# GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİ EĞİTİM SETİ

**Yusuf SÖNMEZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**(ELEKTRİK EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2004**
**ANKARA**

Yusuf SÖNMEZ tarafından hazırlanan GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİ EĞİTİM SETİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım

Prof. Dr. Çetin ELMAS
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ismail COŞKUN

Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Üye : Prof. Dr. Çetin Elmas

Üye :

Üye :

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... i

ABSTRACT ..... ii

TEŞEKKÜR ..... iii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ..... iv

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... xvi

1.GİRİŞ ..... 1

2. PROGRAM SAYFALARININ YAPISI ..... 5

2.1 Ana Sayfa ..... 5

2.1.1. Devrenin elektriksel şeması ..... 6

2.1.2. Devre değişkenleri bölümü ..... 7

2.1.3. Tuş takımı ..... 7

2.1.4. Açıklama bölümü ..... 7

2.1.5. Grafik bölümü ..... 8

2.2. Grafik Sayfaları ..... 8

2.3. Deney Sayfası ..... 9

3. DENETİMSİZ DOĞRULTUCULAR ..... 10

3.1. Denetimsiz Bir Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu ..... 10

3.1.1. Denetimsiz bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 11

3.1.2. Denetimsiz bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası ..... 14

3.1.3. Denetimsiz bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası ..... 15

3.2. Denetimsiz Bir Fazlı Tam Dalga Doğrultucu ..... 23

3.2.1. Denetimsiz bir fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 23

3.2.2. Denetimsiz bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası ..... 26

3.2.3. Denetimsiz bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası ..... 27

3.3. Denetimsiz Üç Fazlı Tam Dalga Doğrultucu..... 35

3.3.1. Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 36

3.3.2. Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası ..... 39

3.3.3. Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası ..... 40

4. DENETİMLİ DOĞRULTUCULAR ..... 47

4.1. Giriş..... 47

4.2. Tristörün Tetiklenmesi ve Matematiksel Modelinin Çıkartılması..... 48

4.3. Denetimli Bir Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu ..... 49

4.3.1. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 50

4.3.2. Denetimli yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası..... 51

4.3.3. Denetimli yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası..... 52

4.4. Denetimli Bir Fazlı Tam Dalga Doğrultucu ..... 61

4.4.1. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 61

4.4.2. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası ..... 64

4.4.3. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası ..... 65

4.5. Denetimli Üç Fazlı Tam Dalga Doğrultucu ..... 73

4.5.1. Denetimli üç fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 73

4.5.2. Denetimli üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası ..... 77

4.5.3. Denetimli üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası ..... 78

5. ÇEVİRİCİLER (CONVERTERS) ..... 87

5.1. Giriş ..... 87

5.2. D.a-d.a Çeviricilerin Denetimi ..... 88

5.3. Alçaltıcı Çevirici (Buck Converter) ..... 90

5.3.1. Alçaltıcı çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 91

5.3.2. Alçaltıcı çevirici benzetim programı ana sayfası ..... 93

5.3.3. Alçaltıcı çevirici benzetim programı deney sayfası ..... 94

5.4. Yükseltici Çevirici (Boast converter) ..... 103

5.4.1. Yükseltici çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 103

5.4.2. Yükseltici çevirici benzetim programı ana sayfası ..... 105

5.4.3. Yükseltici çevirici benzetim programı deney sayfası ..... 106

5.5. Alçaltıcı – Yükseltici Çevirici (Buck-Boast Converter) ..... 116

5.5.1. Alçaltıcı – Yükseltici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 116

5.5.2. Alçaltıcı – Yükseltici çevirici devresi benzetim programı ana sayfası ..... 118

5.5.3. Alçaltıcı – Yükseltici çevirici devresi benzetim programı deney sayfası ..... 119

5.6. Cuk Çevirici (Cuk Converter) ..... 128

5.6.1. Cuk çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 129

5.6.2. Cuk çevirici devresi benzetim programı ana sayfası ..... 131

5.6.3. Cuk çevirici benzetim programı deney sayfası ..... 133

5.7. Tam Köprü Çevirici ..... 140

5.7.1. Tam köprü çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 141

5.7.2. Tam köprü çevirici devresi benzetim programı ana sayfası ..... 144

5.7.3. Tam köprü çevirici devresi benzetim programı deney sayfası ... 145

6. EVİRİCİLER (INVERTERS) ..... 153

6.1. Giriş ..... 153

6.2. Tek Fazlı Tam Köprü Evirici ..... 154

6.2.1. Tek fazlı evirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 154

6.2.2. Tek fazlı evirici devresi benzetim programı ana sayfası ..... 157

6.2.3. Tek fazlı evirici devresi benzetim programı deney sayfası ..... 158

6.3. Üç Fazlı Evirici ..... 165

6.3.1. Üç fazlı evirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 166

6.3.2. Üç fazlı evirici devresi benzetim programı ana sayfası ..... 169

6.3.3. Üç fazlı evirici devresi benzetim programı deney sayfası ..... 170

6.4. Üç Fazlı Evirici ile Asenkron Motor Denetimi ..... 176

6.4.1. Sistemin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması ..... 177

6.4.2. Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi benzetim programı ana sayfası ..... 180

6.4.3. Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi benzetim programı deney sayfası ..... 181

KAYNAKLAR ..... 191
ÖZGEÇMİŞ ..... 192

# GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİ EĞİTİM SETİ

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Yusuf SÖNMEZ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**ARALIK 2004**

## ÖZET

**Bu tezde, Skinner'in 'Programlı Öğretim Metodu' doğrultusunda güç elektroniği devrelerinin eğitiminde kullanılmak üzere bir eğitim seti hazırlanmıştır. Set, on dört adet güç elektroniği devresinin bilgisayar benzetiminden oluşan bir programdır. Programda güç elektroniği dersine ait deneyler, bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, güç elektroniği devrelerinin eğitiminde görsellik ve etkinlik ön plana çıkarılmış ve bilgilerin daha kalıcı hale getirilerek anlamlı öğrenmenin gerçekleşmesine olanak sağlanmıştır.**

**Bilim Kodu** : **626.01.01**
**Anahtar Kelimeler** : **Bilgisayarlı Eğitim, Güç Elektroniği, C++ Builder**
**Sayfa Adedi** : **192**
**Tez Yöneticisi** : **Prof. Dr. Çetin ELMAS**

# EDUCATION TOOL OF THE POWER ELECTRONIC CIRCUITS

**(M.Sc. Thesis)**

**Yusuf SÖNMEZ**

**GAZI UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**December 2004**

## ABSTRACT

**In this thesis, an educational tool has been designed to use education of power electronics circuits suitable with Skinner's 'Programmed Instruction Method'. The tool is a computer simulation program consists of fourteen power electronics circuits. In the simulation program, experiments, which are Power Electronics lesson, have been applied to on PC. Thus, the visualization and interactivity has pointed out and meaningful learning has supplied with the giving permanent knowledge.**

**Sciennce Code** : **626.01.01**

**Key Words** : **Education on Computer, Power Electronic, C++ Builder**

**Page Number** : **192**

**Adviser** : **Prof. Dr. Çetin ELMAS**

# TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardımlarını esirgemeyen ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Çetin ELMAS'a, saygıdeğer hocam Oğuz ÜSTÜN'e, arkadaşlarım Hamdi Tolga KAHRAMAN, Mustafa YILMAZ, Mustafa BİRİNCİ'ye ve maddi-manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

# ŞEKİLLERİN LİSTESİ

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 2.1. Bir program bloğunun ana sayfası ..... 6

Şekil 2.2. Program grafik sayfası ..... 9

Şekil 3.1. Bir doğrultucunun blok diyagramı ..... 10

Şekil 3.2. Denetimsiz yarım dalga doğrultucu devre şekli ..... 11

Şekil 3.3. Yükü saf direnç olan bir yarım dalga doğrultucuya ait akım ve gerilim grafikleri ..... 11

Şekil 3.4. Denetimsiz yarım dalga doğrultucu program ana sayfası ..... 14

Şekil 3.5. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 19

Şekil 3.6. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği ..... 19

Şekil 3.7. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen diyot gerilimi grafiği ..... 20

Şekil 3.8. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen diyot akımı grafiği ..... 20

Şekil 3.9. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 21

Şekil3.10. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği ..... 21

Şekil 3.11. Deneyin 3. maddesine ait C=0,005 F değeri için denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 22

Şekil 3.12. Deneyin 3. maddesine ait C=0,05 F değeri için denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 22

Şekil 3.13. Deneyin 3. maddesine ait C=0,5 F değeri için denetimsiz yarım dalgadoğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 22

Şekil 3.14. Ls=0 olan ideal diyotlu denetimsi tam dalga doğrultucu ..... 23

Şekil 3.15. Şekil 3.14'deki doğrultucunun yeniden düzenlenmiş biçimi ..... 24

Şekil 3.16. Denetimsiz tam dalga doğrultucu grafikleri ..... 24

Şekil 3.17. Denetimsiz tam dalga doğrultucu program ana sayfası ..... 27

Şekil 3.18. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 31

Şekil 3.19. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği ..... 32

Şekil 3.20. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 1. ve 4. diyotlara ait gerilim grafiği ..... 32

Şekil 3.21. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 1. ve 4. diyotlara ait akım grafiği ..... 32

Şekil 3.22. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 2. ve 3. diyotlara ait gerilim grafiği ..... 33

Şekil 3.23. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 2. ve 3. diyotlara ait akım grafiği ..... 33

Şekil 3.24. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 33

Şekil 3.25. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği ..... 34

Şekil 3.26. Deneyin 3. maddesine ait C=0,005 F değeri için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 34

Şekil 3.27. Deneyin 3. maddesine ait C=0,05 F değeri için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 35

Şekil 3.28. Deneyin 3. maddesine ait C=0,5 F değeri için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 35

Şekil 3.29. Üç faz tam dalga doğrultucu ..... 36

Şekil 3.30. Üç fazlı doğrultucunun yeniden çizilmiş hali ..... 36

Şekil 3.31. Üç fazlı doğrultucu çıkış gerilimi grafiği ..... 37

Şekil 3.32. Denetimsiz üç fazlı doğrultucu program ana sayfası ..... 39

Şekil 3.33. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 44

Şekil 3.34. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği ..... 44

Şekil 3.35. Çıkışında filtre ekli denetimsiz üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 45

Şekil 3.36. Deneyin 3. maddesine ait C=0,005 F değeri için üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 45

Şekil 3.37. Deneyin 3. maddesine ait C=0,05 F değeri için üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 46

Şekil 3.38. Deneyin 3. maddesine ait C=0,5 F değeri için üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 46

Şekil 4.1. Hat frekanslı denetimli doğrultucu blok diyagramı ..... 48

Şekil 4.2. Kapı tetikleme denetimi ..... 49

Şekil 4.3. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucu ..... 50

Şekil 4.4. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucuya ait akım ve gerilim dalga şekilleri ..... 50

Şekil 4.5. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucu program ana sayfası ..... 52

Şekil 4.6. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 56

Şekil 4.7. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği ..... 56

Şekil 4.8. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen tristör gerilimi grafiği ..... 57

Şekil 4.9. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen tristör akımı grafiği ..... 57

Şekil 4.10. Alfa=0° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 58

Şekil 4.11. Alfa=90° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 58

Şekil 4.12. Alfa=180° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 58

Şekil 4.13. Alfa=0° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği (filtre ekli devre) ..... 59

Şekil 4.15. Alfa=120° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği (filtre ekli devre) ..... 60

Şekil 4.16. Cf=0,005F için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 60

Şekil 4.17. Cf=0,05F için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 60

Şekil 4.18. Cf=0,5F için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 61

Şekil 4.19. Bir fazlı tristörlü köprü doğrultucu ..... 61

Şekil 4.20. Tristörlü doğrultucuya ait Alfa gecikmeli Vd gerilim grafiği ..... 62

Şekil 4.21. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu program ana sayfası ..... 64

Şekil 4.22. Deneyin 1. maddesine ait denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 69

Şekil 4.23. Alfa=30° için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 69

Şekil 4.24. Alfa=90° için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 70

Şekil 4.25. Alfa=120° için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 70

Şekil 4.26. Alfa=0° için filtreli denetimli köprü doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği ..... 71

Şekil 4.27. Alfa=90° için çıkışında filtre olan denetimli köprü doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği ..... 71

Şekil 4.28. Alfa=180° için çıkışında filtre olan denetimli köprü doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği ..... 71

Şekil 4.29. Cf=0,005 F için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 72

Şekil 4.30. Cf=0,05 F için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 72

Şekil 4.31. Cf=0,5 F için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 73

Şekil 4.32. Üç fazlı tristörlü doğrultucu ..... 73

Şekil 4.33. Üç fazlı tristörlü çeviriciye ait dalga biçimleri ..... 74

Şekil 4.34. Denetimli üç fazlı doğrultucu program ana sayfası ..... 77

Şekil 4.35. Denetimli üç fazlı doğrultucu deneyi 1.maddesi için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 82

Şekil 4.36. Denetimli üç fazlı doğrultucu deneyi 1.maddesi için programda çizdirilen çıkış akımı grafiği ..... 82

Şekil 4.37. Alfa=0° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilimi grafiği ..... 83

Şekil 4.38. Alfa=30° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilim grafiği ..... 83

Şekil 4.39. Alfa=90° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilim grafiği ..... 83

Şekil 4.40. Alfa=180° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilim grafiği ..... 84

Şekil 4.41. Alfa=0° için çıkışına filtre ekli denetimli üç fazlı doğrultucuya ait programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği ..... 84

Şekil 4.42. Alfa=60° için çıkışına filtre ekli denetimli üç fazlı doğrultucuya ait programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği ..... 84

Şekil 4.43. Alfa=120° için çıkışına filtre ekli denetimli üç fazlı doğrultucuya ait programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği ..... 85

Şekil 4.44. Cf=0,005 F için denetimli üç fazlı doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği ..... 85

Şekil 4.45. Cf=0,05 F için denetimli üç fazlı doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği ..... 86

Şekil 4.46. Cf=0,5 F için denetimli üç fazlı doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği ..... 86

Şekil 5.1. Basit bir anahtarlamalı d.a-d.a çeviricisi ..... 88

Şekil 5.2. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) ..... 89

Şekil 5.3. Alçaltıcı d.a-d.a çevirici ..... 90

Şekil 5.4. Alçaltıcı çevirici devresinin evreleri; (a) anahtar iletimde, (b) anahtar kesimde ..... 91

Şekil 5.5. Alçaltıcı çevirici program ana sayfası ..... 93

Şekil 5.6. D=0,1 için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilim grafiği ..... 98

Şekil 5.7. D=0,5 için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilim grafiği ..... 98

Şekil 5.8. D=0,8 için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilim grafiği ..... 98

Şekil 5.9. Vg=20 V için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 99

Şekil 5.10. Vg=50 V için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği. ..... 99

Şekil 5.11. Vg=100 V için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği. ..... 99

Şekil 5.12. R=2 ohm için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri ..... 100

Şekil 5.13. R=10 ohm için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri ..... 101

Şekil 5.14. fs=1000 Hz için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği. ..... 101

Şekil 5.15. fs=10000 Hz için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği. ..... 101

Şekil 5.16. L1=0,05 H için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği ..... 102

Şekil 5.17. L1=0,00085 H için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği ..... 102

Şekil 5.18. L1=0,0005 H için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen bobin akımıgrafiği ..... 103

Şekil 5.19. Yükseltici d.a-d.a çevirici ..... 103

Şekil5.20. Sürekli akım iletim durumu; (a) anahtar iletimde, (b) anahtar kesimde ..... 104

Şekil 5.21. Yükseltici çevirici program ana sayfası ..... 106

Şekil 5.22. D=0,1 için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 110

Şekil 5.23. D=0,5 için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 111

Şekil 5.24. D=0,8 için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 111

Şekil 5.25. Vg=20 V için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilim grafiği ..... 112

Şekil 5.26. Vg=50 V için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 112

Şekil 5.27. Vg=100 V için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 112

Şekil 5.28. R=2 ohm için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri ..... 113

Şekil 5.29. R=5 ohm için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri ..... 113

Şekil 5.30. fs=1000 Hz için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği. ..... 114

Şekil 5.31. fs=10000 Hz için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği. ..... 114

Şekil 5.32. L1=0,05 H için yükseltici çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği ..... 115

Şekil 5.34. L1=0,00006 H için yükseltici çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği ..... 115

Şekil 5.36. Alçaltıcı – yükseltici çevirici; (a) anahtar iletimde, (b) anahtar kesimde ..... 117

Şekil 5.37. Alçaltıcı – yükseltici çevirici program ana sayfası ..... 118

Şekil 5.38. D=0,1 için alçaltıcı-yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir. ..... 123

Şekil 5.39. D=0,5 için alçaltıcı-yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir. ..... 123

Şekil 5.40. D=0,7 için alçaltıcı-yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir. ..... 123

Şekil 5.41. Vg=25 V için alçaltıcı-yükseltici programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 124

Şekil 5.42. Vg=50 V için alçaltıcı-yükseltici programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 124

Şekil 5.43. R=5 ohm için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış grafikleri ..... 125

Şekil 5.44. R=10 ohm için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış grafikleri ..... 126

Şekil 5.45. fs=1000 Hz için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir. ..... 126

Şekil 5.46. fs=10000 Hz için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir. ..... 127

Şekil 5.47. L1=0,05 H için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen bobin akımıgrafikleri ..... 127

Şekil 5.48. L1=0,0018 H için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen bobin akımı grafikleri gösterilmiştir. ..... 128

Şekil 5.49. L1=0,0008 H için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen bobin akımı grafikleri gösterilmiştir. ..... 128

Şekil 5.50. Cuk çevirici ..... 129

Şekil5.51. Cuk çevirici şekilleri;(a)anahtar kesimde, (b)anahtar iletimde..... 129

Şekil 5.52. Cuk çevirici program ana sayfası ..... 132

Şekil 5.53. D=0,1 için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği..... 136

Şekil 5.54. D=0,5 için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği..... 136

Şekil5.55. D=0,8 için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği.... 136

Şekil 5.56. Vg=25 V için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği..... 137

Şekil 5.57. Vg=50 V için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği..... 137

Şekil 5.58. R=2 ohm için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri..... 138

Şekil 5.59. R=5 ohm için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri..... 138

Şekil 5.60. L2=0,005 H için cuk çevirici programında çizdirilen L2 bobini akım grafiği..... 139

Şekil 5.61. L2=0,0004 H için cuk çevirici programında çizdirilen L2 bobini akım grafiği..... 139

Şekil 5.62. L2=0,0002 H için cuk çevirici programında çizdirilen L2 bobini akım grafiği..... 139

Şekil 5.63. Tam köprü d.a-d.a çevirici..... 140

Şekil 5.64. Tek kutuplu gerilim anahtarlamalı PWM..... 142

Şekil 5.65. Tam köprü çevirici program ana sayfası ..... 144

Şekil 5.66. Vk=0,1 için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 148

Şekil 5.67. Vk=0,5 için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimigrafiği ..... 149

Şekil 5.68. Vk=0,8 için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 149

Şekil 5.69. Vüçgen=1 V için tam köprü çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri ..... 150

Şekil 5.70. Vüçgen=2 V için tam köprü çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri ..... 150

Şekil 5.71. Vüçgen=5 V için tam köprü çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri ..... 150

Şekil 5.72. L=0,05 H için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 151

Şekil 5.73. L=0,005 H için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 151

Şekil 5.74. L=0,0005 H için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 152

Şekil6.1. a-a motor tahrik sistemi içerisinde yer alan anahtarlamalı bir evirici ..... 153

Şekil6.2. Tek fazlı tam köprü evirici ..... 154

Şekil 6.3. Tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM ..... 155

Şekil 6.4. Tek fazlı evirici program ana sayfası ..... 158

Şekil 6.5. Vk=0,1 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 162

Şekil 6.6. Vk=0,5 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 162

Şekil 6.7. Vk =0,8 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 162

Şekil 6.8 $V_{üçgen}$=1 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 163

Şekil 6.9 $V_{üçgen}$=2 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 163

Şekil 6.10 $V_{üçgen}$=5 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 163

Şekil 6.11. fl=50 Hz için tek fazlı evirici programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği. ..... 164

Şekil 6.12. fl=100 Hz için tek fazlı evirici programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği. ..... 164

Şekil 6.13. fl=250 Hz için tek fazlı evirici programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği. ..... 165

Şekil 6.15. Üç fazlı PWM dalga şekilleri ..... 166

Şekil 6.16. Üç fazlı evirici program ana sayfası ..... 169

Şekil 6.17. Vk=0,1 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 173

Şekil 6.18. Vk=0,5 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 173

Şekil 6.19. Vk=0,7 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği ..... 173

Şekil 6.20. $V_{üçgen}$=1 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği ..... 174

Şekil 6.21. $V_{üçgen}$=2 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği ..... 174

Şekil 6.22. $V_{üçgen}$=4 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği ..... 174

Şekil 6.23. fl=50 Hz için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği ..... 175

Şekil 6.24. fl=100 Hz için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği ..... 175

Şekil 6.25. fl=250 Hz için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği ..... 175

Şekil 6.27. Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi program ana sayfası ..... 181

Şekil 6.28. Vk=0,2 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği ..... 185

Şekil 6.29. Vk=0,8 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği ..... 186

Şekil 6.30. $V_{üçgen}$=1 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği ..... 186

Şekil 6.31. $V_{üçgen}$=2 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği ..... 187

Şekil 6.32. 2p=2 için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği..... 188

Şekil 6.33. 2p=4 için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği..... 188

Şekil 6.34. fl=5000 Hz için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği ..... 189

Şekil 6.35. fl=1000 Hz için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği ..... 189

# SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Kısaltmalar | Açıklama |
|---|---|
| **a.a** | Alternatif akım |
| **d.a** | Doğru akım |
| **PWM** | Pulse Width Modulation |
| **Vg** | Devreye uygulanan giriş gerilimi |
| **Vd** | Yük üzerine düşen gerilim |
| **Vdyt** | Diyot gerilimi |
| **Idyt** | Diyot akımı |
| **fl** | Giriş gerilimi frekansı |
| **fs** | Anahtarlama frekansı |
| **Tmax** | Grafiklerde gösterilen azami süre değeri |
| **Alfa** | Tristör tetikleme açısı |
| **Rf** | Filtre direnci |
| **Cf** | Filtre kondansatörü |
| **Id** | Devre akımı |
| **Ls** | Kaynağın iç endüktansı |
| $\mathbf{V_{P-n}}$ | P-n noktaları arasındaki gerilim |
| $\mathbf{V_{N-n}}$ | N-n noktaları arasındaki gerilim |
| **Van** | A-n noktaları arasındaki gerilim |
| **Vbn** | B-n noktaları arasındaki gerilim |
| **Vcn** | C-n noktaları arasındaki gerilim |

| | |
|---|---|
| **Va** | A fazı giriş gerilimi |
| **Vb** | B fazı giriş gerilimi |
| **Vc** | C fazı giriş gerilimi |
| **Vk** | Doğrusal denetim gerilimi |
| **Vst** | Testere dişi gerilim |
| $\mathbf{t_{on}}$ | Anahtarın iletimde kaldığı süre |
| $\mathbf{t_{off}}$ | Anahtarın kesimde kaldığı süre |
| **p** | Asenkron motorun kutup sayısı |
| **Te** | Asenkron motorda endüklenen tork |
| **Wr** | Asenkron motorun hızı |
| **Vüçgen** | Üçgen gerilim |

# 1.GİRİŞ

Günümüzde, güç elektroniğinin sanayi ve günlük yaşamdaki uygulamalarına çok sık rastlanır hale geldiğini görmekteyiz. Ev eşyalarından aydınlatmaya, ulaşımdan ısıtmaya, enerji iletiminden enerjinin depolanmasına, süreç denetim sistemlerinden robotiğe kadar her alanda güç elektroniği önemli rol oynamaktadır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de güç elektroniği sanayisi hızlı bir ilerleme göstermiş; kesintisiz güç kaynağı, motor denetimi, endüksiyonla ısıtma, elektrikli ev aletleri, otomotiv ve tekstil gibi geniş bir alanda tasarım ve üretim yapan firmalar ortaya çıkmıştır. Bunun yanında yurtdışından gelen sistemlerin çoğunda güç elektroniği teknolojisi kullanılmaktadır. Elektrik-Elektronik mezunlarının belirli bir kısmı bu sektörlerde istihdam edilmektedir. Özellikle güç elektroniği devrelerine karşı olan bu talep artışı, Elektrik-Elektronik öğrencilerinin güç elektroniği temel devrelerini iyi bir şekilde öğrenmelerini; devre tasarımı ve üretimi açısından kaçınılmaz kılmıştır.

Günümüz teknolojisinin ilerlemesinde ve eğitime verilen önemin artmasıyla, eğitim sorunlarının çözümünde teknolojiden faydalanmak kaçınılmaz olmuştur. Bu teknolojilerden biride bilgisayardır. Bilgisayarı eğitim sistemimize sokmak da en tabi gerçekçiliktir. Bilgisayar Destekli Eğitim (BDE) de bilgisayar teknolojisinin öğretim sürecindeki uygulamalarının her biridir. Bu uygulamalar; bilgi sunmak, özel öğretmenlik yapmak, bir becerinin gelişmesinde katkıda bulunmak olabilir. Başka bir tanıma göre ise BDE, öğrencinin, bilgisayar sistemine programlanmış olan derslerle etkileşimde bulunarak, doğrudan alabilmesidir. Bilgisayar destekli eğitimin öğrenciye sağladığı yararlar şöyle sıralanırsa; yaratıcılığın ortaya çıkmasını sağlar, sosyal iletişimde bulunma yeteneğini geliştirir, her öğrencinin kendi hızlarında ve düzeylerinde ilerleme olasılığı verir, kendine güveni arttırır, problem çözme ve dikkatini bir problem üzerine yoğunlaştırma yeteneğini geliştirir, öğrencinin öğrenme zamanından tasarruf sağlar, önceki çözümleri araştırıp bunları yeni bir çözüm için kullanabilme yeteneğini geliştirir, yeni çözüm bulmasını sağlar, matematik ve dil

yeteneğini geliştirir, paylaşım duygusunu geliştirir, daha çok bilgiye ulaşma imkanı verir.

Eğitimde sürekli olarak yeni öğretim yöntemleri geliştirilmekte ve denenmektedir. Bu yöntemlerin eğitime sağladığı bir çok yararı vardır. Eğitimin görsel olması ve uygulamaya dayalı olması, bilgilerin kalıcılığı bakımından önemlidir. Uygulamalı (Laboratuar-Atölye) eğitimlerde çok sık karşılaşılan sakıncalar ve imkan yetersizliği bulunur. Bunlar, laboratuar ortamının öğrenciler için kaza riski taşıması (Elektriksel ve Kimyasal kazalar) ve kullanılan malzemenin yanlış kullanım sonucu arızalanması olarak sıralanabilir. Bir diğer faktör ise kullanılan malzemelerin pahalı olması ve temininin zorluğudur. Tüm bu faktörleri göz önünde tutacak olursak Eğitimde benzetimin önemi ortaya çıkmaktadır. Eğitimde benzetim yöntemi; görselliği sağlaması, öğrencinin aktif katılımını sağlaması, çok sayıda öğrenciye çalışma imkanı sunması, laboratuar tehlikelerini ortadan kaldırması, kullanılan malzemenin güvenliğini sağlaması, hızlı olması ve tekrarlanabilir olması gibi sebeplerden dolayı eğitimin birçok alanında kullanımı artmıştır.

Skinner'in 1950'li yıllarda ortaya attığı 'Programlı Öğretim Yöntemi' bilgilerin kalıcılığı ve bireysel öğrenim açısından eğitimde önemli bir gelişme sağlamıştır. Bu yöntemde Skinner, öğretilecek konunun bütününü temel parçalarına ayırmış ve konuları öğrencilere bir öğretim makinesi ile sunmuştur. Bu sayede öğretimde görselliği kullanmış ve öğretilen konuların kalıcılığını artırmıştır. Bu tezde de Skinner'in Programlı Öğretim Yöntemi'ne benzer bir yöntem kullanılarak, güç elektroniğinin kapsamı dahilindeki bütün temel devreler sırayla ele alınmış ve C++ Builder programında görsel olarak benzetimi yapılmıştır.

Buradaki amaç; bireysel öğrenim farklarını göz önünde tutarak öğrenimi kalıcı hale getirmek ve güç elektroniği temel devrelerinin öğrenciler tarafından en iyi şekilde kavranmasını sağlamaktır.

Bir güç elektroniği sisteminin temelinde, güç çevrim işlemi vardır. Çevrim işlemi aşağıda belirtilen dört fonksiyondan herhangi biri olabilir.

1- a.a'dan d.a'ya (a.a-d.a)
2- d.a'dan d.a'ya (d.a-d.a)
3- d.a'dan a.a'ya (d.a-a.a)
4- a.a'dan a.a'ya (a.a-a.a)

Yukarıda bahsedilen güç çevrim işlemleri, bu tezde de benzetimi yapılan bazı temel devrelerle gerçekleştirilir. Tez kapsamında bu devreler üç ana bölüm altında incelenmiştir. Bunlar; a.a-d.a çevrimi yapan *doğrultucular,* d.a-d.a çevrimi yapan *çeviriciler (converters)* ve d.a-a.a çevrimi yapan *eviricilerdir (inverters).*

3. ve 4. Bölümlerde, Doğrultucular başlığı altında altı adet doğrultucu devresi için hazırlanan benzetim programları hakkında bilgi verilmiştir. Bu devreler şunlardır;

a- Denetimsiz Yarım Dalga Doğrultucu
b- Denetimsiz Tam Dalga Doğrultucu
c- Denetimsiz Üç Fazlı Doğrultucu
d- Denetimli Yarım Dalga Doğrultucu
e- Denetimli Tam Dalga Doğrultucu
f- Denetimli Üç Fazlı Doğrultucu

Burada, denetimsiz devrelerde diyot kullanılırken, denetimli devrelerde tristörler kullanılmıştır. Triströrün iletime geçme zamanları PWM denetim tekniğinden faydalanarak belirlenmiştir.

5. Bölümde, Çeviriciler ana başlığı altında d.a'dan d.a'ya çevrim yapan beş adet çevirici (converter) devresi için hazırlanan benzetim programları hakkında bilgi verilmiştir. Bu devreler;

a- Yükseltici Çevirici (Buck Converter)
b- Alçaltıcı Çevirici (Boast Converter)
c- Alçaltıcı-Yükseltici Çevirici (Buck-Boast Converter)
d- Cuk Çevirici
e- Tam Köprü Çevirici (Full Bridge Converter)

6. Bölümde, Eviriciler (Inverters) ana başlığı altında d.a'dan a.a'ya çevrim yapan üç adet devrenin benzetim programlarından bahsedilmiştir.Bu devreler;

a- Tek Fazlı Evirici
b- Üç Fazlı Evirici
c- Üç Fazlı Evirici ile Asenkron Motor Denetimi

Tez dahilinde; yukarıda bahsedilen bütün devreler hakkındaki gerekli teorik bilgi, denetim tekniği, devrelerin matematiksel modelleri, program ana sayfaları, deney sayfaları ve deney sayfasında seçilen örnek değerler için benzetim programında elde edilen sonuçlar, ilgili bölüm başlıkları altında ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

# 2. PROGRAM SAYFALARININ YAPISI

Programın içeriğinde, giriş bölümünde de açıklandığı şekilde on dört adet temel güç elektroniği devresi bulunmaktadır. Her bir devre ayrı bir program bloğu şeklinde düzenlenmiştir. Bütün devreler için tasarlanan sayfa düzeni aynı yapıdadır. Bu yüzden bu bölümde, örnek bir program bloğu üzerinde durulacaktır. Bu iş için programdaki ilk devre olan Denetimsiz Yarım Dalga Doğrultucu program bloğu seçilmiştir.

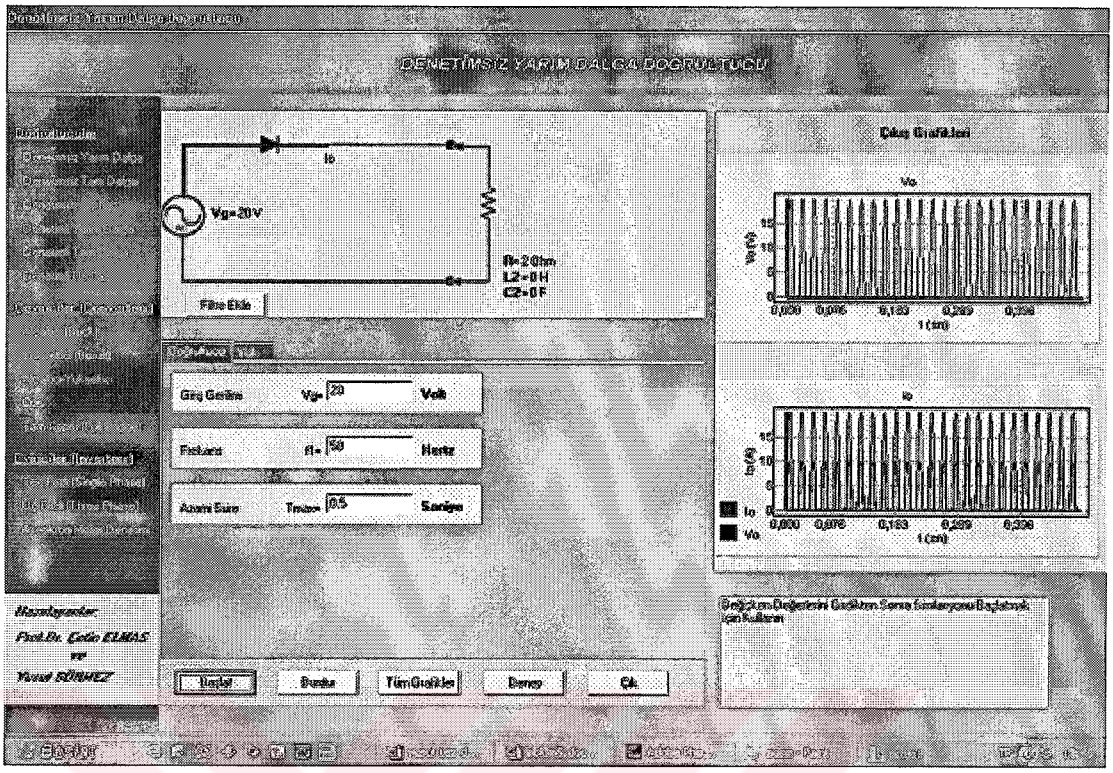
Bir program bloğunda;

1- Ana sayfa
2- Grafik sayfaları
3- Deney sayfası

olmak üzere üç farklı sayfa düzeneği mevcuttur. Her bir program bloğunda ilk önce ana sayfa açılır. Grafik ve deney sayfalarına girişler ana sayfa üzerinden yapılır.

## 2.1 Ana Sayfa

Bir program bloğunun ana sayfasında; ilgili devrenin elektriksel şeması, devre değişkenleri bölümü, tuş takımı, açıklama bölümü, grafik bölümü ve devre geçiş menüsü mevcuttur. Şekil 2.1'de örnek olarak seçilen programın ana sayfası görülmektedir.




Şekil 2.1. Bir program bloğunun ana sayfası

### 2.1.1. Devrenin elektriksel şeması

Devrenin elektriksel şeması üzerinde, elemenların devreye nasıl bağlanılacağı ve devrenin farklı durumlarına göre (iletim-kesim) akımın hangi yolu izleyeceği gösterilmiştir. Akım yolu, kırmızı bir çizgi ile belirlenir. Örnek olarak seçilen devre için iki durum vardır. İlki; alternatif gerilimin pozitif alternansı için diyotun iletim durumu diğeri ise gerilimin negatif alternansı için diyotun kesim durumudur. Her bir durum için akım farklı yollardan devresini tamamlar. Bu durumu programa yansıtmak için devrenin iletim ve kesim hallerindeki şemaları ayrı ayrı çizilmiştir. Aynı şekilde çevirici ve evirici devreleri için de anahtarların iletim ve kesim durumlarına göre akımın takip edeceği yoldaki değişiklikler göz önünde tutulmuştur. Bu sayede program üzerinde çalışan öğrenciye, devrelerin içinde bulunduğu durum dahilinde devre akımının hangi elemanı enerjilendirdiği görsel olarak anlatılmış olur. Aynı zamanda ilgili devrenin çalışma prensibinin anlaşılmasında öğrenciye yardımcı olacağı aşikardır.

### 2.1.2. Devre değişkenleri bölümü

Devre değişkenleri bölümünde, devreye ait elemanların değerleri belirlenir. Bu bölümde elemanların değerleri değiştirilebilir ve farklı değerler için benzetim yapılabilir. Her devre için iki kısımdan oluşur. Bunlar; doğrultucu devreler için 'Doğrultucu' ve 'Yük', çevirici devreler için 'Çevirici' ve 'Yük', evirici devreler için ise 'Evirici ve 'Yük' sayfalarıdır. 'Doğrultucu', 'Çevirici' ve 'Evirici' kısımlarında bu devrelere ait temel değişkenlerin değerleri bulunur. 'Yük' kısmında ise ilgili devrenin çıkışına bağlanacak yük tipi ve o yük tipinde mevcut olan elemanların değerleri vardır. Öğrenci bu bölümden istediği yükün üzerine tıklayarak devrenin çıkışına yerleştirebilir.

Programın bu bölümüyle, devreye ait elemanların değerleri değiştirilerek, farklı değerler doğrultusunda devrenin çıkışında vereceği tepkiler ölçülebilir.

### 2.1.3. Tuş takımı

Program ana sayfasının üzerinde bulunan tuş takımı, beş adet tuştan oluşmaktadır. Tuşlar bir panel üzerine yerleştirilmiştir. Programda yer alan tuşlar ve görevleri şöyledir;

BAŞLAT: Devre benzetimini başlatır.
DURDUR: Benzetimi durdurur.
TÜM GRAFİKLER: Devrede yer alan elemanların akım ve gerilim grafiklerinin bulunduğu sayfayı açar.
DENEY: Devreyle ilgili önceden hazırlanmış olan deney sayfasını açar.
ÇIKIŞ: Programı ana sayfaya döndürür.

### 2.1.4. Açıklama bölümü

Açıklama bölümü, programın kullanımı esnasında kullanıcıya yardımcı olmak maksadıyla düzenlenmiştir.

Programın kullanımıyla ilgili bazı ipuçları sunar. Sunulacak bilgileri ekranda göstermek için, C++'da bulunan 'Memo' nesnesi kullanılmıştır.Programda, fare ile açıklama yapılacak elemanın üzerine gelindiğinde, o elemanla ilgili gerekli bilgi 'Memo' üzerine yazdırılır.

### 2.1.5. Grafik bölümü

Program ana sayfasındaki bu bölümde, benzetimi yapılan devre üzerinde bulunan elemanların gerilim-zaman ve akım-zaman grafikleri çizdirilmiştir. Grafiklerin çizdirilmesi için gerekli değerler, ilgili devrenin matematiksel modelinin çıkarılması sonucu elde edilmiştir. Programda yer alan bütün devrelerin matematiksel modellerinin nasıl çıkarıldığı, daha sonraki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

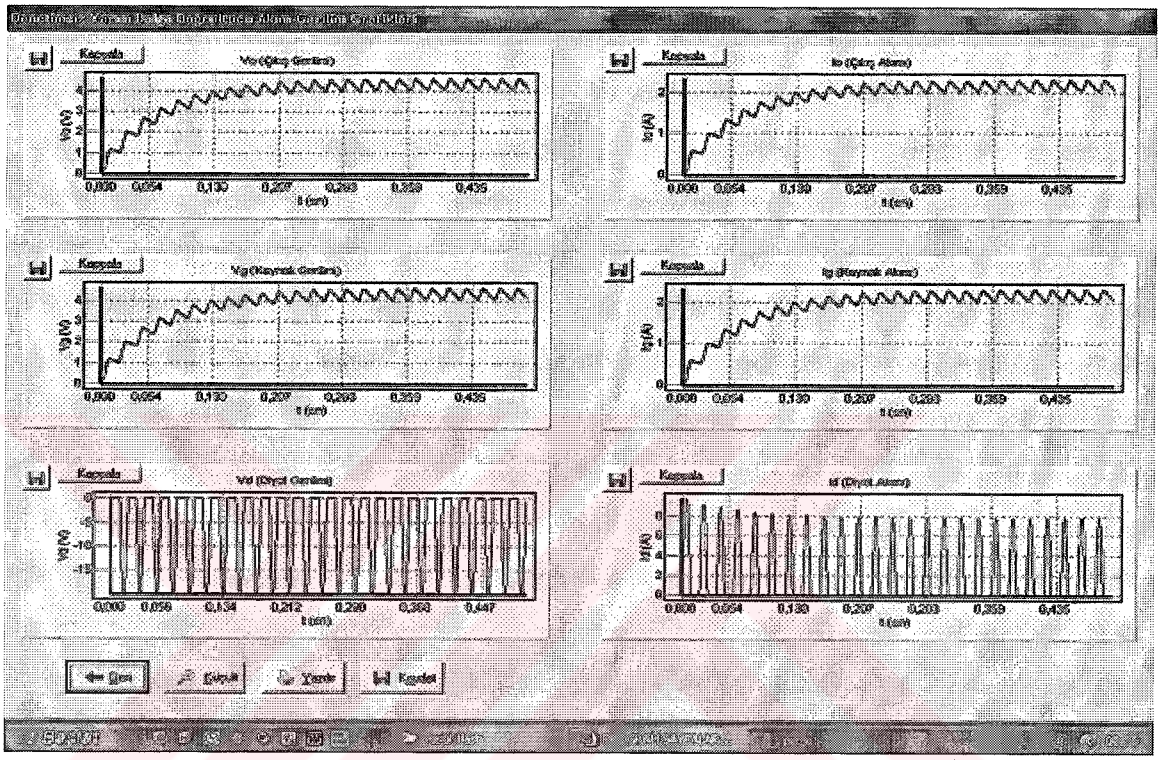
Programda herhangi bir devre üzerinde çalışırken, o devreye ait grafiklere ana sayfa üzerinden ulaşılabilir. Bunun için öğrenci devredeki hangi elemanın akım ve gerilim grafiğini görmek istiyorsa onun üzerine tıklaması yeterlidir. Bu işlem sonunda elemana ait akım ve gerilim grafikleri ana sayfanın sağ üst kenarından kayarak gelir. Bu sayede; öğrenci, devrede değerini değiştirdiği bir elemanın akım ve geriliminde meydana gelecek değişimi ana sayfadan ayrılmadan görebilir.

Programda, grafiklerin çizdirilmesi için 'Tee Chart' nesnesi kullanılmıştır. Bu nesne, C++ için hazırlanmış olan bir grafik işlemcidir.

## 2.2. Grafik Sayfaları

Programda üzerinde çalışılan bir devreye ait elemanların tümünün akım ve gerilim grafiklerinin gösterildiği sayfadır. bu sayfadaki grafikler üzerine grafiği kopyalamak için 'Kopyala' isimli bir tuş yerleştirilmiştir. Öğrenci bu tuşa basarak istediği grafiği kopyalayabilir ve deney sayfasına yapıştırabilir. Bu sayede deney sayfasına devreyle ilgili elde ettiği sonuçları yazarken tekrar program sayfasına dönmek zorunda değildir.

Grafik sayfasında ayrıca sayfanın tümünü 'bmp' formatında kaydetmek için 'Kaydet' ve yazdırmak için 'Yazdır' isimli tuşlar bulunmaktadır. Bütün bunlar, deney föyünün hazırlanmasında öğrenciye büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Şekil 2.2'de örnek olarak seçilen programa ait grafik sayfası gösterilmiştir.



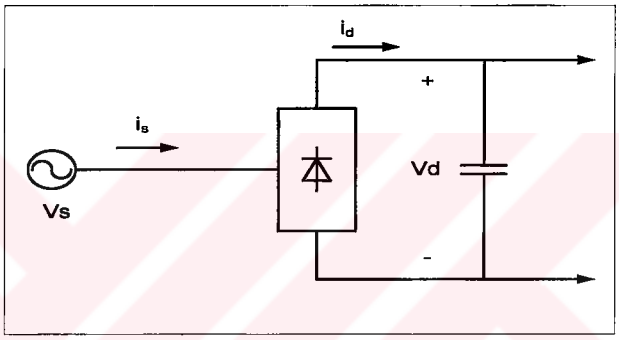
Şekil 2.2. Program grafik sayfası

## 2.3. Deney Sayfası

Programda benzetimi yapılan bütün devreler için bir deney sayfası hazırlanmıştır. Deney sayfasıyla devreyle ilgili temel bilgilerin ve özelliklerin öğrenciye kazandırılması planlanmıştır. Bunun için deneyde yapılacak işlemler maddeler halinde öğrenciye sunulmuştur. Bu maddelerde öğrenciye bazı sorular sorularak bunlara cevap vermesi istenmiş ve bu sayede sonuca yine kendisinin ulaşması sağlanmıştır. Bu durum hiç şüphesizdir ki, eğitimin etkinliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Devreler için hazırlanan deney sayfaları daha sonraki bölümlerde gösterilecektir.

# 3. DENETİMSİZ DOĞRULTUCULAR

"Çoğu güç elektroniği uygulamasında, elektrik şebekesinden sağlanan 50 ya da 60 Hz.'lik sinüsoidal alternatif gerilim, önce doğru gerilime çevrilir. Giderek artan eğilim, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi diyotlu ucuz doğrultucular kullanarak a.a girişini denetimsiz bir şekilde d.a'ya çevirmektedir. Bu tür diyotlu doğrultucularda güç akışı sadece a.a şebeke tarafından d.a tarafına doğru olabilir. Güç elektroniği uygulamalarının çoğunda; ayarlı d.a güç kaynakları, a.a motor sürme sistemleri ve benzerlerinde bu tip denetimsiz doğrultucular kullanılmaktadır."(1)




Şekil 3.1. Bir doğrultucunun blok diyagramı

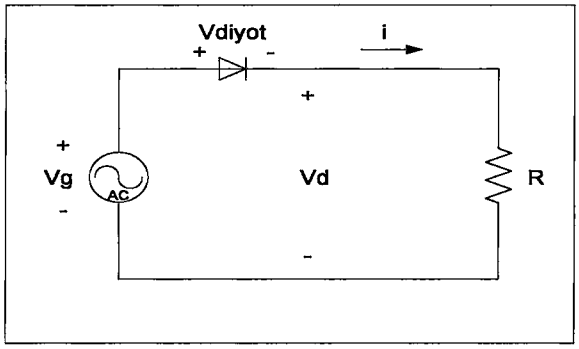
Şekil 3.1'de görüldüğü gibi doğrultucunun çıkışına bir kondansatör bağlanmıştır. Bunun sebebi; çıkıştan olabildiğince salınımsız bir doğru gerilim almaktır.

Bu tezde üç çeşit denetimsiz doğrultucunun benzetimi yapılmıştır. Bunlar; bir fazlı yarım dalga, bir fazlı tam dalga ve üç fazlı doğrultucudur. Bölümün ilerleyen kısımlarında, bu devrelerin benzetimi için gerekli olan matematiksel modellerinin nasıl çıkarıldığı, program sayfaları ve örnek olarak seçilen değerler için elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

## 3.1. Denetimsiz Bir Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu

Şekil 3.2'de alternatif gerilim kaynağına seri olarak bağlanmış basit bir doğrultucunun devre şekli gösterilmiştir. Bu devrede doğrultucudan akan akım,

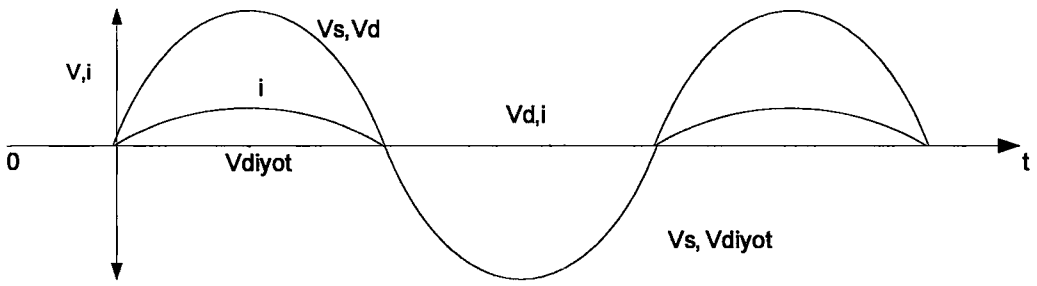
alternatif giriş geriliminin tepe değerine yakın bir değerde en büyük değerindedir. Akım sürekli olarak akmaz ve hat frekansının her bir yarı periyodunda sonlu sürelerde sıfır değerindedir. Bu nedenle bu doğrultucuların dezavantajı, şebekeden oldukça bozulmuş (harmonikli) akım çekmeleridir.




Şekil 3.2. Denetimsiz yarım dalga doğrultucu devre şekli

### 3.1.1. Denetimsiz bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil 3.2'deki devrede, girişten uygulanan alternatif gerilimin pozitif alternansı boyunca devreden i akımı geçer ve yük üzerine giriş gerilimi uygulanır (Vd=Vg, i=Vd/R). Giriş geriliminin negatif alternansı boyunca ise diyot devreden akım geçmesini engeller ve üzerinde giriş gerilimini tutar (Vdyt=Vg). Bu durumda yük üzerine düşen gerilim ise sıfırdır (Vd=0). Şekil 3.3'de R direnç yüküne sahip böyle bir devrenin akım ve gerilim grafikleri gösterilmiştir. (1,2)




Şekil 3.3. Yükü saf direnç olan bir yarım dalga doğrultucuya ait akım ve gerilim grafikleri

Devrenin matematiksel modelinin çıkartılmasında, bu çalışma prensibi göz önünde tutulur. Modellemede önemli olan yük üzerine düşen gerilimi (Vd) düzenlemektir. Vd modellendikten sonra, bu gerilim çıkıştaki yük üzerine uygulanarak çıkışa ait akım ve gerilim değerleri hesaplanır.

Devrenin yukarıda açıklanan çalışma prensibine göre Vd gerilimi aşağıdaki gibi modellenir.

$Vg_{max}$=20; f=50;
for(t=0;t<=1;t=t+0,0001)
{
Vg=$Vg_{max}$*sin(2*M_PI*f*t);
if(Vg<=0)
Vd=0;
else
Vd=Vg;
}

Burada giriş gerilimi Vg; tepe değeri 20 V ve frekansı 50 Hz olan sinüsoidal bir gerilimdir. 'if' şartlı deyimi ile Vg'nin sıfırdan küçük değerleri için yük üzerine düşen gerilim (Vd) sıfıra eşitlenir. Bunun tersi durumlar için ise Vd; giriş gerilimi Vg'ye eşittir.

Programın yukarıda yazılan bu bölümünde aynı şekilde diyot ve kaynağa ait akım ve gerilim değerleri elde edilebilir. Giriş geriliminin sıfırdan büyük olduğu durumda, diyot iletimdedir ve üzerinden devre akımı geçer. Bu yüzden diyot gerilimi sıfırdır ve akımı devre akımına eşittir (Vdyt=0, Idyt=i). Giriş geriliminin sıfırdan küçük ve eşit olduğu durumlarda ise diyot kesime gider. Bu yüzden diyot üzerinden akım geçmez ve üzerinde kaynak gerilimini tutar (Vdyt=Vg, Idyt=0). Bu bilgiler, yukarıda yazılan program koduna aşağıdaki gibi eklenerek diyota ait modelleme de yapılmış olur.

```
Vgmax=20; f=50;delt=0.0001;
for(t=0;t<=1;t=t+delt)
{
Vg=Vgmax*sin(2*M_PI*f*t);
if(Vg<=0)
{
Vd=0; Vdyt=Vg; Idyt=0;
}
else
{
Vd=Vg; Vdyt=0; Idyt=i;
}
}
```

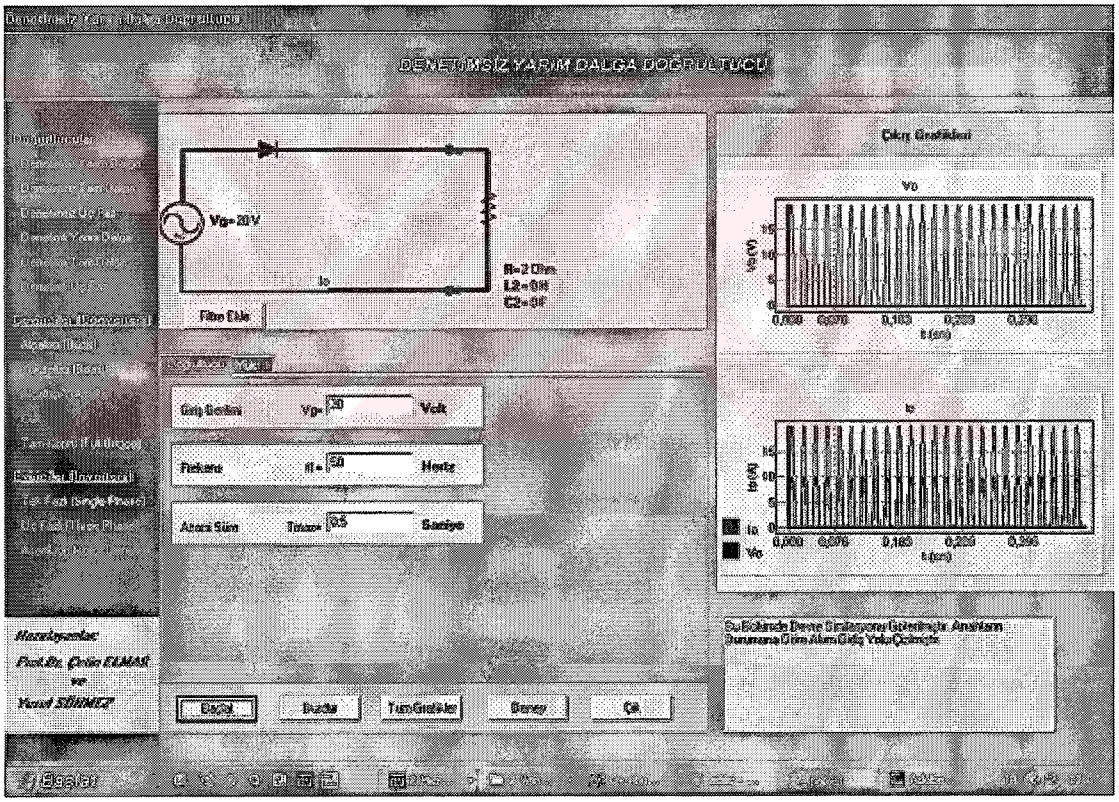
Bu noktada artık yük üzerine düşen gerilim belirlenmiş durumdadır. Bu gerilimin, (Vd) yük üzerine uygulanmasıyla çıkışa ait akım ve gerilim değerleri elde edilir ve grafikleri çizdirilir. Yük bölümünün modellenmesi de bu döngü içerisine yazılır. Direnç yüküne sahip bir devre için yük bölümünün de modellemeye dahil edilmesiyle oluşan program kodu aşağıda gösterilmiştir.

```
Vgmax=20; f=50;delt=0,0001,R=2;
for(t=0;t<=1;t=t+delt)
{
Vg=Vgmax*sin(2*M_PI*f*t);
if(Vg<=0)
{
Vd=0; Vdyt=Vg; Idyt=0;
}
else
{
Vd=Vg; Vdyt=0; Idyt=Id;
}
```

Id=Vd/R;
Vo=Vd; } yük bölümünün modellenmesi
Io=Id;
}

### 3.1.2. Denetimsiz bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası

Şekil 3.4'de, denetimsiz yarım dalga doğrultucu benzetimi için hazırlanan program ana sayfası gösterilmiştir.




Şekil 3.4. Denetimsiz yarım dalga doğrultucu program ana sayfası

Ana sayfadaki devre şekli üzerinde, devrenin çalışma durumlarına göre akım yolu çizdirilerek, devrenin görsel olarak benzetimi yapılmıştır.

Böyle bir devre için, girişten uygulanan AC gerilimin pozitif alternansı boyunca devre akımı, gerilim kaynağının (+) ucundan çıkarak diyot ve yük üzerinden akar ve kaynağın (-) ucunda son bulur. Bu akım yolunun devre üzerinde çizdirilmesi sonucu; öğrenci, gerilimin (+) alternansında diyotun iletimde olduğunu ve üzerinden akım geçirdiğini anlar. Gerilimin negatif alternansı boyunca ise devre akımı kaynağın (-) ucundan çıkarak yük üzerinden akar ve diyotun katodunda son bulur. Ayrıca bu durumda diyot, kesikli çizgilerle gösterilmektedir. Böylece öğrenciye gerilimin (-) alternansında diyotun kesimde olduğu ve üzerinden devre akımını geçirmediği görsel olarak anlatılır.

'Başlat' tuşuna basıldığında, program önce matematiksel modeller doğrultusunda gerekli hesaplamaları yapar. Bu hesaplamalar sonucunda devre üzerinde bulunan her elemana ait akım ve gerilim değerleri bulunur. Bu işlem, devredeki elemanların ve grafiklerde görülmek istenilen süre (Tmax)'ın büyüklüğüne bağlı olarak birkaç saniye sürer. Bu işlem sona erdiğinde devre şekli üzerinde akım yolu çizdirilmeye başlar ve diyotun iletim ve kesim durumları doğrultusunda yukarıda açıklandığı şekilde çizdirilir. Akım yolunun çizdirilmesindeki amaç; devrenin vereceği tepkiyi öğrencinin kafasında canlandırmasına yardımcı olmaktır.

### 3.1.3. Denetimsiz bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası

Yarım dalga doğrultucu için hazırlanan deney sayfası aşağıda gösterildiği gibidir.

*DENEY 1: DENETİMSİZ YARIM DALGA DOĞRULTUCU DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Denetimsiz Yarım Dalga Doğrultucu değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi.Diyotun iletim ve kesim durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz.Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Doğrultucu ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Şebeke Frekansı f1) "DOĞRULTUCU" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L, Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*1- Giriş gerilimi ve frekans değerlerini kullanarak programı çalıştırın. Bu işlemi farklı giriş gerilimi ve frekans değerleri için tekrarlayın. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Giriş geriliminin alternansına göre diyotun iletim ve kesim durumlarına dikkat ediniz. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri).*

*Sonuç:*

*2- "Filtre Ekle" butonuna basarak devreye filtreyi ekleyin. Vg=20 V, f1=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F değerleri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Devreye filtre eklendiğinde çıkış geriliminin min. değeri neden sıfıra inmedi? Aşağıdaki tabloya göre verilen Giriş Gerilimi değerleri için programı çalıştırın. Her bir değere karşılık gelen ortalama Çıkış Gerilimi değerini grafiklerden okuyun ve tabloya yazın.*

| *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *Vg=30 V* | *Vo3=* |
| *Vg=50 V* | *Vo4=* |
| *Vg=100 V* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*3- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, f1=50 Hz, Rf=2 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Kondansatörü Cf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Kondansatörü'nün değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Cf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Kondansatörü Cf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Cf=0,005 F* | *Vo1=* |
| *Cf=0,05 F* | *Vo2=* |
| *Cf=0,5 F* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Cf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Cf=0,005 F*

*Cf=0,05 F*

*Cf=0,5 F*

*Sonuç:*

*4- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, f1=50 Hz, alfa=30 derece, Cf=0,05 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Direnci Rf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış*

*grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Direnci'nin değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Rf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Direnci Rf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Rf=2 Ohm* | *Vo1=* |
| *Rf=10 Ohm* | *Vo2=* |
| *Rf=20 Ohm* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Rf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Rf=2 Ohm*

*Rf=10 Ohm*

*Rf=20 Ohm*

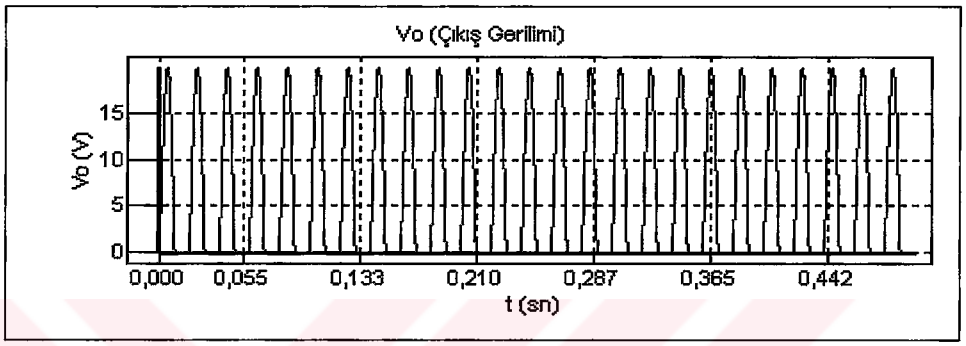
*Sonuç:*
*5- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deney sayfasında; öğrenciye bir önbilgi sağlaması ve deneyin hangi amaçla yapıldığının bildirilmesi için 'Deneyin Amacı' başlığı altında bir bölüm bulunmaktadır. 'Deneyin Yapılışı' başlığı altında ise; deneyde yapılacaklar maddeler halinde sıralanarak, öğretilecek konular bir düzen halinde sunulmuştur.

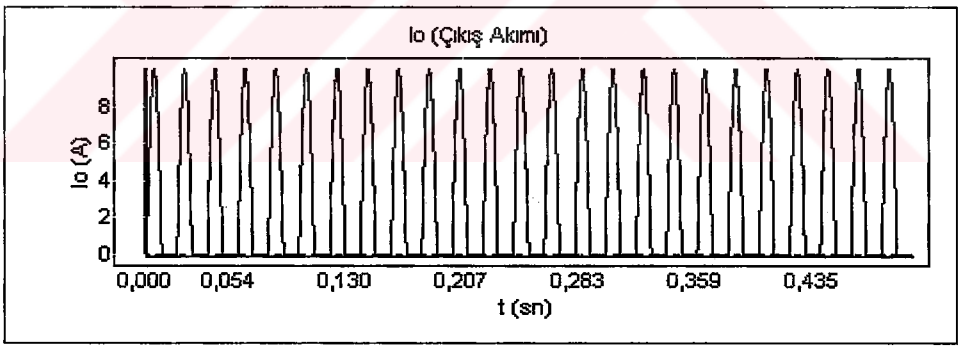
Öğrenci, deneyin birinci maddesini, verilen değerlere göre (Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ohm) gerçekleştirerek; çıkışında direnç yüküne sahip bir yarım dalga doğrultucu devresinin vereceği tepkiyi öğrenir. Bu maddede çıkış grafiklerini inceleyen öğrenci, giriş geriliminin (+) bölgesi boyunca çıkış geriliminin giriş gerilimine eşit olduğunu, giriş geriliminin (-) bölgesi boyunca ise çıkış geriliminin sıfır olduğunu kavrar.

Yine bu maddede diyot grafiklerini inceleyen öğrenci; giriş geriliminin (+) bölgesi boyunca diyot geriliminin sıfır, giriş geriliminin (-) bölgesi boyunca ise diyot geriliminin giriş gerilimine eşit olduğunu görür.

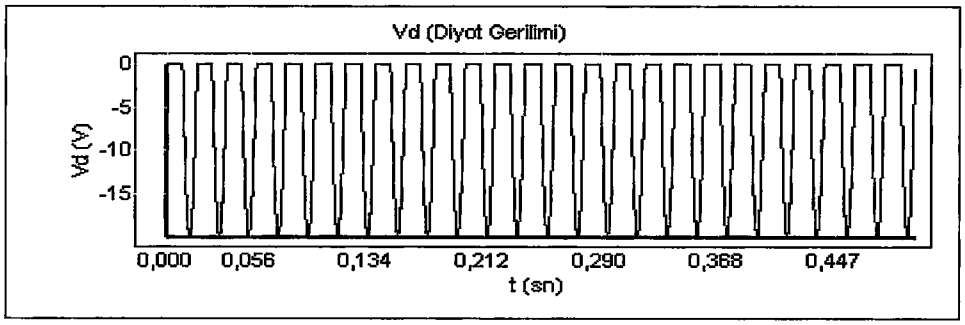
Deneyin 1. maddesi gerçekleştirildiğinde, programda çizdirilen çıkış ve diyot grafikleri Şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8'de gösterilmiştir.



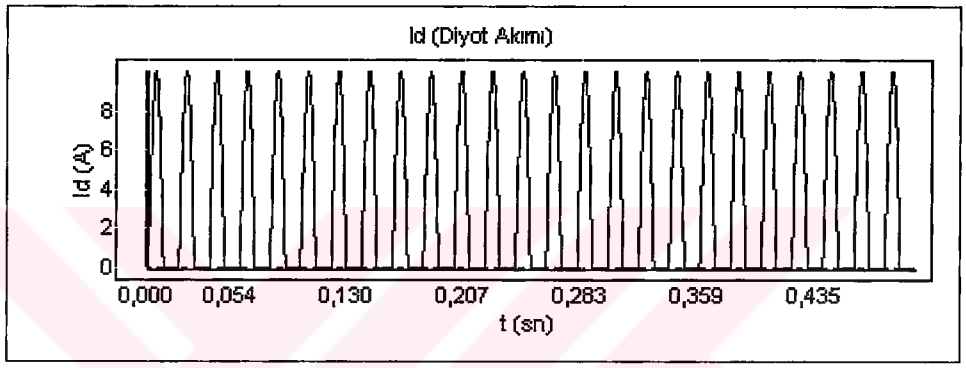

Şekil 3.5. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 3.6. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği




Şekil 3.7. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen diyot gerilimi grafiği

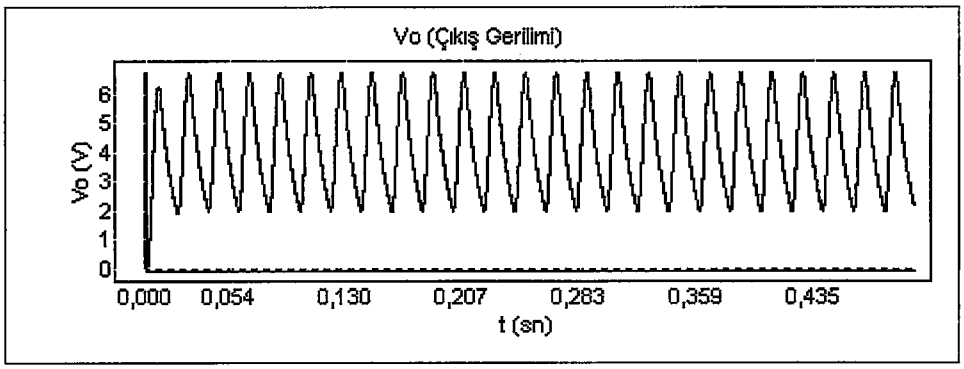



Şekil 3.8. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen diyot akımı grafiği

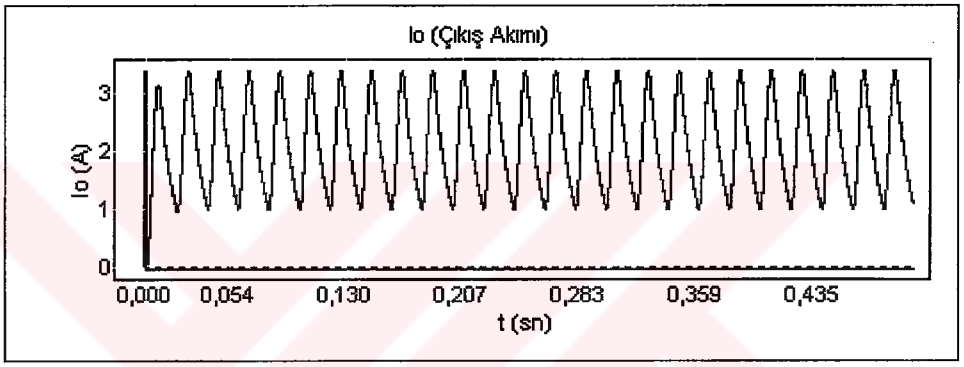
Denetimsiz yarım dalga doğrultucunun çıkışına eklenen bir kondansatör, devrede filtre görevi görür. Çıkışa eklenen bu filtre sayesinde, çıkış gerilimi sıfır noktasına kadar düşmez ve çıkıştan doğru gerilime daha yakın bir gerilim şekli elde edilir.

Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden devreye bir filtre eklemesi istenmiştir. Çıkışa filtre ekleme işlemi, ana sayfadaki devre şeklinin hemen altında bulunan 'Filtre Ekle' tuşuyla gerçekleştirilir. Öğrenci, filtreli devrenin benzetimini yaparak grafikleri inceler ve çıkıştan elde edilen gerilimin, doğru gerilime daha çok yaklaştığını görür.

2. maddede verilen değerler için (Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F) programda çizdirilen çıkış grafikleri Şekil 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir.



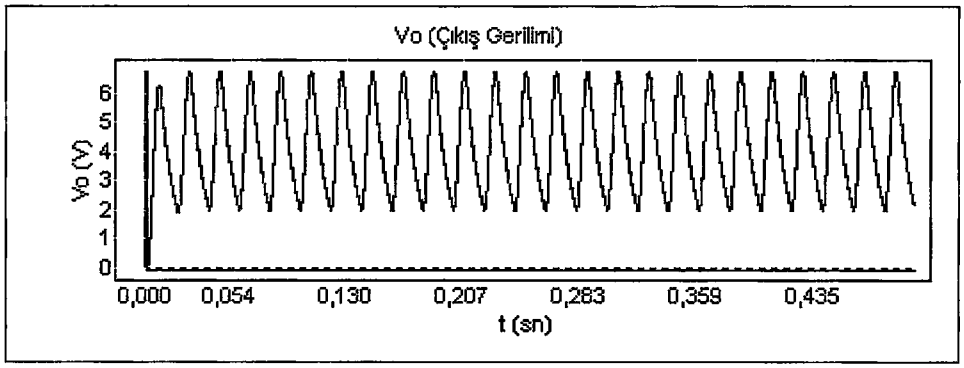

Şekil 3.9. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



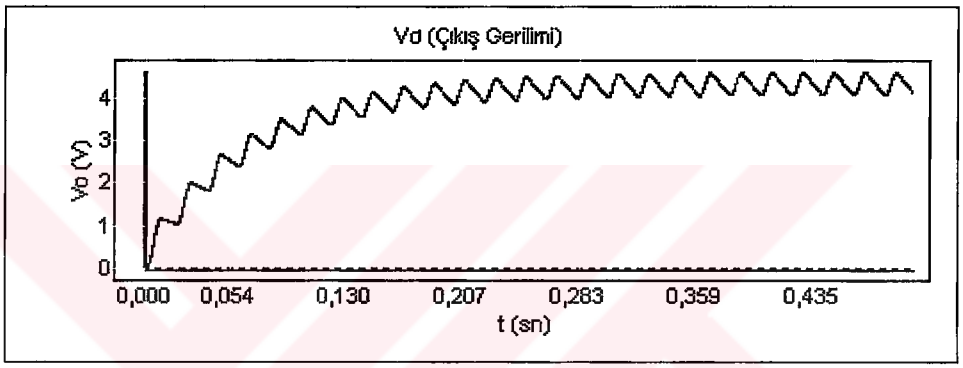

Şekil3.10. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği

Çıkışında filtre olan bir denetimsiz yarım dalga doğrultucunun filtre kondansatörü değeri büyüdükçe çıkıştan elde edilen gerilim daha da salınımsız olur. Öğrenciye bu durumu göstermek için deneyin 3. maddesinde üç farklı filtre kondansatörü değeri verilmiş ve bu değerler için çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir.

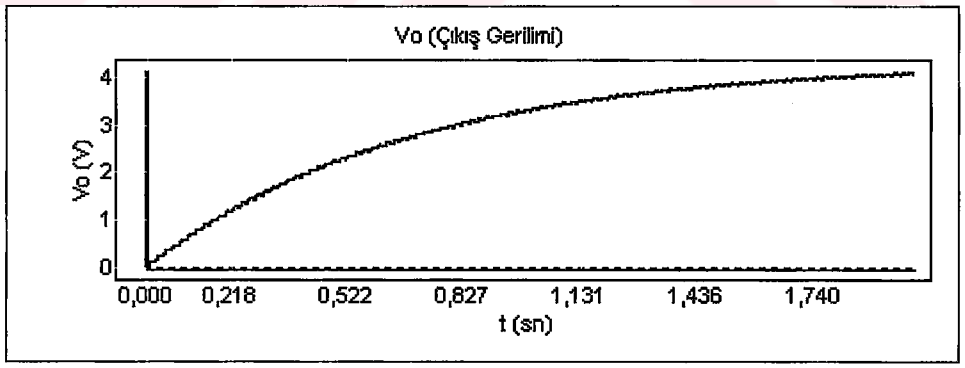
Aşağıda deneyin 3. maddesinde verilen üç farklı kondansatör değeri için programda çizdirilen çıkış gerilim grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 3.11. Deneyin 3. maddesine ait C=0,005 F değeri için denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 3.12. Deneyin 3. maddesine ait C=0,05 F değeri için denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



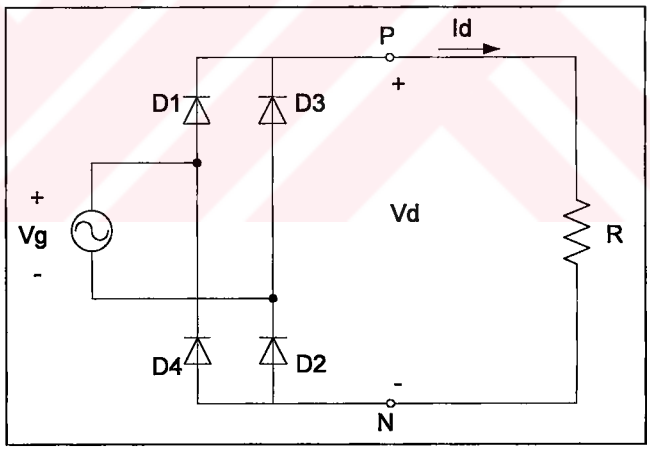

Şekil 3.13. Deneyin 3. maddesine ait C=0,5 F değeri için denetimsiz yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Grafiklerden de görüldüğü gibi; filtre kondansatörü (Cf)'nin değeri büyüdükçe çıkış gerilimi ortalama değeri 4 V civarında sabit kalmasına rağmen değişen sadece

gerilimin salınımıdır. Çıkıştan, doğru gerilime daha yakın bir gerilim şekli elde edilmektedir.

### 3.2. Denetimsiz Bir Fazlı Tam Dalga Doğrultucu

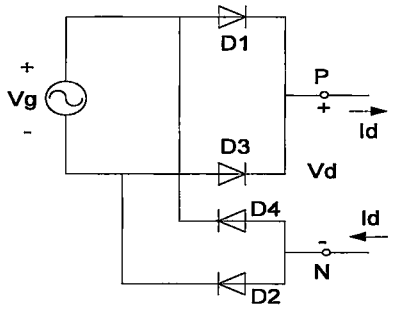
Yaygın olarak kullanılan bir fazlı diyotlu köprü doğrultucu Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Büyük bir filtre kondansatörü doğru gerilim uçlarına paralel olarak bağlanmıştır. Şebeke besleme kaynağı, sinüsoidal bir gerilim kaynağı Vg ile modellenmiştir. Bu tezde; modellemeler yapılırken ideal devre şartları kullanıldığından dolayı kaynağın iç empedansı sıfır olarak kabul edilmiştir (Ls=0).
Şekil 3.14'de görüldüğü gibi bir fazlı diyotlu köprü doğrultucu devresi, diyot 1 ve diyot 3'den oluşan bir grup ile diyot 2 ve diyot 4'den oluşan bir başka grup olarak iki grup diyottan oluşur. Devre akımı (Id) her iki grubun birer diyotundan geçerek sürekli bir şekilde akmaktadır.(1)




Şekil 3.14. Ls=0 olan ideal diyotlu denetimsi tam dalga doğrultucu

#### 3.2.1. Denetimsiz bir fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

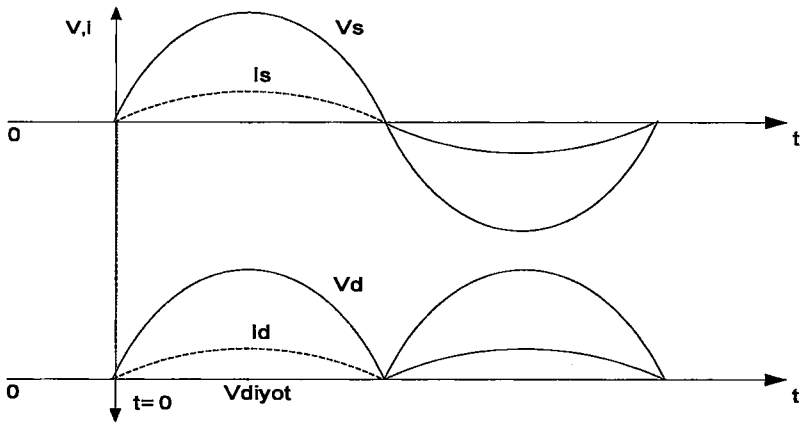
Şekil 3.14'de gösterilen devre diyot gruplarına göre Şekil 3.15'de gösterildiği gibi yeniden çizilebilir.




Şekil 3.15. Şekil 3.14'deki doğrultucunun yeniden düzenlenmiş biçimi

Şekil 3.15'e bakıldığında; üst gruptaki iki diyotun katotları ortak potansiyeldedir. Bu nedenle anot potansiyeli en düşük olan diyot Id akımını iletecektir. Bir başka deyişle, Vg pozitif olduğunda 1. diyot Id akımını iletirken 3. diyot uçlarında negatif bir Vg gerilimi oluşacaktır.

Vg gerilimi negatif olduğunda, Id akımı ani olarak diyot 3'e aktarılır ve diyot 1 uçlarında negatif bir gerilim oluşur. Alt gruptaki iki diyotun anotları ortak bir potansiyeldedir. Bu nedenle katodu en düşük potansiyelde olan diyot Id'yi iletecektir. Yani Vg pozitif olduğunda diyot 2 Id'yi taşırken diyot 4 uçlarında negatif bir Vg gerilimi görülecektir. Vg negatif durumda olduğunda ise, Id akımı ani olarak diyot 4'de aktarılacak ve diyot 2 uçlarında negatif bir gerilim görülecektir. Devreye ait akım ve gerilim grafikleri Şekil 3.16'da gösterilmiştir. (1,2)




Şekil 3.16. Denetimsiz tam dalga doğrultucu grafikleri

Bu bilgiler ışığında devre modellemesi yapılırken aşağıda yazılan şartlar program kodunu oluşturmada kullanılır.

Vg>0 iken
Vd=Vg
Vd1=0, Id1=Id
Vd3=-Vg, Id3=0
Vd2=0, Id2=Id
Vd4=-Vg Id4=0

Vg<0 iken
Vd=-Vg
Vd1=Vg, Id1=0
Vd3=0, Id3=Id
Vd2=Vg, Id2=0
Vd4=0, Id4=Id

Yukarıda yazılan bu şartlar, program koduna aşağıda gösterildiği gibi yazılarak yük üzerine düşen gerilim (Vd)'nin ve her bir diyotun akım-gerilim modellemesi yapılır.

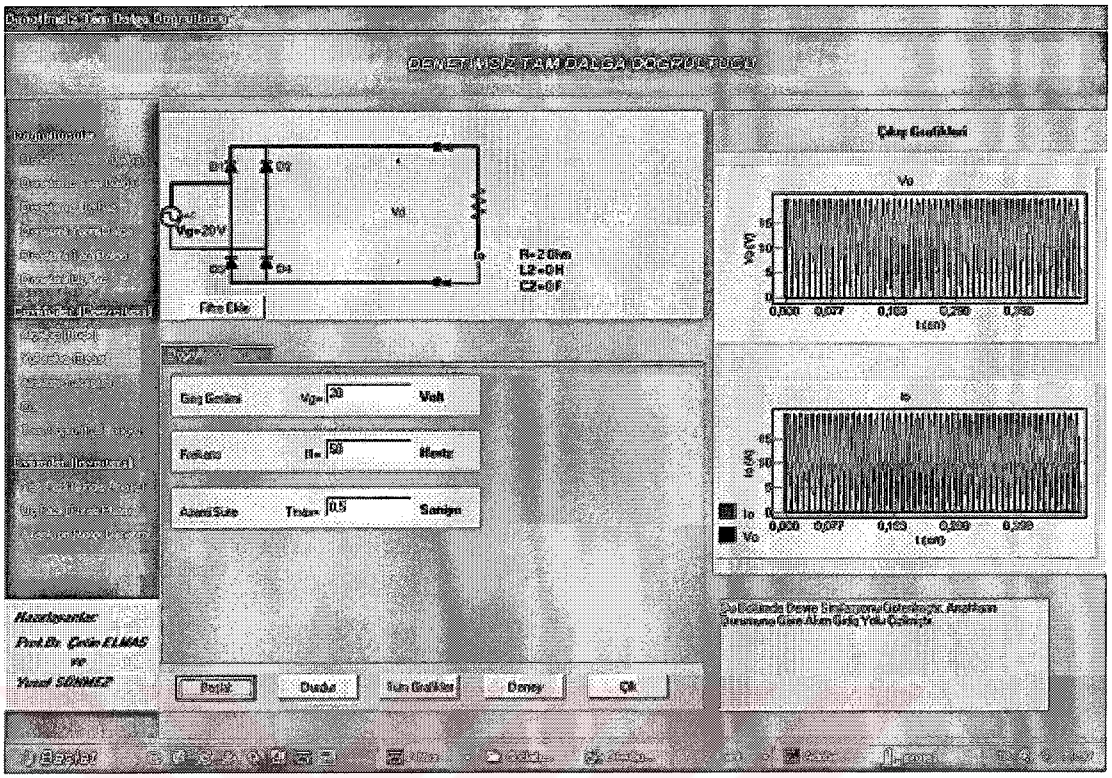
$Vg_{max}$=20; f=50;delt=0,0001;
for(t=0;t<=1;t=t+delt)
{
Vg=$Vg_{max}$*sin(2*M_PI*f*t);
if(Vg<=0)
{
Vd=-Vg
Vd1=Vg; Id1=0;
Vd3=0; Id3=Id;
Vd2=Vg; Id2=0;
Vd4=0; Id4=Id;
}

```
else
{
Vd=Vg;
Vd1=0;      Id1=Id;
Vd3=-Vg;    Id3=0;
Vd2=0;      Id2=Id;
Vd4=-Vg;    Id4=0;
}}
```

Bu şekilde yazılan bir program koduyla yük üzerine düşen gerilim bilindiğine göre, bu gerilimin yük üzerine uygulanmasıyla devrenin çıkışına ait değerlerin zaman domeninde çözümü yapılmış olur.

### 3.2.2. Denetimsiz bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası

Şekil 3.17'de denetimsiz tam dalga doğrultucuya ait program ana sayfası gösterilmiştir.




Şekil 3.17. Denetimsiz tam dalga doğrultucu program ana sayfası

Devre şekli üzerinde akım yolu çizdirilirken; Vg'nin pozitif olduğu durumda, akım diyot 1 ve diyot 4 üzerinden akarak kaynakta son bulur. Vg'nin negatif olduğu durumda ise, akım diyot 2 ve diyot 3 üzerinden geçmektedir.

Akım yolunun bu şekilde çizdirilmesiyle öğrenciye bu doğrultucu devresi için akımın devre üzerinden sürekli olarak aynı yönde aktığı ve Vg'nin durumlarına göre hangi diyot üzerinden geçtiği görsel olarak anlatılmıştır.

### 3.2.3. Denetimsiz bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası

Denetimsiz tam dalga doğrultucu için, devrenin sahip olduğu özellikler göz önünde tutularak bir deney sayfası hazırlanmıştır. Buradaki amaç; devrenin çalışma prensibini ve değişik durumlarda vereceği tepkileri öğrenciye belli bir sıra çerçevesinde sunmak ve öğrenmesini kolaylaştırarak bilgileri kalıcı hale getirmektir.

Aşağıda bu devre için hazırlanan deney sayfası gösterilmiştir. İtalik yazılı kısımlar programdaki deney sayfasıdır. Deney sayfasının ardından, bu sayfanın öğrenciye devreyle ilgilihangi özellikleri kazandıracağı anlatılacaktır.

*DENEY 2: DENETİMSİZ TAM DALGA DOĞRULTUCU DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Denetimsiz Tam Dalga Doğrultucu değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi. Diyotun iletim ve kesim durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir.Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla ,bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Doğrultucu ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Şebeke Frekansı fl) "DOĞRULTUCU" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L, Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*1- Giriş gerilimi ve frekans değerlerini kullanarak programı çalıştırın. Bu işlemi farklı giriş gerilimi ve frekans değerleri için tekrarlayın. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Giriş geriliminin alternansına göre diyotların iletim ve kesim durumlarına dikkat ediniz. Giriş Geriliminin pozitif alternansında hangi diyotların, negatif alternansında hangi diyotların iletimde olduğunu belirtin. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Çıkış Gerilimi; seçtiğiniz aynı değerler için Denetimsiz Yarım Dalga Doğrultucuya göre, doğru gerilime daha çok yaklaştı mı?*

*Sonuç:*

*2- "Filtre Ekle" butonuna basarak devreye filtreyi ekleyin. Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F değerleri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Devreye filtre eklendiğinde çıkış geriliminin min. değeri neden sıfıra inmedi? Aşağıdaki tabloya göre verilen Giriş Gerilimi değerleri için programı çalıştırın. Her bir değere karşılık gelen ortalama Çıkış Gerilimi değerini grafiklerden okuyun ve tabloya yazın.*

| *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *Vg=30 V* | *Vo3=* |
| *Vg=50 V* | *Vo4=* |
| *Vg=100 V* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*3- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Kondansatörü Cf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Kondansatörü'nün değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Yarım Dalga Doğrultucu'ya göre daha doğru bir çıkış elde edildi mi? Sebebini açıklayın ve her bir Cf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Kondansatörü Cf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Cf=0,005 F* | *Vo1=* |
| *Cf=0,05 F* | *Vo2=* |
| *Cf=0,5 F* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Cf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Cf=0,005 F*

*Cf=0,05 F*

*Cf=0,5 F*

*Sonuç:*

*4- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, f1=50 Hz, alfa=30 derece, Cf=0,05 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Direnci Rf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Direnci'nin değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Rf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Direnci Rf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Rf=2 Ohm* | *Vo1=* |
| *Rf=10 Ohm* | *Vo2=* |
| *Rf=20 Ohm* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Rf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Rf=2 Ohm*

*Rf=10 Ohm*

*Rf=20 Ohm*

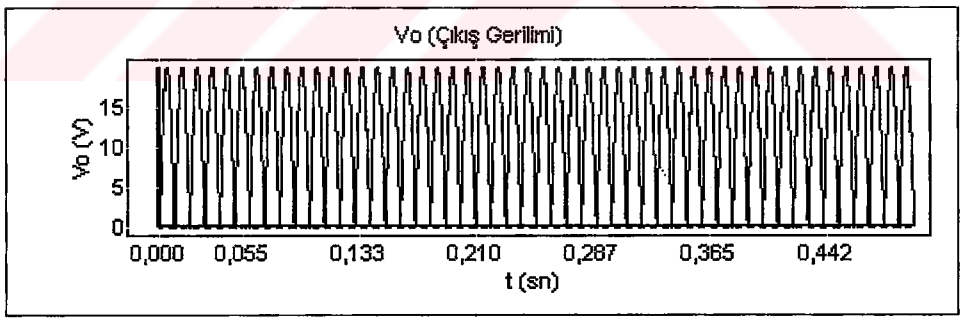
*Sonuç:*

*5- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

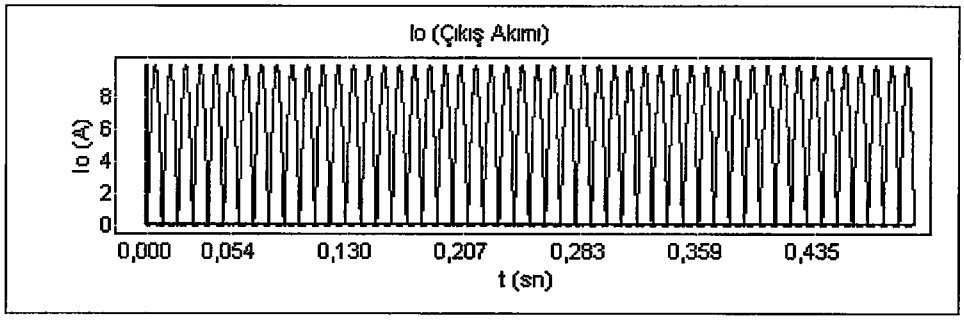
Deneyin 1. maddesinde, programın açılışında verilen değerler için (Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ohm) öğrenciden programı çalıştırması ve çıkış gerilimi ile diyot grafiklerini incelemesi istenmiştir. Buradaki amaç; giriş geriliminin, kendisinin negatif değerleri boyunca çıkışta terslenmiş olarak göründüğünü göstermektir. Çıkış akımı grafiği ile akımın devrede sürekli olarak aktığı gösterilir.

Diyot grafiklerinde ise öğrenciye anlatılma istenen; Vg'nin pozitif durumlarında 1. ve 4. diyotun iletimde olduğu için üzerinden akım geçirirken diğer diyotların üzerlerinde giriş geriliminin görüldüğü, Vg'nin negatif durumlarında ise 2. ve 3. diyotun iletimde olmasından dolayı üzerlerinden akım geçirirken diğer diyotların üzerlerinde giriş gerilimini tuttuğudur.

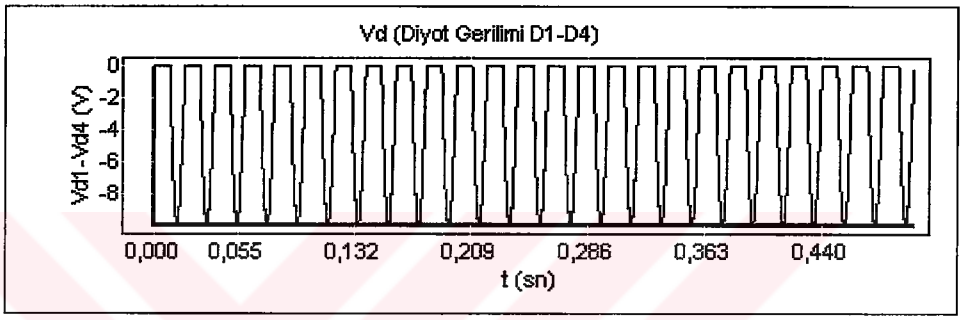
Deneyin 1. maddesi için bu durumları açıklayıcı özelliğe sahip, programda çizdirilen grafikler Şekil 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23'de gösterilmiştir.



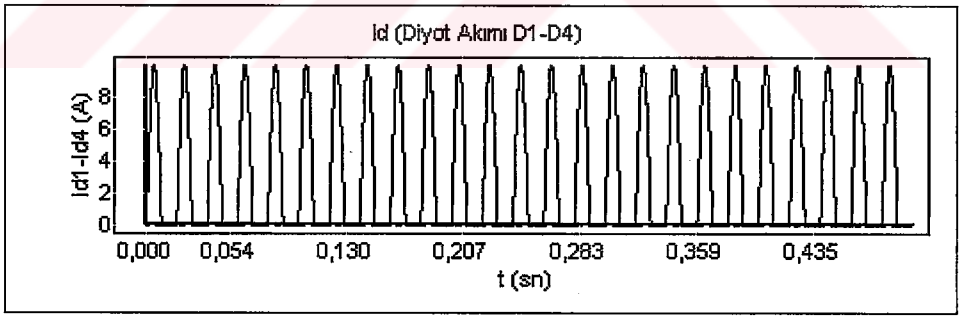

Şekil 3.18. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



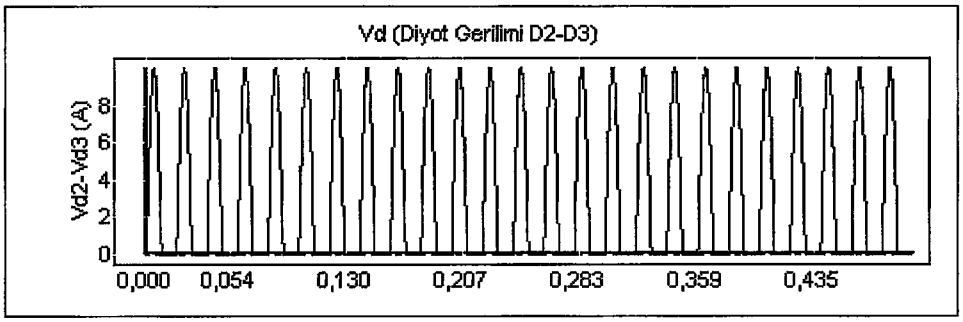

Şekil 3.19. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği



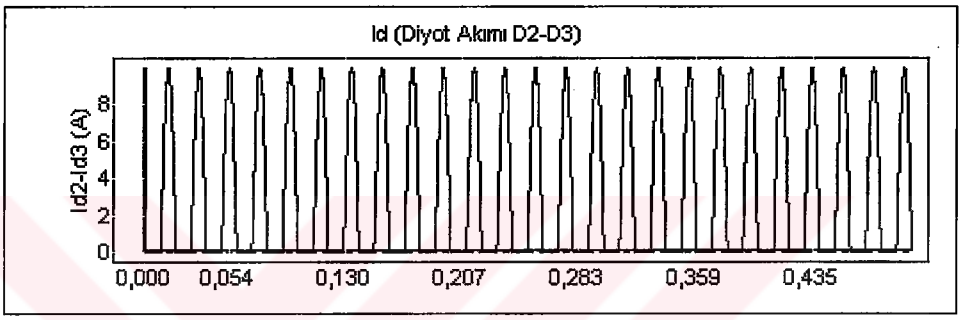

Şekil 3.20. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 1. ve 4. diyotlara ait gerilim grafiği




Şekil 3.21. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 1. ve 4. diyotlara ait akım grafiği

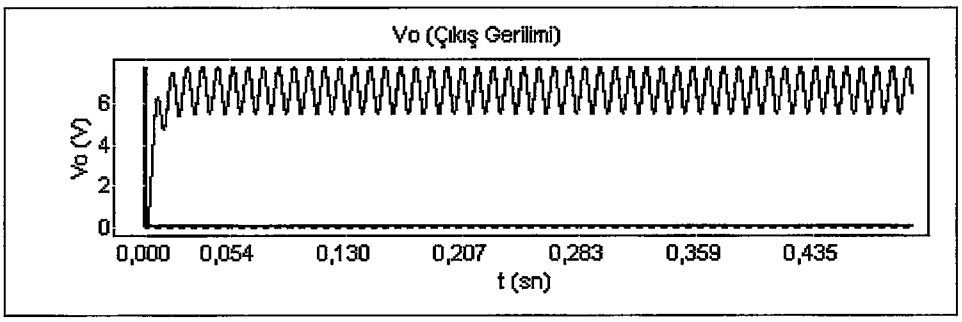



Şekil 3.22. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 2. ve 3. diyotlara ait gerilim grafiği

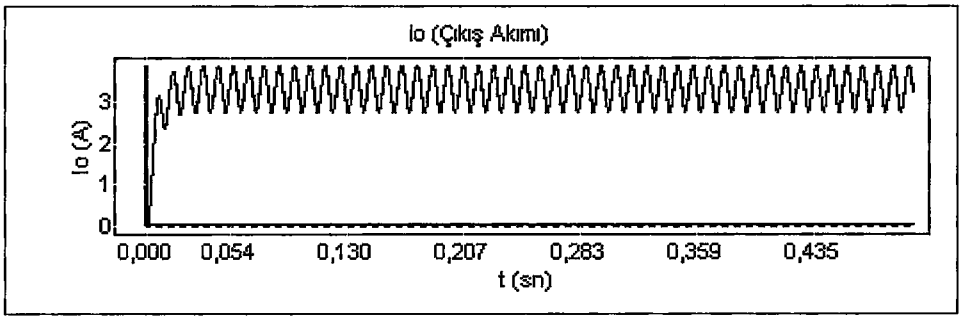



Şekil 3.23. Deneyin 1. maddesi için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen 2. ve 3. diyotlara ait akım grafiği

Deneyin 2. maddesi, çıkışına filtre eklenen doğrultucunun vereceği tepkiyi öğrenciye göstermek amacıyla düzenlenmiştir. Deneyin bu maddesi için verilen değerlere göre (Vg=20 V, f1=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F) programda çizdirilen çıkış grafikleri Şekil 3.24 ve 3.25'de gösterilmiştir.



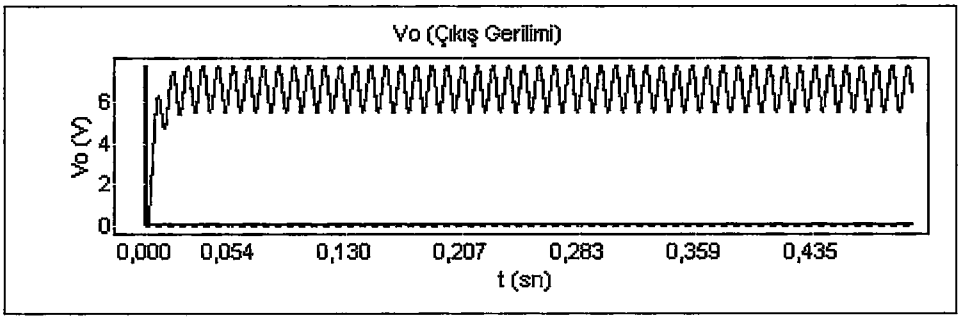

Şekil 3.24. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



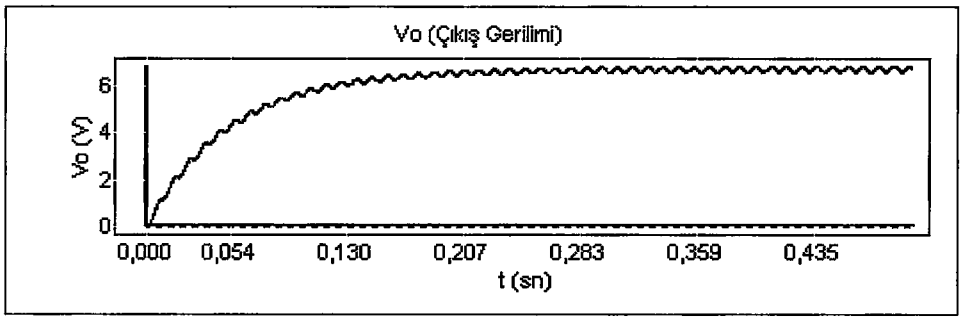

Şekil 3.25. Deneyin 2. maddesine ait denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği

Grafiklerden görüldüğü gibi çıkışında filtre olan doğrultucu devresinde çıkış gerilimi sıfır değerine düşmemektedir.

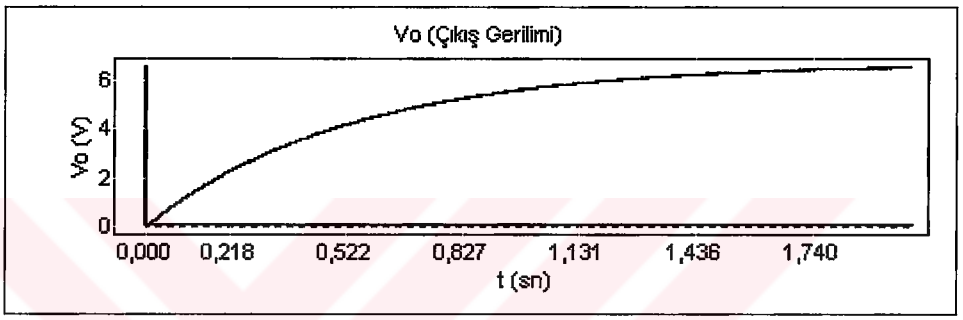
Deneyin 3. maddesinde, filtre kondansatörü (Cf) değeri ile çıkış geriliminin dalga şekli arasındaki ilişki öğrenciye gösterilir. Cf değerinin büyümesiyle çıkış gerilimi doğru gerlime daha çok yaklaşmaktadır. Bu maddede devre değerleri yarım dalga doğrultucu deneyindeki değerlerle aynı seçilmiştir. Aşağıdaki grafiklerden de görüldüğü gibi tam dalga doğrultucu, aynı değerler için yarım dalga doğrultucudan daha salınımsız bir gerilim üretmektedir. Öğrenciden bu durumun farkına varması için grafikler arasında bir karşılaştırma yapması istenmiştir.Deneyin bu maddesi için programda çizdirilen grafikler Şekil 3.26, 3.27 ve 3.28'de gösterilmiştir.




Şekil 3.26. Deneyin 3. maddesine ait C=0,005 F değeri için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



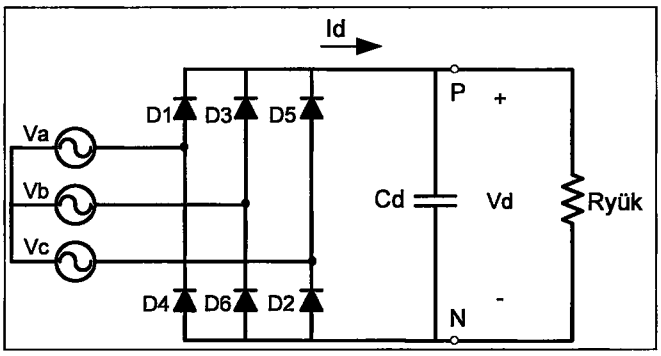

Şekil 3.27. Deneyin 3. maddesine ait C=0,05 F değeri için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 3.28. Deneyin 3. maddesine ait C=0,5 F değeri için denetimsiz tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

### 3.3. Denetimsiz Üç Fazlı Tam Dalga Doğrultucu

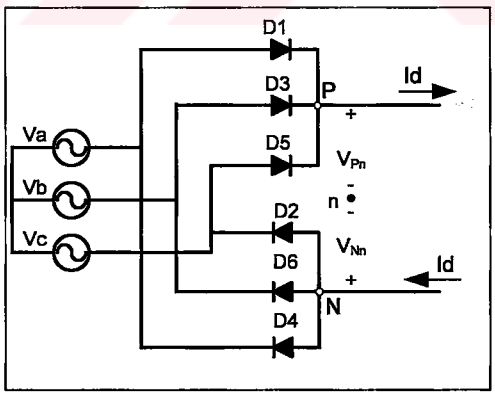
Üç fazlı alternatif gerilimlerin mevcut olduğu sanayi uygulamalarında üç fazlı tam dalga doğrultucu devrelerinin kullanımı bir fazlı tam dalga doğrultuculara göre daha düşük harmonikli dalga biçimleri ve daha yüksek güç oluşturma kapasiteleri nedeniyle tercih edilir. Şekil 3.29'da gösterilen üç fazlı, altı darbeli tam dalga diyotlu doğrultucu sık rastlanan bir devre yapısı olup, doğrultucunun d.a tarafına bir filtre kondansatörü bağlanmıştır.(1)




Şekil 3.29. Üç faz tam dalga doğrultucu

### 3.3.1. Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil 3.29'daki doğrultucu, Şekil 3.30'da gösterildiği şekilde yeniden çizilebilir. Devre akımı (Id), üst grupta bulunan bir diyottan alt gruptaki bir diğer diyota akar. Bir fazlı devreye benzer şekilde, üst grupta anodu en yüksek gerilim seviyesinde olan diyot iletime geçerken diğer ikisi ters yönde kutuplanacaktır. Alt grupta ise katodu en düşük gerilim seviyesinde olan iletime geçerken diğer ikisi ters yönde kutuplanacaktır.

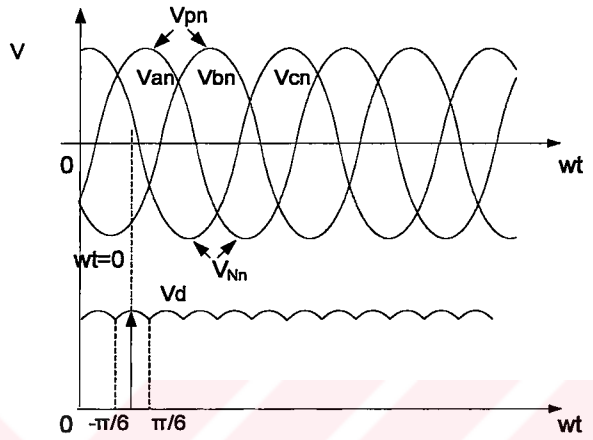



Şekil 3.30. Üç fazlı doğrultucunun yeniden çizilmiş hali

Şekil 3.31'de, devreye ilşkin gerilim dalga biçimleri verilmiştir. Burada $V_{Pn}$; alternatif gerilim nötr noktası n'ye göre P noktasındaki gerilim, $V_{Nn}$'de negatif uç olan N'deki gerilim seviyesidir. Id kesintisiz olarak aktığı için herhangi bir anda $V_{Pn}$ ve $V_{Nn}$'yi Van, Vbn ve Vcn alternatif giriş gerilimlerinden biri cinsinden elde etmek

mümkündür. Şekil 3.30'daki devreye, ani değerler temel alınarak KVL uygulanacak olursa d.a tarafındaki gerilim;

$Vd = V_{Pn} - V_{Nn}$ şeklinde olacaktır.




Şekil 3.31. Üç fazlı doğrultucu çıkış gerilimi grafiği

Şekil 3.31'de görüldüğü gibi Vd ani değerinin dalga şekli hat frekansının her bir periyodunda altı parçadan oluşmaktadır. Buna göre bu doğrultucu altı darbeli bir doğrultucu olarak adlandırılmıştır. Her bir parça altı tane faz arası gerilim birleşiminden birine aittir. (1,2)

Devrenin modellemesi, bu çalışma prensibi göz önünde tutularak gerçekleştirilmiştir. Vd geriliminin elde edilmesinde; birbirinden 120° faz farklı olan giriş gerilimleri (Van, Vbn, Vcn) karşılaştırılır. Ancak karşılaştırma yapılmadan önce üç faz giriş gerilimlerinin hepsi doğrultulur. Doğrultma işlemi aşağıdaki mantık çerçevesinde yapılır.

```
if(Va<0)
Va=(-1)*Va

if(Vb<0)
Vb=(-1)*Vb
```

```
if(Vc<0)
Vc=(-1)*Vc
```

Bütün giriş gerilimlerinin tam dalga doğrultma işlemi yapıldıktan sonra Şekil 3.31'de görünen dalga şeklini elde etmek için giriş gerilimlerinin karşılaştırılması aşağıdaki mantık çerçevesinde yapılır.

```
İf(Va>(Vb&Vc))
Vd=Va

İf(Vb>(Va&Vc))
Vd=Vb

İf(Vc>(Va&Vb))
Vd=Vc
```

Bu mantık kullanılarak Vd gerilimini üreten program kodu aşağıda verildiği gibidir.

```
for (t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{

Va=Vg*sin(2*M_PI*f1*t);
Vb=Vg*sin((2*M_PI*f1*t)-(2*M_PI/3));
Vc=Vg*sin((2*M_PI*f1*t)+(2*M_PI/3));
```

} 120° faz farklı üç faz gerilimlerini üretir

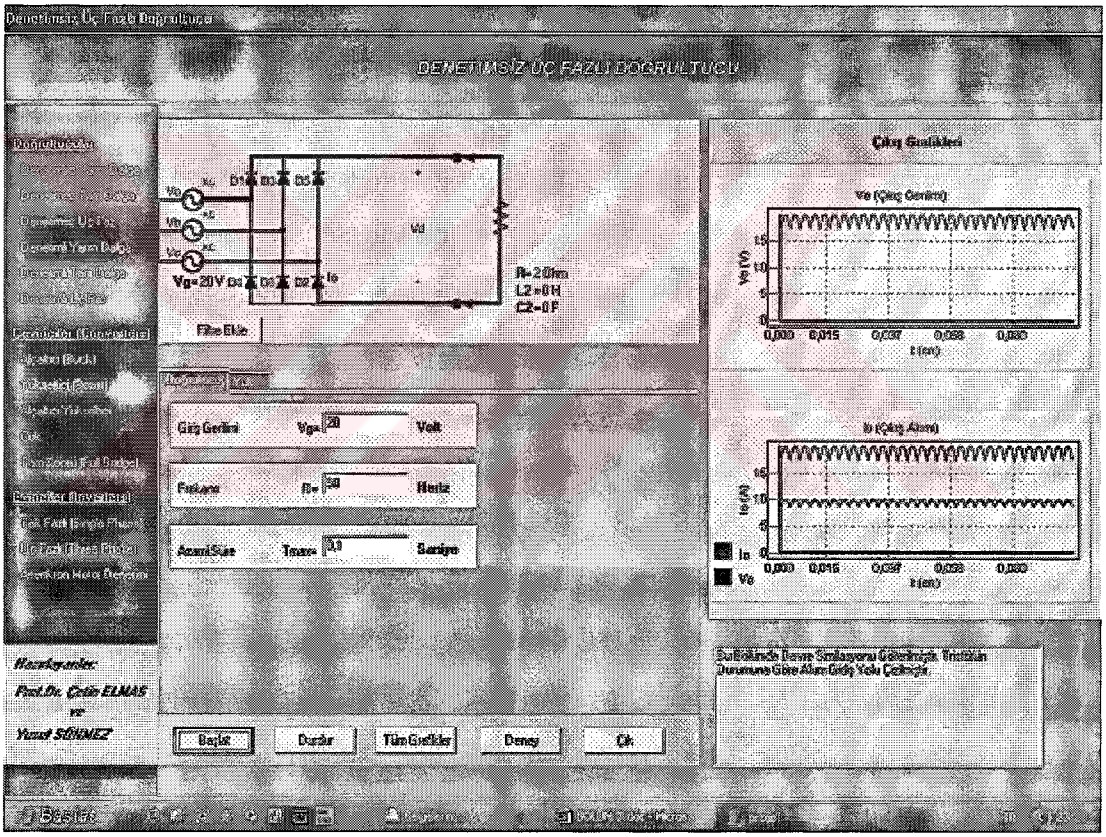
```
if(Va<0) Va=(-1)*Va;
if(Vb<0) Vb=(-1)*Vb;
if(Vc<0) Vc=(-1)*Vc;
```

} üç faz gerilimlerini tam dalga doğrultur

```
if(Va>=Vb&&Va>=Vc)      Vd=Va;
if(Vb>=Vc&&Vb>=Va)      Vd=Vb;      } Vd gerilimini üretir
if(Vc>=Va&&Vc>=Vb)      Vd=Vc;
```

### 3.3.2. Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası

Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi için hazırlanan program ana sayfası Şekil 3.32'de gösterilmiştir.




Şekil 3.32. Denetimsiz üç fazlı doğrultucu program ana sayfası

Ana sayfa üzerindeki devre şekli çizilirken, diyotların numaralandırılması, devre akımını iletme durumları göz önünde tutularak yapılmıştır. Yani diyotlar 1,2,3… sırasıyla iletimdedirler.

Devre şekli zerine çizdirilen akım yolu; Va geriliminin Vb ve Vc'den büyük olduğu durumda 1. ve 2. diyotun üzerinden, Vb geriliminin diğerlerinden büyük olduğu durumda 3. ve 4. diyot üzerinden, Vc geriliminin diğerlerinden büyük olduğu durumda ise 5. ve 6. diyot üzerinden devresini tamamlar. Bu sayede öğrenciye, devrenin hangi durumlarında hangi diyotların iletimde olduğu ve üzerinden akım geçirdiği görsel olarak anlatılır.

### 3.3.3. Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası

Denetimsiz üç fazlı tam dalga doğrultucu için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir. Deney sayfasının amacı; devrenin farklı durumlarda vereceği tepkileri grafikler yardımıyla öğrenciye anlatmak ve bir fazlı ile üç fazlı devre arasındaki farkı göstermektir.

*DENEY 3: DENETİMSİZ ÜÇ FAZLI DOĞRULTUCU DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Denetimsiz Üç Fazlı Doğrultucu değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi. Diyotun iletim ve kesim durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız.Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir.Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız.Bu yolla,bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz.Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir.Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz.Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz.Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz.Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına*

*yazınız.Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Doğrultucu ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Şebeke Frekansı f1) "DOĞRULTUCU" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L, Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*NOT:*

*Bu programda birbirinden farklı üç adet gerilim kaynağı kullanılmıştır. Her bir kaynak arasında 120' şer derece faz farkı vardır.Diyotların numaralandırılması iletim durumlarına göre sırasıyla belirlenmiştir(1-2,3-4,5-6 şeklinde). İletim; üçfaz kaynak içerisinden anotu en yüksek olandan katotu en düşük olana doğrudur. Bu durum gerilimin pozitif alternansı için böyledir. Negatif alternansta ise kaynaklardan hangisinin katotu en yüksek ise o iletimde demektir, akış; anotu en düşük kaynağa doğru olur.Böylece gerilimin pozitif ve negatif alternansı için her seferinde A, B veya C kaynağından herhangi biri yüke güç sağlayacaktır.*

*1- Giriş gerilimi ve frekans değerlerini kullanarak programı çalıştırın. Bu işlemi farklı giriş gerilimi ve frekans değerleri için tekrarlayın. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Giriş gerilimlerinin alternansına göre diyotların iletim ve kesim durumlarına dikkat ediniz. Ayrı ayrı Giriş Gerilimlerinin pozitif alternansında hangi diyotların, negatif alternansında hangi diyotların iletimde olduğunu belirtin (A, B ve C için).Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Çıkış Gerilimi; seçtiğiniz aynı değerler için Denetimsiz Yarım Dalga Doğrultucuya ve Denetimsiz Tam Dalga Doğrultucuya göre, doğru gerilime daha çok yaklaştı mı? Neden?*

*Sonuç:*

*2- "Filtre Ekle" butonuna basarak devreye filtreyi ekleyin. Vg=20 V, f1=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F değerleri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Devreye filtre eklendiğinde çıkış geriliminin min. değeri neden sıfıra inmedi? Aşağıdaki tabloya göre verilen Giriş Gerilimi değerleri için programı çalıştırın. Her bir değere karşılık gelen ortalama Çıkış Gerilimi değerini grafiklerden okuyun ve tabloya yazın.*

*3- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, f1=50 Hz, Rf=2 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Kondansatörü Cf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Kondansatörü'nün değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Yarım Dalga Doğrultucu'ya ve Tam Dalga Doğrultucu'ya göre daha doğru bir çıkış elde edildi mi? Sebebini açıklayın ve her bir Cf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Kondansatörü Cf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Cf=0,005 F* | *Vo1=* |
| *Cf=0,05 F* | *Vo2=* |
| *Cf=0,5 F* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Cf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Cf=0,005 F*

*Cf=0,05 F*

*Cf=0,5 F*

*Sonuç:*

*4- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, f1=50 Hz, Cf=0,05 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Direnci Rf değeri için*

*programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Direnci'nin değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Rf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Direnci Rf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Rf=2 Ohm* | *Vo1=* |
| *Rf=10 Ohm* | *Vo2=* |
| *Rf=20 Ohm* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Rf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Rf=2 Ohm*

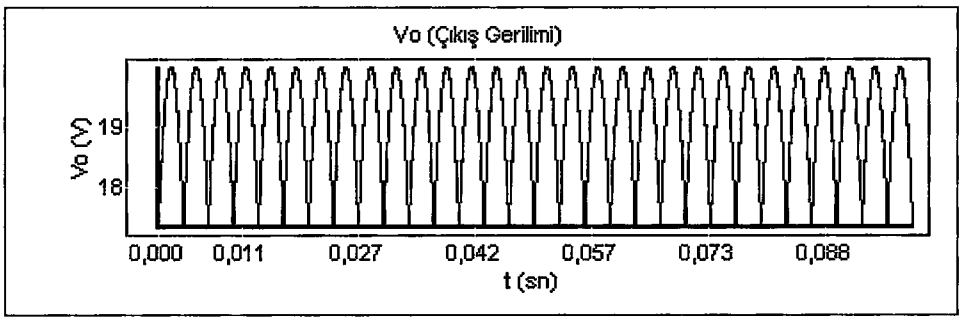
*Rf=10 Ohm*

*Rf=20 Ohm*

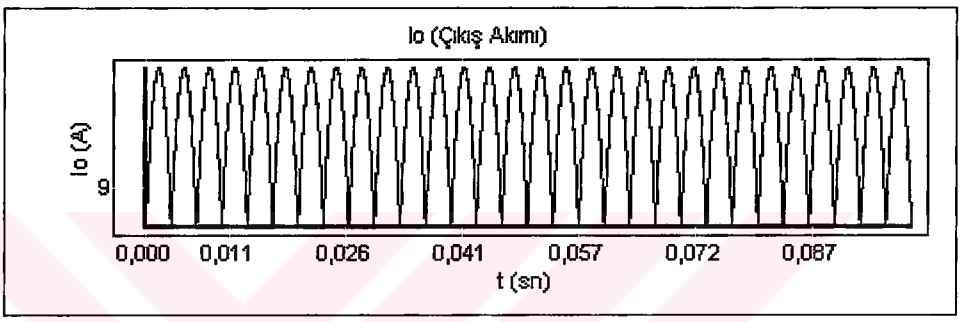
*Sonuç:*

*5- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deneyin 1. maddesinde; programda verilen değerler için (Vg=20 V, fl=50 Hz, Ryük=2 Ohm) öğrenciden programı çalıştırarak çıkış ve diyot grafiklerini incelemesi istenmiştir. Bu değerler için programda çizdirilen çıkış grafikleri Şekil 3.33 ve 3.34'de gösterilmiştir.



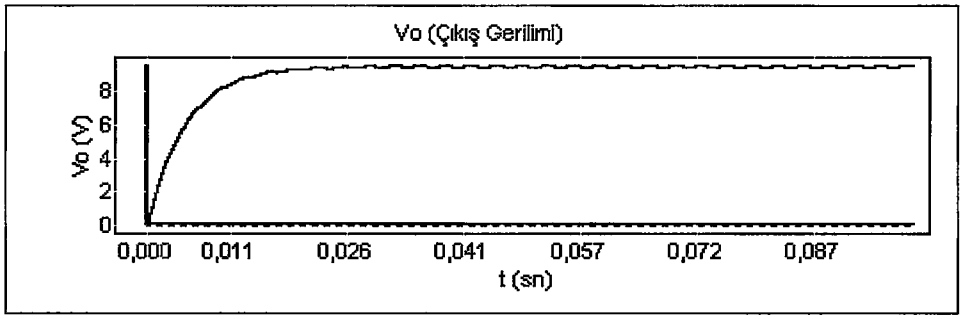

Şekil 3.33. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 3.34. Deneyin 1. maddesine ait denetimsiz üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği

Çıkış grafiklerinden görüldüğü gibi denetimsiz üç fazlı doğrultucu devresinin çıkış gerilimi, giriş geriliminin her bir periyodu için altı tepecikten oluşmaktadır. Burada öğrenciye gösterilmek istenen devrenin bu özelliğidir. Devrenin bu özelliği nedeniyle, üç fazlı devrenin bir fazlılara oranla çıkışından daha doğru bir gerilim üreteceğinin öğrenci tarafından kavranması beklenir. Deney sayfasındaki 1. maddeye bakılacak olursa öğrencinin bu sonucu çıkartmasına yardımcı olacak sorular yer almaktadır.

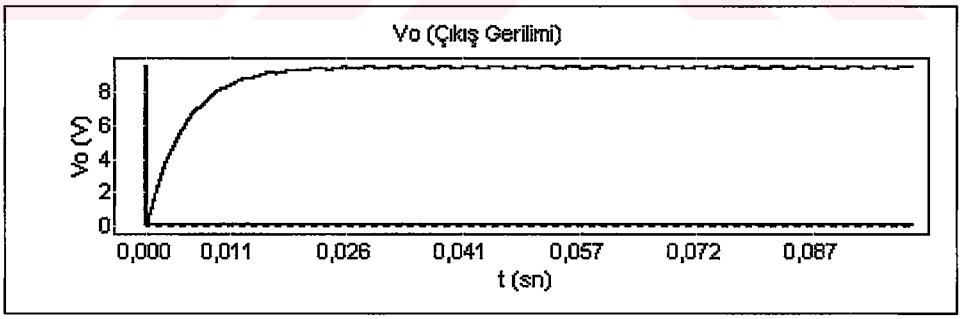
Deneyin 2. maddesinde; verilen değerler için (Vg=20 V, f1=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F) devreye filtre eklemesi ve programı çalıştırması istenmiştir. Bu maddeye ilişkin programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği Şekil 3.35'de gösterilmiştir.



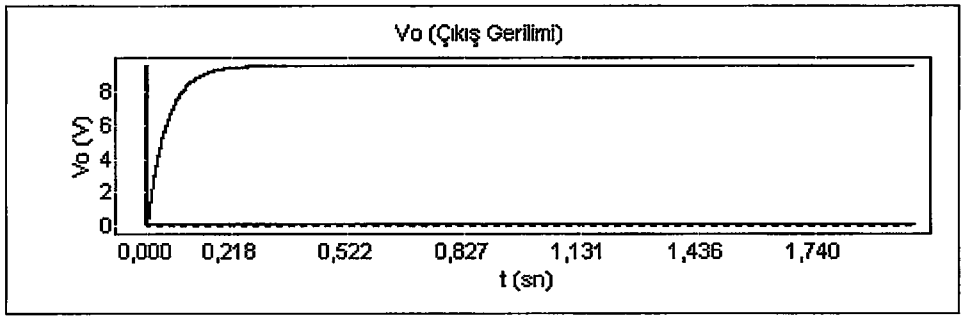

Şekil 3.35. Çıkışında filtre ekli denetimsiz üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Grafikten görüldüğü gibi filtreli devreye ait çıkış gerilimi filtresiz devreden farklı olarak sıfıra kadar düşmemektedir. 2. maddede öğrenciye bu durum grafiklerle gösterilmiştir.

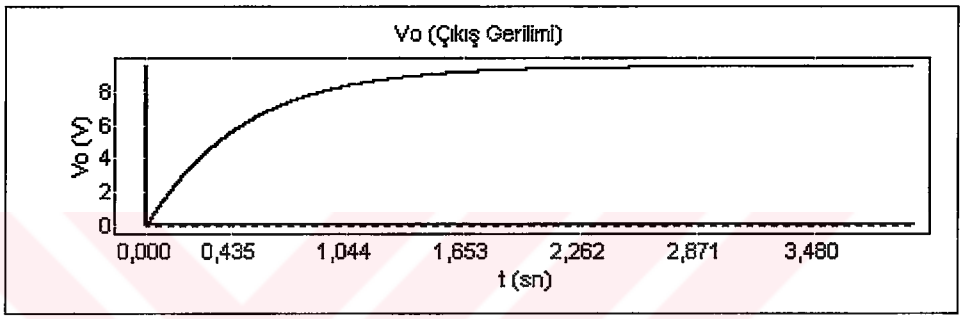
Deneyin 3. maddesinde; tıpkı bir fazlı doğrultucu devrelerinde olduğu gibi üç farklı filtre kondansatörü değeri için çıkış gerilimi grafiklerinin incelenmesi yer almaktadır. Programda verilen değerler bir fazlı devreler için verilen değerlerle aynı seçilmiştir. Bu değerler için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri Şekil 3.36, 3.37 ve 3.38'de gösterilmiştir.




Şekil 3.36. Deneyin 3. maddesine ait C=0,005 F değeri için üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 3.37. Deneyin 3. maddesine ait C=0,05 F değeri için üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 3.38. Deneyin 3. maddesine ait C=0,5 F değeri için üç fazlı doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Grafiklerden görüldüğü gibi kondansatör değeri büyüdükçe çıkıştan elde edilen gerilimin salınımı azalmaktadır. Çıkış gerilimi, bir fazlı devrelerde elde edilene oranla doğru gerilime daha yakındır. Bu durum da öğrenciye grafikler yardımıyla sunularak anlaşılması daha kolay hale getirilmiştir.

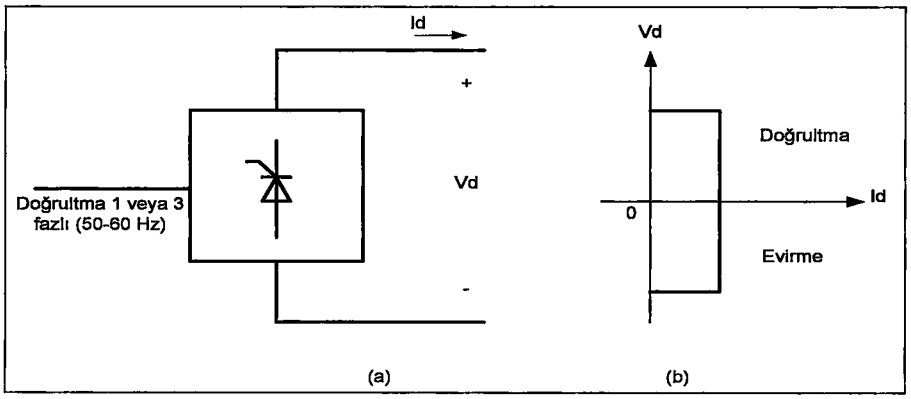
# 4. DENETİMLİ DOĞRULTUCULAR

## 4.1. Giriş

3. Bölümde, şebeke frekansında alternatif giriş gerilimini çıkışta denetimsiz doğru gerilime çeviren şebeke frekanslı diyotlu doğrultucu devreleri için yapılan benzetim programları incelendi.

Buna karşın akümülatör doldurma devreleri ve bir grup d.a ve a.a motor sürme sistemleri gibi bazı uygulamalarda d.a gerilimin denetlenebilir olması gereklidir. A.a'nın denetimli d.a'ya çevrilme işi, şebeke frekanslı faz denetimli çeviricilerde kullanılan tristörler yardımıyla gerçekleştirilir. Bu bölümde d.a tarafındaki gerilimi denetleyen tristörlü doğrultucu devreleri için yapılan benzetim programları incelenecektir.

Tümüyle denetimli bir doğrultucu Şekil 4.1a'da blok diyagram biçiminde gösterilmiştir. Uygulanan alternatif şebeke gerilimleri için d.a tarafındaki ortalama gerilim sürekli olarak pozitif azami değerden negatif asgari değere doğru denetlenebilir. Doğrultucu d.a akım (Id) daha sonra açıklanacağı gibi yön değiştirmez. Bu nedenle bu tip bir doğrultucu Şekil 4.1b'de gösterildiği gibi Vd-Id düzleminde sadece iki bölgede çalışabilir. Burada, Vd ve Id'nin pozitif değerleri güç akışının a.a'dan d.a tarafına olan durum, doğrultmaya karşı düşer. Evirme modunda Vd negatif olurken Id pozitif kalır ve güç akışı d.a'dan a.a tarafına doğrudur. Evirme modu, akümülatör gibi bir güç kaynağının d.a tarafından bulunması durumunda söz konusu olur.(1)




Şekil 4.1. Hat frekanslı denetimli doğrultucu blok diyagramı

## 4.2. Tristörün Tetiklenmesi ve Matematiksel Modelinin Çıkartılması

Tristörün tetikleme anının denetlenmesiyle tristörlü doğrultucu devrelerinin ortalama akımı sıfırdan azami bir değere kadar sürekli olarak denetlenebilir.

Benzetim programlarında tetikleme açısı; 'Alfa' olarak isimlendirilmiştir. Öğrenci, değişken değerleri bölümünden tetikleme açısına 0° ile 180° arasında herhangi bir değer verebilir.

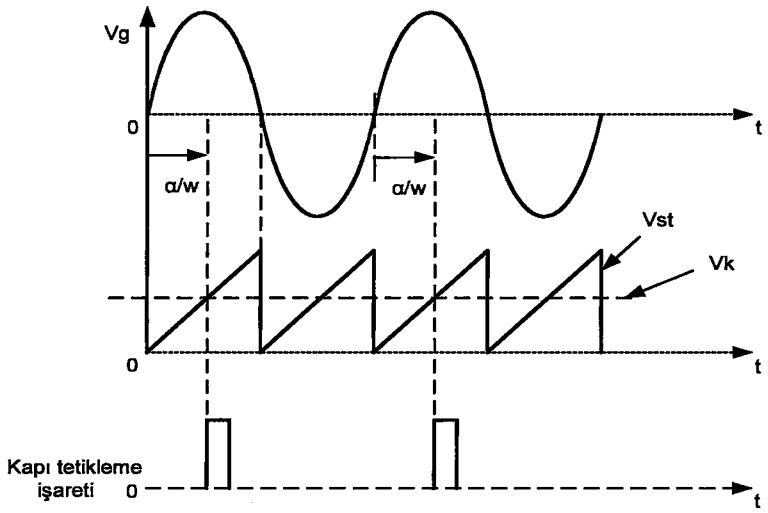
Tristörün tetikleme anının belirlenmesi için, a.a girişine senkron hale getirilmiş testere dişi biçimindeki bir dalga şekli, Vk işareti ile karşılaştırılır. A.a faz geriliminin pozitif sıfır geçişlerine göre belirlenen tetikleme açıları (Alfa) ,Vk ve testere dişi fonksiyonunun tepe değeri (Vst) cinsinden aşağıdaki gibi belirlenir. (1)

$$Alfa^\circ = 180^\circ . \frac{V_k}{\hat{V}_{st}} \qquad [4.1]$$

Programda testere dişi geriliminin tepe değeri 1 V olarak belirlenmiştir. Bu duruma göre Vst ile karşılaştırılacak olan denetim gerilimi Vk aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_k = \frac{Alfa^\circ}{180^\circ} \qquad [4.2]$$

Şekil 4.2'de tristörün tetikleme açısının nasıl belirlendiği gösterilmiştir.




Şekil 4.2. Kapı tetikleme denetimi

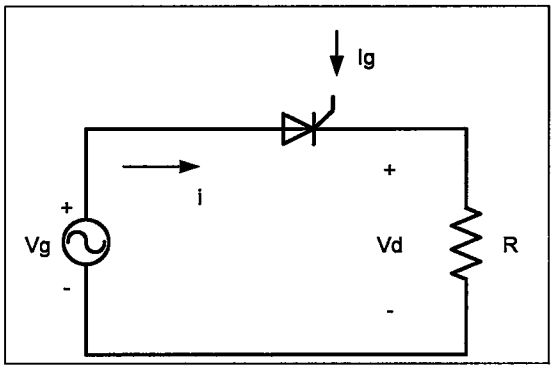
Şekil 4.2'ye göre fs frekansına sahip a.a giriş gerilimine senkron hale getirilmiş testere dişi gerilimini oluşturan program kodu aşağıda verilmiştir.

```
Ts=1/fs;
Vst=(2*t)/Ts-floor((2*t)/Ts);
Vk=alfa/180;
```

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi tristörün tetiklenme anı, Vst ile denetim gerilimi Vk'nın birbirine eşit olduğu andır. Bu durumda Vst geriliminin Vk işaretinden küçük olduğu zaman aralıklarında tristör iletimde değildir. Denetimli doğrultucular modellenirken bu mantık ifadesi kullanılmıştır.

### 4.3. Denetimli Bir Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu

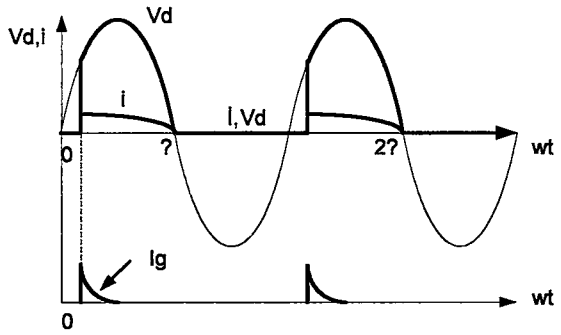
Şekil 4.3'de hat frekanslı alternatif gerilim kaynağı (Vg) bir tristör üzerinden yük direncine bağlanmıştır. Böyle bir devrede, verilen a.a giriş gerilimi için tristörün iletime geçirildiği anların geciktirilmesiyle ortalama çıkış geriliminin genliği denetlenebilir.




Şekil 4.3. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucu

### 4.3.1. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil 4.3'deki devrede, Vg'nin pozitif yarı periyodunda tristöre kısa süreli pozitif bir kapı darbesi uygulandığı wt=Alfa anına kadar akım sıfırdır. Tristörün iletime geçmesiyle birlikte, yük üzerine uygulanan gerilim, giriş gerilimine eşit olur (Vd=Vg). Pozitif yarı periyodun geri kalan bölümünde akım dalga şekli a.a gerilim dalga şeklini izler ve wt=π olduğunda sıfır olur. Daha sonra tristör Vg'nin negatif yarı periyodu süresince akım akışını engeller (Vd=0). Akım, yeni bir kısa süreli kapı darbesinin uygulandığı wt=2π+Alfa anına kadar sıfır değerinde kalır. İletime birlikte bir sonraki dalga şekline ilişkin periyot başlar. Alfa ayarlanarak yük gerilimi Vd'nin ortalama değeri denetlenir. Şekil 4.4'de, devreye ait akım ve gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir. (1,2)




Şekil 4.4. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucuya ait akım ve gerilim dalga şekilleri

Devrenin matematiksel modeli çıkartılırken bu çalışma prensibi göz önünde tutulur. Vd'nin elde edilmesinde aşağıda gösterilen mantıksal ifadeler kullanılır.

$$Vd = \begin{cases} Vg & Vg > 0 \text{ veya } Vk > Vst \\ 0 & Vg < 0 \text{ veya } Vk < Vst \end{cases}$$

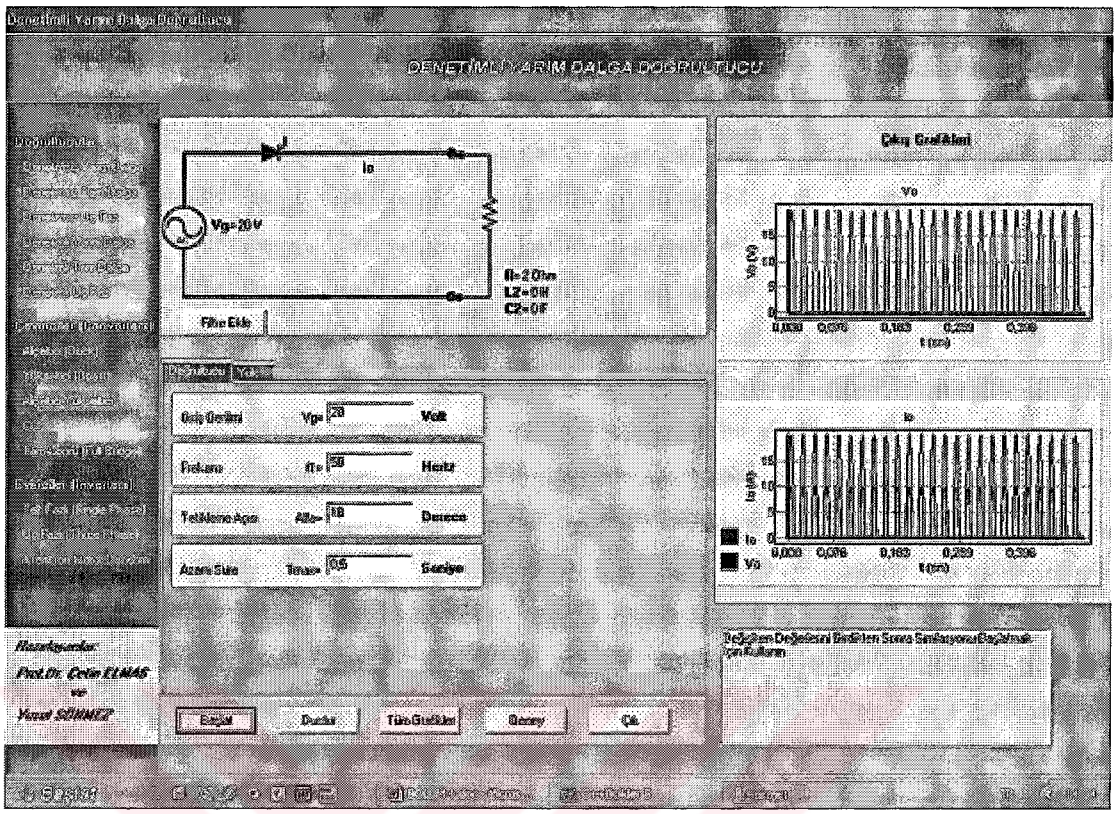
Vd'nin elde edilmesi için gerekli program kodu aşağıda gösterildiği gibi yazılır.

```
Ts=1/fs; delt=0.0001;
for(t=0;t<=tmax;t=t+delt)
{
Vg=Vgmax*sin(2*M_PI*fs*t);
Vst=(2*t)/Ts-floor((2*t)/Ts);
Vk=alfa/180;
if(Vg<0||Vst>Vk)
Vd=0;
else Vd=Vg;
}
```

Vd gerilimi elde edildikten sonra, yük üzerine uygulanarak çıkışa ait akım ve gerilim değerleri elde edilir.

### 4.3.2. Denetimli yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası

Denetimli yarım dalga doğrultucuya ait program ana sayfası Şekil 4.5'de gösterilmiştir.




Şekil 4.5. Denetimli bir fazlı yarım dalga doğrultucu program ana sayfası

Program ana sayfasındaki devre şekli üzerine çizdirilen akım yolu, denetimsiz bir fazlı yarım dalga doğrultucu devresi ile aynı şekilde çizdirilmiştir. Denetimsiz devreden farklı olarak, devre değişkenleri bölümüne, tristörün tetikleme açısını belirlemek için bir etiket daha yerleştirilmiştir.

### 4.3.3. Denetimli yarım dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası

Aşağıda italik yazılı kısımlar halinde denetimli yarım dalga doğrultucuya ait deney sayfası gösterilmiştir. Devre değişkenlerinin farklı değerleri için çıkışında verebileceği tepkiler, deney sayfası ile öğrenciye grafikler yardımıyla kazandırılır.

*DENEY 4: DENETİMLİ YARIM DALGA DOĞRULTUCU DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Denetimli Yarım Dalga Doğrultucu değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi, grafiklerinin çizdirilmesi. Tristörün iletim ve kesim durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir.Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla,bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz.Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız. Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Doğrultucu ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Şebeke Frekansı f1, Tristör Tetikleme Açısı alfa) "DOĞRULTUCU" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L, Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*1- Giriş gerilimi ve frekans değerlerini kullanarak programı çalıştırın. Bu işlemi farklı giriş gerilimi ve frekans değerleri için tekrarlayın. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Giriş geriliminin alternansına göre tristörün iletim ve kesim durumlarına dikkat ediniz. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri).*

*Sonuç:*

***2-*** *Vg=20 V, f1=50 Hz, değerlerini sabit tutarak Tristörün tetkleme açısı alfa' yı 0 ile 180 derece arasında değiştirin ve her bir alfa değeri için programı çalıştırın. Çizdirilen bütün grafikleri inceleyin. Alfa değeri büyüdükçe tristörün iletimde kalma süresi azaldı mı? Özellikle tristör tetikleme açısının 0, 90 ve 180 derece değerlerine dikkat edin. 0 derecede tristör hangi eleman gibi davrandı? 90 derecede giriş geriliminin ne kadarı kırpıldı? 180 derecede çıkış gerilimi ne oldu? alfa'nın 0, 90 ve*

*180 derece değerleri için aşağıda verilen yerlere Çıkış Gerilimi Grafiklerini yapıştırın.*

*alfa=0 Derece*

*alfa=90 Derece*

*alfa=180 Derece*

*Sonuç:*

*3- "Filtre Ekle" butonuna basarak devreye filtreyi ekleyin. Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F değerleri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Devreye filtre eklendiğinde çıkış geriliminin min. değeri neden sıfıra inmedi? Aşağıdaki tabloya göre verilen Alfa değerleri için programı çalıştırın. Her bir değere karşılık gelen ortalama Çıkış Gerilimi değerini grafiklerden okuyun ve tabloya yazın.*

| *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Alfa=0* | *Vo1=* |
| *Alfa=30* | *Vo2=* |
| *Alfa=60* | *Vo3=* |
| *Alfa=120* | *Vo4=* |
| *Alfa=180* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*4- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, fl=50 Hz, alfa=30 derece, Rf=2 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Kondansatörü Cf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin. Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Kondansatörü'nün değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Cf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Kondansatörü Cf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Cf=0,005 F* | *Vo1=* |
| *Cf=0,05 F* | *Vo2=* |
| *Cf=0,5 F* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Cf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Cf=0,005 F*

*Cf=0,05 F*

*Cf=0,5 F*

*Sonuç:*

*5- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, fl=50 Hz, alfa=30 derece, Cf=0,05 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Direnci Rf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Direnci'nin değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Rf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Direnci Rf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Rf=2 Ohm* | *Vo1=* |
| *Rf=10 Ohm* | *Vo2=* |
| *Rf=20 Ohm* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Rf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Rf=2 Ohm*

*Rf=10 Ohm*

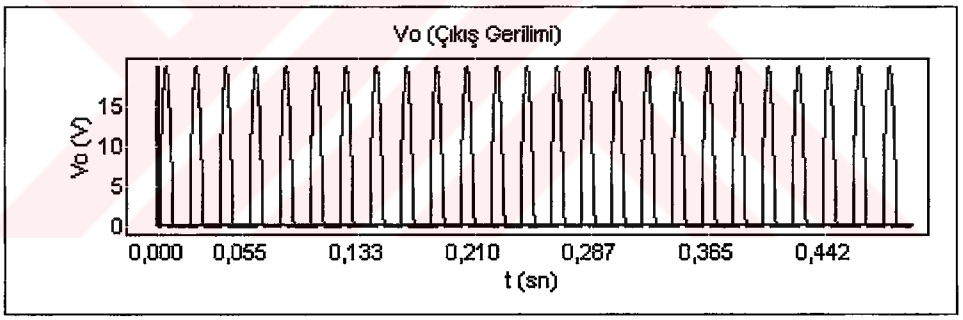
*Rf=20 Ohm*

*Sonuç:*

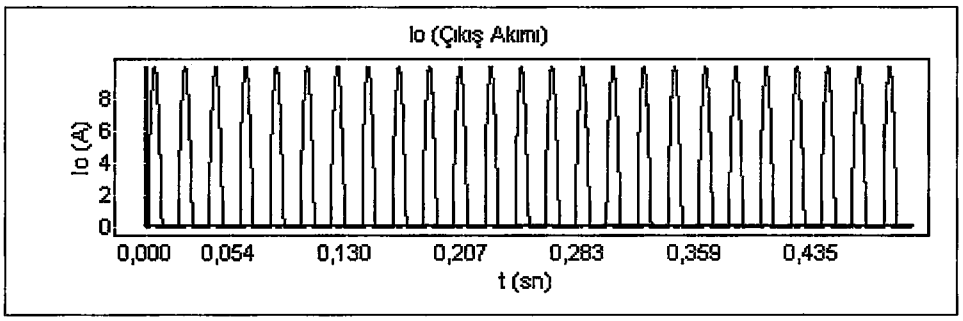
*6- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deneyin 1.maddesinde; verilen değerler için (Vg=20 V, f1=50 Hz, Alfa=18°) öğrenciden programı çalıştırması ve çıkış ile tristöre ait grafikleri incelemesi istenmiştir.

Çıkış grafikleri ile öğrenciye gösterilmek istenen; tristörün Vg'nin pozitif yarı periyodunda Alfa açısı kadar sonra iletime geçtiği ve Vg'nin negatif yarı periyodunda devre akımını iletmediğidir. Programda çizdirilen çıkışa ait grafikler Şekil 4.6 ve 4.7'de gösterilmiştir.

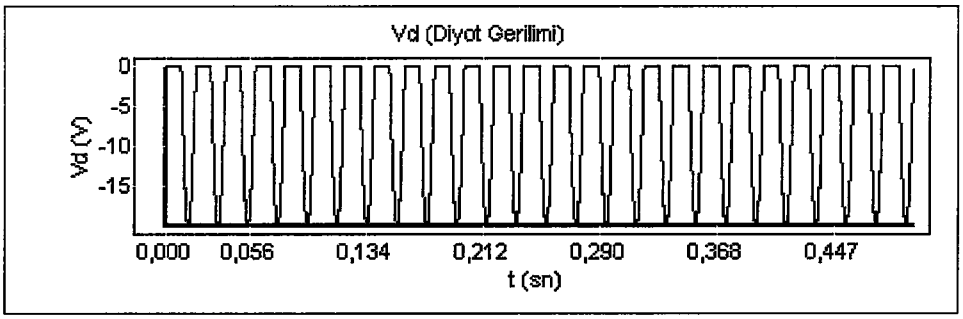



Şekil 4.6. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

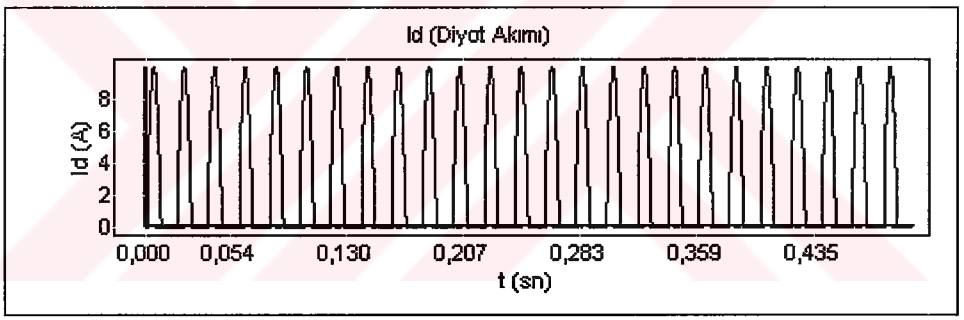



Şekil 4.7. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış akımı grafiği

Şekil 4.8 ve 4.9'da programda çizdirilen tristöre ait grafikler gösterilmiştir. Bu grafikler yardımıyla öğrenci, tristörün kesimde olduğu süre zarfında üzerine negatif Vg geriliminin düştüğünü anlayacaktır.

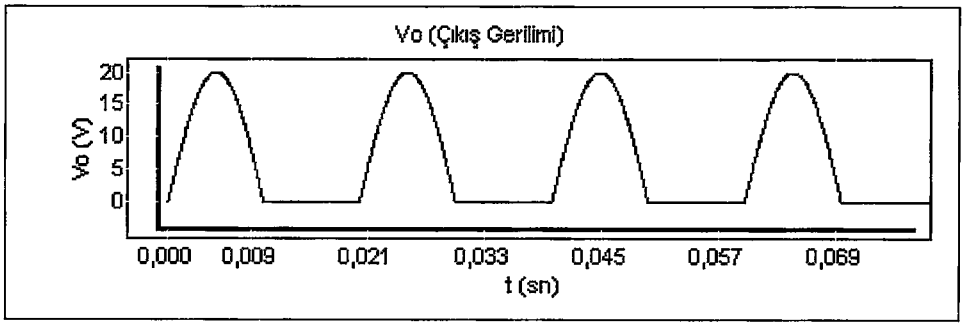



Şekil 4.8. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen tristör gerilimi grafiği

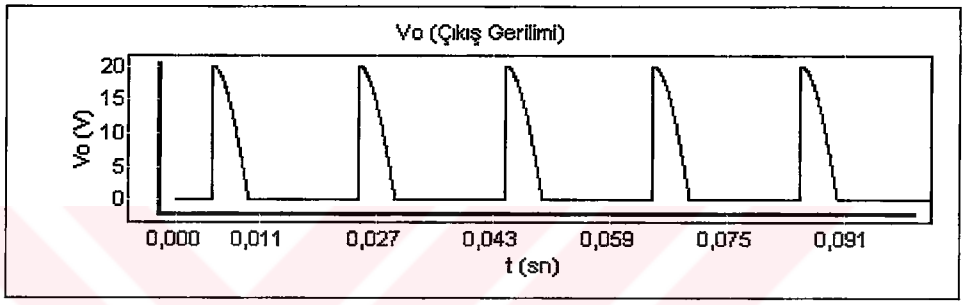



Şekil 4.9. Deneyin 1. maddesine ait, denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen tristör akımı grafiği

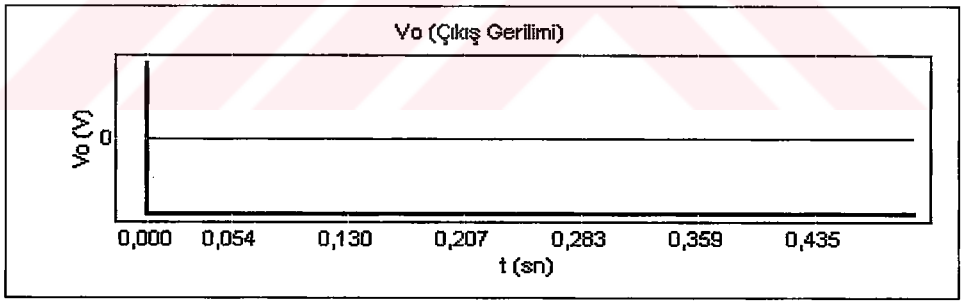
Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden, tristörün tetikleme açısını değiştirerek her Alfa değeri için programı çalıştırması ve çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi istenmiştir. Deneyin bu maddesini gerçekleştiren öğrenci, Alfa açısının değeri doğrultusunda çıkış geriliminin ne kadarının kırpıldığını görecektir. Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de Alfa=0°, Alfa=90° ve Alfa=180° için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 4.10. Alfa=0° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



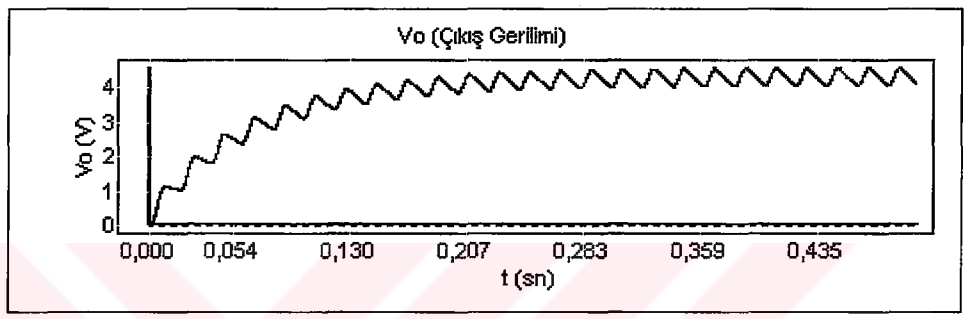

Şekil 4.11. Alfa=90° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



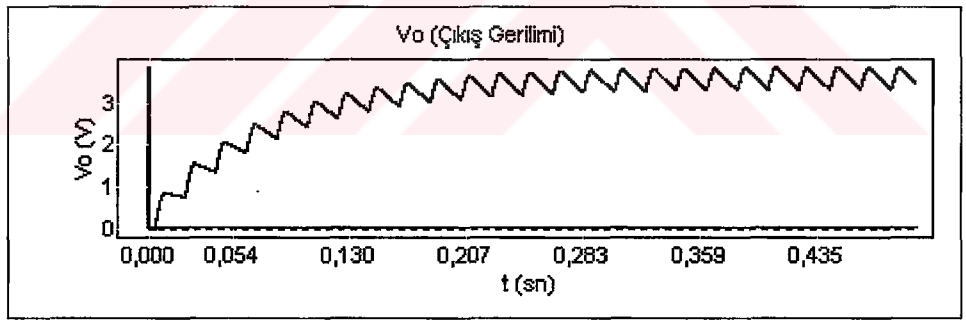

Şekil 4.12. Alfa=180° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi Alfa= 0° 'de tristör, giriş geriliminin pozitif alternansı boyunca iletimdedir. Tristör diyot gibi davranır. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi Alfa=90° iken giriş geriliminin pozitif yarı periyodunun yarısı kırpılmaktadır. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi Alfa= 180° 'de giriş geriliminin pozitif yarı periyodunun hepsi kırpılarak tristörün devre akımını iletmediği öğrenciye gösterilmektedir.

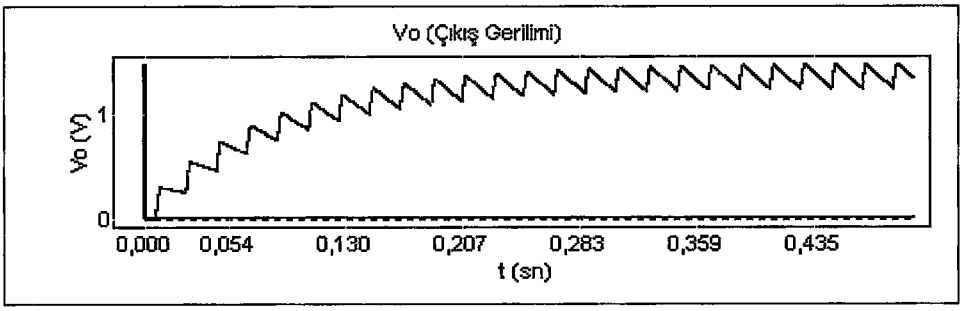
Deneyin 3. maddesinde; devrede filtre ekli durumdayken, öğrenciden verilen değerleri sabit tutarak (Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ω, Cf=0,05 F) Alfa'nın farklı değerleri için programı çalıştırması ve çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi istenmiştir. Burada öğrenciye, Alfa değerinin çıkış geriliminin ortalama değerini nasıl değiştirdiği gösterilmek istenmiştir. Şekil 4.13, 4.14, 4.15'de Alfa=0°, Alfa=60°, Alfa=120° için filtreli devreye ait programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 4.13. Alfa=0° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği (filtre ekli devre)

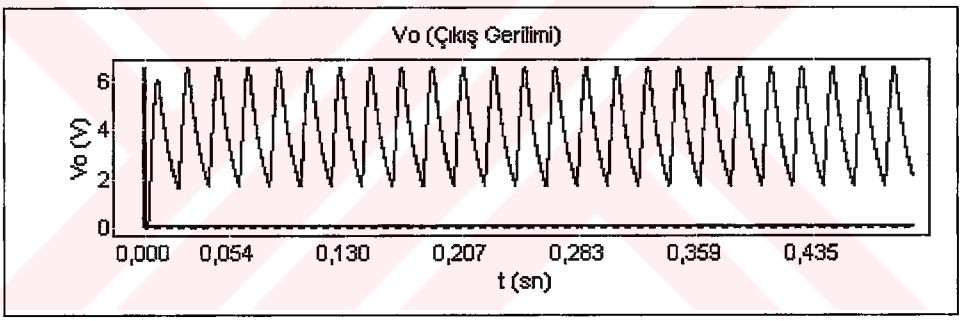



Şekil 4.14. Alfa=60° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilençıkış gerilimi grafiği (filtre ekli devre)

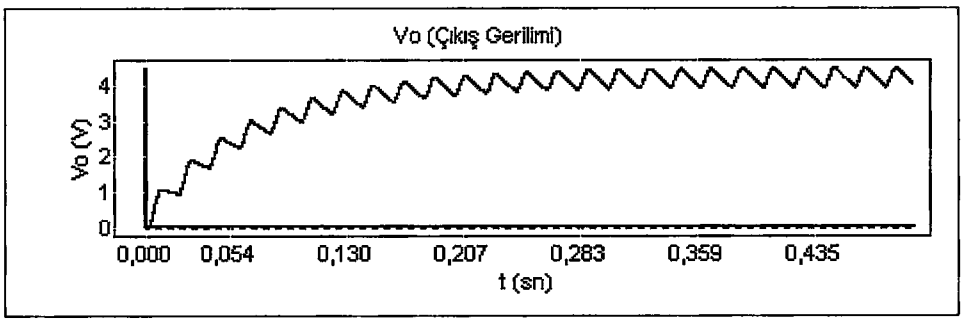



Şekil 4.15. Alfa=120° için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği (filtre ekli devre)

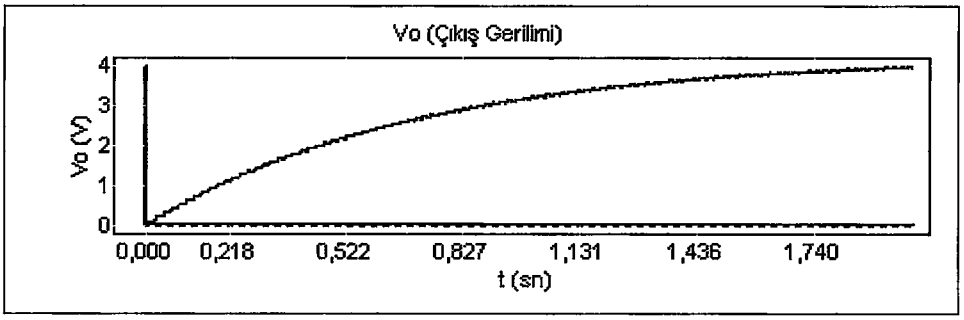
Deneyin dördüncü maddesinde; filtre kondansatörü değerinin büyümesiyle çıkışta elde edilen gerilimin, doğru gerilime daha çok yaklaştığı gösterilir. Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de Cf=0,005 F, Cf=0,05 F ve Cf=0,5 F için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 4.16. Cf=0,005F için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



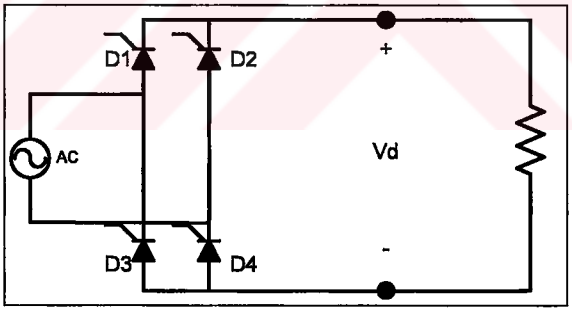

Şekil 4.17. Cf=0,05F için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 4.18. Cf=0,5F için denetimli yarım dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

## 4.4. Denetimli Bir Fazlı Tam Dalga Doğrultucu

Şekil 4.19'da bir fazlı tristörlü köprü doğrultucu devresi gösterilmiştir. Devre akımı Id, üst gruptaki tristörlerin birinden (1 veya 3) geçip alt gruptaki bir tristör (2 veya 4) üzerinden devresini tamamlar. Eğer kapı akımları tristörlere sürekli olarak uygulanırsa, tristörler diyot şeklinde davranırlar. Böyle bir durumda 1 ve 2 numaralı tristörler için iletim anı wt=0 iken, 3 ve 4 numaralı tristörler için bu an wt=π dir.(1)

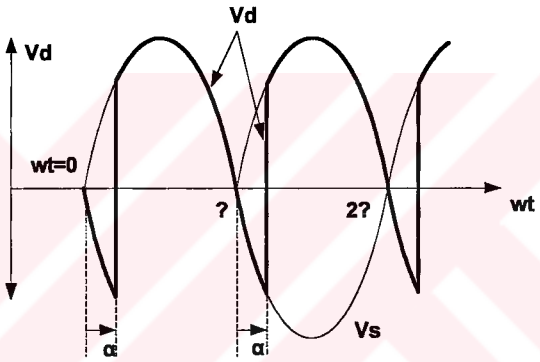



Şekil 4.19. Bir fazlı tristörlü köprü doğrultucu

### 4.4.1. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil 4.19'da görülen devredeki tristörlere Alfa tetikleme açısı kadar bir gecikmeyle akım darbesi uygulandığında wt=0 anından önce, akım 3 ve 4 numaralı tristörlerden geçer ve Vd=-Vg dir.

Bir numaralı tristörün uçlarındaki gerilim, wt=0'dan sonra ileri yönde kutuplanır, ancak kapı akım darbesinin uygulandığı wt=Alfa anına kadar iletime geçmez. Aynı durum iki numaralı tristör için de geçerlidir. Alfa gecikmesinin bir sonucu olarak 0 ile Alfa aralığında Vd negatif olur. Wt=Alfa durumunda akımın, 3 ve 4 numaralı tristörlerden 1 ve 2 numaralı tristörlere geçişi gerçekleşir. 1 ve 2 numaralı tristörler iletime geçtiğinde Vd=Vg olur. Bu tristörler 3 ve 4 numaralı tristörlerin doğal iletim noktasına göre (wt=Alfa) bir Alfa açısı kadar gecikmeyle tetiklendiği için π+Alfa'ya kadar iletimde kalırlar. Bu süre sonunda, akım benzeri bir aktarımla 1 ve 2 numaralı tristörlerden tekrar 3 ve 4 numaralı tristörlere geçer.Şekil 4.20'de Alfa'nın etkisiyle oluşan Vd geriliminin dalga şekli gösterilmiştir. (1,2)




Şekil 4.20. Tristörlü doğrultucuya ait Alfa gecikmeli Vd gerilim grafiği

Yukarıda açıklanan bu çalışma prensibi doğrultusunda Vd gerilimini elde etmek için aşağıdaki mantıksal ifadeler kullanılır.

Vg> 0 iken;

$$Vd = \begin{cases} -Vg & Vk > Vst \\ Vg & Vk <= Vst \end{cases}$$

Vg< 0 iken;

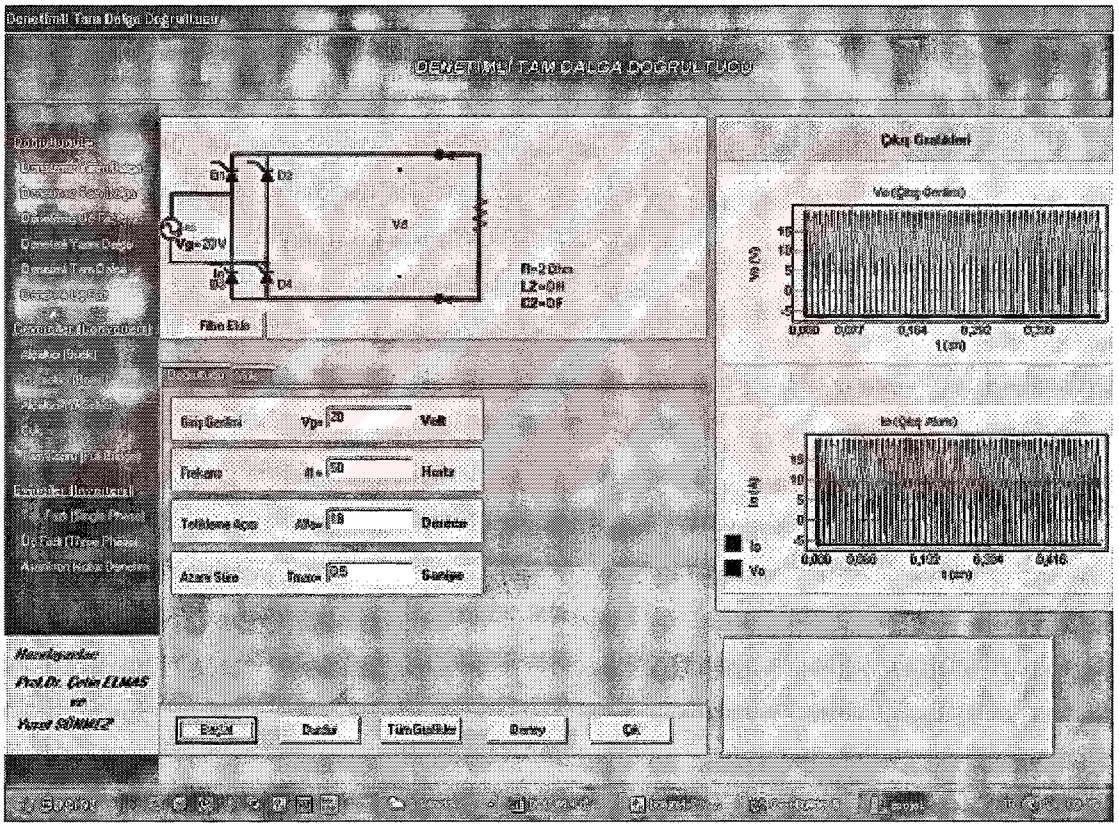
$$Vd = \begin{cases} -Vg & Vk < Vst \\ Vg & Vk >= Vst \end{cases}$$

Bu mantık çerçevesinde Vd gerilimini ifade eden program kodu aşağıda gösterilmiştir.

```
Tmax=1;f1=50;delt=0,0001;
for (t=0,c=1;t<=Tmax;t=t+delt)
{
Vg=Vgmax*sin(2*M_PI*f1*t);
Vst=(2*t)/Ts-floor((2*t)/Ts);
Vk=alfa/180;
if(Vg>0)
{
if(Vk>Vst)
Vd=(-1)*Vg;
else
Vd=Vg;
}
if(Vg<0)
{
if(Vk<=Vst)
Vd=(-1)*Vg;
else
Vd=Vg;
}
}
```

### 4.4.2. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası

Şekil 4.21'de denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi için hazırlanan program ana sayfası gösterilmiştir. Ana sayfadaki devre şekli üzerine çizdirilen akım yolu, denetimsiz tam dalga doğrultucu programında anlatıldığı gibidir. Ayrıca Alfa gecikmesinin devre üzerindeki etkisini öğrencinin görebilmesi için devre değişkenleri bölümüne bir etiket daha yerleştirilmiştir. Bu bölümden, tetikleme açısı (Alfa) ve diğer devre değişkenlerine istenilen değer verilebilir.




Şekil 4.21. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu program ana sayfası

### 4.4.3. Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası

Denetimli bir fazlı tam dalga doğrultucu benzetimi için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı kısımlar halinde gösterilmiştir. Deney sayfası ile öğrencinin programda yapacağı işler maddeler halinde sıralanmıştır. Hazırlanan bu işlemlerle, deney sayfasının öğrenciye devreyle ilgili hangi özellikleri kazandıracağı aşağıda anlatılacaktır.

*DENEY 5: DENETİMLİ TAM DALGA DOĞRULTUCU DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Denetimli Tam Dalga Doğrultucu değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi.Tristörün iletim ve kesim durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız. Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Doğrultucu ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Şebeke Frekansı fl, Tristör Tetikleme Açısı alfa) "DOĞRULTUCU" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L, Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*1- Giriş gerilimi ve frekans değerlerini kullanarak programı çalıştırın. Bu işlemi farklı giriş gerilimi ve frekans değerleri için tekrarlayın. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Giriş geriliminin alternansına göre tristörün iletim ve kesim durumlarına dikkat ediniz. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Çıkış Gerilimi; seçtiğiniz aynı değerler için Denetimsiz Tam Dalga Doğrultucuya göre, doğru gerilime daha çok yaklaştı mı?*

*Sonuç:*

*2- Vg=20 V, f1=50 Hz, değerlerini sabit tutarak Tristörün tetkleme açısı alfa' yı 0 ile 180 derece arasında değiştirin ve her bir alfa değeri için programı çalıştırın. Çizdirilen bütün grafikleri inceleyin. Alfa değeri büyüdükçe tristörün iletimde kalma süresi azaldı mı? Özellikle tristör tetikleme açısının 0, 90 ve 180 derece değerlerine dikkat edin. 0 derecede tristör hangi eleman gibi davrandı? 90 derecede giriş geriliminin ne kadarı kırpıldı? 180 derecede çıkış gerilimi ne oldu? alfa'nın 0, 90 ve 180 derece değerleri için aşağıda verilen yerlere Çıkış Gerilimi Grafiklerini yapıştırın.*

*alfa=0 Derece*

*alfa=90 Derece*

*alfa=180 Derece*

*Sonuç:*

*3- "Filtre Ekle" butonuna basarak devreye filtreyi ekleyin. Vg=20 V, f1=50 Hz, alfa=30 derece, Rf=2 Ohm, Cf=0.005 F değerleri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Devreye filtre eklendiğinde çıkış geriliminin min. değeri neden sıfıra inmedi? Aşağıdaki tabloya göre verilen Alfa değerleri için programı çalıştırın. Her bir değere karşılık gelen ortalama Çıkış Gerilimi değerini grafiklerden okuyun ve tabloya yazın.*

| *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Alfa=0* | *Vo1=* |
| *Alfa=30* | *Vo2=* |
| *Alfa=60* | *Vo3=* |
| *Alfa=120* | *Vo4=* |
| *Alfa=180* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*4- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, f1=50 Hz, alfa=30 derece, Rf=2 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Kondansatörü Cf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Kondansatörü'nün değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Cf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Kondansatörü Cf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Cf=0,005 F* | *Vo1=* |
| *Cf=0,05 F* | *Vo2=* |
| *Cf=0,5 F* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Cf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Cf=0,005 F*

*Cf=0,05 F*

*Cf=0,5 F*

*Sonuç:*

*5- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, f1=50 Hz, alfa=30 derece, Cf=0,05 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Direnci Rf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış*

*grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Direnci'nin değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Rf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Direnci Rf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Rf=2 Ohm* | *Vo1=* |
| *Rf=10 Ohm* | *Vo2=* |
| *Rf=20 Ohm* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Rf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Rf=2 Ohm*

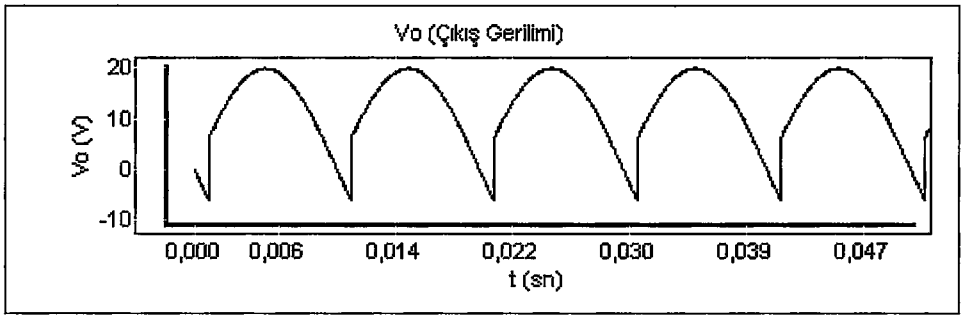
*Rf=10 Ohm*

*Rf=20 Ohm*

*Sonuç:*

*6- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

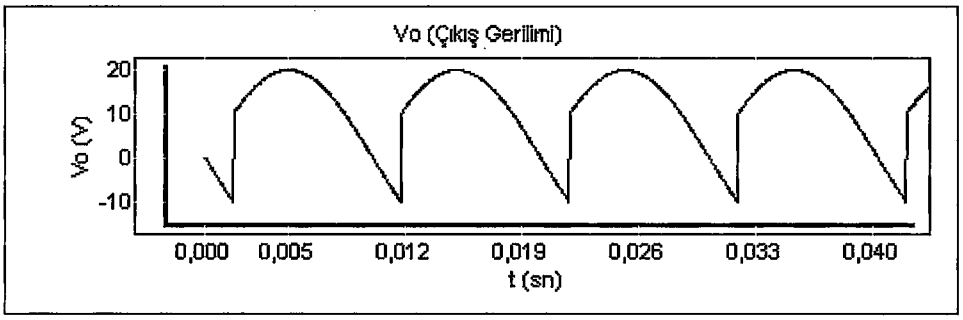
Deneyin 1. maddesinde; verilen değerler için (Vg=20 V, fl=50 Hz, Alfa=18°) öğrenciden programı çalıştırması ve çıkış ile tristör grafiklerini incelemesi istenmiştir. Buradaki amaç Alfa gecikmesinin çıkış üzerindeki etkisini öğrenciye göstermektir. Şekil 4.22'de programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği gösterilmiştir.



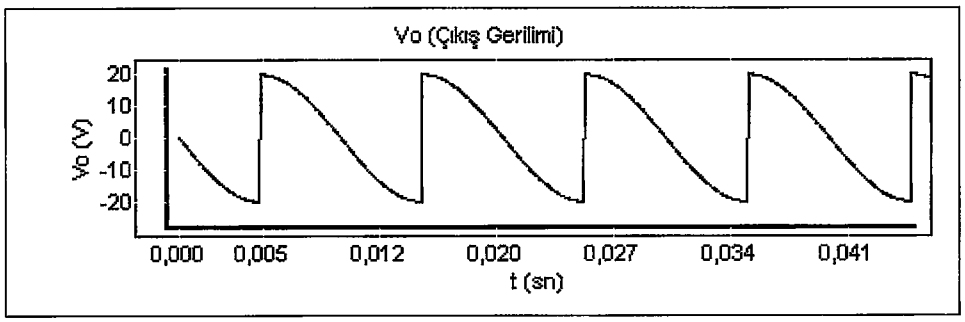

Şekil 4.22. Deneyin 1. maddesine ait denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Şekil 4.22'de görüldüğü gibi programda çizdirilen çıkış grafiği yukarıda anlatılan devrenin çalışma prensibi ile bire bir örtüşmektedir. Bu sayede öğrenci, hangi diyotların ne kadar süre iletimde olduğunu daha kolay kavrayacaktır.

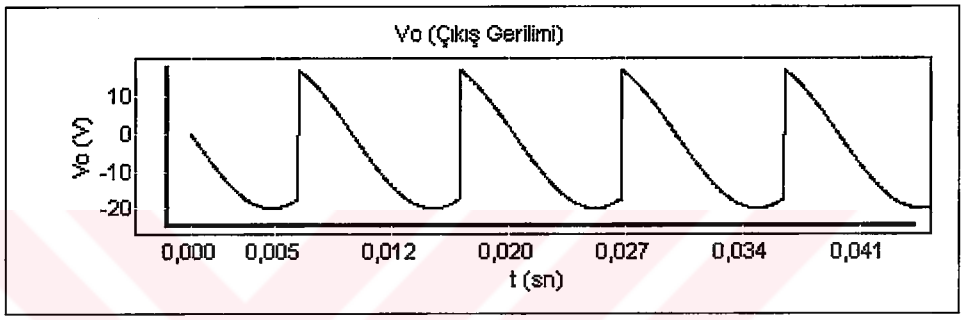
Deneyin 2.maddesinde; verilen değerler için (Vg=20 V, f1=50 Hz) öğrenciden Alfa değerini değiştirerek her değer için programı çalıştırması ve çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Buradaki amaç; Alfa değerine karşı çıkış geriliminin ne kadarının kırpıldığını öğrenciye göstermektir. Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de Alfa=30° ,Alfa=90° ve Alfa=120° için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 4.23. Alfa=30° için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



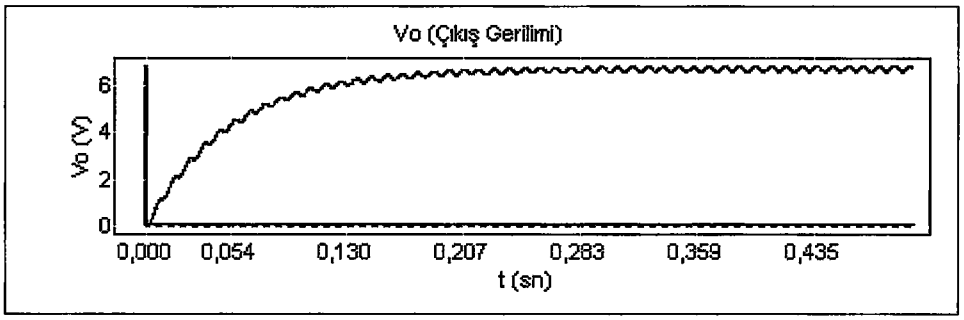

Şekil 4.24. Alfa=90° için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



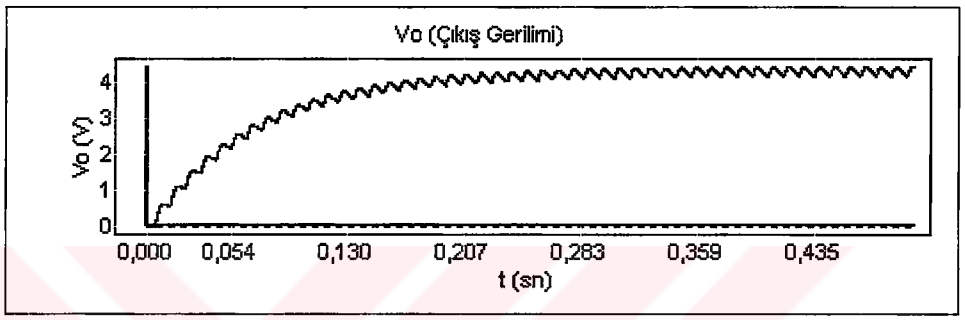

Şekil 4.25. Alfa=120° için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Şekillerde görüldüğü gibi, Alfa değeri büyüdükçe çıkış geriliminin daha çok kırpıldığı grafikler yardımı ile öğrenciye daha kolay anlatılmaktadır.

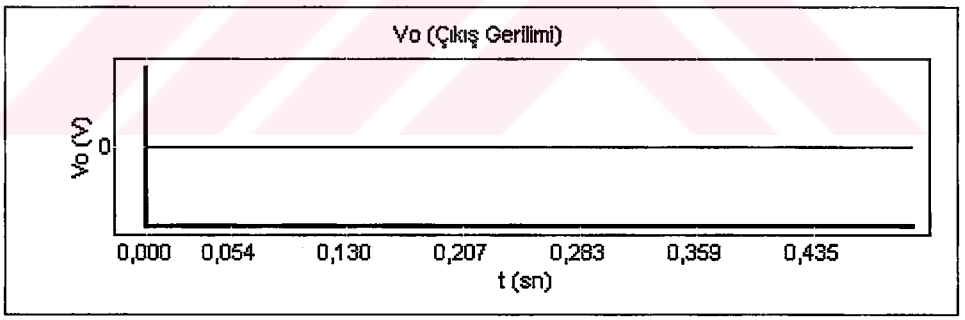
Deneyin 3.maddesinde; öğrenciden devreye filtre eklemesi ve farklı Alfa değerleri için program çalıştırması istenmiştir. Buradaki amaç; filtre ekli doğrultucu devresinin,çıkışında doğru gerilime daha çok yakın bir gerilim dalga şekli ürettiğini ve Alfa değerinin, ortalama çıkış gerilimini (Vo) değiştirdiğini öğrenciye göstermektir. Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de Alfa=0°, Alfa=90° ve Alfa=180° için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 4.26. Alfa=0° için filtreli denetimli köprü doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği



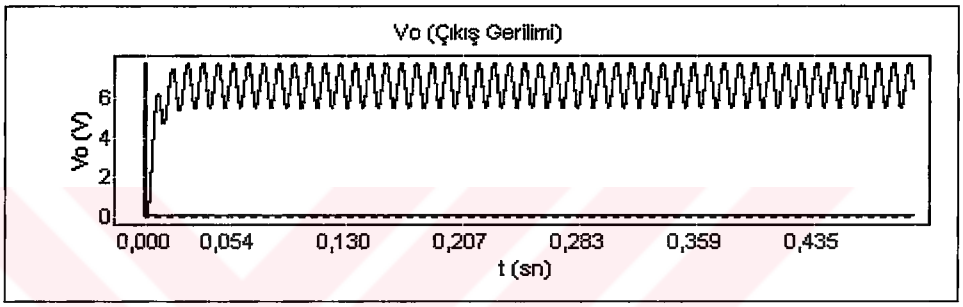

Şekil 4.27. Alfa=90° için çıkışında filtre olan denetimli köprü doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği



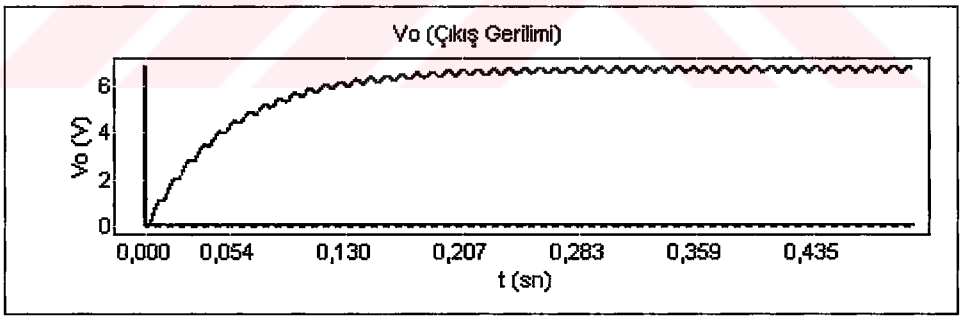

Şekil 4.28. Alfa=180° için çıkışında filtre olan denetimli köprü doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği

Grafiklerden görüldüğü gibi Alfa değeri büyüdükçe çıkış gerilimi küçülmektedir. Alfa=180° için tristörler iletime geçemeyecek ve devrenin çıkışında gerilim üretmeyecektir. Grafikler, devrenin bu özelliklerini öğrenciye görsel olarak anlatmaktadır.

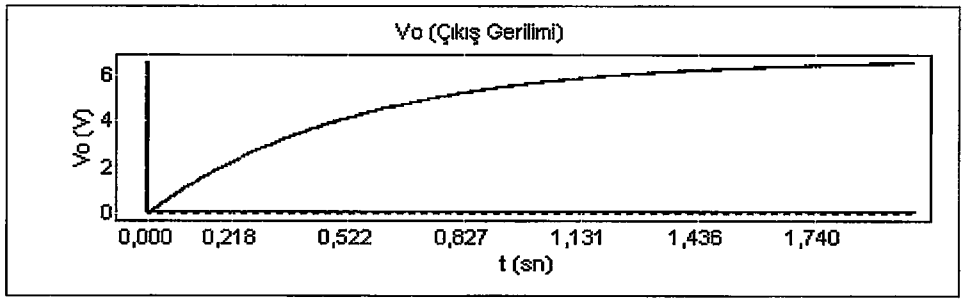
Deneyin 4. maddesinde, devrede filtre ekli durumda iken verilen değerler için (Vg=20 V, fl=50 Hz, Alfa=18°, Rf=20 Ω) öğrenciden filtre kondansatörü Cf değerini değiştirerek programı çalıştırması ve çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Verilen değerler denetimli yarım dalga doğrultucu deneyinde verilen değerlerle aynı seçilmiştir. Öğrenciden, bu grafikler arasında bir karşılaştırma yaparak tam dalga doğrultucunun daha doğru gerilim ürettiğini görmesi amaçlanır. Şekil 4.29, 4.30 ve 4.31'de Cf=0,005 F, Cf=0,05 F ve Cf=0,5 F değerleri için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 4.29. Cf=0,005 F için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 4.30. Cf=0,05 F için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

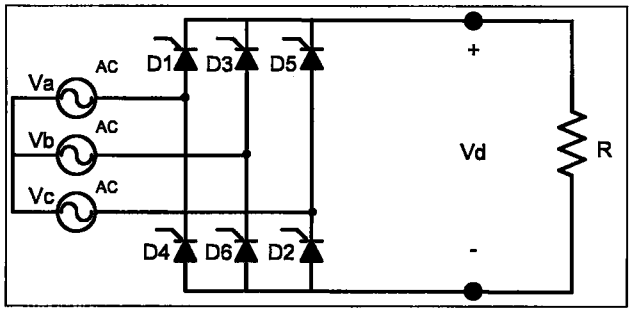



Şekil 4.31. Cf=0,5 F için denetimli tam dalga doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

## 4.5. Denetimli Üç Fazlı Tam Dalga Doğrultucu

Şekil 4.32'de kaynak endüktansı ihmal edilmiş (Ls=0) denetimli üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi gösterilmiştir. Üç farklı kaynaktan uygulanan gerilimler (Va, Vb, Vc) arasında 120° faz farkı bulunmaktadır. Id akımı üst gruptaki tristörlerin birinden (1, 3 ve 5 numaralı), alt gruptaki (2, 4 ve 6 numaralı) tristörlerin birine akar.

Kapı akımları sürekli uygulanacak olursa, Şekil 4.32'deki tristörler diyot gibi davranacak ve çalışmaları önceki bölümde denetimsiz üç fazlı doğrultucuda anlatıldığı gibi olacaktır.

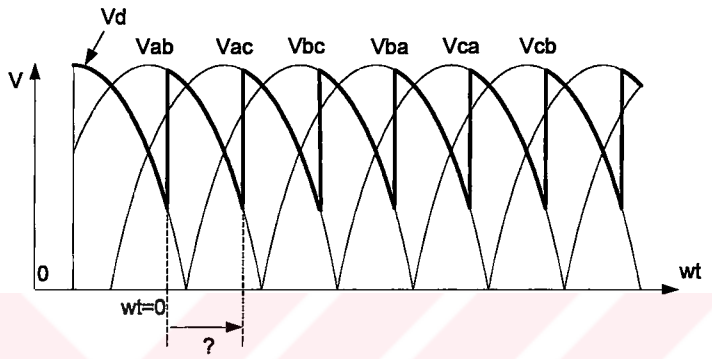



Şekil 4.32. Üç fazlı tristörlü doğrultucu

### 4.5.1.Denetimli üç fazlı tam dalga doğrultucu devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil 4.32'deki devrede tristörlerin numaralandırılması iletim durumları göz önünde tutularak yapılmıştır. (1-2, 3-4, 5-6) Tetikleme açısı Alfa'nın çeviricinin dalga

biçimleri üzerindeki etkisi Şekil 4.33'de gösterilmiştir.Akımın 5 numaralı tristörden 1 numaralı tristöre aktarılmasına dikkat edilecek olursa, 5 numaralı tristörün wt=Alfa olana kadar iletimini sürdüreceğini tam o anda da Ls=0 olması nedeniyle akımın 1 numaralı tristöre ani olarak aktaracağını görürüz. Diğer tristörlerin iletimde de Alfa açısına karşı düşen benzer bir gecikme söz konusu olur. Yük üzerine düşen gerilim Vd'nin grafiği Şekil 4.33'de gösterildiği gibidir.




Şekil 4.33. Üç fazlı tristörlü çeviriciye ait dalga biçimleri

Devrenin matematiksel modeli çıkartılırken, her üç fazın pozitif ve negatif alternanslarının denetimi için ayrı testere dişi dalga üretilir. Va'nın pozitif yarı periyodunun denetimi için Vstaa, negatif yarı periyodunun denetimi için Vstae; testere dişi gerilimleridir. Aynı durum Vb ve Vc fazları içinde geçerlidir. Va'nın pozitif yarı periyodunu belirten gerilim Vaa ile negatif yarı periyodunu belirten gerilim ise Vae ile isimlendirilmiştir. Aynı şekilde Vb gerilimi için Vba ve Vbe, Vc gerilimi için Vca ve Vce birbirine ters işaretli gerilimlerdir. Testere dişi gerilimler ile Alfa karşılaştırılarak tristörlerin tetiklenme anları belirlenir.Tristörlerin tetiklenme anlarına göre, yukarıda açıklanan altı gerilimden (Vaa, Vae, Vba, Vbe,Vca, Vce) hangisinin çıkışta görüleceğine kara veren program kodu aşağıdaki gibi yazılır. (1,2)

```
for (t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{
Vk=alfa/180;

Vstaa=(2*t)/Ts-floor((2*t)/Ts);
```

```
Vstba=((2*(t-z))/Ts-floor((2*(t-z))/Ts));
Vstca=(2*(t-2*z))/Ts-floor((2*(t-2*z))/Ts);

Vstae=(2*t)/Ts-floor((2*t)/Ts);
Vstbe=((2*(t-z))/Ts-floor((2*(t-z))/Ts));
Vstce=(2*(t-2*z))/Ts-floor((2*(t-2*z))/Ts);

Vaa=Vg*sin(2*M_PI*f1*t);
Vba=Vg*sin((2*M_PI*f1*t)-(2*M_PI/3));
Vca=Vg*sin((2*M_PI*f1*t)+(2*M_PI/3));

Vae=(-1)*Vaa;
Vbe=(-1)*Vba;
Vce=(-1)*Vca;


if(Vaa<0)
Vstaa=0;
if(Vce<0)
Vstce=0;
if(Vba<0)
Vstba=0;
if(Vae<0)
Vstae=0;
if(Vbe<0)
Vstbe=0;
if(Vca<0)
Vstca=0;

if(alfa>0||alfa<180)
{
if(Vk<=Vstce&&Vk>=Vstba)
```

```
Vd=Vaa;
if(Vk<=Vstba&&Vk>=Vstae)
Vd=Vce;
if(Vk<=Vstae&&Vk>=Vstca)
Vd=Vba;
if(Vk<=Vstca&&Vk>=Vstbe)
Vd=Vae;
if(Vk<=Vstbe&&Vk>=Vstaa)
Vd=Vca;
if(Vk<=Vstaa&&Vk>=Vstce)
Vd=Vbe;
}
if(alfa==0||alfa==180)
{
if(Vaa>Vbe&&Vaa>Vce)
Vd=Vaa;
if(Vce>Vaa&&Vce>Vba)
Vd=Vce;

if(Vba>Vae&&Vba>Vce)
Vd=Vba;

if(Vae>Vba&&Vae>Vca)
Vd=Vae;

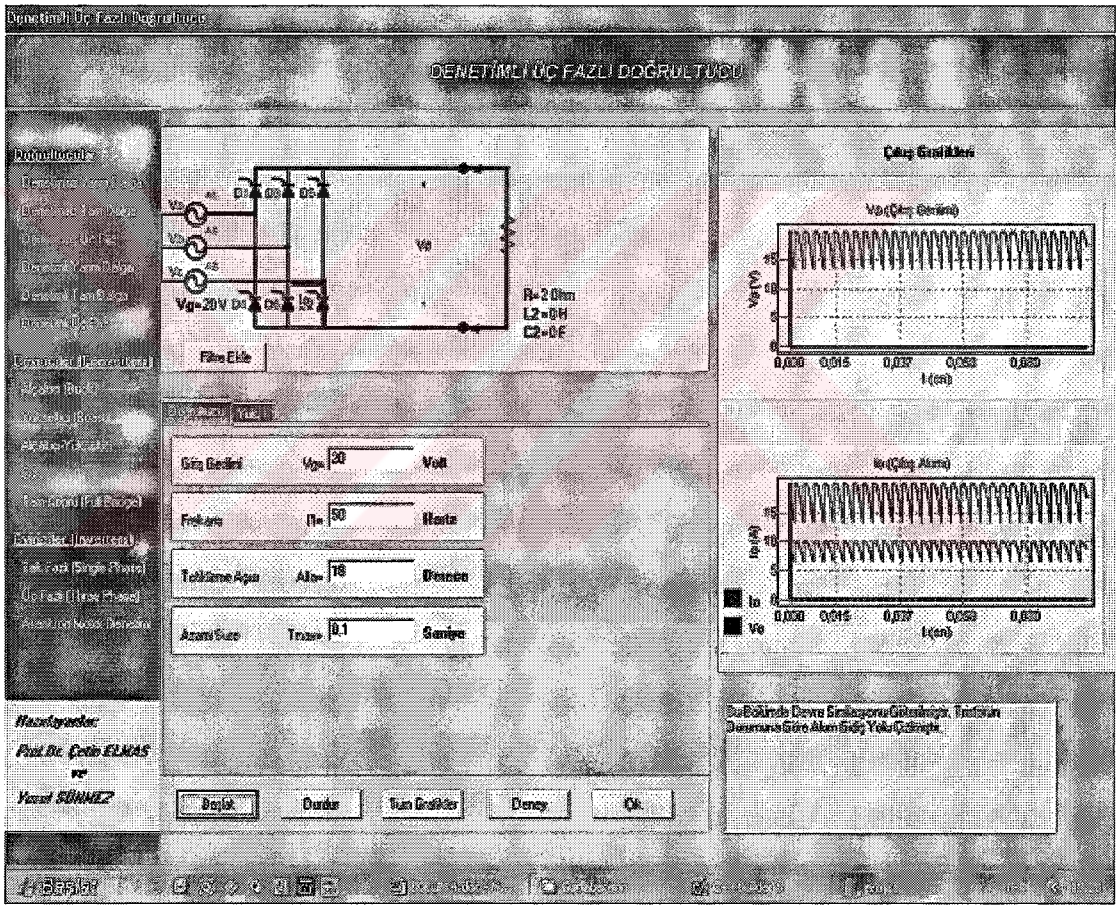
if(Vca>Vae&&Vca>Vbe)
Vd=Vca;

if(Vbe>Vca&&Vbe>Vaa)
Vd=Vbe;
}
if(alfa==180)
```

```
Vd=(-1)*Vd;
}
```

### 4.5.2. Denetimli üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı ana sayfası

Şekil 4.34'de denetimli üç fazlı doğrultucu için hazırlanan program ana sayfası gösterilmiştir.




Şekil 4.34. Denetimli üç fazlı doğrultucu program ana sayfası

Ana sayfadaki devre şekli üzerine akım yolu çizdirilirken tristörlerin iletim durumları göz önünde tutulmuştur. Devre akımı; Va'nın pozitif yarı periyodu (Vaa) çıkışta görülürken 1 ve 2 numaralı tristör üzerinden, Vba çıkışta görülürken 3 ve 4 numaralı tristörler üzerinden, Vca çıkışta görülürken 5 ve 6 numaralı tristörler üzerinden, Vae

çıkışta görülürken 5 ve 4 numaralı tristörler üzerinden, Vbe çıkışta görülürken 1 ve 6 numaralı tristörler üzerinden ve Vce çıkışta görülürken 3 ve 2 numaralı tristörler üzerinden akmaktadır. Böylece öğrenciye hangi gerilimin hangi yarı periyodunda hangi tristörlerin iletimde olduğu görsel boyutta açıklanır.

### 4.5.3. Denetimli üç fazlı tam dalga doğrultucu devresi benzetim programı deney sayfası

Aşağıda, denetimli üç fazlı doğrultucu benzetim programı için hazırlanan deney sayfası italik yazılı biçimde gösterilmiştir. Deney sayfasıyla öğrenciye, üç fazlı tristörlü doğrultucu devresinin temel özelliklerinin öğretilmesi amaçlanır.

*DENEY 6: DENETİMLİ ÜÇ FAZLI DOĞRULTUCU DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Denetimli Üç Fazlı Doğrultucu değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi.Tristörün iletim ve kesim durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir.Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla ,bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız. Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Doğrultucu ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Şebeke Frekansı fl,Tristör Tetikleme Açısı alfa) "DOĞRULTUCU" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L, Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde*

*bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*NOT:*

*Bu programda birbirinden farklı üç adet gerilim kaynağı kullanılmıştır. Her bir kaynak arasında 120' şer derece faz farkı vardır. Diyotların numaralandırılması iletim durumlarına göre sırasıyla belirlenmiştir(1-2,3-4,5-6 şeklinde). İletim; üçfaz kaynak içerisinden anotu en yüksek olandan katotu en düşük olana doğrudur. Bu durum gerilimin pozitif alternansı için böyledir. Negatif alternansta ise kaynaklardan hangisinin katotu en yüksek ise o iletimde demektir, akış; anotu en düşük kaynağa doğru olur.Böylece gerilimin pozitif ve negatif alternansı için her seferinde A, B veya C kaynağından herhangi biri yüke güç sağlayacaktır.*

*1- Giriş gerilimi ve frekans değerlerini kullanarak programı çalıştırın. Bu işlemi farklı giriş gerilimi ve frekans değerleri için tekrarlayın. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Giriş gerilimlerinin alternansına göre diyotların iletim ve kesim durumlarına dikkat ediniz. Ayrı ayrı Giriş Gerilimlerinin pozitif alternansında hangi diyotların, negatif alternansında hangi diyotların iletimde olduğunu belirtin(A, B ve C için).Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Çıkış Gerilimi; seçtiğiniz aynı değerler için Denetimsiz Yarım Dalga Doğrultucuya ve Denetimsiz Tam Dalga Doğrultucuya göre, doğru gerilime daha çok yaklaştı mı? Neden?*

*Sonuç:*

*2- Vg=20 V, fl=50 Hz, değerlerini sabit tutarak Tristörün tetkleme açısı alfa' yı 0 ile 180 derece arasında değiştirin ve her bir alfa değeri için programı çalıştırın. Çizdirilen bütün grafikleri inceleyin. Alfa değeri büyüdükçe tristörün iletimde kalma süresi azaldı mı? Özellikle tristör tetikleme açısının 0, 90 ve 180 derece değerlerine dikkat edin. 0 derecede tristör hangi eleman gibi davrandı? 90 derecede giriş geriliminin ne kadarı kırpıldı? 180 derecede çıkış gerilimi ne oldu? alfa'nın 0, 90 ve 180 derece değerleri için aşağıda verilen yerlere Çıkış Gerilimi Grafiklerini yapıştırın.*

*alfa=0 Derece*

*alfa=90 Derece*

*alfa=180 Derece*

*Sonuç:*

*3- "Filtre Ekle" butonuna basarak devreye filtreyi ekleyin. Vg=20 V, fl=50 Hz, Rf=2 Ohm, Cf=0,005 F değerleri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin. Uygulanan Giriş Gerilimine göre Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Devreye filtre eklendiğinde çıkış geriliminin min. değeri neden sıfıra inmedi? Aşağıdaki tabloya göre verilen Alfa değerleri için programı çalıştırın. Her bir değere karşılık gelen ortalama Çıkış Gerilimi değerini grafiklerden okuyun ve tabloya yazın.*

| *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Alfa=0* | *Vo1=* |
| *Alfa=30* | *Vo2=* |
| *Alfa=60* | *Vo3=* |
| *Alfa=120* | *Vo4=* |
| *Alfa=180* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*4- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, fl=50 Hz, alfa=30 derece Rf=2 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Kondansatörü Cf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Kondansatörü'nün değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Yarım Dalga Doğrultucu'ya ve Tam Dalga Doğrultucu'ya göre daha doğru bir çıkış elde edildi mi? Sebebini açıklayın ve her bir Cf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Kondansatörü Cf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Cf=0,005 F* | *Vo1=* |
| *Cf=0,05 F* | *Vo2=* |
| *Cf=0,5 F* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Cf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Cf=0,005 F*

*Cf=0,05 F*

*Cf=0,5 F*

*Sonuç:*

*5- Devrede filtre ekli durumda iken, Vg=20 V, fl=50 Hz, alfa=30 derece, Cf=0,05 Ohm değerlerini sabit tutarak aşağıda verilen her bir Filtre Direnci Rf değeri için programı çalıştırın. Devredeki her elemanın grafiklerini inceleyin. Çıkış grafiklerine dikkat edin.Çıkış Gerilimi hangi değerler arasında değişti? (Çıkış Geriliminin min. ve max. değerleri). Filtre Direnci'nin değeri yükseldikçe Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Doğru gerilime daha da yaklaştı mı? Çıkış Geriliminin ortalama değerinde değişiklik oldu mu? Sebebini açıklayın ve her bir Rf değeri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiğini aşağıya yapıştırın.*

| *Filtre Direnci Rf* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|
| *Rf=2 Ohm* | *Vo1=* |
| *Rf=10 Ohm* | *Vo2=* |
| *Rf=20 Ohm* | *Vo3=* |

*Aşağıdaki Rf değerleri için çizdirdiğiniz çıkış gerilimi grafiklerini yapıştırınız. Bu işlem için grafikteki "kopyala" butonunu kullanınız. Daha sonra aşağıda belirtilen yerlere yapıştırınız.*

*Rf=2 Ohm*

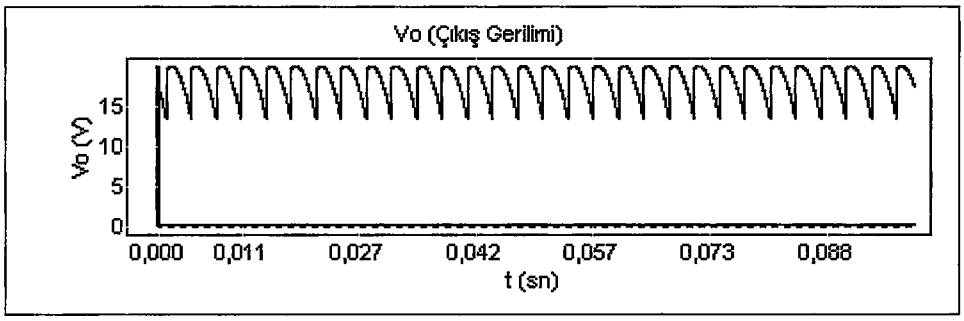
*Rf=10 Ohm*

*Rf=20 Ohm*

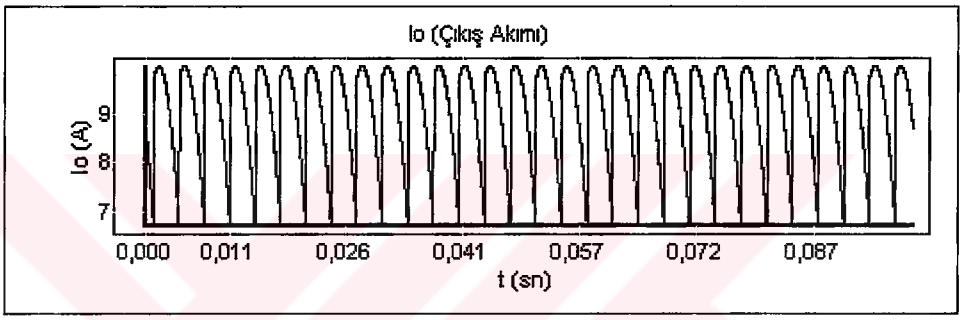
*Sonuç:*

*6- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deneyin 1. maddesinde; verilen değerler için (Vg=20 V, fl=50 Hz, Alfa18°) öğrenciden programı çalıştırarak çıkış ve tristörlere ait grafikleri incelemesi istenmiştir. Deney sayfasının 1.maddesine ait, programda çizdirilen çıkış grafikleri Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



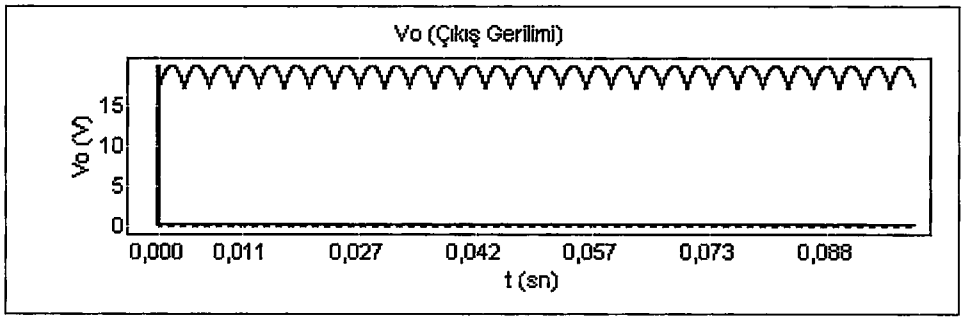

Şekil 4.35. Denetimli üç fazlı doğrultucu deneyi 1.maddesi için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



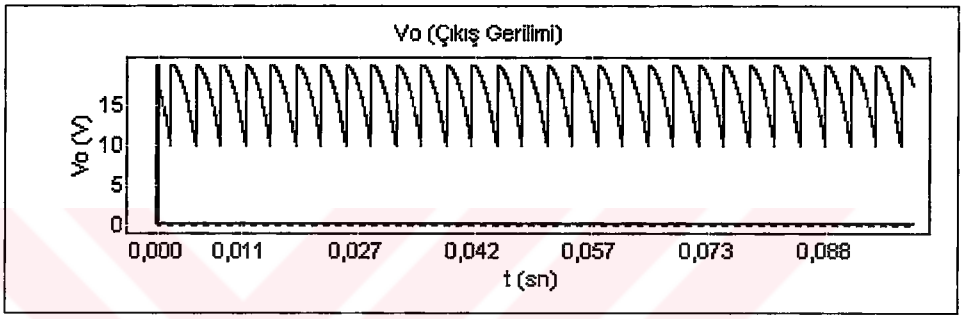

Şekil 4.36. Denetimli üç fazlı doğrultucu deneyi 1.maddesi için programda çizdirilen çıkış akımı grafiği

Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da görüldüğü gibi, deneyin 1.maddesine ait çıkış grafikleri daha önce anlatılan devrenin çalışma prensibi ile uyuşmaktadır. Bu sebepten dolayı grafikleri inceleyen öğrenci, devrenin çalışma prensibini daha iyi kavrayacaktır.

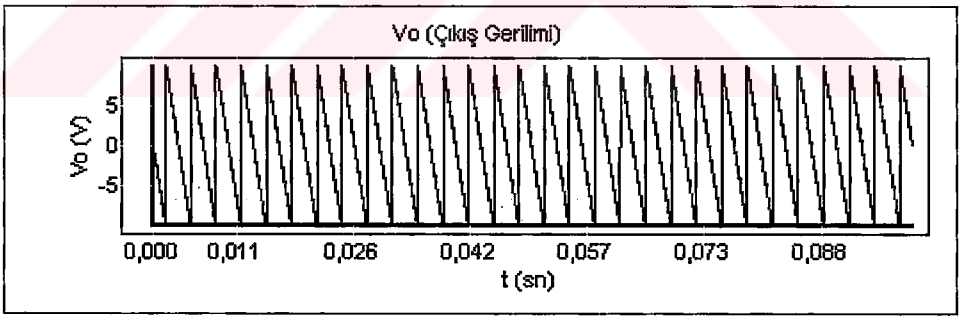
Devrenin 2.maddesinde; verilen değerler için (Vg=20 V, fl=50 Hz) öğrenciden tetikleme açısı Alfa'yı değiştirerek, seçilen her Alfa değerinde programı çalıştırması ve çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Deneyin bu maddesinde, tristör tetikleme açısının devrenin çıkış gerilimi üzerindeki etkisini öğrenciye göstermek amaçlanır. Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da Alfa=0°, Alfa=30°, Alfa=90° ve Alfa=180° için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.



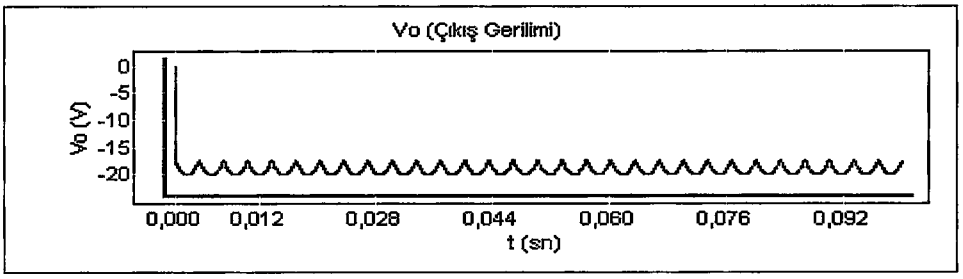

Şekil 4.37. Alfa=0° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilimi grafiği




Şekil 4.38. Alfa=30° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilim grafiği



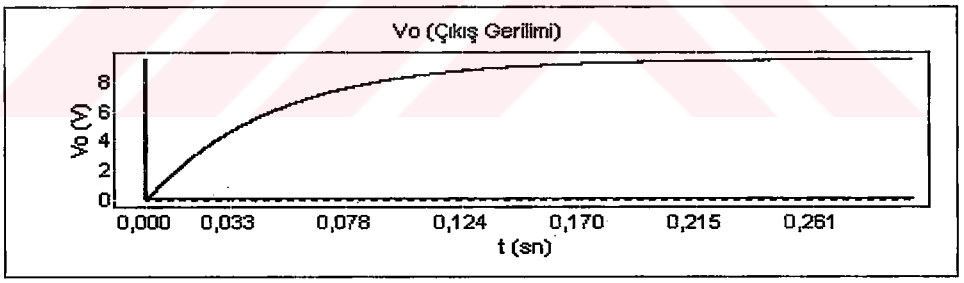

Şekil 4.39. Alfa=90° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilim grafiği



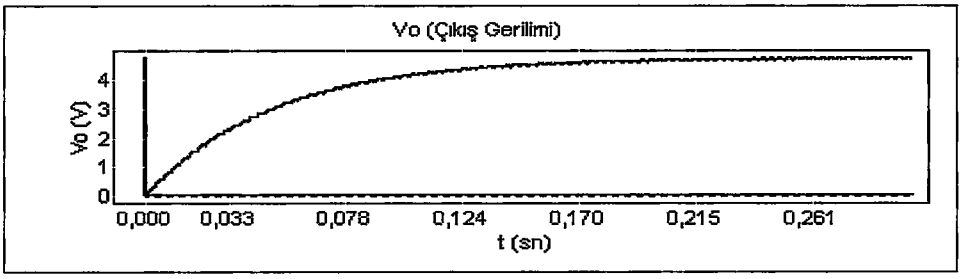

Şekil 4.40. Alfa=180° iken denetimli üç fazlı doğrultucu deneyinin 2.maddesine ait çıkış gerilim grafiği

Yukarıda gösterilen grafikleri inceleyen öğrenci Alfa=0° iken tristörlerin diyot gibi davranacağını, Alfa=180° olduğu durumda Alfa=0°'de iken çıkıştan alınan gerilimin tam tersi olduğunu görecektir.

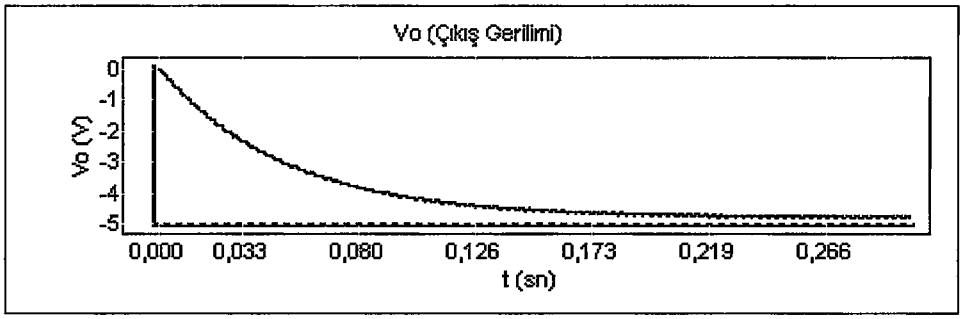
Deneyin 3.maddesinde; öğrenciden devreye filtre eklemesi ve farklı Alfa değerleri için program grafiklerini incelemesi istenmiştir. Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve şekil 4.43'de Alfa=0°, Alfa=60° ve Alfa=120° için programda çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 4.41. Alfa=0° için çıkışına filtre ekli denetimli üç fazlı doğrultucuya ait programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği



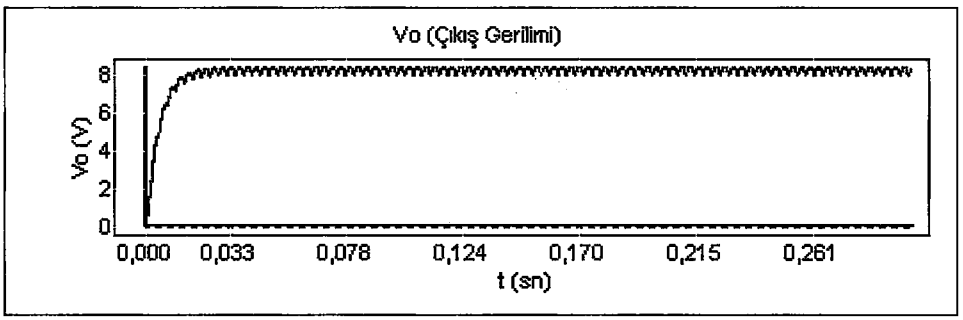

Şekil 4.42. Alfa=60° için çıkışına filtre ekli denetimli üç fazlı doğrultucuya ait programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği



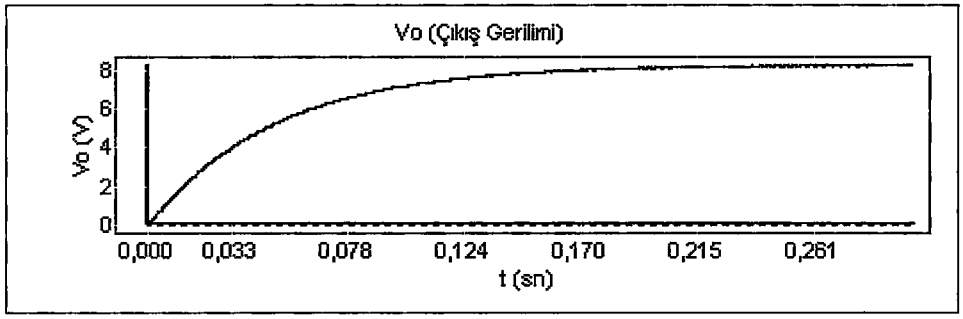

Şekil 4.43. Alfa=120° için çıkışına filtre ekli denetimli üç fazlı doğrultucuya ait programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği

Deneyin bu maddesini gerçekleştiren öğrenci, filtreli devrenin çıkışından filtresiz devreye göre doğru gerilime daha yakın bir dalga şekli elde edildiğini ve Alfa değerinin arttıkça ortalama çıkış geriliminin düştüğünü görecektir.

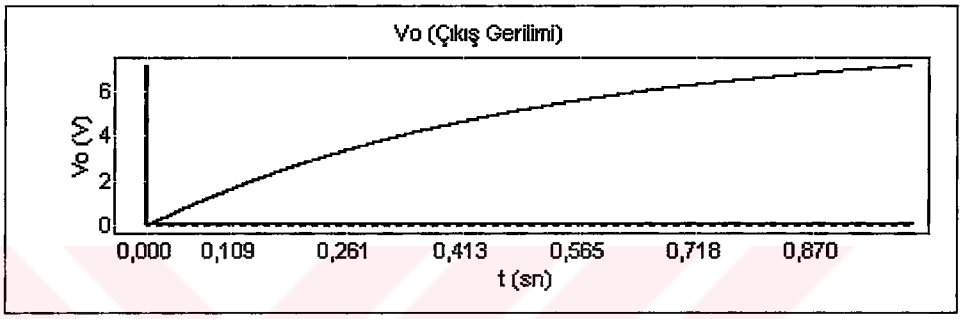
Deneyin 4.maddesinde; öğrenciden verilen değerleri sabit tutarak (Vg=20 V, f1=50 Hz, Alfa=30°, Rf=2Ω) farklı filtre kondansatörü (Cf) değerleri için programı çalıştırması istenmiştir. Buradaki amaç; Cf değerinin büyüdükçe çıkıştaki gerilimi daha fazla doğrulttuğunu grafikler yardımıyla öğreniye göstermektir. Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da Cf=0,005 F, Cf=0,05 F ve Cf=0,5 F için programda çizdirilen grafikler gösterilmiştir.




Şekil 4.44. Cf=0,005 F için denetimli üç fazlı doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği




Şekil 4.45. Cf=0,05 F için denetimli üç fazlı doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği




Şekil 4.46. Cf=0,5 F için denetimli üç fazlı doğrultucuya ait çıkış gerilimi grafiği

Deneyin 4.maddesi için seçilen değerler denetimli tam dalga ve yarım dalga doğrultucu deneyinde seçilen değerlerle aynıdır. Öğrenciden, deneyin bu maddesine ait grafiklerle tam dalga ve yarım dalga doğrultucu deneyindeki grafikler arasında bir karşılaştırma yapması istenmiştir. Böylece öğrenciye üç fazlı doğrultucu devresinin bir fazlı ve yarım dalga devrelerine göre daha doğru bir gerilim ürettiği gösterilmiş olur.

# 5. ÇEVİRİCİLER (CONVERTERS)

## 5.1. Giriş

D.a–d.a çeviriciler, ayarlanmış anahtarlamalı d.a-d.a güç kaynaklarında ve d.a motor sürücü uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çeviricilerin girişlerinde hat geriliminin doğrultmasıyla elde edilmiş, genellikle ayarsız doğru gerilim bulunmaktadır. Anahtarlamalı d.a–d.a çevriciler, ayarsız girişi, istenilen gerilim kademesinde, denetimli d.a çıkışa çevirmek için kullanılır.

Güç elektroniği konuları içerisinde, bu denli geniş kullanım alanına sahip olan çevirici devrelerinin, uygulayıcılar tarafından anlaşılması büyük bir önem arz etmektedir. Dolayısı ile güç elektroniği devrelerinin eğitimi maksadıyla hazırlanan benzetim programında çevirici devrelerine de yer verilmiştir.

Bu tezde aşağıdaki d.a-d.a çeviriciler ele alınmış ve benzetimi yapılmıştır.

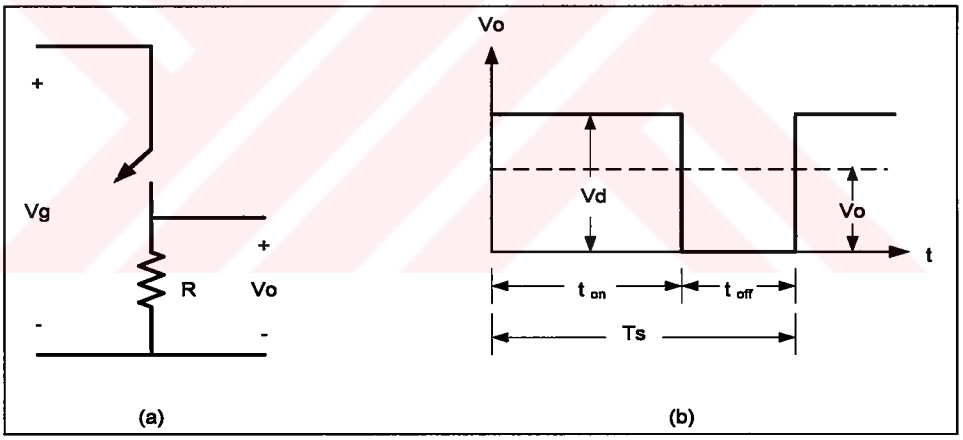
1. Alçaltıcı Çevirici ( Buck Converter )
2. Yükseltici Çevirici ( Boost Converter )
3. Alçaltıcı – Yükseltici Çevirici ( Buck-Boost Converter )
4. Cuk Çevirici
5. Tam Köprü Çevirici

Bu beş çevirici arasında yalnızca alçaltıcı ve yükseltici çeviriciler temel çevirici yapılaradır. Alçaltıcı-yükseltici çevirici ile Cuk çevirici bu iki temel yapının birleşimidir. Tüm köprü çevirici ise alçaltıcı tip çeviriciden türetilmiştir.

Bu bölümde, çeviriciler incelenirken ve modellemeleri yapılırken, bunların sürekli çalışma durumunda oldukları varsayılmıştır. Anahtarla ideal kabul edilerek, devrede bulunan endüktif ve kapasitif elemanlardaki kayıplar ihmal edilmiştir. Çeviricinin girişindeki giriş doğru geriliminin iç empedansının sıfır olduğu varsayılacaktır.

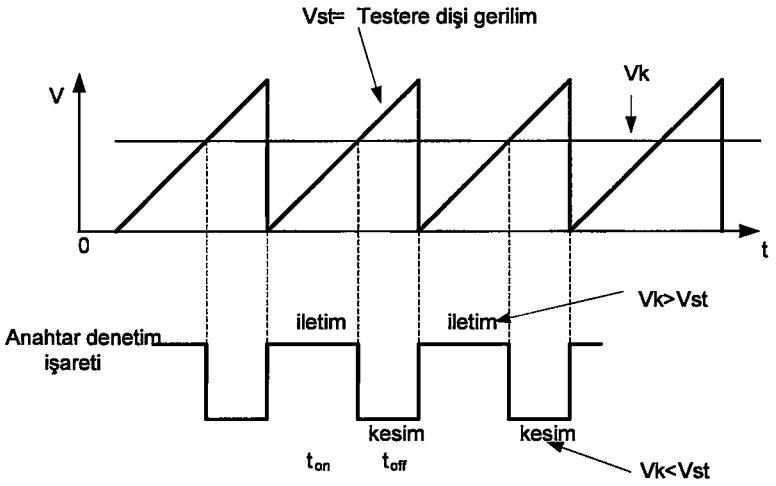
## 5.2. D.a-d.a Çeviricilerin Denetimi

Anahtarlamalı d.a-d.a çeviricilerde doğru akımı bir düzeyden diğerine dönüştürmek için bir yada daha fazla anahtar kullanılır. Verilen bir giriş gerilimi değeri için bir d.a-d.a çeviricide çıkış gerilimi, anahtarların iletimde ve kesimde olduğu sürelerin denetlenmesiyle ayarlanır. Anahtarlamalı gerilim değişimi kavramını gösterebilmek için Şekil 5.1a'daki temel d.a-d.a çeviriciyi göz önüne alınırsa, çıkış geriliminin ortalama değeri Vo, Şekil 5.1b'de görüldüğü gibi $t_i$ ve $t_k$ sürelerine bağlıdır. Çıkış gerilimini denetleme yöntemlerinden biri anahtarlamayı sabit frekansta yapmak ve anahtarların iletim zamanını ayarlayarak ortamla çıkış gerilimini denetlemektir. Darbe genişlik modülasyonu ( PWM –Puls Width Modulation ) anahtarlaması denilen bu yöntemde, anahtar çalışma oranı (D) değiştirilir. D darbeleme oranı anahtarın iletimde olduğu sürenin, anahtarlama periyoduna oranıdır.




Şekil 5.1. Basit bir anahtarlamalı d.a-d.a çeviricisi

Sabit anahtarlama frekansındaki PWM ile anahtarlamada, anahtarın iletimde yada kesimde olduğunu belirleyen anahtar denetim işareti, Şekil 5.2'de gösterilen tekrarlayan dalga ile işaret seviyesindeki Vk denetiminin geriliminin karşılaştırılmasıyla elde edilir. Testere dişi şeklinde gösterilen ve tepe değeri sabit olan periyodik dalganın frekansı, anahtarlama frekansını oluşturur. PWM ile denetimde bu frekans sabit tutularak birkaç kilohertz ile birkaç yüz kilohertz arasındaki bir değere ayarlanabilir.




Şekil 5.2. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

Anahtarlama zamanı karşılaştırıldığında oldukça yavaş değişen kuvvetlendirilmiş hata işareti, testere dişi dalga şeklinden büyük olduğu zaman, anahtar denetim işareti üretilerek anahtarı iletime başlatır. Aksi durumda anahtar kesimdedir. Bu prensip göz önünde tutulduğunda aşağıda gösterilen mantık çerçevesinde çeviricilerin anahtarlaması modellenir.

$$Vd = \begin{cases} 0 & V_k <= V_{st} \quad \text{kesim} \\ V_g & V_k > V_{st} \quad \text{iletim} \end{cases}$$

Vd=Anahtar çıkışındaki gerilim

Vg=Girişten uygulanan gerilim (kaynak)

Vk=Denetim gerilimi

Vst=Testere dişi gerilimi

Bu mantık çerçevesinde çeviriciye uygulanan gerilimi üreten program kodu aşağıdaki gibi yazılır.

```
Tmax=1;Vg=20;
for(t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
```

```
{
Vst=t/Ts-floor(t/Ts);
Vd=Vg*(Vk>=Vst);
}
```

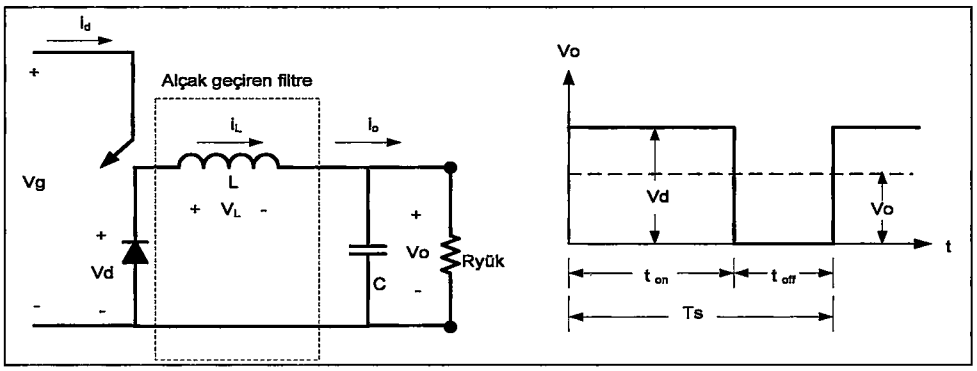
### 5.3. Alçaltıcı Çevirici (Buck Converter)

Adından da anlaşılacağı gibi alçaltıcı çevirici, Vg doğru gerilim girişinden daha düşük seviyede bir ortalama çıkış gerilimi üretir.

Kavramsal olarak, Şekil 5.1a'daki temel devre, saf dirençten oluşan bir yük için alçaltıcı çeviriciyi oluşturur. Anahtar kusursuz, anlık giriş gerilimi Vd sabit ve yük $R_{yük}$ saf direnç kabul edildiğinde, anlık çıkış geriliminin dalga şekli Şekil 5.3'de anahtar durumunun fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Ortalama çıkış gerilimi anahtar çalışma oranı cinsinden hesaplanır.

$$Vo = \frac{1}{Ts}\int_0^{Ts} Vo(t).dt = \frac{1}{Ts}\left(\int_0^{t_{on}} Vd.dt + \int_{t_{on}}^{Ts} 0.dt\right) = \frac{t_{on}}{Ts}.Vd = D.Vd \qquad [5.1]$$

Denklem 5.1'den görüldüğü gibi anahtarın çalışma oranı $t_{on}/Ts$ değiştirilerek Vo denetlenebilir.

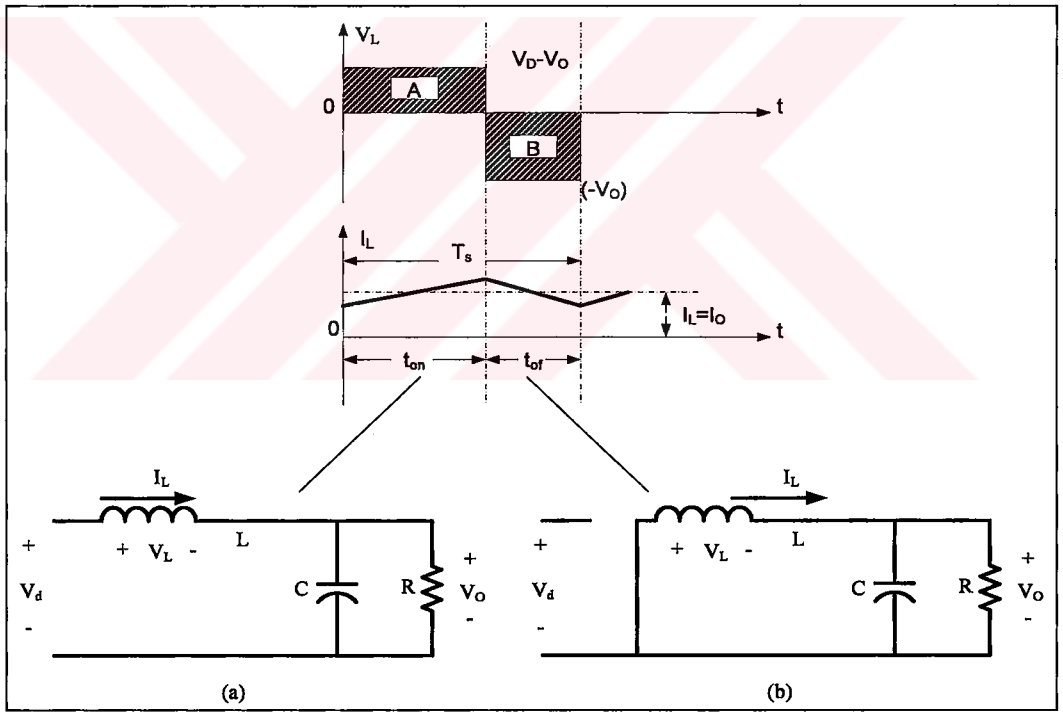



Şekil 5.3. Alçaltıcı d.a-d.a çevirici

Şekil 5.3'den görüldüğü gibi anahtarın çıkışına, alçak geçiren bir filtre koyulmuştur. Bunun sebebi çıkıştaki gerilim dalgalanmalarını yok etmektir. (3)

### 5.3.1. Alçaltıcı çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Alçaltıcı çeviricide anahtarın iletimde kaldığı $t_{on}$ süresi boyunca, anahtar endüktans akımını iletir ve diyot ters kutuplanır. Bu durum şekil 5.4a'da görüldüğü gibi, endüktans üzerinde $V_L=Vg-V_0$ pozitif gerilimin oluşmasına neden olur. Anahtar kesime geçtiğinde birikmiş enerji nedeniyle $i_L$ akımı akmaya devam eder. Bu akım Şekil 5.4b'de görüldüğü gibi diyot üzerinden akar ve $V_L=-Vo$ olur.




Şekil 5.4. Alçaltıcı çevirici devresinin evreleri; (a) anahtar iletimde, (b) anahtar kesimde

Sürekli çalışma durumunda dalga şekli bir periyottan diğerine tekrar etmek zorunda olduğundan, endüktans gerilimi $V_L$'nin bir periyottaki integrali, sıfır olmak zorundadır. $T_s=t_{on}+t_{off}$ olduğundan ;

$$\int_0^{Ts} V_L.dt = \int_0^{t_{on}} V_L.dt + \int_{t_{on}}^{Ts} V_L.dt = 0 \qquad [5.2]$$

Yukarıdaki denklem Şekil 5.4'deki A ve B alanlarının eşit olması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle;

$$(Vd - Vo)t_{on} = Vo.(Ts - t_{on})$$

$$\frac{Vo}{Vd} = \frac{t_{on}}{Ts} = D \qquad [5.3]$$

Denklem 5.3'den görülüyor ki, verilen giriş gerilimi için çıkış gerilimi anahtarın çalışma oranıyla doğrusal olarak değişmektedir. Herhangi bir devre parametresi ile ilgisi yoktur.

Devrenin yukarıda anlatılan bu çalışma prensibinden yola çıkarak çıkış geriliminin ortalama değeri aşağıdaki mantık çerçevesinde modellenir.

$$V_L = \begin{cases} V_g - V_0 & Vk > Vst \\ -V_0 & Vk <= Vst \end{cases}$$

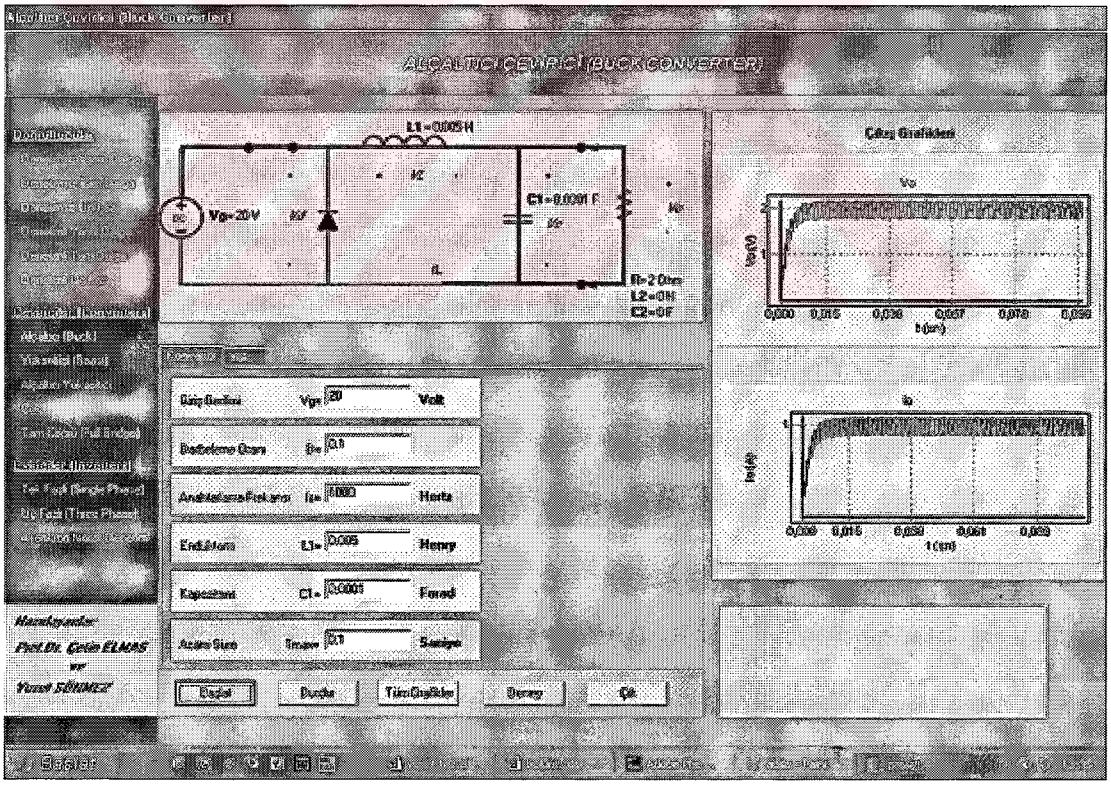
Devrenin matematiksel modeli çıkarılırken yazılan denklemler yukarıda gösterilen mantıksal şemayı desteklemektedir. Bu mantık doğrultusunda yazılan program kodu aşağıdaki gibidir.

```
Tmax=1; delt=0,0001; L1=0,005; C1=0,001;R=2;
for(t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{
Vst=t/Ts-floor(t/Ts);
Vd=Vg*(Vk>=Vst);
```

```
IL=IL+((Vd-VC)/L1)*(delt);
VL=L1*IL;
VC=VC+(((IL-I0)/C1)*delt);
IC=C1*(VC);
I0=VC/R;
V0=VC;
}
```

### 5.3.2. Alçaltıcı çevirici benzetim programı ana sayfası

Alçaltıcı çevirici benzetimi için hazırlanan program ana sayfası Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Ana sayfa üzerinde; bütün devrelerde olduğu gibi üzerinde akım yolu çizdirilen devre şeması ve devre elemanlarına ait değerler bölümü mevcuttur.




Şekil 5.5. Alçaltıcı çevirici program ana sayfası

Devre şekli üzerinde akım yolu çizdirilirken, anahtarın bulunduğu iki konum da göz önünde tutulmuştur. Anahtar iletimdeyken; devre akımı kaynaktan çıkarak bobin ve

kondansatör üzerinden geçer. Kesim durumunda ise akım, bobin ve kondansatörden çıkarak yük üzerinden geçer.
Böylece devrenin çalışma prensibinde anlatıldığı gibi anahtarın iletim durumunda gerilim kaynağının bobin ve yüke enerji sağladığı, kesim durumunda ise bobin ve kondansatörün enerjisini yük üzerinden boşalttığı görsel olarak öğrenciye anlatılır.

Devre değişkenleri bölümünde; kaynak gerilimini, anahtarlama frekansını, darbeleme oranını, endüktans ve kapasitans değerlerini gösteren etiketler mevcuttur. Öğrenci bu etiketlerden, istediği elemanın değerini değiştirerek farklı durumlar için devrenin vereceği tepkileri gözlemleyebilir.

### 5.3.3. Alçaltıcı çevirici benzetim programı deney sayfası

Alçaltıcı çevirici benzetim programı için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir. Ardından, deney sayfasının, devreyle ilgili hangi özellikleri öğrenciye kazandırılacağı anlatılacaktır.

*DENEY 7:ALÇALTICI ÇEVİRİCİ (BUCK CONVERTER) DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Alçaltıcı çevirici değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi. Sürekli ve süreksiz akım çalışma durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir.Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız.Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir.Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız.Bu yolla,bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz.Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir.Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz.Bu sayfada;*

*grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz.Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz.Verilen tabloları doldurup, deneyle iligili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Konvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Darbeleme Oranı D, Anahtarlama Frekansı fs, Endüktans L1, Kapasitans C1) "KONVERTÖR" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L2, Yük Kapasitansı C2) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*1- Vg=20 V, fs=1000 Hz, L1=0,05 H ve C1=0,0001 F değerlerini sabit tutarak, Darbeleme Oranı (D) nın değerini 0,1-0,2-0,3....0,9 aralığında değiştiriniz.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz.Darbeleme Oranının her değeri için ortalama çıkış gerilimi değerini aşağıdaki tabloya yazınız.Darbeleme Oranı arttıkça çıkış gerilimi ne oldu?Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki bağıntıyı darbeleme oranına bağlı olarak yazınız.*

| *Darbeleme Oranı* | *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *D1=0,1* | *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *D1=0,2* | *Vg=20 V* | *Vo2=* |
| *D1=0,3* | *Vg=20 V* | *Vo3=* |
| *D1=0,4* | *Vg=20 V* | *Vo4=* |
| *D1=0,5* | *Vg=20 V* | *Vo5=* |
| *D1=0,6* | *Vg=20 V* | *Vo6=* |
| *D1=0,7* | *Vg=20 V* | *Vo7=* |
| *D1=0,8* | *Vg=20 V* | *Vo8=* |
| *D1=0,9* | *Vg=20 V* | *Vo9=* |

*Sonuç:*

*2- D=0,5 fs=1000 Hz L1=0,05 H ve C1= 0,0001 F değerlerini sabit tutarak, Giriş Gerilimi (Vg) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Giriş Gerilimi (Vg) değerleri için uygulayınız. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Vg'nin her değeri için ortalama çıkış gerilimi değerini aşağıdaki tabloya yazınız. Darbeleme Oranı sabitken, Giriş Geriliminin değişimi ile Çıkış Gerilimi nasıl değişti?*

| *Darbeleme Oranı* | *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *D1=0,5* | *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *D1=0,5* | *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *D1=0,5* | *Vg=30 V* | *Vo3=* |
| *D1=0,5* | *Vg=50 V* | *Vo4=* |
| *D1=0,5* | *Vg=100 V* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=20 V D=0,5 fs=1000 Hz L1= 0,05 H ve C1=0,0001 F değerlerini sabit tutarak, sadece yük kısmındaki direnç değerini değiştiriniz. Bu işlemi; aşağıdaki tabloda belirlenen bütün Yük Direnç değerleri için uygulayınız ve tabloyu doldurunuz. Her Yük Direnci değeri için bütün grafikleri inceleyiniz.Çıkış Gerilimi grafiğine dikkat ediniz. Yük Direnci değerinin değişimiyle Ortalama Çıkış Gerilimi değerinde değişiklik oldu mu? Çıkış Gerilimindeki dalgalanma, Yük Direnci değeri ile nasıl değişti?*

| *Giriş Gerilimi* | *Yük Direnci* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *Vg=20 V* | *R1=0,5 Ohm* | *Vo1=* |
| *Vg=20 V* | *R1=1 Ohm* | *Vo2=* |
| *Vg=20 V* | *R1=2 Ohm* | *Vo3=* |
| *Vg=20 V* | *R1=5 Ohm* | *Vo4=* |
| *Vg=20 V* | *R1=20 Ohm* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*4- Vg=20 V D=0,1 L1=0,05 H C1=0,0001 F ve R=2 Ohm değerlerini sabit tutarak, Anahtarlama frekansına fs=5000 Hz, fs=10000 Hz ve fs=100000 Hz değerlerini veriniz.Her Anahtarlama Frekansı değeri için bütün grafikleri inceleyiniz ve çıkış gerilimindeki dalgalılığa dikkat ediniz. Çıkış gerilimindeki dalgalanma azaldı mı? Konvertör kısmındaki Alçak Geçiren Filtrenin köşe frekansını hesaplayınız.Filtrenin köşe frekansı ile Anahtarlama Frekansı değerini karşılaştırınız.Anahtarlama Frekansı büyüdükçe Çıkış Gerilimindeki dalgalanma neden azaldı?*

| *Giriş Gerilimi* | *Anahtarlama Frekansı* | *Çıkış Gerilimi Min. Değeri* | *Çıkış Gerilimi Max. Değeri* |
|---|---|---|---|
| *Vg=20 V* | *fs1=5000 Hz* | *Vo1min=* | *Vo1max=* |
| *Vg=20 V* | *fs2=10000 Hz* | *Vo2min=* | *Vo2max=* |
| *Vg=20 V* | *fs3=100000 Hz* | *Vo3min=* | *Vo3max=* |

*Sonuç:*

*5- Vg=20 V D=0,1 fs=1000 Hz C1=0,0001 F ve R=2 Ohm değerlerini sabit tutarak Konvertör kısmındaki Endüktans değerini sırasıyla; L1=0,005 H L1=0,00085 H L1=0,0005 H yapınız. Her Endüktans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Bobin grafiklerine dikkat ediniz. Endüktansın hangi değeri için, bobin akımının sürekli olduğunu,hangi değeri için bobin akımının süreksizlik sınırında olduğunu ve hangi değeri için süreksiz olduğunu belirtiniz. Endüktans değeri küçüldükçe bobin akımı ne oldu? Aşağıdaki her endüktans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz bobin akımı grafiklerini yapıştırınız.Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp buraya yapıştırabilirsiniz.*

*L1=0,005*

*L2=0,00085*

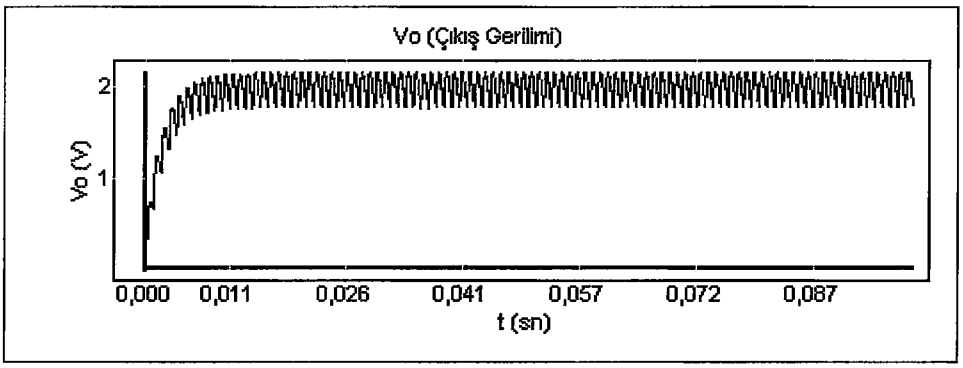
*L3=0,0005*

*Sonuç:*

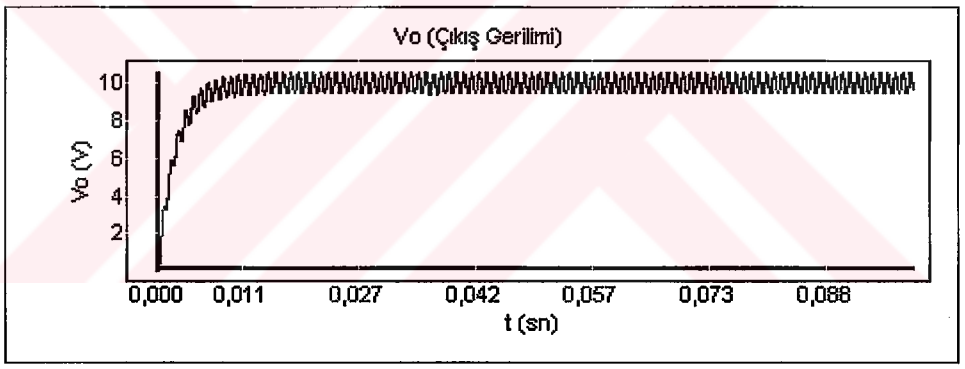
*6- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deney sayfasının 1. maddesinde; öğrenciden, giriş gerilimi (Vg), anahtarlama frekansı (fs), endüktans (L1) ve kapasitans (C1) değerlerini sabit tutarak, darbeleme oranını (D) 0,1...0,9 aralığında değiştirmesi ve her D değeri için program çalıştırarak çıkış grafiklerinin incelenmesi istenmiştir. Ayrıca yine bu maddede, her D değerine karşılık gelen ortalama çıkış gerilimi değerini (Vo), grafiklerden bakarak hazırlanan tabloya yazması istenmiştir. Bu işlemleri gerçekleştiren öğrenci, alçaltıcı çeviricinin çıkışında, girişinden daha küçük seviyede doğru gerilim ürettiğini ve üretilen

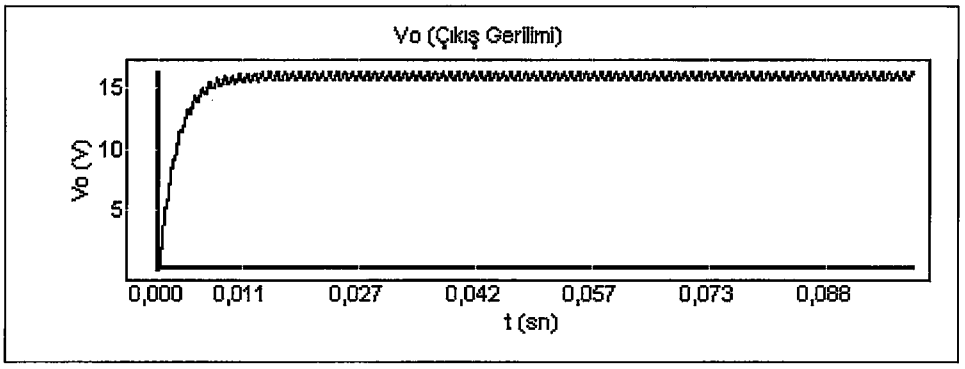
gerilimin, darbeleme oranına bağlı olarak değiştiğini görecektir. Ayrıca dolduracağı tablo yardımıyla giriş gerilimi, anahtarlama oranı ve çıkış gerilimi arasında ilişkinin doğrusallığını ($V_0$=DVg) kavrayacaktır. Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8'de D=0,1, D=0,5 ve D=0,8 için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.6. D=0,1 için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilim grafiği

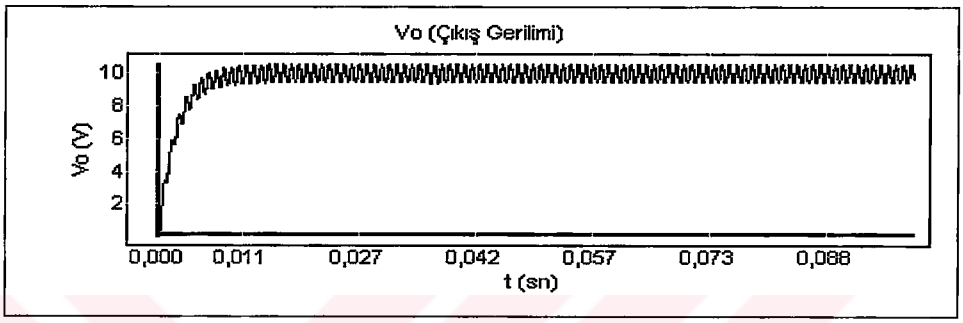



Şekil 5.7. D=0,5 için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilim grafiği

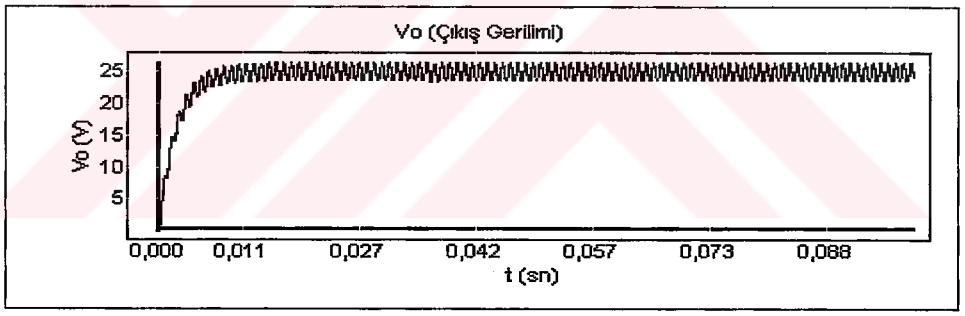



Şekil 5.8. D=0,8 için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilim grafiği

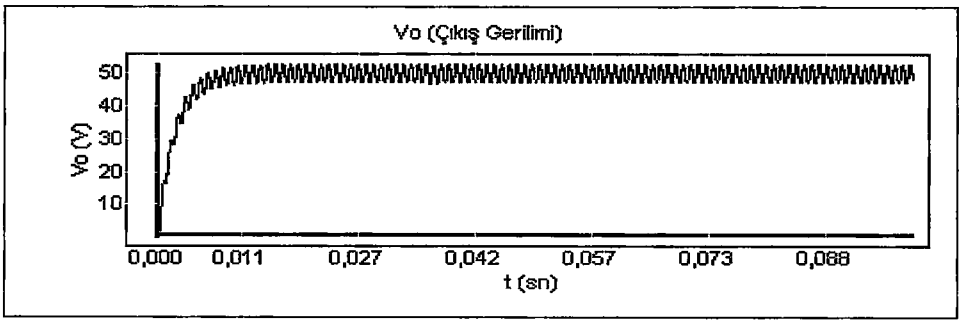
Deneyin2. maddesinde; öğrenciden, D, fs, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak Vg değerini değiştirmesi ve her Vg değeri için program çalıştırarak çıkış gerilim grafiklerini incelenmesi istenmiştir. Böylece, öğrenci bir önceki maddede gösterilen D-$V_g$-$V_0$ arasındaki ilişkiyi,Vg açısından değerlendirebilecektir. Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11'de Vg=20 V , Vg=50 V ve Vg=100 V için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.9. Vg=20 V için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

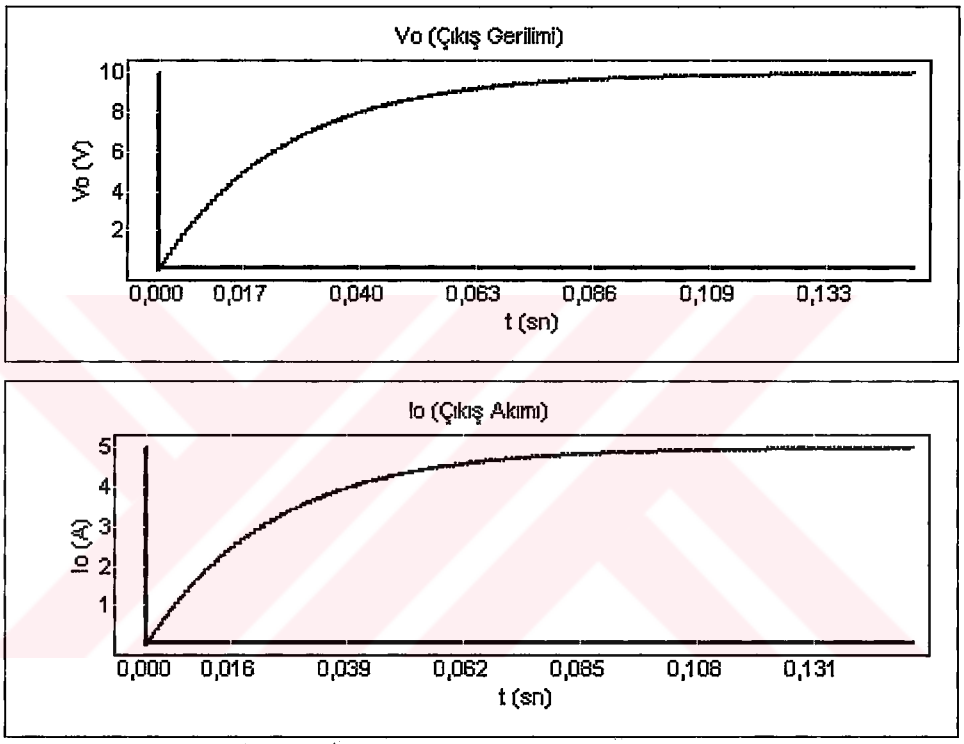



Şekil 5.10. Vg=50 V için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği.

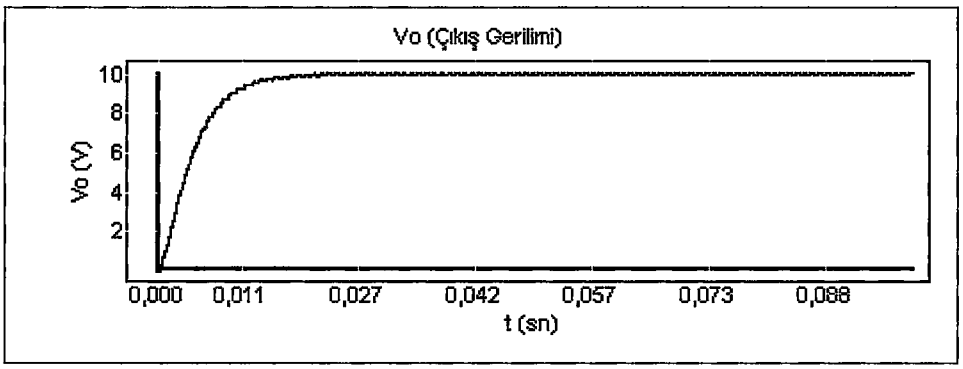


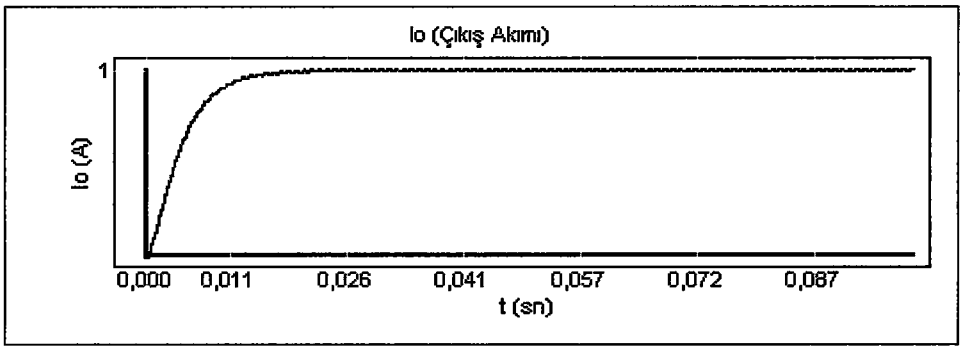

Şekil 5.11. Vg=100 V için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği.

Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, Vg, D, fs, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak yük bölümündeki direnç değerini değiştirmesi ve her bir direnç değeri için programı çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir.Böylece öğrenci, yük direnci değişimine karşı, çıkış geriliminin sabit kalacağını, sadece çıkış akımının değişeceğini grafikler yardımı ile görecektir. Şekil 5.12 ve 5.13'de R=2 ohm ve R=10 ohm değerleri için programda çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.



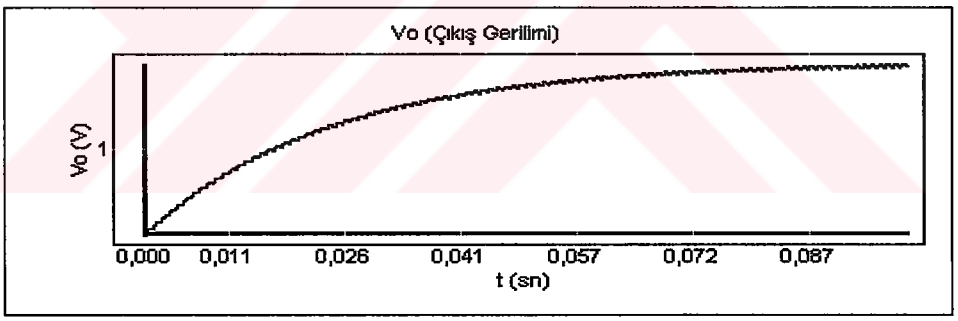

Şekil 5.12. R=2 ohm için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri



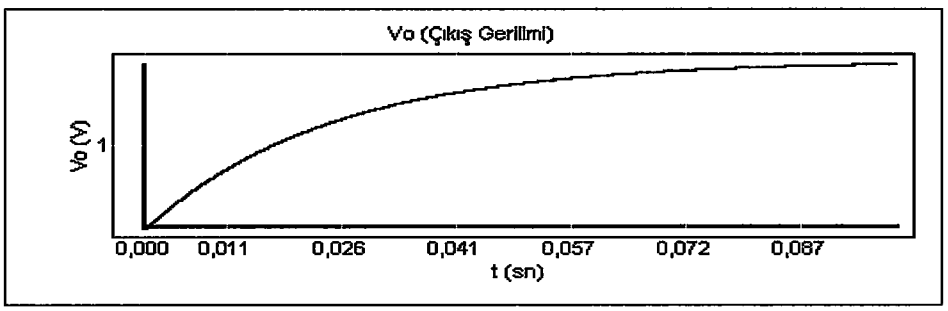



Şekil 5.13. R=10 ohm için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri

Deneyin 4. maddesinde; öğrenciden Vg, D, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak, anahtarlama frekansı (fs) değerini, deney sayfasında verildiği şekilde değiştirerek her fs değeri için programı çalıştırması ve çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi istenmiştir. Bu sayede öğrenci, fs değeri arttıkça çıkış gerilimindeki dalgalanmanın azaldığını grafikler yardımıyla görecektir. Şekil 5.14 ve 5.15'de fs=1000 Hz, ve fs=10000 Hz için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.

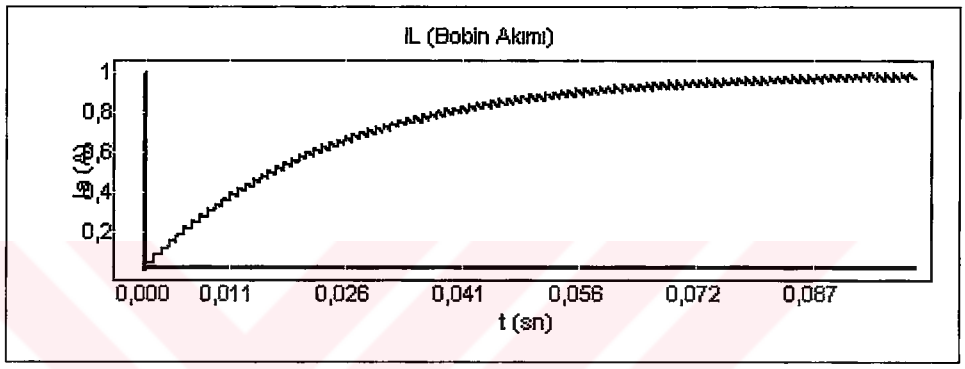



Şekil 5.14. fs=1000 Hz için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği.

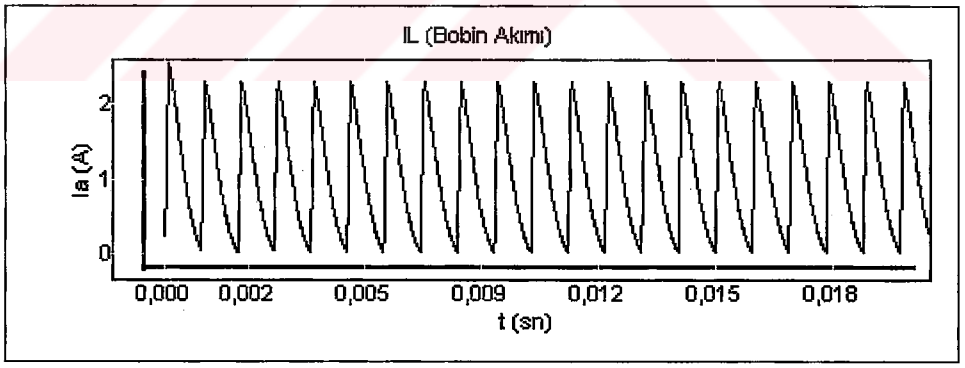



Şekil 5.15. fs=10000 Hz için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği.

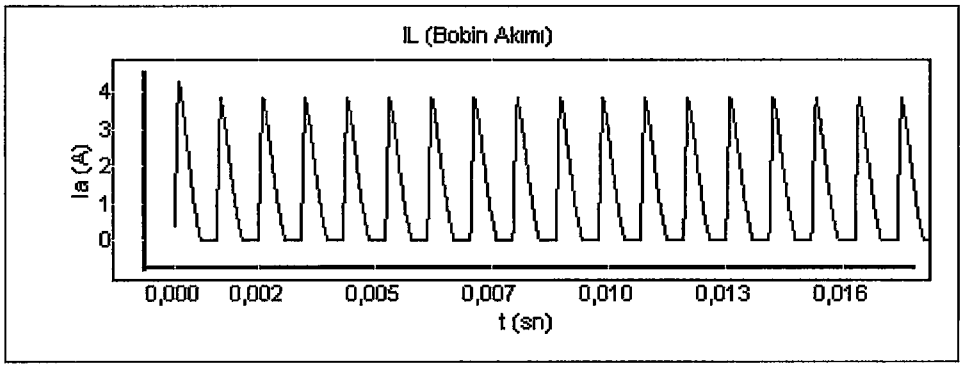
Deneyin 5. maddesinde; öğrenciden, Vg, D, fs ve C1 değerlerini sabit tutarak, bobin (L1) değerini değiştirmesi ve her bir L1 değeri için programı tekrar çalıştırarak bobine ait grafikleri incelemesi istenmiştir. Böylece öğrenci, bobinin küçük değerleri için devre akımının belirli sürelerde sıfırda kalarak süreksizlik durumunda olduğunu, bobin değerinin yeteri kadar büyük seçildiğinde ise akımın sürekli hale geçtiğini görecektir. Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18'de L1=0,05 H, L1=0,0085 H ve L1=0,0005 H için programda çizdirilen bobin akımı grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.16. L1=0,05 H için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği



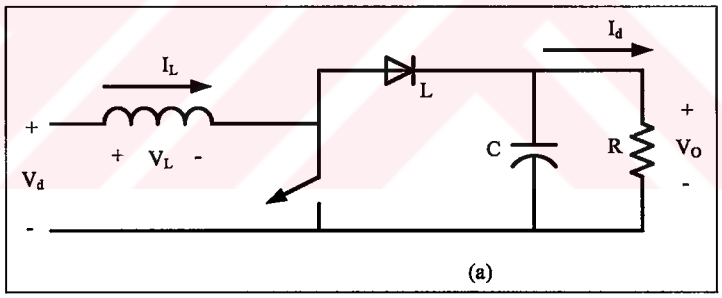

Şekil 5.17. L1=0,00085 H için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği




Şekil 5.18. L1=0,0005 H için alçaltıcı çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği

## 5.4. Yükseltici Çevirici (Boast converter)

Şekil 5.19'da yükseltici bir çevirici gösterilmiştir. Bu çeviriciler en çok, çıkış gerilimi ayarlı d.a güç kaynaklarında ve d.a motorlarının geri kazanımlı frenlenmesinde kullanılır. (1,2)

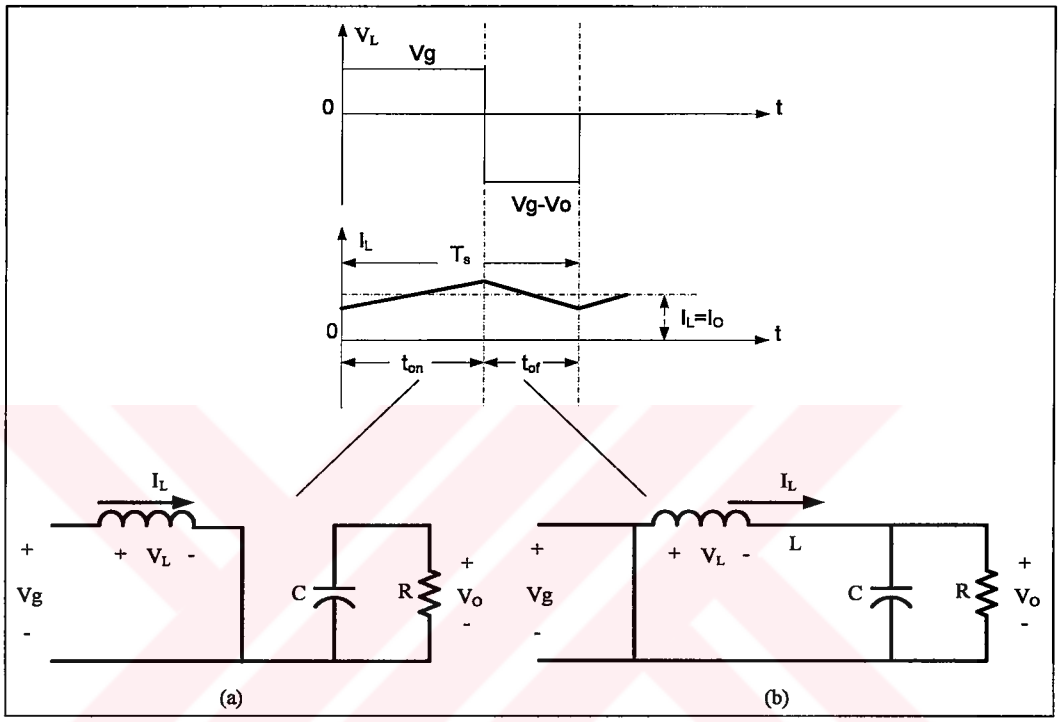



Şekil 5.19. Yükseltici d.a-d.a çevirici

### 5.4.1. Yükseltici çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Adından da anlaşılacağı gibi, yükseltici çeviricilerde çıkış d.a gerilimi, giriş geriliminden her zaman daha yüksektir. Şekil 5.19'daki devrede, denetimli anahtar iletime geçince diyot ters kutuplanır ve çıkış devresini girişten ayırır, bu esnada girişten endüktansa enerji uygulanır. Anahtar kesime gidince devrenin çıkışına, hem kaynaktan hem de endüktanstan enerji uygulanır.

Burada, devrenin sürekli durumda bulunduğu ve çıkış filtresindeki paralel kapasitenin çıkış gerilimini sabit tutacak şekilde çok büyük olduğu kabul edilmektedir. Şekil 5.20'de endüktans akımının sürekli olarak aktığı ($İ_L(t)>0$) duruma ilişkin dalga şekilleri gösterilmiştir.




Şekil5.20. Sürekli akım iletim durumu; (a) anahtar iletimde, (b) anahtar kesimde

Devre sürekli çalışma durumunda olduğu için endüktans geriliminin bir periyot boyunca integrali sıfır olmalıdır.

$$Vdt_{on} + (Vd - Vo)t_{off} \qquad [5.4]$$

Her iki tarafıda $T_s$'ye bölerek ve birimleri tekrar ayarlayarak

$$\frac{Vo}{Vd} = \frac{Ts}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \qquad [5.5]$$

elde edilir.

Şekil 5.20a'daki ve 5.20b'deki devrelere KVL uygulanacak olursa, anahtarın iletim durumunda $Vg=V_L$ olur. Anahtarın kesim durumunda ise $Vg=V_L+Vc$ dir. Bu iki durum göz önünde tutulduğunda aşağıda yazılan mantık çerçevesinde devrenin matematiksel modeli çıkartılabilir.

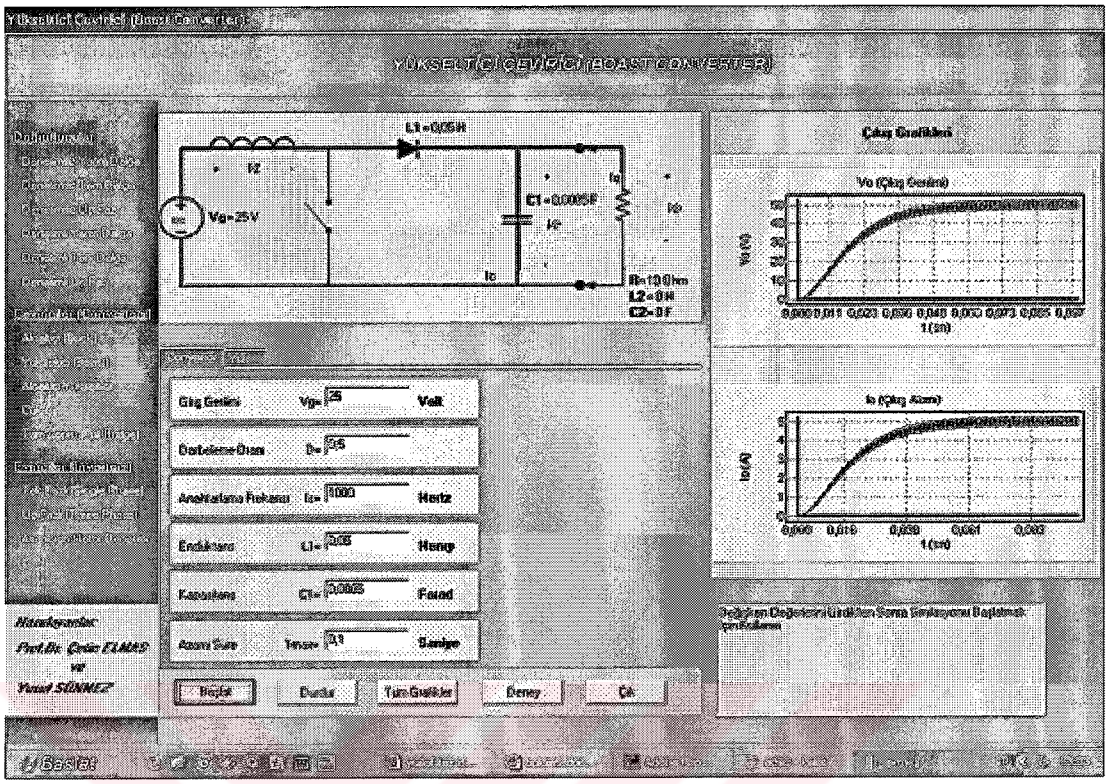
$$V_L = \begin{cases} Vg & Vk>Vst & \text{iletim} \\ Vg-Vc & Vk<=Vst & \text{kesim} \end{cases}$$

Bu mantık çerçevesinde yükseltici çevirici için yazılan program kodu aşağıda gösterildiği gibidir.

```
for (t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{
Vst=t/Ts-floor(t/Ts);
Vd=Vg;
if(Vk>Vst) s=1;
else s=0;
IL=IL+((Vd-(VC*(1-s)))/L1)*(delt);
VL=L1*IL;
VC=VC+((((IL*(1-s))-I0)/C1)*delt);
IC=C1*(VC);
I0=VC/R;
V0=VC;
}
```

### 5.4.2. Yükseltici çevirici benzetim programı ana sayfası

Yükseltici çevirici benzetimi için hazırlanan program ana sayfası Şekil 5.21'de gösterilmiştir.




Şekil 5.21. Yükseltici çevirici program ana sayfası

Ana sayfadaki devre şekli üzerine akım yolu çizdirilirken, anahtarın iletim durumunda devre akımı kaynaktan çıkarak sadece bobin üzerinden geçirilmiştir. Kesim durumunda ise, bobin ve yük üzerinden geçmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen devre benzetimi öğrenciye sunularak, bir yükseltici çeviricide anahtarın iletim durumu için kaynağın sadece bobini, kesim durumu için ise hem bobini hem de yükü enerjilendirdiği görsel olarak anlatılır.

### 5.4.3. Yükseltici çevirici benzetim programı deney sayfası

Yükseltici çevirici benzetim programı için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir. Deney sayfasının hazırlanmasıyla bir yükseltici çevirici devresine ait temel özelliklerin öğrenciye anlamlı bir şekilde kazandırılması amaçlandırılmıştır.

*DENEY 8:YÜKSELTİCİ ÇEVİRİCİ (BOAST CONVERTER) DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Yükseltici çevirici değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi. Sürekli ve süreksiz akım çalışma durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla,bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle iligili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız. Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Konvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Darbeleme Oranı D, Anahtarlama Frekansı fs, Endüktans L1, Kapasitans C1) "KONVERTÖR" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L2, Yük Kapasitansı C2) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için çıkışta olmasını istediğiniz yüke tıklamanız yeterlidir. Bütün değişiklikleri programı durdurduktan sonra yapınız.*

*1- Vg=25 V, fs=1000 Hz, L1=0,05 H , C1=0,0005 F ve yük direnci R=10Ω değerlerini sabit tutarak, Darbeleme Oranı (D) nın değerini 0,1-0,2-0,3....0,9 aralığında değiştiriniz.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz.Darbeleme Oranının her değeri için ortalama çıkış gerilimi değerini aşağıdaki tabloya yazınız.Darbeleme Oranı arttıkça Çıkış Gerilimi nasıl değişti? Giriş gerilimi ile Çıkış Gerilimi arasındaki bağıntıyı Darbeleme Oranına bağlı olarak yazınız.*

| *Darbeleme Oranı (D)* | *Giriş Gerilimi (Vg) Volt* | *Çıkış Gerilimi (Vo) Volt* |
|---|---|---|
| *D1=0,1* | *Vg=25 V* | *Vo1=* |
| *D2=0,2* | *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *D3=0,3* | *Vg=25 V* | *Vo3=* |
| *D4=0,4* | *Vg=25 V* | *Vo4=* |
| *D5=0,5* | *Vg=25 V* | *Vo5=* |
| *D6=0,6* | *Vg=25 V* | *Vo6=* |
| *D7=0,7* | *Vg=25 V* | *Vo7=* |
| *D8=0,8* | *Vg=25 V* | *Vo8=* |
| *D9=0,9* | *Vg=25 V* | *Vo9=* |

*Sonuç:*

*2- D=0,5 fs=1000 Hz L1=0,05 H ve C1= 0,0001 F değerlerini sabit tutarak, Giriş Gerilimi (Vg) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Giriş Gerilimi (Vg) değerleri için uygulayınız.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz.Vg'nin her değeri için ortalama çıkış gerilimi değerini aşağıdaki tabloya yazınız. Darbeleme Oranı sabitken, Giriş Geriliminin değişimi ile Çıkış Gerilimi nasıl değişti?*

| *Darbeleme Oranı (D)* | *Giriş Gerilimi (Vg) Volt* | *Çıkış Gerilimi (Vo) Volt* |
|---|---|---|
| *D1=0,5* | *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *D2=0,5* | *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *D3=0,5* | *Vg=30 V* | *Vo3=* |
| *D4=0,5* | *Vg=50 V* | *Vo4=* |
| *D5=0,5* | *Vg=100 V* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=20 V D=0,5 fs=1000 Hz L1= 0,05 H ve C1=0,0005 F değerlerini sabit tutarak, sadece yük kısmındaki direnç değerini değiştiriniz.Bu işlemi; aşağıdaki tabloda belirlenen bütün Yük Direnç değerleri için uygulayınız ve tabloyu doldurunuz.Her Yük Direnci değeri için bütün grafikleri inceleyiniz.Çıkış Gerilimi grafiğine dikkat ediniz.Yük Direnci değerinin değişimiyle Ortalama Çıkış Gerilimi değerinde değişiklik oldu mu?Çıkış Gerilimindeki dalgalanma, Yük Direnci değeri ile nasıl değişti?(Bu madde için Azami Süreyi Tmax=1 sn yapınız.)*

| *Giriş Gerilimi* | *Yük Direnci* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *Vg=20 V* | *R1=0,5 Ω* | *Vo1=* |
| *Vg=20 V* | *R1=1 Ω* | *Vo2=* |
| *Vg=20 V* | *R1=2 Ω* | *Vo3=* |
| *Vg=20 V* | *R1=5 Ω* | *Vo4=* |
| *Vg=20 V* | *R1=20 Ω* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*4- Vg=25 V D=0,1 L1=0,05 H C1=0,0005 F ve R=2Ω değerlerini sabit tutarak, Anahtarlama frekansına fs=1000 Hz ,fs=10000 Hz ve fs=100000 Hz değerlerini veriniz.Her Anahtarlama Frekansı değeri için bütün grafikleri inceleyiniz ve çıkış gerilimindeki dalgalılığa dikkat ediniz.Çıkış gerilimindeki dalgalanma azaldı mı? Konvertör kısmındaki Alçak Geçiren Filtrenin köşe frekansını hesaplayınız.Filtrenin köşe frekansı ile Anahtarlama Frekansı değerini karşılaştırınız.Anahtarlama Frekansı büyüdükçe Çıkış Gerilimindeki dalgalanma neden azaldı? (Bu madde için Azami Süreyi Tmax=1 sn yapınız)*

| *Giriş Gerilimi* | *Anahtarlama Frekansı* | *Çıkış Gerilimi Min. Değeri* | *Çıkış Gerilimi Max. Değeri* |
|---|---|---|---|
| *Vg=25 V* | *fs1=1000 Hz* | *Vo1min=* | *Vo1max=* |
| *Vg=25 V* | *fs2=10000 Hz* | *Vo2min=* | *Vo2max=* |
| *Vg=25 V* | *fs3=100000 Hz* | *Vo3min=* | *Vo3max=* |

*Sonuç:*

*5- Vg=25 V D=0,1 fs=1000 Hz C1=0,0005 F ve R=2Ω değerlerini sabit tutarak Konvertör kısmındaki Endüktans değerini sırasıyla; L1=0,05 H L1=0,0001 H L1=0,00006 H yapınız. Her Endüktans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Bobin grafiklerine dikkat ediniz.Endüktansın hangi değeri için, bobin akımının sürekli olduğunu (IL>0) ,hangi değeri için bobin akımının süreksizlik sınırında olduğunu (ILmin=0) ve hangi değeri için süreksiz olduğunu (IL<0) belirtiniz. Endüktans değeri küçüldükçe bobin akımı ne oldu? Aşağıdaki her endüktans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz 'bobin akımı' grafiklerini yapıştırınız. Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp aşağıya yapıştırabilirsiniz.*

*Bobin Akımı Grafikleri*

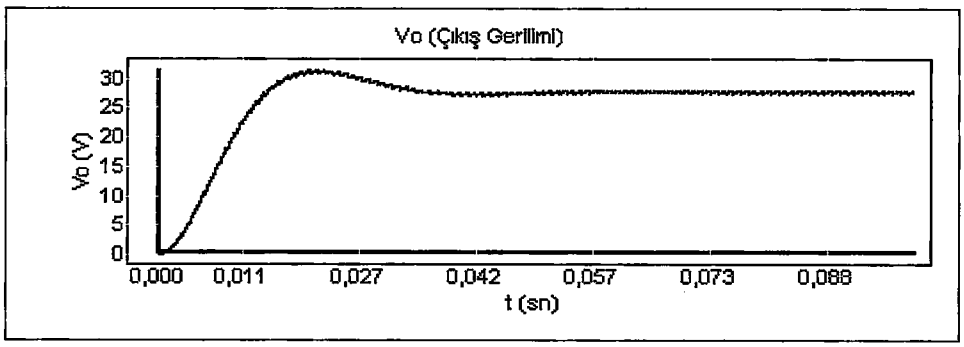
*L1=0,05 iken*

*L2=0,0001 iken*

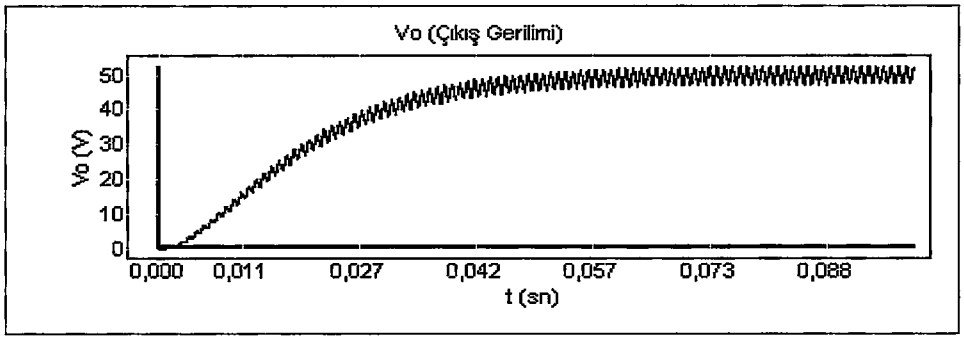
*L3=0,00006 iken*
*Sonuç:*

*6- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

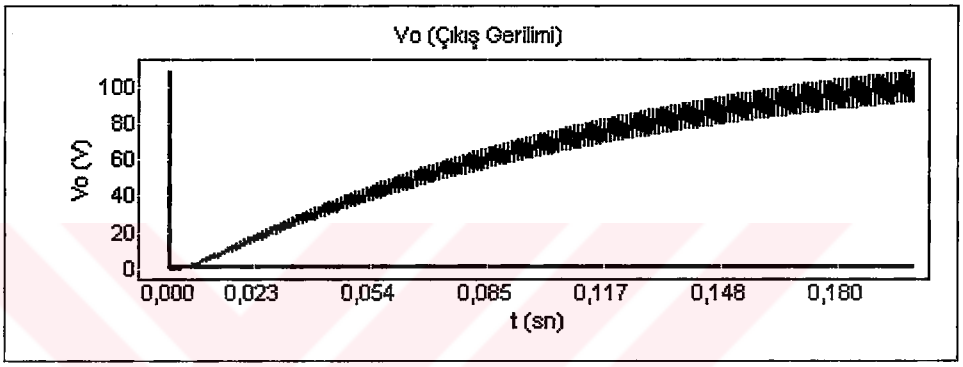
Deneyin 1. maddesinde; öğrenciden, giriş gerilimi (Vg), anahtarlama frekansı (fs), endüktans (L1) ve kapasitans(C1) değerlerini sabit tutarak, darbeleme oranını (D) 0,1....0,9 aralığında değiştirmesi ve her D değeri için programı çalıştırarak çıkış grafiklerini incelenmesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci, bir yükseltici çeviricide çıkış geriliminin girişten daha yüksek bir değerde olduğunu görecek ve çıkış gerilimi ile darbeleme oranı arasındaki ilişkiyi ($V_0$=Vd/(1-D)) kavrayacaktır. Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24'de D=0,1, D=0,5 ve D=0,8 için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.22. D=0,1 için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

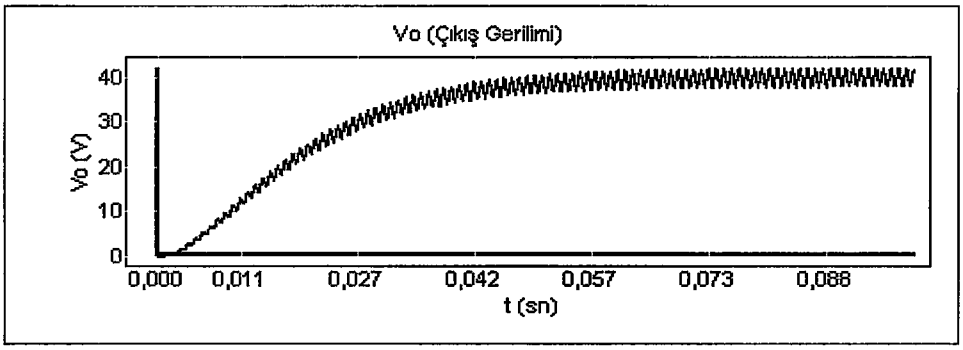



Şekil 5.23. D=0,5 için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

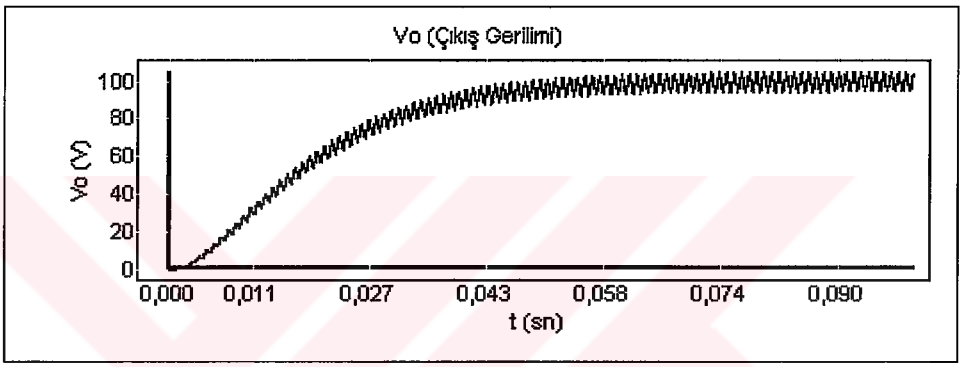



Şekil 5.24. D=0,8 için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

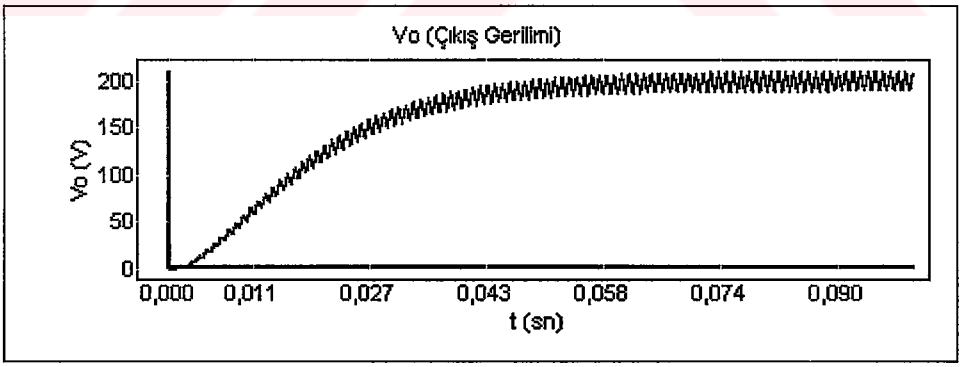
Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden, D, fs, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak giriş gerilimi (Vg) değerini değiştirmesi ve her Vg değeri için programı tekrar çalıştırarak çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi ve grafiklerden faydalanarak deney sayfasında bulunan tabloyu doldurması istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek, diğer bütün devre değişkenleri sabit durumdayken giriş gerilimi değişiminin çıkış gerilimi üzerindeki etkisini görebilecektir. Şekil 5.25, 5.26 ve 5.27'de Vg=20 V, Vg=50 V ve Vg=100 V için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.25. Vg=20 V için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



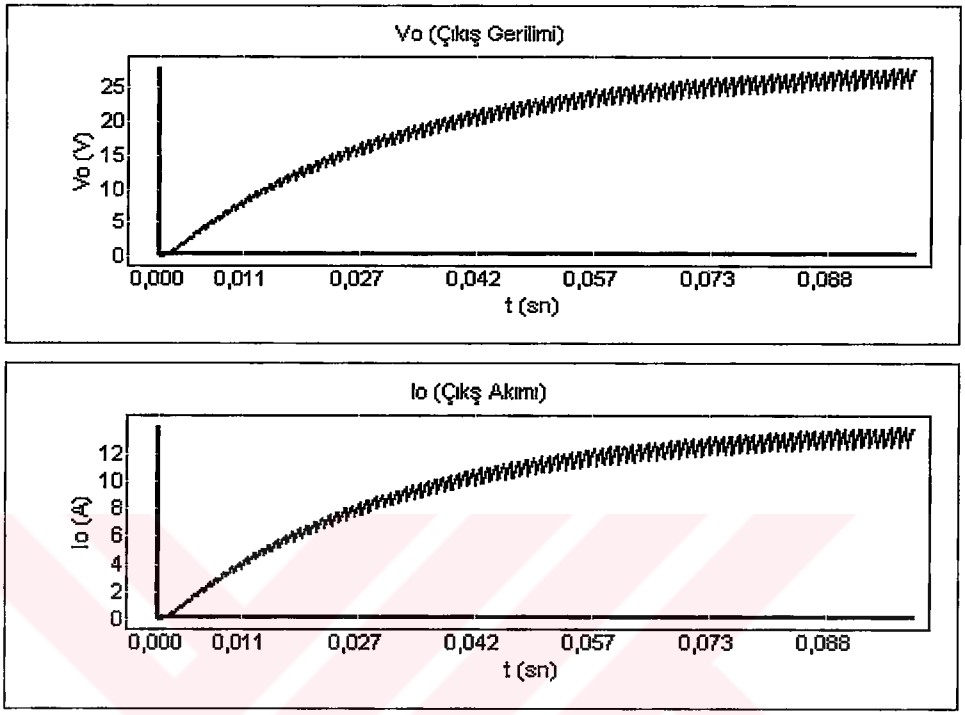

Şekil 5.26. Vg=50 V için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



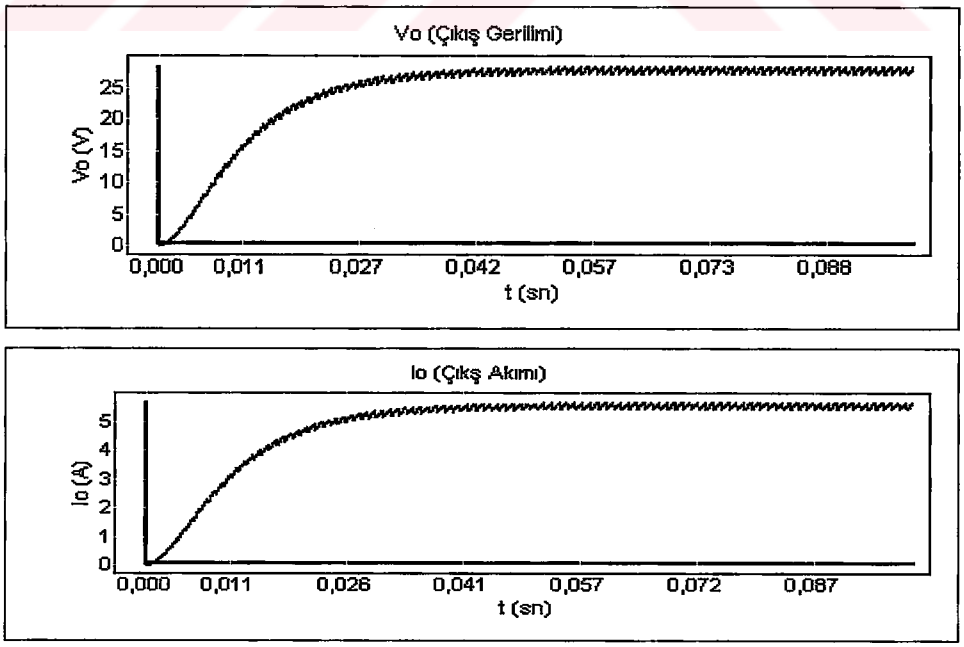

Şekil 5.27. Vg=100 V için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, Vg, D, fs, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak yük bölümündeki direnç (R) değerini değiştirmesi ve her R değeri için çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci, yükseltici çeviricide çıkış gerilimi değerinin, yük direncine bağlı olarak değişmediğini

görecektir. Şekil 5.28 ve 5.29'da R=2 ohm ve R=5 ohm için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.

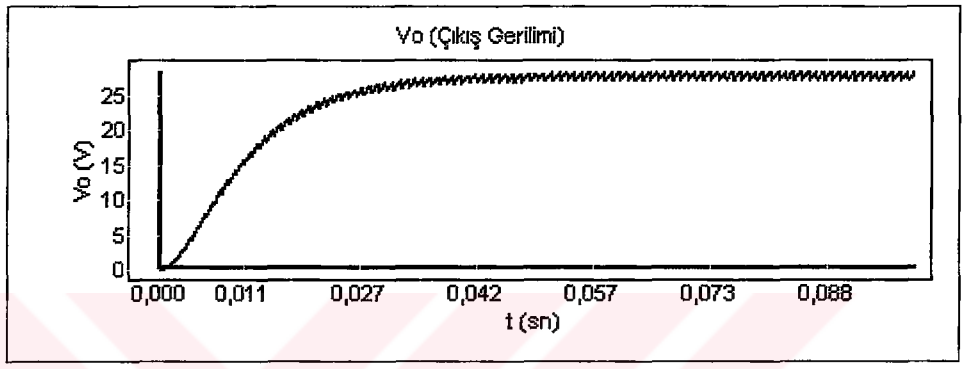



Şekil 5.28. R=2 ohm için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri.

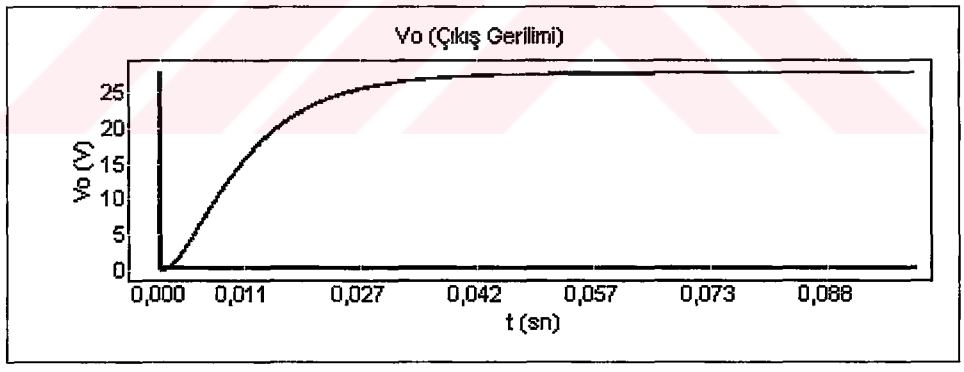



Şekil 5.29. R=5 ohm için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri.

Deneyin 4.maddesinde; öğrenciden, Vg, D, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak anahtarlama frekansı (fs) değerini deney sayfasında verildiği şekilde değiştirerek, her fs değeri için program çalıştırması ve çıkış grafiklerini incelenmesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci, anahtarlama frekansının artışıyla çıkış gerilimindeki dalgalanmanın azaldığını grafikler yardımıyla görecektir. Şekil 5.30 ve 5.31'de yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.



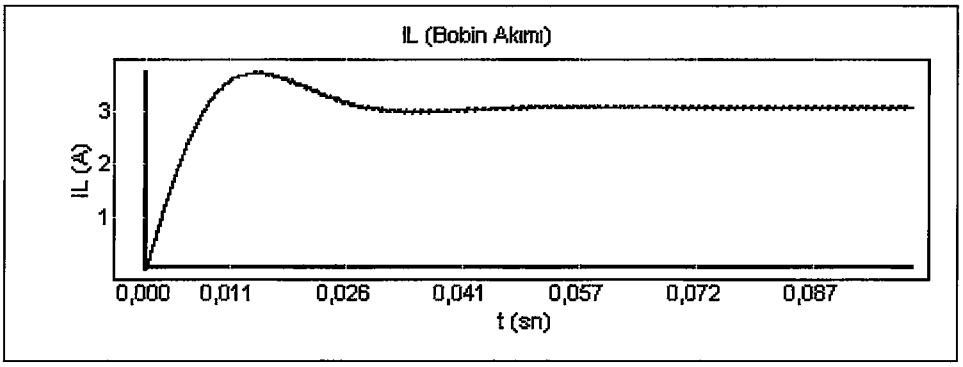

Şekil 5.30. fs=1000 Hz için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği.



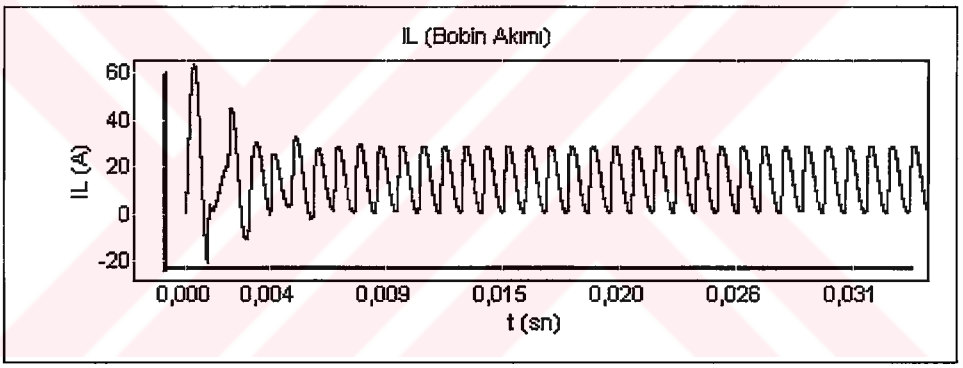

Şekil 5.31. fs=10000 Hz için yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği.

Deneyin 5. maddesinde; öğrenciden, Vg, D, fs ve C1 değerlerini sabit tutarak endüktans (L1) değerini deney sayfasında verildiği şekilde değiştirmesi ve her L1 değeri için program çalıştırarak bobin grafiklerini incelenmesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci endüktansın küçük değerleri için bobin akımının süreksiz, yüksek değerleri için sürekli olduğunu görecektir. Şekil 5.32, 5.33 ve

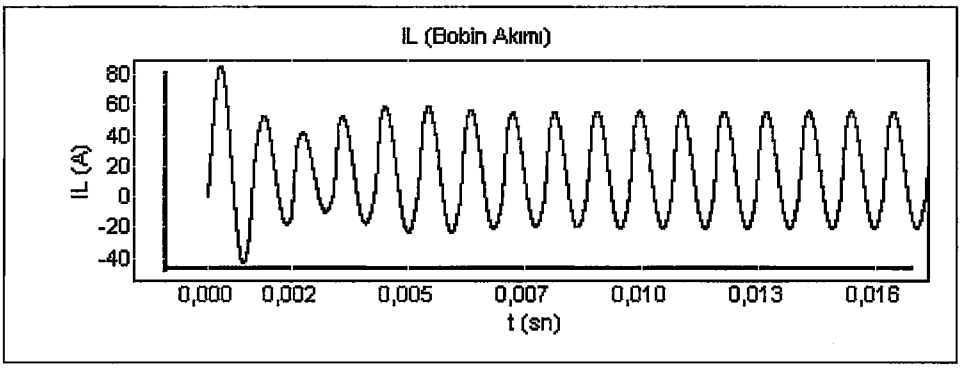
5.34'de $L_1$=0,05 $L_1$=0,0001 H ve $L_1$=0,00006 H için yükseltici çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.32. L1=0,05 H için yükseltici çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği



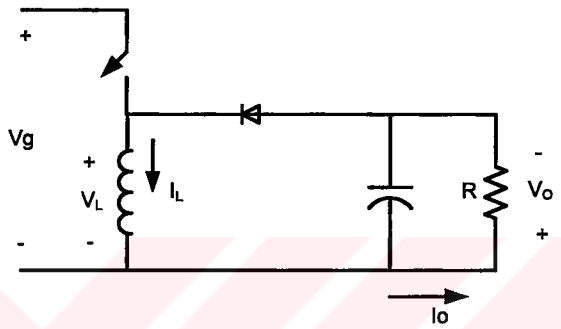

Şekil 5.33. L1=0,0001 H için yükseltici çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği




Şekil 5.34. L1=0,00006 H için yükseltici çevirici programında çizdirilen bobin akımı grafiği

## 5.5. Alçaltıcı – Yükseltici Çevirici (Buck-Boast Converter)

Alçaltıcı – Yükseltici çeviricilerin başlıca uygulaması, giriş uçlarına göre tek kutuplu çıkış gereken ve çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek ya da düşük olduğu ayarlı d.a güç kaynaklarıdır. Şekil 5.35'de alçaltıcı – yükseltici çeviricinin devre şekli gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bir alçaltıcı – yükseltici çevirici, iki adet temel alçaltıcı – yükseltici çeviricinin ardı ardına bağlanmasıyla elde edilebilir. (1,2)



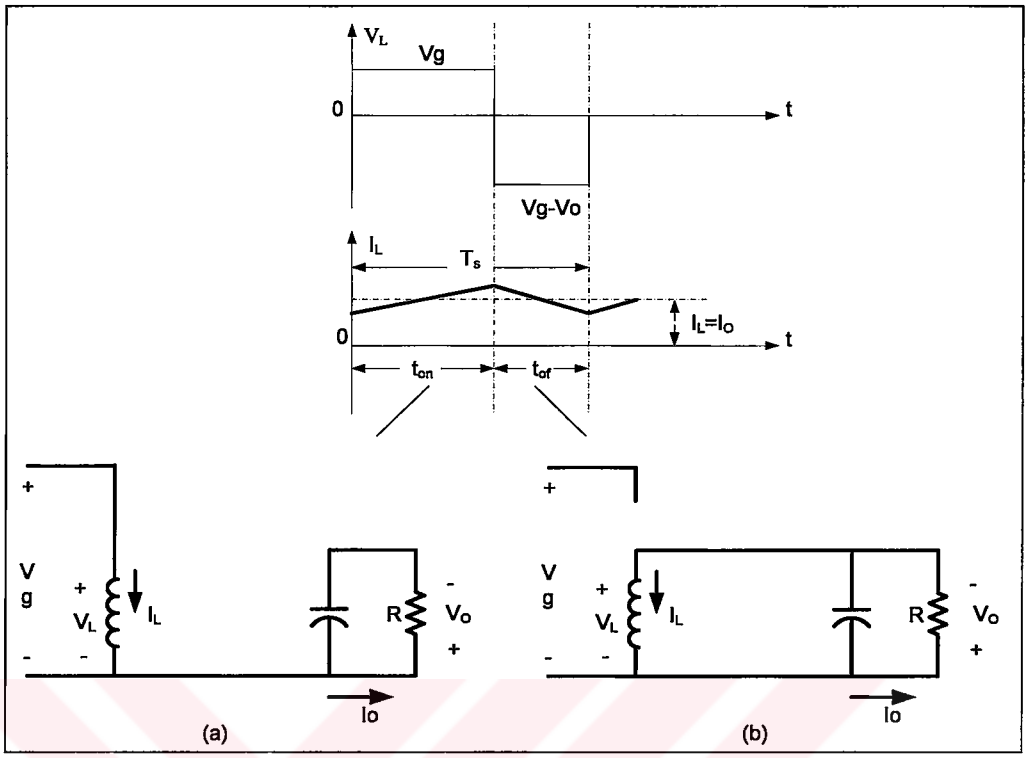

Şekil 5.35. Alçaltıcı – Yükseltici çevirici

### 5.5.1. Alçaltıcı – Yükseltici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Alçaltıcı – Yükseltici çeviricide gerilim çevirme oranı, ardı ardına bağlı iki çeviricinin çevirme oranlarının çarpımıdır.

$$\frac{Vo}{Vd} = D.\frac{1}{1-D} \qquad [5.6]$$

Çeviricide, anahtarın iletime geçirilmesiyle, girişten endüktansa enerji uygulanır ve bu esnada diyot ters kutuplanır. Anahtar kesime geçince kaynak devreden ayrılır, endüktansta biriken enerji çıkışa aktarılır. Bu sırada giriş tarafından enerji uygulanmaz. Şekil 5.36'da alçaltıcı – yükseltici çeviriciye ait bobin akım ve gerilim grafikleri verilmiştir.




Şekil 5.36. Alçaltıcı – yükseltici çevirici; (a) anahtar iletimde, (b) anahtar kesimde

Şekil 5.36a ve 5.36b'deki devrelere KVL uygulancak olursa, anahtarın iletim durumunda Vg=$V_L$, kesim durumunda ise $V_L$=Vc olur.bu formüllerden yola çıkarak devrenin matematiksel modeli çıkartılırken, aşağıda gösterilen mantık tablosu kullanılmıştır.

$$V_L = \begin{cases} Vg & Vk > Vst \quad \text{iletim} \\ Vc & Vk <= Vst \quad \text{kesim} \end{cases}$$

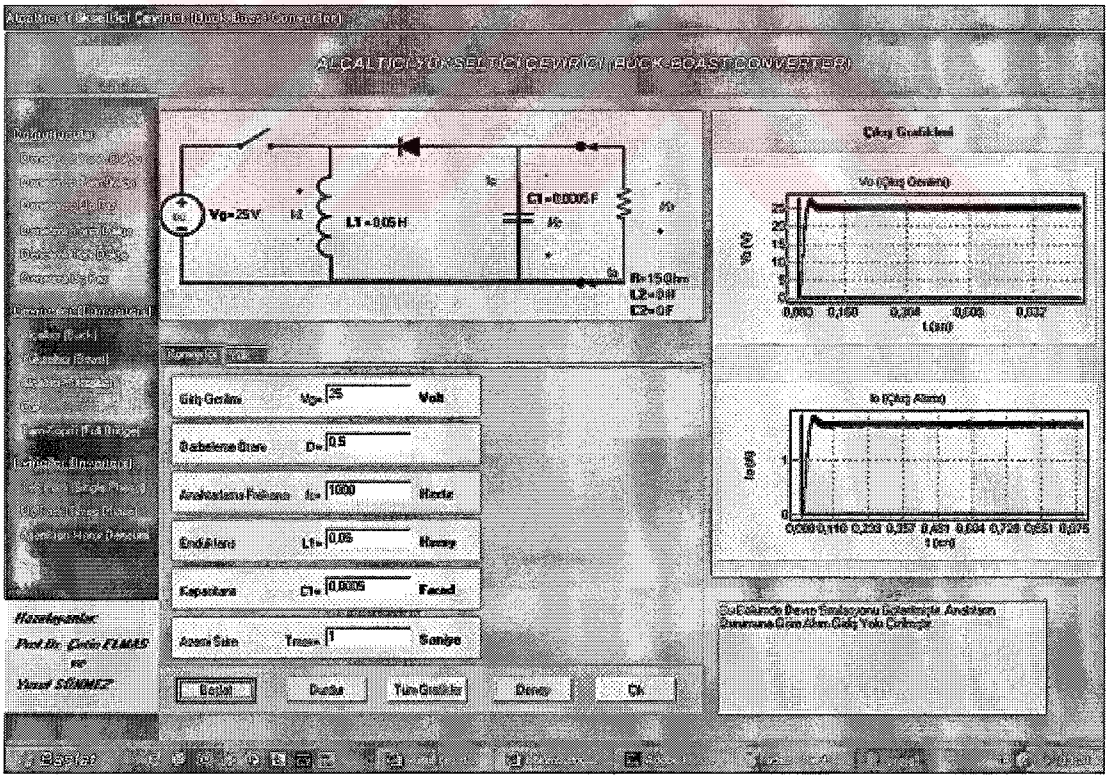
Bobin gerilimi için hazırlanan bu mantık doğrultusunda, alçaltıcı – yükseltici çevirici benzetimi için yazılan program kodu aşağıda gösterilmiştir.

```
for (t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{
Vst=t/Ts-floor(t/Ts);
Vd=Vg;
```

```
if(Vk>Vst) s=1;
else s=0;
IL=IL+(((Vd*s)-(VC*(1-s)))/L1)*(delt);
VL=L1*IL;
VC=VC+((((IL*(1-s))-I0)/C1)*delt);
IC=C1*(VC);
I0=VC/R;
V0=VC;
}
```

### 5.5.2. Alçaltıcı – Yükseltici çevirici devresi benzetim programı ana sayfası

Şekil 5.37'de alçaltıcı – yükseltici çevirici benzetimi için hazırlanan program ana sayfası gösterilmiştir.




Şekil 5.37. Alçaltıcı – yükseltici çevirici program ana sayfası

Ana sayfadaki devre şekli üzerine akım yolu çizdirilirken, anahtarın iletim durumu için devre akım, bobinden çıkartılarak yük üzerinden geçirilmiştir. Kesim durumunda ise akım kaynaktan çıkarak sadece bobin üzerinden geçmektedir. Bu durum tıpkı devrenin çalışma prensibinde anlatıldığı gibidir. Böylece devre benzetimini takip eden öğrenci; anahtarın kesim durumunda kaynağın bobini enerjilendirdiğini, iletim durumundaysa bobinin enrjisini yük üzerinden boşalttığını görsel olarak görebilecektir.

### 5.5.3. Alçaltıcı – Yükseltici çevirici devresi benzetim programı deney sayfası

Alçaltıcı – yükseltici çevirici bezetim programı için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir. Deney sayfası ile alçaltıcı – yükseltici çevirici devresine ait temel özelliklerin öğrenciye kazandırılması amaçlanmıştır.

*DENEY 9:ALÇALTICI-YÜKSELTİCİ ÇEVİRİCİ (BUCK-BOAST CONVERTER) DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Alçaltıcı-Yükseltici çevirici değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi. Sürekli ve süreksiz akım çalışma durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir.Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle iligili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.*

*Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Konvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Darbeleme Oranı D, Anahtarlama Frekansı fs, Endüktans L1, Kapasitans C1) "KONVERTÖR" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L2, Yük Kapasitansı C2) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için olmasını istediğiniz yük formunun üzerine tıklamanız yeterlidir.Bu deneyde grafiklerde görmek istediğiniz değer Tmax=1 sn. seçilmiştir.Bu yüzden programın grafikleri çizmesi biraz zaman alacaktır (yaklaşık 10 sn). Programın çalışmasını tamamladığını, devre simülasyonunda akım gidiş yolunun çizdirilmeye başlamasından anlayabilirsiniz. Program çalışmasını tamamladıktan sonra, öncelikle devre simülasyonunda anahtarın durumuna göre akım gidiş yolunu takip ediniz. Anahtarın iletim durumunda devrenin hangi durumda olduğunu ve akımın hangi elemanların üzerinden aktığını öğreniniz. Daha sonra istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşu ile tıklayarak,ilgili elemanın akım ve gerilim grafiklerini inceleyiniz.*

*1- Vg=25 V, fs=1000 Hz, L1=0,05 H ve C1=0,0005 F değerlerini sabit tutarak, Darbeleme Oranı (D) nın değerini 0,1-0,2-0,3....0,9 aralığında değiştiriniz.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz.Darbeleme Oranının her değeri için ortalama çıkış gerilimi değerini aşağıdaki tabloya yazınız.Darbeleme Oranı arttıkça çıkış gerilimi ne oldu?Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki bağıntıyı darbeleme oranına bağlı olarak yazınız.*

| *Darbeleme Oranı* | *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *D1=0,1* | *Vg=25 V* | *Vo1=* |
| *D1=0,2* | *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *D1=0,3* | *Vg=25 V* | *Vo3=* |
| *D1=0,4* | *Vg=25 V* | *Vo4=* |
| *D1=0,5* | *Vg=25 V* | *Vo5=* |
| *D1=0,6* | *Vg=25 V* | *Vo6=* |
| *D1=0,7* | *Vg=25 V* | *Vo7=* |
| *D1=0,8* | *Vg=25 V* | *Vo8=* |
| *D1=0,9* | *Vg=25 V* | *Vo9=* |

*Sonuç:*

*2- D=0,5 fs=1000 Hz L1=0,05 H ve C1= 0,0005 F değerlerini sabit tutarak, Giriş Gerilimi (Vg) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Giriş Gerilimi (Vg) değerleri için uygulayınız. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz.Giriş Gerilimi (Vg)'nin her değeri için ortalama Çıkış Gerilimi (Vo)*

*değerini aşağıdaki tabloya yazınız. Darbeleme Oranı sabitken, Giriş Geriliminin değişimi ile Çıkış Gerilimi nasıl değişti?*

| *Darbeleme Oranı* | *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *D1=0,5* | *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *D1=0,5* | *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *D1=0,5* | *Vg=30 V* | *Vo3=* |
| *D1=0,5* | *Vg=50 V* | *Vo4=* |
| *D1=0,5* | *Vg=100 V* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=25 V D=0,5 fs=1000 Hz L1= 0,05 H ve C1=0,0005 F değerlerini sabit tutarak, sadece yük kısmındaki Direnç (R) değerini değiştiriniz. Bu işlemi; aşağıdaki tabloda belirlenen bütün Yük Direnci (R) değerleri için uygulayınız ve tabloyu doldurunuz. Her Yük Direnci değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Çıkış Gerilimi grafiğine dikkat ediniz. Yük Direnci değerinin değişimiyle Ortalama Çıkış Gerilimi değerinde değişiklik oldu mu? Çıkış Gerilimindeki dalgalanma, Yük Direnci değeri ile nasıl değişti?*

| *Giriş Gerilimi* | *Yük Direnci* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *Vg=20 V* | *R1=0,5 Ohm* | *Vo1=* |
| *Vg=20 V* | *R1=1 Ohm* | *Vo2=* |
| *Vg=20 V* | *R1=5 Ohm* | *Vo3=* |
| *Vg=20 V* | *R1=10 Ohm* | *Vo4=* |
| *Vg=20 V* | *R1=25 Ohm* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*4- Vg=25 V D=0,1 L1=0,05 H C1=0,0005 F ve R=15 Ohm değerlerini sabit tutarak, Anahtarlama frekansına fs=1000 Hz ,fs=10000 Hz ve fs=50000 Hz değerlerini veriniz.Her Anahtarlama Frekansı değeri için bütün grafikleri inceleyiniz ve çıkış gerilimindeki dalgalılığa dikkat ediniz.Çıkış gerilimindeki dalgalanma azaldı mı? Konvertör kısmındaki Alçak Geçiren Filtrenin köşe frekansını hesaplayınız.Filtrenin köşe frekansı ile Anahtarlama Frekansı değerini karşılaştırınız.Anahtarlama Frekansı büyüdükçe Çıkış Gerilimindeki dalgalanma neden azaldı?*

| *Giriş Gerilimi* | *Anahtarlama Frekansı* | *Çıkış Gerilimi Min. Değeri* | *Çıkış Gerilimi Max. Değeri* |
|---|---|---|---|
| *Vg=20 V* | *fs1=1000 Hz* | *Vo1min=* | *Vo1max=* |
| *Vg=20 V* | *fs2=10000 Hz* | *Vo2min=* | *Vo2max=* |
| *Vg=20 V* | *fs3=50000 Hz* | *Vo3min=* | *Vo3max=* |

*Sonuç:*

*5- Vg=25 V D=0,5 fs=1000 Hz C1=0,0001 F ve R=15 Ohm değerlerini sabit tutarak Konvertör kısmındaki Endüktans değerini sırasıyla; L1=0,05 H , L1=0,0018 H ve L1=0,0008 H yapınız. Her Endüktans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Bobin grafiklerine dikkat ediniz. Endüktansın hangi değeri için, bobin akımının sürekli olduğunu,hangi değeri için bobin akımının süreksizlik sınırında olduğunu ve hangi değeri için süreksiz olduğunu belirtiniz. Endüktans değeri küçüldükçe bobin akımında ne gibi değişiklikler meydana geldi? Aşağıdaki her endüktans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz bobin grafiklerini yapıştırınız. Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp buraya yapıştırabilirsiniz.*

*L1=0,05*

*L2=0,0018*

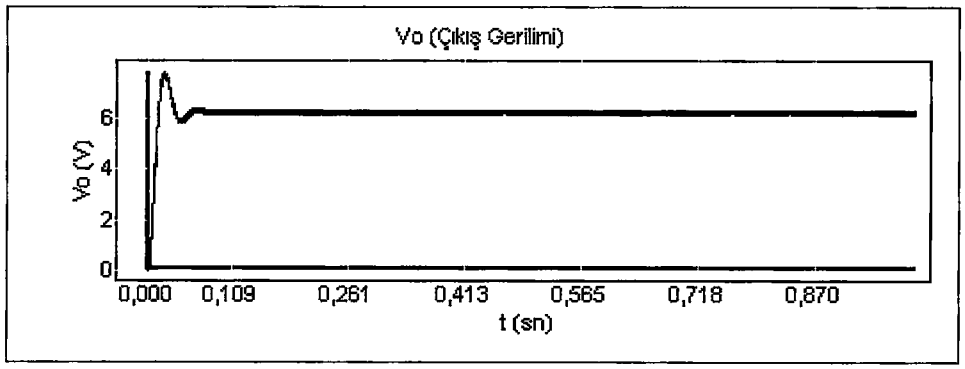
*L3=0,0008*

*Sonuç:*

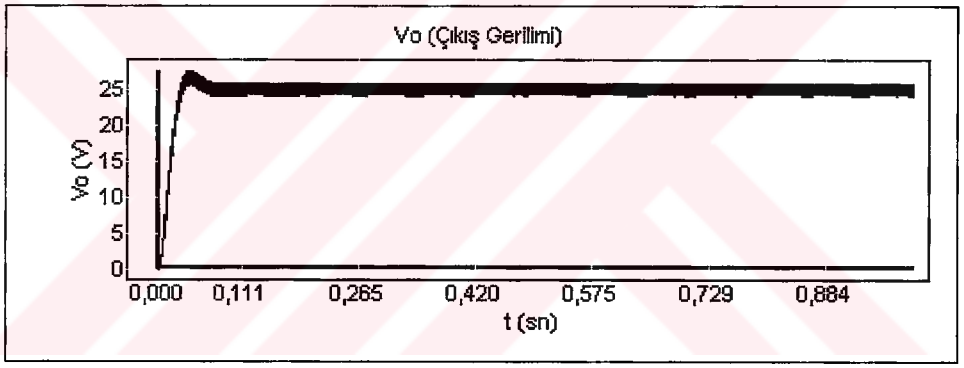
*6- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deneyin 1.maddesinde; öğrenciden giriş gerilimi (Vg), anahtarlama frekansı (fs), endüktans (L1) ve kapasitans (C1) değerlerini sabit tutarak, darbeleme oranını (D) değiştirmesi ve programı her D değeri için çalıştırarak çıkış grafiklerini incelenmesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci; darbeleme oranının 0,1-0,5 aralığında çeviricinin çıkışından girişine göre daha düşük gerilim elde edildiğini, D=0,5 için çıkış geriliminin giriş gerilimine eşit olduğunu, 0,5-0.9 aralığında ise çıkıştan girişe oranla daha yüksek gerilim elde edildiğini görecektir. Şekil 5.38, 5.39

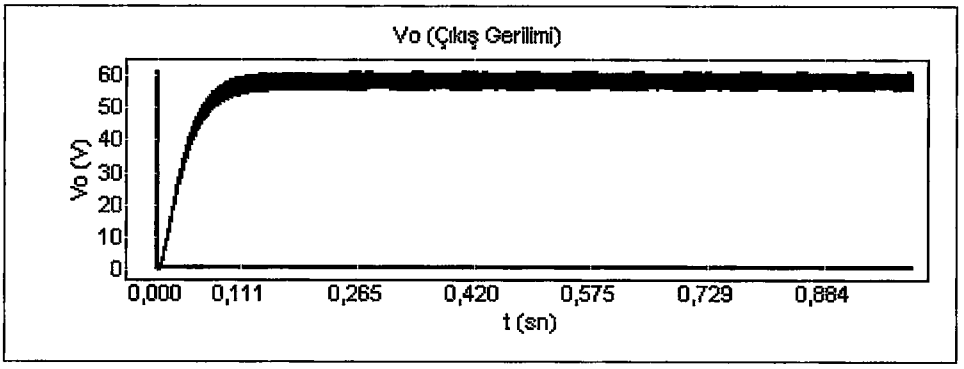
ve 5.40'da D=0,2, D=0,5 ve D=0,7 için programda çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.38. D=0,1 için alçaltıcı-yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.

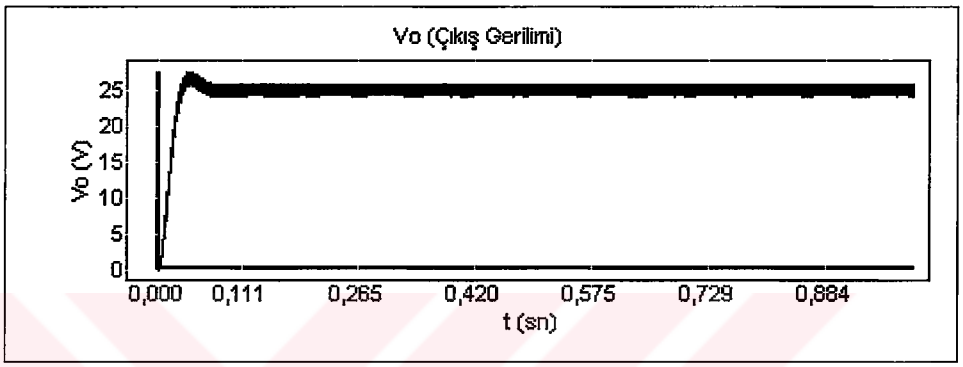



Şekil 5.39. D=0,5 için alçaltıcı-yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.

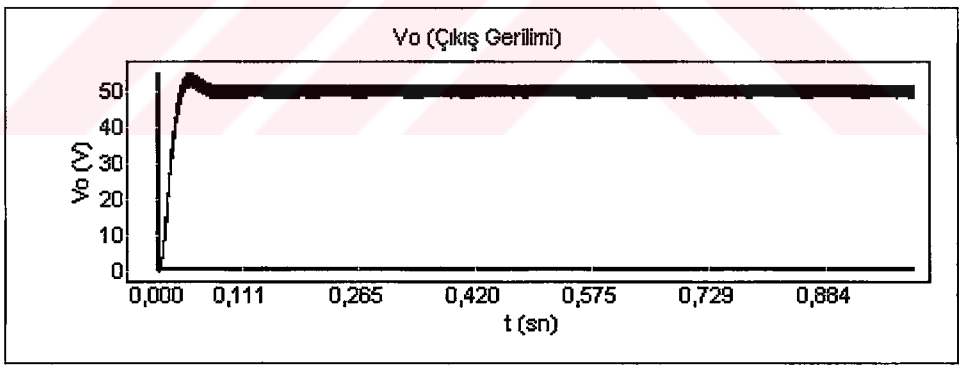



Şekil 5.40. D=0,7 için alçaltıcı-yükseltici çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.

Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden, D, fs, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak giriş gerilimi (Vg) değerini değiştirmesi ve her Vg değeri için programı çalıştırarak çıkış gerilimi grafiklerini incelenmesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek; darbeleme oranı sabit durumdayken, giriş gerilimi değişiminin çıkış gerilimine olan etkisini görecektir. Şekil 5.41 ve 5.42'de Vg=25 V ve Vg=50 V için programda çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.41. Vg=25 V için alçaltıcı-yükseltici programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

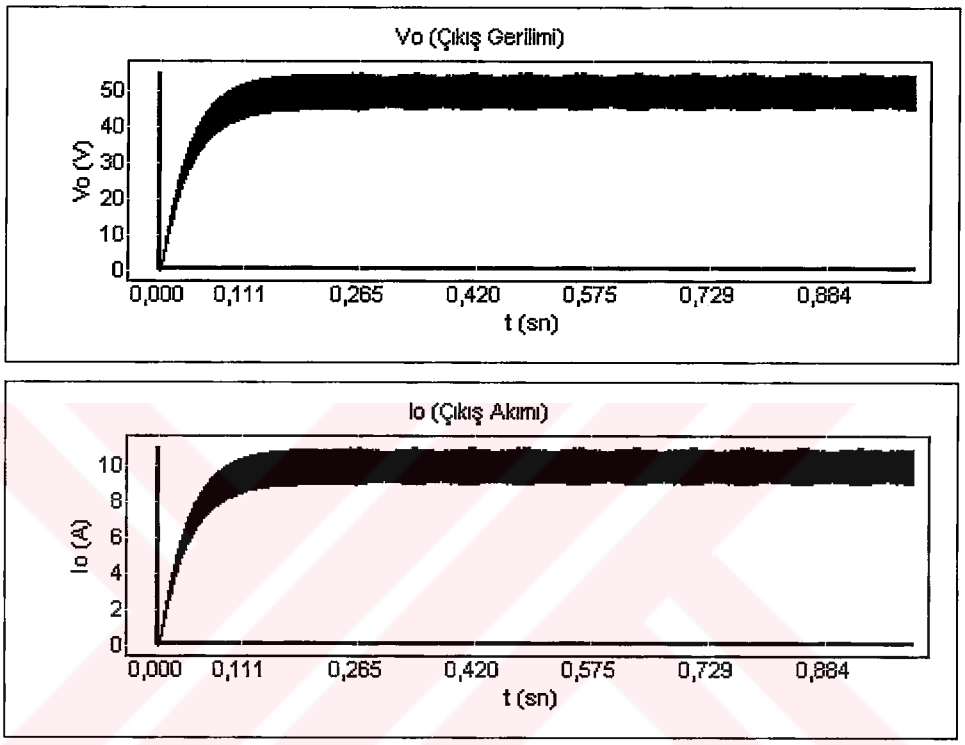



Şekil 5.42. Vg=50 V için alçaltıcı-yükseltici programda çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

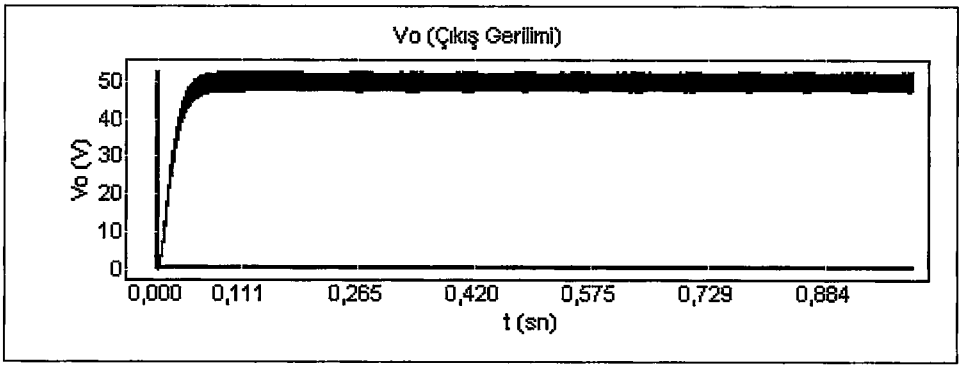
1. ve 2. maddenin sonunda öğrenci, alçaltıcı-yükseltici için çıkış geriliminin giriş geriliminden, çalışma oranı D'ye bağlı olarak daha düşük yada daha yüksek olduğunu ve aralarında Vo=D.Vg/(1-D) gibi bir ilişki olduğunu kavrayacaktır.

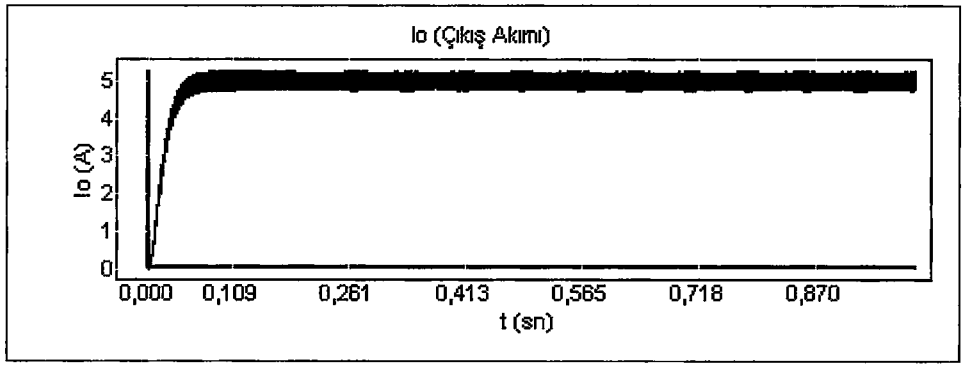
Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, tüm çevirici değerlerini sabit tutarak sadece yük kısmındaki direnç (R) değerinin değiştirmesi ve her R değeri için programı

çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek; çıkış geriliminin, yük direncinin değişimine bağlı olarak sabit kaldığını fakat çıkış akımının farklılaştığını görecektir. Şekil 5.43 ve 5.44'de R=5 ohm ve R=10 ohm değerleri için programda çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.



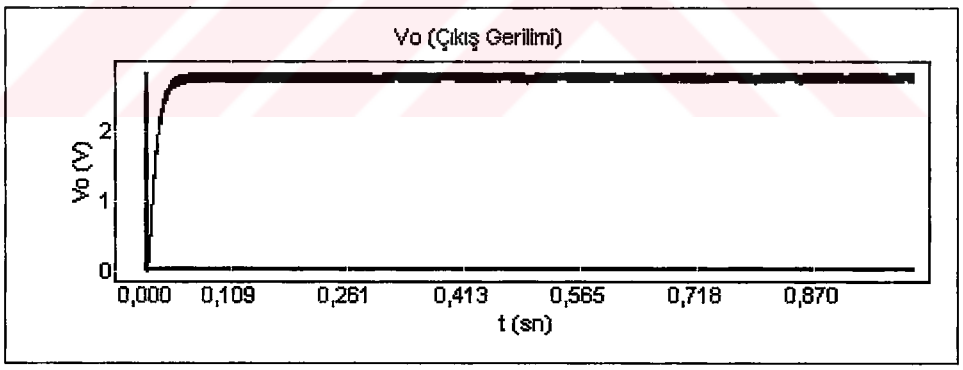

Şekil 5.43. R=5 ohm için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış grafikleri



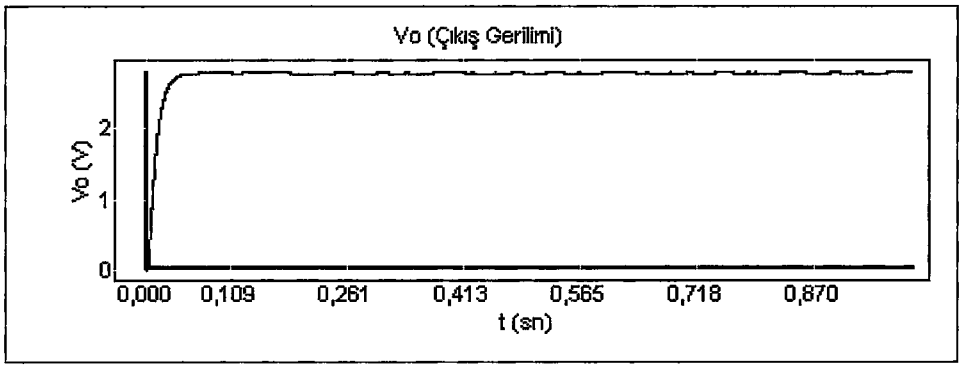



Şekil 5.44. R=10 ohm için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış grafikleri

Deneyin 4. maddesinde; öğrenciden, Vg, D, L1 ve C1 değerlerini sabit tutarak anahtarlama frekansı fs'yi deney sayfasında verilen değerler için değiştirmesi ve her fs değeri için programı çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci; fs'nin küçük değerleri için çıkış geriliminin dalgalı olduğunu, fs'nin yükseltildiği taktirde çıkış geriliminin daha salınımsız hale geldiğini grafikler yardımıyla görecektir. Şekil 5.45 ve 5.46'da fs=1000 Hz, ve fs=10000 Hz için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.

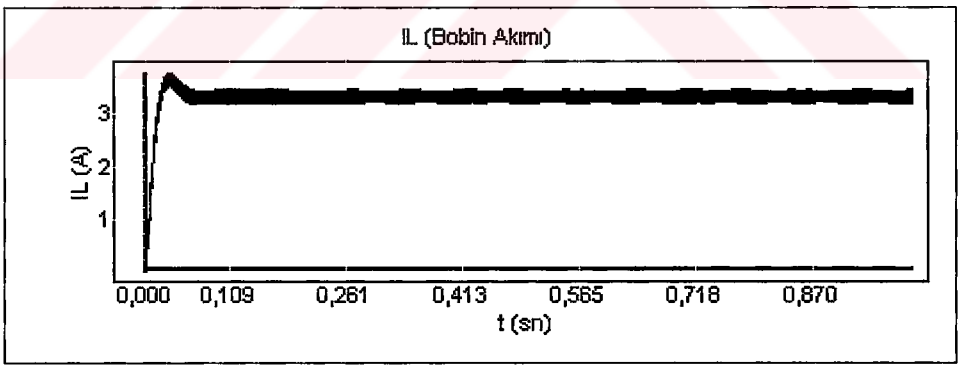



Şekil 5.45. fs=1000 Hz için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.

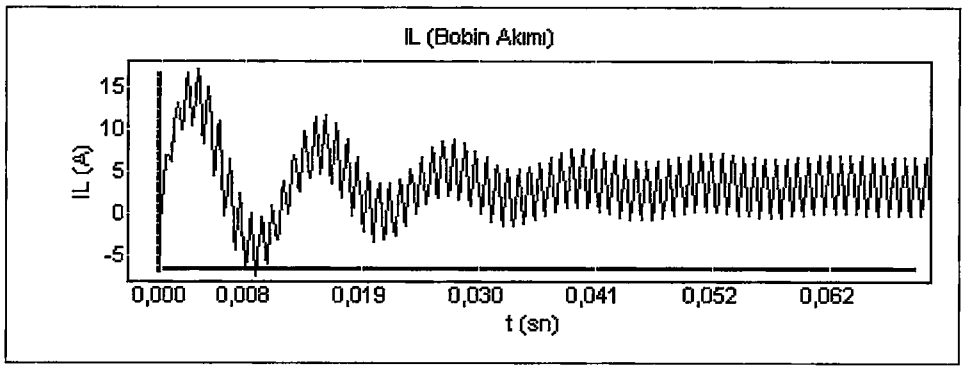



Şekil 5.46. fs=10000 Hz için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.

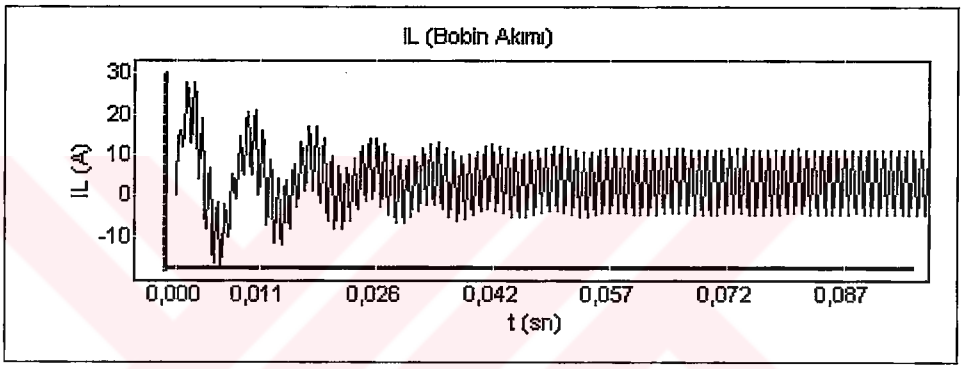
Deneyin 5. maddesinde, öğrenciden, Vg, D, fs ve C1 değerlerini sabit tutarak endüktans (L1) değerinin değiştirmesi ve her L1 değeri için programı çalıştırarak bobin akımı grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek; endüktansın küçük değerleri için bobin akımının süreksiz olduğunu, endüktans değerini yükselttikçe bobin akımının sürekli hale geldiğini görecektir. Şekil 5.47, 5.48 ve 5.49'da L1=0,05 H, L1=0,0018 H ve L1=0,008 H için programda çizdirilen bobin akımı grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.47. L1=0,05 H için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen bobin akımı grafikleri



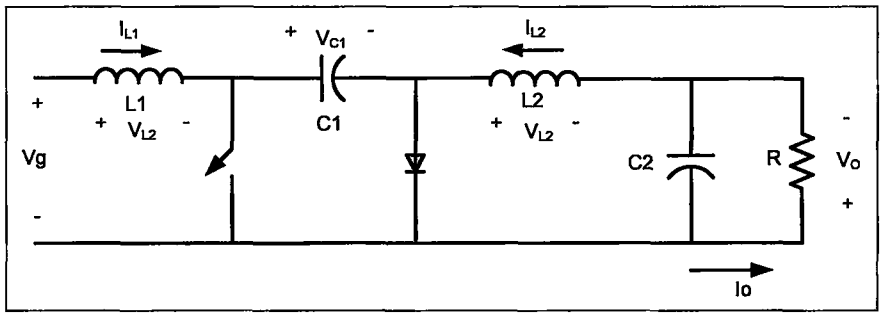

Şekil 5.48. L1=0,0018 H için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen bobin akımı grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.49. L1=0,0008 H için alçaltıcı-yükseltici programında çizdirilen bobin akımı grafikleri gösterilmiştir.

## 5.6. Cuk Çevirici (Cuk Converter)

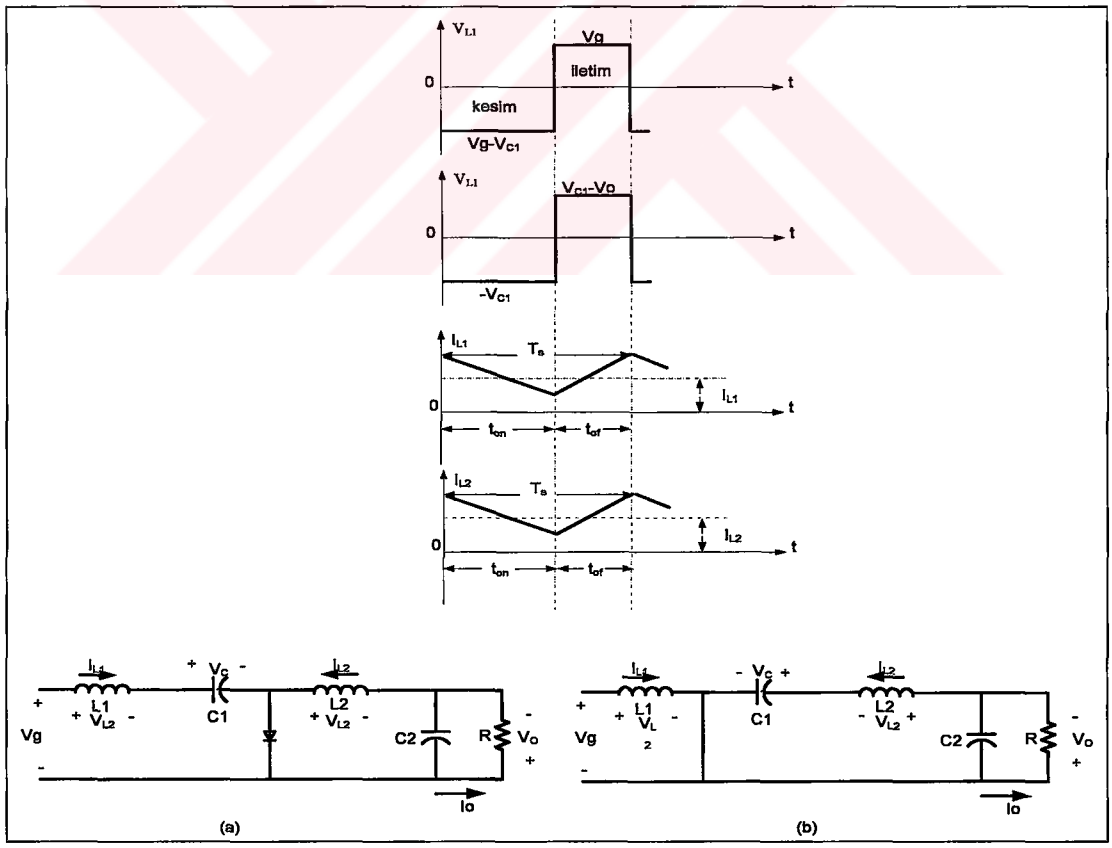
Bu çevirici, bir önceki konuda anlatılan iki adet alçaltıcı-yükseltici çeviricinin arka arkaya bağlanmasıyla elde edilir. Alçaltıcı-yükseltici çeviriciye benzer olarak,Cuk çevirici de giriş geriliminin ortak ucuna göre ters kutuplu çıkış gerilimi üretir. Şekil 5.50'de Cuk çevirici devresi gösterilmiştir. Burada C1 kapasitesi, enerjiyi biriktirmede ve girişten çıkışa taşımada kullanılan ana bileşendir.




Şekil 5.50. Cuk çevirici

### 5.6.1. Cuk çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil 5.51'de Cuk çevirici devresinin anahtarın iletim ve kesim durumları için oluşan şekilleri gösterilmiştir.




Şekil5.51. Cuk çevirici şekilleri;(a)anahtar kesimde, (b)anahtar iletimde

Anahtar kesimdeyken, $İ_{L1}$ ve $İ_{L2}$ endüktans akımları diyot üzerinden akar. C1 kapasitesi hem girişten hem de L1'den gelen ve diyot üzerinden geçen enerji ile yüklenir. $V_{c1}$ gerilimi Vg'den daha yüksek olduğu için $İ_{L1}$ akımı azalır. Bu zaman aralığında $L_2$'de birikmiş olan enerji çıkışı besler. Bu nedenle $İ_{L2}$'de azalmaktadır. Anahtarın kesim durumu için Şekil 5.51a'daki devreye KVL uygulandığında 1. ve 2. bobin gerilimleri için oluşan denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$V_{L1} = Vg - V_{C1}$$
$$V_{L2} = -V_{C2}$$

Anahtar iletimdeyken, $V_{c1}$, diyotu ters kutuplar. Endüktans akımları $İ_{L1}$ ve $İ_{L2}$, anahtar üzerinden akar. $V_{c1}$>Vo olduğundan, $C_1$ kapasitesi enerjisini çıkışa ve $L_2$'ye aktararak anahtar üzerinden boşalır. Bu nedenle, $İ_{L2}$ arata. Girişten $L_1$'e enerji aktarıldığından $İ_{L1}$ de artar. Anahtarın iletim durumu için Şekil 5.51b'deki devreye KVL uygulandığında 1.ve2. bobin gerilimleri için oluşan denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$V_{L1} = Vg$$
$$V_{L2} = V_{C1} - V_{C2}$$

Bu bilgiler ışığında cuk çeviricinin matematiksel modeli çıkarılırken, anahtarın iletim ve kesim durumları için 1. ve 2. bobine ait gerilim denklemleri kullanılır. Bu yüzden aşağıda gösterilen mantık şeması yardımıyla, devreye ait program kodunu yazılır. (1)

$$V_{L1} = \begin{cases} Vg\text{-}V_{C1} & V_k \leq V_{st} \quad \text{kesim} \\ Vg & V_k > V_{st} \quad \text{iletim} \end{cases}$$

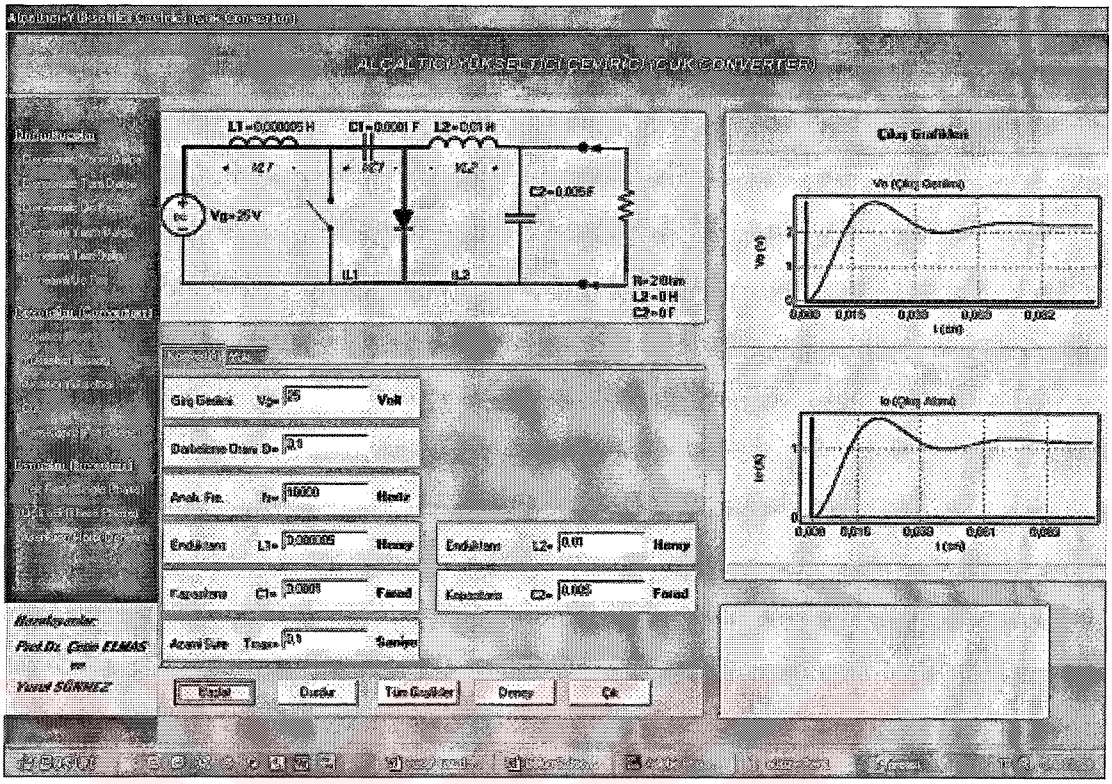
$$V_{L2}=\begin{cases} -V_{c2} & V_k \leq V_{st} \quad \text{kesim} \\ V_{c1}-V_{c2} & V_k > V_{st} \quad \text{iletim} \end{cases}$$

Cuk çevirici için yazılan program kodu ise aşağıda gösterildiği gibidir.

```
for (t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{
Vst=t/Ts-floor(t/Ts);
Vd=Vg*(Vk>=Vst);
if(Vk>=Vst) s=1;
else s=0;
IL1=IL1+((Vg-(VC1*(1-s)))/L1)*(delt);
VL1=L1*IL1;
IL2=IL2+((VC1*s-VC2)/L2)*delt;
VL2=L2*IL2;
VC1=VC1+((((IL2*s)+(IL1*(1-s)))/C1)*delt);
IC1=C1*(VC1);
VC2=VC2+(((IL2-I0)/C2)*delt);
IC2=C2*(VC2);
I0=VC2/R;
V0=VC2;
}
```

### 5.6.2. Cuk çevirici devresi benzetim programı ana sayfası

Cuk çevirici için hazırlanan benzetim programı ana sayfası Şekil 5.52'de gösterilmiştir.




Şekil 5.52. Cuk çevirici program ana sayfası

Ana sayfadaki devre şekli üzerine akım yolu çizdirilirken, anahtarın iletim ve kesim durumları için biri kaynaktan diğeri $L_2$ bobininden çıkan iki akım yolu gösterilmiştir. Anahtar iletimdeyken; kaynaktan çıkan akım, $L_1$ bobini ve anahtar üzerinden geçerek kaynağa geri döner. $L_2$ bobininden çıkan akım ise $C_1$ kondansatörü ve diyot üzerinden geçerek kaynakta son bulur. Anahtarın kesim durumu süresince kaynaktan çıkan akım $L_1$ bobini, $C_1$ kondansatörü ve diyot üzerinden geçerek kaynakta son bulurken, $L_2$ bobininden çıkan akım diyot ve yük üzerinden geçerek tekrar $L_2$ bobinine döner. Bu şekilde gerçekleştirilen akım yolu benzetimi sayesinde, anahtarın iletim ve kesim durumlarında akımın devredeki hangi elemanlar üzerinden geçerek onu enerjilendirdiği açıkça öğrenciye gösterilmiştir. Bu durum devrenin çalışma prensibini gözler önüne sermektedir.

### 5.6.3. Cuk çevirici benzetim programı deney sayfası

Cuk çevirici benzetim programı için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir.

*DENEY 10:ALÇALTICI-YÜKSELTİCİ ÇEVİRİCİ (CUK CONVERTER) DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Alçaltıcı-Yükseltici çevirici (CUK Converter) değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi. Sürekli ve süreksiz akım çalışma durumlarının kavranması, iki durum arasındaki ilişkilerin incelenmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Programın ilk açılışında, devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak sadece saf direnç seçilmiştir. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle iligili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız. Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Konvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Darbeleme Oranı D, Anahtarlama Frekansı fs, Endüktans L1-L2, Kapasitans C1-C2) "KONVERTÖR" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L3, Yük Kapasitansı C3) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için ilgili yüke tıklamanız yeterlidir.*

*1- Vg=25 V, fs=10000 Hz, L1=0,000005 H, C1=0,0001 F, L2=0,01 H, C2=0,005 F ve Yük Direnci R=2 Ω değerlerini sabit tutarak, Darbeleme Oranı (D) nın değerini 0,1-0,2-0,3....0,9 aralığında değiştiriniz. Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Darbeleme Oranının her değeri için ortalama çıkış gerilimi değerini aşağıdaki tabloya yazınız. Darbeleme Oranı arttıkça çıkış gerilimi ne oldu? Darbeleme Oranının (D) hangi değerleri için Ortalama Çıkış Gerilimi (Vo) değeri,*

*Giriş Gerilimi değerinden (Vg) daha küçük, hangi değerleri için daha büyüktür? Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki bağıntıyı darbeleme oranına bağlı olarak yazınız.*

| *Darbeleme Oranı* | *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *D1=0,1* | *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *D1=0,2* | *Vg=20 V* | *Vo2=* |
| *D1=0,3* | *Vg=20 V* | *Vo3=* |
| *D1=0,4* | *Vg=20 V* | *Vo4=* |
| *D1=0,5* | *Vg=20 V* | *Vo5=* |
| *D1=0,6* | *Vg=20 V* | *Vo6=* |
| *D1=0,7* | *Vg=20 V* | *Vo7=* |
| *D1=0,8* | *Vg=20 V* | *Vo8=* |
| *D1=0,9* | *Vg=20 V* | *Vo9=* |

*Sonuç:*

*2- D=0,5 fs=10000 Hz, L1=0,000005 H, C1= 0,0001 F, L2=0,01 H, C2=0,005 H ve Yük Direnci R=2 Ω değerlerini sabit tutarak, Giriş Gerilimi (Vg) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Giriş Gerilimi (Vg) değerleri için uygulayınız.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz.Giriş Geriliminin (Vg) her değeri için Ortalama Çıkış Gerilimi (Vo) değerini aşağıdaki tabloya yazınız. Darbeleme Oranı (D) sabitken, Giriş Gerilimi değerine göre Çıkış Gerilimi değeri nasıl değişti?*

| *Darbeleme Oranı* | *Giriş Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *D1=0,5* | *Vg=20 V* | *Vo1=* |
| *D1=0,5* | *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *D1=0,5* | *Vg=30 V* | *Vo3=* |
| *D1=0,5* | *Vg=50 V* | *Vo4=* |
| *D1=0,5* | *Vg=100 V* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=20 V D=0,5 fs=10000 Hz L1= 0,05 H, C1=0,0001 F, L2=0,01 H, C2=0,005 F değerlerini sabit tutarak, sadece yük kısmındaki Direnç değerini değiştiriniz. Bu işlemi; aşağıdaki tabloda belirlenen bütün Yük Direnç değerleri için*

*uygulayınız ve tabloyu doldurunuz. Her Yük Direnci değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Çıkış Gerilimi grafiğine dikkat ediniz.Yük Direnci değerinin değişimiyle Ortalama Çıkış Gerilimi değerinde değişiklik oldu mu?Çıkış Gerilimindeki dalgalanma, Yük Direnci değeri ile nasıl değişti?*

| *Giriş Gerilimi* | *Yük Direnci* | *Çıkış Gerilimi* |
|---|---|---|
| *Vg=20 V* | *R1=0,5 Ohm* | *Vo1=* |
| *Vg=20 V* | *R1=1 Ohm* | *Vo2=* |
| *Vg=20 V* | *R1=2 Ohm* | *Vo3=* |
| *Vg=20 V* | *R1=5 Ohm* | *Vo4=* |
| *Vg=20 V* | *R1=20 Ohm* | *Vo5=* |

*Sonuç:*

*4- Vg=25 V, D=0,1 fs=10000 Hz, C1=0,0001 F, L1=0,00005 H, C2=0,005 F ve Yük Direnci R=2 Ω değerlerini sabit tutarak Konvertör kısmındaki Endüktans (L2) değerini sırasıyla; L2=0,005 H L2=0,0004 H L2=0,0002 H yapınız. Her Endüktans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Bobin grafiklerine dikkat ediniz.Endüktansın hangi değeri için, bobin akımının sürekli olduğunu,hangi değeri için bobin akımının süreksizlik sınırında olduğunu ve hangi değeri için süreksiz olduğunu belirtiniz.Endüktans değeri küçüldükçe bobin akımı ne oldu?Aşağıdaki her endüktans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz bobin grafiklerini yapıştırınız.Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp aşağıya yapıştırabilirsiniz.*

*L1=0,005 H*

*L2=0,0004 H*

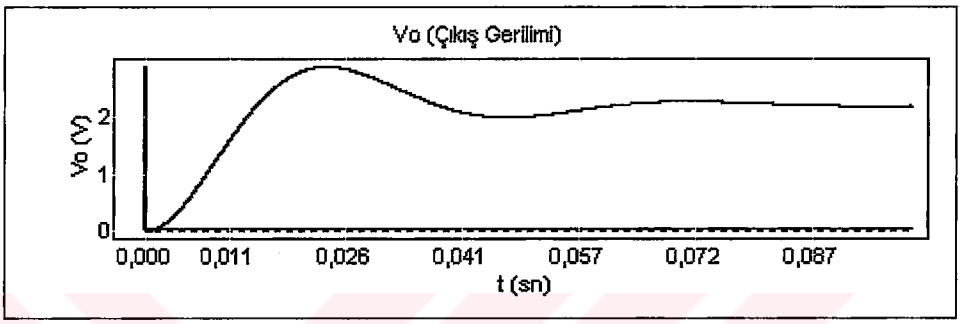
*L3=0,0002 H*

*Sonuç:*

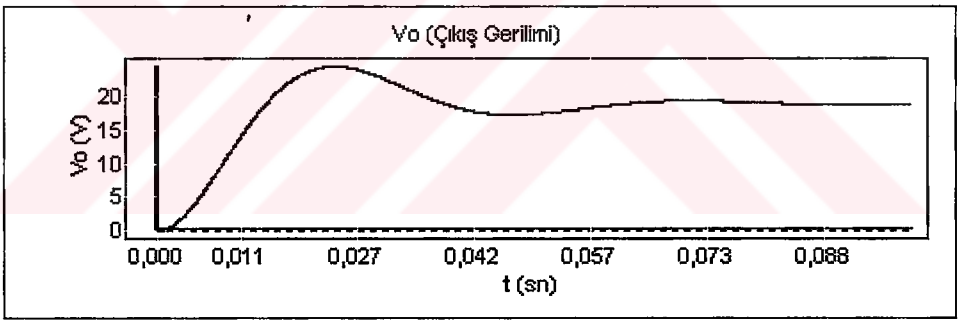
*5- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deneyin 1. maddesinde, öğrenciden Vg ,fs, L1, C1, L2 ve C2 değerlerini sabit tutarak darbeleme oranı D'yi 0,1....0,9 aralığında değiştirmesi ve her D değeri için

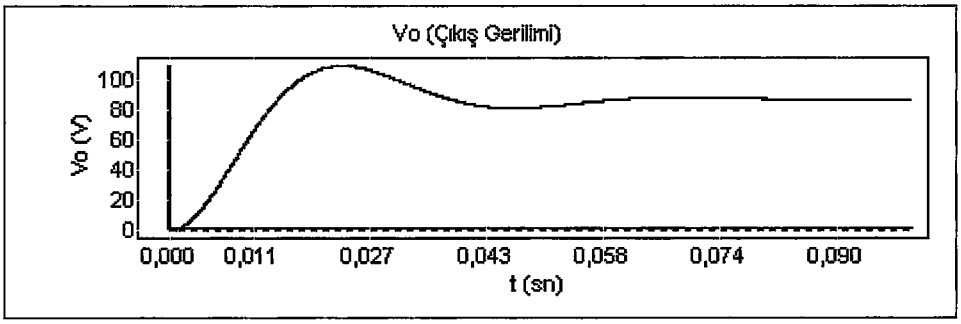
programı çalıştırarak çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci, D'nin 0,1-0,5 aralığı için cuk çeviricinin çıkışında, girişinden daha düşük gerilim olduğunu, D=0,5 için giriş gerilimi ile çıkış gerliminin aynı olduğunu, D'nin 0,5-0,9 aralığı için ise çıkış gerliminin girişten daha yüksek olduğunu gözlemleyecektir. Şekil 5.53, 5.54 ve 5.55'da D=0,1, D=0,5 ve D=0,8 değerleri için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.53. D=0,1 için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

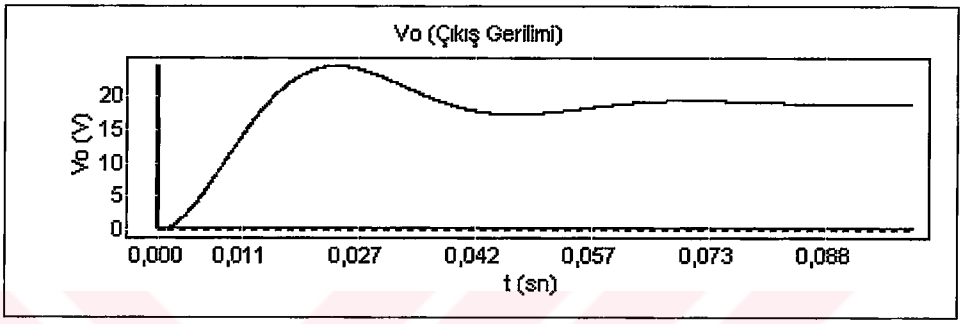



Şekil 5.54. D=0,5 için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

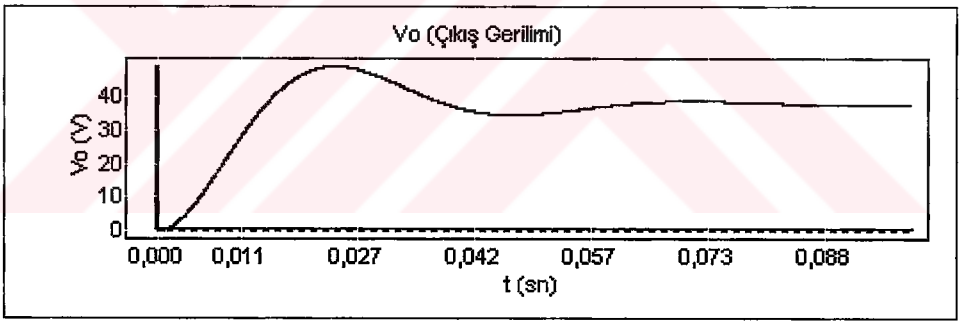



Şekil5.55. D=0,8 için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden, D, fs, L1, C1, L2 ve C2 değerlerini sabit tutarak, giriş gerilimi (Vg) değerini değiştirmesi ve her Vg değeri için programı çalıştırarak çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci, cuk çeviricide d sabitken giriş gerilimi değişiminin aynı oranda çıkış gerilimine yansıdığını görecektir. Şekil 5.56 ve 5.57'de Vg=25 V ve Vg= 50 V için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.56. Vg=25 V için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

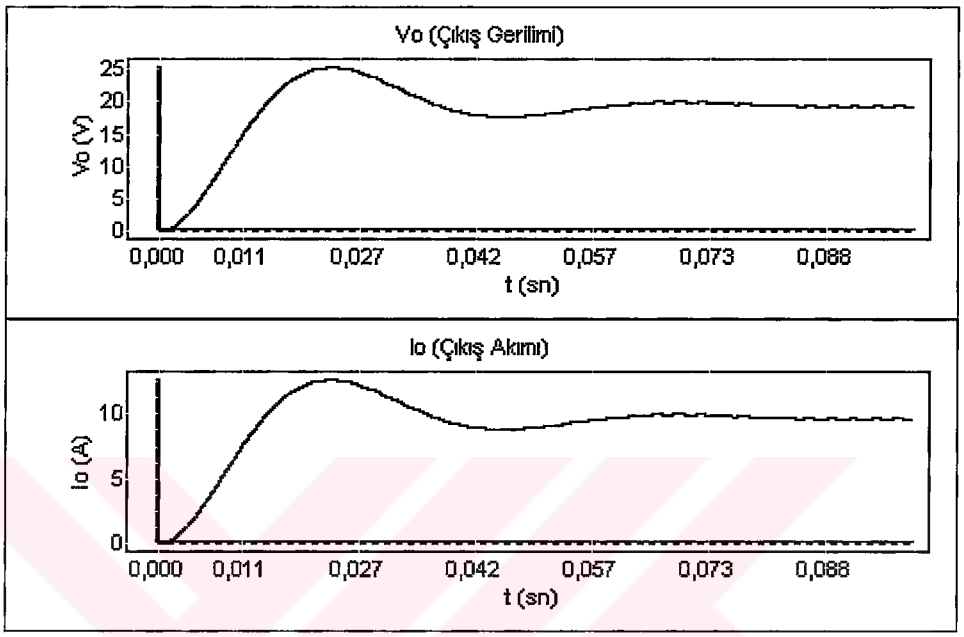



Şekil 5.57. Vg=50 V için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

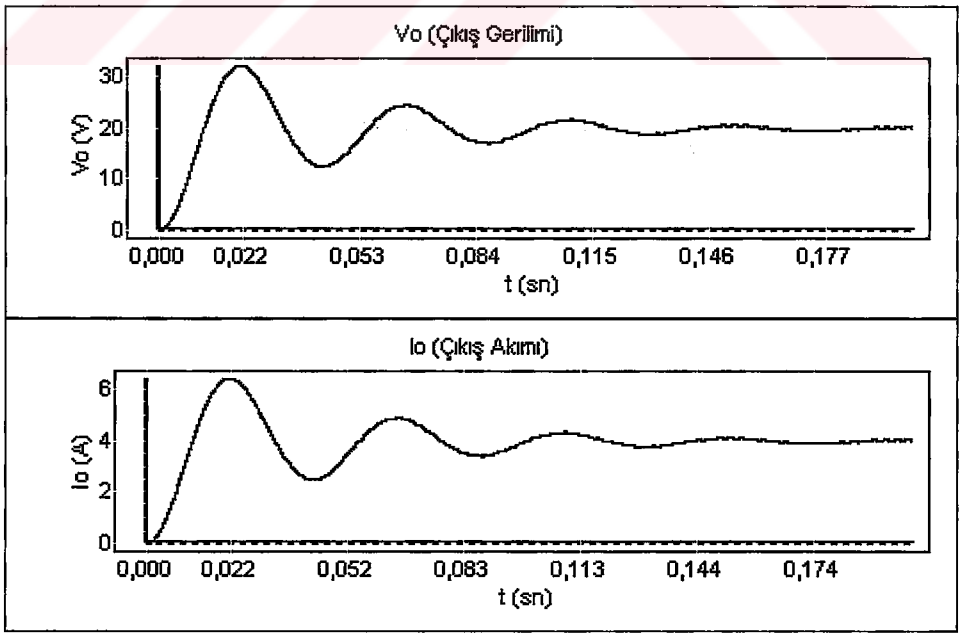
Deneyin 1. ve 2. maddelerini gerçekleştiren öğrenci, cuk çeviricinin tıpkı alçaltıcı-yükseltici çeviricide olduğu gibi çıkış geriliminin darbeleme oranına bağlı olarak değiştiğini, ayrıca çevirme oranının alçaltıcı-yükseltici çeviriciyle aynı olduğunun (V0=D.Vd/(1-D)) farkına varacaktır.

Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, çeviriciye ait değerleri sabit tutarak sadece yük kısmındaki direnç değerini (R) değiştirmesi ve her bir R değeri için programı çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek çıkış geriliminin yük direncine bağlı olarak değişmediğini, değişenin

çıkış akımı olduğunu grafikler yardımıyla görebilir. Şekil 5.58. ve 5.59'da R=2 ohm ve R=5 ohm değerleri için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.

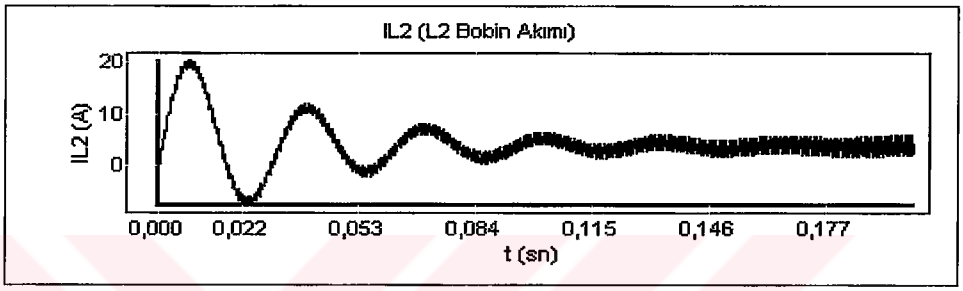



Şekil 5.58. R=2 ohm için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri

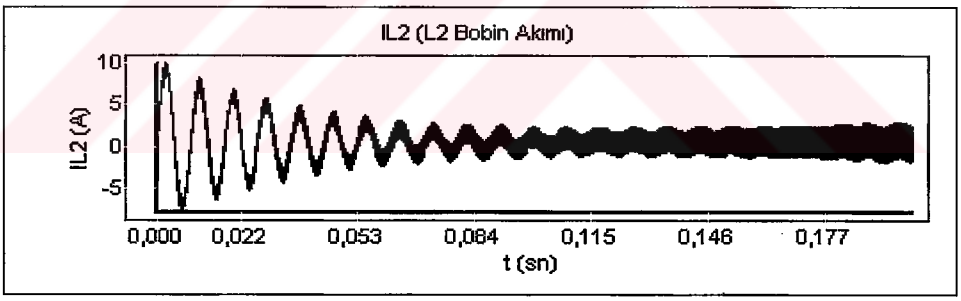



Şekil 5.59. R=5 ohm için cuk çevirici programında çizdirilen çıkış grafikleri

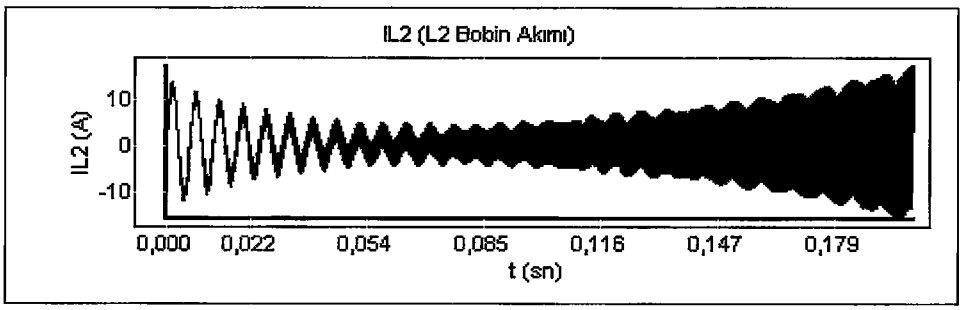
Deneyin 4. maddesinde; öğrenciden, Vg, D, fs, L1, C1 ve C2 değerlerini sabit tutarak L2 değerini değiştirmesi ve her L2 değeri için programı çalıştırarak L2 bobinine ait grafikleri incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek L2 endüktansı değerinin yeterince büyük seçildiğinde bobin akımının süreksiz durumdan sürekli duruma geçtiğini görecektir. Şekil 5.60, 5.61 ve 5.62'de L2=0,005 H, L2=0,004 H ve L2=0,0002 H için cuk çevirici programında çizdirilen L2 bobinine ait akım grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.60. L2=0,005 H için cuk çevirici programında çizdirilen L2 bobini akım grafiği




Şekil 5.61. L2=0,0004 H için cuk çevirici programında çizdirilen L2 bobini akım grafiği

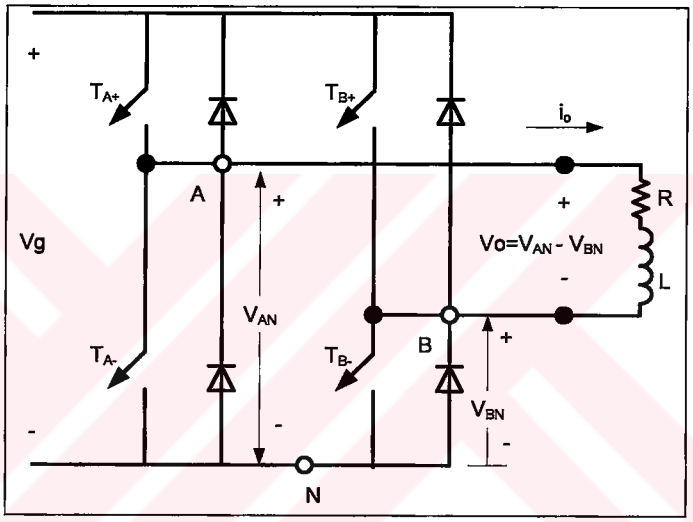



Şekil 5.62. L2=0,0002 H için cuk çevirici programında çizdirilen L2 bobini akım grafiği

## 5.7. Tam Köprü Çevirici

Şekil 5.63'de gösterilen tam köprü anahtarlamalı çeviricinin üç farklı uygulaması vardır.

- d-a motor sürücüler
- Kesintisiz d-a güç kaynaklarında d.a-d.a çevrim
- Anahtarlamalı ve transformatör yalıtımlı d.a güç kaynaklarında d.a-d.a çevrim




Şekil 5.63. Tam köprü d.a-d.a çevirici

Şekil 5.63'de gösterilen tam köprü çeviricide, giriş (Vg), sabit büyüklükte bir doğru gerilimdir. Çeviricinin çıkışı Vd ise, büyüklüğü ve kutuplanma yönü denetlenebilen bir doğru gerilimdir. Benzer olarak çıkış akımı Io'nunda büyüklüğü ve yönü denetlenebilir. Bu nedenle, Şekil 5.63'de gösterilen bir tam köprü çevirici Io-Vo düzleminin her dört bölgesinde de çalışabilir ve çevirici üzerindeki güç akışı her iki yönde de olabilir.(1)

### 5.7.1. Tam köprü çevirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil 5.63'de gösterilen çeviricinin iki kolu vardır (A ve B). her kol iki anahtar ve bunlara paralel diyotlardan oluşur. Her kolda bulunan iki anahtardan biri iletimdeyken diğeri kesimde olacak şekilde anahtarlama yapılır.

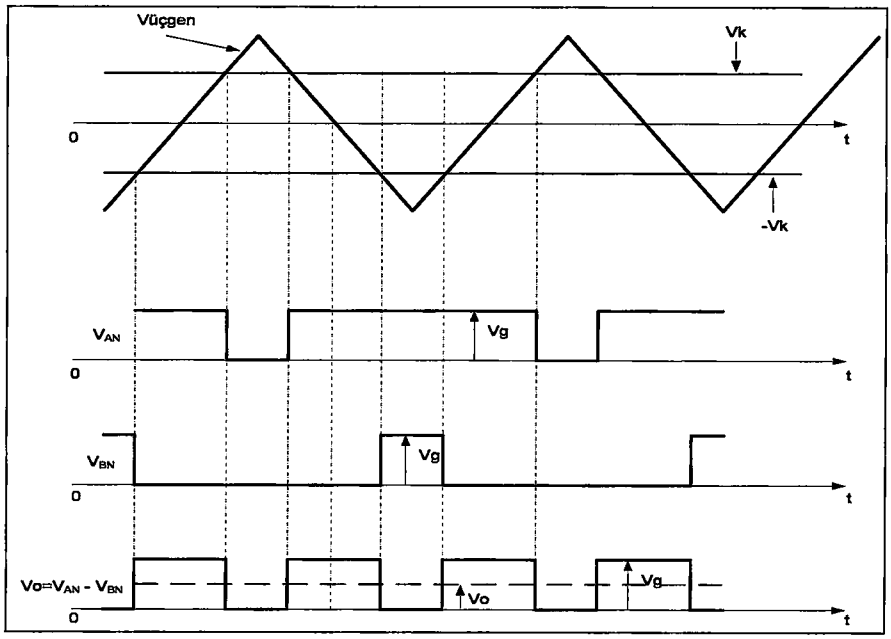
Şekil 5.63'deki A kolu göz önüne alınırsa, negatif N noktansa göre tanımlanan $V_{AN}$ çıkış gerilimi, anahtar konumuna bağlı olarak şu şekilde oluşturulur. $T_{A+}$ anahtarı kapalıyken akım $T_{A+}$ ve TB- üzerinden devresini tamamlar. Bu durumda $V_{AN}$=Vg'dir. $T_{A+}$ anahtarı açıldığında $T_{A-}$ anahtarı iletime geçer. Bu anda $V_{AN}$ gerilimi sıfırdır($V_{AN}$=0).

Çeviricideki B kolunu göz önüne aldığımızda ise $V_{BN}$ gerilimi şu şekilde oluşur. $T_{B+}$ anahtarı kapalıyken akım $T_{B+}$ ve $T_{A-}$ üzerinden geçerek devresini tamamlar. Bu anada $V_{BN}$=Vg'dir. $T_{B-}$ iletime geçtiğinde ise $V_{BN}$ gerilimi sıfır olacaktır (VBN=0).

Tam köprü çeviricideki anahtarları bu şekilde denetleyebilmek için iki yöntem bulunmaktadır. Çift kutuplu PWM ve tek kutuplu PWM. Bu tezde, çeviricinin denetimi tek kutuplu PWM ile yapılmıştır.

Tek kutuplu PWM yönteminde, üçgen dalga şekli, denetim gerilimi Vk ve –Vk ile sırasıyla A ve B bacaklarının anahtarlama işaretini belirlemek için karşılaştırılmaktadır. Vk ile Vüçgen'in karşılaştırılması A bacağındaki anahtarları denetlerken, -Vk ile Vüçgen'in karşılaştırılması B bacağındaki anahtarları denetler.

Şekil 5.64'de tek kutuplu PWM yöntemiyle denetimi yapılan bir tam köprü çeviriciye ait gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir.




Şekil 5.64. Tek kutuplu gerilim anahtarlamalı PWM

Şekil 5.64'de görüldüğü gibi Vk'nın Vüçgen'den büyük olduğu durumlarda $T_{A+}$, -Vk'nın Vüçgen'den büyük olduğu durumlarda $T_{B+}$ anahtarı iletimdedir. $T_{A+}$ anahtarı iletimdeyken $V_{AN}$=Vg, $T_{B+}$ anahtarı iletimdeyken $V_{BN}$=Vg'dir. Diğer durumlarda ise $V_{AN}$ ve $V_{BN}$ sıfırdır.yük üzerine uygulanan gerilim Vd ise $V_{AN}$ ve $V_{BN}$'nin farkına eşittir ($V_d=V_{AN}-V_{BN}$). Bu bilgiler ışığında, çevirici benzetimini gerçekleştirmek için aşağıdaki mantık şeması kullanılır.

$$V_{AN}=\begin{cases} Vg & Vk>Vüçgen \\ 0 & Vk\leq Vüçgen \end{cases}$$

$$V_{BN}=\begin{cases} Vg & -Vk>V_{üçgen} \\ 0 & Vk\leq V_{üçgen} \end{cases}$$

$V_d=V_{AN}-V_{BN}$

Bu mantık çerçevesinde tam köprü çevirici benzetimi için yazılım program kodu aşağıda gösterilmiştir.

```
t1=Ts/4; t2=Ts/2; t3=3*Ts/4; t4=Ts;
a=Vuc/t1; static f=1; Vkb=-Vka
for (t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{
d=d-(0.1*e);
if(t<(Ts+t1))
{
if(0<t&&t<=t1)
{Vu=a*t;}

if(t1<t&&t<=t3)
{Vu=(t2*a)-(a*t);}

if(t3<t&&t<=Ts+t1)
Vu=-(t4*a)+(a*t);
}
if(t>=Ts+t1)
{
if(f*Ts+t1<t&&t<=f*Ts+t3)
Vu=((f*Ts+t2)*a)-(a*t);
if((f*Ts+t3)<t&&t<=((f+1)*Ts+t1))
Vu=-((f*Ts+t4)*a)+(a*t);
if(t>=(f+1)*Ts+t1-delt) f++;
}
if(Vka>Vu) Van=Vg;
else Van=0;
```

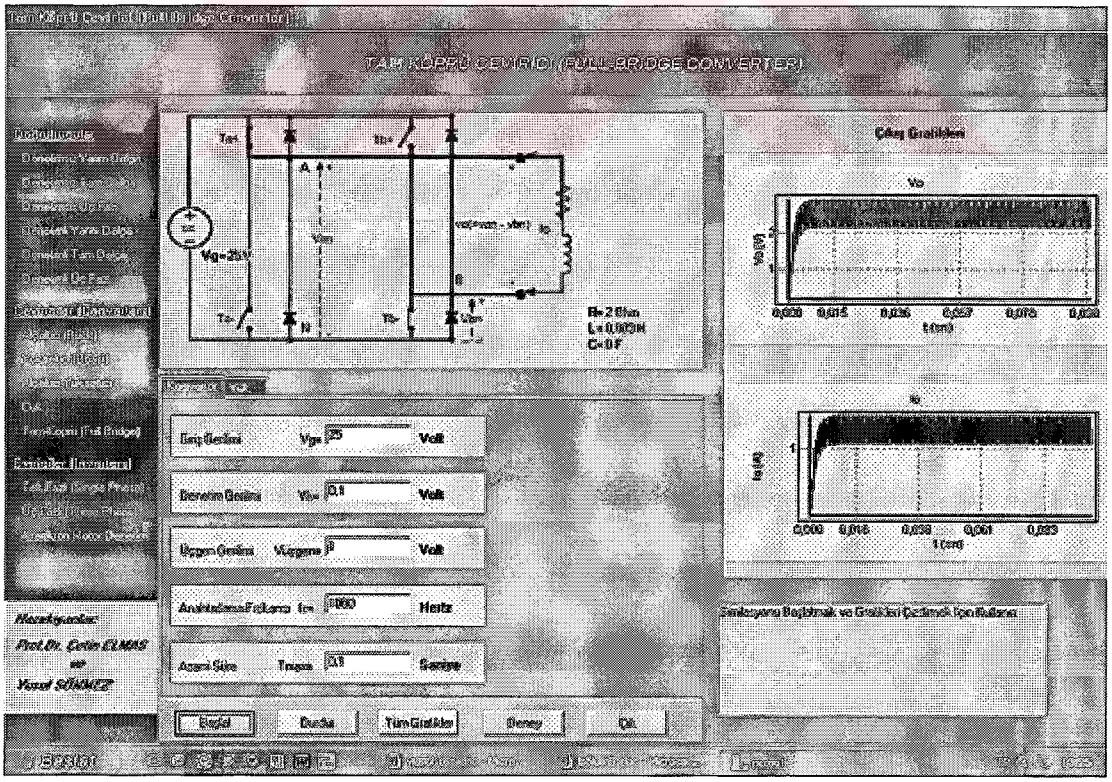
```
if(Vkb>Vu) Vbn=Vg;
else Vbn=0;

Vio=Van-Vbn;

if(Image23->Visible==True)
{
Io=Vio/R;
Vo=Vio;
}
```

### 5.7.2. Tam köprü çevirici devresi benzetim programı ana sayfası

Şekil 5.65'de tam köprü çevirici benzetimi için hazırlanan program ana sayfası gösterilmiştir.




Şekil 5.65. Tam köprü çevirici program ana sayfası

Ana sayfadaki devre şekli üzerine akım yolu çizdirilerek devre benzetimi yapılmıştır. Çeviricide iki farklı akım yolu çizdirilmiştir. Birincisi $T_{A+}$ anahtarının iletimde olduğu durumdur. Bu durumda akım kaynaktan çıkarak, sırasıyla $T_{A+}$ yük ve $T_{B-}$ üzerinden geçerek devresini tamamlar.Diğeri ise $T_{B+}$ anahtarının iletimde olduğu durumdur. Burada akım kaynaktan çıkarak sırası ile $T_{B+}$, yük ve $T_{A-}$ üzerinden devresini tamamlar.Akım yolunun bu şekilde çizdirilmesi ile tam köprü çevirici devresinin çalışma prensibi öğrenciye gösterilmiş olur.

### 5.7.3. Tam köprü çevirici devresi benzetim programı deney sayfası

Tam köprü çevirici benzetim programı için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir.

*DENEY 11:TAM KÖPRÜ d.a-d.a ÇEVİRİCİ DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Tam-Köprü d.a-d.a Çevirici değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Çevirici simülasyonunda Tek Kutuplu Gerilim Anahtarlamalı PWM denetimi kullanılmıştır.Bu denetim metodunda; çeviricinin A ve B bacakları birbirinden bağımsız olarak denetlenmektedir. Çeviricinin A bacağı Ta+ ve Ta- anahtarlarının bulunduğu koldur.B bacağı ise Tb+ ve Tb- anahtarlarının bulunduğu koldur. Denetimde, üçgen dalga şekli, denetim gerilimi Vk ve –Vk ile sırasıyla A ve B bacaklarının anahtarlama işaretlerini belirlemek için karşılaştırılmaktadır.Vk ile Vüçgen'in karşılaştırılması A bacağındaki anahtarları denetlerken, -Vk ile Vüçgen'in karşılaştırılması B bacağındaki anahtarları denetler:*

*Eğer* *Ta+ iletimde ise: Vk>Vüçgen*

*Tb+ iletimde ise:-Vk>Vüçgen*

*A bacağının çıkış gerilimi Van, B bacağının çıkış gerilimi Vbn ve çıkış gerili Vo olarak belirtilmiştir.Ta+'nın çalışma oranı D1, Tb+'nın çalışma oranı D2 ise;*

$$D1=\frac{1}{2}\left(\frac{Vk}{Vüçgen}+1\right)$$

$D2 = 1 - D1$

*Bu durumda çıkış gerilimi;*

$$Vo = (2D1 - 1)Vg = \frac{Vg}{Vüçgen} Vk$$

*olarak elde edilir.*

*Programın ilk açılışında, devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak saf dirençle birlikte bir bobin seçilmiştir. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

***Yardım:***

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca bütün grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz.Bu sayfada; grafikleri tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle iligili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.*

*Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. Konvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Denetim Gerilimi Vk, Üçgen Gerilimi Vüçgen ve Anahtarlama Frekansı fs "KONVERTÖR" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L ve Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için çıkışta bulunmasını istediğiniz yüke tıklamanız yeterlidir.*

*1- Vg=25 V, Vüçgen=1 V ve fs=1000 Hz değerlerini sabit tutarak, Denetim Gerilimi (Vk)' nın değerini 0,1-0,2-0,3....0,9 aralığında değiştiriniz.Her bir Denetim Gerilimi değeri için bütün grafikleri inceleyiniz.Van, Vbn ve Vo gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz.Denetim Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış gerilimi değerine çıkış grafiğinden bakınız.Denetim Gerilimi arttıkça çıkış gerilimi nasıl değişti? Denetim Geriliminin her değeri için Ta+ ve Tb+ anahtarlarının Darbeleme Oranını (D1 ve D2) ve Çıkış Gerilimi Vo'ı yukarıda verilen formüllerden yararlanarak hesaplayınız ve aşağıdaki tabloyu doldurunuz.*

| *Denetim Gerilimi (Vk) Volt* | *Giriş Gerilimi Volt* | *Ta+ Darbeleme Oranı (D1)* | *Tb+ Darbeleme Oranı (D2)* | *Çıkış Gerilimi Vo Volt* |
|---|---|---|---|---|
| *Vk1=0,1* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo1=* |
| *Vk2=0,2* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo2=* |
| *Vk3=0,3* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo3=* |
| *Vk4=0,4* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo4=* |
| *Vk5=0,5* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo5=* |
| *Vk6=0,6* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo6=* |
| *Vk7=0,7* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo7=* |
| *Vk8=0,8* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo8=* |
| *Vk9=0,9* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo9=* |

*Sonuç:*

*2- Vg=25 V, Vk=0,1 V, fs=1000 Hz, Yük Direnci R=2 Ω ve Yük Endüktansı L=0,03 H değerlerini sabit tutarak, Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerleri için uygulayınız.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Van, Vbn ve Vo gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz.Üçgen Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış gerilimi değerine çıkış grafiğinden bakınız.Üçgen Gerilimi arttıkça çıkış gerilimi nasıl değişti? Üçgen Geriliminin her değeri için Ta+ ve Tb+ anahtarlarının Darbeleme Oranını (D1 ve D2) ve Çıkış Gerilimi Vo'ı yukarıda verilen formüllerden yararlanarak hesaplayınız ve aşağıdaki tabloyu doldurunuz.*

| *Denetim Gerilimi (Vk) Volt* | *Üçgen Gerilimi* | *Ta+ Darbeleme Oranı (D1)* | *Tb+ Darbeleme Oranı (D2)* | *Çıkış Gerilimi (Vo) Volt* |
|---|---|---|---|---|
| *Vk=0,5* | *Vüçgen1=1 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo=* |
| *Vk=0,5* | *Vüçgen2=2 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo=* |
| *Vk=0,5* | *Vüçgen3=4 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=25 V, Vk=0,1 V, Vüçgen=1 V, fs=1000 Hz, Yük Direnci R=2 Ω değerlerini sabit tutarak Konvertör kısmındaki Endüktans (L) değerini sırasıyla; L=0,05 H, L=0,005 H L=0,0005 H yapınız. Her Endüktans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Çıkış Grafiklerine dikkat ediniz.Endüktans değeri küçüldükçe Ortalam Çıkış Geriliminde değişiklik oldu mu? Endüktans değeri küçüldükçe Çıkış*

*Gerilimindeki dalgalanma neden arttı? Aşağıdaki her endüktans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz Çıkış Gerilimi grafiklerini yapıştırınız.Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp aşağıya yapıştırabilirsiniz.*

*L1=0,05 H*

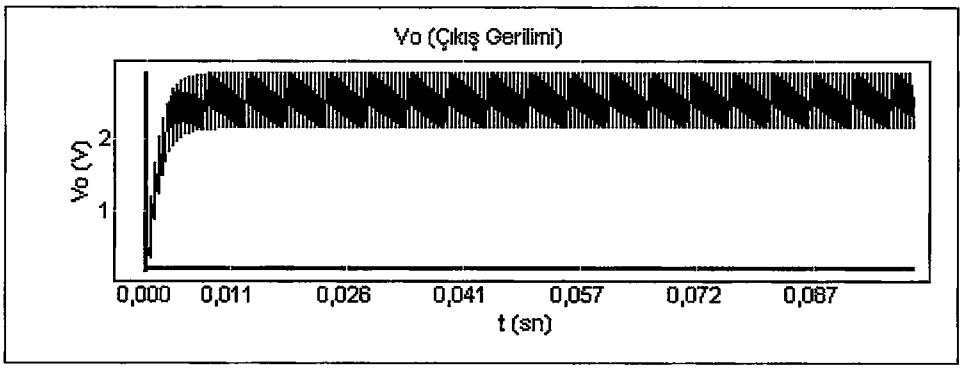
*L2=0,005 H*

*L3=0,0005 H*

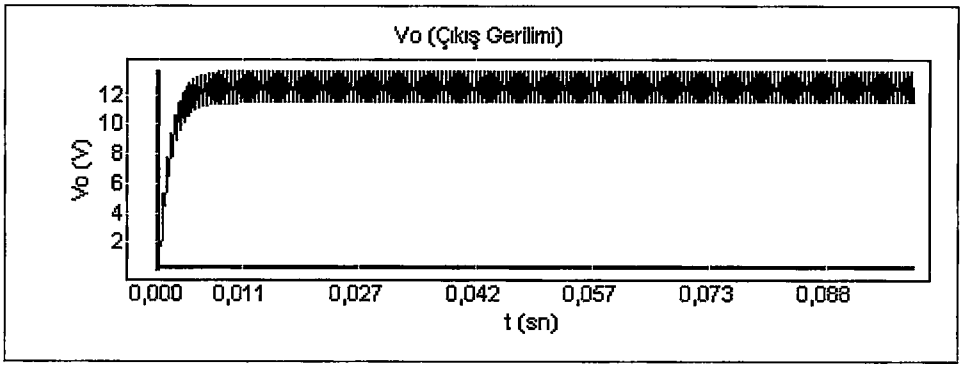
*Sonuç:*

*4- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

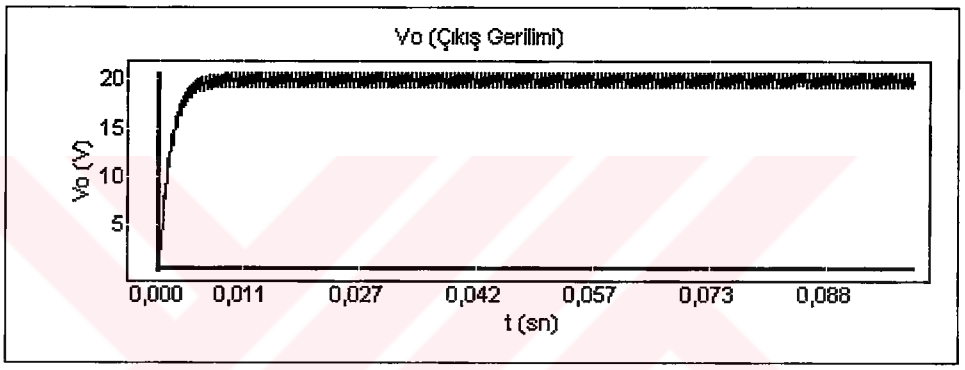
Deneyin 1. maddesinde; öğrenciden, giriş gerilimi (Vg) ve üçgen geriliminin (Vüçgen) değerlerini sabit tutarak anahtar darbeleme oranının (Vk) değerini 0,1....0,9 aralığında değiştirmesi ve her Vk değeri için programı çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir.Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci, anahtar darbeleme oranı Vk'nın değişiminin, çıkış gerilimi üzerindeki etkisini görebilecektir. Şekil 5.66, 5.67 ve 5.68'de Vk=0,1, Vk=0,5 ve Vk=0,8 değerleri için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.66. Vk=0,1 için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

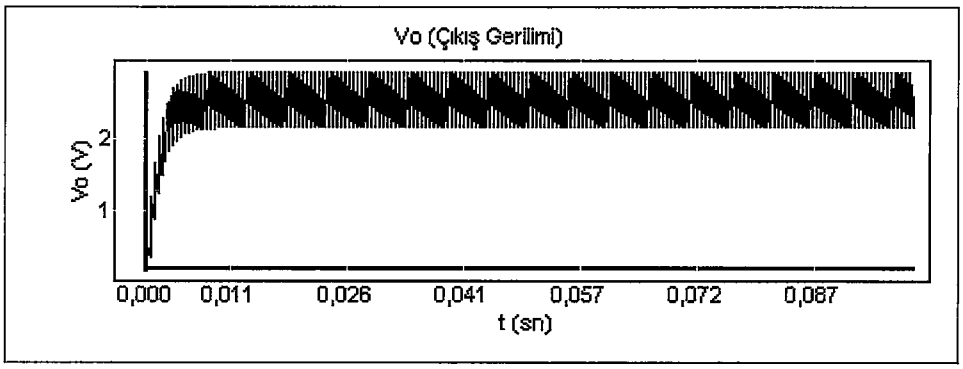



Şekil 5.67. Vk=0,5 için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

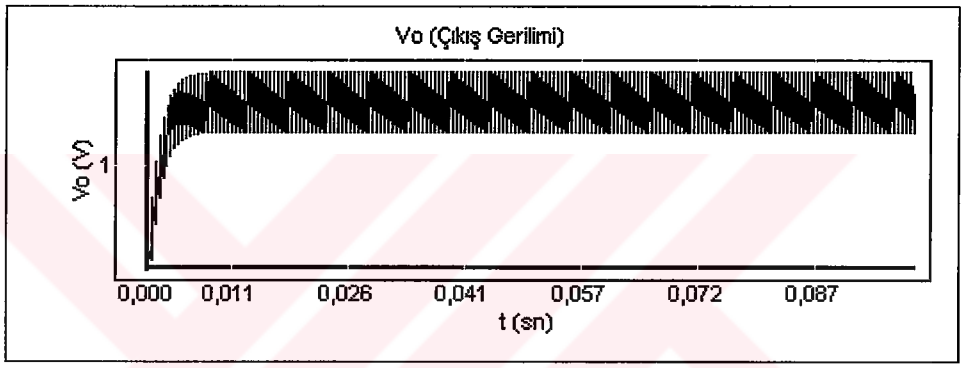



Şekil 5.68. Vk=0,8 için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

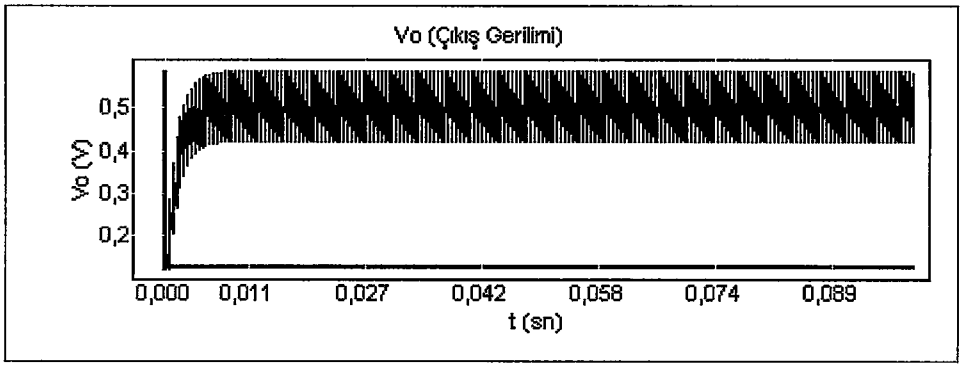
Deneyin 2. maddesinde, öğrenciden giriş gerilimi (Vg) ve darbeleme oranının (Vk) değerlerini sabit tutarak üçgen dalga gerilimi (Vüçgen) değerini değiştirmesi ve her Vüçgen değeri için programı çalıştırarak çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek Vüçgen gerilimi tepe değeri değişiminin çeviricinin çıkış gerilimi üzerinde ne gibi bir değişime sebep olduğunu görebilecektir. Şekil 5.69, 5.70 ve 5.71'de Vüçgen=1 V, Vüçgen=2 V ve Vüçgen=5 V için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.69. Vüçgen=1 V için tam köprü çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri



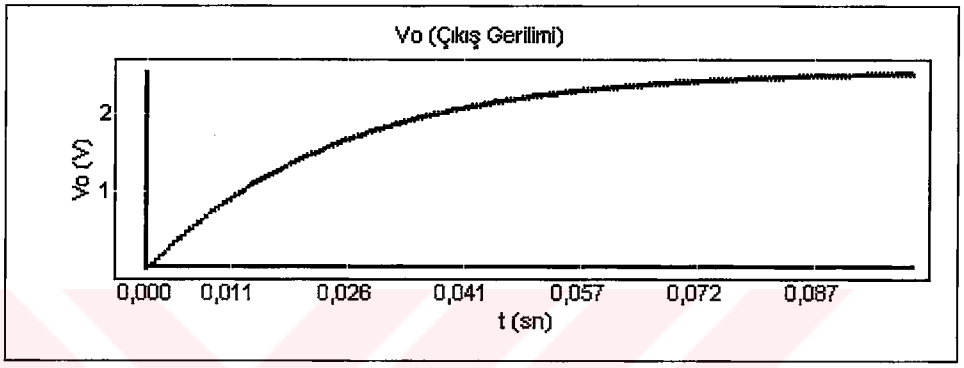

Şekil 5.70. Vüçgen=2 V için tam köprü çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri



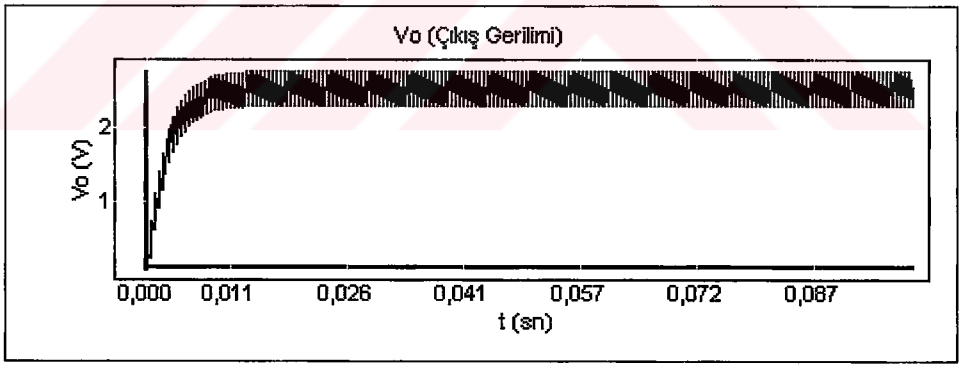

Şekil 5.71. Vüçgen=5 V için tam köprü çevirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri

Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, Vg, fs, Vk ve Vüçgen değerlerini sabit tutarak yük kısmında bulunan endüktans değerini değiştirmesi ve her L değeri için programı çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir.Öğrenci bu maddeyi

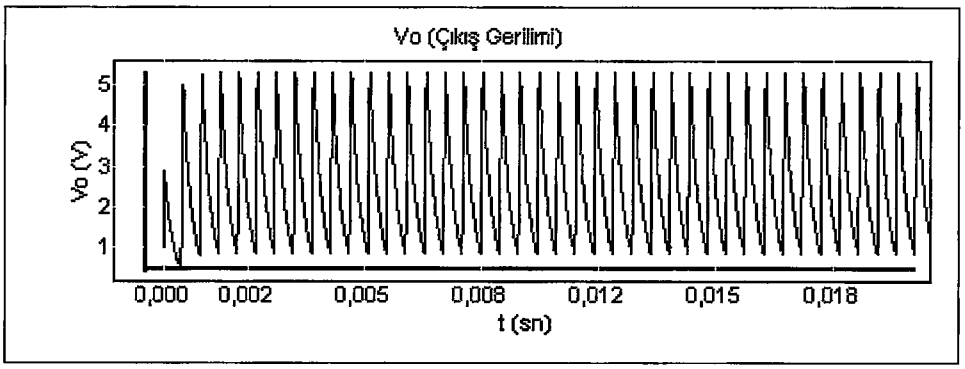
gerçekleştirerek endüktans değerinin küçüldükçe ortalama çıkış gerilimi değerinin sabit kaldığını ancak çıkış akımının süreksizlik durumuna geçtiğini görecektir. Böylece ortalama çıkış gerilimi değişiminin sadece anahtarın darbeleme oranına bağlı olarak değiştiğini kavrayacaktır. Şekil 5.72, 5.73 ve 5.74'de L=0,05 H, L=0,005 H ve L=0,0005 H değerleri için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 5.72. L=0,05 H için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği




Şekil 5.73. L=0,005 H için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

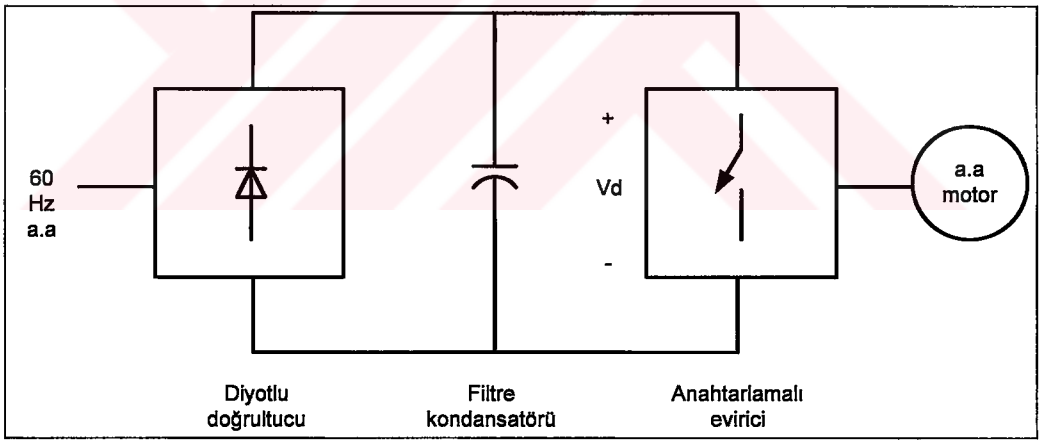



Şekil 5.74. L=0,0005 H için tam köprü doğrultucu programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

# 6.EVİRİCİLER (INVERTERS)

## 6.1. Giriş

Anahtarlama modunda çalışan eviriciler,a-a motor tahrik sistemlerinde ve kesintisiz a-a güç kaynaklarında kullanılır. Burada amaç genliği ve frekansı denetlenebilen bir gerilim üretmektedir. Örnek olarak Şekil 6.1'de gösterilen bir a.a motor tahrik sistemi ele alınabilir. Bu sistemde alternatif şebeke gerilimi önce doğrultulup süzülür ve bir doğru gerilim elde edilir. Daha sonra bu gerilim bir evirici yardımıyla tekrar alternatif gerilime dönüştürülür. Doğrultma işlemi çoğunlukla denetimsiz doğrultucularla yapılır. Oysa, genel olarak tahrik sistemlerindeki elektrik motorlarının girişinde,genliği ve frekansı ayarlanabilen sinüs biçiminde bir gerilim istenir. Şekil 6.1'deki evirici, girişteki doğru gerilimi evirerek istenen alternatif gerilimi motora verir. (1)

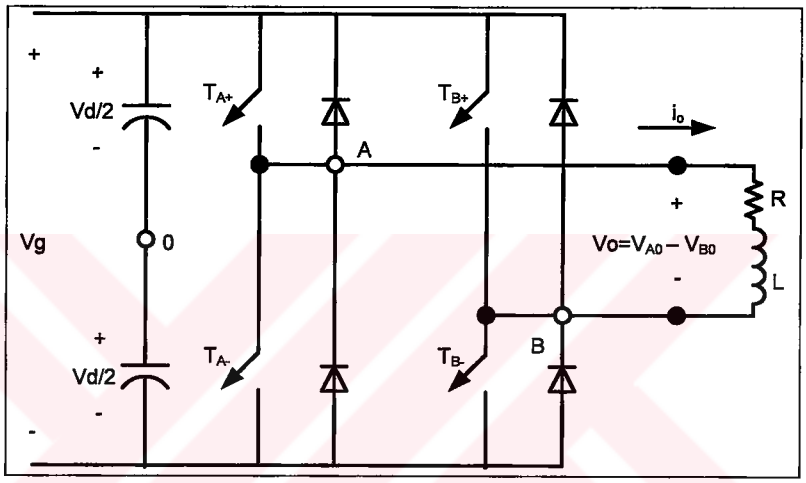



Şekil6.1. a-a motor tahrik sistemi içerisinde yer alan anahtarlamalı bir evirici

Bu bölümde, bir fazlı ve üç fazlı evirici devrelerin eğitim amacıyla yapılan benzetim programları ve bu programların öğrenciye neler kazandıracağı açıklanacaktır.

## 6.2. Tek Fazlı Tam Köprü Evirici

Şekil6.2'de tek fazlı tam köprü eviriciye ait devre şekli gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi tam köprü evirici devresi 5.bölümde anlatılan tam köprü çevirici devresiyle aynıdır. Ancak burada giriş kapısına, iki denk kapasite seri olarak bağlanmıştır. Bağlantı noktaları, her kapasitenin üzerinde 1/2 Vg'lik gerilim olacak şekilde yarı-potansiyeldedir.(1)




Şekil6.2. Tek fazlı tam köprü evirici

### 6.2.1. Tek fazlı evirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Şekil6.2'de gösterilen bir tam köprü evirici devresi, tıpkı 5.bölümde anlatılan çevirici devresi gibi çalışır. Eviricinin A ve B kolundaki anahtarların iletim durumlarına göre çıkıştan elde edilen a.a gerilimin frekansı ve genliği denetlenir.

Eviricide bulunan anahtarların denetimi de çeviricide olduğu gibi PWM ile yapılır. Ancak burada üçgen dalga ile karşılaştırılacak olan denetim gerilimi sinüsoidal bir gerilimdir. (1,4)

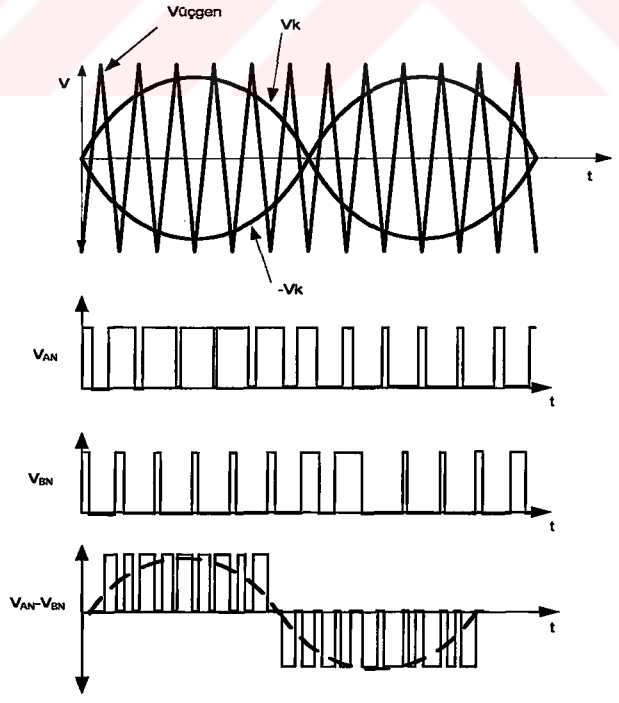
Bu tezde,eviricinin denetimi için yine tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM yöntemi kullanılmıştır.

Tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM'de, Şekil 6.2'de görülen tam köprü çeviricinin iki kolundaki anahtarlar, eş zamanlı olarak anahtarlanmazlar. Burada eviricinin A ve B kolları $V_{üçgen}$ ile Vk ve -Vk dalgalarının sırasıyla karşılaştırılmasıyla ayrı ayrı denetlenirler. Şekil 6.3'de gösterildiği gibi Vk ile üçgen dalganın karşılaştırılması sonucunda A kolunu denetlemek için aşağıdaki mantıksal işaretler oluşur.

$Vk>V_{üçgen}$: $T_{A+}$ iletimde ve $V_{AN}=Vg$
$Vk<=V_{üçgen}$: $T_{A-}$ iletimde ve $V_{AN}=0$

Eviricinin A kolu, çıkış geriliminin negatif d.a yolu N'ye göre gerilimi Şekil 6.3'de gösterilmiştir.B kolu anahtarlarının denetimi için –Vk gerilimi aynı üçgen dalga ile karşılaştırılır ve şu sonuçları verir.

$-Vk>V_{üçgen}$: $T_{B+}$ iletimde ve $V_{BN}=Vg$
$-Vk<=V_{üçgen}$: $T_{B-}$ iletimde ve $V_{BN}=0$




Şekil 6.3. Tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM

Şekil 6.2'deki dalga şekilleri dört farklı anahtar durumunu ve bunlarla ilişkili gerilim değerlerini göstermektedir:

1. $T_{A+}$, $T_{B-}$ iletim:$V_{AN}$=Vg, $V_{BN}$:0; Vd:$V_g$
2. $T_{A-}$, $T_{B+}$ iletim:$V_{AN}$=0, $V_{BN}$:Vg; Vd:-$V_g$
3. $T_{A+}$, $T_{B+}$ iletim:$V_{AN}$=Vg, $V_{BN}$:Vg; Vd:0
4. $T_{A-}$, $T_{B-}$ iletim:$V_{AN}$=0, $V_{BN}$:0; Vd:0

Bu mantıksal ifadeler doğrultusunda,tam köprü evirici benzetimi için yazılan program kodu aşağıda gösterilmiştir burada gösterilen kısım sadece yük üzerine düşen gerilimi (Vd) oluşturur. (1,5)

```
t1=Ts/4;
t2=Ts/2;
t3=3*(Ts/4);
t4=Ts;
a=Vuc/t1;
for (t=0;t<=Tmax;t=t+delt)
{
if(t<(Ts+t1))
{

if(0<t&&t<=t1)
{Vu=a*t;}

if(t1<t&&t<=t3)
{Vu=(t2*a)-(a*t);}

if(t3<t&&t<=Ts+t1)
Vu=-(t4*a)+(a*t);
}
if(t>=Ts+t1)
```

```
{
if(f*Ts+t1<t&&t<=f*Ts+t3)
Vu=((f*Ts+t2)*a)-(a*t);

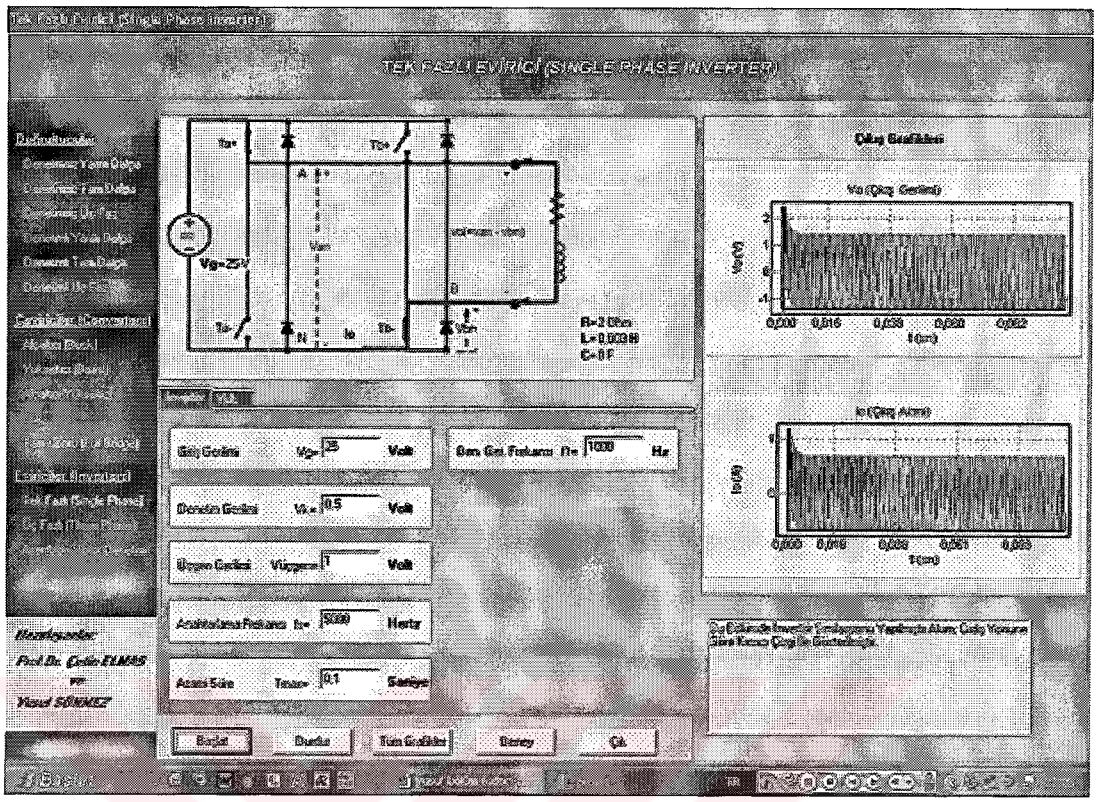
if((f*Ts+t3)<t&&t<=((f+1)*Ts+t1))
Vu=-((f*Ts+t4)*a)+(a*t);
if(t>=(f+1)*Ts+t1-delt) f++;
}
Vka=Vk*sin(2*M_PI*f1*t);
Vkb=-Vka;
if(Vka>Vu) Van=Vg;

else Van=0;
if(Vkb>Vu) Vbn=Vg;
else Vbn=0;

Vio=Van-Vbn;
Io=Vio/R;
Vo=Vio;
}
```

### 6.2.2. Tek fazlı evirici devresi benzetim programı ana sayfası

Tek fazlı tam köprü evirici benzetimi için hazırlanan program ana sayfası Şekil 6.4'de gösterilmiştir.Ana sayfadaki devre şekli üzerine çizdirilen akım yolu,5.bölümde tam köprü çevirici devresinde anlatıldığı şekildedir.




Şekil 6.4. Tek fazlı evirici program ana sayfası

### 6.2.3. Tek fazlı evirici devresi benzetim programı deney sayfası

Tek fazlı evirici benzetim programı için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir.Deney sayfasının hazırlanmasıyla eviriciyle ilgili temel bilgileri öğrenciye kazandırmak amaçlanmıştır.

*DENEY 12:TEK FAZLI d.a-a.a EVİRİCİ DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Tek Fazlı d.a-a.a Evirici değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Evirici simülasyonunda Tek Kutuplu Gerilim Anahtarlamalı PWM denetimi kullanılmıştır.Bu denetim metodunda; çeviricinin A ve B bacakları birbirinden bağımsız olarak denetlenmektedir. Çeviricinin A bacağı Ta+ ve Ta- anahtarlarının bulunduğu koldur.B bacağı ise Tb+ ve Tb- anahtarlarının bulunduğu koldur.*

*Denetimde, üçgen dalga şekli, sinüsoidal denetim gerilimi Vk ve –Vk ile sırasıyla A ve B bacaklarının anahtarlama işaretlerini belirlemek için karşılaştırılmaktadır.Vk ile Vüçgen'in karşılaştırılması A bacağındaki anahtarları denetlerken, -Vk ile Vüçgen'in karşılaştırılması B bacağındaki anahtarları denetler.Eviricilerde, Denetim Gerilimi Vk; frekansı ve genliği ayarlanabilen sinüsoidal bir eğridir.Anahtarların denetimi ise aşağıdaki gibi yapılmaktadır.*

*Eğer;*

*Ta+ iletimde ise: Vk>Vüçgen*
*Tb+ iletimde ise:-Vk>Vüçgen*

*A bacağının çıkış gerilimi Van, B bacağının çıkış gerilimi Vbn ve çıkış gerilimi Vo olarak belirtilmiştir. Ta+'nın çalışma oranı D1, Tb+'nın çalışma oranı D2 ise;*

$$D1=\frac{1}{2}\left(\frac{Vk}{Vüçgen}+1\right)$$

$$D2=1-D1$$

*Bu durumda çıkış gerilimi;*

$$Vo=(2D1-1)Vg=\frac{Vg}{Vüçgen}Vk$$

*olarak elde edilir.*

*Programın ilk açılışında, devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak saf dirençle birlikte bir bobin seçilmiştir. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada grafikleri, tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.*

*Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. İnvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Denetim Gerilimi Vk, Üçgen Gerilimi Vüçgen, Anahtarlama Frekansı fs ve Denetim Gerilimi Frekansı fl ) "İNVERTÖR" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L*

*ve Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için çıkışta bulunmasını istediğiniz yük biçimine tıklamanız yeterlidir.*

*1- Vg=25 V, Vüçgen=1 V, fs=5000 Hz ve f1=1000 Hz değerlerini sabit tutarak, Denetim Gerilimi (Vk)' nın değerini 0,1-0,2-0,3....0,9 aralığında değiştiriniz.Her bir Denetim Gerilimi değeri için bütün grafikleri inceleyiniz.Van, Vbn ve Vo gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz.Denetim Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış gerilimi değerine çıkış grafiğinden bakınız ve tabloya yazınız.Denetim Gerilimi arttıkça çıkış gerilimi nasıl değişti? Denetim Geriliminin her değeri için Ta+ ve Tb+ anahtarlarının Darbeleme Oranını (D1 ve D2) yukarıda verilen formüllerden yararlanarak hesaplayınız ve aşağıdaki tabloyu doldurunuz.*

| *Denetim Gerilimi (Vk) Volt* | *Giriş Gerilimi Volt* | *Ta+ Darbeleme Oranı (D1)* | *Tb+ Darbeleme Oranı (D2)* | *Çıkış Gerilimi Vo Volt* |
|---|---|---|---|---|
| *Vk1=0,1* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo1=* |
| *Vk2=0,2* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo2=* |
| *Vk3=0,3* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo3=* |
| *Vk4=0,4* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo4=* |
| *Vk5=0,5* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo5=* |
| *Vk6=0,6* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo6=* |
| *Vk7=0,7* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo7=* |
| *Vk8=0,8* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo8=* |
| *Vk9=0,9* | *Vg=25 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo9=* |

*Sonuç:*

*2 Vg=25 V, Vk=0,1 V, fs=5000 Hz, f1=1000 Hz, Yük Direnci R=2 Ω ve Yük Endüktansı L=0,03 H değerlerini sabit tutarak, Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerleri için uygulayınız.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Van, Vbn ve Vo gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz.Üçgen Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış gerilimi değerine çıkış grafiğinden bakınız.Üçgen Gerilimi arttıkça çıkış gerilimi nasıl değişti? Üçgen Geriliminin her değeri için Ta+ ve Tb+ anahtarlarının Darbeleme Oranını (D1 ve D2) yukarıda verilen formüllerden yararlanarak hesaplayınız ve aşağıdaki tabloyu doldurunuz.*

| *Denetim Gerilimi(Vk) Volt* | *Üçgen Gerilimi* | *Ta+ Darb. Oranı (D1)* | *Tb+ Darb. Oranı (D2)* | *Çıkış Gerilimi (Vo) Volt* |
|---|---|---|---|---|
| *Vk=0,5* | *Vüçgen1=1 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo=* |
| *Vk=0,5* | *Vüçgen2=2 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo=* |
| *Vk=0,5* | *Vüçgen3=4 V* | *D1=* | *D2=* | *Vo=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=25 V, Vk=0,1 V, Vüçgen=1 V, fs=1000 Hz, Yük Direnci R=2 Ω, Endüktans L=0,003 değerlerini sabit tutarak İnvertör kısmındaki Denetim Gerilimi Frekansı (fl) değerini sırasıyla; fl=50 Hz, fl=100 Hz fl=250 Hz yapınız. Her frekans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Çıkış Grafiklerine dikkat ediniz. Frekans değeri değiştikçe Ortalama Çıkış Geriliminde ne yönde bir değişiklik oldu? Aşağıdaki her frekans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz Çıkış Gerilimi grafiklerini yapıştırınız.Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp aşağıya yapıştırabilirsiniz.*

*fl=50 Hz*

*fl=100 Hz*

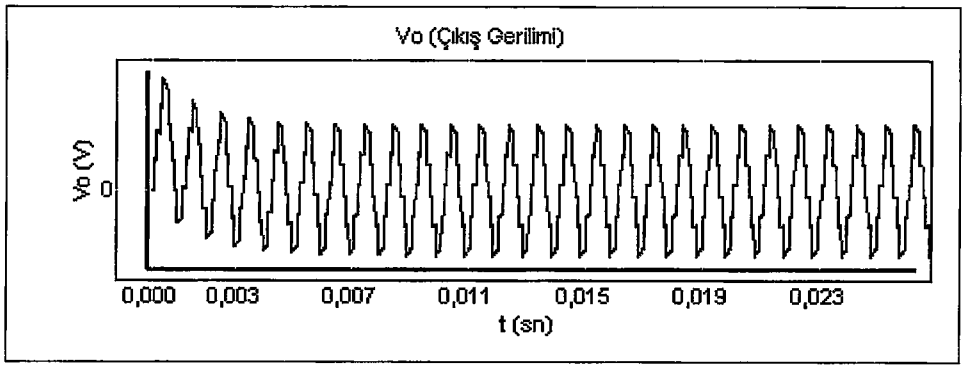
*f2=250 Hz*

*Sonuç:*

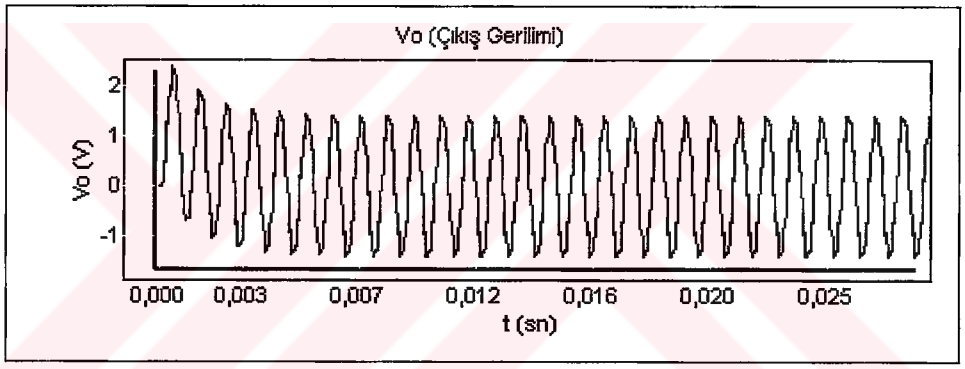
*4- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deneyin 1. maddesinde; öğrenciden, giriş gerilimi (Vg), üçgen dalga gerilimi ($V_{üçgen}$), anahtarlama frekansı (fs) ve denetim gerilimi frekansı (fl) değerlerini sabit tutarak denetim gerilimi (Vk) değerinin 0,1.....0,9 aralığında değişmesi ve her Vk değeri için programı çalıştırarak çıkış gerilimi grafiklerinin incelenmesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek denetim geriliminin, sinüsoidal çıkış geriliminin tepe değerini değiştirdiğini görecektir. Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6'da Vk=0,1 V

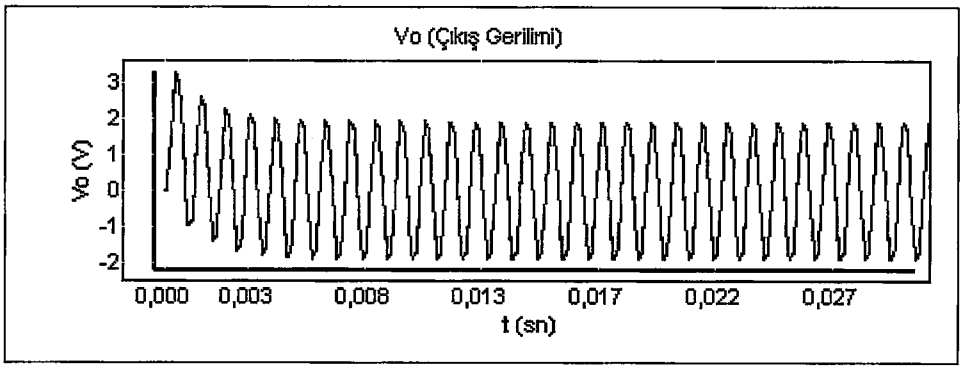
Vk=0,5 V ve Vk=0,8 V değerleri için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 6.5. Vk=0,1 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



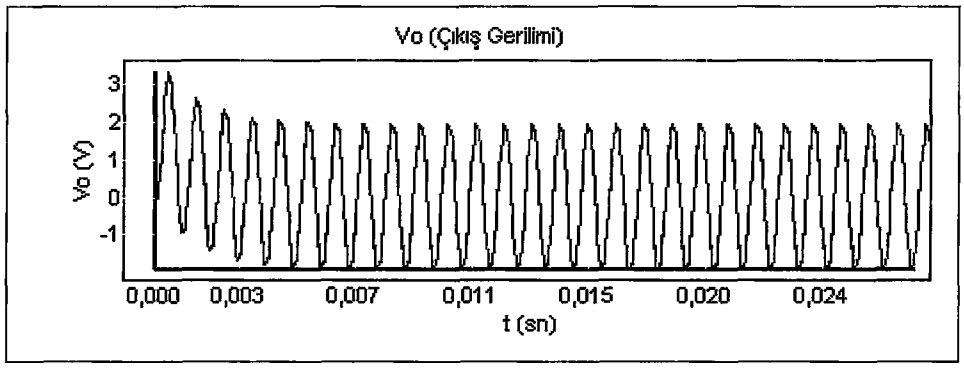

Şekil 6.6. Vk=0,5 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



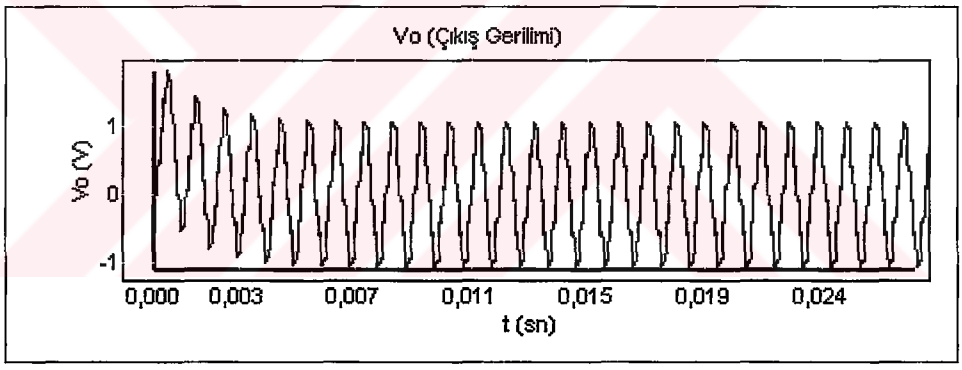

Şekil 6.7. Vk =0,8 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden, Vg, Vk, fs ve f1 değerlerini sabit tutarak,üçgen geriliminin tepe değerini ($V_{üçgen}$) değiştirimesi ve her $V_{üçgen}$ değeri için programı

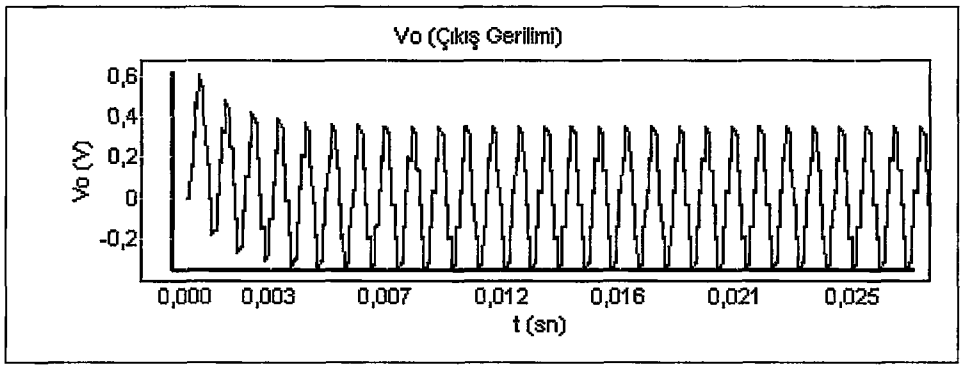
çalıştırarak çıkış gerilimi grafiklerini incelemesi istenmiştir. Bu maddeyi gerçekleştiren öğrenci, $V_{üçgen}$ değerinin arttıkça çıkış gerilimi tepe değerinin azaldığını görecektir. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10'da $V_{üçgen}$=1 V, $V_{üçgen}$=2 V ve $V_{üçgen}$=5 V değeri için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 6.8 $V_{üçgen}$=1 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

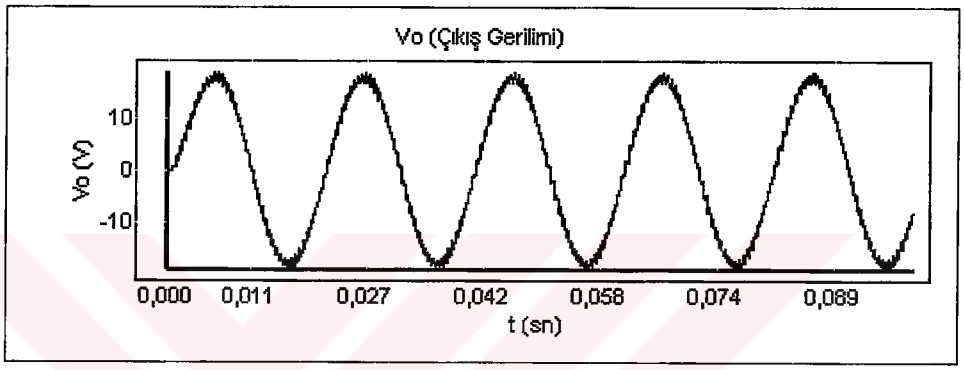



Şekil 6.9 $V_{üçgen}$=2 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

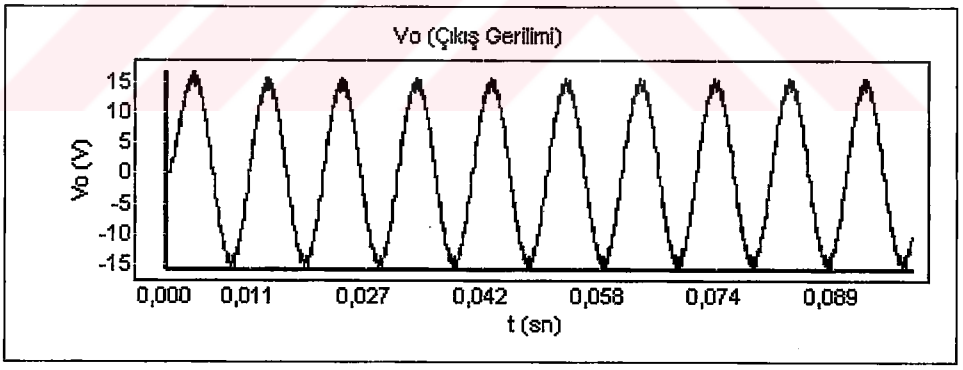



Şekil 6.10 $V_{üçgen}$=5 V için tek fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

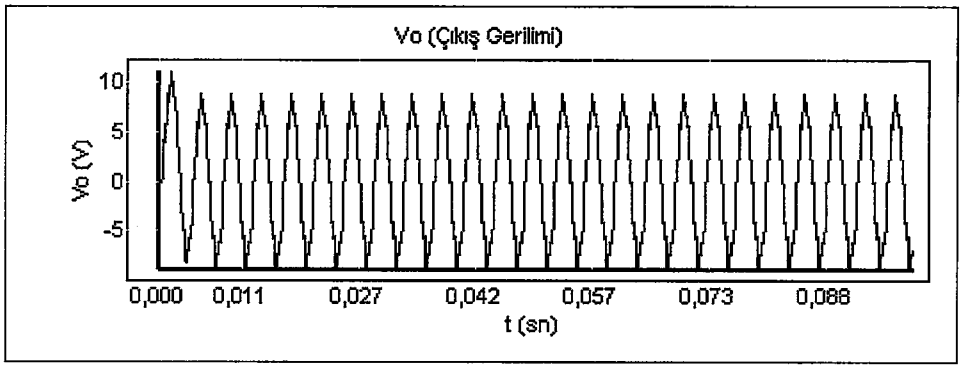
Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, Vg, Vk, $V_{üçgen}$ ve fs değerlerini sabit tutarak denetim gerilimi frekansını (fl) değiştirmesi ve her fl değeri için çıkış gerilimi grafiklerini incelenmesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek denetim gerilimi frekansının aslında çıkış gerilimi frekansını oluşturduğunun farkına varacaktır. Anahtarlama frekansının ise sadece çıkış gerilimindeki dalgalanma ile ilgili olduğunu görecektir. Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13'de fl=50 Hz, fl=100 Hz, ve fl=250 Hz değerleri için programda çizdirilen çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 6.11. fl=50 Hz için tek fazlı evirici programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği.




Şekil 6.12. fl=100 Hz için tek fazlı evirici programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği.

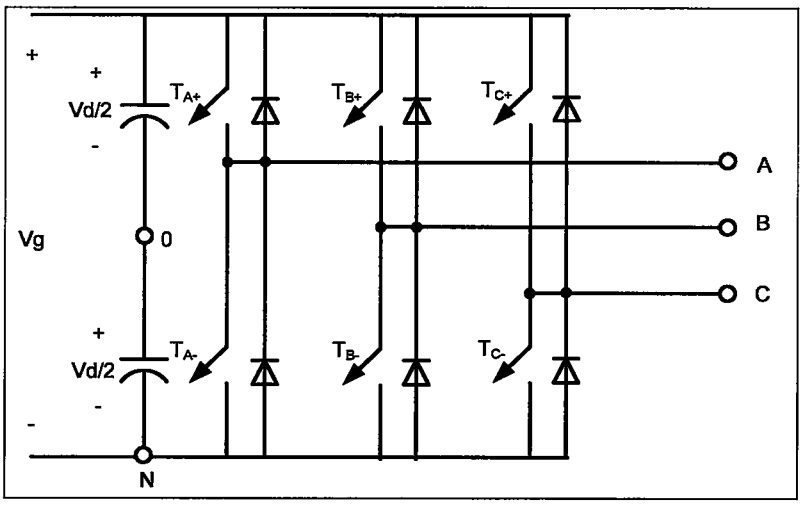



Şekil 6.13. f1=250 Hz için tek fazlı evirici programda çizdirilen çıkış gerilim grafiği.

## 6.3. Üç Fazlı Evirici

Kesintisiz a.a güç kaynakları ve a.a motor sürücüleri gibi uygulamalarda,üç fazlı yükleri beslemek için üç fazlı eviriciler yaygın olarak kullanılır. Çıkışı birbirinden 120° kaydırılmış, üç adet bir fazlı eviriciyle de üç fazlı yük beslenebilir.

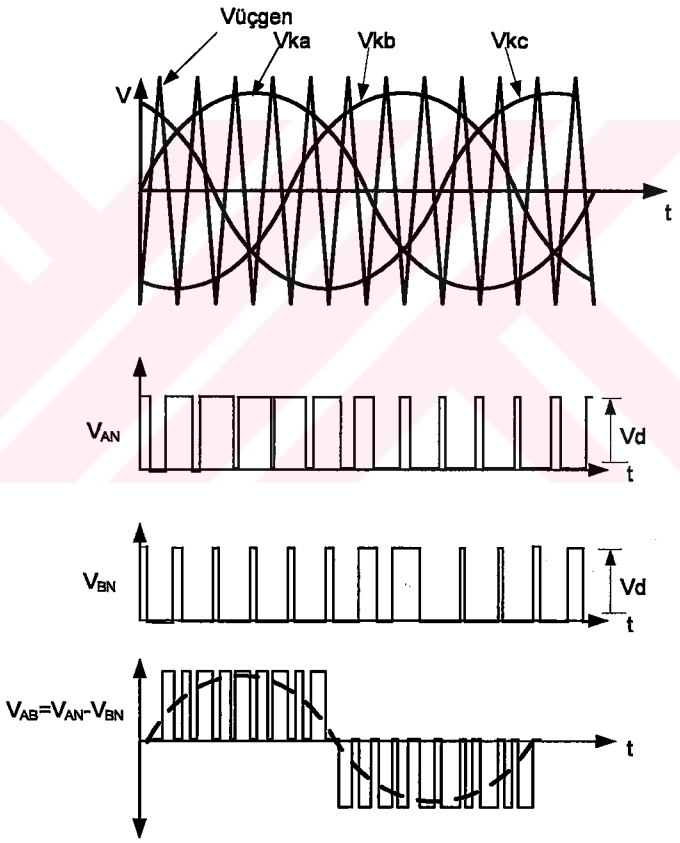
En yaygın kullanılan üç fazlı eviricide, Şekil 6.14'de gösterildiği gibi, her faz için bir tane olmak üzere üç adet kol bulunur. Eviricideki her kolun çıkışı, örneğin $V_{AN}$, yalnızca $V_g$'ye ve anahtarlama durumuna bağlıdır. Her iki koldaki iki anahtardan herhangi biri her zaman iletimde olduğu için,çıkış gerilimi çıkış yük akımından bağımsızdır. (1)




Şekil 6.14. Üç fazlı evirici

### 6.3.1. Üç fazlı evirici devresinin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Tek fazlı eviricilere benzer olarak, dalga genişlik modülasyonlu üç fazlı eviricilerde de girişteki sabit doğru gerilim Vg ile üç fazlı çıkış gerilimlerinin büyüklüklerini ve frekanslarını denetlemek amaçtır. Üç fazlı eviricide dengeli üç fazlı çıkış gerilimleri elde etmek için, tek fazlı eviricide söz edilen aynı üçgen dalga şekli, Şekil 6.14a'da gösterildiği gibi, üç tane 120° faz farklı sinüsoidal denetim gerilimleri (Vka, Vkb, Vkc) ile karşılaştırılır.




Şekil 6.15. Üç fazlı PWM dalga şekilleri

Bu karşılaştırma, aşağıda gösterilen mantıksal ifadelerle gerçekleştirilerek $V_{AN}$, $V_{BN}$ ve $V_{CN}$ gerilimleri elde edilir. (1,4)

$V_{ka}>V_{üçgen}$:$T_A$+ iletimde $V_{AN}=V_g$

$V_{ka}<V_{üçgen}$:$T_A$- iletimde $V_{AN}=0$

$V_{kb}>V_{üçgen}$:$T_B$+ iletimde $V_{BN}=V_g$

$V_{kb}<V_{üçgen}$:$T_B$- iletimde $V_{BN}=0$

$V_{kc}>V_{üçgen}$:$T_C$+ iletimde $V_{CN}=V_g$

$V_{kc}<V_{üçgen}$:$T_C$- iletimde $V_{CN}=0$

Buna bağlı olarak fazlar arasındaki gerilimler ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$V_{AB}=V_{AN}-V_{BN}$

$V_{BC}=V_{BN}-V_{CN}$

$V_{CA}=V_{CN}-V_{AN}$

Bu bilgiler ışığında üç fazlı evirici benzetimi için yazılan program kodu aşağıda gösterildiği gibidir.

```
t1=Ts/4;t2=Ts/2;
t3=3*(Ts/4);t4=Ts;
a=Vuc/t1; static f=1;
for(t=0;t<=Tmax;t=t+delt,)
{
if(t<(Ts+t1))
{
if(0<t&&t<=t1)
{Vu=a*t;}

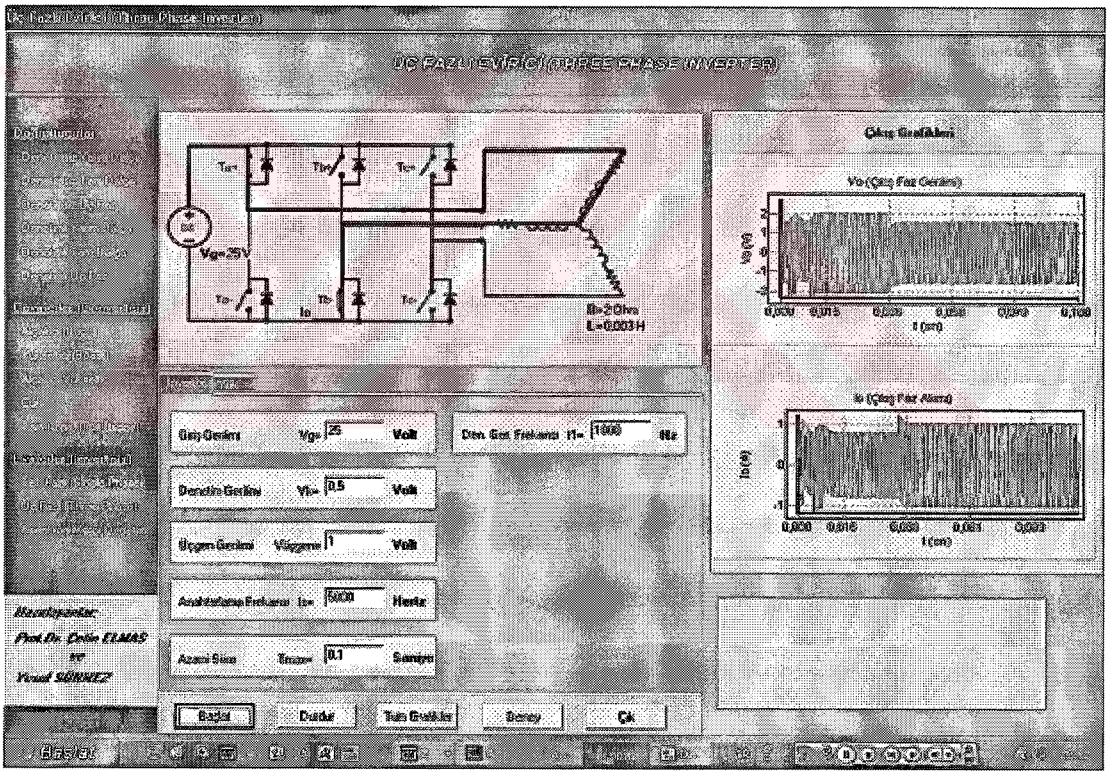
if(t1<t&&t<=t3)
{Vu=(t2*a)-(a*t);}
if(t3<t&&t<=Ts+t1)
Vu=-(t4*a)+(a*t);
```

```
}
if(t>=Ts+t1)
{
if(f*Ts+t1<t&&t<=f*Ts+t3)
Vu=((f*Ts+t2)*a)-(a*t);
if((f*Ts+t3)<t&&t<=((f+1)*Ts+t1))
Vu=-((f*Ts+t4)*a)+(a*t);
if(t>=(f+1)*Ts+t1-delt) f++;
}
Vka=Vk*sin((2*M_PI*f1*t));
Vkb=Vk*sin((2*M_PI*f1*t)-(2*M_PI/3));
Vkc=Vk*sin((2*M_PI*f1*t)+(2*M_PI/3));
if(Vka>Vu) Van=Vg; else Van=0;
if(Vkb>Vu) Vbn=Vg;else Vbn=0;
if(Vkc>Vu) Vcn=Vg;else Vcn=0;
Vab=Van-Vbn;
Vbc=Vbn-Vcn;
Vca=Vcn-Van;
Va=Vab/sqrt(3);
Vb=Vbc/sqrt(3);
Vc=Vca/sqrt(3);
Ia=((Va-(Ia*R))/L)*delt+Ia;
VLA=L*Ia;
VRA=Ia*R;
VA=VLA+VRA;
Ib=((Vb-(Ib*R))/L)*delt+Ib;
VLB=L*Ib;
VRB=Ib*R;
VB=VLB+VRB;
Ic=((Vc-(Ic*R))/L)*delt+Ic;
VLC=L*Ic;
VRC=Ic*R;
```

```
VC=VLC+VRC;
Iha=Ia;
Ihb=Ib;
Ihc=Ic;
}
```

### 6.3.2. Üç fazlı evirici devresi benzetim programı ana sayfası

Üç fazlı evirici devresi için hazırlanan program ana sayfası Şekil 6.16'da gösterilmiştir.




Şekil 6.16. Üç fazlı evirici program ana sayfası

Ana sayfadaki devre şekli üzerine üç farklı akım yolu çizdirilmiştir. Bunlar; $T_{A+}$, $T_{B+}$ ve $T_{C+}$ anahtarlarının iletimde olduğu sürede akımın hangi yolu takip edeceğini göstermektedir. $T_{A+}$ iletimdeyken; akım kaynaktan çıkarak $T_{A+}$, yük ve $T_{B-}$ üzerinden, $T_{B+}$ iletimdeyken; $T_{B+}$, yük ve $T_{C-}$ üzerinden, $T_{C+}$ iletimdeyken; $T_{C+}$, yük

ve $T_A$- üzerinden devresini tamamlar. Bu sayede üç fazlı eviricide hangi anahtar iletimdeyken akımın hangi yolu takip edeceği öğrenciye gösterilir.

### 6.3.3. Üç fazlı evirici devresi benzetim programı deney sayfası

Üç fazlı evirici benzetim programı için hazırlanan deney sayfası, aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir.

*DENEY 13:ÜÇ FAZLI d.a-a.a EVİRİCİ DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Üç Fazlı d.a-a.a Evirici değişkenlerinin farklı değerleri için, çıkış akım ve gerilimdeki değişimlerin incelenmesi,grafiklerinin çizdirilmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Evirici simülasyonunda Tek Kutuplu Gerilim Anahtarlamalı PWM denetimi kullanılmıştır. Bu denetim metodunda; çeviricinin A ve B bacakları birbirinden bağımsız olarak denetlenmektedir. Çeviricinin A bacağı; Ta+ ve Ta- anahtarlarının bulunduğu kol, B bacağı; Tb+ ve Tb- anahtarlarının bulunduğu kol, C Bacağı ise Tc+ veTc- anahtarlarının bulunduğu koldur. Denetimde; üçgen dalga şekli, sinüsoidal denetim gerilimleri Vka, Vkb ve Vkc ile sırasıyla A, B ve C bacaklarının anahtarlama işaretlerini belirlemek için karşılaştırılmaktadır.Vka ile Vüçgen'in karşılaştırılması A bacağındaki anahtarları, Vkb ile Vüçgen'in karşılaştırılması B bacağındaki anahtarları, Vkc ile Vüçgen'in karşılaştırılması ise C bacağındaki anahtarları denetler denetler.Eviricilerde, Denetim Gerilimi (Vka,Vkb,Vkc) ; frekansı ve genliği ayarlanabilen sinüsoidal bir eğridir. Anahtarların denetimi ise aşağıdaki gibi yapılmaktadır.*

*Eğer*

*Ta+ iletimde ise: Vka>Vüçgen*
*Tb+ iletimde ise: Vkb>Vüçgen*
*Tc+ iletimde ise: Vkc>Vüçgen*

*A bacağının çıkış gerilimi Van, B bacağının çıkış gerilimi Vbn, C bacağının çıkış gerilimi Vcn ve çıkış gerilimi Vo olarak belirtilmiştir.*

*Programın ilk açılışında, devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. İlk etapta yük olarak saf dirençle birlikte bir bobin seçilmiştir (yıldız). Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada grafikleri, tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.*

*Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. İnvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Denetim Gerilimi Vk, Üçgen Gerilimi Vüçgen, Anahtarlama Frekansı fs ve Denetim Gerilimi Frekansı f1 ) "İNVERTÖR" bölümünde, yük ile ilgili değerler de (Yük Direnci R, Yük Endüktansı L ve Yük Kapasitansı C) "YÜK" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz. Ayrıca "YÜK" bölümünde bütün yük olasılıkları mevcuttur. Yükü değiştirmek için çıkışta bulunmasını istediğiniz yük biçimine tıklamanız yeterlidir.*

*1- Vg=25 V, Vüçgen=1 V, fs=1000 Hz ve f1=50 Hz değerlerini sabit tutarak, Denetim Gerilimi (Vk)' nın değerini 0,1-0,2-0,3....0,9 aralığında değiştiriniz.Her bir Denetim Gerilimi değeri için bütün grafikleri inceleyiniz.Van, Vbn ve Vo gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz.Denetim Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış gerilimi değerine çıkış grafiğinden bakınız ve tabloya yazınız.Denetim Gerilimi arttıkça çıkış gerilimi nasıl değişti? Denetim Geriliminin her değeri için Ta+ ve Tb+ anahtarlarının Darbeleme Oranını (D1 ve D2) yukarıda verilen formüllerden yararlanarak hesaplayınız ve aşağıdaki tabloyu doldurunuz.*

| *Denetim Gerilimi (Vk) Volt* | *Giriş Gerilimi (Vg)Volt* | *Çıkış Gerilimi (Vo) Volt* |
|---|---|---|
| *Vk1=0,1* | *Vg=25 V* | *Vo1=* |
| *Vk2=0,2* | *Vg=25 V* | *Vo2=* |
| *Vk3=0,3* | *Vg=25 V* | *Vo3=* |
| *Vk4=0,4* | *Vg=25 V* | *Vo4=* |
| *Vk5=0,5* | *Vg=25 V* | *Vo5=* |
| *Vk6=0,6* | *Vg=25 V* | *Vo6=* |
| *Vk7=0,7* | *Vg=25 V* | *Vo7=* |
| *Vk8=0,8* | *Vg=25 V* | *Vo8=* |
| *Vk9=0,9* | *Vg=25 V* | *Vo9=* |

*Sonuç:*
*Vg=25 V, Vk=0,5 V, fs=1000 Hz, f1=50 Hz, Yük Direnci R=2 Ω ve Yük Endüktansı L=0,03 H değerlerini sabit tutarak, Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerleri için*

*uygulayınız.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Van, Vbn ve Vo gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz. Üçgen Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış gerilimi değerine çıkış grafiğinden bakınız. Üçgen Gerilimi arttıkça çıkış gerilimi nasıl değişti?*

| *Denetim Gerilimi (Vk) Volt* | *Üçgen Gerilimi* | *Çıkış Gerilimi (Vo) Volt* |
|---|---|---|
| *Vk=0,5* | *Vüçgen1=1 V* | *Vo=* |
| *Vk=0,5* | *Vüçgen2=2 V* | *Vo=* |
| *Vk=0,5* | *Vüçgen3=4 V* | *Vo=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=25 V, Vk=0,1 V, Vüçgen=1 V, fs=1000 Hz, Yük Direnci R=2 Ω ve L=0,003 H değerlerini sabit tutarak İnvertör kısmındaki Denetim Gerilimi Frekansı (fl) değerini sırasıyla; fl=50 Hz, fl=100 Hz, fl=250 Hz yapınız. Her frekans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Çıkış Grafiklerine dikkat ediniz.Frekansın değeri arttıkça Ortalam Çıkış Geriliminde ne yönde bir değişiklik oldu? Aşağıdaki her frekans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz Çıkış Gerilimi grafiklerini yapıştırınız.Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp aşağıya yapıştırabilirsiniz.*

*fl=50 Hz*

*fl=100 Hz*

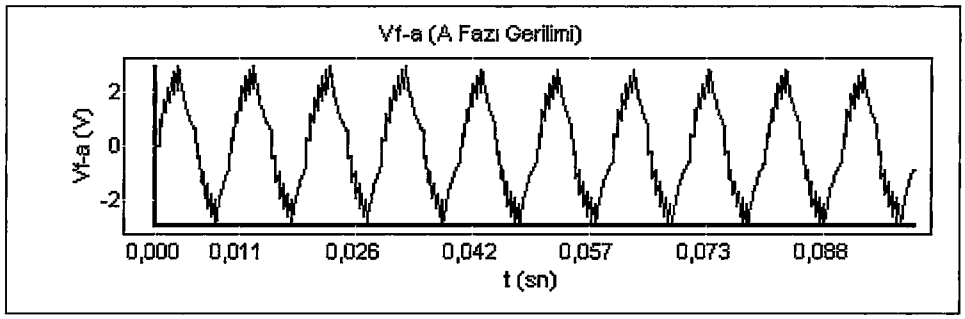
*fl=250 Hz*

*Sonuç:*

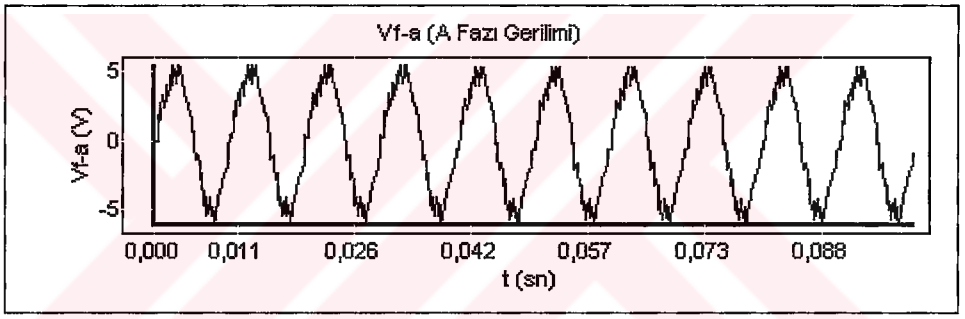
*4- Programda, dirençten başka bütün yük olasılıkları, yük kısmında mevcuttur. Sırasıyla her yük durumu için programı çalıştırarak bütün grafikleri inceleyiniz.*

Deneyin 1. maddesinde; öğrenciden, giriş gerilimi (Vg), üçgen dalga gerilimi ($V_{üçgen}$), anahtarlama frekansı (fs) ve denetim gerilimi frekansı (fl) değerlerini sabit tutarak, denetim gerilimi (Vk) değerini değiştirmesi ve her Vk değeri için çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek, denetim

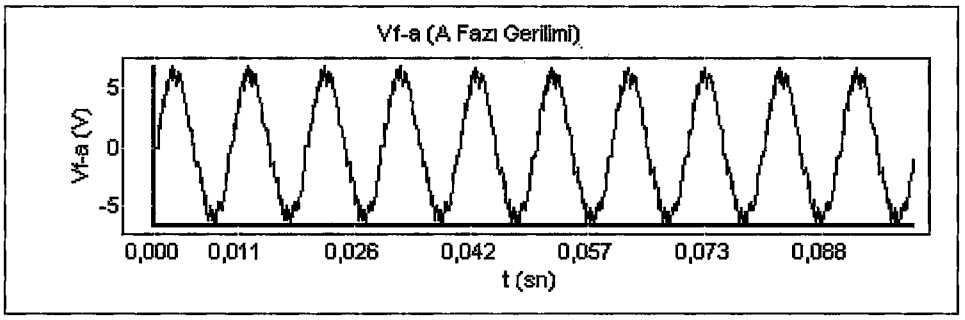
geriliminin (Vk), çıkış geriliminin tepe değerini nasıl değiştirdiğini grafikler yardımıyla görebilecektir. Şekil 6.17, 6.18 ve 6.19'de Vk=0,1 V, Vk=0,5 V ve Vk=0,7 V için programda çizdirilen çıkış grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 6.17. Vk=0,1 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



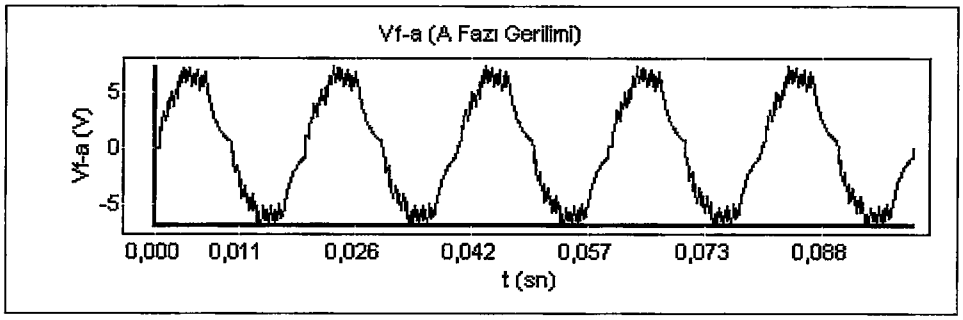

Şekil 6.18. Vk=0,5 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği



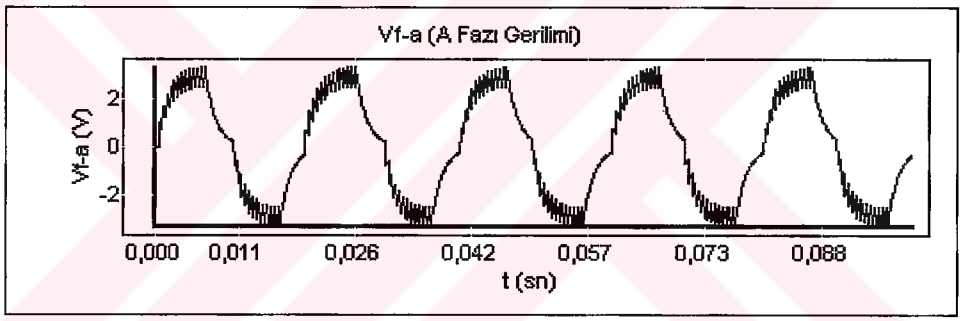

Şekil 6.19. Vk=0,7 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen çıkış gerilimi grafiği

Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden, Vg, Vk, fs ve fl değerlerini sabit tutarak $V_{üçgen}$ değerini değiştirmesi ve her değer için programı çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek; üçgen dalga gerilimi tepe değerinin ($V_{üçgen}$) çıkış gerilimi tepe değerini ne gibi bir değişikliğe uğrattığını

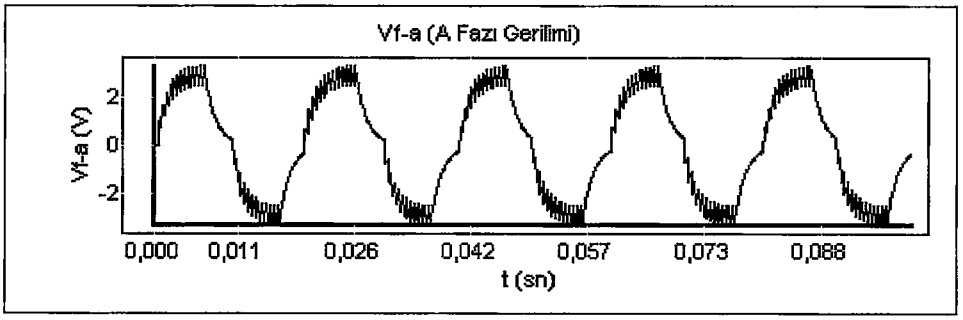
ve ikisi arasında ters bir orantının mevcut olduğunu görecektir. Şekil 6.20, 6.21 ve 6.22'de $V_{üçgen}$=1 V, $V_{üçgen}$=2 V ve $V_{üçgen}$=4 V değerleri için programda çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 6.20. $V_{üçgen}$=1 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği.



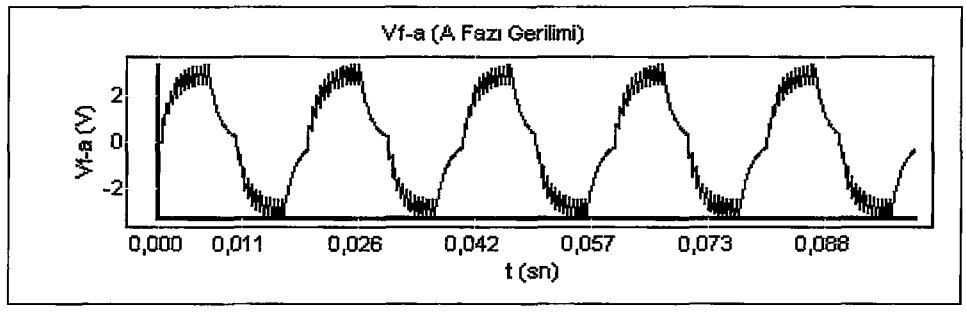

Şekil 6.21. $V_{üçgen}$=2 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği.



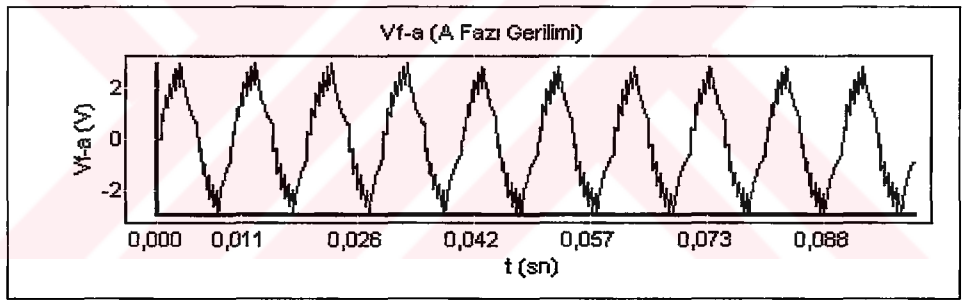

Şekil 6.22. $V_{üçgen}$=4 V için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği.

Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, Vg, Vk, $V_{üçgen}$ ve fs değerlerini sabit tutarak denetim gerilimi frekansı değerini değiştirmesi ve her fl değeri için programı

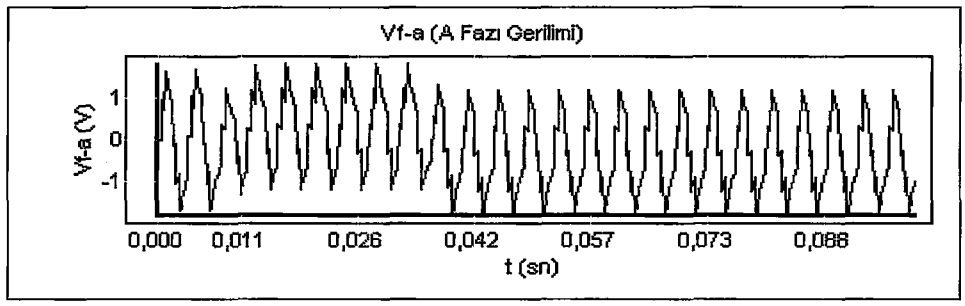
çalıştırarak çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek denetim gerilimi frekansının aslında çıkış gerilimi frekansını oluşturduğunu görebilecektir. Şekil 6.23, 6.24 ve 6.25'de fl=50 Hz, fl=100 Hz, fl=250 Hz için programda çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 6.23. fl=50 Hz için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği




Şekil 6.24. fl=100 Hz için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği

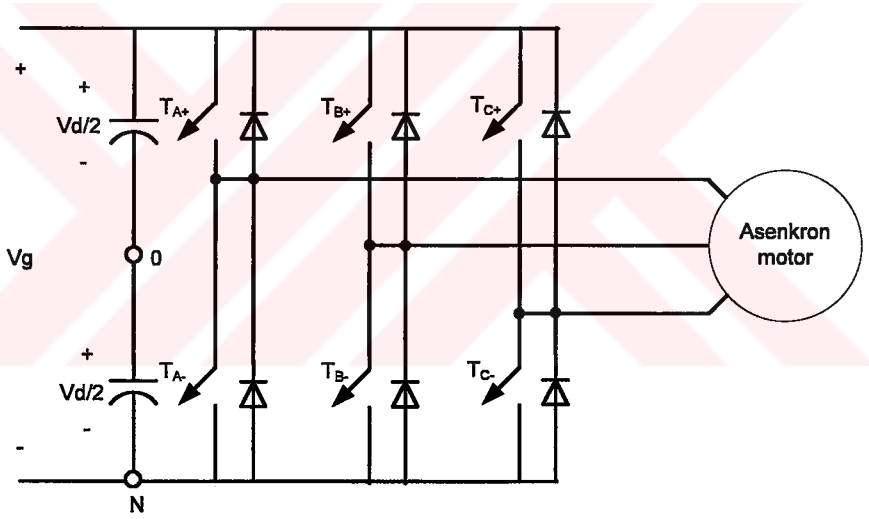



Şekil 6.25. fl=250 Hz için üç fazlı evirici programında çizdirilen A fazına ait çıkış gerilimi grafiği

## 6.4. Üç Fazlı Evirici ile Asenkron Motor Denetimi

Sincap kafesli asenkron motorlar düşük fiyatları ve sağlam yapıları nedeniyle endüstride çok kullanılırlar. Asenkron motor doğrudan şebeke geriliminden beslendiğinde yaklaşık olarak sabit hızda çalışır. Buna karşılık güç elektroniği çeviricileriyle asenkron motorun hızını değiştirmek mümkündür.

Şekil 6.26'da bir doğru gerilim girişi varsayımı altında, gerilim ara devreli eviriciyle beslenen ve PWM uygulanan bir asenkron motor tahrik sisteminin diyagramı verilmiştir.




Şekil 6.26. Üç fazlı evirici ile beslenen asenkron motor

Şekil 6.26'dan görüldüğü gibi üç fazlı eviricinin çıkışları bir asenkron motorun girişlerine bağlanmıştır. Böylece asenkron motorun girişine, frekansı ve genliği denetlenebilen üç fazlı gerilim uygulamak mümkün hale gelir ve motorun hızı istenilen seviyeye getirilebilir.(1)

Programın bu bölümünde, üç fazlı evirici ile beslenen bir asenkron motorun benzetimi gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç, bu tip bir sistemi eğitim açısından anlamlı hale getirmektir.

### 6.4.1. Sistemin çalışma prensibi ve matematiksel modelinin çıkartılması

Bu sistemde, asenkron motorun girişine uygulanan gerilimin, üç fazlı eviricinin çıkışları olduğundan dolayı, sistemin çalışması evirici devrenin çalışma prensibi ile açıklanır. Bölüm 6.3'de bu konu anlatıldığından dolayı burada tekrar söz edilmeyecektir. Sadece asenkron motorun matematiksel modelinin çıkartılmasına dair kısa bir bilgi verilecektir.

Bir asenkron motordaki stator ve rotor sargıları aynı manyetik devre üzerinde bulunmaktadır. Bu yüzden bütün sargılar arasında manyetik olarak bir bağ mevcuttur. Rotor konumu stator ve rotor manyetik eksenleri arasındaki açı ile belirlenir. Rotor konumunun mekanik açısı;

$\theta_m(t) = \frac{2}{p}\theta_r(t)$ dir.

Burada p; statorun kutup sayısını ifade eder.

Gerilim denklemleri ise;

$$V_{abcs}(t) - V_{a'b'c's}(t) = R_s . i_{abcs}(t) + \frac{d}{dt}\lambda_{abcs}(t) \qquad [6.1]$$

$$V_{abcr}(t) - V_{a'b'c'r}(t) = R_r . i_{abcr}(t) + \frac{d}{dt}\lambda_{abcr}(t) \qquad [6.2]$$

$$\dot{I}_{a'b'c's}(t) = -i_{abcs}(t) \qquad [6.3]$$

$$\dot{I}_{a'b'c'r}(t) = -i_{abcr}(t) \qquad [6.4]$$

şeklindedir. Bu denklemler doğrultusunda oluşturulan akım, gerilim ve direnç matrisleri aşağıda gösterildiği gibidir.

$V_{abcs}(t)=[V_{as}(t) \quad V_{bs}(t) \quad V_{cs}(t)]^T$

$V_{abcr}(t)=[V_{ar}(t) \quad V_{br}(t) \quad V_{cr}(t)]^T$

$\dot{I}_{abcs}(t)=[\dot{I}_{as}(t) \quad \dot{I}_{bs}(t) \quad \dot{I}_{cs}(t)]^T$

$\dot{I}_{abcr}(t)=[\dot{I}_{ar}(t) \quad \dot{I}_{br}(t) \quad \dot{I}_{cr}(t)]^T$

$V_{a'b'c's}(t)=[V_{a's}(t) \quad V_{b's}(t) \quad V_{c's}(t)]^T$

$V_{a'b'c'r}(t)=[V_{a'r}(t) \quad V_{b'r}(t) \quad V_{c'r}(t)]^T$

$\dot{I}_{a'b'c's}(t)=[\dot{I}_{a's}(t) \quad \dot{I}_{b's}(t) \quad \dot{I}_{c's}(t)]^T$

$\dot{I}_{a'b'c'r}(t)=[\dot{I}_{a'r}(t) \quad \dot{I}_{b'r}(t) \quad \dot{I}_{c'r}(t)]^T$

$\lambda_{abcs}(t)=[\lambda_{as}(t) \ \lambda_{bs}(t) \quad \lambda_{cs}(t)]^T$

$\lambda_{abcr}(t)=[\lambda_{ar}(t) \ \lambda_{br}(t) \quad \lambda_{cr}(t)]^T$

$R_s=\text{diag}(r_{as} \ r_{bs} \ r_{cs})$

$R_r=\text{diag}(r_{ar} \ r_{br} \ r_{cr})$

Denklem 6.1 ve 6.2'den görüldüğü gibi, manyetik akı bağıntıları rotor konumunun karmaşık bir fonksiyonudur. Bu yüzden a, b ve c fazları arasındaki manyetik akı bağıntısı aşağıdaki gibi yazılır. (6)

$$\begin{bmatrix} \lambda abcs(t) \\ \lambda abcr(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Lss & Lsr(t) \\ Lrs() & Lrr \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}abcs(t) \\ \dot{I}abcr(t) \end{bmatrix}$$

$$\text{Lss} = \begin{bmatrix} Lls + Lms & -\frac{1}{2}Lms & -\frac{1}{2}Lms \\ -\frac{1}{2}Lms & Lls + Lms & -\frac{1}{2}Lms \\ -\frac{1}{2}Lms & -\frac{1}{2}Lms & Lls + Lms \end{bmatrix}$$

$$\text{Lrr} = \begin{bmatrix} Llr + Lmr & -\frac{1}{2}Lmr & -\frac{1}{2}Lmr \\ -\frac{1}{2}Lmr & Llr + Lmr & -\frac{1}{2}Lmr \\ -\frac{1}{2}Lmr & -\frac{1}{2}Lmr & Llr + Lmr \end{bmatrix}$$

$$\text{Lsr(t)} = \text{Lsr} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r(t)) & \cos(\theta_r(t) + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_r(t) - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_r(t) - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_r(t)) & \cos(\theta_r(t) + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_r(t) + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_r(t) - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_r(t)) \end{bmatrix}$$

$\text{Lrs(t)} = \text{Lrs(t)}^T$

Lls+Lms:Her bir stator sargısının öz endüktansı

Lms:Stator endüktansı

Llr+Lmr:Her bir rotor sargısının öz endüktansı

Lsr:Bir stator fazı sargısıyla bir rotor fazı sargısı arasındaki ortak endüktans

Lsr(t) matrisinden görüldüğü gibi ortak endüktans , zamanla değişen rotor konumuna bağlıdır.

Elektromanyetik tork ($T_e(t)$) ve rotor açısal hızını ($w_r$) veren denklemler ise aşağıda gösterildiği gibidir.

$$Te(t) = (\dot{I}abcs(t))^T . \left( \frac{dLsr(t)}{d\theta_m} \right) . \dot{I}abcr(t) \qquad [6.3]$$

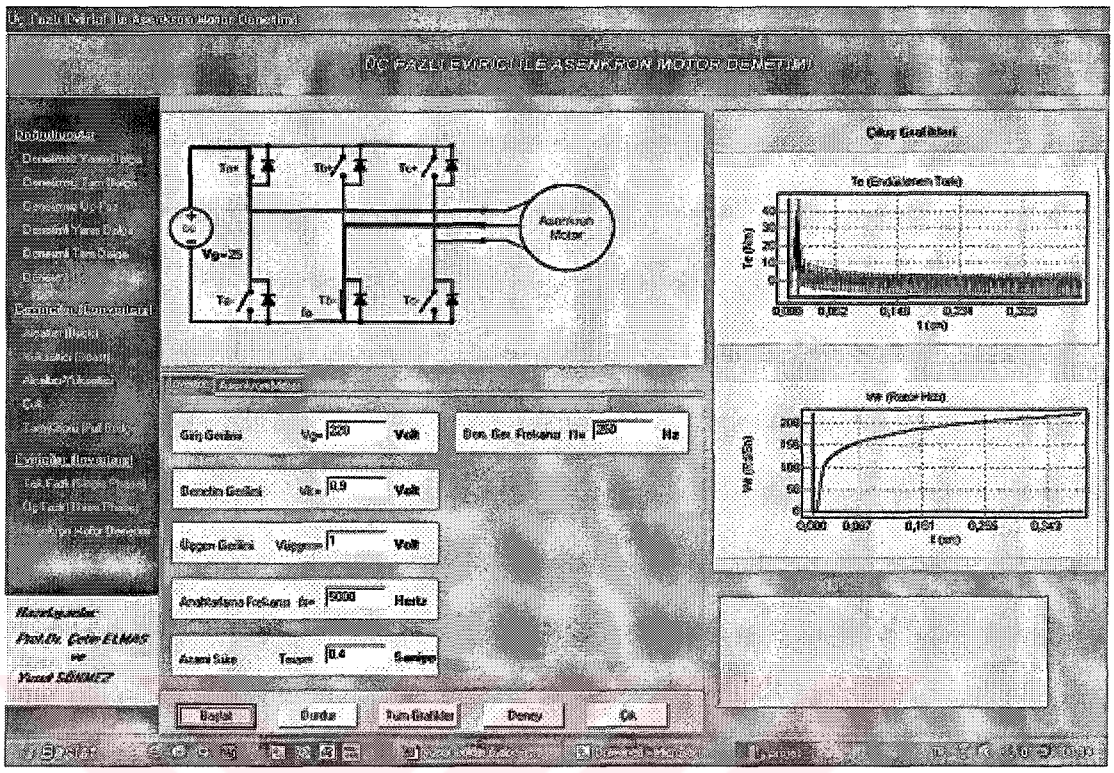
$$J \frac{d\omega_r(t)}{dt} = Te(t) - Tm(t) \qquad [6.4]$$

$T_m$=Yük torku

Programda, bu denklemlere göre asenkron motorun benzetimi gerçekleştirilmiştir. Program kodu yazılırken stator gerilimi matrisinde ($V_{abcs}(t)$) bulunan $V_{as}(t)$, $V_{bs}(t)$ ve $V_{cs}(t)$ gerilimleri, üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleridir.

### 6.4.2. Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi benzetim programı ana sayfası

Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi benzetimi için hazırlanan program ana sayfası Şekil 6.27'de gösterilmiştir.




Şekil 6.27. Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi program ana sayfası

Programda yük olarak asenkron motor kullanıldığı için bir önceki konuda gösterilen üç fazlı evirici programından farklı olarak, değişken değerleri bölümüne motora ait değerler için giriş yapılabilen etiketler eklenmiştir. 'Asenkron motor' isimli bu bölümde, öğrenci asenkron motora ait; stator endüktansını, stator direncini, rotor endüktansını, rotor direncini, stator ve rotor arasındaki bağıl endüktansı, kutup sayısını, yük torkunu ve sürtünme katsayısını değiştirme şansına sahiptir. Bu yüzden program aynı zamanda başlı başına bir asenkron motor benzetimi olma özelliğini üzerinde taşımaktadır. Öğrenci eviriciye veya motora ait değerleri değiştirerek, motorun hızında, torkunda, stator akım ve geriliminde meydana gelecek değişimleri grafikler yardımıyla görebilir.

### 6.4.3. Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi benzetim programı deney sayfası

Üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi benzetim programı için hazırlanan deney sayfası aşağıda italik yazılı olarak gösterilmiştir.

*DENEY 14:ÜÇ FAZLI d.a-a.a EVİRİCİ İLE ASENKRON MOTOR DENEYİ*

*Deneyin Amacı:*

*Üç Fazlı d.a-a.a Evirici ile denetlenen bir asenkron motorun değişkenlerinin farklı değerleri için; akım, gerilim,hız ve tork değişimlerinin incelenmesi, grafiklerinin çizdirilmesi.*

*Deneyin Yapılışı:*

*Evirici simülasyonunda Tek Kutuplu Gerilim Anahtarlamalı PWM denetimi kullanılmıştır. Bu denetim metodunda; çeviricinin A ve B bacakları birbirinden bağımsız olarak denetlenmektedir. Çeviricinin A bacağı; Ta+ ve Ta- anahtarlarının bulunduğu kol,B bacağı; Tb+ ve Tb- anahtarlarının bulunduğu kol, C Bacağı ise Tc+ veTc- anahtarlarının bulunduğu koldur. Denetimde; üçgen dalga şekli, sinüsoidal denetim gerilimleri Vka, Vkb ve Vkc ile sırasıyla A, B ve C bacaklarının anahtarlama işaretlerini belirlemek için karşılaştırılmaktadır.Vka ile Vüçgen'in karşılaştırılması A bacağındaki anahtarları, Vkb ile Vüçgen'in karşılaştırılması B bacağındaki anahtarları, Vkc ile Vüçgen'in karşılaştırılması ise C bacağındaki anahtarları denetler denetler.Eviricilerde, Denetim Gerilimi (Vka,Vkb,Vkc) ; frekansı ve genliği ayarlanabilen sinüsoidal bir eğridir.Anahtarların denetimi ise aşağıdaki gibi yapılmaktadır.*

*Eğer*

*Ta+ iletimde ise: Vka>Vüçgen*
*Tb+ iletimde ise: Vkb>Vüçgen*
*Tc+ iletimde ise: Vkc>Vüçgen*

*A bacağının çıkış gerilimi Van, B bacağının çıkış gerilimi Vbn, C bacağının çıkış gerilimi Vcn ve çıkış gerilimi Vo olarak belirtilmiştir.*

*Programın ilk açılışında, devre değişkenleri için değerler belirlenmiştir. Yük olarak bir asenkron motor bulunmaktadır. Deney için aşağıda verilen maddeleri sırasıyla uygulayınız.*

*Yardım:*

*Programda belirlediğiniz değerlere göre simülasyonu başlatmak için "Başlat" butonuna basınız. Program bir süre sonra devredeki bütün elemanların akım ve gerilim grafiklerini çizecektir. Grafiğini görmek istediğiniz elemanın üzerine farenin sol tuşuyla tıklayınız. Bu yolla, bütün elemanların grafiklerini inceleyebilirsiniz. Ayrıca grafikleri karşılaştırabilmeniz amacıyla, bir sayfa düzenlenmiştir. Programda, "Tüm Grafikler" butonuna basarak bu sayfaya geçiş yapabilirsiniz. Bu sayfada grafikleri, tek tek veya hepsini birden kaydedebilir, sayfanın çıktısını alabilirsiniz. Deneyi yapmak için aşağıdaki madddeleri sırayla takip ediniz. Verilen tabloları doldurup, deneyle ilgili elde ettiğiniz sonuçları "sonuç" kısmına yazınız.*

*Programda devre ile ilgili değişkenlerin değerlerini değiştirmek için iki bölüm düzenlenmiştir. İnvertör ile ilgili değerler (Giriş Gerilimi Vg, Denetim Gerilimi Vk, Üçgen Gerilimi Vüçgen, Anahtarlama Frekansı fs ve Denetim Gerilimi Frekansı fl ) "İNVERTÖR" bölümünde, asenkron motor ile ilgili değerler de (stator direnci Rs, rotor direnci Rr, stator endüktansı Ls, rotor endüktansı Lr, stator ve rotor arasındaki bağıl endüktans Lsr, kutup sayısı P, yük torku Tl ve sürtünme katsayısı F ) "ASENKRON MOTOR" bölümünde bulunmaktadır. Hangi değeri değiştirmek istiyorsanız ilgili bölüme girmelisiniz.*

*1- Vg=220 V, Vüçgen=1 V, fs=50000 Hz ve fl=10000 Hz değerlerini sabit tutarak, Denetim Gerilimi (Vk)' nın değerini 0,9-0,8-0,7....0,1 aralığında değiştiriniz.Her bir Denetim Gerilimi değeri için bütün grafikleri inceleyiniz.Stator akımları (Isa,Isb,Isc), hız (Wr) ve tork (Te) gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz.Denetim Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış Gerilimi, Tork ve Hız değerlerine çıkış grafiğinden bakınız ve tabloya yazınız.Denetim Gerilimi arttıkça çıkış akımı,tor ve hız nasıl değişti?*

| *Denetim Gerilimi (Vk) Volt* | *Giriş Gerilimi (Vg) Volt* | *Stator Akımı (Isa,Isb,Isc) Volt* | *Endüklenen Tork (Te) Nm* | *Hız(Wr) Rad/Sn* |
|---|---|---|---|---|
| *Vk1=0,9* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk2=0,8* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk3=0,7* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk4=0,6* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk5=0,5* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk6=0,4* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk7=0,3* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk8=0,2* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk9=0,1* | *Vg=220 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |

*Sonuç:*

*2- Vg=220 V, Vk=0,8 V, fs=50000 Hz, fl=10000 Hz, ve asenkron motor değerlerini sabit tutarak, Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerini değiştiriniz. Bu işlemi aşağıdaki tabloda verilen bütün Üçgen Gerilimi (Vüçgen) değerleri için uygulayınız.Her bir değer için bütün grafikleri inceleyiniz. Van, Vbn ve Vo gerilimlerinin grafiklerine dikkat ediniz.Üçgen Geriliminin her değeri için Ortalama Çıkış gerilimi değerine çıkış grafiğinden bakınız.Üçgen Gerilimi arttıkça çıkış gerilimi nasıl değişti? Üçgen Geriliminin her değeri için Ta+ ve Tb+ anahtarlarının Darbeleme Oranını (D1 ve D2) yukarıda verilen formüllerden yararlanarak hesaplayınız ve aşağıdaki tabloyu doldurunuz.*

| *Denetim Gerilimi (Vk) Volt* | *Üçgen Gerilimi (Vüçgen) Volt* | *Stator Akımı (Isa) Volt* | *Endüklenen Tork (Te) Nm* | *Hız (Wr) Rad/Sn* |
|---|---|---|---|---|
| *Vk=0,8* | *Vüçgen1=1 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk=0,8* | *Vüçgen2=2 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |
| *Vk=0,8* | *Vüçgen3=4 V* | *Is=* | *Te=* | *Wr=* |

*Sonuç:*

*3- Vg=380 V, Vk=0,8 V, Vüçgen=1 V, fs=10000 Hz, değerlerini sabit tutarak Asenkron Motorun Kutup Sayısı değerini sırasıyla; P=2, P=4, P=6 yapınız. Her kutup sayısı değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Asenkron motorun hız grafiğine dikkat ediniz. Kutup sayısı değeri değiştikçe asenkron motorun hızında ne gibi bir değişiklik oldu? Aşağıdaki her kutup sayısı değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz Hız grafiklerini yapıştırınız.Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp aşağıya yapıştırabilirsiniz.*

*P=2*

*P=4*

*P=6*

*Sonuç:*

*4- Vg=380 V, Vk=0,9 V, Vüçgen=1 V, fs=50000 Hz, ve asenkron motor değerlerini sabit tutarak denetim gerilimi frekansını (fl) sırasıyla; fl=2000 Hz, fl=5000 Hz, fl=10000 Hz yapınız. Her frekans değeri için bütün grafikleri inceleyiniz. Asenkron motorun sator akımları, hız ve tork grafiğine dikkat ediniz. Frekans değeri değiştikçe asenkron motorun hızında ne gibi bir değişiklik oldu? Aşağıdaki her frekans değerinin altına o değer için programda çizdirdiğiniz Hız grafiklerini yapıştırınız. Bu işlemi; programda ilgili grafiğin üzerindeki "kopyala" butonu ile kopyalayıp aşağıya yapıştırabilirsiniz.*

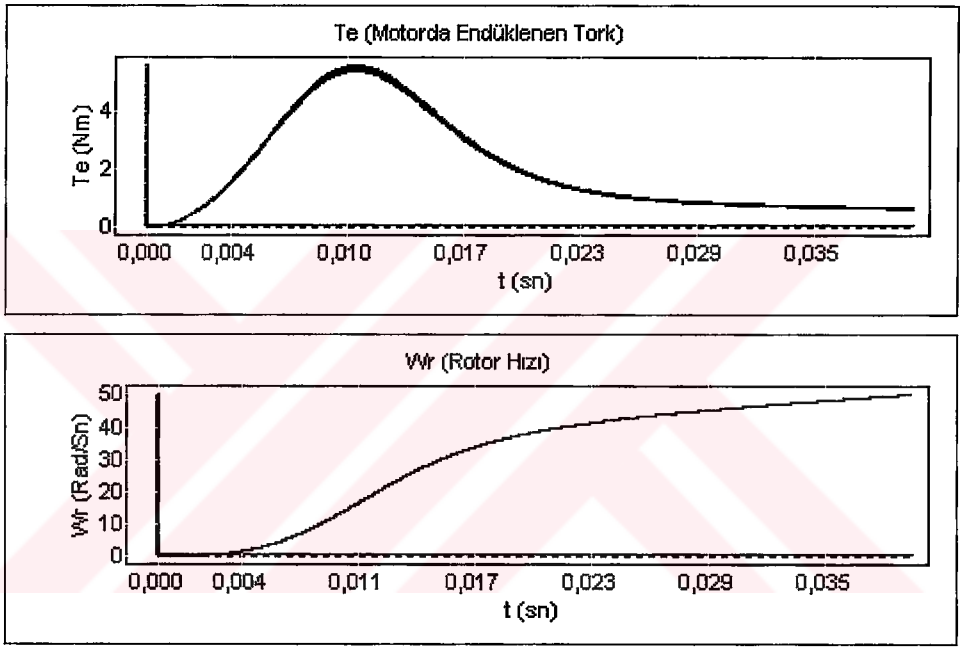
*fl=2000 Hz*

*fl=5000 Hz*

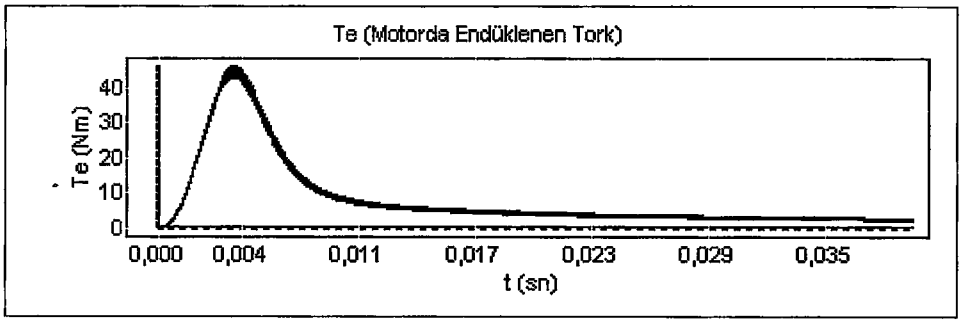
*fl=10000 Hz*

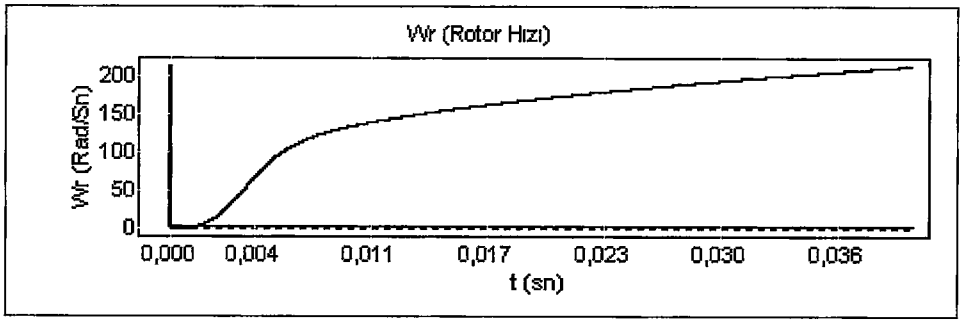
*Sonuç:*

Deneyin 1. maddesinde; öğrenciden, diğer bütün değişken değerlerini sabit tutarak sadece eviriciye ait denetim gerilimi (Vk) değerini 0.1....0.9 aralığında değiştirmesi ve her Vk değeri için asenkron motorun çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek, eviricinin denetim gerilimindeki değişimin asenkron motorun hızını ne şekilde etkilediğini görecektir. Şekil 6.28 ve 6.29'da Vk=0,2 V ve Vk=0,8 V değerleri için programda çizdirilen asenkron motora ait çıkış grafikleri gösterilmiştir.



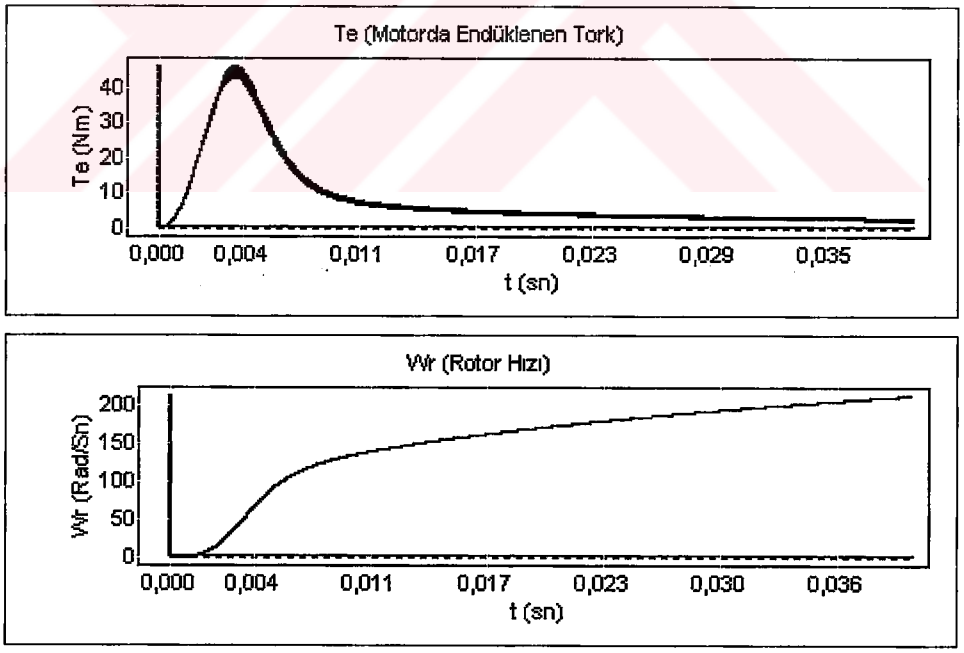

Şekil 6.28. Vk=0,2 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği



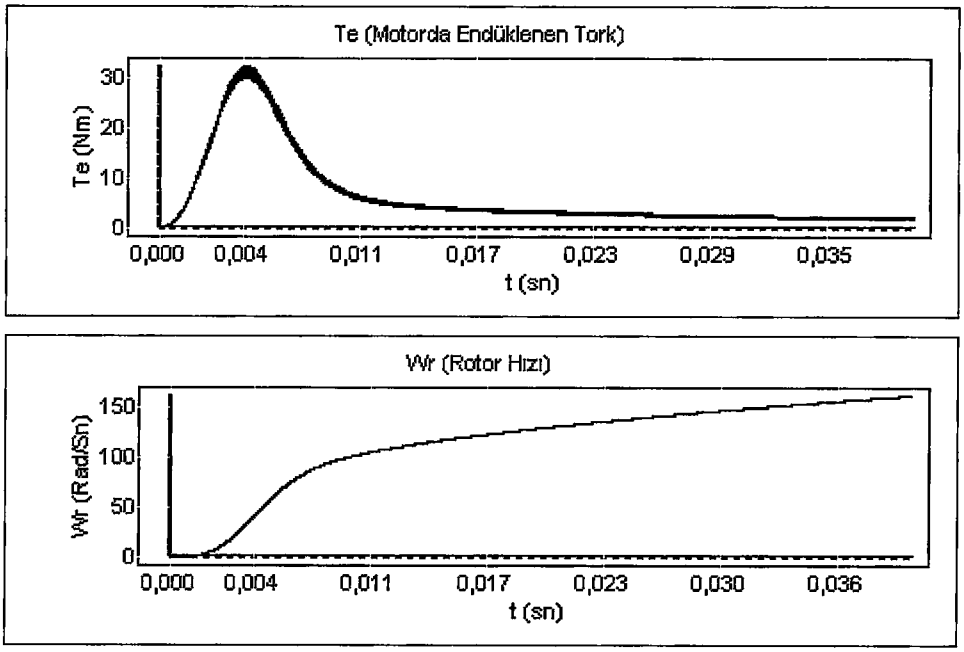



Şekil 6.29. Vk=0,8 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği

Deneyin 2. maddesinde; öğrenciden diğer bütün değerleri sabit tutarak eviriciye ait üçgen gerilimi ($V_{üçgen}$) değerini değiştirmesi istenmiştir. Bu maddede, öğrenci aldığı her $V_{üçgen}$ değeri için programı çalıştırıp motora ait grafikleri inceler ve $V_{üçgen}$ değeri değişiminin motorun hızına ve torkuna olan etkilerini öğrenir. Şekil 6.30 ve 6.31'de $V_{üçgen}$=1 V ve $V_{üçgen}$=2 V değerleri için programda çizdirilen motora ait çıkış grafikleri gösterilmiştir.

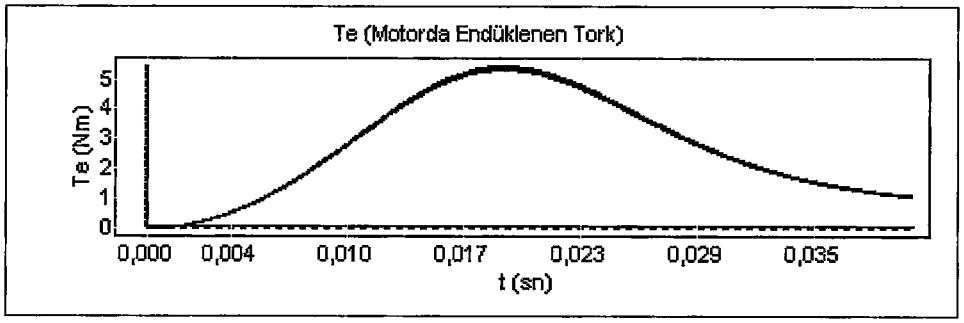


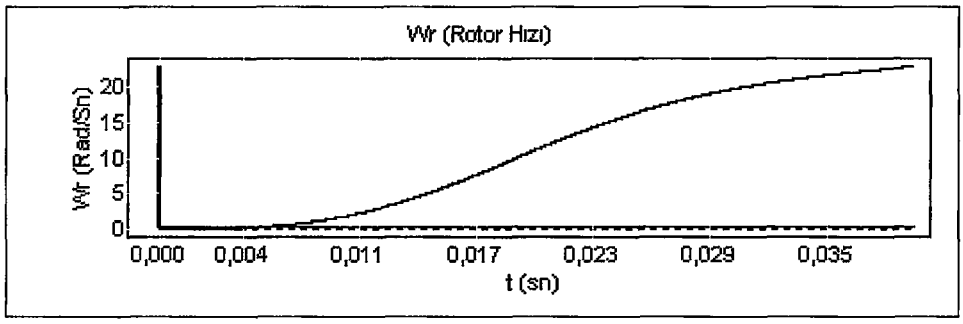

Şekil 6.30. $V_{üçgen}$=1 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği



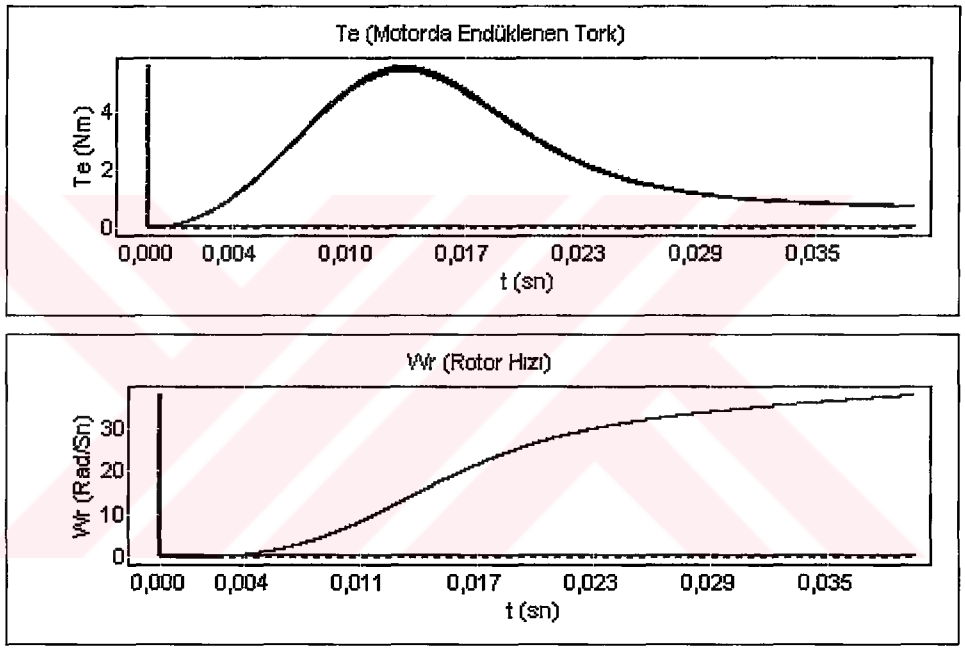

Şekil 6.31. $V_{üçgen}$=2 V için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği

Deneyin 3. maddesinde; öğrenciden, evirici ve asenkron motora ait diğer bütün değerleri sabit tutarak, asenkron motorun kutup sayısını (p) değiştirmesi ve her p değeri için programı çalıştırarak motora ait çıkış grafiklerini incelemesi istenmiştir. Öğrenci bu maddeyi gerçekleştirerek asenkron motorun kutup sayısıyla hızı arasındaki bağıntıyı görebilecektir. Şekil 6.32 ve 6.33'de p=2 ve p=6 için programda çizdirilen motora ait hız grafikleri gösterilmiştir.





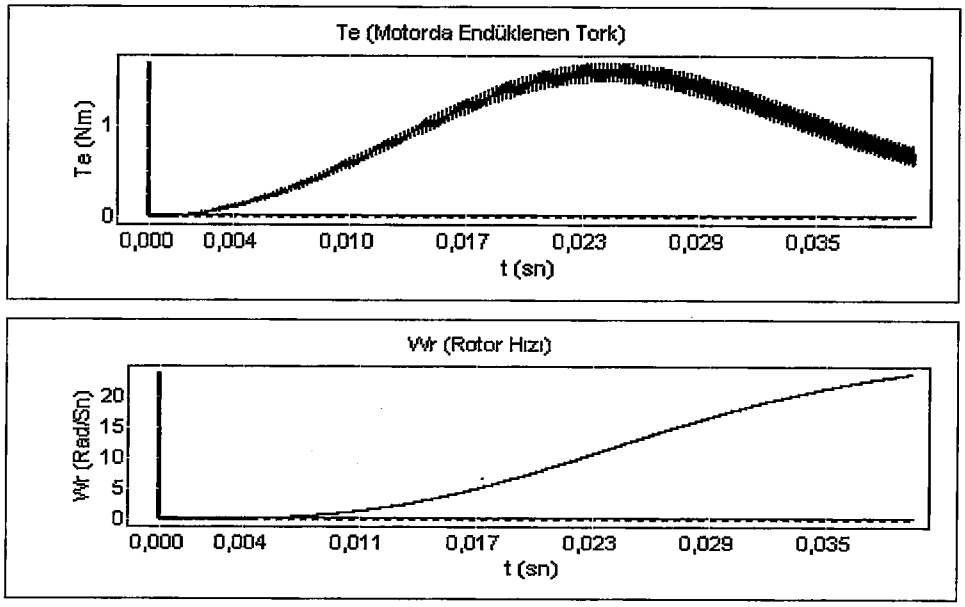

Şekil 6.32. 2p=2 için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği



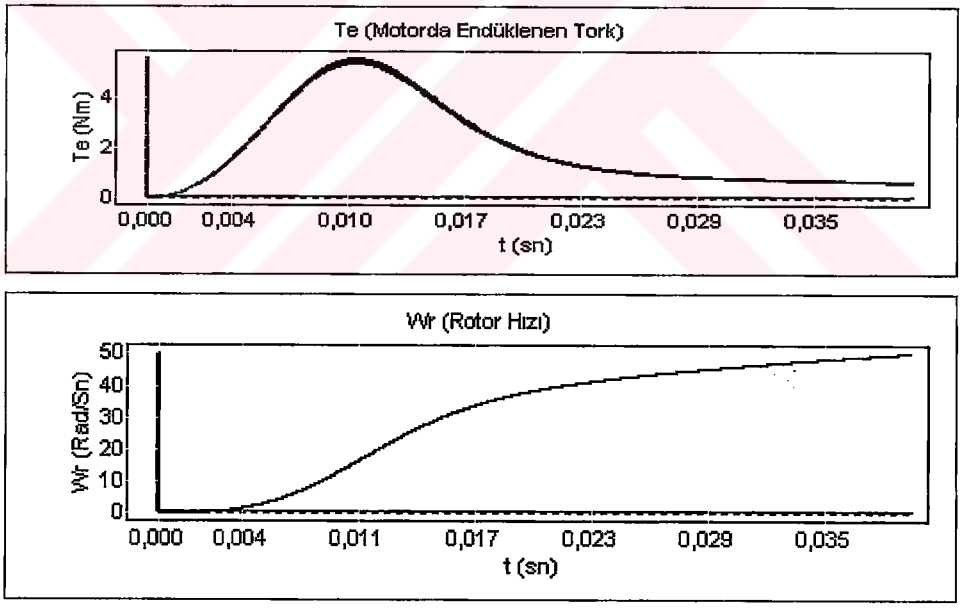

Şekil 6.33. 2p=4 için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği

Deneyin 4. maddesinde; öğrenciden, diğer bütün değerleri sabit tutarak eviricinin denetim gerilimi frekansını (fl) değiştirmesi ve her frekans değeri için programı çalıştırarak motora ait grafikleri incelemesi istenmiştir.

Bir önceki konuda anlatıldığı gibi eviricinin denetim gerilimi frekansı aslında eviricinin çıkışından alınan gerilim frekansı idi. Bu yüzden bu madde ile öğrenci, motorun girişinden uygulanan gerilimin frekansında meydana gelecek değişimin motorun hızına ne gibi bir etki adeceğini görecektir. Şekil 6.34 ve 6.35'de fl=5000 Hz ve fl=10000 Hz için programda çizdirilen motora ait hız grafikleri gösterilmiştir.




Şekil 6.34. f1=5000 Hz için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği




Şekil 6.35. f1=1000 Hz için üç fazlı evirici ile asenkron motor denetimi programında çizdirilen tork ve hız grafiği

# 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Skinner'in Programlı Öğretim Metodu temel alınarak, güç elektroniği devrelerinin eğitimi maksadıyla bir set hazırlanmıştır. Eğitim seti on dört adet güç elektroniği devresinin benzetim programından oluşmaktadır. Benzetim programıyla, güç elektroniği devrelerinin bilgisayar destekli eğitimi gerçekleştirilir.

Programda, benzetimi yapılan bütün devreler için, devrenin üzerinde yer alan elemanların akım ve gerilim eğrileri zaman domeninde çizdirilmiştir. Ayrıca devre şekli üzerine, akım yolu, gerçeğine uygun bir şekilde çizdirilerek tam anlamıyla bir devre benzetimi yapılmıştır. Ayrıca her bir devre için bir deney sayfası hazırlanmıştır. Bu sayede, öğrenci devrenin çalışma prensibiyle ilgili ileri seviyede bir bilgi birikimi ve deneyime sahip olacaktır.

Yukarıda analtılan özellikleriyle, güç elektroniği devrelerinin eğitimi maksadıyla hazırlanan bu set, hem eğiticiye hem de öğrenciye büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Program; eğitimde görselliği ön plana çıkarması nedeniyle bilgilerin daha kalıcı hale gelmesini ve eğitim için harcanacak sürenin azalmasını sağladığı için oldukça önemli bir konumda bulunmaktadır. Ayrıca bu set; öğrencilerin, konuları kendi öğrenme hızlarına göre işleyebilmeleri açısından, eğitimin bireysellik ilkesine dayanmaktadır. Set dahilindeki konular, belli bir sıra ile, basitten karmaşığa olacak şekilde sıralandığı için öğrenmenin etkinliğini sağlamaktadır. Öğrenciyi, etkileşimli olarak öğrenme ve kendi öğrenme süreçlerine katılması açısından teşvik etmektedir. Öğrenciye, gerçek örneklerle çalışma ve pratik yapma olanağı sağlamaktadır.

Uygulamalı derslerin eğitiminde şüphesiz bazı sakıncalar mevcuttur. Bunlar; laboratuar ortamının bazı kaza risklerini taşıması ve zaten maliyeti yüksek olan malzemelerin yanlış kullanımı sonucu arızalanması olarak sıralanabilir. Bu tezde hazırlanan eğitim seti, güç elektroniği uygulamalarını bilgisayar ortamına taşıdığından dolayı yukarıda bahsedilen sakıncaları ortadan kaldırmaktadır.

# KAYNAKLAR


1. Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P., "Güç Elektroniği, Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım" , Tuncay, N., Gökaşan, M., Boğosyan, S., ***Literatür Yayıncılık***, İstanbul, 1-267 (2003).

2. Kassakian, J.G, Schlect, M.F., Verghese, G.C, "Principles of Power Electronics" ***Addison-Wesley***, U.S.A, 11-193 (1991).

3. Williams, B.W.,"Naturally commutating converters" , Power Electronics Devices, Drivers, Applications and Passive Components 2nd ed. , ***Mc Graw-Hill***, New York, 253-292 (1992).

4. Heumann, K., "Basic Principles of Power Electronics" , Kassakian, J.G., Naunin, D.H., ***Springer-Verlag***, Berlin, 172-173 (1986).

5. Reis, A.C., Farias, V.J., de Freitas, L.C., Vieira, J.B., "A Soft Switched Single Phase Inverter with Special PWM Technique" , ***1998 International Conference on IEEE Proceedings*** 2, 723-728 (1998).

6. Meliopoulas, A.P., Gao, W., Cokkinides, G.J., "Visulation and Animation of Inverter-Driven Induction Motor Operation" , ***Proceedings of the 35th IEEE Hawaii International Conferance on System Sciences***, Hawaii, (2002).

7. Coşkun, İ., "Kondansatörler", "Bobinler", Doğru Akım Devreleri ve Teoremleri, ***Utku Yayıncılık***, Ankara, 191-226, 263-281 (1997).

8. Karagülle, İ., Pala, Z., "Borland C++ Builder 6" , ***Türkmen Kitabevi***, İstanbul 1-560 (2002).

9. Yanık, M., "Projelerde birden fazla form kullanmak" , C++ Builder, ***Beta Basım***, İstanbul, 173-182 (2000).

10. Ekinci, F., "Döngüler ve switch kalıbı" , C ve Siz, ***Türkmen Kitabevi***, İstanbul, 74-111 (1996).

11. Yu, Z., Mohammed, A., Panahi, I., "A Review of Three PWM Techniques" , ***Proceedings of the American Control Conferance***, 1, New Mexico, 257-261 (1997).

12. Xu, J., "An Analytical Technique for the Analysis of Switching DC-DC Converters" , ***Circuits and Systems IEEE***, 1212-1215 (1991).

13. Maddaleno, F., "Computer Simulation of A Neural Network Controlled Buck Converter" , ***Computers in Power Electronics IEEE***, 205-208 (1994).

# ÖZGEÇMİŞ

Yusuf SÖNMEZ, Ekim 1980 yılında Ankara'da doğdu. 1997 yılında Ankara Bahçelievler Cumhuriyet Lisesinden mezun oldu. 1998 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümüne girmeye hak kazandı. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2004 yılında Gazi Üniversitesi Gazi Meslek Yüksekokulunda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Yüksek Lisans eğitimi halen devam etmektedir.