

**UZAKTAN ERİŞİMLİ GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI**

**Gürkan MUTLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2012  
ANKARA**

Gürkan MUTLU tarafından hazırlanan “UZAKTAN ERİŞİMLİ GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin POLAT

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 25/07/2012

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Gürkan MUTLU

**UZAKTAN ERİŞİMLİ GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI**  
(Yüksek Lisans Tezi)

**Gürkan MUTLU**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**Temmuz 2012**

**ÖZET**

Bu tezde, temel güç elektroniği devreleri için uzaktan erişimli bir laboratuvar geliştirilmiştir. Laboratuvar benzetim ve uygulama olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Benzetim çalışmasında güç elektroniğinin temel konularından olan doğrultucular (AA-DA çeviriciler), çeviriciler (DA-DA çeviriciler) ve eviriciler (DA-AA çeviriciler) modellenerek internet üzerinden erişime açılmıştır. Uygulama bölümünde ise bir alçaltıcı tip DA-DA çeviricinin internet üzerinden kontrolü gerçekleştirilmiştir. Güç elektroniği devrelerinin benzetiminde MatLAB/Simulink programı kullanılmış ve LabVIEW programı kullanılarak kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Bu programlar arasındaki iki yönlü veri alış verişi kesintisiz olarak "Simulation Interface Toolkit" yazılımı ile sağlanmıştır. Laboratuvar için bir web sayfası tasarlanarak temel güç elektroniği konularında teorik bilgiye yer verilmiştir. Böylece kullanıcı güç elektroniği konularında teorik bilgiyi aldıktan sonra benzetimini yaparak uygulama sonucunu da görebilecektir. Gerçekleştirilen çalışmanın mesleki ve teknik eğitimde faydalı bir eğitim aracı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

**Bilim Kodu : 703.3.012**

**Anahtar Kelimeler : Güç elektroniği, Uzaktan erişimli laboratuvar,  
MatLAB/Simulink, LabVIEW**

**Sayfa Adedi : 103**

**Tez Yöneticisi : Doç. Dr. şevki DEMİRBAş**

**REMOTE ACCESSIBLE POWER ELECTRONICS LABORATORY  
(M.Sc. Thesis)**

**Gürkan MUTLU**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
July 2012**

**ABSTRACT**

In this thesis, a remote accessible laboratory has been developed for basic power electronics circuits. The laboratory is composed of two sections named as simulation and real set. In the simulation basic power electronics circuits such as rectifiers (AC-DC converters), converters (DC-DC converters) and inverters (DC-AC converters) have been modeled and then web remote access has been enabled. In the application a DC-DC buck converter has been controlled over the internet. While MatLAB/Simulink program has been used for simulation of power electronics circuits, LabVIEW has been used to design user interface. Bidirectional data transfer between the two programs has been realized continuously by using "Simulation Interface Toolkit". A web page presenting lecture notes on basic power electronics has also been developed for the laboratory. Consequently user can take the information, simulate the system and perform the real application about any power electronics topic. It is argued that developed laboratory is useful educational tool for vocational and technical education.

**Science Code** : 703.3.012  
**Key Words** : Power electronics, Distance accessible laboratory,  
MatLAB/Simulink, LabVIEW  
**Page Number** : 103  
**Adviser** : Assoc. Prof. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Öğr. Gör. Sertaç BAYHAN'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve eşim Feride MUTLU'ya ve de değerli arkadaşım Öğr. Gör. Hikmet FİDANBOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca 41/2009-01 kod ve "Uzaktan Erişimli Güç Elektroniği Laboratuvarının Gerçekleştirilmesi" konulu projemi desteklediği için Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜÇ ELEKTRONİĞİ ÇEVİRİCİLERİ .....	9
2.1. Doğrultucular (AA-DA çeviriciler).....	9
2.1.1. Kontrolsüz doğrultucular.....	9
2.1.2. Kontrollü doğrultucular.....	16
2.2. Çeviriciler (DA-DA çeviriciler) .....	20
2.2.1. Alçaltıcı çevirici .....	22
2.2.2. Yükseltici çevirici .....	25
2.2.3. Alçaltıcı yükseltici çevirici .....	28
2.3. Eviriciler (DA-AA çeviriciler).....	31
2.3.1. Sinüsoidal DGM (SDGM) .....	32
2.3.2. Gerilim kaynaklı eviriciler (GKE) .....	35
3. SANAL BENZETİM ARAÇLARININ TASARIMI .....	40
3.1. Kullanıcı Arayüzleri ve MatLAB/Simulink Modelleri .....	41

3.1.1. Doğrultucular için kullanıcı arayüzleri ve MatLAB/Simulink modelleri .....	42
3.1.2. Çeviriciler için kullanıcı arayüzleri ve MatLAB/Simulink modelleri .....	52
3.1.3. Eviriciler için kullanıcı arayüzleri ve MatLAB/Simulink modelleri .....	59
3.2. LabVIEW Simulation Interface Toolkit (SIT) .....	65
3.3. Uzaktan Erişim Yardımcı Programı .....	69
3.4. Uzaktan Erişim İnternet Sayfası .....	70
4. UZAKTAN ERİŞİMLİ GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI İÇİN ÖRNEK UYGULAMA.....	74
4.1. Alçaltıcı DA-DA Çevirici Uygulamasının Gerçekleştirilmesi .....	74
4.1.1. Veri toplama kartı .....	75
4.1.2. Darbe genişlik modülasyonu kartı .....	75
4.1.3. Akım ölçüm probu.....	76
4.1.4. Sürücü kartı .....	76
4.1.5. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması.....	77
5. SONUÇLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ.....	103

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Anahtarlama durumlarına bağlı GKE'nin faz gerilimleri.....	39
Çizelge 3.1. Kontrol paneli buton görevleri .....	44

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Yarım dalga doğrultucu devre topolojisi .....	10
Şekil 2.2. Endüktif yüklü yarım dalga doğrultucu devre topolojisi .....	11
Şekil 2.3. Bir fazlı tam dalga doğrultucu, a) Devre topolojisi, b) D1 ve D2 iletimde, c) D3 ve D4 iletimde .....	13
Şekil 2.4. Üç fazlı tam dalga doğrultucu.....	15
Şekil 2.5. Bir fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu, a) Devre topolojisi, b) $T_1$ ve $T_2$ iletimde, c) $T_3$ ve $T_4$ iletimde.....	17
Şekil 2.6. Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu .....	19
Şekil 2.7. DA-DA çeviriciye ait blok diyagram .....	21
Şekil 2.8. Anahtarlama elemanı kontrol sinyali .....	21
Şekil 2.9. Alçaltıcı çevirici devre topolojisi.....	23
Şekil 2.10. Alçaltıcı çevirici (bobin akımının sürekli aktığı durumda), a) Anahtar iletim durumunda, b) Anahtar kesim durumunda.....	24
Şekil 2.11. Yükseltici çevirici devre topolojisi .....	26
Şekil 2.12. Yükseltici çevirici (bobin akımının sürekli aktığı durumda), a) Anahtar iletim durumunda, b) Anahtar kesim durumunda.....	27
Şekil 2.13. Alçaltıcı yükseltici çevirici devre topolojisi .....	29
Şekil 2.14. Alçaltıcı yükseltici çevirici (bobin akımının sürekli aktığı durumda), a) Anahtar iletim durumunda, b) Anahtar kesim durumunda.....	30
Şekil 2.15. DGM1 ve DGM2 sinyallerinin elde edilişi .....	33
Şekil 2.16. Sinüsoidal DGM'de $m_a$ 'ya karşı gerilimin değişimi .....	34
Şekil 2.17. Bir fazlı yarım köprü gerilim kaynaklı evirici .....	36

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.18. Bir fazlı tam köprü gerilim kaynaklı evirici .....	37
Şekil 2.19. Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici .....	38
Şekil 3.1. Gerçekleştirilen sisteme ait blok diyagram.....	41
Şekil 3.2. Bir fazlı yarım dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli.....	42
Şekil 3.3. Bir fazlı yarım dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü .....	43
Şekil 3.4. Bir fazlı tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli.....	45
Şekil 3.5. Bir fazlı tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü .....	46
Şekil 3.6. Üç fazlı tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli.....	47
Şekil 3.7. Üç fazlı tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü .....	48
Şekil 3.8. Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli .....	49
Şekil 3.9. Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü .....	50
Şekil 3.10. Üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli .....	51
Şekil 3.11. Üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü .....	52
Şekil 3.12. Alçaltıcı çevirici MatLAB/Simulink modeli.....	53
Şekil 3.13. Alçaltıcı çevirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü .....	54
Şekil 3.14. Yükseltici çevirici MatLAB/Simulink modeli .....	55
Şekil 3.15. Yükseltici çevirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü.....	56
Şekil 3.16. Alçaltıcı-yükseltici çevirici MatLAB/Simulink modeli .....	57
Şekil 3.17. Alçaltıcı-yükseltici çevirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü .....	58
Şekil 3.18. Bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici MatLAB/Simulink modeli .....	59

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.19. Bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü .....	60
Şekil 3.20. Bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici MatLAB/Simulink modeli .....	62
Şekil 3.21. Bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü .....	63
Şekil 3.22. Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici MatLAB/Simulink modeli .....	64
Şekil 3.23. Üç fazlı gerilim kaynaklı eviriciye ait LabVIEW kullanıcı arayüzü .....	65
Şekil 3.24. Simulation interface toolkit (SIT) menüsü .....	66
Şekil 3.25. SIT yönetim penceresi .....	66
Şekil 3.26. SIT yönetim penceresinde veri eşleştirme .....	67
Şekil 3.27. SIT eşleştirme penceresi .....	68
Şekil 3.28. SIT kontrol bölümü .....	68
Şekil 3.29. WPT aracının çalıştırılması .....	69
Şekil 3.30. Sanal enstrümanın yayınlanması .....	70
Şekil 3.31. Uzaktan erişim internet sayfası .....	71
Şekil 3.32. Kullanıcı girişi sonrası internet sayfası .....	72
Şekil 3.33. Eğitim sayfası .....	73
Şekil 4.1. Alçaltıcı çevirici uygulaması blok diyagramı .....	74
Şekil 4.2. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının devre topolojisi .....	78
Şekil 4.3. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması kullanıcı arayüzü .....	79
Şekil 4.4. %25'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması .....	81
Şekil 4.5. Şekil 4.5. %25'lik görev çevrimi için osiloskop verileri, a) Görev çevrimi b) Giriş ve çıkış gerilimleri c) Çıkış akımı .....	82

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.6. %25'lik görev çevrimi için benzetim deneyi .....	84
Şekil 4.7. %25'lik görev çevrimi için benzetim deneyi tüm çıkış grafikleri, a) Çıkış gerilimi b) Çıkış akımı c) Bobin akımı .....	85
Şekil 4.8. %50'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması.....	86
Şekil 4.9. %50'lik görev çevrimi için osiloskop verileri, a) Görev çevrimi b) Giriş ve çıkış gerilimleri c) Çıkış akımı .....	87
Şekil 4.10. %50'lik görev çevrimi için benzetim deneyi .....	89
Şekil 4.11. %50 görev çevrimi için benzetim deneyi tüm grafik çıkışları, a) Çıkış gerilimi b) Çıkış akımı c) Bobin akımı .....	90
Şekil 4.12. %75'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması.....	91
Şekil 4.13. %75'lik görev çevrimi için osiloskop verileri, a) Görev çevrimi b) Giriş ve çıkış gerilimleri c) Çıkış akımı .....	92
Şekil 4.14. %75'lik görev çevrimi için benzetim deneyi .....	94
Şekil 4.15. %75 görev çevrimi için benzetim deneyi tüm grafik çıkışları, a) Çıkış gerilimi b) Çıkış akımı c) Bobin akımı .....	95

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. Akım ölçüm probu .....	76
Resim 4.2. IGBT kapı sürücü kartı .....	77
Resim 4.2. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması 1. Giriş 2. Bobin 3. IGBT 4. Hızlı diyot 5. Kondansatör grubu 6. Çıkış .....	78



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>C</b>	Kondansatör
<b>D</b>	Anahtarlama oranı
<b>F</b>	Farad
<b>f</b>	Sinüsoidal dalga frekansı
<b>f<sub>s</sub></b>	Örnekleme frekansı
<b>f<sub>c</sub></b>	Taşıyıcı (üçgen) dalga frekansı
<b>H</b>	Henry
<b>I<sub>etkin</sub></b>	Akımın etkin değeri
<b>I<sub>ort</sub></b>	Akımın ortalama değeri
<b>I<sub>m</sub></b>	Akımın en büyük değeri
<b>i</b>	Akım
<b>i<sub>a</sub></b>	a fazı akımı
<b>i<sub>d</sub></b>	Diyot akımı
<b>i<sub>L</sub></b>	Bobin akımı
<b>L</b>	Endüktans
<b>m<sub>a</sub></b>	Modülasyon indeksi
<b>m<sub>f</sub></b>	Modülasyon frekansı
<b>R</b>	Direnç
<b>R<sub>yük</sub></b>	Yük direnci
<b>s</b>	Anahtar
<b>T</b>	Periyot
<b>T<sub>s</sub></b>	Anahtarlama sinyali periyodu
<b>t<sub>on</sub></b>	On olma süresi
<b>t<sub>off</sub></b>	Off olma süresi
<b>V</b>	Volt

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$V_m$	Gerilimin en büyük değeri
$V_k$	Kaynak gerilimi
$V_R$	Direnç gerilimi
$V_D$	Diyot gerilimi
$V_{ort}$	Gerilimin ortalama değeri
$V_d$	Doğru gerilim
$V_a$	a fazı gerilimi
$V_b$	b fazı gerilimi
$V_c$	c fazı gerilimi
$V_0$	Çıkış gerilimi
$V_L$	Bobin gerilimi
$V_r$	Gerilim dalgalanma değeri
$V_{sin}$	Sinüs sinyalinin genliği
$V_{üçgen}$	Üçgen sinyalinin genliği
$V_{da}$	Evirici bara gerilimi
$V_{an}$	a fazı-nötr gerilimi
$V_{bn}$	b fazı-nötr gerilimi
$V_{cn}$	c fazı-nötr gerilimi
$\Omega$	Ohm

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AA</b>	Alternatif Akım
<b>AKE</b>	Akım Kaynaklı Evirici
<b>BJT</b>	Çift Kutuplu Transistör
<b>DA</b>	Doğru Akım
<b>DAQ</b>	Veri Toplama Kartı
<b>DGM</b>	Darbe Genişlik Modülasyonu
<b>GKE</b>	Gerilim Kaynaklı Evirici
<b>GPL</b>	Grafiksel Programlama Dili
<b>IGBT</b>	Yalıtılmış Kapılı Çift Kutuplu Transistör
<b>MOSFET</b>	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
<b>NI</b>	National Instruments
<b>SDGM</b>	Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
<b>SIT</b>	Simulation Interface Toolkit
<b>WPT</b>	Web Publishing Tool

## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik dağıtım şirketleri genel olarak tüketiciye sabit genlik ve frekansta alternatif gerilim sunmaktadır. Fakat kullanılan elektrikli cihazların çoğu değişik genlik ve frekansta alternatif gerilime ihtiyaç duyduğu gibi birçok elektrikli cihazda değişik büyüklüklerde doğru gerilim ile beslenmektedir. Bu nedenle sabit genlik ve frekanstaki şebeke geriliminin elektrikli cihazların ihtiyaç duyduğu şekle dönüştürülmesi gerekmektedir.

Güç elektroniği, elektrik enerjisinin elektrik alıcıları için en uygun şekle dönüştürülmesini, düzenlenmesini, kısaca kontrol edilmesini sağlayan elektrik devre topolojilerinin genel bir ismidir. Elektrik enerjisinin şeklinin değiştirildiği devre tipleri (AA-DA, AA-AA, DA-DA ve DA-AA dönüştürücüler) güç elektroniği konularının en temel devre topolojileridir. Güç elektroniği birçok bilim dalı ile doğrudan ilişkili bir bilim dalı olup, son yıllarda yarı iletken güç anahtarlarındaki çalışmalar ve geliştirilen yeniliklere bağlı olarak çok hızlı gelişim göstermiştir [1].

Güç elektroniğinin uygulama alanları incelendiğinde oldukça çeşitli alana yayıldığı görülür. Bu uygulama alanlarından bazıları; yenilenebilir enerji ve yakıt pilleri, enerji iletim ve dağıtım sistemleri, elektrik motorları için kontrol ve sürücü devreleri, anahtarlama tip güç kaynakları, kesintisiz güç kaynakları, gelişmiş endüstriyel otomasyon sistemleri, elektrikli ev cihazları, iklimlendirme sistemleri, robotik uygulamalar, iletişim sistemleri ile elektrikli ve hibrit araçlar olarak sıralanabilir [1]. Bu şekilde geniş bir yelpazede uygulama alanı olan güç elektroniği teknolojileri düşük güçlü uygulamalardan orta ve büyük güçlü uygulamalara kadar çeşitlilik gösterir. Düşük güçlü uygulamaları arasında mobil telefonlar, ev uydu cihaz ve sistemleri, küçük elektrikli el aletleri ve bilgisayar teknolojileri yer almaktadır. Orta güçlü uygulamalarına bakıldığında; AA ve DA motor kontrol sistemleri ve bununla ilişkili olarak daha öncede belirtildiği gibi günümüzün önemli konularından olan elektrikli ve hibrit araç sistemleri olduğu görülür. Büyük güçlü uygulama alanları ise özellikle

enerji sektöründe ki uygulamalarıdır. Aynı zamanda enerji kalitesinin artırılması gibi konularda da güç elektroniği teknolojilerinin yeri büyüktür [2].

Güç elektroniğinin disiplinler arası yapısı ve bu şekilde çok uygulama alanı bulmuş olması önemini sadece endüstriyel alanda sınırlı tutmamış mesleki ve teknik eğitimin de önemli konularından biri haline getirmiştir. Bugün meslek liseleri, meslek yüksekokulları, teknik eğitim fakülteleri, teknoloji fakülteleri ve mühendislik fakültelerinin ilgili bölümlerinin müfredatında güç elektroniği dersi temel ders olarak yer almaktadır. Güç elektroniği derslerinde teorik bilgilerin yanında konunun daha iyi kavratılması amacıyla laboratuvar uygulamalarına da yer verilir. Laboratuvar uygulamaları veya çalışmaları teknik alanlardaki derslerin anlaşılmasına olumlu yönde çok büyük bir katkı yapmaktadır [3]. Öğrenci dersin teorik kısmında gerekli bilgileri aldıktan sonra dersin uygulama aşamasında aynı konunun laboratuvar uygulamalarını yapmakta ve böylelikle alınan bilginin akılda kalıcılığı artmakta yani etkin ve verimli bir öğrenme sağlanmış olmaktadır.

Literatüre bakıldığında güç elektroniği alanında birçok bilimsel çalışmanın olduğu görülmektedir. İov ve arkadaşları rüzgâr enerjisinde kullanılan güç elektroniği dönüştürücüleri ve bu dönüştürücülerin kontrolü üzerine bir araştırma yapmışlardır. [4]. Farooq ve arkadaşları güç elektroniği laboratuvarı için farklı uygulamalara olanak veren mikrodenetleyici tabanlı düşük maliyetli bir fazlı kontrollü doğrultucular için bir eğitim seti geliştirmişlerdir [5]. Han ve arkadaşları elektrik güç sistemlerinin kararlılığının değerlendirilmesi için 6 ve 12 darbeli diyotlu doğrultucuların durum uzay ortalama modelini geliştirerek geçici ve sürekli hal durumunda çalışma sonuçlarını karşılaştırmışlardır [6]. Khan ve arkadaşları DA güç kaynaklarında RC filtre ve diyotlu doğrultucuların dalga formu değişimlerinin izlenebildiği interaktif öğrenme sistemi geliştirmişler ve geliştirdikleri sistemin öğrencilerin konuyu anlaması üzerine oldukça faydalı olduğunu görmüşlerdir [7]. Krystkowiak ve arkadaşı 3 fazlı diyotlu doğrultucu devre topolojisini kullanarak güç elektroniği akım ayarlamalı kontrol sisteminin laboratuvar deney modelini ve benzetimini

gerçekleştirmişlerdir [8]. Qui ve arkadaşları sabit mıknatıslı senkron generatör tabanlı rüzgar türbinlerinde diyotlu doğrultucu, yükselten çevirici ve darbe genişlik modülasyon evirici devre topolojilerinin modellenmesi ve kontrolüne yönelik bir güç elektroniği arayüzü ve kontrol sistemi geliştirmişlerdir [9]. Shamsi ve arkadaşı yükseltici DA-DA yükseltici çevirici devresini 60 MHz gibi yüksek frekans değerlerinde anahtarlama yaparak çalışacak şekilde tasarlayıp pratik uygulamasını gerçekleştirmişlerdir [10]. Do DA-DA çeviricileri yumuşak anahtarlama tekniği ile kontrol ederek sürekli bir giriş akımı ve yüksek gerilim kazancı elde etmiştir [11]. Yao ve arkadaşları geniş giriş gerilim aralığı için uygun, yalıtılmış alçaltıcı-yükseltici DA-DA çeviricinin analizini gerçekleştirmişler ve analiz sonucunda tasarladıkları devre topolojisinden oldukça yüksek verime sahip bir giriş-çıkış değerleri elde etmişlerdir [12]. Kjaer ve arkadaşları fotovoltaik modüller için bir fazlı şebeke bağlantılı evirici uygulamaları geliştirmişlerdir [13]. Carrasco ve arkadaşları yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonu için güç elektroniği sistemleri üzerine bir inceleme yapmışlar ve güç elektroniği sistemlerinin gelecekte bu alanın çeşitli uygulamalarında çok önemli bir rol oynayacağı sonucuna varmışlardır [14]. Corradini ve arkadaşları dijital kontrollü alçaltıcı DA-DA çeviricinin bobin akımının sınırlanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [15]. Meyer ve arkadaşları pratik bir kondansatör şarj denge tekniği kullanarak alçaltıcı DA-DA çevirici için uygun bir kontrol metodu geliştirmişlerdir [16]. Salmon ve arkadaşları bir fazlı birleşik bobin yapısını kullanarak çok seviyeli faz kaydırmalı DGM evirici devre topolojisinin benzetimini gerçekleştirmişler ve deney sonuçlarında geliştirdikleri tasarımın çıkış gerilimi üzerine birçok faydasının olduğunu görmüşlerdir [17]. Garg ve arkadaşları harmonik azaltılması için 24 darbeli AA-DA çevirici devre topolojinin benzetimini değişik yükler altında gerçekleştirmişlerdir [18]. Kanaan ve arkadaşları yüksek akım uygulamaları için üç fazlı DA-DA çeviricinin tasarımını, modellenmesi, kontrolünü ve benzetimini gerçekleştirmişlerdir [19]. De ve arkadaşları düşük güçlü uygulamalar için çok seviyeli evirici uygulamasını gerçekleştirmişler ve özellikle yüksek

frekanslarda çalışıldığında çıkış filtre elemanlarının azaldığının ve bununla bağlantılı olarak evirici boyutunun küçüleceği sonucuna varmışlardır [20].

Eğitim insan hayatı boyunca devam eden dinamik bir süreçtir. Yüz yüze gerçekleştirilen eğitimlerde eğitim genele yaygınlaştırılmamakta, belirli bir grupta sınırlı kalmaktadır. Günümüzde daha geniş kitlelerin bilgi düzeylerinin artırılması amacıyla uzaktan eğitim modelleri geliştirilmiştir. Bugün en yaygın kullanılan uzaktan eğitim modeli internet üzerinden eğitimidir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak internet en yaygın kullanılan iletişim aracı konumuna gelmiştir. Güç elektroniğinin disiplinler arası bir bilim dalı olması ve çok geniş uygulama alanı bulmasından dolayı birçok kişi doğrudan veya dolaylı olarak güç elektroniği bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Sadece elektrik elektronik alanında değil otomotiv teknolojileri gibi endüstrinin diğer alanında çalışanların da dolaylı olarak güç elektroniği ile ilişkileri olmakta ve temel düzeyde güç elektroniği bilgisine ihtiyaç göstermektedirler. Bu çalışmada güç elektroniği için internet tabanlı bir eğitim aracı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sisteme internet bağlantılı herhangi bir bilgisayardan bağlanarak konu ile ilgili temel eğitimler alınarak, benzetimi yapılabilmektedir. Ayrıca ana bilgisayara bağlı deney düzeneğini de kontrol ederek sistemin gerçek tepkisi görülebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada kullanıcı arayüzleri LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments For Engineering Workbench) programında hazırlanmıştır. LabVIEW, verilerin toplanması, analizi ve sunumunda kullanılan, grafik tabanlı program geliştirme ortamıdır. Metin tabanlı programlama dillerine oranla daha güçlü programlama yeteneği ve esnekliğine sahip olan LabVIEW test ve ölçme işlemlerinde, veri toplama ve kontrolünde, bilimsel araştırma çalışmalarında, işlem takibinde, fabrika otomasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yazılımın hazırlanmasında ihtiyaç duyulabilecek hemen hemen her tip fonksiyon LabVIEW programında hazır olarak kullanıcıya sunulduğu için yazılım geliştirmek için harcanan zaman, diğer metin tabanlı programlara oranla önemli ölçüde azaltılmıştır.

Güç elektroniği temel devre topolojilerinin modellenmesi MatLAB/Simulink programında gerçekleştirilmiştir. MatLAB/Simulink; grafik kullanıcı arayüzüne sahip, dinamik sistem modellerinin kurulması, benzetimi ve çözümlemesinde kullanılan MatLAB'ın eklentisi bir paket programdır. Sürekli zaman, kesikli zaman veya her ikisini içeren biçiminde doğrusal ve doğrusal olmayan sistemleri destekler. Grafik kullanıcı arayüzü sayesinde kullanıcıya tıklama ve sürükleyip bırakma gibi basit fare hareketleri ile blok şemalar halinde modeller oluşturma imkanı sağlar. MatLAB/Simulink girişler, çıkışlar, doğrusal ve doğrusal olmayan bileşenler ve bağlantılar gibi geniş bir blok kütüphanesine sahiptir. Aynı zamanda kullanıcı kendi kütüphanesini ve bloklarını oluşturabilir.

National Instruments firması tarafında geliştirilen Simulation interface toolkit (SIT) yazılımı, LabVIEW ile birlikte kullanılan ve LabVIEW programı ile MatLAB/Simulink programını birlikte kullanmayı sağlayan bir yazılımdır. Bu yazılım ile LabVIEW ve MatLAB/Simulink programları arasında çift yönlü ve eş zamanlı veri aktarımı mümkün olmaktadır [21]. Özellikle MatLAB/Simulink programında modellenen devre topolojilerine LabVIEW programında görsellik kazandırılarak kullanıcıların sıkılmadan ve daha anlaşılır bir şekilde benzetimleri gerçekleştirmesi sağlanır. Bu anda arka planda MatLAB/Simulink programında gerçekleştirilmiş model LabVIEW kontrollü olarak çalışmaktadır.

LabVIEW, MatLAB/Simulink ve SIT yazılımları içerir literatür araştırması yapıldığında son yıllarda özellikle benzetim ve modelleme konularında birçok çalışmanın olduğu görülür. Bu alanda öne çıkan çalışmalar; Huselstein ve arkadaşları LabVIEW programını kullanarak güç elektroniği çeviricilerinin öğretilmesine yönelik gerçek zamanlı etkileşimli benzetim uygulamaları geliştirmişler, yalnız programlama yöntemi harici benzetim uygulama modellerinde değişiklik yapılamamasına rağmen devre parametreleri esnek bir şekilde değiştirilebilen bu benzetim uygulamalarının konunun öğrenilmesine iyi yönde katkısı olacağını görmüşlerdir [22]. Santos ve



arkadaşı Cuk çevirici için LabVIEW programını kullanarak PVECLAB isminde bir eğitim ve deney aracı geliştirmiş, cihaz ve devrelerle yapılan fiziksel uygulamaların gerekliliğini göz önüne alarak yaptıkları çalışmanın basitçe deneyler yapmak için daha iyi unsurlar sunduğu sonucuna varmışlardır [23]. Basher ve arkadaşları LabVIEW programı ve data acquisition board (DAQ) ile kullanıcıların gerçek temel elektronik uygulama deneylerini internet üzerinden gerçekleştirebildikleri bir sanal laboratuvar geliştirmişler ve çalışmayı kontrol sistemleri ve robotik dersleri için sanal laboratuvar deneyleri kapsayacak şekilde genişletme kararı almışlardır [24]. Spanik ve arkadaşları kendi kendine öğrenim amaçlı olarak yükseltici DA-DA çeviricinin benzetimini LabVIEW programında gerçekleştirmişlerdir [25]. Spagnolo ve arkadaşları iki referans değerini (frekans ve görev çevrimi) kontrolünü yaparak LabVIEW programı ve NI myDAQ kartı ile DA-DA çeviriciler için bir eğitim aracı geliştirmişlerdir [26]. Eguizabal ve arkadaşları LabVIEW programını kullanarak DA-DA çeviricilerin öğrenciler tarafından dizayn ve testlerinin yapılabileceği internet ağı üzerinden erişilebilir uzak bir sistem kurmuşlar, okul laboratuvarlarında güç elektroniği deneylerinin yüksek maliyetli ve düşük kullanımlı göz önüne alarak kurdukları uzak sistemin konunun öğrenilmesine önemli katkılarının olduğunu görmüşlerdir [27]. Khalil ve arkadaşları LabVIEW programı ve National Instruments firmasının ürettiği DAQ (NI DAQ) kartlarını kullanarak elektrik mühendisliği programı için uzak bir laboratuvar geliştirmişler, geleneksel laboratuvar deneylerinin geniş bir aralığının geliştirdikleri sistem üzerinden gerçekleştirilebileceği sonucuna varmışlardır. [28]. Bauer ve arkadaşları kontrolsüz doğrultucular için LabVIEW programında e-öğrenme platformunu oluşturup, LabVIEW Web Publishing Tool programında internet ulaşım sayfalarını elde ederek Moodle içerik yönetim sisteminde hazırladıkları web sitesi üzerinden kullanıcıların hizmetine sunmuşlar, 57 öğrenciye yaptıkları deneyler sonucunda öğrencilerden eğitimlerine katkıda bulunacak bir çalışma olduğu yönünde tepkiler almışlardır [29]. Williams ve arkadaşları güç elektroniğinde öğrenci eğitimi için yarı iletken aletler, kapı sürücü kartları, gerilim ve akım algılayıcıları ve bilgisayar arayüz bağlantıları gibi donanımsal ve LabVIEW

sanal enstrümanları, MatLAB benzetimleri gibi yazılımsal uygulamalar içeren çok yönlü bir eğitim aracı geliştirmişler, uygulamalara katılan öğrencilerin eğitim yaşamlarında güç ile ilgili kariyer alanlarını seçtiklerini gözlemlemişlerdir [30]. Patil ve arkadaşları MatLAB/Simulink programında tasarladıkları güç elektroniği konularına ait benzetim modellerinin güç elektroniği eğitimi üzerine etkisini incelemişler, sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvarların yerini almasının zor olduğunu, yalnız sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvarlar ile birlikte kullanılması durumunda konunun öğrenilmesine olumlu yönde katkı sağlayacağı sonucuna varmışlardır [31]. Altıntaş MatLAB/GUI programını kullanarak AA-AA çeviricilerin simülasyonu için eğitim amaçlı bir arayüz geliştirmiş, kullanıcıların temel güç elektroniği bilgisini geliştirdiği çalışma üzerinden kazanabileceğini öne sürmüştür [32]. Cheng ve arkadaşı SIT yazılımını kullanarak üç fazlı kontrollü doğrultucu benzetimini gerçekleştirmiştir [33]. Demirbaş ve arkadaşı LabVIEW programı ve MatLAB/Simulink programını ortaklaşa kullanarak DA-DA çeviriciler konusunda bir internet tabanlı araç geliştirmişler, gerçekleştirdikleri çalışmanın sadece eğitim amaçlı değil devre tasarımı konusunda da yardımcı olabileceği sonucuna varmışlardır [34]. Mbarushimana ve arkadaşı SIT yazılımını kullanarak, artırılmış güç kalitesi ile yenilenebilir enerjinin şebeke entegrasyonu için DGM çevirici kontrolünün gerçek zamanlı benzetimini gerçekleştirmişlerdir [35].

Bu çalışmada güç elektroniği temel devre topolojilerinin MatLAB/Simulink devre modelleri oluşturulup LabVIEW programında bu devre modelleri için ayrı ayrı kullanıcı arayüzleri tasarlanmıştır. SIT yazılımı ile devre modelleri ve kullanıcı arayüzleri bir biri ile ilişkili hale getirilerek hazırlanmış bir internet sitesi üzerinden kullanıcılar için erişilebilir hale getirilmiştir. Hazırlanan internet sitesinde ele alınan konular hakkında teorik bilgilere de yer verilmiştir. Ayrıca alçaltıcı DA-DA çevirici için bir adet gerçek uygulama hazırlanarak internet üzerinden kontrol edilebilir hale getirilmiş ve aynı internet sitesi üzerinden erişilip deneyi gerçekleştirilebilir hale getirilmiştir. Yapılan çalışma MatLAB/Simulink programı ve LabVIEW programının birlikte

kullanılması ile oluşturulan benzetim modellerinin internet üzerinden erişilebilir olarak gerçekleştirilmesi ve bir adet uzaktan kontrollü gerçek uygulama deneyinin aynı platform üzerinde yer alması yönüyle bu alanda yapılan çalışmalardan ayrılmaktadır.

## 2. GÜÇ ELEKTRONİĞİ ÇEVİRİCİLERİ

Günümüzde elektrik enerjisi genellikle sabit genlikli 50 veya 60 Hz frekanslı AA olarak dağıtılmaktadır. Fakat kullanılan elektrikli cihazlardan bazıları değişik genlik ve frekansta alternatif gerilime ihtiyaç duyarken bazıları da sabit veya değişken büyüklükte doğru gerilime ihtiyaç duymaktadır. Güç elektroniği çeviricileri bir formdan başka bir forma güç dönüşümü için kullanılan güç elektroniği devreleridir. Genel olarak güç elektroniği çeviricileri dört grupta incelenmektedir: Doğrultucular AA-DA çevirici, çeviriciler DA-DA çevirici ve eviriciler DA-AA çevirici olarak bilinmektedir. Güç elektroniğinin AA-AA çeviriciler konusu son yıllarda pek fazla uygulama şansı bulamaması nedeniyle gerçekleştirilen çalışmada ele alınmamış, aynı zamanda bu konu hakkında da bir analiz gerçekleştirilmemiştir.

### 2.1. Doğrultucular (AA-DA çeviriciler)

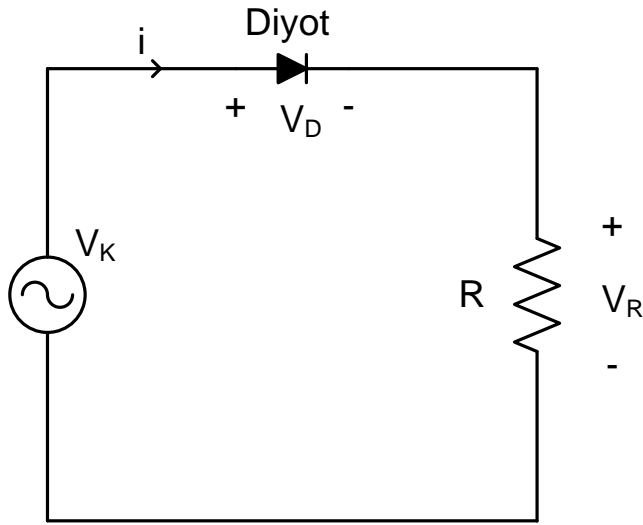
Doğrultucular AA'dan DA elde etmek için kullanılan güç elektroniği devreleridir. Kontrolsüz doğrultucular ve kontrollü doğrultucular olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir.

#### 2.1.1. Kontrolsüz doğrultucular

Devrede kullanılan yarı iletken elemanlar kontrol ediliyor ise bu tür devreler kontrolsüz doğrultucu olarak adlandırılmaktadır [36]. Diyotlu doğrultucular AA girişini kontrolsüz bir biçimde DA'a çevirirler ve kontrolsüz doğrultucular olarak adlandırılırlar. Küçük güçlü uygulamalarda bir faz doğrultucular kullanılırken orta ve büyük güçlü uygulamalarda 3 faz doğrultucular tercih edilmektedir. Bu tür doğrultucularda güç akışı AA'dan DA'a doğrudur. Ayarlı DA kaynağı, AA motor sürme sistemleri, DA servo sürme sistemleri gibi uygulama alanlarında kontrolsüz (diyotlu) doğrultucular kullanılır.

### Bir fazlı yarım dalga doğrultucu

Bir fazlı diyotlu doğrultucular içerisinde en basiti yarım dalga doğrultucudur. Şekil 2.1'de omik yüke sahip bir fazlı yarım dalga doğrultucunun devre şekli görülmektedir. Bu devre topolojisinde sadece bir diyot yer alır.



Şekil 2.1. Yarım dalga doğrultucu devre topolojisi

AA'nın pozitif yarım periyodu boyunca diyot iletimdedir. AA'nın negatif alternansında ise devredeki diyot ters yönde kutuplanacak ve üzerinden akım geçişine müsaade etmeyecektir. Diyot kesimde iken diyot üzerinde kaynak geriliminin negatif yarım periyodunun olduğu görülür. Bundan dolayı diyotun ters yönde arızalanmasını önlemek için diyotun ters tepe gerilim değeri oranı kaynak geriliminin tepe değerinden büyük seçilmelidir. Kaynak geriliminin pozitif yarım periyodunda diyot akım geçişine müsaade eder. Geçen akım yük akımıdır. Bu yüzden diyotun ileri yön tepe akım değeri oranı yük akımının tepe değerinden büyük seçilmelidir.

Yarım dalga omik yüklü doğrultucunun çıkış geriliminin ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.1'de, çıkış akımının ortalama değerinin matematiksel ifadesi ise Eş. 2.2'de verilmiştir.

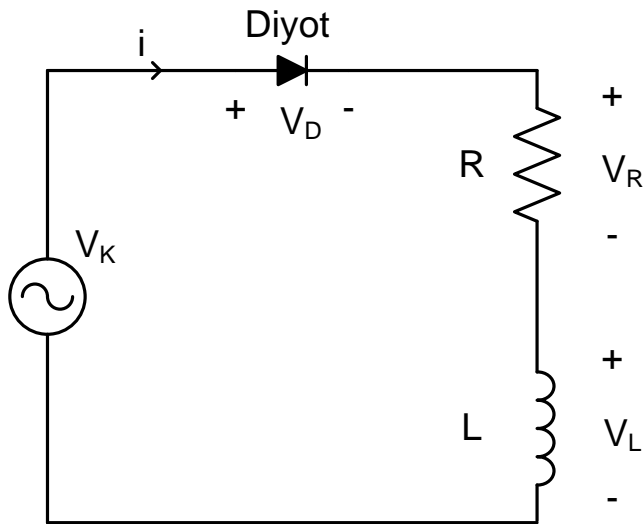
$$V_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{V_m}{\pi} \quad (2.1)$$

$$I_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{I_m}{\pi} \quad (2.2)$$

Yarım dalga omik yüklü doğrultucu girişinde yer alan kaynaktan çekilen akımın etkin değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.3'te verilmiştir.

$$I_{etkin} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = \frac{I_m}{2} \quad (2.3)$$

Yük olarak dirençle seri bağlı bir endüktif yük kullanıldığı durum için devre topolojisi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Endüktif yüklü yarım dalga doğrultucu devre topolojisi

Yük olarak direnç ile birlikte endüktif yükün kullanıldığı durum için , kaynak geriliminin değeri sıfır olduğu ilk anda devreden bir akım akmamaktadır. Bu andan sonra kaynak gerilimi pozitif yönde artacak ve diyot ileri yönde kutplanacaktır. Devreden bir akım akmaya başlayacaktır. Akan bu akım

sonucunda devredeki endüktif yük uçlarında  $v_L=L.di/dt$  eşitliğine göre bir gerilim olur. Endüktif yükün geriliminin matematiksel ifadesi Eş. 2.4'te verilmiştir.

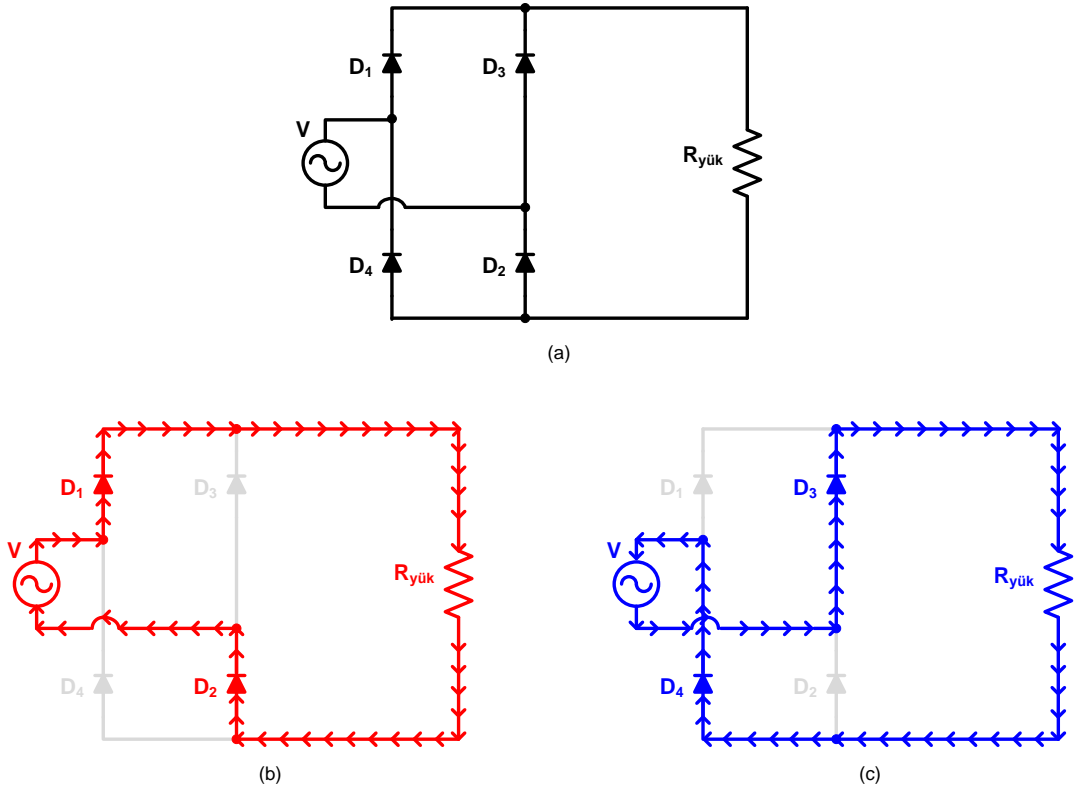
$$v_L = L \frac{di}{dt} \quad (2.4)$$

Şekil 2.2'de görülen devrede kaynak geriliminin direnç uçlarındaki gerilimden büyük olduğu süreyle diyot ileri yönde kutuplanacak ve devreden akım akmaya başlayacaktır. Akan akımla birlikte devredeki endüktif yük üzerinde enerji depolanmaya başlar. Kaynak geriliminin çıkış geriliminden küçük olduğu andan sonra bobin uçlarındaki gerilim yön değiştirir. Kaynak geriliminin negatif alternansında endüktif yükün depo ettiği enerji nedeniyle devre akımı bir süre pozitif yönde akar. Bu durumda diyot hala iletimdedir. Endüktif yük üzerinde depo edilen enerji tükendiği anda devre akımı sıfır olur ve diyot kesime gider. Kaynak gerilimi pozitif olana kadar diyot kesimde olacaktır. Eş 2.4 tekrar düzenlenirse devre akımının matematiksel ifadesi Eş. 2.5'teki gibi olur.

$$i(t) = \frac{1}{L} \int v_L dt \quad (2.5)$$

### Bir fazlı tam dalga doğrultucu

Bir fazlı diyotlu tam dalga doğrultucu en çok karşılaşılan doğrultucu tipidir. Şekil 2.3a'da devre topolojisi verilmiştir.



Şekil 2.3. Bir fazlı tam dalga doğrultucu, a) Devre topolojisi, b) D1 ve D2 iletimde, c) D3 ve D4 iletimde

Şekilde görülen devreye alternatif gerilim uygulandığı zaman, uygulanan gerilimin pozitif alternansında  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları ileri yönde kutuplanırlar ve devre çıkışına bağlanan yük üzerinden pozitif yönde bir akım akar. Şekil 2.3b'de bu durum verilmiştir ve  $D_3$  ve  $D_4$  diyotları ters yönde kutuplanırlar. Uygulanan gerilimin negatif alternansında  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları ters yönde kutuplanır ve kesimdedirler.  $D_3$  ve  $D_4$  diyotları ise ileri yönde kutuplanırlar, iletimdedirler ve DA çıkışa bağlı yük uçlarından pozitif yönde bir akım akar. Anlatılan bu durum da Şekil 2.3c'de verilmiştir. Görüldüğü üzere uygulanan gerilimin her iki alternansı içinde yük uçlarından aynı yönde akım akmaktadır.

Bir fazlı tam dalga omik yüklü doğrultucunun çıkış geriliminin ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.6'dan ve çıkış akımının ortalama değerinin matematiksel ifadesi ise Eş. 2.7'den bulunabilir.



$$V_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{2V_m}{\pi} \quad (2.6)$$

$$I_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{2I_m}{\pi} \quad (2.7)$$

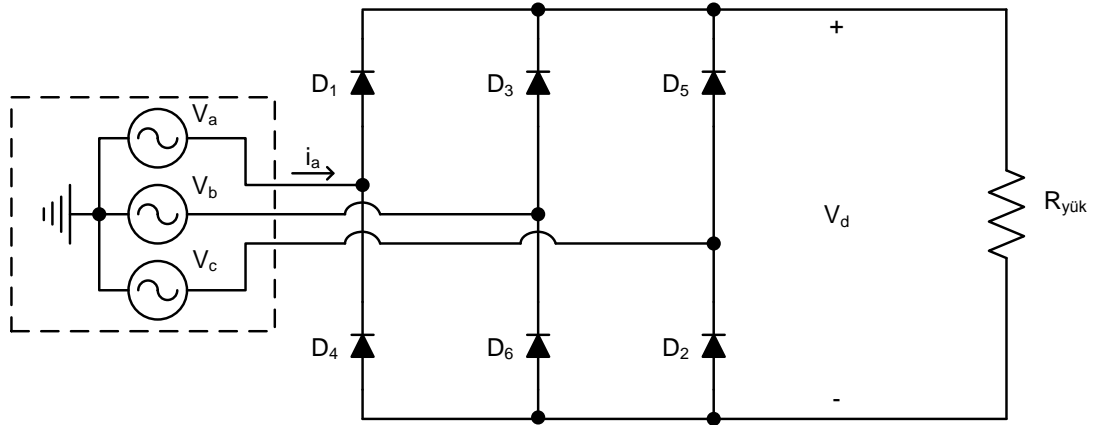
Doğrultucu girişinde yer alan alternatif gerilim kaynağından çekilen akımın etkin değerinin matematiksel ifadesi ise Eş. 2.8'de verilmiştir.

$$I_{etkin} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2.8)$$

Devre girişine seri bir endüktans (Ls) eklendiğinde, kaynak geriliminin negatif alternansında D<sub>3</sub> ve D<sub>4</sub> diyotları devreye girecekken Ls üzerinde depo edilen enerji nedeniyle çıkış geriliminde bir miktar kesinti olacaktır.

### Üç fazlı tam dalga doğrultucu

Üç fazlı alternatif gerilimlerin kullanıldığı sanayi tipi uygulamalarda bir fazlı tam dalga doğrultucu yerine üç fazlı tam dalga doğrultucular daha fazla tercih edilmektedir. Bunun nedeni bir fazlı tam dalga doğrultuculara göre üç fazlı tam dalga doğrultucuların daha düşük harmonikli dalga biçimlerine ve daha yüksek güç oluşturma kapasitesine sahip olmalarıdır. Şekil 2.4'te üç fazlı tam dalga doğrultmaç devresine ait devre topolojisi görülmektedir.



Şekil 2.4. Üç fazlı tam dalga doğrultucu

Üç fazlı tam dalga doğrultucunun çıkış geriliminin ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.9'da ve çıkış akımının ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.10'da verilmiştir.

$$V_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T v_d(t) dt = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \quad (2.9)$$

$$I_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T i_d(t) dt = \frac{3\sqrt{3}I_m}{\pi} \quad (2.10)$$

Girişte yer alan üç fazlı AA kaynağın bir fazından çekilen akımın etkin değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.11'de verilmiştir.

$$I_{etkin} = I_m \sqrt{D} \quad (2.11)$$

Burada D ifadesi Eş. 2.12'de verilen matematiksel denklem yardımı ile hesaplanabilir.

$$D = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad (2.12)$$

Üç fazlı tam dalga doğrultucunun çıkışına bağlı omik yük uçlarında 6 tepeli bir çıkış gerilimi görülür. Üç fazlı tam dalga doğrultucunun analizi bir fazlı tam dalga doğrultucunun analizine çok benzerdir. Üç fazlı tam dalga doğrultucu devresinde yer alan altı diyottan her biri 120 derecelik açıyla devreye girer.

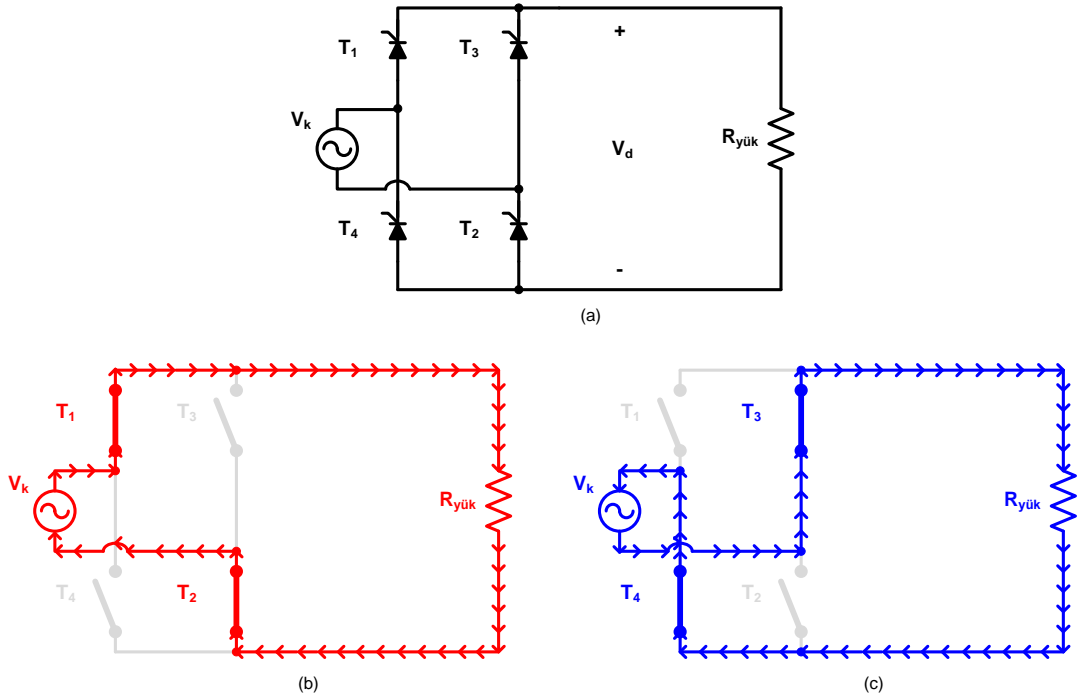
### **2.1.2. Kontrollü doğrultucular**

Bir önceki bölümde incelenen doğrultucudan sonra güç elektroniğinde AA-DA çeviricisi olarak kullanılan doğrultucu devrelerine bir örnekte kontrollü doğrultuculardır. Bu devre topolojisinde kontrollü yarı iletken devre elemanı olarak tristörler kullanılır. Kontrolsüz doğrultuculara karşın akümülatör şarj devreleri ve bazı motor sürme devrelerinde DA gerilimin kontrol edilebilir olması gereklidir. Tristörlü doğrultucu devreleri eskiden daha fazla kullanılırdı. Güç elektroniğindeki yenilikler ve teknolojideki gelişmelerle birlikte tristöre göre daha yüksek gerilim ve akım değerlerine sahip ayrıca daha iyi kontrol edilebilen yarı iletken anahtarlama elemanları günümüzde giderek artmaktadır. Bu sebeple tristörlü doğrultucuların kullanımı günümüzde üç fazlı yüksek güçlü uygulamalarla sınırlıdır. Bu tip doğrultucularda tristörün iletme geçme veya kesime gitme anı hat frekanslı alternatif gerilimin dalga şekline ve kapı ucundaki kontrol sinyaline bağlıdır. Kullanılan tristörler arasındaki akım transferi hat frekanslı alternatif gerilimin dalga şekline göre doğal olarak gerçekleşir. Hat frekanslı alternatif kaynak gerilimi için, kontrollü doğrultucularda çıkış geriliminin genliği akım kontrollü elemanlar olan tristörlerin iletme geçirilme anlarının geciktirilmesiyle kontrol edilebilir.

#### **Bir fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu**

Şekil 2.5'te bir fazlı tam dalga kontrollü doğrultucuya ait devre topolojisi ve tristörlerin iletim kesim durumlarına ait devre topolojileri verilmiştir. Bu devrenin analizi bir fazlı diyotlu tam dalga doğrultmaç devresi bölümünde anlatılanla benzerdir. Bu devre topolojisi ile diyotlu tam dalga doğrultmaç

devre topolojisi arasındaki fark burada diyot yerine kontrollü eleman olan tristör kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Bir fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu, a) Devre topolojisi, b)  $T_1$  ve  $T_2$  iletimde, c)  $T_3$  ve  $T_4$  iletimde

Şekil 2.5b'de görülen devrede kapı akımının sürekli uygulandığı durum için  $T_1$  ve  $T_2$  transistörleri kaynak geriliminin pozitif alternansı boyunca iletimdedirler. Eğer kapı akımı ilk anda uygulanmazsa, yani  $\omega t = \alpha$  derecesi kadar bir faz gecikmesinden sonra uygulanırsa kaynak geriliminin pozitif alternansı için kapı akımının uygulandığı anda bu iki tristör iletime geçer ve kaynak geriliminin pozitif alternansının sonuna kadar iletimde kalır. Şekil 2.5c'de ise kaynak geriliminin negatif alternansı için tristörlerin iletim kesim durumları verilmiştir. Kapı akımının sürekli uygulandığı durum için kaynak geriliminin negatif alternansının hemen başladığı anda  $T_3$  ve  $T_4$  tristörleri iletimdedirler ve bu durum kaynak geriliminin negatif alternansının bittiği yere kadar devam eder. Bu anda  $T_1$  ve  $T_2$  tristörleri kesimdedir. İstenilirse kapı akımı sürekli uygulanmadan  $\omega t = \pi + \alpha$  derece kadar bir faz gecikmesiyle de

uygulanabilir. Bu durumda  $T_3$  ve  $T_4$  tristörleri negatif alternansın başladığı noktadan  $\alpha$  derecesi kadar sonra ilettime geçer.

Doğrultucu çıkışındaki doğrultulmuş gerilimin ortalama değeri devrede yer alan tristörlerin tetikleme açısı değiştirilerek kontrol edilebilir. Bu durumda çıkış geriliminin  $\alpha$  gecikme açısının etkisine göre ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.13'te ve çıkış yük akımının ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.14'te verildiği gibidir.

$$V_{ort} = \left( \frac{V_m}{\pi} \right) (1 + \cos \alpha) \quad (2.13)$$

$$I_{ort} = \left( \frac{I_m}{\pi} \right) (1 + \cos \alpha) \quad (2.14)$$

Girişte yer alan AA kaynağından çekilen akımın etkin değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.15'te verilmiştir.

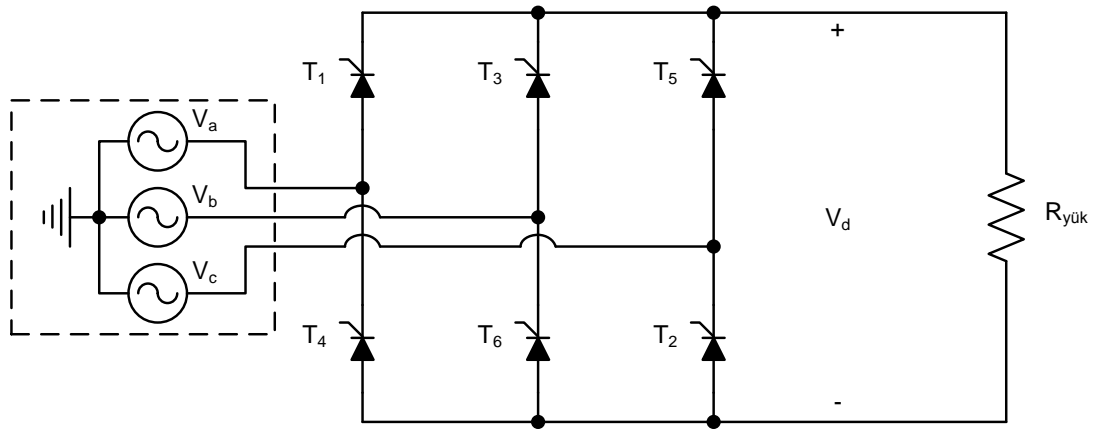
$$I_{etkin} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{\alpha}{\pi} \right) + \left( \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right) \right]} \quad (2.15)$$

Çıkıştaki omik yük endüktif yük ile değiştirildiği durumda, endüktif yükün etkisiyle yük üzerindeki gerilim kaynak geriliminin sıfır olduğu anda sıfır olmaz belli bir süre negatif yönde kutuplanır. Kaynak gerilimi negatif olduğunda  $T_1$  ve  $T_2$  tristörleri kesime gider.  $T_3$  ve  $T_4$  tristörleri ileri yönde kutuplanırlar. Ancak gecikme açısı  $\omega t = \pi + 30^\circ$  olana kadar  $T_1$  ve  $T_2$  tristörleri hala iletindedir,  $T_3$  ve  $T_4$  tristörleri ise ters yönde kutuplanırlar. Bu durum için çıkış geriliminin ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.16'da verildiği gibidir.

$$V_{ort} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} V_m \cos \alpha \quad (2.16)$$

### Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucular

Üç fazlı tam dalga doğrultucularda bir fazlı tam dalga doğrultuculara göre, kontrollü veya kontrolsüz, daha düzgün bir doğru gerilim elde edilir. Şekil 2.6'da üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucunun devre topolojisi verilmiştir.



Şekil 2.6. Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu

Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu devresi diyot yerine kontrollü bir eleman olan tristör kullanılan devre topolojisidir. Tristörlerin kapı akımları sürekli olarak uygulanacak olursa, tristörler bir diyot gibi davranacaklar ve devrenin analizi üç fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucular bölümünde anlatıldığı gibi olacaktır. Yük akımı kaynak geriliminin değerine bağlı olarak üst grup tristörler olan  $T_1$ ,  $T_3$  ve  $T_5$  tristörlerinin birinden alt grup tristörler olan  $T_4$ ,  $T_6$  ve  $T_2$  tristörlerinden birine doğru akar.

Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu çıkış geriliminin ortalama değeri  $\alpha < 60^\circ$  olduğu durum için Eş. 2.17 kullanılarak hesaplanabilir. Çıkış akımının değişimi omik yük için benzer değişim gösterir ve Eş. 2.18'de verilen

matematiksel ifade yardımı ile hesaplanabilir. Girişte yer alan AA kaynağı yıldız bağlıdır.

$$V_{ort} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos \alpha \quad (2.17)$$

$$I_{ort} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} I_m \cos \alpha \quad (2.18)$$

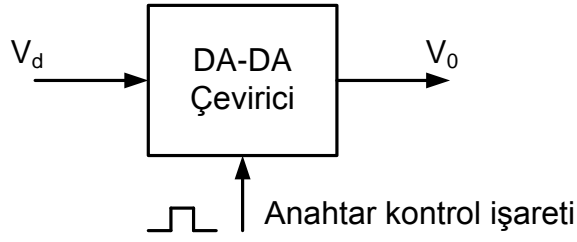
$\alpha > 60^\circ$  olduğu durumda çıkış geriliminin ortalama değerinin matematiksel ifadesi Eş. 2.19' da verilmiştir.

$$V_{ort} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \left( 1 + \cos \left( \alpha + \frac{\pi}{3} \right) \right) \quad (2.19)$$

## 2.2. Çeviriciler (DA-DA çeviriciler)

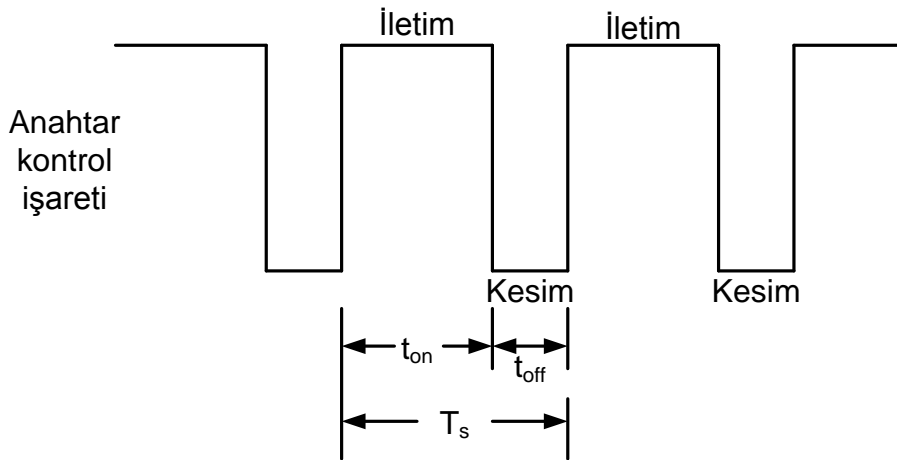
Bu bölümde çeviriciler konusu incelenecektir. DA-DA çeviriciler girişine uygulanan doğru gerilimi çıkışına istenilen gerilim değerinde ve kontrol edilebilir şekilde aktaran güç elektroniği devreleridir [37]. Çeviricilere ait devre topolojilerinin çok olması nedeniyle burada en temel sayılabilecek devre topolojileri üzerinde durulacaktır.

Sabit doğru gerilimin değeri ayarlanabilir doğru gerilime dönüştüren bu devre topolojisine endüstride bir çok uygulamada ihtiyaç duyulmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları anahtarlamalı DA-DA güç kaynakları ve DA motor sürücüleridir. Şekil 2.7'de DA-DA çeviricilerin çalışma şeklini özetleyen blok diyagram verilmiştir.



Şekil 2.7. DA-DA çeviriciye ait blok diyagram

Şekil 2.8'de çeviricilerin devre topolojilerinde kullanılan anahtarlama elemanlarının kontrol sinyaline ait dalga formu verilmiştir. Bu kontrol sinyali bir testere dişi sinyal ile doğru bir sinyalin karşılaştırılması sonucu elde edilebileceği gibi gelişen teknoloji ile kullanımı oldukça yaygınlaşan programlanabilir mikrodenetleyiciler yardımıyla da darbe genişlik modülasyon yöntemi elde edilebilir.



Şekil 2.8. Anahtarlama elemanı kontrol sinyali

Çeviricilerde kullanılan anahtarlama elemanlarının çalışma oranının (D) matematiksel ifadesi Eş. 2.20'de verilmiştir.

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.20)$$



Bu bölümde çevirici devre topolojilerinden alçaltıcı, yükseltici ve alçaltıcı yükseltici çevirici topolojisi incelenecektir. Alçaltıcı ve yükseltici çevirici topolojileri temel çeviricilerdir. Alçaltıcı yükseltici çevirici bu iki çeviricinin birleşimidir.

### 2.2.1. Alçaltıcı çevirici

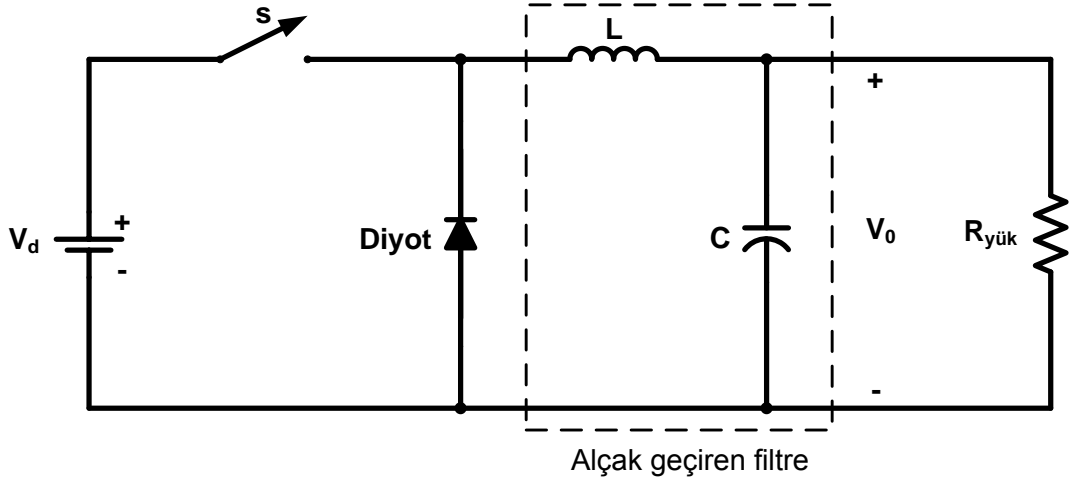
Alçaltıcı çevirici girişine uygulanan doğru gerilimden daha düşük seviyede bir doğru gerilim çıkışı veren çevirici tipidir. Daha çok ayarlı güç kaynaklarında ve DA motorlarının hız denetiminde kullanılır. Devrede anahtarlama elemanı olarak ideal bir transistör, girişteki doğru gerilimin sabit olduğu ve yük olarak saf omik yük kullanıldığı düşünüldüğünde alçaltıcı çevirici için gerilim ifadesi Eş. 2.21'de verilmiştir [37].

$$(V_d - V_o)DT_s = -V_o(1 - D)T_s \quad (2.21)$$

Yukarıda verilen matematiksel ifadenin sonucu olarak doğru gerilimin transfer fonksiyonu giriş gerilimi için çıkış geriliminin oranı olarak tanımlanırsa Eş. 2.22 elde edilir.

$$\frac{V_o}{V_d} = D \quad (2.22)$$

Şekil 2.9'da alçaltıcı DA-DA çevirici devre topolojisi verilmiştir. Çevirici çıkışına omik bir yük bağlanmıştır. Devrede alçak geçiren filtre içerisinde yer alan bobin ve kondansatör elemanları vasıtasıyla çıkış geriliminin sınırlı bir salınım yapması sağlanarak daha düzgün bir doğru gerilim çıkışı elde edilmiştir. Yüke bağlı olarak gerekli filtreleme işlemi böylelikle gerçekleştirilmiş olur. Devrede görülen s anahtarı yerine transistör, MOSFET ve IGBT gibi güç elektroniği anahtarlama elemanlarından biri kullanılabilir.



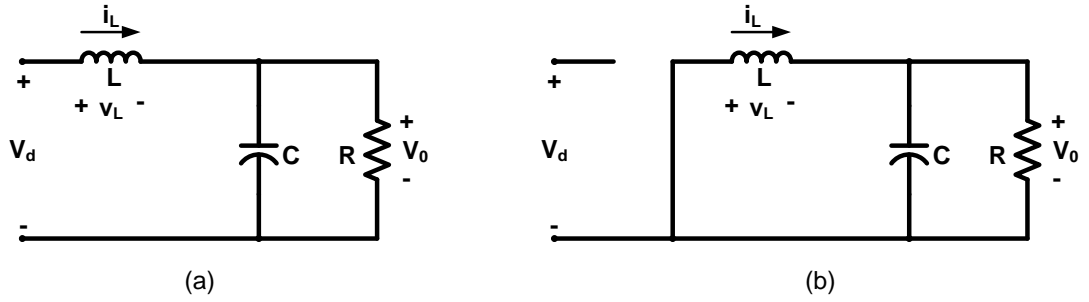
Şekil 2.9. Alçaltıcı çevirici devre topolojisi

Şekil 2.9'daki alçaltıcı çevirici devresinde görülen alçak geçiren filtre devresinde yer alan bobinin Eş. 2.23'ten ve kondansatörün değerleri ise Eş. 2.24'ten bulunabilir [38]. Kondansatörün değerinin hesaplandığı ifade de yer alan  $V_r$  çıkış geriliminin dalgalanma oranıdır.

$$L = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.23)$$

$$C_{\min} = \frac{(1-D)V_0}{8V_r L f^2} \quad (2.24)$$

Alçaltıcı çevirici devre topolojisinin analizi  $s$  anahtarının iletimde olduğu durum ve kesimde olduğu durum olmak üzere iki durum için yapılır. Şekil 2.10a'da anahtarın iletimde olduğu durum ve Şekil 2.10b'de anahtarın kesimde olduğu durum için devre topolojileri verilmiştir. Bu iki devre yardımı ile alçaltıcı çeviricinin matematiksel modeli çıkarılabilir.



Şekil 2.10. Alçaltıcı çevirici (bobin akımının sürekli aktığı durumda),  
a) Anahtar iletim durumunda, b) Anahtar kesim durumunda

s anahtarının kapalı olduğu durum için Şekil 2.10a'da görülen devreye Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulandığında elde edilen diferansiyel ifadeler Eş. 2.25'teki gibidir. Bu anda devre incelenecek olursa diyot ters yönde kutuplanmıştır ve kesimdedir.

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_0 + V_d \quad (2.25)$$

$$C \frac{dV_0}{dt} = i_L - \frac{V_0}{R}$$

s anahtarının açık olduğu Şekil 2.10b'deki görülen devreye Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulandığı durumda ise elde edilen diferansiyel ifadeler Eş. 2.26'da verilmiştir [38].

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_0 \quad (2.26)$$

$$C \frac{dV_0}{dt} = i_L - \frac{V_0}{R}$$

Şekil 2.10 için devreden geçen bobin akımının değişimini  $x_1$  ve çıkış gerilimini  $x_2$  değişkenleri ile sembolize ettiğimizde alçaltıcı çeviricinin normalleştirilmiş matematiksel modeli Eş. 2.27'deki gibi olur [39].

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{d\tau} &= -x_2 + u_{ort} \\ \frac{dx_2}{d\tau} &= x_1 - \frac{x_2}{Q}, \quad Q = R\sqrt{C/L}, \quad \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \quad (2.27)$$

### 2.2.2. Yükseltici çevirici

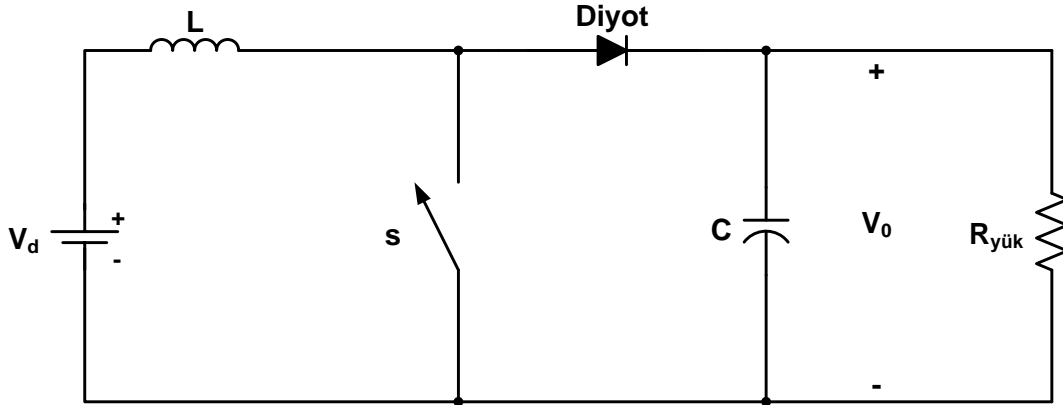
Yükseltici çevirici girişine uygulanan doğru gerilimi çıkışına yükselterek aktaran çevirici tipidir. Bu çeviriciler daha çok ayarlı DA güç kaynaklarında ve DA motorlarının enerji geri kazanımlı frenlenmesinde kullanılır. Çeviricinin giriş geriliminin değişmediği, ideal bir anahtarlama elemanı kullanıldığı ve çıkışında da saf omik yük kullanıldığı düşünüldüğünde gerilim ifadesi Eş. 2.28'de verildiği gibi olur [38].

$$V_d DT_s = (V_0 - V_d)(1 - D)T_s \quad (2.28)$$

Yukarıda verilen ifade düzenlendiğinde çıkış geriliminin transfer fonksiyonu Eş. 2.29'da verilen matematiksel ifadede olduğu gibidir.

$$\frac{V_0}{V_d} = \frac{1}{1 - D} \quad (2.29)$$

Şekil 2.11'de yükseltici çeviricinin devre topolojisi verilmiştir. Çıkışına omik bir yük bağlanmıştır. Devrede s anahtarının yerine güç elektroniği anahtarlama elemanlarında transistör, MOSFET veya IGBT kullanılabilir. Devrede kullanılan bobin ve kondansatör ile çıkış geriliminin dalgalılığı azaltılmıştır.



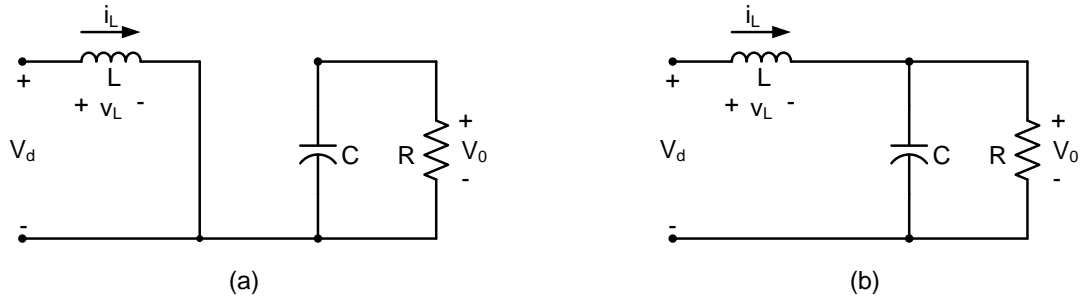
Şekil 2.11. Yükseltici çevirici devre topolojisi

Devrede görülen bobinin değeri Eş. 2.30'dan ve kondansatörün değeri ise Eş. 2.31'den hesaplanabilir.

$$L = \frac{(1-D)^2 DR}{2f} \quad (2.30)$$

$$C_{\min} = \frac{DV_0}{V_r Rf} \quad (2.31)$$

Yükseltici çeviricinin analizi devredeki  $s$  anahtarının iletimde ve kesimde olduğu süre boyunca olmak üzere iki evrede gerçekleştirilir. Şekil 2.12a'da  $s$  anahtarının iletimde olduğu durum için devre şekli ve Şekil 2.12b'de  $s$  anahtarının kesimde olduğu durum için devre şekli verilmiştir. Bu iki devreye ayrı ayrı Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulandığında yükseltici çeviricinin matematiksel ifadesi elde edilebilir.



Şekil 2.12. Yükseltici çevirici (bobin akımının sürekli aktığı durumda), a) Anahtar iletim durumunda, b) Anahtar kesim durumunda

Şekil 2.12a'da görülen anahtarın iletimde olduğu devre için Kirchoff'un gerilimler kanununa göre matematiksel eşitlikler çıkartıldığında Eş. 2.32'de verilen ifade elde edilir [39].

$$L \frac{di_L}{dt} = V_d \quad (2.32)$$

$$C \frac{dV_0}{dt} = -\frac{V_0}{R}$$

s anahtarının kesimde olduğu durum Şekil 2.12b'de verildiği gibidir. Bu durum için devreye Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulandığında Eş. 2.33'te verilen matematiksel ifadeler elde edilir [39].

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_0 + V_d \quad (2.33)$$

$$C \frac{dV_0}{dt} = i_L - \frac{V_0}{R}$$

Şekil 2.12 için devreden geçen bobin akımının değişimini  $x_1$  ve çıkış geriliminin değişimini  $x_2$  ile sembolize ettiğimizde yükseltici çeviricinin normalleştirilmiş matematiksel modeli Eş. 2.34'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{d\tau} &= -(1 - u_{av})x_2 + 1 \\ \frac{dx_2}{d\tau} &= (1 - u_{av})x_1 - \frac{x_2}{Q}, \quad Q = R\sqrt{C/L}, \quad \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \quad (2.34)$$

### 2.2.3. Alçaltıcı yükseltici çevirici

Alçaltıcı yükseltici çevirici, alçaltıcı ve yükseltici çeviricinin ardı ardına bağlanmasıyla elde edilir. Alçaltıcı yükseltici çeviricinin çıkış gerilimi girişine göre ters kutuplanmıştır. D anahtarlama oranına bağlı olarak hem alçaltıcı hem de yükseltici çevirici gibi çalışabilir. D anahtarlama oranı %0 ile %49 arasında ise alçaltıcı çevirici gibi, %51 ile %100 arasında ise yükseltici çevirici gibi ve %50 değerinde ise giriş geriliminin değerini değiştirmeden çıkışa aktaracak şekilde çalışır. Alçaltıcı yükseltici çevirici, çıkış geriliminin girişe göre ters olmasının istendiği ve çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek yada düşük olması istenilen ayarlı DA güç kaynaklarında tercihen kullanılır. Çeviricinin girişinde sabit bir DA gerilim kaynağı, anahtarlama elemanı olarak ideal bir anahtar ve çıkışına da saf omik bir yük bağlandığı kabul edildiğinde gerilim ifadesi Eş. 2.35'te verildiği gibi olur [38].

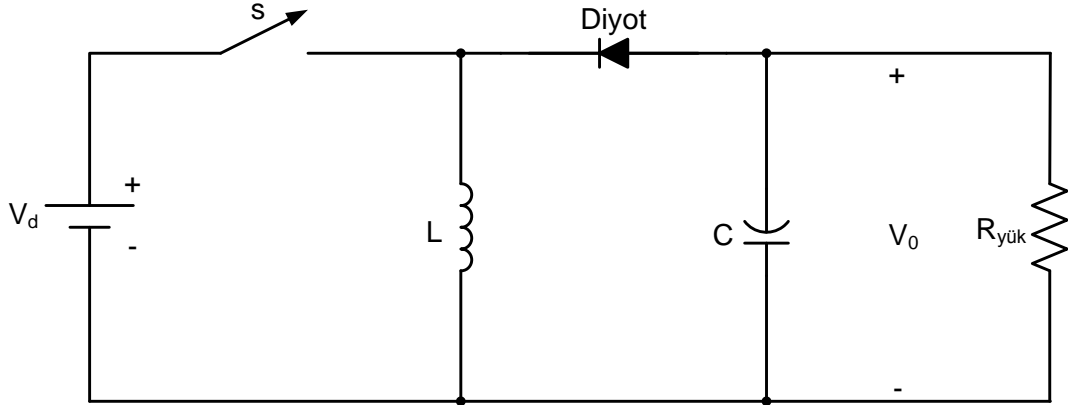
$$V_d DT_s = -V_0 (1 - D) T_s \quad (2.35)$$

Yukarıda verilen alçaltıcı yükseltici çeviricinin gerilim ifadesi düzenlendiği çıkış gerilimin transfer fonksiyonu Eş. 2.36'da verilmiştir.

$$\frac{V_0}{V_d} = \frac{D}{1 - D} \quad (2.36)$$

Şekil 2.13'te alçaltıcı yükseltici çevirici için devre topolojisi verilmiştir. Devrede anahtarlama elemanı olarak kullanılan s anahtarı ideal bir anahtarı temsil etmektedir. s anahtarı yerine devrede yarı iletken anahtarlama elemanlarından transistör, MOSFET veya IGBT gibi güç elektroniği

anahtarlama elemanları kullanılabilir. Devrede ayrıca çıkış geriliminin dalgalılığını azaltmak için bobin ve kondansatör kullanılmaktadır.



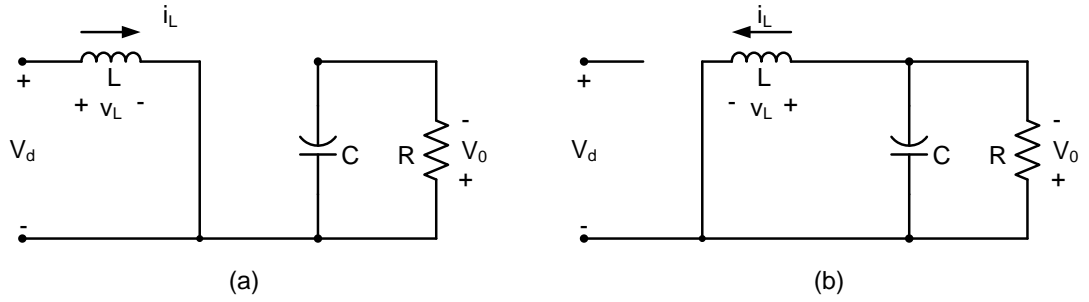
Şekil 2.13. Alçaltıcı yükseltici çevirici devre topolojisi

Şekil 2.13'te görülen devrede yer alan bobinin değeri Eş. 2.37'de verilen matematiksel ifade yardımıyla bulunabilir. Devrede görülen kondansatörün değerinin hesaplanması Eş 2.31 ile hesaplanabilir, yani yükseltici çeviricide verildiği gibidir. Tek fark olarak alçaltıcı yükseltici çeviricide kondansatörün polaritesi terstir. Bu durumun nedeni çıkış geriliminin girişe göre ters olmasıdır ve Şekil 2.13'te görülmektedir.

$$L = \frac{(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.37)$$

Alçaltıcı yükseltici çeviricinin analizi önceki çeviricilerde olduğu gibi Şekil 2.13'te verilen devrede yer alan s anahtarının iletimde olduğu ve kesimde olduğu durumlar için yapılır. Şekil 2.14a'da s anahtarının iletimde olduğu durum için ve Şekil 2.14b'de ise s anahtarının kesimde olduğu durum için devre topolojileri verilmiştir. Devrenin analizi için bu iki devreye Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulanır.





Şekil 2.14. Alçaltıcı yükseltici çevirici (bobin akımının sürekli aktığı durumda), a) Anahtar iletim durumunda, b) Anahtar kesim durumunda

İlk olarak Şekil 2.14a'da verilmiş s anahtarının kapalı olduğu durumdaki devrede Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulanırsa Eş. 2.38'de verilen diferansiyel ifadeler elde edilir [39].

$$\begin{aligned} L \frac{di_L}{dt} &= V_d \\ C \frac{dV_0}{dt} &= -\frac{V_0}{R} \end{aligned} \quad (2.38)$$

Şekil 2.14b'de ise s anahtarının kesimde olduğu durum için görülen devreye Kirchoff'un gerilimler kanunu uygulandığında Eş. 2.39'da verilen diferansiyel ifadeler elde edilir [39].

$$\begin{aligned} L \frac{di_L}{dt} &= V_0 \\ C \frac{dV_0}{dt} &= -i - \frac{V_0}{R} \end{aligned} \quad (2.39)$$

Şekil 2.14 için devredeki ortalama bobin akımı için  $x_1$  ve çıkış gerilimi  $x_2$  değişkenleri kullanıldığında devrenin normalleştirilmiş matematiksel modeli Eş. 2.40'ta verilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{d\tau} &= (1 - u_{av})x_2 + u_{av} \\ \frac{dx_2}{d\tau} &= -(1 - u_{av})x_1 - \frac{x_2}{Q}, \quad Q = R\sqrt{C/L}, \quad \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \quad (2.40)$$

### 2.3. Eviriciler (DA-AA çeviriciler)

Herhangi bir DA gerilim kaynağından alıcının ihtiyaç duyduğu değişken frekans ve genlikte AA gerilim sağlayan güç elektroniği devrelerine evirici adı verilir [37]. Enerji akışı DA gerilim kaynağından AA gerilim çıkışına doğrudur. Genel bir eviriciden beklenen girişindeki DA gerilimi sabit veya değişken frekans ve genlikte AA gerilime çevirmesidir. Şebeke gerilimimiz sinüsoidal bir değişim gösterdiği için evirici çıkışından alınan AA geriliminde sinüsoidal bir değişim göstermesi gerekir. Pratik uygulamalarda evirici çıkışı tam sinüsoidal değildir. Çıkışı geriliminin harmonik adını verdiğimiz elektriksel gürültü bileşenleri vardır. Çıkış geriliminin harmonik bileşenleri fourier analizi ile tespit edilebilir. Normalde herhangi bir filtre elemanı kullanılmadığı durumda eviricinin çıkışı kare dalga formundadır. Çıkış gerilimi harmonikleri kullanılan yarı iletken anahtarlama elemanlarının uygun şekilde anahtarlanması ile azaltılabilir. Anahtarlama teknikleri kullanılarak çıkış harmonikleri önemli derecede azaltılabilir. Evirici devrelerinin büyük bir çoğunluğunda IGBT kullanıldığı görülür. Eviriciler; alternatif akım makinelerinin beslenmesinde, gerilim ve frekansı kontrol edilebilen güç kaynaklarında, kesintisiz güç kaynaklarında, frekans dönüştürücülerinde, endüksiyonla ısıtmada, ultrasonik dalga üretiminde, generatörlerde ve aktif güç şebeke filtrelerinde kullanılırlar.

Evirici devrelerinin hem bir fazlı hem de üç fazlı çıkış veren tipi vardır. Burada çeşitleriyle birlikte bu uygulamalar açıklanacaktır. Eviriciler girişinde bulunan kaynağın çeşidine göre iki tiptir.

1. Gerilim kaynaklı evirici (GKE)
2. Akım kaynaklı eviriciler (AKE)

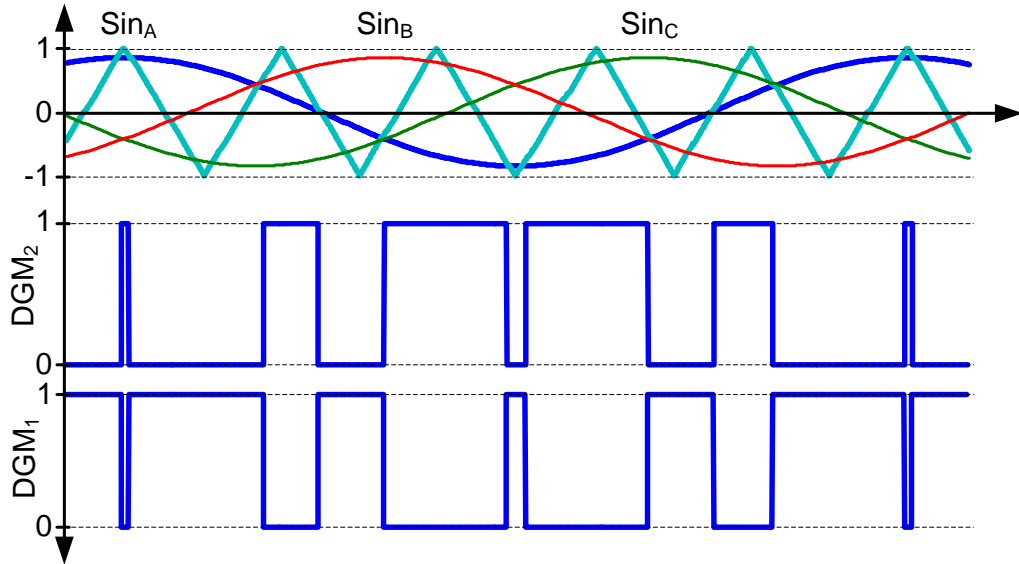
GKE'lerde giriş gerilim kaynağı DA gerilim kaynağıdır. AKE'lerde girişteki kaynak akım kaynağıdır. AKE'ler yalnızca AA motor tahrik sistemlerinde kullanılır [37]. AKE'lerin kullanım alanı oldukça sınırlı olduğu için üzerinde durulmayacaktır. Uygulamaların büyük bir çoğunluğunda GKE'ler tercih edilir. GKE'lerin girişinde kontrolsüz doğrultucu kullanıldığında evirici girişinde sabit bir doğru gerilim olur ve bu durumda çıkış geriliminin genliğini ve frekansını evirici ayarlamalıdır. Bahsedilen bu ayar darbe genişlik modülasyonu (DGM) ile gerçekleştirilir. Uygulamada bir çok DGM tekniği vardır. Aşağıda bu DGM teknikleri verilmiştir. GKE'ler açıklanmadan önce DGM tekniklerinden uygulamada en çok karşılaşılanı olan sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu (SDGM) ayrıntılı olarak incelenecektir.

- Sinüsoidal DGM
- Histeresiz band akım kontrol DGM
- Alan vektör DGM
- Seçmeli harmonik bastırmalı DGM
- Sigma delta modülasyonu
- Üçüncü harmonik ilaveli DGM

### 2.3.1. Sinüsoidal DGM (SDGM)

Sinüsoidal DGM tekniği gerilim kaynaklı eviricilerde kullanılan en yaygın tekniktir [39]. Bu teknikte çıkışta istenilen genlik ve frekanstaki sinyal, referans sinüs (modülasyon) sinyali ile yüksek frekanslı taşıyıcı üçgen sinyalin karşılaştırılması ile elde edilir. Üç fazlı bir sistemde her bir faz için aynı taşıyıcı sinyal kullanılır ve referans işaretin taşıyıcı işaretten büyük olduğu durumda üst anahtar iletime geçer, aksi durumda ise alt anahtar iletime geçer [40]. Şekil 2.15'te birbirinden  $120^0$  faz farklı  $\sin_A$ ,  $\sin_B$ ,  $\sin_C$

referans sinüs sinyalleri ile üçgen sinyal ve evircinin bir kolu için gerekli DGM<sub>1</sub> ve DGM<sub>2</sub> sinyalleri verilmiştir. Bu DGM sinyalleri referans Sin<sub>A</sub> sinyali ile üçgen sinyalin karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir.



Şekil 2.15. DGM1 ve DGM2 sinyallerinin elde edilişi

Sinüsoidal DGM genel olarak iki farklı şekilde isimlendirilmektedir. Referans sinüsoidal dalganın her bir anahtarlama periyodu (taşıyıcı dalga periyodu)'nda yapılması durumu "simetrik düzenli örnekleme" ve her anahtarlama periyodunun yarısında yapılması durumu ise "asimetrik düzenli örnekleme" olarak isimlendirilmektedir [41].

SDGM'de modülasyon sinyalinin frekansı çıkış geriliminin frekansını belirler. Modülasyon sinyalinin tepe değeri ise modülasyon indeksini ( $m_a$ ) belirler ve çıkış geriliminin genliğini kontrol eder. Modülasyon indeksinin değeri Eş 2.41 ile belirlenmekte ve sinüsoidal referans sinyalin genlik değerinin üçgen taşıyıcı sinyalin genliğine oranı olarak tanımlanır.

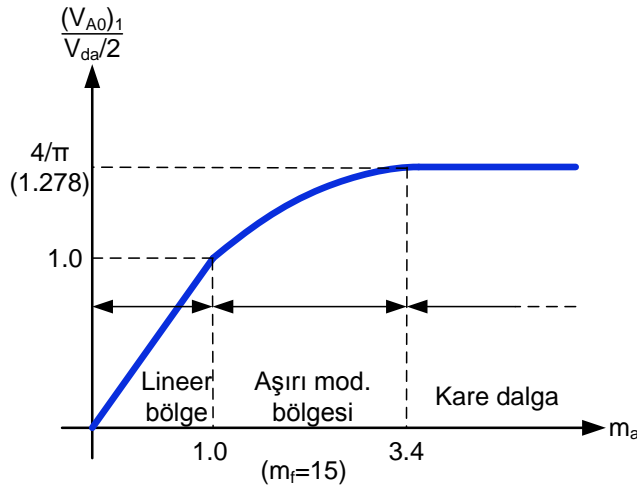
$$m_a = \frac{V_{\sin}}{V_{\text{üçgen}}} \quad (2.41)$$

Modülasyon indeksinin dört durumu vardır:

- $m_a = 0$  ise çıkışta anahtarlama frekansında kare dalga oluşur.
- $0 \leq m_a \leq 1$  ise temel bileşen tepe değeri  $(V_{A0})_1$   $m_a$  ile lineer değişmektedir.

$$(V_{A0})_1 = m_a \cdot \frac{V_{da}}{2} \quad (2.42)$$

- $m_a = 1$  ise temel bileşen  $0.5V_{da}$  değeri alır. Lineer bölge için maksimum değer olan bu değer, evircinin oluşturabileceği maksimum değer olan  $(4V_{da}/2\pi)$  kare dalga durumunun %78,55'ine tekabül eder.
- $m_a > 1$  ise aşırı modülasyon bölgesidir. Bu bölgede lineerlik bozulur.  $m_a$ 'nın belli bir değerinden sonra kare dalga oluşur [42].



Şekil 2.16. Sinüsoidal DGM'de  $m_a$ 'ya karşı gerilimin değişimi [42]

Sinüsoidal DGM tekniği kare dalga DGM tekniğine göre daha küçük değerli filtre elemanları kullanılır. Bu da devrelerin hem fiziksel boyutunu hem de maliyetini düşürür [43].

Sinüsoidal DGM'de taşıyıcı üçgen dalganın frekansının referans sinüsoidal dalganın frekansına oranı  $m_f$  olarak tanımlanmaktadır.  $m_f$ 'nin değerinin tam sayı olması durumu referans sinüsoidal dalganın taşıyıcı üçgen dalga ile

senkron olması durumunu ifade etmektedir [41].  $m_f$  değeri ne kadar büyük olursa çıkışta istenilen sinyalin akım ve gerilim harmonikleri o kadar az olur, harmoniklerin az olması da akım ve gerilim sinyalinin daha düzgün olduğunu ifade eder. Ancak  $m_f$ 'nin fazla olması diğer taraftan anahtarlama kayıplarını artırdığı için  $m_f$  değerinin uygun seçilmesi gerekmektedir.

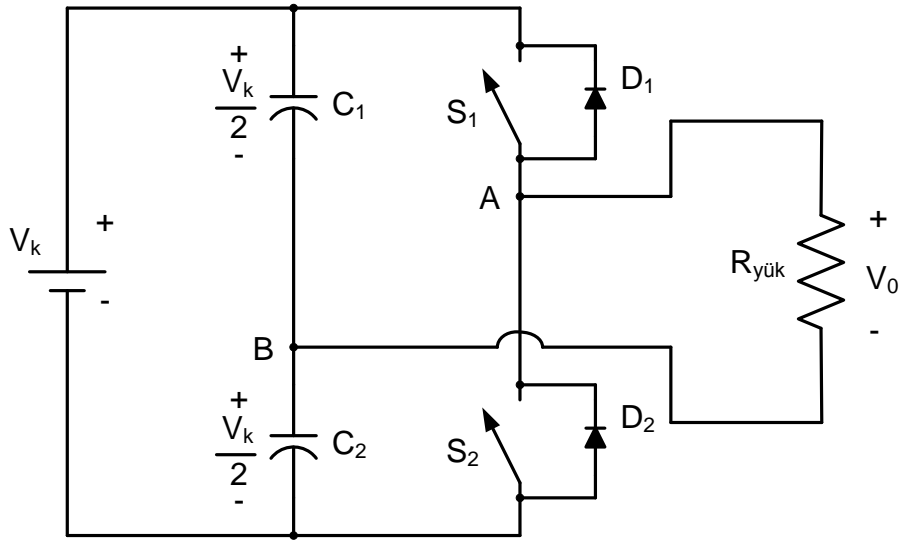
$$m_f = \frac{f_c}{f} \quad (2.43)$$

Burada,  $m_f$ : modülasyon frekansı,  $f_c$ : taşıyıcı dalganın frekansı,  $f$ : sinüsoidal dalganın frekansını ifade etmektedir.

### 2.3.2. Gerilim kaynaklı eviriciler (GKE)

#### Bir fazlı yarım köprü gerilim kaynaklı evirici

Şekil 2.17'de bir fazlı yarım köprü eviricinin çıkışında omik yük olduğu durum için devre şekli verilmiştir. Evirici girişindeki DA gerilim kaynağı doğrultucudan, akümülatörden veya güneş pilinden sağlanabilir. DA giriş tarafına iki adet eşdeğer değerde kondansatör seri olarak bağlanmıştır. Kondansatörler üzerindeki gerilim giriş DA gerilim kaynağının yarı değeri olacak şekildedir. Köprü kolunda  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlama elemanlarının olduğu görülmektedir. Devrede görülen  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarları yerine BJT, Tristör, MOSFET veya IGBT gibi anahtarlama elemanları kullanılabilir.  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarının her ikisine de paralel bağlanmış  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları yükün endüktif olduğu durumlar için anahtarlama elemanını ters yönde bir aşırı enerjiden koruma amaçlı devre yer almaktadır [44].



Şekil 2.17. Bir fazlı yarım köprü gerilim kaynaklı evirici

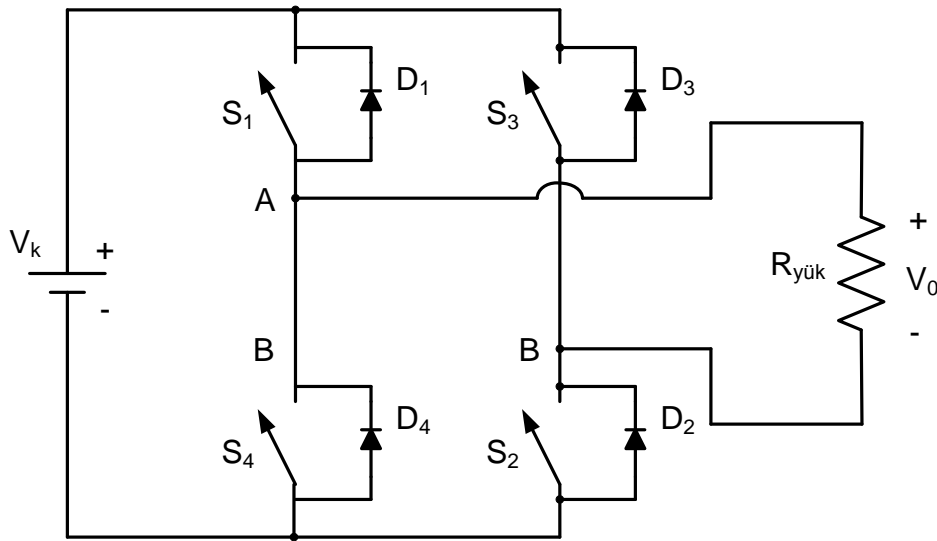
Şekil 2.17’de görülen devredeki  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarları sırayla iletme sokulduğunda yük uçlarında kare dalga formunda alternatif bir gerilim görülür.  $S_1$  anahtarı iletimde ve  $S_2$  anahtarı kesimde olduğunda yük uçlarındaki gerilim  $V_k/2$ ’ye,  $S_2$  anahtarının iletimde  $S_1$  anahtarının kesimde olduğu durumda yük uçlarındaki gerilim  $-V_k/2$ ’ye eşit olur. Burada dikkat edilmesi gereken konu  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarının aynı anda kapatılmamasıdır. Eğer bu iki anahtar aynı anda kapatılırsa giriş DA gerilim kaynağının uçları kısa devre olur ve anahtarlar üzerin büyük bir akım akar. Bunun sonucu anahtarlar hasar görebilir. Aşağıda görülen Eş 2.44 ile eviricinin çıkış geriliminin etkin değerinin matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{T_s} \int_0^{T_s/2} \frac{(V_k)^2}{4} dt} = \frac{V_k}{2} \quad (2.44)$$

#### Bir fazlı tam köprü gerilim kaynaklı evirici

Bir fazlı tam köprü evirici güncel pratik uygulamalarda tercih edilen bir DA-AA evirici güç elektroniği devresidir. Özellikle yenilenebilir enerji uygulamalarında kullanılır. Genellikle DA-AA evirici darbe genişlik modülasyonu (DGM) tekniği

ile çalışır [45]. Şekil 2.18'de bir fazlı tam köprü gerilim kaynaklı evirici devre topolojisi verilmiştir. Devrede anahtarlama elemanı olarak genel anahtar sembolü kullanılmıştır. Devrede yer alan  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  ve  $S_4$  anahtarları yerine BJT, Tristör, MOSFET veya IGBT gibi yarı iletken anahtarlama elemanları kullanılabilir.



Şekil 2.18. Bir fazlı tam köprü gerilim kaynaklı evirici

Şekil 2.18'de görülen bir fazlı tam dalga evirici devresinde  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarı aynı anda ilettime geçirildiğinde ( $S_3$  ve  $S_4$  anahtarlarının ikisi de kesimde olmalıdır) yük uçlarında kaynak gerilimi görülür.  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarları kesime götürülüp  $S_3$  ve  $S_4$  anahtarları ilettime geçirildiğinde yük uçlarındaki gerilim kaynak geriliminin tersi olur.

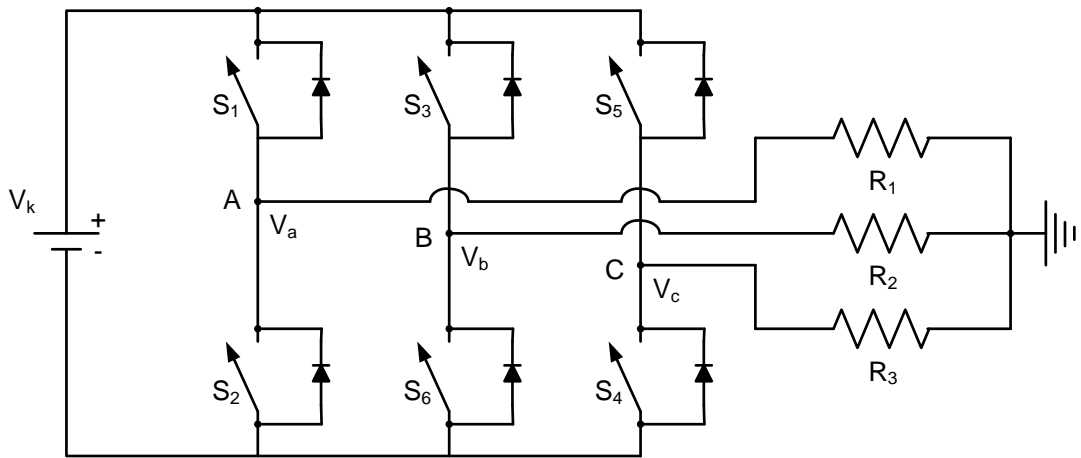
Bir fazlı tam köprü gerilim kaynaklı eviricinin çıkış geriliminin etkin değeri Eş. 2.45'te verilen matematiksel ifade ile bulunabilir.

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{T_s} \int_0^{T_s/2} V_k^2 dt} = V_k \quad (2.45)$$



### Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici

Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici (GKE) sabit DA bara gerilimini üç fazlı değişken frekanslı AA gerilimine çevirmek için kullanılır. Bu amaçla yapısında bulunan altı yarı iletken güç anahtarı aktif/pasif şeklinde çalışırlar. GKE eviricilerde, anahtarlama elemanları girişteki DA kaynaktan dolayı sürekli olarak ileri anahtarlama bölgesinde çalışmaktadır. Bu nedenle; BJT, GTO, IGBT ve güç mosfetleri gibi kendinden kontrollü ileri anahtarlama ya da asimetrik engelleme özelliği olan anahtarlama elemanları eviricilerde kullanıma uygundur [46]. GKE'ler faz sayısına, gücüne, anahtarlama açılmasına ve bağlantı topolojilerine göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Şekil 2.19'da üç-fazlı gerilim kaynaklı bir evirici gösterilmektedir. GKE'de sekiz ayrı anahtarlama durumu vardır. Anahtarlama durumları ve yüke uygulanan gerilimlerin miktarı Çizelge 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.19'da gösterilen üst seviye anahtarları  $S_1$ ,  $S_3$  veya  $S_5$  aktif iken Çizelge 2.1'deki  $V_a$ ,  $V_b$  veya  $V_c$  '1'dir. Alt seviye anahtarları  $S_2$ ,  $S_4$  veya  $S_6$  aktif iken  $V_a$ ,  $V_b$  veya  $V_c$  '0'dır. Çizelge 2.1'de GKE'nin sekiz ayrı durumu olduğu ancak bu durumların sadece altısının aktif olduğu gözükmektedir. İki durumda da yüke uygulanan gerilim sıfırdır [47].



Şekil 2.19. Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici

Eş. 2.46 ile yüke uygulanan üç-fazlı gerilimin miktarı hesaplanabilmektedir.

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_k}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

GKE'lerin anahtarlama sinyalleri darbe genişlik modülasyon teknikleri yardımı ile elde edilmektedir. Bu anahtarlama sinyalleri uygun sırada eviricide bulunan anahtarların kapı uçlarını tetiklemek için kullanılır.  $V_{an}$ ,  $V_{bn}$ ,  $V_{cn}$  değerleri motorun her fazı üzerine düşen faz-nötr gerilimleridir.

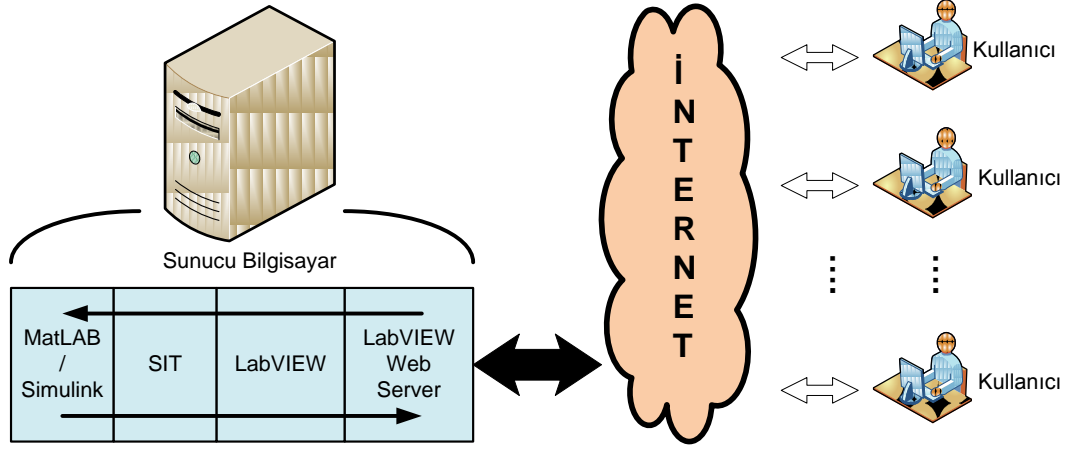
Çizelge 2.1. Anahtarlama durumlarına bağlı GKE'nin faz gerilimleri

<i>Anahtar</i>						
<i>Durumu</i>	$V_a$	$V_b$	$V_c$	$V_{an}$	$V_{bn}$	$V_{cn}$
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	$-V_k/3$	$-V_k/3$	$2V_k/3$
3	0	1	0	$-V_k/3$	$2V_k/3$	$-V_k/3$
4	0	1	1	$-2V_k/3$	$V_k/3$	$V_k/3$
5	1	0	0	$2V_k/3$	$-V_k/3$	$-V_k/3$
6	1	0	1	$V_k/3$	$-2V_k/3$	$V_k/3$
7	1	1	0	$V_k/3$	$V_k/3$	$-2V_k/3$
8	1	1	1	0	0	0

### 3. SANAL BENZETİM ARAÇLARININ TASARIMI

Gerçekleştirilen çalışmada ele alınan güç elektroniği devre topolojilerinin kullanıcılar tarafından, zamandan veya mekandan bağımsız olarak, uzaktan benzetimlerinin gerçekleştirilebilmesi için ilk önce kullanıcı arayüzleri LabVIEW programında tasarlanmıştır. Kullanıcılara deneyleri daha anlaşılır yapma imkanı veren bu arayüzler tasarlanırken mümkün olduğunca çok kullanıcı dostu, yani kullanımı kolay ve göze hoş gelmesine dikkat edilmiştir. Ele alınan güç elektroniği devre topolojilerinin modellenmesi MatLAB/Simulink programında yapılarak gerçek sisteme çok yakın bir modelleme yapılmıştır. Daha sonra tasarlanan arayüzler ve modellenen güç elektroniği devre topolojileri SIT yazılımı vasıtasıyla bir biri ile ilişkili hale getirilmiştir.

Sistem bu şekilde oluşturulduktan sonra kullanıcı arayüzleri uzaktan ulaşılabilir hale getirilmiştir. Gerçekleştirilen benzetimlerin uzaktan ulaşılabilir hale getirilmesi işlemi uzaktan erişim yardımcı programı ile yapılır. Bu programa, LabVIEW programının “Tools” menüsünde yer alan “Web Publishing Tool” (WPT) menüsünden ulaşılabilir. WPT programı ile gerçekleştirilen bu işlem tasarlanan her bir arayüz için yapılarak kullanıcıların uzaktan erişimleri için gerekli internet adresleri elde edilmiş olur. Gerçekleştirilen sistem bir sunucu bilgisayar üzerinde çalışmaktadır ve sürekli olarak kullanıcıların erişimine açıktır. Şekil 3.1’de gerçekleştirilen sisteme ait blok diyagram verilmiştir.



Şekil 3.1. Gerçekleştirilen sisteme ait blok diyagram

Sistem oluşturulup WPT programı ile her bir arayüzün uzaktan erişim internet adresleri oluşturulduktan sonra kullanıcılar için bir web sitesi tasarlanmıştır. Kullanıcılar bu web sitesi yardımıyla laboratuvara istedikleri yerden ve istedikleri zaman internet bağlantısına sahip bir bilgisayar yardımıyla bağlanabilmektedirler. Anlatılan bu sistemin oluşturulması bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

### 3.1. Kullanıcı Arayüzleri ve MatLAB/Simulink Modelleri

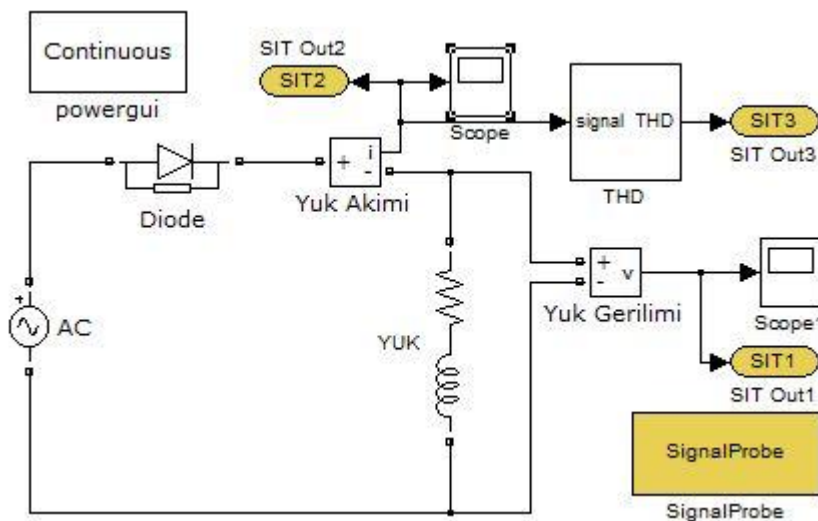
Gerçekleştirilen bu çalışmada kullanıcı arayüzleri sanal enstrüman oluşturmada en başarılı programlardan biri olan LabVIEW programında oluşturulmuştur. Ele alınan güç elektroniği konularının modellenmesinde sistem modelleme konusunda gerçeğe en yakın modelleme yapmaya imkan tanıyan MatLAB/Simulink programı tercih edilmiştir. Bu iki program üçüncü bölümde açıklandığı gibi SIT yazılımı ile bir biriyle haberleştirilmiştir. Burada bu işlemin nasıl gerçekleştirildiği örnek deney uygulamaları ile birlikte ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

### 3.1.1. Doğrultucular için kullanıcı arayüzleri ve MatLAB/Simulink modelleri

İlk olarak güç elektroniği konularından olan doğrultucuların MatLAB/Simulink modelleri oluşturulmuştur. MatLAB/Simulink modellerinin kararlı olarak çalıştığı görüldükten sonra LabVIEW programında kullanıcı arayüzleri tasarlanmıştır. Bu iki uygulama SIT yazılımı ile birbirine bağlanmıştır. Burada yapılan bu uygulamaların nasıl gerçekleştirildiğine ayrıntılı olarak değinilmiştir.

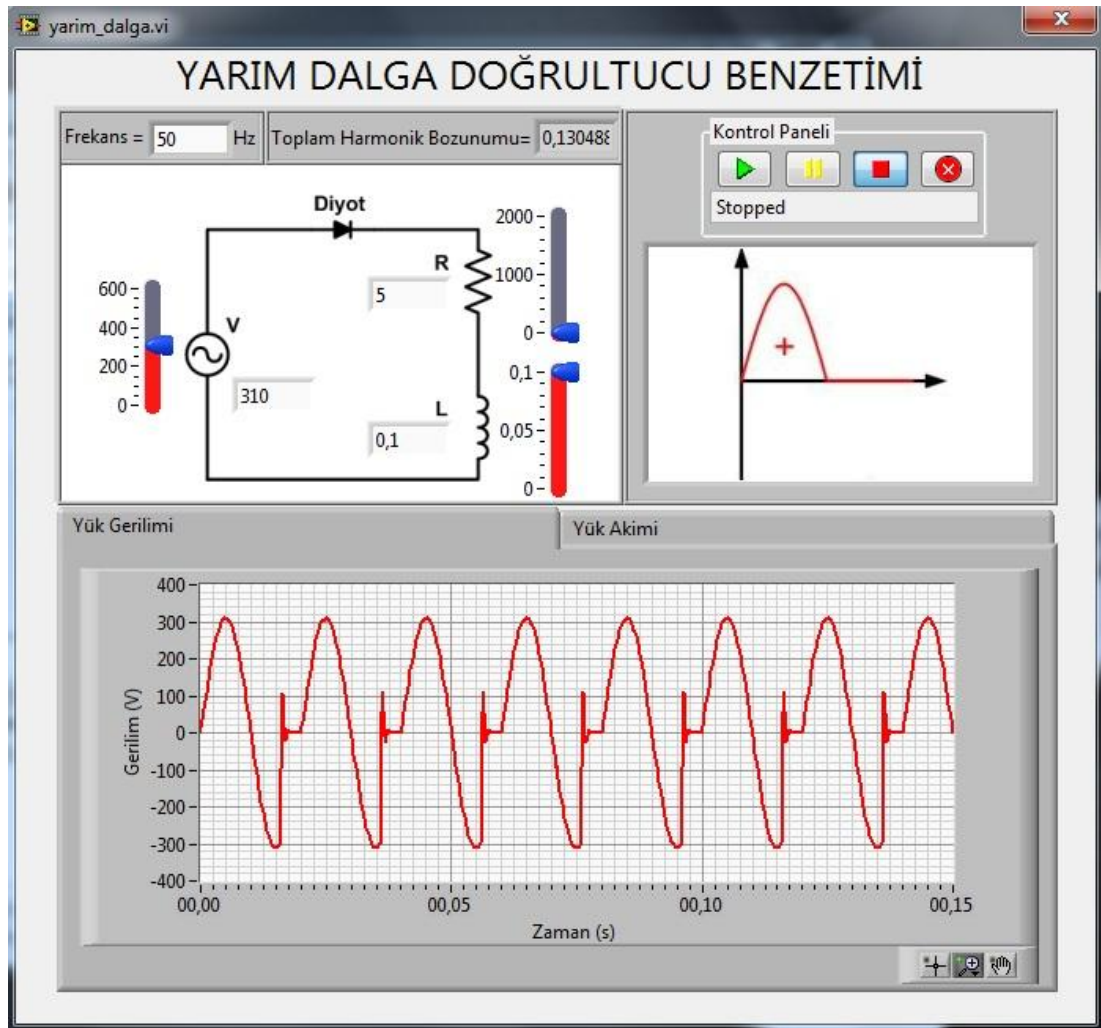
#### Bir fazlı yarım dalga doğrultucu

Burada bir fazlı yarım dalga doğrultucunun ilk önce MatLAB/Simulink modeli oluşturulup çıkış sonuçları elde edilmiştir. Şekil 3.2'de bir fazlı yarım dalga doğrultucunun MatLAB/Simulink modeli verilmiştir. Model üzerinde görülen sarı renkli bloklar SIT yazılımına ait bloklardır. Şekil 3.2'de görülen MatLAB/Simulink modelinde yer alan devre elemanlarının tüm parametreleri SIT yazılımı sayesinde kullanıcı arayüzünden kontrol edilebilir. Doğrultucunun çıkışında seri bir RL yük görülmektedir. Oluşturulan kullanıcı arayüzü ile istenilen yük devreden çıkartılıp eklenebilir.



Şekil 3.2. Bir fazlı yarım dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli





MatLAB/Simulink modelinden elde edilen sonuçların ikinci bölümde anlatılanlarla örtüştüğü görüldükten sonra bir fazlı kontrollü doğrultucunun LabVIEW programında kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Şekil 3.3'te bir fazlı yarım dalga doğrultucuya ait LabVIEW programında hazırlanmış kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzü LabVIEW programında hazırlanırken mümkün olduğunca kullanıcı dostu olmasına özen gösterilmiş ve animasyonlarla desteklenerek kullanıcının dikkatini çekmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.3. Bir fazlı yarım dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü

Şekil 3.3'te görülen kullanıcı arayüzünün kullanımı oldukça basittir. Bir fazlı yarım dalga doğrultucunun devre şeklinin görüldüğü bölüm ile devrede yer alan devre elemanlarının parametreleri değiştirebilir. Bu değişiklik her bir devre elemanının yanında yer alan veri kutucuğuna klavyeden değer girerek yapılabileceği gibi şekil üzerinde görülen ayar çubuklarını fare yardımıyla ayarlayarak ta yapılabilir. Doğrultucu çıkışında görülen seri bağlı RL yükünde, R'nin veya L'nin parametre değeri sıfır girilerek devreden çıkarılabilir. Devre elemanlarının parametrelerini ayarladıktan sonra 'Kontrol Paneli' bölümünden uygulama çalıştırılabilir, anlık veya tamamen durdurabilir veya SIT yazılımı sayesinde LabVIEW programı ile MatLAB/Simulink programı arasındaki bağlantı sonlandırılabilir. Kontrol paneli bölümünde yer alan butonların görevleri aşağıda verildiği gibidir.

Çizelge 3.1. Kontrol paneli buton görevleri

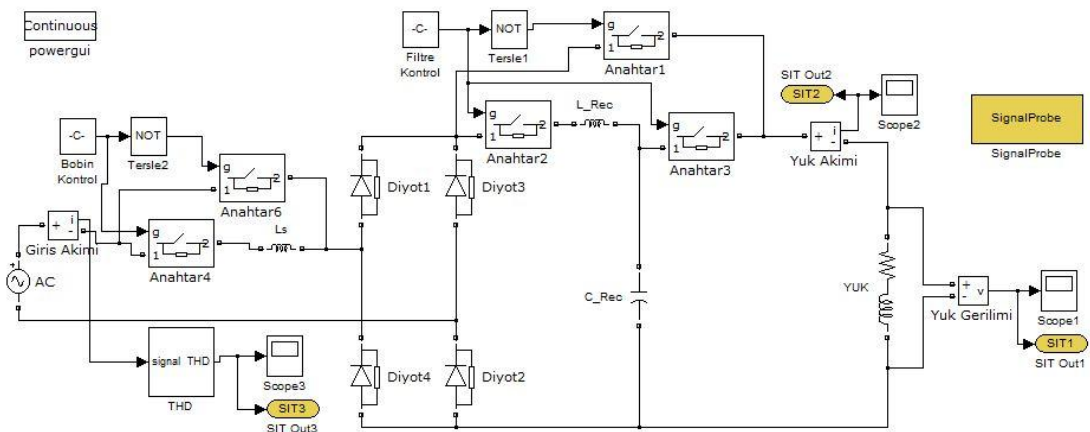
Buton	Anlamı
	Benzetimi başlatır.
	Benzetimi anlık durdurur (bekletir).
	Benzetimi durdurur.
	LabVIEW programı ile MatLAB/Simulink programı arasındaki bağlantıyı sonlandırır.

Şekil 3.3'teki kullanıcı arayüzünün en alt bölümünde benzetim sonuçlarının izlenebileceği grafik nesnelerinin yer aldığı bölüm görülmektedir. Her bir grafik nesnesi bu bölümde ayrı bir sekme içerisinde yer almaktadır. Böylelikle kullanıcı arayüzü üzerinde kalabalık bir görüntü oluşması engellenmiş olur. Kullanıcı görmek istediği çıkış verisine ilgili sekme ismine faresi yardımıyla tıklayarak ulaşabilir. Burada kullanıcı arayüzlerinin kullanımı bir fazlı yarım dalga doğrultucu üzerinden ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Diğer benzetim uygulamalarının kullanımı da burada açıklananla benzerdir.

Her bir kullanıcıya 3 dakikalık deney süresi verilmiştir. Bu süre aşıldığında deney kendiliğinden son bulacaktır. Kullanıcı arayüzünün istenildiği gibi çalıştığı görüldükten sonra bu benzetim çalışmasına internet üzerinden ulaşılabilmesi için uzaktan erişim yardımcı programından yararlanılmıştır.

### Bir fazlı tam dalga doğrultucu

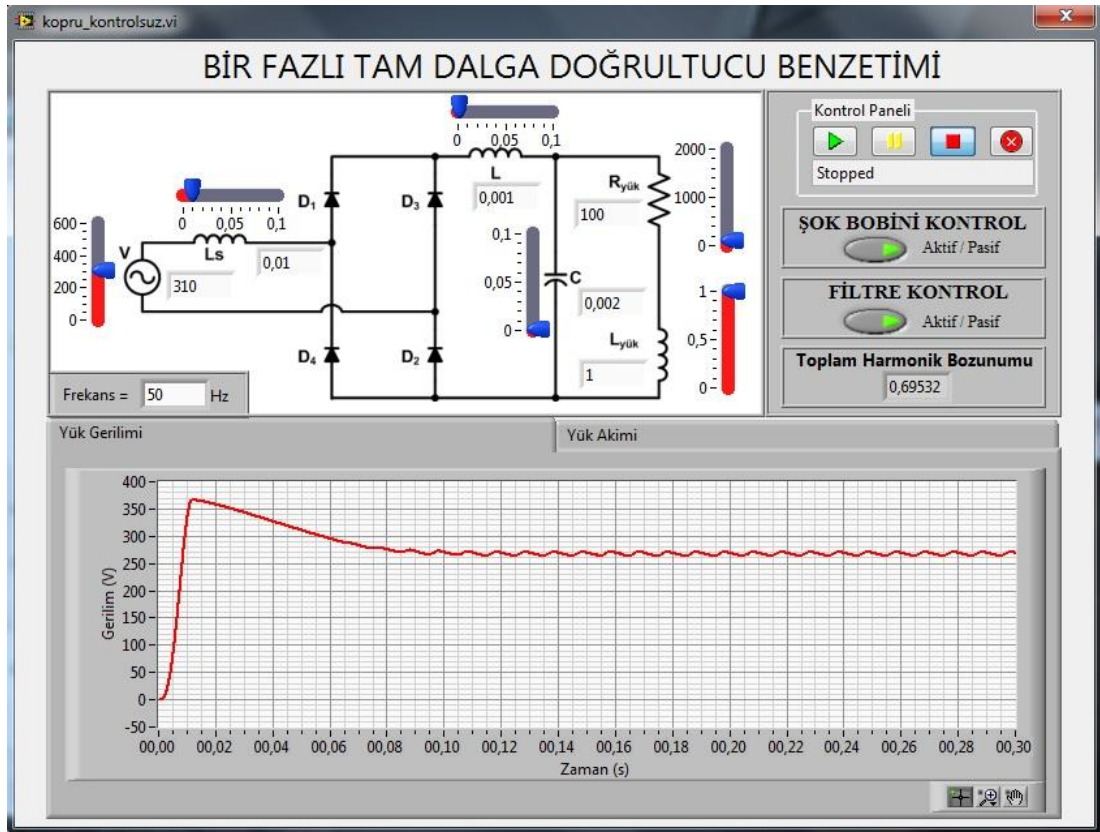
Şekil 3.4'te bir fazlı tam dalga doğrultucu için MatLAB/Simulink programında oluşturulmuş modele ait ekran görüntüsü verilmiştir. Doğrultucu çıkışına seri bağlı bir RL yük bağlanmıştır. Burada da sarı renkli olarak görülen SIT yazılımı blokları sayesinde ilgili parametreler LabVIEW programına gönderilmektedir. Aynı zamanda model üzerinde yer alan her bir devre elemanının parametresi LabVIEW programından değiştirilebilmektedir. Model üzerinde görülen "Filtre Kontrol" bloğu ile LC filtre devreden çıkarılıp eklenebilir. Filtre kontrol bloğunun değeri "1" ise filtre devrede (aktif), "0" ise filtre devrede değil (pasif) anlamına gelmektedir. Aynı şekilde bu bloğun parametre değerleri de kullanıcı arayüzü üzerinden kontrol edilmektedir. Böylelikle devrenin benzetimi filtre devredeyken veya devrede değilken durumları için ayrı ayrı yapıлып bu durumlar için çıkış verileri izlenebilir.



Şekil 3.4. Bir fazlı tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli



Şekil 3.4'te görülen modele ait ayrıntılı devre analizi ikinci bölümde yapılmıştır. MatLAB/Simulink programında hazırlanan bu modelin benzetimi gerçekleştirip, elde edilen çıkış verilerinin ikinci bölümde yapılan analiz verileri ile örtüştüğü görüldükten sonra Şekil 3.5'te görülen LabVIEW programında tasarlanmış kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Kullanıcı arayüzünün kullanımı oldukça basit olup, kullanıcı sadece devre elemanlarının parametrelerini ayarlayıp benzetimi çalıştıracak ve ilgili grafik nesnelere de çıkış verilerini izleyebilecektir. Kullanıcı arayüzü üzerinde yer alan devre şeklinin yer aldığı bölümün üzerinde bulunan "Filtre Kontrol" butonu ile devrede yer alan LC filtre devreden çıkartılabilir veya devreye eklenebilir.



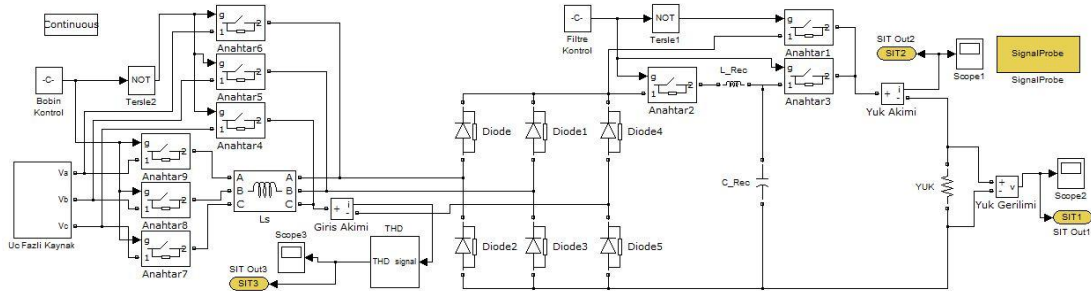
Şekil 3.5. Bir fazlı tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü

Bir fazlı tam dalga doğrultucu için oluşturulan bu sistemin kullanıcı arayüzü üzerinden benzetimi gerçekleştirilerek elde edilen sonuçların istenildiği gibi

olduğu görüldükten sonra uzaktan erişim yardımcı programı kullanılarak internet üzerinden erişilebilmesi sağlanmıştır.

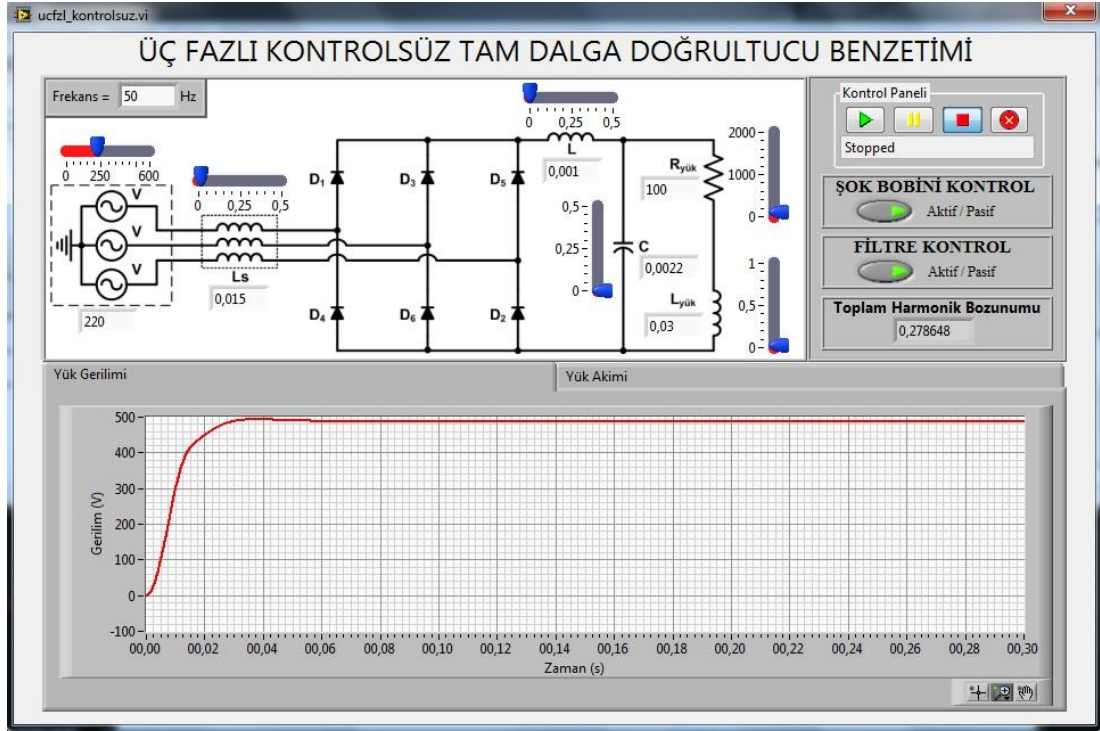
### Üç fazlı tam dalga doğrultucu

Şekil 3.6'da üç fazlı tam dalga doğrultucu için MatLAB/Simulink programında hazırlanmış modele ait ekran görüntüsü verilmiştir. Çıkışa seri bağlı RL yük bağlanmıştır. Sarı renkli olarak görülen bloklar ile ilgili veriler LabVIEW programında hazırlanmış kullanıcı arayüzüne gönderilmektedir. "Filtre Kontrol" bölümünden devre üzerinde görülen LC filtre devreden çıkarılabilir veya devreye eklenebilir. SIT yazılımı ile hazırlanan model üzerinde görülen blokların tüm parametreleri LabVIEW programında hazırlanan kullanıcı arayüzü üzerinden kontrol edilebilir.



Şekil 3.6. Üç fazlı tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.6'da görülen MatLAB/Simulink modeli oluşturulup benzetimi gerçekleştirilerek çıkış verileri gözlemlenmiş ve çıkış verilerinin istenildiği gibi bir değişim gösterdiği görüldükten sonra bu doğrultucu tipi için LabVIEW programında Şekil 3.7'de verilen kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Kullanıcı arayüzünün kullanımı daha önceki doğrultucu tiplerinde anlatılanla benzerdir. Kullanıcı arayüzü üzerinde akım geçişleri animasyonlu olarak oklarla gösterilerek konunun anlaşılabilirliğinin artırılması amaçlanmıştır.



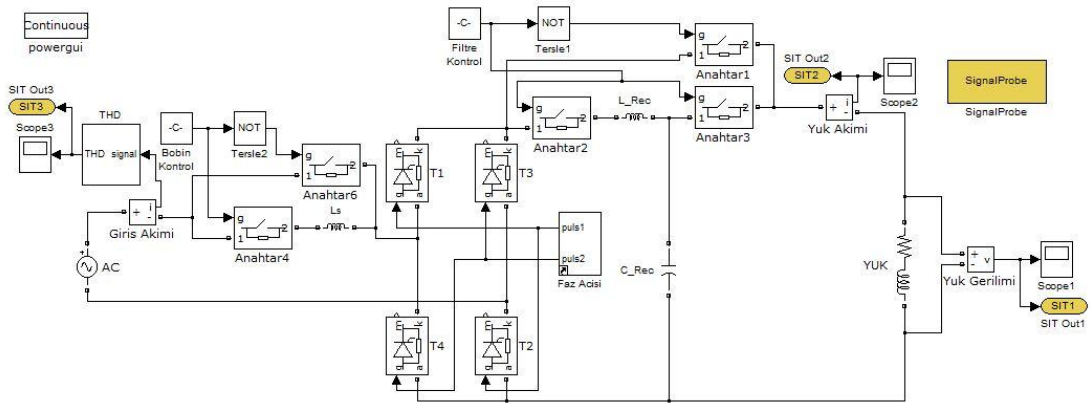
Şekil 3.7. Üç fazlı tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü

Şekil 3.7'de verilen kullanıcı arayüzünün tasarımı tamamlanıp benzetim gerçekleştirilmiş ve arayüzün düzgün olarak çalıştığı görüldükten sonra uzaktan erişim yardımcı programı kullanılarak internet üzerinde erişilebilir hale getirilmiştir.

### Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu

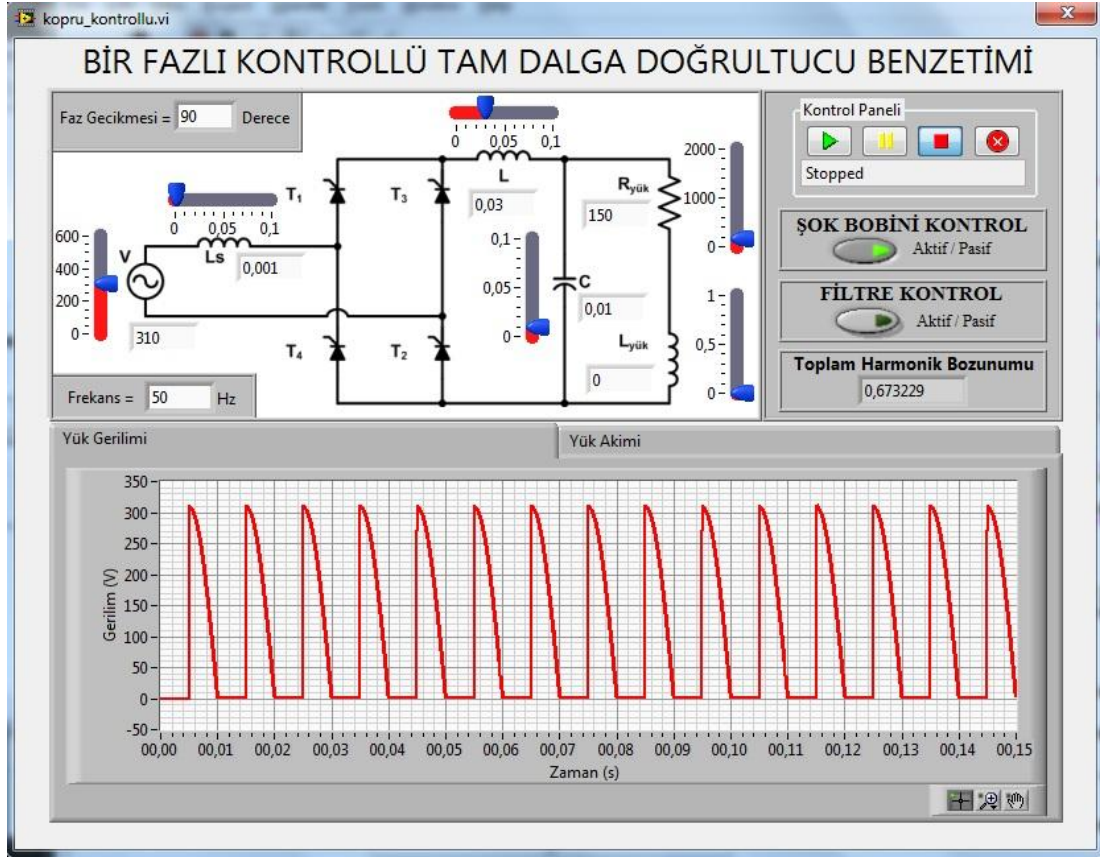
Şekil 3.8'de bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu için oluşturulmuş MatLAB/Simulink devre modeli görülmektedir. Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu devre topolojisinde kontrollü devre elemanlarından tristör kullanılmaktadır. Tristörün tetikleme açısının değeri model üzerinde görülen "Faz Açısı" bloğu ile kontrol edilebilir. Faz açısı bloğu MatLAB/Simulink programında oluşturulmuş bir "Subsystem" bloğudur. Bu blok yardımı ile tristörün faz gecikme değeri zaman cinsinden değil de daha anlaşılır olarak açı cinsinden girilebilmektedir. Sarı renkli olarak görülen bloklar ile kontrollü tam dalga doğrultucunun ilgili çıkış verileri LabVIEW programında

hazırlanmış kullanıcı arayüzüne gönderilmektedir. “Filtre Kontrol” bloğu ile devrede yer alan LC filtre devreden çıkartılabilir veya devreye eklenebilir. Doğrultucu çıkışına seri bağlı RL yük bağlanmıştır. Şekil 3.8’de görülen model üzerinde yer alan blokların tüm parametreleri LabVIEW programında hazırlanmış kullanıcı arayüzü üzerinden SIT yazılımı sayesinde kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.8. Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.8’de verilen bir fazlı kontrollü doğrultucu MatLAB/Simulink modeli oluşturulup benzetimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen çıkış verilerinin ikinci bölümde açıklanan değerlerle örtüştüğü görüldükten sonra bu doğrultucu tipi için LabVIEW kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 3.9’da bir fazlı kontrollü doğrultucu için LabVIEW kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kontrolü daha önceki doğrultucu tiplerinde anlatılanla benzerdir. Kullanıcı arayüzü üzerinde görülen “Çalışma Frekansı” bölümünde görülen veri kutusu ile girişte yer alan bir fazlı alternatif gerilim kaynağının çalışma frekansı ve “Faz Açısı” bloğunun frekans değeri aynı anda ayarlanır. “Faz Gecikmesi” bölümünde görülen veri kutucuğuna da trizörlerin faz gecikme değeri açı cinsinden girilir.



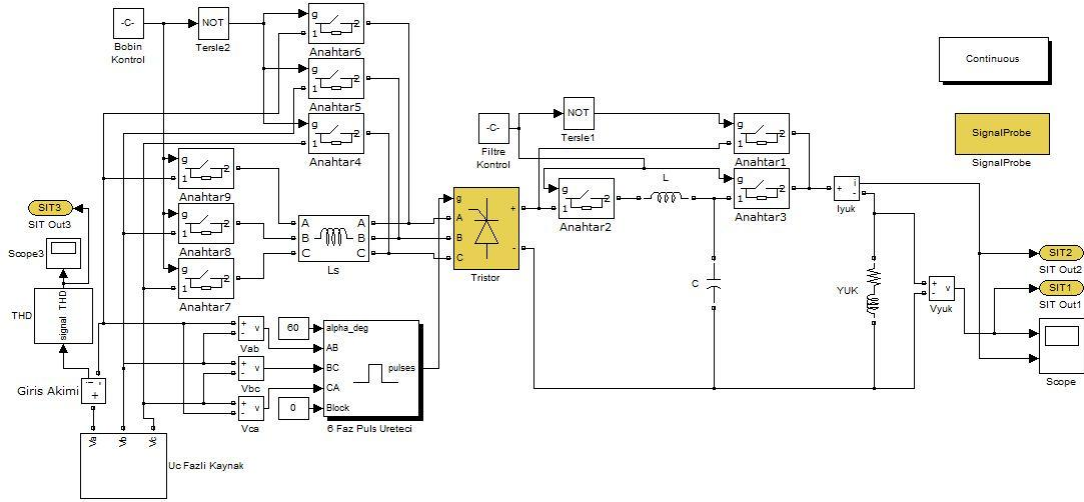
Şekil 3.9. Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü

Şekil 3.9'da görülen bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucunun benzetimi kullanıcı arayüzü üzerinden gerçekleştirilmiş ve elde edilen çıkış verilerinin ikinci bölümde anlatılan analiz verileri ile örtüştüğü görüldükten sonra uzaktan erişim yardımcı programı ile hazırlanmış kullanıcı arayüzü internet üzerinden erişilebilir hale getirilir.

### Üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu

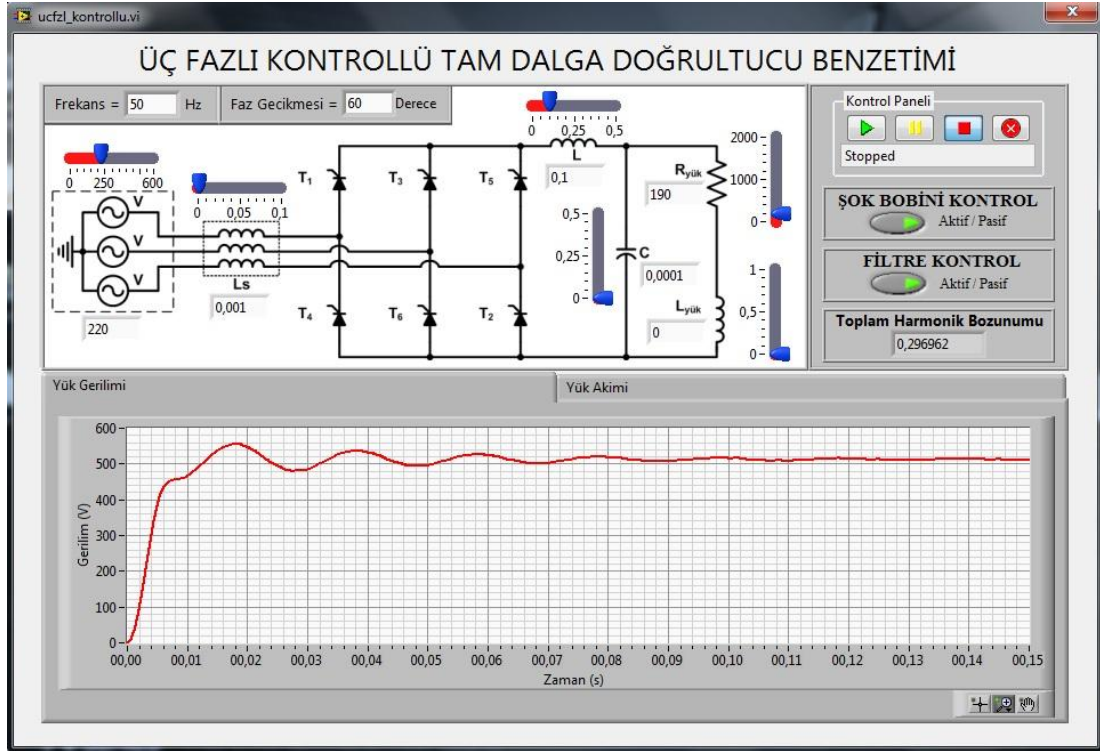
Şekil 3.10'da üç fazlı kontrolü tam dalga doğrultucu için MatLAB/Simulink modeli verilmiştir. Modelde anahtarlama elemanı olarak üç kollu altı anahtara sahip tristör bloğu kullanılmıştır. "Filtre Kontrol" bloğu ile modelde görülen LC filtre devreden çıkartılabilir veya devreye eklenebilir. Sarı renkli olarak görülen bloklar yardımı ile ilgili çıkış verileri LabVIEW kullanıcı arayüzüne gönderilmektedir. Doğrultucu çıkışında seri bağlı RL yük kullanılmıştır. Model

üzerinde görülen her bir bloğun parametreleri LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden SIT yazılımı sayesinde kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.10. Üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.10'da görülen üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu MatLAB/Simulink modelinin benzetimi gerçekleştirilip elde edilen sonuç verilerinin ikinci bölümde açıklanan veriler ile örtüştüğü görüldükten sonra bu doğrultucunun LabVIEW kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 3.11'de üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu için LabVIEW kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kullanımı daha önceki doğrultucu tiplerinde açıklananla benzerdir. "Darbe Genişliği" bölümünde yer alan veri kutucuğuna yüzde cinsinden girilecek bir değer ile tristörlere uygulanan tetikleme sinyalinin uygulanma oranı (ON süresi) kontrol edilebilir.



Şekil 3.11. Üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucuya ait kullanıcı arayüzü

Şekil 3.11'de görülen üç fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu LabVIEW kullanıcı arayüzünün tasarımı tamamlanıp benzetimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların istenilen şekilde olduğu görüldükten sonra uzaktan erişim yardımcı programı ile bu kullanıcı arayüzü internet üzerinden erişilebilir hale getirilmiştir.

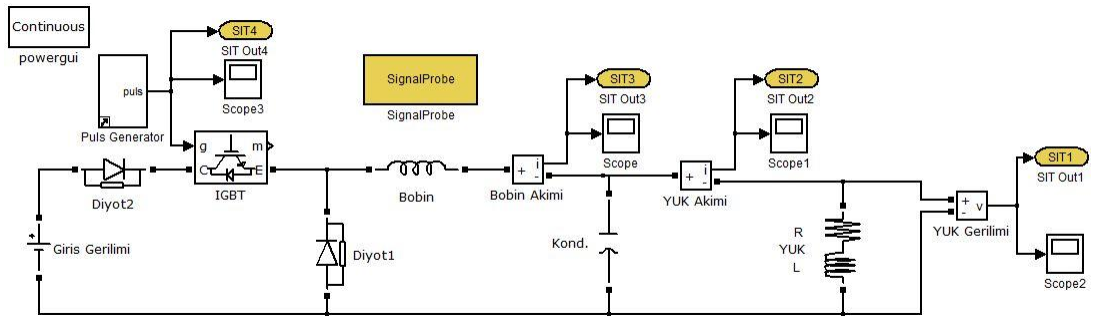
### 3.1.2. Çeviriciler için kullanıcı arayüzleri ve MatLAB/Simulink modelleri

Bu çalışmada güç elektroniği çevirici tiplerinden; alçaltıcı, yükseltici ve alçaltıcı-yükseltici çevirici tiplerinin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Çeviricilerin ilk önce MatLAB/Simulink modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan MatLAB/Simulink modellerinin istenildiği gibi çalıştığı görüldükten sonra LabVIEW kullanıcı arayüzleri tasarlanmış ve SIT yazılımı yardımı ile MatLAB/Simulink modelleri ve LabVIEW kullanıcı arayüzleri birbiri ile bağlantılı hale getirilmiştir. Daha sonra uzaktan erişim yardımcı programı kullanılarak bu arayüzlere internet üzerinden erişilebilmesi sağlanmıştır.

Burada anlatılanların nasıl gerçekleştirildiği her bir çevirici tipi için ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

### Alçaltıcı çevirici

Alçaltıcı çevirici girişine uygulanan doğru gerilimi çıkışına alçaltarak aktaran çevirici tipidir. Şekil 3.12’de alçaltıcı çevirici için MatLAB/Simulink modeli verilmiştir. Anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. Anahtarlama sinyalinin frekansının ve bu sinyalin darbe genişlik değerinin kontrol edilebildiği “Puls Generator” isminde bir Subsystem oluşturulmuştur. Sarı renkli olarak görülen bloklar ile ilgili veriler LabVIEW programında hazırlanmış kullanıcı arayüzü üzerinden de izlenebilir hale gelmektedir. Çevirici çıkışına seri bağlı RL yük bağlanmıştır. Model üzerinde yer alan her bir bloğun parametresi LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden SIT yazılımı sayesinde kontrol edilebilmektedir.

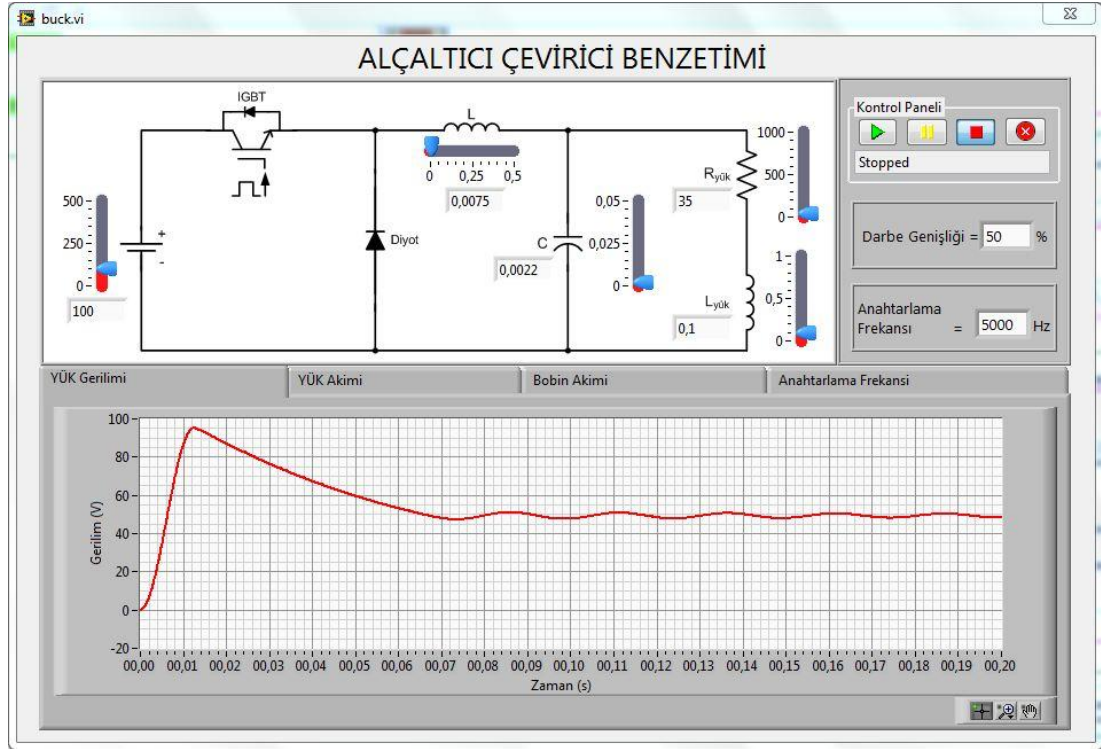


Şekil 3.12. Alçaltıcı çevirici MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.12’de görülen alçaltıcı çevirici için oluşturulan MatLAB/Simulink modelinin benzetimi gerçekleştirilip elde edilen sonuçların ikinci bölümde açıklananlarla örtüştüğü görüldükten sonra LabVIEW programında kullanıcı arayüz tasarlanmıştır. Şekil 3.13’te alçaltıcı çevirici için LabVIEW programında tasarlanan kullanıcı arayüzüne ait ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kullanımı doğrultucular bölümünde açıklanan LabVIEW kullanıcı arayüzlerinin kullanımıyla çok benzerdir. Burada “Darbe Genişliği” ve “Anahtarlama Frekansı” bölümlerinden anahtarlama elemanının



kontrolünü gerçekleştiren “Puls Generator” bloğunun ilgili parametreleri LabVIEW kullanıcı arayüzünden kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.13. Alçaltıcı çevirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü

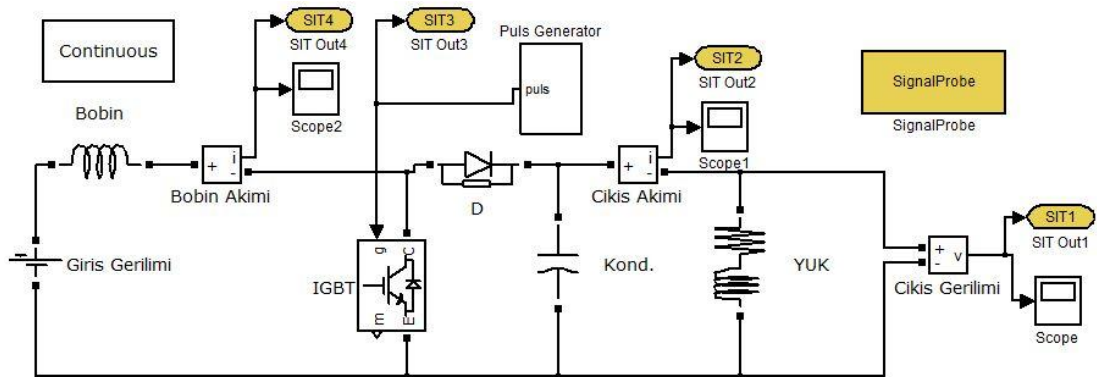
Şekil 3.13'te görülen LabVIEW kullanıcı arayüzü incelendiğinde girişte yer alan doğru gerilim kaynağının değerinin 100 V olduğu görülür. Çıkışta yer alan yük üzerinde düşen gerilim değerinin 50 V olması için devre elemanlarının ve gerekli parametrelerin değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler ilgili veri kutularına girilerek benzetim gerçekleştirilmiştir. Çıkış yük gerilimi üzerinde düşen gerilimin değişimi Şekil 3.13'te görülen grafik nesnesinden de görüldüğü gibi istenilen gerilim değeri olan 50 V seviyesinde sabit kalmaktadır. Yük akımı, bobin akımı ve anahtarlama frekansı gibi diğer verilerin değişimi de ilgili sekmeler seçilerek grafik nesnelere vasıtasıyla anında izlenebilir.

Şekil 3.13'te görülen alçaltıcı çevirici LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden gerçekleştirilen bu örnek uygulamanın istenildiği gibi çalıştığı görüldükten

sonra uzaktan erişim yardımcı programı yardımıyla internet üzerinden erişilebilir hale getirilmiştir.

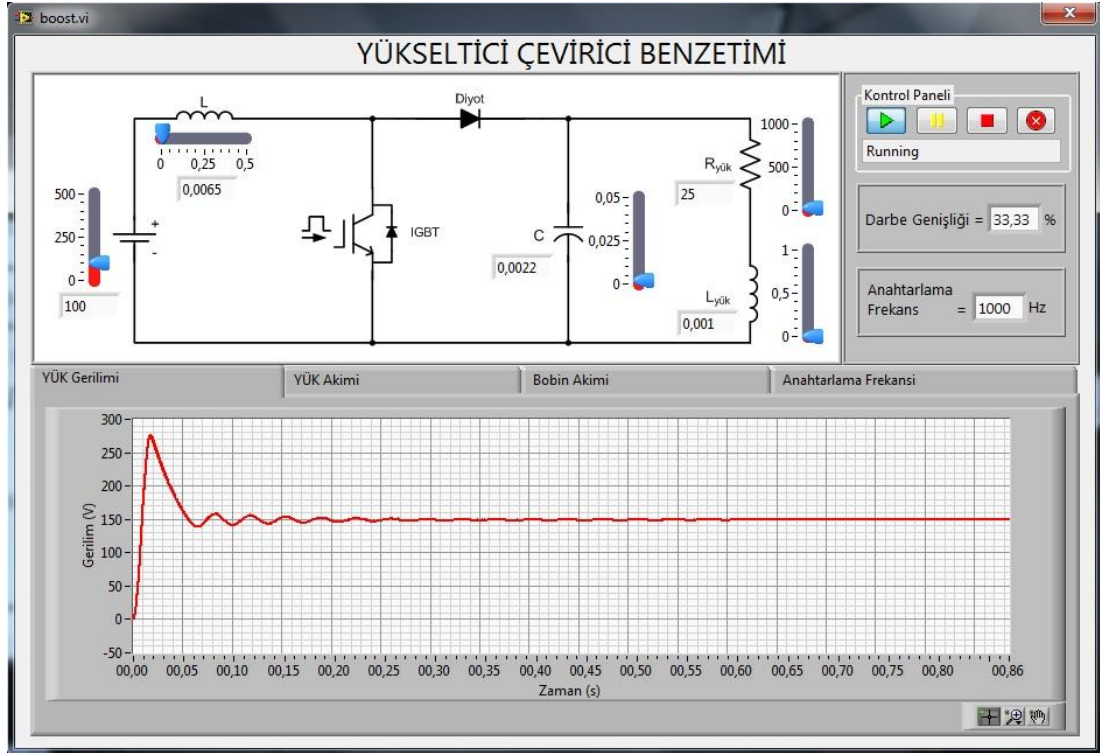
### Yükseltici çevirici

Şekil 3.14'te yükseltici çevirici MatLAB/Simulink modeli görülmektedir. Sarı renkli bloklar yardımcı ile ilgili veriler LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden izlenebilir hale getirilmiştir. Yükseltici çevirici devre modelinde anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. Anahtarlama frekansı ve görev çevrimi gibi anahtarlama elemanına ait verilerin kontrolü "Puls Generator" Subsystem bloğu yardımı ile gerçekleştirilir. Çevirici çıkışına seri bağlı bir RL yük bağlanmıştır. Model üzerinde görülen her bir bloğun parametreleri LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden SIT yazılımı yardımıyla kontrol edilebilir.



Şekil 3.14. Yükseltici çevirici MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.14'te görülen yükseltici çeviricinin benzetimi gerçekleştirilmiş ve ilgili verilerin ikinci bölümde anlatılanlarla benzer değişim gösterdiği görüldükten sonra yükseltici çeviricinin LabVIEW kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 3.15'te yükseltici çevirici LabVIEW kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kullanımı daha önce anlatılanlarla benzerdir.



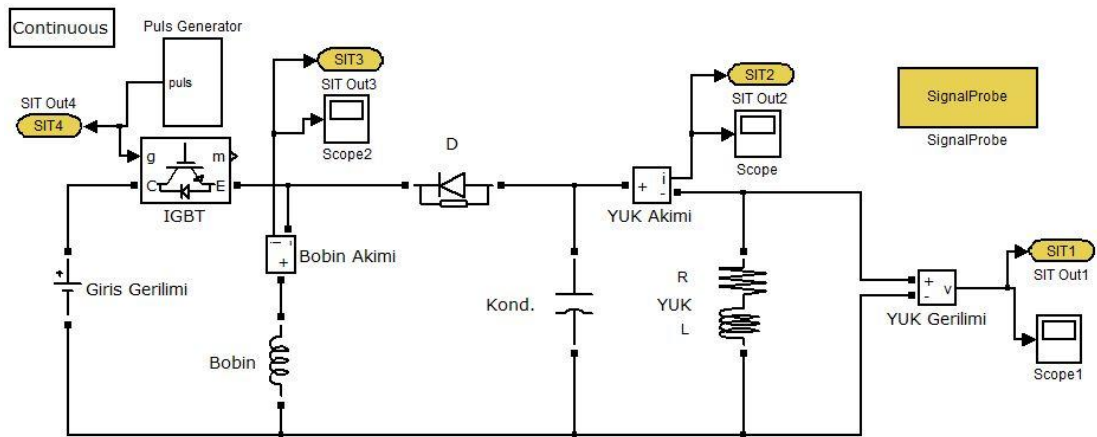
Şekil 3.15. Yükseltici çevirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü

Şekil 3.15'te görülen yükseltici çevirici LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinde yer alan giriş doğru gerilim kaynağının değerinin 100 V olduğu görülmektedir. Çeviricinin çıkışı 150 V olacak şekilde devre elemanlarının ve gerekli parametrelerin değerleri hesaplanmış ve ilgili veri kutularına girilerek örnek bir benzetim gerçekleştirilmiştir. Yük geriliminin değişimi Şekil 3.15'teki grafik nesnesinden görüldüğü gibi istenilen değer olan 150 V değerinde sabit kalmaktadır. Ayrıca bu bölümden yük akımı, bobin akımı ve anahtarlama frekansı gibi verilerin değişimi ilgili sekmeler seçilerek izlenebilir.

Şekil 3.15'te görülen yükseltici çevirici LabVIEW kullanıcı arayüzünün benzetiminden elde edilen sonuçların ikinci bölümde anlatılanlarla benzer değişim gösterdiği görüldükten sonra uzaktan erişim yardımcı programı ile internet üzerinden erişilebilir hale getirilmiştir.

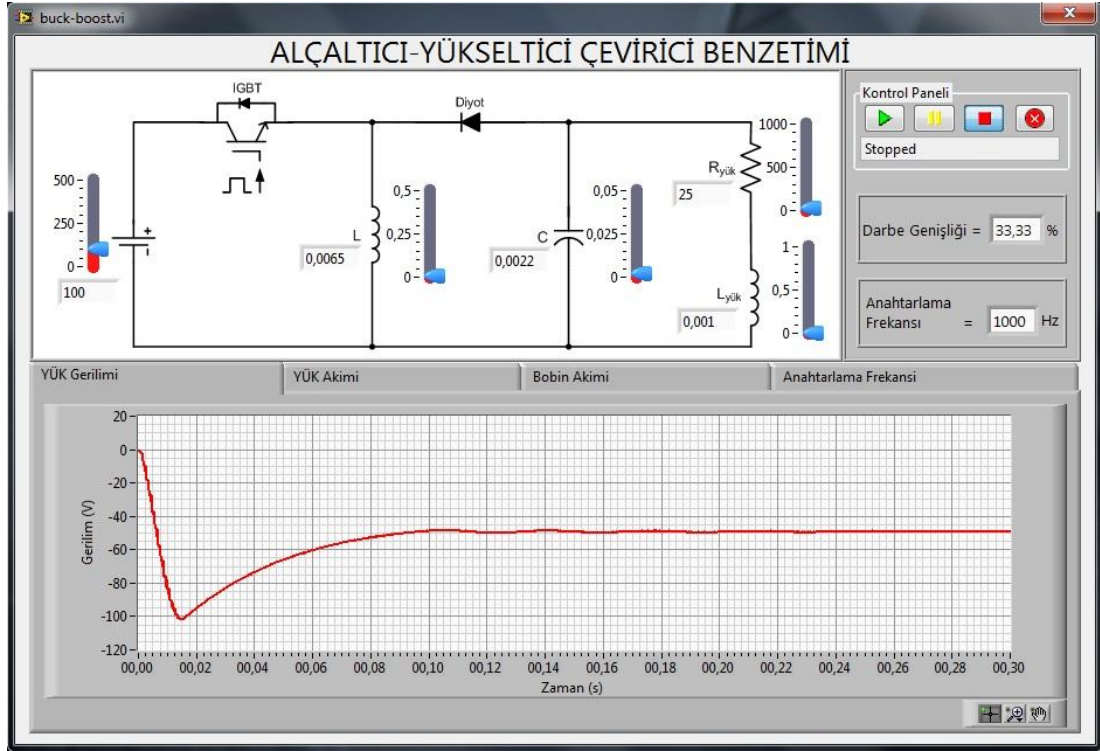
### Alçaltıcı-yükseltici çevirici

Alçaltıcı-yükseltici çevirici girişine uygulanan doğru gerilimi darbe genişliği oranına bağlı olarak alçaltarak veya yükselterek çıkışına aktaran çevirici tipidir. Ayrıca girişine uygulanan doğru gerilimi tersleyerek çıkışına aktarır. Şekil 3.16'da alçaltıcı-yükseltici çevirici MatLAB/Simulink modeli verilmiştir. Sarı renkli bloklar yardımı ile ilgili verilen değişimi LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden izlenebilir. Bu çevirici modelinde de anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. Çeviricinin çıkışına seri bağlı RL yük bağlanmıştır. Model üzerinde yer alan her bir bloğun parametreleri LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden SIT yazılımı sayesinde kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.16. Alçaltıcı-yükseltici çevirici MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.16'da görülen alçaltıcı-yükseltici çevirici MatLAB/Simulink modelinin benzetimi gerçekleştirilmiş ve istenilen sonuçların elde edildiği görüldükten sonra alçaltıcı-yükseltici çevirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Şekil 3.17'de alçaltıcı-yükseltici çevirici için oluşturulmuş LabVIEW kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kullanımı daha önce anlatılanlarla benzerdir.



Şekil 3.17. Alçaltıcı-yükseltici çevirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü

Şekil 3.17’de görülen alçaltıcı-yükseltici çevirici girişinde yer alan doğru gerilim kaynağının değerinin 100 V olduğu görülmektedir. Alçaltıcı-yükseltici çevirici burada alçaltıcı çevirici tipinde çalıştırılarak çıkışından 50 V alınacak şekilde devre elemanlarının ve gerekli parametrelerin değerleri hesaplanarak ilgili veri kutularına girilmiş ve örnek bir benzetim gerçekleştirilmiştir. Çıkışta yer alan yük üzerindeki gerilimin değişimi ilgili grafik nesnesinden görülebilir. Yük geriliminin istenilen değer olan 50 V seviyesinde sabit ve girişe göre polaritesinin ters olduğu görülmektedir. Ayrıca bu bölümden yük akımı, bobin akımı ve anahtarlama frekansı sinyalinin değişimi de ilgili sekmeler seçilerek izlenebilir.

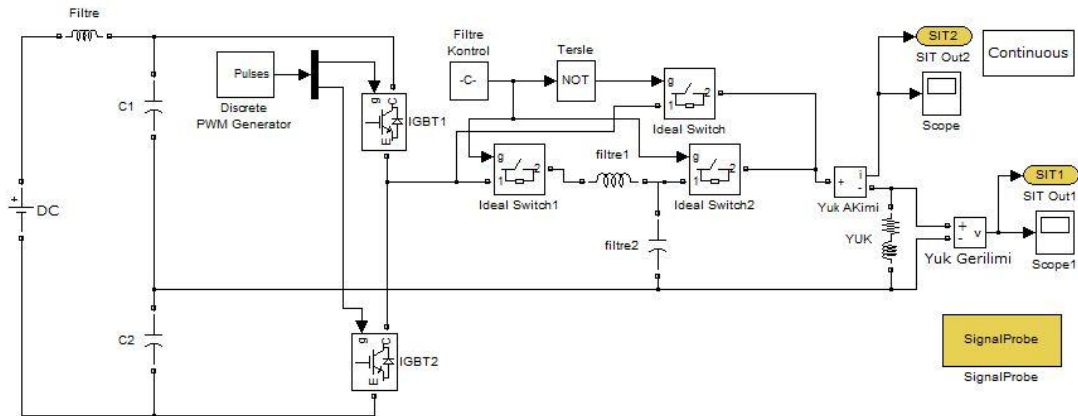
Şekil 3.17’de görülen alçaltıcı-yükseltici çevirici LabVIEW kullanıcı arayüzü benzetiminden elde edilen sonuçların ikinci bölümde anlatılanlarla benzer olduğu görüldükten sonra uzaktan erişim yardımcı programı ile internet üzerinden erişilebilir hale getirilmiştir.

### 3.1.3. Eviriciler için kullanıcı arayüzleri ve MatLAB/Simulink modelleri

Güç elektroniği gerilim kaynaklı evirici konularından; bir fazlı yarım köprü, bir fazlı tam köprü ve üç fazlı evirici konuları ele alınmıştır. Bu evirici tiplerinin ilk önce MatLAB/Simulink modelleri oluşturulmuştur. MatLAB/Simulink modellerinden elde edilen sonuçların istenildiği gibi olduğu görüldükten sonra LabVIEW programında kullanıcı arayüzleri tasarlanmış ve SIT yazılımı ile MatLAB/Simulink modelleri ve LabVIEW kullanıcı arayüzleri birbiri ile bağlantılı hale getirilmiştir. Bu kullanıcı arayüzlerine internet üzerinden erişilebilmesi için uzaktan erişim yardımcı programı kullanılmıştır. Bu anlatılanlar burada ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

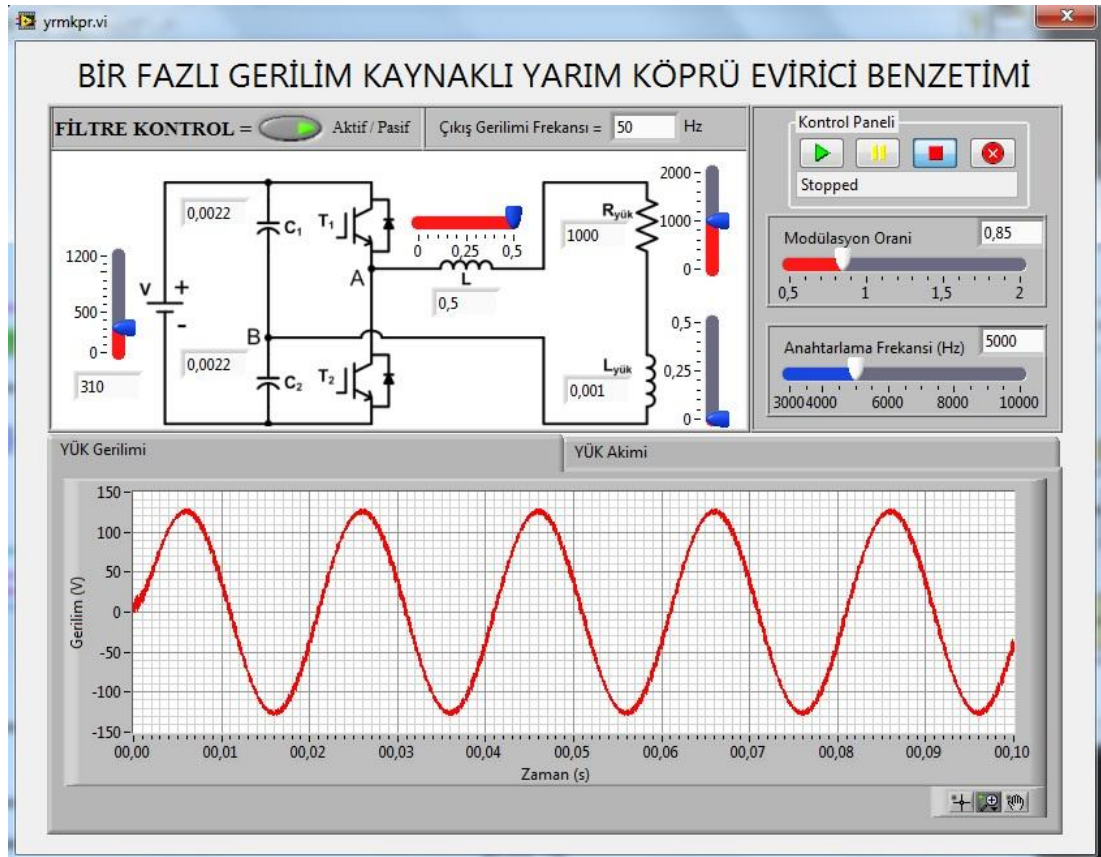
#### Bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici

Şekil 3.18'de bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici MatLAB/Simulink modeli verilmiştir. Model üzerinde sarı renkli olarak görülen bloklar ilgili verilerin LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden izlenebilmesini sağlamaktadır. Eviricinin anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. Eviricinin çıkışına seri RL yük bağlanmıştır. Model üzerinde görülen her bir bloğa ait parametreler LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden SIT yazılımı kullanılarak kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.18. Bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.18’de görülen bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici MatLAB/Simulink modelinin benzetimi gerçekleştirilip elde edilen sonuçların ikinci bölümde yapılan analiz sonucunda elde edilen sonuçlarla benzer olduğu görüldükten sonra eviricinin LabVIEW kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 3.19’da bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici için tasarlanmış LabVIEW kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kullanımı daha önce açıklananlarla benzerdir. Burada “Çıkış Gerilimi Frekansı” bölümünden evirici çıkışından alınan alternatif gerilimin frekans değeri kontrol edilir. “Anahtarlama Frekansı” ayar bölümünden devrede görülen anahtarlama elemanlarının anahtarlama frekansları belirlenir. “Modülasyon Oranı” bölümünden ise anahtarlama frekansının elde edilmesinde kullanılan sinüsoidal DGM tekniğine göre modülasyon oranı kontrol edilir.



Şekil 3.19. Bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü

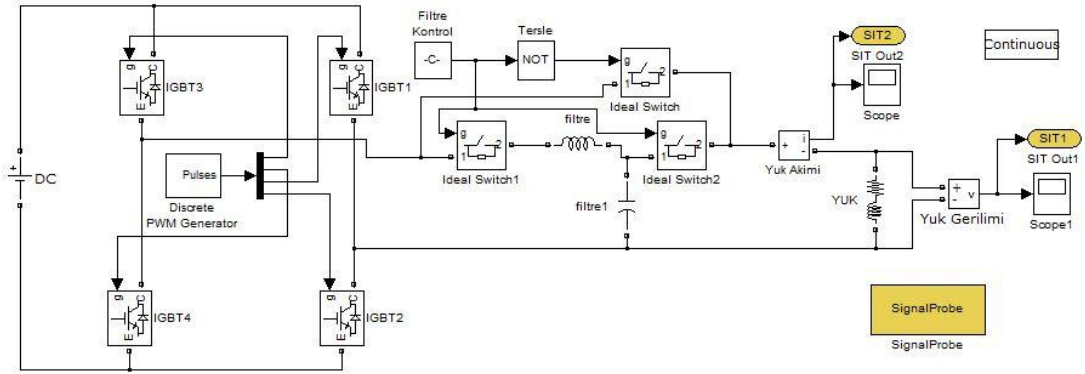
Şekil 3.19'da bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici için oluşturulan LabVIEW kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü üzerinde görülen parametre değerlerine göre örnek bir benzetim gerçekleştirilmiş ve grafik nesnesinden görüldüğü gibi çıkıştan bir alternatif gerilim elde edilmiştir. Yarım köprü evirici çıkışından elde edilen alternatif gerilimin tepe değeri girişte yer alan doğru gerilim kaynağının genliğinin yaklaşık yarısı kadar değerde olmalıdır. Grafik nesnesinden görülen çıkış geriliminin tepe değerinin, filtre üzerinde düşen gerilim çıkartılınca, giriş geriliminin yaklaşık olarak yarısı kadar bir değerde olduğu görülür. Yük üzerinden akan akımın değişimi de "Yük Akımı" sekmesi tıklanarak görülebilir.

Şekil 3.19'da görülen bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici LabVIEW kullanıcı arayüzünün benzetimi sonucunda elde edilen verilerin istenilen şekilde olduğu görüldükten sonra eviriciye internet üzerinden erişilebilmesi için uzaktan erişim yardımcı programı kullanılmıştır.

#### Bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici

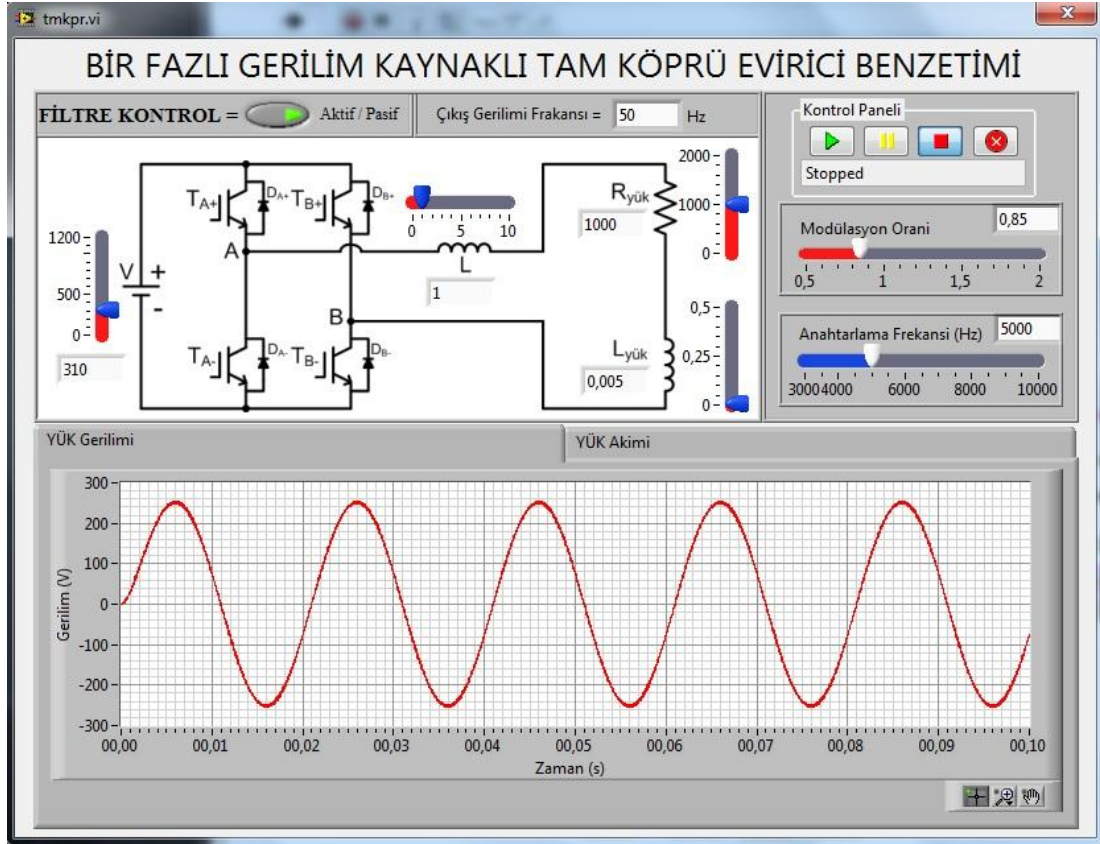
Şekil 3.20'de bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici MatLAB/Simulink modeli verilmiştir. Model üzerinde görülen sarı renkli bloklar kullanılarak ilgili veriler LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden izlenebilir hale getirilmiştir. Evirici çıkışına seri RL yük bağlanmıştır. Evirici modelinde anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. Modelde yer alan her bir bloğa ait parametreler LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden SIT yazılımı kullanılarak kontrol edilebilir hale getirilmiştir.





Şekil 3.20. Bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.20'de görülen bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici MatLAB/Simulink modelinin benzetimi gerçekleştirilerek elde edilen sonuçların ikinci bölümde anlatılanlarla benzer olduğu görüldükten sonra LabVIEW kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 3.21'de bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici için tasarlanmış kullanıcı arayüzüne ait ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kullanımı daha önce anlatılanlarla benzerdir.



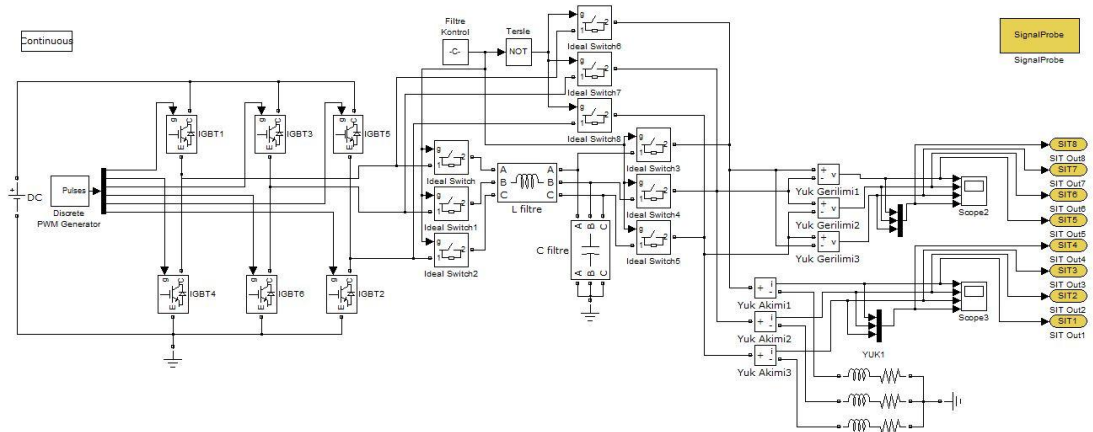
Şekil 3.21. Bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici için LabVIEW kullanıcı arayüzü

Şekil 3.21'deki bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü eviricinin LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerindeki parametre değerlerine göre benzetim gerçekleştirilmiş ve grafik nesnesinden görüldüğü şekilde bir alternatif çıkış gerilimi elde edilmiştir. Bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü eviriciden farklı olarak burada girişte yer alan doğru gerilim kaynağının genliğine yaklaşık bir tepe değere sahip alternatif çıkış gerilimi elde edilir. Çıkıştan alınan alternatif gerilimin aynı anahtarlama frekansı değerinde bir fazlı gerilim kaynaklı yarım köprü evirici çıkışından alınan gerilime göre daha düzgün olduğu görülmektedir.

Şekil 3.21'de görülen bir fazlı gerilim kaynaklı tam köprü evirici LabVIEW kullanıcı arayüzü benzetimi gerçekleştirilip elde edilen sonuçların istenildiği şekilde olduğu görüldükten sonra internet üzerinde erişilebilir hale getirilmesi için uzaktan erişim yardımcı programı kullanılmıştır.

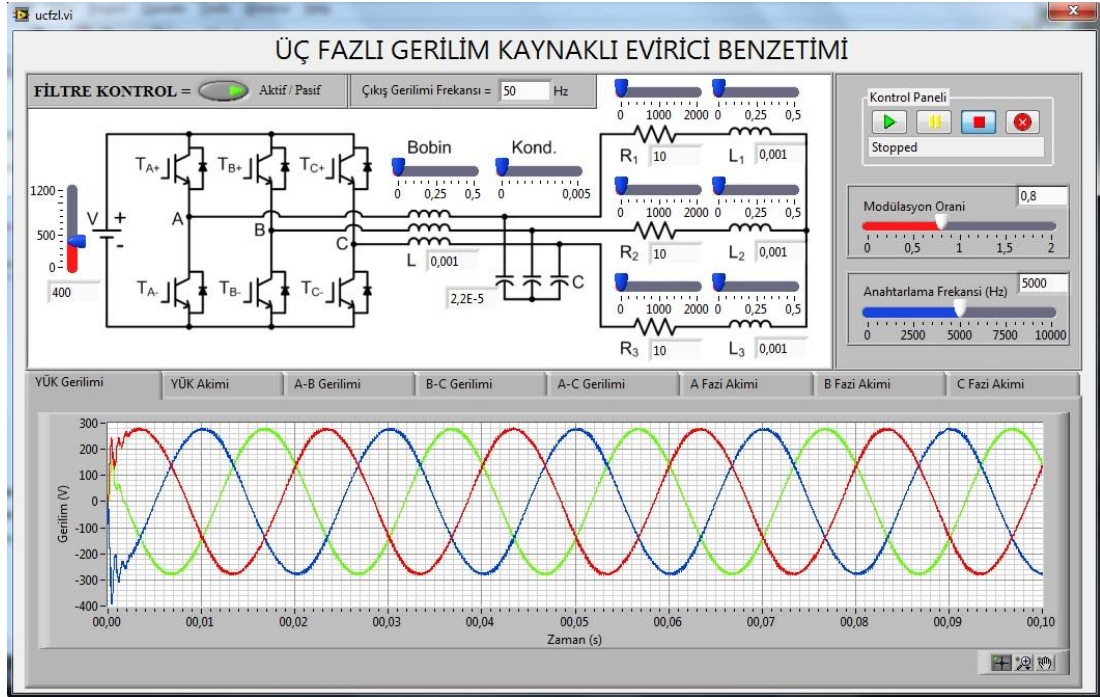
## Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici

Şekil 3.22'de üç fazlı gerilim kaynaklı evirici MatLAB/Simulink modeli verilmiştir. Model üzerinde sarı renkli olarak görülen bloklar, ilgili verilerin LabVIEW kullanıcı arayüzü üzerinden izlenebilmesini sağlamaktadır. Evirici çıkışına her faz için seri RL yük bağlanmıştır. Evirici modelinde yer alan her bir bloğun parametreleri LabVIEW kullanıcı arayüzünden SIT yazılımı sayesinde kontrol edilebilmektedir. Anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır.



Şekil 3.22. Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici MatLAB/Simulink modeli

Şekil 3.22'de görülen üç fazlı gerilim kaynaklı evirici MatLAB/Simulink modelinin benzetimi gerçekleştirilip elde edilen sonuçların ikinci bölümde anlatılanlarla benzer olduğu görüldükten sonra LabVIEW kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 3.23'te üç fazlı gerilim kaynaklı evirici için tasarlanan LabVIEW kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Kullanıcı arayüzünün kullanımı daha önce anlatılanlarla benzerdir. Altta görülen sekmeler içerisine gizlenmiş grafik nesnelere çıkış verileri izlenebilir.

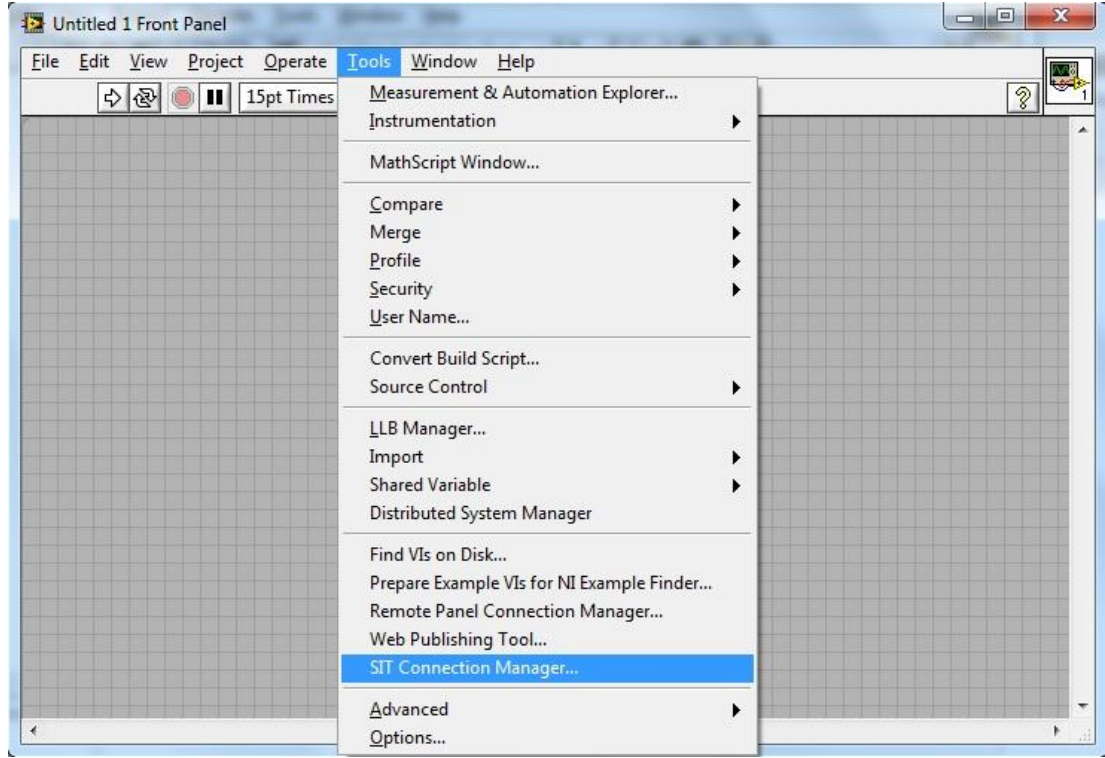


Şekil 3.23. Üç fazlı gerilim kaynaklı eviriciye ait LabVIEW kullanıcı arayüzü

Şekil 3.23'te görülen üç fazlı gerilim kaynaklı evirici LabVIEW kullanıcı arayüzünün örnek bir benzetimi görülen parametre değerleri için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların grafiksel değişimi grafik nesnelerinde görülmektedir. Grafik nesnesi incelenirse evirici çıkışından dengeli bir üç fazlı gerilim elde edildiği görülür. Benzetim sonucunda LabVIEW kullanıcı arayüzünün sorunsuz olarak çalıştığı görülmüş ve internet üzerinden erişilebilmesi için uzaktan erişim yardımcı programı kullanılmıştır.

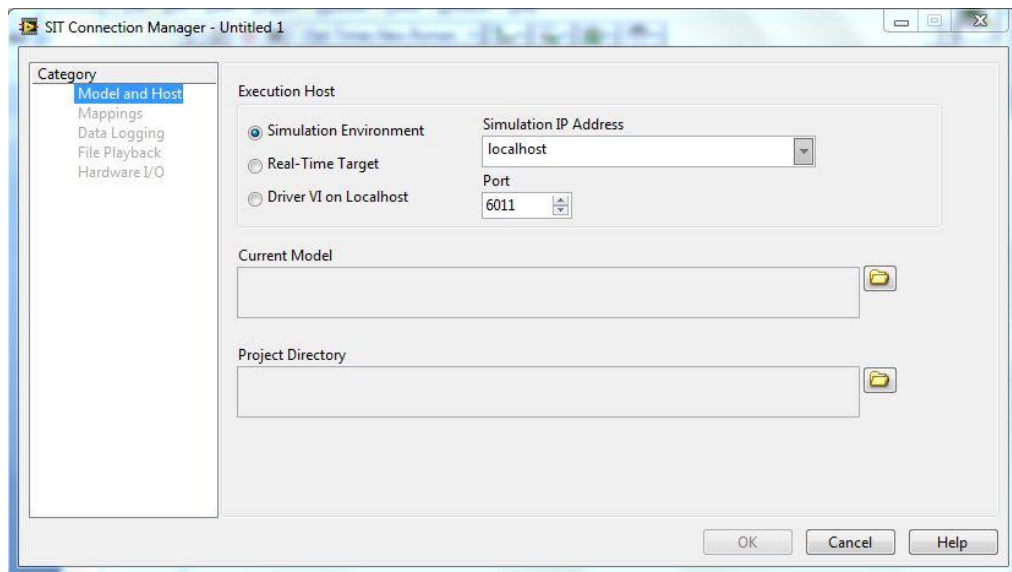
### 3.2. LabVIEW Simulation Interface Toolkit (SIT)

Simulation interface toolkit (SIT) yazılımı, LabVIEW ile birlikte kullanılan ve LabVIEW programı ile MatLAB/Simulink programını birlikte kullanmamızı sağlayan bir yazılımdır. LabVIEW programı ile MatLAB/Simulink programı arasında çift yönlü ve eş zamanlı veri aktarımını mümkün kılar [34]. Kurulduğunda Şekil 3.24'te görüldüğü gibi LabVIEW programının "Tools" menüsünden ulaşılabilir.



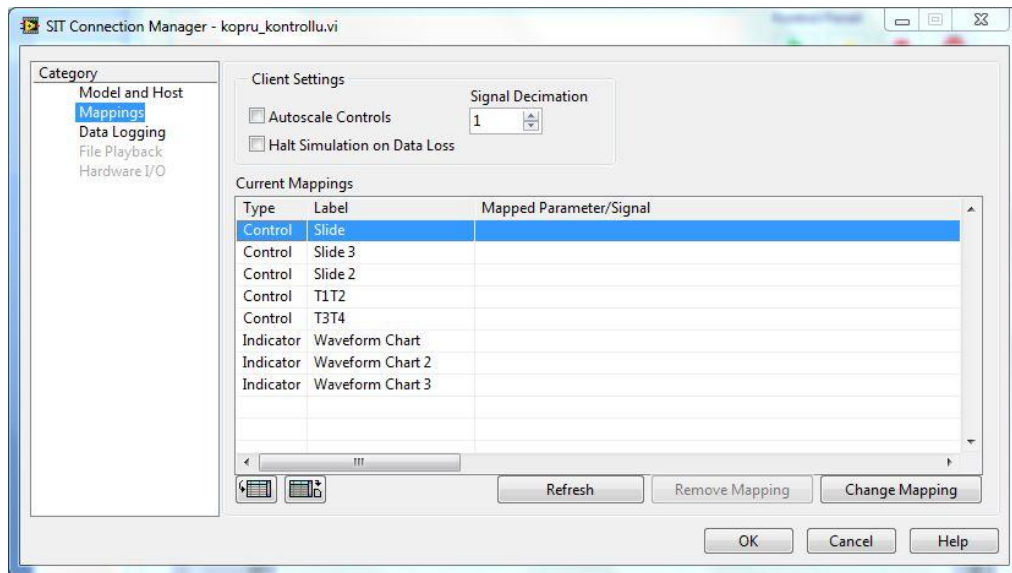
Şekil 3.24. Simulation interface toolkit (SIT) menüsü

Şekil 3.24'te görüldüğü gibi "Tools" menüsünden "SIT Connection Manager" linkine tıklandığında Şekil 3.25'te verilen SIT bağlantı yönetim paneline girilebilir.



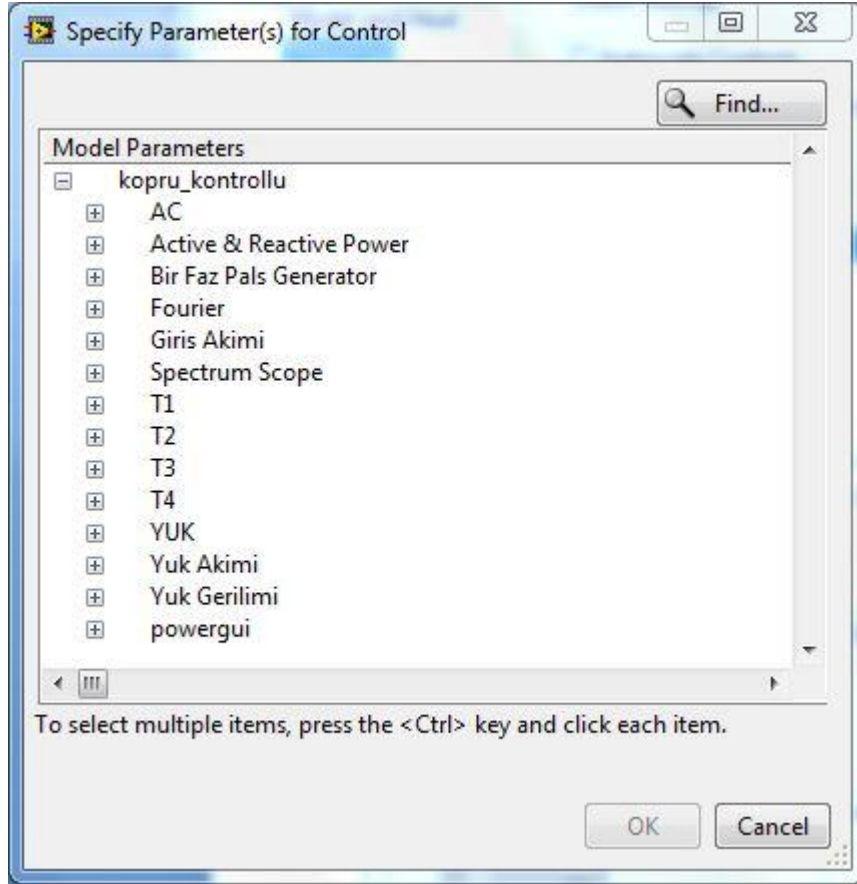
Şekil 3.25. SIT yönetim penceresi

Şekil 3.25'te görülen pencerede ilk olarak "Model and Host" kategorisinde "Current Model" bölümüne MatLAB/Simulink dosyamızı göstermeliyiz. MatLAB/Simulink dosyamızı gösterdiğimizde "Current Model" bölümü altında görülen "Project Directory" bölümü dosyamızın dosya yoludur ve dosya yolu "Current Model" bölümüne dosyamızı gösterdiğimiz anda otomatik olarak seçilir. Daha sonra LabVIEW ile MatLAB/Simulink arasında veri transferini koordineli olarak yapmak için kontrol ve/veya gösterge eşleşmesi yapılmalıdır. Eşleştirme işlemi "Mappings" kategorisinden yapılır. "Mappings" kategorisine tıkladığımızda Şekil 3.26'da gördüğümüz eşleştirme penceresi ile karşılaşırız.



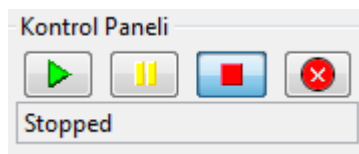
Şekil 3.26. SIT yönetim penceresinde veri eşleştirme

Şekil 3.26'da görülen pencerede "Current Mappings" bölümünde LabVIEW ön panele yerleştirdiğimiz kontrol ve göstergelerin listesi görülür. Bu bölümden istenilen kontrol veya göstergeye farenin sol tuşuyla çift tıklanarak Şekil 3.27'de verilen pencere yardımıyla LabVIEW programındaki kontrol veya gösterge MatLAB/Simulink programındaki blok parametresi ile eşleştirilir.



Şekil 3.27. SIT eşleştirme penceresi

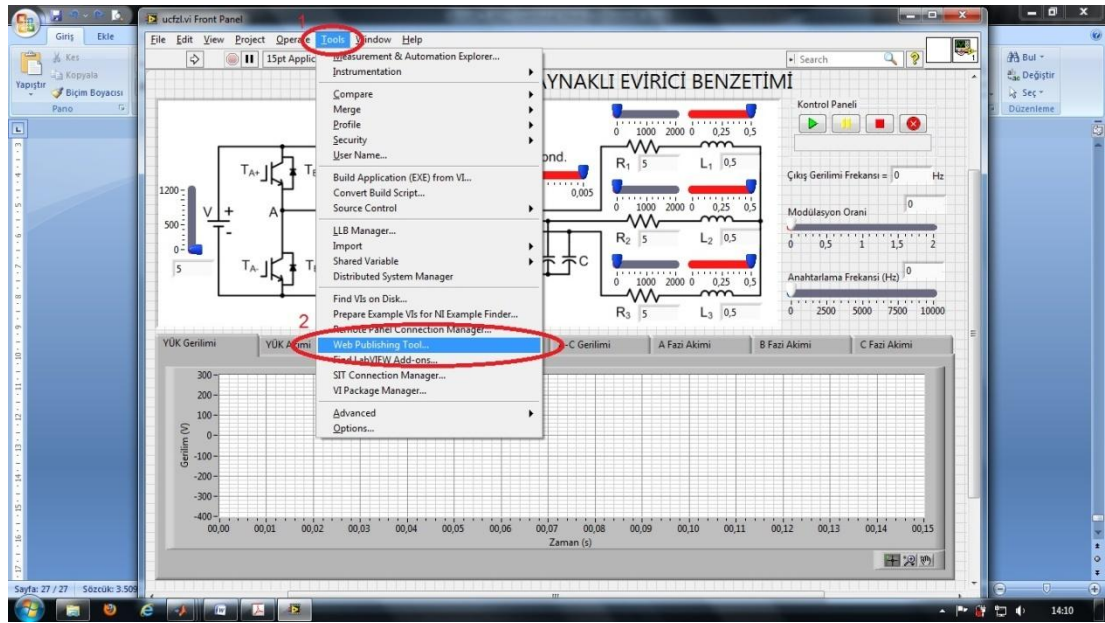
Eşleştirme işlemi tamamlandıktan sonra onaylama butonunu tıklayıp, SIT yazılımının LabVIEW programı ile MatLAB/Simulink programı arasındaki veri akışı için düzenlemeleri yapmasını bekleriz. Düzenleme işlemi tamamlandıktan sonra ön panele Şekil 3.28'de verilen kontrol bölümü eklenir. Bu bölümden sanal enstrümanımızın kontrolünü gerçekleştirebiliriz.



Şekil 3.28. SIT kontrol bölümü

### 3.3. Uzaktan Erişim Yardımcı Programı

Uzaktan erişim için LabVIEW programına ait “Web Publishing Tool” (WPT) aracından yararlanılmıştır. Bu araca ulaşmak için LabVIEW programının araç menüsünde yer alan “Tools” menüsüne girilerek “Web Publishing Tool” aracı seçilmelidir. Bu ekrana ait görünüm Şekil 3.29’da görülmektedir.

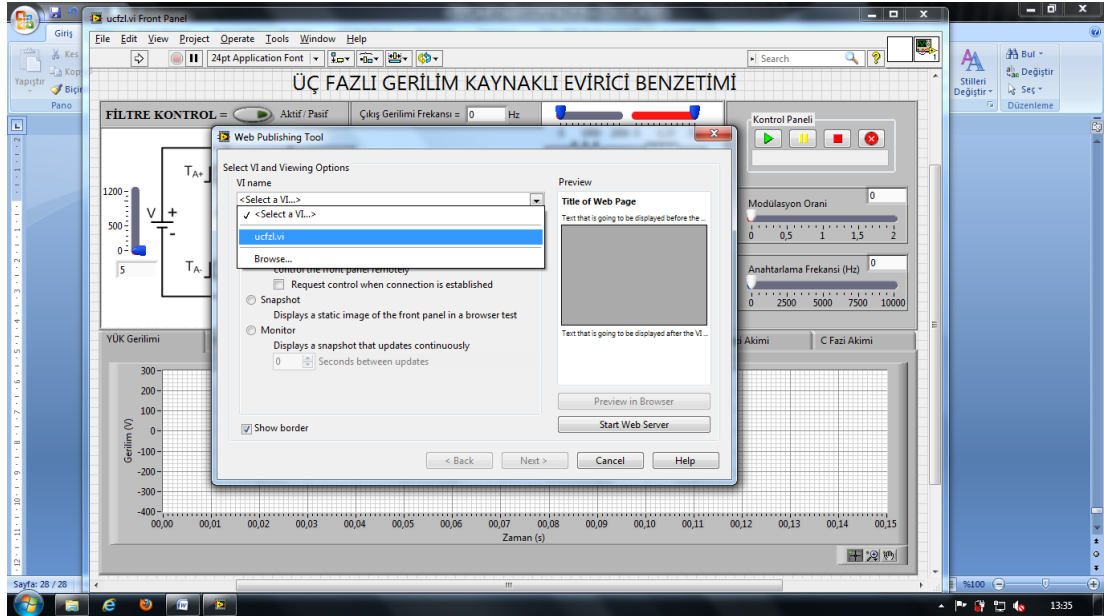


Şekil 3.29. WPT aracının çalıştırılması

Şekil 3.29’da görülen “Web Publishing Tool” bölümü tıklandığında Şekil 3.30’daki “Web Publishing Tool” penceresi açılacaktır. Bu penceredeki “VI name” bölümünden hazırlanmış olduğumuz sanal enstrümanı seçmeliyiz. Aynı zamanda bu bölümde uzaktan kontrole izin verilebilmesi için “Request control when connection is established” isimli ilgili kutucuk işaretlenmelidir. Daha sonra “Start Web Server” butonu tıklanarak hazırlanmış olan sanal enstrüman HTML formatında yayınlanacak hale gelmiş olur. “Preview in Browser” butonu tıklanarak sanal enstrümanın internet tarayıcısı üzerinden ön izlemesi elde edilebilir. Eğer virüs programı kullanılıyor ise, virüs programı üzerinden LabVIEW programı için gerekli izinler verilmelidir. Aksi takdirde



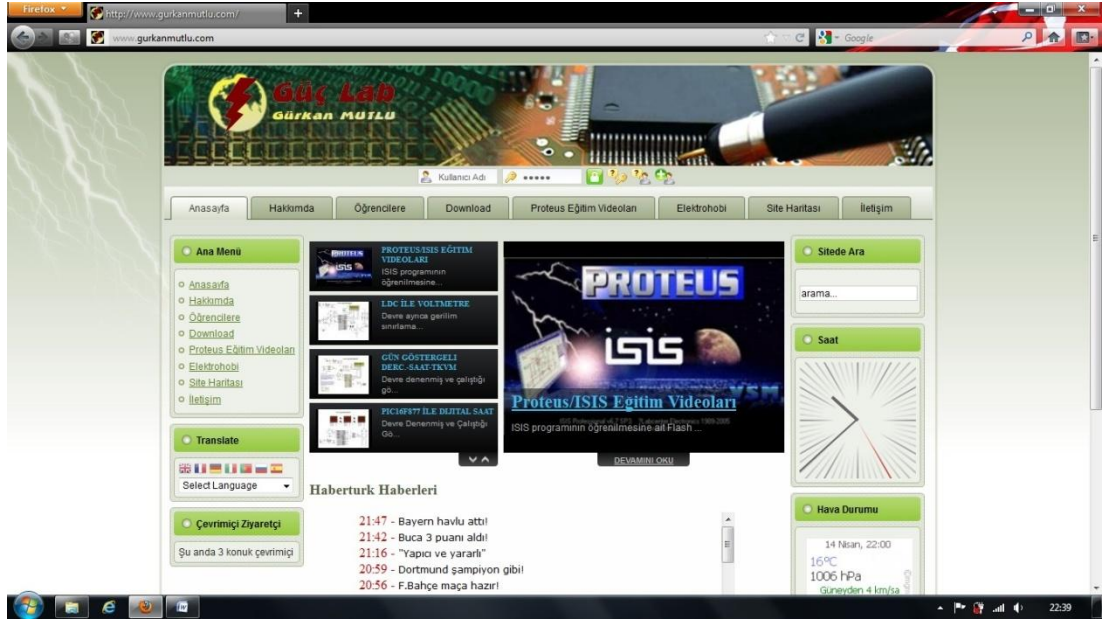
virüs programı LabVIEW programını engelleyecek ve internet tarayıcısı üzerinde ön izleme yapılmasına izin vermeyecektir.




Şekil 3.30. Sanal enstrümanın yayınlanması

### 3.4. Uzaktan Erişim İnternet Sayfası

Gerçekleştirilen sisteme internet üzerinden erişilebilmesi için bir internet sayfası tasarlanmıştır. İnternet sayfası açık kaynak kodlu içerik yönetim sistemi olan Joomla kullanılarak tasarlanmıştır. Bu internet sayfası yardımıyla kullanıcı sisteme istediği yerden ve istediği zaman bağlanarak ilgili deneyleri gerçekleştirebilmektedir. İnternet sayfasına <http://www.gurkanmutlu.com> adresinden ulaşılabilir. Şekil 3.31’de hazırlanmış olan internet sayfasına ait ekran görüntüsü verilmiştir.



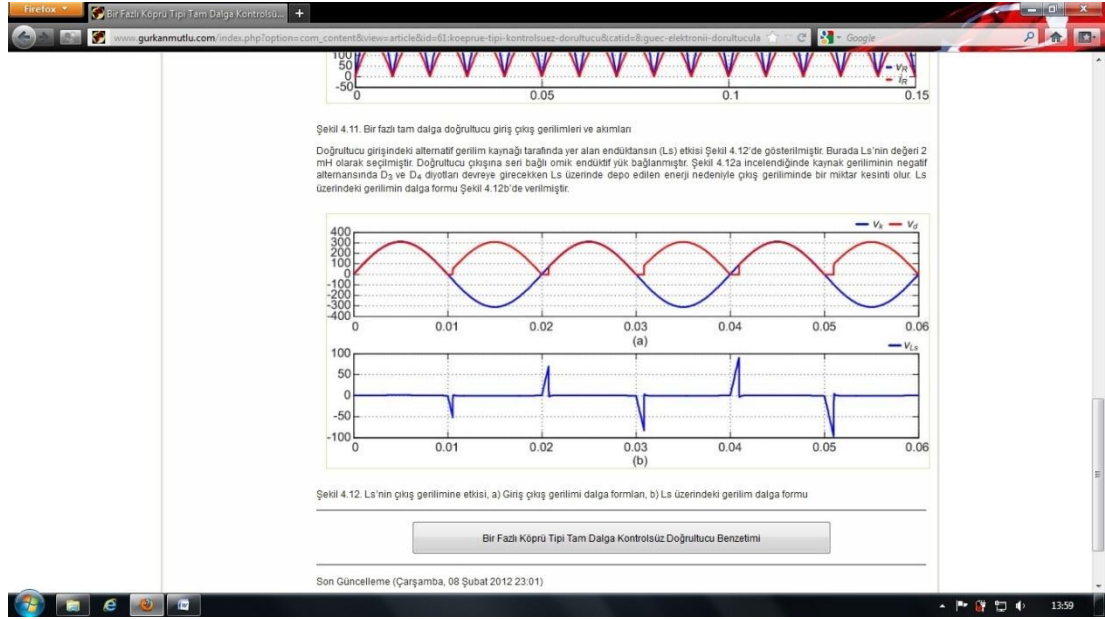
Şekil 3.31. Uzaktan erişim internet sayfası

Kullanıcı internet sayfasına girdiğinde uzaktan erişimli güç elektroniği sayfasına ulaşabilmesi için kayıt olmalıdır. Kullanıcı Şekil 3.31’de görülen  butonuna tıklayıp basit birkaç soruyu cevaplayarak internet sayfası için gerekli üyelik işlemini tamamlayabilir. Şekil 3.32’de internet sayfasına kullanıcı girişi yapıldığı andaki ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.32. Kullanıcı girişi sonrası internet sayfası

Şekil 3.32’den de görüldüğü gibi kullanıcı girişi yapıldıktan sonra internet sayfasına “Güç Elektroniği Sanal Laboratuvarı” isimli bir menü eklenecektir. Bu menüde güç elektroniği temel konuları için ayrı ayrı bölümler oluşturulmuştur. Kullanıcı bilgi almak istediği bölüme tıklayarak ulaşabilir. Hazırlanmış bu uzaktan erişimli laboratuvara erişim için üyelik şartının koyulmasının nedeni kullanıcılara istenildiği zaman ulaşılabilmesi içindir. Çünkü kullanıcıların internet sayfasına kayıt olabilmeleri için mutlaka kullandıkları geçerli bir elektronik posta adresini sisteme girmeleri gerekmektedir. Şekil 3.33’te uzaktan erişimli laboratuvara ait bir eğitim sayfasının ekran görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.3’te görülen eğitim sayfasının en altında yer alan buton ile konuya ait benzetimin kullanıcı arayüzüne ulaşılabilir. Bu durum diğer konulara ait benzetim kullanıcı arayüzleri içinde geçerlidir.



Şekil 3.33. Eğitim sayfası

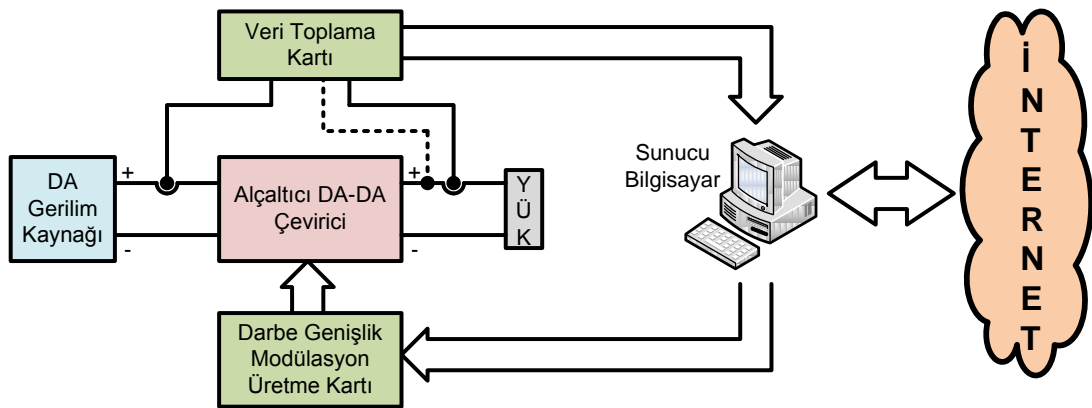
Aynı zamanda hazırlanmış olan bu internet sayfasında kullanıcıların aldığı eğitimin ölçülebilmesi için bir adet sınav bileşeni de yer almaktadır. Bu bileşen yardımıyla istenildiği takdirde çoktan seçmeli veya klasik tipte sınavlar hazırlanarak kullanıcıların bilgisi ölçülebilir. Bu bileşenin kullanılabilmesi içinde aynı sebepten dolayı kullanıcıların internet sayfasına kayıt olmaları gerekmektedir.

#### 4. UZAKTAN ERİŞİMLİ GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI İÇİN ÖRNEK UYGULAMA

Gerçekleştirilen çalışma güç elektroniği DA-DA çeviricilerinden alçaltıcı çevirici için internet üzerinden kontrol edilebilir gerçek bir uygulamayı da içermektedir. Burada gerçek uygulamanın nasıl gerçekleştirildiğinin yanında daha önce bahsedilen alçaltıcı çevirici için benzetim çalışması ile karşılaştırılması yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Alçaltıcı DA-DA Çevirici Uygulamasının Gerçekleştirilmesi

Güç elektroniği temel konularından olan DA-DA çeviricilerin alçaltıcı çeviri uygulaması tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu gerçek uygulama için LabVIEW programında bir kullanıcı arayüzü tasarlanarak internet üzerinden kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemin kontrol edilmesinde ve sonuç verilerinin toplanmasında analog veri okuma kartı ve darbe genişlik modülasyonu (DGM) kartı kullanılmıştır. Sistem ethernet bağlantısı ile bir sunucu bilgisayar üzerinde çalışmaktadır. Bu sunucu bilgisayar yardımı ile internet bağlantısı üzerinden alçaltıcı DA-DA çeviricinin DGM sinyalleri kontrol edilip, ilgili veriler eşzamanlı olarak izlenebilmektedir. Şekil 4.1'de alçaltıcı çevirici uygulamasının gerçekleştirilmesine ait blok diyagram verilmiştir.



Şekil 4.1. Alçaltıcı çevirici uygulaması blok diyagramı

#### 4.1.1. Veri toplama kartı

Ölçme kartı yardımıyla okunan akım ve gerilim sinyalleri veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Veri toplama kartı olarak “United Electronic” firmasına ait PowerDNA model bir veri toplama küpü ve bu küp üzerinde bulunan eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip analog giriş katmanı kullanılmıştır. Veri toplama küpü üzerinde bulunan ethernet girişi yardımıyla veriler bilgisayara ethernet haberleşmesi üzerinden aktarılmaktadır. Bu sayede ölçüm yapılan sistem ile sunucu bilgisayarın aynı noktada olması gerekmediğinden daha esnek bir ölçüm sistemi elde edilmiştir. Veriler veri toplama küpü üzerine yerleştirilen 4 kanala sahip eşzamanlı örnekleme yapabilme özelliğine sahip analog giriş katmanı yardımıyla okunmaktadır. Bu analog giriş katmanı 18 bit çözünürlükte ADC giriş katmanına sahip olmakla beraber maksimum 250 kHz/kanal örnekleme hızına sahiptir [48].

#### 4.1.2. Darbe genişlik modülasyonu kartı

Alçaltıcı DA-DA çevirici devresinde yer alan yarı iletken güç anahtarının çalışabilmesi için gerekli anahtarlama sinyalleri bu kart ile üretilmektedir. Darbe genişlik modülasyonu kartı olarak “United Electronic” firmasına ait PowerDNA model bir veri toplama küpü ve bu küp zerinde bulunan yüksek hızlı sayıcı/zamanlayıcı kart kullanılmıştır. Sunucu bilgisayar üzerinde yer alan LabVIEW programında hazırlanmış kullanıcı arayüzü ile kontrol edilen bu DGM kartı sunucu bilgisayar ile ethernet bağlantısı üzerinden haberleşmektedir. Analog giriş kartında olduğu gibi kartında sunucu bilgisayar ile aynı noktada olması gerekmemektedir. Böylelikle gerçekleştirilen sistem oldukça esnek bir yapıya sahip olmaktadır. DGM kartı 32 bitlik 8 bağımsız kanala ve 66 MHz'lik kanal giriş-çıkış frekansına sahiptir [49].

### 4.1.3. Akım ölçüm probu

Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının çıkış akımının ölçümü Fluke firmasına ait 80i-110s modeli AA/DA akım probu ile gerçekleştirilmiştir. Bu akım probu ile 0,1 ile 100 A arası DA akımların ve 0,1 ile 70 A arası AA akımların ölçümü %3+50 mA doğrulukta gerçekleştirilebilmektedir. Akım ölçüm probu BNC konnektörü ile veri toplama kartına bağlanmıştır. Resim 4.1'de kullanılan akım ölçüm probu görüntüsü verilmiştir [50].

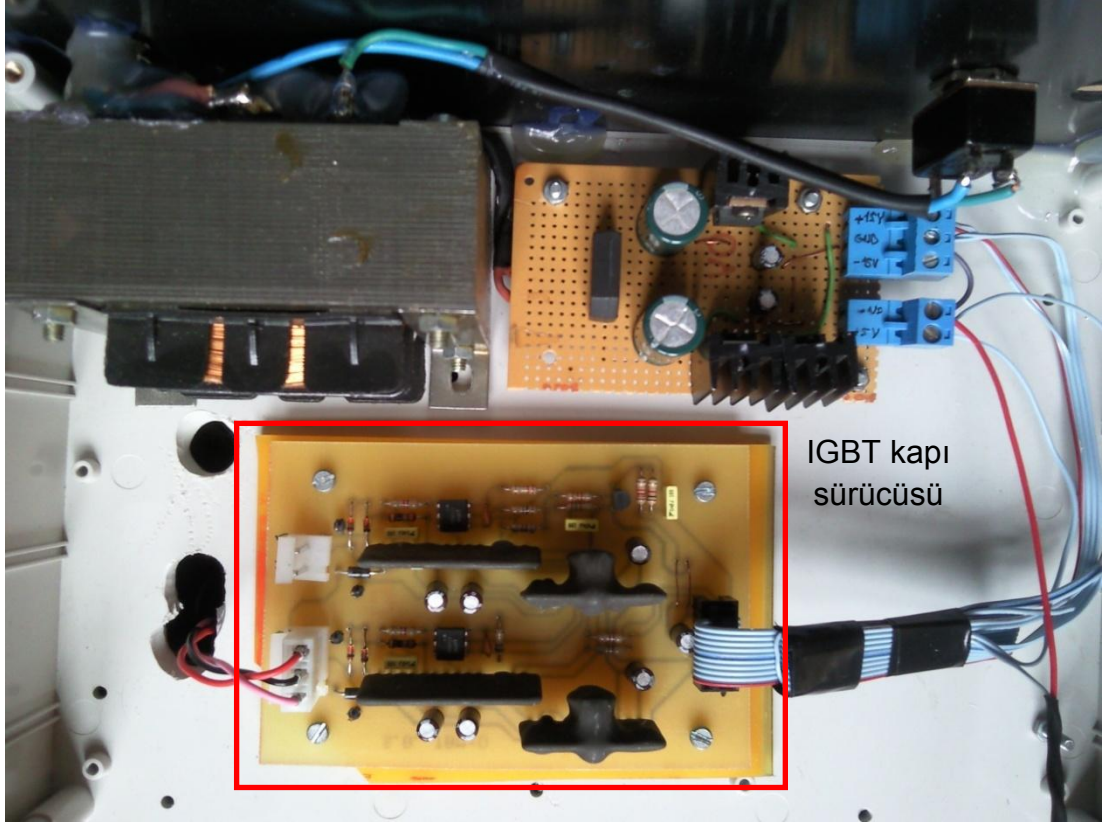


Resim 4.1. Akım ölçüm probu

### 4.1.4. Sürücü kartı

Alçaltıcı DA-DA çevirici devre topolojisinde yer alan anahtarın sürülmesi için bir adet sürücü devre tasarlanıp uygulanmıştır. Uygulamada yarı iletken güç anahtarı olarak IGBT kullanılmıştır. IGBT kapı sürücüsü olarak Powerex firmasının kısa devre korumalı VLA531-01R tip sürücüsü kullanılmıştır. Bu sürücü 1200 V / 200 A sınıfı IGBT uygulamalarında tercih edilir. IGBT sürücü devresi üzerinde aynı zamanda Powerex firmasının VLA106-15242 modeli DA-DA çeviricisi de yer almaktadır. Bu çevirici 12V – 18V giriş gerilimi aralığına ve +24V, 100 mA çıkış değerlerine sahiptir. Çeviricinin görevi, IGBT'nin düzgün anahtarlama yapabilmesi için çıkış gerilimini 20 V değerinde

sabit tutmaktır. Uygulaması yapılan sürücü kartına ait devre görüntüsü Resim 4.2'de verilmiştir.

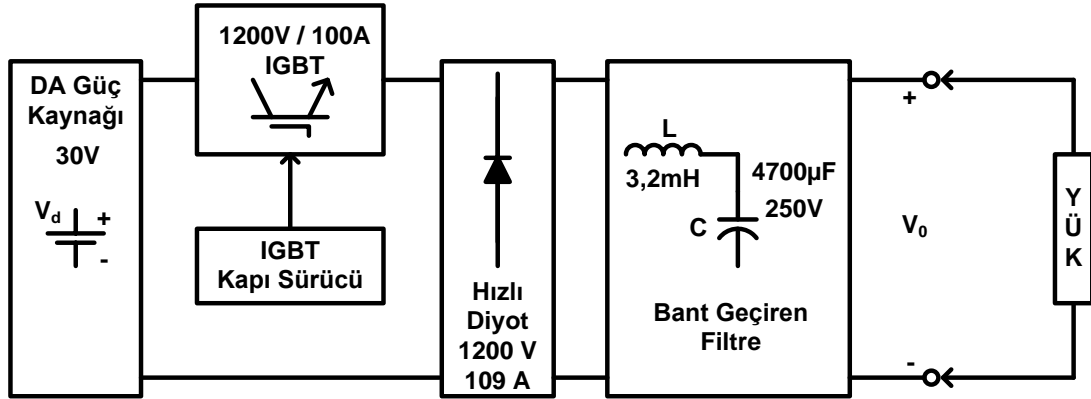


Resim 4.2. IGBT kapı sürücü kartı

#### 4.1.5. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması

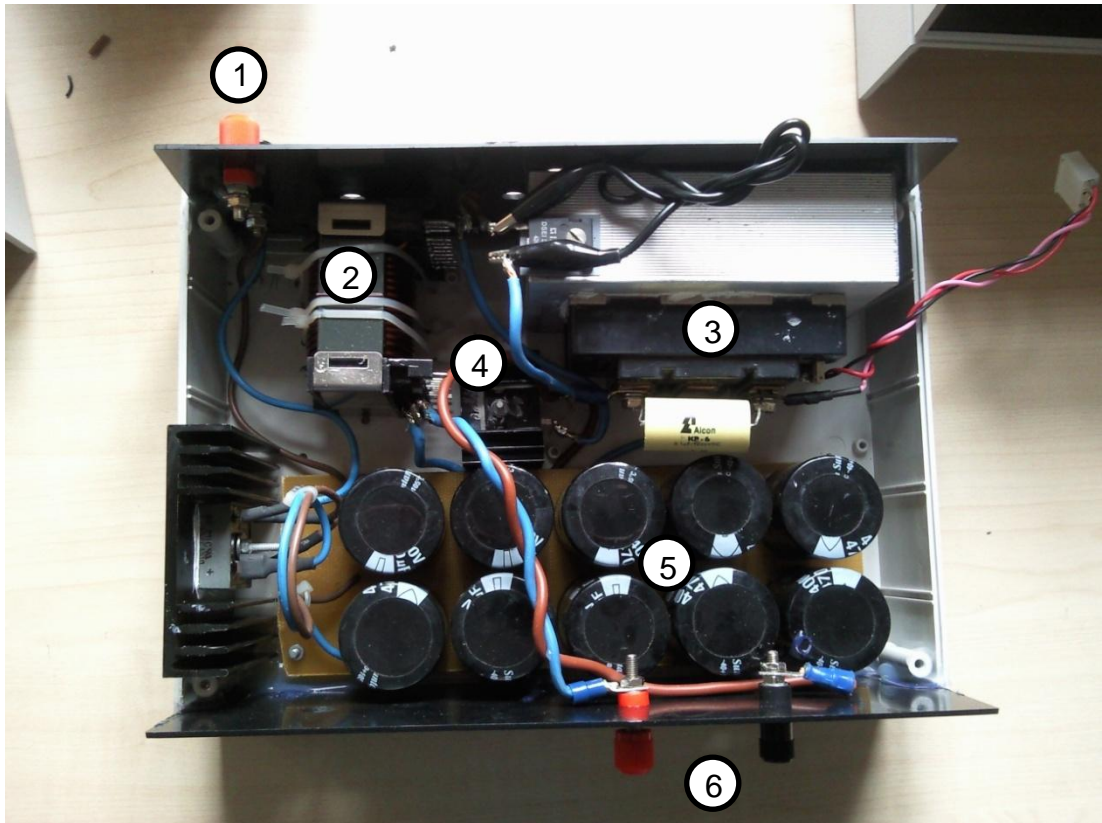
Yapılan çalışmada bir adet internet üzerinden kontrol edilip çıkış verilerinin izlenebildiği alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması gerçekleştirilmiştir. İlk işlem olarak alçaltıcı DA-DA çevirici devre topolojinin uygulaması gerçekleştirilip uygulamadan elde edilen verilerin istenilen şekilde değişim gösterdiği görülmüştür. Şekil 4.2'de alçaltıcı DA-DA çevirici devre topolojisi uygulamasına ait blok diyagram verilmiştir.





Şekil 4.2. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının devre topolojisi

Resim 4.3'te alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının görünümü verilmiştir.

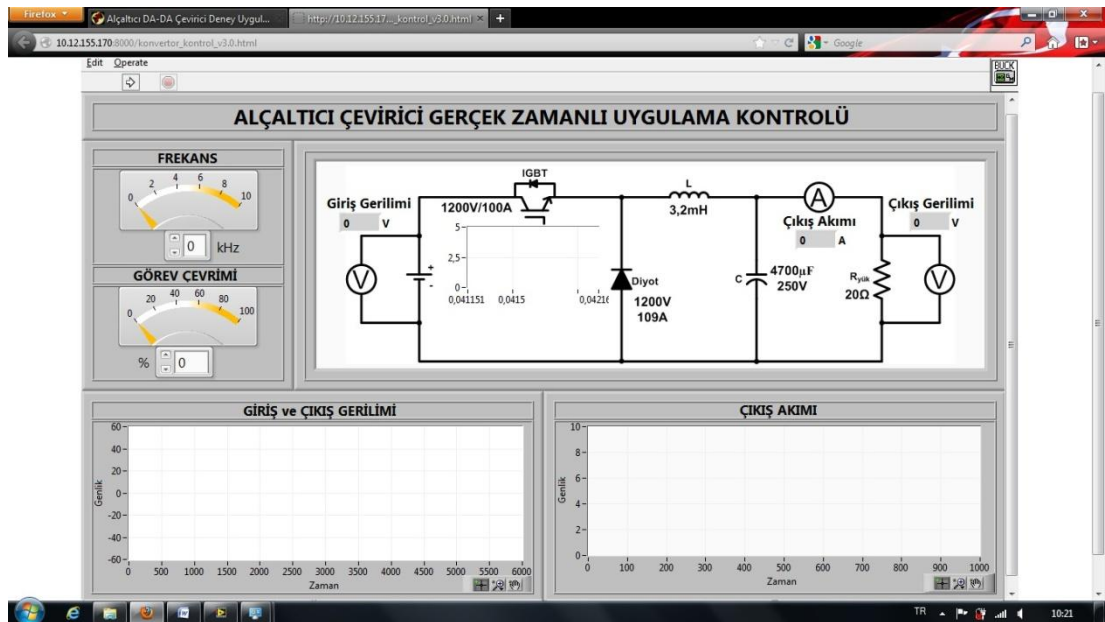


Resim 4.3. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması


1. Giriş
2. Bobin
3. IGBT
4. Hızlı diyot
5. Kondansatör grubu
6. Çıkış

Resim 4.3'te görülen uygulamanın devre şekli Şekil 4.2'de verildiği gibidir. Devrede yarı iletken güç anahtarı olarak 1200 V / 100 A'lık bir IGBT kullanılmıştır. IGBT için kapı sürücü devresi hazırlanmış ve bu kapı sürücü devresi için gerekli anahtarlama sinyalleri ise DGM kartı ile bilgisayardan kontrol edilebilir şekilde üretilmektedir. Devrede görülen hızlı diyot yüksek frekans değerlerinde çalışabilecek tiptedir. Diyot 1200 V / 109 A'lık ve ters toparlama süresi ( $t_{rr}$ ) 40 ns'dir. Devre çıkışında bant geçiren filtre yer almaktadır. Bant geçiren filtre 3,2 mH'lik bir bobin ve 10 adet 470  $\mu$ F'lık kondansatör grubu ile oluşturulmuş 4700  $\mu$ F'lık kondansatörden oluşmaktadır. Devre çıkışına da yapılan uygulamalarda 20  $\Omega$ 'luk omik bir yük bağlanmıştır.

Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının giriş ve çıkış gerilimleri ile çıkış akımı veri toplama kartı yardımı ile izlenebilmektedir. Uygulamanın anahtarlama sinyallerinin kontrolü ve giriş - çıkış verilerinin izlenebilmesi için LabVIEW programında bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuş ve bu arayüz WPT aracı ile internet üzerinde erişilebilir hale getirilmiştir. Şekil 4.3'te alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması kullanıcı arayüzüne ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.3. Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması kullanıcı arayüzü

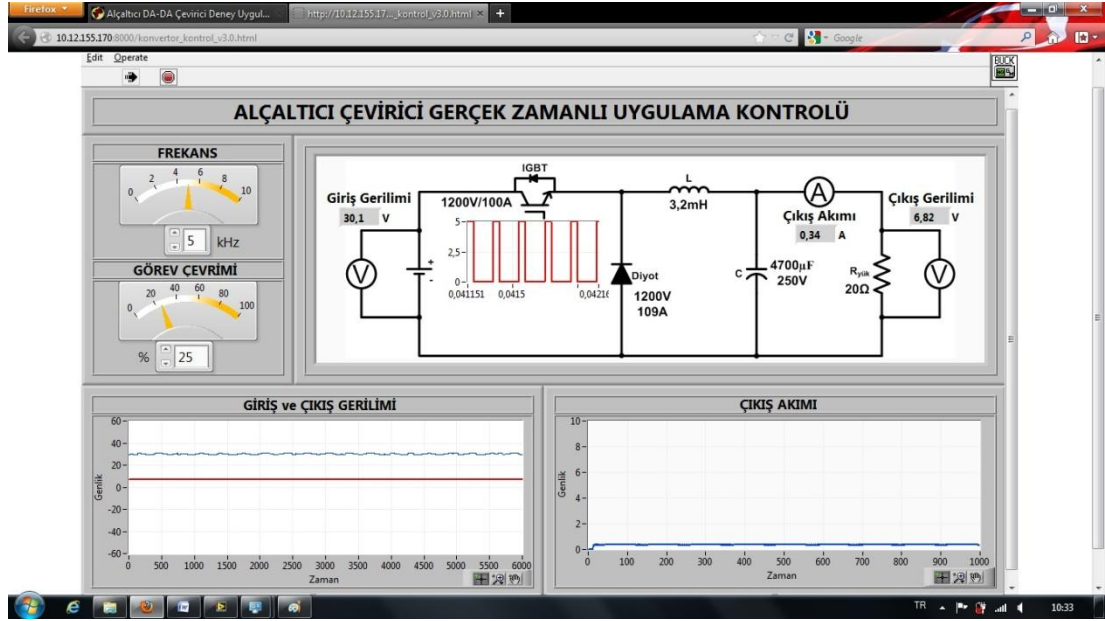
Şekil 4.3'te görülen kullanıcı arayüzü üst bölümde görülen  butonu ile çalıştırılabilir. "FREKANS" bölümünden anahtarlama sinyalinin frekans değeri kHz olarak, "GÖREV ÇEVİRİMİ" bölümünden ise üretilen anahtarlama sinyalinin görev çevrimi değeri yüzde olarak ayarlanabilmektedir. Kullanıcı arayüzünden giriş ve çıkış gerilimlerinin değişimi aynı grafik nesnesi üzerinden ve çıkış akımının değişimi ise ayrı bir grafik nesnesi üzerinden grafiksel olarak izlenebilmektedir. Ayrıca kullanıcı arayüzü üzerinde görülen alçaltıcı DA-DA çevirici devre şekli üzerine yerleştirilmiş veri kutuları ile ilgili veriler sayısal olarak izlenebilmektedir.

## 4.2. Alçaltıcı DA-DA Çevirici İçin Örnek Uygulama

Burada alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının çeşitli görev çevrimi oranlarında internet üzerinden örnek deneysel bir uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı uygulamanın osiloskop çıkış görüntüleri ve 2. bölümde anlatılan benzetim sonuçları ele alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır.

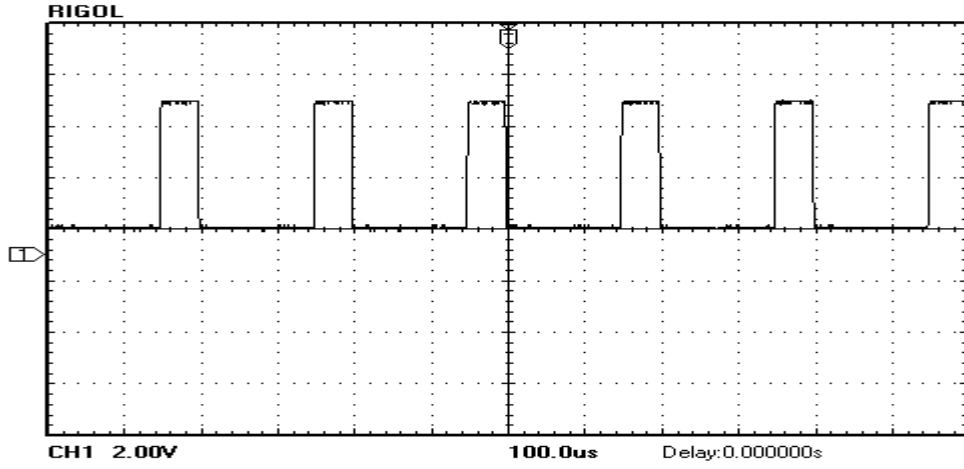
### %25'lik görev çevrimi için

Şekil 4.4'te alçaltıcı DA-DA çeviricinin 5 kHz'lik anahtarlama frekansında ve %25'lik görev çevrimi değerinde gerçekleştirilen uzaktan kontrol uygulamasına ait kullanıcı arayüzü görüntüsü verilmiştir. Devre çıkışına 20  $\Omega$ 'luk bir yük bağlanmıştır. Giriş gerilimi 30 V olduğu durum için çıkışından 6,65 V'luk bir gerilim alınmıştır. Çıkıştan çekilen akımın değeri 0,3 A'dir.

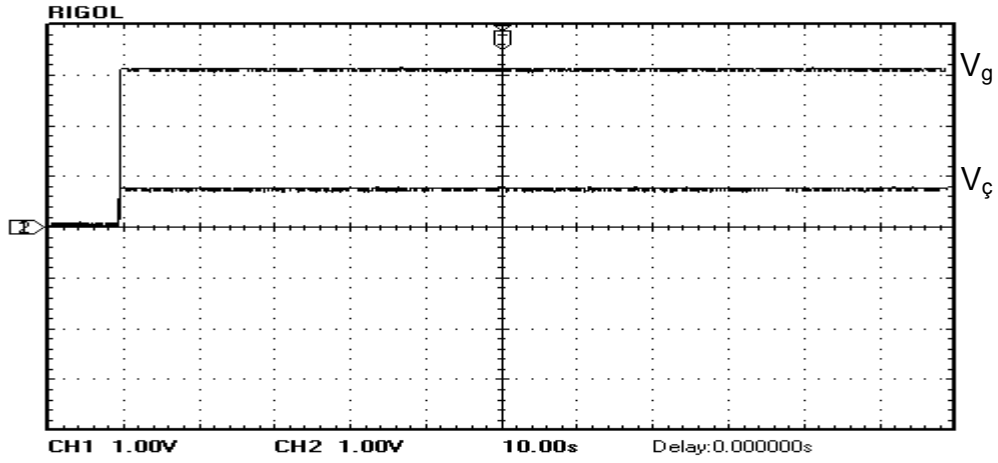


Şekil 4.4. %25'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması

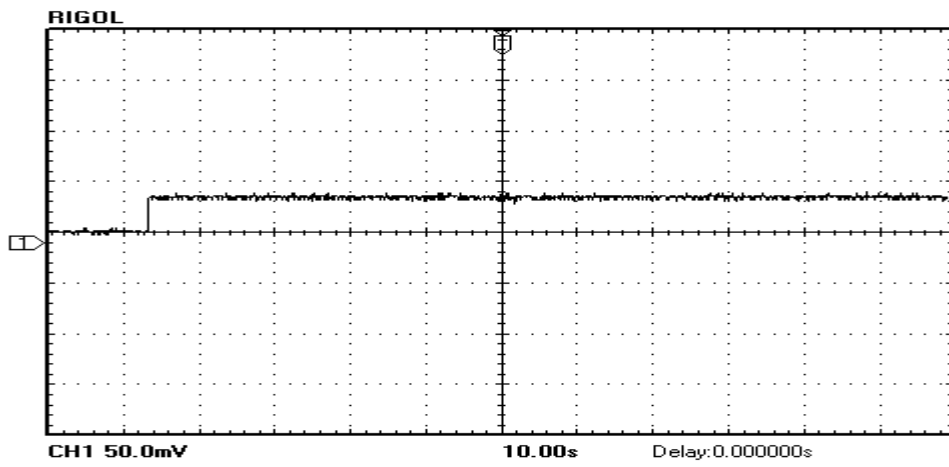
Şekil 4.5'te %25'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çeviricinin internet üzerinden gerçekleştirilen uygulaması esnasında osiloskop ekranından alınmış ekran görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)

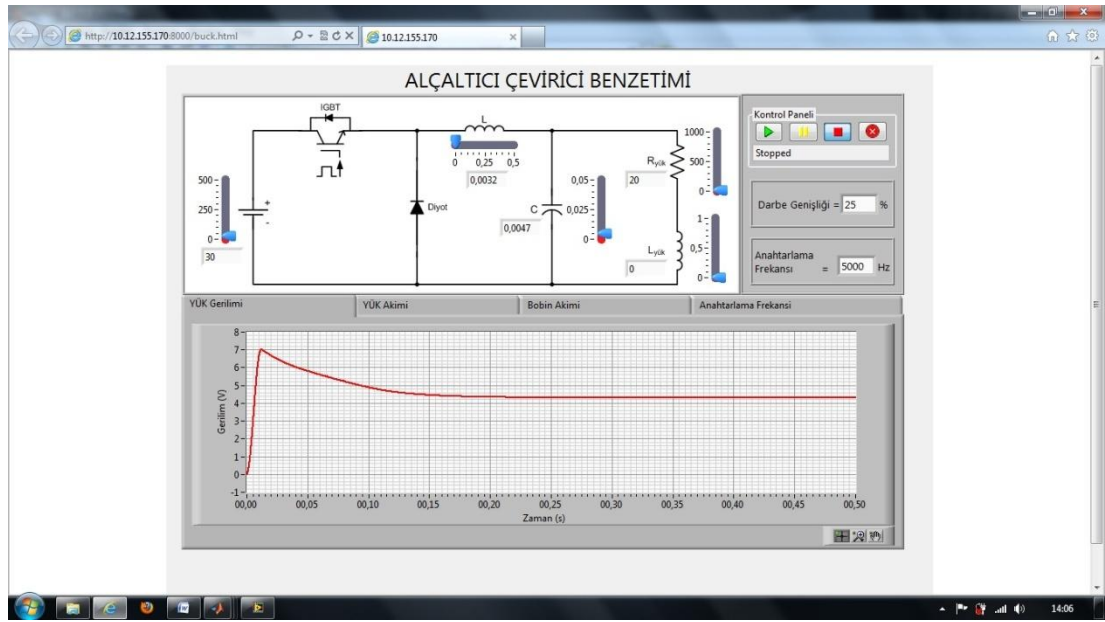


(c)

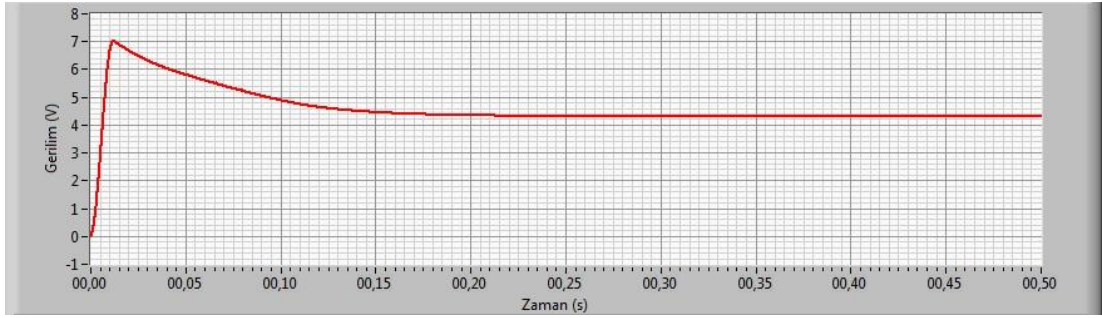
Şekil 4.5. %25'lik görev çevrimi için osiloskop verileri, a) Görev çevrimi b) Giriş ( $V_g$ ) ve çıkış ( $V_c$ ) gerilimleri c) Çıkış akımı

Şekil 4.5a'da darbe genişlik modülasyonu üretme kartı tarafından üretilen anahtarlama sinyali görülmektedir. Ölçümde kullanılan osiloskobun gerilim çarpanı oranı 2 V, zaman çarpanı oranı 100  $\mu$ s ve prob çarpanı oranı 1'dir. Sinyale ait değerler hesaplandığında; genliği yaklaşık 6 V, frekansı 5 kHz ve görev çevrimi oranı %25 olarak bulunur. Şekil 4.5b'de alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının giriş ve çıkış gerilimlerine ait osiloskop ekran görüntüsü verilmiştir. Giriş gerilimi osiloskobun birinci kanalından çıkış gerilimi ise osiloskobun ikinci kanalından ölçülmüştür. Osiloskobun birinci ve ikinci kanalının gerilim çarpanı oranları 1 V ve bu kanallara bağlanmış problemlerin prob çarpanı oranları 10'dur. Osiloskobun zaman çarpanı ise 50  $\mu$ s'dir. Bu değerle yardımıyla giriş ve çıkış gerilimlerinin değerleri hesaplandığında giriş geriliminin değerinin 30 V ve çıkış geriliminin değerinin ise yaklaşık olarak 6,5 V'un hemen üzerinde bir değerde olduğu görülür. Şekil 4.5c'de ise çıkış akımının osiloskop ekran görüntüsü verilmiştir. Akım ölçümü akım ölçüm probu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akım ölçüm probu 100 mV/A kademesindedir. Yani 1 A'lık akım için 100 mV'luk bir gerilim çıkışı vermektedir. Osiloskobun birinci kanalında yapılan ölçüm için gerilim çarpanı oranı 50 mV ve zaman çarpanı oranı 100  $\mu$ s'dir. Bu değerler kullanılarak çıkış akımının değeri hesaplandığında yaklaşık 0,3 A olarak bulunur. İnternet üzerinden kontrollü kullanıcı arayüzü kullanılarak alınan veriler ile osiloskop ile ölçülen verilerin bir birleriyle benzer olduğu görülmüştür.

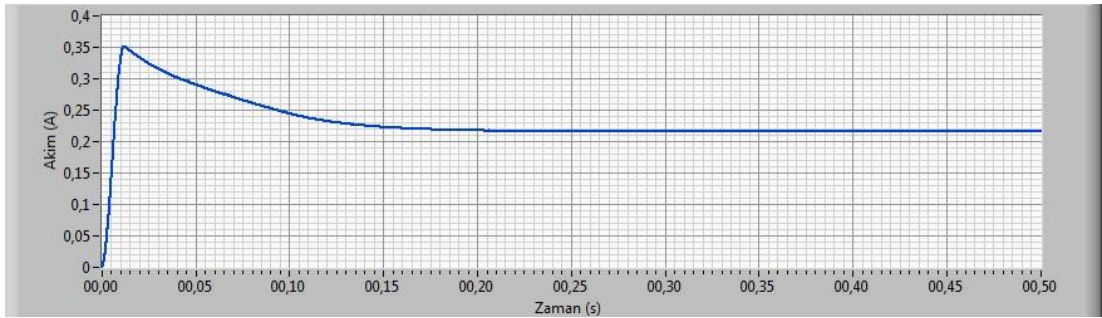
Yapılan bu çalışmada alçaltıcı DA-DA çevirici benzetim örneği de yer almaktadır. Bu konunun benzetim deneyi üçüncü bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Burada gerçekleştirilen uygulamada devre elemanlarının değerleri benzetim çalışmasında aynen kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6'da benzetim uygulamasına ait ekran görüntüsü ve Şekil 4.7'de benzetim deneyinden elde edilen tüm grafik sonuçları verilmiştir.



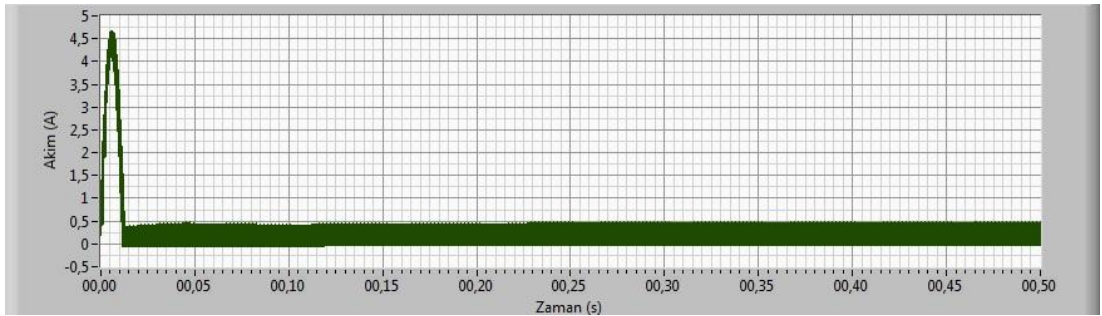
Şekil 4.6. %25'lik görev çevrimi için benzetim deneyi



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.7. %25'lik görev çevrimi için benzetim deneyi tüm çıkış grafikleri, a) Çıkış gerilimi b) Çıkış akımı c) Bobin akımı

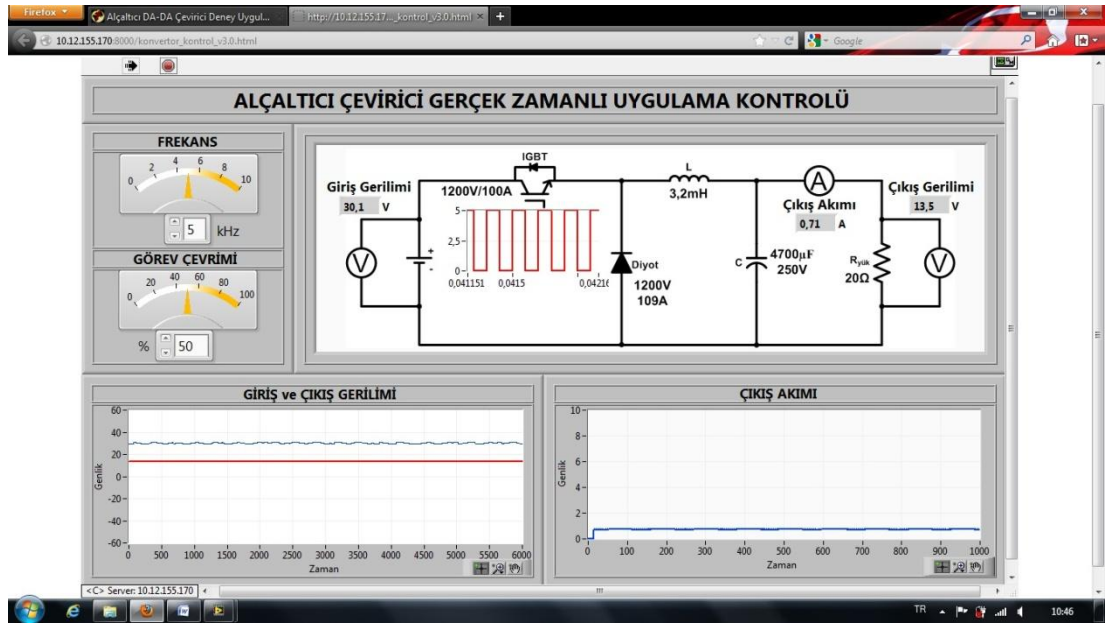
Şekil 4.7 incelendiğinde, benzetim uygulamasının çıkış gerilimi ve çıkış akımı değerlerinin gerçek uygulamaya oldukça yakın olduğu görülmektedir.

#### %50'lik görev çevrimi için

Gerçekleştirilen uygulamanın farklı görev çevrimi oranlarında nasıl çalıştığının incelenmesi için görev çevrimi oranı %50 olarak değiştirilmiş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Şekil 4.8'de 5 kHz'lik anahtarlama

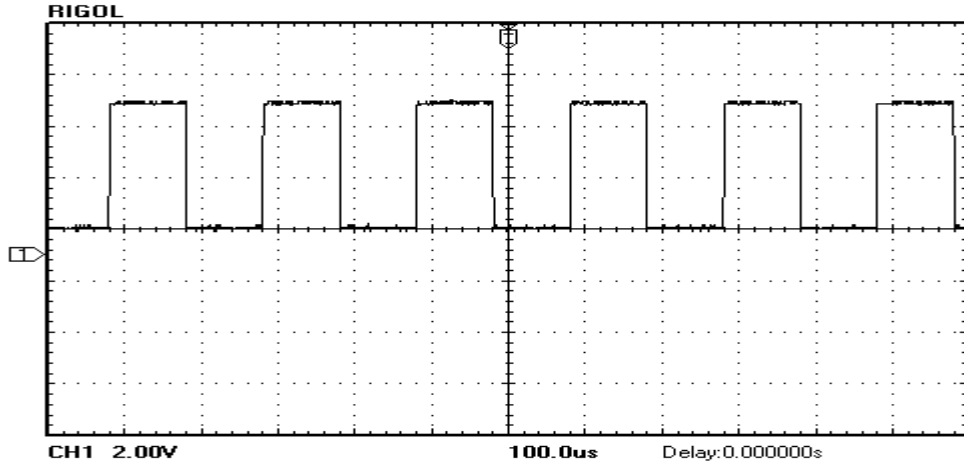


frekansında ve %50 görev çevrimi oranında gerçekleştirilen alçaltıcı DA-DA çevirici internet üzerinden kontrollü uygulama deneyi için kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Devre çıkışına 20  $\Omega$ 'luk bir yük bağlanmıştır. Giriş gerilimi 30 V olduğu durum için çıkıştan 13,4 V gerilim elde edilmiştir. Çıkış akımı da 0,68 A'dir.

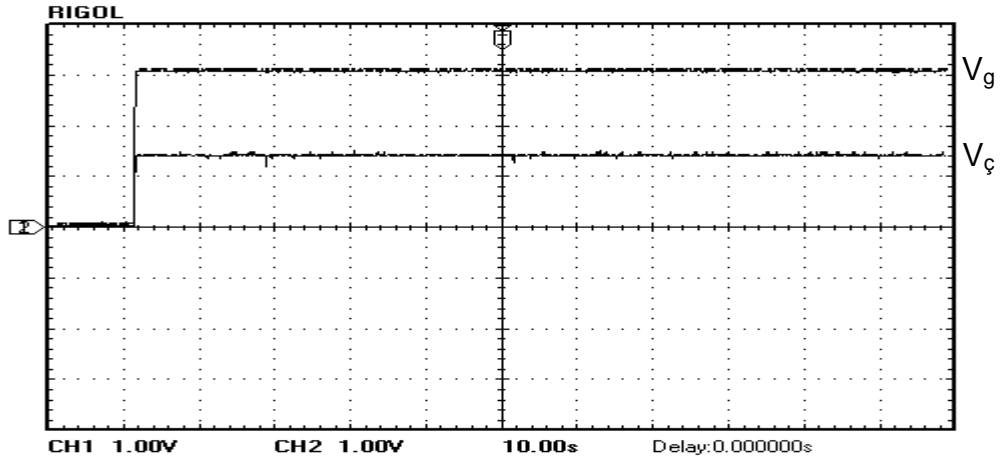


Şekil 4.8. %50'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması

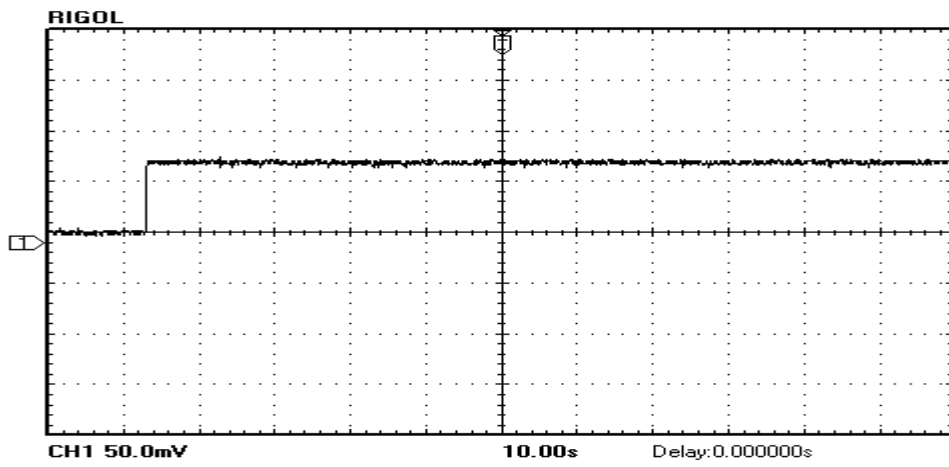
Şekil 4.9'da %50'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çeviricinin internet üzerinden gerçekleştirilen uygulaması esnasında osiloskop ekranından alınmış ekran görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)

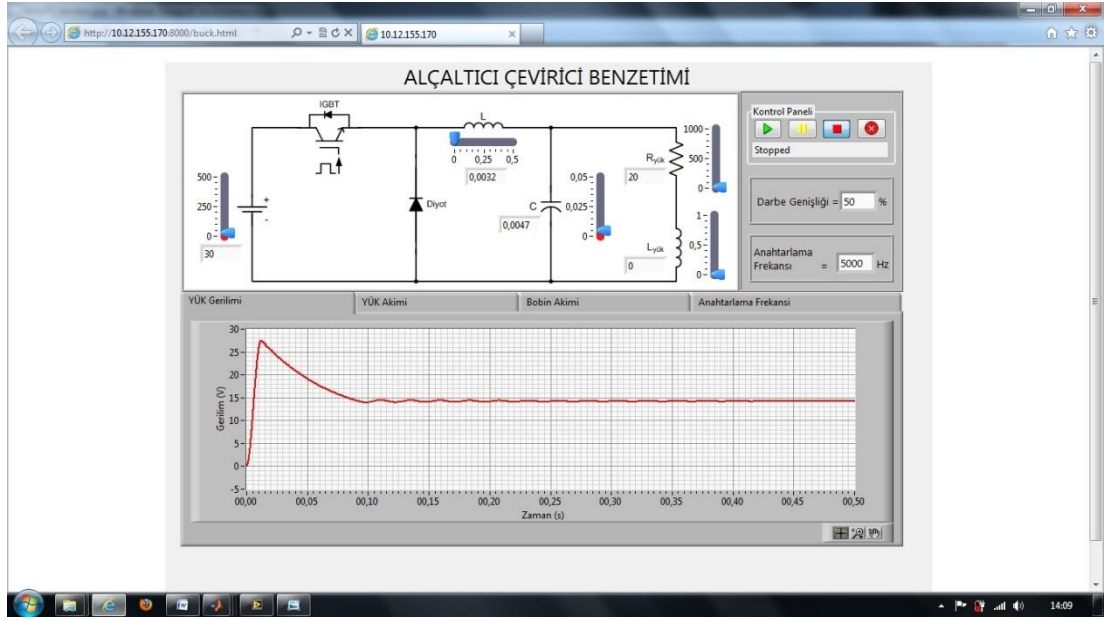


(c)

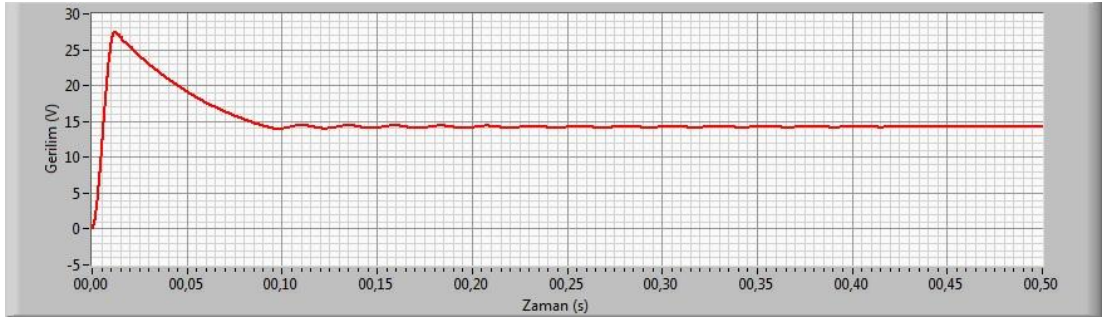
Şekil 4.9. %50'lik görev çevrimi için osiloskop verileri, a) Görev çevrimi b) Giriş ( $V_g$ ) ve çıkış ( $V_c$ ) gerilimleri c) Çıkış akımı

Şekil 4.9a'da darbe genişlik modülasyon kartı ile üretilen anahtarlama sinyali verilmiştir. Ölçümde kullanılan osiloskobun gerilim çarpanı 2 V, zaman çarpanı 100  $\mu$ s'dir. Ölçüm esnasında kullanılan probun prob çarpanı 1'dir. Elde edilen bu ölçüm sonuçları kullanılarak sinyalin genliği 6 V, frekansı 5 kHz ve görev çevrimi %50 olarak bulunur. Alçaltıcı DA-DA çeviricinin giriş gerilimi osiloskobun birinci kanalından, çıkış gerilimi 2. Kanalından ölçülmüş ve osiloskop ekran görüntüsü Şekil 4.9b'de verilmiştir. Ölçümde kullanılan osiloskobun birinci ve ikinci kanallarının gerilim çarpanları 1 V, bu kanallara bağlanan problemlerin prob çarpanları ise 10'dur. Osiloskobun zaman çarpanı 50  $\mu$ s'dir. Ölçüm verileri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan giriş geriliminin genliği 30 V, çıkış geriliminin genliği yaklaşık 13,5 V olarak bulunmuştur. Son olarak akım ölçüm probu yardımı ile çıkışa bağlanmış 20  $\Omega$ 'luk yükün çektiği akım osiloskop ile ölçülmüş ve osiloskop ekran görüntüsü Şekil 4.9c'de verilmiştir. Ölçümde kullanılan akım ölçüm probu 100 mV/A kademesindedir. Osiloskobun ölçüm yapılan birinci kanalının gerilim çarpanı 50 mV, zaman çarpanı 100  $\mu$ s'dir. Bu değerler yardımı ile osiloskop ekranında görülen çıkış akımına ait sinyalin değeri yaklaşık 0,7 A olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ilgili değerlerin internet üzerinden kontrollü kullanıcı arayüzünden ölçülen değerlere çok yakın olduğu görülmüştür.

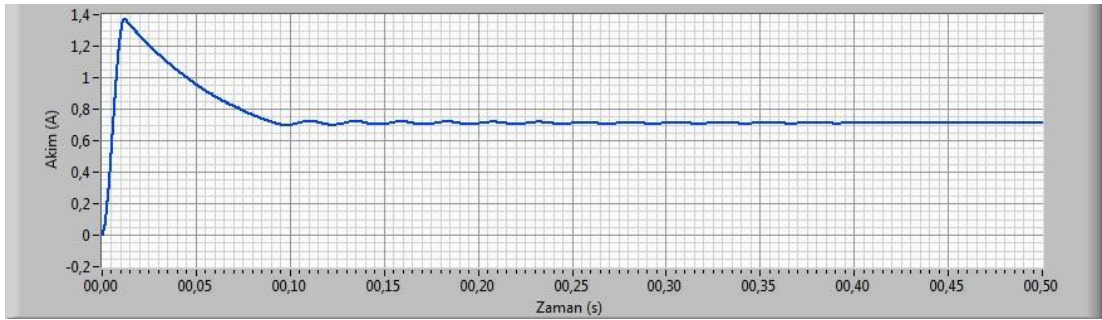
Alçaltıcı DA-DA çeviricinin %50'lik görev çevrimi oranında benzetim uygulaması üzerinden örnek bir deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneye ait ekran görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir. Deneyde devre elemanlarının değerleri gerçek uygulamadaki değerlerle bire bir aynı olarak alınmıştır. Şekil 4.11'de ise benzetim deneyi sonucunda elde edilen tüm grafiksel sonuçlar verilmiştir.



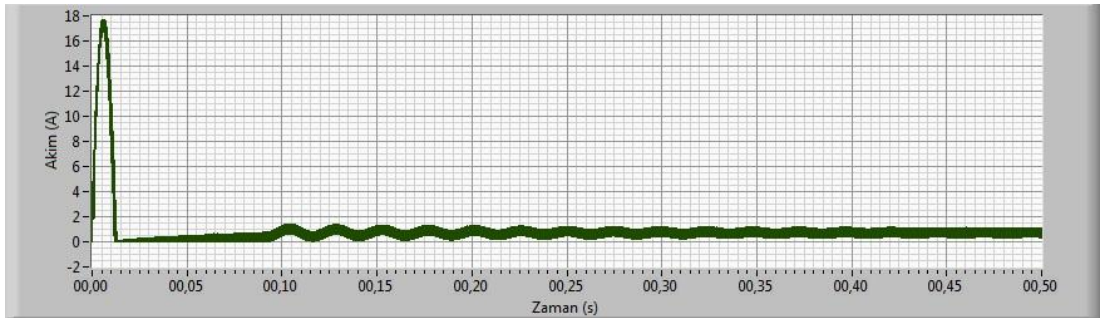
Şekil 4.10. %50'lik görev çevrimi için benzetim deneyi



(a)



(b)



(c)

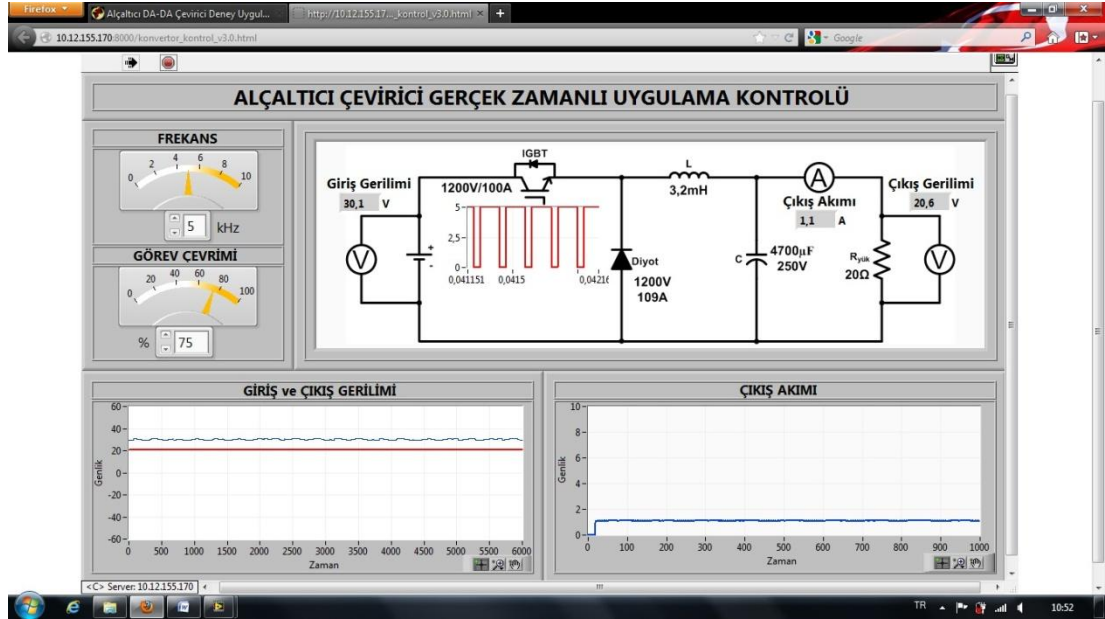
Şekil 4.11. %50 görev çevrimi için benzetim deneyi tüm grafik çıktıları, a) Çıkış gerilimi b) Çıkış akımı c) Bobin akımı

Şekil 4.11 incelendiğinde elde edilen verilerin gerçek uygulamadan elde edilen verilere çok yakın olarak değişim gösterdiği örülmüştür.

#### %75'lik görev çevrimi için

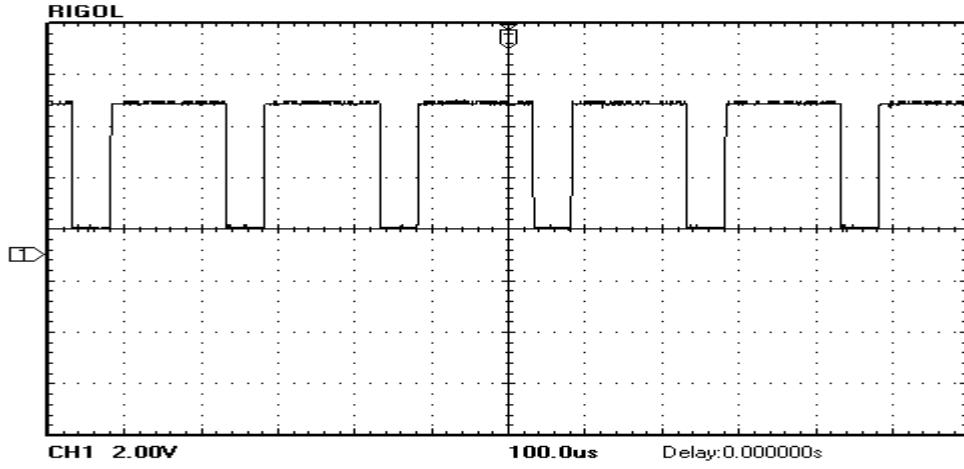
Alçaltıcı DA-DA çevirici uygulamasının %75'lik görev çevrimi oranı için örnek bir deneyi daha gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.12'de alçaltıcı DA-DA çeviricinin %75'lik görev çevrimi oranında ve 5

kHz'lik anahtarlama frekansında gerçekleştirilen deney için internet üzerinden kontrollü kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü verilmiştir. Devre çıkışına 20  $\Omega$ 'luk bir yük bağlanmıştır. Giriş gerilimi 30 V olduğu durum için çıkıştan 20,4 V gerilim elde edilmiştir. Çıkış akımı da 1,1 A'dır.

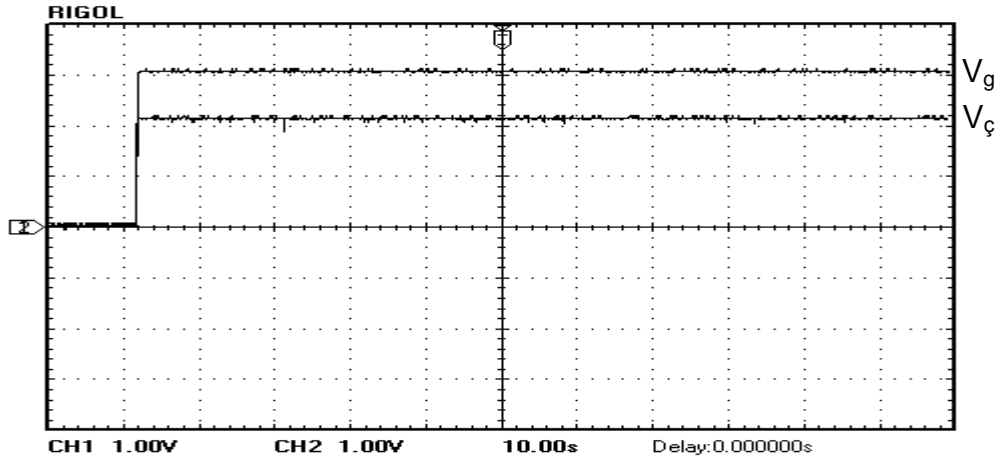


Şekil 4.12. %75'lik görev çevrimi için alçaltıcı DA-DA çevirici uygulaması

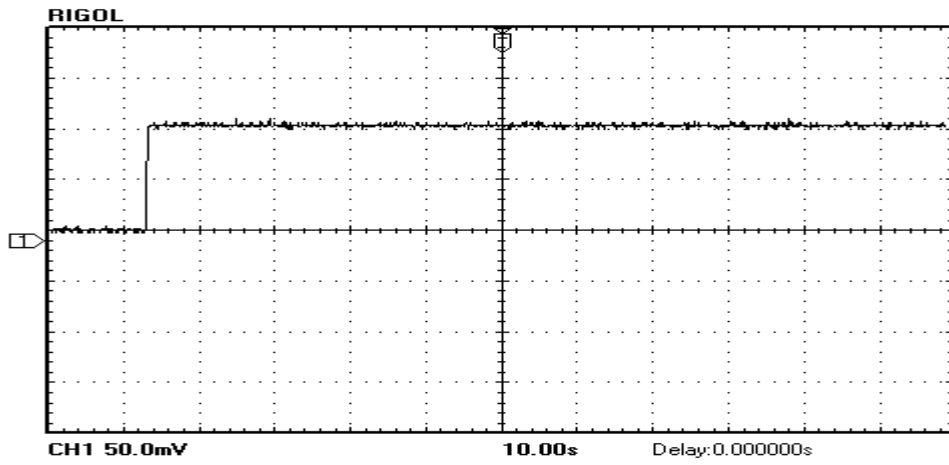
Alçaltıcı DA-DA çeviricinin internet üzerinden kontrollü kullanıcı arayüzü üzerinden gerçekleştirilen deney sonuçlarının istenildiği şekilde olduğu görüldükten sonra uygulama esnasında ilgili veriler osiloskop ile de ölçülmüştür. Şekil 4.13'te uygulamanın osiloskop ölçümü ekran görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)



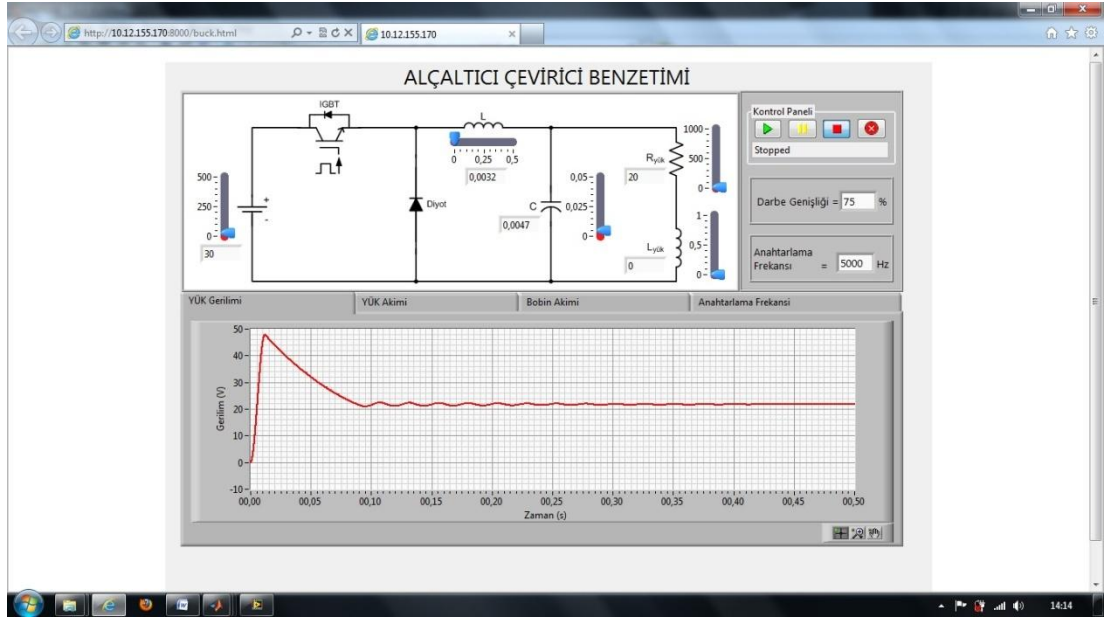
(c)

Şekil 4.13. %75'lik görev çevrimi için osiloskop verileri, a) Görev çevrimi b) Giriş ( $V_g$ ) ve çıkış ( $V_c$ ) gerilimleri c) Çıkış akımı

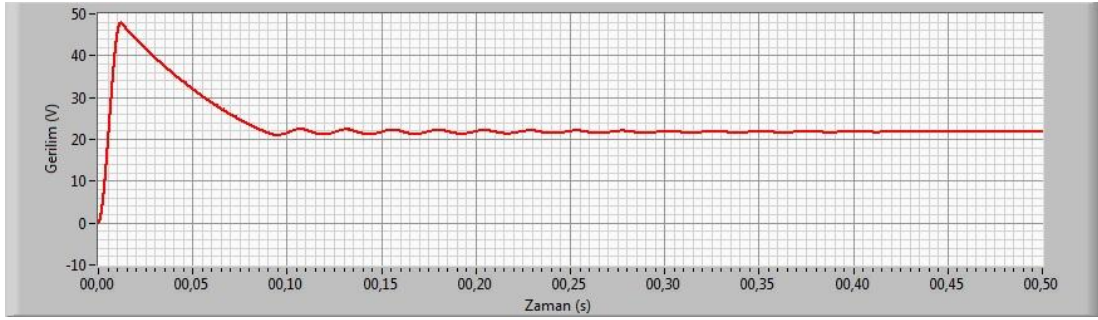
Şekil 4.13a'da darbe genişlik modülasyonu kartı ile üretilen anahtarlama sinyalinin osiloskop ölçümü sonucunda elde edilen ekran görüntüsü verilmiştir. Osiloskobun birinci kanalından yapılan ölçüm için gerilim çarpanı oranı 2 V, zaman çarpanı oranı 100  $\mu$ s ve ölçümde kullanılan probun prob çarpanı 1'dir. Bu değerler kullanılarak anahtarlama sinyalinin genliği yaklaşık 6 V, frekansı 5 kHz ve görev çevrimi oranı %75 olarak bulunur. Şekil 4.13b'de alçaltıcı DA-DA çeviricinin giriş ve çıkış gerilimlerine ait osiloskop ekran görüntüsü verilmiştir. Osiloskobun birinci kanalı giriş geriliminin ölçümü için, ikinci kanalı çıkış gerilimi ölçümü için kullanılmıştır. Birinci ve ikinci kanalların gerilim çarpanı oranı 1 V, bu kanallara bağlanmış ölçüm problemlerinin prob çarpanı değerleri 10'dur. Zaman çarpanı oranı ise 50  $\mu$ s'dir. Bu değerler yardımıyla Şekil 4.13b'deki ölçüm verilerinden giriş geriliminin değeri 30 V, çıkış geriliminin değeri yaklaşık 20,5 V olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.13c'de çıkışa bağlanan 20  $\Omega$ 'luk yükün devreden çektiği akımın osiloskop ekran görüntüsü verilmiştir. Çıkış akımının ölçümü için akım ölçüm probu kullanılmıştır ve akım ölçüm probu 100 mV/A kademesindedir. Osiloskobun gerilim çarpanı oranı 50 mV ve zaman çarpanı oranı 100  $\mu$ s'dir. Bu değerler yardımıyla çıkış akımının değeri yaklaşık olarak 1,05 A olarak hesaplanmıştır. Osiloskop ölçümü ile elde edilen değerler internet üzerinden kontrollü kullanıcı arayüzü üzerinden alınan değerler ile hemen hemen aynı olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen bu örnek deney uygulamasının yapılan çalışma kapsamında benzetim modeli de hazırlanmıştır. Benzetimi modeli kullanılarak örnek bir deney uygulaması daha gerçekleştirilmiştir. Deneye ait benzetim modeli ekran görüntüsü Şekil 4.14'te verilmiştir. Benzetim deneyinde devre elemanlarının değerleri gerçek uygulamada ki devre elemanları ile bire bir aynı olarak atanmıştır. Şekil 4.15'te ise benzetim modeli deneyinden elde edilen tüm grafiksel sonuçlar verilmiştir.

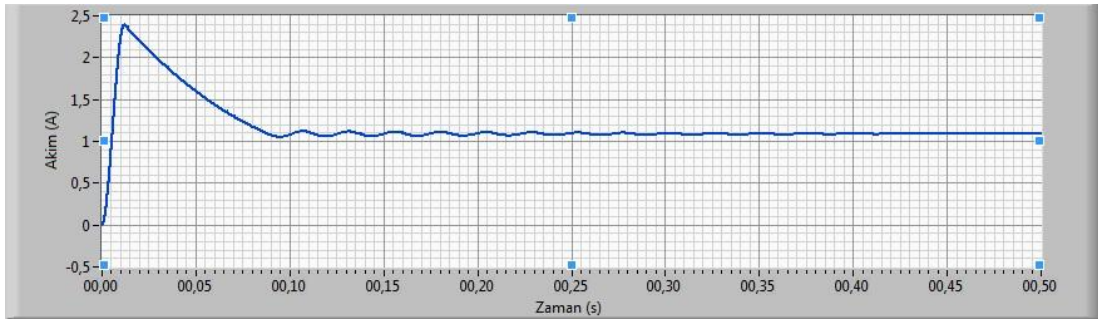




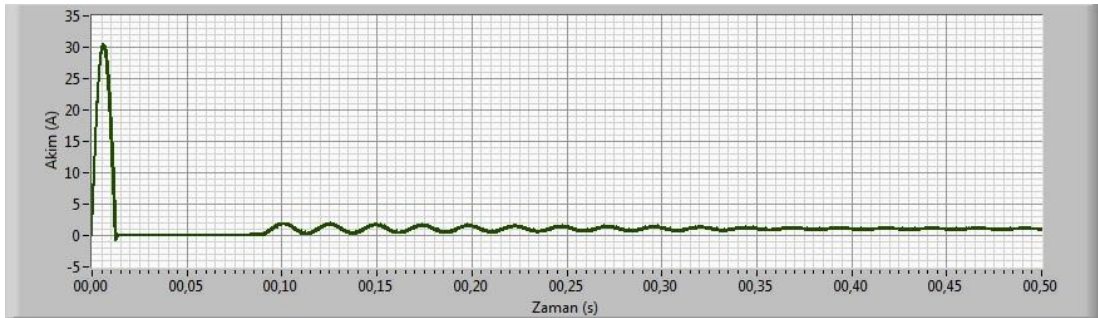
Şekil 4.14. %75'lik görev çevrimi için benzetim deneyi



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.15. %75 görev çevrimi için benzetim deneyi tüm grafik çıktıları, a) Çıkış gerilimi b) Çıkış akımı c) Bobin akımı

Şekil 4.15'te görülen benzetim deneyi sonuçları incelendiğinde, elde edilen sonuçların gerçek uygulamada elde edilen sonuçlar ile hemen hemen aynı değerlere sahip olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, güç elektroniği dersi eğitimi için benzetim deneyleri ve bir adet gerçek uygulama içeren uzaktan erişimli laboratuvar geliştirilmiştir. Laboratuvar güç elektroniği dersinin doğrultucular (AA-DA çeviriciler), çeviriciler (DA-DA çeviriciler) ve eviriciler (DA-AA çeviriciler) konularının öğretilmesine yönelik olarak hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen benzetim deneyleri bu konuların hepsini kapsamaktadır. Uzaktan erişimli laboratuvar web sayfasında bu temel güç elektroniği konuları için teorik bilgiler de yer almaktadır. Gerçek uygulama olarak internet üzerinden kontrol edilip, giriş ve çıkış değerlerinin izlenebildiği bir adet alçaltıcı DA-DA uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hazırlanan internet sayfası üzerinden verilen eğitimin ölçülmesine yönelik bir adet sınav bileşeni hazırlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışma özellikle uygulamalı eğitim veren eğitim-öğretim kurumlarında faydalı bir eğitim aracı olarak kullanılabilir. Ayrıca çalışmaya internet gibi herkese açık bir ağ sistemi üzerinden ulaşılabilmesi eğitimde fırsat eşitliğinin sağlanması açısından da önemlidir. Kullanıcılar bu laboratuvar da deneyi istediği zaman ve istediği sayıda gerçekleştirebilmekte ve böylelikle öğrenilen bilginin kalitesi artmış olmaktadır. Gerçek bir laboratuvar ortamında yapılan bir deneyin öğrenme üzerine etkisi bilinmektedir. Bundan dolayı yapılan çalışmada bir adet gerçek uygulamaya yer verilmiştir. Böylelikle kullanıcı gerçek sistem ile benzetim uygulamasının sonuçlarını karşılaştırma imkanı bulmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma yardımcı bir laboratuvar uygulaması olarak düşünülmelidir. Güç elektroniği gibi derslerde gerçek uygulama esnasında yapılabilecek bir hata istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Oysaki bu durumun ortaya çıkması gerçekleştirilen çalışma gibi internet tabanlı benzetim araçlarında mümkün değildir. Ayrıca kullanıcı benzetim uygulamalarında devre elemanlarına sıra dışı değerler verip devrenin tepkisini gözlemlene imkanı sahiptir. Gerçekleştirilen çalışmanın mesleki ve teknik eğitimde faydalı bir eğitim aracı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Salehfar, H., "State-of the-Art Power Electronics, Electric Drivers and Renewable Energy Systems Laboratories at the Univercty of North Dakota", **IEEE Power Engineering Society General Meeting**, 261-265 (2005).
2. Steimer, P.K., "Enabled by High Power Electronics - Energy efficiency, Renewables and Smart Grids", **IEEE International Power Electronics Conference (IPEC)**, 11-15 (2010).
3. Bayhan, S., Demirbaş, Ş., "LabVIEW İle İnternet Tabanlı Sanal Laboratuar Uygulaması", **e-Journal of New World Sciences Academy**, 120-135 (2009).
4. Iov, F., Ciobotaru, M., Blaabjerg, F., "Power Electronics Control of Wind Energy in Distributed Power Systems", **IEEE OPTIM 2008, 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment**, XXIX – XLIV (2008).
5. Farooq, U., Hasan, K.M., Hasan, M., Asad, M.U., Iqbal, A., Akhtar, M.A., "Microcontroller Based Low Cost Controlled Rectifiers Training Module for Power Electronics Laboratory", **IEEE ICSAP '10, Signal Acquisition and Processing International Conference**, 220-223 (2010).
6. Han, L., Wang, J., Howe, D., "State-space average modelling of 6- and 12-pulse diode rectifiers", **IEEE European Conference on Power Electronics and Applications**, 1-10 (2007).
7. Khan, M.A., Siddiqui, A.W., Abdul-Majid, M., "Interactive Learning for Waveform Dynamics of Diode Rectifiers and RC Filter in DC Power Supply", **34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics**, 3530-3534 (2008).
8. Krystkowiak, M., Gwóźdz, M., "Simulation and Experimental Models of 3-Phase Diode Rectifier with Power Electronics Current Modulator", **IEEE Nonsinusoidal Currents and Compensation**, 152-155 (2010).
9. Qui, Z., Zhou, K., Li, Y., "Modeling and Control of Diode Rectifier Fed PMSG Based Wind Turbine", **IEEE Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**, 1384-1388 (2011).

10. Shamsi, P., Fahimi, B., "Design and Development of Very High Frequency Resonant DC-DC Boost Converters", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27 (8): 1-9 (2012).
11. Do, H.L., "A Soft-Switching DC/DC Converter With High Voltage Gain", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25 (5): 1193-1200 (2010).
12. Yao, C., Ruan, X., Wang, X., Tse, C.K., "Isolated Buck-Boost DC/DC Converters Suitable for Wide Input-Voltage Range", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26 (9): 2599-2613 (2011).
13. Kjaer, S.B., Pedersen, J.K., Blaabjerg, F., "A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41 (5): 1292-1306 (2005).
14. Carrasco, J.M., Franquelo, L.G., Bialasiewicz, J.T., Galvan, E., Guisado, R.C.P., Prats, M.A.M., Leon, J.I., Moreno-Alfonso, N., "Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey", *IEEE Transactions on Industry Electronics*, 53 (4): 1002-1016 (2006).
15. Corradini, L., Babazadeh, A., Bjeletic, A., Maksimovic, D., "Current-Limited Time-Optimal Response in Digitally Controlled DC-DC Converters", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25 (11): 2869-2880 (2010).
16. Meyer, E., Zhang, Z., Liu, Y.F., "An Optimal Control Method for Buck Converters Using a Practical Capacitor Charge Balance Technique", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23 (4): 1802-1812 (2008).
17. Salmon, J., Knight, A.M., Ewanchuk, J., "Single-Phase Multilevel PWM Inverter Topologies Using Coupled Inductors", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24 (5): 1259-1266 (2009).
18. Garg, V., Singh, B., Bhuvaneswari, G., "24-pulse ac-dc converter for harmonic mitigation", *IEEE Power Electronics*, 2 (4): 364-374 (2009).
19. Kanaan, H.Y., Al-Haddad, K., Georges, S., Mougharbel, I., "Design, modelling, control and simulation of a three-phase DC-DC converter for high currents applications", *IEEE Power Electronics*, 4 (4): 424-434 (2011).

20. De, S., Banerjee, D., Sivakumar, K., Gopakumar, K., Ramchand, R., Patel, C., "Multilevel inverters for low-power application", ***IEEE Power Electronics***, 4 (4): 384-392 (2011).
21. Demirbaş, Ş., Mutlu, G., "Internet Based Toolkit For Simulation Of DC/DC Converters", ***2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, IEEE POWERENG***, 1-5 (2011)
22. Huselstein, J.J., Enrici, P., Martire, T., "Interactive Simulations of Power Electronics Converters", ***12th International Power Electronics and Motion Control Conference, IEEE EPE-PEMC***, 1721-1726 (2006).
23. Santos, O.L., Pinto, A.M.R., "PVECLAB: Interactive Power Electronics Training, Teaching and Experimentation Tool", ***14th European Conference on Power Electronics and Applications, IEEE EPE***, 1-9 (2011).
24. Basher, H.A., Isa, S.A., "On-campus and Online Virtual Laboratory Experiments with LabVIEW", ***IEEE SoutheastCon***, 325-330 (2006).
25. Spanik, P., Hargas, L., Hrianka, M., Kozehuba, I., "Application of Virtual Instrumentation LabVIEW for Power Electronic System Analysis", ***12th International Power Electronics and Motion Control Conference, IEEE EPE-PEMC***, 1699-1702 (2009).
26. Spagnolo, G.S., Papalillo, D., Martocchia, A., "An Educational Tool for DC-DC Converter", ***10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEE EEEIC***, 1-4 (2011).
27. Eguizabal, L., Lago, A., Penalver, C., Doval, J., Marcos, J., Nogueiras, A., "Remote system for the study of DC-DC converters", ***IEEE European Conference on Power Electronics and Applications***, 9pp-9.P (2006).
28. Khalil, A., Hasna, M., Benammar, M., Chaabane, M., Ben Amar, C., "Development of a remote lab for electrical engineering program", ***3rd IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics, IEEE ICELIE '09***, 40-44 (2010).
29. Bauer, P., Lascu, D., Lascu, M., Babaita, M., Popescu, V., Negoitescu, D., Popovici, A., "E-learning practical teaching of uncontrolled rectifiers", ***13th European Conference on Power Electronics and Applications, IEEE EPE '09***, 1-10 (2009).

30. Williams, J.M., Cale, J.L., Benavides, N.D., Wooldridge, J.D., Koenig, A.C., Tichenor, J.L., Pekarek, S.D., "Versatile hardware and software tools for educating students in power electronics", **IEEE Transactions on Education**, 47 (4): 436-445 (2004).
31. Patil, L.S., Patil, K.D., Thosar, A.G., "The Role of Computer Modeling and Simulation in Power Electronics Education", **2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, IEEE ICETET**, 416-419 (2010).
32. Altıntaş, A., "An Education Set Of Power Electronics: AC/AC Converters", **e-Journal of New World Sciences Academy**, (2006).
33. Cheng, Q., Fu, B., "Research and implement of the virtual laboratory of power electronics based on LabVIEW", **6th International Conference on Computer Science & Education, IEEE ICCSE**, 619-622 (2011).
34. Demirbaş, Ş., Bayhan, S., Mutlu, G., "Güç Elektroniği Deneyleri İçin Bir Sanal Laboratuvar: DA/DA Çevirici Benzetimi", **1.Uluslararası 5.Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu**, 869-878 (2009).
35. Mbarushimana, A., Ai, X., "Real Time Digital Simulation of PWM Converter Control for Grid Integration of Renewable Energy with Enhanced Power Quality", **IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**, 712-718 (2011).
36. Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P., "Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım", **Literatür Yayıncılık**, (2010).
37. Rashid, M. H., "Power Electronics Handbook", **Academic Press**, San Diago (2001).
38. Sira-Ramirez, H. J., Silva- Ortigoza, R., "Control Design Techniques in Power Electronics Devices", **Springer-Verlag London Limited**, London (2006).
39. Chen, Y. M., Hsieh, C. H., ve Cheng, Y. M., "Modified SPWM control schemes for three-phase inverters", **4th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive-Systems**, 651-656 (2001).

40. Kocalmış, A., "Uzay vektör PWM kontrollü çok seviyeli inverterin modellenmesi ve benzetimi", **Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ (2005)
41. Çelik, H., "Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu ile üç fazlı asenkron motorun hız kontrolü", **Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ (2004).
42. Asker, M. E., Özdemir, M. ve Bayındır, M. I., "Sinüsoidal DGM ile uzay vektör DGM yöntemlerinin karşılaştırmalı incelemesi", **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük, Türkiye (2009).
43. Doğan, H., "Uzay vektör PWM kontrollü tek fazlı kesintisiz güç kaynağının tasarımı ve gerçekleştirilmesi", **Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, Konya (2006).
44. Kumar, A., Gupta, R., "Capacitors voltage balancing in half bridge inverter for low switching frequency applications", **Joint International Power Electronics, Drives and Energy Systems, IEEE PEDES**,1-7 (2010).
45. Wang, H.K., Hsieh., F.H., Chang., P.L., Chen., Y.S., Hwang., J.C., "Fast-Scale Instability Phenomena and Chaotic Control of Voltage Control Single-Phase Full Bridge Inverter via Varying Load Resistance", **4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**, 3422-3427 (2009).
46. Çolak, İ. ve Kabalcı, E., "Evirici topolojileri ve gelişimleri üzerine bir inceleme", **Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu**, Bursa (2008).
47. Demirbaş, Ş. ve Fidanboy, H., "Akım kontrollü gerilim kaynaklı evirici ile sürülen RL yükü üzerindeki akım harmoniklerinin incelenmesi," **6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)**, Elazığ, Türkiye 4(50):230-235 (2011).
48. İnternet: United Electronic Industries "PowerDNA DNA-AI-205 Data Sheet", <http://www.ueidaq.com/media/catalog/product/pdf/datasheet/dnx-ai-205.pdf> (2012).
49. İnternet: United Electronic Industries "PowerDNA DNA-CT-601 Data Sheet", <http://www.ueidaq.com/media/catalog/product/pdf/datasheet/dnx-ct-601.pdf> (2012).



50. İnternet: Fluke “80i-110s AC/DC Akım Probu (100 A)”,  
<http://www.fluke.com/Fluke/trtr/Support/Manuals/default.htm?ProductId=55352> (2012).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MUTLU, Gürkan  
 Uyuşu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 12.08.1984 Karacakılavuz/TEKİRDAĞ  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (546) 928 11 27  
 e-mail : gurkanmutlu@nevsehir.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik Eğitimi Bölümü	2008
Lise	Tekirdağ Teknik Lisesi / Elektrik Bölümü	2002

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-devam	Nevşehir Üniversitesi/ Hacı Bektaş Veli MYO	Öğr. Gör.

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Demirbaş, Ş., Bayhan, S., **Mutlu, G.**, "Güç Elektroniği Deneyleri İçin Bir Sanal Laboratuvar: DA/DA Çevirici Benzetimi", 1.Uluslararası 5.Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu, 869-878 (2009).
2. Demirbaş, Ş., **Mutlu, G.**, "Internet Based Toolkit For Simulation Of DC/DC Converters", 2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, IEEE POWERENG, 1-5 (2011)
3. **Mutlu, G.**, Demirbaş, Ş., "Bir Fazlı Kontrollü Tam Dalga Doğrultucu İçin İnternet Tabanlı Bir Benzetim Aracı", Ulusal Meslek Yüksekokulları Çalıştayı ve Öğrenci Sempozyumu, 336-342 (2012).