



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜRÜCÜ TİP DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN OPTİMİZE
EDİLMİŞ PID KONTROLÜ**

İSMAİL PENBEGÜLLÜ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. YUSUF ALTUN**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜRÜCÜ TİP DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN OPTİMİZE
EDİLMİŞ PID KONTROLÜ

İsmail PENBEGÜLLÜ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Yusuf ALTUN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Yusuf ALTUN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UÇAR

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 19/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

19 Temmuz 2019

İsmail PENBEGÜLLÜ

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Yusuf ALTUN' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Yasemin PENBEGÜLLÜ, sevgili aileme, mesleğimin temellerini atan değerli teknik lise öğretmenin Abdürrahim Alpaslan BAŐALP ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

19 Temmuz 2019

İsmail PENBEGÜLLÜ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER.....	3
2.1. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN SINIFLANDIRILMASI	4
2.1.1. İzoleli DC-DC Dönüştürücüler	4
2.1.1.1. Geri Dönümlü (Fly Back) Dönüştürücüler	4
2.1.1.2. İleri Yönlü (Forward) Dönüştürücüler	5
2.1.1.3. Tam Köprü (Full Bridge) Dönüştürücüler	6
2.1.1.4. Yarım Köprü (Half Bridge) Dönüştürücüler	7
2.1.1.5. Push-Pull Dönüştürücüler	7
2.1.2. İzolasyonsuz DC-DC Dönüştürücüler	8
2.1.2.1. Yükseltici (Boost) Dönüştürücüler	9
2.1.2.2. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) Dönüştürücüler	15
2.1.2.3. Düşürücü (Buck) Dönüştürücüler	20
3. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜYE AİT SİMÜLASYON UYGULAMASI	24
3.1. SİMÜLASYON SÜRECİNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL DENKLEM	24
3.2. SİMÜLASYON SÜRECİNDE KULLANILAN DEVRE ŞEMASI	25
3.2.1. PID Katsayılarının Ayarlanması	25
4. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ANALİZİ	27
4.1. SİMÜLASYON İLE YAPILAN DENEYLER SÜRECİNDE ELDE EDİLEN SİNYALLER.....	27
4.1.1. Deney 1 ve Elde Edilen Sonuçlar	27
4.1.2. Deney 2 ve Elde Edilen Sonuçlar	28
4.1.3. Deney 3 ve Elde Edilen Sonuçlar	29
4.1.4. Deney 4 ve Elde Edilen Sonuçlar	31
4.1.5. Deney 5 ve Elde Edilen Sonuçlar	32
4.1.6. Deney 6 ve Elde Edilen Sonuçlar	34
4.1.7. Deney 7 ve Elde Edilen Sonuçlar	35
4.1.8. Deney 8 ve Elde Edilen Sonuçlar	36

4.1.9. Deney 9 ve Elde Edilen Sonuçlar	38
4.1.10. Deney 10 ve Elde Edilen Sonuçlar	39
4.1.11. Deney 11 ve Elde Edilen Sonuçlar	40
4.1.12. Deney 12 ve Elde Edilen Sonuçlar	42
4.1.13. Deney 13 ve Elde Edilen Sonuçlar	43
4.1.14. Deney 14 ve Elde Edilen Sonuçlar	44
4.1.15. Deney 15 ve Elde Edilen Sonuçlar	46
4.1.16. Deney 16 ve Elde Edilen Sonuçlar	47
4.1.17. Deney 17 ve Elde Edilen Sonuçlar	49
4.1.18. Deney 18 ve Elde Edilen Sonuçlar	50
4.1.19. Deney 19 ve Elde Edilen Sonuçlar	52
4.1.20. Deney 20 ve Elde Edilen Sonuçlar	53
4.1.21. Deney 21 ve Elde Edilen Sonuçlar	55
4.1.22. Deney 22 ve Elde Edilen Sonuçlar	56
4.1.23. Deney 23 ve Elde Edilen Sonuçlar	58
4.1.24. Deney 24 ve Elde Edilen Sonuçlar	59
4.1.25. Deney 25 ve Elde Edilen Sonuçlar	61
4.1.26. Deney 26 ve Elde Edilen Sonuçlar	62
4.1.27. Deney 27 ve Elde Edilen Sonuçlar	64
4.1.28. Deney 28 ve Elde Edilen Sonuçlar	65
4.1.29. Deney 29 ve Elde Edilen Sonuçlar	67
4.1.30. Deney 30 ve Elde Edilen Sonuçlar	68
4.1.31. Deney 31 ve Elde Edilen Sonuçlar	70
4.1.32. Deney 32 ve Elde Edilen Sonuçlar	71
4.1.33. Deney 33 ve Elde Edilen Sonuçlar	72
4.1.34. Deney 34 ve Elde Edilen Sonuçlar	74
4.1.35. Deney 35 ve Elde Edilen Sonuçlar	75
4.1.36. Deney 36 ve Elde Edilen Sonuçlar	76
4.1.37. Deney 37 ve Elde Edilen Sonuçlar	77
4.1.38. Deney 38 ve Elde Edilen Sonuçlar	79
4.1.39. Deney 39 ve Elde Edilen Sonuçlar	80
4.1.40. Deney 40 ve Elde Edilen Sonuçlar	81
4.1.41. Deney 41 ve Elde Edilen Sonuçlar	83
4.2. SİMÜLASYON İLE YAPILAN DENEYLERİN GENEL YORUMU	84
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
6. KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. DC-DC dönüştürücüye ait kontrollü tip temel blok şeması.	3
Şekil 2.2. Geri dönüşlü dönüştürücünün genel devre şeması.	5
Şekil 2.3. İleri yönlü dönüştürücünün genel devre şeması.	5
Şekil 2.4. Tam köprü dönüştürücünün genel devre şeması.	6
Şekil 2.5. Yarım köprü dönüştürücünün genel devre şeması.	7
Şekil 2.6. Push-Pull dönüştürücünün genel devre şeması.	8
Şekil 2.7. İzolasyonsuz DC-DC dönüştürücüye ait PWM ile gerçekleştirilen genel kontrol yöntemi dalga şekilleri.	9
Şekil 2.8. Yükseltici dönüştürücü genel devre şeması.	10
Şekil 2.9. Yükseltici dönüştürücüde yarı iletkenin iletimde olduğu devre şeması.	11
Şekil 2.10. Yükseltici dönüştürücüde yarı iletkenin kesimde olduğu devre şeması.	12
Şekil 2.11. Yükseltici dönüştürücüye ait bobin gerilimi genel dalga şekli.	14
Şekil 2.12. Yükseltici dönüştürücüye ait bobin akımı genel dalga şekli.	14
Şekil 2.13. Yükseltici dönüştürücüye ait diyot akımı genel dalga şekli.	15
Şekil 2.14. Yükseltici dönüştürücüye ait kondansatör akımı genel dalga şekli.	15
Şekil 2.15. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücüye ait genel devre şeması.	16
Şekil 2.16. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüde yarıiletkenin iletimde olduğu devre şeması.	16
Şekil 2.17. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüde yarıiletkenin kesimde olduğu devre şeması.	17
Şekil 2.18. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait bobin gerilimi genel dalga şekli.	18
Şekil 2.19. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait bobin akımı genel dalga şekli.	19
Şekil 2.20. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait diyot akımı genel dalga şekli.	19
Şekil 2.21. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait kondansatör akımı genel dalga şekli.	20
Şekil 2.22. Düşürücü dönüştürücüye ait genel devre şeması.	20
Şekil 2.23. PowerMOSFET ya da IGBTnin iletimde, diyotun iletimde olmadığı operasyon modu.	21
Şekil 2.24. PowerMOSFET ya da IGBTnin iletimde olmadığı, diyotun iletimde olduğu operasyon modu.	22
Şekil 3.1. Düşürücü tip DC-DC dönüştürücü MATLAB-Simulink uygulama devresi.	25
Şekil 3.2. PID katsayılarının ayarlanması için kullanılan Simulink modeli.	25
Şekil 3.3. PID Controller block parametleri ekranı.	26
Şekil 3.4. PID Tuner ekranı.	26
Şekil 4.1. Deney 1 çıkış gerilimi.	28
Şekil 4.2. Deney 1 bobin akımı.	28
Şekil 4.3. Deney 2 çıkış gerilimi.	29
Şekil 4.4. Deney 2 bobin akımı.	29
Şekil 4.5. Deney 3 çıkış gerilimi.	30
Şekil 4.6. Deney 3 bobin akımı.	31

Şekil 4.7. Deney 4 çıkış gerilimi.....	32
Şekil 4.8. Deney 4 bobin akımı.....	32
Şekil 4.9. Deney 5 çıkış gerilimi.....	33
Şekil 4.10. Deney 5 bobin akımı.....	33
Şekil 4.11. Deney 6 çıkış gerilimi.....	34
Şekil 4.12. Deney 6 bobin akımı.....	35
Şekil 4.13. Deney 7 çıkış gerilimi.....	36
Şekil 4.14. Deney 7 bobin akımı.....	36
Şekil 4.15. Deney 8 çıkış gerilimi.....	37
Şekil 4.16. Deney 8 bobin akımı.....	37
Şekil 4.17. Deney 9 çıkış gerilimi.....	38
Şekil 4.18. Deney 9 bobin akımı.....	39
Şekil 4.19. Deney 10 çıkış gerilimi.....	40
Şekil 4.20. Deney 10 bobin akımı.....	40
Şekil 4.21. Deney 11 çıkış gerilimi.....	41
Şekil 4.22. Deney 11 bobin akımı.....	42
Şekil 4.23. Deney 12 çıkış gerilimi.....	42
Şekil 4.24. Deney 12 bobin akımı.....	43
Şekil 4.25. Deney 13 çıkış gerilimi.....	44
Şekil 4.26. Deney 13 bobin akımı.....	44
Şekil 4.27. Deney 14 çıkış gerilimi.....	45
Şekil 4.28. Deney 14 bobin akımı.....	46
Şekil 4.29. Deney 15 çıkış gerilimi.....	47
Şekil 4.30. Deney 15 bobin akımı.....	47
Şekil 4.31. Deney 16 çıkış gerilimi.....	48
Şekil 4.32. Deney 16 bobin akımı.....	49
Şekil 4.33. Deney 17 çıkış gerilimi.....	50
Şekil 4.34. Deney 17 bobin akımı.....	50
Şekil 4.35. Deney 18 çıkış gerilimi.....	51
Şekil 4.36. Deney 18 bobin akımı.....	52
Şekil 4.37. Deney 19 çıkış gerilimi.....	53
Şekil 4.38. Deney 19 bobin akımı.....	53
Şekil 4.39. Deney 20 çıkış gerilimi.....	54
Şekil 4.40. Deney 20 bobin akımı.....	55
Şekil 4.41. Deney 21 çıkış gerilimi.....	56
Şekil 4.42. Deney 21 bobin akımı.....	56
Şekil 4.43. Deney 22 çıkış gerilimi.....	57
Şekil 4.44. Deney 22 bobin akımı.....	58
Şekil 4.45. Deney 23 çıkış gerilimi.....	59
Şekil 4.46. Deney 23 bobin akımı.....	59
Şekil 4.47. Deney 24 çıkış gerilimi.....	60
Şekil 4.48. Deney 24 bobin akımı.....	61
Şekil 4.49. Deney 25 çıkış gerilimi.....	62
Şekil 4.50. Deney 25 bobin akımı.....	62
Şekil 4.51. Deney 26 çıkış gerilimi.....	63
Şekil 4.52. Deney 26 bobin akımı.....	64
Şekil 4.53. Deney 27 çıkış gerilimi.....	65
Şekil 4.54. Deney 27 bobin akımı.....	65
Şekil 4.55. Deney 28 çıkış gerilimi.....	66
Şekil 4.56. Deney 28 bobin akımı.....	67

Şekil 4.57. Deney 29 çıkış gerilimi.....	68
Şekil 4.58. Deney 29 bobin akımı.....	68
Şekil 4.59. Deney 30 çıkış gerilimi.....	69
Şekil 4.60. Deney 30 bobin akımı.....	69
Şekil 4.61. Deney 31 çıkış gerilimi.....	71
Şekil 4.62. Deney 31 bobin akımı.....	71
Şekil 4.63. Deney 32 çıkış gerilimi.....	72
Şekil 4.64. Deney 32 bobin akımı.....	72
Şekil 4.65. Deney 33 çıkış gerilimi.....	73
Şekil 4.66. Deney 33 bobin akımı.....	73
Şekil 4.67. Deney 34 çıkış gerilimi.....	74
Şekil 4.68. Deney 34 bobin akımı.....	75
Şekil 4.69. Deney 35 çıkış gerilimi.....	76
Şekil 4.70. Deney 35 bobin akımı.....	76
Şekil 4.71. Deney 36 çıkış gerilimi.....	77
Şekil 4.72. Deney 36 bobin akımı.....	77
Şekil 4.73. Deney 37 çıkış gerilimi.....	78
Şekil 4.74. Deney 37 bobin akımı.....	79
Şekil 4.75. Deney 38 çıkış gerilimi.....	80
Şekil 4.76. Deney 38 bobin akımı.....	80
Şekil 4.77. Deney 39 çıkış gerilimi.....	81
Şekil 4.78. Deney 39 bobin akımı.....	81
Şekil 4.79. Deney 40 çıkış gerilimi.....	82
Şekil 4.80. Deney 40 bobin akımı.....	83
Şekil 4.81. Deney 41 çıkış gerilimi.....	84
Şekil 4.82. Deney 41 bobin akımı.....	84

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Deney 1 değişkenleri.	27
Çizelge 4.2. Deney 2 değişkenleri.	28
Çizelge 4.3. Deney 3 değişkenleri.	30
Çizelge 4.4. Deney 4 değişkenleri.	31
Çizelge 4.5. Deney 5 değişkenleri.	32
Çizelge 4.6. Deney 6 değişkenleri.	34
Çizelge 4.7. Deney 7 değişkenleri.	35
Çizelge 4.8. Deney 8 değişkenleri.	36
Çizelge 4.9. Deney 9 değişkenleri.	38
Çizelge 4.10. Deney 10 değişkenleri.	39
Çizelge 4.11. Deney 11 değişkenleri.	40
Çizelge 4.12. Deney 12 değişkenleri.	42
Çizelge 4.13. Deney 13 değişkenleri.	43
Çizelge 4.14. Deney 14 değişkenleri.	45
Çizelge 4.15. Deney 15 değişkenleri.	46
Çizelge 4.16. Deney 16 değişkenleri.	48
Çizelge 4.17. Deney 17 değişkenleri.	49
Çizelge 4.18. Deney 18 değişkenleri.	51
Çizelge 4.19. Deney 19 değişkenleri.	52
Çizelge 4.20. Deney 20 değişkenleri.	54
Çizelge 4.21. Deney 21 değişkenleri.	55
Çizelge 4.22. Deney 22 değişkenleri.	57
Çizelge 4.23. Deney 23 değişkenleri.	58
Çizelge 4.24. Deney 24 değişkenleri.	60
Çizelge 4.25. Deney 25 değişkenleri.	61
Çizelge 4.26. Deney 26 değişkenleri.	62
Çizelge 4.27. Deney 27 değişkenleri.	64
Çizelge 4.28. Deney 28 değişkenleri.	65
Çizelge 4.29. Deney 29 değişkenleri.	67
Çizelge 4.30. Deney 30 değişkenleri.	68
Çizelge 4.31. Deney 31 değişkenleri.	70
Çizelge 4.32. Deney 32 değişkenleri.	71
Çizelge 4.33. Deney 33 değişkenleri.	73
Çizelge 4.34. Deney 34 değişkenleri.	74
Çizelge 4.35. Deney 35 değişkenleri.	75
Çizelge 4.36. Deney 36 değişkenleri.	76
Çizelge 4.37. Deney 37 değişkenleri.	78
Çizelge 4.38. Deney 38 değişkenleri.	79
Çizelge 4.39. Deney 39 değişkenleri.	80
Çizelge 4.40. Deney 40 değişkenleri.	82
Çizelge 4.41. Deney 41 değişkenleri.	83

KISALTMALAR

C	Kondansatör
CCM	Sürekli iletim/akım modu
D	Görev döngüsü (Duty cycle)
DC	Doğru akım
fp	Darbe ya da anahtarlama süresi
I	Akım
ID	Diyot akımı
IL	Bobin akımı
KVL	Kirchhoff'un gerilim kanunu
L	Bobin
n	Transformatör çevrim oranı
N	Filtre katsayısı (Filter coefficient)
PID	Oransal İntegral Türev (Proportional Integral Derivative)
PWM	Sinyal genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation)
R	Direnç
T	Periyot
Tb/Tk	Kesim ya da boşluk süresi
Td/Ti	Darbe genişliği/iletim ya da doluluk süresi
ton	İletim süresi
Tp/Ts	Darbe ya da çalışma periyodu
UPS	Kesintisiz güç kaynağı
VC	Kondansatör gerilimi
Vkont	Kontrol gerilimi
VL	Bobin gerilimi
Vo/Vç	Çıkış gerilimi
Vs/Vg/Vin	Güç kaynağı/giriş gerilimi
Vsn	Negatif çıkış sinyali
Vsp	Pozitif çıkış sinyali
Vtd	Testere dişi sinyal
Δi_L	Toplam bobin akımı
λ	Doluluk oranı/iletim süresi

SİMGELER

C	Kondansatör
F	Farad
f	Frekans
H	Henry
Hz	Hertz
I	Akım
k	Kilo (nümerik)
L	Bobin
m	Mili
P	Güç (elektrik akımı için)
R	Direnç
u/μ	Mikro
V	Volt
Ω	Ohm

ÖZET

DÜŞÜRÜCÜ TİP DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN OPTİMİZE EDİLMİŞ PID KONTROLÜ

İsmail PENBEGÜLLÜ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yusuf ALTUN

Temmuz 2019, 88 sayfa

Günümüzdeki güç kaynaklarında stabil çıkış (yüksek kalitede verim) ve düşük maliyet gibi özelliklerin bulunması talep edilmektedir. Bu nedenle düşürücü tip DC-DC dönüştürücüler uygulamada kendilerine çokça yer bulmaktadır. Bu çalışmada düşürücü tip DC-DC dönüştürücünün PID kontrolü ele alınmıştır. PID katsayıları optimize edilmiş ve sistemin kontrolü sağlanmıştır. Buna ek olarak, farklı parametreler için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Örneğin, simülasyon örnekleme frekansı, simülasyon solver çeşidi ve ayrıca PWM anahtarlama frekansı değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar deneysel uygulamalar açısından analiz edilerek deneysel çalışmalara altyapı oluşturulmuştur.

Anahtar sözcükler: DC-DC düşürücü dönüştürücüler, PID optimizasyonu, Deneysel analiz.

ABSTRACT

OPTIMIZED PID CONTROL OF DC-DC BUCK CONVERTER

İsmail PENBEGÜLLÜ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Electronics
and Computer Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yusuf ALTUN

July 2019, 88 pages

In today's power supplies, some features such as stable output (high quality efficiency) and low cost are required. Therefore, the DC-DC converters are commonly used in practice applications. In this study, the PID control of the DC-DC Buck converter is tackled. PID coefficients are optimized and the system is controlled. In addition, simulations are performed for different parameters. For example, different results are obtained by changing the simulation sampling frequency, simulation solver type and PWM switching frequency. These results are analyzed in terms of experimental applications and they shed light on the experimental studies.

Keywords: DC-DC buck converter, PID optimization, Experimental analysis.

1. GİRİŞ

Günümüzde elektronik aygıtlar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Her geçen gün gelişen teknoloji sayesinde elektronik aygıtlar daha komplike bir hal almaya başlamıştır. Bunun neticesinde ilgili endüstride ihtiyaç olan elektrik enerjisini sağlayan güç kaynaklarının kararlı olması zorunlu hale gelmiştir [1], [2]. Oluşan bu ihtiyacın karşılanması anahtarlama güç kaynakları ile mümkündür [3]. DC-DC dönüştürücüler, elektrikli otomobillerde, insansız hava araçlarında, telekomünikasyon endüstrisinde ve bilgisayar-tablet endüstrisi gibi alanlarda oldukça sık kullanılır. Yumuşak hız kontrolü, yüksek verim ve dinamik tepki gibi avantajları DC-DC dönüştürücülerin tercih nedenleridir.

DC-DC dönüştürücüler regüle edilmemiş DC bir gerilimi regüledi DC gerileme dönüştüren yapılardır [4], [5] ve [6].

Düşürücü tip DC-DC dönüştürücüler bobinli olurlar ve genellikle izolesiz yapıda üretilirler. Bu dönüştürücüler temelde bir aktif ve bir pasif devre elemanının çalışma devreye bağlanması ile elde edilirler [4]. Çalışma prensipleri bobinin akımı aktarma prensibine dayalıdır. Düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerde, çıkış voltajının büyüklüğü, dönüştürücü anahtarının girişindeki darbenin görev oranının kontrol edilmesi ve dönüştürücü anahtarının her döngüde açılıp kapatılmasıyla kontrol edilir [7], [8]. Çalışma frekansları yüksektir [1], [4]. Düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerin devre şemaları analiz edildiğinde iki modda çalıştığı görülmektedir [1], [4]. Özellikle küçük güçlü DC-DC uygulamalarında ucuz olmasından dolayı tercih edilebilen lineer güç kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, DC-DC dönüştürücüler daha yüksek güçlere yarı iletken kullanımı sayesinde daha az kayıpla ulaşılmasını mümkün kılmaktadır [9].

Düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerin giriş gerilimi ya da yük değeri değişse de çıkış değerlerinin sabit olması gerekmektedir [10], [11]. Bu değerlerin yakalanılmasında literatürde bulunan PID (Oransal İntegral Türev) kontrol yöntemlerinin uygulanması doğru olacaktır. Burada önemli olan katsayı parametrelerinin tercihinin doğru yapılmasıdır [12], [13] ve [14]. PID kontrolünün doğru sağlanmasında önemli bir etkenlerden biri ise PWM (Darbe genişliği modülasyonu) sinyallerinin ve frekans değerlerinin doğru tercih edilmesidir [15] [13]. Burada PID kontrolünü giriş gerilimden

gelen enerjinin devre elemanları vasıtası ile işlenip ya da dönüştürölüp kontrol edilerek, dönüştürücü çıkışında istenilen seviyede düzgün ve regüleli çıkış gerilimi temin eden kontrol sistemi olarak tanımlayabiliriz [14], [16]. Özellikle güç sistemi uygulamalarında PID kontrolün basit ve güvenli olması tercih sebebi olmuştur [17]. Yüksek frekans ile çalışmaya müsait olması, dinamik cevap süresinin iyileştirilmesinin yanı sıra verimliliğin artırılması da düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerin ayrıca tercih sebeplerindendir [18].

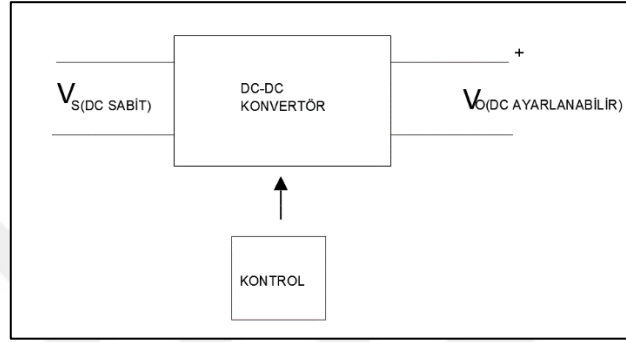
Bu güç kaynakları genellikle CCM (Sürekli iletim modu) modunda çalıştırılırlar [1], [8]. Bunun nedeni ise mosfet ve diyot arasında periyodik akım aktarımı vardır, bu aktarım sırasında anahtarlamalardan kaynaklanan kayıplar artar [1], [19], [20] ve [21]. Sistem CCM' de çalıştığında güç aktarımı mükemmel yakın olduğu için bu kayıpların en aza indirilmiş olacaktır [19], [20].

Bu çalışmada düşürücü tip DC-DC dönüştürücünün optimize edilmiş PID kontrolü simülasyonu Matlab-Simulink programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan simülasyon programı kullanılarak toplamda 41 adet deney gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar yorumlanarak çıkış gerilimi ve bobin akımı grafikleri paylaşılmıştır. Deneylerde bobin, direnç, kondansatör, tetikleyici frekansı (PWM), mikroişlemci hızı, solver tipi ve solver metodu değiştirilerek her bir değişimin genel devre üzerindeki değişikliği incelenerek uygulamacıların bilgisine sunulmuştur. Yapılan bu çalışma sayesinde uygulamacılar gerekli olduğu durumlarda kendi devrelerinin tasarımını yapabileceklerdir. Olası grafikleri elde edebilecekleri için fiziki uygulamada kullanacakları devre elemanlarının seçimlerini daha doğru yapabileceklerdir.

Bu çalışma toplam dört ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde DC-DC dönüştürücü topolojisine ait genel bilgi verilmiş, özellikle düşürücü tip dönüştürücü topolojisinin denklemleri ve çalışma prensibi hakkında detaylı verilmiştir. İkinci bölümde düşürücü tip DC-DC dönüştürücüye ait simülasyon uygulaması ve tanıtımına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde geliştirilen simülasyon devresi ile gerçekleştirilen deneyler neticesinde uygulamacıların kullanabileceği iki baz devre elde edilmiştir. Dördüncü bölümde ise genel sonuçlara yer verilmiştir.

2. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

DC-DC dönüştürücüler genel manada bir DC gerilimi yine bir DC gerilime dönüştüren elektronik sistemlerdir [1], [5]. DC-DC dönüştürücüye ait kontrollü tip temel blok şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1. DC-DC dönüştürücüye ait kontrollü tip temel blok şeması.

Şekil 2.1’ deki blok şema incelendiğinde, V_g giriş gerilimi ve V_{χ} ise çıkış gerilimidir.

DC-DC dönüştürücülerin günümüz endüstrisinde kullanım alanları bir hayli kalabalıktır. Özellikle gelişen elektronik sistemler sayesinde bu dönüştürücülerin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle telekomünikasyon, savunma sanayisi, otomasyon endüstrisi (DC motorlar), insansız hava araçları ve elektrikli araçlar başta olmak üzere bu dönüştürücülerin başlıca kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [4], [22].

1. Telekomünikasyon.
2. Savunma sanayisi.
3. DC motor kontrolü.
4. Güç faktörünün düzeltilmesi.
5. DC kaynak makinaları.
6. İnverterler.
7. Şarj cihazları.
8. Kesintisiz güç kaynakları (UPS).

9. Anahtarlama güç kaynakları.
10. Elektrikli araçlar.
11. Televizyon ve multimedya cihazları.
12. Tablet ve bilgisayarlar.
13. Elektronik kartlar.

Yukarıda bir kısmını sıraladığımız kullanım alanlarının istisnasız hepsinde çıkışları kararlı DC-DC dönüştürücülere ihtiyaç duyulmaktadır.

DC-DC dönüştürücülerin temel özelliklerini ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [4], [22].

1. Lineer kontrollüdür.
2. Sabit / ayarlı, izoleli / izolesiz DC gerilim üretir.
3. Yüksek frekansta çalışırlar.
4. PWM kontrolü ile kontrol edilir. Çıkış gerilimleri ortalama olarak kontrol edilir.
5. Regüle için yüksek hızda tepkime verebilir.
6. Kararlı çıkışları vardır.
7. Zorlamalı komütasyonludur.
8. DC çıkış geriliminde dalgalanma oluşur (Kontrol tekniğine bağlı olmak şartı ile).

2.1. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN SINIFLANDIRILMASI

DC-DC dönüştürücüleri genel anlamda izoleli ve izolesiz olmak üzere iki ana grupta incelemek daha doğru olacaktır [4], [5], [3] ve [1].

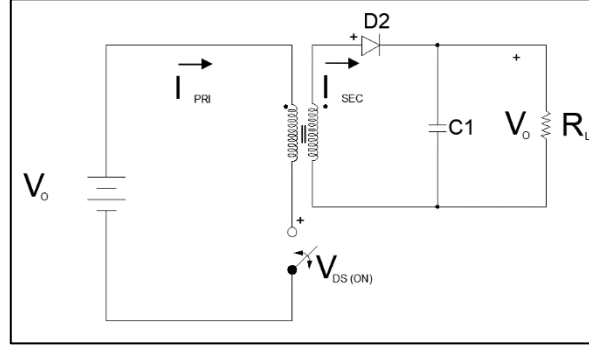
2.1.1. İzoleli DC-DC Dönüştürücüler

Transformatörlü dönüştürücüler olarak da bilinirler. Bu dönüştürücülerin giriş ve çıkışları arasında izolasyon vardır. Çıkışlarını çok sayıda yapmak mümkündür. Enerji aktarım prensibine göre çalışırlar [1].

2.1.1.1. Geri Dönüşlü (Fly Back) Dönüştürücüler

Geri dönüşlü dönüştürücüler kaynağı çıkışında yüksek gerilim edebilirler. Belirli bir güce kadar tasarlandığında ekonomiktir, bu sebepten çokça tercih edilmektedir. Dolayısı ile

yaygın olarak kullanılan bir anahtarlama güç kaynağı türüdür [22].



Şekil 2.2. Geri dönüşlü dönüştürücünün genel devre şeması.

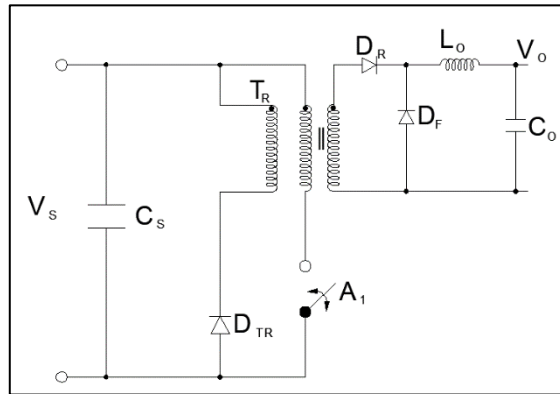
2.1.1.2. İleri Yönlü (Forward) Dönüştürücüler

Geri dönüşlü dönüştürücünün zıttı bir çalışma prensibine sahiptir. Sistem iletimde iken (MOSFET sürüldüğünde.) girişindeki elektrik enerjisini çıkışına aktaran anahtarlama bir güç kaynağı modelidir [1], [23].

İleri yönlü dönüştürücüler genel olarak beş adet elemandan oluşur.

1. Transformatör.
2. Anahtarlama elemanı (Genellikle MOSFET tercih edilir.).
3. Diyot.
4. Kondansatör.
5. Bobin

İleri yönlü dönüştürücüye ait genel devre şeması Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. İleri yönlü dönüştürücünün genel devre şeması.

İleri yönlü dönüştürücünün avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [24], [25].

1. Düşük akımlı çıkış diyotu kullanılabilir.
2. Devre yapısı ve uygulaması basittir.
3. Girişte bulunan kondansatördeki akım dalgalanması azdır.

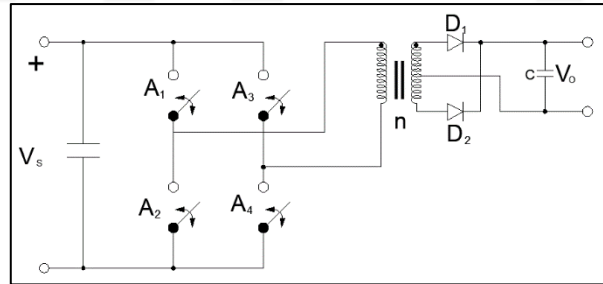
İleri yönlü dönüştürücünün dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [24].

1. Büyük transformatör ihtiyacı vardır (Diğer sistemlere göre).
2. Yüksek gerilimli anahtarlama elemanı (MOSFET) ihtiyacı vardır.
3. İletim kayıpları fazladır.
4. Transformatör çekirdeğinde mıknatıslanma oluşabilir [26].

2.1.1.3. Tam Köprü (Full Bridge) Dönüştürücüler

Bu dönüştürücüde DC giriş 4 adet yüksek frekanslı anahtarlama elemanı (MOSFET) tarafından AC ilk çıkışa çevrilir [23]. İlk çıkışta transformatör yardımı ile elde edilen yüksek frekanslı AC gerilim devamındaki devre ile DC gerilime çevrilir [27], [3].

Tam köprü dönüştürücüye ait genel devre şeması Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Tam köprü dönüştürücünün genel devre şeması.

Devrenin çıkış denklemi aşağıdaki gibidir;

$$V_{\text{ç}} = V_g \times 2n \times \frac{t_{on}}{T} \quad (2.1)$$

Tam köprü dönüştürücünün avantajları aşağıdaki gibidir;

1. Giriş ve çıkış arası galvanik izolasyonlu yapısı vardır.
2. Dönüştürme oranları isteğe göre ayarlanabilir.
3. Girişlerine yüksek gerilim uygulanabilir.

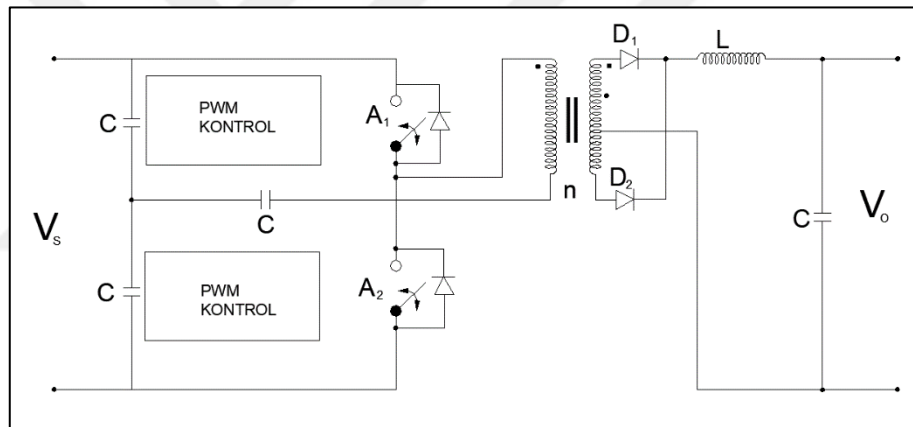
Tam köprü dönüştürücünün dezavantajları aşağıdaki gibidir;

1. Transformatörü daha büyüktür (Tek uçlu dönüştürücüye göre.).
2. Daha fazla kayıp söz konusudur.
3. Aynı özelliğe sahip en az 4 MOSFET ve 2 diyot kullanılması şarttır ve bunların çalışma frekansları uyumlu olmalıdır.

2.1.1.4. Yarım Köprü (Half Bridge) Dönüştürücüler

Yarım köprü dönüştürücü izoleli bir DC-DC dönüştürücüdür. Bu dönüştürücüler geri dönüşlü ve ileri yönlü dönüştürücüler gibi giriş geriliminden daha yüksek ya da daha düşük bir çıkış gerilimi sağlarlar [27]. Genellikle çıkış güçleri 500 W'a kadar olan batarya şarj uygulamalarında tercih edilebilirler [3].

Yarım köprü dönüştürücüye ait genel devre şeması Şekil 2.5'de verilmiştir.

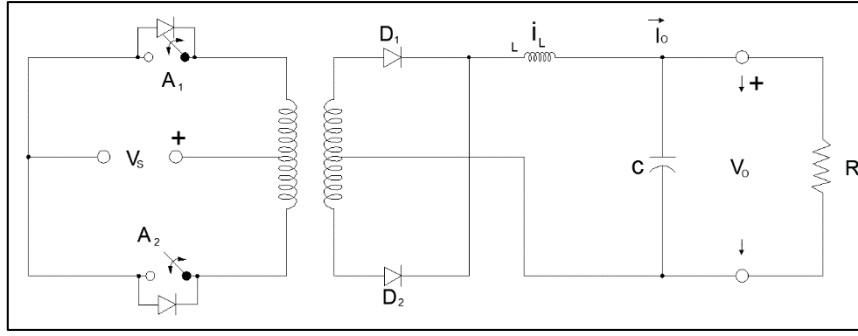


Şekil 2.5. Yarım köprü dönüştürücünün genel devre şeması.

2.1.1.5. Push-Pull Dönüştürücüler

Push-Pull dönüştürücü izoleli bir DC-DC dönüştürücüdür[28]. Genellikle yüksek güçlü dönüştürücülerde tercih edilirler. Anahtarlama elemanları sırası ile açılıp kapanarak çalışmaktadır. Anahtarlama yönteminden dolayı transformatör çıkışındaki elektronik elemanlar anahtarlama frekansının iki katı frekansta çalışmış olurlar.

Push-Pull dönüştürücüye ait genel devre şeması Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Push-Pull dönüştürücünün genel devre şeması.

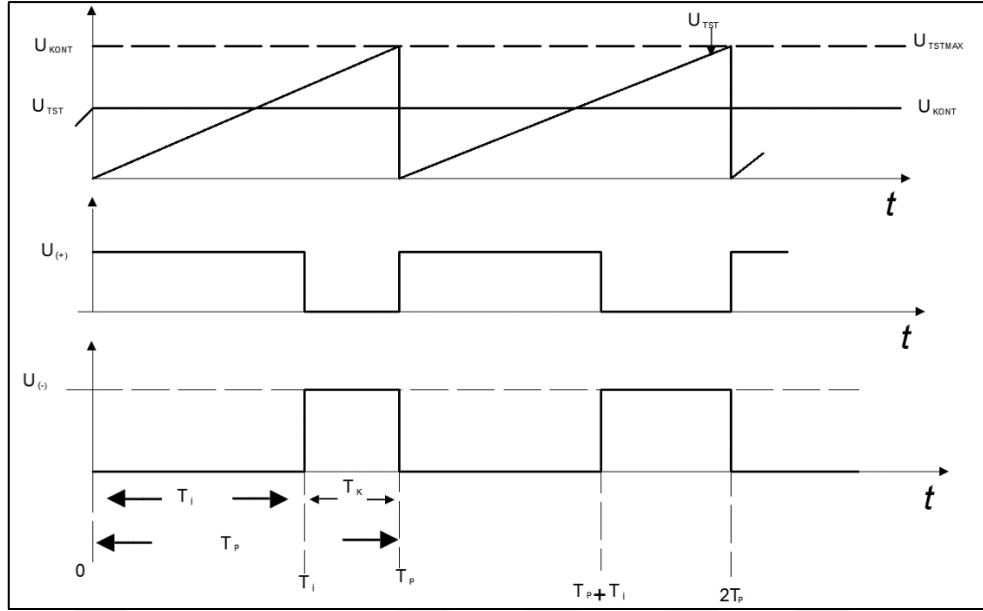
2.1.2. İzolasyonsuz DC-DC Dönüştürücüler

İzolasyonsuz (bobinli) dönüştürücüler, genel manada aktif ve pasif devre elemanlarının farklı kombinasyonlarda bir elektronik devrede birleştirmesi ile elde edilir. Bu topolojinin çalışma prensibini genel olarak bobinin enerji aktarım prensibine dayandırabiliriz. Genel olarak üç adet izolasyonsuz dönüştürücü yöntemi vardır [8]. Bu yöntemleri sırası ile alt başlıklarda genel olarak ele alacağız. Çalışma prensibi olarak iki aralıkları vardır. Birinci aralıkta DC kaynaktan uygulanan enerji ikinci aralıkta çıkış olarak verilir [1], [3].

İzolasyonsuz DC-DC dönüştürücülerde anahtarlama için genellikle MOSFET ya da IGBT tercih edilmektedir. Dolayısı ile çalışma frekansları bir hayli yüksektir (Şebeke frekansına kıyas ile.). Bu topolojide akım tek yönlüdür ve ana akım bobin tarafından taşınır. Oluşan mıknatıslanma akımından ötürü doyumun önlenmesi için hava aralıklı bobinlerin tercih edilmesi daha doğru olacaktır. Bu topoloji genellikle sürekli akım modunda (CCM) çalışır [5].

İzolasyonsuz dönüştürücülerde adım adım devre analizi yaptığımızda, ilk evrede aktif devre elemanlarının ikinci evrede ise pasif devre elemanlarının iletimde olduğu görülmüştür. Devreye KVL uygulandığında bobin akımının aktif ve pasif devre elemanlarının akımının toplamına eşit olduğu görülmektedir. Bu topolojide kontrol kolaylığından ötürü genellikle PWM devreleri ile kontrol edilmektedir.

İzolasyonsuz DC-DC dönüştürücüye ait PWM ile gerçekleştirilen genel kontrol yöntemi dalga şekilleri Şekil 2.7’de verilmiştir [5].



Şekil 2.7. İzolasyonsuz DC-DC dönüştürücüye ait PWM ile gerçekleştirilen genel kontrol yöntemi dalga şekilleri.

Şekil 2.7'yi incelendiğinde izolasyonsuz DC-DC dönüştürücü topolojisine ait aşağıdaki denklemleri elde ederiz.

$$\lambda = \frac{T_d}{T_p} = \frac{V_{Kont}}{V_{td \max}} \quad (2.2)$$

$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (2.3)$$

$$T_p = T_d + T_b \quad (2.4)$$

$$T_d = \lambda T_p \quad (2.5)$$

$$T_b = (1 - \lambda) T_p \quad (2.6)$$

$$I_L = I_T + I_D \quad (2.7)$$

$$I_T = \lambda I_L \quad (2.8)$$

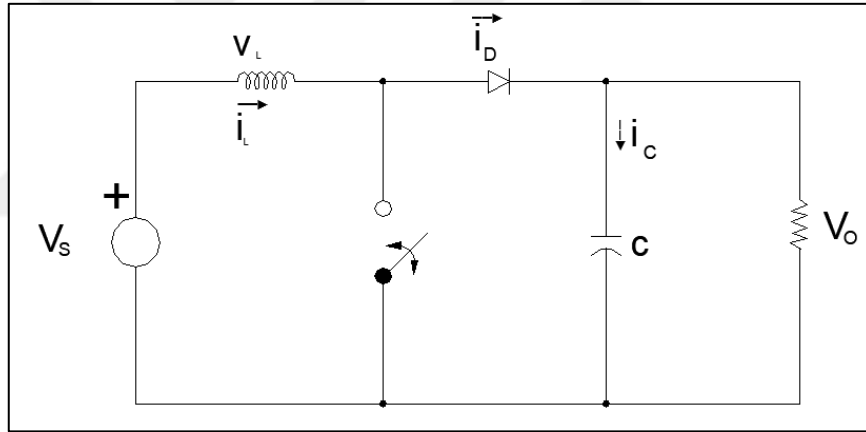
$$I_D = (1 - \lambda) I_L \quad (2.9)$$

2.1.2.1. Yükseltici (Boost) Dönüştürücüler

Yükseltici dönüştürücüler prensip olarak girişlerine uygulanan DC gerilimden daha

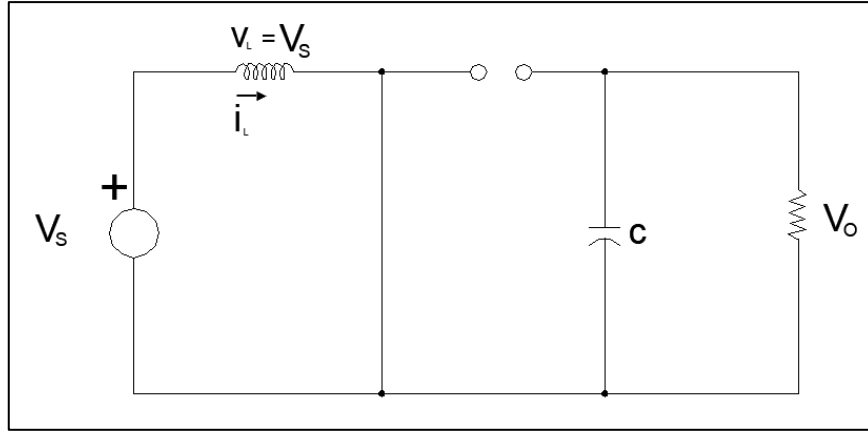
yüksek bir değere sahip DC bir gerilim üreten elektronik devrelerdir [5]. Yükseltici tip DC-DC dönüştürücüye ait genel devre şeması Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Genel devre şemasından da anlaşılacağı üzere bu dönüştürücü 4 elemandan oluşmaktadır [4]. Bu elemanlar sırası ile anahtarlama için kullanılan yarıiletken (PowerMOSFET/IGBT), yarı iletken frekansına uyumlu diyot, bobin ve kondansatördür [29], [1].

Şekil 2.8’de belirtilen devre analiz edildiğinde, devrenin kontrolünün anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olması ile sağlandığı görülmektedir. Yarıiletken iletimde olduğunda bobin üzerinden geçen akım artar ve enerji depolanır. Yarıiletken kesimde olduğu modda ise bobin üzerinden geçmekte olan akım diyot üzerinden kondansatöre akar ve bobin üzerinde depolanan akım deşarj olur. Bu anda polarite yönü DC kaynak ile aynı olur. Sonuç olarak çıkış gerilimi yükseltilmiş olur. Burada pasif devre elemanlarının zaman sabiti anahtarlama periyodundan çok büyük olur ve çıkış gerilimi mümkün olan en yüksek düzeyde sabit kalır [30].



Şekil 2.8. Yükseltici dönüştürücü genel devre şeması.

Yarıiletken anahtarlama elemanın iletim durumunu gösteren devre Şekil 2.9’da verilmiştir. Sistem ilk modda yani yarıiletken iletimde iken devre çıkışındaki yük DC giriş kaynağından beslenmekte olduğu görülür.



Şekil 2.9. Yükseltici dönüştürücüde yarı iletkenin iletimde olduğu devre şeması.

Devreye KVL uyguladığımızda,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.10)$$

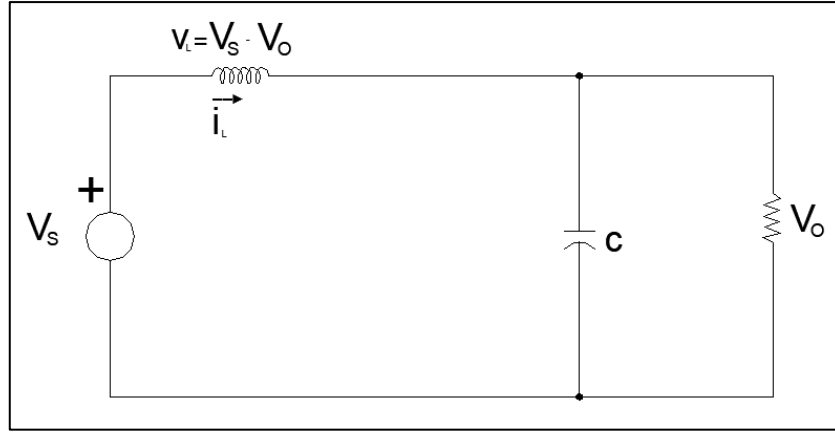
Yarıiletken bir periyot boyunca (DT) iletimde kalır. Bu aralığı Δi_L (iletim) olarak ifade edersek;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_t}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.11)$$

Yarıiletkenin iletim durumunda Δi_L için denklemini çözersek;

$$\Delta i_L \text{ (iletim)} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.12)$$

Yarıiletken anahtarlama elemanın kesimde (iletimde olmadığı) durumunu gösteren devre Şekil 2.10'da verilmiştir. Sistem ikinci modda yani yarıiletken kesimde iken bobin gerilimi aşağıdaki gibi ifade edilir.



Şekil 2.10. Yükseltici dönüştürücüde yarı iletkenin kesimde olduğu devre şeması.

Yarıiletken anahtar kesimde olduğunda, bobin akımı aniden şarj olamaz dolayısı ile diyot üzerinden ileri taraflı (forward-biased) olarak akım akar. Devreye KVL uyguladığımızda,

$$V_L = V_s - V_o ; V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.13)$$

Yarıiletken anahtar kesim modunda olduğunda bir periyot boyunca aralık $(1-D)T$ olacaktır. Dolayısı ile bobin üzerinden geçen akım aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_t}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.14)$$

Yarıiletkenin kesim durumunda Δi_L için denklemi çözersek,

$$\Delta i_L (kesim) = \frac{(V_s - V_o) (1-D)T}{L} \quad (2.15)$$

Denge durumunda (steady-state) durumunda (2.12) ve (2.15) denklemlerine göre bobin akımı sıfır olmak zorundadır.

$$\Delta i_L (iletim) + \Delta i_L (kesim) = 0 \quad (2.16)$$

Bu denklemleri V_o 'a göre çözümlediğimizde;

$$V_S (D + 1 - D) - V_o (1 - D) = 0 \quad (2.17)$$

$$V_o = \frac{V_S}{1 - D} \quad (2.18)$$

Periyodik operasyonlarda bobin ortalama gerilimi sıfır olmak zorundadır. O halde;

$$V_L = (V_S D + (V_S - V_o) (1 - D)) = 0 \quad (2.19)$$

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = V_o I_o \quad (2.20)$$

DC kaynak tarafından sağlanan güç, yük tarafından alınan güç ile aynı olmak zorundadır (Devre elemanlarını ideal olarak kabul ettiğimiz zaman.).

$$V_o I_o = \frac{V_o^2}{R} = \frac{[V_S / (1 - D)]^2}{R} = \frac{V_S^2}{(1 - D)^2} R \quad (2.21)$$

bobin ortalama akımına göre çözümleme yaptığımızda;

$$I_L = \frac{V_S}{(1 - D)^2 R} = \frac{V_o^2}{V_S R} = \frac{V_o I_o}{V_S} \quad (2.22)$$

bobinin minimum ve maksimum akımlarını denklem (2.12)'ye göre hesaplayabiliriz.

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S}{(1 - D)^2 R} + \frac{V_S D T}{2L} \quad (2.23)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S}{(1 - D)^2 R} - \frac{V_S D T}{2L} \quad (2.24)$$

Bobin minimum akımı her zaman pozitif olmalıdır.

$$\frac{V_S}{(1 - D)^2 R} = \frac{V_S D T}{2L} = \frac{V_S D}{2Lf} \quad (2.25)$$

$$L_{min} = \frac{D(1 - D)^2 R}{2f} \quad (2.26)$$

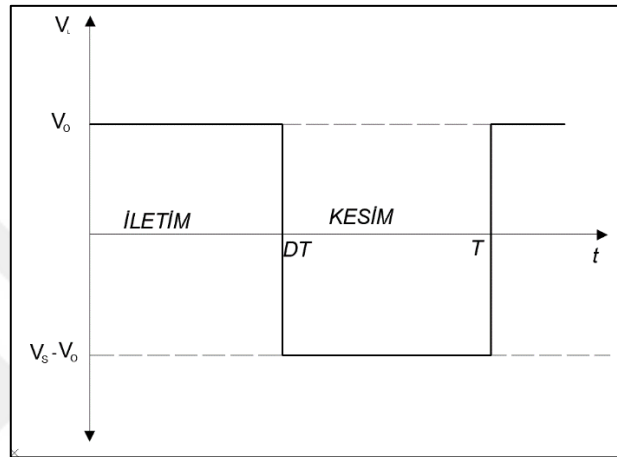
Yükseltici dönüştürücüler tasarlanırken L_{min} 'dan daha büyük tasarlanmalıdır. O halde

tasarımlar için L değeri;

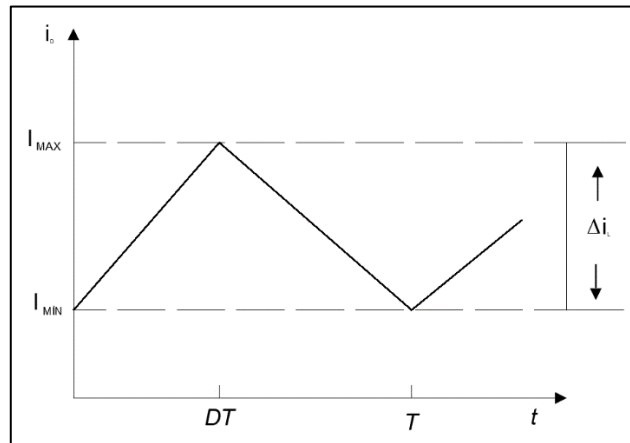
$$L = \frac{V_S DT}{\Delta i_L} = \frac{V_S D}{\Delta i_L f} \quad (2.27)$$

Denklemini kullanmak daha doğru olacaktır.

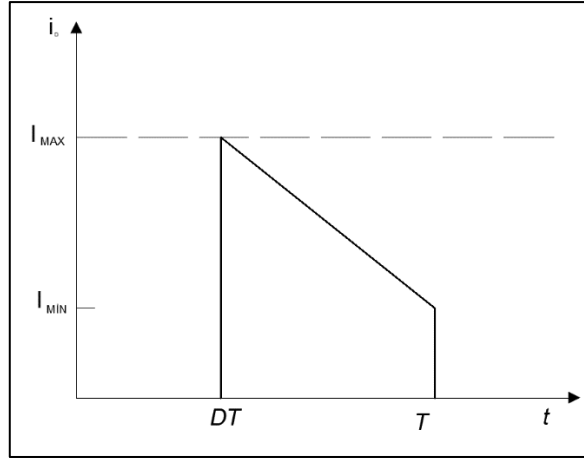
Yükseltici dönüştürücü için genel dalga formları Şekil 2.11, Şekil 2.12, Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'te verilmiştir.



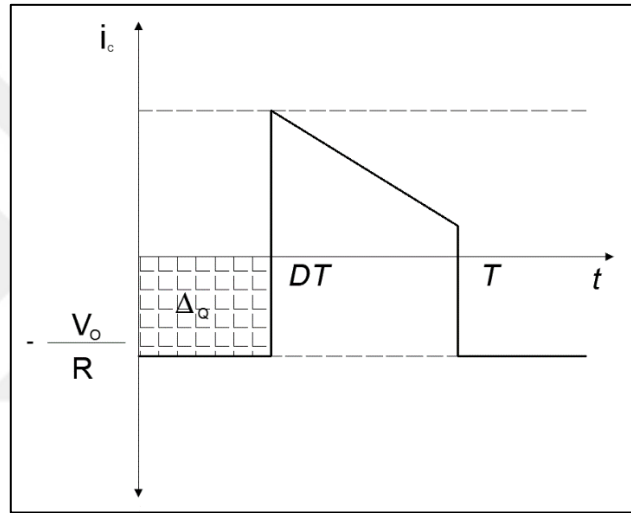
Şekil 2.11. Yükseltici dönüştürücüye ait bobin gerilimi genel dalga şekli.



Şekil 2.12. Yükseltici dönüştürücüye ait bobin akımı genel dalga şekli.



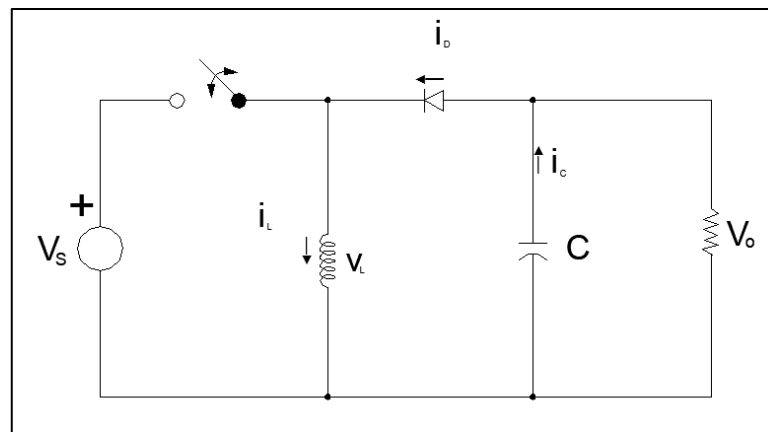
Şekil 2.13. Yükseltici dönüştürücüye ait diyot akımı genel dalga şekli.



Şekil 2.14. Yükseltici dönüştürücüye ait kondansatör akımı genel dalga şekli.

2.1.2.2. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) Dönüştürücüler

Düşürücü-Yükselticiye ait genel devre şeması Şekil 2.15’de verilmiştir.

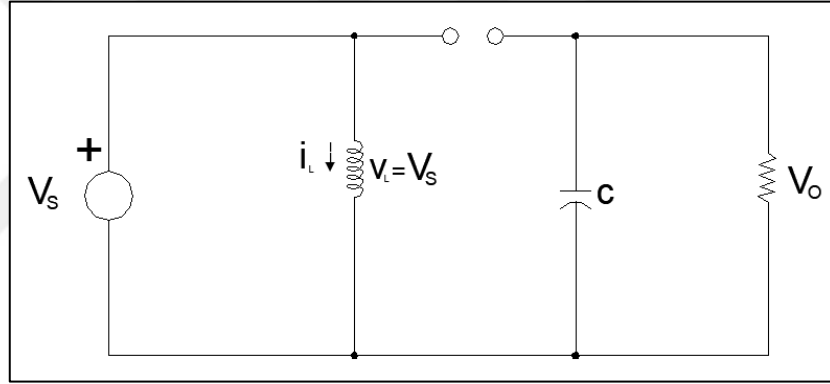


Şekil 2.15. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücüye ait genel devre şeması.

Bu dönüştürücülerin çıkışları girişlerinden büyük ya da küçük olabilir [31]. Bu devrenin çalışması prensibi de daha önce bahsettiğimiz düşürücü ve yükseltici dönüştürücülerde olduğu gibi iki evrelidir [4], [5]. Birinci evre yarıiletken anahtarın iletimde olduğu, ikinci evre ise yarı iletken anahtarın kesimde olduğu evredir.

Devreyi analiz etmek için; elemanların ideal olduğunu, devrenin sürekli durumda çalıştığını, bobin akımının sürekli olduğunu, kondansatörün sabit çıkış verebilecek kadar büyük olduğunu, yarıiletken anahtarın iletimde olduğunda zamanın DT ve yarıiletken anahtarın kesimde olduğunda ise zamanın $(1-D)T$ olduğunu kabul edersek aşağıdaki analizleri yapabiliriz [5].

Yarıiletken anahtarlama elemanın iletim durumunu gösteren devre Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüde yarıiletkenin iletimde olduğu devre şeması.

Devreyi analiz ettiğimizde bobin voltajı;

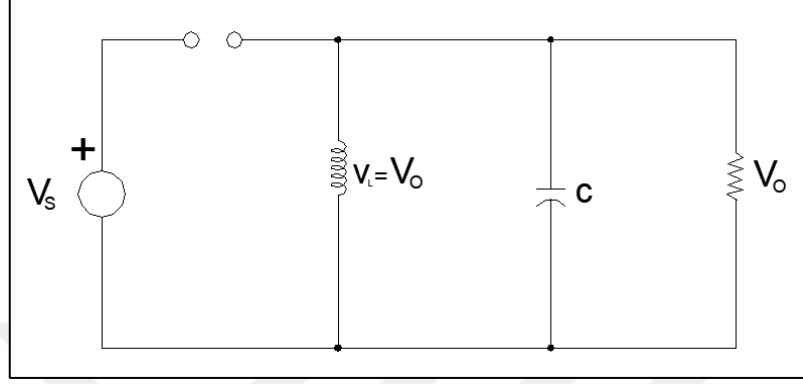
$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.28)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.29)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.30)$$

$$\Delta i_L(\text{iletim}) = \frac{V_S D T}{L} \quad (2.31)$$

Yarıiletken anahtarlama elemanın kesim durumunu gösteren devre Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüde yarıiletkenin kesimde olduğu devre şeması.

Devreyi analiz ettiğimizde;

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

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_o}{L} \quad (2.33)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_o}{L} \quad (2.34)$$

$$\Delta i_L(\text{kesim}) = \frac{V_o(1-D)T}{L} \quad (2.35)$$

Denge durumunda bobin akımı sıfır olmak durumundadır. O halde;

$$\Delta i_L(\text{kesim}) + \Delta i_L(\text{iletim}) = 0 \quad (2.36)$$

$$\frac{V_S(1-D)T}{L} + \frac{V_S D T}{L} = 0 \quad (2.37)$$

$$V_o = -V_S \left(\frac{D}{1-D} \right) \quad (2.38)$$

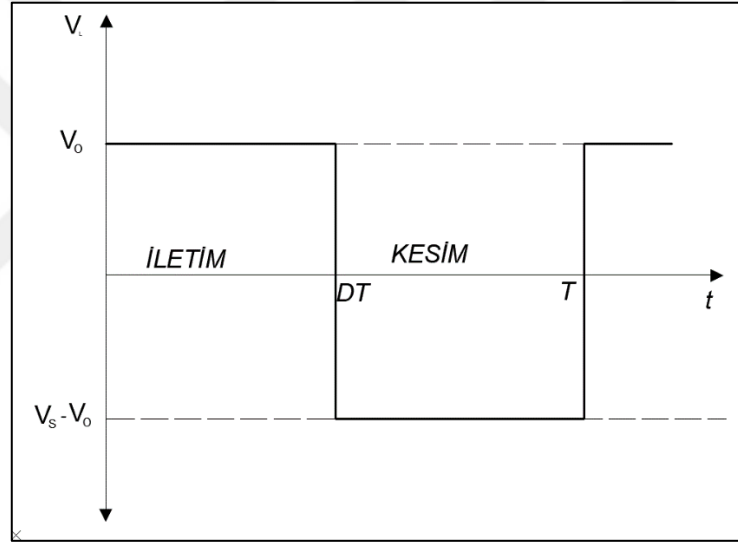
$$D = \frac{|V_o|}{V_s + |V_o|} \quad (2.39)$$

Periyodik operasyonlarda ortalama bobin gerilimi sıfır olmalıdır.

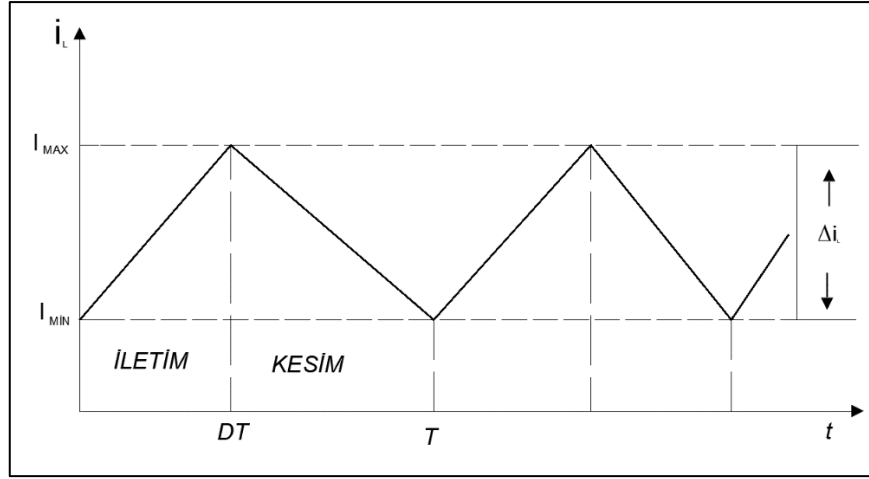
$$V_L = V_s D + V_o(1 - D) = 0 \quad (2.40)$$

Sonuç olarak, $D > 0,5$ durumunda çıkış gerilimi girişten büyük olur. Topoloji yükseltici dönüştürücü olarak işlem yapar. $D < 0,5$ durumunda ise çıkış gerilimi girişten küçük olur. Bu durumda ise devre düşürücü dönüştürücü olarak görev yapar

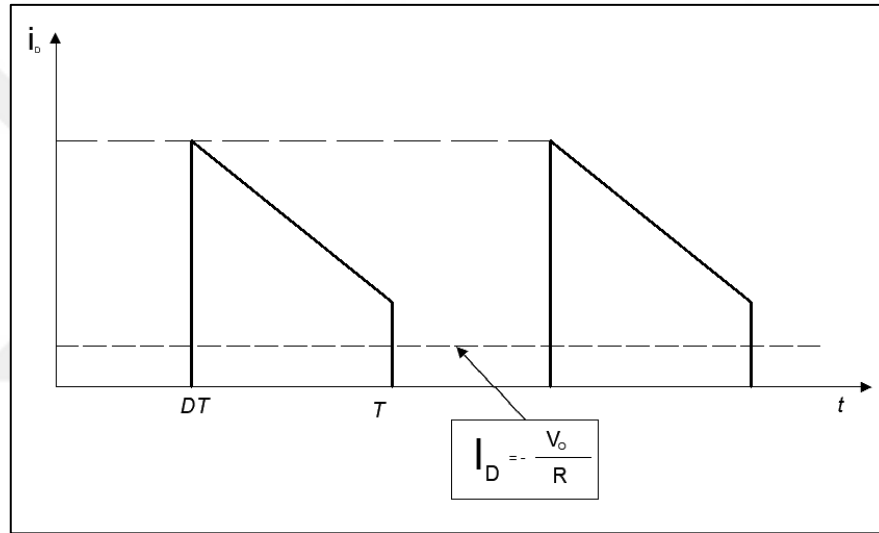
Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü için genel dalga formları Şekil 2.18, Şekil 2.19, Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir.



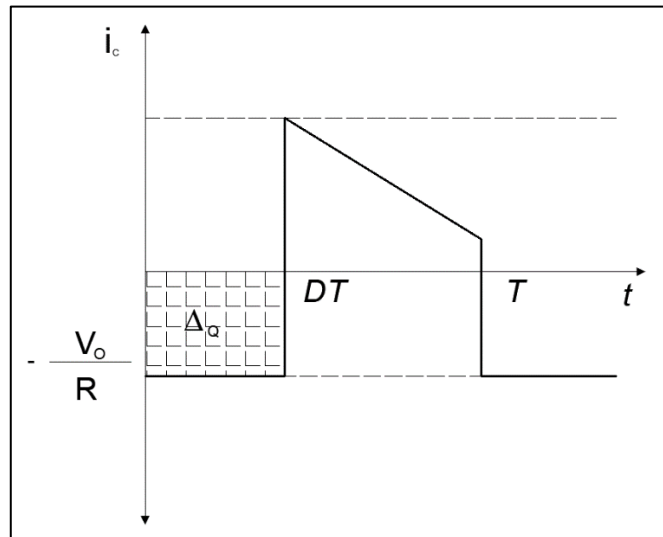
Şekil 2.18. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait bobin gerilimi genel dalga şekli.



Şekil 2.19. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait bobin akımı genel dalga şekli.



Şekil 2.20. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait diyot akımı genel dalga şekli.



Şekil 2.21. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüye ait kondansatör akımı genel dalga şekli.

2.1.2.3. Düşürücü (Buck) Dönüştürücüler

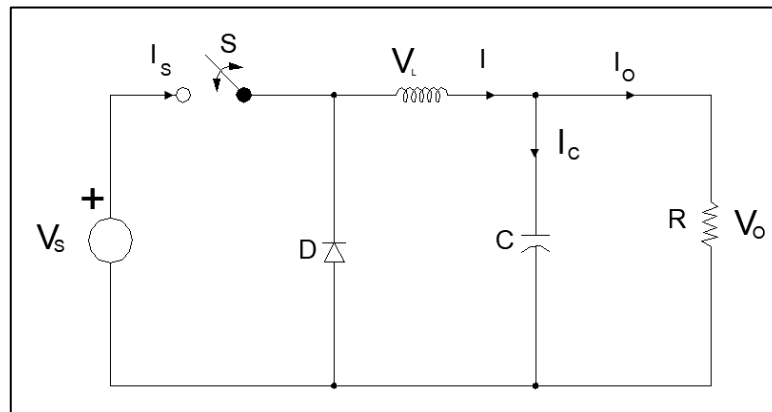
Düşürücü tip DC-DC dönüştürücüler bobinli olurlar ve genellikle izolesiz yapıda üretilirler [1], [18]. Bu dönüştürücüler temelde bir aktif ve bir pasif devre elemanının çalışma devreye bağlanması ile elde edilirler [32]. Çalışma prensipleri bobinin akımı aktarma prensibine dayalıdır [1], [33]. Çalışma frekansları yüksektir Şekil 2.22'deki devre şeması analiz edildiğinde düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerin iki modda çalıştığı görülmektedir [5], [32].

Düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerin giriş gerilimi ya da yük değeri değişse de çıkış değerlerinin sabit olması gerekmektedir[4], [5] ve [10].

Bu güç kaynakları genellikle CCM modunda çalıştırılırlar. Bunun nedeni ise mosfet ve diyot arasında periyodik akım aktarımı vardır, bu aktarım sırasında anahtarlamalardan kaynaklanan kayıplar artar. Sistem CCM'de çalıştığında güç aktarımı mükemmel yakın olduğu için bu kayıpların en aza indirilmiş olacaktır.

Düşürücü tip DC-DC dönüştürücüler prensip olarak girişlerine uygulanan DC gerilimden daha düşük bir değere sahip DC bir gerilim üreten elektronik devrelerdir[4], [5] ve [32]. Düşürücü tip DC-DC dönüştürücüye ait genel devre şeması Şekil 2.22'de gösterilmiştir. Genel devre şemasından da anlaşılacağı üzere bu dönüştürücü 4 elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar sırası ile anahtarlama için kullanılan yarıiletken (PowerMOSFET/IGBT), yarı iletken frekansına uyumlu diyot, bobin ve kondansatördür [1].

Düşürücü-Yükselticiye ait genel devre şeması Şekil 2.22'de verilmiştir.

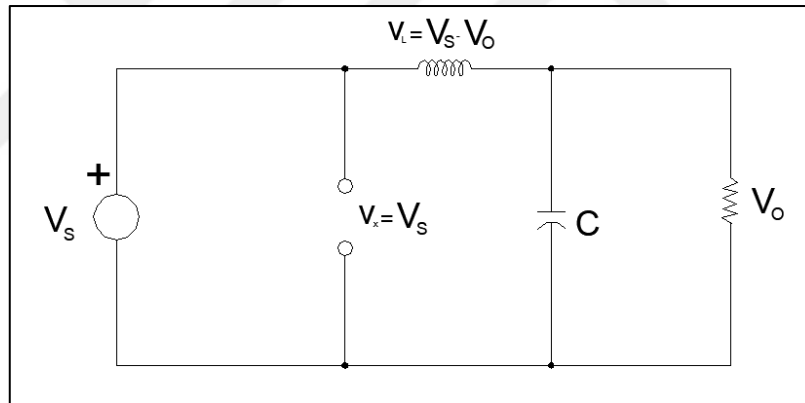


Şekil 2.22. Düşürücü dönüştürücüye ait genel devre şeması.

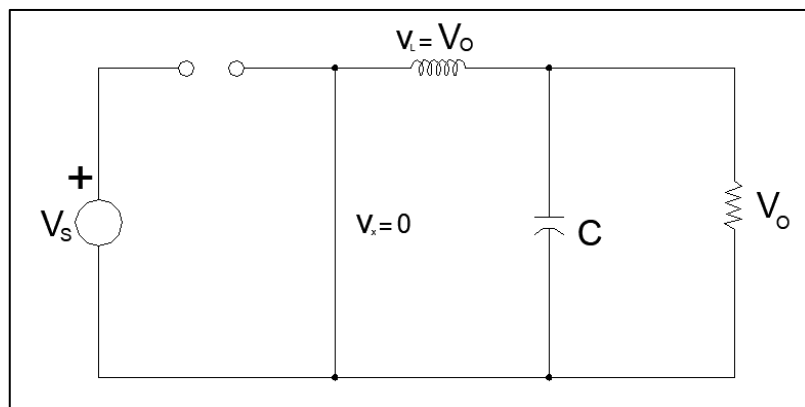
Giriş gerilimi (V_s), Şekil 2.22'deki ilk eleman olan ve PWM sinyali ile kararlı şekilde

kontrol edilebilen bir anahtarlama yarı iletkenine bağlanır. Bu yarı iletken için yüksek frekanslarda anahtar olarak son derece kararlı çalışan PowerMOSFET ya da IGBT seçmek daha doğru olacaktır. İkinci elemanımız (D) ise yüksek frekanslarda (Bu diyot seçilen PowerMOSFET ya da IGBT ile uyumlu olmalıdır.) anahtar gibi çalışan hızlı diyottur. Üçüncü elemanımız (L) bobin ve dördüncü elemanımız (C) ise bir kondansatördür. Burada üçüncü ve dördüncü devre elemanımız low-pass LC filtre olarak çalışır ve akım ve gerilim dalgalanmalarını düzenler [5], [3] ve [1].

Bu devremizde PowerMOSFET ya da IGBT için anahtarlama işlemini zaman bazlı darbe genişliği modülasyonu (PWM) ile gerçekleştireceğiz. Düşürücü tip DC-DC dönüştürücüyü zaman bazlı PWM devresi ile anahtarlama yaptığımızda iki farklı operasyon mod ile karşılaşırız. Bunlardan ilki PowerMOSFET ya da IGBTnin iletimde olduğu ve diyotun iletimde olmadığı durumdur; ikinci operasyon modu ise PowerMOSFET ya da IGBT nin iletimde olmadığı ve diyotun iletimde olduğu durumdur. Bu durumlar Şekil 2.23 ve Şekil 2.24’de gösterilmiştir [3].



Şekil 2.23. PowerMOSFET ya da IGBTnin iletimde, diyotun iletimde olmadığı operasyon modu.



Şekil 2.24. PowerMOSFET ya da IGBTnin iletimde olmadığı, diyotun iletimde olduğu operasyon modu.

Düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerin kalıcı durumunda (steady state) bobin akımları periyodik olduğu için aşağıdaki denklemleri yazabiliriz [5].

$$i_L(t) = i_L(t + T) \quad (2.41)$$

$$T = T_{yalıtım\ modu} + T_{iletim\ modu} \quad (2.42)$$

$$D = \frac{T_{iletim\ modu}}{T} \quad (2.43)$$

Yarı iletken anahtarlama Şekil 2.23’de olduğu gibi iletimde olduğunda sürekli modda (KVL),

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} \equiv \dot{X} = A_{iletim}X + B_{iletim}Y \quad (2.44)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_s - V_o \quad (2.45)$$

$$C \frac{dv_o}{dt} = i_L - \frac{v_o}{R} \quad (2.46)$$

Yarı iletken anahtarlama Şekil 2.24’de olduğu gibi kesimde olduğunda sürekli modda (KVL),

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} \equiv \dot{X} = A_{kesim}X + B_{kesim}Y \quad (2.47)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_o \quad (2.48)$$

$$C \frac{dv_o}{dt} = i_L - \frac{v_o}{R} \quad (2.49)$$

Sürekli modda;

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{i}}_L \\ \dot{\hat{v}}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_s}{L} \\ 0 \end{bmatrix} d \equiv \dot{x} = Ax + Fd \quad (2.50)$$

(2.50) numaralı denklemi Laplace Transform yöntemi ile çözersek;

$$\frac{x}{d} = \frac{\begin{bmatrix} \dot{\hat{i}}_L \\ \dot{\hat{v}}_o \end{bmatrix}}{d} = \frac{adj[sI-A]F}{det[sI-A]} = \frac{\begin{bmatrix} s+\frac{1}{RC} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_s}{s^2 + \frac{s}{RC} + \frac{1}{LC}} \quad (2.51)$$

Sonuç olarak aşağıdaki (akım ve gerilim) çıkış kontrol denklemleri elde edilir,

$$\frac{\dot{i}_L}{d} = \left(\frac{V_s}{L} \right) \left(\frac{s + \frac{1}{RC}}{s^2 + \frac{s}{RC} + \frac{1}{LC}} \right) \quad (2.52)$$

$$\frac{\dot{v}_o}{d} = \left(\frac{V_s}{LC} \right) \left(\frac{1}{s^2 + \frac{s}{RC} + \frac{1}{LC}} \right) \quad (2.53)$$

3. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜYE AİT SİMÜLASYON UYGULAMASI

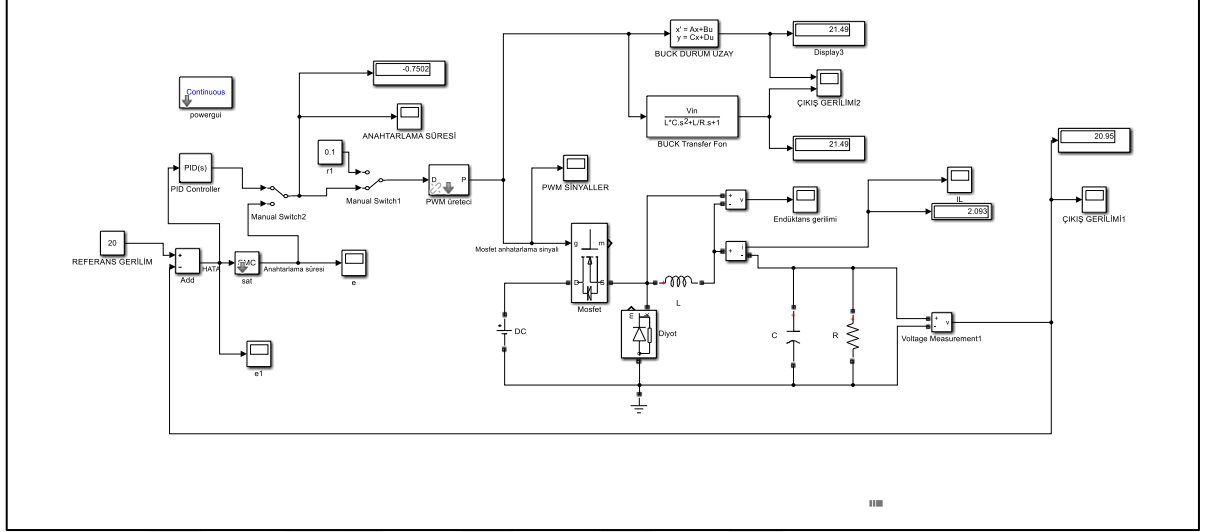
Düşürücü tip DC-DC dönüştürücü uygulamasında MATLAB-Simulink programı kullanılmıştır.

3.1. SİMÜLASYON SÜRECİNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL DENKLEM

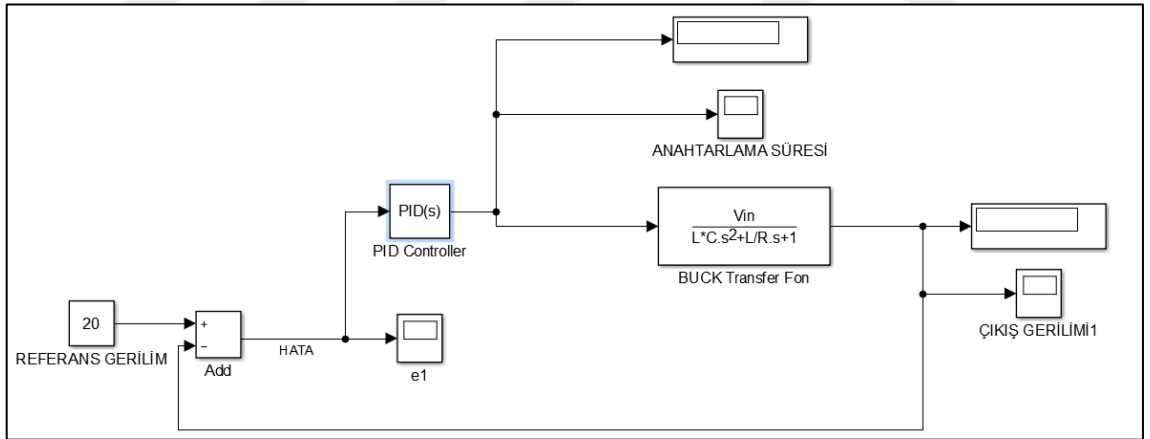
Bu topolojinin modellenmesinde tercih edilen transfer fonksiyonu düşürücü tip DC-DC dönüştürücülerin dinamik modelleme ve kontrolünde sürekli modda küçük sinyal modeli tercih edilmiştir. Uygulamada çıkış akım ve gerilimini kontrol etmek için (2.52) ve (2.53) numaralı denklemlerden faydalanılmıştır [5].

3.2. SİMÜLASYON SÜRECİNDE KULLANILAN DEVRE ŞEMASI

Uygulama simülasyonu için kullanılan MATLAB programı görseli Şekil 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Düşürücü tip DC-DC dönüştürücü MATLAB-Simulink uygulama devresi. PID katsayılarının ayarlanması için kullanılan Simulink modeli Şekil 3.2'de verilmiştir.



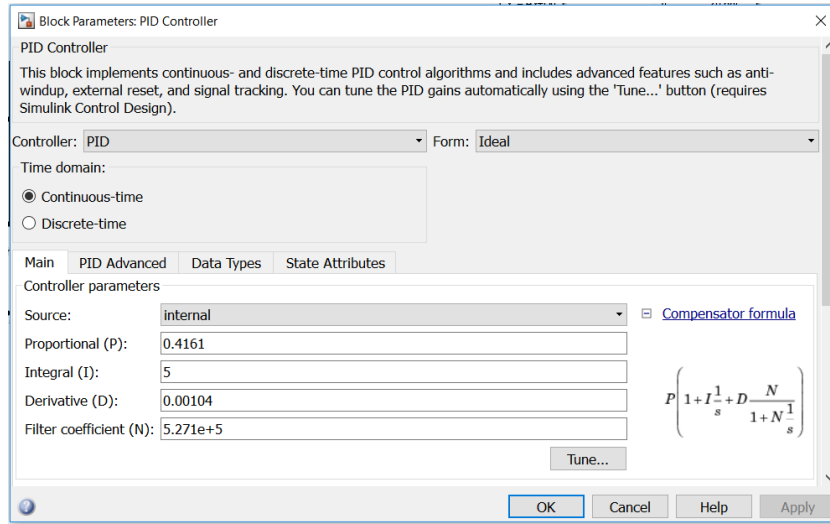
Şekil 3.2. PID katsayılarının ayarlanması için kullanılan Simulink modeli.

3.2.1. PID Katsayılarının Ayarlanması

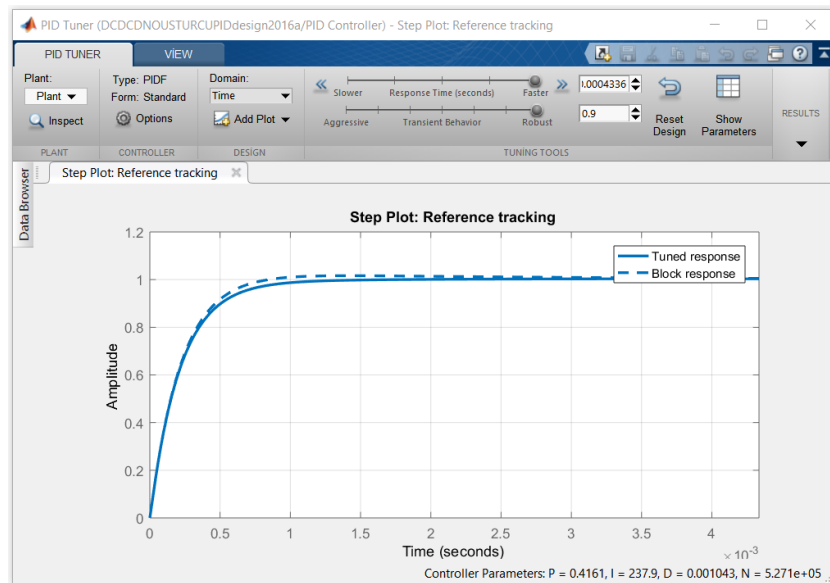
Şekil 3.1'de verilen MATLAB-Simulink uygulama devresinde analiz yapılması için PID katsayılarının ayarlanması gerekmektedir. Yapmış olduğum deneylerde ilk olarak ilgili katsayılar tahmini olarak yazılmıştır. Bu tahmin yapılırken literatür araştırmaları sürecinde incelenen uygulama örneklerinden ilham alınmıştır.

Sonrasında tasarımıma en uygun olan PID ve N katsayılarını elde etmek için MATLAB-

Simulink programından destek alınmıştır. Hassas katsayıları elde etmek için uygulamada yer alan PID Controller üzerine fare ile iki sefer sol click yapıldığında Block Parameters penceresi açılır. Block Parameters ekranı Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bu ekranda sağ alt tarafta bulunan Tune sekmesine tıklandığında PID Tuner ekranı açılır. PID Tuner ekranı Şekil 3.4’de verilmiştir. Bu ekranda üst kısımda bulunan imleçler yardımı ile istenilen grafik verisi yaklaşık olarak elde edilmiştir. Yaklaşık PID ve N değeri elde edildikten sonra değişkenlere göre gerçek PID ve N değerimiz elde ettiğimiz grafiklerin yorumlanması neticesinde manuel olarak yapılan değişiklikler ile elde edilmiştir.



Şekil 3.3. PID Controller block parametreleri ekranı.



Şekil 3.4. PID Tuner ekranı.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ANALİZİ

4.1. SİMÜLASYON İLE YAPILAN DENEYLER SÜRECİNDE ELDE EDİLEN SİNYALLER.

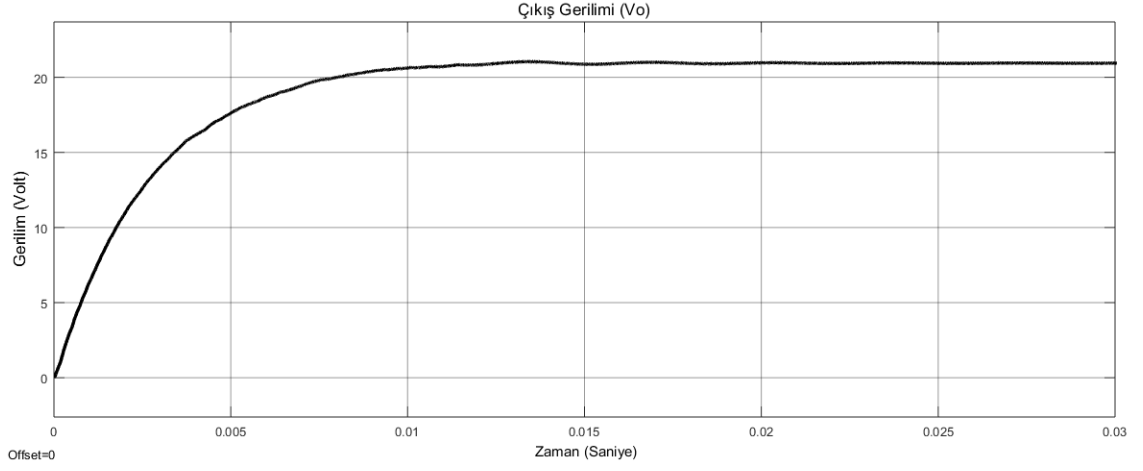
Yapmış olduğum araştırma süresinde toplamda 41 adet farklı deney yapılmıştır. 35. deneyde optimum sinyaller elde edilmiş ve daha sonrasında bu deneyde kullanılan değişkenler sabit tutularak uygulamada bulunan variable-step başlığı altındaki tüm solver çeşitleri de ayrıca tecrübe edilmiştir.

4.1.1. Deney 1 ve Elde Edilen Sonuçlar

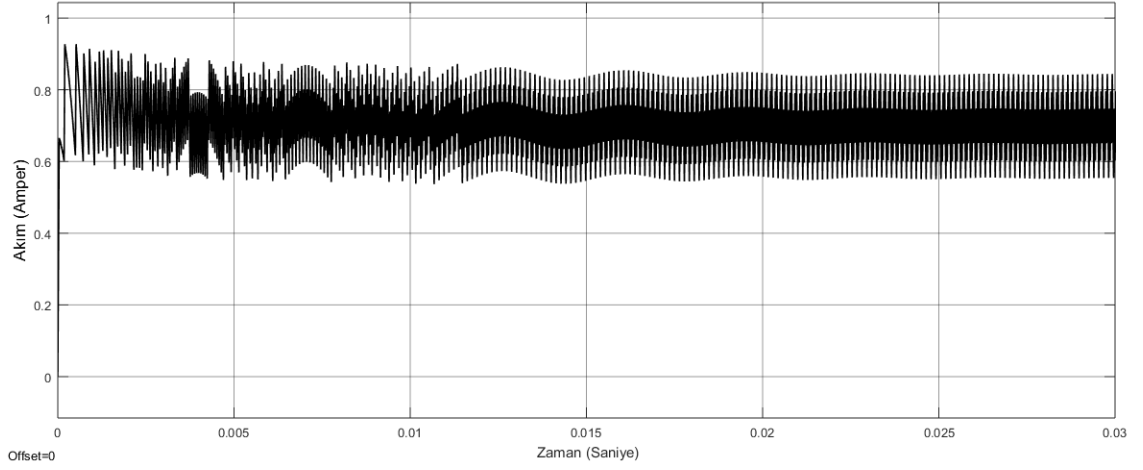
Deney 1 uygulaması ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1. Deney 1 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	V _{in}	50	Volt
	PWM Frekansı	500	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.1. Deney 1 çıkış gerilimi.



Şekil 4.2. Deney 1 bobin akımı.

4.1.2. Deney 2 ve Elde Edilen Sonuçlar

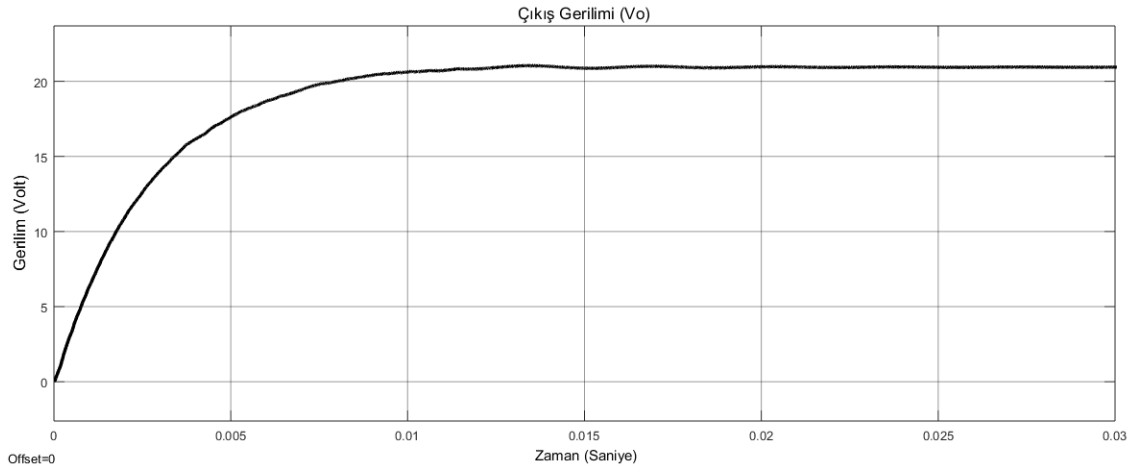
Deney 1 uygulaması sonrasında PWM frekansı 250 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.2. Deney 2 değişkenleri.

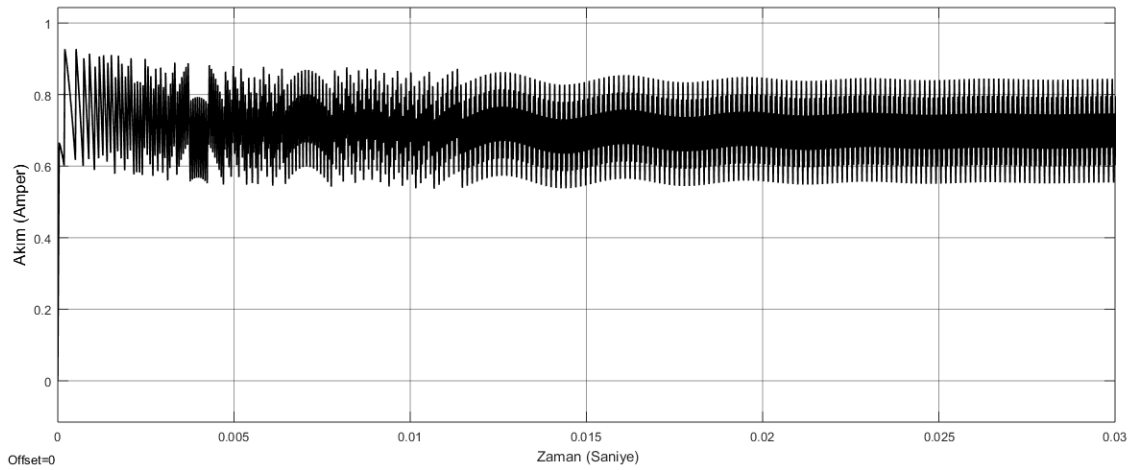
Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	250	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	

Çizelge 4.2. Deney 2 değişkenleri. (Devam.)

	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.3. Deney 2 çıkış gerilimi.



Şekil 4.4. Deney 2 bobin akımı.

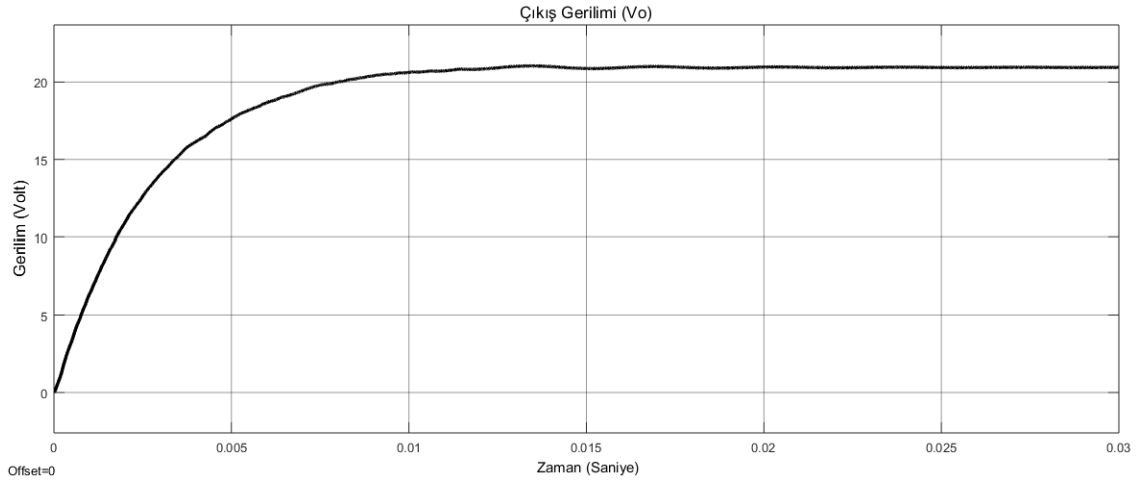
4.1.3. Deney 3 ve Elde Edilen Sonuçlar

Deney 2 uygulaması sonrasında PWM frekansı 100 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi

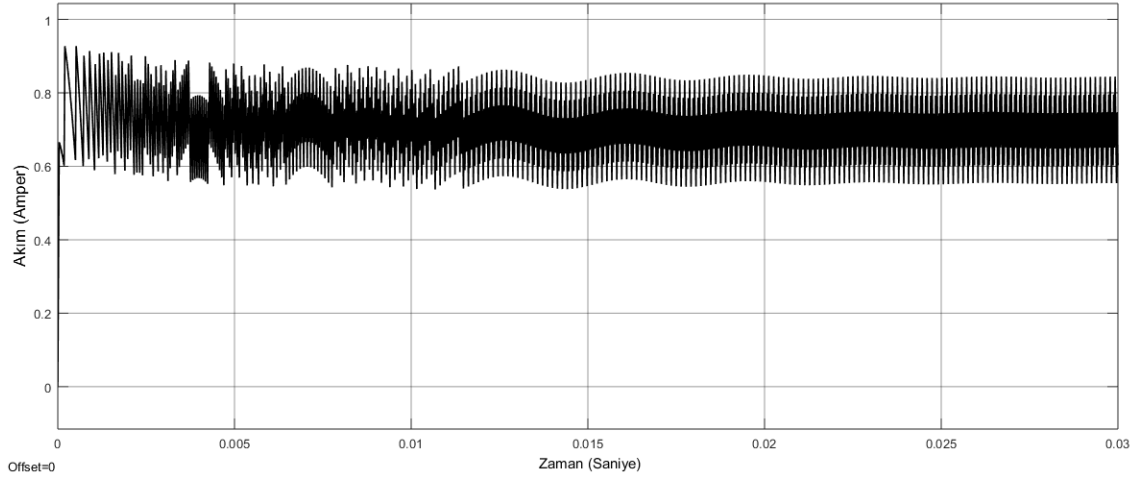
olmamıştır.

Çizelge 4.3. Deney 3 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	100	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.5. Deney 3 çıkış gerilimi.



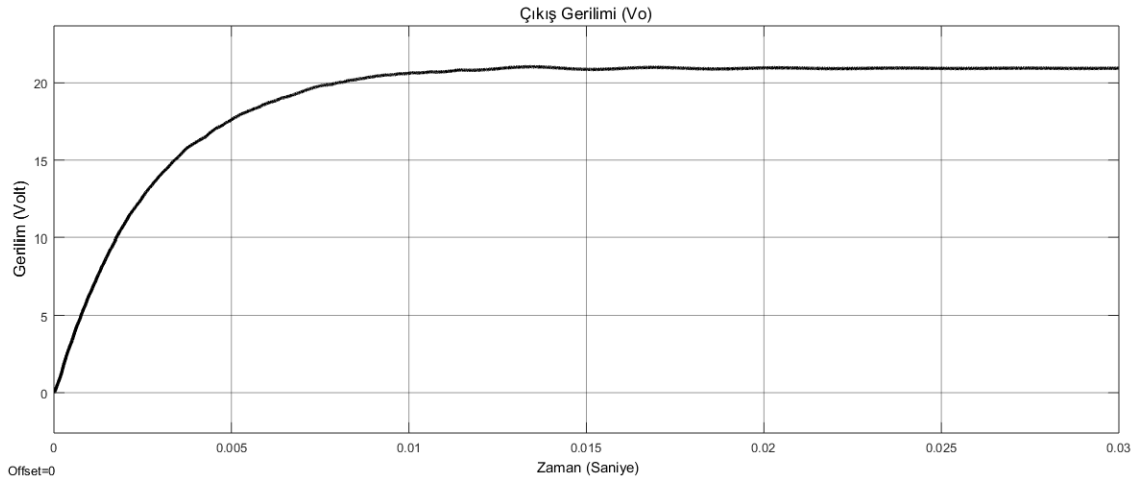
Şekil 4.6. Deney 3 bobin akımı.

4.1.4. Deney 4 ve Elde Edilen Sonuçlar

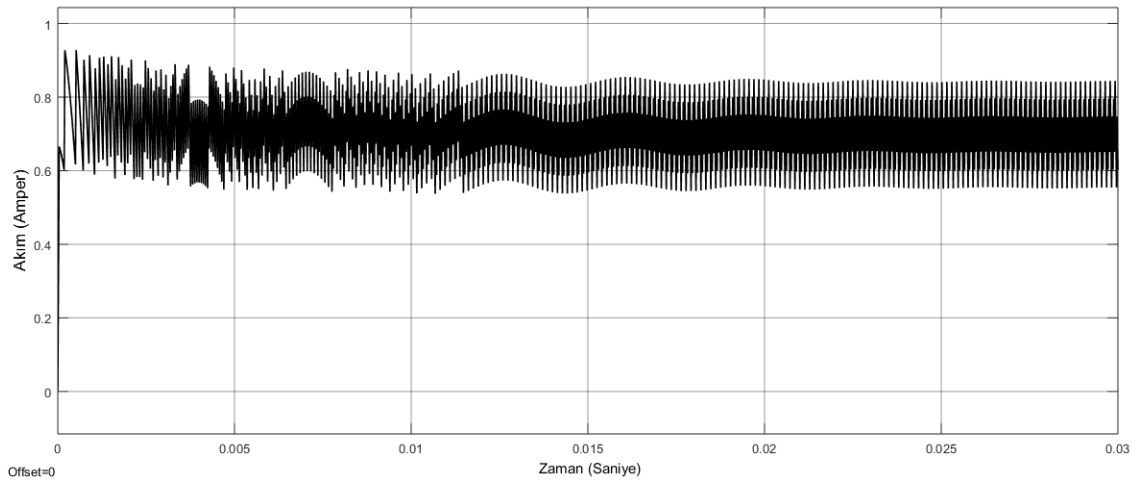
Deney 3 uygulaması sonrasında PWM frekansı 75 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.4. Deney 4 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	75	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.7. Deney 4 çıkış gerilimi.



Şekil 4.8. Deney 4 bobin akımı.

4.1.5. Deney 5 ve Elde Edilen Sonuçlar

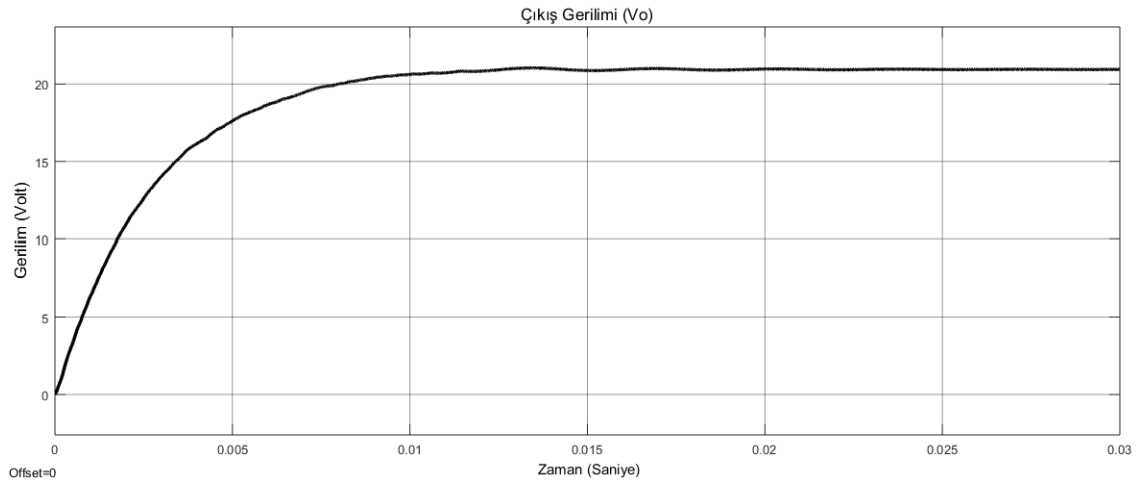
Deney 4 uygulaması sonrasında PWM frekansı 50 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.5. Deney 5 değişkenleri.

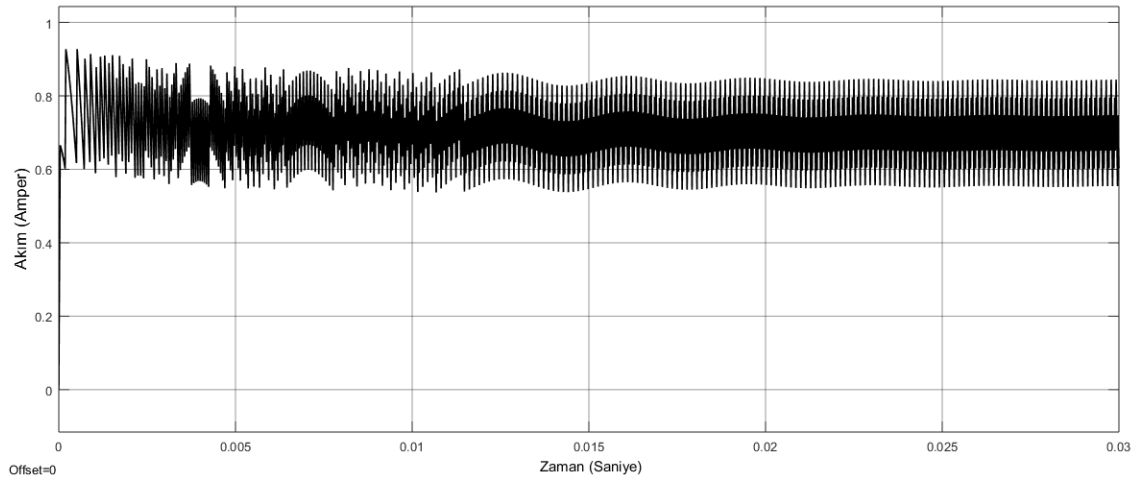
Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	

Çizelge 4.5. Deney 5 değişkenleri. (Devam.)

	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.9. Deney 5 çıkış gerilimi.



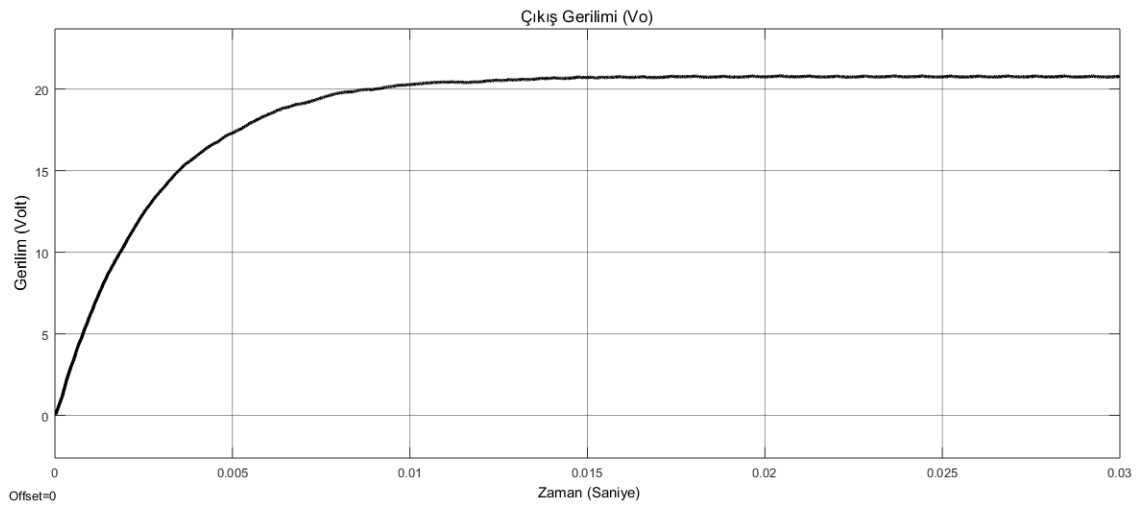
Şekil 4.10. Deney 5 bobin akımı.

4.1.6. Deney 6 ve Elde Edilen Sonuçlar

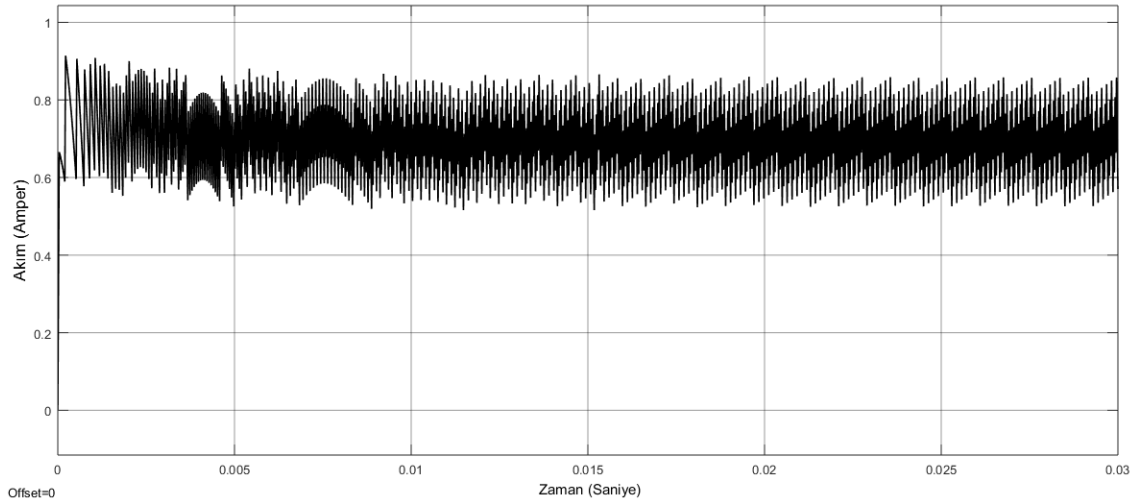
Deney 5 uygulaması sonrasında PWM frekansı 30 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.6. Deney 6 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	30	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.11. Deney 6 çıkış gerilimi.



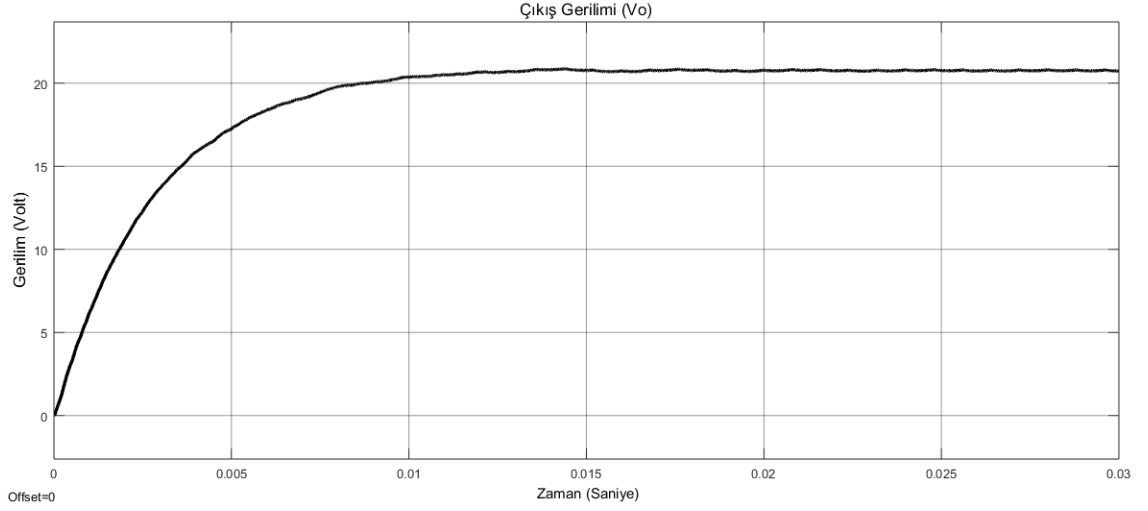
Şekil 4.12. Deney 6 bobin akımı.

4.1.7. Deney 7 ve Elde Edilen Sonuçlar

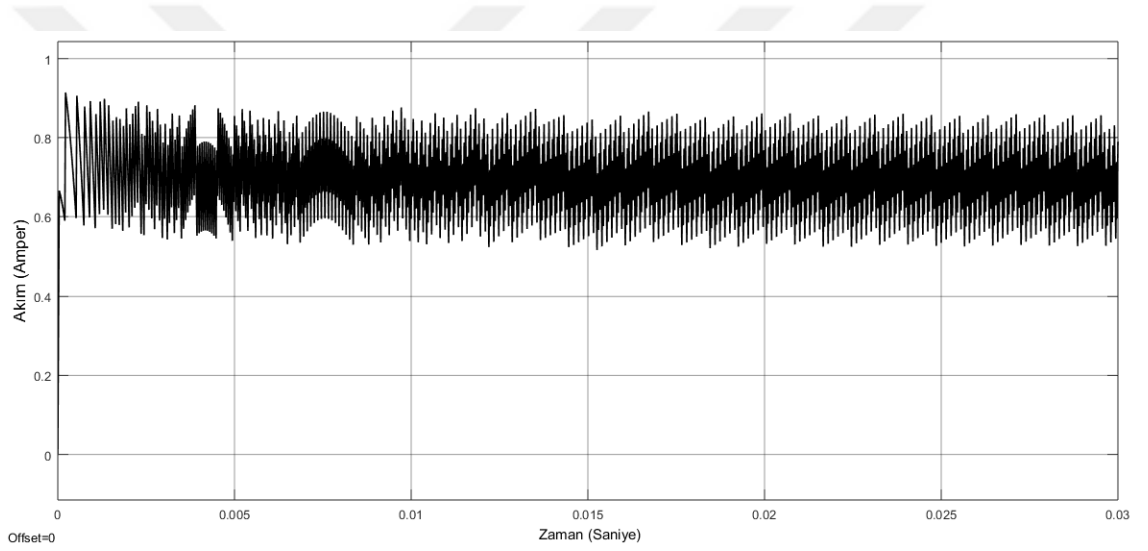
Deney 6 uygulaması sonrasında PWM frekansı 20 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.7. Deney 7 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.13. Deney 7 çıkış gerilimi.



Şekil 4.14. Deney 7 bobin akımı.

4.1.8. Deney 8 ve Elde Edilen Sonuçlar

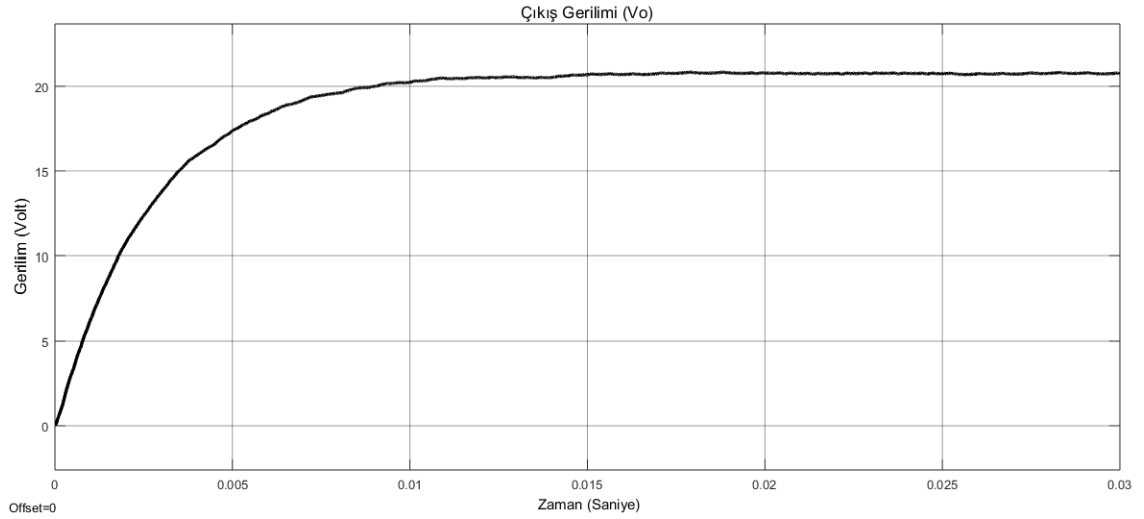
Deney 7 uygulaması sonrasında PWM frekansı 10 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.8. Deney 8 değişkenleri.

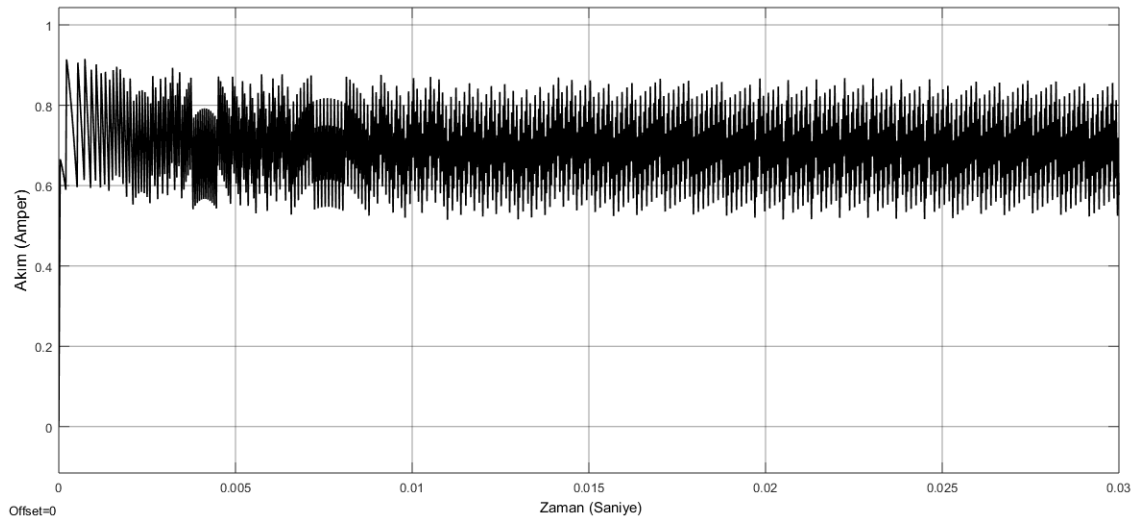
Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	10	(kHz)

Çizelge 4.8. Deney 8 değişkenleri. (Devam.)

	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.15. Deney 8 çıkış gerilimi.



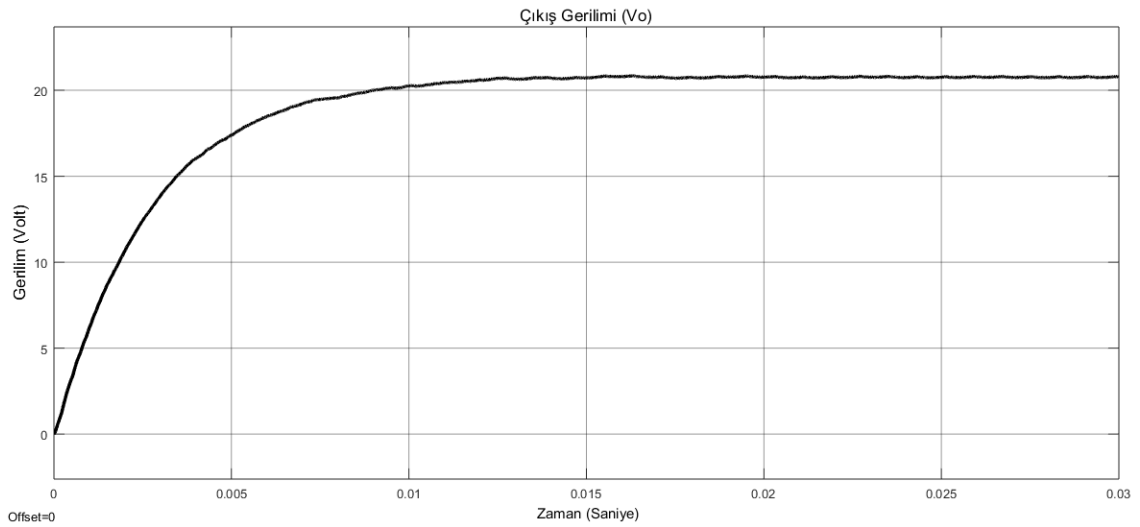
Şekil 4.16. Deney 8 bobin akımı.

4.1.9. Deney 9 ve Elde Edilen Sonuçlar

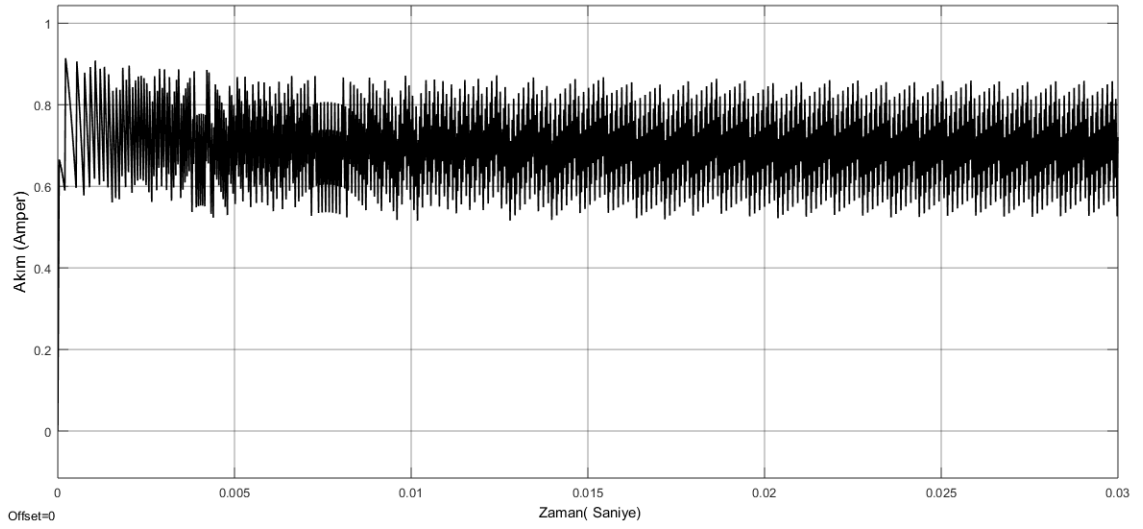
Deney 8 uygulaması sonrasında PWM frekansı 5 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.9. Deney 9 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	5	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.17. Deney 9 çıkış gerilimi.



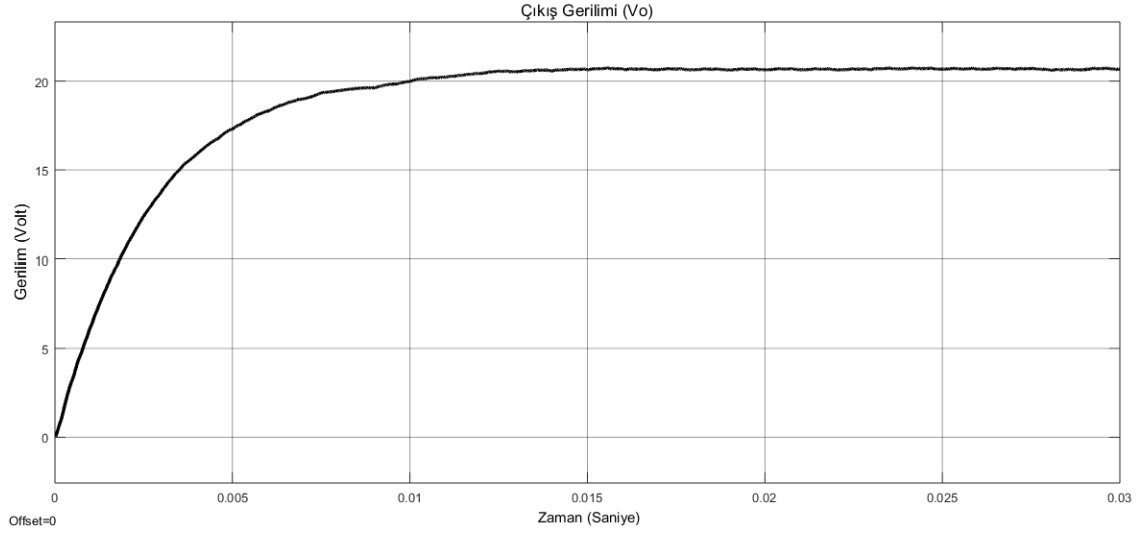
Şekil 4.18. Deney 9 bobin akımı.

4.1.10. Deney 10 ve Elde Edilen Sonuçlar

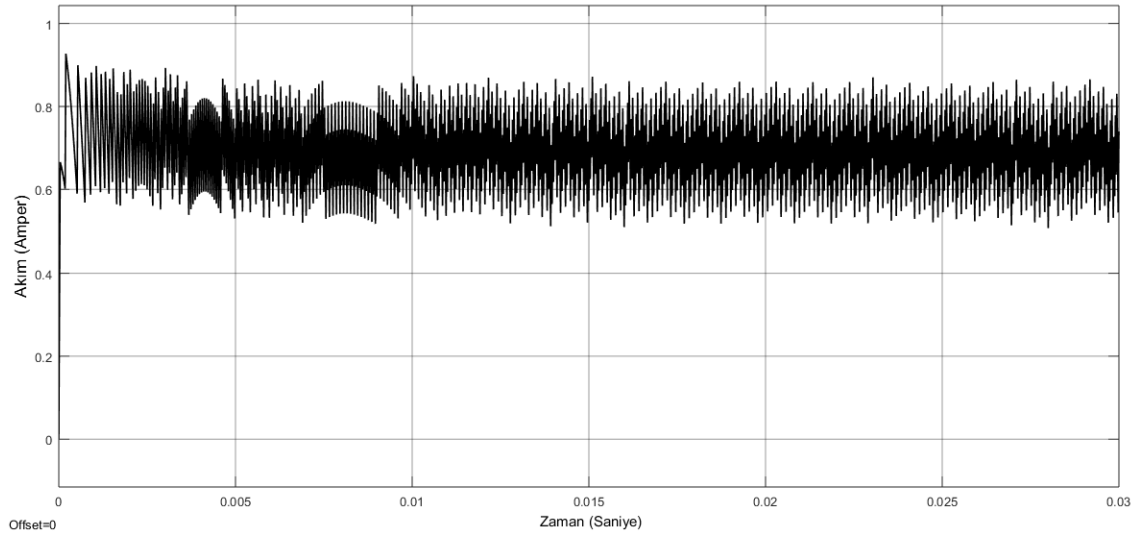
Deney 9 uygulaması sonrasında PWM frekansı 1 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.10. Deney 10 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	V _{in}	50	Volt
	PWM Frekansı	1	(kHz)
Kontrol Parametreleri	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.19. Deney 10 çıkış gerilimi.



Şekil 4.20. Deney 10 bobin akımı.

4.1.11. Deney 11 ve Elde Edilen Sonuçlar

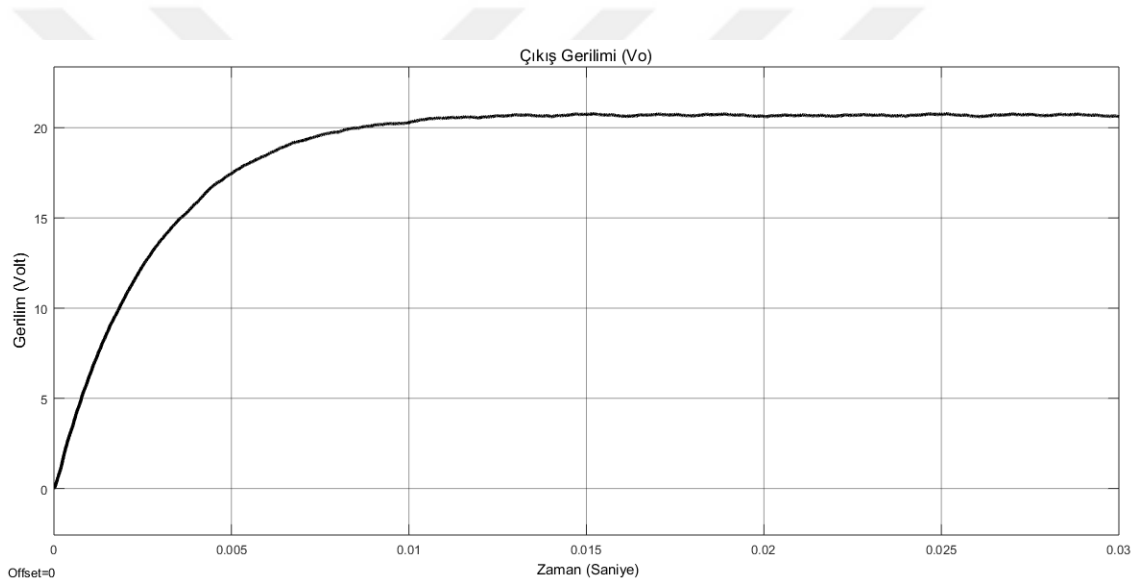
Deney 10 uygulaması sonrasında PWM frekansı 500 Hz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin sonuca önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.11. Deney 11 değişkenleri.

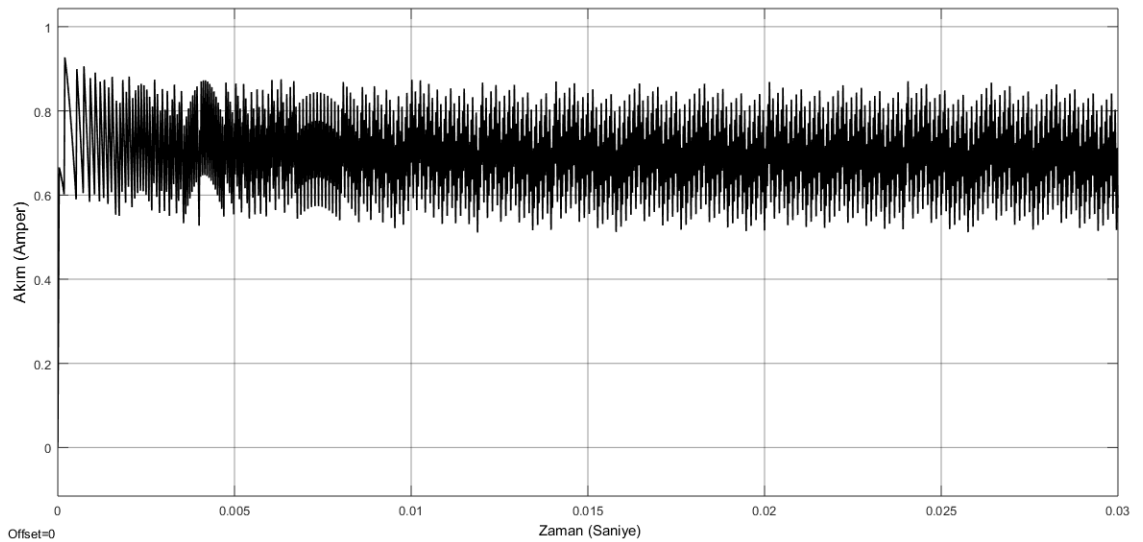
Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt

Çizelge 4.11. Deney 11 değişkenleri. (Devam.)

	PWM Frekansı	0.5	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.21. Deney 11 çıkış gerilimi.



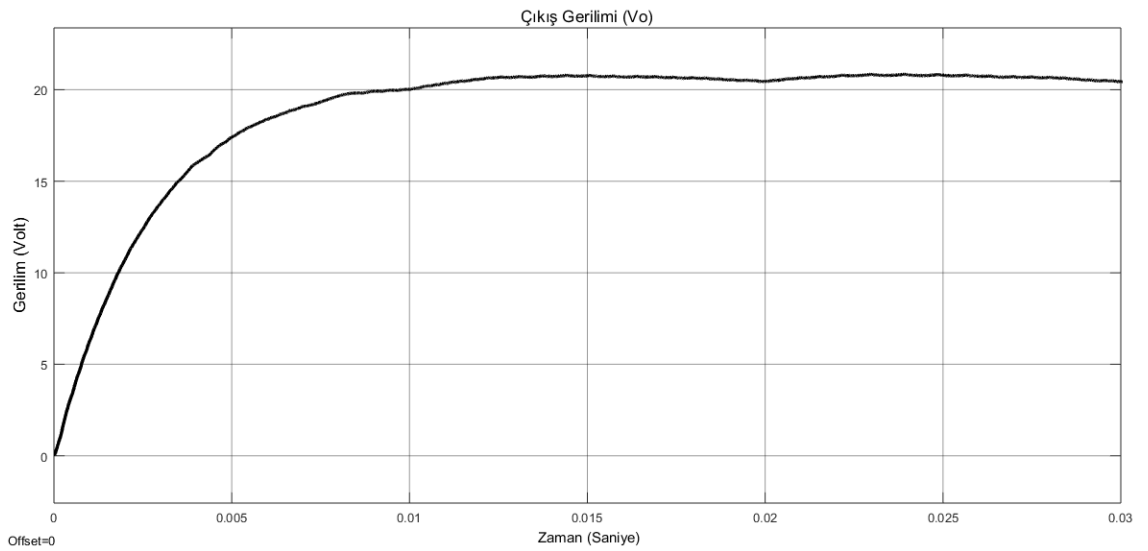
Şekil 4.22. Deney 11 bobin akımı.

4.1.12. Deney 12 ve Elde Edilen Sonuçlar

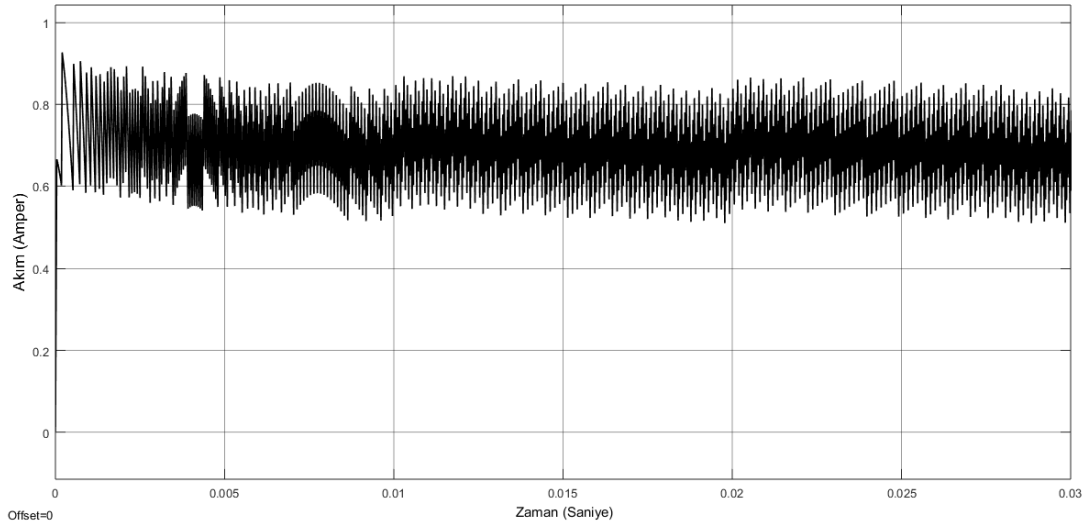
Deney 11 uygulaması sonrasında PWM frekansı 100 Hz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde gerilim grafiğinde dalgalanmaların olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.12. Deney 12 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	0.1	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.23. Deney 12 çıkış gerilimi.



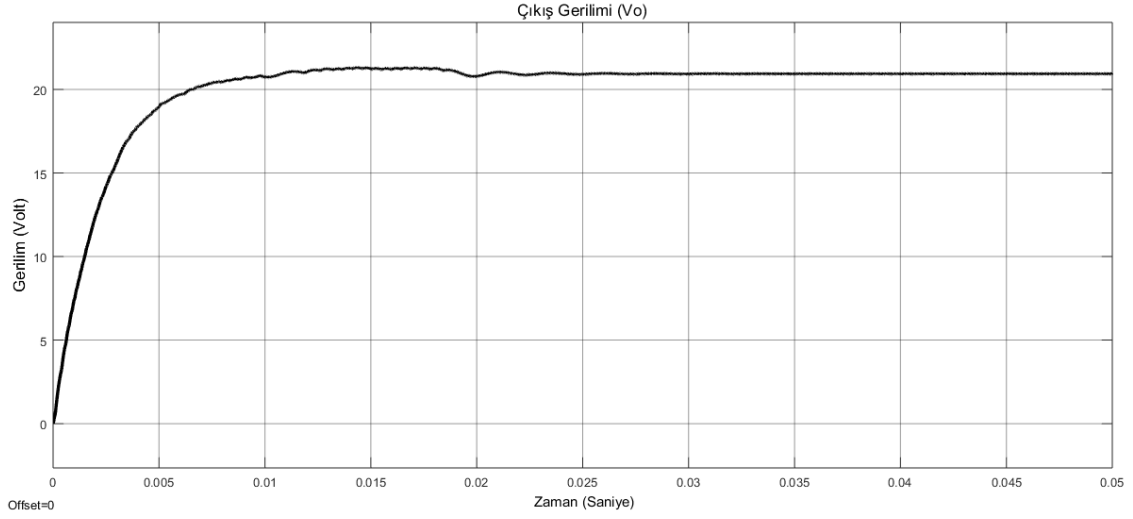
Şekil 4.24. Deney 12 bobin akımı.

4.1.13. Deney 13 ve Elde Edilen Sonuçlar

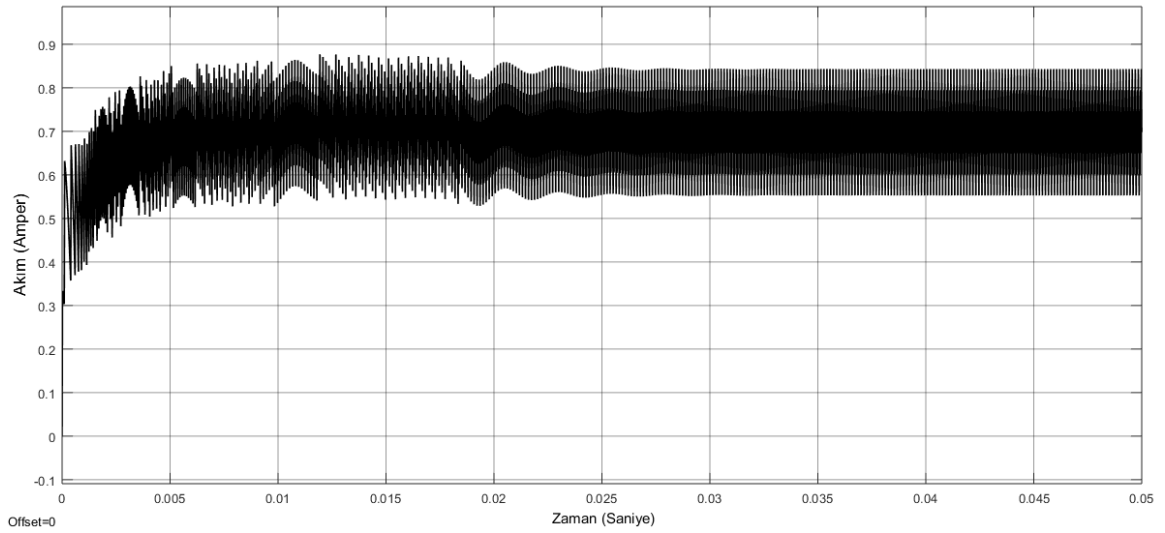
Deney 12 uygulaması sonrasında kondansatör değeri 50 μ F yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde gerilim grafiğindeki dalgalanmaların bir önceki deneye ait gerilim sonuçlarına göre nispeten daha doğru olduğu görülmüştür. Özellikle 20 ms bölgesinde gerçekleşen dalgalanma (çökme) neticesinde aynı bölgelerde akım grafiğinde de salınımların olduğu görülmektedir. Bu dalgalanmaların PWM frekansının düşük olmasından kaynaklandığı aşıkardır. Mevcut gerilim dalgalanmasının giderilmesi için PWM frekansının yükseltilmesi gerekir. Bu tür gerilim dalgalanmaları istenmeyen durumdur.

Çizelge 4.13. Deney 13 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	50u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	0.1	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.25. Deney 13 çıkış gerilimi.



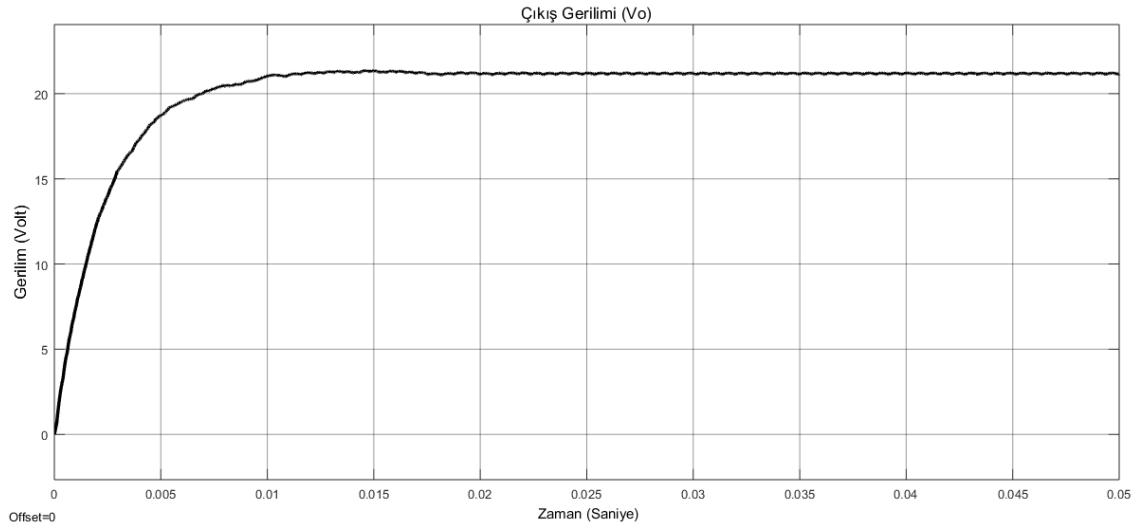
Şekil 4.26. Deney 13 bobin akımı.

4.1.14. Deney 14 ve Elde Edilen Sonuçlar

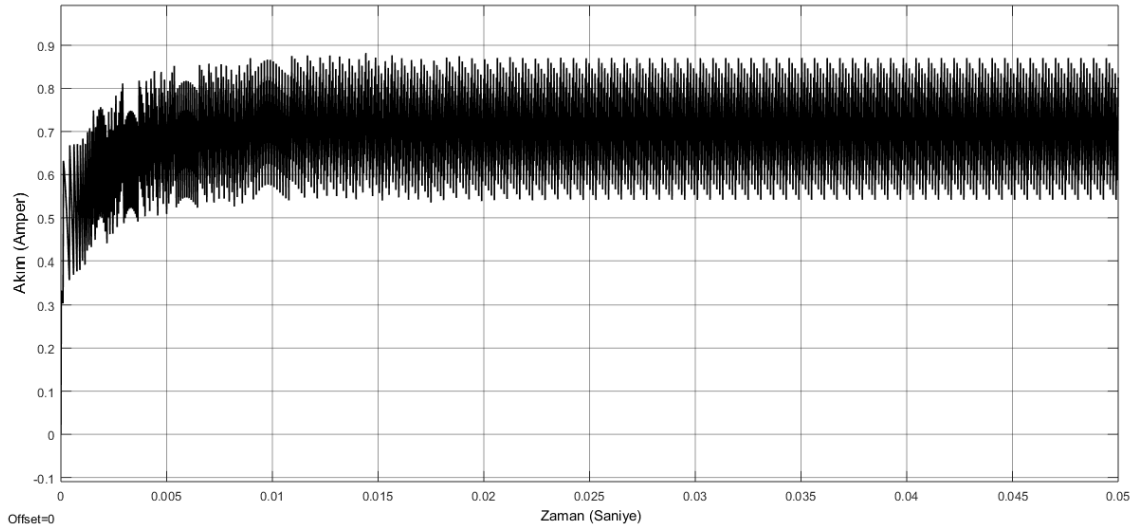
Deney 13 uygulaması sonrasında PWM frekansı 10 kHz yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde gerilim grafiğinde oluşan dalgalanmaların düzeldiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.14. Deney 14 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	50u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	10	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.27. Deney 14 çıkış gerilimi.



Şekil 4.28. Deney 14 bobin akımı.

4.1.15. Deney 15 ve Elde Edilen Sonuçlar

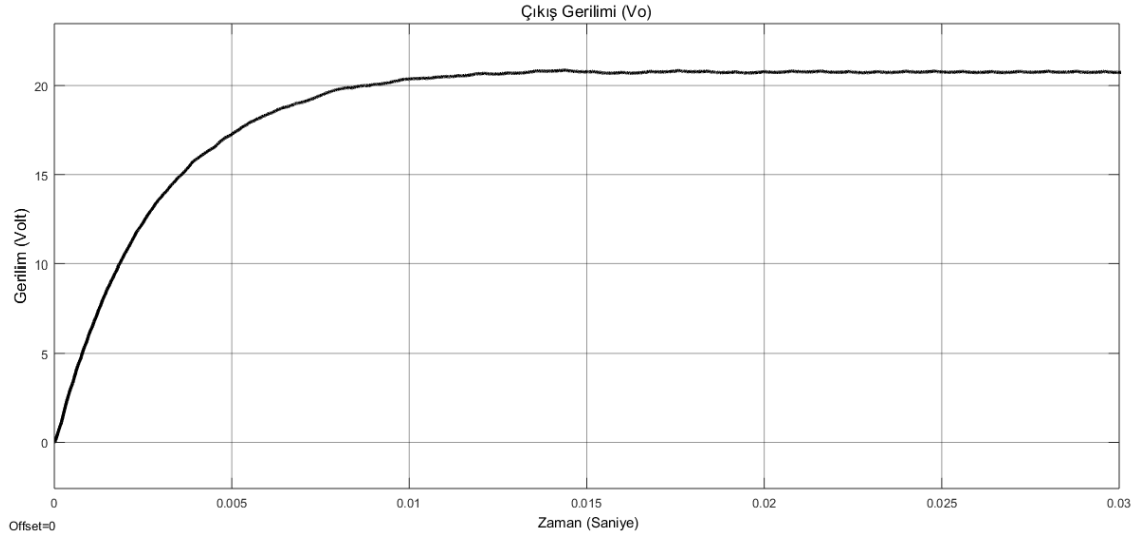
Bu ana kadar yapılan deneyler neticesinde PWM sinyalinin frekansı aşırı düşürülmediği sürece (500 Hz altı) gerilim grafiğinde dalgalanmaların makul düzeyde (yaklaşık 5-15 mV arası) olduğu anlaşılmıştır. Bu sebepten daha verimli bir analiz yapmak için deney 14 uygulaması sonrasında PWM frekansı 20 kHz yapılmış, gerilim grafiğinde olan mili voltlar mertebesindeki salınımların en azaltılması maksadı ile kondansatör değeri 100 μ F yapılmış son olarak Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni 80 μ s değerine ayarlanmış, diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde gerilim grafiğinde oluşan salınımların düzeldiği, akım grafiğinin daha kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu deneyin sonuçları ile 7 numaralı deney sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.15. Deney 15 değişkenleri.

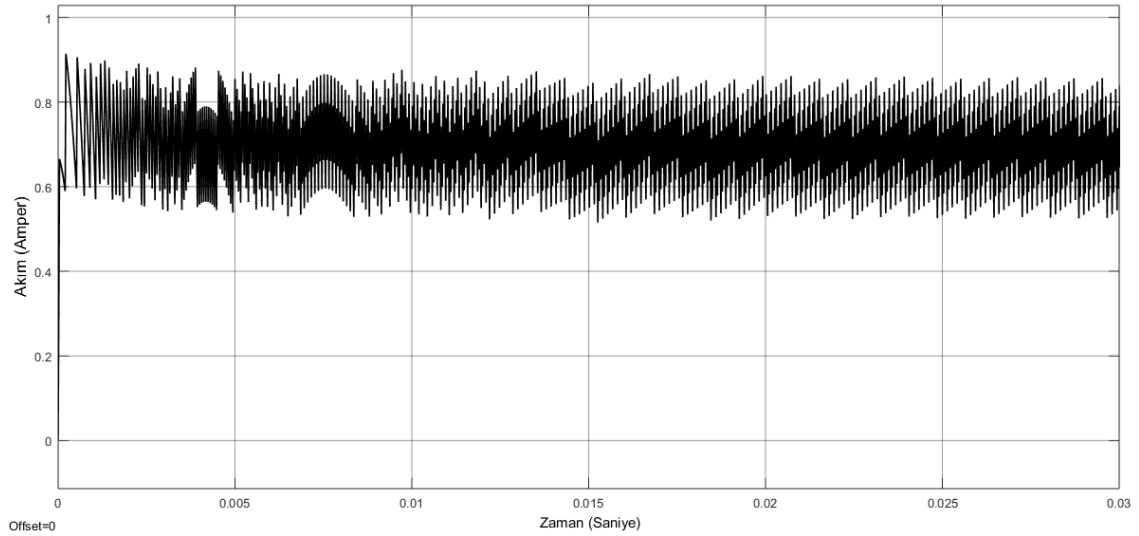
Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	80e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	

Çizelge 4.15. Deney 15 değişkenleri. (Devam.)

Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.29. Deney 15 çıkış gerilimi.



Şekil 4.30. Deney 15 bobin akımı.

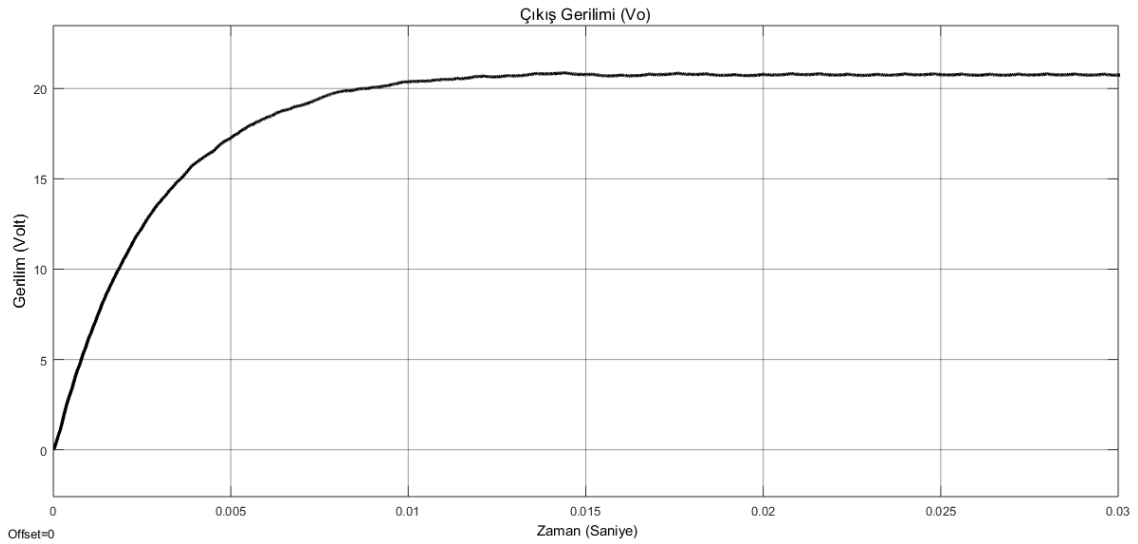
4.1.16. Deney 16 ve Elde Edilen Sonuçlar

Deney 15 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni 60 μ s yapılmış ve

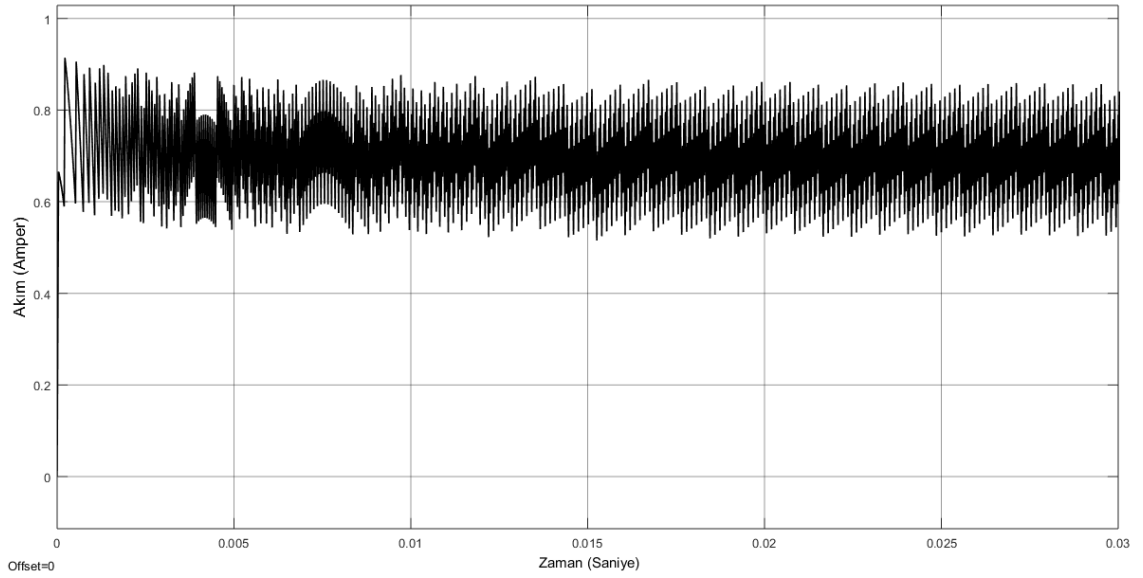
diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde akım ve gerilim grafiklerinde önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.16. Deney 16 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	V _{in}	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	60e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.31. Deney 16 çıkış gerilimi.



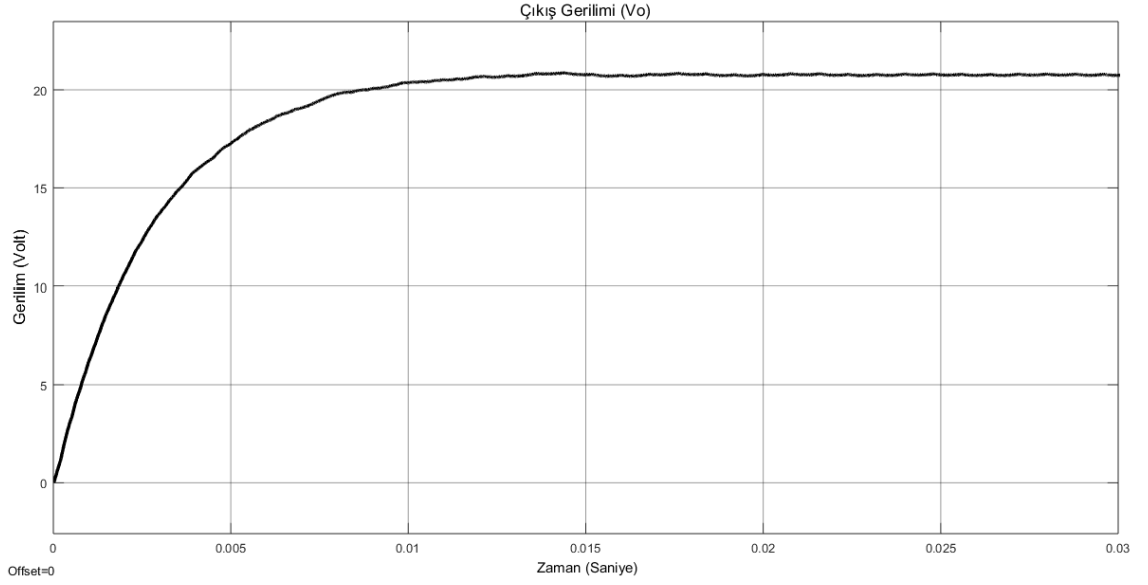
Şekil 4.32. Deney 16 bobin akımı.

4.1.17. Deney 17 ve Elde Edilen Sonuçlar

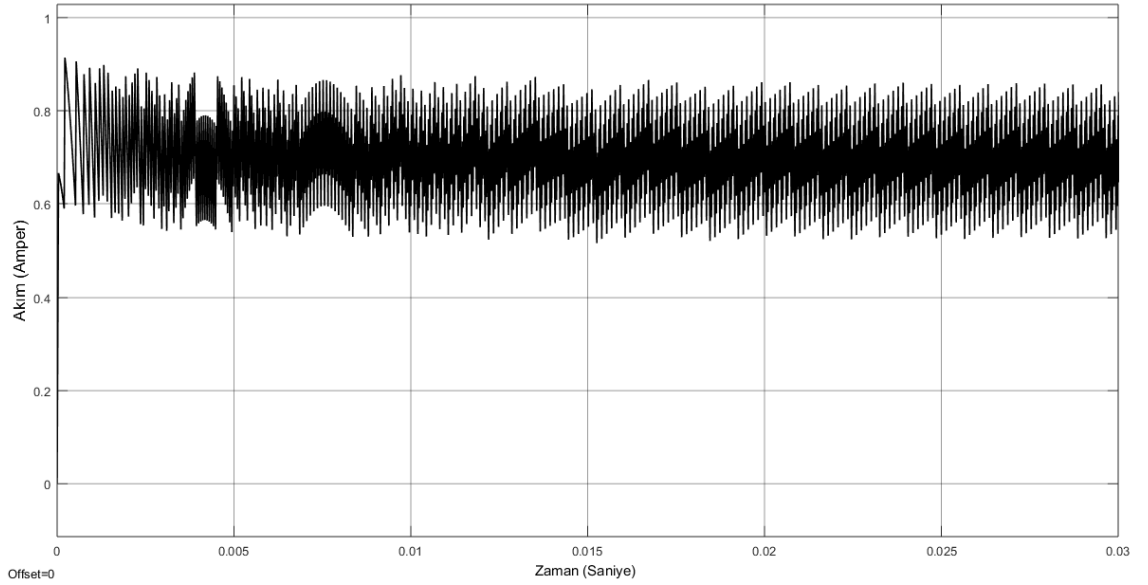
Deney 16 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni $40 \mu s$ yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.17. Deney 17 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	$40e-6$	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	$2.147e+6$	



Şekil 4.33. Deney 17 çıkış gerilimi.



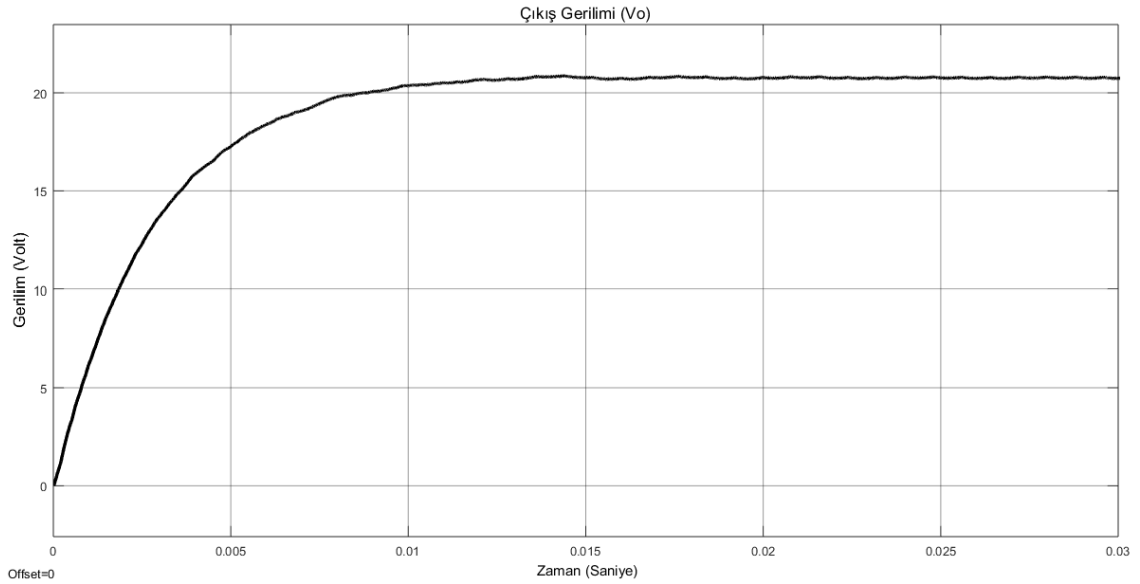
Şekil 4.34. Deney 17 bobin akımı.

4.1.18. Deney 18 ve Elde Edilen Sonuçlar

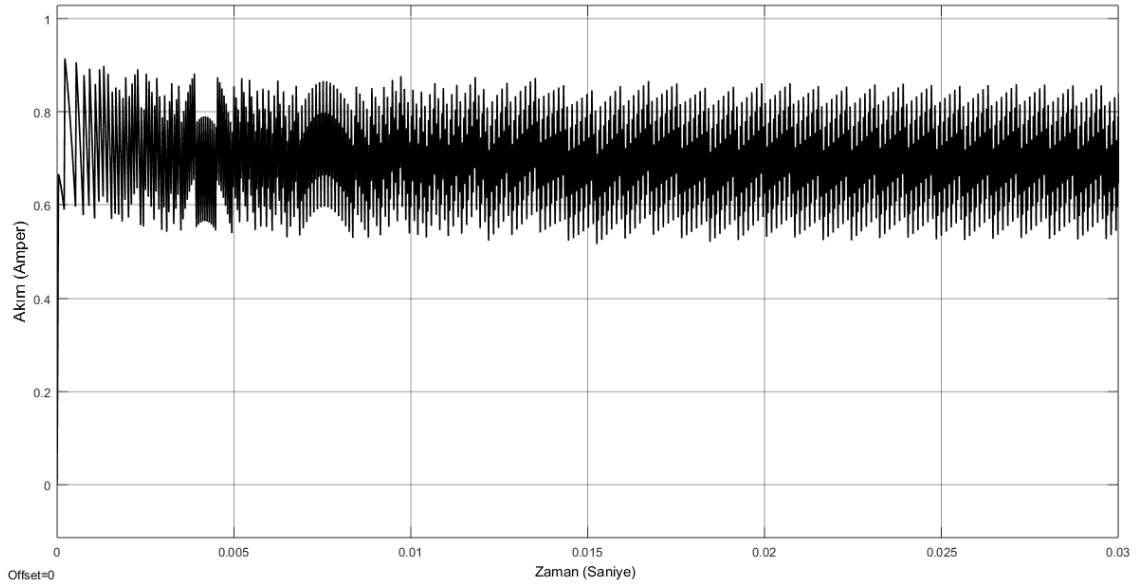
Deney 17 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni 20 μ s yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda önemli bir değişikliğe rastlanmamıştır.

Çizelge 4.18. Deney 18 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.35. Deney 18 çıkış gerilimi.



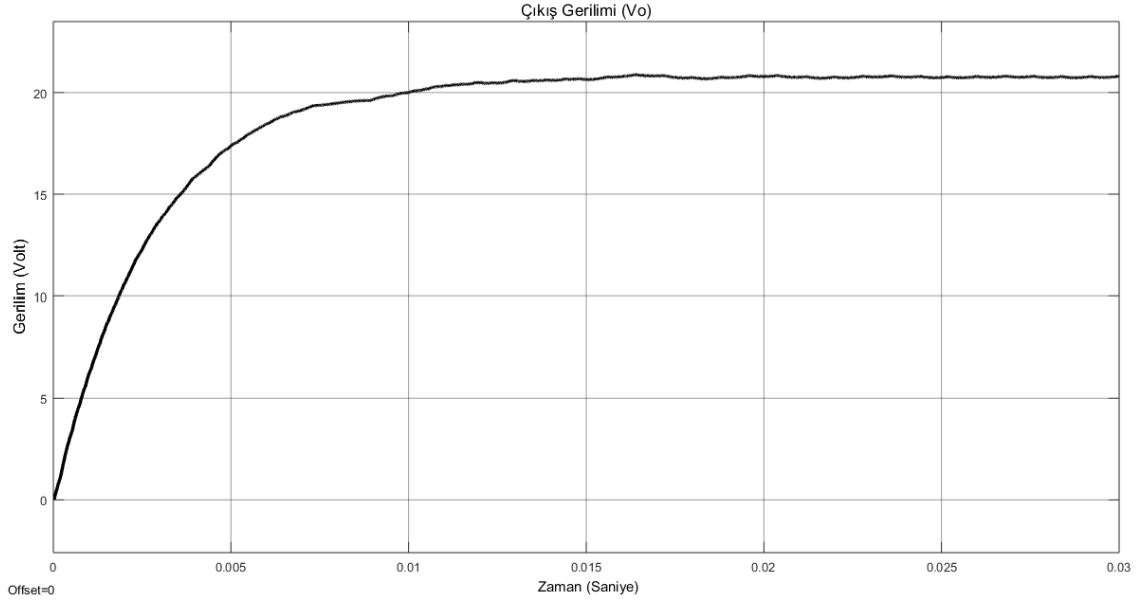
Şekil 4.36. Deney 18 bobin akımı.

4.1.19. Deney 19 ve Elde Edilen Sonuçlar

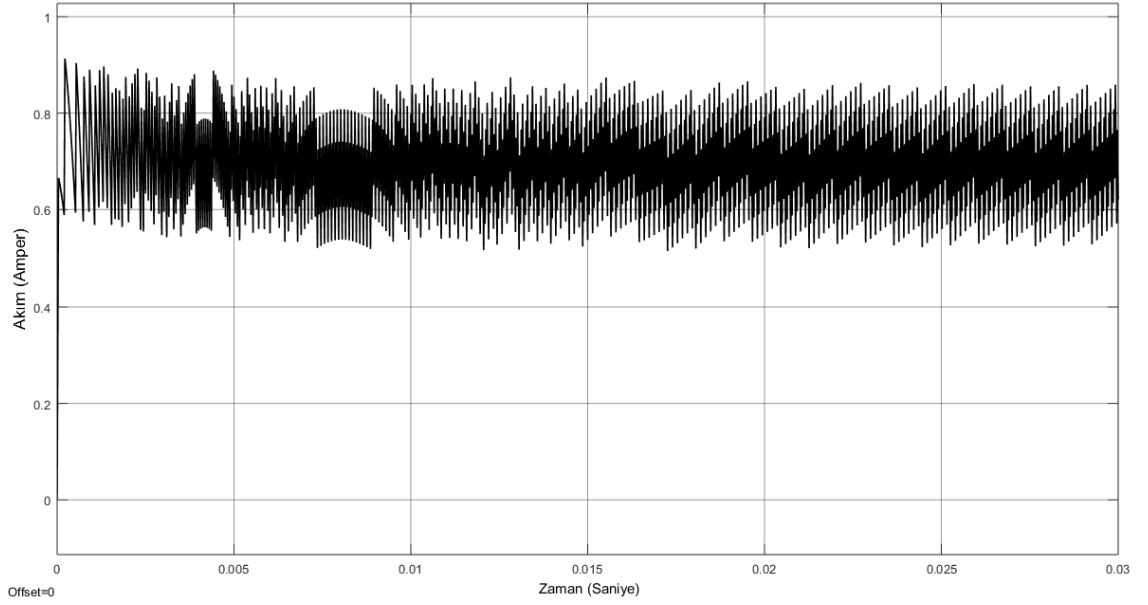
Deney 18 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni $10 \mu s$ yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda önemli bir değişikliğe rastlanmamıştır. Son üç deneyden de anlaşılaacağı üzere işlemci hızını artırdığımızda sadece gerilim grafiğinde oluşan mili voltlar seviyesindeki salınımların giderildiği ama genel anlamda etkin bir değişim olmadı kanısına varılmıştır.

Çizelge 4.19. Deney 19 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	$10e-6$	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	$2.147e+6$	



Şekil 4.37. Deney 19 çıkış gerilimi.



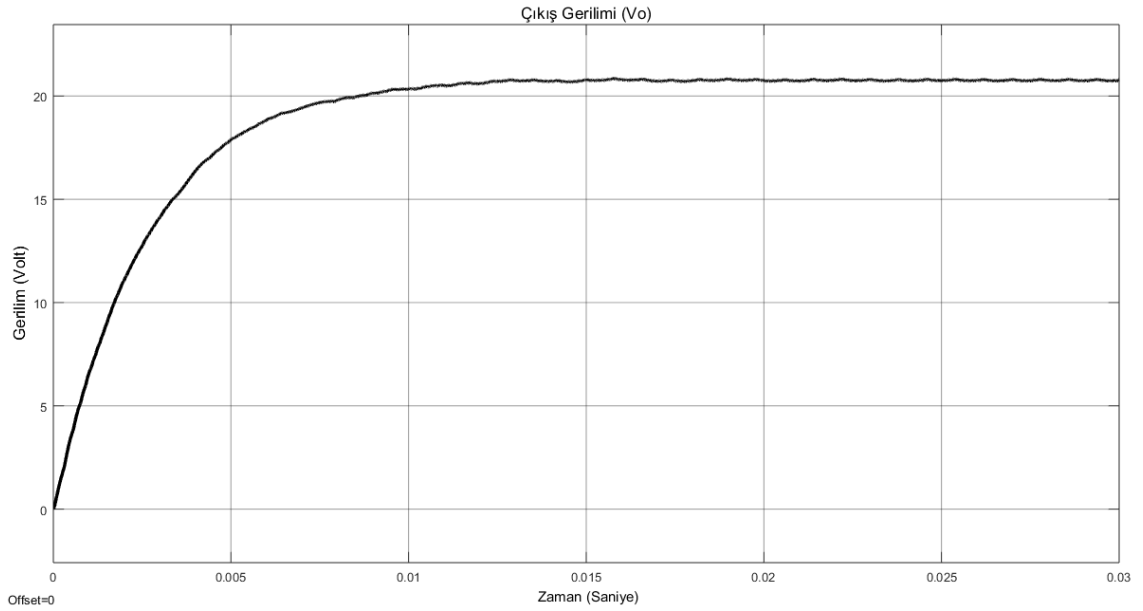
Şekil 4.38. Deney 19 bobin akımı.

4.1.20. Deney 20 ve Elde Edilen Sonuçlar

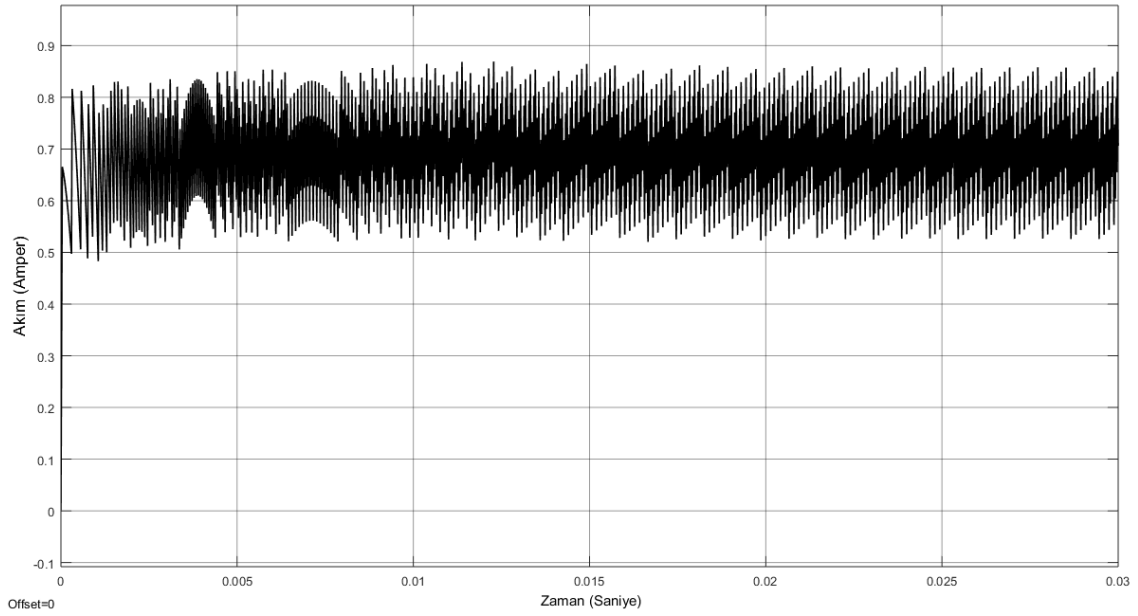
Deney 19 uygulaması sonrasında kondansatör değeri $80 \mu\text{F}$ yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.20. Deney 20 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	80u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	10e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.39. Deney 20 çıkış gerilimi.



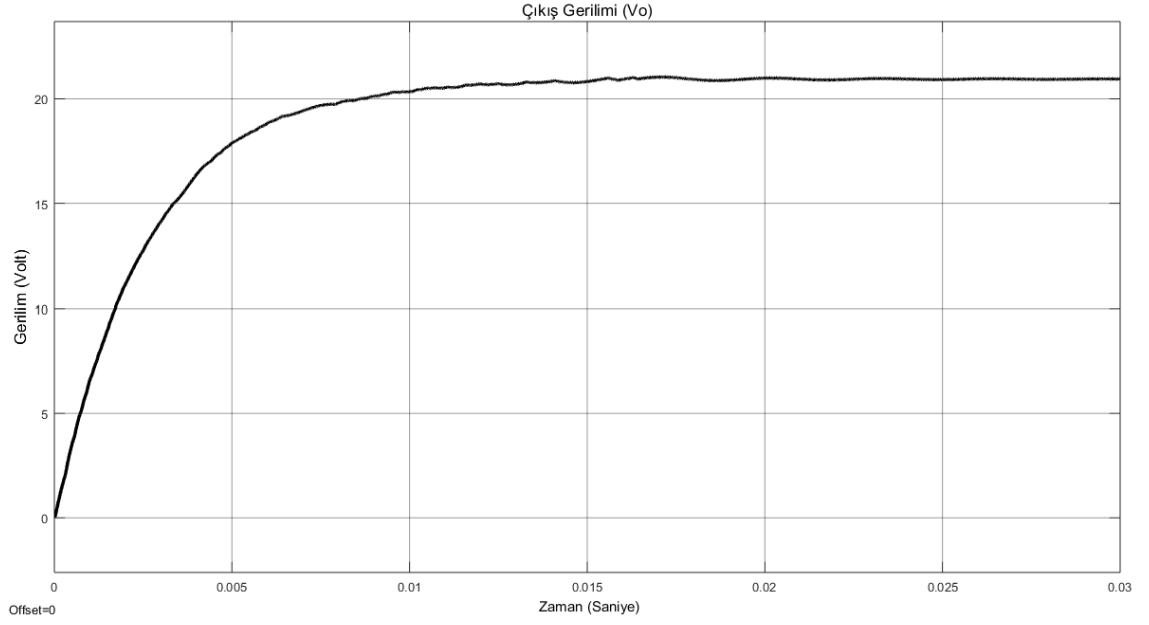
Şekil 4.40. Deney 20 bobin akımı.

4.1.21. Deney 21 ve Elde Edilen Sonuçlar

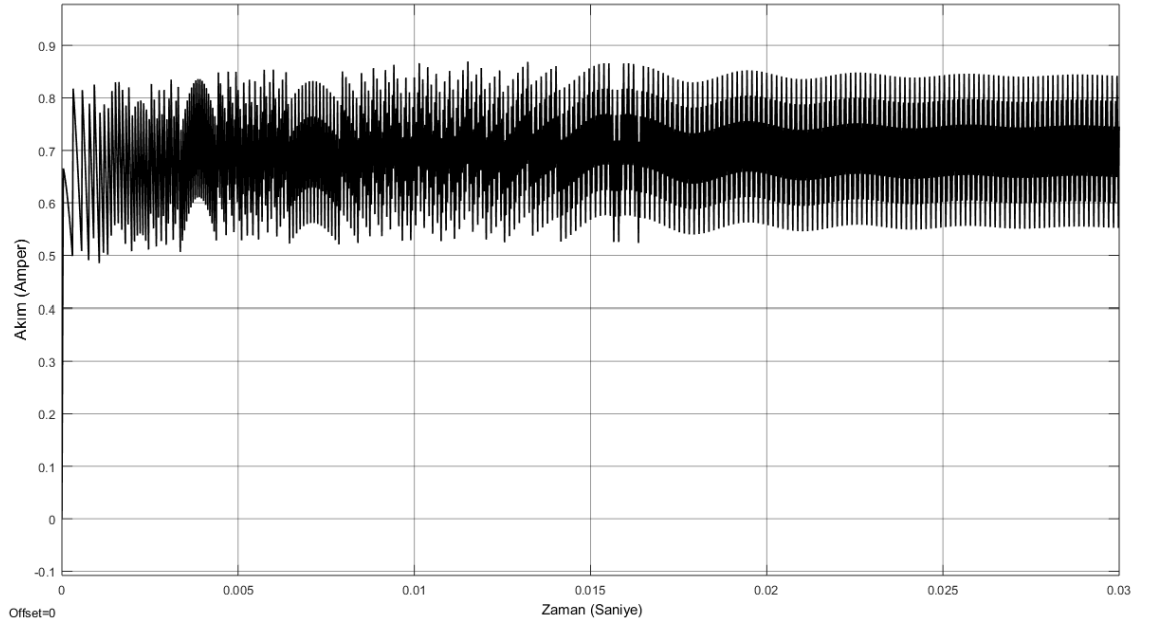
Deney 20 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni $50 \mu s$ yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.21. Deney 21 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	80u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.41. Deney 21 çıkış gerilimi.



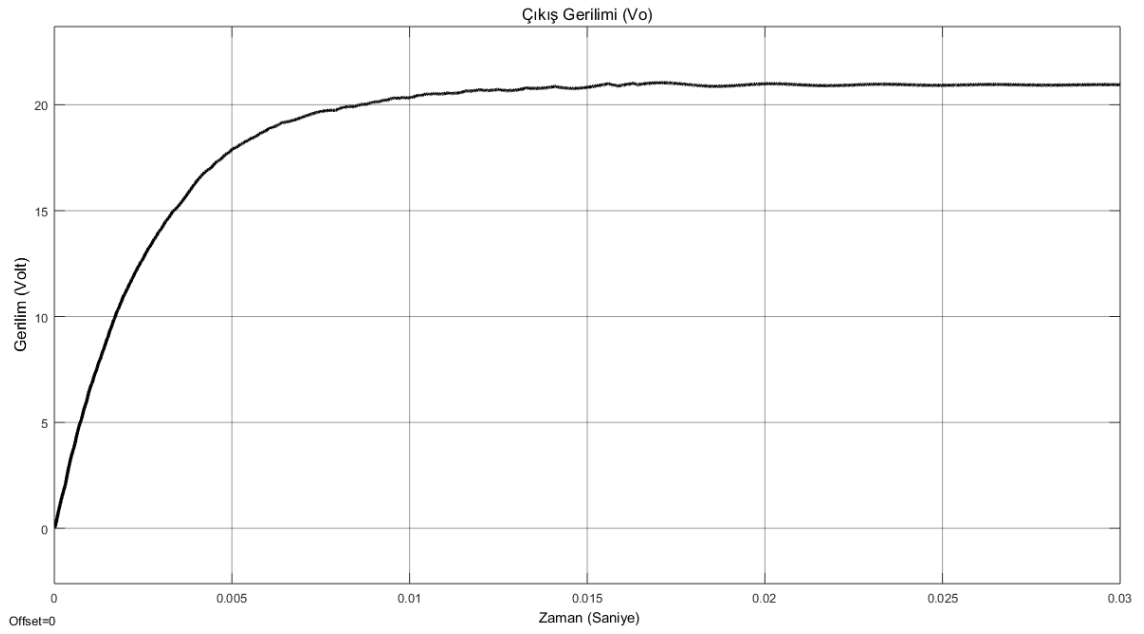
Şekil 4.42. Deney 21 bobin akımı.

4.1.22. Deney 22 ve Elde Edilen Sonuçlar

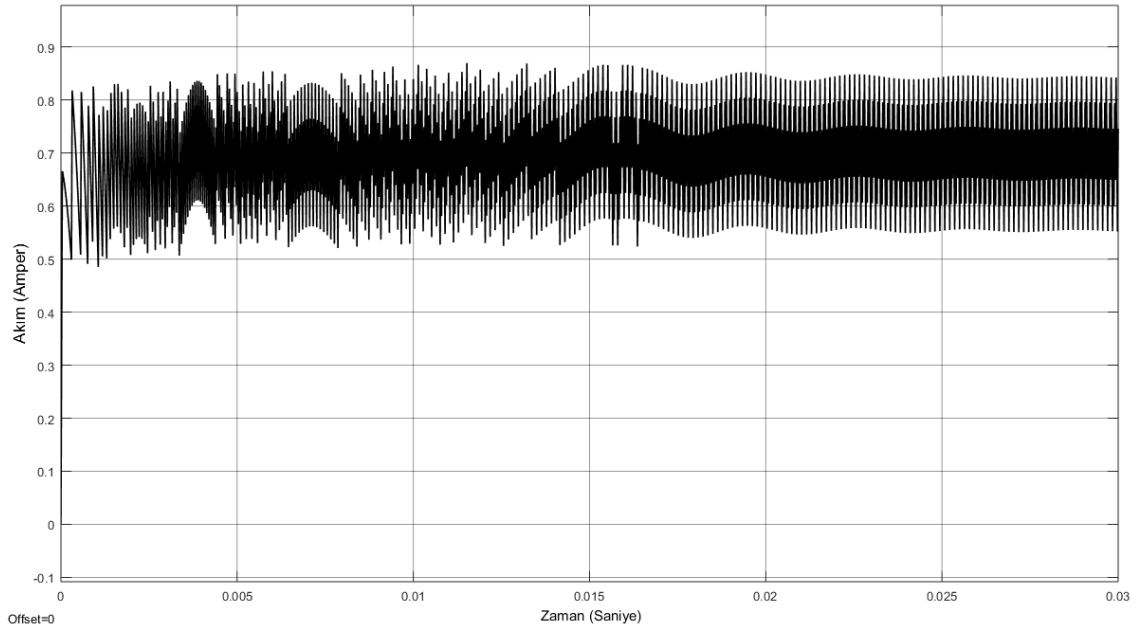
Deney 21 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni 100 μ s yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.22. Deney 22 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	80u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	100e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.43. Deney 22 çıkış gerilimi.



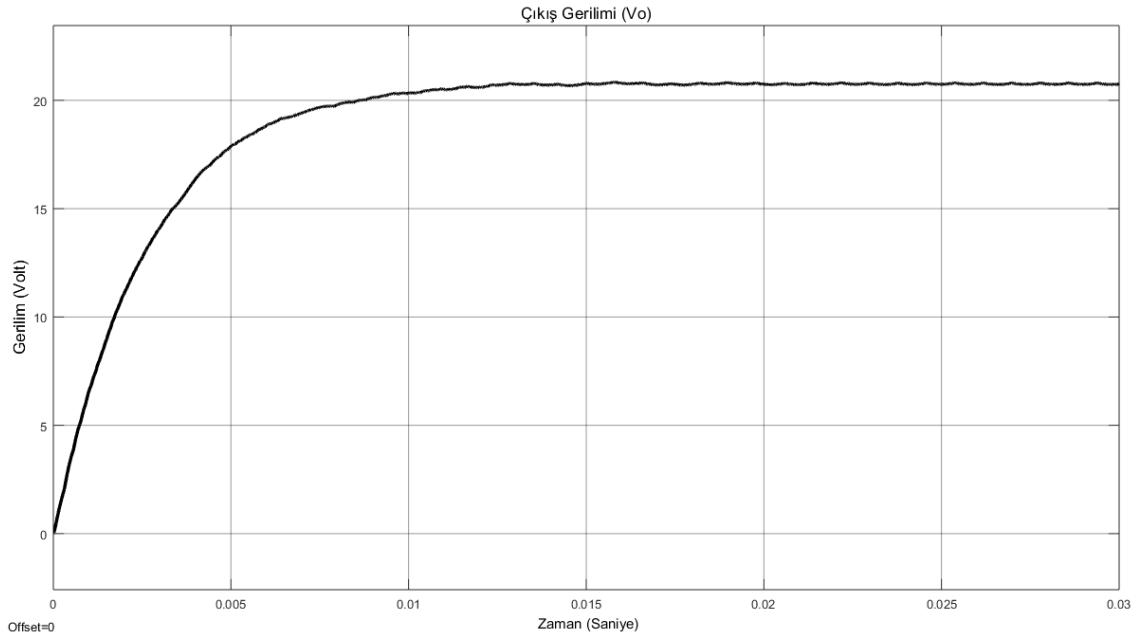
Şekil 4.44. Deney 22 bobin akımı.

4.1.23. Deney 23 ve Elde Edilen Sonuçlar

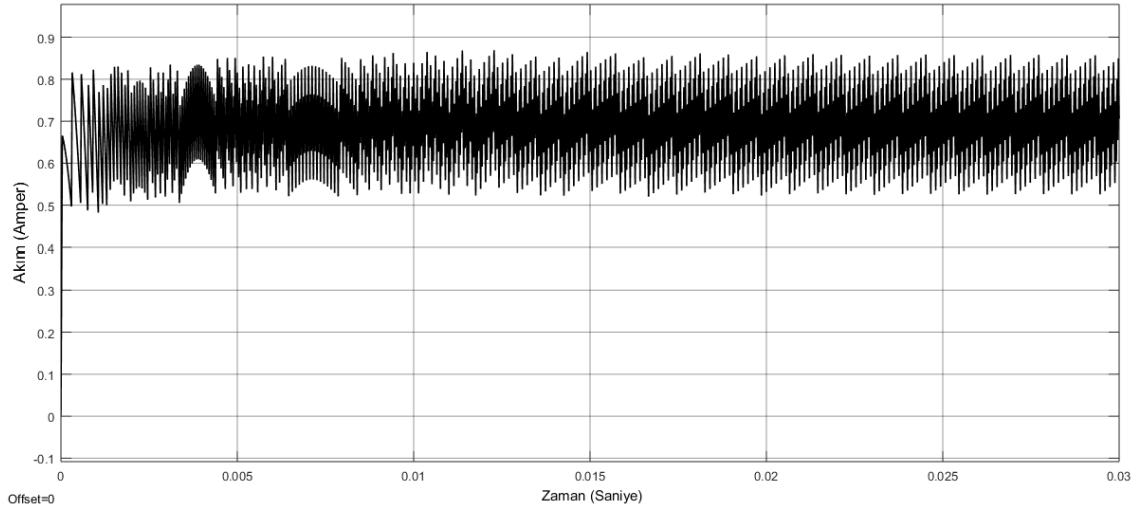
Deney 23 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değişkeni 1 μ s yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.23. Deney 23 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	80u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	1e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.45. Deney 23 çıkış gerilimi.



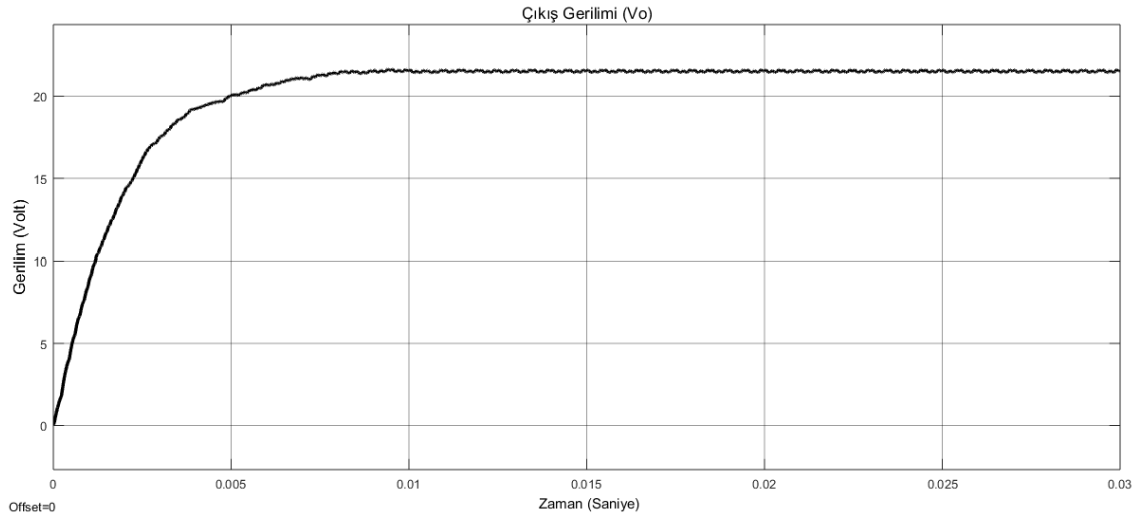
Şekil 4.46. Deney 23 bobin akımı.

4.1.24. Deney 24 ve Elde Edilen Sonuçlar

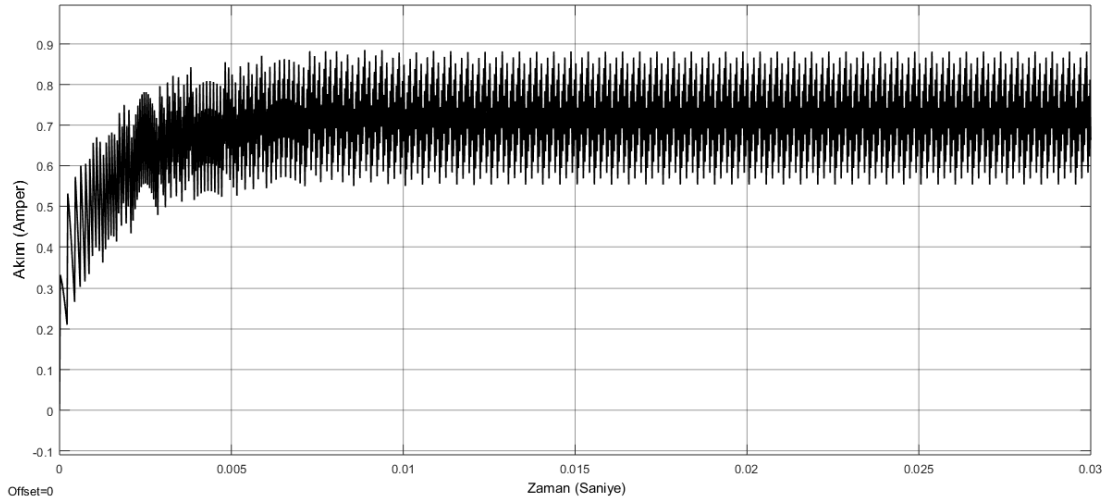
Deney 23 uygulaması sonrasında kondansatör değeri 30 μ F, Maks. Adım Büyüklüğü değeri 10 μ s yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.24. Deney 24 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	30u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	10e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.47. Deney 24 çıkış gerilimi.



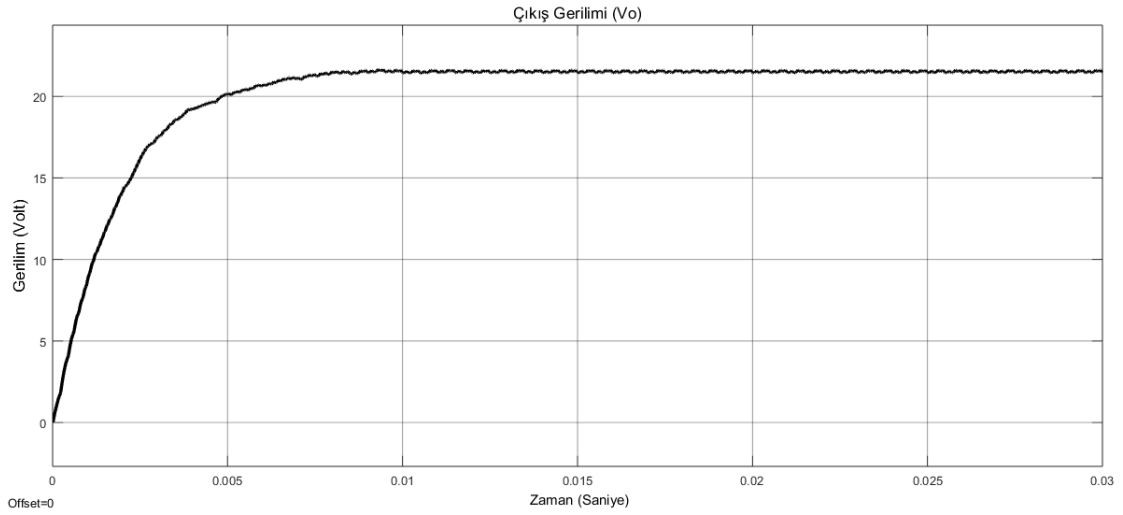
Şekil 4.48. Deney 24 bobin akımı.

4.1.25. Deney 25 ve Elde Edilen Sonuçlar

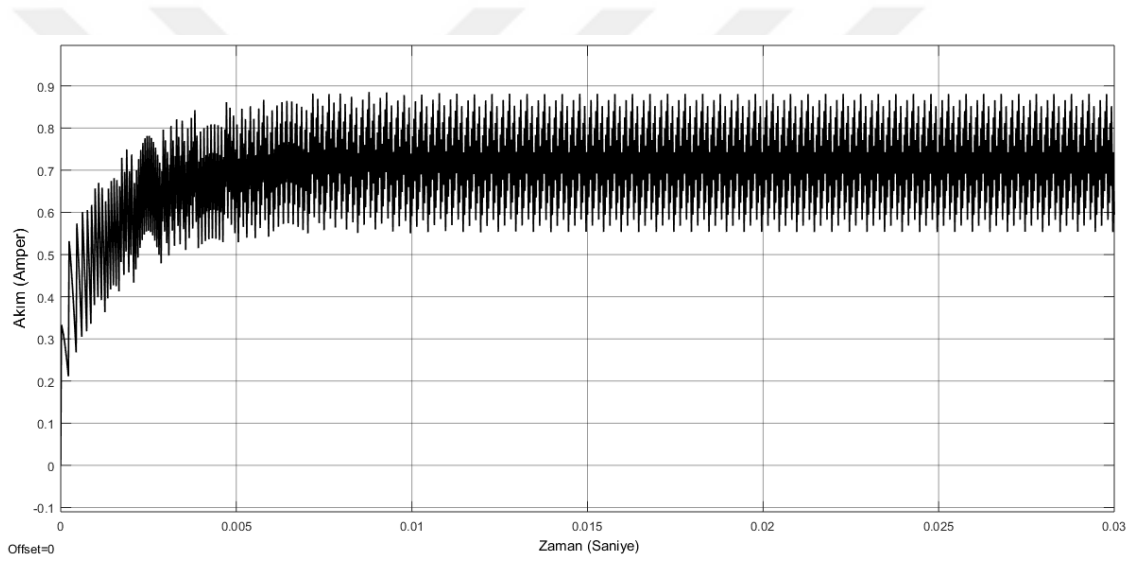
Deney 24 uygulaması sonrasında Maks. Adım Büyüklüğü değeri $20 \mu s$ yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Akım grafiğinin eğilimi gerilim grafiği ile benzer hale gelmiştir. Ancak gerilim grafiğinde mili düzeydeki salınımlar devam etmektedir. Bu salınının ortadan kaldırılması için kondansatör değerinin yükseltilmesi uygun olacaktır. Kondansatörün değeri artırıldığında deşarj süresi artacağı için gerilim grafiğinde deşarj daha geç olacaktır, sonuç olarak salınımlar mümkün olan (Kondansatör ile orantılı olarak.) en aza inmiş olur. Yapılan değişikliğin neticesinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.25. Deney 25 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	30u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
Kontrol Parametreleri	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.49. Deney 25 çıkış gerilimi.



Şekil 4.50. Deney 25 bobin akımı.

4.1.26. Deney 26 ve Elde Edilen Sonuçlar

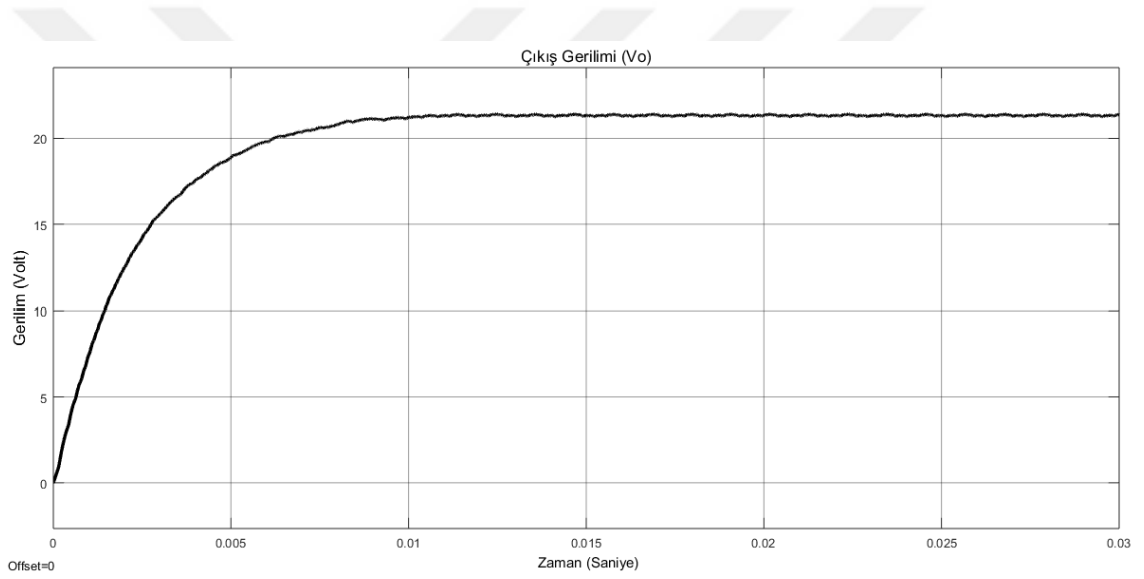
Deney 25 uygulaması sonrasında kondansatör değeri $47 \mu\text{F}$ yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde akım grafiğindeki salınımın genliğinde azalma ve gerilim sinyalinde düzelme olmuştur.

Çizelge 4.26. Deney 26 değişkenleri.

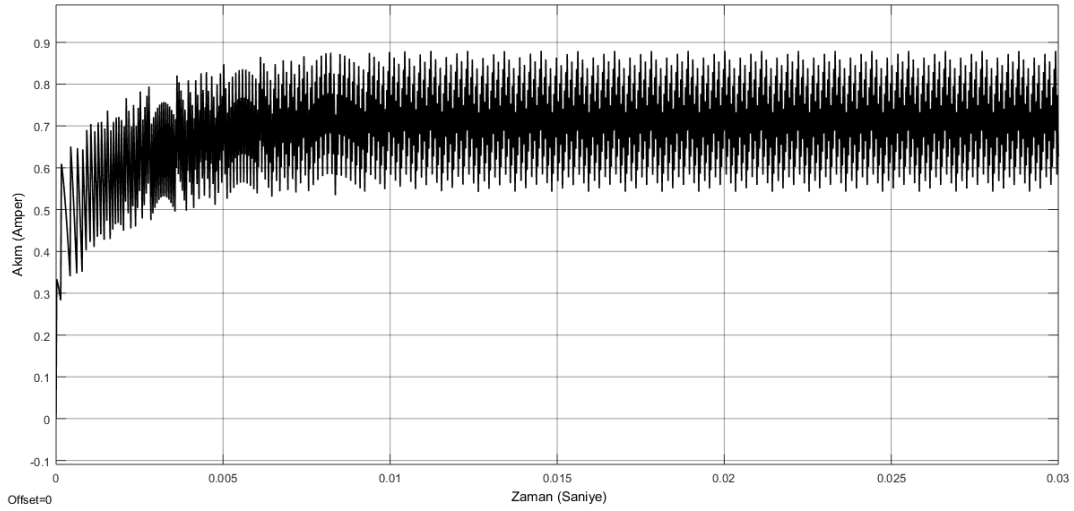
Devre Elemanları	L	3m	Henry
	C	47u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt

Çizelge 4.26. Deney 26 değişkenleri. (Devam.)

	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.51. Deney 26 çıkış gerilimi.



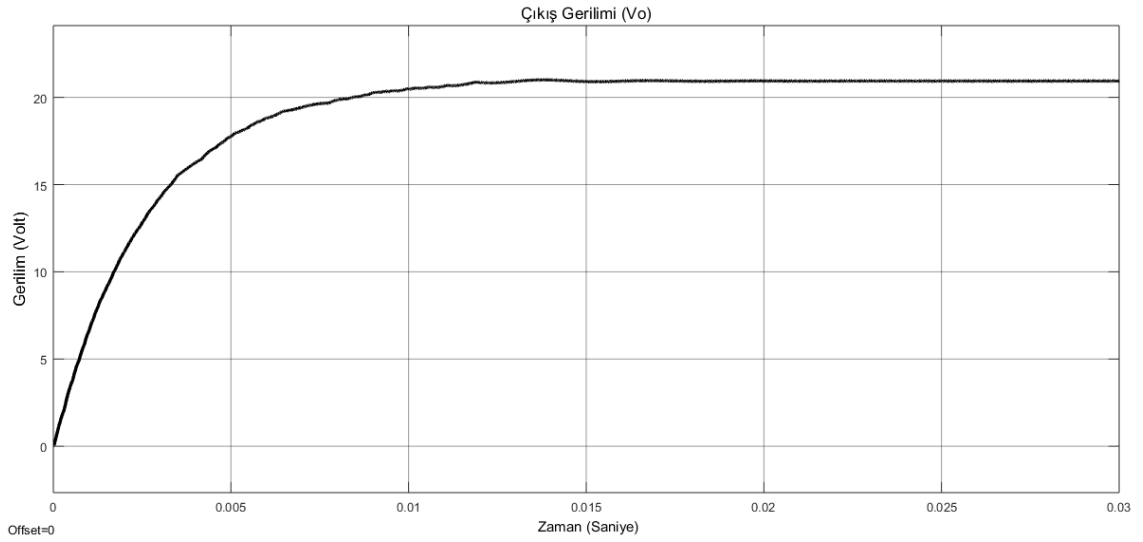
Şekil 4.52. Deney 26 bobin akımı.

4.1.27. Deney 27 ve Elde Edilen Sonuçlar

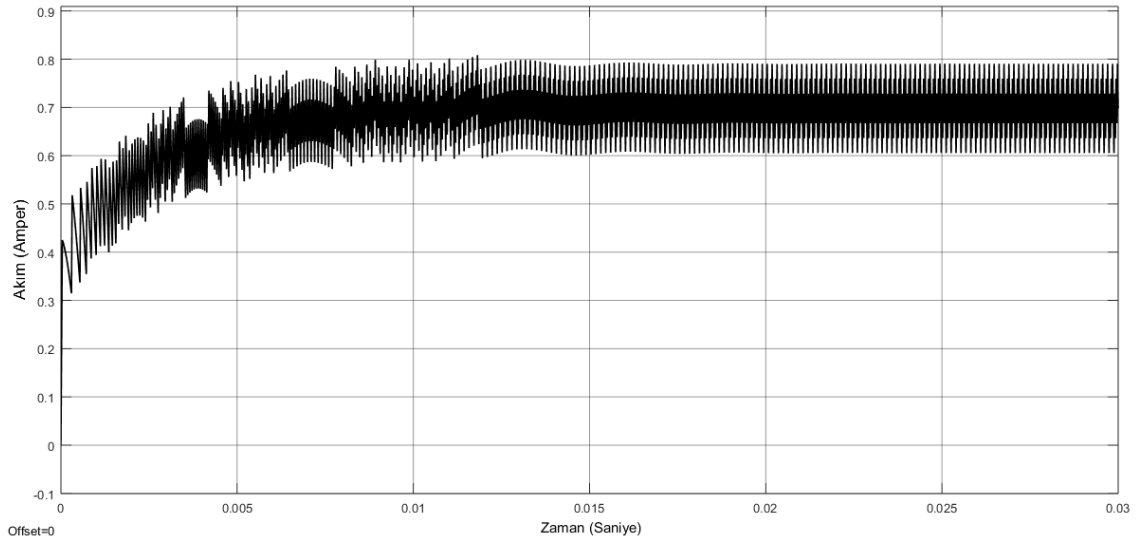
Deney 26 uygulaması sonrasında endüktans değeri 4.7 mH yapılmış ve diğer değişkenler sabit tutularak yeni veriler elde edilmiştir. Yapılan değişikliğin neticesinde akım grafiğindeki salınımın genliğinde azalma olmuştur. Ayrıca endüktans değeri arttığı için bobinin üzerinde tutabildiği akım kapasitesi artmış bunun sonucunda düşürücü tip DC-DC dönüştürücü ikinci modda yük kısmına daha uzun süre akım beslemesi yapabilmektedir. Deşarj sürelerinin artması ile de akım grafiğindeki salınımlar azalarak daha düz bir grafik elde edilmiştir.

Çizelge 4.27. Deney 27 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	4.7m	Henry
	C	47u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.53. Deney 27 çıkış gerilimi.



Şekil 4.54. Deney 27 bobin akımı.

4.1.28. Deney 28 ve Elde Edilen Sonuçlar

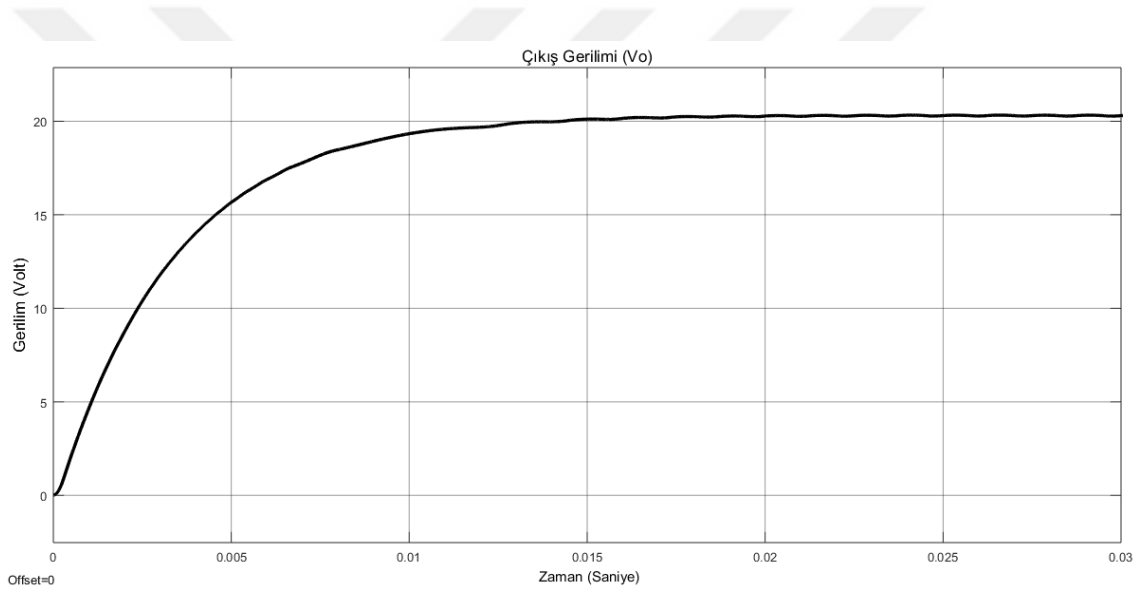
Deney 27 uygulaması sonrasında sadece endüktans değeri 47 mH olarak değiştirilmiştir. Bu değişim sonrasında çıkış gerilimi istenilen değere yaklaşmış ve akım grafiğindeki salınımlar bir hayli azalmıştır.

Çizelge 4.28. Deney 28 değişkenleri.

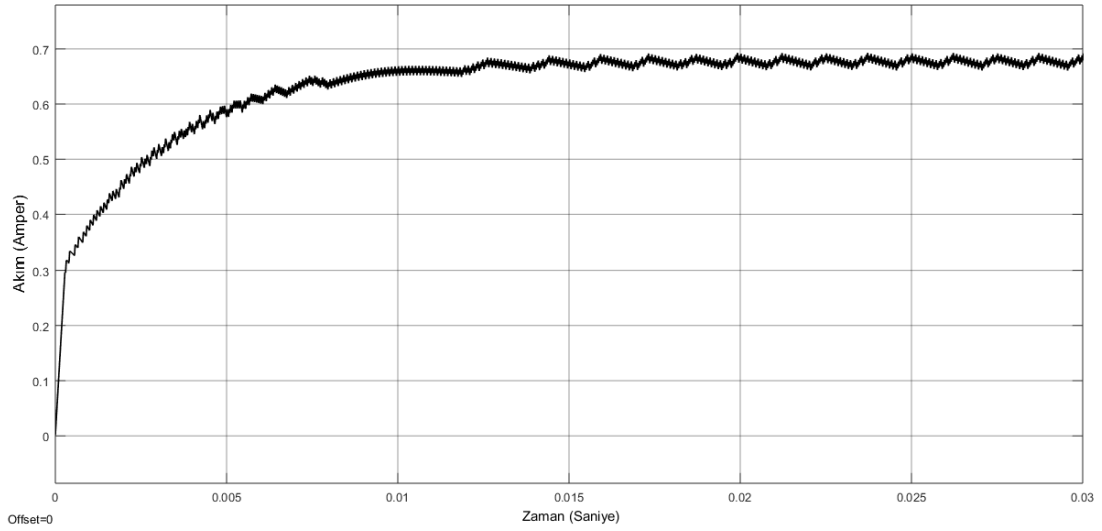
Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	47u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt

Çizelge 4.28. Deney 28 değişkenleri. (Devam.)

	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüküğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.55. Deney 28 çıkış gerilimi.



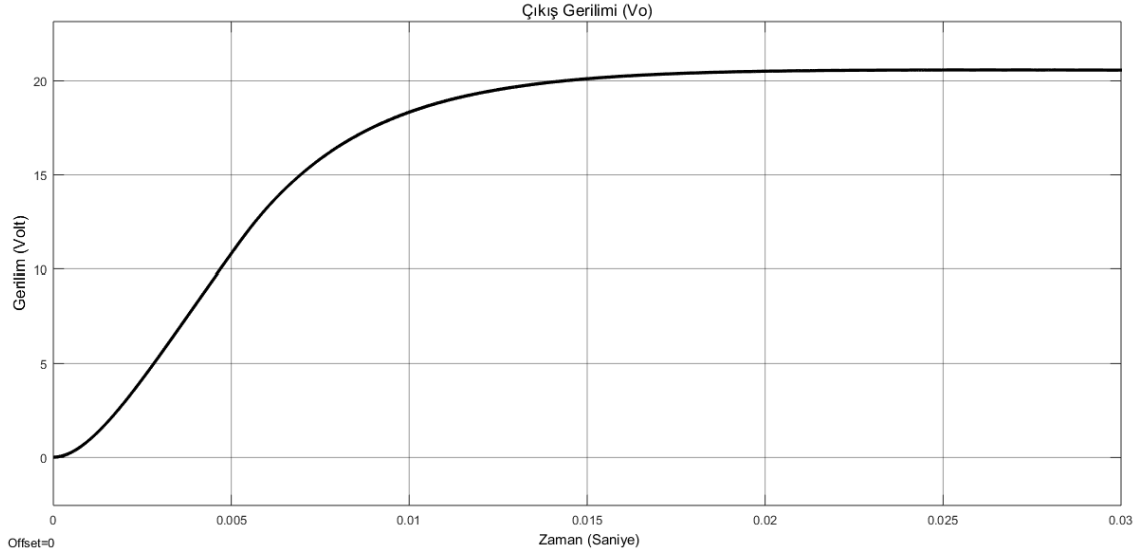
Şekil 4.56. Deney 28 bobin akımı.

4.1.29. Deney 29 ve Elde Edilen Sonuçlar

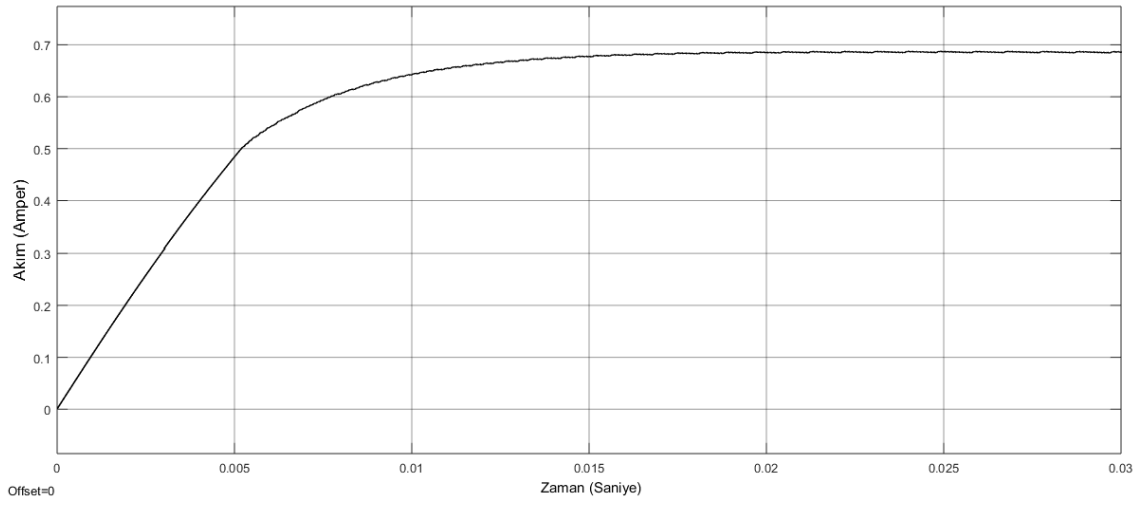
Deney 28 uygulaması sonrasında sadece endüktans değeri 470 mH olarak değiştirilmiştir. Bu değişim sonrasında çıkış gerilimi istenilen değere daha fazla yaklaşmış, özellikle bir önceki deneyde 15 ms bölgesinden sonra gözlemlenen gerilim salınımlarının azaldığı gözlemlenmiş ve akım grafiğindeki salınımların yok denecek kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Deneye ait akım grafiği incelendiğinde ise yaklaşık 20 ms bölgelerinden itibaren akımın sabit bir eğriye oturduğu ve doğrusal görünümünü bozmadığı tecrübe edilmiştir.

Çizelge 4.29. Deney 29 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	470m	Henry
	C	47u	Farad
	R	30	Ohm
	V _{in}	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.57. Deney 29 çıkış gerilimi.



Şekil 4.58. Deney 29 bobin akımı.

4.1.30. Deney 30 ve Elde Edilen Sonuçlar

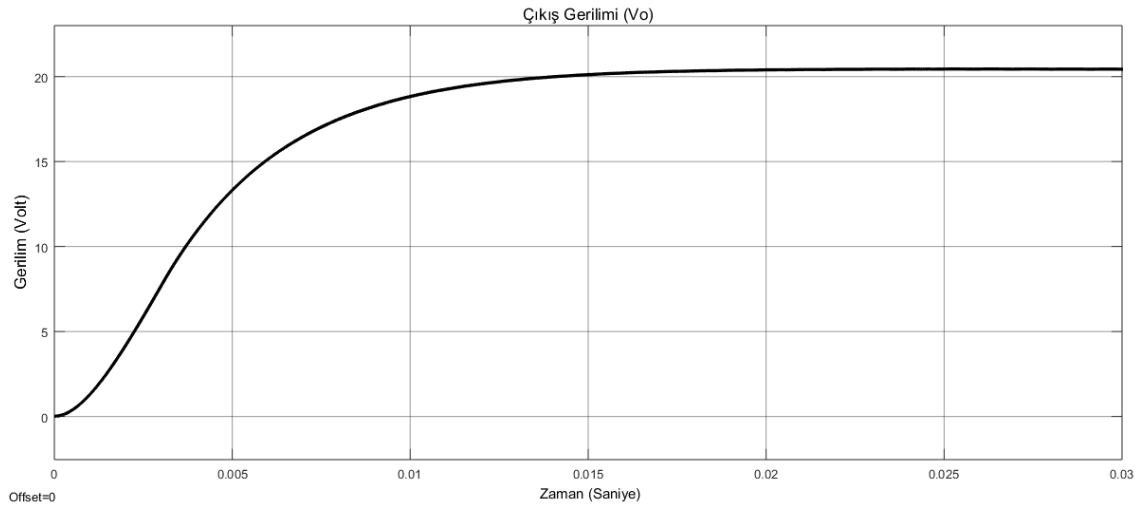
Deney 29 uygulaması sonrasında sadece endüktans değeri 330 mH olarak değiştirilmiştir. Yapılan değişim sonucunda önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.30. Deney 30 değişkenleri.

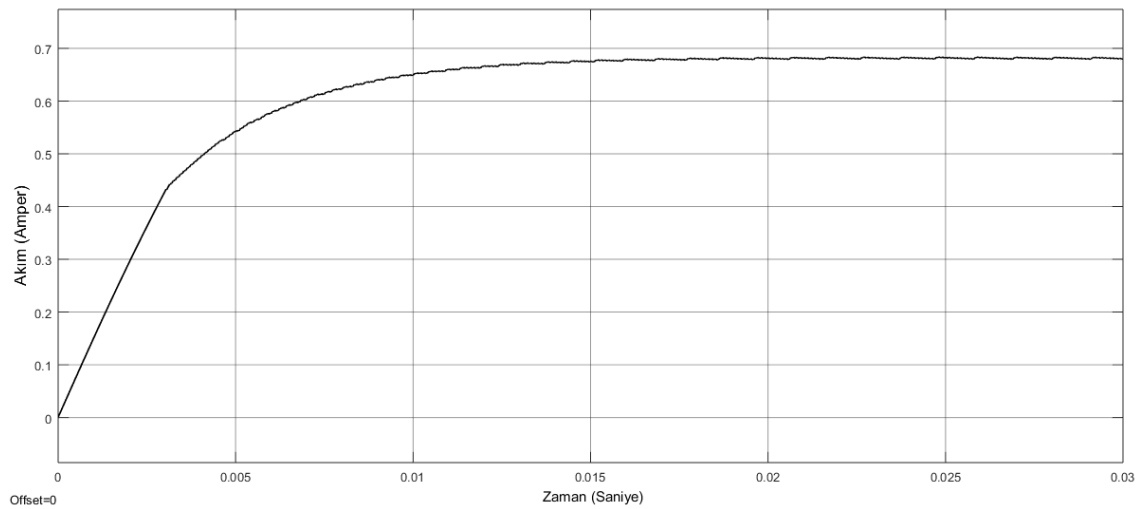
Devre Elemanları	L	330m	Henry
	C	47u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt

Çizelge 4.30. Deney 30 değişkenleri. (Devam.)

	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.59. Deney 30 çıkış gerilimi.



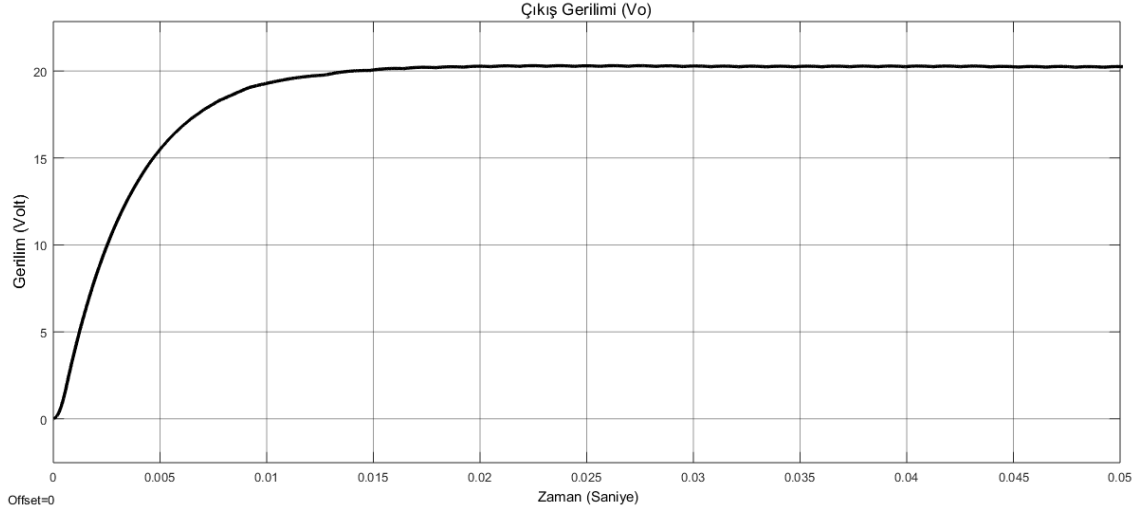
Şekil 4.60. Deney 30 bobin akımı.

4.1.31. Deney 31 ve Elde Edilen Sonuçlar

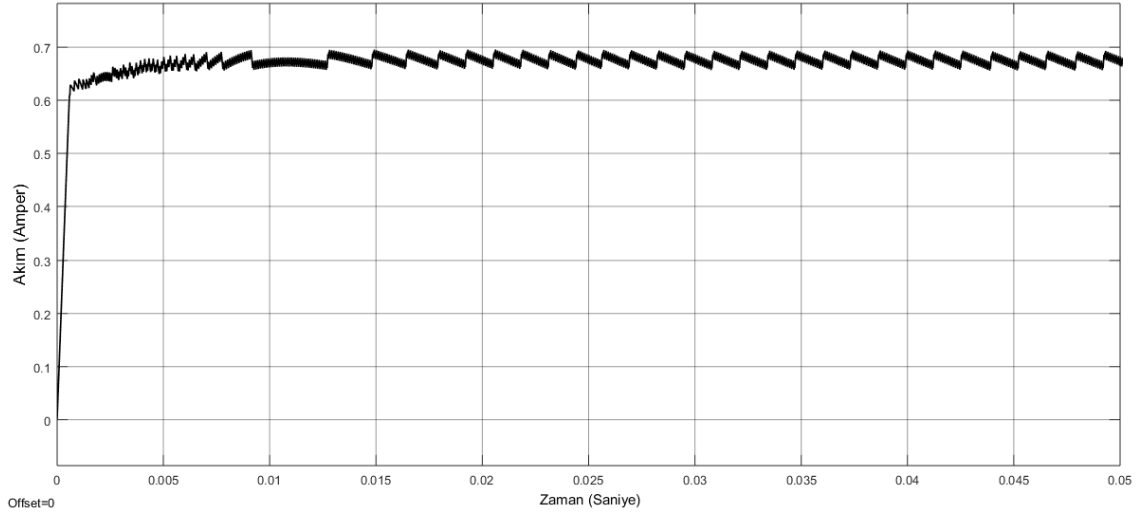
Deney 30 uygulaması sonrasında endüktans değeri 47 mH, kondansatör değeri ise 100 μ F olarak değiştirilmiştir. Yapılan değişim sonucunda gerilim grafiğinin istenilen değere yaklaşık 13 ms gibi bir zamanda ulaştığı, grafik değerinin doğrusal grafiğe çok yaklaştığı ve çıkışta elde etmek istediğimiz 20 volt değerinin yakalandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca akım grafiği incelendiğinde akımın 1 ms gibi bir sürede en üst değere çok yaklaştığı, akımın salınımlı da olsa 5 ms sonra doğrusal bir yol izlediği görülmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırılmak için çıkış direncinin değerini düşürürsek bobinden daha az akım çekeriz, dolayısı ile şarj edilen enerjinin tüketilmesi daha uzun zamana yayılır ve sonuç olarak bobin akım grafiğimiz doğrusala daha yakın bir hal alır. Tüm bunlara ek olarak uygulama frekanslarını da artırdığımızda doğrusal grafiklere daha fazla yaklaşmış oluruz.

Çizelge 4.31. Deney 31 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	30	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	20	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	20e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.61. Deney 31 çıkış gerilimi.



Şekil 4.62. Deney 31 bobin akımı.

4.1.32. Deney 32 ve Elde Edilen Sonuçlar

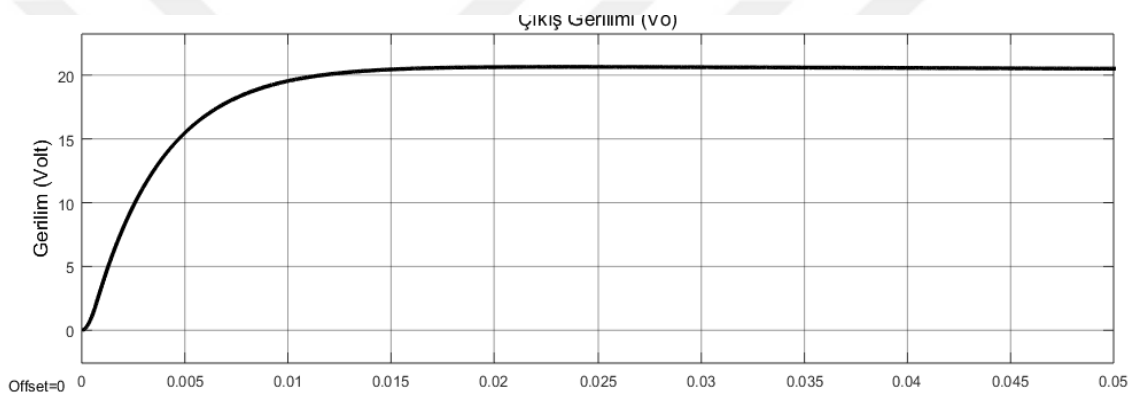
Deney 31 uygulaması sonrasında direnç değeri 10 ohm, PWM frekansı 50 kHz ve Maks. adım büyüklüğü de 50 μ s olarak değiştirilmiştir. Yapılan değişim sonucunda hem akım hem de gerilim grafiklerinde ciddi bir düzelme görülmüştür.

Çizelge 4.32. Deney 32 değişkenleri.

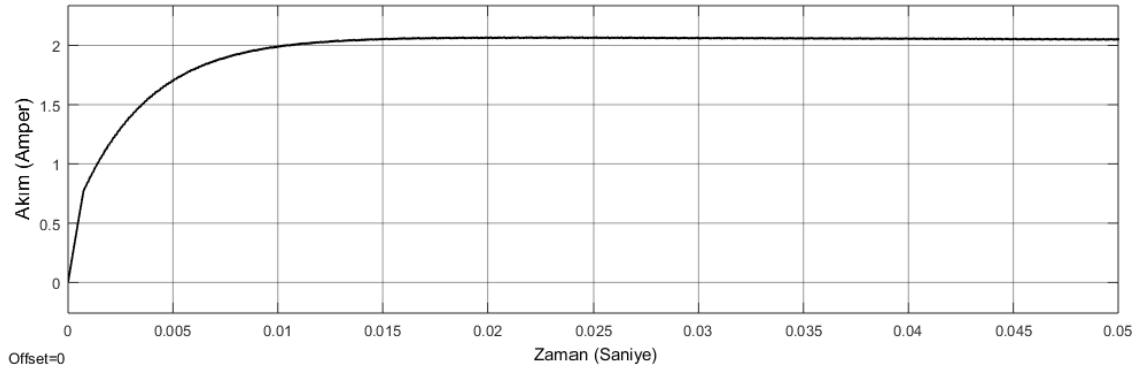
Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt

Çizelge 4.32. Deney 32 değişkenleri. (Devam.)

	PWM Frekansı	50	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.63. Deney 32 çıkış gerilimi.



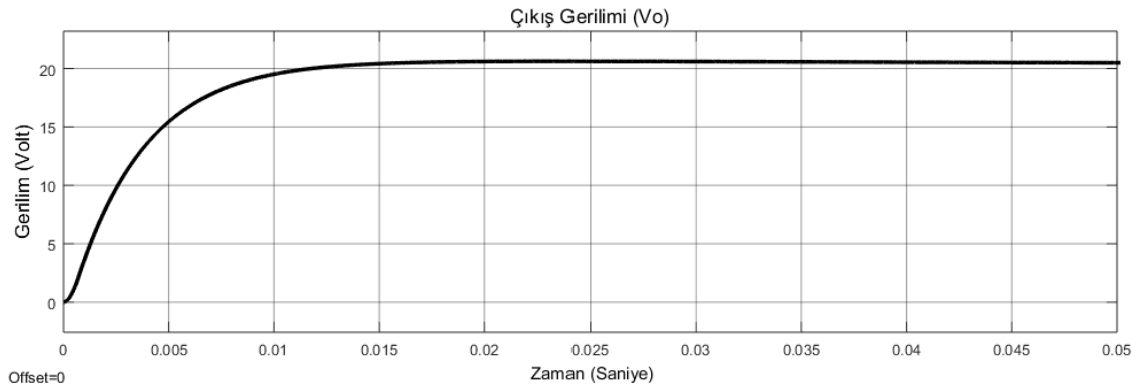
Şekil 4.64. Deney 32 bobin akımı.

4.1.33. Deney 33 ve Elde Edilen Sonuçlar

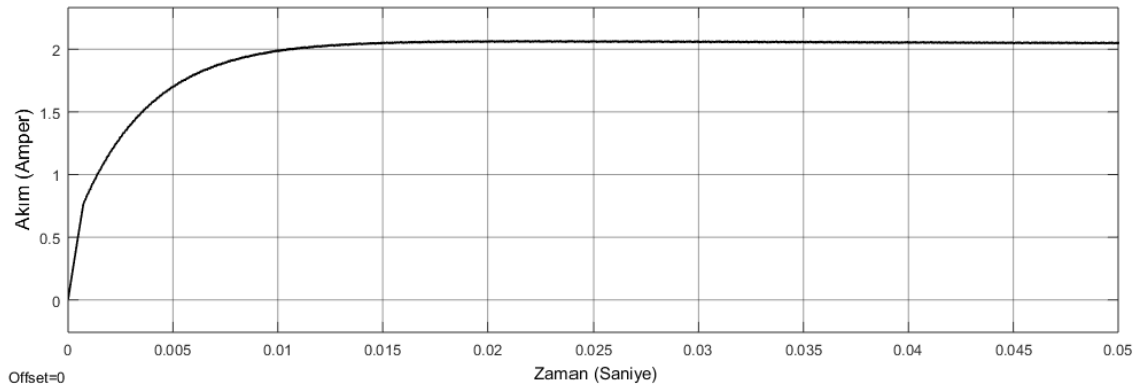
Deney 32 uygulaması sonrasında direnç değeri 10 ohm, PWM frekansı 50 kHz ve Maks. adım büyüklüğü de 50 μ s olarak değiştirilmiştir. Yapılan değişim sonucunda hem akım hem de gerilim grafiklerinde ciddi bir düzelme görülmüştür.

Çizelge 4.33. Deney 33 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	1	
	(I) Integral	10	
	(D) Derivative	0.0033	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.65. Deney 33 çıkış gerilimi.



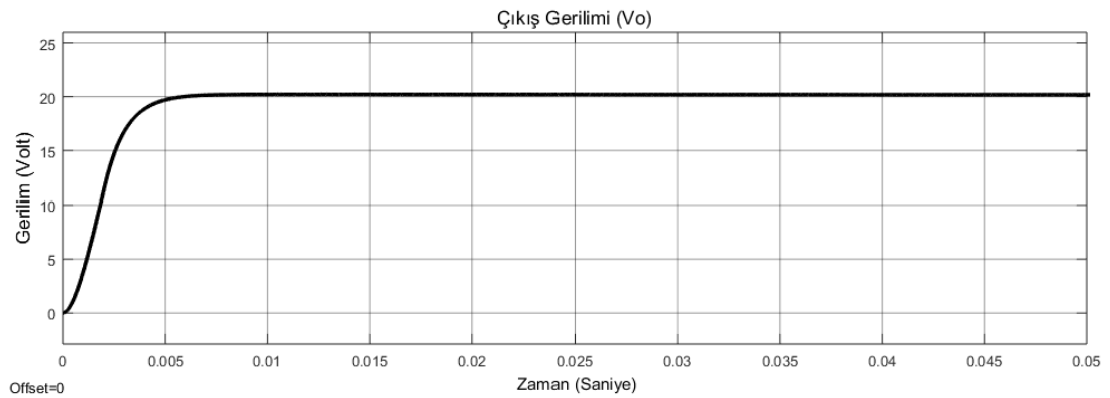
Şekil 4.66. Deney 33 bobin akımı.

4.1.34. Deney 34 ve Elde Edilen Sonuçlar

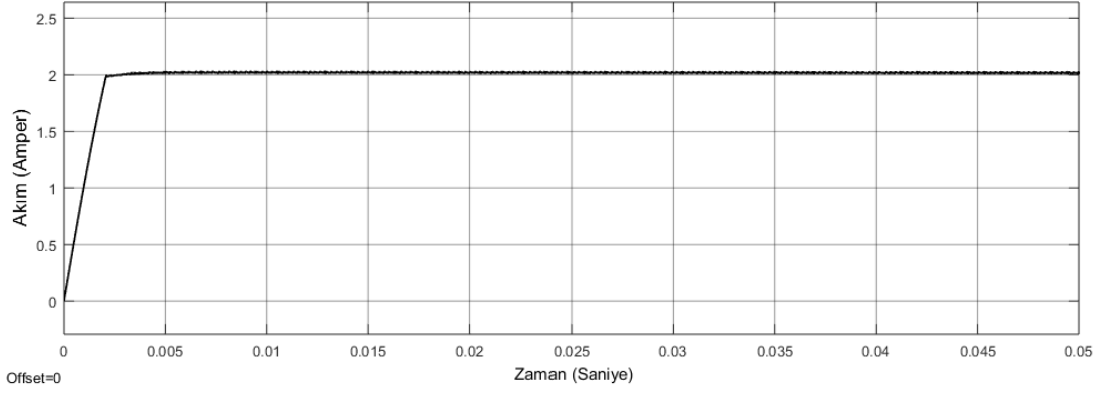
Deney 33 uygulaması sonrasında kontrol parametrelerinden P, I ve D katsayıları düzenlenerek daha düzgün bir veri elde edilmesi hedeflenmiştir. P, I ve D katsayıları daha önce belirttiğimiz yöntemler ve yaklaşım metodu ile yeniden belirlenmiştir. Yapılan değişim sonucunda hem akım hem de gerilim grafiklerinde bir önceki deneye göre ciddi bir düzelme görülmüştür.

Çizelge 4.34. Deney 34 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	2.147e+6	



Şekil 4.67. Deney 34 çıkış gerilimi.



Şekil 4.68. Deney 34 bobin akımı.

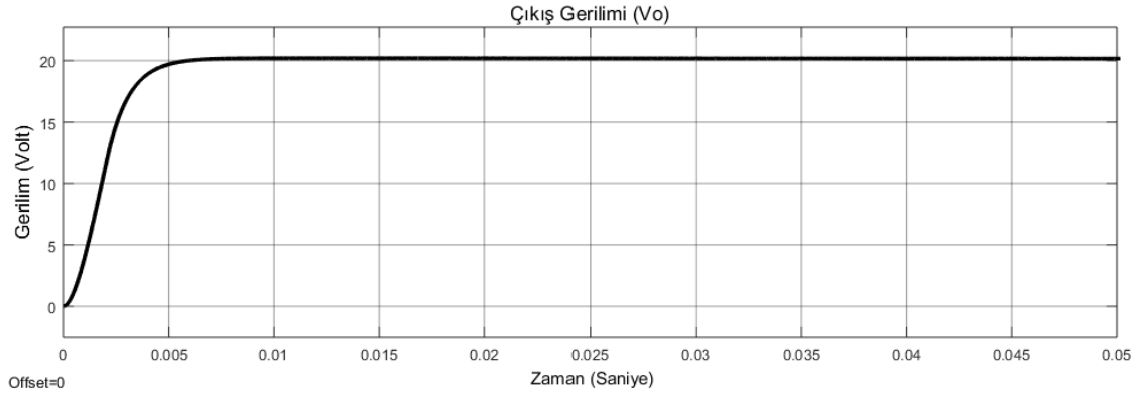
4.1.35. Deney 35 ve Elde Edilen Sonuçlar

Deney 34 uygulaması sonrasında kontrol parametrelerinden N değeri değiştirilmiştir. Yapılan değişim sonucunda hem akım hem de gerilim grafiklerinde bir önceki deneye göre ciddi bir düzelme görülmüştür. Bu deneyde solver olarak ode23tb (stiff/TR-BDF2) tercih edilmiştir. Ode23tb, iki aşamalı örtük bir Runge-Kutta formülü olan TR-BDF2'nin bir uygulamasıdır. İlk aşama bir trapez kural basamağıdır, ikinci aşama ise 2. sıra için geriye doğru bir farklılaşma formülü kullanır. Yapım yoluyla, yöntem her iki aşamayı değerlendirmede aynı yineleme matrisini kullanır. Ode23'ler gibi, bu çözücü de ham toleranslarda ode15'lerden daha verimli olabilir [34].

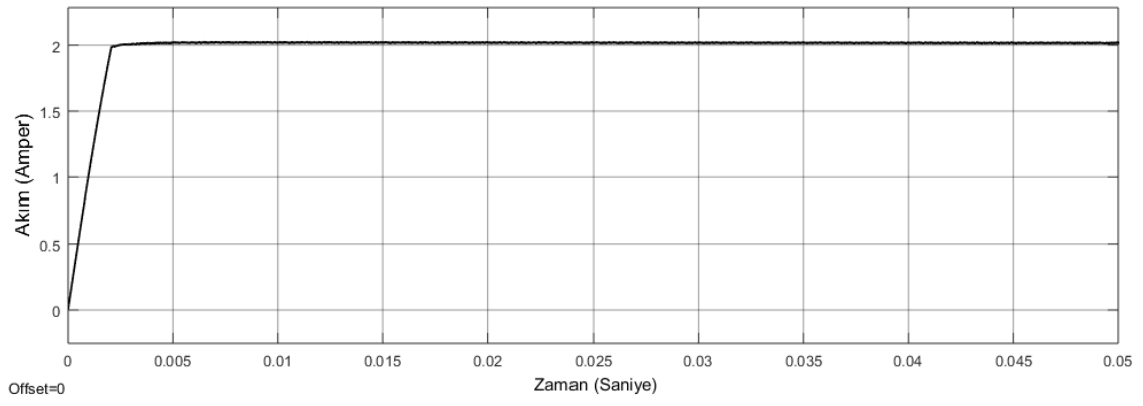
Şu ana kadar yapılan deneyler sonucunda bu deney ile elde edilen verilerin kullanım için en uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.35. Deney 35 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	auto (ode23tb)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	5.271e+5	



Şekil 4.69. Deney 35 çıkış gerilimi.



Şekil 4.70. Deney 35 bobin akımı.

4.1.36. Deney 36 ve Elde Edilen Sonuçlar

Referans deney olarak kabul ettiğimiz deney 35 uygulamasının solver değişkeni olarak ode45(Dormand-Prince) seçilerek baz deney ile karşılaştırılmıştır.

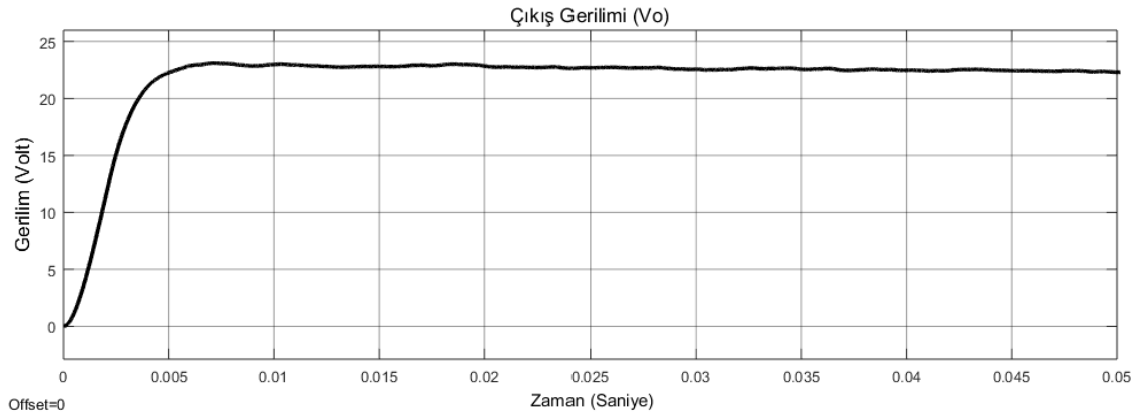
Yapılan analiz sonucunda ode45 ile elde edilen sonuçlarda akım ve gerilim grafiklerinde dalgalanma olduğu görülmektedir. Ode45 yöntemi dördüncü dereceden yaklaşık hata tahmini yapan beşinci dereceden denklem sistemidir. Bu yöntem Runge-Kutta yöntemi olarak anılmaktadır [34], [35].

Çizelge 4.36. Deney 36 değişkenleri.

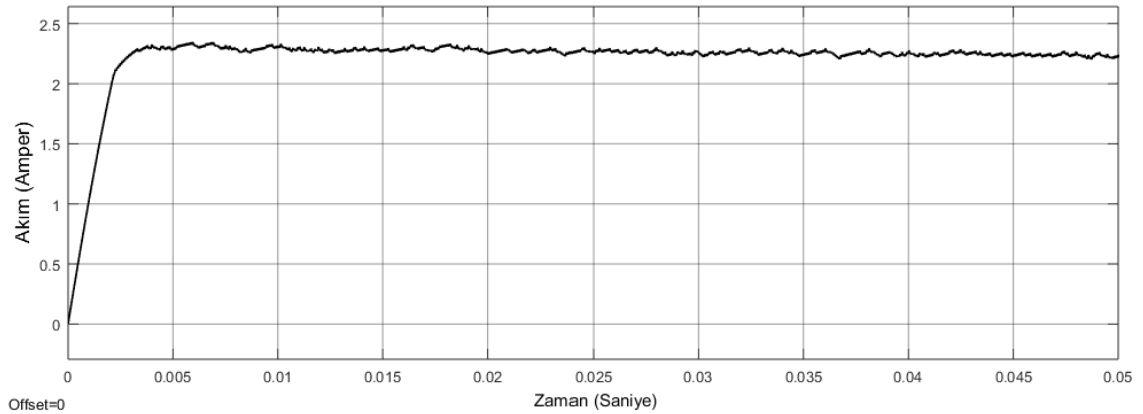
Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)

Çizelge 4.36. Deney 36 değişkenleri. (Devam.)

Kontrol Parametreleri	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	Ode45 (Dormand-Prince)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	5.271e+5	



Şekil 4.71. Deney 36 çıkış gerilimi.



Şekil 4.72. Deney 36 bobin akımı.

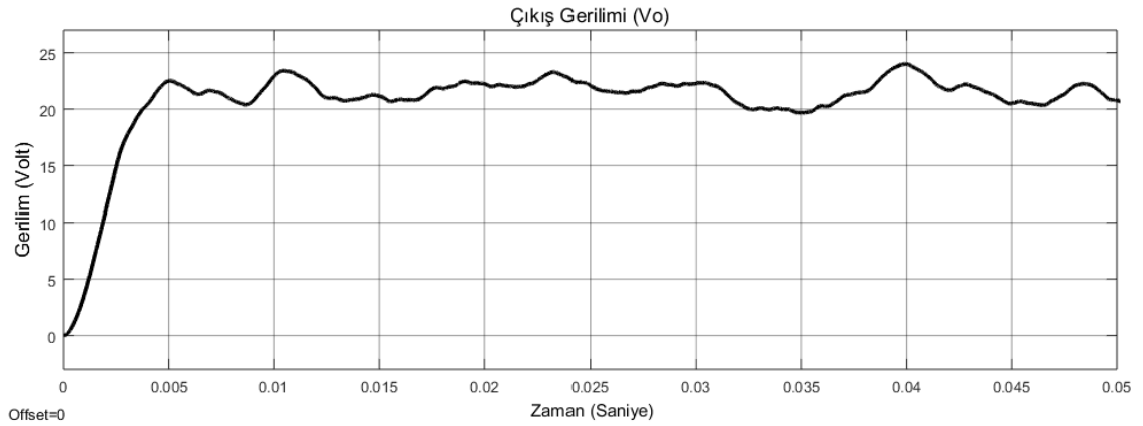
4.1.37. Deney 37 ve Elde Edilen Sonuçlar

Referans deney olarak kabul ettiğimiz deney 35 uygulamasının solver değişkeni olarak ode23(Bogacki-Shampine) seçilerek baz deney ile karşılaştırılmıştır.

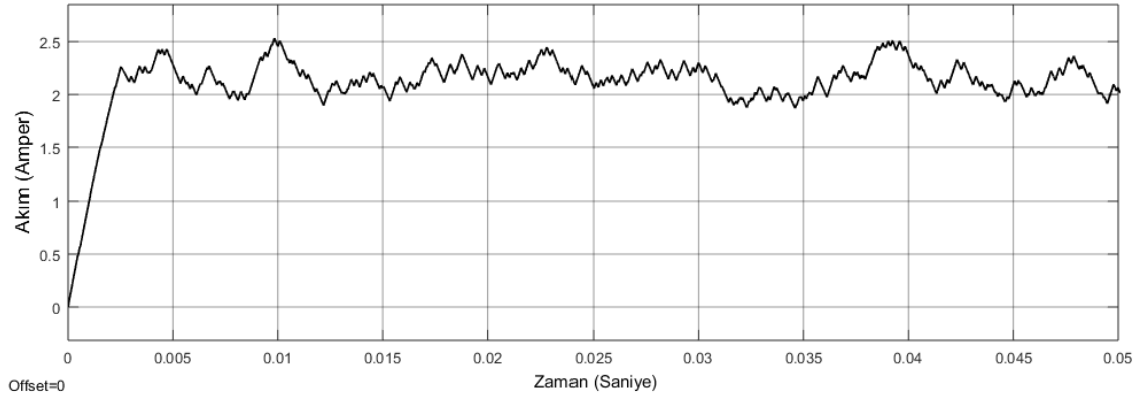
Yapılan analiz sonucunda ode23 ile elde edilen sonuçlarda akım ve gerilim grafiklerinde dalgalanma olduğu görülmektedir. Ode23 yöntemi ham hata toleranslarına sahiptir [34], [35].

Çizelge 4.37. Deney 37 değişkenleri.

Devre	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	ode23	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	5.271e+5	



Şekil 4.73. Deney 37 çıkış gerilimi.



Şekil 4.74. Deney 37 bobin akımı.

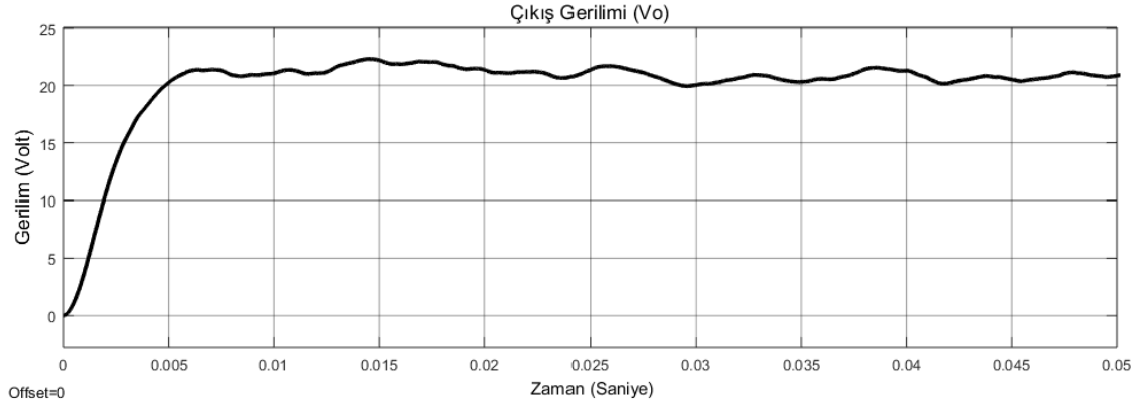
4.1.38. Deney 38 ve Elde Edilen Sonuçlar

Referans deney olarak kabul ettiğimiz deney 35 uygulamasının solver değişkeni olarak ode113(Adams) seçilerek baz deney ile karşılaştırılmıştır.

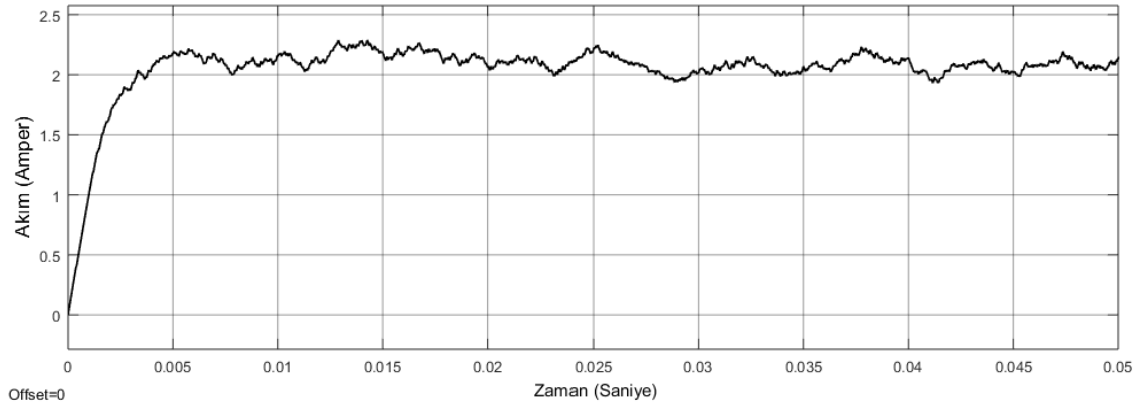
Yapılan analiz sonucunda ode113 ile elde edilen sonuçlarda akım ve gerilim grafiklerinde dalgalanma olduğu görülmektedir. Ode23 yöntemi ode45'den daha sıkı hata toleranslarına sahiptir [34], [35].

Çizelge 4.38. Deney 38 değişkenleri.

Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	V _{in}	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
Kontrol Parametreleri	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	ode113	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	5.271e+5	



Şekil 4.75. Deney 38 çıkış gerilimi.



Şekil 4.76. Deney 38 bobin akımı.

4.1.39. Deney 39 ve Elde Edilen Sonuçlar

Referans deney olarak kabul ettiğimiz deney 35 uygulamasının solver değişkeni olarak ode15s(stiff/NDF) seçilerek baz deney ile karşılaştırılmıştır.

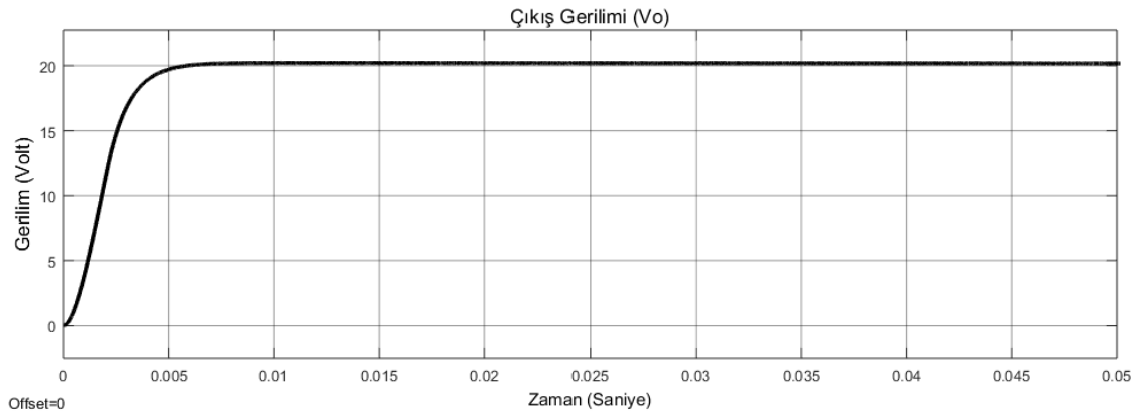
Yapılan analiz sonucunda ode15s ile elde edilen sonuçlarda akım ve gerilim grafiklerinde dalgalanma olmadığı görülmektedir. Ode15s, sayısal farklılaşma formüllerine (NDF) dayanan değişken sıralı bir çözücüdür. Ode15'ler çözücü sayısal olarak Jacobian matrisleri oluşturur [34], [35].

Çizelge 4.39. Deney 39 değişkenleri.

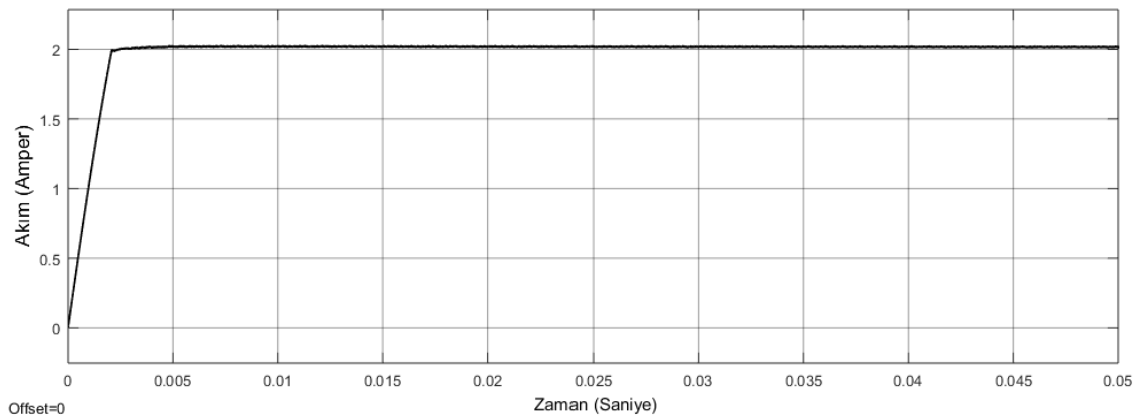
Devre Elemanları	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt

Çizelge 4.39. Deney 39 değişkenleri. (Devam.)

	PWM Frekansı	50	(kHz)
	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	ode15s(stiff/NDF)	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
Kontrol Parametreleri	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	5.271e+5	



Şekil 4.77. Deney 39 çıkış gerilimi.



Şekil 4.78. Deney 39 bobin akımı.

4.1.40. Deney 40 ve Elde Edilen Sonuçlar

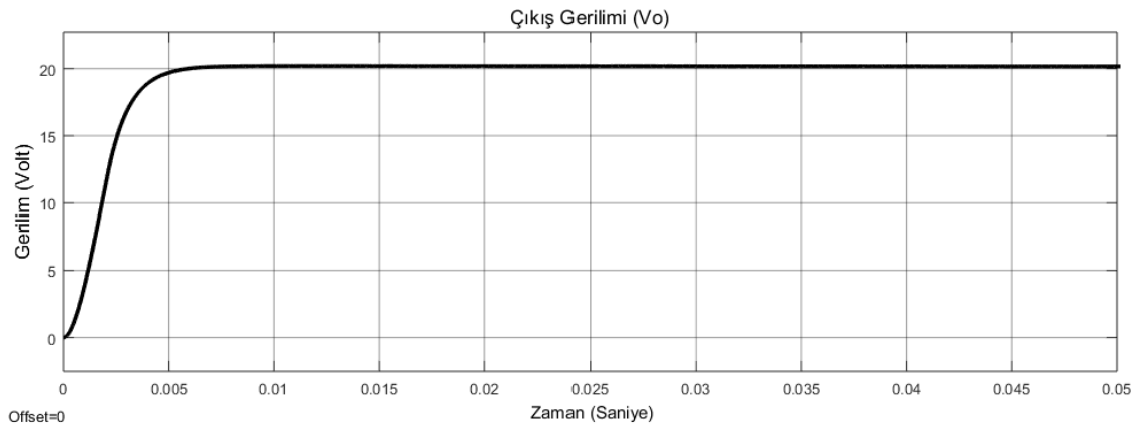
Referans deney olarak kabul ettiğimiz deney 35 uygulamasının solver değişkeni olarak

ode23s(stiff/Mod. Rosenbrock) seçilerek baz deney ile karşılaştırılmıştır.

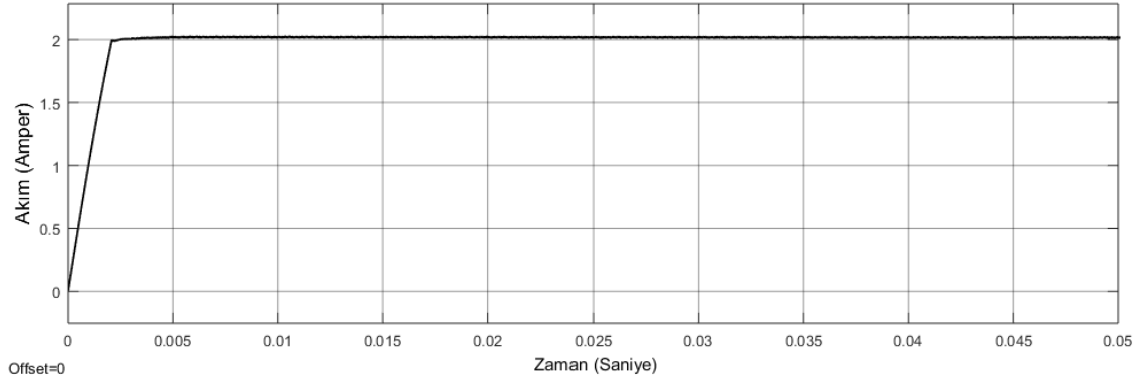
Yapılan analiz sonucunda ode23s ile elde edilen sonuçlarda akım ve gerilim grafiklerinde dalgalanma olmadığı görülmektedir. Ode23s, 2. sırada değiştirilmiş bir Rosenbrock formülüne dayanmaktadır. Tek adımlı bir çözücü olduğu için, ham toleranslarda ode15'lerden daha verimli olabilir [34] [35].

Çizelge 4.40. Deney 40 değişkenleri.

Devre	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
Kontrol	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	ode23s	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	5.271e+5	



Şekil 4.79. Deney 40 çıkış gerilimi.



Şekil 4.80. Deney 40 bobin akımı.

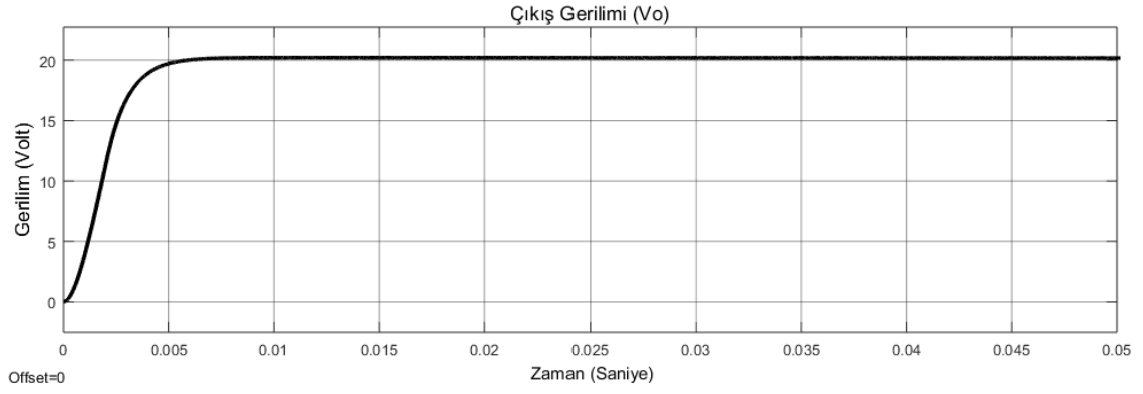
4.1.41. Deney 41 ve Elde Edilen Sonuçlar

Referans deney olarak kabul ettiğimiz deney 35 uygulamasının solver değişkeni olarak ode23t(Mod. Stiff / Trapezoidal) seçilerek baz deney ile karşılaştırılmıştır.

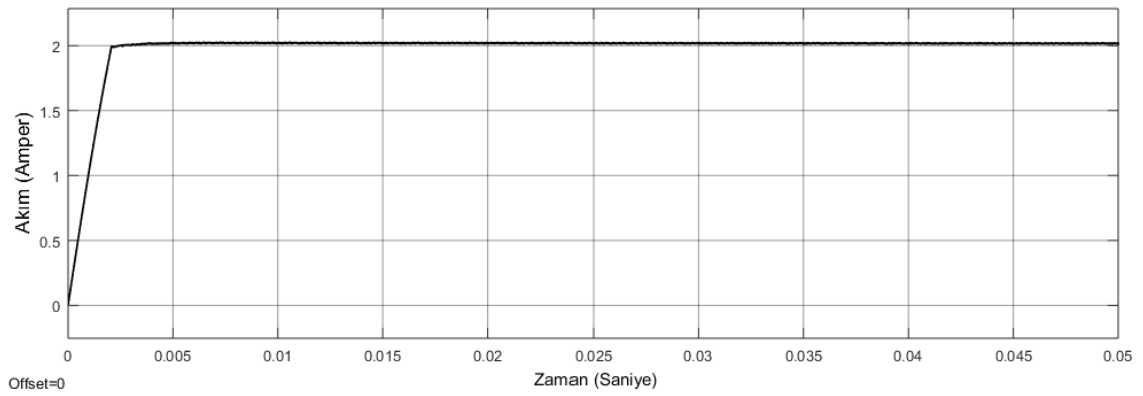
Yapılan analiz sonucunda ode23t ile elde edilen sonuçlarda akım ve gerilim grafiklerinde dalgalanma olmadığı görülmektedir. Ode23t çözücü bir serbest enterpolant kullanarak trapezoid kuralın bir uygulamasıdır [34] [35].

Çizelge 4.41. Deney 41 değişkenleri.

Devre	L	47m	Henry
	C	100u	Farad
	R	10	Ohm
	Vin	50	Volt
	PWM Frekansı	50	(kHz)
Kontrol	Solver Tipi	Variable-step	
	Solver	ode23t	
	Maks. Adım Büyüklüğü	50e-6	Saniye
	Zaman Alanı	Sürekli	
	(P) Proportional	0.4161	
	(I) Integral	5	
	(D) Derivative	0.00104	
	(N) Filter Coefficient	5.271e+5	



Şekil 4.81. Deney 41 çıkış gerilimi.



Şekil 4.82. Deney 41 bobin akımı.

4.2. SİMÜLASYON İLE YAPILAN DENEYLERİN GENEL YORUMU

Yapmış olduğumuz 41 adet deney sonucunda optimum bazı sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamacılarımız yapacakları çalışmalarda ihtiyaçlarına göre 41 deney arasından kullanacakları dönüştürücü değişkenlerini belirleyebilirler.

Buna göre uygulamacılarımızın ihtiyacı olan dönüştürücüde gerilim sinyalinin doyum anında geçene süre (15 ms) ve akım grafiğindeki 100 – 200 mA salınımlar bir sorun teşkil etmeyecek ise daha ekonomik çözüm olan Deney 27 ve Elde Edilen Sonuçlar kısmındaki uygulama tercih edilebilir. Tasarlanması düşünülen devrede hem hızlı doyum hem de kusursuz bir akım gerilim grafiği talep ediliyor ise Deney 35 ve Elde Edilen Sonuçlar başlığı altındaki değişkenler kullanılarak dönüştürücüyü tasarlamak mümkün olacaktır. Bu şekildeki değerlendirme ile uygulamacı kendi için optimum devreyi seçebilir ya da aynı simülasyon devresi üzerinden yeni değişkenler ile farklı uygulama gerçekleştirebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen 41 adet farklı deney uygulaması sonucunda MATLAB-Simulink uygulaması yardımı ile düşürücü tip DC-DC dönüştürücünün optimize edilmiş PID kontrolü gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda solver olarak Variable-step seçilmiştir. Oluşturulan simülasyon programı yardımı ile düşürücü tip DC-DC dönüştürücü deneyleri konu ile ilgilenen ya da çalışma yapan öğrenciler-araştırmacılar tarafından kolaylıkla gerçekleştirilecektir.

Gerçekleştirilen deneylerden de görüldüğü üzere, uygulamacılar kullandıkları matematiksel denklemlerin tür ve derecelerine göre simülasyondaki değişkenleri değiştirerek geliştirmeyi istedikleri düşürücü tip DC-DC dönüştürücünün bobin akımı, çıkış gerilimini ve bu değerlerin grafiklerine kolay ve hızlı bir şekilde vakıf olacaklardır. Böylelikle bu alanda kendilerini geliştirmek isteyen uygulamacılar uygulama devrelerinde kullanılacak olan kondansatör, bobin değerlerini kolaylıkla elde edebileceklerdir.

Bilindiği üzere bazı devre elemanlarının ülkemizde temini ya çok pahalı olmaktadır ya da temini çok uzun zaman almaktadır (Örneğin yüksek akım değerine sahip çeşitli değerlerdeki bobin ya da yük dirençleri.). Bu çalışma sayesinde uygulamacılar değişkenler üzerinde yaptıkları çeşitli kombinasyonlar ile kendileri için optimum devreyi tasarlama şansı elde edeceklerdir. Ayrıca gerek görülmesi halinde deneysel uygulama yapacak olan uygulamacılar halihazırda sahip oldukları devre elemanlarının değerlerini ve kullanmak istedikleri PWM sinyali kriterlerini simülasyona girdiklerinde nasıl bir sonuç elde edeceklerini de kolaylıkla tecrübe edebileceklerdir.

Bu araştırmanın bir sonraki adımı bu devrelerin yoğunlukla kullanıldığı otomotiv sektöründe talep edilen elektromanyetik uyumluluklarının incelenmesi olmalıdır.

Tüm bu sonuçlar neticesinde bu araştırmaya başlarken hedeflediğimiz sonuçları elde ettiğimizi görmek memnuniyet vericidir. Çalışmamın topoloji ile ilgilenen tüm öğrenci ve araştırmacılara faydalı olmasını dilerim.

6. KAYNAKLAR

- [1] H. Bodur, *Güç Elektroniği*, 3. baskı. İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2014. ss.179-248.
- [2] M. Pollak, *Handbook of Energy Harvesting Power Supplies and Applications*, 1st ed. Florida, USA: CRC Press, 2015, pp. 295-347.
- [3] D. W. Hart, *Power Electronics*, 1st ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2010, pp.196-264.
- [4] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, 3rd ed. Florida, USA: Elsevier, 2007, pp. 249-263.
- [5] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics*, 2nd ed. New York, USA: John Wiley & Sons INC, 1995, pp.161-199.
- [6] A. Dogra and K. Pal, “Design of Buck-Boost Converter for Constant Voltage Applications and Its Transient Response Due To Parametric Variation of PI Controller”, *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol 3, issue 6, pp. 13579-13588, 2014.
- [7] Ö. Özdemir ve İ. Yazıcı, “Ayrık Zaman KKK, LQR ve PID Kontrolör Performanslarının Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü Üzerinde Kıyaslanması”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 1, ss. 8-15, 2018.
- [8] A. Emadi, *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, 1st ed. Florida, USA: Taylor & Francis, 2005, pp. 231-244.
- [9] E. Cebeci ve Y. Yaşa, “Pratik Tasarım Metodlarıyla Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücünün Geliştirilmesi”, *TMMOB EMO Bilimsel Dergi*, ss. 691-695.
- [10] H. Guldemir, “Study of Sliding Mode Control of DC-DC Buck Converter”, *Energy Power Eng.*, vol 3, issue 4, pp. 401-406, 2011.
- [11] . H. Guldemir, “Sliding Mode Control of Dc-Dc Boost Converter”, *J. Appl. Sci.*, vol 5, issue 3, pp. 588-592, 2005.
- [12] M. Hong-bo and F. Quan-yuan, “Optimized PID Controller Design for Buck DC-DC Switching Converters”, *Sch. Inf. Sci. Technol. Jiaotong Univ.*, vol 12, issue 6,

pp. 640-643, 2008.

- [13] J. Cortés, V. Šviković, P. Alou, J. A. Oliver, ve J. A. Cobos, “Comparison of the behavior of voltage mode, V2 and V2Ic control of a buck converter for a very fast and robust dynamic response”, içinde *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, 2014, pp.2888-2894.
- [14] Ö. Özdemir, “Sürekli Akım Modunda Çalışan Alçaltıcı Tip DA-DA Dönüştürücülerin Gerilim Kontrolü”, Sakarya Üniversitesi, 2018.
- [15] Y. Shen, Z. Qin, and H. Wang, *Control of Power Electronics and Systems*, 1st ed. Massachusetts, USA: Academic Press, 2018, pp. 69-92.
- [16] Y. Şahin, İ. Aksoy, ve N. S. Tinç, “DC- DC Dönüştürücülerde Kullanılan Yumuşak Anahtarlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması The Comparison of Methods Used in Soft Switching DC-DC Converters”, *Elektr. – Elektron. – Bilgi. ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (Eleco 2014)*, 2014, pp.235-238.
- [17] A. Irmak, “DA/DA Dönüştürücüler İçin Sezgisel Tabanlı PI, PD ve PID Denetleyicili Bilgisayar Arayüzü Programının Gerçekleştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi, Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 2013.
- [18] E. Erdoğan, “Dijital Kontrollü Çok Fazlı Senkronize DC-DC Alçaltıcı Çevirici Tasarımı”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [19] C. P. Basso, “INTRODUCTION TO POWER CONVERSION”, 2nd ed, New York: McGraw-Hill Education, 2014, pp. 5-199.
- [20] P. D. Surya Santoso and H. W. Beaty, “DC TO DC CONVERTERS”, 27th editi., New York: McGraw-Hill Education, 2018, pp. 23-212.
- [21] D. Christiansen, C. K. Alexander, and R. K. Jurgen, “Power Electronics”, 5th ed., New York: McGraw-Hill Education, 2005, pp. 45-298.
- [22] F. Bakan, Geri Dönüştürücü Güç Kaynaklarının Tasarımı, *Ders Notları*, İstanbul, 2019.
- [23] H. Bodur, Güç Elektroniği, *Ders Notları*, İstanbul, 2010.
- [24] R. W. Erickson ve D. Maksimović, *Fundamentals of Power Electronics*. 2001.
- [25] E. Çengelci, “Anahtarlama DC-DC Güç Dönüştürücü Tasarımı (web)”.
- [26] P. Prabhu, “A High Gain DC-DC Full-Bridge Converter”, Western University, 2018.

- [27] S. Y. Ou, H. P. Hsiao, and C. H. Tien, “Analysis and design of a prototype single-stage half-bridge power converter”, içinde *Proceedings of the 2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2010*, 2010.
- [28] M. Galek and G. Mondal, “Modular DC/DC converter with improved efficiency for electric vehicles applications”, içinde *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, 2014.
- [29] N. Coruh, S. Urgun, T. Erfidan, and S. Ozturk, “A simple and efficient implementation of interleaved boost converter”, içinde *Proceedings of the 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2011*, 2011.
- [30] A. Çalışkan, S. Ünal, ve A. Orhan, “Buck-Boost Dönüştürücü Tasarımı, Modellemesi ve Kontrolü”, *Sci. Eng. J Fırat Univ.*, c. 29, s. 2, ss. 265–268, 2017.
- [31] M. E. Basoglu ve B. Çakir, “Hardware based comparison of buck-boost converter topologies in MPPT systems”, içinde *ELECO 2015 - 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 2016.
- [32] M. S. Shaker ve A. A. Kraidi, “Robust observer-based DC-DC converter control”, *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, c. 31, sayı 3, ss. 238–244, Tem. 2019.
- [33] B. Choi, “Buck Converter”, içinde *Pulsewidth Modulated Dc-to-Dc Power Conversion*, 2013.
- [34] MATLAB & SIMULINK, *Bilgisayar Programı*, 2016.
- [35] Matlab - Help Editörü R2016a, *Bilgisayar Programı*, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail PENBEGÜLLÜ
Doğum Tarihi ve Yeri : Turhal / TOKAT – 16.04.1986
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ismail@endmaksan.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik ve Elektronik Müh.	Doğu Akdeniz Üniversitesi	2012
Ön Lisans	Mekatronik	Uludağ Üniversitesi	2007
Lise	Elektronik	STFA Anadolu Teknik Lisesi	2005