KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

H6-II TİPİ TRANSFORMATÖRSÜZ EVİRİCİNİN REAKTİF GÜÇ ÜRETİM KABİLİYETİNİN FARKLI MODÜLASYON YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi Pelin TÜRKMEN

OCAK 2022
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

H6-II TİPİ TRANSFORMATÖRSÜZ EVİRİCİNİN REAKTİF GÜÇ ÜRETİM KABİLİYETİNİN FARKLI MODÜLASYON YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi Pelin TÜRKMEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
" ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ "
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 / 12 /2021
Tezin Savunma Tarihi : 05 / 01 /2022

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Emre ÖZKOP

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır. "H6-II Tipi Transformatörsüz Eviricinin Reaktif Güç Üretim Kabiliyetinin Farklı Modülasyon Yöntemleri ile İrdelenmesi" adlı çalışmada tek fazlı transformatörsüz evirici topolojileri ve bu topolojilerin reaktif güç üretim yetenekleri irdelenmiştir. Tek fazlı transformatörsüz evirici topolojilerinden biri olan H6-II tipi eviricide reaktif güç üretimi için modülasyon tekniklerinin modellenmesi ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması boyunca gerek konu seçimi ve gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında bilgi ve deneyimlerini bana aktaran, danışman hocam Doç. Dr. Emre ÖZKOP'a ilgi, destek ve tecrübelerini esirgemediğinden dolayı teşekkür ediyorum. Ayrıca tez jüri üyelerim olan Doç. Dr. Onur Özdal MENGİ ve Doç. Dr. Mustafa Şinasi AYAS hocalarıma bu yolculukta yapıcı geri bildirimleri, değerli görüş ve fikirlerini benimle paylaşdıkları ve bilimsel katkıları için özellikle teşekkür ederim. Son olarak hayatım boyunca varlıkları ve destekleriyle bana güç veren ve her zaman yanımda olan anneme, babama ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Pelin TÜRKMEN

Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “H6-II Tipi Transformatörsüz Eviricinin Reaktif Güç Üretim Kabiliyetinin Farklı Modülasyon Yöntemleri ile İrdelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Emre ÖZKOP’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/01/2022

Pelin TÜRKMEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ..... IV
İÇİNDEKİLER..... V
ÖZET VII
SUMMARY VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ..... IX
TABLOLAR DİZİNİ..... XIII
SEMBOLLER DİZİNİ..... XVI
1. GENEL BİLGİLER..... 1
1.1. Giriş..... 1
1.2. Literatür Araştırması..... 2
1.3. Modülasyon Teknikleri..... 5
1.3.1.1. Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SDGM)..... 6
1.3.2. En Yakın Seviye Modülasyonu..... 8
1.3.3. Üçüncü Harmonik Enjektesi Metodu..... 9
1.4. Transformatörsüz Eviriciler..... 10
1.4.1. H-Köprü Evirici..... 11
1.4.2. HERIC..... 11
1.4.3. H5 Evirici..... 12
1.4.4. Flying Endüktör Evirici..... 12
1.4.5. Kondansatör Kenetlemeli ÇSE..... 13
1.4.6. Diyot Kenetlemeli ÇSE..... 14
1.4.7. H6 Evirici Ailesi..... 14
1.4.7.1. H6-N..... 14
1.4.7.2. H6-I..... 15
1.4.7.3. H6-II..... 16
1.4.7.4. H6-IV..... 16
1.4.7.5. H6-PNNK..... 17
1.4.7.6. H6-ANNK..... 17

1.4.7.7. Gelişmiş H6 18
1.5. H6-II Tipi Evirici Çalışma Prensibi 19
1.6. Kaçak Akım 21
1.7. Aktif- Reaktif Güç Kontrolü 23
1.8. Filtre Tasarımı 26
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME 29
2.1. Giriş 29
2.2. Şebekeden Bağımsız H6-II Tipi Evirici 29
2.2.1. Çalışma-I 33
2.2.2. Çalışma-II 36
2.3. Şebeke Bağlantılı H6-II Tipi Evirici 41
2.3.1. Aktif Güç Enjeksiyonu 42
2.3.2. Reaktif Güç Enjeksiyonu 48
2.3.3. Ortak Mod Gerilimi ve Kaçak Akım 52
3. SONUÇLAR 56
4. ÖNERİLER 58
5. KAYNAKLAR 59
6. EKLER 62
ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

H6-II TİPİ TRANSFORMATÖRSÜZ EVİRİCİNİN REAKTİF GÜÇ ÜRETİM KABİLİYETİNİN FARKLI MODÜLASYON YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ

Pelin TÜRKMEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Emre ÖZKOP
2022, 61 Sayfa, 29 Sayfa Ek

Bu çalışmada, tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz eviricinin reaktif güç üretim kabiliyetinin farklı modülasyon tekniği, modülasyon sinyali (MS), taşıyıcı sinyali (TS) ve modülasyon stratejileri (MStr) ile irdelenmesi yapılmıştır. Öncelikli olarak, geleneksel modülasyon stratejisi ve çeşitli modülasyon ve taşıyıcı sinyallerin oluşturmuş olduğu sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SDGM) ve üçüncü harmonik enjekteli darbe genişlik modülasyonu (ÜHE-DGM) modülasyon tekniği modlarının (Mod I-VI) şebekeden bağımsız H6-II tipi eviricide meydana getirdiği performanslar ayrı ayrı ortaya konulmuş ve karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Sonrasında, SDGM ve hibrit darbe genişlik modülasyonu (HDGM) temelli çeşitli modülasyon stratejileri (geleneksel, geleneksel-ayrık, geliştirilmiş ve geliştirilmiş-ayrık), modülasyon ve taşıyıcı sinyallerin meydana getirmiş olduğu modlar (Mod I-XVI) ışığında anahtarlama işaretleri üretilip şebeke bağlantılı hale getirilmiş H6-II tipi eviricisi anahtarlarına uygulanmıştır. Her bir mod için eviricinin aktif ve reaktif güç enjeksiyon kabiliyeti irdelenmiştir. Son olarak, güç enjekte (aktif veya reaktif), modülasyon tekniği (SDGM veya HDGM), modülasyon stratejisi (MStr 1-6), modülasyon sinyali (MS 1-2) ve taşıyıcı sinyali (TS 1-6) türleri dikkate alınarak oluşturulan modlara bağlı olarak ortak mod gerilimi (V_{CM}) ve kaçak akım (i_{cm}) davranışı irdelenmiş. Farklı parazitik kondansatör (C_{fv}) değerleri için kaçak akım (i_{cm}) değerindeki değişim gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Transformatörsüz Evirici, H6-II, Aktif ve Reaktif Güç Enjektesi, Modülasyon Yöntemi, SDGM, HDGM, ÜHE-DGM

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF REACTIVE POWER GENERATION CAPABILITY OF H6-II TYPE TRANSFORMERLESS INVERTER WITH DIFFERENT MODULATION METHODS

Pelin TÜRKMEN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Emre ÖZKOP
2022, 61 Pages, 29 Pages Appendix

In this study, an investigation of reactive power generation capability of a single phase H6-II type transformerless inverter with modulation techniques, modulation signals (MS), carrier signal (CS) and modulation strategies (MStr) is made. Firstly, performances of sinusoidal pulse width modulation (SPWM) and third harmonic injected pulse width modulation (THI-PWM) technique mods (Mod I-VI) created by conventional modulation strategy and several modulation and carrier signals on standalone H6-II type inverter presented separately and comparative analysis is realized. After that, switching signals generated by the means of the mods (Mod I-XVI) created by several modulation strategies (conventional, conventional-discrete, improved and improved-discrete) based on SPWM and hybrid-PWM (HPWM), modulation and carrier signals are applied into switches of grid connected H6-II type inverter. For each mod, active and reactive power injection capability of the inverter is investigated. Finally, common mode voltage (V_{CM}) and leakage current (i_{cm}) characteristics are examined with depending on mods constituted by taking account of power injection (active or reactive), modulation technique (SPWM or HPWM), modulation strategy (MStr- 1-6), modulation signal (MS 1-2), carrier signal (CS 1-6) types. For different parasitic capacitor (C_{fv}) values, behavior of the leakage currents (i_{cm}) is observed.

Key Words: Transformerless Inverter, H6-II, Active and Reactive Power Injection, Modulation Methods, SPWM, HPWM, THI-PWM

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Modülasyon yöntemleri 5
Şekil 2. DGM işaret örneği 6
Şekil 3. Tek kutuplu ve iki kutuplu SDGM tekniği zaman içinde işaret değişimi 7
Şekil 4. Modifiye edilmiş SDGM tekniği zaman içinde işaret 7
Şekil 5. Hibrit taşıyıcı işaret örneği 8
Şekil 6. En yakın seviye modülasyon tekniği temel işareti 9
Şekil 7. Örnek üçüncü harmonik enjektesi DGM işaret üretimi 10
Şekil 8. Tek fazlı transformatörsüz evirici sınıflandırması 11
Şekil 9. H-köprü evirici devre şeması 11
Şekil 10. HERIC evirici devre şeması 12
Şekil 11. H5 evirici devre şeması 12
Şekil 12. Flying endüktör evirici devre şeması 13
Şekil 13. 5-seviyeli KK-ÇSE topolojisi bağlantı yapısı 13
Şekil 14. 5-seviyeli DK-ÇSE topolojisi bağlantı yapısı 14
Şekil 15. H6-N tipi evirici devre şeması 15
Şekil 16. H6-I tipi evirici devre şeması 15
Şekil 17. H6-II tipi evirici devre şeması 16
Şekil 18. H6-IV tipi evirici devre şeması 16
Şekil 19. H6-PNNK tipi evirici çalışma modları 17
Şekil 20. H6-ANNK tipi evirici çalışma modları 17
Şekil 21. Gelişmiş H6 evirici topolojisi 18
Şekil 22. H6-II tipi evirici çalışma modu devre şemaları 19
Şekil 23. H6-II tipi evirici DGM şeması. (a) zaman bölgesinde işaretler 21
Şekil 24. Transformatörsüz FV sisteminde kaçak akımın izlediği yol. 21
Şekil 25. FV panellerde parazitik kapasite 22
Şekil 26. Reaktif güç kabiliyetine göre transformatörsüz evirici sınıflandırması 23
Şekil 27. (a) H6-II tipi evirici topolojisi, (b) Geleneksel modülasyon stratejisi, ... 24
Şekil 28. Geleneksel modülasyon stratejisi ile çalışma modları 25

Şekil 29. Geliştirilmiş modülasyon stratejisi ile çalışma modları 25
Şekil 30. Şebeke gerilimi ve akımın dq-eksen fazör diyagramı 26
Şekil 31. LCL tipi filtre 28
Şekil 32. H6-II tipi evirici devre şeması (Şebekeden Bağımsız) 29
Şekil 33. Modülasyon stratejilerine bağlı temel anahtarlama işareti dalga şekilleri 30
Şekil 34. Modülasyon Sinyali (MS) dalga biçimleri 31
Şekil 35. Taşıyıcı Sinyali (TS) dalga biçimleri 31
Şekil 36. H6-II tipi evirici blok diyagramı (Şebeke Bağlantısız) 32
Şekil 37. Gerilim-akım (Mod-I) 34
Şekil 38. Gerilim-akım (Mod-II) 34
Şekil 39. Gerilim-akım (Mod-III) 34
Şekil 40. Gerilim-akım (Mod-IV) 34
Şekil 41. Gerilim-akım (Mod-V) 35
Şekil 42. Gerilim-akım (Mod-VI) 35
Şekil 43. Verim-güç 36
Şekil 44. THB-güç 36
Şekil 45. THB-m_{indeks} (Mod-I) 37
Şekil 46. THB-m_{indeks} (Mod-II) 37
Şekil 47. THB-m_{indeks} (Mod-III) 37
Şekil 48. THB-m_{indeks} (Mod-IV) 37
Şekil 49. THB-m_{indeks} (Mod-V) 38
Şekil 50. THB-m_{indeks} (Mod-VI) 38
Şekil 51. THB-f_{sw} (Mod-I) 38
Şekil 52. THB-f_{sw} (Mod-II) 38
Şekil 53. THB-f_{sw} (Mod-III) 39
Şekil 54. THB-f_{sw} (Mod-IV) 39
Şekil 55. THB-f_{sw} (Mod-V) 39
Şekil 56. THB-f_{sw} (Mod-VI) 39
Şekil 57. THB-m_{indeks} (f_{sw}=20 kHz) 40
Şekil 58. $V_{çıkış}$-m_{indeks} (f_{sw}=20 kHz) 40
Şekil 59. THB-f_{sw} (m_{indeks}=0.9) 40
Şekil 60. H6-II tipi evirici için kontrol blok diyagramı (Şebeke bağlantılı) 41
Şekil 61. Gerilim-akım (Mod-I) 45

Şekil 62. Gerilim-akım (Mod-II) 45
Şekil 63. Gerilim-akım (Mod-III) 45
Şekil 64. Gerilim-akım (Mod-IV) 45
Şekil 65. Gerilim-akım (Mod-V) 45
Şekil 66. Gerilim-akım (Mod-VI) 45
Şekil 67. Gerilim-akım (Mod-VII) 46
Şekil 68. Gerilim-akım (Mod-VIII) 46
Şekil 69. Gerilim-akım (Mod-IX) 46
Şekil 70. Gerilim-akım (Mod-X) 46
Şekil 71. Gerilim-akım (Mod-XI) 46
Şekil 72. Gerilim-akım (Mod-XII) 46
Şekil 73. Gerilim-akım (Mod-XIII) 47
Şekil 74. Gerilim-akım (Mod-XIV) 47
Şekil 75. Gerilim-akım (Mod-XV) 47
Şekil 76. Gerilim-akım (Mod-XVI) 47
Şekil 77. Yük akımında kesit (Mod-III) 47
Şekil 78. Yük akımında kesit (Mod-X) 47
Şekil 79. Gerilim-akım (Mod-I) 49
Şekil 80. Gerilim-akım (Mod-II) 49
Şekil 81. Gerilim-akım (Mod-III) 49
Şekil 82. Gerilim-akım (Mod-IV) 49
Şekil 83. Gerilim-akım (Mod-V) 50
Şekil 84. Gerilim-akım (Mod-VI) 50
Şekil 85. Gerilim-akım (Mod-VII) 50
Şekil 86. Gerilim-akım (Mod-VIII) 50
Şekil 87. Gerilim-akım (Mod-IX) 50
Şekil 88. Gerilim-akım (Mod-X) 50
Şekil 89. Gerilim-akım (Mod-XI) 51
Şekil 90. Gerilim-akım (Mod-XII) 51
Şekil 91. Gerilim-akım (Mod-XIII) 51
Şekil 92. Gerilim-akım (Mod-XIV) 51
Şekil 93. Gerilim-akım (Mod-XV) 51
Şekil 94. Gerilim-akım (Mod-XVI) 51

Şekil 95. Yük akımı kesiti (Mod-II) 52
Şekil 96. Yük akımı kesiti (Mod-XII) 52
Şekil 97. H6-II tipi eviricide V_{CM} ve i_{cm} ölçüm temel devre blok diyagramı 53
Şekil 98. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-IIIP) 54
Şekil 99. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-IIIQ) 54
Şekil 100. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-XIP) 55
Şekil 101. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-XIQ) 55

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. H6 evirici topolojileri karşılaştırma tablosu 18
Tablo 2. VDE 0126-1-1 standardına göre kaçak akımı sınır değerleri 22
Tablo 3. Anahtarlama işareti üretim matrisi 31
Tablo 4. Sistem parametreleri (Çalışma-I) 33
Tablo 5. Anahtarlama işareti üretim matrisi (Çalışma-I ve Çalışma-II) 33
Tablo 6. Maksimum güç değerinde Mod I-VI çıktıları (Çalışma-I) 36
Tablo 7. Sistem benzetim parametreleri (Şebeke bağlantılı) 42
Tablo 8. Anahtarlama işareti üretim matrisi (Aktif güç enjeksiyonu) 43
Tablo 9. Benzetim sonuç karşılaştırma matrisi (Aktif güç enjeksiyonu) 44
Tablo 10. Benzetim sonuç karşılaştırma matrisi (Reaktif güç enjeksiyonu) 48
Tablo 11. Benzetim sonuçları (Ortak mod gerilimi ve kaçak akım) 54
Ek Tablo 6.1. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-I) 62
Ek Tablo 6.2. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-II) 62
Ek Tablo 6.3. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-III) 63
Ek Tablo 6.4. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-IV) 63
Ek Tablo 6.5. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-V) 63
Ek Tablo 6.6. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-VI) 64
Ek Tablo 6.7. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 1 kHz) 65
Ek Tablo 6.8. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 2 kHz) 65
Ek Tablo 6.9. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 5 kHz) 65
Ek Tablo 6.10. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 10 kHz) 66
Ek Tablo 6.11. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 15 kHz) 66
Ek Tablo 6.12. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 20 kHz) 66
Ek Tablo 6.13. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 25 kHz) 67
Ek Tablo 6.14. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 1 kHz) 67
Ek Tablo 6.15. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 2 kHz) 67
Ek Tablo 6.16. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 5 kHz) 68
Ek Tablo 6.17. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 10 kHz) 68

Ek Tablo 6.18. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 15 kHz)..... 68
Ek Tablo 6.19. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 20 kHz)..... 69
Ek Tablo 6.20. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 25 kHz)..... 69
Ek Tablo 6.21. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 1 kHz) 69
Ek Tablo 6.22. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 2 kHz) 70
Ek Tablo 6.23. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 5 kHz) 70
Ek Tablo 6.24. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 10 kHz) 70
Ek Tablo 6.25. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 15 kHz) 71
Ek Tablo 6.26. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 20 kHz) 71
Ek Tablo 6.27. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 25 kHz) 71
Ek Tablo 6.28. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 1 kHz)..... 72
Ek Tablo 6.29. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 2 kHz)..... 72
Ek Tablo 6.30. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 5 kHz)..... 72
Ek Tablo 6.31. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw}= 10 kHz)..... 73
Ek Tablo 6.32. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 15 kHz)..... 73
Ek Tablo 6.33. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 20 kHz)..... 73
Ek Tablo 6.34. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 25 kHz)..... 74
Ek Tablo 6.35. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 1 kHz) 74
Ek Tablo 6.36. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 2 kHz) 74
Ek Tablo 6.37. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 5 kHz) 75
Ek Tablo 6.38. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 10 kHz) 75
Ek Tablo 6.39. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 15 kHz) 75
Ek Tablo 6.40. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 20 kHz) 76
Ek Tablo 6.41. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 25 kHz) 76
Ek Tablo 6.42. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 1 kHz)..... 76
Ek Tablo 6.43. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 2 kHz)..... 77
Ek Tablo 6.44. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 5 kHz)..... 77
Ek Tablo 6.45. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 10 kHz)..... 77
Ek Tablo 6.46. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 15 kHz)..... 78
Ek Tablo 6.47. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 20 kHz)..... 78
Ek Tablo 6.48. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 25 kHz)..... 78
Ek Tablo 6.49. Ölçüm sonuçları (Mod-I)..... 79

Ek Tablo 6.50. Ölçüm sonuçları (Mod-II) 79
Ek Tablo 6.51. Ölçüm sonuçları (Mod-III) 80
Ek Tablo 6.52. Ölçüm sonuçları (Mod-IV) 80
Ek Tablo 6.53. Ölçüm sonuçları (Mod-V) 80
Ek Tablo 6.54. Ölçüm sonuçları (Mod-VI) 81
Ek Tablo 6.55. Ölçüm sonuçları (Mod-VII) 81
Ek Tablo 6.56. Ölçüm sonuçları (Mod-VIII) 81
Ek Tablo 6.57. Ölçüm sonuçları (Mod-IX) 82
Ek Tablo 6.58. Ölçüm sonuçları (Mod-X) 82
Ek Tablo 6.59. Ölçüm sonuçları (Mod-XI) 82
Ek Tablo 6.60. Ölçüm sonuçları (Mod-XII) 83
Ek Tablo 6.61. Ölçüm sonuçları (Mod-XIII) 83
Ek Tablo 6.62. Ölçüm sonuçları (Mod-XIV) 83
Ek Tablo 6.63. Ölçüm sonuçları (Mod-XV) 84
Ek Tablo 6.64. Ölçüm sonuçları (Mod-XVI) 84
Ek Tablo 6.65. Ölçüm sonuçları (Mod-I) 85
Ek Tablo 6.66. Ölçüm sonuçları (Mod-II) 85
Ek Tablo 6.67. Ölçüm sonuçları (Mod-III) 86
Ek Tablo 6.68. Ölçüm sonuçları (Mod-IV) 86
Ek Tablo 6.69. Ölçüm sonuçları (Mod-V) 86
Ek Tablo 6.70. Ölçüm sonuçları (Mod-VI) 87
Ek Tablo 6.71. Ölçüm sonuçları (Mod-VII) 87
Ek Tablo 6.72. Ölçüm sonuçları (Mod-VIII) 87
Ek Tablo 6.73. Ölçüm sonuçları (Mod-IX) 88
Ek Tablo 6.74. Ölçüm sonuçları (Mod-X) 88
Ek Tablo 6.75. Ölçüm sonuçları (Mod-XI) 88
Ek Tablo 6.76. Ölçüm sonuçları (Mod-XII) 89
Ek Tablo 6.77. Ölçüm sonuçları (Mod-XIII) 89
Ek Tablo 6.78. Ölçüm sonuçları (Mod-XIV) 89
Ek Tablo 6.79. Ölçüm sonuçları (Mod-XV) 90
Ek Tablo 6.80. Ölçüm sonuçları (Mod-XVI) 90

SEMBOLLER DİZİNİ

ANNK	Aktif Nötr Nokta Kenetlemeli
ÇSE	Çok Seviyeli Evirici
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
DK	Diyot Kenetlemeli
FKÇ	Faz Kilitlemeli Çevrim
FV	Fotovoltaik
HDGM	Hibrit Darbe Genişlik Modülasyonu
HERIC	Yüksek Verimli ve Güvenilir Konsept
HKSGDD	H-Köprü Sıfır Gerilim Durum Doğrultucusu
KK	Kondansatör Kenetlemeli
MÇSE	Modüler Çok Seviyeli Evirici
NNK	Nötr Nokta Kenetlemeli
PNNK	Pasif Nötr Nokta Kenetlemeli
SDGM	Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyon
THB	Toplam Harmonik Bozulma
UV	Uzay Vektör
ÜHE	Üçüncü Harmonik Eklemeli

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Elektrik dünyanın vazgeçilmezi haline geldiğinden beri elektriğe olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Sanayi devrimi sonrasında ülkelerin gelişimi, ekonomik varlığı, tüketim miktarı günbegün bir önceki günden daha fazla olmaktadır. Gelişmişliğin göstergesi olduğu ileri sürülen elektriğin varlığı, sürekliliği ve ulaşılabilirliğinin sağlanması için sürdürülebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. İnsanın varoluşundan beri yeryüzündeki yenilenemeyen kaynaklar, farklı enerji türlerini elde etmek için kullanılmaktadır. Günümüzde gelinen nokta, yenilenemeyen kaynak rezervlerinin hızlı bir şekilde eridiği ve artık yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, dalga, vb.) kullanımına öncelik verilmesinin gerekliliği insanlık tarafından kabul edilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi farklı yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Örneğin; güneş enerjisinden elektrik üretimi yollarından bir tanesi fotovoltaik (FV) yapıların kullanılmasıdır. FV yapısının çıkış elektrik enerjisi formu DA olup kullanım yerine bağlı olarak DA veya AA gerilim dalga şekillerine dönüştürmek için farklı yapı ve işlevde güç elektroniği çeviricileri kullanılmaktadır.

Elektrik şebeke yapısının her kademede (üretim, iletim ve dağıtım) son yıllarda gelişime ve değişime uğraması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen gücün şebekeye aktarılması noktasında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir enerjisi dönüşüm sistemleri, şebekeye çoğunlukla iletim ve dağıtım gerilim seviyelerinde bağlanırken önemli bir dağıtık üretim kaynağı/sistemi olarak kabul edilmektedir. Bu sistemlerden bir tanesi FV enerji dönüşüm sistemidir.

FV enerji dönüşüm sistemleri, tekil veya çoğul varyasyonlarda şebekeye farklı gerilim seviyelerinde ve noktalarında bağlanabilmektedir. FV enerji dönüşüm sistemleri şebeke üzerindeki ortak bağlantı noktasına DA/AA güç elektroniği evirici sistemleri ile bağlanmaktadır. Evirici yapısı transformatörlü veya transformatörsüz olarak oluşturulabilmektedir. Transformatörlü evirici yapısı, boyut, kayıp, maliyet gibi birçok açıdan transformatörsüz eviriciye göre daha dezavantajlıdır. Bu sebeple transformatörsüz evirici üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda ön plana çıkmaktadır.

Literatürde farklı türden transformatörsüz evirici topolojileri önerilmiş olup bunlardan ön plana çıkanları; H5, H6, HERIC, vb. Bu evirici topolojilerinin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Bu tez çalışmasında, farklı modülasyon tekniklerinin H6-II tipi transformatörsüz evirici topolojisi üzerinde uygulanması sonucunda evirici performansında meydana gelen değişiklikler benzetim yolu ile gerçekleştirilecektir. Modülasyon tekniklerinin ve çalışma koşullarının H6-II tipi eviricinin verimi, toplam harmonik bozulma (THB) miktarı, ortak mod gerilimi ve kaçak akım değerleri, aktif ve reaktif güç enjekte kabiliyeti üzerindeki etkileri irdelenecektir. Geleneksel ve geliştirilmiş modülasyon stratejileri ile aktif ve reaktif güç enjektesi yapılacaktır. Gözlemlenen durumların ışığında sistem tepkileri irdelenecektir.

1.2. Literatür Araştırması

Gelişmiş güç elektroniği teknolojisi ve FV güç sistemlerinin hızlı gelişimi ile transformatörsüz eviriciler ağırlık, boyut, verimlilik ve benzeri avantajlardan dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Tek fazlı uygulamalar için değişik evirici topolojileri literatürde önerilmiştir. En çok kullanımına rastlanan topoloji ise tam köprü eviricidir. Bu evirici topolojisinde sinüzoidal darbe genişlik modülasyon (SDGM) tekniği kullanımı ile topoloji performansında iyileşmeler gözlemlenmiştir. Fakat kaçak akım değerinin büyük olabilmesi sebebiyle bu topoloji fiziksel tehlikelere sebep olabilmektedir. Bu yüzden transformatörsüz FV eviriciler uygulamalarında H5, H6, HERIC gibi farklı transformatörsüz evirici topolojilerinin kullanımı önerilmektedir [2].

Wensong vd. geniş giriş gerilimi aralığı, yüksek verim ve düşük kaçak akım değerlerine sahip anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılan H6 eviricisi önermişlerdir. Önerilen yapının hem benzetimsel hem de deneysel çalışmaları geçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların birbirleri ile uyuştuğu gözlemlenmiştir [3].

Monirul vd. kaçak akım tehdidini bertaraf edecek ve şebekeye gerektiğinde reaktif güç enjekte edebilecek yeni bir H6 topolojisi önermişlerdir. Mevcut olan H6-I ve H6-II evirici topolojilerinin analizi gerçekleştirildikten sonra önerilen topolojinin analizi ve sonrasında hem benzetim hem de deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kaçak akım ve THB açılarından önerilen topolojinin daha iyi sonuçlar verdiği ama Avrupa verimi bakımından H6-I ve H6-II'nin gerisinde kaldığı vurgulanmıştır [4].

Hua vd. H6-I temelli, anahtar kaybından muaf H6-I ve sıfır akım geçişli H6-I olmak üzere iki farklı topoloji önermişlerdir. Bu topolojilerin sert anahtarlamalı H6-I, H5 ve HERIC topolojileri ile kayıp (anahtarlama, iletim, toplam), eleman sayısı, maliyet ve eleman başına düşen gerilim başlıklarında karşılaştırması gerçekleştirilmiştir [5].

Jianhua vd. H6-I evirici topolojisi ile reaktif güç kompanzasyonu için iyileştirilmiş hibrit modülasyon tekniği önermişlerdir. Gerçekleştirilen benzetim ve deneysel çalışmalar sonucunda önerilen modülasyon tekniğinin geleneksel hibrit modülasyon yöntemine göre daha basit bir yöntem olduğu, ortak mod geriliminin ortadan kalktığı ve diğer transformatörsüz evirici topolojilerine kolaylık uygulanabileceği çıkarımı yapılmıştır [6].

Eyup vd. literatürde mevcut olan gelişmiş H6 evirici topolojisine, bir anahtar ekleyerek önerdikleri evirici ve optimize edilmiş H5 (oH5) evirici üzerinde benzetim ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. İki evirici, güç faktörü, THB, şebeke tarafı görünür güç ve verim açılarından karşılaştırılmıştır. Önerilen evirici topolojisinin, tek DA bağlantı kondansatörü kullanımı, bağlantı kondansatörleri sebebiyle meydana gelebilecek rezonansı ve gelişmiş H6 eviricinin ortak mod gerilimindeki salınımları yok etme gibi avantajlarının olduğu ifade edilmiştir [7].

Lan vd. iyileştirilmiş bir modülasyon tekniğinin, gelişmiş H6 evirici topolojisi üzerinde benzetim ve deneysel çalışması gerçekleştirilmiş olup bağlantı kondansatörünün ortak mod gerilimi üzerindeki etkisinin azaldığı, yüksek frekans anahtarları için ölü zamanın azalması ile çıkış dalga şekli kalitesinin iyileştiği ve reaktif güç kabiliyetinin elde edildiği vurgulanmıştır [8].

Gabriele vd. H4 (tam-köprü), H5 ve H6 evirici topolojilerini verim, kaçak akım ve çıkış akım kalitesini farklı modülasyon tekniği (tek kutuplu, iki kutuplu, hibrit süreksiz) kullanılması durumu için ele almışlar ve aynı çalışma koşulları için deneysel uygulamalar gerçekleştirmişlerdir. En verimli eviricilerin H4 (hibrit süreksiz modülasyonlu) ve H5 olduğu ve H4 (hibrit süreksiz modülasyonlu), H5 ve H6 eviricilerine ait çıkış akım kalitesinin benzer performans sergilediği gözlemlenmiştir [9].

Jianhua vd. H6-I tipi topolojinin hem evirici hem de doğrultucu modlarında davranış sergilemesini sağlamak için yeni bir modülasyon tekniği önermişlerdir. İki yönlü güç akışı imkânı sağladığı ifade edilen modülasyon tekniğinin yetkinliği hem benzetim hem de deneysel çalışmalar ile ortaya koyulmuştur [2].

MD. Rashidul vd. H5, HERIC (I-V), H6 (geleneksel, geliştirilmiş), pasif ve aktif nötr nokta kenetlemeli (HERIC, H6) evirici topolojilerini, farklı modülasyon yöntemlerini

(üçüncü harmonik enjekteli darbe genişlik modülasyonu (ÜHE-DGM), tek ve iki kutuplu DGM, üçüncü harmonik enjekteli eşit yükleme doksan derece kenetlemeli DGM) uygulayarak THB ve kaçak akım açılarından karşılaştırmalarını yapmışlardır [10].

Li vd. H5, HERIC, H6 ve yarım köprü eviricilerle çalışmışlardır. Deneysel sonuçlara göre, H6 eviricinin dönüştürme verimi ve termal stres dağıtımı noktasında H5 eviriciden daha iyi ve sızıntı akımının HERIC topolojisi ile neredeyse aynı ve güvenlik standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Tam köprü evirici tek kutuplu (unipolar) sinüzoidal DGM ile çok iyi diferansiyel mod performansına ulaştığı gözlemlenmiş ve önerilen H6 evirici topolojisi tek fazlı transformatörsüz şebeke bağlantılı fotovoltaik eviriciler için uygun olduğu kanaatine varılmıştır [11].

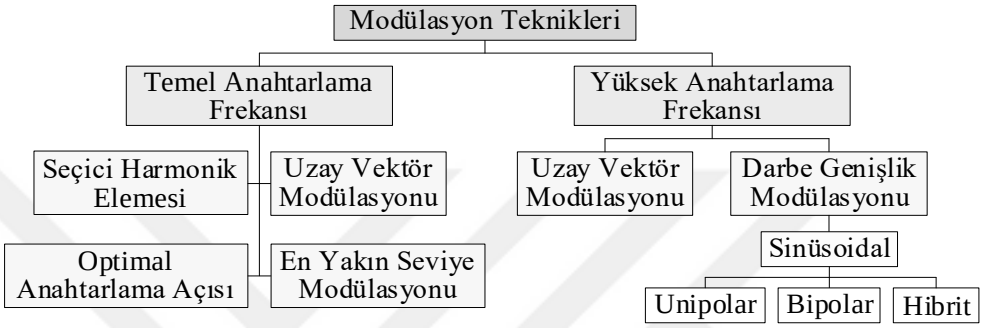
Yuba vd. üç adet evirici topolojisini verim, sızıntı akımı ve ortak mod gerilimi açısından karşılaştırmışlardır. Tek kutuplu (unipolar) DGM'li yarım köprü evirici yüksek frekanslı ortak mod geriliminin, yüksek sızıntı akımı ürettiğini ve bu sebeple transformatörsüz evirici olarak kullanımı uygun olmadığı ve iki kutuplu (bipolar) DGM'nin düşük sızıntı akımı ve sabit bir ortak mod gerilimi sunduğu ama düşük verime sebebiyet verdiği ve transformatörsüz eviricide kullanımının uygun olduğunu gözlemlemişlerdir. HERIC ve H5 eviricilerinin düşük sızıntı akımına sahip oldukları tespit edilmiş ve verim ve ölçülen sızıntı akımı değerleri doğrultusunda HERIC, araştırma yapılan üç evirici arasından transformatörsüz evirici olarak kullanımının daha uygun olacağı görüşüne varılmıştır. [12].

Hongjin vd. hat gerilimi koordinat sistemi temelli esnek ve hızlı uzay vektör darbe genişlik modülasyonunu (UV-DGM) önermişlerdir. Yeni konseptin, çok seviyeli eviricinin seviye sayısından bağımsız ve sadece birkaç basit aritmetik işlem gerektirmekte olduğu, çok düzeyli dönüştürücünün performansını artırmak için yedek anahtarlama dizilerinin kolayca seçilebileceği ve bunların ortaya koyulması için hem benzetim çalışmaları hem de deneysel çalışmalar yapıldığı ifade edilmiştir. [13].

Franc vd. önermiş oldukları üçüncü harmonik metodu ile aşırı modülasyon çalışma aralığında THB değeri düşürmeyi hedeflemişlerdir. Elenmeden kalan yüksek harmoniklerin daha küçük çıkış filtresi elemanlarıyla kolayca azaltılabildiği benzetim çalışmalarıyla gözlemlenmiştir [14].

1.3. Modülasyon Teknikleri

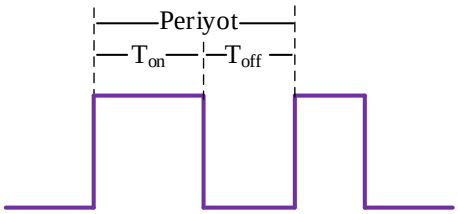
Modülasyon teknikleri, güç elektroniği çeviricisinin doğru kontrolü için gerekli olan büyüklük, frekans ve fazın ayarlanabilmesi için çeviricinin anahtarlama işaretlerini üretirler [15]. Literatürde farklı modülasyon yöntemleri önerilmiş olup Şekil 1'de bunların örnek bir sınıflandırması görülmektedir.



Şekil 1. Modülasyon yöntemleri

1.3.1. Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM)

Teoride bütün modülasyon yöntemleri güç elektroniği çeviricisi için ihtiyaç duyulan anahtarlama işaretlerini üretmek için kullanılır. En büyük problem bu çevirici çıkış geriliminin istenmeyen harmonikler içermesidir. Darbe genişlik modülasyonu, güç elektroniği çeviricilerinin çıkış dalga şeklinin kontrolünde en çok kullanılan metottur. Bu teknikte anahtarlar yüksek frekanslı bir doluluk-boşluk oranı ile düşük frekanslı bir çıkış gerilimi elde edilmesini sağlar [16]. Güç elektroniği anahtarları, devredeki güç akışını kontrol etmek için iki farklı çalışma durumuna sahiptir; *açık, kapalı* [17]. Çıkış geriliminin harmonik içeriği ve genliği, doluluk-boşluk oranı ile ayarlanmaktadır. Doluluk-boşluk oranı, işaretin *açık* olduğu zamanların sayısıdır. Frekans ise DGM'nin bir döngüyü tamamlama hızıdır. Şekil 2'de temel bir DGM işaret örneği görülmektedir.



Şekil 2. DGM işaret örneği

$$Periyot = T_{on} + T_{off} \quad (1)$$

$$Frekans = \frac{1}{Periyot} \quad (2)$$

$$Doluluk - boşluk\ oranı = \frac{T_{on}}{T_{off}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.1.1. Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SDGM)

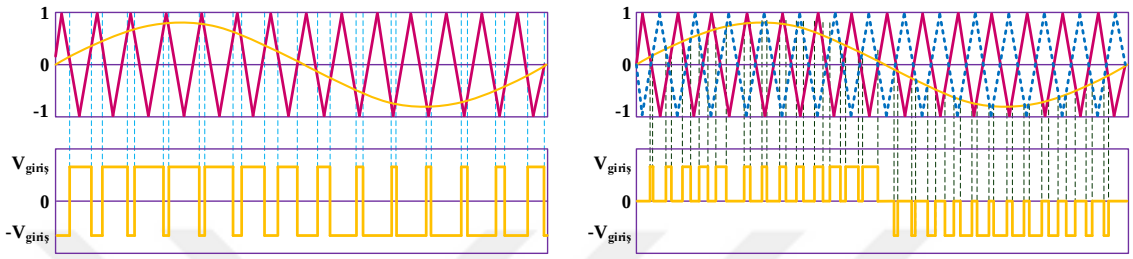
Endüstriyel uygulamalarda sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu, eviricilerin çıkış gerilimi kontrolünde en çok kullanılan metottur. SDGM kare dalga ile ulaşılabilecek değerin %0 ile %99 arasında bir çalışma aralığı ile iyi bir performans sağlar. Yüksek güçlü eviricilerde en büyük problem güç dağıtımıdır. SDGM yüksek güçlü evirici uygulamalarında verimi yükselttiği için çokça tercih edilir [18].

SDGM'de bir sinüzoidal referans gerilimi ile üçgen taşıyıcı işareti karşılaştırılıp evirici için gerekli olan kapı işaretleri elde edilir. Çıkış geriliminin frekansı, modülasyon işaretinin frekansı ile belirlenir. Modülasyon dalgasının maksimum genliği modülasyon indeksini belirler ve çıkış geriliminin etkin değerinin kontrol edilmesini sağlar [16]. SDGM'nin ek bir denetleyici ile kullanılması, anahtarlama kayıplarını azaltır, çıkış gücünü artırır ve çıkış akımının THB düşürür [19].

1.3.1.1.1. Tek Kutuplu ve İki Kutuplu Modülasyon

Tek kutuplu (unipolar) modülasyon tekniğinde iki histerezis bant genişliği kontrolörü yük akımının kontrol edilmesi için gerekli anahtarlama durumunun elde edilmesi için kullanılır. İki kutuplu (bipolar) modülasyonda, histerezis bant genişliği DA giriş

gerilimine, yük parametrelerine, modülasyon frekansına ve referans akımın türevine bağlıdır [20]. Tek kutuplu modülasyonda histerezis akım kontrolü, anahtarlama frekansına DA gerilime ve yük endüktansına bağlı değildir. Ancak frekansın, referans akım genliğinin ve histerezis bant genişliğinin bir fonksiyonudur [18]. Şekil 3'te tek kutuplu ve iki kutuplu SDGM tekniğine ait işaret ve dalga şekilleri gösterilmiştir.

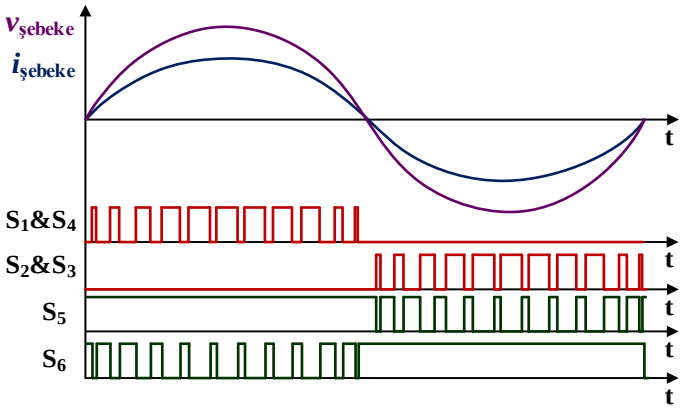


(a) Tek kutuplu SDGM (b) İki kutuplu SDGM

Şekil 3. Tek kutuplu ve iki kutuplu SDGM tekniği zaman içinde işaret değişimi

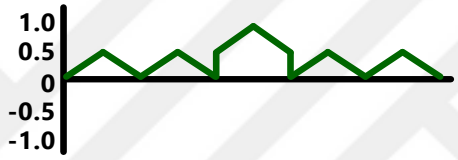
1.3.1.1.2. Hibrit/Modifiye Edilmiş Modülasyon Teknikleri

Yüksek frekans uygulamalarında ya da düşük akım harmonik dağılımına sahip sistemlerde kullanılmaktadır. Yüksek frekanslı çıkış gerilim işareti üretir, yüksek anahtarlama kayıplarına neden olur bu yüzden yüksek gerilim uygulamaları için uygun değildir [21]. Örnek bir modifiye edilmiş modülasyon tekniği Şekil 4'te gösterildiği gibi hem iki kutuplu hem de tek kutuplu modülasyonun birleşimi ile oluşturulabilir.



Şekil 4. Modifiye edilmiş SDGM tekniği zaman içinde işaret değişim örneği

Hibrit modülasyon tekniği taşıyıcı işaretlerin farklılaştırılması ile ortaya çıkmıştır. Bu modülasyon tekniğinde taşıyıcılar, hem dikey olarak kaymaktadır hem de faz kayması olmaktadır [22]. Geleneksel üçgen taşıyıcılı SDGM'de belirli bir taşıyıcı frekans için, bir H-köprü hücresinden volt-saniye çıkışı sabittir. Bu sürenin kısaltılması durumunda evirici çıkış gerilimi istenilen AA çıkış gerilimine daha çok yaklaşır. Geleneksel üçgen taşıyıcılı SDGM'de bu süre taşıyıcı frekansı arttırılarak kısaltılabilir. Ancak bu durumda THB'de bir iyileşme görülmemektedir. Bu sorunu çözmek için taşıyıcı işarette farklılaşma yapılmaktadır. THB değerini düşürmek amacıyla orijinal üçgen taşıyıcıyı üç eşit parçaya bölerek farklılaştırılmış taşıyıcı elde edilebilir [23]. Şekil 5'te bir hibrit taşıyıcı işaret örneği görülmektedir.

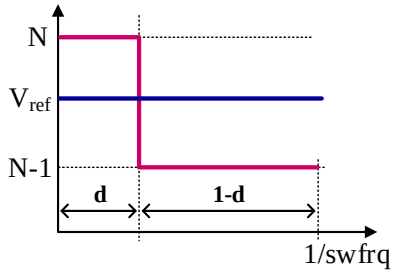


Şekil 5. Hibrit taşıyıcı işaret örneği

1.3.2. En Yakın Seviye Modülasyonu

En yakın seviye modülasyonu metodu taşıyıcısız bir yöntemdir ve bu da en büyük avantajıdır. Alt parça sayısı fazla olduğunda en yakın seviye modülasyonu kullanılır. Modüler çok seviyeli eviricilerde (MÇSE), n tane alt parça varsa $n/2$ tane taşıyıcı olması gerekir. MÇSE'ler iki yüze yakın alt modül bulundurabiliyor; bu durumda yaklaşık olarak yüz tane taşıyıcı olması ve bu yüzden de faz dönüşümünün doğru olması gereklidir [24].

Sinüs dalgası, en yakın seviye modülasyon tekniğinin çalışmasının temelini oluşturur. Bu modülasyonun temel prensibi, iki gerilim seviyesi kullanılarak referans geriliminin yakınsamasının sağlanmasıdır. Her gerilim seviyesini belirli bir zaman aralığında uygulamak bir işaret ortaya çıkaracaktır ve bu işaretin ortalama değeri istenilen değerdir. Frekans arttıkça referans işaretin yakınsaması daha iyi olmaktadır [24]. Şekil 6'da en yakın seviye modülasyon tekniği temel işaret şekli gösterilmiştir.



Şekil 6. En yakın seviye modülasyon tekniği temel işareti

Referans gerilimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_{ref} = N \times d + (N-1) \times (1-d) \tag{4}$$

Burada, V_{ref} gerilim seviyesi ortalamasını, N gerilim seviyesini ve d doluluk-boşluk oranını ifade etmektedir. Bu metot son yirmi yıldan beri MÇSE uygulamalarında kullanılmaktadır ve o zamandan beri yüksek gerilim DA dönüştürücülerde çokça kullanılmıştır [25].

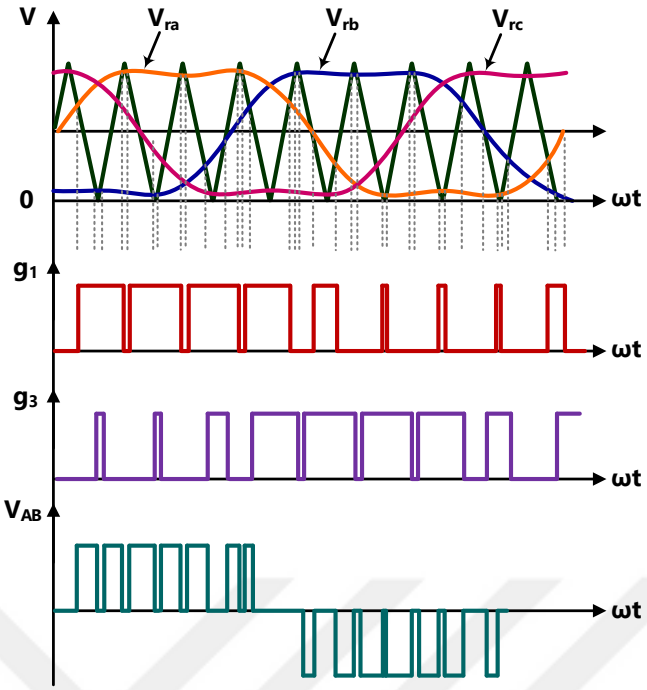
1.3.3. Üçüncü Harmonik Enjektesi Metodu

Bu metot, eviricinin çıkış akımı ve geriliminin güç katsayısını kontrol etmeyi sağlamakta olup DA kaynak ile daha iyi bir sonuç vermekte ve lineer modülasyon alanını %15 artırmaktadır [26]. Tek fazlı eviricilerde THB'nin artmasına neden olur. Bu sebeple bu metot sadece 3-fazlı eviriciler için uygundur [14]. Modülasyon sinyali, şebeke temel bileşenine üçüncü harmonik enjektesi yapılarak üretilmektedir.

$$V_{ra} = 1.15 \sin \omega t + 0.19 \sin 3\omega t \tag{5}$$

$$V_{rb} = 1.15 \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) + 0.19 \sin 3\omega t \tag{6}$$

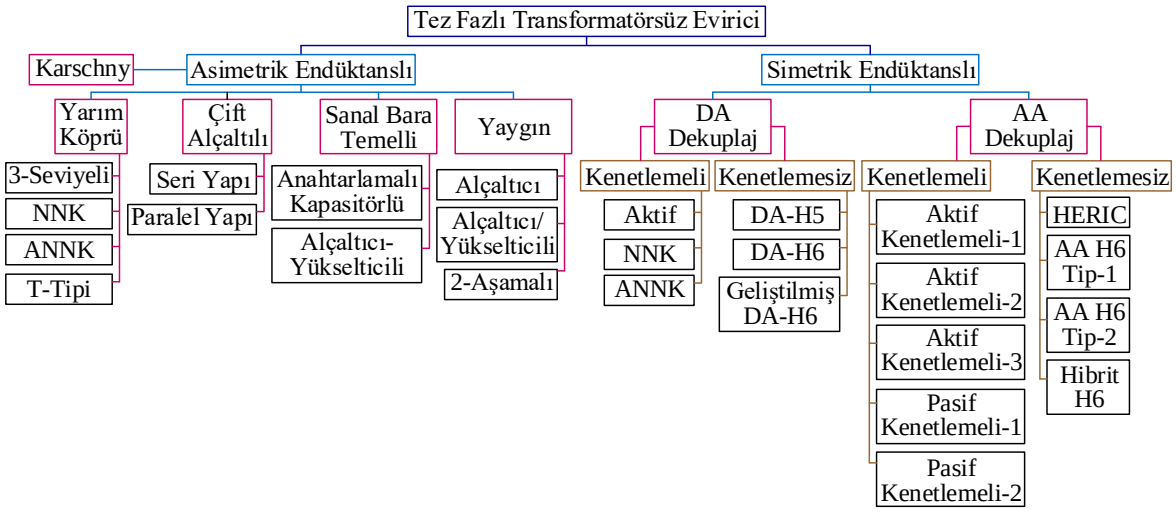
$$V_{rc} = 1.15 \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) + 0.19 \sin 3\omega t \tag{7}$$



Şekil 7. Örnek üçüncü harmonik enjektesi DGM işaret üretimi

1.4. Transformatörsüz Eviriciler

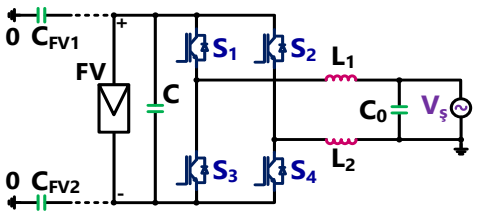
Transformatörsüz eviriciler; yüksek verim, düşük fiyat, küçük boyut ve yüksek güvenilirliğe sahiptir. Ancak toprak ile FV panel arasında kaçak akım meydana gelir. Bu kaçak akım değeri belli bir aralıkta tutulması standartların gerekliliğidir. Kaçak akım, uygun bir evirici topolojisi seçimi ve doğru modülasyon tekniği kullanılarak minimize edilebilir [12]. Literatürde değişik özelliklerde birçok transformatörsüz evirici topolojilerine yer verilmiş ve bu topolojiler farklı açılar dikkate alınarak gruplandırılmış/sınıflandırılmıştır. Şekil 8'de tek fazlı transformatörsüz eviricilerin bir sınıflandırılması gösterilmiştir [27].



Şekil 8. Tek fazlı transformatörsüz evirici sınıflandırması

1.4.1. H-Köprü Evirici

En temel tek fazlı transformatörsüz evirici topolojisidir [28]. Basit yapısı en büyük avantajı olup kesintisiz güç kaynaklarında ve motor sürücü uygulamalarında çokça kullanılır. Şekil 9'da FV panelin her iki yanında parazitik kapasiteler bulunan tam köprü evirici topolojisi görülmektedir [29]. Ortak mod akımı düşük, ortak mod gerilimi sabittir. Ancak çıkış akım dalgalanmaları fazladır, bu da çıkış filtresinin boyutunu büyütmektedir. Enerji dönüşüm verimi ciddi bir şekilde düşer. Diğer taraftan kaçak akım yüksektir.

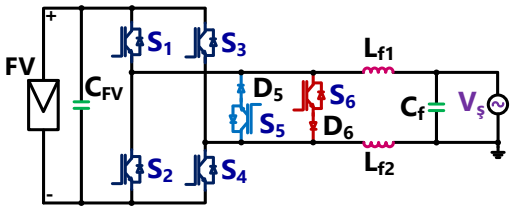


Şekil 9. H-köprü evirici devre şeması

1.4.2. HERIC

HERIC topolojisi,yüksek verimli ve güvenilir bir evirici topolojisidir [28]. Şekil 10'da görüldüğü üzere bir çift anahtar (S_5/D_5 ve S_6/D_6) kullanılarak serbest dolaşım

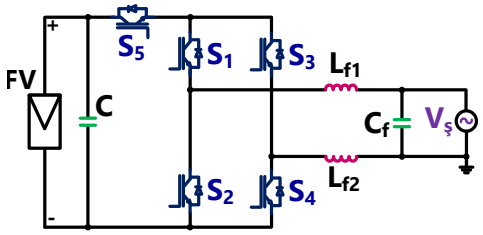
periyodunda FV panel ile toprak arası bağlantı kesilerek dekuple edilir ve ortak mod gerilimi minimize olur.



Şekil 10. HERIC evirici devre şeması

1.4.3. H5 Evirici

H5 evirici topolojisi FV sistemlerde en çok kullanılan transformatörsüz evirici topolojilerinden biri olup H5 evirici, klasik H-köprüye göre ekstra bir beşinci anahtara sahiptir [12]. Bu DA kuplaj anahtarı (S_5) anahtarlama frekansında çalışmaktadır. Altta bulunan anahtarlar olan S_2 ve S_4 yüksek şebeke frekansına sahipken, üstte bulunan anahtarlar S_1 ve S_3 alçak şebeke frekansına sahiptir. Serbest dolaşım sırasında S_5 anahtarı kapanarak FV panel ile evirici arasındaki bağlantıyı keser. Şekil 11'de devre şeması gösterilmektedir.

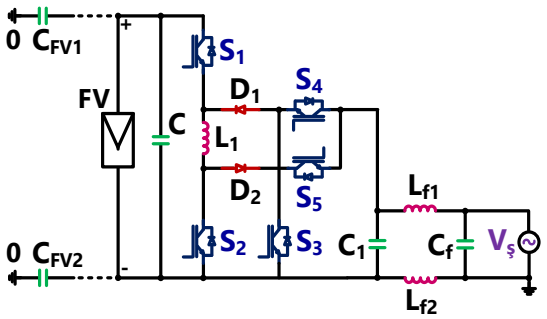


Şekil 11. H5 evirici devre şeması

1.4.4. Flying Endüktör Evirici

Bir diğer ismi Karschny evirici olan bu eviricinin devre şeması Şekil 12'de gösterilmiştir [30]. Bu evirici topolojisinin avantajı; FV'nin negatif tarafının şebekenin nötrüne direkt olarak bağlı olmasıdır. Ancak, H-köprü eviriciye göre bu eviricide daha

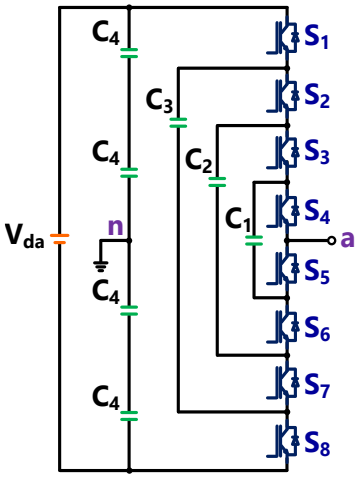
fazla diyota gerek duyulur ve çoğu anahtarlama durumunda üç anahtarlama elemanı aynı anda iletime geçer ki bu verimi düşürdüğü için ciddi bir istenmeyen durumdur.



Şekil 12. Flying endüktör evirici devre şeması

1.4.5. Kondansatör Kenetlemeli ÇSE

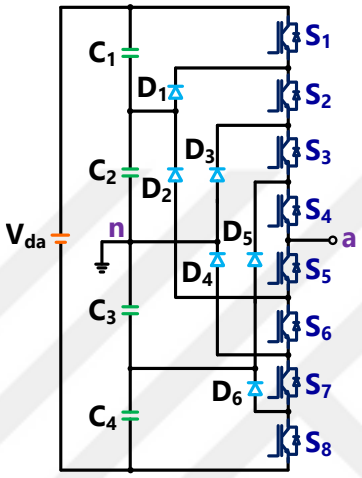
Çıkış dalga şeklinin gerilim basamaklarının şiddeti, kondansatörlerin gerilim değişimine bağlı olup m seviyeli bir evirici $(m-1)$ adet DA bağlantı kondansatörüne sahiptir [17]. Aktif ve reaktif güç kontrolü bu eviricinin en belirgin avantajıdır ve en büyük dezavantajı çok sayıda kondansatör kullanılmasıdır. Bu sistemin daha pahalı ve büyük boyutlu kondansatörler yüzünden büyük olmasına sebep olur. Anahtarlama frekansı ve anahtarlama kayıpları büyüktür. Şekil 13'te 5-seviyeli kondansatör kenetlemeli ÇSE (KK-ÇSE) devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 13. 5-seviyeli KK-ÇSE topolojisi bağlantı yapısı

1.4.6. Diyot Kenetlemeli ÇSE

Diyot Kenetlemeli ÇSE (DK-ÇSE)'in bir diğer adı diyot bağlı çok seviyeli eviricidir. Her evirici faz $2(m-2)$ bağlantı diyotu, $(m-1)$ DA bağlantı kondansatörü ve $2(m-1)$ adet de anahtara sahiptir [18]. Şekil 14'te örnek bir 5-seviyeli DK-ÇSE modeli gösterilmiştir.



Şekil 14. 5-seviyeli DK-ÇSE topolojisi bağlantı yapısı

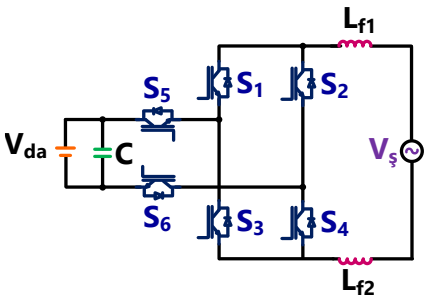
Şekil 14'te görüldüğü üzere 8 adet anahtar ve dört adet DA bağlantı kondansatörü vardır. Pozitif gerilim seviyesinin sağlanabilmesi için S_1, S_2, S_3 ve S_4 iletimde ve negatif gerilim seviyesinin sağlanabilmesi için S_5, S_6, S_7 ve S_8 iletimde olmalıdır. Bu evirici türü özellikle üç fazlı uygulamalarda çok kullanışlıdır. Her gerilim seviyesinde bir adet DA kaynağı kullanır. Ancak dezavantajları; modüler olmaması ve çıkış gerilimi için DA bağlantı gerilimini kondansatörler üzerinden dengeleme zorluğudur.

1.4.7. H6 Evirici Ailesi

1.4.7.1. H6-N

H-köprü evirici ile karşılaştırılınca H6-N tipi eviricide Şekil 15'te gösterildiği gibi iki adet ekstra anahtar (S_5 ve S_6) simetrik olarak DA tarafına yerleştirilmiştir Bu evirici topolojisi, kaçak akımı baskılamakta çok başarılı olup evirici verimi yüksek ve THB değeri

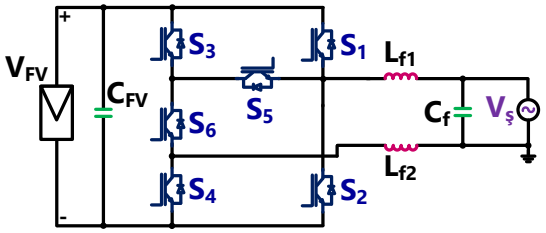
düşüktür [1]. S_1 ve S_3 kol-1'i S_2 ve S_4 kol-2'yi oluşturur. Evirici çıkış gerilimi sıfırken endüktör akımı bir faz ayağındaki iki anahtar üzerinden akar.



Şekil 15. H6-N tipi evirici devre şeması

1.4.7.2. H6-I

Şekil 16'da görüldüğü üzere bu topolojide bir çift rezonans tank, yüksek frekans ana anahtarlara paralel olarak eklenmiştir. Sonuç olarak, ana anahtarlar için sıfır akım kapanmasını ve sıfır akım açılmasını gerçekleştirir [5]. Ancak iki dezavantajı vardır: İlk olarak, rezonans endüktörlerinin tepe akımı, şebeke periyodunda kademeli olarak zayıflatılır, çünkü rezonans tanklarının kaybı her anahtarlama periyodunda yenilenemez. İkincisi, yardımcı anahtarların kapanma kaybı ve serbest diyotların ters toparlanma sorunu hala devam etmektedir.

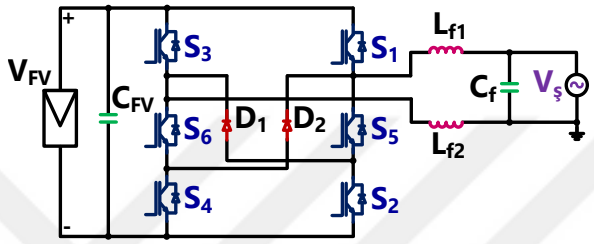


Şekil 16. H6-I tipi evirici devre şeması

H6-I tipi evirici için bazı sıkıntılar mevcuttur. Bunlar, her anahtarlama periyodunda rezonans tanklarının kaybını telafi etmeyi, yardımcı anahtarların kapanma kaybını ortadan kaldırmayı ve serbest diyotların ters toparlanma kaybını içerir.

1.4.7.3. H6-II

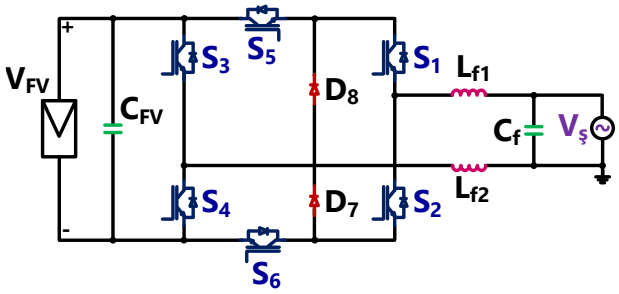
Çalışmada benzetimi yapılan H6 evirici de bu tip bir H6 eviricidir. Şekil 17'de temel H6-II tipi evirici devre şeması gösterilmiştir [31]. Bu devre, izole edilmemiş AA modül uygulamaları için uygun olup bütün aktif anahtarlarda MOSFET kullanıldığı için verim yüksektir. Parazitik kapasiteye uygulanan gerilim yalnızca düşük frekanslı bileşenler içerdiği için sızıntı akımı ve çıkış empedansı düşüktür [3].



Şekil 17. H6-II tipi evirici devre şeması

1.4.7.4. H6-IV

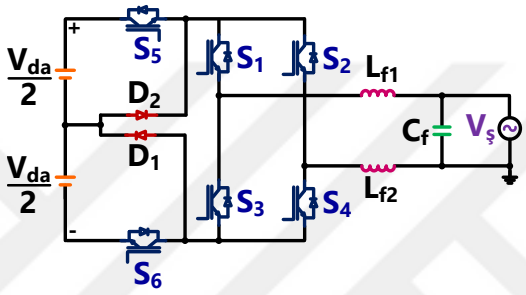
Önerilen topoloji altı adet aktif anahtar ve iki diyot içermektedir. Şekil 18'de temel H6-IV tipi evirici devre şeması gösterilmiştir. Pozitif şebeke gerilimi için S_1 her zaman açık, S_2, S_3 ve S_6 her zaman kapalıyken, S_4 ve S_5 güç aktarım aşamasında bir anahtarlama frekansında geçiş yapar. Akım S_1 ve D_7 den akar. S_1 ve S_2 anahtarları şebeke frekansında değiştiğinden, geleneksel modülasyon stratejisi ile H6-IV topolojisinde negatif güç akışı sırasında sıfır gerilim durumları üretilemez [31].



Şekil 18. H6-IV tipi evirici devre şeması

1.4.7.5. H6-PNNK

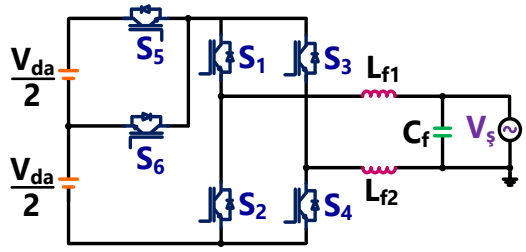
H6-Pasif NNK (PNNK) topolojisinde Şekil 19'da gösterildiği gibi DA tarafı ile tam köprü evirici yapısı arasında iki adet anahtar vardır [10]. İki diyot da bu ekstra anahtarların arasına bağlıdır ve serbest döngü sırasında bu iki anahtar DA tarafı ile şebekenin bağlantısını keser. Ayrıca bu topoloji bir bağlantı hücresi de ekler ve bu hücre anahtar kapasitesinin etkisini azaltır. Dört adet anahtar bütün aktif modlarda iletimdedir. Bu yüzden bu H6 topolojisinde iletim kayıpları çok yüksektir.



Şekil 19. H6-PNNK tipi evirici çalışma modları

1.4.7.6. H6-ANNK

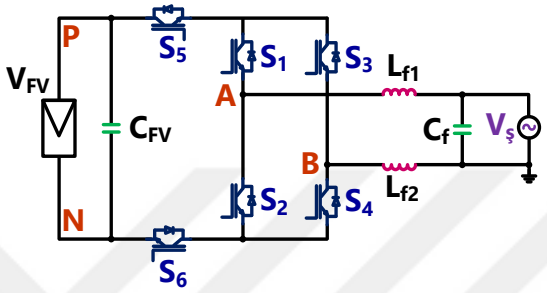
H6 evirici topolojisinin, transistörün kapasitesi yüzünden kaçak akımı azaltma yeteneği düşüktür. H6-Aktif NNK (ANNK) topolojisi DA tarafına bir bağlama hücresi ekler ve bu da H6 topolojisinin limitlerini kaldırır ve ortak mod gerilimini sabit tutar [10]. Bunun sonucunda kaçak akımı bağlantı hücresini ekledikten sonra küçük olur. Ancak fazla sayıda kapı sürücü işareti gerekliliği bu topolojinin dezavantajıdır. Şekil 20'de eviriciye ait devre şeması ve çalışma modları gösterilmiştir [10].



Şekil 20. H6-ANNK tipi evirici çalışma modları

1.4.7.7. Gelişmiş H6

Bu evirici topolojisinde Şekil 21'de görüldüğü üzere tam köprü eviriciye iki adet anahtar (S_5, S_6) eklenmiştir [32]. Evirici bir dekuple olmayan moddan dekuple moda geçerken V_{AN} ve V_{BN} gerilimlerinin eğimleri anahtarların birleşim kapasitansına bağlıdır. Bunun sonucunda ortak mod gerilimi anahtarların birleşim kapasitansına bağlıdır.



Şekil 21. Gelişmiş H6 evirici topolojisi

H6-I, H6-II ve H6-IV geleneksel modülasyon teknikleri ile reaktif güç uygulamalarına uygun değildirler [31]. Bu topolojiler ileri ve geri güç katsayısında negatif güç transferinde akıma akış yolu sağlamaz. Bu yüzden serbest akış periyodunda sıfır gerilim durumuna ulaşılamaz. Bu topolojilerde THB değeri %5'ten daha fazladır. İleri ve geri güç katsayısında güç üretimi oldukça düşer. H6-ANNK topolojisinin avantajı düşük kaçak akıma sahip olmasıdır ve dezavantajı ise çok sayıda kapı sürücü işaretine ihtiyaç duyulmasıdır. H6-PNNK topolojisinin avantajı ise, giriş kapasitesi ile filtre endüktörü arasında reaktif güç değişimi olmamasıdır ve dezavantajı ise iletim kayıplarının fazla olmasıdır. Tablo1'de bu topolojilerinin avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir [10].

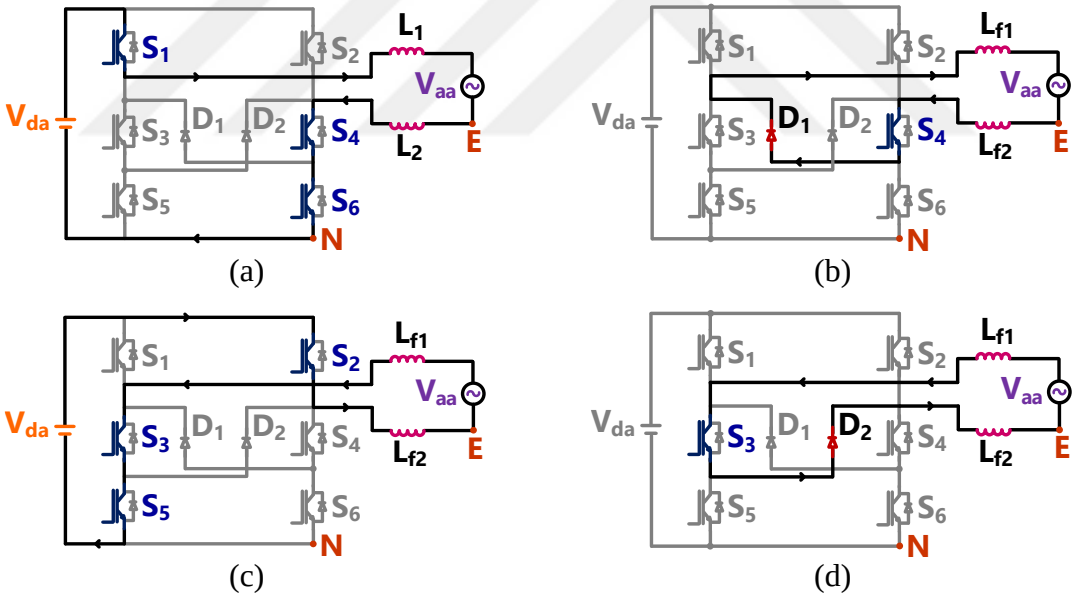
Tablo 1. H6 evirici topolojileri karşılaştırma tablosu

Topoloji Adı	Avantaj	Dezavantaj
H6	Dengeli kayıplar	Anahtarlama ve iletim kayıpları yüksek
H6-ANNK	Düşük sızıntı akımı	Daha fazla kapı sürücü sinyaline ihtiyaç var
H6-PNNK	Düşük sızıntı akımı, Giriş kapasitesi ile filtre endüktörü arasında reaktif güç değişimi yok	Anahtarlama ve iletim kayıpları yüksek
Geliştirilmiş H6	Şebeke bağlantılı akım ve sızıntı akımı THB düşük	İletim kayıpları yüksek

H-köprü evirici göreceli daha büyük ve değişken bir ortak mod gerilimi üretir ve bunun sonucunda büyük kaçak akımlar oluşur. Bu da H-köprü eviriciyi transformatörsüz FV uygulamaları için uygunsuz duruma getirir [12]. H5 ve HERIC daha düşük kaçak akıma sahiptir ve transformatörsüz FV uygulamaları için uygundurlar. HERIC evirici AA bypass için iki ekstra anahtara sahiptir. H5 ise DA bypass için bir adet ekstra anahtara sahiptir. Çok sayıda anahtarına rağmen HERIC eviricinin iletim kayıpları H5 eviriciye göre daha azdır. Çünkü aktif mod çalışma durumunda H5 eviricide üç anahtar iletimdeyken HERIC eviricide iki anahtar iletimdedir.

1.5. H6-II Tipi Evirici Çalışma Prensibi

H6 evirici türü olan H6-II tipi evirici temelde dört farklı çalışma modu vardır. Bu çalışma modlarına ait devre şeması Şekil 22'de gösterilmiştir [3].



Şekil 22. H6-II tipi evirici çalışma modu devre şemaları

Şebekenin pozitif yarım döngüsü boyunca S_4 anahtarı *açık*tır; S_1, S_6 ve D_1, DGM anahtarlama frekansında komütasyona girer. S_1, S_6 ve S_4 *açık*, diğer anahtarlar ve diyotlar *kapalı* olduğunda endüktör akımı şarj olur. L_{f1} ve L_{f2} nin endüktans değerlerinin aynı olması koşuluyla, endüktör gerilimi şu şekilde bulunabilir:

$$v_{Lf1} = v_{Lf2} = 0.5(v_{da} - v_{aa}) \quad (8)$$

Çıkış gerilimi v_{aa} ise şöyle hesaplanabilir:

$$v_{aa} = v_{da}.M.\sin \omega t \quad (9)$$

v_{da}: DA link gerilimi $M = m_{indeks}$: Modülasyon indeksi ω : Şebeke açısal frekansı

Modülasyon indeksi ($M = m_{indeks}$) ise referans sinüs dalgası tepe değerinin (V_R) taşıyıcı dalganın tepe değerine (V_T) oranıdır [33].

$$m_{indeks} = \frac{V_R}{V_T} \quad (10)$$

Basitleştirmek için, nötr hat ve toprak arasındaki hat frekansındaki empedans ihmal edilir. Şebeke pozitif yarım döngüsü sırasında şarj aralığı şu şekilde ifade edilebilir:

$$v_{EN1} = 0.5v_{da}[1 - (M \sin(\omega t))] \quad (11)$$

Şebeke pozitif yarım döngüsü sırasında serbest dönme aralığında S_1 ve S_6 eş zamanlı olarak kapalı, S_4 ve D_1 açık konumdadır. L_{f1} ve L_{f2} endüktanslarının gerilimi şu şekilde hesaplanabilir:

$$v_{Lf1} = v_{Lf2} = -0.5v_{aa} \quad (12)$$

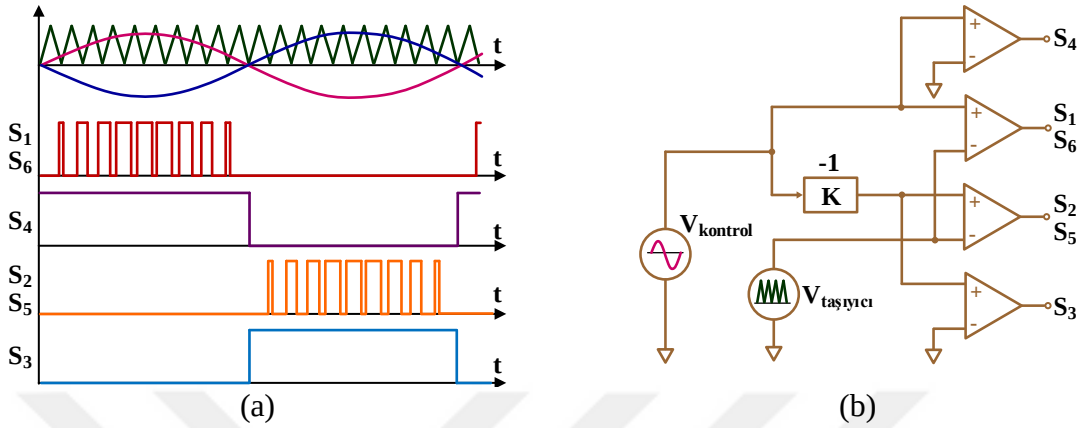
S_1 ve S_6 eş zamanlı kapalı konuma getirilip aynı DA link gerilimini paylaştığında anahtarı üzerindeki gerilim stresi:

$$v_{S_6} = 0.5v_{da} \quad (13)$$

Basitleştirmek için, nötr hat ve toprak arasındaki hat frekansındaki empedans da ihmal edilir. Şebeke pozitif yarım döngüsü sırasında serbest dönme aralığı şu şekilde ifade edilebilir:

$$v_{EN2} = 0.5v_{da}[1 - (M \sin(\omega t))] \quad (14)$$

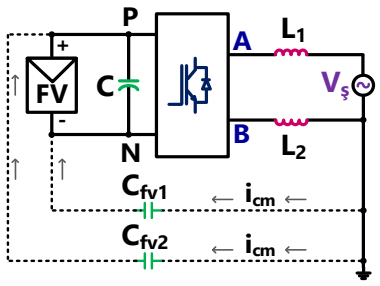
Çalışma modları, şebekenin negatif yarım döngüsü sırasında benzer şekilde değişir. Şekil 23'te H6-II tipi eviricisine ait geleneksel DGM işaretleri gösterilmiştir [3].



Şekil 23. H6-II tipi evirici DGM şeması. (a) zaman bölgesinde işaretler (b) işaret uygulaması

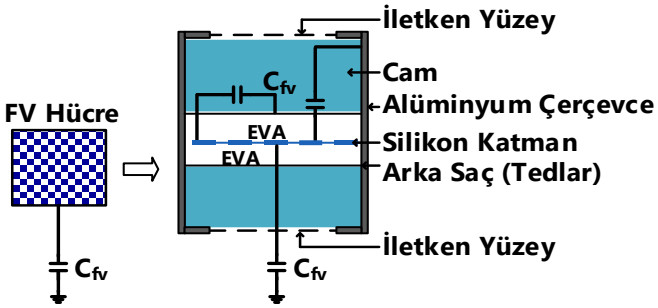
1.6. Kaçak Akım

Transformatörsüz topolojide FV panel ve şebeke arasında galvanik izolasyon oluşmaz. Bunun sonucunda FV paneller ile şebeke arası kısa devre meydana gelir ve kaçak akımı akmaya başlar. Şekil 24'te şebeke bağlantılı evirici devresi üzerinde kaçak akım akışı gösterilmiştir [29].



Şekil 24. Transformatörsüz FV sisteminde kaçak akımın izlediği yol.

Şekil 25'te gösterilen FV hücreler/panel ile toprak arasındaki parazitik kapasiteler (C_{fv}) gerilim dalgalanmaları ile şarj ve deşarj olurlar [34].



Şekil 25. FV panellerde parazitik kapasite

Kaçak akım (i_{cm}) şebeke alçak frekans ve anahtarlama yüksek frekans bileşenlerini içerir ve bu bileşenler şebeke akımına harmonik enjekte eder, sistem kaybını artırır, elektromanyetik uyumluluğu zayıflatır ve elektrik çarpması gibi güvenlik problemlerine sebep olabilir. Kaçak akım Tablo 2'de verildiği gibi standartlarda belirtilen sınır değerini aşmamalıdır [29].

Tablo 2. VDE 0126-1-1 standardına göre kaçak akımı sınır değerleri

Kaçak Akım (mA)	**Arıza Süreksizlik Süresi (ms)**
30	300
60	150
100	40

Kaçak akım birçok yöntemle azaltılabilir. Bunlardan birkaçı:

- FV dizi çerçevesini topraklayarak kapasiteyi düşürmek ve böylece kaçak akımı azaltmak [34].
- Dikkatli seçilmiş bir modülasyon yöntemi ve topoloji sonucunda toprak ve FV arasında gerilim dalgalanmaları azaltarak ve kaçak akım düşürmek [35].
- Servis bakımı altında eviricinin sökülmesi ve şebekeye bağlı FV sisteminin güvenli çalışmasını izlemek için bir artık akım izleme ünitesi kullanılması [34].
- Pasif filtreler ile kaçak akım bypass edilmesi [36].

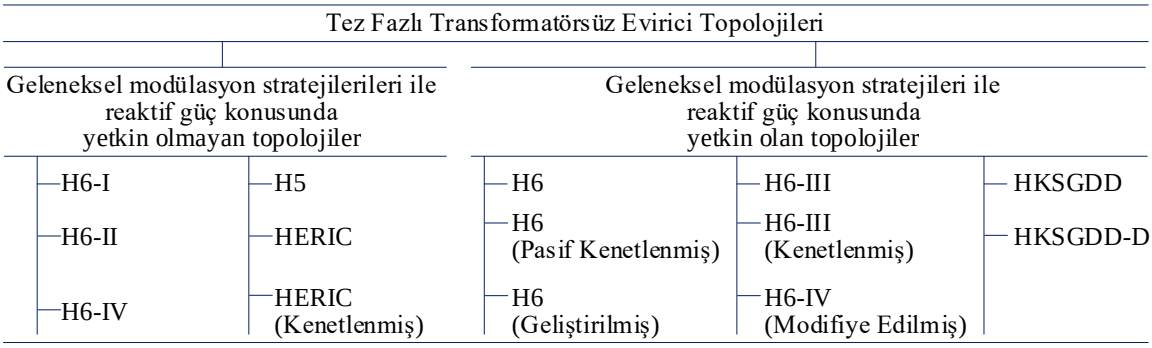
Şebeke ile FV sistemi arasında galvanik izolasyon olmadıkça ortak mod rezonans devresi meydana gelir. Sızıntı akımını engellemenin en etkili yolu Denklem (15) ve (16) te verilen toplam ortak mod gerilimini (V_{CM}) sabit bir değerde tutmaktır.

$$V_{CM} = \frac{V_{AN} \times L_2 + V_{BN} \times L_1}{L_1 + L_2} \tag{15}$$

$$V_{CM} = \frac{V_{AN} + V_{BN}}{2} \tag{16}$$

1.7. Aktif- Reaktif Güç Kontrolü

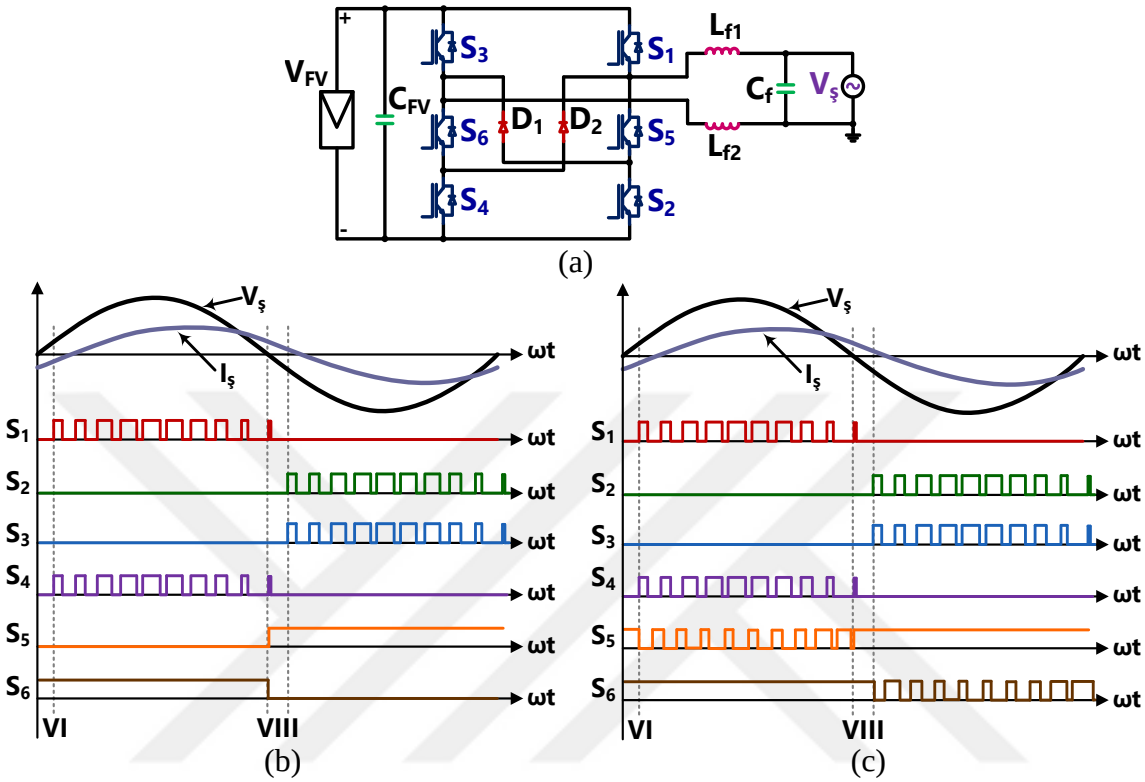
Topolojilerin çoğu birim güç faktöründe çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bunun yanında FV sistemlerin yüksek oranda yaygınlığına/nüfuzuna olanak sağlamak amacıyla yeni nesil şebeke bağlantılı FV eviriciler için reaktif güç desteği gereklidir. Reaktif güç kabiliyetine sahip çeşitli tek fazlı transformatörsüz topolojiler tanıtılsa bile bunların modülasyon stratejileri ve yapıları karmaşıktır ve bu da maliyeti, kayıpları ve karmaşıklığı artırmaktadır. Şekil 26'da tek fazlı transformatörsüz eviricilerin reaktif güç kabiliyetine göre sınıflandırılması gösterilmiştir [31].



Şekil 26. Reaktif güç kabiliyetine göre transformatörsüz evirici sınıflandırması

Tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz eviricide reaktif güç ve 3-seviyeli tek kutuplu gerilim üretme amaçlı kullanılabilecek modülasyon stratejileri farklılık göstermektedir. Temelde geleneksel ve geliştirilmiş modülasyon stratejileri olarak ifade edilmekte olup Şekil 22'de gösterilen H6-II tipi eviriciye ait olan çalışma modlarına ek olarak farklı

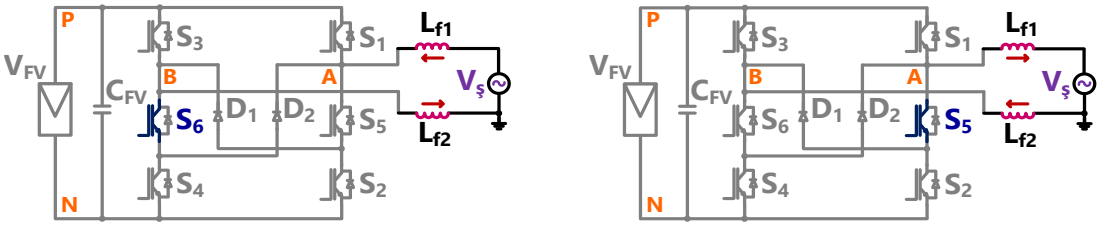
çalışma modlarını içermektedir [31]. Şekil 27'de H6-II tipi evirici topolojisi ve geleneksel ve geliştirilmiş modülasyon stratejisi anahtarlama işaretleri gösterilmiştir.



Şekil 27. (a) H6-II tipi evirici topolojisi, (b) Geleneksel modülasyon stratejisi, (c) Geliştirilmiş modülasyon stratejisi

Reaktif güç ve 3-seviyeli tek kutuplu gerilim üretiminde temel modülasyon stratejilerinde gözlemlenen çalışma modalarından farklı olarak kullanılan iki farklı çalışma modu mevcut olup bu çalışma modları ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir [28]:

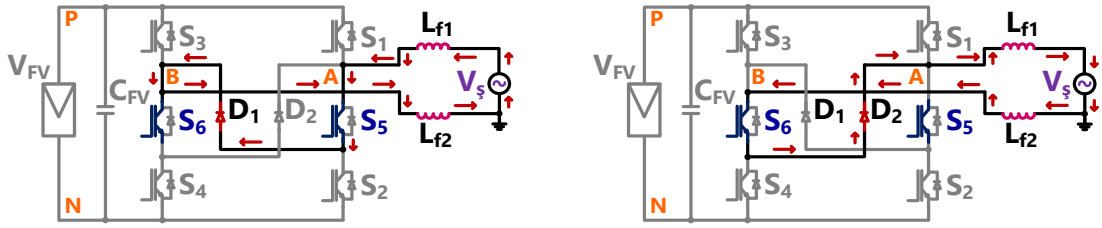
Şekil 28'de geleneksel modülasyon stratejisine ait çalışma modları gösterilmiştir. Şekil 28(a)'da şebeke geriliminin pozitif ve şebeke akımının negatif olduğunda sıfır gerilim durumlarından biri mevcuttur. Burada S_6 anahtarı açık konumunda iken S_1, S_2, S_3, S_4 ve S_5 anahtarları kapalı konumdadır. Akımın akacağı bir yol mevcut değildir ve bu yüzden sıfır gerilim elde edilmez. Şekil 28(b)'de şebeke geriliminin negatif ve şebeke akımının pozitif olduğunda sıfır gerilim durumlarından biri gösterilmiştir. Burada S_5 anahtarı açık konumunda iken S_1, S_2, S_3, S_4 ve S_6 anahtarları kapalı konumdadır. Şekil 28(b)'de görüldüğü üzere akım için negatif güç bölgesine akacak bir yol mevcut değildir. Bu yüzden sıfır gerilim elde edilmez. Gerilimler; $V_{AB} = 0$, $V_{AN} = V_{FV}/2$ ve $V_{BN} = V_{FV}/2$.



Şekil 28. Geleneksel modülasyon stratejisi ile çalışma modları
(a) Mod-VI: Şebeke gerilimi pozitif ve şebeke akımı negatif
(b) Mod-VIII: Şebeke gerilimi negatif ve şebeke akımı pozitif

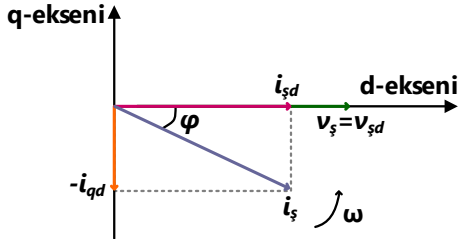
Şekil 29'da geliştirilmiş modülasyon stratejisine ait çalışma modları gösterilmiştir. Şekil 29(a)'da şebeke geriliminin pozitif ve şebeke akımının negatif olduğu serbest dolaşım modu gösterilmiştir. Burada S_5 ve S_6 anahtarı açık konumunda iken S_1, S_2, S_3 ve S_4 anahtarları kapalı konumdadır. Bu çalışma modunda, akım L_2, şebeke, L_1, S_5 ve D_1 elemanı üzerinden akar. Sıfır gerilim durumu elde edilir. Gerilimler; $V_{AB} = 0$, $V_{AN} = V_{FV}/2$ ve $V_{BN} = V_{FV}/2$.

Şekil 29(b)'de şebeke geriliminin negatif ve şebeke akımının pozitif olduğu serbest dolaşım modu gösterilmiştir. Burada S_5 ve S_6 anahtarı açık konumunda iken S_1, S_2, S_3 ve S_4 anahtarları kapalı konumdadır. Bu çalışma modunda, akım L_1, şebeke, L_2, S_6 ve D_2 elemanı üzerinden akar. Gerilimler; $V_{AB} = 0$, $V_{AN} = V_{FV}/2$ ve $V_{BN} = V_{FV}/2$.



Şekil 29. Geliştirilmiş modülasyon stratejisi ile çalışma modları
(a) Mod-VI: Şebeke gerilimi pozitif ve şebeke akımı negatif,
(b) Mod-VIII: Şebeke gerilimi negatif ve şebeke akımı pozitif

Şebeke gerilimi ve enjekte edilen akımının dq döner referans eksendeki fazör diyagramı Şekil 30'da gösterilmiştir.



Şekil 30. Şebeke gerilimi ve akımın dq-eksen fazör diyagramı

Tek fazlı sistemlerde enjekte edilen şebeke akımı şebeke gerilimi ile senkronize olmalıdır. Şebeke akımı ve gerilimi şu şekilde ifade edilebilir [31]:

$$v_ş(t) = V_ş \cos \omega t \tag{17}$$

$$i_ş(t) = I_ş \cos(\omega t - \varphi) = I_{şd} \cos \omega t - jI_{şq} \sin \omega t \tag{18}$$

Yukarıdaki denkleme göre dq ekseninde enjekte edilen akım:

$$i_d = I_ş \cos \varphi \tag{19}$$

$$i_q = -I_ş \sin \varphi \tag{20}$$

Bu durumda şebeke bağlantılı eviricinin aktif ve reaktif güç hesabı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P = \frac{1}{2} \times v_{şd} \times i_{şd} \tag{21}$$

$$Q = \frac{1}{2} \times v_{şd} \times i_{şq} \tag{22}$$

Aktif ve reaktif güç kontrolü, şebeke akımının i_d ve i_q bileşenlerinin denetlenmesi edilmesi ile gerçekleştirilebilir.

1.8. Filtre Tasarımı

Evirici tarafı endüktans tasarımı yapılırken farklı metotlardan faydalanılabilir. Bunlardan bir tanesi çıkış nominal akım değerinin belirli yüzde değerinde tepeden tepeye

akım dalgalanması büyüklüğünün sınırlanmasına dayanmaktadır. Bu akımdaki dalgalanma değeri literatürde genellikle %10-%20 olarak belirtilmektedir [3]. Tepeden tepeye akım dalgalanmasına ait eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Delta i_{tepe} = \frac{(v_{da} - v_{aa})/DT_S}{L_1 + L_2} \tag{23}$$

Buradaki D doluluk-boşluk oranı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$D = M\sin(\omega t) \tag{24}$$

Yukarıdaki denklemlerden faydalanılarak tepeden tepeye akım dalgalanması aşağıdaki gibi türetilebilir:

$$\Delta i_{pk} = \frac{0.25 v_{da} T_S}{L_1 + L_2}[1 - (1 - 2M\sin\omega t)^2] \tag{25}$$

Buradaki T_S DGM anahtarlama periyodudur ve

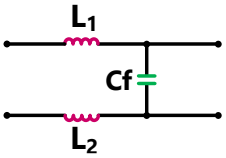
$$1 - 2M\sin(\omega t) = 0 \tag{26}$$

Tüm şebeke döngüsünde endüktör akımının tepeden tepeye dalgalanma akımının maksimum değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\Delta i_{tepe,maks} = \frac{0.25 v_{da} T_S}{L_1 + L_2} \leq (10\sim20)\% \cdot I_{rated} \tag{27}$$

Şekil 31'de LCL tipi çıkış filtresi görülmektedir. LCL filtre ile iki endüktör üzerinde eşit gerilim salınımı olur, böylece, endüktans değerleri eşitse, FV panelin negatif terminali ile şebeke toprağı arasındaki yüksek frekanslı gerilim salınımı önemli ölçüde azaltılabilir [3]. L ve LC filtreye göre LCL filtre harmonikleri azaltmada/astırmada daha etkilidir [37]. H6 evirici tarafı endüktans aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$(L_1 + L_2) \geq \frac{0.25 v_{da} T_S}{(10\sim20)\% \cdot I_{rated}} \tag{28}$$



Şekil 31. LCL tipi filtre

İki kutuplu DGM uygulanan geleneksel tam köprü eviricide evirici tarafı endüktans aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$L_{\text{çıkış}} \geq \frac{0.5 v_{da} T_S}{(10\sim20)\% \cdot I_{rated}} \tag{29}$$

C_f filtre kondansatör değeri, $(L_1 + L_2)$'nin ve C_f'nin f_c kesim frekansını seçerek Denklem (30)'daki gibi hesaplanabilir. f_c değeri temel frekansın beş katından daha büyük ve anahtarlama frekansının beşte birinden daha küçük olacak şekilde seçilmesi tavsiye edilir [3].

$$C_f = \frac{1}{4\pi^2 f_c^2 (L_1 + L_2)} \tag{30}$$

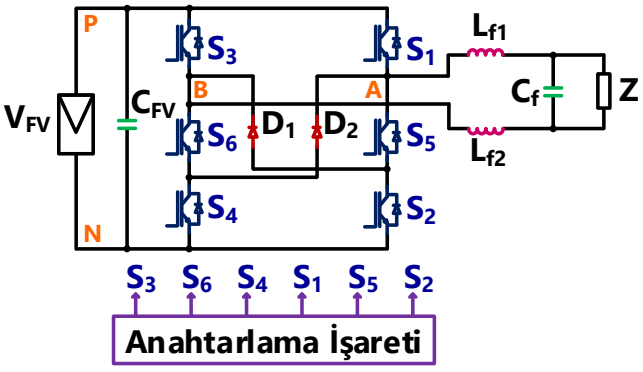
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz evirici performansı üzerinde farklı modülasyon tekniklerinin, çalışma koşullarının etkisi bu bölümde ele alınacaktır. H6-II tipi eviricinin verimi, ortak mod gerilimi ve kaçak akım değerleri, THB miktarı, aktif ve reaktif güç enjekte kabiliyeti irdelenecektir. FV panel bir doğrusal olmayan DA kaynağıdır. FV panelden maksimum gücün elde edilmesi ve şebekeye düz bir şekilde akım aktarılması için FV panel ile evirici arasında DA-DA çeviricisi kullanımı genellikle tercih edilir. DA-DA çevirici çıkışında temelde doğrusal DA kaynağı karakteristiği gözlemlenir. Bu tez çalışmasında evirici ve sonrası elemanlar ile ilgili irdelemeler yapıldığından evirici girişinde sabit genlikte DA geriliminin var olduğu kabulü yapılarak benzetim çalışmalarında, evrici girişine FV panel yerine DA kaynak konularak çalışmalar yapılmıştır.

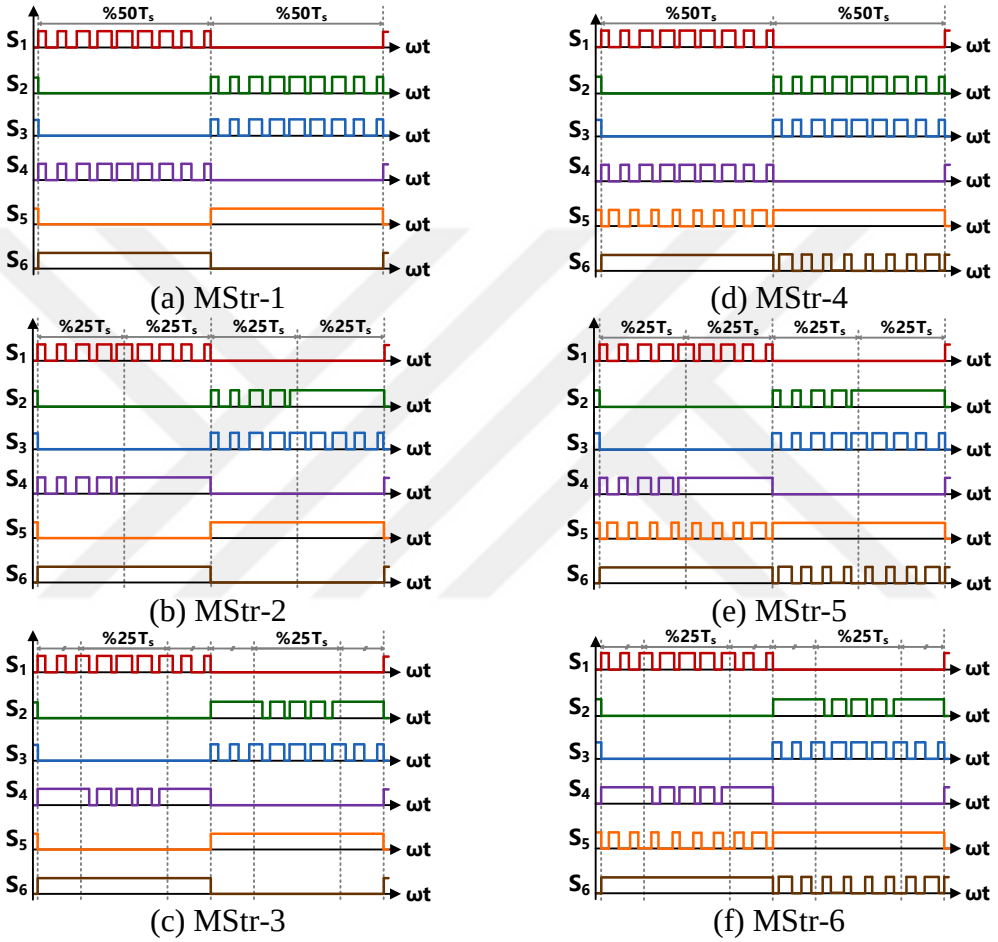
2.2. Şebekeden Bağımsız H6-II Tipi Evirici

Şebekeden bağımsız tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz evirici sisteminin temel devre bağlantı şeması Şekil 32'de gösterilmiştir. Anahtarlama işaret bloğu içerisinde üretilen işaretler evirici anahtarlarına ($S_1 - S_6$) uygulanarak FV panellinde gelen enerji, evirici vasıtasıyla filtre (L_{f1}, L_{f2}, C_f) üzeriden yüke (Z) aktarılmaktadır.



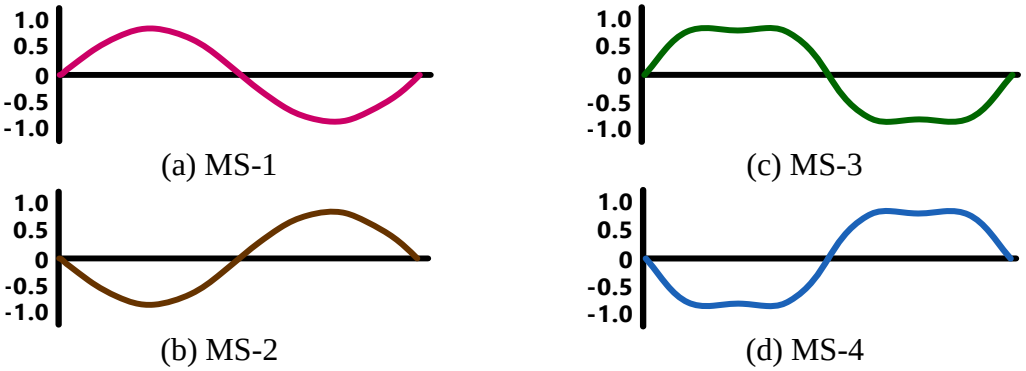
Şekil 32. H6-II tipi evirici devre şeması (Şebekeden Bağımsız)

Anahtarlama işareti bloğu içerisinde modülasyon stratejisine bağlı olarak evirici anahtarlarına gönderilecek işaretlerin üretimi sağlanmaktadır. Şebekeden bağımsız H6-II tipi eviricide kullanılacak olan geleneksel, geleneksel-ayrık, geliştirilmiş ve geliştirilmiş-ayrık modülasyon stratejilerine (MStr) ait temel anahtarlama işaretleri Şekil 33'te gösterilmiştir.

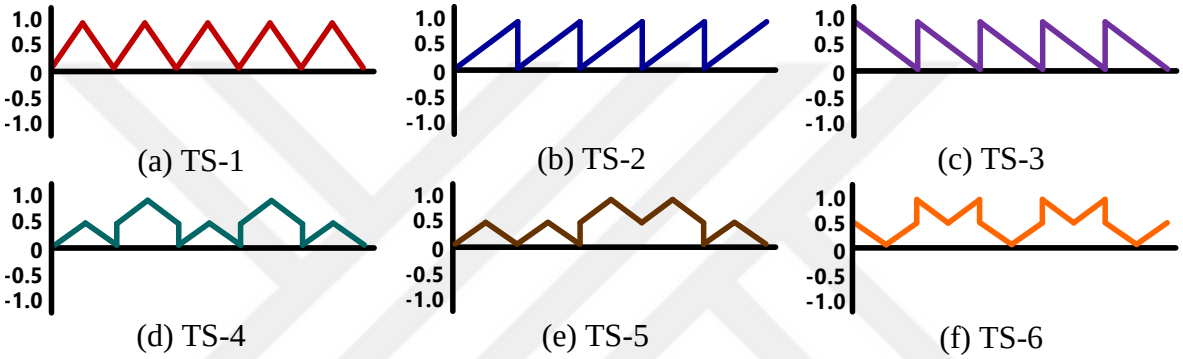


Şekil 33. Modülasyon stratejilerine bağlı temel anahtarlama işareti dalga şekilleri

Anahtarlama işareti üretiminde temelde Modülasyon Sinyali (MS) ve Taşıyıcı Sinyali (TS) kullanılmakta olup bu çalışmada kullanılacak olan MS ve TS türlerine ait dalga şekilleri Şekil 34 ve 35'te gösterilmiştir. Şekil 32'de gösterilen anahtarlama işareti bloğu yapısının temelde içermiş olduğu modülasyon stratejisi (Şekil 33), modülasyon sinyali (Şekil 34) ve taşıyıcı sinyali (Şekil 35) kullanılarak farklı modülasyon kombinasyonları/modları oluşturulmuş ve Tablo 3'te özetlenmiştir. Bu bölümde tablodaki modülasyon kombinasyonlarından ilk altısının benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 34. Modülasyon Sinyali (MS) dalga biçimleri



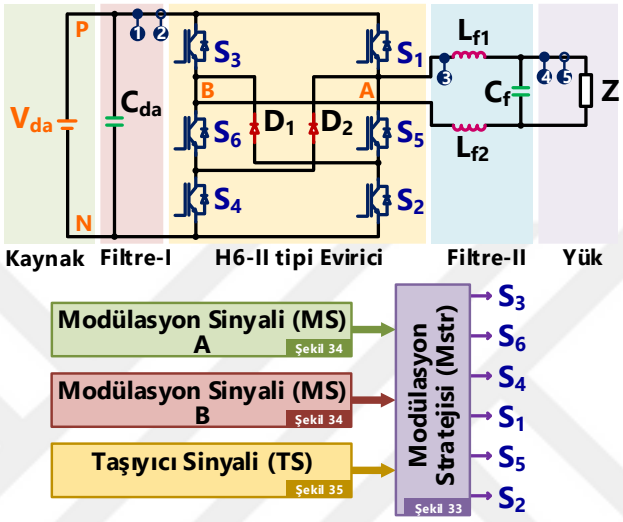
Şekil 35. Taşıyıcı Sinyali (TS) dalga biçimleri

Tablo 3. Anahtarlama işareti üretim matrisi

Mod	Modülasyon Tekniği	Modülasyon Stratejisi (MStr)	Modülasyon Sinyali (MS)		Taşıyıcı Sinyali (TS)
			A	B	A
I	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-2
II	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-3
III	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-1
IV	ÜHE-DGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-2
V	ÜHE-DGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-3
VI	ÜHE-DGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-1
VII	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-4
VIII	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-5
IX	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-6
X	HDGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-4
XI	HDGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-5
XII	HDGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-6

Şebeke bağlantısız tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz evirici sisteminin temel benzetim çalışması blok diyagramı Şekil 36'da gösterilmiştir. Evirici girişi DA kaynağı ile beslenirken evirici çıkışına LCL filtre bağlı bulunmaktadır. Gerçekleştirilecek benzetim

çalışması içerisinde farklı çalışma koşulları ele alınacak olup şekilde gösterilen ölçüm noktalarında $(1-5)$ ilgili akım ve gerilim bilgileri okunacaktır. H6-II tipi evirici bünyesindeki anahtarlar $(S_1 - S_6)$, modülasyon stratejisi (Şekil 33), modülasyon ve taşıyıcı sinyalleri (Şekil 34 ve 35) dikkate alınarak oluşturulan anahtarlama işaretleri tetiklenmektedir.



Şekil 36. H6-II tipi evirici blok diyagramı (Şebeke Bağlantısız)

Şekil 36'da gösterilen ölçüm noktalarından evirici girişinde bulunan ölçüm noktası 1 ve ölçüm noktası 2'den okunan akım $(I_{giriş})$ ve gerilim $(V_{giriş})$ değerleri kullanılarak evirici giriş gücü $(P_{giriş})$, ölçüm noktası 4 ve ölçüm noktası 5'ten gözlemlenen akım $(I_{çıkış})$ ve gerilim $(V_{çıkış})$ değerleri kullanılarak evirici çıkış gücü $(P_{çıkış})$ ve bu güç değerleri kullanılarak eviricinin geleneksel verim (η) değeri ve türevleri (Avrupa ve Kaliforniya verimi) hesaplanmaktadır. Evirici temel verimi (η), Avrupa verimi (η_{Avrupa}) ve Kaliforniya verimi $(\eta_{\text{Kaliforniya}})$ aşağıdaki verilen denklemlerdeki gibi tanımlanabilir [38].

$$\eta = \frac{\int_0^{T_ö} p_{çıkış}(t)\,dt}{\int_0^{T_ö} p_{\text{giriş}}(t)\,dt} \tag{31}$$

Burada;

$p_{\text{giriş}}(t)$: Kaynaktan çekilen (evirici girişi) anlık güç değeri

$p_{çıkış}(t)$: Yüke aktarılan (evirici çıkışı) anlık güç değeri

$T_{ö}$: Ölçüm periyodu

$$\eta_{\text{Avrupa}} = 0.03\eta_{\%5} + 0.06\eta_{\%10} + 0.13\eta_{\%20} + 0.10\eta_{\%30} + 0.48\eta_{\%50} + 0.20\eta_{\%100} \quad (32)$$

$$\eta_{\text{Kaliforniya}} = 0.04\eta_{\%10} + 0.05\eta_{\%20} + 0.12\eta_{\%30} + 0.21\eta_{\%50} + 0.53\eta_{\%75} + 0.05\eta_{\%100} \quad (33)$$

2.2.1. Çalışma-I

Benzetimi gerçekleştirilecek Şekil 36'da temel blok diyagramı gösterilen şebekeden bağlantısız tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz evirici sisteminin parametre değerleri Tablo 4'te ve bu çalışmada kullanılacak olan anahtarlama işaret bilgileri (modülasyon tekniği, modülasyon stratejisi, modülasyon sinyal, taşıyıcı sinyali ve mod) Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Sistem parametreleri (Çalışma-I)

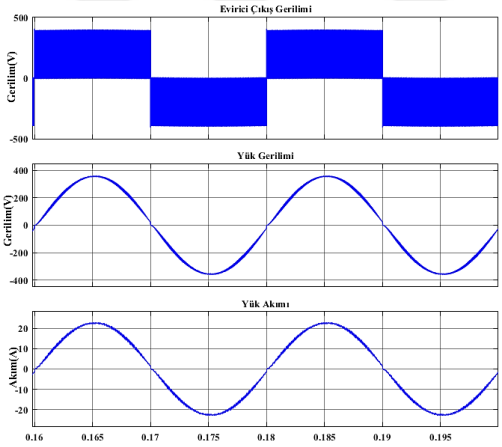
DA Kaynak		**Evirici**				**Yük**	
V_{da} (V)	400	Güç (kW)	4.0			R_y (Ω)	0-500
Filtre		**Anahtar**		**Diyot**		**Modülasyon Bilgisi**	
L_{f1}, L_{f2} (mH)	1.6	R_{on} (mΩ)	1.0	R_{on} (mΩ)	1.0	f_{sw} (kHz)	20
C_f (nF)	2.0	L_{on} (mH)	0.0	L_{on} (mH)	0.0	m_{indeks}	0.9
		V_f (V)	1.45	V_f (V)	1.45		

Tablo 5. Anahtarlama işareti üretim matrisi (Çalışma-I ve Çalışma-II)

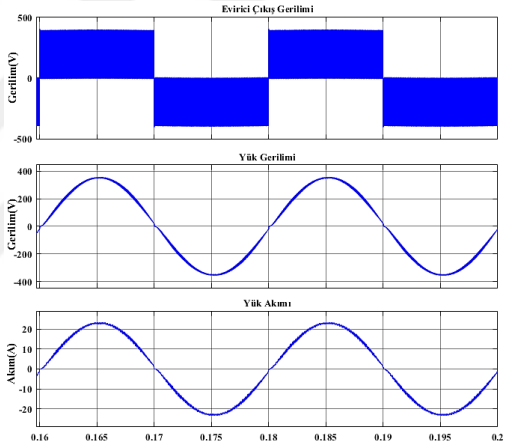
Mod	**Modülasyon Tekniği**	**Modülasyon Stratejisi (MStr)**	**Modülasyon Sinyali (MS)**		**Taşıyıcı Sinyali (TS)**
			A	**B**	**A**
I	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-2
II	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-3
III	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-1
IV	ÜHE-DGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-2
V	ÜHE-DGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-3
VI	ÜHE-DGM	MStr-1	MS-3	MS-4	TS-1

Bu çalışmada farklı anahtarlama işareti üretim yöntemlerinin sistem çıktıları üzerindeki etkileri gözlemlenecektir. Çıkış yük ($Z = R_y$) değeri değiştirilerek sistem çıkış gücü ayarlanmakta ve Şekil 36'da gösterilen ölçüm noktalarından ilgili akım ve gerilim bilgileri gözlemlenip güç, verim ve yük akımındaki toplam harmonik bozunum değerleri hesaplanacaktır.

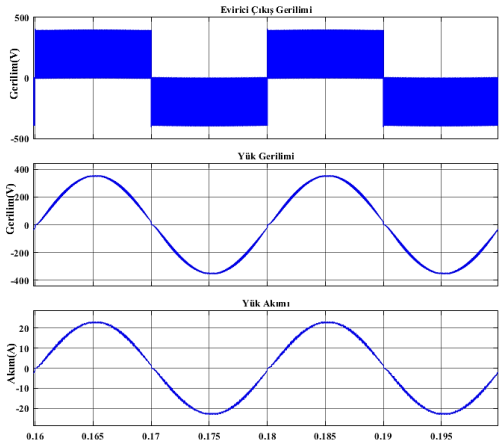
Evirici giriş gerilimi ($V_{giriş}$), anahtarlama frekansı (f_{sw}) ve modülasyon indeksi (m_{indeks}) değeri sabit olması ve çıkış yükü ($Z = R_{yük}$) değerinin değişken olması koşulu için benzetim çalışması yerine getirilmiş ve ilgili elde edilen tüm sayısal sonuçlar tablo halinde Ek 1'de verilmiştir. Mod I-VI için maksimum evirici çıkış gücünde ($P_{çıkış}$), evirici çıkış gerilimi, yük akımı ve gerilim dalga şekilleri Şekil 37-42'de gösterilmiştir.



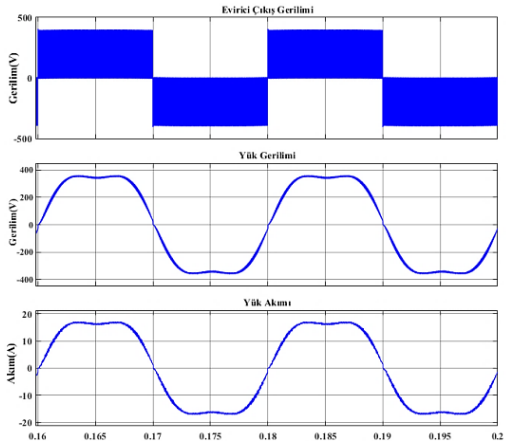
Şekil 37. Gerilim-akım (Mod-I)



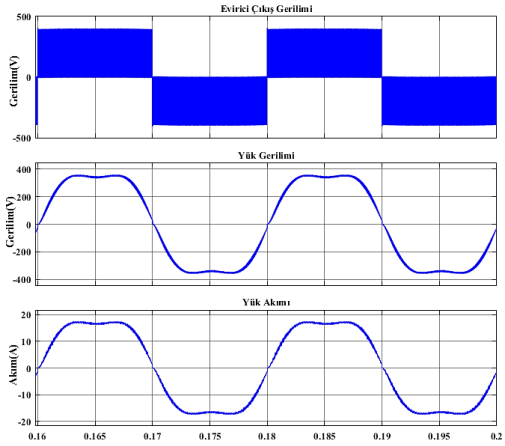
Şekil 38. Gerilim-akım (Mod-II)



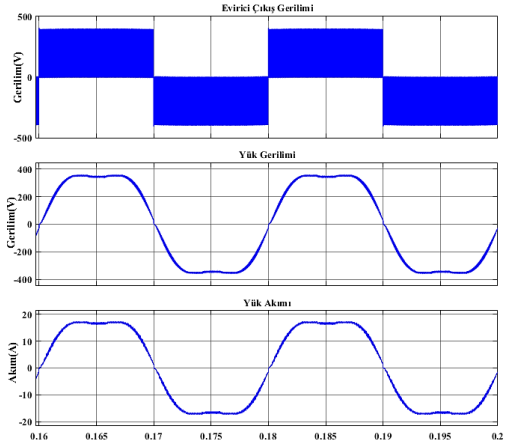
Şekil 39. Gerilim-akım (Mod-III)



Şekil 40. Gerilim-akım (Mod-IV)



Şekil 41. Gerilim-akım (Mod-V)

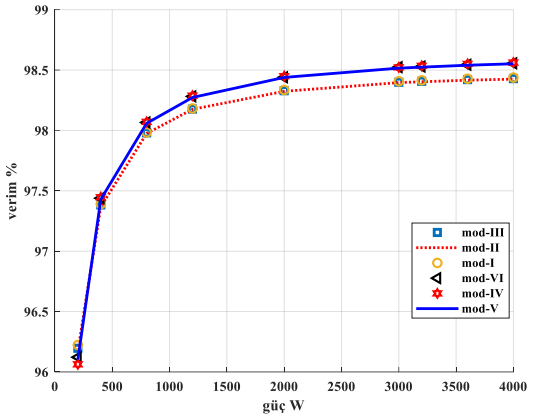


Şekil 42. Gerilim-akım (Mod-VI)

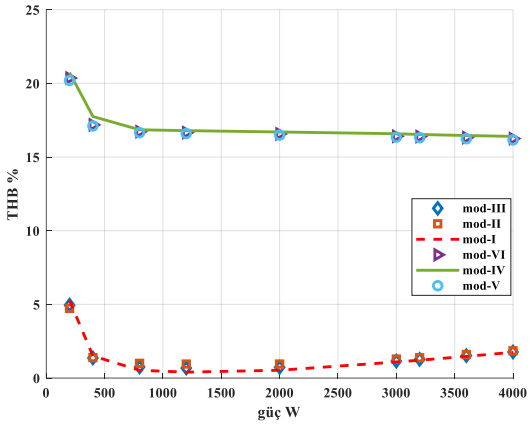
Ek Tablo 6.1-6.3'te sisteme SDGM tekniği ile farklı taşıyıcı işaretleri uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Çıkış yük değeri değiştirilerek tabloda verilen güç değerleri elde edilmiştir. Tablolarda görüldüğü üzere, verimde düzenli bir artış gözlemlenmektedir. THB değerleri ise SDGM'de maksimum gücün %30'una kadar azaldığı, bu değerden sonra artmaya başladığı görülmektedir. ÜHE-DGM'de ise THB değerinde düzenli bir düşüş görülmektedir. Çıkış geriliminin RMS değeri her durum için maksimum güç değerine yaklaşıldıkça azalmıştır. Ek Tablo 6.4-6.6'da ÜHE-DGM'nin farklı taşıyıcı işaretlerle uygulanıp ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda, çıkış güç değerinin büyümesiyle birlikte verimde de artış olduğu ve THB değerinde ise düşüş olduğu tespit edilmiştir.

SDGM ve ÜHE-DGM'ye bakıldığında görülüyor ki, ÜHE-DGM'nun THB değerleri daha yüksektir. Ancak çıkıştan elde edilen gerilim değeri SDGM'ye göre daha yüksektir. Benzetim çalışması yapılan durumlara bağlı güç ile verim arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ve THB ile verim arasındaki değişimi gösteren grafik sırasıyla Şekil 43 ve 44'te gösterilmiştir.

Şekil 43'te, güç belli bir değere ulaşana kadar verim değerinin arttığı, ancak bu değerden sonra verimde fazla bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 44'te THB değerlerine bakıldığında ise, ÜHE-DGM'nun THB değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Güç belli bir değere ulaşana kadar THB değeri düşerken, bu değerden sonra THB değerinde fazla bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. SDGM ve ÜHE-DGM tekniklerinin farklı durumları için benzetim karşılaştırılması Tablo 6'da özetlenmiştir.



Şekil 43. Verim-güç



Şekil 44. THB-güç

Tablo 6. Maksimum güç değerinde Mod I-VI çıktıları (Çalışma-I)

	Mod					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
	SDGM			**ÜHE-DGM**		
$\mathbf{THB}^{*}_{\mathbf{I_{çıkış}}}$	1.75	1.85	1.77	16.40	16.16	16.25
$\boldsymbol{\eta}^{*}$	98.438	98.425	98.429	98.562	98.552	98.556
$\mathbf{V}^{*}_{\mathbf{çıkış}}$ $(\mathbf{V_{rms}})$	251.19	247.52	248.95	294.88	291.06	292.60
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Avrupa}}$	98.18187	98.16207	98.16768	98.27466	98.26492	98.26918
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Kaliforniya}}$	98.30464	98.29364	98.29757	98.41504	98.40454	98.41262

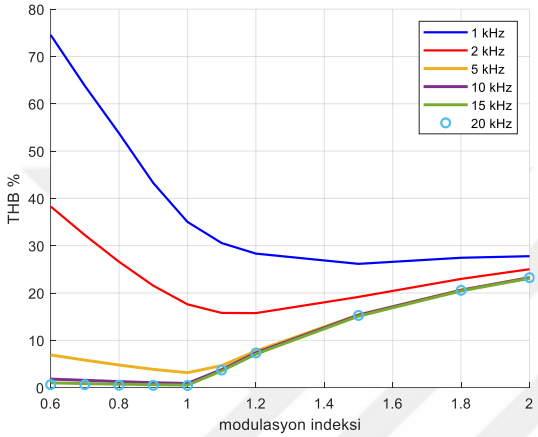
Not: * : $P_{çıkış} = P_{maks}$ durumu için, η (her türü) ve THB değeri %'liktir.

Tablo 6'ya göre maksimum güç değerinde altı durum içinde THB değeri en düşük olan Mod-I yani; MStr-I modülasyon stratejisi TS-2 taşıyıcılı SDGM'dir. En yüksek çıkış gerilimi ise Mod-IV ile yani; MStr-I modülasyon stratejisi TS-2 taşıyıcılı ÜHE-DGM ile elde edilmiştir. Verim değerleri en yüksek olan Mod-IV'tür.

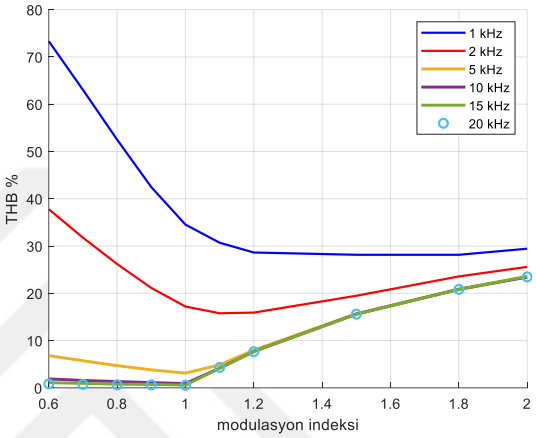
2.2.2. Çalışma-II

Evirici modülasyon tekniği ile modülasyon indeksi, anahtarlama frekansı, THB, evirici çıkış gerilimi arasındaki ilişki, bu bölümde yapılacak olan benzetim çalışmaları ile ortaya koyulacaktır. Tablo 5'te belirtilen modülasyon tekniği, modülasyon stratejisi ve modülasyon ve taşıyıcı sinyali türleri göz önünde bulundurularak evirici çıkış yükü sabit tutulup ($Z = R_{yük} = 32\ \Omega$), farklı anahtarlama frekanslarında (f_{sw}) modülasyon indeksi

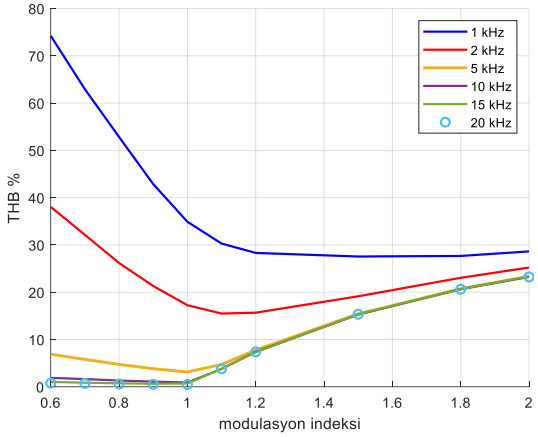
(m_{indeks}) değerinin değişken olması koşulu için benzetim çalışması yerine getirilmiştir. Bu çalışma ile ilgili elde edilen tüm sayısal sonuçlar tablo halinde ve evirici çıkış gerilimi, yük akımı ve gerilim dalga şekilleri Ek 2'de verilmiştir. Burada elde edilen sonuçlardan bir kısmı gösterilecektir. Belirli modülasyon tekniğinde anahtarlama frekansına (f_{sw}) bağlı olarak modülasyon indeksi (m_{indeks}) ile THB arasındaki ilişki Şekil 45-50'de gösterilmiştir.



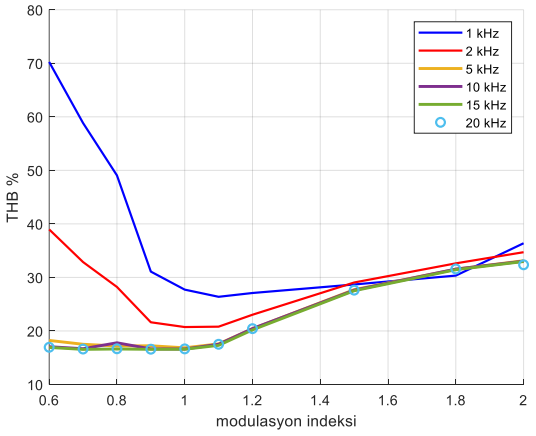
Şekil 45. THB-m_{indeks} (Mod-I)



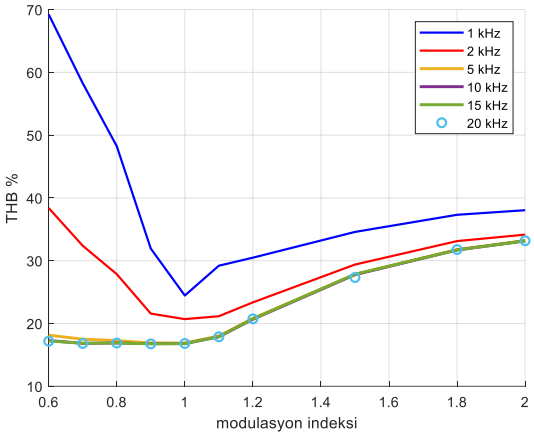
Şekil 46. THB-m_{indeks} (Mod-II)



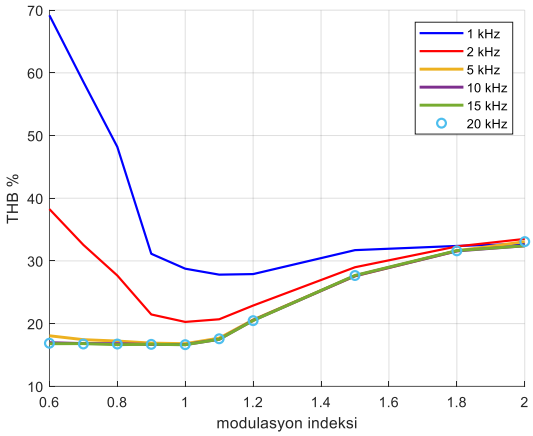
Şekil 47. THB-m_{indeks} (Mod-III)



Şekil 48. THB-m_{indeks} (Mod-IV)

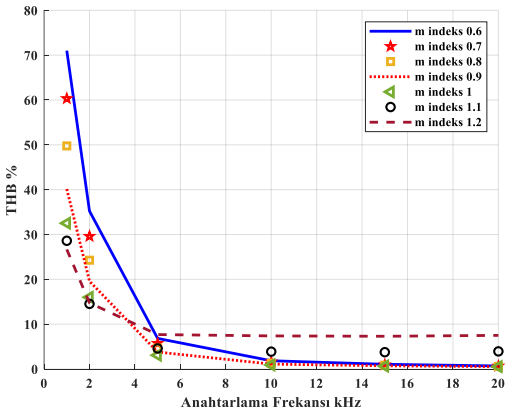


Şekil 49. THB-m_{indeks} (Mod-V)

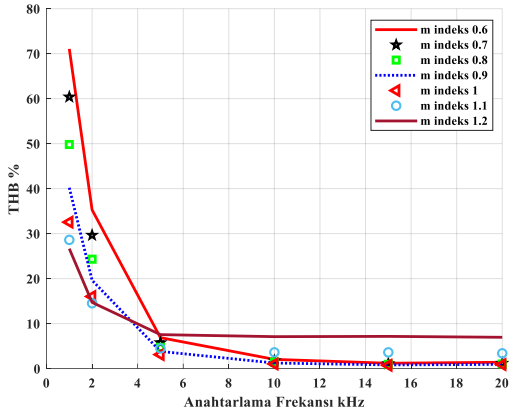


Şekil 50. THB-m_{indeks} (Mod-VI)

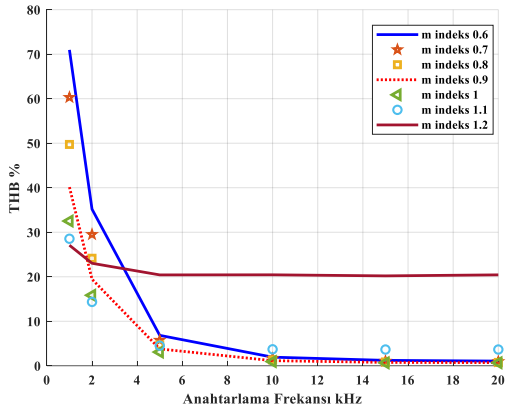
Şekil 45-50'de görüldüğü üzere modülasyon indeks (m_{indeks}) değeri sabit tutulup anahtarlama frekans (f_{sw}) değeri değiştirildiğinde; frekans değeri arttırıldıkça çıkış akımı THB değerinin düştüğü ve aynı şekilde; frekans değeri sabit tutulup modülasyon indeksi değiştirildiğinde, modülasyon indeks (m_{indeks}) değeri 0.6 ile 1 arasında çıkış akımı THB değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. 1 ve 2 kHz frekans değerleri hariç diğer bütün değerlerde modülasyon indeksi (m_{indeks}) 1'in üzerine çıktığında yani "aşırı modülasyon" durumunda çıkış akımı THB değeri de artmaya başlamıştır. 1 ve 2 kHz frekans değerlerinde ise, çıkış akımı THB değerinin sürekli olarak düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Belirli modülasyon tekniğinde modülasyon indeksine (m_{indeks}) bağlı olarak anahtarlama frekansı (f_{sw}) ile çıkış akımı THB arasındaki ilişki Şekil 51-56'da gösterilmiştir.



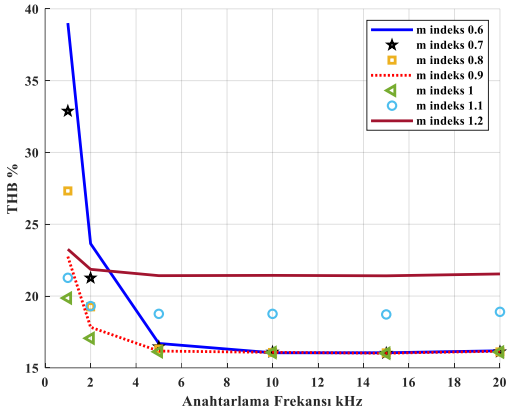
Şekil 51. THB-f_{sw} (Mod-I)



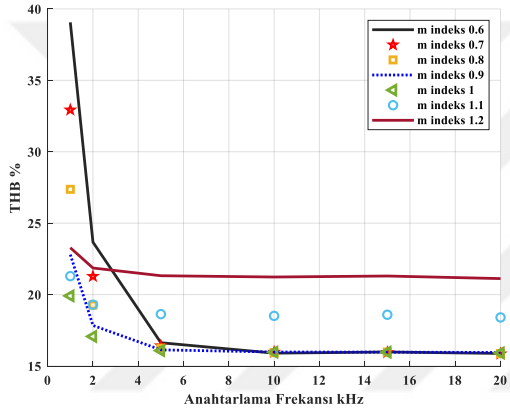
Şekil 52. THB-f_{sw} (Mod-II)



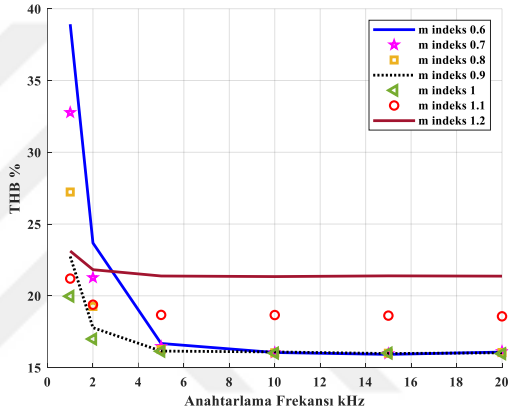
Şekil 53. THB-f_{sw} (Mod-III)



Şekil 54. THB-f_{sw} (Mod-IV)

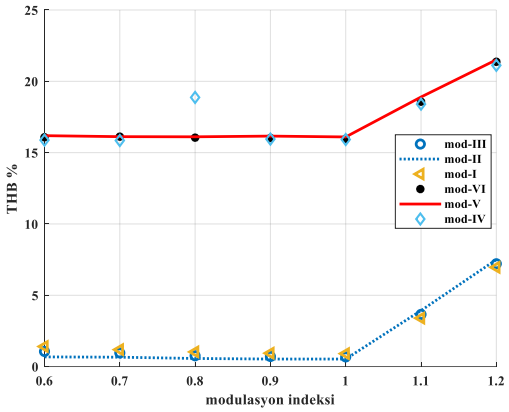


Şekil 55. THB-f_{sw} (Mod-V)

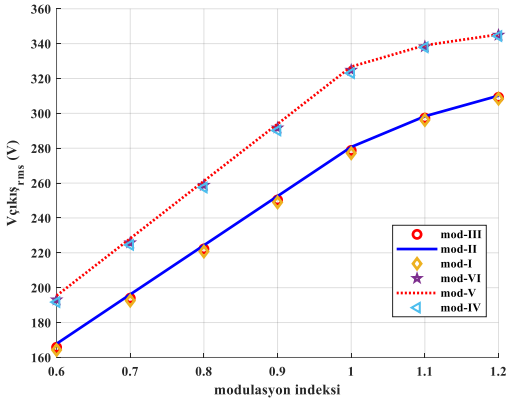


Şekil 56. THB-f_{sw} (Mod-VI)

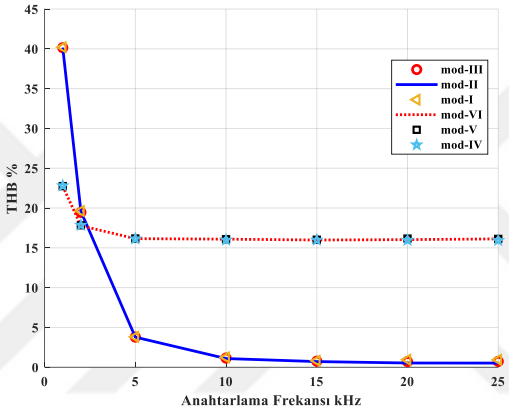
Şekil 51-56 irdelendiğinde; modülasyon indeks değeri 1'in üzerine çıktığında çıkış akımı THB değerinin arttığı ve düşük frekanslarda daha yüksek THB değerlerinin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bütün bu durumlar incelendiğinde Mod-III'te yüksek modülasyon indeksi (m_{indeks}) değerlerinde çıkış akımı THB değeri diğer durumlara göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Belirli anahtarlama frekansında (f_{sw}) modülasyon tekniğine bağlı olarak modülasyon indeksi (m_{indeks}) ile çıkış akımı THB arasındaki ilişki ve modülasyon indeksi (m_{indeks}) ile evirici çıkış gerilimi ($V_{çıkış}$) arasındaki ilişki ve belirli olarak modülasyon indeksi (m_{indeks}) değerinde modülasyon tekniğine bağlı olarak anahtarlama frekansına (f_{sw}) ile çıkış akımı THB arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 57-59'da gösterilmiştir.



Şekil 57. THB-m_{indeks} (f_{sw}=20 kHz)



Şekil 58. $V_{çıkış}$-m_{indeks} (f_{sw}=20 kHz)

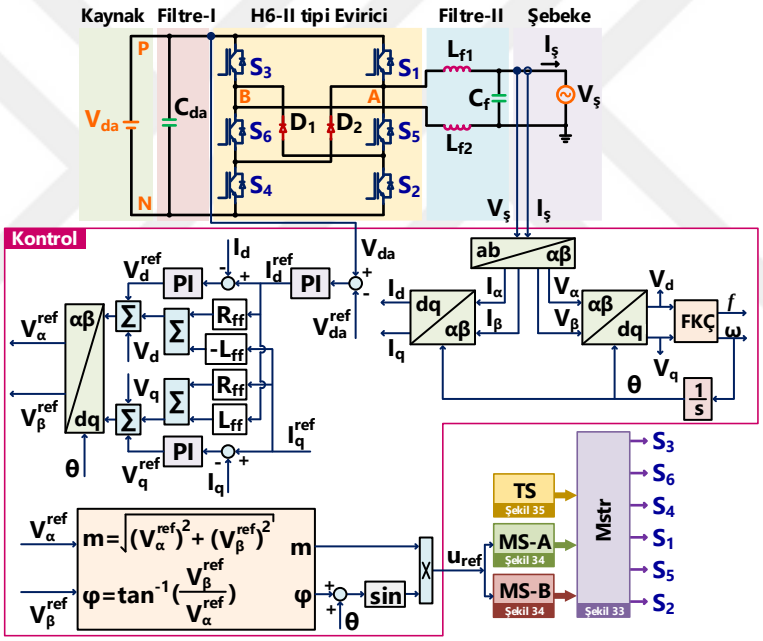


Şekil 59. THB-f_{sw} (m_{indeks}=0.9)

Şekil 57'de görüldüğü üzere, SDGM metotlarında daha düşük THB değeri elde edildiği, ancak ÜHE-DGM metodunda daha yüksek çıkış gerilim değeri elde edildiği tespit edilmiş olup, bütün metotlarda modülasyon indeksi (m_{indeks}) büyüdükçe çıkış gerilim değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 59'da verilen modülasyon indeksi (m_{indeks}) sabit 0.9 değerinde tutulup anahtarlama frekansı değiştirildiğinde, anahtarlama frekansı (f_{sw}) ile çıkış akımı THB ters orantılı olarak değiştiği, ancak anahtarlama frekansının belli bir değerinden sonra THB'de çok bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Sabit bir modülasyon indeks değerinde SDGM metodunun çıkış akımı THB değerleri bütün anahtarlama frekanslarında (f_{sw}) diğer metoda göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

2.3. Şebeke Bağlantılı H6-II Tipi Evirici

Şebeke bağlantılı tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz evirici sisteminin temel benzetim çalışması blok diyagramı Şekil 60'da gösterilmiştir. Şebeke bağlantısız devre blok diyagramından farklı olarak evirici çıkışında filtre sonrasındaki yük yerine şebeke bağlantısı eklenmiştir. Şebeke bağlantılı yapıda şebeke ile senkronizasyonun sağlanması ve sonrasında şebekeye aktif ve/veya reaktif güç enjektesi için bu evirici sisteminin kontrol edilmesi gerekmektedir. Denetleyici giriş bilgileri, FV panel çıkış gerilimi (bu çalışmada FV panel yerine DA kaynağı (V_{da}) doğrudan kullanılacaktır), şebeke akımı ($I_ş$) ve şebeke gerilimi ($V_ş$) değerleridir.



Şekil 60. H6-II tipi evirici için kontrol blok diyagramı (Şebeke bağlantılı)

Şebeke akımı ($I_ş$) ve gerilimi ($V_ş$) vektörlerine Clarke-Park dönüşümleri uygulanarak akımın ve gerilimin döner referans eksende zamana bağlı olmayan iki boyutlu dq bileşenleri (I_d, I_q, V_d, V_q) elde edilir. Gerilim dq bileşenleri FKÇ bloğunda kullanılarak mevcut şebekeye ait frekans (f) ve açısal hız (ω) bilgileri çıkarılır. Evirici girişi gerilimi (V_{da}, V_{da}^{ref}) bilgilerinden yararlanılarak şebekeye aktarılacak aktif gücün belirlenmesinde önemli role sahip olan referans akımın d bileşeni (I_d^{ref}) elde edilir.

Denetim yapısı akım ve gerilim kontrol döngülerine sahip olup bu döngüler ileri besleme ve kompanzasyon (R_{ff}, L_{ff}) özelliklerini barındırmaktadır. Döngü çıktıları referans gerilim işaretinin elde edilmesi için ters dq dönüşümüne uğratılırlar ve $\alpha\beta$ uzayında referans gerilim uzay vektörleri (V_α^{ref}, V_β^{ref}) elde edilir. Bu gerilim vektörleri kullanılarak büyüklüğü ve açısı belli olan referans gerilim sinyali (u_{ref}) elde edilir. Referans gerilim sinyali (u_{ref}), irdelenecek modülasyon sinyali (Şekil 34) türüne göre biçimlendirilir. Biçimlendirilmiş modülasyon sinyali çıktı ve seçilen taşıyıcı sinyali (Şekil 35) bilgisi uygulanacak modülasyon stratejisinde (Şekil 33) kullanılır. Modülasyon stratejisine bağlı olarak H6-II tipi evirici anahtarları ($S_1 - S_6$) için uygun anahtarlama işaretleri üretilir.

2.3.1. Aktif Güç Enjeksiyonu

Benzetimi gerçekleştirilecek Şekil 60'da temel blok diyagramı gösterilen şebeke bağlantılı tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz evirici sisteminin parametre değerleri Tablo 7'de ve bu çalışmada kullanılacak olan anahtarlama işaret bilgileri (modülasyon tekniği, modülasyon stratejisi, modülasyon sinyal, taşıyıcı sinyali ve mod) Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 7. Sistem benzetim parametreleri (Şebeke bağlantılı)

DA Kaynak		**Evirici**				**Şebeke**	
V_{da} (V)	400	Güç (kW)	4.0			V_{aa} (V)	$220\sqrt{2}$
Filtre		**Anahtar**		**Diyot**		$f_ş$ (Hz)	50
L_f (mH)	1.6	R_{on} (mΩ)	1.0	R_{on} (mΩ)	1.0	**Modülasyon Bilgisi**	
C_f (nF)	2.0	L_{on} (mH)	0.0	L_{on} (mH)	0.0	f_{sw} (kHz)	20
		V_F (V)	1.45	V_f (V)	1.45	m_{indeks}	0.9

Bu bölümde şebeke bağlantılı H6-II tipi transformatörsüz eviricinin şebekeye aktif güç enjeksiyonu kabiliyeti üzerinde Tablo 8'de verilen Mod türüne bağlı modülasyon tekniği, modülasyon stratejisi (MStr), modülasyon sinyali (MS) ve taşıyıcı sinyalin (TS) etkileri irdelenecektir.

Tablo 8. Anahtarlama işareti üretim matrisi (Aktif güç enjeksiyonu)

Mod	Modülasyon Tekniği	Modülasyon Stratejisi (MStr)	Modülasyon Sinyali (MS)		Taşıyıcı Sinyali (TS)
			A	B	A
I	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-2
II	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-3
III	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-1
IV	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-5
V	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-4
VI	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-6
VII	SDGM	MStr-2	MS-1	MS-2	TS-1
VIII	SDGM	MStr-3	MS-1	MS-2	TS-1
IX	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-2
X	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-3
XI	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-1
XII	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-5
XIII	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-4
XIV	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-6
XV	SDGM	MStr-5	MS-1	MS-2	TS-1
XVI	SDGM	MStr-6	MS-1	MS-2	TS-1

Giriş akımının d bileşeninin referans değeri (I_d^{ref}) değiştirilerek şebekeye enjekte edilmek istenen aktif güç ($P_{çıkış}$) ayarlanmıştır. Belirlenmiş olan enjekte edilen aktif güç değerleri için evirici giriş ve çıkış akım ve gerilim değerleri, çıkış akımına ait THB değeri, verim ve evirici çıkışındaki reaktif güç değeri gözlemlenecektir. Benzetim çalışmasına ait tüm sayısal sonuçlar tablolaştırılmış olarak Ek 3'te verilmiştir.

Şebekeye enjekte edilen gücün maksimum olması durumunda ($P_{çıkış} = P_{\text{maks}}$) enjekte edilen akımdaki ($I_{çıkış}$) THB değeri, evirici verimi ve farklı enjekte edilen güç değerlerine bağlı ortaya çıkan verimlerin belirli ağırlık katsayıları çarpımıyla meydana gelen Avrupa verim (η_{Avrupa}) ve Kaliforniya verim ($\eta_{Kaliforniya}$) değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9'da belirtildiği üzere tüm modlar, standartlarda ifade edilen şebekeye enjekte edilen akımın THB değeri %5'in altında olma şartını sağlamaktadır. En küçük THB değeri Mod-X'da gözlemlenmiştir. Burada modülasyon tekniği olarak SDGM, Modülasyon stratejisi MStr-4, Modülasyon sinyalleri MS-1 ve MS-2 ve taşıyıcı sinyal olarak TS-3 kullanılmıştır. Şebekeye enjekte edilen gücün maksimum olması durumunda ($P_{çıkış} = P_{\text{maks}}$) geleneksel verimin ($\eta$) en yüksek Mod-V'te ve en düşük Mod XI'de ve Avrupa verimi (η_{Avrupa}) ve Kaliforniya verimi ($\eta_{Kaliforniya}$) en yüksek Mod-V'te ve en düşük Mod XI'de gözlemlenmiştir. Mod V'te modülasyon tekniği olarak HDGM, Modülasyon stratejisi MStr-1, Modülasyon sinyalleri MS-1 ve MS-2 ve taşıyıcı sinyal olarak TS-4

kullanılırken Mod XI'de ise sırasıyla SDGM, MStr-4, MS-1 ve MS-2 ve TS-1 tercih edilmiştir.

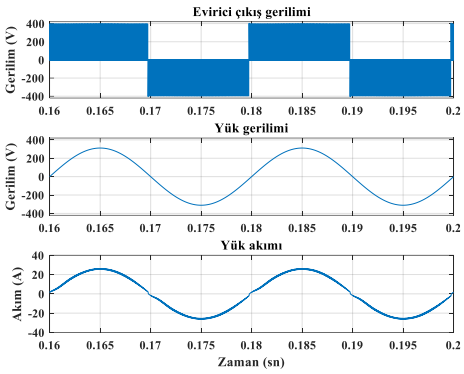
Tablo 9. Benzetim sonuç karşılaştırma matrisi (Aktif güç enjeksiyonu)

Mod	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**
$\mathbf{THB}^{*}_{\mathbf{I_{çıkış}}}$	2.97	3.01	3.04	2.84	2.79	2.74	2.84	2.84
$\boldsymbol{\eta}^{*}$	98.279	98.274	98.283	98.284	98.285	98.284	98.262	98.254
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Avrupa}}$	97.89152	97.89068	97.88525	97.9944	98.00628	98.00015	97.93087	97.90141
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Kaliforniya}}$	98.08874	98.08395	98.08983	98.14387	98.14862	98.14784	98.09773	98.07942

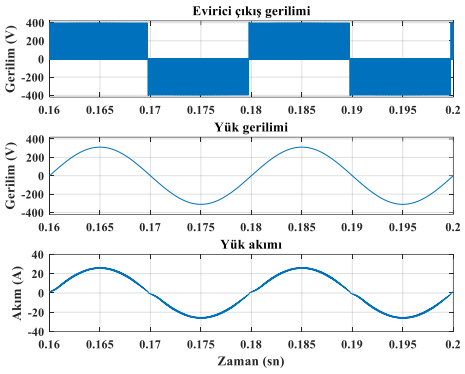
Mod	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**XIII**	**XIV**	**XV**	**XVI**
$\mathbf{THB}^{*}_{\mathbf{I_{çıkış}}}$	2.33	2.06	2.79	2.26	2.24	2.09	2.33	2.34
$\boldsymbol{\eta}^{*}$	98.248	98.249	98.246	98.280	98.282	98.282	98.262	98.256
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Avrupa}}$	94.56153	95.49636	94.01363	97.97032	97.97014	97.96731	97.90375	97.87657
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Kaliforniya}}$	95.20321	95.2341	94.89331	98.13473	98.13727	98.13489	98.09358	98.07722

Not: *: $P_{çıkış} = P_{maks}$ durumu için, η (her türü) ve THB değeri %'liktir.

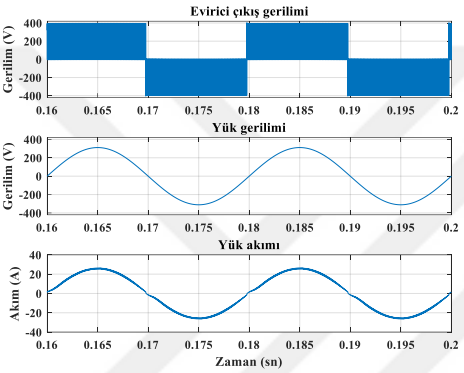
Modlara bakıldığında aynı modülasyon tekniği, modülasyon ve taşıyıcı sinyallerin kullanıldığı durumlarda, geliştirilmiş modülasyon stratejisi (MStr-4, MStr-5 ve MStr-6) uygulanan modların geleneksel modülasyon stratejisi uygulanan modlara (MStr-1, MStr-2 ve MStr-3) göre daha düşük seviye THB değerinin şebekeye enjekte edilen akımında (yük akımı) mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, geleneksel modülasyon stratejisi uygulanan modların geliştirilmiş modülasyon stratejisi uygulanan modlara göre genel itibariyle daha yüksek seviyede geleneksel verim (η) Avrupa verim (η_{Avrupa}) ve Kaliforniya verim ($\eta_{Kaliforniya}$) değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Mod I-XVI için maksimum evirici çıkış gücünde ($P_{çıkış} = P_{maks}$), evirici çıkış gerilimi, yük akımı ve gerilim dalga şekilleri Şekil 61-76'da gösterilmiştir.



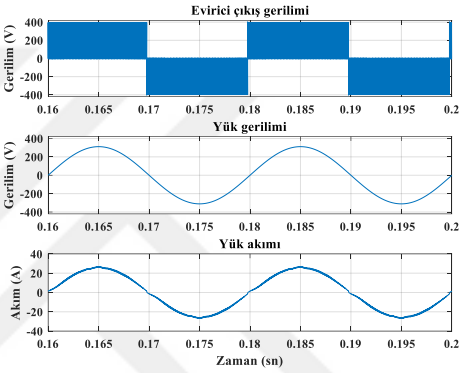
Şekil 61. Gerilim-akım (Mod-I)



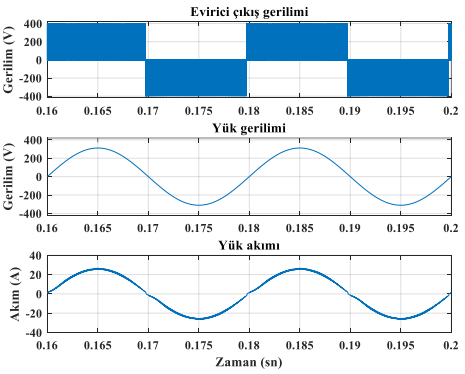
Şekil 62. Gerilim-akım (Mod-II)



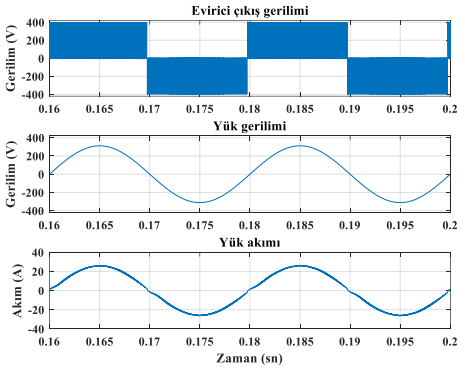
Şekil 63. Gerilim-akım (Mod-III)



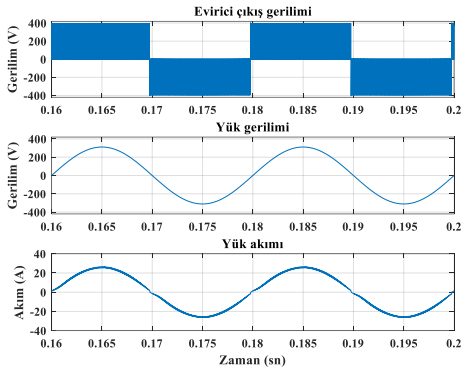
Şekil 64. Gerilim-akım (Mod-IV)



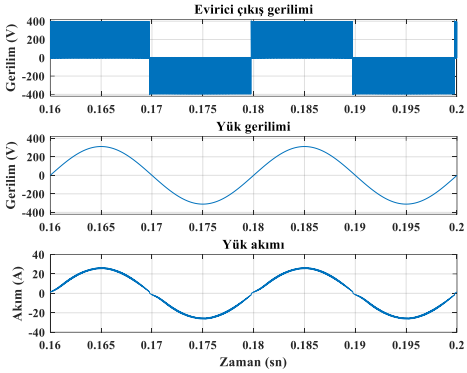
Şekil 65. Gerilim-akım (Mod-V)



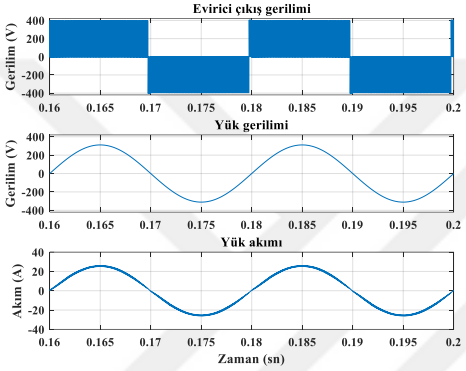
Şekil 66. Gerilim-akım (Mod-VI)



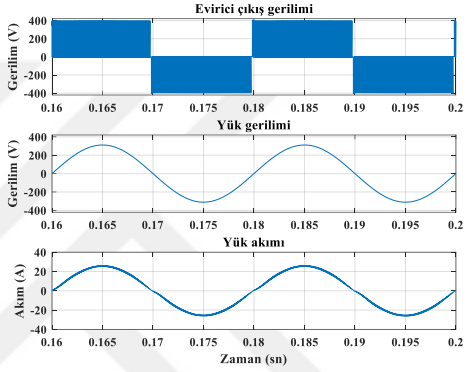
Şekil 67. Gerilim-akım (Mod-VII)



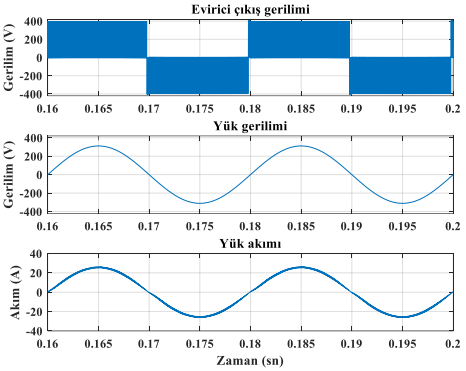
Şekil 68. Gerilim-akım (Mod-VIII)



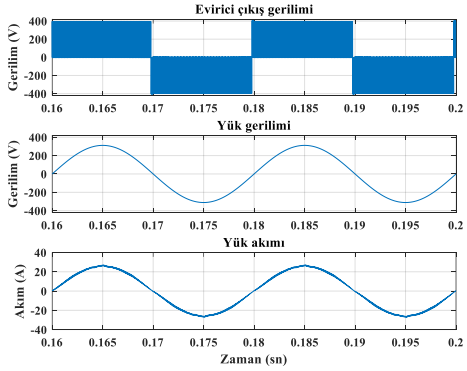
Şekil 69. Gerilim-akım (Mod-IX)



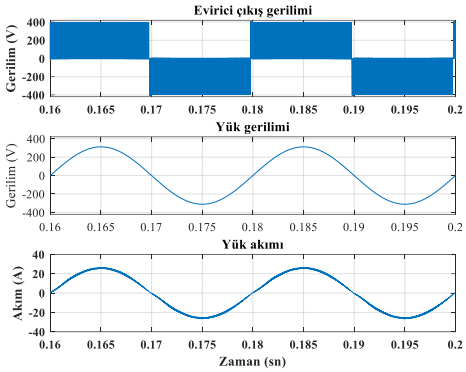
Şekil 70. Gerilim-akım (Mod-X)



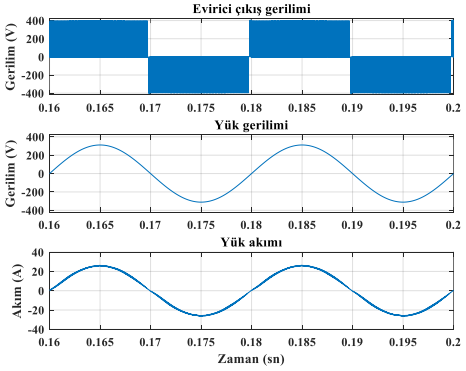
Şekil 71. Gerilim-akım (Mod-XI)



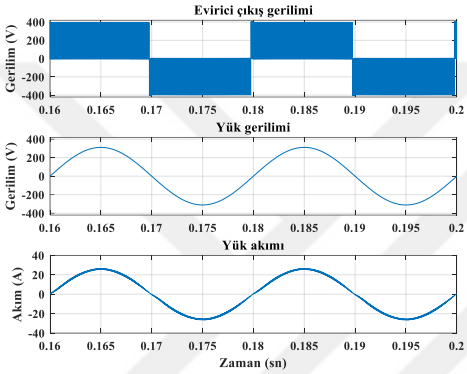
Şekil 72. Gerilim-akım (Mod-XII)



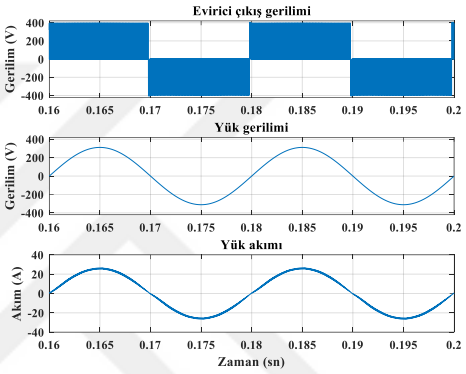
Şekil 73. Gerilim-akım (Mod-XIII)



Şekil 74. Gerilim-akım (Mod-XIV)

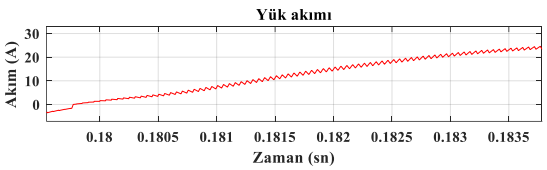


Şekil 75. Gerilim-akım (Mod-XV)

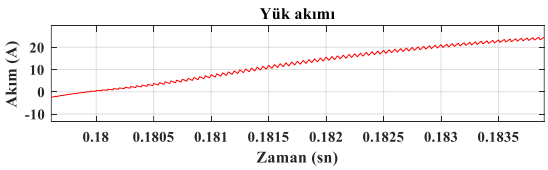


Şekil 76. Gerilim-akım (Mod-XVI)

Şebekeye enjekte edilen akım (yük akımı) dalga şekillerinin (Şekil 61-76) sinüzoidal dalga şekli biçimine sahip olduğu, ama sıfır geçişlerinin bazı modlarda idealden uzakta olduğu gözlemlenmiştir. Akımın dalgalanmalar barındırdığı tespit edilmiştir. Aktif güç enjeksiyonu durumunda en yüksek THB değerine sahip Mod-III ve en düşük THB değerine sahip olan Mod-X'un yük akımı dalga şeklinin yakınlaştırılmış görünümü Şekil 77 ve 78'de görülmektedir. Görüldüğü üzere, Mod-X'da sıfır geçişi tam 0.18 sn'de olmuştur. Mod-III'te ise sıfır geçişinde kayma görülmektedir. Yük akımında oluşan dalgalanmalar da Mod-X'da daha azdır.



Şekil 77. Yük akımında kesit (Mod-III)



Şekil 78. Yük akımında kesit (Mod-X)

2.3.2. Reaktif Güç Enjeksiyonu

Şebeke bağlantılı tek fazlı H6-II tipi transformatörsüz eviricinin şebekeye reaktif güç enjekte edebilme kabiliyeti, Tablo 8'de belirtilen Mod türüne bağlı modülasyon tekniği, modülasyon stratejisi (MStr), modülasyon sinyali (MS) ve taşıyıcı sinyalin (TS) etkileri irdelenecektir.

Giriş akımının q bileşeninin referans değeri (I_q^{ref}) değiştirilerek şebekeye enjekte edilmek istenen reaktif gücü ($Q_{çıkış}$) ayarlanacaktır. Belirlenmiş olan enjekte edilen reaktif güç değerleri için evirici giriş ve çıkış akım ve gerilim değerleri, çıkış akımına ait THB değeri, verim ve evirici çıkışındaki aktif güç değeri gözlemlenecektir. Benzetim çalışmasına ait tüm sayısal sonuçlar tablolaştırılmış olarak Ek 4'te verilmiştir.

Şebekeye enjekte edilen reaktif gücün maksimum olması durumunda ($Q_{çıkış} = Q_{\text{maks}}$) enjekte edilen akımdaki ($I_{çıkış}$) THB değeri, evirici verimi ve farklı güç değerlerine bağlı ortaya çıkan verimlerin belirli ağırlık katsayıları çarpımıyla meydana gelen Avrupa verim (η_{Avrupa}) ve Kaliforniya verim ($\eta_{Kaliforniya}$) değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10'da görüldüğü üzere, modülasyon ve taşıyıcı sinyali ve modülasyon tekniği türü ne olursa olsun eğer modülasyon stratejisi MStr-4, MStr-5 ve MStr-6 (geliştirilmiş modülasyon stratejisi) türünden (Mod-IX-XVI) ise standartlarda ifade edilen şebekeye enjekte edilen akımın THB değeri %5'in altında olma şartı sağlanabilmektedir. En küçük THB değeri Mod-XII'de, en yüksek değer ise Mod-II'de gözlemlenmiştir. Mod I-XVI için maksimum evirici çıkış reaktif gücünde ($Q_{çıkış} = Q_{maks}$), evirici çıkış gerilimi, yük akımı ve gerilim dalga şekilleri Şekil 79-94'te gösterilmiştir.

Tablo 10. Benzetim sonuç karşılaştırma matrisi (Reaktif güç enjeksiyonu)

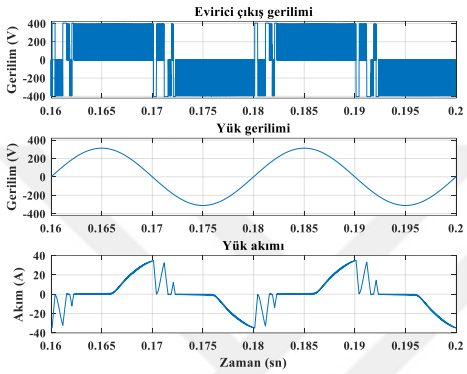
Mod	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**
$\mathbf{THB}^{*}_{\mathbf{I_{çıkış}}}$	59.44	59.90	59.72	59.55	59.72	59.85	59.68	59.67
$\boldsymbol{\eta}^{*}$	94.224	94.111	94.206	94.240	94.106	94.093	94.041	94.003
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Avrupa}}$	94.45686	94.22673	94.33198	94.23815	94.27017	94.1823	93.07695	93.94923
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Kaliforniya}}$	94.53891	94.32405	94.45522	94.43484	94.3793	94.33077	94.21465	94.15126

Not: *: $\text{Q}_{\text{çıkış}} = \text{Q}_{\text{maks}}$ durumu için, η (her türü) ve THB değeri %'liktir.

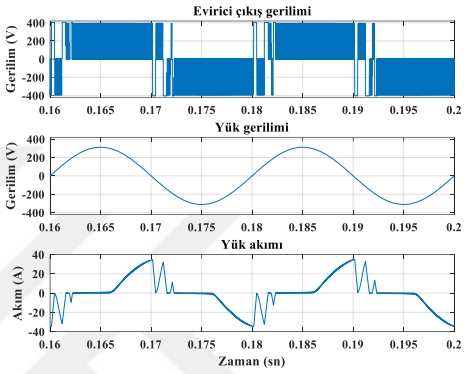
Tablo 10. Benzetim sonuç karşılaştırma matrisi (Reaktif güç enjeksiyonu) (Devamı)

Mod	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**XIII**	**XIV**	**XV**	**XVI**
$\mathbf{THB}^{*}_{\mathbf{I_{çıkış}}}$	4.15	4.18	3.95	3.65	3.96	3.91	3.94	3.94
$\boldsymbol{\eta}^{*}$	91.891	92.453	92.245	91.997	92.359	92.321	91.905	92.223
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Avrupa}}$	92.54697	91.98761	92.69601	92.44672	92.67921	92.64132	92.12853	92.26219
$\boldsymbol{\eta}_{\mathbf{Kaliforniya}}$	92.71425	93.14034	92.98512	92.85832	92.98989	93.02588	92.66748	92.84841

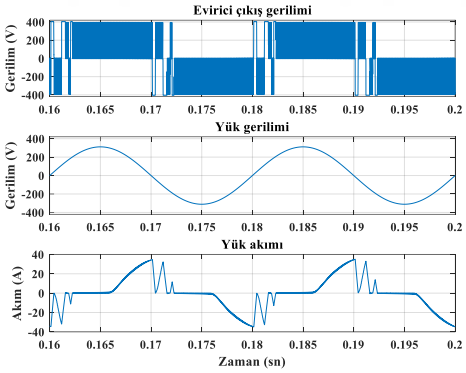
Not: *: $Q_{çıkış} = Q_{maks}$ durumu için, η (her türü) ve THB değeri %'liktir.



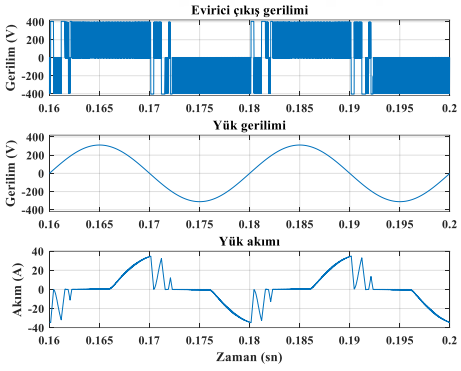
Şekil 79. Gerilim-akım (Mod-I)



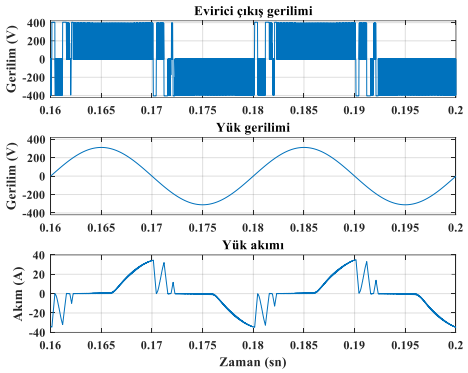
Şekil 80. Gerilim-akım (Mod-II)



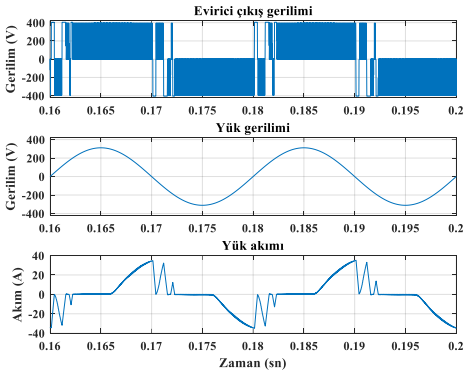
Şekil 81. Gerilim-akım (Mod-III)



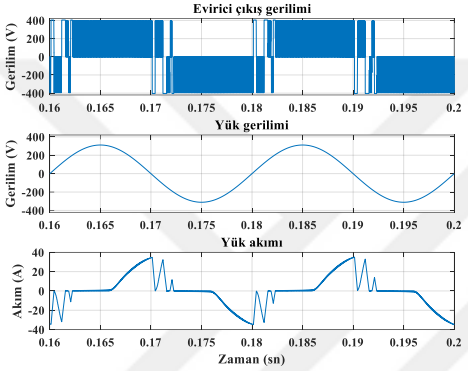
Şekil 82. Gerilim-akım (Mod-IV)



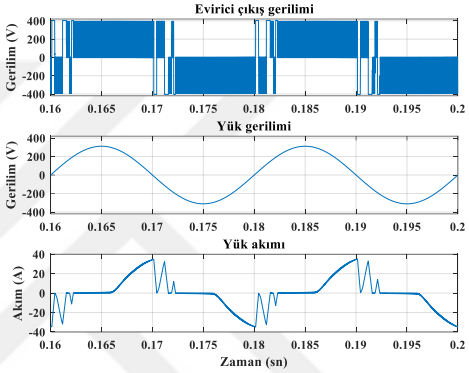
Şekil 83. Gerilim-akım (Mod-V)



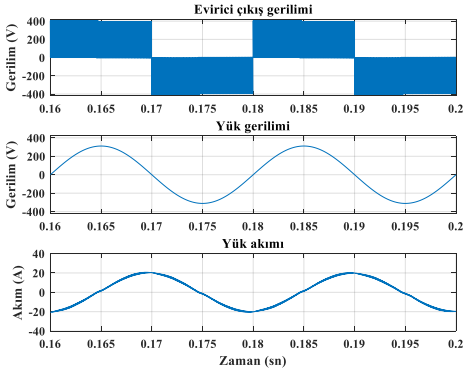
Şekil 84. Gerilim-akım (Mod-VI)



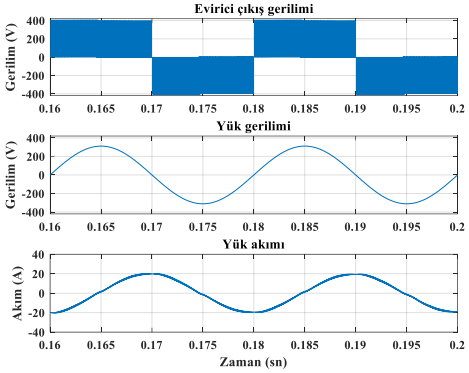
Şekil 85. Gerilim-akım (Mod-VII)



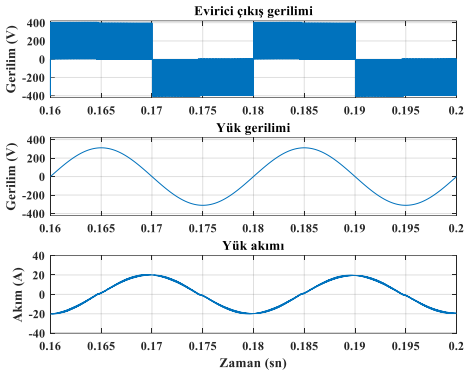
Şekil 86. Gerilim-akım (Mod-VIII)



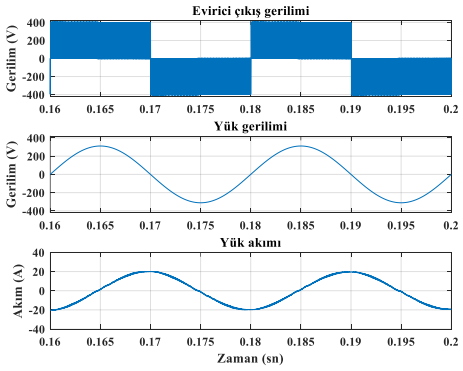
Şekil 87. Gerilim-akım (Mod-IX)



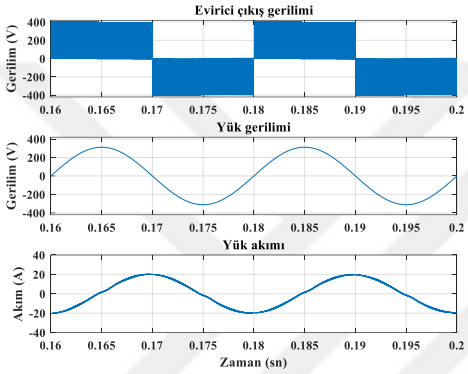
Şekil 88. Gerilim-akım (Mod-X)



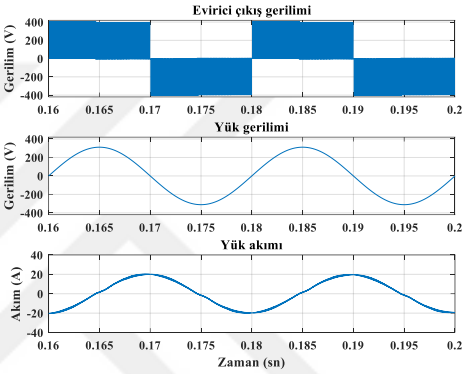
Şekil 89. Gerilim-akım (Mod-XI)



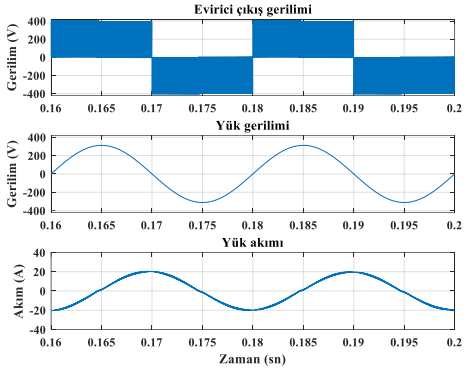
Şekil 90. Gerilim-akım (Mod-XII)



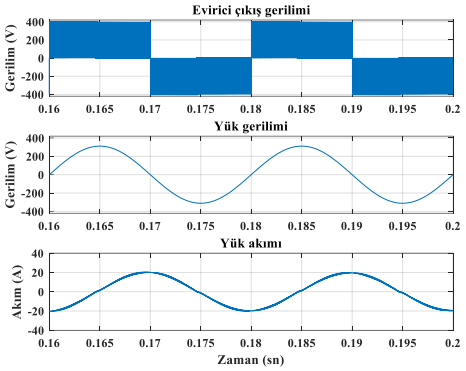
Şekil 91. Gerilim-akım (Mod-XIII)



Şekil 92. Gerilim-akım (Mod-XIV)



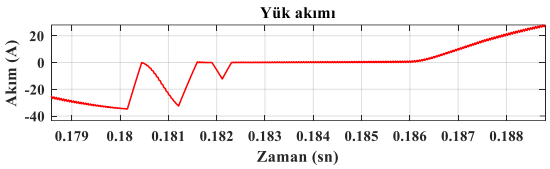
Şekil 93. Gerilim-akım (Mod-XV)



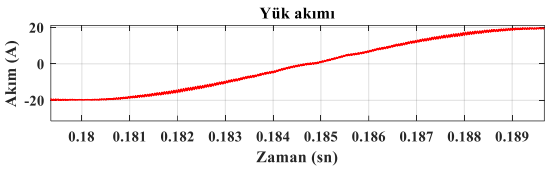
Şekil 94. Gerilim-akım (Mod-XVI)

Şekil 79-94'te görülebildiği üzere, seçilen modülasyon tekniği, modülasyon ve taşıyıcı sinyal türlerine bağlı olmaksızın geleneksel modülasyon stratejisi (MStr-1, MStr-2 ve MStr-3) kullanılan H6-II tipi eviricide şebekeye enjekte edilen akım (yük akımı) dalga şekli sinüzoidal formda elde edilememektedir. Tüm şekillerde gerilim dalga şekli ve akım dalga şekli arasında faz farkı olup akım, gerilimden geridedir. Reaktif güç enjektesi

durumunda en düşük THB değerine sahip olan Mod-XII ve en yüksek THB değerine sahip olan Mod-II'nin yük akımı dalga şeklinin yakınlaştırılmış hali Şekil 95 ve 96'da görülmektedir.



Şekil 95. Yük akımı kesiti (Mod-II)



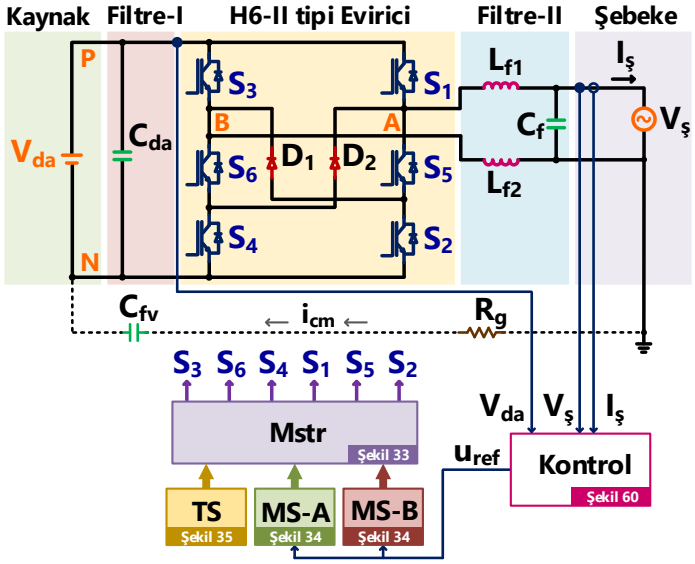
Şekil 96. Yük akımı kesiti (Mod-XII)

H6-II tipi eviricinin geleneksel modülasyon stratejileriyle reaktif güç enjeksiyonu yapma kabiliyeti olmadığı için yük akımı dalga şekli saf sinüzoidalden çok uzaktır (Mod-II). Geliştirilmiş modülasyon ile istenilen sinüs şekli elde edilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, Mod-XII'de yük akımında çok fazla dalgalanma olmamaktadır.

2.3.3. Ortak Mod Gerilimi ve Kaçak Akım

Bu bölümde şebeke bağlantılı H6-II tipi transformatörsüz eviricide ortak mod gerilimi (V_{CM}) ve kaçak akım (i_{cm}) değerleri üzerinde modülasyon tekniği ve stratejisi ve modülasyon ve taşıyıcı sinyallerin etkisi irdelenecektir. Şekil 97'de benzetim çalışması gerçekleştirilecek sistemin temel devre blok diyagramı gösterilmiştir. Benzetim çalışmasında Şekil 97'de gösterilen parazitik kapasite (C_{fv}) ve topraklama direnç değerleri Tablo 11'de gösterildiği gibi seçilmiştir. Farklı mod senaryolarına bağlı olarak ölçülen ortak mod geriliminin ortalama değeri (V_{CM}) ve kaçak akım (i_{cm}) değerinin etkin değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Çalışmada iki farklı C_{fv} değeri ile ölçümler yapılmıştır. R_g değeri ise 11 Ω olarak seçilmiştir. $C_{fv} = 400$ nF değerinde $C_{fv} = 18$ nF değerindekine göre daha yüksek kaçak akım değerleri okunmuştur. V_{CM} değerleri ise $V_{dc}/2$ ye yakın seyretmektedir. Mod-XVI reaktif güç enjeksiyonu durumunda V_{CM} değerinde en yüksek sapma gözlemlenmiştir. Aynı modda (Mod-XVIP) aktif güç enjektesi durumunda da yüksek bir sapma gözlemlenmiştir. Sapmanın en az olduğu modlar ise Mod-IX, X ve XI'in reaktif ve aktif güç enjektesi durumlarıdır.



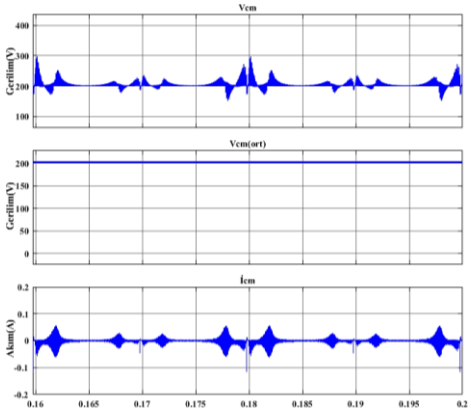
Şekil 97. H6-II tipi eviricide V_{CM} ve i_{cm} ölçüm temel devre blok diyagramı

En düşük kaçak akım değeri ise, 34.539 mA değeri ile Mod-III aktif güç enjeksiyonu durumunda gözlemlenmiştir. Mod-VII, Mod-VIII, Mod-XV ve Mod-XVI'da aktif ve reaktif güç enjeksiyonu durumlarında standartlarda belirlenen 300 mA sınır değerinin üzerinde bir kaçak akım değeri gözlemlenmiştir. $C_{fv} = 18$ nF seçildiğinde çok daha düşük kaçak akım değerleri okunmuştur. En düşük kaçak akım değeri 2.0106 mA değeri ile Mod-XII'nin aktif güç enjektesi durumunda gözlemlenmiştir. $C_{fv} = 400$ nF değerinde olduğu gibi Mod-VII, Mod-VIII, Mod-XV ve Mod-XVI'da aktif ve reaktif güç enjektesi durumlarında standartlarda belirlenen 300 mA sınır değerinin üzerinde bir kaçak akım değeri gözlemlenmiştir.

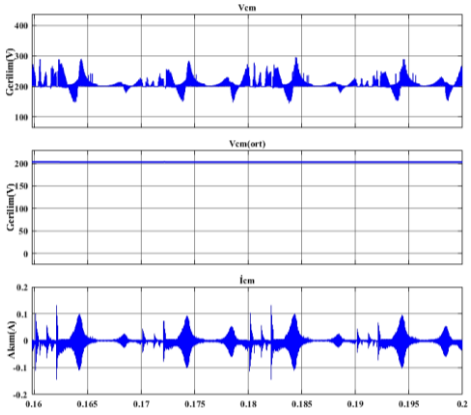
$V_{CM} = 200.1$ V değeri ile en az sapma olan durumlar Mod-XII, Mod-XIII, Mod-XIV'de reaktif güç enjektesi halinde gözlemlenmiştir. En yüksek sapma ise Mod-XVI'da aktif güç enjeksiyonu durumunda okunmuştur. Görülüyor ki, geliştirilmiş modülasyon stratejisi kullanılan modlarda aktif ve reaktif güç enjeksiyonu arasında değerlerde kayda değer bir değişim görülmemiştir. Ancak C_{fv} değeri değiştirildiğinde kaçak akım değerlerinde büyük değişimler gözlemlenmiştir. Ayrık modülasyon stratejisinin geleneksel ve geliştirilmiş modülasyonları (Mstr-2, Mstr-3, Mstr-5ve Mstr-6) için kaçak akım değeri standartların üzerinde çıkmıştır. Kaçak akım değeri en düşük olan modlar ise HDGM kullanılan modlardır. Aşağıda farklı modlar için ortak mod gerilimi (V_{CM}) ve kaçak akım (i_{cm}) dalga şekillerinin zamana göre değişimi gösterilmiştir.

Tablo 11. Benzetim sonuçları (Ortak mod gerilimi ve kaçak akım)

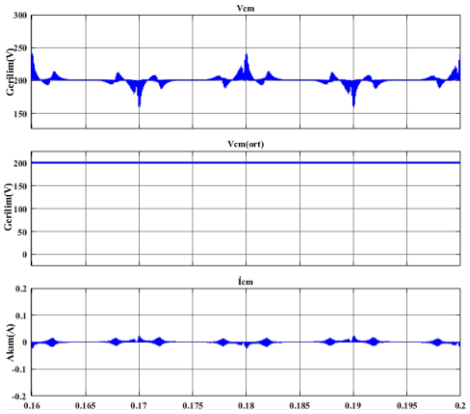
							C_{fv} = 400 nF		C_{fv} = 18 nF	
Mod	**Güç Enjekte Türü (P veya Q)**	**Modülasyon Tekniği**	**Modülasyon Stratejisi (MStr)**	**Modülasyon Sinyali (MS)**		**Taşıyıcı Sinyali (TS)**	**(Mean) (V)**	**(RMS) (mA)**	**(Mean) (V)**	**(RMS) (mA)**
				A	**B**	**A**				
IP	Aktif (P)	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-2	203.36	34.664	202.09	8.2965
IIP	Aktif (P)	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-3	203.65	34.661	202.22	8.2184
IIIP	Aktif (P)	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-1	203.54	34.539	202.06	8.3210
IVP	Aktif (P)	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-5	205.42	38.451	202.72	6.5183
VP	Aktif (P)	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-4	204.20	39.512	202.53	8.1130
VIP	Aktif (P)	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-6	203.57	34.072	202.15	8.4325
VIIP	Aktif (P)	SDGM	MStr-2	MS-1	MS-2	TS-1	163.99	2916.6	149.87	1132.0
VIIIP	Aktif (P)	SDGM	MStr-3	MS-1	MS-2	TS-1	161.05	3113.6	134.48	1067.0
IQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-2	202.04	55.216	202.90	15.985
IIQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-3	202.11	57.430	203.13	16.591
IIIQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-1	202.07	55.869	203.01	16.336
IVQ	Reaktif (Q)	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-5	202.97	67.543	204.33	14.381
VQ	Reaktif (Q)	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-4	202.22	68.111	204.04	17.109
VIQ	Reaktif (Q)	HDGM	MStr-1	MS-1	MS-2	TS-6	202.19	55.457	203.14	16.499
VIIQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-2	MS-1	MS-2	TS-1	169.85	2846.5	159.42	1137.8
VIIIQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-3	MS-1	MS-2	TS-1	165.05	2961.5	146.38	966.25
IXP	Aktif (P)	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-2	202.72	37.986	200.73	2.7913
XP	Aktif (P)	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-3	202.76	43.119	200.73	2.7677
XIP	Aktif (P)	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-1	202.84	39.751	200.73	2.7825
XIIP	Aktif (P)	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-5	204.88	44.569	200.73	2.0106
XIIIP	Aktif (P)	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-4	204.63	36.305	200.73	2.6498
XIVP	Aktif (P)	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-6	202.8	40.733	200.7	2.829
XVP	Aktif (P)	SDGM	MStr-5	MS-1	MS-2	TS-1	164.95	3023.3	148.36	1129.8
XVIP	Aktif (P)	SDGM	MStr-6	MS-1	MS-2	TS-1	147.27	3283.0	134.05	1001.6
IXQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-2	200.46	40.818	200.11	2.7729
XQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-3	200.96	48.895	200.12	2.7672
XIQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-1	200.85	48.767	200.11	2.8125
XIIQ	Reaktif (Q)	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-5	201.4	65.16	200.1	2.175
XIIIQ	Reaktif (Q)	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-4	201.3	56.72	200.1	2.7
XIVQ	Reaktif (Q)	HDGM	MStr-4	MS-1	MS-2	TS-6	200.9	49.28	200.1	2.806
XVQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-5	MS-1	MS-2	TS-1	161.86	2919.3	153.92	1128.2
XVIQ	Reaktif (Q)	SDGM	MStr-6	MS-1	MS-2	TS-1	146.38	3083.3	134.10	1005.9



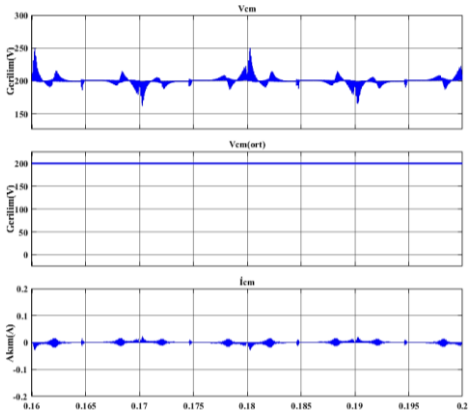
Şekil 98. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-IIIP)



Şekil 99. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-IIIQ)



Şekil 100. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-XIP)



Şekil 101. V_{CM} ve i_{cm} (Mod-XIQ)

Şekil 98-101'de 0.16-0.2 sn arasında, Mod-III ve Mod-XI için aktif ve reaktif güç enjeksiyonu durumunda ortak mod gerilimi, ortak mod geriliminin ortalama değeri ve kaçak akım dalga şekilleri görülmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere ortak mod gerilimi ile kaçak akım aynı noktalarda dalgalanma yapmaktadır. Geliştirilmiş modülasyon tekniği ile kaçak akım değeri daha düşük çıkmıştır ve şekilde de daha az dalgalanma görülmektedir. Aktif güç enjeksiyonu ile reaktif güç enjeksiyonu arasında ise geliştirilmiş modülasyon stratejisi kullanılan modların dalga şekillerinde çok değişim gözlemlenmemiştir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada tek fazlı H6-II tipi eviricinin farklı modülasyon teknikleri ve farklı taşıyıcı işaretler ile Matlab/Simulink ortamında benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Aktif ve reaktif güç enjeksiyonu yapılarak sistemin verdiği tepkiler gözlemlenmiş; verim, Avrupa ve Kaliforniya verimi, THB, çıkış gerilimi gibi değerler tablolar halinde verilmiştir. Benzetim çalışmalarında kaçak akım ve ortak mod gerilimi değerleri de gözlemlenmiş ve dalga şekilleri kaydedilmiştir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar maddeler halinde özetlenebilir:

- Geleneksel-ayrık (MStr-2 ve MStr-3) ve geliştirilmiş-ayrık (MStr-5 ve MStr-6) modülasyon stratejileri, bu tez çalışması kapsamında H6-II tipi evirici için ilk defa önerilen modülasyon stratejileridir.
- Taşıyıcı sinyal dalga biçimleri (TS-4, TS-5 ve TS-6), bu tez çalışması kapsamında H6-II tipi evirici için ilk defa önerilen modülasyon stratejileridir.
- SDGM ve ÜHE-DGM'ye bakıldığında, ÜHE-DGM'nin THB değerleri daha yüksek olduğu ancak çıkış gerilim değerinin SDGM'ye göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Çalışma-II'de modülasyon indeks (m_{indeks}) değeri sabit tutulup anahtarlama frekans (f_{sw}) değeri değiştirildiğinde; frekans değeri arttırıldıkça çıkış akımı THB değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.
- Çalışma-II'de frekans değeri sabit tutulup modülasyon indeksi değiştirildiğinde, modülasyon indeks (m_{indeks}) değeri 0.6 ile 1 arasında değişirken çıkış akımı THB değeri düşmüştür. Bütün bu durumlar incelendiğinde Mod-III'te yüksek modülasyon indeksi (m_{indeks}) değerlerinde çıkış akımı THB değeri diğer durumlara göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- Çalışma-II'de bütün modlarda modülasyon indeksi (m_{indeks}) büyüdükçe çıkış gerilim değerinin de arttığı gözlemlenmiştir.
- Aktif güç enjektesi durumunda: Tüm modlar, standartlarda ifade edilen şebekeye enjekte edilen akımın THB değerinin %5'in altında olma şartını sağlamaktadır.

- Aktif güç enjektesi durumunda: Geliştirilmiş modülasyon stratejisinin uygulandığı modların, geleneksel modülasyon stratejisi uygulanan modlara göre daha düşük THB değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- Aktif güç enjektesi durumunda: Geleneksel modülasyon stratejisi uygulanan modların geliştirilmiş modülasyon uygulanan modlara göre daha yüksek seviyede verim (η), Avrupa verim (η_{Avrupa}) ve Kaliforniya verim ($\eta_{Kaliforniya}$) değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Reaktif güç enjektesi durumunda: Geliştirilmiş modülasyon stratejisi uygulanan modlarda standartlarda ifade edilen şebekeye enjekte edilen akımın THB değerinin %5'in altında olma şartı sağlanabilmektedir.
- Reaktif güç enjektesi durumunda: Geleneksel modülasyon stratejileri ile standartların çok üzerinde THB değerleri okunmuştur. H6-II tipi eviricide, geleneksel modülasyon stratejileri kullanılarak şebekeye enjekte edilen akımın (yük akımı) dalga şekli sinüsoidal formda olmamaktadır.
- Kaçak akım ve ortak mod gerilimi ölçümlerinde: Geliştirilmiş modülasyon stratejisi kullanılan modlarda aktif ve reaktif güç enjeksiyonu arasında değerlerde kayda değer bir değişim görülmemiştir.
- Kaçak akım ve ortak mod gerilimi ölçümlerinde: Parazitik kondansatör (C_{fv}) değeri değiştirildiğinde kaçak akım değerlerinde büyük değişimler gözlemlenmiştir.
- THB, kaçak akım ve ortak mod gerilimi değerleri açısından karşılaştırıldıklarında, uygulanan modülasyon metotları arasında en iyi sonucu veren HDGM metodudur. En düşük kaçak akım değerleri HDGM ile okunmuştur. Reaktif güç enjeksiyonu sırasında en düşük THB değeri HDGM'de elde edilmiştir.
- Ayrık modülasyon stratejilerinde THB değerleri standartlara uygundur.
- Ayrık modülasyon stratejilerinde kaçak akım değerleri şebeke standartlarına uygun çıkmamıştır. Şebeke standartları sağlandığı durumlarda modülasyon metotları arasında verimlerde büyük farklar gözlemlenmemiştir.

4. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında H6-II tipi eviricinin farklı modülasyon stratejileri ve taşıyıcı şekilleri ile benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sistemin farklı modülasyon stratejileri ile benzetim sonuçları kaydedilmiş, aktif ve reaktif güç enjektesi durumunda sistem tepkileri gözlemlenip kaydedilmiştir. H6-II evirici gibi transformatörsüz evirici topolojileri kullanılan FV sistemler üzerine çalışmalar yapan araştırmacılar ve tasarımcılar için bu alan ile ilgili öneriler aşağıda verilmiştir:

- Farklı optimizasyon yöntemleri veya kontrol algoritmaları ile evirici performansı irdelenebilir.
- Farklı modülasyon stratejilerinin THB ve verim üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Evirici girişinde ideal DA kaynağı yerine FV panel kullanılarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilebilir.
- Şebekeden bağımsız durumda, çıkış yükü endüktif olacak şekilde seçim yapılıp sistem çalışmaları irdelenebilir.
- Önerilen ayrık modülasyon stratejilerinde anahtarlama işaretlerinin doluluk-boşluk oranının belirlenmesinde optimizasyon metotları kullanılarak sistem performansındaki etkileri incelenebilir.
- Aktif güç enjeksiyonu sırasında reaktif gücü, reaktif güç enjeksiyonu sırasında aktif gücü sıfırlamak amacıyla farklı kontrol metotları uygulanabilir.
- Evirici çıkışında farklı filtre yapılarının kullanımı gerçekleştirilebilir ve aralarında performans karşılaştırması yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Du D., Hao R., Li H., ve Zheng T. Q., A novel H6 topology and Its modulation strategy for transformerless photovoltaic grid-connected inverters, 16th Eur. Conf. Power Electron Appl. EPE-ECCE Eur, 2014.

2. Wang J. *et al.*, Single phase bidirectional h6 rectifier/inverter, IEEE Trans. Power Electron., 2019, 34, 11, 10710–10719.

3. Yu W., Lai J. S., Qian H., ve Hutchens C., High-efficiency MOSFET inverter with H6-type configuration for photovoltaic nonisolated AC-module applications, IEEE Trans. Power Electron., 2011, 26, 4, 1253–1260.

4. Islam M. ve Mekhilef S., H6-type transformerless single-phase inverter for grid-tied photovoltaic system, IET Power Electron.,2015, 8, 4, 636–644.

5. Xiao H. F., Zhang L, ve Li Y., An Improved Zero-Current-Switching Single-Phase Transformerless PV H6 Inverter with Switching Loss-Free, IEEE Trans. Ind. Electron., 2017, 64, 10, 7896–7905.

6. Wang J. *et al.*, An Improved Hybrid Modulation Method for the Single-Phase H6 Inverter with Reactive Power Compensation, IEEE Trans. Power Electron., 2018, 33, 9, 7674–7683.

7. Akpınar E., Balikci A., Durbaba E. ve Azizoğlu B. T., Single-phase transformerless photovoltaic inverter with suppressing resonance in improved h6, IEEE Trans. Power Electron., 2019, 34, 9, 8304–8316.

8. Ma L., Xu H., Huang A. Q., Wang X., ve Zou J., Single-phase hybrid-H6 transformerless PV grid-tied inverter, IET Power Electron., 2018, 11, 15, 2440–2449.

9. Rizzoli G., Mengoni M., Zarri L., Tani A., Serra G., ve Casadei D., Comparative performance evaluation of fullbridge, H5, and H6 topologies for transformerless solar converters, IET Power Electron., 2019, 12, 1, 22–29.

10. Islam M. R., Hasan M. M., Badal F. R., Das S. K., ve Ghosh S. K., A Blended Improved H5 Topology with ILQG Controller to Augment the Performance of Microgrid System for Grid-Connected Operations, IEEE Access, 8, (2020), 69639–69660.

11. Zhang L., Sun K., Xing Y., ve Xing M., H6 transformerless full-bridge PV grid-tied inverters, IEEE Trans. Power Electron., 2014, 29, 3, 1229–1238.

12. Kafle Y. R., Town G. E., Guochun X., ve Gautam S., Performance comparison of single-phase transformerless PV inverter systems, Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC, 2017, 3589–3593.

13. Lin H., Chen R., Li R., Zhu L., Yan H., ve Shu Z., A Flexible and Fast Space Vector Pulse Width Modulation Technique for Multilevel Converters, 22nd Int. Conf. Electr. Mach. Syst. ICEMS, 2019, 2019–2022.

14. Mihalic F., Milanovic M., ve Hren A., Third harmonic elimination by SPWM for filter reduction in a over-modulated single-phase inverter, Int. Conf. Electical Drives Power Electron, Ekim 2017, 37–45.

15. Leon J. I., Kouro S., Franquelo L. G., Rodriguez J., ve Wu B., The Essential Role and the Continuous Evolution of Modulation Techniques for Voltage-Source Inverters in the Past, Present, and Future Power Electronics, IEEE Trans. Ind. Electron., 2016, 63, 5, 2688–2701.

16. Peddapelli S. K., Pulse Width Modulation: Analysis and Performance in Multilevel İnverters. De Gruyter Oldenbourg, 2017.

17. Prabaharan N. ve Palanisamy K., A comprehensive review on reduced switch multilevel inverter topologies, modulation techniques and applications, Renew. Sustain. Energy Rev., 76, Nisan (2017), 1248–1282.

18. Sinha A., Chandra Jana K., ve Kumar Das M., An inclusive review on different multi-level inverter topologies, their modulation and control strategies for a grid connected photo-voltaic system, Sol. Energy, 170, Mayıs (2018), 633–657.

19. Hasan A. H. J. N. S., Rosmin N., Osman D. A., Reviews on multilevel converter and modulation techniques, Renew. Sustain. Energy Rev., 80, (2017), 163–174.

20. Nami A. ve Zare F., A new random current control technique for a single-phase inverter with bipolar and unipolar modulations, IEEJ Trans. Ind. Appl., 128, 4, (2008), 402–410.

21. Govindaraju C., Efficient sequential switching hybrid modulation techniques for multiphase multilevel inverters, IET Power Electron., 2011, 4, 5, 557–569.

22. Sarkar I. ve Fernandes B. G., Modified Hybrid Multi-Carrier PWM Technique for Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter.

23. Podder S., Biswas M., ve Khan Z. R., A modified PWM technique to improve total harmonic distortion of multilevel inverter, Proc. 9th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. ICECE ,2016, 3, 515–518.

24. Moranchel I. S. M., Bueno E. J., Rodriguez F. J., Implementation of nearest level modulation for Modular Multilevel Converter, IEEE 6th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2015, 1–5.

25. Rodriguez O. B. C., Ferreira A., Modulation techniques applied to medium voltage modular multilevel converters for renewable energy integration: A review, Elsevier, Electr. Power Syst. Res., 155, (2018), 21–39.

26. Younis M. A. A., Rahim N. A., ve Mekhilef S., High efficiency THIPWM three-phase inverter for grid connected system, ISIEA IEEE Symp. Ind. Electron. Appl., 2010, 88–93.

27. Li W., Gu Y., Luo H., Cui W., He X., ve Xia C., Topology review and derivation methodology of single-phase transformerless photovoltaic inverters for leakage current suppression, IEEE Trans. Ind. Electron., 2015, 62, 7, 4537–4551.

28. Chen B. ve Lai J. S., A family of single-phase transformerless inverters with asymmetric phase-legs, Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC, Mayıs 2015, 2200–2205.

29. Khan M. N. H., Forouzesh M., Siwakoti Y. P., Li L., Kerekes T., ve Blaabjerg F., Transformerless Inverter Topologies for Single-Phase Photovoltaic Systems: A Comparative Review, IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron, 2020, 8, 1, 805–835.

30. Vazquez N., Rosas M., Hernandez C., Vazquez E., ve Perez-Pinal F. J., A new common-mode transformerless photovoltaic inverter, IEEE Trans. Ind. Electron., 2015, 62, 10, 6381–6391.

31. Ahmad Z. ve Singh S. N, Improved modulation strategy for single phase grid connected transformerless PV inverter topologies with reactive power generation capability, Sol. Energy, 163, Ocak (2018), 356–375.

32. Islam M., Mekhilef S., ve Hasan M., Single phase transformerless inverter topologies for grid-tied photovoltaic system: A review, Renew. Sustain. Energy Rev., 2015, 45, 69–86.

33. Douglas T., Goshew N. Y., ve Awuhe S. T., Amplitude Modulation Index Based Equation For Predicting Total Harmonics Distortion In Seven Level Cascaded H-Bridge Inverter, Int. J. Sci. Technol. Res., 06, 07,(2017), 196–199.

34. Shayestagan N. A. M, Shakeri M., Abunima H., Reza S.M., Akhtaruzzaman M., Bais B., Mat S., Sopian K., An overview on prospects of new generation single-phase transformerless inverters for grid-connected photovoltaic (PV) systems, Renew. Sustain. Energy Rev., 82, (2018), 515–530.

35. Gonzalez L. M. R., Lopez J., Sanchis P., Transformerless inverter for singlephase photovoltaic systems, IEEE Trans Power Electron, 2007, 22(2):693–7.

36. Khan M. B. A., Ben-Brahim L, Gastli A, Review and simulation of leakage current in transformerless microinverters for PV applications, Renew. Sustain. Energy Rev., (2017), 1240–1256.

37. Özkop E, "Yenilenebilir Enerji ve Güç Dönüştürücüleri Ders Notları," 2020.

38. Green M. *et al.*, Solar cell efficiency tables (version 40), Ieee Trans Fuzzy Syst, 20, 6, (2012), 1114–1129.

6. EKLER

Ek 1: Benzetim Sonuçları (2.2.1. Çalışma-I)

Ek Tablo 6.1. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-I)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\mathbf{R_{yük}}$ **(Ω)**
400	0.52583	254.7	0.79468	$\%5 \times P_{maks}$	5.27	96.223	320.5
400	1.0273	253.05	1.5816	$\%10 \times P_{maks}$	1.50	97.391	160
400	2.0399	252.90	3.1613	$\%20 \times P_{maks}$	0.53	97.984	80
400	3.0589	252.81	4.7520	$\%30 \times P_{maks}$	0.40	98.182	53.2
400	5.0787	252.52	7.9109	$\%50 \times P_{maks}$	0.53	98.335	31.92
400	7.6432	251.96	11.941	$\%75 \times P_{maks}$	1.09	98.407	21.1
400	8.1358	251.82	12.718	$\%80 \times P_{maks}$	1.21	98.415	19.8
400	9.1558	251.52	14.332	$\%90 \times P_{maks}$	1.47	98.428	17.55
400	10.174	251.19	15.949	$\%100 \times P_{maks}$	1.75	98.438	15.75
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.18187$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.30464$			

Ek Tablo 6.2. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-II)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\mathbf{R_{yük}}$ **(Ω)**
400	0.5134	251.09	0.78663	$\%5 \times P_{maks}$	4.73	96.174	319.2
400	1.01	249.46	1.5769	$\%10 \times P_{maks}$	1.39	97.368	158.2
400	2.0334	249.32	3.1964	$\%20 \times P_{maks}$	1	97.975	78
400	3.0769	249.21	4.8485	$\%30 \times P_{maks}$	0.95	98.175	51.4
400	5.0815	248.91	8.0293	$\%50 \times P_{maks}$	0.95	98.324	31
400	7.6792	248.31	12.172	$\%75 \times P_{maks}$	1.29	98.396	20.4
400	8.1498	248.18	12.926	$\%80 \times P_{maks}$	1.38	98.403	19.2
400	9.1272	247.87	14.496	$\%90 \times P_{maks}$	1.6	98.416	17.1
400	10.170	247.52	16.178	$\%100 \times P_{maks}$	1.85	98.425	15.3
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.16207$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.3640$			

Ek Tablo 6.3. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-III)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\mathbf{R_{yük}}$ **(Ω)**
400	0.51908	252.47	0.79118	$\%5 \times P_{maks}$	4.95	96.196	319.1
400	1.0224	250.85	1.5876	$\%10 \times P_{maks}$	1.36	97.383	158
400	2.043	250.71	3.1937	$\%20 \times P_{maks}$	0.75	97.980	78.5
400	3.0754	250.61	4.8193	$\%30 \times P_{maks}$	0.68	98.177	52
400	5.1056	250.31	8.0226	$\%50 \times P_{maks}$	0.73	98.329	31.2
400	7.6183	249.74	12.007	$\%75 \times P_{maks}$	1.15	98.399	20.8
400	8.1165	249.60	12.80	$\%80 \times P_{maks}$	1.27	98.407	19.5
400	9.1769	249.28	14.493	$\%90 \times P_{maks}$	1.52	98.421	17.2
400	10.155	248.95	16.061	$\%100 \times P_{maks}$	1.77	98.429	15.5
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.16768$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.29757$			

Ek Tablo 6.4. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-IV)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\mathbf{R_{yük}}$ **(Ω)**
400	0.52573	300.54	0.67236	$\%5 \times P_{maks}$	20.73	96.063	447
400	1.0758	296.75	1.4131	$\%10 \times P_{maks}$	17.75	97.447	210
400	2.1106	296.25	2.7948	$\%20 \times P_{maks}$	16.85	98.071	106
400	3.2096	296.14	4.2610	$\%30 \times P_{maks}$	16.79	98.288	69.5
400	5.2938	295.90	7.0452	$\%50 \times P_{maks}$	16.70	98.449	42
400	7.6407	295.50	10.190	$\%75 \times P_{maks}$	16.58	98.522	29
400	8.3522	295.36	11.146	$\%80 \times P_{maks}$	16.53	98.535	26.5
400	9.4019	295.12	12.558	$\%90 \times P_{maks}$	16.46	98.551	23.5
400	10.403	294.88	13.909	$\%100 \times P_{maks}$	16.40	98.562	21.2
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.27466$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.41504$			

Ek Tablo 6.5. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-V)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\mathbf{R_{yük}}$ **(Ω)**
400	0.53107	296.50	0.68873	$\%5 \times P_{maks}$	20.20	96.103	430.5
400	1.0616	293	1.412	$\%10 \times P_{maks}$	17.11	97.429	207.5
400	2.0915	292.51	2.8045	$\%20 \times P_{maks}$	16.65	98.059	104.3
400	3.1522	292.40	4.2377	$\%30 \times P_{maks}$	16.59	98.273	69
400	5.2866	292.14	7.1255	$\%50 \times P_{maks}$	16.49	98.439	41
400	7.8512	291.69	10.607	$\%75 \times P_{maks}$	16.35	98.516	27.5
400	8.3297	291.59	11.258	$\%80 \times P_{maks}$	16.31	98.524	25.9
400	9.4033	291.34	12.722	$\%90 \times P_{maks}$	16.24	98.54	22.9
400	10.483	291.06	14.198	$\%100 \times P_{maks}$	16.16	98.552	20.5
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.26492$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.40454$			

Ek Tablo 6.6. Ölçüm sonuçları, Çalışma-I (Mod-VI)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\mathbf{R_{yük}}$ **(Ω)**
400	0.53605	298.09	0.69162	$\%5 \times P_{maks}$	20.36	96.122	431
400	1.0697	294.49	1.4158	$\%10 \times P_{maks}$	17.18	97.439	208
400	2.1089	294.02	2.8136	$\%20 \times P_{maks}$	16.72	98.066	104.5
400	3.2030	293.91	4.2844	$\%30 \times P_{maks}$	16.66	98.282	68.6
400	5.2148	293.67	6.9921	$\%50 \times P_{maks}$	16.57	98.44	42
400	8.077	293.16	10.858	$\%75 \times P_{maks}$	16.41	98.524	27
400	8.3518	293.11	11.23	$\%80 \times P_{maks}$	16.39	98.529	26.1
400	9.3793	292.87	12.624	$\%90 \times P_{maks}$	16.32	98.544	23.2
400	10.466	292.6	14.101	$\%100 \times P_{maks}$	16.25	98.556	20.75
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.26918$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.41262$			

Ek 2: Benzetim Sonuçları (2.2.2. Çalışma-II)

Ek Tablo 6.7. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 1 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	3.3834	206.31	6.4472	884.27	71.01	98.282
0.7	400	4.1429	228.41	7.1377	1195.3	60.32	98.380
0.8	400	4.9446	249.63	7.8009	1560.9	49.76	98.457
0.9	400	5.8199	270.92	8.4662	1975.2	40.15	98.528
1.0	400	6.8449	293.93	9.1852	2441.6	32.52	98.604
1.1	400	7.5596	308.95	9.6548	2757.4	28.60	98.646
1.2	400	8.1173	320.19	10.006	2991.2	26.67	98.673

Ek Tablo 6.8. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 2 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.4894	176.51	5.5159	866.16	35.22	97.776
0.7	400	3.2831	202.97	6.3428	1183.7	29.60	98.032
0.8	400	4.1805	229.26	7.1644	1551.2	24.27	98.225
0.9	400	5.1948	255.77	7.9927	1968.8	19.58	98.381
1.0	400	6.3388	282.72	8.8349	2435.4	16.00	98.511
1.1	400	7.1478	300.32	9.3849	2760.2	14.53	98.578
1.2	400	7.7030	311.82	9.7443	2973.8	14.75	98.613

Ek Tablo 6.9. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 5 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2330	166.98	5.2181	867.27	6.82	97.551
0.7	400	3.0392	195.15	6.0984	1186.2	5.72	97.893
0.8	400	3.9690	223.29	6.9779	1554.7	4.68	98.142
0.9	400	5.0217	251.41	7.8565	1972.4	3.78	98.332
1.0	400	6.1978	279.51	8.7348	2439.2	3.08	98.481
1.1	400	7.0283	297.76	9.3051	2764.9	4.59	98.555
1.2	400	7.5927	309.55	9.6734	2976.9	7.68	98.595

Ek Tablo 6.10. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 10 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2363	167.10	5.2219	872.28	1.84	97.546
0.7	400	3.0441	195.3	6.1031	1191.6	1.57	97.890
0.8	400	3.9762	223.49	6.9841	1560.6	1.31	98.141
0.9	400	5.03	251.62	7.8630	1978.2	1.09	98.331
1.0	400	6.2158	279.92	8.7474	2448.4	0.91	98.481
1.1	400	7.0355	297.92	9.3099	2769.4	3.87	98.555
1.2	400	7.5983	309.66	9.6770	2980.4	7.38	98.594

Ek Tablo 6.11. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 15 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2246	166.65	5.2080	867.83	1.05	97.539
0.7	400	3.0338	194.97	6.0928	1187.8	0.95	97.887
0.8	400	3.9567	222.97	6.9684	1553.8	0.85	98.137
0.9	400	5.0142	251.21	7.8504	1972.0	0.71	98.329
1.0	400	6.1918	279.37	8.7304	2438.9	0.65	98.479
1.1	400	7.0211	297.61	9.3003	2764.0	3.75	98.554
1.2	400	7.5890	309.47	9.6704	2976.7	7.30	98.594

Ek Tablo 6.12. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 20 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2559	167.84	5.2449	880.25	0.68	97.553
0.7	400	3.0702	196.14	6.1294	1202.2	0.66	97.895
0.8	400	4.0056	224.32	7.01	1572.4	0.57	98.145
0.9	400	5.0661	252.52	7.891.2	1992.6	0.53	98.334
1.0	400	6.2508	280.71	8.7721	2462.4	0.53	98.484
1.1	400	7.0552	298.33	9.3229	2777.0	3.93	98.555
1.2	400	7.6211	310.13	9.6915	2988.8	7.50	98.595

Ek Tablo 6.13. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-I, f_{sw} = 25 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2690	168.32	5.2601	885.38	0.70	97.553
0.7	400	3.0813	196.50	6.1406	1206.6	0.62	97.895
0.8	400	4.0190	224.70	7.0218	1577.8	0.58	98.145
0.9	400	5.0790	252.84	7.9013	1997.7	0.52	98.334
1.0	400	6.2680	821.10	8.7842	2469.1	0.59	98.483
1.1	400	7.0662	298.56	9.3302	2781.2	3.94	98.555
1.2	400	7.6305	310.32	9.6975	2992.2	7.50	98.595

Ek Tablo 6.14. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 1 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	3.3780	206.14	6.4419	882.37	71.06	98.281
0.7	400	4.1372	228.25	7.1328	1193.1	60.38	98.380
0.8	400	4.9386	249.48	7.7961	1558.3	49.81	98.457
0.9	400	5.8129	270.76	8.4612	1972.2	40.20	98.527
1.0	400	6.8374	293.76	9.1801	2438.4	32.55	98.604
1.1	400	7.5551	308.86	9.6519	2755.5	28.61	98.646
1.2	400	8.1120	320.09	10.003	2989.3	26.66	98.673

Ek Tablo 6.15. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 2 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.4796	176.16	5.5049	862.41	35.28	97.772
0.7	400	3.2719	202.62	6.3319	1179.3	29.65	98.029
0.8	400	4.1681	228.92	7.1537	1546.2	24.32	98.223
0.9	400	5.1810	255.42	7.9820	1963.2	19.63	98.379
1.0	400	6.3234	282.37	8.8241	2429.2	16.03	98.510
1.1	400	7.1372	300.09	9.3779	2756.1	14.52	98.577
1.2	400	7.6939	311.63	9.7386	2970.5	14.72	98.613

Ek Tablo 6.16. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 5 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2094	166.09	5.1902	857.95	6.88	97.54
0.7	400	3.0117	194.25	6.0705	1175.3	5.77	97.885
0.8	400	3.9376	222.40	6.950	1542.2	4.73	98.136
0.9	400	4.9863	250.51	7.8286	1958.3	3.82	98.328
1.0	400	6.1585	278.62	8.7068	2423.5	3.12	98.477
1.1	400	7.0022	297.21	9.2877	2754.8	4.49	98.554
1.2	400	7.5721	309.13	9.6602	2969.3	7.55	98.594

Ek Tablo 6.17. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 10 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.1892	165.31	5.166	853.64	2.05	97.524
0.7	400	2.9890	193.51	6.0472	1169.8	1.75	97.875
0.8	400	3.9132	221.7	6.9282	1535.7	1.46	98.13
0.9	400	4.9591	249.82	7.807	1950.1	1.24	98.323
1.0	400	6.137	278.13	8.6915	2417.1	1.04	98.474
1.1	400	6.9845	296.83	9.2759	2749.8	3.61	98.552
1.2	400	7.5557	308.79	9.6497	2964.8	7.10	98.592

Ek Tablo 6.18. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 15 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2016	165.78	5.1808	859.01	1.19	97.528
0.7	400	3.0078	194.07	6.0648	1176.9	1.10	97.880
0.8	400	3.9286	222.14	6.9404	1541.3	0.95	98.132
0.9	400	4.9787	250.32	7.8243	1958.0	0.82	98.324
1.0	400	6.1524	278.48	8.7024	2424.3	0.74	98.475
1.1	400	6.9960	297.05	9.2829	2753.9	3.61	98.552
1.2	400	7.5683	309.07	9.6584	2969.5	7.16	98.593

Ek Tablo 6.19. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 20 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.1618	164.26	5.1331	843.00	1.41	97.509
0.7	400	2.9601	192.56	6.0175	1158.6	1.19	97.865
0.8	400	3.8796	220.74	6.8981	1522.5	1.03	98.122
0.9	400	4.9242	248.94	7.7793	1936.4	0.94	98.317
1.0	400	6.0932	277.13	8.6602	2399.8	0.91	98.470
1.1	400	6.9544	296.19	9.2558	2738.3	3.40	98.55
1.2	400	7.537	308.41	9.6377	295.8	6.96	98.591

Ek Tablo 6.20. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-II, f_{sw} = 25 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.1512	163.85	5.1204	838.8	1.36	97.506
0.7	400	2.9437	192.02	6.0007	1152.1	1.16	97.862
0.8	400	3.8616	220.22	6.8819	1515.4	1.04	98.12
0.9	400	4.9018	248.36	7.7614	1927.5	0.93	98.315
1.0	400	6.0709	276.62	8.6442	2390.9	0.85	98.468
1.1	400	6.9406	295.89	9.2466	2732.9	3.41	98.549
1.2	400	7.5245	308.15	9.6297	2953.4	6.94	98.591

Ek Tablo 6.21. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 1 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	3.3814	206.25	6.4452	884.02	70.97	98.281
0.7	400	4.1399	228.32	7.1351	1194.8	60.30	98.379
0.8	400	4.9393	249.49	7.7967	1559.5	49.73	98.456
0.9	400	5.8141	270.78	8.4620	1973.4	40.14	98.527
1.0	400	6.8391	293.8	9.1812	2439.5	32.52	98.603
1.1	400	7.6041	309.87	9.6833	2774.6	28.54	98.649
1.2	400	8.0561	318.98	9.9680	2967.4	26.74	98.668

Ek Tablo 6.22. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 2 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.4829	176.28	5.5086	864.06	35.19	97.773
0.7	400	3.2785	202.83	6.3383	1182.6	29.51	98.030
0.8	400	4.1740	229.08	7.1588	1549.5	24.16	98.224
0.9	400	5.1858	255.54	7.9857	1966.2	19.46	98.380
1.0	400	6.3287	282.49	8.827	2432.7	15.85	98.51
1.1	400	7.1413	300.18	9.3806	2759.1	14.35	98.577
1.2	400	7.6973	311.7	9.7407	2973.3	14.54	98.8613

Ek Tablo 6.23. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 5 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2236	166.62	5.2070	863.57	6.84	97.546
0.7	400	3.0246	194.67	6.0835	1180.4	5.75	97.889
0.8	400	3.9504	222.77	6.9614	1547.3	4.70	98.139
0.9	400	5.0031	250.94	7.8418	1965.0	3.79	98.330
1.0	400	6.1820	279.15	8.7236	2432.9	3.09	98.480
1.1	400	7.012	297.42	9.2942	2758.6	4.52	98.554
1.2	400	7.5769	309.23	9.6633	2971.1	7.58	98.594

Ek Tablo 6.24. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 10 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2077	166.01	5.1880	860.96	1.94	97.533
0.7	400	3.0128	194.28	6.0714	1179.3	1.64	97.881
0.8	400	3.9434	222.56	6.9551	1547.7	1.35	98.135
0.9	400	4.9967	250.77	7.8367	1965.0	1.15	98.327
1.0	400	6.1718	278.92	8.7162	2430.9	0.95	98.477
1.1	400	7.0052	297.27	9.2897	2757.7	3.71	98.553
1.2	400	7.5796	309.28	9.665	2973.6	7.25	98.594

Ek Tablo 6.25. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 15 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2135	166.24	5.1949	863.47	1.22	97.535
0.7	400	3.0214	194.56	6.0801	1182.8	1.05	97.884
0.8	400	3.9448	222.60	6.9563	1548.4	0.86	98.135
0.9	400	4.9841	250.46	7.8267	1960.1	0.76	98.325
1.0	400	6.1811	279.13	8.7228	2434.7	0.67	98.477
1.1	400	7.0042	297.25	9.2890	2757.4	3.66	98.553
1.2	400	7.5788	309.26	9.6645	2973.3	7.23	98.593

Ek Tablo 6.26. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 20 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.2026	165.82	5.1818	859.15	1.06	97.527
0.7	400	3.0046	194.02	6.063	1176.2	0.96	97.877
0.8	400	3.9322	222.24	6.9450	1543.4	0.76	98.131
0.9	400	4.9791	250.33	7.8227	1958.2	0.71	98.323
1.0	400	6.1644	278.75	8.7109	2428.1	0.68	98.476
1.1	400	7.0065	297.30	9.2905	2758.3	3.66	98.553
1.2	400	7.5761	309.21	9.6628	2972.4	7.21	98.593

Ek Tablo 6.27. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-III, f_{sw} = 25 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	2.1991	165.68	5.1776	857.74	1.06	97.523
0.7	400	2.9981	193.80	6.0564	1173.6	0.92	97.873
0.8	400	3.9268	222.09	6.9403	1541.2	0.82	98.129
0.9	400	4.9860	250.50	7.8282	1960.9	0.73	98.323
1.0	400	6.1542	278.52	8.7037	2424.0	0.68	98.474
1.1	400	7.0090	297.35	9.2922	2759.3	3.67	98.552
1.2	400	7.5788	309.26	9.6645	2973.4	7.23	98.593

Ek Tablo 6.28. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 1 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.7272	205.6	12.85	2293.1	39.01	98.186
0.7	400	8.8255	235.71	14.732	3133.7	32.88	98.365
0.8	400	11.197	265.69	16.605	4105.4	27.32	98.505
0.9	400	13.877	295.95	18.497	5205.0	22.75	98.622
1.0	400	16.944	327.19	20.450	6437.1	19.86	98.724
1.1	400	18.279	339.91	21.244	6908.4	21.27	98.757
1.2	400	18.975	346.34	21.646	7111.9	23.26	98.772

Ek Tablo 6.29. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 2 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.1771	196.87	12.304	2294.0	23.65	98.036
0.7	400	8.3361	228.98	14.311	3135.2	21.26	98.272
0.8	400	10.815	261.05	16.316	4106.9	19.25	98.449
0.9	400	13.637	293.34	18.333	5212.2	17.83	98.589
1.0	400	16.80	325.77	20.361	6445.5	17.06	98.701
1.1	400	18.154	338.71	21.169	6912.6	19.30	98.735
1.2	400	18.854	345.20	21.575	7107.8	21.86	98.748

Ek Tablo 6.30. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 5 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.0307	194.48	12.155	2299.8	16.70	97.989
0.7	400	8.2132	227.25	14.203	3142.5	16.47	98.245
0.8	400	10.729	259.99	16.249	4115.3	16.31	98.435
0.9	400	13.584	292.76	18.297	5220.2	16.17	98.580
1.0	400	16.773	325.51	20.344	6454.3	16.12	98.696
1.1	400	18.148	338.64	21.165	6923.7	18.76	98.730
1.2	400	18.825	344.93	21.558	7109.7	21.42	98.743

Ek Tablo 6.31. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 10 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.0402	194.63	12.164	2308.1	16.05	97.987
0.7	400	8.2277	227.45	14.216	3151.8	16.10	98.245
0.8	400	10.755	260.30	16.269	4128.2	16.07	98.435
0.9	400	13.614	293.08	18.317	5233.1	16.08	98.581
1.0	400	16.801	325.78	20.361	6466.2	16.07	98.696
1.1	400	18.157	338.72	21.170	6926.9	18.76	98.730
1.2	400	18.836	345.03	21.564	7113.3	21.44	98.742

Ek Tablo 6.32. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 15 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.0209	194.32	12.145	2300.6	16.05	97.984
0.7	400	8.1965	227.02	14.190	3139.8	16.02	98.242
0.8	400	10.718	259.86	16.241	4114.4	16.04	98.432
0.9	400	13.572	292.65	18.291	5219.7	16.02	98.579
1.0	400	16.774	325.51	20.347	6458.4	16.02	98.695
1.1	400	18.147	338.62	21.164	3924.3	18.72	98.730
1.2	400	18.829	344.95	21.560	7111.2	21.41	98.742

Ek Tablo 6.33. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 20 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.0905	195.44	12.215	2326.4	16.19	97.993
0.7	400	8.2840	228.23	14.265	3173.3	16.12	98.248
0.8	400	10.826	261.16	16.323	4155.1	16.11	98.438
0.9	400	13.690	293.91	18.369	5261.5	16.16	98.583
1.0	400	16.04	326.77	20.423	6505.1	16.10	98.698
1.1	400	18.191	339.04	21.190	6936.7	18.90	98.730
1.2	400	18.862	345.26	21.579	7119.9	21.54	98.742

Ek Tablo 6.34. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-IV, f_{sw} = 25 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.1196	195.91	12.245	2337.9	16.10	97.992
0.7	400	8.3093	228.59	14.287	3182.3	16.15	98.248
0.8	400	10.838	261.31	16.332	4159.4	16.10	98.437
0.9	400	13.734	294.38	18.399	5278.3	16.12	98.583
1.0	400	16.958	327.30	20.456	6525.1	16.11	98.699
1.1	400	18.206	339.18	21.199	6940.8	18.90	98.730
1.2	400	18.879	345.42	21.588	7124.0	21.57	98.742

Ek Tablo 6.35. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 1 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.7157	205.43	12.839	2288.4	39.06	98.184
0.7	400	8.8129	235.54	14.721	3128.3	32.93	98.363
0.8	400	11.183	265.52	16.595	4099.2	27.37	98.504
0.9	400	13.862	295.79	18.487	5198.2	22.80	98.621
1.0	400	16.927	327.04	20.440	6429.8	19.91	98.723
1.1	400	18.276	339.87	21.242	6906.6	21.29	98.757
1.2	400	18.977	346.35	21.647	7112.2	23.28	98.772

Ek Tablo 6.36. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 2 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.1545	196.51	12.282	2285.4	23.67	98.033
0.7	400	8.310	228.62	14.289	3125.1	21.28	98.270
0.8	400	10.786	260.69	16.293	4095.4	19.27	98.448
0.9	400	13.603	292.98	18.311	5199.1	17.84	98.588
1.0	400	16.763	325.41	20.338	6431.0	17.07	98.701
1.1	400	18.143	338.60	21.163	6908.8	19.29	98.735
1.2	400	18.848	345.14	21.571	7105.4	21.86	98.749

Ek Tablo 6.37. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 5 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9739	193.55	12.097	2278.4	16.63	97.982
0.7	400	8.1469	226.33	14.146	3117.5	16.42	98.240
0.8	400	10.653	259.07	16.192	4086.7	16.25	98.430
0.9	400	13.499	291.83	18.239	5188.0	16.13	98.577
1.0	400	16.678	324.58	20.286	6418.5	16.08	98.693
1.1	400	18.115	338.34	21.146	6914.4	18.63	98.730
1.2	400	18.800	344.70	21.543	7103.2	21.32	98.743

Ek Tablo 6.38. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 10 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9265	192.77	12.048	2265.4	15.90	97.972
0.7	400	8.095	225.6	14.10	3101.8	15.97	98.234
0.8	400	10.603	258.44	16.153	4071.0	15.94	98.426
0.9	400	13.443	291.22	18.201	5168.6	15.98	98.574
1.0	400	16.611	323.92	20.245	6394.6	15.97	98.691
1.1	400	18.094	338.13	21.133	6909.0	18.51	98.729
1.2	400	18.788	344.58	21.536	7100.8	21.23	98.742

Ek Tablo 6.39. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 15 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9669	193.43	12.087	2279.3	15.98	97.977
0.7	400	8.1334	226.14	14.133	3117.5	15.95	98.237
0.8	400	10.646	258.97	16.183	4085.9	15.98	98.428
0.9	400	13.495	291.79	18.234	5187.5	15.97	98.576
1.0	400	16.688	324.63	20.289	6422.6	15.97	98.693
1.1	400	18.114	338.33	21.145	6915.0	18.59	98.729
1.2	400	18.803	344.72	21.545	7104.6	21.30	98.742

Ek Tablo 6.40. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 20 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.8631	191.73	11.983	2241.0	15.88	97.962
0.7	400	8.0184	224.52	14.033	3073.4	15.85	98.226
0.8	400	10.522	257.45	16.090	4040.7	15.87	98.421
0.9	400	13.348	290.19	18.137	5132.6	15.95	98.570
1.0	400	16.523	323.06	20.191	6361.7	15.92	98.688
1.1	400	18.067	337.88	21.118	6901.7	18.40	98.729
1.2	400	18.762	344.35	21.522	7094.4	21.12	98.742

Ek Tablo 6.41. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-V, f_{sw} = 25 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.8353	191.27	11.954	2231.2	15.80	97.959
0.7	400	7.9776	223.94	13.996	3057.6	15.90	98.224
0.8	400	10.458	256.67	16.042	4016.6	15.88	98.419
0.9	400	13.346	28.974	18.108	5117.4	15.93	98.569
1.0	400	16.482	322.65	20.166	6345.9	15.94	98.688
1.1	400	18.052	337.74	21.109	6897.3	18.39	98.729
1.2	400	18.763	344.42	21.530	7091.2	21.14	98.741

Ek Tablo 6.42. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 1 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.7134	205.39	12.837	2289.7	38.92	98.181
0.7	400	8.8110	235.51	14.720	3130.4	32.77	98.361
0.8	400	11.181	265.50	16.594	4101.4	27.23	98.501
0.9	400	13.879	295.97	18.498	5205.7	22.74	98.619
1.0	400	16.955	327.29	20.456	6438.3	19.97	98.720
1.1	400	18.264	339.75	21.235	6904.2	21.20	98.752
1.2	400	18.869	345.35	21.585	7076.2	23.12	98.762

Ek Tablo 6.43. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 2 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	6.1592	196.58	12.286	2287.1	23.68	98.033
0.7	400	8.3215	228.77	14.298	3129.6	21.27	98.271
0.8	400	10.798	260.84	16.303	4100.3	19.26	98.448
0.9	400	13.609	293.03	18.315	5202.2	17.78	98.588
1.0	400	16.773	325.51	20.344	6436.5	16.99	98.700
1.1	400	18.197	339.11	21.194	6927.0	19.38	98.736
1.2	400	18.839	345.05	21.566	7103.2	21.82	98.748

Ek Tablo 6.44. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 5 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9930	193.86	12.117	2285.4	16.68	97.984
0.7	400	8.1735	226.70	14.169	3127.2	16.47	98.242
0.8	400	10.694	259.56	16.223	4102.4	16.26	98.432
0.9	400	13.531	292.18	18.261	5200.0	16.15	98.578
1.0	400	16.702	324.81	20.301	6426.5	16.14	98.694
1.1	400	18.124	338.42	21.151	6916.7	18.67	98.730
1.2	400	18.819	344.87	21.554	7108.4	21.38	98.743

Ek Tablo 6.45. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 10 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9742	193.55	12.097	2282.7	16.05	97.978
0.7	400	8.1548	226.44	14.152	3124.3	16.04	98.239
0.8	400	10.671	259.28	16.205	4096.3	16.03	98.430
0.9	400	13.528	292.15	18.259	5199.9	16.09	98.577
1.0	400	16.713	324.92	20.307	6433.3	16.01	98.693
1.1	400	18.132	338.49	21.155	6919.8	18.66	98.730
1.2	400	18.811	344.79	21.550	7106.6	21.34	98.742

Ek Tablo 6.46. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 15 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9860	193.75	12.109	2288.1	15.92	97.980
0.7	400	8.1550	226.44	14.152	3125.0	15.97	98.237
0.8	400	10.695	259.58	16.224	4106.1	16.00	98.431
0.9	400	13.537	292.24	18.265	5205.0	15.98	98.577
1.0	400	16.707	324.86	20.304	6431.0	16.01	98.693
1.1	400	18.121	338.38	21.149	6916.6	18.62	98.729
1.2	400	18.825	344.92	21.557	7110.2	21.39	98.742

Ek Tablo 6.47. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 20 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9442	193.06	12.066	2270.8	16.08	97.972
0.7	400	8.1104	225.81	14.113	310.63	16.12	98.234
0.8	400	10.630	258.77	16.173	4080.0	16.05	98.427
0.9	400	13.486	291.69	18.231	5184.6	16.03	98.575
1.0	400	16.702	324.81	20.300	6429.6	15.97	98.693
1.1	400	18.111	338.29	21.143	6914.0	18.57	98.729
1.2	400	18.823	344.91	21.557	7110.1	21.37	98.742

Ek Tablo 6.48. Ölçüm sonuçları, Çalışma-II (Mod-VI, f_{sw} = 25 kHz)

m_{indeks}	$V_{giriş}$ ($V_{da,ort}$)	$I_{giriş}$ ($A_{da,ort}$)	$V_{çıkış}$ (V_{rms})	$I_{çıkış}$ (A_{rms})	$P_{çıkış}$ (W)	THB (%) $I_{çıkış}$	η (%)
0.6	400	5.9631	193.37	12.086	2280.0	15.81	97.974
0.7	400	8.1087	225.79	14.112	3106.4	16.04	98.232
0.8	400	10.607	258.49	16.156	4070.0	16.15	98.425
0.9	400	13.449	291.28	18.205	5168.6	16.12	98.573
1.0	400	16.647	324.27	20.267	6404.5	16.17	98.690
1.1	400	18.114	338.32	21.145	6914.7	18.59	98.729
1.2	400	18.825	344.92	21.558	7110.3	21.40	98.741

Ek 3: Benzetim Sonuçları (2.3.1. Aktif Güç Enjeksiyonu)

Ek Tablo 6.49. Ölçüm sonuçları (Mod-I)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$Q_{çıkış}$ **(VAr)**
400	0.55324	220	1.2283	$\%5 \times P_{maks}$	63.86	94.840	0.08	108.80
400	1.0496	220	1.9396	$\%10 \times P_{maks}$	25.62	96.331	0.11	82.793
400	2.0910	220	3.7473	$\%20 \times P_{maks}$	11.54	97.652	0.204	24.560
400	3.0589	220	5.4719	$\%30 \times P_{maks}$	8.08	97.967	0.3	13.947
400	5.0945	220	9.1055	$\%50 \times P_{maks}$	4.70	98.165	0.50	8.1162
400	7.6363	220	13.650	$\%75 \times P_{maks}$	3.38	98.242	0.75	4.7206
400	8.1469	220	14.563	$\%80 \times P_{maks}$	3.20	98.250	0.8	1.8323
400	9.1219	220	16.307	$\%90 \times P_{maks}$	2.99	98.264	0.896	3.1599
400	10.180	220	18.200	$\%100 \times P_{maks}$	2.97	98.279	1	0.78174
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.89152$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.08874$				

Ek Tablo 6.50. Ölçüm sonuçları (Mod-II)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$Q_{çıkış}$ **(VAr)**
400	0.56858	220	1.2601	$\%5 \times P_{maks}$	65.22	94.906	0.079	111.06
400	1.0775	220	1.9758	$\%10 \times P_{maks}$	24.16	96.385	0.11	74.831
400	2.0910	220	3.7408	$\%20 \times P_{maks}$	10.19	97.654	0.204	18.640
400	3.061	220	5.4695	$\%30 \times P_{maks}$	6.88	97.957	0.3	10.984
400	5.0964	220	9.1059	$\%50 \times P_{maks}$	4.22	98.156	0.50	6.9012
400	7.6420	220	13.658	$\%75 \times P_{maks}$	3.25	98.235	0.75	2.0392
400	8.1493	220	14.565	$\%80 \times P_{maks}$	3.03	98.244	0.8	1.7395
400	9.1673	220	16.387	$\%90 \times P_{maks}$	3	98.260	0.896	-0.18447
400	10.184	220	18.206	$\%100 \times P_{maks}$	3.01	98.274	1	-0.75711
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.89068$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.08395$				

Ek Tablo 6.51. Ölçüm sonuçları (Mod-III)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.52549	220	1.1952	$\%5 \times P_{maks}$	68.09	94.691	0.08	109.66
400	1.0306	220	1.9224	$\%10 \times P_{maks}$	27.82	96.222	0.11	92.133
400	2.0825	220	3.7395	$\%20 \times P_{maks}$	12.92	97.646	0.204	28.674
400	3.0523	220	5.4660	$\%30 \times P_{maks}$	9.45	97.971	0.3	16.490
400	5.0873	220	9.0985	$\%50 \times P_{maks}$	5.82	98.174	0.50	6.4544
400	7.6325	220	13.645	$\%75 \times P_{maks}$	3.74	98.248	0.75	2.2973
400	8.1404	220	14.554	$\%80 \times P_{maks}$	3.54	98.256	0.8	3.517
400	9.1180	220	16.302	$\%90 \times P_{maks}$	3.32	98.270	0.896	2.1333
400	10.0175	220	18.192	$\%100 \times P_{maks}$	3.04	98.283	1	1.0177
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.88525$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.08983$				

Ek Tablo 6.52. Ölçüm sonuçları (Mod-IV)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.51215	220	1.4406	$\%5 \times P_{maks}$	73.26	95.534	0.115	178.31
400	1.0259	220	2.1697	$\%10 \times P_{maks}$	35.99	97.059	0.158	222.43
400	2.0498	220	3.7800	$\%20 \times P_{maks}$	14.38	97.820	0.24	193.54
400	3.0565	220	5.5077	$\%30 \times P_{maks}$	8.94	98.036	0.33	147.20
400	5.0924	220	9.1102	$\%50 \times P_{maks}$	5.01	98.183	0.52	90.506
400	7.6283	220	13.636	$\%75 \times P_{maks}$	3.37	98.252	0.76	45.347
400	8.1553	220	14.580	$\%80 \times P_{maks}$	3.40	98.263	0.81	41.764
400	9.1557	220	16.367	$\%90 \times P_{maks}$	3.04	98.273	0.904	18.035
400	10.159	220	18.161	$\%100 \times P_{maks}$	2.84	98.284	1	-0.47464
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.9944$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.14387$				

Ek Tablo 6.53. Ölçüm sonuçları (Mod-V)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.53484	220	1.4733	$\%5 \times P_{maks}$	69.64	95.740	0.12	180.24
400	1.0414	220	2.2043	$\%10 \times P_{maks}$	35.75	97.091	0.16	227.20
400	2.0445	220	3.7701	$\%20 \times P_{maks}$	14.38	97.826	0.24	192.54
400	3.0495	220	5.4972	$\%30 \times P_{maks}$	8.70	98.040	0.33	151.30
400	5.0858	220	9.0999	$\%50 \times P_{maks}$	4.94	98.188	0.52	95.70
400	7.6232	220	13.627	$\%75 \times P_{maks}$	3.41	98.255	0.76	43.20
400	8.1579	220	14.583	$\%80 \times P_{maks}$	3.16	98.263	0.81	39.591
400	9.1626	220	16.380	$\%90 \times P_{maks}$	2.99	98.275	0.905	20.475
400	10.160	220	18.164	$\%100 \times P_{maks}$	2.79	98.285	1	-0.2394
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.00628$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.14862$				

Ek Tablo 6.54. Ölçüm sonuçları (Mod-VI)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.52418	220	1.5009	$\%5 \times P_{maks}$	76.38	95.591	0.118	183.38
400	1.0498	220	2.2075	$\%10 \times P_{maks}$	37.39	97.097	0.16	219.98
400	2.0442	220	3.7696	$\%20 \times P_{maks}$	14.40	97.818	0.24	193.80
400	3.0534	220	5.5036	$\%30 \times P_{maks}$	8.42	98.037	0.33	153.92
400	5.0784	220	9.0865	$\%50 \times P_{maks}$	4.78	98.187	0.52	97.287
400	7.627	220	13.634	$\%75 \times P_{maks}$	3.20	98.255	0.76	48.669
400	8.1524	220	14.572	$\%80 \times P_{maks}$	3.06	98.262	0.81	35.709
400	9.1616	220	16.377	$\%90 \times P_{maks}$	2.81	98.275	0.905	20.631
400	10.159	220	18.161	$\%100 \times P_{maks}$	2.74	98.284	1	3.4018
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%98.00015$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.14784$			

Ek Tablo 6.55. Ölçüm sonuçları (Mod-VII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.54762	220	1.4981	$\%5 \times P_{maks}$	74.82	95.329	0.119	175.27
400	1.04	220	2.2083	$\%10 \times P_{maks}$	40.18	96.843	0.16	223.09
400	2.0469	220	3.776	$\%20 \times P_{maks}$	15.33	97.710	0.24	194.10
400	3.0613	220	5.5177	$\%30 \times P_{maks}$	9.16	97.966	0.33	154.18
400	5.0945	220	9.1131	$\%50 \times P_{maks}$	5.23	98.144	0.52	97.334
400	7.6323	220	13.640	$\%75 \times P_{maks}$	3.52	98.225	0.76	44.699
400	8.1607	220	14.585	$\%80 \times P_{maks}$	3.36	98.235	0.81	40.380
400	9.1649	220	16.380	$\%90 \times P_{maks}$	3.09	98.249	0.905	18.520
400	10.159	220	18.157	$\%100 \times P_{maks}$	2.84	98.262	1	0.82687
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.93087$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.09773$			

Ek Tablo 6.56. Ölçüm sonuçları (Mod-VIII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.5401	220	1.4846	$\%5 \times P_{maks}$	75.93	95.124	0.118	173.03
400	1.0411	220	2.2085	$\%10 \times P_{maks}$	40.26	96.755	0.16	222.78
400	2.0473	220	3.7757	$\%20 \times P_{maks}$	15.37	97.665	0.24	194.54
400	3.0632	220	5.5194	$\%30 \times P_{maks}$	9.19	97.937	0.33	154.03
400	5.0954	220	9.113	$\%50 \times P_{maks}$	5.22	98.128	0.52	97.334
400	7.6331	220	13.64	$\%75 \times P_{maks}$	3.52	98.215	0.76	44.698
400	8.1615	220	14.585	$\%80 \times P_{maks}$	3.36	98.226	0.81	40.379
400	9.1656	220	16.380	$\%90 \times P_{maks}$	3.09	98.241	0.905	18.526
400	10.160	220	18.157	$\%100 \times P_{maks}$	2.84	98.254	1	0.82721
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.90141$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.07942$			

Ek Tablo 6.57. Ölçüm sonuçları (Mod-IX)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.51933	220	0.99768	$\%5 \times P_{maks}$	43.87	81.710	0.055	37.091
400	1.0065	220	1.8294	$\%10 \times P_{maks}$	23.25	45.168	0.1	-0.67829
400	2.0431	220	3.6608	$\%20 \times P_{maks}$	11.80	92.393	0.2	0.19347
400	3.0539	220	5.4617	$\%30 \times P_{maks}$	8.01	95.627	0.3	13.816
400	5.0938	220	9.1034	$\%50 \times P_{maks}$	4.72	97.362	0.5	9.1567
400	7.6361	220	13.648	$\%75 \times P_{maks}$	3.22	98.006	0.75	3.9899
400	8.1431	220	14.554	$\%80 \times P_{maks}$	2.95	98.075	0.8	3.9533
400	9.1577	220	16.368	$\%90 \times P_{maks}$	2.61	98.179	0.9	1.8650
400	10.180	220	18.194	$\%100 \times P_{maks}$	2.33	98.248	1.005	1.3129
$\eta_{Avrupa} = \%94.56153$					$\eta_{Kaliforniya} = \%95.20321$			

Ek Tablo 6.58. Ölçüm sonuçları (Mod-X)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.52447	220	1.0007	$\%5 \times P_{maks}$	42.30	82.330	0.055	35.865
400	1.0136	220	1.8329	$\%10 \times P_{maks}$	20.92	45.168	0.1	25.519
400	2.0416	220	3.6512	$\%20 \times P_{maks}$	10.37	92.634	0.2	14.603
400	3.0568	220	5.4609	$\%30 \times P_{maks}$	6.85	95.715	0.3	12.382
400	5.0946	220	9.1015	$\%50 \times P_{maks}$	4.10	97.381	0.5	6.9092
400	7.6391	220	13.651	$\%75 \times P_{maks}$	2.56	98.014	0.75	4.6183
400	8.1455	220	14.556	$\%80 \times P_{maks}$	2.95	98.082	0.8	3.9459
400	9.1613	220	16.373	$\%90 \times P_{maks}$	2.30	98.185	0.9	1.2648
400	10.182	220	18.197	$\%100 \times P_{maks}$	2.06	98.249	1.009	0.43289
$\eta_{Avrupa} = \%95.49636$					$\eta_{Kaliforniya} = \%95.2341$			

Ek Tablo 6.59. Ölçüm sonuçları (Mod-XI)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.51838	220	1.0022	$\%5 \times P_{maks}$	45.02	92.107	0.055	39.819
400	1.0178	220	18.584	$\%10 \times P_{maks}$	24.47	96.456	0.102	26.616
400	2.0308	220	3.6469	$\%20 \times P_{maks}$	13.39	92.031	0.2	22.198
400	3.0474	220	5.4578	$\%30 \times P_{maks}$	9.69	95.542	0.3	15.423
400	5.0873	220	9.0979	$\%50 \times P_{maks}$	5.87	97.334	0.5	9.5919
400	7.6327	220	13.645	$\%75 \times P_{maks}$	3.76	97.992	0.75	4.3737
400	8.1404	220	14.553	$\%80 \times P_{maks}$	3.54	98.063	0.8	5.6073
400	9.1555	220	16.368	$\%90 \times P_{maks}$	3.22	98.174	0.9	2.4522
400	10.171	220	18.182	$\%100 \times P_{maks}$	2.79	98.246	1	0.88726
$\eta_{Avrupa} = \%94.01363$					$\eta_{Kaliforniya} = \%94.89331$			

Ek Tablo 6.60. Ölçüm sonuçları (Mod-XII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$Q_{çıkış}$ **(VAr)**
400	0.53095	220	1.3354	$\%5 \times P_{maks}$	30.57	96.414	0.113	196.86
400	1.0506	220	2.1019	$\%10 \times P_{maks}$	21.52	97.024	0.159	198.74
400	2.0394	220	3.7455	$\%20 \times P_{maks}$	12.41	97.789	0.246	184.31
400	3.0768	220	5.5462	$\%30 \times P_{maks}$	8.37	98.016	0.34	157.58
400	5.1107	220	9.1485	$\%50 \times P_{maks}$	4.88	98.176	0.529	116.47
400	7.6379	220	13.653	$\%75 \times P_{maks}$	3.18	98.248	0.768	55.468
400	8.1624	220	14.590	$\%80 \times P_{maks}$	2.87	98.257	0.817	18.582
400	9.1440	220	16.344	$\%90 \times P_{maks}$	2.68	98.271	0.91	25.213
400	10.188	220	18.209	$\%100 \times P_{maks}$	2.26	98.280	1.009	0.41908
$\eta_{Avrupa} = \%97.97032$					$\eta_{Kaliforniya} = \%98.13473$			

Ek Tablo 6.61. Ölçüm sonuçları (Mod-XIII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$Q_{çıkış}$ **(VAr)**
400	0.517	220	1.2974	$\%5 \times P_{maks}$	32.57	96.703	0.113	190.19
400	1.0397	220	2.0848	$\%10 \times P_{maks}$	21.37	97.016	0.159	200.39
400	2.0326	220	3.7319	$\%20 \times P_{maks}$	12.43	97.792	0.246	183.31
400	3.0674	220	5.5302	$\%30 \times P_{maks}$	8.20	98.021	0.34	158.01
400	5.0920	220	9.1143	$\%50 \times P_{maks}$	4.76	98.178	0.528	115.15
400	7.6328	220	13.644	$\%75 \times P_{maks}$	3.17	98.251	0.768	54.971
400	8.1597	220	14.585	$\%80 \times P_{maks}$	2.83	98.258	0.817	48.548
400	9.1421	220	16.340	$\%90 \times P_{maks}$	2.49	98.271	0.91	26.109
400	10.181	220	18.197	$\%100 \times P_{maks}$	2.24	98.282	1.009	2.4230
$\eta_{Avrupa} = \%97.97014$					$\eta_{Kaliforniya} = \%98.13727$			

Ek Tablo 6.62. Ölçüm sonuçları (Mod-XIV)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$Q_{çıkış}$ **(VAr)**
400	0.51604	220	1.3023	$\%5 \times P_{maks}$	29.94	95.047	0.114	194.08
400	1.0412	220	2.0866	$\%10 \times P_{maks}$	20.08	96.997	0.159	202.34
400	2.0318	220	3.7265	$\%20 \times P_{maks}$	11.58	97.788	0.246	181.96
400	3.0321	220	5.5187	$\%30 \times P_{maks}$	7.79	98.018	0.34	158.39
400	5.0866	220	9.1040	$\%50 \times P_{maks}$	4.59	98.178	0.528	116.37
400	7.6349	220	13.647	$\%75 \times P_{maks}$	2.89	98.249	0.768	58.816
400	8.1555	220	14.577	$\%80 \times P_{maks}$	2.70	98.258	0.817	46.663
400	9.1444	220	16.344	$\%90 \times P_{maks}$	2.37	98.271	0.91	24.320
400	10.185	220	18.204	$\%100 \times P_{maks}$	2.09	98.282	1.009	0.86753
$\eta_{Avrupa} = \%97.96731$					$\eta_{Kaliforniya} = \%98.13489$			

Ek Tablo 6.63. Ölçüm sonuçları (Mod-XV)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.51545	220	1.3114	$\%5 \times P_{maks}$	33.42	94.627	0.113	194.01
400	1.0459	220	2.0900	$\%10 \times P_{maks}$	22.44	96.821	0.159	197.94
400	2.0429	220	3.7477	$\%20 \times P_{maks}$	12.8	97.696	0.246	182.39
400	3.0732	220	5.5407	$\%30 \times P_{maks}$	8.53	97.956	0.34	162.05
400	5.1017	220	9.1291	$\%50 \times P_{maks}$	5.06	98.140	0.529	114.21
400	7.6445	220	13.662	$\%75 \times P_{maks}$	3.23	98.224	0.768	57.488
400	8.1603	220	14.583	$\%80 \times P_{maks}$	3.00	98.234	0.817	48.371
400	9.1432	220	16.339	$\%90 \times P_{maks}$	2.64	98.249	0.91	23.255
400	10.186	220	18.203	$\%100 \times P_{maks}$	2.33	98.262	1.009	0.97144
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.90375$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.09358$			

Ek Tablo 6.64. Ölçüm sonuçları (Mod-XVI)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\mathbf{P_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$I_{d_{ref}}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$ **(VAr)**
400	0.51304	220	1.3013	$\%5 \times P_{maks}$	33.70	94.421	0.113	192.27
400	1.0445	220	2.0902	$\%10 \times P_{maks}$	22.67	96.742	0.159	199.31
400	2.0444	220	3.7528	$\%20 \times P_{maks}$	12.65	97.654	0.246	186.37
400	3.0780	220	5.5456	$\%30 \times P_{maks}$	8.62	97.932	0.34	158.14
400	5.0986	220	9.1223	$\%50 \times P_{maks}$	5.05	98.125	0.529	114.90
400	7.6375	220	13.648	$\%75 \times P_{maks}$	3.25	98.215	0.768	60.419
400	8.1631	220	14.587	$\%80 \times P_{maks}$	3.01	98.226	0.817	46.552
400	9.144	220	16.339	$\%90 \times P_{maks}$	2.65	98.242	0.91	24.694
400	10.187	220	18.203	$\%100 \times P_{maks}$	2.34	98.256	1.009	-0.98642
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%97.87657$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%98.07722$			

Ek 4: Benzetim Sonuçları (2.3.2. Reaktif Güç Enjeksiyonu)

Ek Tablo 6.65. Ölçüm sonuçları (Mod-I)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.28097	220	1.4352	$\%5 \times Q_{maks}$	132.05	93.435	-0.0369	104.92
400	0.3714	220	2.3789	$\%10 \times Q_{maks}$	120.31	93.928	-0.088	139.43
400	0.57180	220	4.1272	$\%20 \times Q_{maks}$	99.59	94.445	-0.183	215.67
400	0.76939	220	5.7853	$\%30 \times Q_{maks}$	88.30	94.606	-0.271	290.6
400	1.1461	220	9.0186	$\%50 \times Q_{maks}$	76.61	94.656	-0.445	433.39
400	1.5954	220	12.850	$\%75 \times Q_{maks}$	68.14	94.562	-0.651	602.25
400	1.7011	220	13.621	$\%80 \times Q_{maks}$	66.65	94.556	-0.692	642.59
400	1.8155	220	14.985	$\%90 \times Q_{maks}$	63.06	94.349	-0.765	683.23
400	1.9509	220	16.369	$\%100 \times Q_{maks}$	59.44	94.224	-0.84	732.92
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%94.45686$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.53891$			

Ek Tablo 6.66. Ölçüm sonuçları (Mod-II)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.26192	220	1.311	$\%5 \times Q_{maks}$	130.45	93.174	-0.0369	97.567
400	0.34941	220	2.3179	$\%10 \times Q_{maks}$	121.07	93.593	-0.091	130.82
400	0.54149	220	4.0762	$\%20 \times Q_{maks}$	100.33	94.165	-0.185	203.71
400	0.73559	220	5.7323	$\%30 \times Q_{maks}$	88.43	94.350	-0.274	277.40
400	1.1056	220	8.9810	$\%50 \times Q_{maks}$	76.61	94.411	-0.448	416.83
400	1.5592	220	12.856	$\%75 \times Q_{maks}$	68.01	94.374	-0.655	588.02
400	1.6598	220	13.596	$\%80 \times Q_{maks}$	66.57	94.384	-0.695	625.44
400	1.7724	220	14.945	$\%90 \times Q_{maks}$	63.42	94.258	-0.768	666.38
400	1.9093	220	16.312	$\%100 \times Q_{maks}$	59.90	94.111	-0.84	716.74
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%94.22673$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.32405$			

Ek Tablo 6.67. Ölçüm sonuçları (Mod-III)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.27461	220	1.3967	$\%5 \times Q_{maks}$	130.64	93.332	-0.0369	102.41
400	0.36038	220	2.3590	$\%10 \times Q_{maks}$	120.59	93.769	-0.09	135.03
400	0.56050	220	4.1290	$\%20 \times Q_{maks}$	99.93	94.326	-0.185	211.26
400	0.75931	220	5.7884	$\%30 \times Q_{maks}$	88.27	94.543	-0.274	286.74
400	1.1259	220	8.9939	$\%50 \times Q_{maks}$	76.63	94.475	-0.446	424.74
400	1.5732	220	12.821	$\%75 \times Q_{maks}$	68.07	94.515	-0.651	593.39
400	1.6791	220	13.653	$\%80 \times Q_{maks}$	66.59	94.518	-0.696	632.89
400	1.7903	220	14.987	$\%90 \times Q_{maks}$	63.22	94.352	-0.767	672.64
400	1.9338	220	16.330	$\%100 \times Q_{maks}$	59.72	94.206	-0.839	726.16
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%94.33198$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.45522$			

Ek Tablo 6.68. Ölçüm sonuçları (Mod-IV)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.24237	220	1.3524	$\%5 \times Q_{maks}$	128.94	92.580	-0.0365	89.712
400	0.3438	220	2.3303	$\%10 \times Q_{maks}$	117.68	93.358	-0.09	124.74
400	0.53302	220	4.0609	$\%20 \times Q_{maks}$	99.11	94.121	-0.182	200.57
400	0.72942	220	5.7023	$\%30 \times Q_{maks}$	87.63	94.333	-0.272	275.01
400	1.1182	220	8.9502	$\%50 \times Q_{maks}$	76.47	94.463	-0.444	422.11
400	1.5906	220	12.834	$\%75 \times Q_{maks}$	67.87	94.576	-0.652	601.13
400	1.6886	220	13.632	$\%80 \times Q_{maks}$	66.67	94.555	-0.695	637.74
400	1.7579	220	14.936	$\%90 \times Q_{maks}$	63.44	94.363	-0.766	661.13
400	1.9272	220	16.333	$\%100 \times Q_{maks}$	59.55	94.240	-0.840	723.80
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%94.23815$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.43484$			

Ek Tablo 6.69. Ölçüm sonuçları (Mod-V)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.25896	220	1.3741	$\%5 \times Q_{maks}$	127.52	92.978	-0.0369	96.310
400	0.35112	220	2.3422	$\%10 \times Q_{maks}$	117.23	93.575	-0.09	131.45
400	0.55122	220	4.1125	$\%20 \times Q_{maks}$	98.58	94.211	-0.185	207.50
400	0.74148	220	5.7345	$\%30 \times Q_{maks}$	87.74	94.449	-0.272	279.92
400	1.1215	220	8.9580	$\%50 \times Q_{maks}$	76.38	94.485	-0.444	423.65
400	1.5777	220	12.831	$\%75 \times Q_{maks}$	68.00	94.424	-0.652	594.58
400	1.6781	220	13.621	$\%80 \times Q_{maks}$	66.40	94.390	-0.695	632.49
400	1.8012	220	14.960	$\%90 \times Q_{maks}$	63.22	94.256	-0.766	677.24
400	1.9270	220	16.344	$\%100 \times Q_{maks}$	59.72	94.106	-0.840	722.87
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%94.27017$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.3793$			

Ek Tablo 6.70. Ölçüm sonuçları (Mod-VI)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.23935	220	1.3929	$\%5 \times Q_{maks}$	138.40	92.457	-0.0368	88.506
400	0.33213	220	2.3823	$\%10 \times Q_{maks}$	123.86	93.239	-0.09	123.89
400	0.53301	220	4.1322	$\%20 \times Q_{maks}$	101.43	94.011	-0.184	200.38
400	0.72879	220	5.7590	$\%30 \times Q_{maks}$	89.35	94.291	-0.272	274.55
400	1.1166	220	8.9837	$\%50 \times Q_{maks}$	77.13	94.469	-0.444	421.69
400	1.5694	220	12.840	$\%75 \times Q_{maks}$	68.29	94.420	-0.652	592.65
400	1.6671	220	13.627	$\%80 \times Q_{maks}$	66.73	94.422	-0.695	629.34
400	1.7883	220	14.970	$\%90 \times Q_{maks}$	63.50	94.290	-0.766	673.54
400	1.9246	220	16.358	$\%100 \times Q_{maks}$	59.85	94.093	-0.840	723.18
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%94.1823$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.33077$			

Ek Tablo 6.71. Ölçüm sonuçları (Mod-VII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.27617	220	1.3897	$\%5 \times Q_{maks}$	130.54	92.517	-0.0369	102.21
400	0.36305	220	2.3566	$\%10 \times Q_{maks}$	120.48	93.148	-0.09	135.22
400	0.55961	220	4.1125	$\%20 \times Q_{maks}$	99.81	93.912	-0.185	210.19
400	0.7521	220	5.7301	$\%30 \times Q_{maks}$	88.48	94.206	-0.272	283.13
400	1.1221	220	8.9596	$\%50 \times Q_{maks}$	76.72	94.240	-0.444	422.65
400	1.5860	220	12.839	$\%75 \times Q_{maks}$	68.10	94.332	-0.652	591.56
400	1.6850	220	13.638	$\%80 \times Q_{maks}$	66.59	94.345	-0.695	634.39
400	1.7930	220	14.962	$\%90 \times Q_{maks}$	63.28	94.175	-0.766	672.73
400	1.9345	220	16.339	$\%100 \times Q_{maks}$	59.68	94.041	-0.840	725.49
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%93.07695$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.21465$			

Ek Tablo 6.72. Ölçüm sonuçları (Mod-VIII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	0.27667	220	1.3895	$\%5 \times Q_{maks}$	131.10	92.252	-0.0369	102.07
400	0.36352	220	2.3564	$\%10 \times Q_{maks}$	120.71	92.935	-0.09	135.08
400	0.56037	220	4.1168	$\%20 \times Q_{maks}$	99.95	93.755	-0.185	210.05
400	0.75490	220	5.7421	$\%30 \times Q_{maks}$	88.50	94.109	-0.272	283.91
400	1.1226	220	8.9597	$\%50 \times Q_{maks}$	76.76	94.179	-0.444	422.54
400	1.5857	220	12.837	$\%75 \times Q_{maks}$	68.10	94.293	-0.652	597.21
400	1.6848	220	13.636	$\%80 \times Q_{maks}$	66.60	94.307	-0.695	634.05
400	1.7907	220	14.956	$\%90 \times Q_{maks}$	63.29	94.168	-0.766	672.19
400	1.9334	220	16.344	$\%100 \times Q_{maks}$	59.67	94.003	-0.840	724.84
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%93.94923$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%94.15126$			

Ek Tablo 6.73. Ölçüm sonuçları (Mod-IX)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.42096	220	1.1145	$\%5 \times Q_{maks}$	31.86	85.488	0.01	-176.96
400	-0.41943	220	1.657	$\%10 \times Q_{maks}$	22.53	90.288	-0.03	-178.02
400	-0.36407	220	2.8407	$\%20 \times Q_{maks}$	15.49	93.123	-0.1	-159.51
400	-0.30479	220	4.1474	$\%30 \times Q_{maks}$	11.35	93.471	-0.171	-140.00
400	-0.10632	220	6.8850	$\%50 \times Q_{maks}$	7.37	93.237	-0.316	-69.472
400	0.24281	220	10.229	$\%75 \times Q_{maks}$	5.12	92.558	-0.495	59.210
400	0.32861	220	10.898	$\%80 \times Q_{maks}$	4.98	92.416	-0.53	91.397
400	0.523	220	12.337	$\%90 \times Q_{maks}$	4.44	92.158	-0.605	164.36
400	0.73443	220	13.730	$\%100 \times Q_{maks}$	4.15	91.891	-0.6775	244.64
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%92.54697$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%92.71425$			

Ek Tablo 6.74. Ölçüm sonuçları (Mod-X)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.50355	220	1.2687	$\%5 \times Q_{maks}$	32.68	53.058	0.01	-210.37
400	-0.4971	220	1.7559	$\%10 \times Q_{maks}$	26.05	88.819	-0.03	-209.24
400	-0.44038	220	2.9107	$\%20 \times Q_{maks}$	16.96	93.591	-0.1	-190.19
400	-0.38332	220	4.2114	$\%30 \times Q_{maks}$	11.87	94.069	-0.171	-171.62
400	-0.20243	220	6.8889	$\%50 \times Q_{maks}$	7.48	93.755	-0.315	-107.89
400	0.15933	220	10.246	$\%75 \times Q_{maks}$	5.23	93.035	-0.495	25.735
400	0.24534	220	10.921	$\%80 \times Q_{maks}$	5.04	92.978	-0.53	57.912
400	0.42833	220	12.352	$\%90 \times Q_{maks}$	4.44	92.683	-0.605	126.42
400	0.63131	220	13.697	$\%100 \times Q_{maks}$	4.18	92.453	-0.675	203.26
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%91.98761$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%93.14034$			

Ek Tablo 6.75. Ölçüm sonuçları (Mod-XI)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.4532	220	1.1670	$\%5 \times Q_{maks}$	31.32	81.750	0.01	-189.98
400	0.45222	220	1.6971	$\%10 \times Q_{maks}$	23.27	89.455	-0.031	135.03
400	-0.42234	220	2.8899	$\%20 \times Q_{maks}$	15.29	93.355	-0.1	211.26
400	-0.33645	220	4.1731	$\%30 \times Q_{maks}$	11.37	93.837	-0.171	286.74
400	-0.1483	220	6.8830	$\%50 \times Q_{maks}$	7.20	93.557	-0.315	-86.175
400	0.19934	220	10.242	$\%75 \times Q_{maks}$	4.90	92.867	-0.494	41.701
400	0.29436	220	10.918	$\%80 \times Q_{maks}$	4.78	92.804	-0.53	77.401
400	0.46487	220	12.329	$\%90 \times Q_{maks}$	4.32	92.549	-0.605	141.20
400	0.68469	220	13.728	$\%100 \times Q_{maks}$	3.95	92.245	-0.6775	224.66
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%92.69601$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%92.98512$			

Ek Tablo 6.76. Ölçüm sonuçları (Mod-XII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.46609	220	1.1803	$\%5 \times Q_{maks}$	30.53	79.412	0.01	-195.28
400	-0.50357	220	1.7383	$\%10 \times Q_{maks}$	21.61	89.946	-0.031	-212.15
400	-0.42052	220	2.8693	$\%20 \times Q_{maks}$	14.01	93.318	-0.1	-182.26
400	-0.34650	220	4.1929	$\%30 \times Q_{maks}$	10.59	93.711	-0.172	-156.98
400	-0.13512	220	6.8761	$\%50 \times Q_{maks}$	6.81	93.262	-0.315	-811.46
400	0.19953	220	10.255	$\%75 \times Q_{maks}$	5.90	92.763	-0.495	41.712
400	0.23106	220	10.905	$\%80 \times Q_{maks}$	5.36	92.623	-0.53	52.593
400	0.48028	220	12.334	$\%90 \times Q_{maks}$	4.11	92.362	-0.605	147.30
400	0.62482	220	13.703	$\%100 \times Q_{maks}$	3.65	91.997	-0.677	200.32
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%92.44672$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%92.85832$			

Ek Tablo 6.77. Ölçüm sonuçları (Mod-XIII)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.47265	220	1.1826	$\%5 \times Q_{maks}$	29.44	80.289	0.01	-197.82
400	-0.45268	220	1.7008	$\%10 \times Q_{maks}$	22.66	89.908	-0.03	-191.42
400	-0.39926	220	2.8638	$\%20 \times Q_{maks}$	14.98	93.396	-0.1	-173.61
400	-0.32501	220	4.2018	$\%30 \times Q_{maks}$	10.57	93.799	-0.172	-148.29
400	-0.15174	220	6.8752	$\%50 \times Q_{maks}$	7.04	93.506	-0.315	-87.798
400	0.18484	220	10.246	$\%75 \times Q_{maks}$	4.77	92.856	-0.495	35.979
400	0.27028	220	10.916	$\%80 \times Q_{maks}$	4.42	92.659	-0.53	67.917
400	0.47603	220	12.333	$\%90 \times Q_{maks}$	4.01	92.473	-0.604	145.65
400	0.67763	220	13.70	$\%100 \times Q_{maks}$	3.96	92.359	-0.675	221.81
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%92.67921$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%92.98989$			

Ek Tablo 6.78. Ölçüm sonuçları (Mod-XIV)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.46355	220	1.1650	$\%5 \times Q_{maks}$	27.71	80.234	0.01	-194.16
400	-0.44599	220	1.6879	$\%10 \times Q_{maks}$	22.17	89.483	-0.03	-188.60
400	-0.4065	220	2.8726	$\%20 \times Q_{maks}$	14.41	93.270	-0.1	-176.53
400	-0.32114	220	4.1879	$\%30 \times Q_{maks}$	10.22	93.893	-0.172	-146.64
400	-0.1539	220	6.8495	$\%50 \times Q_{maks}$	6.91	93.514	-0.314	-88.510
400	0.19433	220	10.258	$\%75 \times Q_{maks}$	4.57	92.947	-0.495	39.680
400	0.27089	220	10.918	$\%80 \times Q_{maks}$	4.26	92.748	-0.53	683.01
400	0.46104	220	12.310	$\%90 \times Q_{maks}$	3.91	92.456	-0.604	139.54
400	0.67825	220	13.679	$\%100 \times Q_{maks}$	3.91	92.321	-0.675	222.22
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%92.64132$					$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%93.02588$			

Ek Tablo 6.79. Ölçüm sonuçları (Mod-XV)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.45285	220	1.1774	$\%5 \times Q_{maks}$	31.09	75.543	0.01	-190.67
400	-0.44183	220	1.6967	$\%10 \times Q_{maks}$	23.01	88.427	-0.031	-187.84
400	-0.41063	220	2.8952	$\%20 \times Q_{maks}$	15.16	92.760	-0.1	-179.09
400	-0.33565	220	4.1989	$\%30 \times Q_{maks}$	11.25	93.429	-0.172	-153.30
400	-0.13995	220	6.8843	$\%50 \times Q_{maks}$	7.18	93.279	-0.315	-83.628
400	0.21293	220	10.257	$\%75 \times Q_{maks}$	4.88	92.636	-0.495	46.357
400	0.30709	220	10.928	$\%80 \times Q_{maks}$	4.83	92.579	-0.53	81.969
400	0.45130	220	12.320	$\%90 \times Q_{maks}$	4.40	92.153	-0.605	135
400	0.68262	220	13.723	$\%100 \times Q_{maks}$	3.94	91.905	-0.677	222.95
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%92.12853$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%92.66748$				

Ek Tablo 6.80. Ölçüm sonuçları (Mod-XVI)

$\mathbf{V_{giriş}}$ $\mathbf{(V_{da,ort})}$	$\mathbf{I_{giriş}}$ $\mathbf{(A_{da,ort})}$	$\mathbf{V_{çıkış}}$ $\mathbf{(V_{rms})}$	$\mathbf{I_{çıkış}}$ $\mathbf{(A_{rms})}$	$\boldsymbol{Q_{çıkış}}$	**THB (%)** $\mathbf{I_{çıkış}}$	**η (%)**	$\boldsymbol{I_{q_{ref}}}$	$\boldsymbol{P_{çıkış}}$ **(W)**
400	-0.44830	220	1.1675	$\%5 \times Q_{maks}$	31.38	74.866	0.01	-189.13
400	-0.44984	220	1.7049	$\%10 \times Q_{maks}$	23.23	87.998	-0.031	-191.41
400	-0.41902	220	2.8916	$\%20 \times Q_{maks}$	15.27	92.865	-0.1	-182.77
400	-0.3301	220	4.197	$\%30 \times Q_{maks}$	11.28	93.556	-0.172	-151.36
400	-0.14355	220	6.8824	$\%50 \times Q_{maks}$	7.15	93.466	-0.315	-85.410
400	0.20361	220	10.257	$\%75 \times Q_{maks}$	4.87	92.867	-0.495	42.272
400	0.29709	220	10.918	$\%80 \times Q_{maks}$	4.78	92.727	-0.53	77.398
400	0.46872	220	12.329	$\%90 \times Q_{maks}$	4.30	92.516	-0.605	14.165
400	0.69218	220	13.723	$\%100 \times Q_{maks}$	3.94	92.223	-0.677	226.62
$\eta_{\text{Avrupa}} = \%92.26219$				$\eta_{\text{Kaliforniya}} = \%92.84841$				

ÖZGEÇMİŞ

Pelin TÜRKMEN, İlk ve orta öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne başladı ve 2019 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

YAYINLARI

1. Türkmen P., ve Özkop E., H6-II Tipi Evirici ve Modülasyon Tekniği, 5th International Congress on Engineering and Technology Management, İstanbul, Türkiye, 24 - 25 Nisan 2021, ss. 62-67.