DC dönüştürücünün optimize edilmiş PID kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, 103 sayfa, Düzce.
- Santra, S.B., Bhattacharya, K., Chudhury, T. R. and Chatterjee, D. 2018. Generation of PWM schemes for power electronic converters, In: National Power Systems Conference (NPSC), pp. 1-6, India.
- Songüler, Ö. 2006. Az sönümlü sistemlerde ziegler-nichols yönteminin iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 40 sayfa, İstanbul.
- Sucu, H. 2021. Düşürücü tip DA-DA konvertörün modellenmesi, tasarımı ve kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, 113 sayfa, Malatya.
- Şentüre, E. 2023. Çift girişli tek çıkışlı bir da-da azaltan dönüştürücü tasarımı ve gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 63 sayfa, Ankara.
- Tan, S. C., Lai, Y. M., & Tse, C. K. 2006. A unified approach to the design of PWM-based sliding-mode voltage controllers for basic DA-DA converters in continuous conduction mode. IEEE Transactions on circuits and Systems, 53(8): 1816-1827.

- Wanfeng, Z., Feng, G., Liu, Y., Bin, W. 2004. A Digital Power Factor Correction (PFC) Control Strategy Optimized for DSP. IEEE Transactions on Power Electronics, 19(6):1474-1485.
- Moursy, Y., Khalil, R., Lecce, S. Poletto, V., Iskander, R. and Lou  rat, M. 2016. Mixed-signal PI controller in current-mode DC-DC buck converter for automotive applications, In: IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 1610-1613, Canada.
- Yalduz, H. 2015. DA-DA düşüren dönüştürücü tasarımı ve PI kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl   niversitesi, 81 sayfa, Van.
- Yiğit, G. 2022. Buck tipi DC/DC dönüştürücüler için emi filtre tasarımı ve uygunluk   l  mleri. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik   niversitesi, 65 sayfa, Konya.
- Zumel, P., A. de Castro, O. Garc  a, T. Riesgo and J. Uceda 2003. Concurrent and simple digital controller of an AC/DC converter with power factor correction based on an FPGA. IEEE, 18(1): 334-343.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Yahya BEKTEŞ

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı	2021-Halen
Lisans	Dicle Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümü	2006-2010
Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü	2017-2018

İş Deneyimi

Yıl	Kurum	Görev
2014-Halen	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı TEDAŞ Genel Müdürlüğü	Mühendis