

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AZALTAN-ARTTIRAN (BUCK-BOOST) ÇEVİRİCİ DENEY SETİNİN
BİLGİSAYARLI DENETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Efe İsa TEZDE

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AZALTAN-ARTTIRAN (BUCK-BOOST) ÇEVİRİCİ DENEY SETİNİN
BİLGİSAYARLI DENETİMİ**

Efe İsa TEZDE

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (ELEKTRİK)
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2011

Tezin Savunma Tarihi : 15.06.2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Efe İsa TEZDE tarafından hazırlanan

AZALTAN-ARTTIRAN (BUCK-BOOST) ÇEVİRİCİ DENEY SETİNİN

BİLGİSAYARLI DENETİMİ

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2011 gün ve 1416 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Sefa AKPINAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır. Tezimde, Azaltan-Arttıran (Buck-Boost) Çevirici deney setinin bilgisayarlı denetimi üzerinde çalışılmıştır. Bilgisayar ile deney seti arasında haberleşme; veri toplama kartı ile sağlanıp, denetimi gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmam süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Elektrik Anabilim Dalı hocalarıma, bildiklerini ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Arş Gör. Emre ÖZKOP'a, ve Arş Gör. Mehmet Ali USTA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Seyhan KALENDER'e ve tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim. Bu tezin, bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Efe İsa TEZDE
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “AZALTAN-ARTTIRAN (BUCK-BOOST) ÇEVİRİCİ DENEY SETİNİN BİLGİSAYARLI DENETİMİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/05/2011

Efe İsa TEZDE

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2. Güç Kaynakları.....	3
1.3. Anahtarlama DA Dönüştürücüleri.....	5
1.3.1 Azaltan (Buck) Dönüştürücü.....	6
1.3.1.1. Sürekli Akım Durumu.....	7
1.3.1.1.1. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) Durumunda.....	7
1.3.1.1.2. Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) Durumunda.....	8
1.2.1.2 Kondansatör Gerilimindeki Dalgalık.....	12
1.3.2. Arttıran (Boost) Dönüştürücü.....	12
1.3.2.1. Sürekli Akım Durumu.....	13
1.3.2.1.1. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) Durumunda.....	13
1.3.2.1.2. Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) Durumunda.....	14
1.3.2.2. Kondansatör Gerilimindeki Dalgalık.....	18
1.3.3. Azaltan-Arttıran (Buck-Boost) Dönüştürücü.....	18
1.3.3.1 Sürekli Akım Durumu.....	19
1.3.3.1.1. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) Durumunda.....	19
1.3.2.1.2. Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) Durumunda.....	14

1.2.3.2.	Kondansatör Gerilimindeki Dalgalılık.....	23
1.4.	Denetim Sistemleri.....	24
1.4.1.	Açık Çevrimli Sistem.....	24
1.4.2.	Kapalı Çevrimli Sistem.....	25
1.4.2.1.	Geleneksel Denetim Sistemleri.....	25
1.4.2.1.1	P Etkili Denetim.....	25
1.4.2.1.2.	PI Etkili Denetim.....	26
1.4.2.1.3.	PID Etkili Denetim.....	27
1.4.2.2.	Bulanık Mantık Denetimi.....	28
1.4.2.2.1.	Bulanık Mantık Denetleyici.....	29
1.4.2.2.2.	Bulanıklaştırma ve Üyelik Fonksiyonları.....	30
1.4.2.2.3.	Kural İşleme Ünitesi.....	32
1.4.2.2.4.	Durulaştırma.....	33
1.5.	Veri Toplama Kartı.....	34
1.5.1.	6036 E DAQ Kartı Özellikleri.....	35
1.5.2.	Sinyal Giriş Seviyeleri.....	35
1.5.3.	Analog Girişler.....	36
1.5.4.	Analog Çıkışlar.....	36
1.5.5.	Sayısal Giriş ve Çıkışlar.....	37
1.5.6.	Zamanlama Sinyalini Yönlendirme.....	37
1.5.7.	Programlanabilir Fonksiyon Girişleri.....	38
1.5.8.	Aygıt ve RTSI Saat Darbeleri.....	38
1.5.9.	RTSI Tetiklemeler.....	38
1.5.10.	Sinyal Giriş-Çıkış Bağlantı Kablosu.....	39
1.5.11.	Sayısal Giriş-Çıkış Sinyal Bağlantıları.....	41
1.6.	Matlab/Simulink Kullanımı.....	42
1.6.1.	Simulink Ortamında Gerçek Zamanlı (Real Time) Çalışma.....	43
1.6.2.	Real Time Windows Target Kullanımı.....	44
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	45
2.1.	Giriş.....	45
2.2.	Çeviricilerin Matlab/Simulink Ortamda Benzetimi.....	46

2.2.1.	Azaltan Çeviricinin Matlab/Simulink Modeli.....	46
2.2.2.	Arttıran Çeviricinin PI Denetimli Kontrol Uygulaması.....	48
2.2.3.	Azaltan – Arttıran Çeviricinin PID Kontrolü.....	51
2.2.3.	Azaltan Çeviricinin Bulanık Mantık Denetimi.....	55
2.3.	Gerçek Zamanlı Çalışma.....	57
2.4.	Analog Input Parametre Ayarları.....	58
2.5.	Çeviricilerin Tasarlanması.....	62
2.5.1.	Besleme ve Güç Devresi.....	64
2.5.2.	MOSFET Sürücü Devresi.....	64
2.5.3.	Optik Yalıtıcı.....	65
2.5.4.	Dönüştürücü Devreleri.....	68
2.5.4.1.	Akım Dönüştürücü.....	68
2.5.4.1.1.	Akım Dönüştürücüleri Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar.....	68
2.5.4.2.	Gerilim Dönüştürücü.....	70
2.5.4.2.1.	Gerilim Dönüştürücülerinin Özellikleri.....	70
2.5.4.2.2.	Gerilim Dönüştürücünün Uygulamaları.....	71
2.5.	Çevirici Devreleri.....	72
2.6.	Deneysel Uygulama.....	75
3.	SONUÇLAR.....	76
4.	TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	77
5.	KAYNAKLAR.....	78

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AZALTAN-ARTTIRAN (BUCK-BOOST) ÇEVİRİCİ DENEY SETİNİN BİLGİSAYARLI
DENETİMİ

Efe İsa TEZDE

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2011, 80 Sayfa

Mühendislik, teknoloji ve meslek eğitimi veren okullardaki teorik bilgilerin uygulamaya dönüştürülmesi, daha etkin bir öğrenme için gereklidir. Eğitim kurumlarında laboratuvar imkanlarının yetersizliği, öğrencilerin daha verimli deneysel çalışma yapmalarını kısıtlamaktadır.

Bu tezde, laboratuvardaki güç elektroniği deney setinin bilgisayarlı denetimi gerçekleştirilmiştir. Böylece öğrencilerin istedikleri zamanlarda deney modülüne erişimi yerel bir bilgisayarla sağlanmıştır. Bu amaçla, Matlab/Simulink’ te anahtarlama işareti üretilmiş ve veri toplama kartı (Data Acquisition Card) ile laboratuvardaki bir deney setinin gerçek zamanlı olarak anahtarlama sağlanmıştır. Deney seti üzerindeki farklı noktalardan sinyal örnekleri alınmış ve veri toplama kartı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bunun ardından, sistemin PI, PID ve bulanık mantık denetleyicileriyle kapalı çevrimli denetimi sağlanmıştır. Simulasyonu gerçekleştirilen model sonuçları ile deney setinin gerçek zamanlı bilgisayar üzerinden denetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarlı Denetim, Anahtarlama Çeviriciler, PID, Bulanık Mantık, MOSFET, DAQ Kart.

Master Thesis

SUMMARY

COMPUTER-AIDED CONTROL OF BUCK-BOOST CONVERTER TEST MODULE

Efe İsa TEZDE

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical – Electronics Graduate Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2011, 80 Pages

To convert application of theoretical information in the schools which educates engineering, technology and career is necessary for more effective learning. Lack of the laboratory facilities in the educational institutions restricts the students to do more efficient experimental studies.

In this thesis, power electronics test module in the laboratory is realized computer-aided control. Thus, access of the test module is performed with a local computer whenever the students want. For this purpose, switching signal is generated with Matlab/Simulink and real time switching of the test module in the laboratory is performed with Data Acquisition Card. Signal samples is gathered from different points of the test module and transferred to computer via Data Acquisition Card. Then, closed-loop control of the system is provided with PI, PID and fuzzy logic controllers. The results of simulation model are compared with the results of real time computer-aided control of the test module.

Key Words: Computer-aided Control, Switching Converter, PID, Fuzzy Logic, MOSFET, DAQ Card.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Doğrusal güç kaynağı.....	3
Şekil 1.2.	Basit bir anahtarlama DA çevirici.....	5
Şekil 1.3.	Azaltan çeviricinin devre şeması.....	7
Şekil 1.4.	İletim ($0 < t \leq t_{on}$) durumunda azaltan çeviricinin eşdeğer devresi.....	7
Şekil 1.5.	Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) durumunda azaltan çeviricinin eşdeğer devresi.....	8
Şekil 1.6.	Bir azaltan çeviricinin anahtarlama dalga şekilleri.....	9
Şekil 1.7.	Arttıran çeviricinin devre şeması.....	13
Şekil 1.8.	İletim ($0 < t \leq t_{on}$) durumunda arttıran çeviricinin eşdeğer devresi.....	13
Şekil 1.9.	Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) durumunda arttıran çeviricinin eşdeğer devresi.....	14
Şekil 1.10.	Bir arttıran çeviricinin anahtarlama dalga şekilleri.....	17
Şekil 1.11.	Azaltan-arttıran çeviricinin devre şeması.....	18
Şekil 1.12.	İletim ($0 < t \leq t_{on}$) durumunda azaltan-arttıran çeviricinin eşdeğer devresi.....	20
Şekil 1.13.	Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) durumunda azaltan-arttıran çeviricinin eşdeğer devresi.....	20
Şekil 1.14.	Bir azaltan-arttıran çeviricinin anahtarlama dalga şekilleri.....	22
Şekil 1.15.	Açık çevrimli kontrol sistemi.....	24
Şekil 1.16.	Kapalı çevrimli kontrol sistemi.....	25
Şekil 1.17.	P denetim blok diyagramı.....	26
Şekil 1.18.	PI denetim blok diyagramı.....	27
Şekil 1.19.	PID denetim blok diyagramı.....	28
Şekil 1.20.	Bulanık mantık sistemi.....	29
Şekil 1.21.	Çeşitli üyelik fonksiyonları.....	30
Şekil 1.22.	Üçgen üyelik fonksiyonu kümesi ve bulanıklaştırma işleminin yapılışı	31
Şekil 1.23.	Kesme metodu ile kuralın işlenmesi.....	31
Şekil 1.24.	Ölçekleme metodu ile kuralın işlenmesi.....	33
Şekil 1.25.	Alanların merkezi yöntemine göre işlem yapan durulaştırıcı.....	34

Şekil 1.26.	6036E Kartı giriş-çıkış konektörü bağlantı uçları.....	39
Şekil 1.27.	Sayısal giriş-çıkış bağlantıları.....	42
Şekil 2.1.	Sistem blok diyagram.....	45
Şekil 2.2.	Kontrolsüz azaltan çevirici simulink uygulaması.....	46
Şekil 2.3.	Azaltan çevirici yük gerilimi.....	47
Şekil 2.4.	Azaltan çevirici yük akımı.....	47
Şekil 2.5.	Arttıran çeviricinin PI denetleyisi ile kontrolü.....	48
Şekil 2.6.	PI denetleyici çıkış sinyali.....	49
Şekil 2.7.	MOSFET tetikleme sinyali.....	50
Şekil 2.8.	Arttıran doğrultucunun çıkış gerilimi.....	50
Şekil 2.9.	Arttıran çeviricinin yük akımı.....	51
Şekil 2.10.	Azaltan-arttıran çeviricinin PID denetleyici ile kontrolü.....	52
Şekil 2.11.	Azaltan-arttıran çeviricinin azaltan anahtarlaması.....	52
Şekil 2.12.	Azaltan-arttıran çeviricinin arttıran anahtarlaması.....	53
Şekil 2.13.	Azaltan-arttıran çeviricide endüktans akımı.....	54
Şekil 2.14.	Azaltan-arttıran çeviricide diyot akımı.....	54
Şekil 2.15.	Azaltan-arttıran çeviricinin çıkış gerilimi.....	55
Şekil 2.16.	Azaltan çeviricinin bulanık mantık denetimi.....	56
Şekil 2.17.	Azaltan çeviricinin BMD ile denetimli çıkış gerilimi.....	56
Şekil 2.18.	Simulink ortamdaki deneme_1.mdl modeli.....	57
Şekil 2.19.	Real-Time Windows Target blokları.....	58
Şekil 2.20.	Analog input tanımlama.....	58
Şekil 2.21.	Analog output parametre iletişim kutusunda.....	59
Şekil 2.22.	Simülasyon konfigürasyon parametre ayarları-I.....	60
Şekil 2.23.	Simülasyon konfigürasyon parametre ayarları-II.....	61
Şekil 2.24.	Simülasyon mod seçimi.....	61
Şekil 2.25.	Sürücü kartı baskı devre çıktısı.....	63
Şekil 2.26.	$\pm 15V$ DA gerilim regülatörü.....	64
Şekil 2.27.	Sürücü kartı devresi.....	65
Şekil 2.28.	IR2117 Entegresi sinyalizasyonu.....	65
Şekil 2.29.	Optik yalıtıcının içyapısı.....	66

Şekil 2.30.	HCPL 3120 optik yalıtıcının bağlantı şeması.....	67
Şekil 2.31.	Akım dönüştürücü ve bağlantı şeması.....	69
Şekil 2.32.	Gerilim dönüştürücünün bağlantı şeması.....	71
Şekil 2.33.	Akım ve gerilim dönüştürücü kartı.....	72
Şekil 2.34.	Çevirici için endüktans sarımı.....	73
Şekil 2.35.	Azaltan çeviricinin baskı devre kartı.....	74
Şekil 2.36.	Azaltan-arttıran çevirici kartı.....	75
Şekil 2.37.	Deney setinin simulink ortamdan denetimi.....	75

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ölçüm duyarlılığı.....	36
Tablo 1.2. Analog giriş konfigürasyon tanımlamaları.....	40
Tablo 1.3. Konnektör bağlantı uçları açıklamaları.....	24
Tablo 2.1. PID denetim organı parametre değerleri.....	55
Tablo 2.2. HCPL 3120 doğruluk tablosu.....	66
Tablo 2.3. LA 25-NP Akım dönüştürücünün primer devresindeki bacak bağlantısı....	68

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Günümüzde mühendislik, teknoloji ve mesleki eğitim veren okullarda öğrencilere derslerde verilen teorik bilgilerin, uygulamaya dönüştürülmesi öğrenme faaliyetleri açısından önemli bir öğrenme yöntemidir. Eğitim kurumlarında laboratuvar imkanlarının sınırlı olmasından dolayı laboratuvar saatlerinde, deney seti başına düşen öğrenci sayısının fazla ya da deney süresinin sınırlı olması gibi olumsuzluklar mevcuttur. Üniversite ve enstitülerin uzaktan eğitim merkezleri bu tür olumsuzlukları ortadan kaldırmak için uzaktan eğitim laboratuvarları oluşturularak öğrencilerin deneylerini bu laboratuvarlarda bilgisayar destekli olarak gerçekleştirmelerine imkan sunmaktadır [1].

Literatür taraması sonucu, başlangıçta benzetim amaçlı sanal laboratuvarların kurulduğu daha sonra da uzaktan bilgisayar destekli gerçek zamanlı deney setlerinin kontrol edildiğine dair çeşitli üniversitelerin çalışmalarının olduğu bilinmektedir.

University of Ancona ve University of Lece'de Corradini ve arkadaşları, uzaktan erişimli laboratuvar oluşturmuşlardır. Bu laboratuvarlarda fan hızı kontrolü, bir robot kolu kontrolü, tank düzeneği kontrolü gibi deneyler bu sanal laboratuvarda uzaktan gerçekleştirilebilmektedir. Öğrenciler, deneylerini gerçekleştirerek verilerini kendi bilgisayarlarında yorumlayabilmektedirler [2].

Lin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, uzaktan eğitimi destekleyen yapılar ele alınmış ve uzaktan veri toplama, ölçme, endüstriyel kontrol ve otomasyon uygulamaları gibi konulara odaklanmışlardır. Uzaktan erişimli bir laboratuvar oluşturarak bu konularla ilgili deneyler hakkında bilgi vermişler ve bu laboratuvarı kullanarak, bir alternatif akım motoru deneyini gerçekleştirmişlerdir [3].

William ve Chi çalışmalarında, elektrik mühendisliği öğrencileri için, uzaktan erişimli bir güç elektroniği deney modülü oluşturmuştur. Öncelikle, güç elektroniği dersinde yer alan bazı temel devrelerin Pspice programı kullanılarak benzetimi yapılmıştır. Öğrencilerin bu benzetim modelleri üzerinden sistemin geri beslemesi ve denetimini analiz etmek için MATLAB programı kullanılmıştır. Son olarak da sistemin uzaktaki bir bilgisayar üzerinden denetimi sağlanmıştır [4].

Gazi Üniversitesi'nde Irmak tarafından yapılan çalışmada, elektrik eğitimi veren okullarda elektrik makinaları dersinde anlatılan konuların uygulamalarını gerçekleştiren uzaktan eğitim amaçlı bir sanal laboratuvar oluşturulmuştur. Sistemin öncelikle matematiksel modeli ve benzetimi oluşturulmuş daha sonrada sisteme gerçek zamanlı olarak erişim sağlanmıştır [5].

Yapılan bu tez çalışmasında güç elektroniği derslerinin konuları arasında yer alan anahtarlama çeviricilerden Arttıran-Azaltan çevirici deney setinin bilgisayarlı denetimini gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deney setinin denetimi PI, PID ve bulanık mantık denetleyicilerle gerçekleştirilmektedir. Elde edilmek istenen çıkış gerilim değeri benzetim ortamında referans değeri olarak atanır ve bu denetleyiciler yardımıyla çıkış geriliminin denetimi sağlanmış olur.

Son yıllarda teknolojinin hızlı bir değişim göstermesiyle birlikte enerji dönüşümü alanında birçok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalara paralel olarak güç elektroniği uygulamalarından DA-DA çeviricileri de önem kazanmıştır. DA-DA çeviricileri günümüzde çeşitli cihazlar içerisinde uygulama alanı bulmaktadır [6].

DA-DA çeviricilerinin doğrusal güç kaynakları ve anahtarlama güç kaynakları olmak üzere başlıca iki uygulama çeşidi vardır. Anahtarlama güç kaynakları motor sürücü uygulamaları, bilgisayar, telefon, televizyon, robotik ve birçok cihazda kullanılmaktadır. Bu cihazların boyutlarının küçülmesiyle birlikte yüksek frekanslarda anahtarlama işlemi gerçekleştirilebilmektedir [7].

Anahtarlama güç kaynaklarının çalışma prensipleri genel olarak birbirine benzer olup, şebekeden yüksek frekansta çalışan bir anahtar ile girişteki gerilim oranlanarak çıkışa aktarılır. Anahtarlama elemanının frekansına ve anahtarlama oranına yani anahtarın iletim kesim sürelerine bağlı olarak çıkış gerilimi ayarlanır. Çıkış geriliminin sabit bir değerde kalması için genellikle çalışma frekansı 20 kHz ile 100 kHz arasında seçilmelidir.

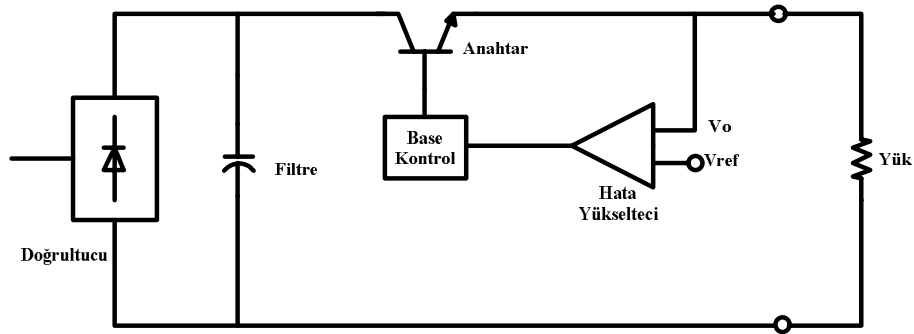
Anahtarlama çeviricilerin anahtarlama sinyali mikroişlemci veya mikrodenetleyici tarafından üretilir. Bu çalışmada ise anahtarlama işareti bilgisayar üzerinden sağlanacaktır. Bilgisayarda Matlab/Simulink ortamında oluşturulan anahtarlama işareti veri toplama (DAQ) kartı ile çeviricilere aktarılır. Sistemin kontrolü gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir.

1.2 Güç Kaynakları

DA-DA çeviriciler, yarı iletken devre elemanlarının giriş ve çıkış gerilim değişim oranının oldukça hızlı olduğu yerlerde yüksek frekanslı güç devrelerini anahtarlar. DA-DA anahtarlama çeviriciler hemen hemen her yerde kullanılır [8]. Motor sürücü uygulamaları ve modern güç kaynağı uygulamaları bu çeviricilerin kullanıldığı iki yaygın alanlardır.

Son zamanlarda elektrik ve elektronik cihaz üretiminde cihaz boyutlarının küçülmesi anahtarlama güç kaynakları gereksiniminin artmasına sebep olmuştur. DA gerilimi; bir direnç tarafından gerçekleştirilen basit bir gerilim bölücü kullanılarak çok kolay bir şekilde ayarlayabilirken neden biz diğer çözümlerden ziyade anahtarlama güç kaynaklarını tercih ediyoruz sorusu araştırmacıları bu konuya yöneltmiştir. Gerilim bölücü devresi basit bir metot ancak DA-DA çeviricilere göre etkisiz bir devredir. Ayrıca gerilim bölücü devresiyle çıkıştan, girişteki gerilim değerinde daha büyük bir gerilim değeri elde edemeyiz. Gerilim bölücü çıkışta çok küçük akımların çekilmesinde gerilim duyarlılığı olarak yararlıdır ancak etkili bir şekilde çalışan çok düşük enerjilerde güç dönüşümü için kullanılmaz [9].

Anahtarlama güç çeviricileri teknolojisine diğer rakip doğrusal güç kaynağı teknolojisidir. Doğrusal güç kaynağı şematik olarak Şekil 1.1 'de gösterilmiştir. Doğrusal bir güç kaynağının çıkış gerilim seviyesini ayarlamak için doğrusal bölgede bir anahtar kullanılır. Denetleyici komut aracılığıyla akım ayarlanır ve çıkış gerilimi istenilen değerlerde düzenlenebilir.



Şekil 1.1. Doğrusal güç kaynağı

Doğrusal doğrultucunun giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki fark üzerinden akım çarparak anahtarını dağıtır. Kaybı ısı olarak ortaya çıkar. Bu iki gerilim seviyeleri arasında daha fazla fark, daha az çevirici etkinlik olacak oluşur anlamına gelir. Genellikle doğrusal çeviricilerin verimliliği % 60 daha yüksek olamaz.

Doğrusal doğrultucunun giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki fark anahtardan akım geçerken kaybolabilecek gerilimler hesaplanabilir. Kaybedilen bu gerilim ısı olarak ortaya çıkar. Bunun anlamı en çok fark iki gerilim seviyesinde meydana gelir. Çeviricinin etkisi azdır. Genellikle doğrusal bir çeviricinin çalışma verimi %60'tan fazla olamaz. Doğrusal çevirici için soğutma problemi baskı devre üzerinde önemli bir güç kaybına sebep olabilir. Bununla birlikte doğrusal bir güç kaynağı gücünü belirleyen en önemli faktör transformatör hat 50/60 Hz frekansıdır.

Doğrusal kaynakların yapısal basitliğinden dolayı bazı avantajları vardır. Doğrusal bir doğrultucu kartı kullanıldığında, bir doğrusal doğrultucu tasarımı sadece bir veya iki filtre elemanı gerekebilir. Doğrusal kaynak herhangi bir anahtarlama olayı gerektirmediğinden hat frekansı çalışır. Bir doğrusal kaynak yüksek frekanslarda bir fazlı veya üç fazlı doğrultucular tarafından iki, üç beklide altı harmonik bileşene sebep olabilir. Bunun anlamı hiçbir gürültü ve EMI sorunu yok demektir. Bu doğrusal bir kaynağı en iyi özelliği olduğu iddia edilebilir.

Öte yandan, megawatt'tan watt'a kadar bir dizi yüksek verimli güç dönüşümü mümkün kılan yüksek frekanslarda anahtarlama teknolojisi vardır [10]. Anahtarlama teknolojisi DA-DA çevirici topolojisinden temel farkı her çeşit gerilim, akım çeviricilerine izin vermesidir. Bu çevirici topolojisinin birisi azaltan çeviricidir. Çıkış tarafından alınan gerilim, giriş gerilimini düşürmeyi sağlar. Bir başka topoloji türü de arttıran çeviricidir ki; çıkıştaki gerilim giriş gerilimini yükseltmeyi sağlar. Yüksek veya alçak gerilimlerin her ikisini de sağlayan azaltan-arttıran çeviriciler de mevcuttur. Bunlar temel yalıtılmamış topolojilerdir ve bütün diğer topolojileri bu dönüşüm topolojilerini biraz değiştirerek elde edebiliriz.

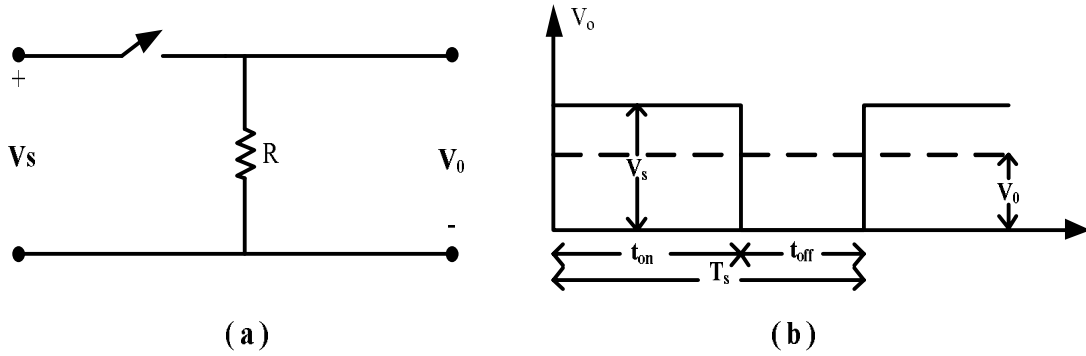
Doğrusal kaynaklarla karşılaştırıldığı zaman anahtarlama güç kaynakları elektriksel yalıtımla ilgili büyük çapta ciddi sorunlar meydana getirmez. Bu çeviriciler düşük frekanslı AA doğrultucular yerine yüksek frekanslı anahtarlama çeviricilerle yer değiştirebilirler [11]. Yüksek anahtarlama frekansının anlamı anahtarlama periyodunun küçük olması ki bu Faraday yasasına göre küçük miktardaki akı değişiminden dolayı

ikinci küçük gerilimi yaratır. Küçük bir merkezde akı miktarı olduğu zaman bir küçük merkez hacminde yeterli özel bir akı yoğunluğu elde edilebilir.

Yüksek frekanslı DA-DA güç kaynağı devrelerinde yüksek frekanslı transformatörler kullanılır. Yüksek frekanslı transformatörler yalıtılmamış modellerden çıkabilir. Bununla birlikte topoloji ister yalıtılsın ister yalıtımlasın anahtarlamalı çeviricilerdeki anahtarlama olayındaki hızdan dolayı bazı yeni problemler üretirler. Bu problemleri önlemek için EMI filtre girişi vardır.

1.3 Anahtarlamalı DA Çeviricileri

DA çeviriciler, düzgün olmayan bir DA gerilimden düzgün ortalama bir çıkış gerilimi elde etmek için tasarlanmıştır. Anahtarlamalı DA çeviriciler, bu dönüşümü gerçekleştirmek için kullanılan anahtarlar ve çıkış gerilimindeki dalgalanmayı engellemek için kullanılan bobin (L) ve kondansatör (C) elemanlarından oluşan bir filtreden oluşur. Devredeki anahtarların iletimde ve kesimde olduğu süreler denetlenerek devrenin girişindeki gerilime göre çıkıştaki ortalama gerilim ayarlanır. Şekil 1.2' inceleyerek bu durum daha iyi anlatılmaya çalışmıştır.



Şekil 1.2. Basit bir anahtarlamalı DA çevirici

Şekil 1.2.a'da basit bir anahtarlamalı DA çevirici görülmektedir. V_0 çıkış geriliminin ortalaması olan V_0 geriliminin değeri, t_{on} ve t_{off} sürelerine bağlıdır. Genellikle anahtarlama cihazı olarak BJT, MOSFET veya IGBT kullanılmaktadır. Sabit frekansta, darbe genişlik modülasyonu (PWM-Pulse Width Modulation) anahtarlama

yöntemiyle, anahtar çalışma oranı (D) değiştirilerek ortalama çıkış gerilimi denetlenebilir.

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{T_s - t_{off}}{T_s} \quad (1.1)$$

$$t_{on} = DT_s \quad (1.2)$$

$$t_{off} = (1 - D) \cdot T_s \quad (1.3)$$

Bu bölümde aşağıdaki anahtarlamalı DA çeviriciler incelenecektir.

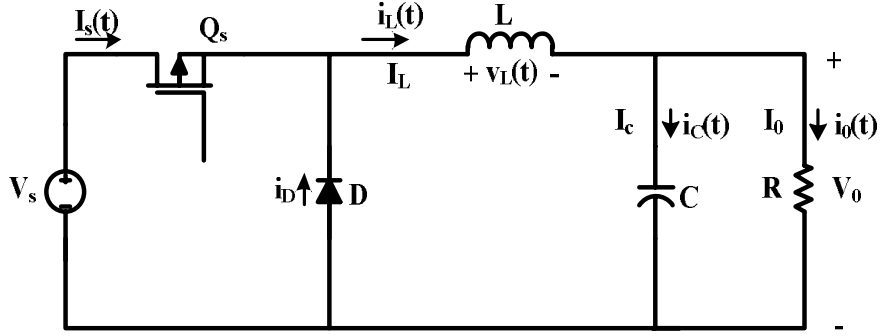
1. Azaltan (Buck) Çevirici
2. Arttıran (Boost) Çevirici
3. Azaltan - Arttıran (Buck - Boost) Çevirici

1.3.1. Azaltan (Buck) Çevirici

Şekil 1.3'de MOSFET kullanılarak oluşturulmuş basit bir azaltan çevirici gösterilmektedir. Bu tip çeviricilerde ortalama çıkış gerilimi, giriş geriliminden daha düşüktür. Daha çok ayarlı güç kaynakları ve DA motor hız denetimde kullanılır. Azaltan çeviriciler bobin üzerinden akan akımın sürekliliğine göre 2 durumda incelenebilir.

- a. Sürekli Akım Durumu
- b. Süreksiz Akım Durumu

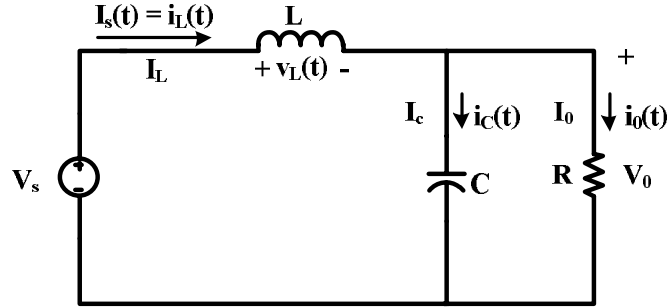
Ancak bu kısımda sadece sürekli akım durumu incelenmektedir.



Şekil 1.3. Azaltan çeviricinin devre şeması

1.3.1.1. Sürekli Akım Durumu

1.3.1.1.1. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) Durumunda



Şekil 1.4. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) durumunda Azaltan çeviricinin eşdeğer devresi

$0 < t \leq t_{on}$ durumunda oluşan devrenin eşdeğeri Şekil 1.4'de gösterilmektedir. Anahtarlama periyodunun başında ($t=0$ anında) anahtarlama elemanı Q_s iletimindedir. Giriş gerilimi V_s , ortalama çıkış gerilimi V_o 'dan büyük olduğu için bu aralık boyunca bobin akımı artar. L elemanı üzerindeki gerilim, içinden geçen akımın artmasıyla ilişkilidir ve şu şekilde gösterilir:

$$v_L(t) = L \frac{di}{dt}, \quad (1.4)$$

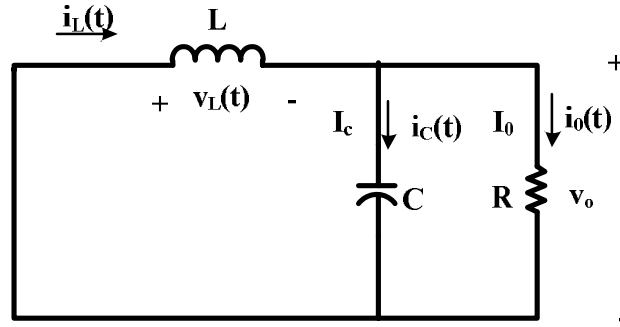
İletim süresi boyunca L elemanı üzerindeki akım doğrusal olarak I_{\min} 'den I_{\max} 'a yükselir. Böylece,

$$V_s - V_0 = L \frac{I_{\max} - I_{\min}}{t_{\text{on}}} = L \frac{\Delta I}{t_{\text{on}}} \quad (1.5)$$

$$t_{\text{on}} = \frac{L \Delta I}{(V_s - V_0)} \quad (1.6)$$

1.3.1.1.2. Kesim ($t_{\text{on}} \leq t < T_s$) durumunda

$t_{\text{on}} \leq t < T_s$ durumunda oluşan devrenin eşdeğeri Şekil 1.5'de gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Kesim ($t_{\text{on}} \leq t < T_s$) durumunda azaltan çeviricinin eşdeğer devresi

Bu durumda anahtarlama elemanı Q_s kesimdedir ve bobin gerilimi $-V_0$ değerindedir.

$$-V_0 = L \frac{I_{\min} - I_{\max}}{t_{\text{off}}} \quad (1.7)$$

$$V_0 = L \frac{\Delta I}{t_{\text{off}}}, \quad (1.8)$$

$$t_{\text{off}} = \frac{L \Delta I}{V_a}, \quad (1.9)$$

Bobin üzerinden akan akımı aniden değiştirmek mümkün değildir ve anahtar kesime girmeden hemen önceki bobin akım değeri I_{max} 'ın devrede varlığı devam etmektedir. t_{off} süresi boyunca, bobin içinde depolanan enerjinin bir kısmının kondansatöre aktarılması bir kısmınınsa yük tarafından harcanması sebebiyle bobin akımı maksimum değerinden minimum değerine düşer.

Bobin üzerinden akan akımın tepeden tepeye değişiminin t_{on} ve t_{off} süreleri boyunca birbirine eşit olduğunu göz önünde bulundurursak,

$$\Delta I = \frac{(V_s - V_0)t_{\text{on}}}{L} = \frac{V_0 t_{\text{off}}}{L}, \quad (1.10)$$

olur.

$t_{\text{on}} = DT_s$ ve $t_{\text{off}} = (1-D)T_s$ denklemleri (1.10) eşitliğinde yerine konursa,

$$(V_s - V_0)DT_s = V_0(1-D)T_s \quad (1.11)$$

Veya

$$V_0 = \frac{V_s DT_s}{T_s} = V_s D \quad (1.12)$$

Eşitlik (1.12)'de görüldüğü gibi, bir azaltan çeviricinin ortalama çıkış gerilimi (V_0), anahtar çalışma oranı (D) ile giriş gerilimi V_s 'nin çarpımına eşittir. Girişteki gerilimde bir dalgalanma ya da çıkıştaki yükte bir değişiklik olması durumunda çıkıştaki ortalama gerilim değerinin sabit olması için D oranı periyodik olarak değiştirilir.

Ayrıca kayıpsız bir devrede giriş gücünün çıkış gücüne eşit olduğunu göz önünde bulundurursak,

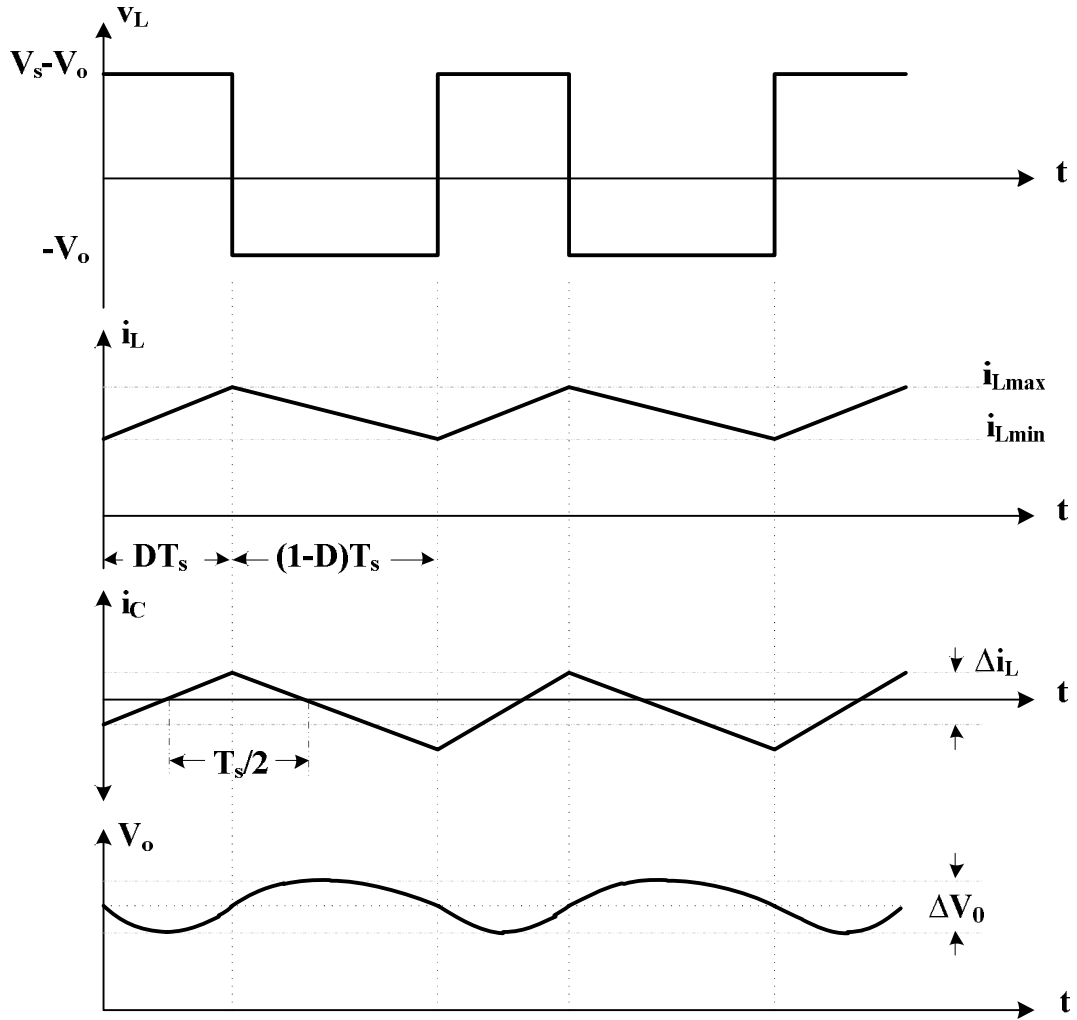
$$P_s = P_o \quad (1.13)$$

$$V_s I_s = V_o I_o, \quad (1.14)$$

ve

$$\frac{V_s}{V_o} = \frac{I_o}{I_s} = \frac{1}{D} \quad (1.15)$$

olur.



Şekil 1.6. Bir azaltan çeviricinin anahtarlama dalga şekilleri

Şekil 1.6’da bir azaltan çeviricinin anahtarlama dalga şekilleri gösterilmiştir ve buradan bobin akımının ortalama değeri kolayca bulunabilir.

$$I_L = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}. \quad (1.16)$$

Kirchoff’un akımlar yasasını kullanarak bir periyot için bobin akımı,

$$i_L = i_c + i_o \quad (1.17)$$

olur. Ancak bir anahtarlama periyodu için kondansatör akımı sıfıra eşit olduğundan (1.14) eşitliğinin ortalaması alınarak,

$$I_L = I_o \quad (1.18)$$

eşitliği elde edilir. I_o gerilimi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir,

$$I_o = \frac{V_o}{R} \quad (1.19)$$

Bu durumda eşitlik (1.16), (1.18) ve (1.19) kullanılarak

$$I_{\max} + I_{\min} = 2I_o = 2 \frac{V_o}{R} \quad (1.20)$$

elde edilir.

Eşitlik (1.10) ve (1.20)’nin birlikte çözülmesiyle I_{\max} ve I_{\min} ’in çözümleri elde edilir.

$$I_{\max} = (DV_s) \left[\frac{1}{R} + \frac{T_s(1-D)}{2L} \right] \quad (1.21)$$

$$I_{\min} = (DV_s) \left[\frac{1}{R} - \frac{T_s(1-D)}{2L} \right] \quad (1.22)$$

Sürekli durumda sürekli bobin akımını sağlayan minimum indüktans değeri I_{\min} 'in sifıra eşitlenmesiyle,

$$L_{\min} = \left(\frac{T_s R}{2} \right) (1-D) \quad (1.23)$$

olarak bulunur.

1.3.1.2 . Kondansatör Gerilimindeki Dalgalık

Devre incelenirken çıkış filtresindeki kapasitenin çok büyük olduğu ve çıkışta sabit bir gerilim elde edildiği varsayılmıştır. Ancak çıkıştaki gerilimde de küçük bir dalgalanma olmasına izin verilir ve bu durum daha önce ifade ettiğimiz eşitliklerin kullanılması konusunda herhangi bir sorun çıkarmaz.

Şekil 1.6'te kondansatör akımının dalga şekli verilmiştir. Bu şekil üzerinde bir periyotta zaman çizgisinin üst bölgesinde kalan alan, yarım dalgada kondansatöre eklenen yükü göstermektedir.

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left[\frac{I_{\max} - I_{\min}}{2} \right] \frac{T_s}{2}. \quad (1.24)$$

Kondansatör geriliminde oluşan dalgalılığın tepeden tepeye değeri,

$$\Delta V_c = \Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{(I_{\max} - I_{\min}) T_s}{8C}, \quad (1.25)$$

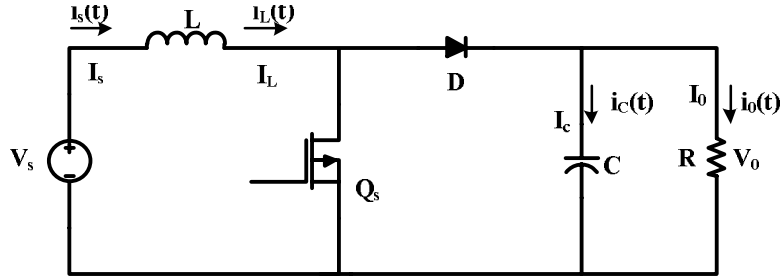
olur.

1.3.2. Arttıran (Boost) Çevirici

Arttıran çeviricilerde, devrenin giriş geriliminden daha yüksek değerde bir ortalama çıkış gerilimi elde edilebilmektedir. Şekil 1.7’de MOSFET kullanılarak tasarlanmış bir arttıran çevirici gösterilmektedir. Arttıran çeviriciler de bobin üzerinden akan akımın sürekliliğine göre 2 durumda incelenebilir.

- Sürekli Akım Durumu
- Süreksiz Akım Durumu

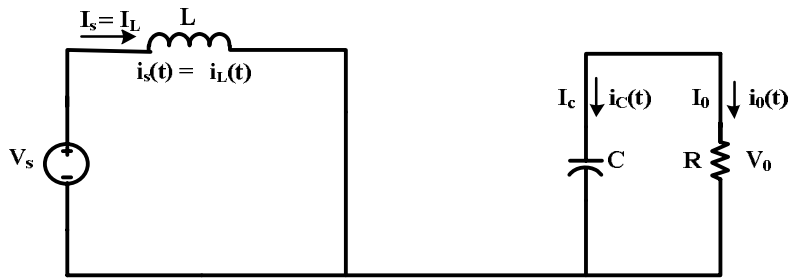
Ancak bu kısımda sadece sürekli akım durumu incelenmektedir.



Şekil 1.7. Arttıran çeviricinin devre şeması

1.3.2.1. Sürekli Akım Durumu

1.3.2.1.1. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) Durumunda



Şekil 1.8. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) durumunda arttıran çeviricinin eşdeğer devresi

İletim süresi anahtarın ilettime geçtiği $t=0$ anında başlar ve $t=t_{on}$ anında biter. Şekil 1.7’de $0 < t \leq t_{on}$ durumunda oluşan devrenin eşdeğeri gösterilmektedir. Bu

durumda Q_s anahtarı üzerine düşen gerilim çıkış geriliminden daha küçük olduğu için diyot ters kutuplanmıştır. t_{on} süresi boyunca bobin akımı doğrusal olarak minimum değerinden maksimum değerine çıkar:

$$V_s = L \frac{I_{max} - I_{min}}{t_{on}} = L \frac{\Delta I}{t_{on}} \quad (1.26)$$

t_{on} süresi şu şekilde tanımlanır,

$$t_{on} = \frac{L \Delta I}{V_s} \quad (1.27)$$

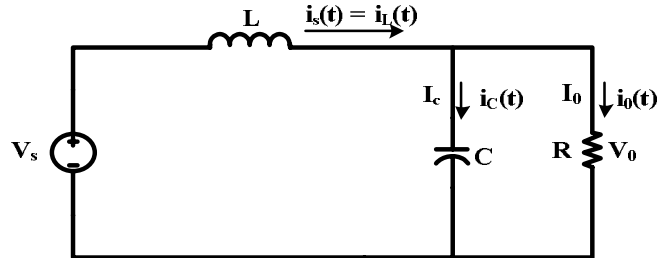
Bobin içinde depo edilen enerji,

$$E = \frac{1}{2} L (\Delta I)^2 = \frac{1}{2L} V_s^2 t_{on}^2 \quad (1.28)$$

t_{on} süresi boyunca çıkış akımı tümüyle, çıkıştaki yükü bu süre boyunca besleyebilecek kadar büyük seçilmiş olan, kondansatörden sağlanır.

1.3.2.1.2. Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) Durumunda

$t=t_{on}$ anında anahtar kesime gider ve bu durum $t=T_s$ anına kadar devam eder. Şekil 1.9'da $t_{on} \leq t < T_s$ durumunda oluşan devrenin eşdeğeri gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) durumunda arttıran çeviricinin eşdeğer devresi

Daha önce anahtar üzerinden devreyi tamamlayan akım artık bobin, kondansatör, diyot ve yük üzerinden akmaya başlayacaktır. Bobin içinde depo edilmiş olan enerji kondansatörü şarj etmeye başlar. Böylece devrenin çıkışına hem girişten hem de bobinden enerji uygulanmış olur. Bu sayede giriş geriliminden daha yüksek bir ortalama çıkış gerilimi elde edilir. Bu durum Q_s anahtarının tekrar ilettime geçtiği ana kadar devam eder. Bu süreçte bobin üzerinden akan akım doğrusal olarak maksimum değerinden minimum değerine düşer. Böylece bobin gerilimi:

$$V_s - V_0 = L \frac{I_{\min} - I_{\max}}{t_{\text{off}}} \quad (1.29)$$

veya

$$V_0 - V_s = L \frac{\Delta I}{t_{\text{off}}} \quad (1.30)$$

t_{off} süresi şu şekilde tanımlanır,

$$t_{\text{off}} = \frac{L \Delta I}{V_0 - V_s} \quad (1.31)$$

Bobin üzerinden akan akımın tepeden tepeye değişiminin t_{on} ve t_{off} süreleri boyunca birbirine eşit olduğunu göz önünde bulundurursak,

$$\Delta I = \frac{V_s t_{\text{on}}}{L} = \frac{(V_0 - V_s) t_{\text{off}}}{L} \quad (1.32)$$

$t_{\text{on}} = DT_s$ ve $t_{\text{off}} = (1-D)T_s$ denklemleri (1.32) eşitliğinde yerine konursa,

$$V_s DT_s = (V_0 - V_s)(1-D)T_s \quad (1.33)$$

Eşitlik (1.33)'ü düzenlersek,

$$V_s = V_0(1-D) \quad (1.34)$$

Arttıran çeviricinin ortalama çıkış gerilimi,

$$V_0 = \frac{V_s}{(1-D)} \quad (1.35)$$

Görüldüğü gibi, arttıran çeviricinin ortalama gerilimi (1-D) süresiyle ters orantılıdır. Ayrıca D anahtar çalışma oranı 1'e eşit olamaz çünkü D'nin 1 olması demek çıkışa herhangi bir enerji transferinin olmaması demektir.

Kayıpsız bir devrede giriş gücü çıkış gücüne eşittir. Bu yüzden,

$$P_s = P_0 \quad (1.36)$$

$$V_s I_s = V_0 I_0 \quad (1.37)$$

$$\frac{V_s}{V_0} = \frac{I_0}{I_s} = 1-D \quad (1.38)$$

Devrenin girişindeki güç çıkışındaki güce eşit ($P_s = P_a$) olduğundan,

$$P_s = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2} V_s \quad (1.39)$$

$$P_0 = \frac{V_0^2}{R} \quad (1.40)$$

Eşitlik (1.39) ve (1.40) birbirine eşitlenirse,

$$I_{\max} + I_{\min} = \frac{2V_s}{R(1-D)^2} \quad (1.41)$$

elde edilir.

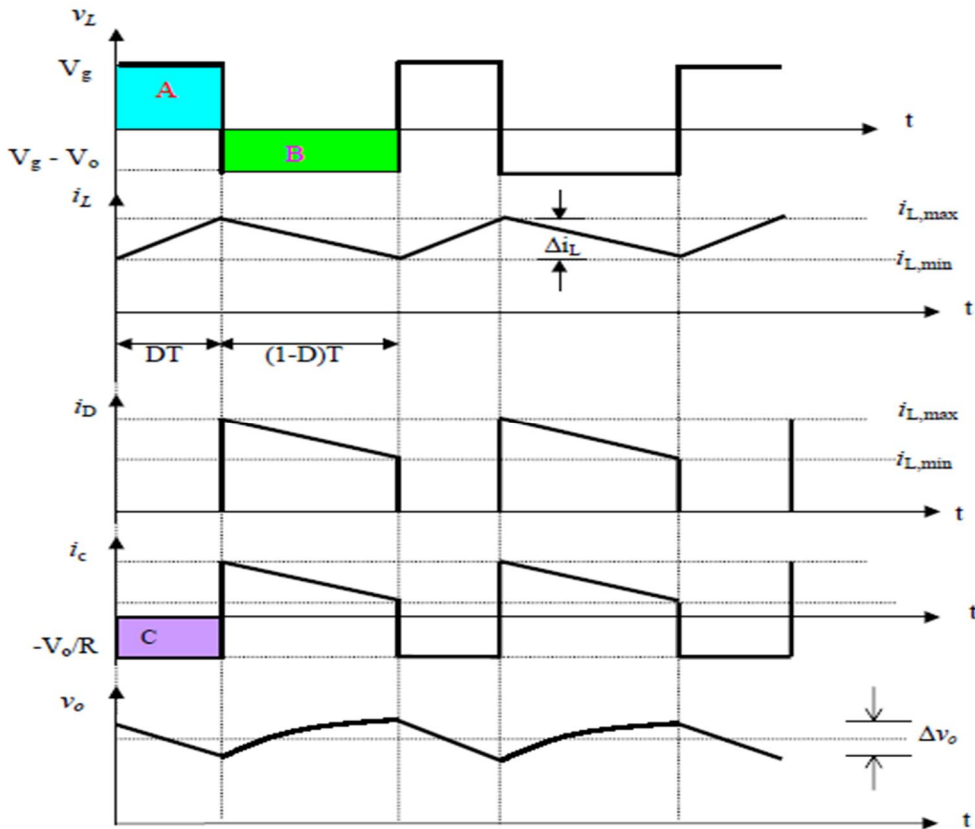
(1.32) ve (1.41) eşitlikleri birlikte çözümlerse,

$$I_{\min} = \frac{V_s}{R(1-D)^2} - \frac{V_s}{2L}(DT_s) \quad (1.42)$$

$$I_{\max} = \frac{V_s}{R(1-D)^2} + \frac{V_s}{2L}(DT_s) \quad (1.43)$$

Sürekli durumda sürekli bobin akımını sağlayan minimum endüktans değeri I_{\min} 'in sıfıra eşitlenmesiyle,

$$L_{\min} = \left(\frac{T_s R}{2}\right)(1-D)^2 D \quad (1.44)$$



Şekil 1.10. Bir arttıran çeviricinin anahtarlama dalga şekilleri

1.3.2.2. Kondansatör Gerilimindeki Dalgallık

Şekil 1.10'da kondansatör akımının dalga şekli verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi anahtar kapalı iken yük akımı sabit değerdedir. Şekil 1.10'da gösterilen kondansatör akımı grafiğindeki taralı alan, kondansatörden alınan yükü göstermektedir:

$$\Delta Q = \left(\frac{V_0}{R}\right)(DT_s) \quad (1.45)$$

Bu yükün kapasiteye oranı ise çıkış gerilimindeki dalgallık miktarını verir:

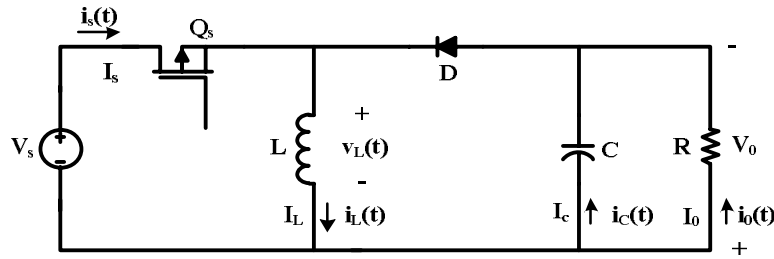
$$\Delta V_c = \Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{V_0}{R} \frac{DT_s}{C} \quad (1.46)$$

1.3.3. Azaltan-Arttıran (Buck-Boost) Çevirici

Azaltan-Arttıran çeviriciler, azaltan çevirici ve arttıran çeviricinin kaskat bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Giriş geriliminin tersine kutuplanmış bir ortalama çıkış gerilimi elde edilir. Ancak bu gerilimin değeri giriş geriliminden daha düşük veya daha yüksek olabilir. Şekil 1.11'da MOSFET kullanılarak tasarlanmış bir azaltan-arttıran çevirici gösterilmektedir. Azaltan-arttıran çeviriciler de bobin üzerinden akan akımın sürekliliğine göre iki durumda incelenebilir:

- Sürekli Akım Durumu
- Süreksiz Akım Durumu

Ancak bu kısımda sadece sürekli akım durumu incelenmektedir.

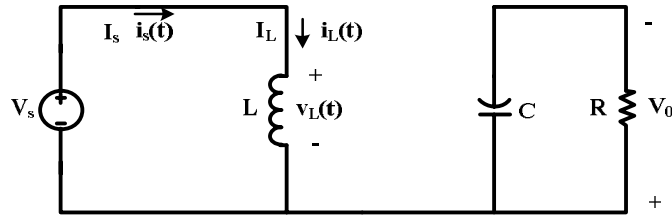


Şekil 1.11. Azaltan-arttıran çeviricinin devre şeması

1.3.3.1. Sürekli Akım Durumu

1.3.3.1.1. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) Durumunda

İletim süresi anahtarın ilettime geçtiği $t=0$ anında başlar ve $t=t_{on}$ anında biter. Şekil1.11’de $0 < t \leq t_{on}$ durumunda oluşan devrenin eşdeğeri gösterilmektedir. Bu durumda diyot ters kutuplanmıştır. t_{on} süresi boyunca bobin akımı doğrusal olarak minimum değerinden maksimum değerine çıkar:



Şekil 1.12. İletim ($0 < t \leq t_{on}$) durumunda azaltan-arttıran çeviricinin eşdeğer devresi

$$V_s = L \frac{I_{max} - I_{min}}{t_{on}} = L \frac{\Delta I}{t_{on}} \quad (1.47)$$

t_{on} süresi şu şekilde tanımlanır,

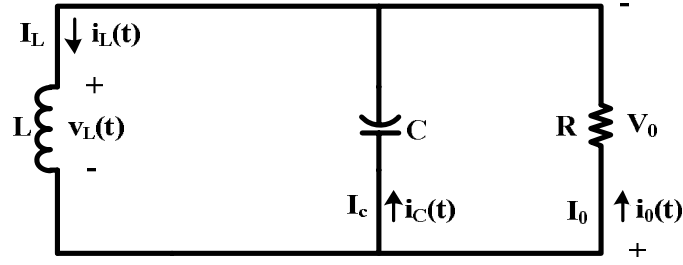
$$t_{on} = \frac{L \Delta I}{V_s} \quad (1.48)$$

Bobin içinde depo edilen enerji,

$$E = \frac{1}{2} L (\Delta I)^2 = \frac{1}{2L} V_s^2 t_{on}^2 \quad (1.49)$$

1.3.3.1.2. Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) Durumunda

$t=t_{on}$ anında anahtar kesime gider ve bu durum $t=T_s$ anına kadar devam eder. Şekil 1.13'de $t_{on} \leq t < T_s$ durumunda oluşan devrenin eşdeğeri gösterilmektedir.



Şekil1.13. Kesim ($t_{on} \leq t < T_s$) durumunda azaltan-arttıran çeviricinin eşdeğer devresi

Kesim durumuna geçildiğinde diyot doğru kutuplanır ve akım artık bobin, kondansatör, diyot ve yük üzerinden akmaya başlar. Bobin içinde depo edilmiş olan enerji yüke transfer edilir ve anahtar tekrardan kapalı konuma gelene kadar, yani t_{off} süresince, bobin akımı maksimum değerinden minimum değerine düşer.

$$V_0 = -L \frac{\Delta I}{t_{off}} \quad (1.50)$$

t_{off} süresi şu şekilde tanımlanır,

$$t_{off} = -\frac{L \Delta I}{V_0} \quad (1.51)$$

Bobin üzerinden akan akımın tepeden tepeye değişiminin t_{on} ve t_{off} süreleri boyunca birbirine eşit olduğunu göz önünde bulundurursak,

$$\Delta I = \frac{V_s t_{on}}{L} = -\frac{V_0 t_{off}}{L} \quad (1.52)$$

Eşitlik (1.52)'i düzenlersek,

$$V_s t_{\text{on}} = -V_0 t_{\text{off}} \quad (1.53)$$

$t_{\text{on}} = DT_s$ ve $t_{\text{off}} = (1-D)T_s$ denklemleri (1.53) eşitliğinde yerine konursa,

$$V_s DT_s = -V_0 (1-D) T_s \quad (1.54)$$

Böylece ortalama çıkış gerilimi,

$$V_0 = -\frac{V_s D}{1-D} \quad (1.55)$$

Görüldüğü gibi ortalama çıkış gerilimi V_a , giriş gerilimi V_s ile ters kutupludur. Paydaki D değeri azaltan çeviriciden paydadaki $(1-D)$ değeri ise arttıran çeviriciden gelmektedir. Ayrıca açıkça görülmektedir ki $D < 0,5$ değerleri için çıkış gerilimi giriş geriliminden daha küçük, $D > 0,5$ değerleri için ise çıkış gerilimi giriş geriliminden daha büyüktür.

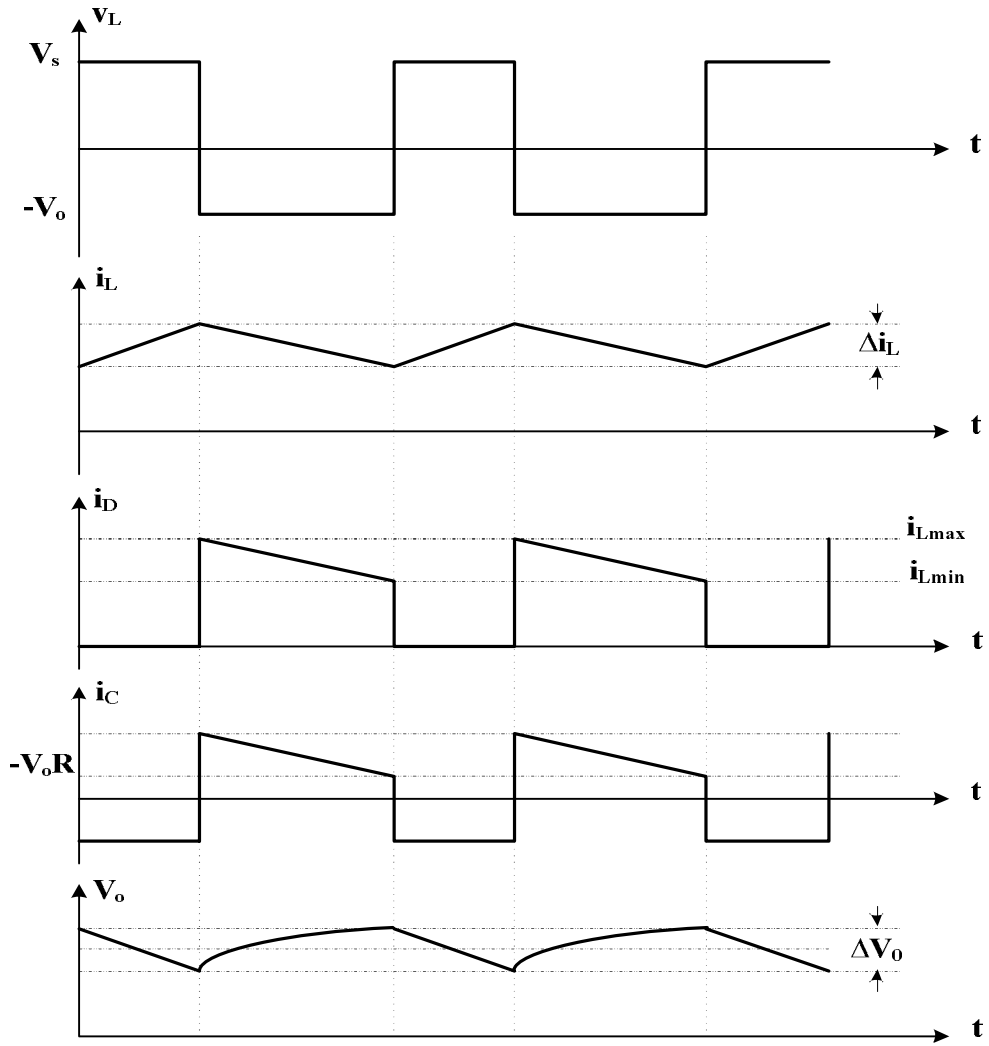
Kayıpsız bir devrede giriş gücü çıkış gücüne eşittir. Bu yüzden,

$$P_s = P_0 \quad (1.56)$$

$$V_s I_s = V_0 I_0 \quad (1.57)$$

Ve

$$\frac{V_s}{V_0} = \frac{I_0}{I_s} = -\frac{1-D}{D} \quad (1.58)$$



Şekil 1.14. Bir azaltan-arttıran çeviricinin anahtarlama dalga şekilleri

Ortalama anahtar akımı,

$$I_{s_{ort}} = \left(\frac{I_{max} + I_{min}}{2} \right) D \quad (1.59)$$

Ortalama giriş gücü,

$$P_s = \left(\frac{I_{min} + I_{max}}{2} \right) D V_s \quad (1.60)$$

Ortalama giriş gücünün ortalama çıkış gücüne eşitlenmesiyle,

$$I_{\min} + I_{\max} = \frac{2DV_s}{R(1-D)^2} \quad (1.61)$$

elde edilir.

(1.52) ve (1.61) eşitliklerinin birlikte çözülmesiyle,

$$I_{\min} = \frac{DV_s}{R(1-D)^2} - \frac{V_s DT_s}{2L} \quad (1.62)$$

$$I_{\max} = \frac{DV_s}{R(1-D)^2} + \frac{V_s DT_s}{2L} \quad (1.63)$$

olur.

Sürekli durumda sürekli bobin akımını sağlayan minimum indüktans değeri I_{\min} 'in sıfıra eşitlenmesiyle,

$$L_{\min} = \left(\frac{T_s R}{2}\right)(1-D)^2 \quad (1.64)$$

1.3.3.2. Kondansatör Gerilimindeki Dalgalık

Şekil 1.14'te kondansatör akımının dalga şekli verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi indüktans yeteri kadar büyükse anahtar kapalı iken yük akımı negatiftir. Şekil 1.14'te gösterilen kondansatör akımı grafiğindeki taralı alan, kondansatörden alınan yükü göstermektedir:

$$\Delta Q = \left(\frac{V_0}{R}\right)(DT_s) \quad (1.65)$$

Bu yükün kapasiteye oranı ise çıkış gerilimindeki dalgalık miktarını verir:

$$\Delta V_c = \Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{V_0}{R} \frac{DT_s}{C} \quad (1.66)$$

1.4. Kontrol Sistemleri

Bilim ve teknoloji ilerledikçe insan gücünün üretimdeki payı azalmakta, makine ile üretimde yaygınlaşmaktadır. Başlangıçta bu makineler insanlar tarafından denetlense de artık günümüzde makinelerin kullanımı da yine insan denetimi yerine başka makineler veya teçhizatlar yardımıyla yapılmaya çalışılmaktadır. Fabrikalardaki birçok makina artık bilgisayar ile programlanabilir kontrolörler kullanılmaktadır. Bu programlanabilir PLC, PIC, MSP ve DSP gibi sistemlerdir. Bir robot kolundaki step motorun veya hidrolik bir sistemdeki valfin kontrolü bu sistemler tarafından yapılmaktadır.

1.4.3. Açık Çevrimli Sistem

Açık çevrim kontrol sisteminde giriş bağımsız bir değişkendir. Çıkışın, giriş üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Çıkış, sadece girişin bir fonksiyonudur. Dimmer lamba kontrol devresi açık çevrim kontrol sistemine bir örnek olabilir. Lambanın ışık şiddeti lamba uçlarına uygulanan gerilimle orantılıdır. Çıkışınsa girişe her hangi bir etkisi yoktur. Şekil 1.15'te açık çevrimli bir sistemin blok şeması görülmektedir

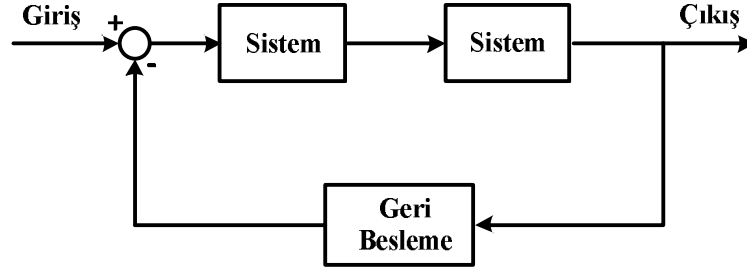


Şekil 1.15. Açık çevrimli kontrol sistemi

İşletmelerde açısından kuruluşu ucuz bir kontrol yöntemi olduğu ve fazla bilgi gerektirmediği için tercih edilebilir. Ancak işletilmesi her zaman ucuz değildir. Çünkü zamanla ihtiyaçları karşılamadığı ve verimliliği düşük olduğu düşünülürse, ilk kuruluş masrafının ucuz olmasının hiçbir anlamı kalmaz.

1.4.4. Kapalı Çevrimli Sistem

Bu tip kontrol sisteminde çıkış, yalnızca girişin bir fonksiyonu değildir. Çıkıştan alınan bir geri besleme ile giriş her zaman kontrol altına alınır. Çıkış, giriş ile geri beslemenin toplamının bir fonksiyonudur. Başka bir deyişle bu tip sistemlerde çıkış girişi denetlemektedir, geri besleme işlemi vardır.



Şekil 1.16. Kapalı çevrimli kontrol sistemi

Elektrikli bir arabaya kontrol sistemi düzenlenecek olursa; arabanın düz bir yolda hızının sabit olduğu varsayılın. Bu aracın rampayı çıkarken de aynı hızda yolunu devam etmesi için moment arttırılması gerekmektedir. Bunun içinde çıkıştan bir geri besleme alarak, girişle karşılaştırılarak bir kontrolör tasarlanır. Bu tip kontrol sistemlerine de kapalı çevrim kontrol sistemi denir.

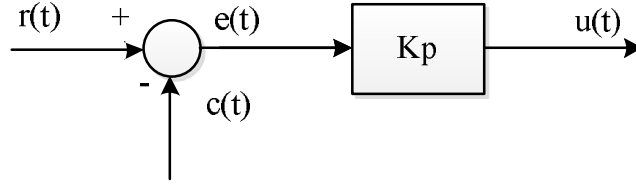
1.4.2.1. Geleneksel Denetim Sistemleri

1.4.2.1.1. P Etkili Denetim

Endüstride en çok kullanılan denetim organlarından birisi olan P (oransal) denetim çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranıdır. Bir başka deyişle, oluşan hata sinyalinin sabit bir sayısal değerle oranlanmasıdır. P etkili denetimde giriş ve çıkış arasındaki bağıntı 1.67'deki şekilde ifade edilir.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (1.67)$$

Burada $u(t)$ denetim çıkışı, $e(t)$ hata giriş sinyali ve K_p oransal kazanç olarak ifade edilir. Orantı denetimde herhangi bir anda çıkış işareti $u(t)$ hatanın büyüklüğüne bağlıdır ve o anda hata $e(t)$ ne kadar büyük olursa denetim sinyali $u(t)$ o oranda büyük olur. Hata çok küçük olduğunda ise denetim organı yeteri kadar etkili düzeltici sinyal üretmez. Bu nedenle orantı etki ile çalışan sistemler kalıcı durum hatası verirler. Kazanç katsayısı K_p yi artırmak sureti ile kalıcı durum hatasını azaltmak mümkündür. Şekil 1.17'de oransal denetimle bir sistemin blok diyagramı gösterilmektedir [12].



Şekil 1.17. P (Oransal) denetim blok diyagramı

1.4.2.1.2. PI Etkili Denetim

Bu denetim organı oransal ve integral denetim etkilerinin birleştirilmesinden meydana gelmektedir. Orantı etkiye integral etki ilavesi orantı etkinin tek başına kullanılması halinde sistemde ortaya çıkan kalıcı durum hatasını ortadan kaldırır. İntegrasyon işlemi kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmakla beraber aynı bağıl kararlılık koşullarında sistemin cevap hızını azaltır. İntegral etki kazancını artırmak sureti ile cevap hızı artmakla beraber kazanç değerinin çok fazla artırılması sistemi kararsızlığa sürükleyebilmektedir [13, 14]. İntegral denetimi aşağıdaki gibi

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t)dt \quad \text{veya} \quad u(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt \quad (1.68)$$

ifade edilebilir. Bu ifade de denetim organı çıkışı $u(t)$, hata $e(t)$ 'nin zamana bağlı olarak integralidir. Burada K_i integral etki kazancı, T_i integral zaman sabiti adını alır. İntegral etkinin çıkışı geçmişte meydana gelen hatanın birikimi ile orantılıdır ve herhangi bir anda hata büyük olursa büyük bir düzenleme etkisi sağlanır. İntegral etki aynı zamanda

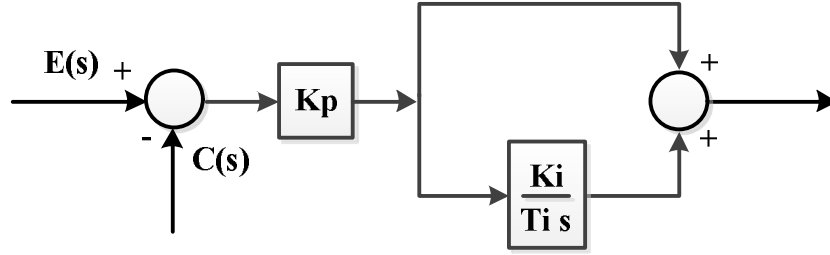
yeniden ayar adını da alır. İntegral zaman sabitinin tersi yeniden ayar oranı, $K_i=1/T_i$ olarak bilinir. Buna göre denetim organı çıkışını yeniden düzenlemek gerekirse

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (1.69)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada $K_p/K_i \cdot T_i$ integral etki zamanıdır. PI denetiminin transfer fonksiyonu

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{K_i}{T_i s} \right) \quad (1.70)$$

Transfer fonksiyonuna bakılarak PI denetim organının blok diyagramı Şekil 1.18'de oluşturulmaktadır.



Şekil 1.18. PI denetim blok diyagramı

1.4.2.1.3. PID Etkili Denetim

PID denetim organı; orantı (P), integral (I) ve türev (D) olmak üzere üç temel denetim organını tek bir birim içerisinde birleştiren denetim kontrol sistemidir. PID denetim organındaki integral etki genellikle sistem kalıcı hatalarının ortadan kaldırılması için kullanılır. Türev etki ise hatanın büyümesini önceden kestirmesi ve büyük bir hata ortaya çıkmadan bir düzeltme etkisi sağlamasıdır.

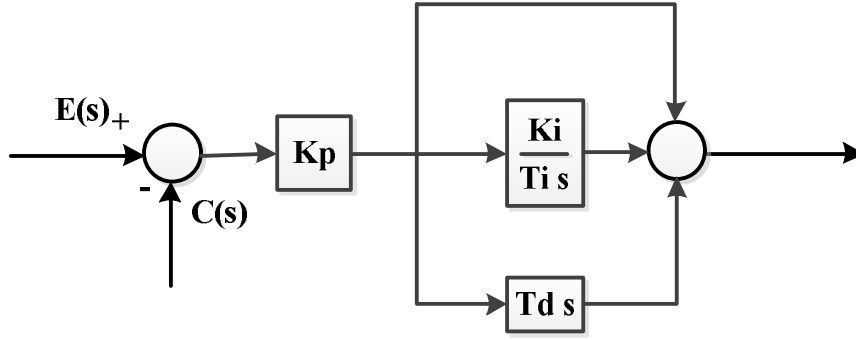
PID denetim organında K_p oransal kazancı, K_i integral kazancı ve K_d türevsel kazanç katsayıları vardır. Oransal denetleyicilerin (K_p), yükselme zamanını azaltmada etkisi vardır ve azaltır, ama asla tamamen yok etmez (kararlı hal hatası). İntegral

denetleyicinin (K_i) karalı hal hatasının çıkarılmasında etkisi vardır ancak bu geçici tepkinin daha kötü olmasına sebep olabilir. Türevsel denetleyicinin (K_d) sistemin kararlılığının artmasında etkisi vardır, aşımı azaltır ve geçici tepkiyi düzeltir [13]. Kapalı döngülü bir sistemde, her bir denetleyicinin etkisi K_p , K_d ve K_i bağıntı 1.72’de görülmektedir.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (1.72)$$

şeklinde ifade edilir ve buradan şu transfer fonksiyonu elde edilir.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{K_i}{T_i s} + T_d s \right) \quad (1.73)$$



Şekil 1.19. PID denetim blok diyagramı

1.4.2.2. Bulanık Mantık Denetimi

Bulanık mantık, insan davranışlarına benzer bir şekilde mantıksal uygulamalarla, bilgisayarlara yardım eden bir bilgisayar mantık devrimidir. Bulanık mantığın endüstride kullanımı verimliliği artırır, daha uygun üretim sağlar, zamanın çok önemli olduğu günümüzde zamandan tasarruf ve ekonomik açıdan fayda getirir. Birçok uygulama alanından biri olan kontrol mühendisliğinde, bulanık mantık kullanılarak tasarlanan denetleyiciler, genellikle matematik modelleri zor türetilen ya da bilinen yöntemlerle denetlendiğinde verimli sonuç alınamayan sistemlerde kullanılır. Bulanık mantık kavramını basit bir şekilde anlamak için, ‘biraz sıcak’, ‘hemen hemen doğru’,

'çok hızlı' vs. cümlelerine bakılacak olursa, bu cümlelerin matematiksel açıdan bir durum ifade etmemelerine karşın, bir problemi çözme açısından günlük hayatta kullanılan ve sıkça karşılaşılan örnekler olduğu görülür. Bulanık mantık bir insanın anlayabileceği ve çözüme ulaştırabileceği şekilde sistemlerin ya da cihazların çalışmasına izin verir. Kelime anlamı olarak, belirsiz bir durum içeriyor gibi gözükse de, matematiksel uygulamalarda oldukça kullanışlı olmaktadır [16]. Bulanık mantığın başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

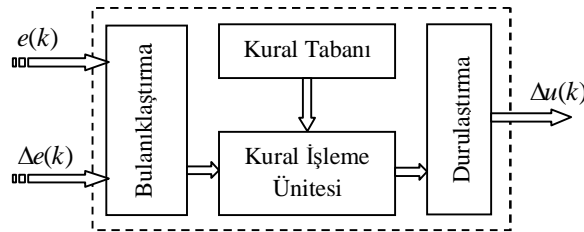
- "doğru" , "çok doğru" , "az çok doğru" vb. gibi sözel olarak ifade edilen (linguistik-dilsel-değişkenli) doğruluk derecelerine sahip olması,
- Geçerliliği kesin değil fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip olması,
- Her kavramın bir derecesi olması,
- Her mantıksal sistemin bulanıklaştırılabilmesi,
- Bulanık mantıkta bilginin, bulanık kısıtlara ait değişkenlerin esnekliği veya denkliliğiyle yorumlanması

1.4.2.2.1. Bulanık Mantık Denetleyici

Bir bulanık mantık işlem sürecinin elemanlarını ve aşamalarını şöyle gösterebiliriz:

- Bulanıklaştırma işlemi,
- Kural işleme ünitesi,
- Durulaştırma işlemi,

Aşağıdaki şekilde genel bir bulanık mantık sistemi görülmektedir.



Şekil 1.20. Bulanık mantık sistemi

Bu akış düzeninde, bulanıklaştırıcı birim, bulanık işlem sisteminin ilk birimi olarak devreye girmektedir. Kesin veya geri besleme sonuçları biçiminde bu birime

giren bilgiler, burada bir ölçek değişikliğine uğrayarak bulanıklaştırılmaktadır. Başka bir deyişle; bu bilgilerin her birine bir üyelik değeri atanıp, dilsel bir yapıya dönüştürülerek, buradan kural işleme birimine gönderilir. Kural işleme birimine gelen bilgiler, kural işleme biriminde depolanmış bir şekilde bulunan bilgi tabanına dayalı “if ... and ... then ... else” (eğer ... ise, ... olsun) gibi kural işleme bilgileri ile birleştirilir. Burada sözü edilen mantıksal önermeler, problemin yapısına göre sayısal değerlerle de kurulabilmektedir. Son adımda; problemin yapısına uygun mantıksal karar önermeleri kullanılarak elde edilen sonuçlar durulaştırıcı birime gönderilir. Durulaştırıcı birime gönderilen bulanık küme ilişkilerinde, bir ölçek değişikliği daha gerçekleştirilerek bulanık haldeki bilgilerin her biri gerçel sayılara dönüştürülür [17][18].

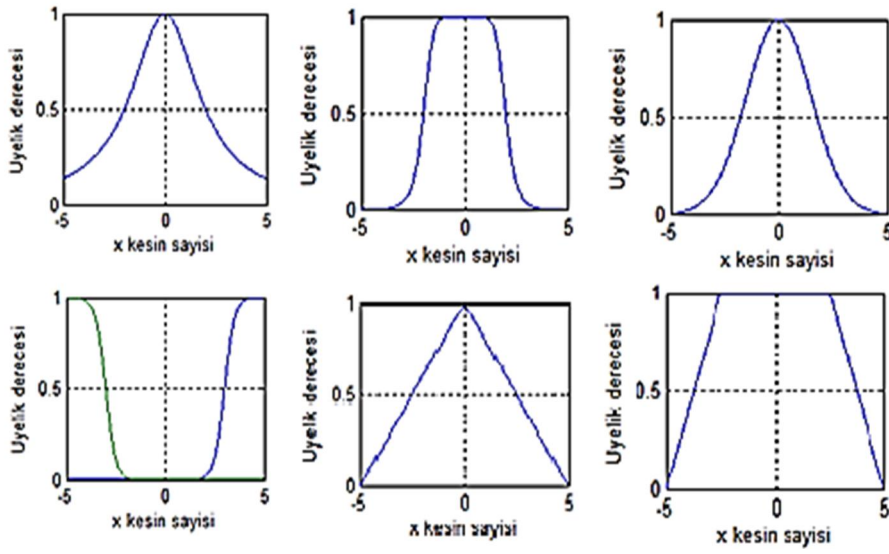
1.4.2.2.2. Bulanıklaştırma ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık mantık, *sayıların komşuluğu* felsefesine dayanır. Karar sürecinde bir durum bir sayıyla ifade ediliyorsa, söz konusu durumun kabul edilirliliği o sayının gerçekleşmesinde sağlanacaktır. Ancak söz konusu sayıya yakın sayılar karar sürecinin bir parçası olarak algılanmayacaktır. Oysa belirli bir güven katsayısında bu sayıların farklı popülasyonların üyeleri olduğunu öne sürmek de istatistiksel açıdan yanlış olacaktır. Örneğin bir tezgâhta işlenen bir parçanın sıcaklığının 39^0 C ye ulaşması, tezgâhın bakım sürecini başlatan bir durumsa belki de sıcaklığın 36^0 C ye ulaşması da aynı bakım sürecinin başlaması için bir ön şart olarak kabul edilebilir. Bu durumda aynı temel amaca hizmet eden sayıların komşuluğundan söz etmek mümkündür.

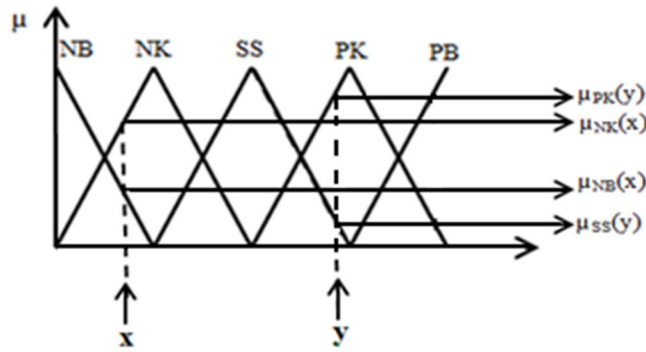
Eğer $A \in R \in (-\infty, +\infty)$ ’ da, söz konusu kümenin bir elemanı ise $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu $R \rightarrow [0,1]$ aralığında oluşur. Diğer bir deyişle A kümesi $A = [a_1, a_3]$ aralığında ise genel olarak $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu bağıntı 1.73 ‘te gösterilebilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (1.73)$$

Çeşitli üyelik fonksiyonu şekilleri Şekil 1.21’de gösterilmiştir. İki kullanıcı için üyelik fonksiyonları aynı problem için farklı olabilir. Çoğu kontrol sistemlerinde bulanık mantık kontrolü giriş değişkenleri hata sinyalleri ve hata sinyallerinin türevleri veya onların entegralleridir. Değişkenler; Negatif Büyük (NB), Negatif Küçük (NK), Sıfır (SS), Pozitif Küçük (PK), Pozitif Büyük (PB) şeklinde olabilir. Değişkenlerin oluşturduğu üçgen üyelik fonksiyonları kümesi ve bulanıklaştırma işleminin yapılışı Şekil 1.21’de gösterilmiştir.



Şekil 1.21. Çeşitli üyelik fonksiyonları



Şekil 1.22. Üçgen üyelik fonksiyonları kümesi ve bulanıklaştırma işleminin yapılışı

Bulanıklaştırıcıya gelen x ve y kesin değerlerinin burada tanımlı Negatif Büyük (NB), Negatif Küçük (NK), Sıfır (SS), Pozitif Küçük (PK) ve Pozitif Büyük (PB) bulanık kümelerinde bir üyeliğe sahip olup olmadıkları araştırılır. Eğer bir üyeliğe sahipse bu üyelik değerler elde edilir. Şekil 1.22.'de x girişinin NB ve NK bulanık kümelerinde, y girişinin ise PB ve PK bulanık kümelerinde üyeliğe sahip oldukları görülür. Dolayısıyla x girişinin NB ve NK'deki üyelikleri sırasıyla $\mu_{NB}(x)$ ve $\mu_{NK}(x)$ olarak, y girişinin SS ve PK'daki üyelikleri de sırasıyla $\mu_{SS}(y)$ ve $\mu_{PK}(y)$ olarak belirlenip, x ve y 'nin bulanık değerleri olarak bulanık kural işleme ünitesine gönderilirler.

1.4.2.2.3. Kural İşleme Ünitesi

Bulanıklaştırıcıdan gelen üyelik fonksiyonları burada depolanmış halde bulunan kural tabanına dayalı bilgi kümeleri ile birlikte kullanılarak bulanık bir sonuç elde edilir. Kullanılan kural tabanı denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir. Bir bulanık kural,

if then else

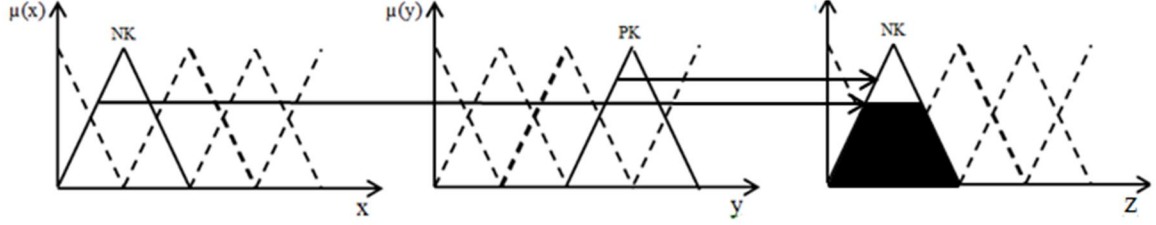
şeklinde (örneğin; X değeri A ise, Y değeri B olsun) sözel girdi ve çıktı terimlerine sahip olmalıdır. 'eğer...' bölümüne durum; '... olsun' bölümüne ise sonuç yada karar kısmı adı verilir. Birden fazla bulanık girdinin işin içine girmesi durumunda, bu fonksiyonlardan iki farklı yöntem ile çıkış fonksiyon grafiği elde edilebilir. Metotların adları ise şunlardır:

- a. Kesme Metodu (Truncation Method)
- b. Ölçekleme Metodu (Scaling Method)

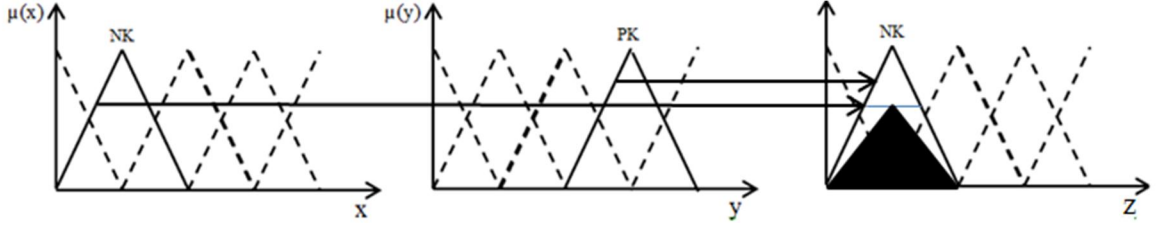
Örnek olarak Şekil 3'deki iki giriş parametrelerine karşılık gelen kurallarımızı belirleyelim.

1. Kural: if (x is NK) and (y is PK) then (z is NK) else
2. Kural: if (x is NK) and (y is SS) then (z is SS) else
3. Kural: if (x is NB) and (y is PK) then (z is PK) else
4. Kural: if (x is NB) and (y is SS) then (z is PB)

Bu kurallardan sadece 1. Kural ele alınarak yukarıda tanımlanan metotlarla kural işleme sonunda bulanık sonuca nasıl varıldığını Şekil 1.23. ve Şekil 1.24. üzerinden görülebilir.



Şekil 1.23. Kesme metodu ile kuralın işlenmesi



Şekil 1.24. Ölçekleme metodu ile kuralın işlenmesi

1.4.2.2.4. Durulaştırma

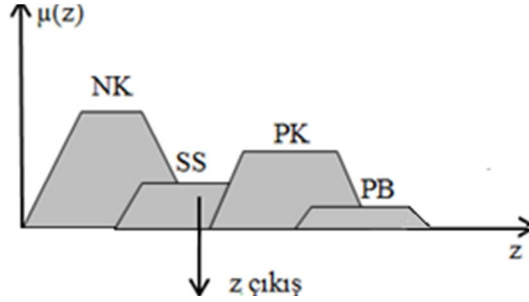
Bulanık işlemcinin son elemanı olarak devreye girer. Bulanık kural işleme ünitesinde elde edilen kural sonuçları durulaştırıcıda değerlendirilip, kesin bir sonuca dönüştürülür. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden durulaştırma işlemleri adı verilir [19]. Durulaştırma işleminde kullanılan yöntemler;

- Alanların merkezi yöntemi,
- İki bölge yöntemi,
- Maksimumun ortalaması,
- Maksimumun en küçüğü,
- Maksimumun en büyüğü,
- Sugeno bulanık modelleri,
- Tsukamoto bulanık modelleri,

olarak verilebilir. Durulaştırma işlemlerinde, yaygın olarak kullanılan işlemlerden biri alanların merkezi yöntemidir. Adından anlaşılacağı gibi bu yöntemle, çıkış fonksiyonunun altında kalan alanın ağırlık merkezi aşağıdaki ifadeden faydalanılarak bulunur.

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_i(z_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N \mu_i(z_i)} \quad (1.74)$$

Bu ifadede i kural numarasını, N de toplam kural sayısını göstermektedir. Etkin olmayan kurallar için daima $\mu_i(z_i)=0$ 'dır. Etkin kurallar için ise i kural numarası olduğu kadar, bu i . kural için geçerli olan sözel komutu da temsil etmektedir. Bu kuralın uygulanışı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 1.25. Alanların Merkezi Yöntemine Göre İşlem Yapan Durulaştırıcı

Durulaştırıcı çıkışından elde edilen bu z çıkış değeri, denetlenen sisteme gönderilir ve burada istenilen etkiyi verecek şekilde ek işlemler yapılarak değerlendirilir.

Yapılan çalışmalar kısmında bulanık mantık denetleyicisini tasarlanarak anahtarlamalı çevirici modelleri denetlenecektir. Sistemlerin hem benzetimi hem de gerçek zamanlı çalışması ele alınacaktır.

1.5. Veri Toplama Kartı

National Instruments (NI) firması tarafından geliştirilen veri toplama kartı (Data Acquisition Card-DAQ Card) değişik donanımlara veri gönderme ve veri toplama işlemini gerçekleştirmektedir. NI değişik modellerde veri toplama kartı ürettiği için kullanılacak kartın donanımın özelliklerine uygun olup olmadığının bilinmesi gerekmektedir. Yapılacak olan ölçümlerde analog veya sayısal giriş-çıkış kanal sayısının, saniyedeki örnekleme hızı veri aktarım hızı gibi parametrelerin bilinmesi gerekmektedir.

1.5.1. 6036 E DAQ Kartı Özellikleri

6036 E, model DAQ kartında 16 kanal analog giriş 2 kanal analog çıkış, 68 pin konektör ve 8 sayısal giriş-çıkış kanalı bulunmaktadır. 6036 E kartı zamanlama fonksiyonları için NI DAQ-STC sistem zaman denetçisi (System Timing Controller-STC) kullanmaktadır. DAQ-STC üç adet zamanlama grubu içermektedir. Bunlar, analog giriş, analog çıkış ve genel amaçlı sayıcı/zamanlayıcı fonksiyonlarıdır. Bu gruplar toplam 7 adet 24 bit ve 3 adet 16 bit sayıcı içermektedir. Maksimum zamanlama çözünürlüğü 50 ns'dir. Birçok DAQ kartında birkaç zamanlama fonksiyonu aynı anda çalıştığıında uyum sağlamada zorlanmaktadır. 6036 E'de ise gerçek zamanlı sistem bütünleşmesi (Real-Time System Integration-RTSI) mevcut olup bu problem çözülmüştür. Ara yüz olarak alet düzeni için sinyal iyileştirme uzantıları (Signal Conditioning Extensions for Instrumentation-SCXI) sistemi kullanılmaktadır [20]. Bu şekilde bir taraftan MOSFET'in gate ucuna tetikleme sinyali gönderirken diğer taraftan da bobin akımı veya yük üzerindeki gerilim işaretlerini algılayıcılar vasıtasıyla geri besleme amaçlı veriler toplanmaktadır. Aynı zamanda haberleşme ve kontrol için sayısal sinyaller üretilebilmektedir.

1.5.2. Sinyal Giriş Seviyeleri

DAQ kartta programlama ile kazancı değiştirilebilen iki kutuplu giriş seviyesi mevcuttur. Her kanalın kazancı 12 bitlik (Binary digit-bit) analog sayısal çeviriciyle

0,5-1,0-10 veya 100 olarak ayarlanabilir. Giriş sinyalini ölçmek için Analog sayısal çeviricinin (Analog to Digital Converter-ADC) tam çözünürlüğü (12 bit) uygun kazanç ayarıyla kullanılabilir. Tablo 1.1' de giriş seviyeleri kullanılan kazanç ile uyumlu duyarlılık gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Ölçüm duyarlılığı

Kazanç	Giriş Seviyesi	Duyarlılık
0,5	-10V - +10V	305,2 μ V
1,0	-5V - +5V	152,6 μ V
10,0	-500mV - 500mV	15,3 μ V
100,0	-50mV - +50mV	1,53 μ V

1.5.3. Analog Girişler

NI 6036E DAQ kartı; tek uçlu referanssız giriş (NRSE), tek uçlu referanslı giriş (RSE) ve türevsel giriş (DIFF) olmak üzere üç adet giriş moduna sahiptir. Tek uçlu girişler 16 kanala kadar düzenleme sağlar iken türevsel giriş ise 8 kanala kadar düzenleme sağlıyor. Giriş modları çoklu modda tarama için kanal bazında programlanmıştır.

Tablo 1.2 Analog giriş konfigürasyon tanımlamaları

Konfigürasyon	Tanımlama
NRSE	NRSE modunda yapılandırılmış bir kanal programlanabilir kazanç enstrümantasyon amplifikatör (PGIA) pozitif girişine bağlayan bir analog giriş hattı kullanılır. PGIA negatif girişi analog giriş anlamındadır.
RSE	RSE modunda yapılandırılmış bir kanal PGIA'nın pozitif girişine bağlanan bir analog giriş hattı kullanır. PGIA'nın negatif girişi, dahili analog giriş (AIGND) toprak ucuna bağlanır.
DIFF	DIFF modunda yapılandırılmış bir kanal iki analog giriş hattı kullanır. Birinci hat cihaz üzerinden PGIA'nın pozitif girişine bağlanır iken diğer katta PGIA'nın negatif girişine bağlanır.

1.5.4. Analog Çıkışlar

NI 6036E DAQ katında, I/O giriş çıkış konnektöründe 16 bitlik analog çıkış gerilimi ki kanaldan sağlanmaktadır. Her aygıtın ± 10 V sabit bipolar çıkış aralığı vardır. D/A çeviriciye yazılan veri ikinin tümleyeni modunda yorumlanır. Bu modda analog çıkış kanalına yazılan veri pozitif veya negatif olabilir. Eğer kutup aralığı seçerseniz, veri düz ikili biçimde yorumlanır. Düz ikili modda, analog çıkış kanal aralığına yazılan veri değerleri pozitif olmalıdır.

1.5.5. Sayısal Giriş ve Çıkışlar

6036 E DAQ kartında genel amaçlı kullanım için 8 adet sayısal giriş-çıkış kanalı (DI0<0...7>) bulunmaktadır. Her giriş-çıkış kanalı, tek tek yazılım ile düzenlenebilir. Sistem ilk çalıştığı anda ve sıfırlandığında sayısal giriş-çıkış bağlantı uçları yüksek empedans gösterirler. Donanımda genel amaçlar için aşağı yukarı sayabilen sayıcılar (Sayıcı 0, Sayıcı 1) bulunmaktadır. Bunlardan aşağı sayıcı 0, 6. sayısal giriş kanalına (Digital input 06-DI06) ve yukarı sayıcı 1 ise 7. sayısal giriş kanalına (Digital input 07-DI07) bağlanmıştır. Böylece genel amaçlı sayım kontrolleri için DI06 ve DI07 kullanılabilir. Aşağı yukarı sayma kontrol sinyali sadece giriştir ve sayısal giriş-çıkış (Digital input/output-DIO) kanallarının çalışmasını etkilememektedir [21].

1.5.6. Zamanlama Sinyalini Yönlendirme

DAQ-STC mikrodevresi diğer cihaz ve harici devrelere bağlanmada zamanlama sinyalleri için esnek bir ara yüz sağlamaktadır. Donanım birbirine bağlı aygıtlar arasında zamanlama sinyalleri için RTSI kullanılır. Donanımı harici devreye bağlamak için giriş-çıkış konnektöründeki programlanabilir fonksiyon giriş uçları kullanılmaktadır. Bu bağlantı iki cihazın birbirlerini kontrol edebilmelerine imkan sağlamaktadır. DAQ-STC içerisinde herhangi bir harici kaynağı kontrol etmeye yarayan toplam 13 adet zamanlama sinyali bulunmaktadır. Bu zamanlama sinyalleri DAQ- STC içinde üretilen sinyaller ile kontrol edilebilir ve bu sinyal seçimlerinin tamamı yazılım ile düzenlenebilir [21].

1.5.7. Programlanabilir Fonksiyon Girişleri

NI 6036E DAQ kartında, 10 adet PFI pinine konektör üzerinden PFI<0...9> ulaşılabilir. Yazılımla herhangi bir PFI pini seçilerek, harici bir kaynağa zamanlama sinyali verilebilir. Dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da; herhangi bir PFI pini, herhangi bir zamanlama sinyali tarafından giriş olarak kullanılabilir ve birden çok zamanlama sinyali aynı anda aynı PFI'yi kullanabilir. Bu esnek yönlendirme planı ile farklı uygulamalar için fiziksel giriş-çıkış bağlantılarını değiştirme ihtiyacı azalmaktadır. PFI pinlerinden herhangi birinin çıkış için özel bir dahili zamanlama sinyali olmasına izin verilebilir. Örneğin eğer giriş-çıkış konektörü üzerinde çıkış gibi bir güncelleme sinyaline ihtiyaç duyarsak yazılım ile PFI5/UPDATE pini için çıkış sürücü olarak ayarlanabilir.

1.5.8. Aygıt ve RTSI Saat Darbeleri

NI 6336E tarafından gerçekleştirilen birçok fonksiyon analog-sayısal dönüşüm kontrolünde gerekli zamanlama sinyalini üretmek için frekans-zaman tabanını kullanmak gerekir. DAC güncellemeleri ve genel amaçlı sinyaller için giriş-çıkış konektörü kullanılır.

NI 6036E, dahili 20 MHz zaman tabanı veya RTSI veri yolu üzerinden verilen zaman tabanını kullanabilir. Ayrıca dahili zaman tabanını kullanmak için aygıt yapılandırılırsa, RTSI veri yolu üzerinden bu zaman tabanından sinyal almak için programlanan başka bir aygıtın dahili zaman tabanı sürücülü programlanabilir [21].

Bu saat devresi, yerel ya da RTSI veri yolu üzerinden birinci frekans kaynağı olarak kullanılabilir. Varsayılan yapılandırma başlangıçta RTSI veri yolu üzerinden sürülmeksizin dahili zaman tabanında kullanılmaktadır. Bunun içinde bu zaman tabanı yazılımı seçilir.

1.5.9. RTSI Tetiklemeler

RTSI veri yolu üzerinde bulunan 7 adet RTSI tetikleme hattı, RTSI veri yolunu herhangi bir cihaz ile paylaşabilmek için çok esnek ara bağlantı planı sağlamaktadır. Bu

iki kutuplu hat RTSI veri yolu üzerindeki 8 zamanlama sinyali ile veya dışarıdan alınan herhangi bir zamanlama sinyaliyle sürülebilir.

1.5.10. Sinyal Giriş-Çıkış Bağlantı Kablosu

Şekil 1.26'da diğer donanıma bağlanırken kullanılan giriş-çıkış konektörünün uç bağlantıları görülmektedir.

ACH8	34	68	ACH0
ACH1	33	67	AIGND
AIGND	32	66	ACH9
ACH10	31	65	ACH2
ACH3	30	64	AIGND
AIGND	29	63	ACH11
ACH4	28	62	AISENSE
AIGND	27	61	ACH12
ACH13	26	60	ACH5
ACH6	25	59	AIGND
AIGND	24	58	ACH14
ACH15	23	57	ACH7
DAC0OUT1	22	56	AIGND
DAC1OUT1	21	55	AOGND
RESERVED	20	54	AOGND
DIO4	19	53	DGND
DGND	18	52	DIO0
DIO1	17	51	DIO5
DIO6	16	50	DGND
DGND	15	49	DIO2
+5V	14	48	DIO7
DGND	13	47	DIO3
DGND	12	46	SCANCLK
PFIO/TRIG1	11	45	EXTSTROBE*
PF11/TRIG2	10	44	DGND
DGND	9	43	PF12/CONVERT*
+5V	8	42	PF13/GPCTR1_SOURCE
DGND	7	41	PF14/GPCTR1_GATE
PF15/UPDATE*	6	40	GPCTR1_OUT
PF16/WFTRIG	5	39	DGND
DGND	4	38	PF17/STARTSCAN
PF18/GPCTR0_GATE	3	37	PF18/GPCTR0_SOURCE
GPCTR0_OUT	2	36	DGND
FREQ_OUT	1	35	DGND

Şekil 1.26. 6036 E Kartı giriş-çıkış konektörü bağlantı uçları

Tablo 1.3. Konektör bağlantı uçları açıklamaları

Sinyal Adı	Referans	Yön	Açıklama
AIGND			Analog giriş toprağı RSE düzeninde ve DIFF modunda ölçüm için akım dönüş noktası. 3 toprak referansı AIEND, AOGND ve DGND aygıt üzerinde bağlıdır.
ACH<0..15>	AIGND	Giriş	Analog giriş kanalı 0'dan yüksek ise her kanal için çiftli ACH<i,i+8>(i=0... 7), DIFF giriş veya iki tek sonlu giriş olarak tanımlanabilir.
AISENSE	AIGND	Giriş	Analog giriş alanına bu pin NRSE düzeninde ACH<0.. 15 > kanallarından her biri için referans noktası işlemini görür.
DACIUT	AOGND	Çıkış	Analog kanal 0 çıkışı: Bu pin analog çıkış kanal 0'dan gerilim beslenmesini sağlar.
DACIOUT	AOGND	Çıkış	Analog kanal çıkışı: Bu pin analog çıkış kanal 1 'den gerilim beslenmesini sağlar.
AOGND		Çıkış	Analog çıkış toprağı: Analog çıkış gerilimi için referans noktasıdır. Üç toprak referansı AIGND, AOGND ve DGND cihaz üzerinde birbirine bağlıdır.
DGND			Sayısal toprak: Bu pin I/O konektöründeki sayısal sinyaller için ve +5V DA kaynak için referans noktasıdır. Üç toprak referansı AIGND, AOGND ve DGND cihaz üzerine birbirine bağlıdır.
DIO<0..7>	DGND	Giriş-Çıkış	Sayısal I/O sinyaller, DIO6 ve DIO7 genel amaçlar için kontrol edilebilen aşağı/yukarı sayaçlar(sayaç 0,sayaç 1)
+5V	DGND	Çıkış	+5V DA kaynak: Bu pin 1A sigortalı olarak PCI ve PXI aygıtları üzerindedir veya DAQ Card'ta 0,75A'dır. Bu sigorta kendi kendini resetleyebilir.
SCANCLK	DGND	Çıkış	Tarama saat darbesi: Bu pin etkin olduğunda her A/D çevirimde tarama modunda bir darbe verir.
EXTSTROBE	DGND	Çıkış	Bu çıkış pini harici aygıt üzerinde tetiklere veya sinyal kitleme için yazılımla kontrol edilebilir.
PFI0/TRIG1	DGND	Giriş-Çıkış	PFI0/Trigger 1 programlanabilir fonksiyon girişlerinden biri için giriş. TRIG1 sinyali veri elde etmede sıralamasında düşükten yüksek seviyeye geçişte veri elde etme sıralamasını başlatır. Ön tetikleme uygulamalarında düşükten yükseğe geçişle ön tetikleme dönüşümü başlatır.
PFI1/TRIG2	DGND	Giriş-Çıkış	PFI1/Trigger 2 programlanabilir fonksiyon girişlerinden biri için giriş.TRIG2 sinyali ön tetikleme uygulamalarından son tetikleme dönüşümde düşükten yükseğe geçiş gösterir. TRIG2 son tetikleme uygulamalarında kullanılmaz.
PFI2/CONVERT	DGND	Giriş-Çıkış	PFI2/Convert PFI'ların biri için giriş. Dönüştürme sinyali için çıkış gibidir. A/D dönüştürme meydana geldiğinde CONVERT sinyali yükselten düşüğe geçiş gösterir.

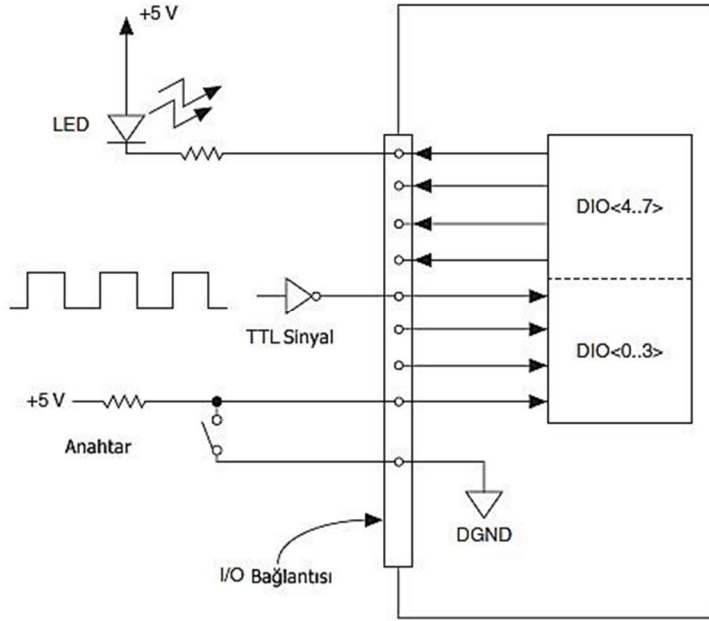
Tablo 1.3.'ün devamı

PFI3/GPCTR 1 SOURCE	DGND	Giriş- Çıkış	PFI3/Counter 1 source, PFI ların biri için giriş GPCTR1-SOURCE sinyal gerçek kaynağın genel amaçlı sayıcı 1'e bağlandığını gösterir.
PFI4/GPCTR 1 GATE	DGND	Giriş- Çıkış	PFI4 Sayacı bir kapı, PFI ların biri için giriş GPCTR1 sinyali için çıkış. Bu sinyal gerçek kapı sinyalinin genel amaçlı sayacı 1'e bağlandığını gösterir.
GPCTR1_OUT	DGND	Çıkış	Sayacı bir çıkışı genel amaçlar için kullanılan sayacı 1 çıkışıdır.
PFI5/UPDATE	DGND	Giriş- Çıkış	PFI'ların biri için giriş. UPDATE sinyali için çıkış. 6036E kartı için analog çıkış birinci grup güncellendiğinde sinyal yüksekten düşüğe geçer.
PFI6/WFTRIG	DGND	Giriş- Çıkış	PFI6/WFTRIC PFI'ların biri için giriş WFTRIG sinyali için çıkış sıralamasında dalga şekli düşüğe yükseğe geçiş gösterir.
PF17/STARTS CAN	DDGN	Giriş- Çıkış	PFI7/ STARTSCAN, PFI'ların biri için giriş STARTSCAN için çıkış her bir analog giriş tarandığında tarama aralığında bir darbe verir. Tarama başladığında düşüğe yükseğe geçiş yapar.
PFI8/GPCTRO- SOURCE	DGND	Giriş- Çıkış	PFI8/Counter-0 source PFI'ların biri için giriş, GPCTRO-SOURCE sinyali için çıkış. Bu sinyal genel amaçlı sayıcı 0'a bağlanan gerçek kaynağı yansıtır.
PFI9/GPCTRO GATE	DGND	Giriş- Çıkış	PFI9/Counter 0 gate, PFI'ların biri için giriş GPCTRO GATE sinyali için çıkmış. Bu sinyal genel amaçlı sayıcı 0'a bağlanan gerçek kapıyı yansıtır.
GPCTR_OUT	DGND	Çıkış	Sayıcı 0 çıkışı genel amaçlı sayıcı 0 çıkışıdır.
FREQ_OUT	DGND	Çıkış	Frekans çıkışı frekans üretici çıkışıdır.

1.5.11. Sayısal Giriş-Çıkış Sinyal Bağlantıları

6036 E DAQ kartta, 8 adet DIO<0...7> Sayısal giriş-çıkış kanalı ve DGND Sayısal toprak ucu olmak üzere sayısal giriş-çıkış kanalı bulunmaktadır. Her kanal yazılım ile giriş veya çıkış olarak programlanabilmektedir. Şekil 1.27'de DIO<0...3> giriş kanalı ve DIO<4...7> çıkış kanalı olarak yapılandırılmıştır. Sayısal girişler uygulamalarda, TTL (Transistör - transistör mantığı) sinyal girişleri ve anahtarlama gibi harici aygıt durum sinyalleri olabilmektedir.

Şekil 1.27’de tüm sayısal giriş-çıkış sinyal bağlantıları görülmektedir. Sayısal çıkış sinyalleri uygulamada TTL sinyalleri ve LED devresi gibi harici bir devreyi süren sinyaller olabilir.



Şekil 1.27. Sayısal giriş-çıkış bağlantıları

1.6. Matlab/Simulink Kullanımı

Simulink; dinamik sistem modellerinin kurulması, benzetimi ve çözümünde kullanılan bir MATLAB eklentisidir. Simulink blok diyagramları sayesinde bir sistem kurulabilir, kurulan sistemler bir laboratuvar ortamında gibi incelenebilir. Simulink, sanal bir laboratuvar seti gibi çalışarak kurulan sistemlere ait analiz, tasarım ve geliştirme işlemlerinin yapılabilmesine imkan tanır [22].

Dinamik sistemleri modellemek, sistem elemanlarının blok diyagramlar halinde verildiği Simulink kütüphanesinden yapılacak sürükle bırak işlemlerinin uygulandığı bir grafiksel kullanıcı ara yüzü ile olur. Bu ara birim ile modeller, kağıda çiziyormuşçasına bir kolaylıkla tasarlanabilir.

Simulink birçok matematiksel ifadeden başlayarak; elektrik, elektronik, sinyal işleme, kontrol sistemleri gibi özel alanlara kadar yayılmış birçok blok kütüphanesine sahiptir. Ayrıca, kullanıcılar kendi bloklarını geliştirebilme imkanına da sahiptir. Simulink sadece ideal lineer sistemlerin değil, gerçekçi lineer olmayan sistemlerin de sürekli zamanlı (continuous time), örnekleme zamanlı (sampled time) veya her iki ortak zamanlı olarak

benzetiminde kullanılabilir. Simulink ile dinamik sistemler; şekildeki gibi sistem girdilerinin, sistem çıktılarının ve gerekli işlemlerin tayiniyle kolayca modellenir. Bundan dolayıdır ki Simulink, MATLAB kadar programlama ve bilgisayar tecrübesi gerektirmeksizin, blokların kullanımıyla çözüm üretimi sağlar.

1.6.1. Simulink Ortamında Gerçek Zamanlı (Real Time) Çalışma

Matlab/Simulink kullanılarak sistemleri benzetim bazında inceleyebileceğimiz gibi, otomatik kontrol sistemlerine uygun olarak donanımları gerçek zamanlı olarak da kontrol edebilir. Bu işlem bir DAQ kartı ya da seri veya paralel portla harici bir donanıma bağlanarak verilerin toplanması ve aynı anda simulink ortamına aktarılan verilerin işlenmesini sağlamak üzere analizler yapılabilir ve sistemler kontrol edilebilir. Bu tez çalışmasında Matlab/Simulink ortamında modellenen bir kontrol sistemi ile laboratuvar ortamındaki bir deney setinin kontrolü gerçek zamanlı olarak sağlanacaktır. Bununla birlikte sitemde kullanılan Simulink, Real Time Workshop, Real Time Windows Target araç kutuları ve bu yapıların kullanımı şekilleri tanıtılmaktadır [22].

RWT tarafından desteklenen bir veri toplama kartının bilgisayara takılmasıyla beraber; kullanıcı kart üzerindeki tüm fonksiyonlara (Sayısal giriş/çıkışlar, Sayısal/Analog çıkışlar, Analog/Sayısal girişler, konum enkoderi girişleri, vb.) RWT paketinin giriş/çıkış blokları ile erişebilmektedir. RWT araştırmacılar ve eğitimciler arasında yaygınlaştığı için, birçok veri toplama kartı üreticisi de (National Instruments, Advantech, Humusoft, vb.) ürünleri için RWT sürücülerini sağlamaktadır. Sonuç olarak, mühendisler istedikleri denetleme algoritmasını sunulan Simulink blokları vasıtasıyla yaratabilmektedir.

Real Time Workshop SIMULINK modeline eklenen, önceden yazılmış C/C++ kodlarını da otomatik koda ekleyebilme ve ayrıca Simulink içinde veya haricinde, kod üzerinde parametre değişimi ve işaret izleme yapabilme özelliklerine sahiptir [22]. Simulink bir model için Real Time Workshop ile bir DAQ kartına erişmek ve bu kart ile gerçek zamanlı veri giriş/çıkışı yapabilmek için bilgisayarda Matlab'in desteklediği C derleyicilerinden birisi yüklü olmalıdır. Matlab için desteklenen derleyiciler şunlardır:

- Borland C++ Builder 4
- Borland C++ Builder 5
- Borland C++ Builder 6

- Microsoft Visual Studio 5.0
- Microsoft Visual Studio 6.0
- Microsoft Visual Studio .NET

1.6.2. Real Time Windows Target Kullanımı

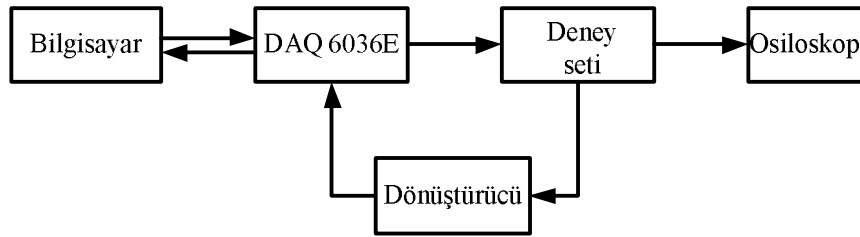
Real-Time Windows Target harici bir donanımla gerçek zamanlı haberleşmek için Simulink modelinde istenilen şekilde ayarlanabilen dijital ve analog giriş-çıkış bloklarının mevcut olduğu ortamdır. Bu bloklar sayesinde dışarıdaki herhangi bir harici donanımdan simülasyon ortamına işlenmek üzere analog veya dijital veriler alınır. Bu veriler referans işaretlerle karşılaştırılıp hata oranları bulunduktan sonra düzenlenen kontrolörden geçirildikten sonra tekrar harici donanımla haberleştirilir Matlab/Simulink ve Real Time Workshoop gibi Mathworks araçlarıyla tam bir bütünleşme sağlar. Sinyal toplama ve gösterme, hafızaya veya diske veri kaydetme, test süresince parametre ayarlama ve etkileşim özelliklerine sahiptir [22].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Giriş

Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan güç elektroniği deney setinin uzaktaki bir bilgisayar tarafından gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi sağlanmıştır. Bu işe ilk olarak deney setlerinin hazırlanmasıyla başlanmıştır. Deney setlerimiz güç elektroniği derslerinde öğretilmekte olan anahtarlama güç kaynaklarından oluşmaktadır. Bunlar azaltan çevirici, arttıran çevirici ve arttıran-azaltan çeviricilerdir. Bu deney setleri öncelikle Matlab/Simulink ortamda tasarlanmış ve benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Çeviricilerin kontrolü, PI denetleyici, PID denetleyici ve bulanık mantık denetleyicileri ile yapılmıştır.

Genel bilgiler kısmında topolojik denklemlerini verilen çeviriciler için devre elemanı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler doğrultusunda çeviricilerin baskı devre kartları oluşturulmuştur. Hazırlanan çeviriciler bilgisayar üzerinden kontrol edileceği için bilgisayarla baskı devre kartı arasında DAQ 6036E kartı ile haberleşme sağlanmıştır. Bu haberleşme aracılığı ile hem çeviricilerin anahtarlama işareti bilgisayar ortamından göndermekte hem de çevirici çıkışlarından alınan örneklerle sistem geri beslemesi sağlanmaktadır. PI, PID ve bulanık mantık denetleyicileriyle sistemin denetimi sağlanmaktadır.



Şekil 2.1. Deney modülü blok diyagramı

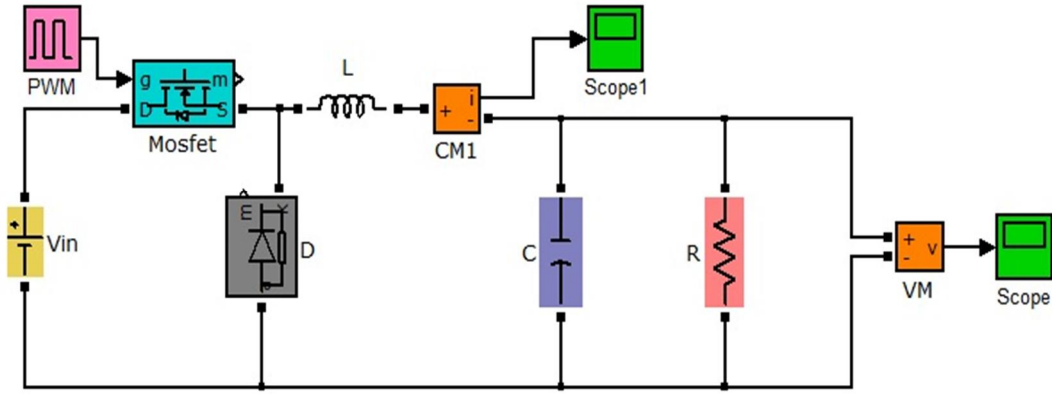
Şekil 2.1’de yapılmış olan çalışmanın blok diyagramı görülmektedir. Sistem gerçek zamanlı çalıştığı için örnekleri işaretlerini deney setine bağlı osiloskopta görebildiğimiz gibi aynı zamanda bilgisayar ortamında çalışmakta olan Matlab/Simulink

programındaki *scope*'ta da görebilme ve bu değerleri matris formatında kaydedebilme imkanı sağlamaktadır.

2.2. Çeviricilerin Matlab/Simulink Ortamda Benzetimi

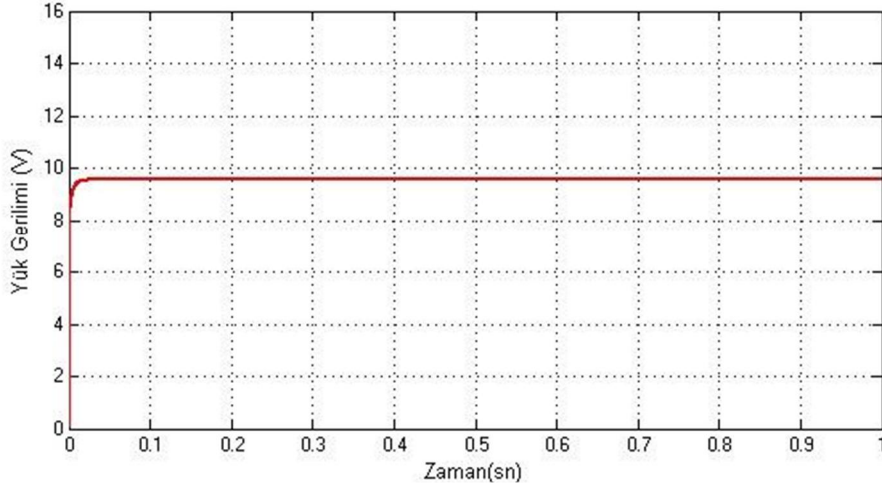
2.2.1. Azaltan Çeviricinin Matlab/Simulink Modeli

Azaltan çevirici daha önceki bölümde anlattığımız gibi girişine uygulanan DA gerilimi anahtarlama oranına (D) bağlı olarak giriş oranla daha düşük bir çıkış veren DA-DA çeviricidir. Bu sistem öncelikle Şekil 2.2'de görüldüğü gibi kontrolsüz olarak tasarlanmıştır. Sistem açık çevrimli bir sistemdir.



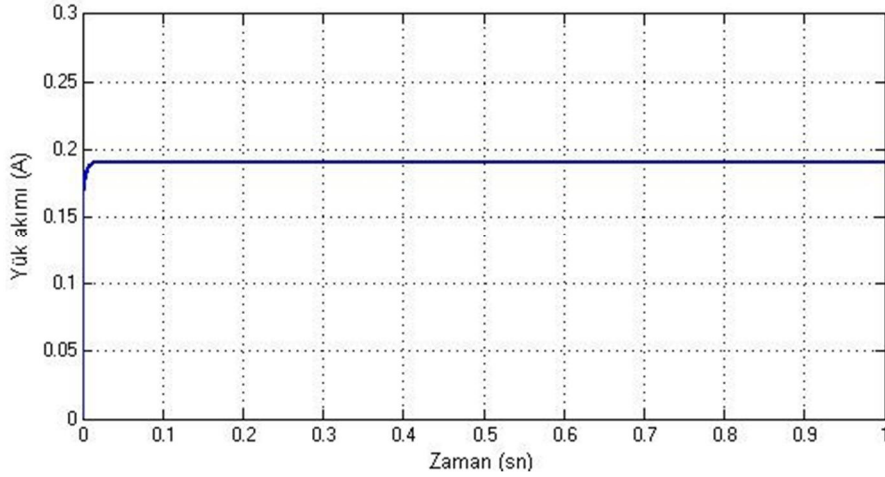
Şekil 2.2. Kontrolsüz azaltan çevirici simulink modeli

Şekil 2.2'deki Azaltan çeviricinin uygulamasında devre parametreleri olarak giriş gerilimine 12 V, anahtarlama oranına 0.25, yük direncine 50 Ω , kapasiteye 470 μF ve endüktansta 125 μH değerleri atanmıştır.



Şekil 2.3. Azaltan çevirici yük gerilimi

Şekil 2.3’de Azaltan çevirici parametre değerleri doğrultusunda anahtarlama işlemi gerçekleştirilmiş ve girişteki 12 V’luk gerilim değeri, çıkışta 9.6 V değerine düşmüştür. Çeviriciye anahtarlama elemanına farklı bir anahtarlama değeri atanmış ve çıkış sinyalleri incelenmiştir. Çeviricinin isminden de anlaşıldığı üzere farklı anahtarlama değerlerinde çıkış geriliminin farklı oranlarda düştüğü gözlemlenmiştir.



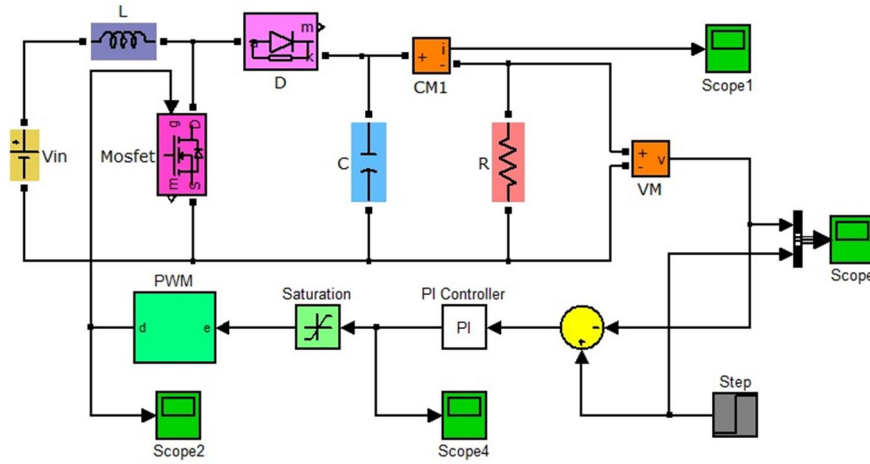
Şekil 2.4. Azaltan çevirici yük akımı

Şekil 2.4’de Azaltan Çeviricinin anahtarlama frekansına bağlı olarak geriliminin değişmesi ve dolaylı olarak da yük akımının değişim grafiği görülmektedir. Burada kullanılan yük omik olduğundan akım belirli bir değerde sabitlenmiştir. Eğer örneklem

süresini çok küçültürsek, akımın sabit bir minimum-maksimum değerler arasında üçgen dalga çizdiği görülmektedir.

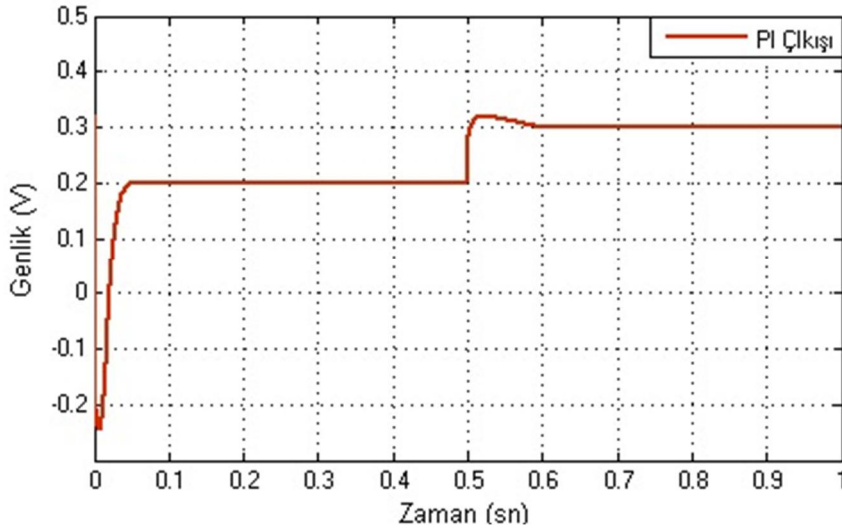
2.2.2. Arttıran Çeviricinin PI Denetimli Uygulaması

Arttıran Çevirici daha önceki bölümde söz ettiğimiz gibi giriş gerilimini anahtarlama sinyaline bağlı olarak çıkışta daha yüksek bir gerilim veren DA-DA anahtarlama güç kaynağıdır. Şekil 2.5'te Arttıran Çeviricinin PI Denetim organı ile kontrolü görülmektedir. Burada sistem PI Denetleyici ile kapalı çevrimli olarak kontrol edilmektedir. Çevirici çıkışındaki gerilim değeri, model üzerindeki referans gerilim değeri ile karşılaştırılarak hata sinyali elde edilmektedir. Bu hata sinyali PI denetleyici ile düzeltilerek yeniden anahtarlama işaretine uygulanmaktadır.



Şekil 2.5. Arttıran çeviricinin PI denetleyisi ile kontrolü

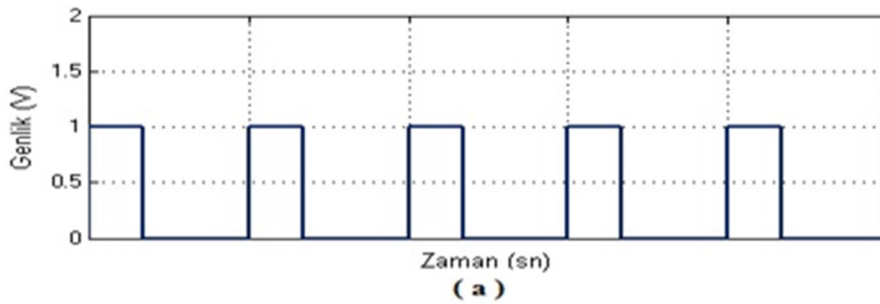
Şekil 2.5'de tasarımı gerçekleştirilen Arttıran Çeviricinin uygun parametre değerleri hesaplanarak girilmiştir. Bu değerler: Giriş gerilimi= 12 V, bobin endüktansı= 100 μ H, kondansatör kapasitesi= 470 μ F, omik yük= 50 Ω 'dur.

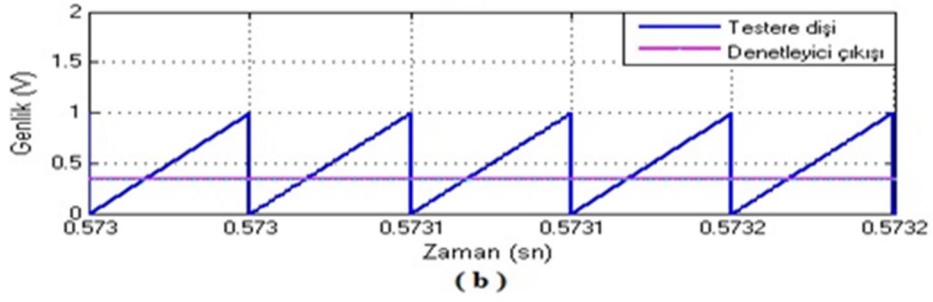


Şekil 2.6. PI denetleyici çıkış sinyali

Anahtarlama frekansı, direkt olarak kullanıcı tarafından girilmemektedir. Çünkü oluşturduğumuz model kapalı çevrimli bir sistem olduğundan, çıkışta elde edilmek istenilen gerilim değeri, referans gerilim değeri olarak atanmıştır. Bu referans gerilim değeri çevirici çıkışındaki gerilim değeri ile karşılaştırılarak bir hata çıkışı elde ediliyor. Hata sinyali PI denetleyici tarafından düzeltildikten sonra Şekil 2.6'daki PI Denetleyici çıkış sinyali görülmektedir. Bu sistem için en uygun oransal kazanç sabiti $K_p=0.025$, İntegral kazanç sabiti= 10 olarak bulunmuştur.

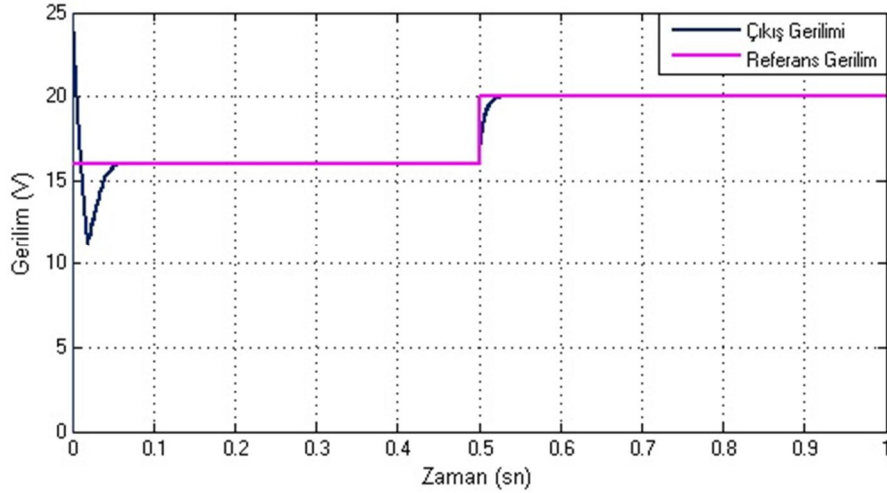
Arttıran çeviricideki anahtarlama elemanı MOSFET, Şekil 2.7.a'da görülmekte olan anahtarlama sinyali ile tetiklenmektedir. Bu anahtarlama sinyali Şekil 2.7.b'de görülmekte olan testere dişi sinyal ile PI denetleyici çıkışındaki sinyalin karşılaştırılması sonucunda altta kalan kısımlarda anahtarımız; ON konumunda, aksi durumda ise OFF konumundadır. Anahtarlama periyodu ise testere dişi sinyalin periyoduna eşittir.





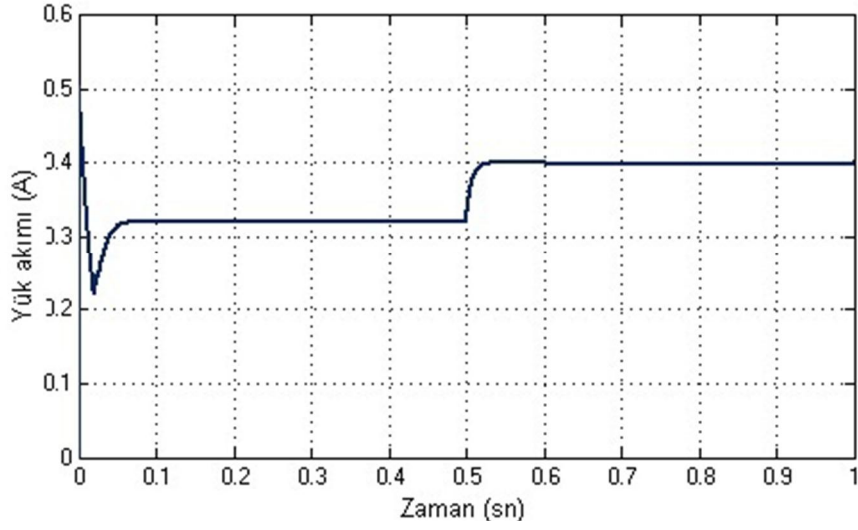
Şekil 2.7. MOSFET tetikleme sinyali

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi arttıran çevirici modeline ilk 0.5 saniyede 16 V'luk bir referans gerilim, sonraki 0.5 saniyede ise 20 V'luk bir referans gerilim uygulanmıştır. Bu referans gerilimler doğrultusunda PI Denetleyici sayesinde arttıran çevirici; girişine uygulanan 12 V'luk DA gerilimi, önce 16 V'luk ardından 20 V'luk DA çıkış gerilimi sağlamaktadır.



Şekil 2.8. Arttıran doğrultucunun çıkış gerilimi

Arttıran çeviricinin yük akımı şekil 2.9 'da görüldüğü gibi çıkış gerilimine paralel bir grafiktir. Grafiği incelendiğinde başlangıçta 0.46 A seviyelerini sıçramış fakat 0.06 saniyede PI denetleyici sayesinde sönümlenmiş ve 0.325 A'de akım değeri sabitlenmiştir. 0.5. saniyede referans değeri değiştiğinde hemen sabitlenmemiş ve 0.6. saniyede 0.4 A'e oturmuştur.

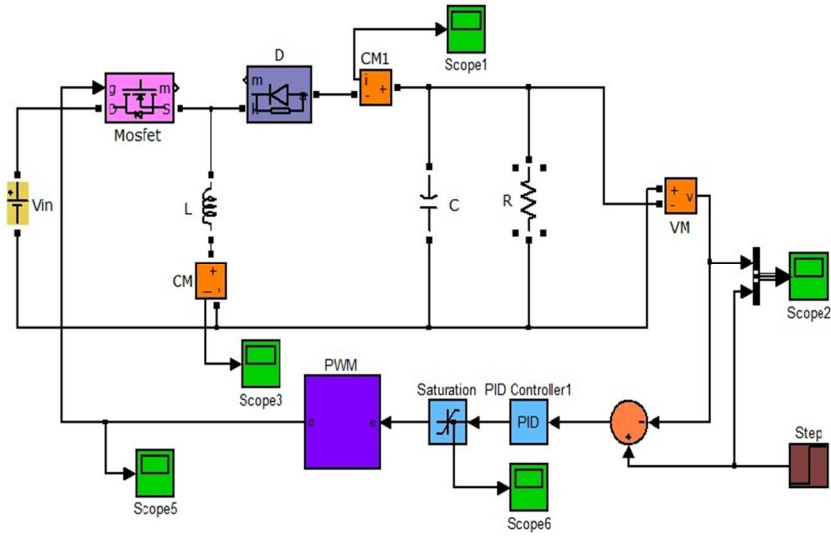


Şekil 2.9. Arttıran çeviricinin yük akımı

2.2.3. Azaltan – Arttıran Çeviricinin PID Kontrolü

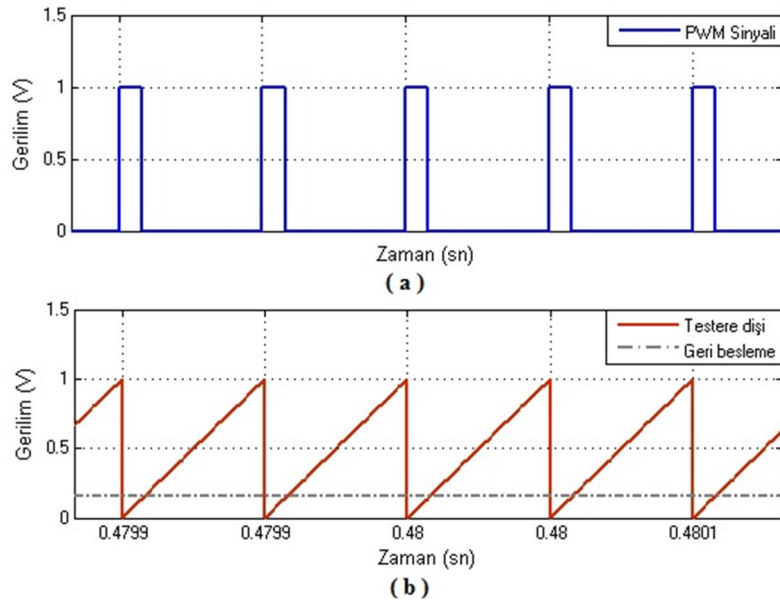
Azaltan-Arttıran çevirici, azaltan çevirici ve arttıran çeviricinin tek bir çevirici olarak birleştirilmiş halidir. Bu çevirici türü girişteki kaynak gerilimi anahtarlama oranına göre çıkışa aktarır. Çıkıştaki gerilim, kaynağa göre azalır ya da artar. Eğer anahtarlama oranı $D=0.5$ 'in altında ise azaltan çevirici, anahtarlama oranı $D=0.5$ 'in üstünde ise arttıran çevirici olarak çalışmaktadır.

Bu çalışmada azaltan-arttıran çevirici modelinin bağlantı şeması incelendiğinde, sistemin çıkış gerilimi ve geri besleme sinyalini alabilmek için Şekil 2.10'daki gibi VM gerilim ölçüm bloğu omik devre elemanına ters bağlanmıştır. Bunun nedeni üzerinde enerji depolayan endüktansın boşalırken kondansatörü şarj etmesi aynı zamanda da direnç üzerinden akım akıtmaktadır. Bu esnada şarj olan kondansatörün deşarjı aynı direnç üzerinden gerçekleşmektedir.



Şekil 2.10. Azaltan-arttıran çeviricinin PID türü denetleyici ile kontrolü

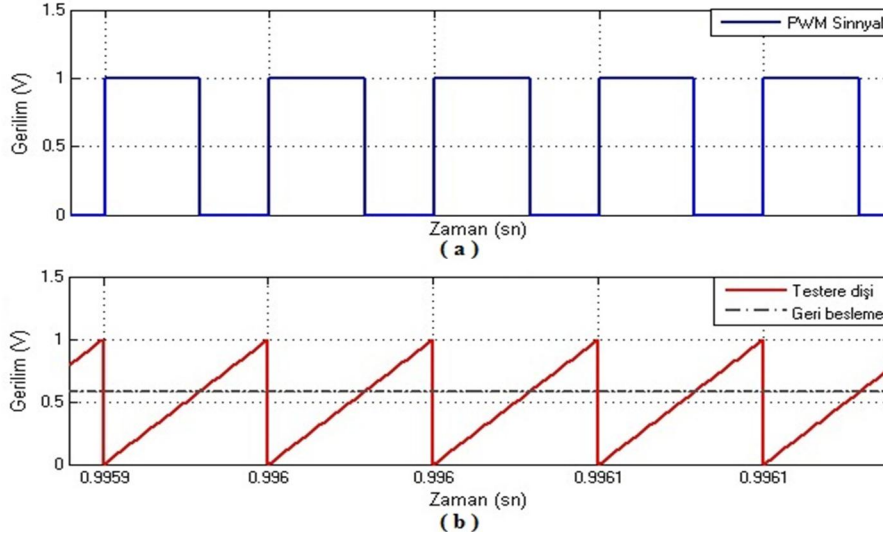
Şekil 2.10'da oluşturulan azaltan-arttıran çevirici modelinde parametre değerleri olarak; giriş gerilimi 12 V, bobinin endüktansı $254\mu\text{H}$, kondansatörün kapasitesi $500\mu\text{F}$, omik yük 50Ω , referans gerilim ilk 0.5 saniyede 5V sonraki 0.5'lik periyotta 18V atanmıştır. Oluşturulan model kapalı çevrimli olarak denetlenmektedir.



Şekil 2.11. Azaltan-arttıran çeviricinin azaltan anahtarlama sinyalleri

Azaltan-arttıran çevirici iki farklı anahtarlama sinyaline sahiptir. Bu anahtarlama sinyalinin birisi azaltan çeviriciye aktif yapmaktadır. Şekil 2.11.b'de görüldüğü üzere geri

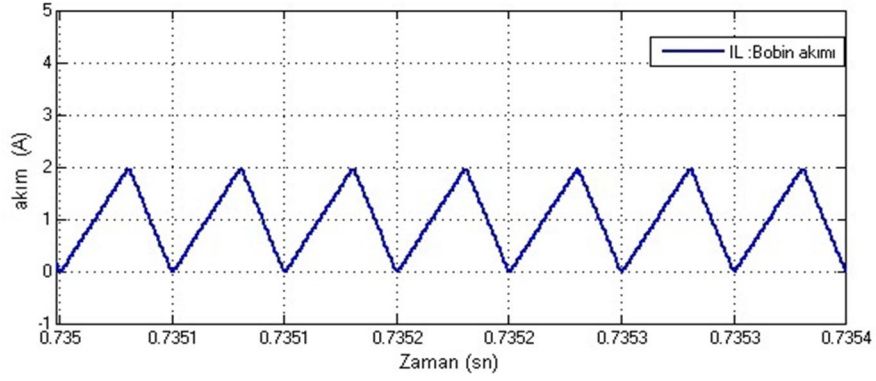
besleme sinyali (PID Denetleyicisi Çıkışı), genliği 1 V olan testere dişi sinyalinin yarısından (0.5 V) düşüktür. Bu yüzden Şekil 2.11.a'da görüldüğü gibi anahtarın iletimde olma süresi, anahtarın kesimde olma süresinden küçüktür.



Şekil 2.12. Azaltan-arttıran çeviricinin arttıran anahtarlaması

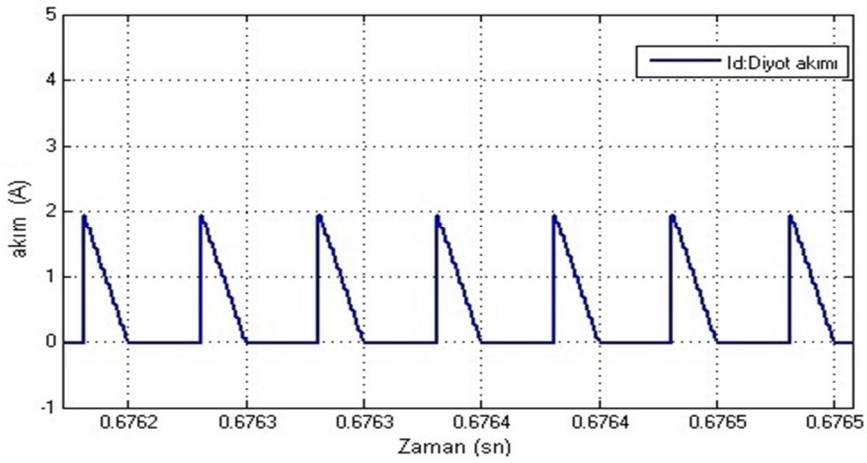
Şekil 2.12.a'da azaltan arttıran çeviricinin arttıran fonksiyonun kontrol eden anahtarlama sinyali görünmektedir. Anahtarlama sürelerine bakıldığında anahtarlamanın iletimde olduğu süre kesimde olduğu süreden büyüktür. Bir başka deyişle iletim süresinin toplam periyoda oranı 0.5'den büyüktür.

Şekil 2.12.b'de görülen iki sinyalden birisi testere dişi sinyali diğeri ise geri besleme (PID Denetleyici Çıkışı) sinyalidir. Bu iki sinyalin karşılaştırılması sonucu kesişimin altında kalan bölgeler anahtarlama sinyalini oluşturmaktadır. Geri besleme sinyalinin genlik değeri 0.5 V'tan büyük olduğu için kesişim 0.5 V ile 1 V arasında gerçekleşmiştir. Bu yüzden azaltan-arttıran çeviricinin arttıran fonksiyonu aktif konumdadır. Anahtarlama periyodu testere dişi sinyalin periyoduna eşittir. Anahtarlama sinyalini belirleyen en önemli faktör geri besleme sinyalinin genliğinin, testere dişinin genliğine oranıdır.



Şekil 2.13. Azaltan-arttıran çeviricide endüktans akımı

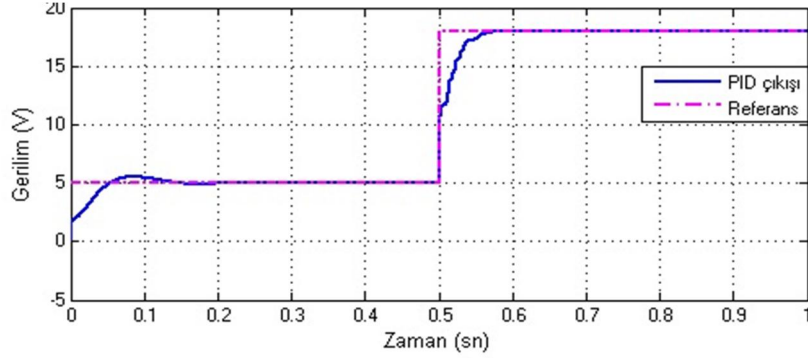
Azaltan-arttıran çeviricide anahtar iletimdeyken, akım diyot üzerinden geçemeyeceği için bobin üzerinden devresini tamamlar. Bu sırada bobin üzerinde enerji depolar. Anahtar kesime gittiğinde ise üzerindeki enerjiyi kondansatör ve direnci üzerinden boşaltır. Bobin enerjilenirken ve boşalırken üzerinden sürekli bir akım geçişi sağlanır. Şekil 2.13'e baktığımızda enerjilenirken üzerine maksimum akım aldığı, anahtarın kesime gittiği andan itibaren de üzerindeki akımın minimuma indiği gözlemlenmektedir.



Şekil 2.14. Azaltan-arttıran çeviricide diyot akımı

Azaltan-arttıran çeviricide diyot; anahtar iletimde iken tıkamada, anahtar kesimde iken iletimdedir. Şekil 2.14'den anlaşılacağı üzere anahtarın kesime geçtiği andan itibaren diyot iletime geçip kondansatör ve bobinin kendi üzerinde boşalmasını sağlamaktadır. Diyot akımı grafiği kondansatörün akım grafiğine benzer olmaktadır. Diyot akımı

kondansatör akımı ve yük akımının toplamı eşittir. Yük akımı PID denetleyici sayesinde sabitlendiği için üstte kalan bölgeler birbirine eş değerdir.



Şekil 2.15. Azaltan-arttıran çeviricinin çıkış gerilimi

Bu çalışmada azaltan-arttıran çevirici PID Denetim organı ile kontrol edilmesi ele alınmıştır. Bununla birlikte birisi giriş geriliminin altında diğeri de üstünde olmak üzere iki farklı referans gerilimi girilmiştir. Amaç çeviricinin azaltan ve arttıran fonksiyonlara göre tepkisini ölçmektir.

Şekil 2.15'in incelendiğinde çeviricinin azaltan modda kullanıldığında başlangıçta bir aşma oluşmuş ama kısa sürede sistem referans değerinde dengelenmiştir. Arttıran modda çalıştırıldığında ise sistem üzerinde herhangi bir aşma gerçekleşmeden direkt olarak 18 V'luk referans gerilim değerine oturmuş ve çalışmasını bu değerinde devam ettirmiştir. PID denetleyici parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir

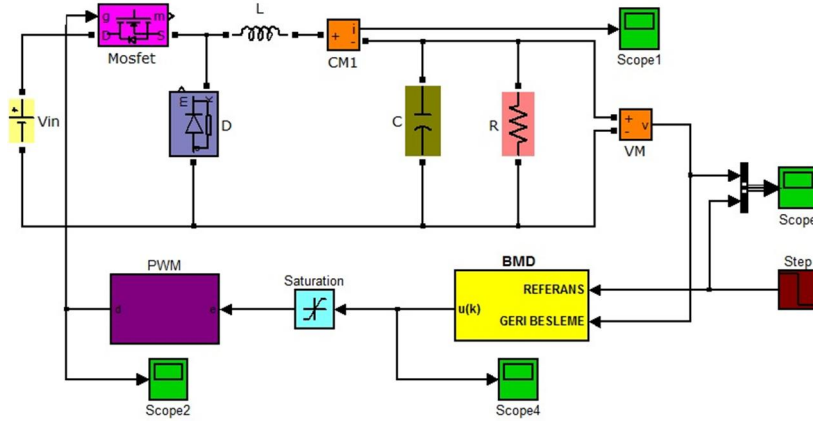
Tablo 2.1. PID denetim organı parametre değerleri

PID Organı	Simge	Değeri
Oransal Kazanç Sabiti	K_p	0.025
İntegral Kazanç Sabiti	K_i	2.5
Türevsel Kazanç Sabiti	K_d	0.01

2.2.4. Azaltan Çeviricinin Bulanık Mantık Denetimi (BMD)

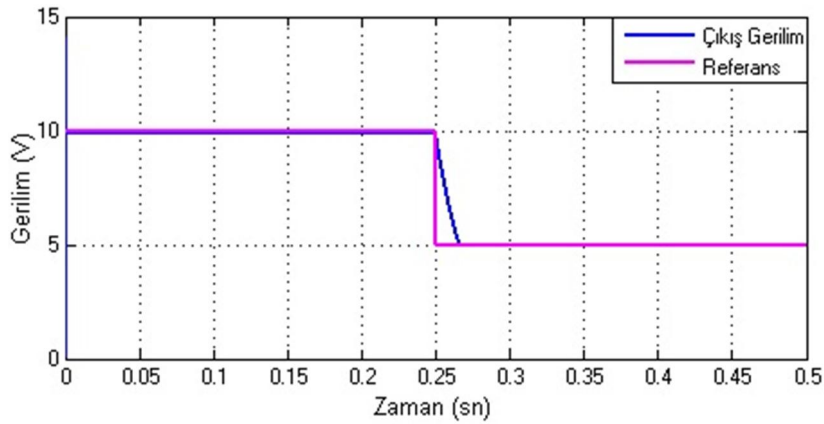
Azaltan çevirici; girişine uygulanan kaynak gerilimini, çıkışta anahtarlama oranına bağlı olarak azaltır. Şekil 2.16.'daki Azaltan çeviricinin denetimi BMD ile

gerçekleştirilmiştir. Burada anahtarlama oranı direk olarak yazılmayıp, çıkış gerilimi ve referans bir işaret BMD içerisinde önce bulanıklaştırılıyor. Belirli bir kural tabanına göre kural işleme ünitesine tabi tutulmaktadır. Daha sonra durulaştırılarak elde edilen işaret darbe genişlik modülasyonunun referans işaretini oluşturmaktadır. Bu işaret testere dişi ile karşılaştırılarak anahtarlama oranını belirlemektedir.



Şekil 2.16. Azaltan çeviricinin bulanık mantık denetimi

Şekil 2.17.'de Azaltan çeviricinin BMD ile denetimi sonucunda çıkış gerilimi görülmektedir. Burada referans gerilim olarak 0.5 saniyelik benzetimde ilk 0.25 saniyede 10 V, sonraki 0.25 saniyelik zaman diliminde ise 5 V gerilimleri uygulanmıştır. Bu referans gerilimlere göre çıkış gerilimi referans işareti başlangıçta belli bir aşma yapsa da hemen yakalamaktadır.

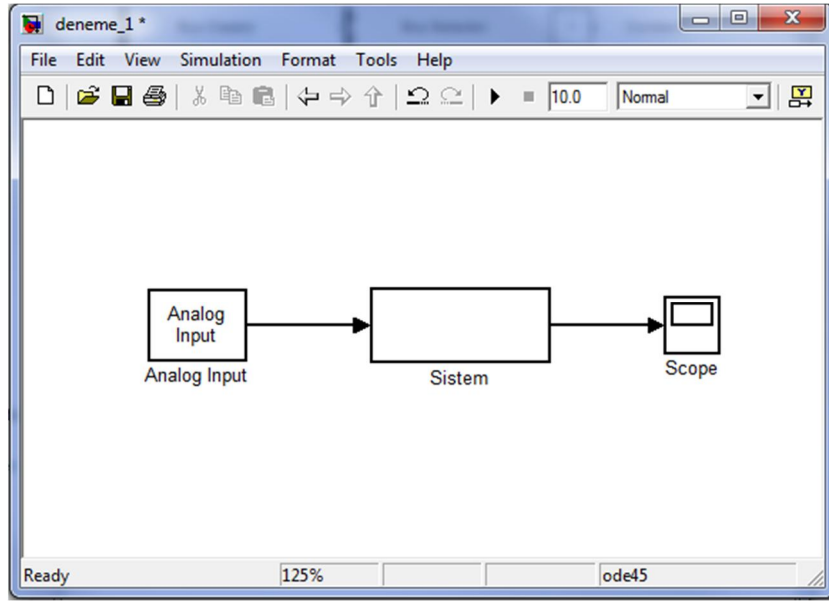


Şekil 2.17. Azaltan çeviricinin BMD ile denetimli çıkış gerilimi

2.3. Gerçek Zamanlı Çalışma

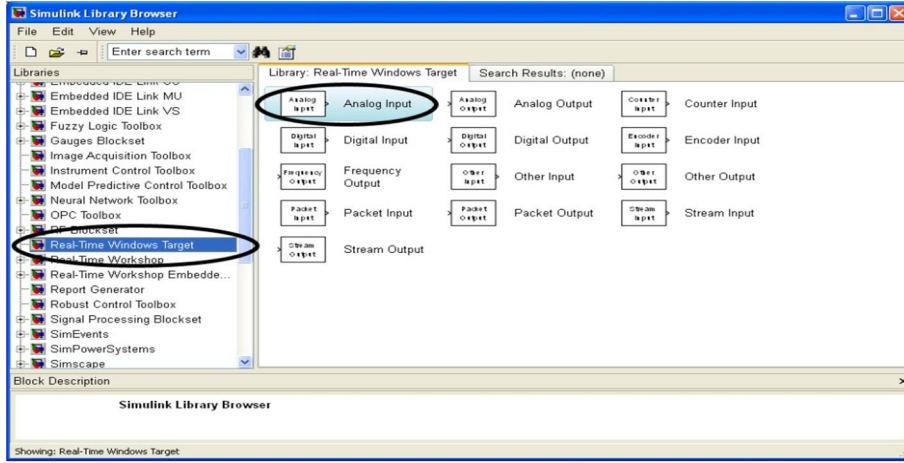
Bu bölümde MATLAB Command Window'dan Real-Time Windows Target arşivine nasıl erişim sağlandığı anlatılmaktadır. Real-Time Windows Target I / O sürücü bloğu seçmek ve I / O sürücü blokları üzerinden Simulink modele özgü analog kanallar ve dijital hatları iletişime izin verir [23].

Bir Simulink model oluşturulduktan sonra, üretilen sinyali harici bir donanıma uygulamak için bir Input/Output bloğu eklenir. Şekil 2.18 deki Simulink ortamdaki deneme_1.mdl modeline bir "Analog Input" bloğu eklenmiştir.



Şekil 2.18. Simulink ortamdaki deneme_1.mdl modeli

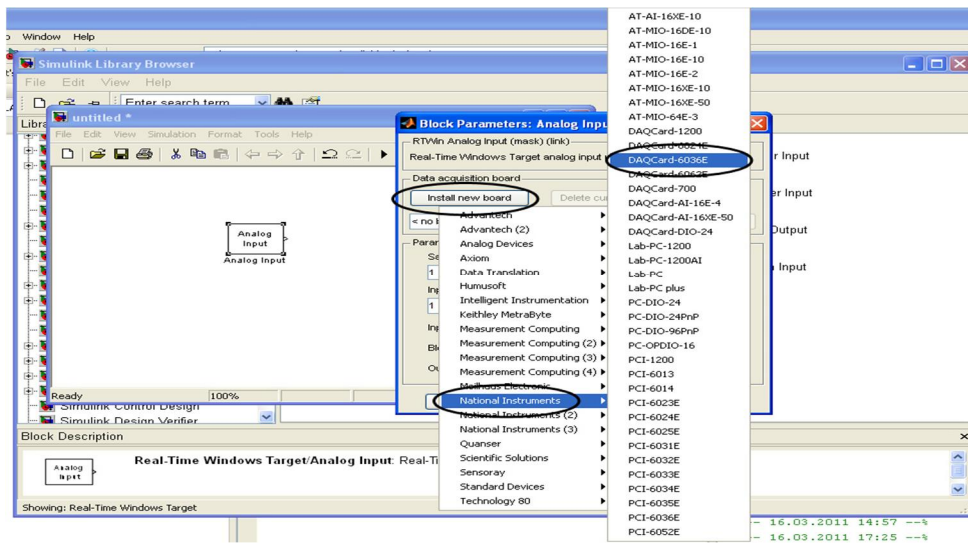
Simulink modele Input/Output Bloğu eklemek için simulink kütüphanesinden Real-Time Windows Target seçilir. Şekil 2.19 daki Real-Time Windows Target penceresinde analog input, analog output, digital input, digital output, counter input, encoder input, frekans output gibi bloklar bulunmaktadır. Açılan bu pencereden istenilen blok sürükleyip bırak mantığı ile simulink modele eklenir.



Şekil 2.19. Real-Time Windows Target blokları

2.4. Analog Input Parametre Ayarları

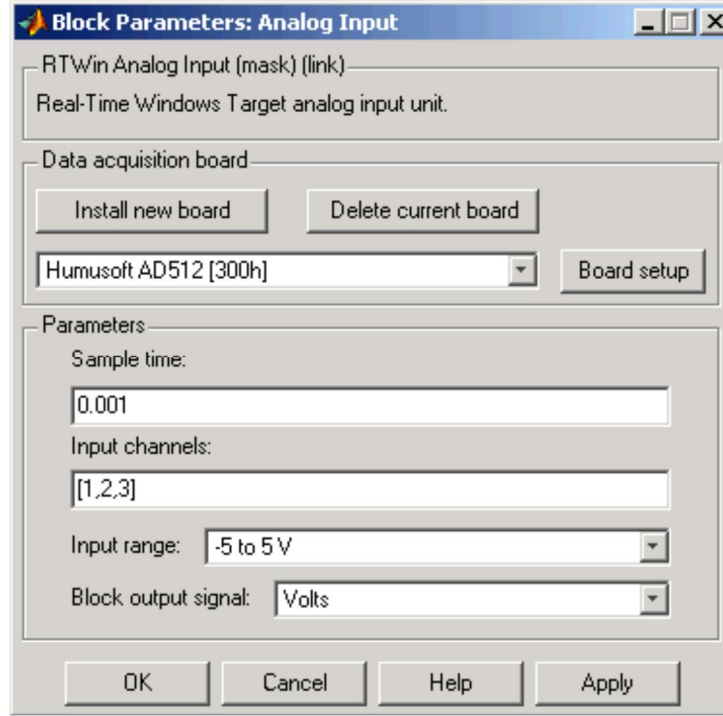
Real-Time Windows Target bloklarından analog output bloğu seçilerek simulink modele özgü analog kanalların iletişime izin verilir. Analog input'un üzerine gelerek çift tıkladığında Şekil 2.20' deki Analog Input Tanımlama penceresi açılır. Açılan bu pencerede Data Aquisition Kart tanımlanacaktır. "Install new board" ikonuna tıkladığında DAQ kartın üretici firması belirlenmektedir. Bu çalışmadaki kart "National Instruments" firması tarafından üretilmiştir. Kartın ailesi belirlendikten sonra sağ tarafta açılan kart modellerinden "DAQCard-603E" modeline tıklayarak kullanılan kart seçilmiştir.



Şekil 2.20. Analog input tanımlama

Analog output bloğunu bir kez tanımladıktan sonra aynı blok sonraki tasarımlarda kullanırsa, blok çift tıklandıktan sonra *Board setup* butonun tıkladığımızda kartın türü otomatik olarak çıkacaktır.

Şekil 2.21’de Analog Output Parametre İletişim Kutusu’nda, örnekleme süresi, çıkış kanalları, sinyalin genliği ve genliğin birimi ayarlanmaktadır.

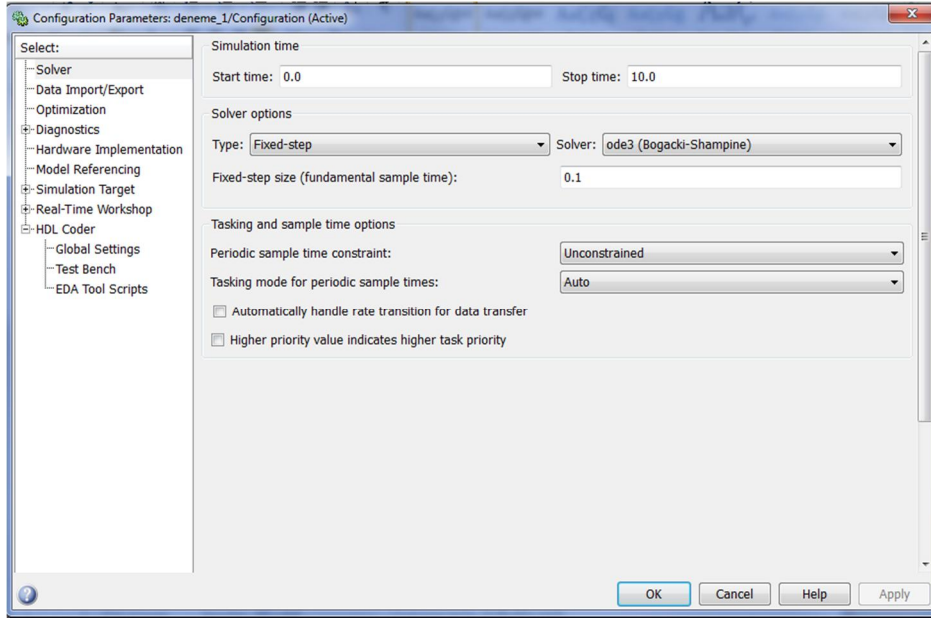


Şekil 2.21. Analog output parametre iletişim kutusunda

Örneğin burada örnekleme süresi 0,001 saniye verilmiştir. Giriş kanalları kutusunda, analog giriş kanalları seçen bir kanal vektörü seçilir. Vektör geçerli herhangi bir MATLAB vektör formu olabilir. Örneğin, DAQCard-6036E 8 analog çıkışın tamamını çıkış kanalı seçebilir. Bunun çıkış çıkış kanalı kutusuna [1,2,3,4,5,6,7,8] veya [1:8] vektörleri girilmelidir. Eğer ilk ikisini analog çıkış olarak belirlenmek isteniyorsa geçerli vektör [1,2] olarak tanımlanır.

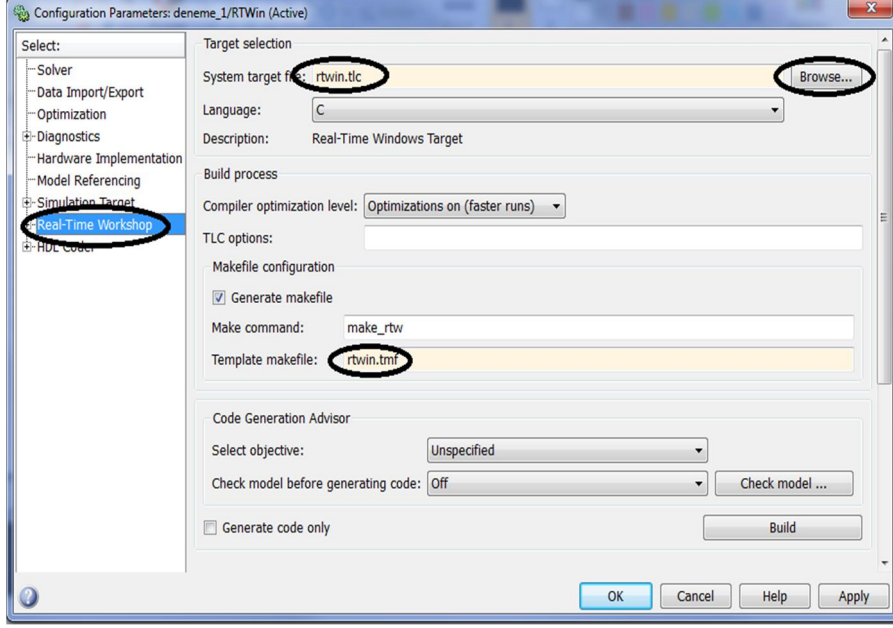
Çıkış aralığı listesinden, çıkış kanalları kutusuna girilen analog output kanallarının tümü için çıkış aralığı seçilir. Örneğin, burada çıkış değeri, -10 ila 10 arasında seçilmiştir. Seçilen bu değerinin biriminin belirlenmesinin ardından girilen parametrelerin kullanıcı onayı bırakılır. Kullanıcı “Apply” ve “OK” dedikten sonra Analog output yapılandırılmış olur.

Analog çıkışın tanımlanmasının ardından Şekil 2.22'deki Simülasyon Konfigürasyon Parametre Ayarlarında görüldüğü gibi “Simulation” menüsünden “Configuration Parameters” komutu kullanılarak gerekli iki ayar yapılmalıdır. Açılan pencerenin sol tarafında yer alan “Solver” dalı seçilerek yandaki alanın “Solver options” bölümünden “Type” liste kutusundan “Fixed-Step” seçilir ve alttaki giriş kutularından “Fixed-step size” alanına 0.1 değeri girilir.



Şekil 2.22. Simülasyon konfigürasyon parametre ayarları-I

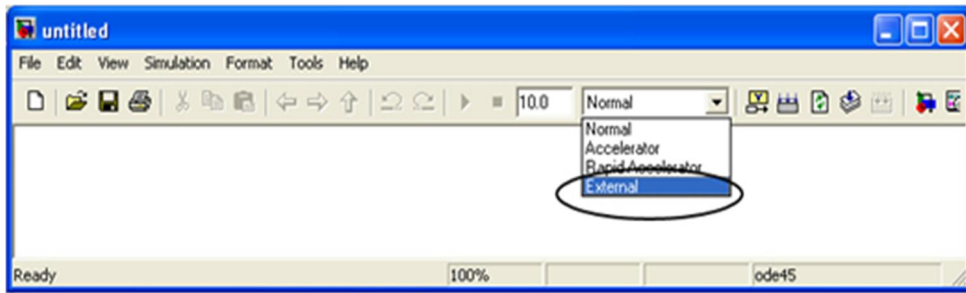
Bir diğer ayar ise Şekil 2.23'deki Simülasyon Konfigürasyon Parametre Ayarları-II görüldüğü gibi aynı pencerenin sol tarafında yer alan dallarından “Real-Time Workshop” seçilerek aynı pencerenin sağ tarafında gözüken arayüzde “Target selection” bölümü kullanılarak “Browse” düğmesi aracılığıyla “System target file” seçeneğinin “rtwin.tlc” olarak değiştirilmesidir. Bu düzenlemelerin yapılmasının ardından “Configuration Parameters” penceresi OK butonu tıklanarak ayarların kaydedilmesi sağlanır.



Şekil 2.23. Simülasyon konfigürasyon parametre ayarları-II

Bu işlemden sonra hazırlanan Real Time simulink modeli çalışma alanı penceresinin araç çubuğunda yer alana Save ikonu tıklanılarak ve bir isim verilerek Matlab'in kurulu olduğu dizin içinde yer alan "work" klasörüne kaydedilmelidir.

Matlab/Simulink ortamda hazırlanan bir model benzetimi normal, accelerator ve external modlarda gerçekleştirilebilir. Hedef programı ile iletişim kurmak için, model "External" modunda çalışmalıdır. Şekil 2.24'deki Simülasyon Mod Seçiminde görüldüğü gibi simülasyon modu menüsünden ve araç çubuğundan external modu etkinleştirilebilir.



Şekil 2.24. Simülasyon mod seçimi

Simulink modelin tasarlanması, gerçek zamanlı çalışma parametrelerinin ayarlamasından sonra Şekil 2.24'de gösterildiği üzere "Incremental build" butonu kullanılarak bu simulink modelinde kullanılacak DAQ kartı ile ilgili kütüphaneler

kullanılması ve bu karta ait gerekli makine kodu dosyalarının üretilmesi sağlanmalıdır. Bu işlemin gerçekleştirildiği “Command Window”dan takip edilebilir. “Command Window” penceresinde “succesfully builded” mesajı alındıktan kart ile bilgisayar arasında iletişimin kurulduğunu “Connect To Target” düğmesi kullanılarak test edilebilir. Eğer iletişim kuruldu ve herhangi bir hata mesajı alınmamış ise kart ile bilgisayar arasında bağlantı doğru olarak kurulmuştur. En son olarak da Real Time uygulaması Simulink çalışma alanından “Start simulation” düğmesi kullanılarak çalıştırılır.

2.5. Çeviricilerin Tasarlanması

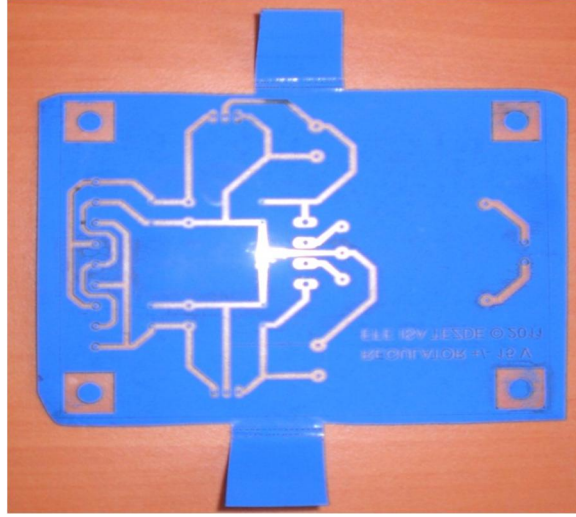
Çalışmamızın bu kısmında laboratuvar ortamında uzaktan kontrolü sağlanacak olan azaltan çevirici ve azaltan arttıran çevirici deney düzeneklerinin tasarımı gerçekleştirilecektir. Her bir deney seti belirli katlardan oluşmaktadır. Bu katlar:

- Besleme ve Güç Katı
- Sürücü Katı
- Yalıtım Katı
- Dönüştürücü Katı
- Çevirici Katı

Deney Setlerinin bütün katlarının tasarımı sırasıyla incelenmiştir. Bu katlar için gerekli eleman değerleri hesaplanarak, elemanlar tedarik edilmiştir. Devre elemanlarının veri kataloglarına bakılarak bağlantı şemaları oluşturulmuştur. Hazırlanan devre şemalarının bakı devreleri kartları oluşturulmuştur. Bakı devrelerin hazırlanmasında ARES, ORCAD ve EAGLE gibi birçok baskı devre çizim programı vardır

Baskı devreler EAGLE baskı devre çizim programı kullanılarak oluşturulmuştur. EAGLE geniş bir eleman kütüphanesine sahip olmasına rağmen gene de bazı eleman modellerini kütüphane ortamında bulamayabiliriz. EAGLE ihtiyaç duyulan bu modelleri kendimizin oluşturmasına imkan tanımaktadır.

EAGLE programı, çalışma ortamında oluşturduğumuz çizimi kendisi baskı devre formatını getirebildiği gibi biz de elemanların yerleşim yerlerinin dağılımını kendimiz belirleyebiliriz. Sadece elemanlarını değil yolların kalınlığını, köşelerin kırılma açılarını, çizilecek olan yol alternatiflerini seçebilmemize olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.25. Sürücü kartı baskı devre çıktısı

Devre kartlarının oluşturulmasında ütüleme tekniği kullanılarak baskı devremiz çıkartılmıştır. Şekil2.25'deki gibi baskı devre şeması lazer yazıcı ile baskı devre kağıdına yazdırılır. Devre şeması genişliğinde bir bakır plaket kesilir. Bu plaket iyice temizlenir ve üzerinde parmak izinin kalmamasına dikkat edilir. Plaket baskı devreye hazır hale getirildikten sonra yazdırılan baskı devre kağıdı, plaket üzerine yerleştirilerek sabitlenir. Kart normal bir basınçla yaklaşık 5 dakika boyunca ütülenir. Daha sonra içi su dolu bir kaba bırakılır ve burada dinlendirilir.

Ütüleme tekniğiyle kartlar basıldıktan sonra bakır plaketin sığabileceği büyüklükte belirli oranlarda perhidrol ve asit karışımına atılır. Kaptan uzak biraz uzak durarak çalkalanır. Bir süre sonra yolların olduğu yerlerin kaldığı diğer bölgelerin bakırlarının eridiği gözlemlenmiştir. İşlem tamamlandıktan sonra kartla çıkartılarak yıkanır. Tonerin kaldığı yerler kolonya ya da tinerle temizlenir.

Baskı devresi çıkartıldıktan sonra eleman yerleri uygun matkap delinir. Elemanlar yerleştirilerek lehimleme işlemi gerçekleştirilir. Lehimleme sırasında soğuk lehim yapmamaya özen gösterilmelidir. Devre ilerleye aşamalarda temassızlık gösterebilir.

Sistemin gerçekleştirilmesinde genel bilgiler kısmındaki devre topolojilerinden yol çıkararak eleman değerleri hesaplanmıştır. Bu elemanların bir kısmını direkt olarak temin edebildiğimiz gibi bazılarını da kendimiz oluşturmamış gerekmektedir. Örneğin direkt istediğimiz değerlerde bir endüktans bulmak zordur. Dolayısıyla endüktansı kendimizin sarması gerekecektir.

2.5.1. Besleme ve Güç Devresi

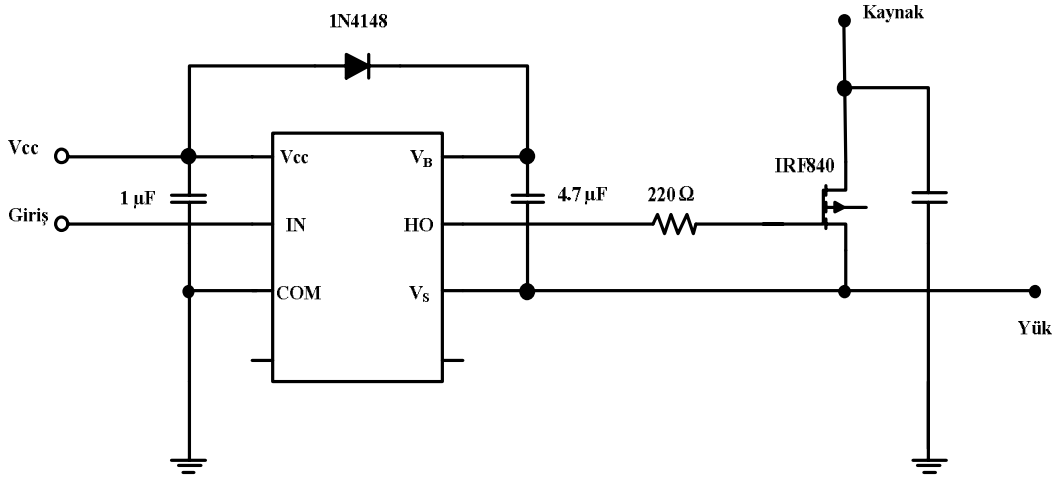
Sistemin girişine 12 V DA gerilim ve 16 A kadar akım sağlayabilecek bir güç kaynağı bağlanmıştır. Anahtarlama sürücü devresi, optik yalıtıcı beslemesi ve akım ve gerilim dönüştürücüleri için $\pm 12V$, $\pm 15V$ gibi gerilimlere ihtiyaç duyulmuştur. LM7812 ve LM7912 entegreleri ile $\pm 12V$, LM7815 ve LM7915 entegrelerini kullanarak da $\pm 15V$ DA gerilim elde edilmiştir. LM78XX serisi her zaman için pozitif çıkış, LM79XX serisi de her zaman negatif çıkış sağlamaktadır. Şekil 2.26'da tasarlanmış olduğumuz $\pm 15 V$ DA gerilim regülatörü görülmektedir.



Şekil 2.26. $\pm 15V$ DA gerilim regülatörü

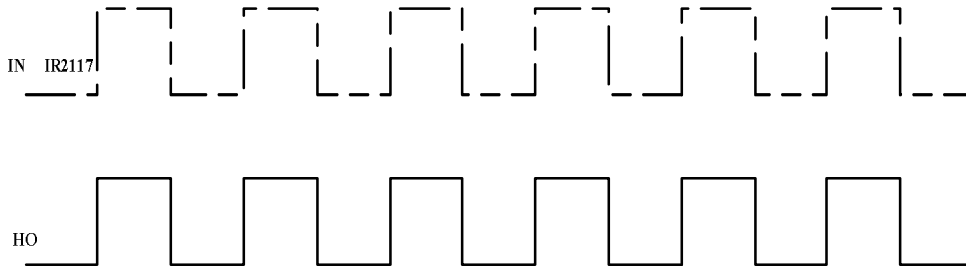
2.5.2. MOSFET Sürücü Devresi

Gerçekleştirdiğimiz devrelerde anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılmıştır. Çünkü MOSFET'lerin giriş empedansı yüksek, iç kapasitansları ise çok düşüktür. MOSFET normal transistörlerden daha yüksek frekanslarda çalışabilen, güç harcamaları düşük ve mekanik dayanımları yüksek bir anahtarlama elemanıdır.



Şekil 2.27. Sürücü kartı devresi

Deney düzeneklerinin anahtarlama sinyali bilgisayar üzerinden gönderilecektir. Gönderilen bu sinyal MOSFET’i sürmek için yetersiz kalmaktadır. Bunun için Şekil 2.27’de görülmekte olan MOSFET sürücü devresi kullanılmıştır. Sürücü kartında Internatinal Rectifier firmasına ait IR2117 entegresi kullanılmıştır.



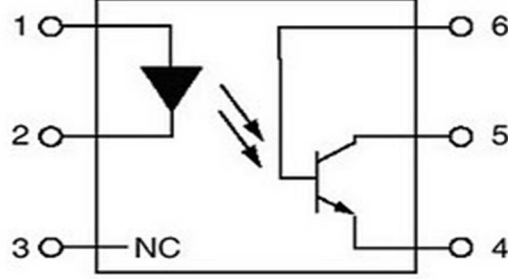
Şekil 2.28. IR2117 entegresi sinyalizasyonu

IR2117 entegresi +15V’luk V_{CC} besleme gerilimi çalışmaktadır. Şekil 2.28’de görüldüğü gibi entegre girişine uygulana sinyal ile çıkış sinyali aynı karakteristiğe sahiptir. Fakat sürücü çıkışındaki akım ve gerilim değeri mosfeti iletme geçirebilecek seviyededir.

2.5.3. Optik Yalıtıcı Devresi

Optik Yalıtıcı, kaynakla yük arasındaki elektriksel izolasyonu sağlayan bir cihazdır. Optik yalıtıcının girişinde bir LED, çıkışta da bir foto algılayıcı olup aralarındaki iletişim ışıkla sağlanmaktadır. Foto algılayıcı olarak transistör, triyak, mosfet ve tristör gibi devre

elemanları kullanılmaktadır. Elektronik devre uygulamalarında en yaygın olarak transistörlü optik yalıtıcının olduğu görülür. Genellikle 6 ya da 8 bacaklı olarak üretilirler.



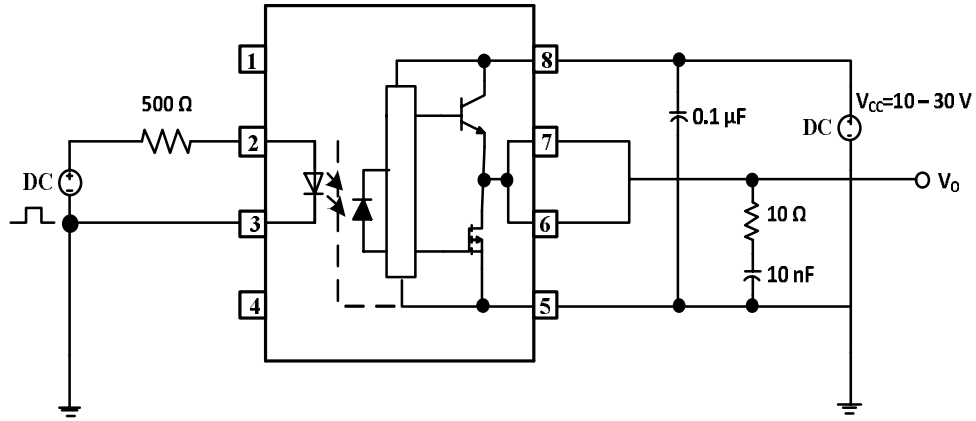
Şekil 2.29. Optik yalıtıcının iç yapısı

Şekil 2.29'da Optik yalıtıcının iç yapısı görülmektedir. 6 bacaklı optik yalıtıcının bacakları sırasıyla şunlardır:

1. Bacak: Anot girişi
2. Bacak: Katot girişi
3. Bacak: Boş
4. Bacak: Emiter ucu
5. Bacak: Kollektör ucu
6. Bacak: Gate tetikleme ucudur.

Optik yalıtıcının girişi ile çıkışı arasında herhangi bir elektriksel bir bağlantı yoktur. Girişine herhangi bir sinyal uygulandığında LED ışık verir ve kontrol ucu ışığa hassas olan alıcı eleman iletime geçer. Bu işlem sonucunda girişe uygulana sinyale bağlı olarak çıkıştan tetikleme işareti alınmış olur.

Optik yalıtıcı iki farklı devre arasında yalıtımı sağlamak için kullanılır. Devrelerden herhangi birisinde kısa devre veya aşırı akım çekme gibi durumlarda diğer devre etkilenmemiş olur. Bu çalışmada da oluşturulan güç elektroniği deney setleri devreleri bilgisayarla kontrol edecektir.



Şekil 2.30. HCPL 3120 optik yalıtıcının bağlantı şeması

Bilgisayara bağlı DAQ kartı ile devreler arasında bir optik yalıtıcı kullanılmıştır. Buradaki amaç; bilgisayarın, deney setinde oluşabilecek olası bir arıza durumunda zarar görmemesidir. Çünkü bilgisayarın bağlı olduğu DAQ kartın çıkışındaki voltaj mosfeti sürebilmek için yeterlidir fakat ana kart, transistörün arızalanıp kısa devre olduğu düşünülürse ya da kontrol edilen elemanların parazit ve gürültülerinden zarar görebilir.

Tablo 2.2 HCPL 3120 doğruluk tablosu

LED	$V_{CC} - V_{EE}$ ARTARKEN	$V_{CC} - V_{EE}$ AZALIRKEN	V_o
KAPALI	0 – 30 V	0 – 30 V	DÜŞÜK
AÇIK	0 – 11V	0 – 9.5 V	DÜŞÜK
AÇIK	11 – 13.5 V	11 - 13.5 V	GEÇİŞ
AÇIK	13.5 - 30 V	12 - 30 V	YÜKSEK

2.5.4. Dönüştürücü Devreleri

2.5.4.1. Akım Dönüştürücü

DA akım algılanmasında pek çok algılayıcı kullanılabilir. Bunların pek çoğu Hall etkisine dayanır ve harici güç kaynağı gerektirir. DA'dan 200kHz'e kadar frekans tepkisi yayınlanmaktadır. Çıkış sinyali gerilim, akım veya dijital olabilir. Ölçüm doğruluğu kullanılan elemanın kalitesine bağlıdır. Dolayısıyla elemanın kalitesi arttıkça fiyatı da artmaktadır.

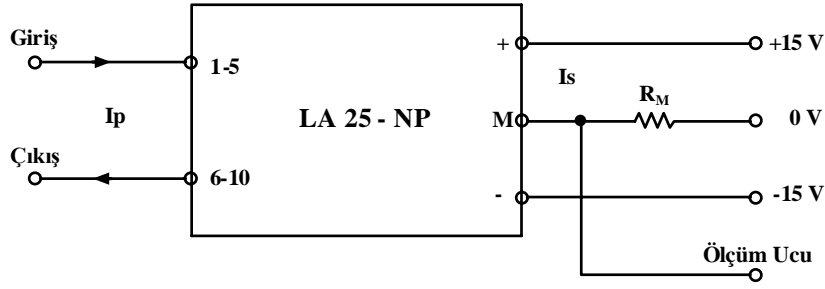
Akım dönüştürücünün çalışması Hall etkisinin fiziksel ilkesine dayanmaktadır. İlke olarak akım taşıyan iletkenlerin, manyetik alana maruz bırakılması gereklidir. Bu iletkene dik yönde bir manyetik alanın uygulanması durumunda, bir elektrik iletkeni içinde akım yönüne ters yönde bir gerilimin (Hall gerilimi) oluşturulduğu anlamına gelmektedir.

Akım taşıyan bir yarı iletken manyetik alan içinde tutulduğunda, akım taşıyıcıları manyetik alana ve akım yönüne dik bir kuvvet etkisi altında kalır. Denge durumunda yarı iletkenin kenarları arasında bir gerilim oluşur.

Akım dönüştürücüleri hem AA hem de DA akımları ölçebilen algılayıcılardır. Genellikle duyarlılık kapasitesini artırmak için, bir manyetik devre kullanır. Hall etkisiyle sadece doyum olaylarından etkilenir.

2.5.4.1.1. Akım Dönüştürücüleri Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar

- Doğruluk
- Kararlılık
- Frekans tepkisi
- Galvanik yalıtım
- Okuduğu değeri veriş formatı



Şekil 2.31. Akım dönüştürücü ve bağlantı şeması

Şekil 2.31'deki LEM firması tarafından üretilmiş LA 25-NP model akım dönüştürücünün bağlantı şeması görülmektedir. Bağlantı şemasını baktığımızda primer devre için 1-5 bacakları arasında I_P giriş, 6-10 bacakları arasında da I_P çıkış bağlantısı yapılmaktadır. Bu bacaklar üzerinden geçirebilecekleri akım sınırına göre kendi aralarında bağlanmaktadır.

Tablo 2.3. LA 25-NP Akım dönüştürücünün primer devresindeki bacak bağlantısı

Primer dönüştürme numaraları	Primer akımı		Nominal çıkış akımı I_{SN} [mA]	Dönüştürme oranları K_N	Primer direnci R_P [mΩ]	Primer etki endüktansı L_p [μH]	Önerilen bağlantı
	Nominal I_{pn} [A]	Maksimum I_P [A]					
1	25	36	25	1/1000	0,3	0,023	
2	12	18	24	2/1000	1,1	0,09	
3	8	12	24	3/1000	2,5	0,21	
4	6	9	24	4/1000	4,4	0,37	
5	5	7	25	5/1000	6,3	0,58	

I_{PN}	Primer normal etkin akımı	25	mA
I_{PM}	Primer akımı ölçüm aralığı	0...±36	mA
R_M	Ölçüm direnci	100...320	Ω

K_N	Dönüştürme oranı	1-2-3-4-5:1000	
I_{SN}	Sekonder normal etkin akımı	25	mA
HT (+)	Sekonder (+) kaynak girişi	+15	V
HT (-)	Sekonder (-) kaynak girişi	-15	V
M	Ölçüm Noktası		

Bu çalışmada kullanılan akım Dönüştürücünün primer giriş-çıkış bağlantılarını Tablo 2.1'deki parametre değerleri baz alınarak yapılmıştır. Deney setlerindeki örneklenecek akım değerleri göz önüne alındığında Primer dönüştürme numarası 3 olan bağlantı seçilmiştir.

2.5.4.2. Gerilim Dönüştürücü

DA, AA ve Darbe tetiklemeli gibi gerilimlerin elektronik ölçümleri için; primer devredeki yüksek gerilim ile sekonder devredeki elektronik devre arasında galvanik izolasyon yapan gerilim dönüştürücü denir. Gerilim dönüştürücüleri Hall (Alan) etkisi prensibi dayanılarak üretilmiştir.

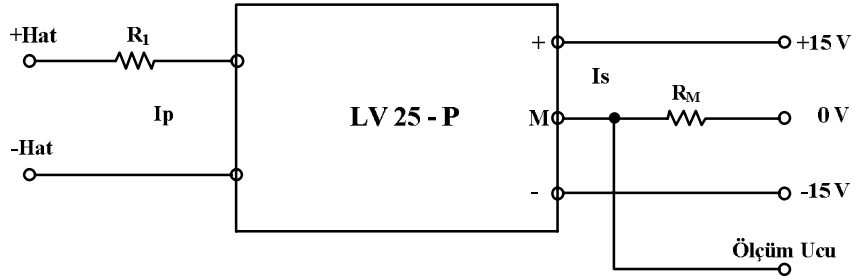
Gerilim ölçümleri için; gerilim dönüştürücülerinin giriş ucuna harici bir direnç bağlanır. Bu direnç üzerinden geçen akım primer devrenin referans akımıdır. Sekonder devredeki ölçüm noktasında bulunan ölçüm direnci üzerinden geçen referans akım ölçüm noktasından okunacak olan gerilim değerini verir.

2.5.4.2.1. Gerilim Dönüştürücülerinin Özellikleri

- Kusursuz bir doğruluk
- Çok iyi doğrusallık
- Düşük ısı eğilimi
- Düşük tepki süresi
- Yüksek bant genişliği
- Dış parazitlere karşı etkilenmeme
- Ortak modda düşük karışıklık

2.5.4.2.2 Gerilim Dönüştürücünün Uygulamaları

AA değişken hız sürücüleri ve servo motor sürücülerinde, DA motor sürücüleri için statik dönüştürücülerde, batarya kaynaklı uygulamalarda, kesintisiz güç kaynaklarında ve kaynak makinalarının güç kaynaklarında kullanılırlar.



Şekil 2.32. Gerilim dönüştürücünün bağlantı şeması

Primer direnci (R_1) seçilirken, dönüştürücünün normal primer akımında optimum doğruluk elde edilmesi gerekir. Mümkün olduğunca primer akımı 10 mA karşılık gelecek şekilde ölçüldüğünde R_1 normal gerilim ölçecek şekilde hesaplanmış olur.

Primer sargılarının direncini hesaba katarak (sırayla karşılaştırılırsa, termal sapma mümkün olduğunca düşük seviyede tutmak için, R_1 göre daha düşük kalmalıdır) çalışma aralığı belirlenmelidir ve yalıtım, bu dönüştürücünün nominal gerilimini 10 ile 500 V arası ölçmek için uygundur.

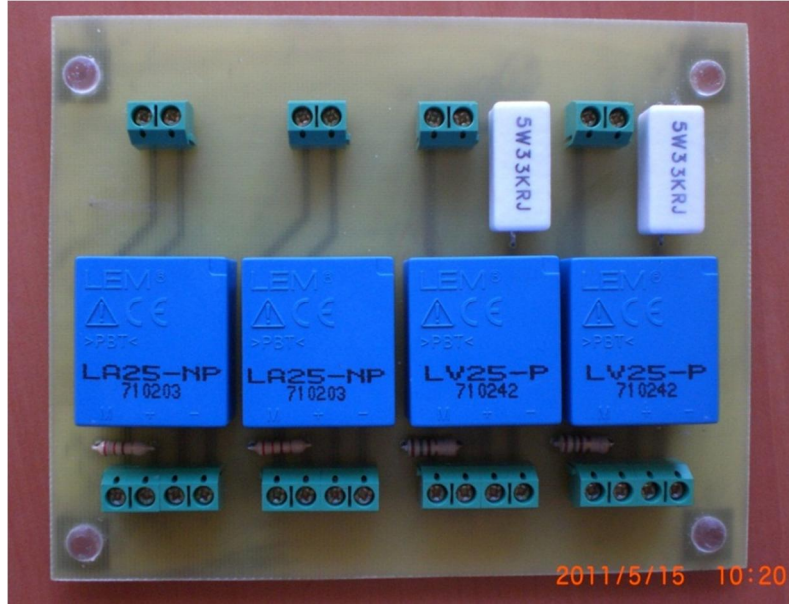
I_{PN}	Primer normal rms akımı	10	mA
I_{PM}	Primer akımı ölçüm aralığı	0 ±14	mA
R_M	Ölçüm direnci	30 190	Ω
I_{SN}	Sekonder normal etkin akımı	25	mA
(+)	Sekonder (+) kaynak girişi	+12...+15	V
(-)	Sekonder (-) kaynak girişi	-12...-15	V
M	Ölçüm Noktası		

Bu çalışmada tasarlanan gerilim dönüştürücü için seçilen devre elemanları ve bu doğrultuda hesaplanan eleman değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$R_1=33 \text{ k}\Omega / 5 \text{ W} \quad I_p=3,9 \text{ mA}$$

$$R_M=150 \Omega \quad V_M=I_p \times R_M \quad V_M=5,58 \text{ V}$$

Hesaplanan parametreler doğrultusunda Şekil 2.31'deki kart tasarlanmıştır. Bu kartta iki adet gerilim dönüştürücü devresi iki adette akım dönüştürücü devresi mevcuttur. Gerilim dönüştürücü devresinde R_1 direnci olarak güç direnci tercih edilmiştir. Çünkü burada kullanılan direncin değeri küçük olduğu için üzerinden geçecek akım şiddeti yüksek olacaktır. Bu yüzden ısıya karşı dayanıklı olması için taş diren kullanılmıştır.



Şekil 2.33. Akım ve gerilim dönüştürücü kartı

2.5. Çevirici Devreleri

Çevirici devreleri olarak azaltan çevirici ve azaltan-arttıran çevirici tasarlanmıştır. Bu devreler tasarlanırken daha önceki topolojik denklemler kullanılmıştır. Devre elemanlarını değerleri hesaplamalar doğrultusunda belirlenmiştir. Bu değerler doğrultusunda elemanların karakteristikler bakılarak elemanlar temin edilir. Bazı elemanlar direkt olarak temin edilmeyebilir. Bu tür elemanları kendimiz oluşturması gerekmektedir.

Her iki çevirici için devrelerde kullanılacak endüktans değerleri hesaplanmıştır. Azaltan çevirici 128 μH , azaltan-arttıran çevirici için ise 254 μH olarak bulunmuştur.

Endüktans tasarımı için endüktans değerinin bilinmesinin yanı sıra bu endüktans üzerinden ne kadar akım geçeceği de önem arz etmektedir. Akım değerinin belirlenmesiyle endüktans üzerinde depolanabilecek maksimum enerji değeri bağıntı 2.5 ile hesaplanmaktadır.

$$L \cdot I^2 \quad (2.5)$$

Çeviricilerin bobin akımlarına göre bobinlerin iletken kesitleri belirlenmektedir. Bu çalışmada, azaltan çevirici için 0.75 mm^2 , azaltan-arttıran çevirici için ise 1.5 mm^2 olmak üzere iki farklı iletken kesiti kullanılmıştır. Nüve olarak troid nüve kullanılmıştır.

$$L = \frac{N^2 \mu S}{l} \quad (2.1)$$

olarak tanımlanır. Bağıntı 2.1’de kullanılan

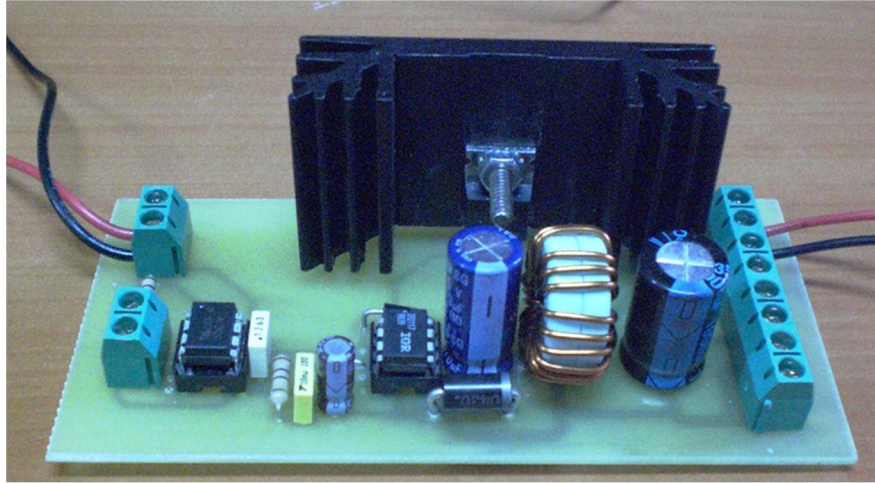
- L :Bobin endüktansı
- N :Sarım sayısı
- μ : Ortamın manyetik geçirgenliği
- S: Bobin çekirdeğinin kesiti
- l : Bobinin uzunluğu olarak bulunur.



Şekil 2.34. Çevirici için endüktans sarımı

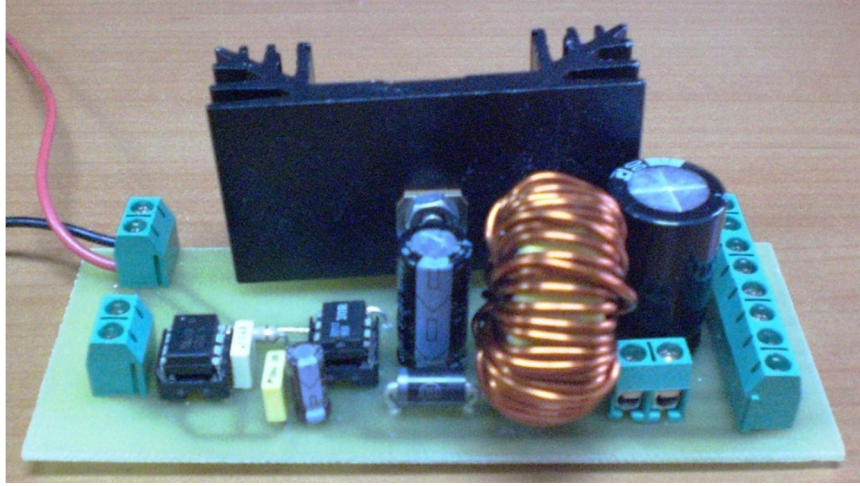
Şekil 2.34’de Azaltan-arttıran çevirici için tasarlanmaktan olan bir endüktans görülmektedir. Endüktansın değeri LC metre ile ölçülmüştür. Edüktans tasarımının tamamlanmasıyla birlikte gerekli kapasite değeri belirlenmiştir.

Azaltan çevirici ve azaltan-arttıran çeviricinin gerekli devre elemanları tamamlanmıştır. Artık çeviriciler oluşturulabilir hale gelmiştir. Genel bilgiler kısmındaki devre şemalarına bakılarak devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken birkaç önemli husus vardır. Çevirici devrede akımın geçeceği yolların daha kalın oluşturulması gerekmektedir. Aksi halde baskı devre kartında aşırı ısınmadan dolayı yollar yanabilir. Bir başka önemli husus ise anahtarlama elemanın yüksek akım geçirmesi durumunda ısınmasına karşı önlem alınmasıdır. Bunun için anahtarlama elemanlarına soğutucu takılmıştır.



Şekil 2.35. Azaltan çeviricinin baskı devre kartı

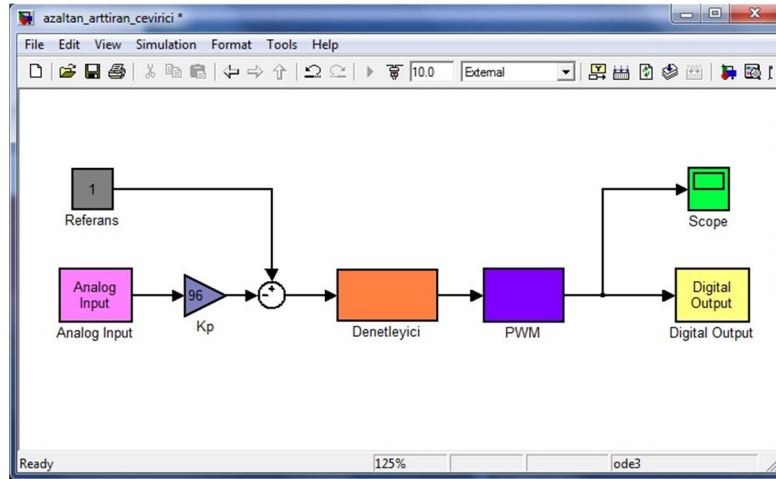
Şekil 2.35’de Azaltan çevirici devresi görülmektedir. Devrenin yalıtım katı, sürücü katı, çevirici katı ve çevirici üzerinden örneklem sinyalleri almak bağlantı klemensleri bulunmaktadır. Şekil 2.36’te azaltan-arttıran çevirici devresi bulunmaktadır. Bu çeviricide de azaltanda bulunan katlar ve örneklem sinyal bağlantı katları bulunmaktadır. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde çeviricilerin sağ kısmındaki elemanların güç değeri yüksek elemanlardır. Çünkü elemanlar daha yüksek akım geçireceklerdir. Azaltan-arttıran çeviricinin iletken kesiti, azaltan çeviriciye oranla daha büyük fakat sarım sayısı çok çok fazladır. Bu yüzden azaltan-arttıran çeviricinin endüktans değeri daha büyüktür.



Şekil 2.36. Azaltan-arttıran çevirici kartı

2.6. Deneysel Uygulama

Çeviriciye deney setinin donanımı hazır hale getirilmesiyle bilgisayar üzerinden kontrol aşamasına gelmiştir. Burada denetim işareti bilgisayarda simulink ortamda gerçekleştirilmektedir. Bu ortamda oluşturulan anahtarlama işareti “digital output” bloğuyla deney setine sayısal işaret aktarılır. Deney seti anahtarlama işareti doğrultusunda çalışır. Deney seti üzerinde değişik noktalardan bilgisayar ortamına örnekleme işaretleri alınır. Bu örnekleme işaretleri analog işaretlerdir ve simulinkte “analog input” bloğuyla alınır.



Şekil 2.37. Deney setinin simulink ortamdan denetimi

Şekil 2.27’de çeviriciye ait deney setinin bilgisayar ortamından denetimi gösterilmektedir. Burada dönüştürücüler vasıtasıyla örnekleme sinyaller alınmaktadır. DAQ kartın işaretleri iletirken gerilim değerleri sınırlı olduğundan deney seti çıkışındaki akım ve

gerilim değerleri düşük tutulmaktadır. Bu sinyali bilgisayar ortamına aldıktan sonra oransal yukselteç sayesinde gerçek değerine getirerek işleme sokulmaktadır. Bilgisayar ortamında sistem PI, PID ve bulanık mantık denetleyicileriyle kontrol edilmektedir. Çıkış gerilimi olarak istenilen gerilim değeri referans tamsayı değeri olarak yazılır ve denetleyiciler vasıtasıyla bu değer elde sağlanır.

3. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, güç elektroniği konularında anahtarlama güç kaynaklarına ait azaltan (Buck) çevirici ve arttıran-azaltan (Buck-Boost) çevirici deney setleri hazırlanmış ve bu setlerin PI, PID ve bulanık mantık denetleyicileriyle bilgisayarlı denetimi gerçekleştirilmiştir.

Deney setlerinde çeviricinin anahtar elemanı olarak MOSFET kullanılmıştır. MOSFET'in anahtarlama işareti bilgisayarda Matlab/Simulink ortamda üretilmiştir. Üretilen bu işaret veri toplama kartı ile üretilen sinyaller deney setlerine aktarılmıştır. Deney setleri bu şekilde gerçek zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Deney setinde oluşabilecek kısa devre gürültü ve parazitlerden bilgisayarın etkilenmemesi için optik yalıtıcılar kullanılmıştır.

Akım ve gerilim dönüştürücüleri oluşturularak deney modülü üzerinden farklı noktalardan örneklem işaretler alınmıştır. Bu işaretle sisteme ait geri besleme oluşturularak denetimi sağlanmıştır. Aynı zamanda Matlab/Simulink ortamda modellenen deney setlerinin benzetimi ile gerçek zamanlı çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır.

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Tasarımı gerçekleştirilen anahtarlamalı çeviriciler deney modülü amaçlı hazırlandığı için gücü çok fazla değildir. Endüstriyel uygulamalar için bir çevirici tasarlanmak istenirse gücü daha yüksek bir çevirici tasarlanabilir.

Deney modülü ile bilgisayar arasındaki veri alış verişini gerçekleştiren veri toplama kartının veri aktarım hızı önemlidir. Aynı anda deney modülü üzerinden fazla sayıda örneklem işareti aldığımızda veri toplama kartının veri aktarım hızı düşüyor. Veri aktarım hızı daha yüksek bir kart kullanılarak bu sorun ortadan kaldırılabilir.

Bilgisayar denetimli olarak gerçekleştirilen deney modülüne aynı anda sadece bir tane bilgisayardan veri alış verişi sağlanmaktadır. Aynı anda birden fazla bilgisayar üzerinden denetimi sağlanan bir sistem gerçekleştirilebilir.

Bilgisayar destekli gerçekleştirilen bu sistem, öğrencilerin güç elektroniği derslerde öğrendikleri teorik derslerin uygulamalarıdır. Bu uygulama farklı dersler içinde gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada anahtarlamalı güç kaynağının denetimi PI, PID ve bulanık mantık denetleyiciyle gerçekleştirilmiştir. Bu denetçilerin dışında farklı denetim türleri de uygulanabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Güvenç, U., Sönmez, Y. ve Biroğul, S., Bulanık Mantık Denetimli DA-DA Çeviricileri için Geliştirilen Bir Eğitim Seti, Politeknik Dergisi, 10, 4 (2007)
2. Corradini, M. L., Ippoliti, G., Leo, T. and Longhi, S., An Internet Based Laboratory for Control Education, Proceedings of the 40th. IEEE Conference on Decision and Control, 2 (2001 2833-2838).
3. Lin, P. I. and Broberg, H. and Mon, A., A Web-Based Lab for Distance Learning, Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference, (2002 10161-10172).
4. Hurley, W.G. and Chi K.L, Development, Implementation, and Assessment of a Web-Based Power Electronics Laboratory, IEEE Transactions on Education, 48, 4 (2005) 567-573.
5. Irmak, E., Uzaktan Eğitim Amaçlı İnternet Tabanlı Laboratuar Uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
6. Mohan, N., Undeland, T. M. and Robbins, W. P., Power Electronics, Converters, Applications and Design, Kanada, 2003.
7. Üstündağ, M., Pic Kontrollü Kesintisiz Güç Kaynağı Tasarımı ve Gerçeklemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2006
8. Kassakian, J., Schlecht, F. and Verghese G. C., Principles of Power Electronics, Addison-Wesley, Boston, 1991.
9. Krein, P. T., Elements of Power Electronics, Oxford University Press USA,1998.
10. Erickson R. W. and Maksimovic, D., Fundamentals of Power Electronics, Second Edition, New York: Chapman & Hall, 2001.
11. Miller, P., Switch Mode Power Supply Teaching Experiment, 39th International Universities Power Engineering Conference, (2004) 1228-1232.
12. Yüksel, I., Otomatik Kontrol, Nobel, Bursa, 2009.
13. İbrahim, A. ve Cervatoglu, N., Gömülü Sistemlerde Bulanık Mantık, Bilesim Yayınevi, İstanbul, 2004, 53-65.
14. Kuo, B.,C., Otomatik Kontrol Sistemleri, Bir, A., Literatür Yayınları, Ankara, 1999, 687-738.
15. Paraskeopoulos, P.N., Modern Control Engineering, Marcel Dek Inc., 2002.
16. Kıyak, E. ve Kahvecioğlu, A. Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1 (2003) 63-72.
17. Yen J., Langari R. and Zadeh L., Industrial Applications Of Fuzzy Logic And Intelligent Systems, IEEE Press, New York, 1995.
18. Chen G. and Pham T.T., Introduction To Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems, CRC Press, Florida, 2000.

19. Altaş, İ., H., Bulanık Mantık: Bulanık Denetim, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 64 (1999) 76-81.
20. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/11914>, 6036E DAQ, 25 Aralık 2010.
21. http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc205-207_229_238-243.pdf, 6036E DAQ Data Sheet, 05 Şubat 2011.
22. Uzun, T., Endüstriyel Otomatik Kontrol Sistemleri, MEGEP, Ankara, 2007.
23. <http://www.mathworks.com/products/rtwt/description2.html>, Real-Time Windows Target, 14 Mart 2011.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Karacasu'da doğdu. İlköğretim ve Liseyi Karacasu'da tamamladı. Lisans öğrenimini ise Pamukkale Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında yapmaktadır. 2006-2008 yılları arası Pamukkale Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığında görev aldı. 2008 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik –Elektronik Mühendisliği Bölümünde çalışmaktadır. 2009 yılında Karadeniz Bölge Komutanlığına bağlı Karadeniz-Ereğli Ordu Evleri Müdürlüğünde askerlik görevini yerine getirmiş olup, iyi derece İngilizce bilmektedir.