

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

**BİR FAZLI SİNÜSOİDAL PWM KÖPRÜ İNVERTER
UYGULAMASI**

Kaner YURTBAŞI
(Elektrik Teknik Öğretmeni)
141101220040127

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Yaşar BİRBİR

İSTANBUL 2007

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

BİR FAZLI SİNÜSOİDAL PWM KÖPRÜ İNVERTER UYGULAMASI

Kaner YURTBAŞI'nın BİR FAZLI SİNÜSOİDAL PWM KÖPRÜ İNVERTER UYGULAMASI isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 09.07.2007 tarih ve 2007/16-30 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından ELEKTRİK EĞİTİMİ Anabilim Dalı ELEKTRİK EĞİTİMİ Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : (Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite) Yrd. Doç Dr. Yaşar BİRBİR (M.Ü.)

Üye : (Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite) Yrd. Doç Dr. Reşit ERÇETİN (M.Ü.)

Üye : (Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite) Yrd. Doç Dr. Mustafa ONAT (M.Ü.)

Tezin Savunulduğu Tarih : 17.09.2007

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile Kaner YURTBAŞI'nın ELEKTRİK EĞİTİMİ Anabilim Dalı ELEKTRİK EĞİTİMİ Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde kullanılan elektrik ihtiyacının büyük çoğunluğu AC gerilim ile karşılanmaktadır. Ancak enerji iletiminde standart olarak kullandığımız AC gerilim, günümüz enerji ihtiyaçlarına doğal olarak cevap verememektedir. Bu nedenle, istenilen enerjiyi elde etmek amacı ile birlikte inverterler geliştirilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada sinüsoidal PWM işaretleri 2 teknikte gerçekleştirilmiş ve bu iki uygulama birbiri ile karşılaştırılarak her iki tekniğin birbirine olan üstünlüklerinden bahsedilmiştir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan PIC16F877 mikrokontrolörü vasıtasıyla frekans, skaler kontrol gibi parametreler kontrol edilmiştir.

Bu çalışmada her türlü desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Yaşar BİRBİR' e, çalışmalarımnda bilgilerinden sıkça yararlandığım değerli hocam İsmail DOKURLAR' a, her zaman maddi ve manevi desteklerini sürdürerek bana sabır gösteren aileme teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2007

Kaner YURTBAŞI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	I
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
YENİLİK BEYANI	VIII
SEMBOL LİSTESİ	IX
KISALTMALAR	XI
ŞEKİL LİSTESİ	XII
TABLO LİSTESİ	XV
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ	1
I.1. GİRİŞ	1
I.2. AMAÇ	2
BÖLÜM II. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)	3
II.1. Gerilim kontrollü PWM	5
II.1.1. Taşıyıcı temelli PWM	6
II.1.1.1. Sinüsoidal PWM.....	6
II.1.1.2. Doğal (Natural) örnekleme.....	10
II.1.1.3. Düzenli (Regular) Örnekleme.....	11
II.2. Akım kontrollü PWM	12
II.3. Diğer PWM Metodları	14
II.3.1. Trapezoidal PWM modülasyon metodu.....	14
II.3.2. Merdiven (Staircase) Modülasyon Metodu.....	15
II.3.3. Adım (Stepped) Modülasyon metodu.....	16
II.3.4. Delta modülasyonu Metodu.....	17

BÖLÜM III. TAM KÖPRÜ (FULL BRIDGE) İNVERTERLER....	19
III.1.-Çift yönlü gerilim anahtarlamalı inverter.....	19
III.2.-Faz kaydırmalı çıkış kontrolü.....	21
III.3.- Tek yönlü gerilim anahtarlamalı inverter.....	23
III.4. Ölü zamanın çıkış gerilimine etkisi.....	25
BÖLÜM IV. TEZ ÇALIŞMALARI.....	27
IV.1. Sinüs osilatör kartı.....	28
IV.2.Üçgen dalga osilatör kartı.....	31
IV.3.Akım saturasyon ve kapı karşılaştırma kartı.....	32
IV.4.Kontrol kartı.....	34
IV.5.Mosfet sürücü kartı.....	36
IV.6. Güç devresi kartı.....	37
BÖLÜM V. YAPILAN DENEYLER.....	39
V.1. Yapılan deneyler.....	39
BÖLÜM VI. YAPILAN ÇALIŞMANIN EĞİTİME KATKISI.....	40
BÖLÜM VII. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	45
KAYNAKLAR.....	47
EK-A.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ÖZET

BİR FAZLI SİNÜSOİDAL PWM KÖPRÜ İNVERTER UYGULAMASI

Bu çalışmada uygulaması yapılan tam köprü inverterin uygulama kısmının daha iyi anlaşılması için PWM tekniği ve tam köprü inverterlerin çalışma prensibinden bahsedilmiştir.

Yapılan çalışmada tam köprü inverter iki farklı teknikte yapılmıştır.

1. Tek yönlü gerilim anahtarlama Sinüsoidal PWM
2. Çift yönlü gerilim anahtarlama Sinüsoidal PWM

Bu iki farklı teknik gerçekleştirilirken sinüs kontrol işaretinin elde edilmesi, inverterin mevcut parametrelerinin kontrolü ve inverter ile kullanıcı arayüzü için kullanılan LCD ekran kontrolünün gerçekleştirilmesinde PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Kullanılan mikrodenetleyicinin programlanmasında Pic Basic Pro programlama dili kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda kontrol yazılımı için uygun bir algoritma geliştirilmiş ve denetim için uygun görülmüştür. Geliştirilen algoritma ile; kullanıcının inverteri kontrol edebilmesi için gerekli olan arayüz, skaler kontrol, rampa fonksiyonu, sinüs işaretinin elde edilmesi gibi birçok parametrenin kontrolü sağlanmıştır.

Tezin birinci bölümünde; çalışmanın içeriği hakkında kısaca bilgiler verilerek çalışmanın amacı belirtilmiştir.

İkinci bölümde; Darbe genişlik modülasyonunun tanımı, gerilim kontrollü PWM, akım kontrollü PWM, modülasyon çeşitleri ve uygulama da kullanılan “Adım (Stepped) Modülasyon metodu” ile birlikte kullanılan diğer metotlardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde; tam köprü inverterlerin çalışma prensibi, uygulamada kullanılan tek yönlü ve çift yönlü gerilim anahtarlama inverterin çalışma yapısı, tam köprü inverterlerde kullanılması gereken ölü zamanın çıkış gerilimine etkisinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde; uygulanan sistemin çalışma prensibi ve tasarlanan devrelerden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde; yapılan deneylerde Tek yönlü ve Çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma sırasında inverter çıkışında oluşan dalga şekilleri ile birlikte harmonik ölçümleri yapılmıştır.

Altıncı ve yedinci bölümde; yapılan çalışmanın eğitime katkısı, sonuç ve değerlendirme kısmı ile birlikte uygulanan sistemin geliştirilebilirlik durumları tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

Eylül 2007

Kaner YURTBAŞI

ABSTRACT

MONOPHASE SINUSOIDAL PWM BRIDGE INVERTER APPLICATION

In this study, working principals of PWM techniques and full bridge inverters are being considered to understand better the application part of the full bridge inverter.

In this application, full bridge inverter has been done with two different techniques.

1. Sinusoidal PWM with unipolar voltage switching
2. Sinusoidal PWM with bipolar voltage switching

While these two techniques are being achieved, PIC16F877 microprocessors was used to obtain sinus control signal, to control existing parameters of inverter and to control LCD monitor which is used for user interface. While using these two techniques PIC Basic Pro programming language was used to program the microprocessor.

As a result of practical studies and researches, a convenient algorithm for the control software is developed and approved for the supervision. By using this algorithm, control of many parameters were provided like; interface which is needed to control inverter by user, scalar control and ramp function, obtained from sinusoidal signal .

In the first part of the thesis; aim of the working was determined by giving short explanations about the contents of the work.

In the second part; it is mentioned that the description of pulse width modulation, PWM with voltage control, PWM with current control , variety of modulations, “Stepped Modulation Method” and the other methods which are used in application.

In the third part; it is explained that the working principles of full bridge inverters , working structure of inverter with one unipolar and bipolar switching

which is used in application , the effect of dead time which must be used in full bridge inverter to output voltage.

In the fourth part; it is explained that working principal of the system, designed circuits.

In the fifth part; it is investigated of the harmonics which are formed on the output waveform of the inverter during the unipolar and bipolar switching PWM technique by the experiments.

In the sixth and seventh parts; the usefulness of the work to education with its assessment and consequence part and improvable chance of the working discussed and evaluated.

September 2007

Kaner YURTBAŞI

YENİLİK BEYANI

BİR FAZLI SİNÜSOİDAL PWM KÖPRÜ İNVERTER UYGULAMASI

Yarı iletken anahtarlama elemanlarının da gelişmesi ile birlikte her geçen gün farklı kontrol mekanizmaları geliştirilmektedir. Yapılan çalışmada 2 farklı çalışma tekniği uygulanmaktadır.

1. Tek Yönlü gerilim anahtarlama SPWM

2. Çift Yönlü gerilim anahtarlama SPWM

Uygulaması gerçekleştirilen bu iki kontrol yönteminde; sistem ile kullanıcı arasındaki arayüzün yazılmasında, sinüs işareti ve çıkış geriliminin kontrolünde Pic Basic Pro programlama dili kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda kontrol yazılımı için en uygun algoritma elde edilmiş ve denetim için uygun görülmüştür. Çalışma temel olarak iki ana bölüme ayrılmıştır:

- 1. kısımda inverterin çalışma yapısının anlaşılması için gerekli olan teorik bilgiler yer almaktadır.
- 2. kısımda ise uygulaması gerçekleştirilmiş sistemin denetimi için kullanılacak yöntemler geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur.

Bu çalışma ile sistemin kontrolü için uygulamada önerilen iki farklı metodun birbiri ile karşılaştırılması sayesinde özgün bir çalışma ortaya konulmuştur.

Eylül 2007

Yrd. Doç. Dr. Yaşar BİRBİR

Kaner YURTBAŞI

SEMBOL LİSTESİ

D	: PWM işareti darbe periyot oranı
t_{on}	:PWM işaretinin periyot süresi boyunca anahtarlama elemanının iletim konumunda kalma süresi (sn)
t_{off}	:PWM işaretinin periyot süresi boyunca anahtarlama elemanının kesim konumunda kalma süresi (sn)
T	: Periyot süresi (sn)
M_f	: Taşıyıcı oranı
f_t	: Taşıyıcı işaretinin frekansı (Hz)
f_r	: Referans işaretinin frekansı (Hz)
M	: Modülasyon indeksi
V_r	: Referans işaretinin genliği (V)
V_t	: Taşıyıcı işaretinin genliği (V)
σ	: Üç açılı faktör
V_t	: Taşıyıcı işaretinin genliği (V)
V_{pv}	: Gerilim geri besleme değeri (V)
I_{pv}	: Akım geri besleme değeri (A)
V_B	: Delta modülasyon metodu için kullanılan gerilim geri besleme değeri (V)
V_A	: Delta modülasyon metodunda kontrol işaretine bant değeri kadar ilave edilen gerilim değeri. (V)
ΔV	: Bant genişliği değeri (V)
α_p	: SPWM işaretinin açısal darbe genişliği değeri (Derece)
V_d	: İnverter DC giriş gerilimi (V)
V_{A0}	: İnverterin A kolunun çıkış gerilimi (V)
V_{B0}	: İnverterin B kolunun çıkış gerilimi (V)
V_0	: İnverter çıkış gerilimi

- α :Kesişme miktarı (Derece)
- t_{Δ} :Ölü zaman miktarı (Saniye)
- V_{AN} :A kolundaki SPWM işareti (V)
- V_{BN} :B kolundaki SPWM işareti (V)
- ΔV_{AN} :A kolunda ölü zaman sebebi ile oluşan gerilim kaybı (V)
- ΔV_{BN} : B kolunda ölü zaman sebebi ile oluşan gerilim kaybı (V)

KISALTMALAR

DC	: Direct Current
AC	: Alternating Current
AR-GE	: Arařtırma-Geliřtirme
RMS	: Etkin Değer
GND	: Ground
NPN	: Negative-Positive-Negative
PNP	: Positive-Negative-Positive
PIC	: Programmable Integrated Circuit
PWM	: Pulse Width Modulation
SPWM	: Sinusoidal Pulse Width Modulation
LCD	: Liquid Crystal Display
EN	: Enable

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil II.1 Darbe genişlik modülasyonu (PWM).....	4
Şekil II.2 Gerilim kontrollü PWM blok şeması.....	5
Şekil II.3 Sinüsoidal PWM kontrol blok şeması.....	6
Şekil II.4 Çift yönlü gerilim anahtarlama SPWM.....	8
Şekil II.5 Tek yönlü gerilim anahtarlama SPWM	8
Şekil II.6 Doğal (Natural) örnekleme tekniği.....	10
Şekil II.7 Düzenli (regular) Örnekleme Tekniği.....	12
Şekil II.8 Akım kontrollü PWM kontrol blok şeması.....	13
Şekil II.9 Trapezoidal PWM modülasyonu.....	15
Şekil II.10 Merdiven (Staircase) modülasyonu.....	16
Şekil II.11 Adım (Stepped) Modülasyonu.....	17
Şekil II.12 Delta Modülasyon Tekniği için Geliştirilmiş Bir Kontrol Devresi.....	18
Şekil II.13 Delta Modülasyon PWM Metodu.....	18
Şekil III.1 Bir fazlı tam köprü inverter.....	19
Şekil III.2 (a) Taşıyıcı işaret ile kontrol işaretinin karşılaştırılması (b) Oluşan çift yönlü SPWM dalga şekli.....	20
Şekil III.3 Faz kaydırmalı inverter kollarındaki tetikleme işaretleri ve çıkışta oluşan dalga şekli.....	22
Şekil III.4 (a) Taşıyıcı işaret ile kontrol işareti ile tersi işaretin karşılaştırılması (b) Kontrol işaretinin tersi ile oluşturulmuş SPWM (c) Kontrol işareti oluşturulmuş asıl SPWM (d) İki SPWM işaretinin uygulanması sonucu oluşan tek yönlü SPWM dalga şekli.....	24
Şekil III.5 Ölü zamanın etkisi.....	25
Şekil IV.1 Blok diyagram.....	27
Şekil IV.2 Oluşturulan sinüs işareti.....	28

Şekil IV.3	Sinüs osilatör kartı.....	30
Şekil IV.4	Üçgen dalga osilatör kartı.....	31
Şekil IV.5	Oluşturulan üçgen dalga işareti.....	31
Şekil IV.6	Akım saturasyon-kapı ve karşılaştırma devresi.....	33
Şekil IV.7	Kontrol kartı devresi.....	35
Şekil IV.8	Mosfet sürücü devresi.....	36
Şekil IV.9	Güç devresi kartı.....	38
Şekil A.1	Toplam harmonik bozulma miktarı (akım).....	50
Şekil A.2	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	50
Şekil A.3	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	51
Şekil A.4	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	51
Şekil A.5	Toplam harmonik bozulma miktarı (gerilim).....	52
Şekil A.6	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	52
Şekil A.7	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	53
Şekil A.8	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	53
Şekil A.9	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	54
Şekil A.10	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	54
Şekil A.11	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	55
Şekil A.12	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	55
Şekil A.13	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	56
Şekil A.14	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	56
Şekil A.15	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	57
Şekil A.16	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	57
Şekil A.17	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	58
Şekil A.18	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	58
Şekil A.19	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	59
Şekil A.20	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	59
Şekil A.21	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	60
Şekil A.22	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	60
Şekil A.23	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	61
Şekil A.24	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	61
Şekil A.25	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	62
Şekil A.26	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	62
Şekil A.27	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	63

Şekil A.28	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	63
Şekil A.29	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	64
Şekil A.30	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	64
Şekil A.31	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	65
Şekil A.32	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	65
Şekil A.33	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	66
Şekil A.34	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	66
Şekil A.35	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	67
Şekil A.36	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	67
Şekil A.37	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	68
Şekil A.38	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	68
Şekil A.39	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	69
Şekil A.40	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	69
Şekil A.41	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	70
Şekil A.42	İnverter çıkış gerilimi dalga şekli.....	70
Şekil A.43	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	71
Şekil A.44	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	71
Şekil A.45	İnverter çıkışı dalga şekli.....	72
Şekil A.46	Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım).....	72
Şekil A.47	Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim).....	73
Şekil A.48	İnverter çıkışı dalga şekli.....	73

TABLO LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo III.1. Anahtarlama Durumları.....	21
Tablo V.1. Toplam Harmonik Bozulma Miktarı (Akım ve Gerilim).....	39
Tablo VI.1. Tasarımın kullanılabileceği dersler ve içerikleri.....	41

BÖLÜM I

GİRİŞ ve AMAÇ

I.1. GİRİŞ

Son yıllarda güç elektroniği ve mikroişlemci teknolojisindeki büyük gelişmeler ile birlikte, elektrik motorlarının kontrolünde kullanılan inverterlerde büyük ilerlemeler sağlanmıştır. İnverterlerde kullanılan darbe genişlik modülasyonu (PWM) teknikleri sürücü performansını doğrudan etkilemektedir. Darbe genişlik modülasyonu tekniklerinde en iyi bilinen ve endüstride yaygın bir şekilde kullanılan sinüsoidal darbe genişlik modülasyonudur. Bu darbe genişlik modülasyonu tekniği referans sinüsoidal dalga ile taşıyıcı dalganın karşılaştırılması temeline dayanır. Bu karşılaştırma işleminin mikroşlemcilerde doğal örnekleme olarak gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Bu problem referans sinüsoidal dalganın düzenli olarak örneklenmesiyle ortadan kaldırılabilir. Referans sinüsoidal dalganın her bir anahtarlama periyodunda örneklenmesi durumu “Simetrik Düzenli Örnekleme”, her bir anahtarlama periyodunun yarısında örneklenmesi durumu ise “Asimetrik Düzenli Örnekleme” olarak bilinir.

Tam köprü inverterler yüksek hızda işlem yapan işlemcilerin geliştirilmesi ile birlikte inverterlerin kontrolü dijital olarak gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Ancak uygulamada kullanılan PIC16F877 serisi mikrodenetleyici, sistemin kontrolü için yeteri kadar hızlı olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle devrede kontrolün hızlı olması gereken kısımlarında uygulama analog olarak gerçekleştirilmiştir.

I.2. AMAÇ

Bu çalışmada esas olarak tam köprü inverterin çıkış frekansı ve geriliminin kontrolü amaçlanmıştır. Temel olarak anahtarlama frekansını belirleyen taşıyıcı işaret (üçgen dalga) ile kontrol işaretinin karşılaştırılması sonucunda oluşan Sinüsoidal PWM işaretleri Tam köprü kollarında bulunan A+, A-, B+ ve B- anahtarlarına uygulanır.

Bilindiği gibi skaler kontrol yönteminde inverter çıkışına bağlanan motorun momenti açık çevrim olarak kontrol edilmektedir. Bu kontrolün temel amacı da V/f oranını sabit tutmaktır. Uygulaması gerçekleştirilen çalışmada bu oran $220/50=4,4$ olarak alınmış ve inverterin çıkış gerilimi kontrol edilirken çıkış gerilimi bu katsayıya göre hesaplanır.

BÖLÜM II

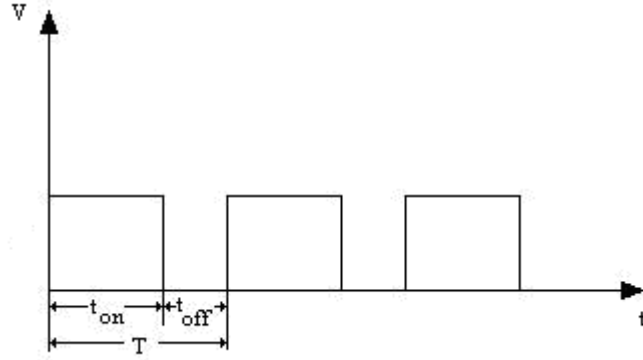
Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

İnverterdeki anahtarlama elemanlarının her dalga için anahtarlama sürelerinin ayarlanmasına, her dalgadaki tetikleme anlarının artırılmasıyla ve azaltılmasıyla oluşan işaretlerin denetlenmesine Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) denir. Bu yöntemin en temel hali DA kılıcılarında kullanılır ve PWM yönteminde giriş gerilimi ve çıkış yükü değişse bile çıkış geriliminin ortalaması istenen değerde tutulabilir.

Mevcut yöntemlerden biri anahtarlama frekansını (PWM 'in periyodunu $T = t_{on} + t_{off}$) sabit tutmak ve anahtarın t_{on} süresini değiştirerek, ortalama çıkış gerilimini istenilen düzeyde ayarlamaktır. Bu yöntem sabit frekans yöntemi olarak tanımlanır. Burada ayarlanan t_{on} süresinin T periyot süresine oranı anahtar çalışmasındaki darbe periyot oranıdır ve duty (D) olarak tanımlanır.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.1)$$

Diğer bir kontrol yöntemi ise değişken frekans yöntemidir. Bu yöntemde DA inverterin frekansı yani periyodu değiştirilir ve bu değişim sırasında t_{on} veya t_{off} sabit tutulabilir. Darbe periyot oranı'nı kontrol eden bu yöntem frekans modülasyon yöntemi olarak anılır. Bu yöntem uygulamada yalnızca tristörlü DA kılıcılarda kullanılır[1].



Şekil II.1. : Darbe genişlik modülasyonu (PWM)

Frekans modülasyonu darbe genişlik modülasyonu ile karşılaştırdığında şu dezavantajlara sahiptir.

- 1- Frekans modülasyonun da çıkış gerilimini kontrol edebilmek için DA kısıyıcı frekansı geniş bir alan içerisinde değiştirilmelidir. Böyle bir geniş frekans değişikliği içinde filtre oluşturmak oldukça zordur.
- 2- Geniş frekans bandında yeterli filtre sağlanamayacağından çeşitli işaretler ile istenmeyen parazitlerin ortaya çıkma ihtimali yüksektir.
- 3- DA kısıyıcının kesimde olduğu t_{off} süresinin uzun tutulması yük akımının sürekliliğini engelleyen bir durum oluşturur. Bu da DA kısıyıcılarında motor akımının kesintili olmasına neden olur. Böyle bir çalışma motorun vurutulu çalışmasına neden olacağından istenmeyen bir durum ortaya çıkar. Bu durumda PWM yöntemi frekans modülasyon yönteminden daha iyidir.

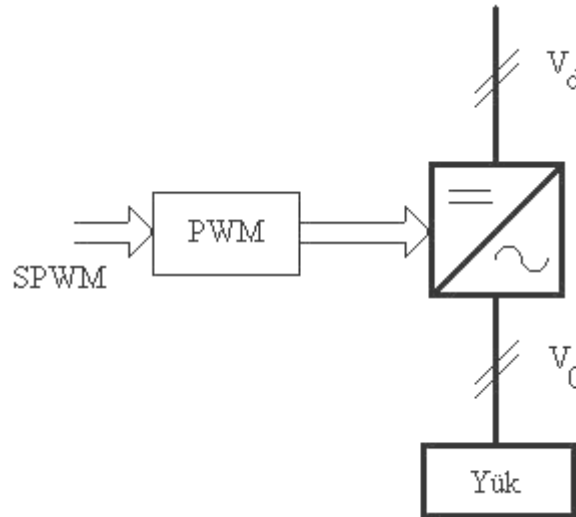
Kare dalga inverterlerde, giriş geriliminin PWM tekniği kullanılmadan ayarlanması ile yapılan uygulamalarda komutasyon güçlükleri meydana gelir. Çünkü komutasyon için gerekli olan söndürme kondansatörlerinin gerilimi, doğrudan inverter girişindeki DC gerilim ile orantılıdır. Doğru akım ara devresinin küçük gerilimlerde dahi tam yük akımını söndürebilmek için komutasyon düzenlerinin oldukça büyük seçilmeleri gerekir. Bu durum ise inverter devrelerine ek maliyetler yükler. Bu sorunları ortadan kaldırmanın bir yöntemi de doğrultucudan sağlanan DC geriliminin PWM yöntemiyle kesilerek çıkışta elde edilen gerilimin temel bileşenlerinin inverter içerisinde kontrol edilmesidir. Diğer bir deyişle inverter girişindeki DC gerilimi değiştirmeksizin, inverter çıkış geriliminin PWM yöntemiyle ayarlanmasıdır.

Ayrıca bir periyot içinde anahtarlama elemanları birçok kez uygun darbe periyot oranı değerlerinde uygulanarak harmonik bastırma işlemlerinde uygulanabilir. Bu yöntemin en olumsuz özelliği doğrultucudan sağlanan doğru gerilimden tam olarak faydalanılamamasıdır. Bu olumsuzluk, faz gerilim dalgasına fazlar arası gerilim üzerinde bozucu etkisi olmayan bir miktar ilave etmekle azaltılabilir. Çünkü 3.harmonikler sistemin 3 fazlı olması nedeniyle fazlar arası gerilimde bastırılmış olacaktır. Bunun sonucu olarak DC kaynak geriliminden daha fazla faydalanma imkânı sağlanır.

PWM kontrolünde iki yaklaşım söz konusudur. Kontrol sistemi, gerilim kontrollü PWM ya da Akım kontrollü PWM kontrol metodlarından oluşur. Literatürde gerilim kontrollü PWM Açık döngü kontrol tekniği, Akım kontrollü PWM ise kapalı döngü kontrol tekniği olarak da adlandırılır. Bu çalışmada her iki teknik birlikte kullanılmıştır.

II.1. GERİLİM KONTROLLÜ PWM

Açık kontrol tekniğinde bir referans giriş gerilimi alınarak sistemin sürekliliği gerçekleştirilir. Bu teknikte alınan giriş referans gerilimi işaretin farklı bir üçgen dalga işareti ile karşılaştırılması sonucu taşıyıcı temelli PWM oluşur.

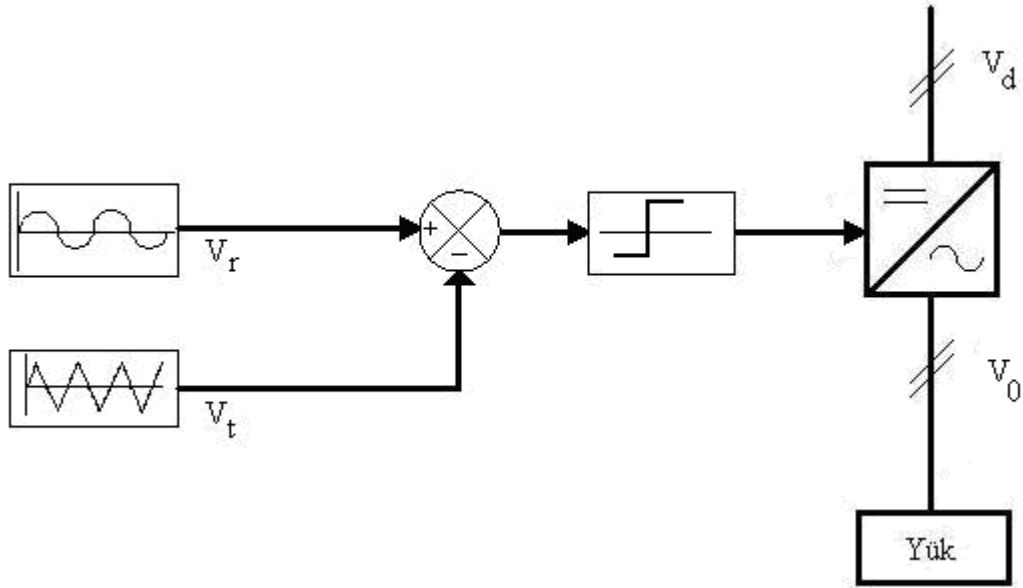


Şekil II.2. : Gerilim kontrollü PWM blok şeması

II.1.1. Taşıyıcı temelli PWM

II.1.1.1. Sinüsoidal PWM

İnverterdeki yarı iletken anahtarlama elemanlarının tetikleme anlarını belirlemek ve eş zamanlamayı sağlayabilmek için sinüsoidal PWM metodu endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla kullanılmaktadır. Şekil II.3 'te kontrol blok şemasında gösterildiği gibi inverter çıkışının gerilimini ve frekansını belirleyecek bir sinüs referans işareti, frekans ve genliği sinüs işaretinden daha büyük bir üçgen dalga işaret ile karşılaştırılır. Bu iki işaretin kesiştiği noktalarda inverter içindeki aynı koldaki anahtarlama elemanları durum değiştirirler.[6], [12].



Şekil II.3. : Sinüsoidal PWM kontrol blok şeması

İnverter çıkış gerilimi ve frekansı değerinin değiştirilmesi için referans işareti (kontrol işareti) genliğinin ve frekansının değiştirilmesi yeterli olacaktır. Taşıyıcı temelli PWM inverter çıkış geriliminin ayarlanmasında etkin olan iki büyüklük vardır. Bunlar modülasyon indeksi (M) ve taşıyıcı oranı (M_f) 'dir ve eşitlikleri;

$$M_f = \frac{f_t}{f_r} \quad (2.2)$$

$$M = \frac{V_r}{V_t} \quad (2.3)$$

Burada;

M_f : Taşıyıcı oranı

f_t : Taşıyıcı işaretin frekansı

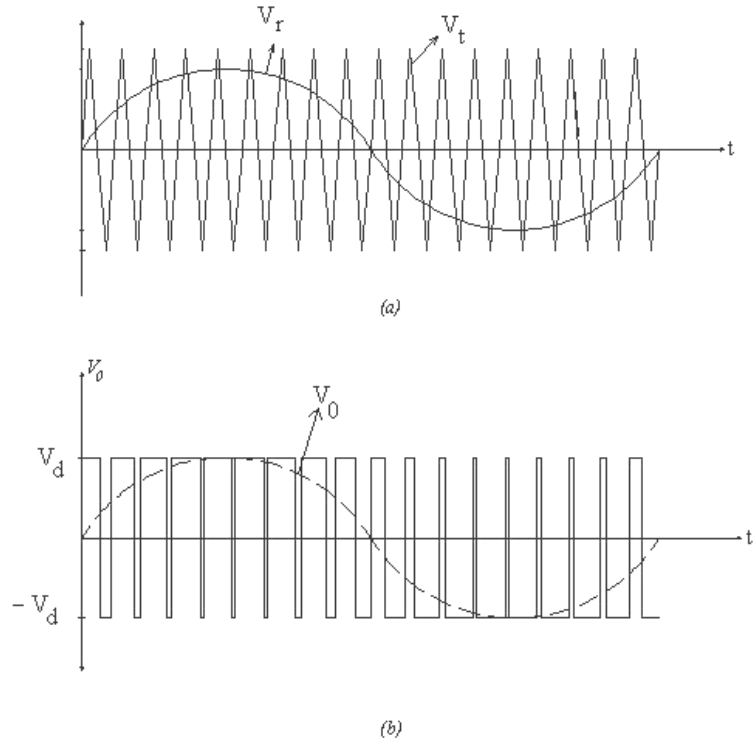
f_r : Referans işaretin frekansı

M : Modülasyon indeksi

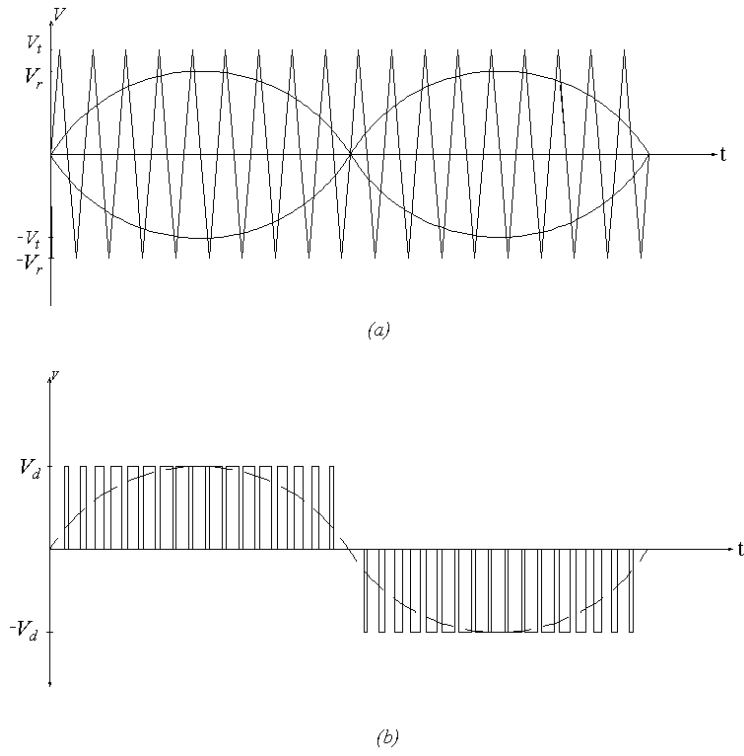
V_r : Referans işaretin genliği

V_t : Taşıyıcı işaretin genliği

Bir peryoddaki tepelerin sayısı taşıyıcı işaretin frekansının referans işaretin frekansına oranı olan M_f taşıyıcı oranı ile belirlenmektedir. Şekil II.4 'de gösterilen çift yönlü gerilim anahtarlama SPWM ve Şekil II.5 'te gösterilen tek yönlü gerilim anahtarlama SPWM'in modülasyon indeksi M yaklaşık 0.8 , f_r referans işaretin frekansı 50 Hz ve M_f taşıyıcı oranının 18 olması durumunda, oluşan SPWM'in (Sinüsoidal PWM) değişimi gösterilmiştir. Burada genliği değişken sinüsoidal referans işareti, daha yüksek frekanslı üçgen dalga taşıyıcı işaretin karşılaştırılması yapılarak oluşan kesişme noktaları ile anahtarlama elemanlarının anahtarlama süreleri belirlenmektedir. Sinüs dalgasının genliğinin yükseltip azaltılmasıyla, çıkışta elde edilen PWM işaretinin darbe genişliklerinin değişmesi, temel bileşenin genliğinde değişme sağlar.



Şekil II.4: Çift yönlü gerilim anahtarlama SPWM



Şekil II.5: Tek yönlü gerilim anahtarlama SPWM

Üçgen dalga işaretin frekansı periyot başına yarı iletkenlerin anahtarlama sayısını belirlemektedir ve inverterin çıkış frekansı referans dalgasının frekansına eşit olmaktadır. M_f 'nin büyük olması sağlandığında çıkışta süzülmesi kolay yüksek frekanslı gerilim harmonikleri oluşur ancak bunun yanında yüksek frekansa bağlı olarak anahtarlama kayıpları artar. Ancak diğer bir sakınca anahtarlama frekansının 6 kHz – 20 khz arasındaki değerlerinde ortaya çıkar. Bu çalışma aralığı insan kulağının sesleri işittiği frekans aralığı olmasından dolayı bu aralıkta anahtarlama tercih edilmez.

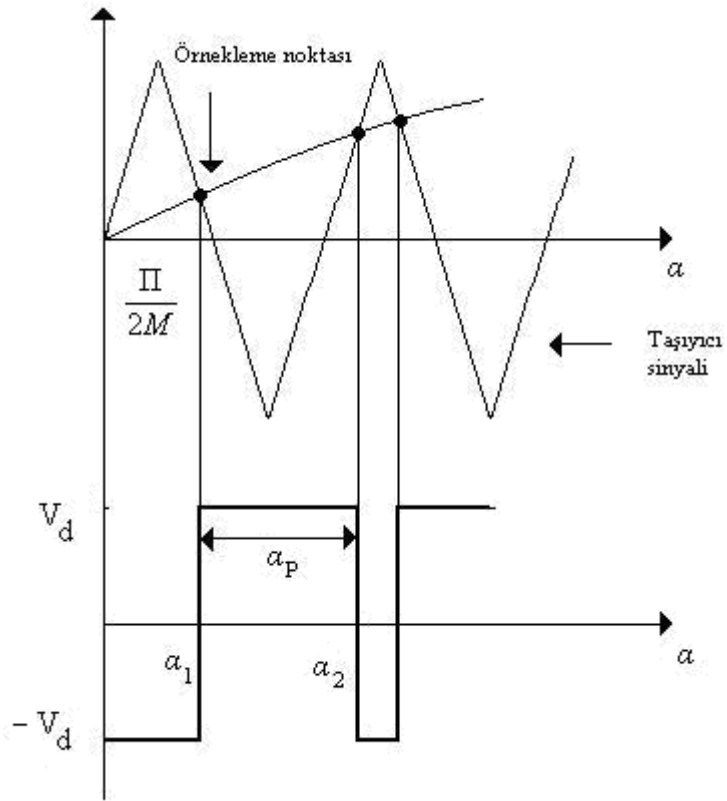
Sinüsoidal PWM modülasyonu ile elde edilen çıkış gerilimi ile kare dalga gerilime nazaran asenkron motor gibi bir yükte harmoniklerin neden olduğu ısınma ve moment salınımlarından bir ölçüde sakınılabilmektedir. Taşıyıcı oranının yüksek tutulması halinde çıkış geriliminde yüksek mertebeden harmonikler oluşur. Çıkış akımı sinüse yakın olduğunda düşük hızlarda motor milinde moment salınımı oluşmaz düzgün bir dönüş sağlanır. Taşıyıcı oranının küçük tutulması halinde motorun momentinde ve hızında salınımlar oluşur. Düşük hızlarda bir asenkron motorda düzgün bir çalışma sağlanabilmesi için taşıyıcı oranının en az 9 veya üstünde bir değer olması gerekmektedir. Ancak inverterlerde toplam harmonik distorsiyonunu azaltmak için bir yarı periyottaki anahtarlama sayısı, kullanılan yarı iletkenlere bağlı olarak, geçmişte sınırlı tutulmak zorundaydı. Çünkü makine kayıplarını azaltmakla sağlanan verim inverterde oluşan komutasyon kayıpları nedeniyle düşmekteydi ve yarı iletkenlerin kesime gitme zamanları sınırlıydı. Fakat son yıllarda geliştirilen anahtarlama kayıpları düşük ve hızları yüksek güç yarı iletken anahtarlama elemanları sayesinde ortaya çıkan problemler büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

PWM anahtarlama stratejileri için iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birincisi ve hem sayısal hem de analog sistemlerin uygulanmasında geniş şekilde kullanılan doğal örnekleme (natural sampling) tekniğidir. Sayısal veya mikroişlemcili uygulamalarda kullanılan ve pek çok avantajlara sahip olan teknik ise düzenli örnekleme (regular sampling) tekniğidir.

II.1.1.2. Doğal (Natural) örnekleme

Doğal örnekleme tekniği çoğu analog PWM inverter kontrol uygulamalarında kullanılır. Analog elektronik malzemeler çok hızlıdır ve bu yüzden inverter anahtarlama frekansları 10 Khz veya daha fazla seviyede kolayca elde edilebilir.

Burada, taşıyıcı üçgen dalga işaret referans işaret olan sinüsoidal işaret ile karşılaştırılır ve iki işaretin kesiştiği örnekleme noktalarında anahtarlama elemanlarının durumları ve darbe genişlikleri belirlenir. Herhangi iki nokta arasında oluşan darbe genişliği Şekil II.6 'da gösterilmiştir.



Şekil II.6. Doğal (Natural) örnekleme tekniği

Herhangi iki nokta arasında oluşan darbe periyot oranı darbe genişliği değeri;

$$\alpha_p = \frac{\pi}{M_f} \left[1 + \frac{M}{2} (\sin \alpha_2 + \sin \alpha_1) \right] \quad (2.4)$$

Eşitliğinden bulunur.

II.1.1.3. Düzenli (Regular) Örnekleme

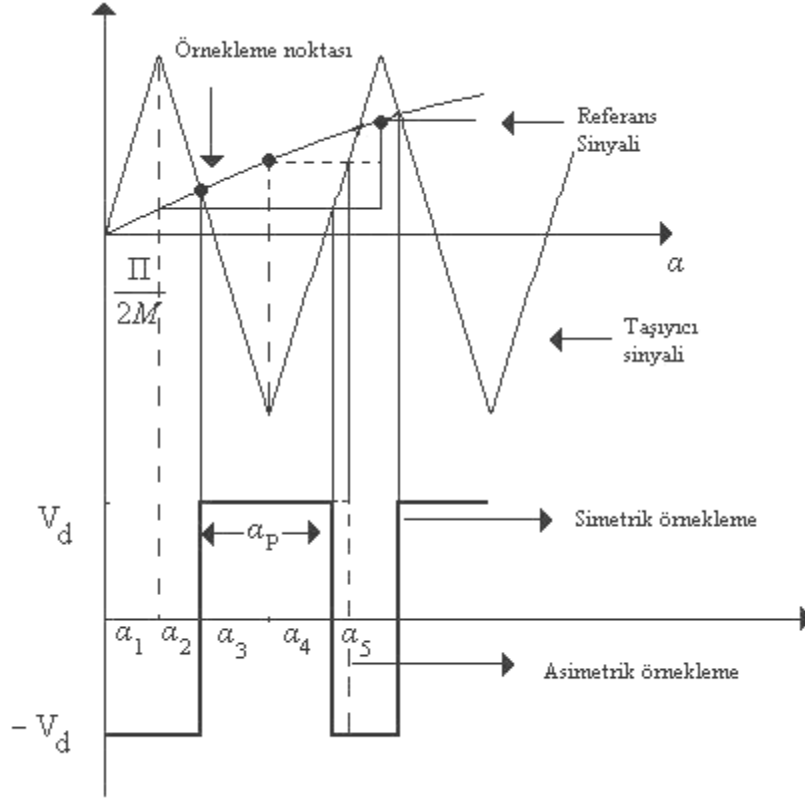
Düzenli örneklenmiş PWM inverter kontrol tekniği sayısal veya mikroişlemci uygulamalarında kullanıldığı zaman bazı avantajlara sahiptir. Şekil II.7 'de de görüldüğü gibi sinüsoidal işarete, taşıyıcı işaretin her periyodunda bir adım yaptırılır ve şekildeki gibi merdiven şeklinde bir işaret elde edilir. Daha sonra elde edilen bu işaret ile tekrar üçgen dalga işaret karşılaştırılarak anahtarlama elemanları için darbe genişlikleri belirlenir. Darbe genişlikleri üçgen dalga işaretin her bir kenarı için elde edilmiş olan merdiven şeklinde işareti kestiği noktalara göre simetrik düzenli örnekleme ve asimetrik düzenli örnekleme diye ikiye ayrılır. Bu durumda darbe genişliği simetrik düzenli örnekleme için;

$$\alpha_p = \frac{\pi}{M_f} [1 + M \cdot \sin \alpha_1] , \alpha_1 = \frac{\pi}{2 \cdot M_f} \quad (2.5)$$

Asimetrik düzenli örnekleme için ise ;

$$\alpha_p = \frac{\pi}{M_f} \left[1 + \frac{M}{2} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_3) \right] , \alpha_3 = \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot M_f} \quad (2.6)$$

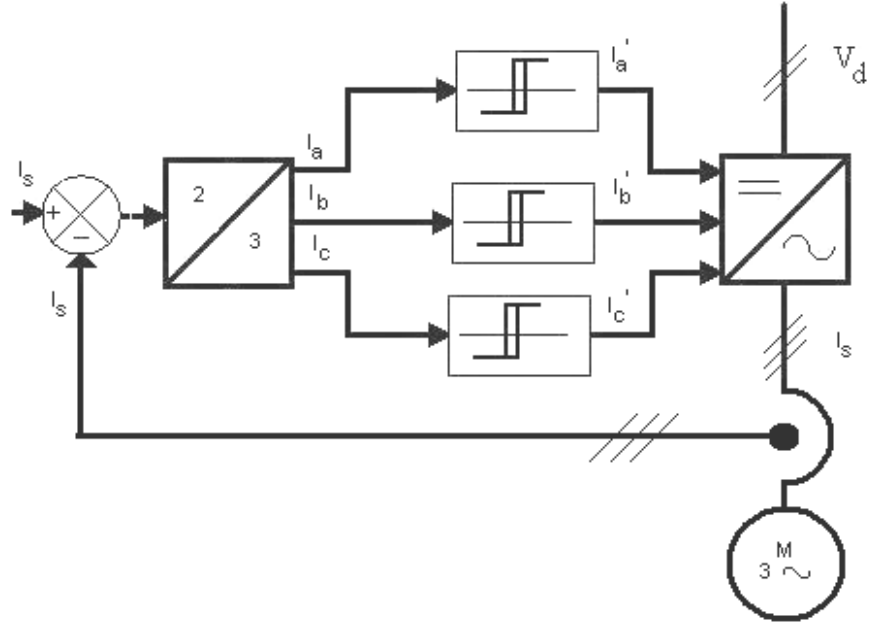
Olur. Asimetrik düzenli örnekleme tekniği, simetrik düzenli örnekleme tekniğine göre daha karmaşık olduğu için çoğunlukla simetrik düzenli örnekleme tekniği kullanılır.



Şekil II.7. Düzenli (regular) Örnekleme Tekniği

II.2. AKIM KONTROLLÜ PWM

Akım kontrollü PWM inverterler yüksek performanslı AC sürücülerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu kontrol metodu aynı zamanda kapalı döngü PWM kontrol tekniği diye de adlandırılır. Şekil II.8. 'de gerçekleştirilen kontrol, stator vektör akımı için yada stator akı vektörü için bir geri döngü kontrol yapılarak gerçekleştirilir. Akım kontrollü PWM inverteri, geleneksel gerilim kaynaklı PWM invertere kontrol çıkış akımı sağlamak amacıyla akım-düzenleme (ayarlama) döngülerinin eklenmesi ile oluşturulur. Bu kontrol tekniği lineer olmayan yükler için yeterince hızlıdır.



Şekil II.8. Akım kontrollü PWM kontrol blok şeması

Akım kontrolü değişik formlarda olabilir. Genellikle sinüsoidal bir referans akım dalga şekli üretilir ve bu dalga motorun gerçek ölçülen akımı ile birlikte karşılaştırıcıyı besler. Eğer motorun faz akımı, referans akım değerinden daha pozitif ise üst kısımdaki elemanlar kesime, alt kısımdaki elemanlar ilettime geçerek motorun akımının azalması sonucunu doğurur. Karşılaştırıcı ölü bant (histerisiz) genişliği vardır. Bu bant inverterin anahtarlama başlamadan önceki izin verilen referans akım ile gerçek akımı arasındaki farkı belirler. Böylece gerçek akım, referans akımı, faz gecikmesi ve önemli hata büyüklüğü olmadan izler. Üç fazlı sistemlerde, genellikle her faz için ayrı akım kontrolü vardır. İnverter bacağındaki anahtarlamamın başarısı için anahtarlar arasında gecikme oluşturan standart harici bir devreye ihtiyaç vardır. [2]

II.3. DİĞER PWM METODLARI

II.3.1. Trapezoidal PWM modülasyon metodu

Bu modülasyon metodunda giriş işaretleri Şekil II.9 'de görüldüğü gibi üç açılı trapezoidal dalga şeklindeki giriş işaretleri bir taşıyıcı işaret ile karşılaştırılması sonucu anahtarlama elemanlarını iletim ve kesim anları belirlenir. Trapezoidal işaretin uç değeri $V_r(\max)$, değeri olan $+ V_r(\max)$ aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$V_r = \sigma \cdot V_r(\max) \quad (2.7)$$

σ sembolü üç açılı faktör olarak adlandırılır ve işaret $\sigma \pm 1$ olduğu durumda üçgen dalga elde edilir. Bu durumda modülasyon indeksi;

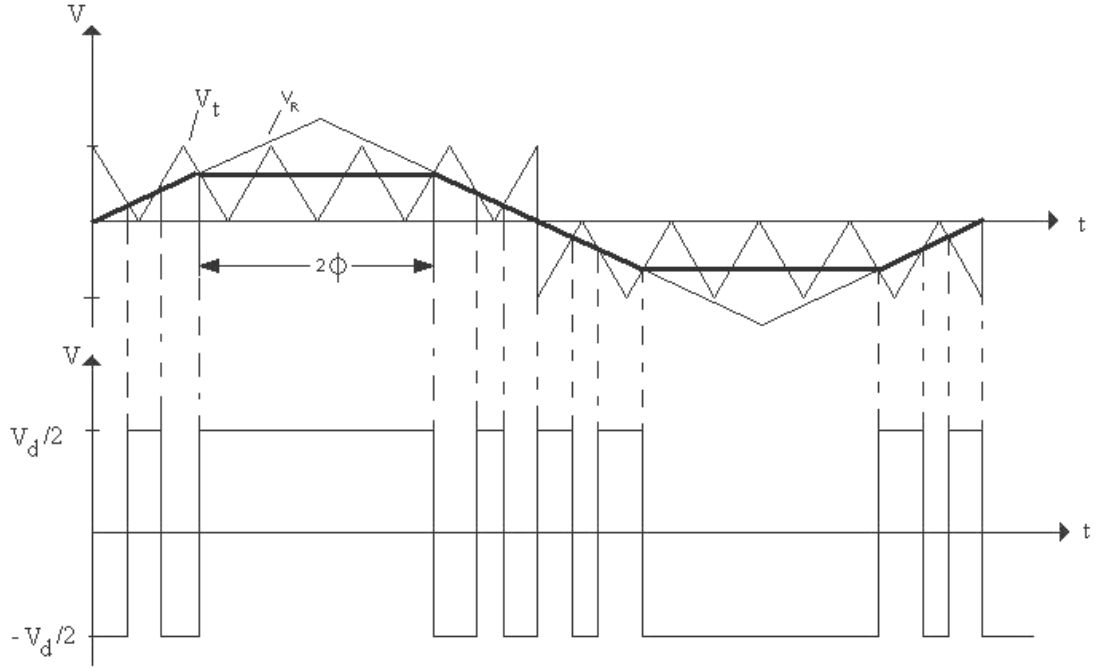
$$M = \frac{V_r}{V_t} = \frac{\sigma \cdot V_r(\max)}{V_t} \quad 0 \leq M \leq 1 \quad (2.8)$$

Bu trapezoidal işaretin düz parçasının açısal ifadesi;

$$2\phi = (1 - \sigma) \cdot \pi \quad (2.9)$$

olur.

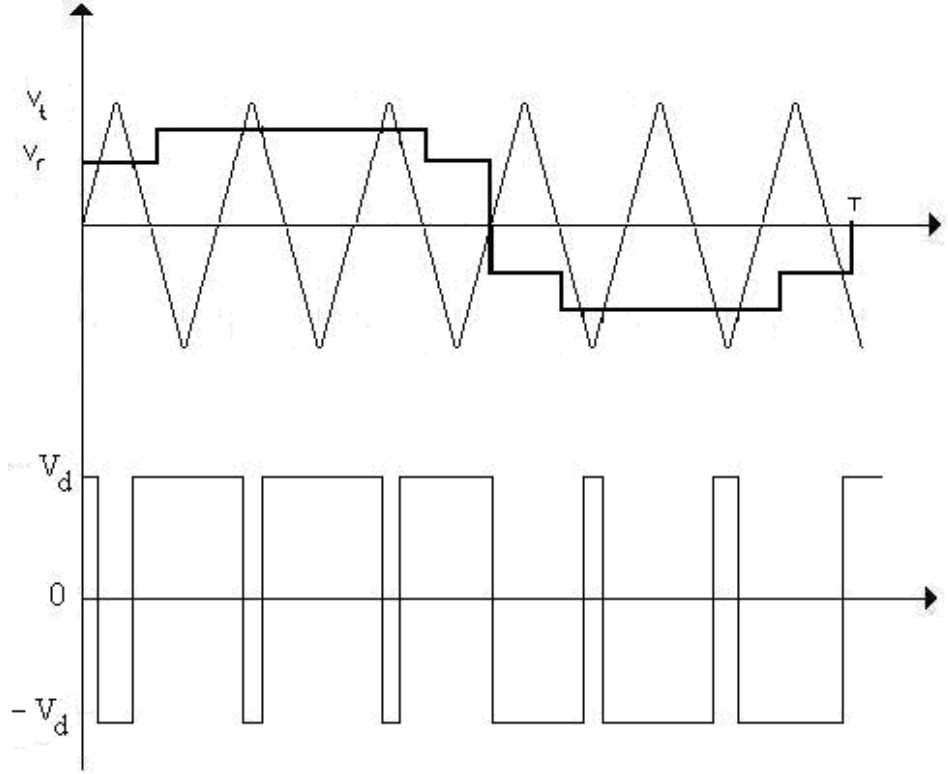
V_t 'nin sabit değeri için inverterin çıkış gerilimi M (modülasyon indeksi), trapezoidal işaretin (σ) üçgen faktörü değiştirilerek, farklı bir durum elde edilebilir. Bu modülasyon metodunda inverter çıkış RMS gerilimi $1,05 V_d$ 'ye kadar yükseltilebilir, fakat çıkış gerilimi düşük değerlerdeki harmonikleri içerir.



Şekil II.9. Trapezoidal PWM modülasyonu

II.3.2. Merdiven (Staircase) Modülasyon Metodu

Bu modülasyon metodunda referans işaretleri Şekil II.10.' da gösterildiği gibi bir merdiven dalgası şeklindedir. Burada referans işaretin düz kısımları harmonikleri yok etmek için hesap edilerek çıkartılmıştır. Temel çıkış RMS gerilimi ve daha kararlı daha az harmonik içeren çıkış gerilimi için periyot içerisinde en iyi darbe miktarı 15 olup bu PWM metodu ile çıkış gerilimi RMS değeri $0,94V_d$ 'ye ulaşıldığında yüksek kalitede çıkış gerilimi sağlanır.



Şekil II.10. Merdiven (Staircase) modülasyonu

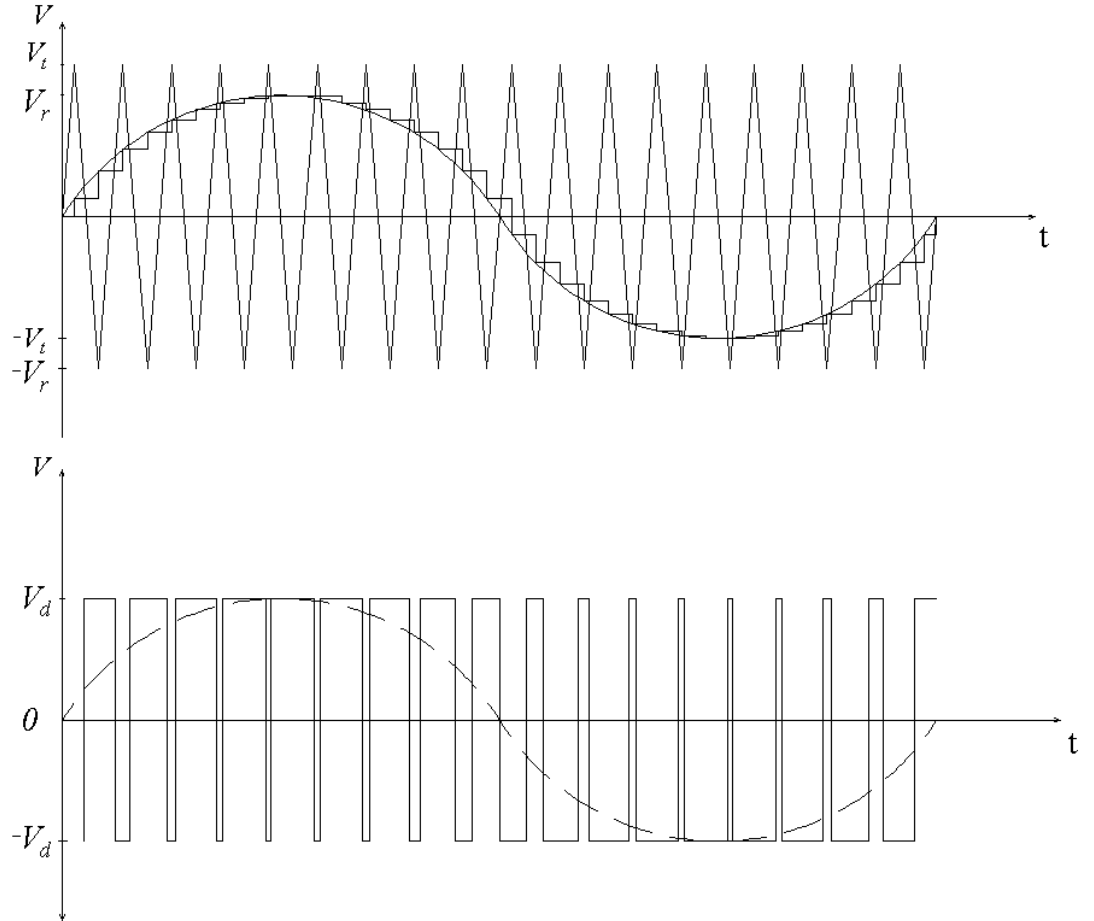
II.3.3. Adım (Stepped) Modülasyon metodu

Bu metoda referans işareti Şekil II.11. 'de gösterildiği gibi bir adım dalgası şeklindedir ve bu adım dalgası yaklaşık olarak sinüs dalgasına benzer. Yalnız sinüs işareti belirlenmiş aralıklarla bölünerek elde edilir. Bir sinüs işareti elde etmek için önce adım sayısı belirlenir ve ona göre belirlenen açı değerinde kontrol işareti adım adım arttırılır. Örneğin 50 Hz bir sinüs gerilimini 18 adım da elde etmek için periyot birimi;

$$T = \frac{1000}{50} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ saniyedir.} \quad (2.10)$$

$$\text{açısal artış} = \frac{360}{18} = 20^\circ \text{ olur.} \quad (2.11)$$

Kontrol işaretinin genlik değerinin hesaplanması için ise her adım da kontrol işaretinin tepe değeri ile o adımdaki açı değerinin kosinüsü çarpılarak o adımdaki kontrol işaretinin genliği hesaplanır. Bu metotla çıkış gerilimi Merdiven (Staircase) Modülasyon Metoduna nazaran düşük bozulmaya sahiptir.[12]

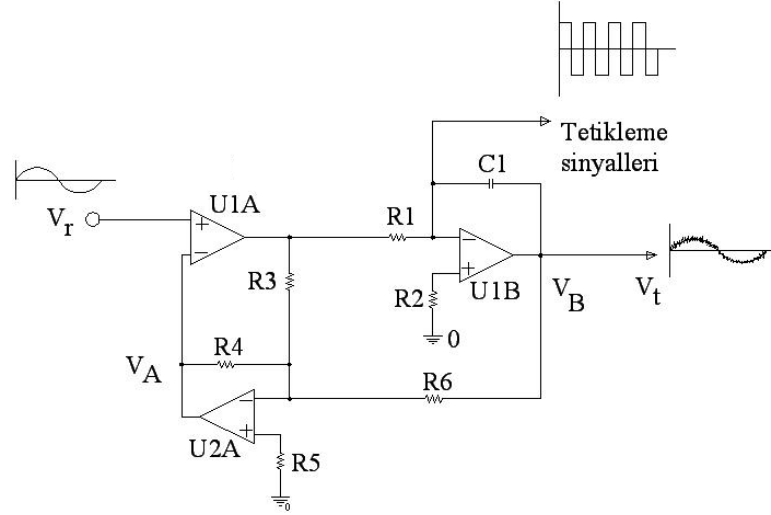


Şekil II.11. Adım (Stepped) Modülasyonu

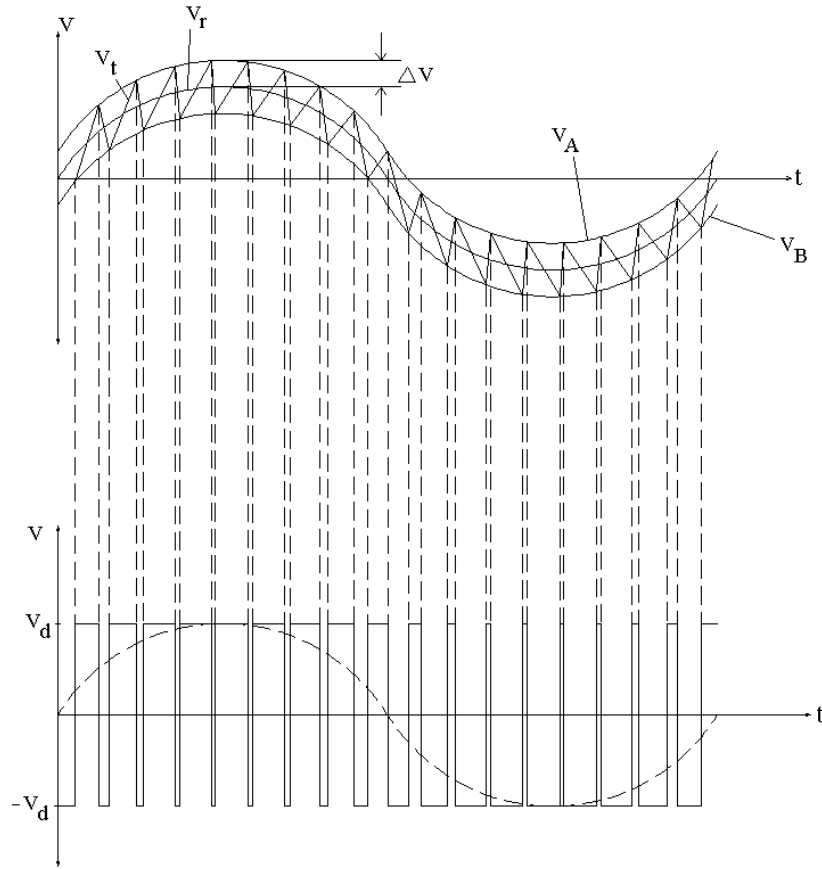
II.3.4. Delta modülasyonu Metodu

Bu modülasyon tekniği, bir V_r sinüsoidal referans işareti Şekil II.12. 'deki devre tasarımı ile geri besleme V_B gerilimi ile V_r ve V_A karşılaştırılması yapılarak Şekil II.13.' teki gösterimdeki PWM işaretleri elde edilir ve $2\Delta V$ kadar bir band genişliği içerisinde kontrol devresinin çıkış V_t gerilimi referans işaret karşılaştırılarak anahtarlama elemanlarının iletim ve kesim anları belirlenir. Bu metot aynı zamanda histerisiz band modülasyonu diye de adlandırılır. Bu modülasyonda

temel çıkış gerilimi $1 V_d$ 'ye kadar olabilir ve V_r , f_r 'ye bağlıdır. Bu yüzden delta modülasyonu inverter çıkış gerilimini temel çıkış frekansı ile kontrol edebildiği için AC motor kontrolünde çoğunlukla kullanılmaktadır.[9]



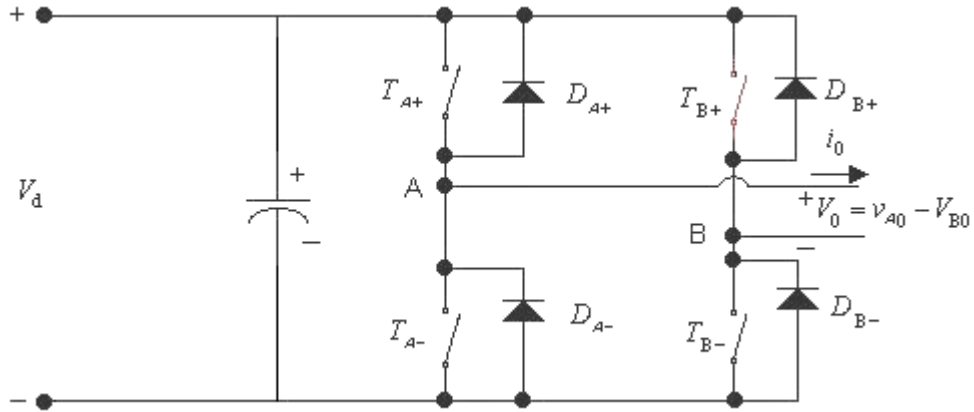
Şekil II.12. Delta Modülasyon Tekniği için Geliştirilmiş Bir Kontrol Devresi



Şekil II.13. Delta Modülasyon PWM Metodu

BÖLÜM III

TAM KÖPRÜ (FULL BRIDGE) İNVERTERLER



Şekil III.1. Bir fazlı tam köprü inverter

III.1. ÇİFT YÖNLÜ GERİLİM ANAHTARLAMALI İNVERTER

Bu teknikte iki koldaki yarı iletken anahtarlar çapraz olarak (1. grup T_{A+} ve T_{B-} ikinci grup ise T_{A-} ve T_{B+} olarak gruplandırılır.) sıra ile tetiklenirler. Çıkış gerilimi İnverterin 1. ve 2. koldaki çıkış gerilimleri birbirlerinin negatifi oldukları ve anahtarlama zamanlarında köprünün DC değerinin pozitif ve negatif değerlerini sıra ile takip ettikleri için çift yönlü gerilim anahtarlama PWM inverter adını alır. [2]

1. gruptaki anahtarlama elemanları tetiklendiğinde çıkış gerilimi $V_{A0} = +V_d$ 'ye eşit olurken, 2. gruptaki elemanlar tetiklendiğinde çıkış gerilimi $V_{B0} = -V_d$ 'ye eşit olmaktadır.[20], [21], [22]

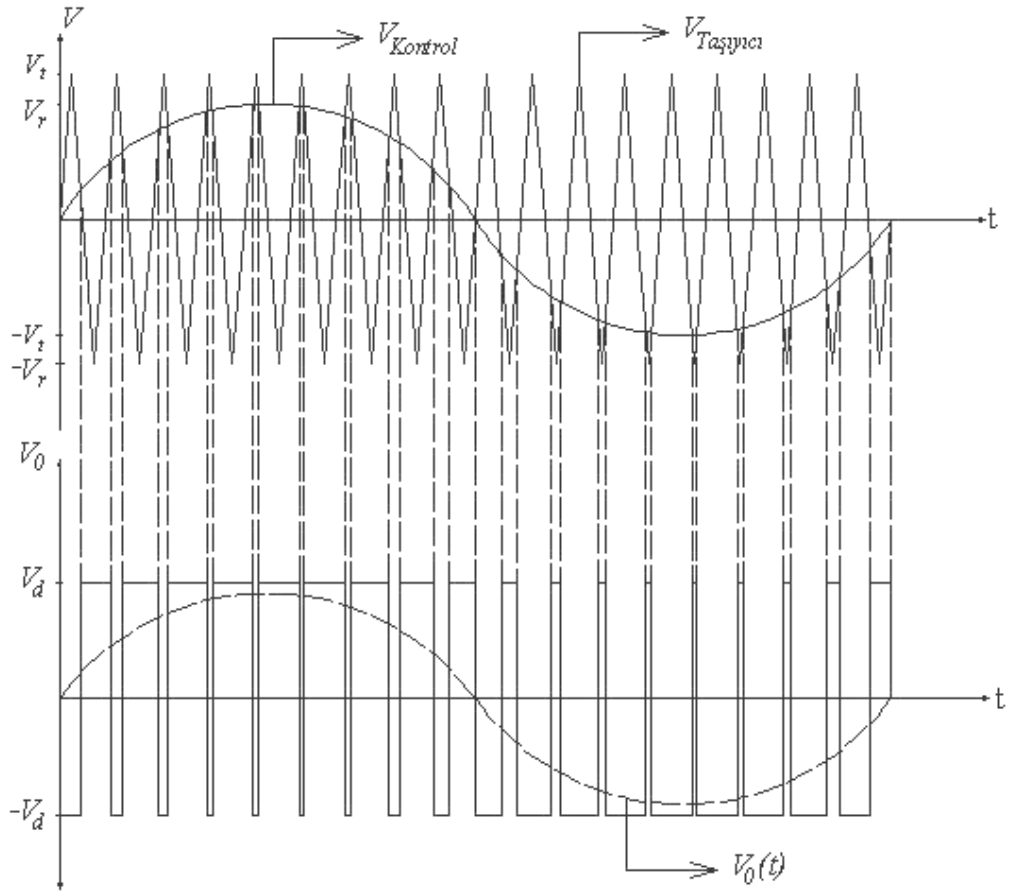
Burada;

$$v_{Bo}(t) = -v_{Ao}(t) \quad (3.1)$$

Ayrıca inverter çıkış geriliminin ortalama değeri;

$$v_o(t) = v_{Ao}(t) - v_{Bo}(t) = 2v_{Ao}(t) \quad (3.2)$$

olur.



Şekil III.2. Taşıyıcı işaret ile kontrol işaretinin karşılaştırılması ile elde edilen çift yönlü SPWM dalga şekli

Buradaki $v_o(t)$ değeri ortalama değerdir ve pratikte bu değerın çıkışta görülebilmesi için inverter çıkışının filtrelenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde çıkışa

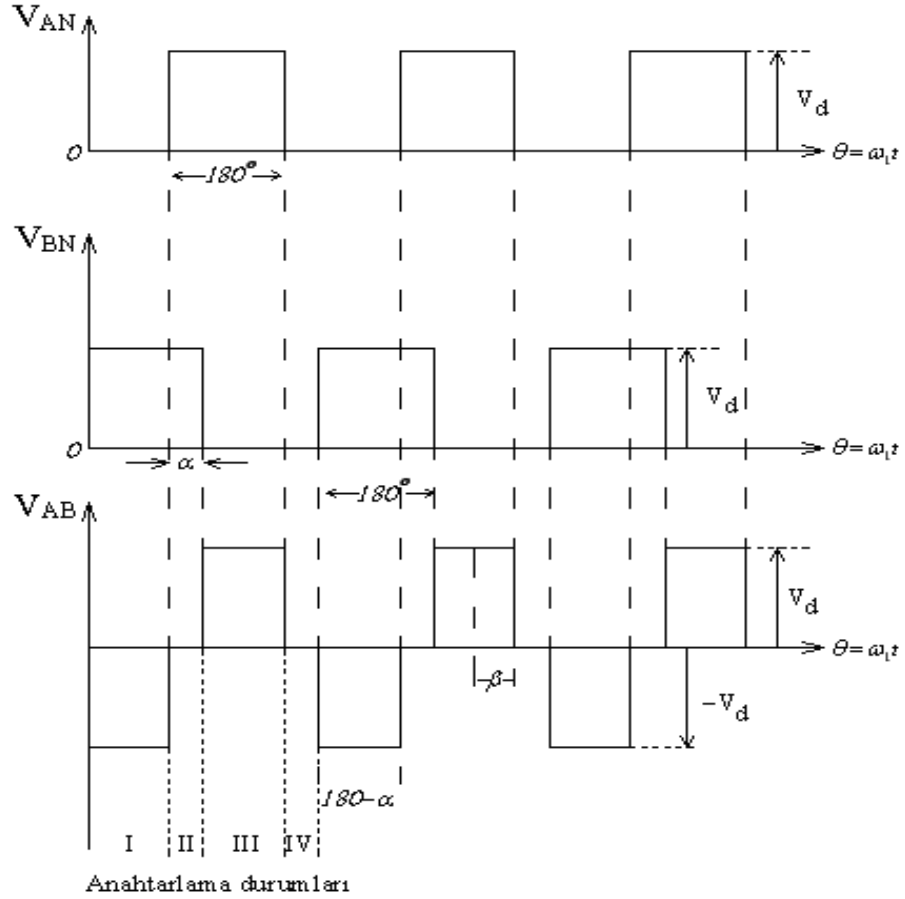
bağlanan omik bir yükte çıkış geriliminin 0 V olması istendiğinde yük, anahtarlama frekansında kare dalga ile enerjilendirilmiş olunur. Bu da inverterin ilk başlama zamanında zarar görmesine sebep olacaktır. Bu sebeple inverter çıkışının filtrelenmesi zorunludur.[14], [19]

III.2. FAZ KAYDIRMALI ÇIKIŞ KONTROLÜ

Burada kullanılan teknikte kontrol işaretinin kare dalga kontrol işaretine ($180-\alpha$) faz açısı kadar ileride veya geride bir işaret daha oluşturulur. Buradaki α açısı üst üste binme açısı olarak adlandırılır ve bu açı 0 ila 180° arasında değiştirilerek çıkış gerilimi kontrol edilir. α açısı 0 olduğunda her iki işaretde birbirinin aynısı olacağı için anahtarlama durumları 1. ve 3. arasında değişir. [6]

Durum	S1	S2	V _o
I	OFF	ON	-V _d
II	ON	ON	0
III	ON	OFF	V _d
IV	OFF	OFF	0

Tablo III.1: Anahtarlama Durumları



Şekil III.3. Faz kaydırmalı inverter kollarındaki tetikleme işaretleri ve çıkışta oluşan dalga şekli

Faz kaydırmalı çalışmada darbe periyot oranı değeri kare dalga çalışmada olduğu gibi %50 'ye ayarlanır. Bunun sonucu olarak Şekil III.3 'teki dalga şekilleri elde edilir.

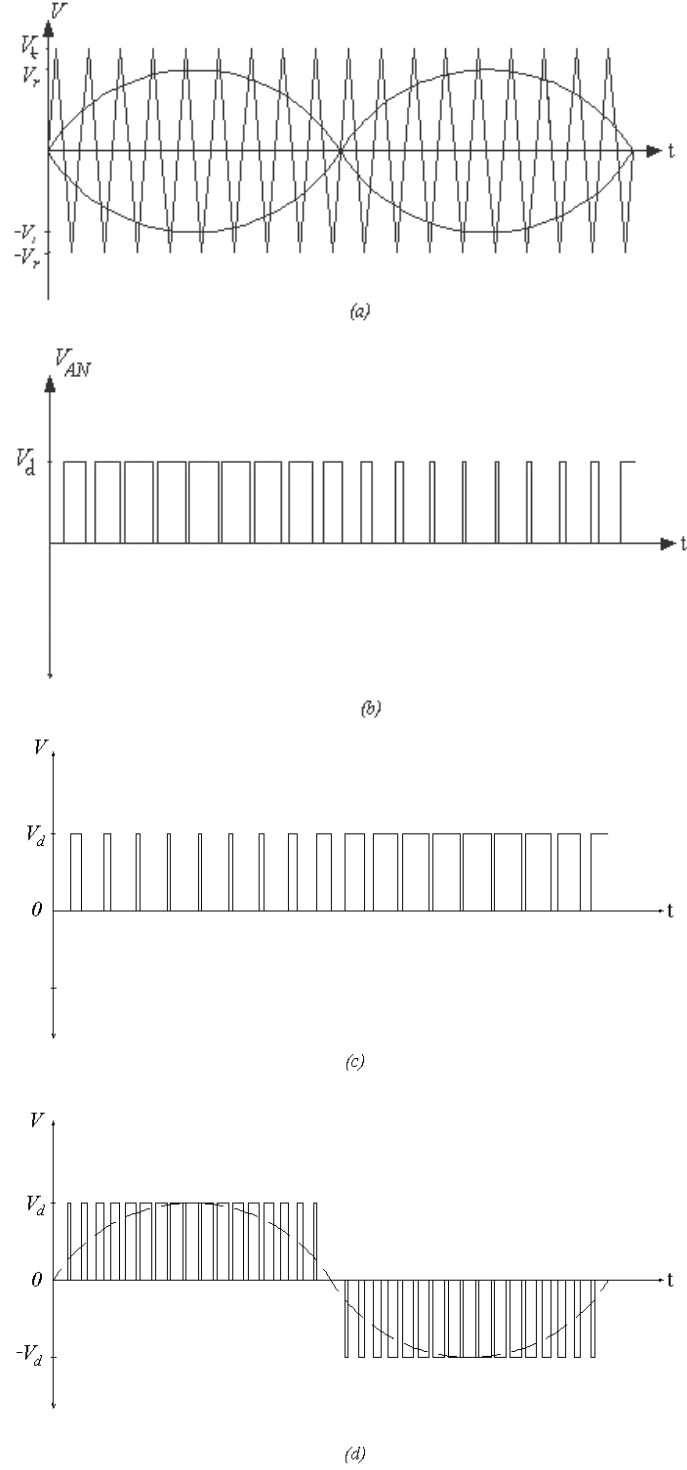
Çıkış geriliminin h. harmonik değerini elde etmek için;

$$\begin{aligned}
 \beta &= 90^\circ - \frac{1}{2}\alpha \\
 (V_o)_h &= \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} v_0 \cos(h\theta) d\theta \\
 &= \frac{2}{\pi} \int_{-\beta}^{\beta} v_0 \cos(h\theta) d\theta \\
 (V_o)_h &= \frac{4}{\pi h} V_d \sin(h\beta)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Olur.

III.3. TEK YÖNLÜ GERİLİM ANAHTARLAMALI İNVERTER

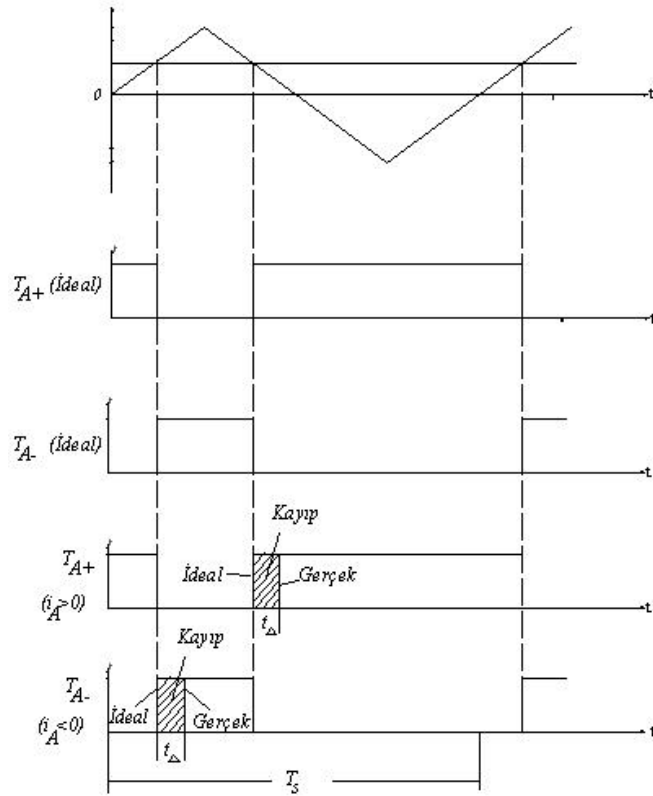
Tek yönlü gerilim anahtarlama inverters çıkış geriliminin elde edilme mantığı faz kaydırmalı çıkış kontrolü ile aynıdır. Kontrol işaretleri arasında 180° faz farkı bulunan iki SPWM işaretinden bir tanesi A kolunda diğeri ise B kolunda birbirinden bağımsız olarak anahtarlamlırlar. Bu iki işaretin 4 farklı anahtarlama durumu olup, bu durumlar Tablo III.1 'de gösterilmiştir. Bu teknikte faz kaydırmalı inverterden farklı olarak kontrol işaretlerinin darbe periyot oranı değerleri bir periyot boyunca değişmektedir. Şekil III.4. (d) ' de görüldüğü gibi çıkış gerilimi + ve - polariteler arasında değişmediği için harmonik bozulmalarının daha az görüldüğü bir çıkış gerilimi üretilir. Harmonik bozulmanın az olmasının diğers bir sebebi de anahtarlama frekansının çift yönlü gerilim anahtarlama invertere göre iki kat daha fazla olmasıdır. Daha yüksek olan anahtarlama frekansı sayesinde düşük mertebeden harmonikler daha etkin bir şekilde bastırılmış olur. [25], [14]



Şekil III.4.: (a) Taşıyıcı işaret ile kontrol işareti ile tersi işaretin karşılaştırılması (b) Kontrol işaretinin tersi ile oluşturulmuş SPWM (c) Kontrol işareti oluşturulmuş asıl SPWM (d) İki SPWM işaretinin uygulanması sonucu oluşan tek yönlü SPWM dalga şekli

III.4. ÖLÜ ZAMANIN ÇIKIŞ GERİLİMİNE ETKİSİ

Bilindiği gibi yarı iletken elmanlar iletme geçtiği ve kesime götürüldüğü zamanlarda belirli yükselme ve düşme zamanı değerine sahiptirler. Mosfetlerin bu karakteristiklerinden dolayı köprü çalıştırmada kolun + tarafındaki anahtar ile - taraftaki anahtar arasındaki geçişlerde mosfet 'in kapı ucunda kontrol işareti uygulanmadığı zaman da bile bu süre zarfında geçici bir süre iletimde kalırlar. Bu sebepten dolayı kolun bir ucundan diğer ucuna geçişte her iki tetikleme elemanı t_{Δ} süresi kadar bir zaman aralığında enerjisiz bırakılır. Bu süre ölü zaman olarak adlandırılır. Şekilde üçgen dalga (taşıyıcı işaret) ile karşılaştırılan kontrol işaretinin karşılaştırılması sonucu oluşan PWM işareti ile kolun diğer ucunda bulunması gereken lojik olarak değil karşılığı olan negatif işareti arasında oluşturulan t_{Δ} süresinin çıkış gerilimine etkisi görülmektedir. [10]



Şekil III.5.: Ölü zamanın (t_{Δ}) etkisi

V_{AN} 'nin ölü zamansız, ideal dalga şekli ile ölü zamanlı gerçek dalga şekli karşılaştırıldığında, ideal ve gerçek çıkış gerilimi arasındaki fark;

$$v_e = (v_{AN})_{ideal} - (v_{AN})_{gerçek} \quad (3.4)$$

Olur. Kollarda oluşan gerilim kaybının ise;

$$\Delta V_{AN} = \begin{cases} +\frac{t_{\Delta}}{T_s} V_d & i_A > 0 \\ -\frac{t_{\Delta}}{T_s} V_d & i_A < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\Delta V_{BN} = \begin{cases} +\frac{t_{\Delta}}{T_s} V_d & i_A > 0 \\ -\frac{t_{\Delta}}{T_s} V_d & i_A < 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

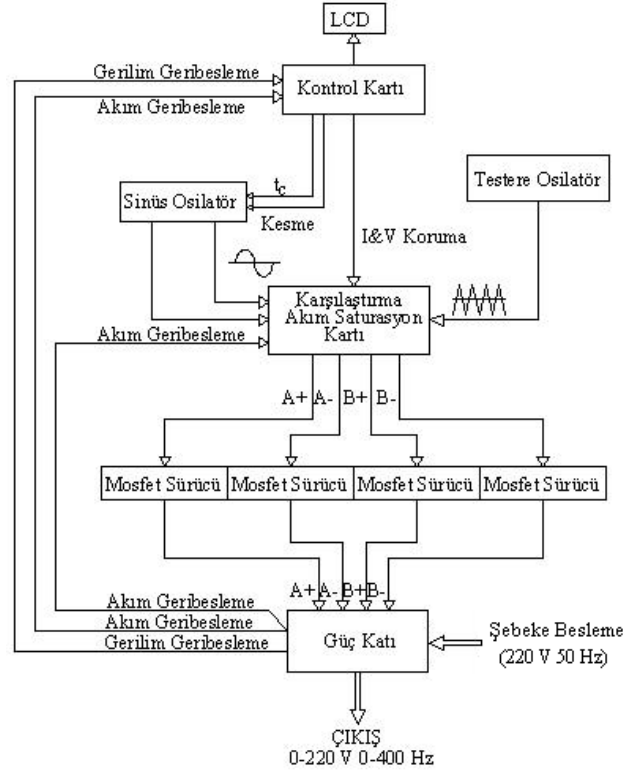
Olduğu görülmektedir. $V_0 = V_{AN} - V_{BN}$ ve $i_0 = i_A$ olduğundan gerilim farkının anlık ortalama değeri ideal dalganın T_s süresi boyunca ortalama değeri ile asıl dalganınkinin farkıdır.

$$\Delta V_0 = \begin{cases} \Delta V_{AN} - \Delta V_{BN} = +\frac{2t_{\Delta}}{T_s} V_d & i_0 > 0 \\ -\frac{2t_{\Delta}}{T_s} V_d & i_0 < 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

BÖLÜM IV

TEZ ÇALIŞMALARI

Bu bölümde uygulanan sistemin çalışma prensibi, Tek yönlü ve Çift yönlü gerilim anahtarlama çalışması sırasında inverterin çıkışında oluşan harmoniklerin karşılaştırılmasından bahsedilecektir. Sistem, montaj kolaylığı, inceleme ve devrelerin tekrardan revize edilebilir veya devrelerin farklı bir biçimde çalıştırılabilir olması açısından kartlar halinde tasarlanmıştır. Kartlar aynı zamanda Şekil IV.1 deki blokları da temsil etmektedir.



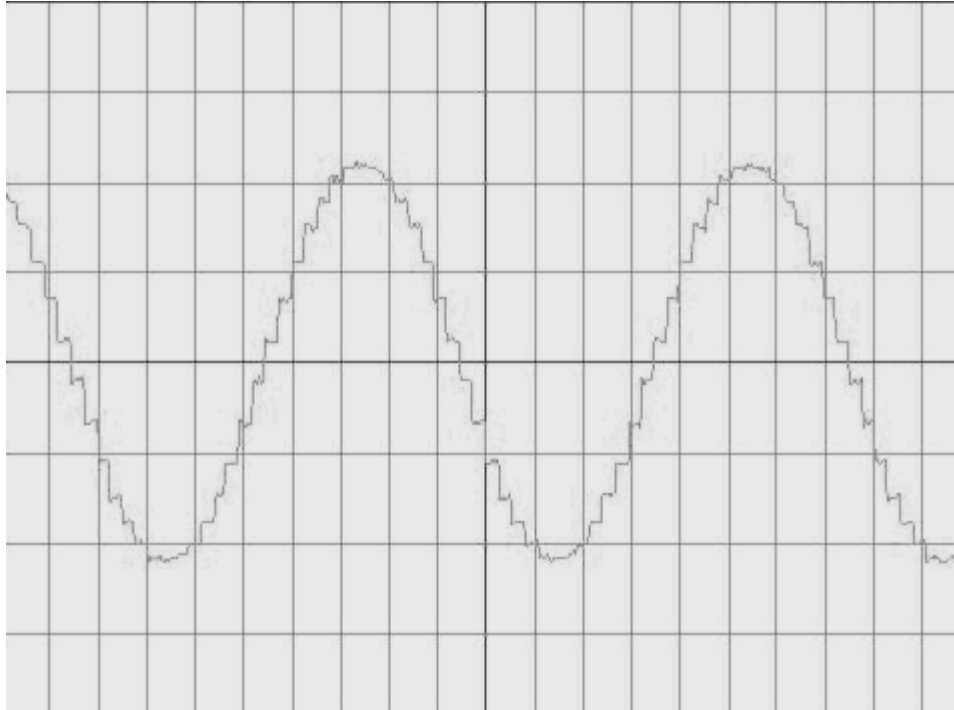
Şekil IV.1.: Blok diyagram

IV.1. SINÜS OSİLATÖR KARTI

Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi SPWM oluşturulduğunda Taşıyıcı (üçgen dalga) işaret ile kontrol (Sinüs) işareti arasında belirli olan bir taşıyıcı oranı vardır. Bu oran uygulamada sinüs işaretinin maksimum çıkış frekansı olan 400 Hz ' de 12 ye kadar düşürülmüştür.

$$M_f = \frac{f_t}{f_{r,max}} = \frac{4800}{400} = 12 \quad (4.1)$$

Oluşturulan kontrol işareti frekansının istenilen değerde ayarlanması istenildiği için işaret mikrodenetleyici yardımıyla oluşturulmuş ve yöntem olarak da “Adım (Stepped) Modülasyon metodu” kullanılmıştır. Sinüs işaretinin adım sayısı 30 olarak belirlenmiştir. Kontrol işaretinin çıkış değeri mikrodenetleyiciden dijital olarak çıkar ve MC1408 DAC entegresi ile analog hale getirilir.[5],[4]



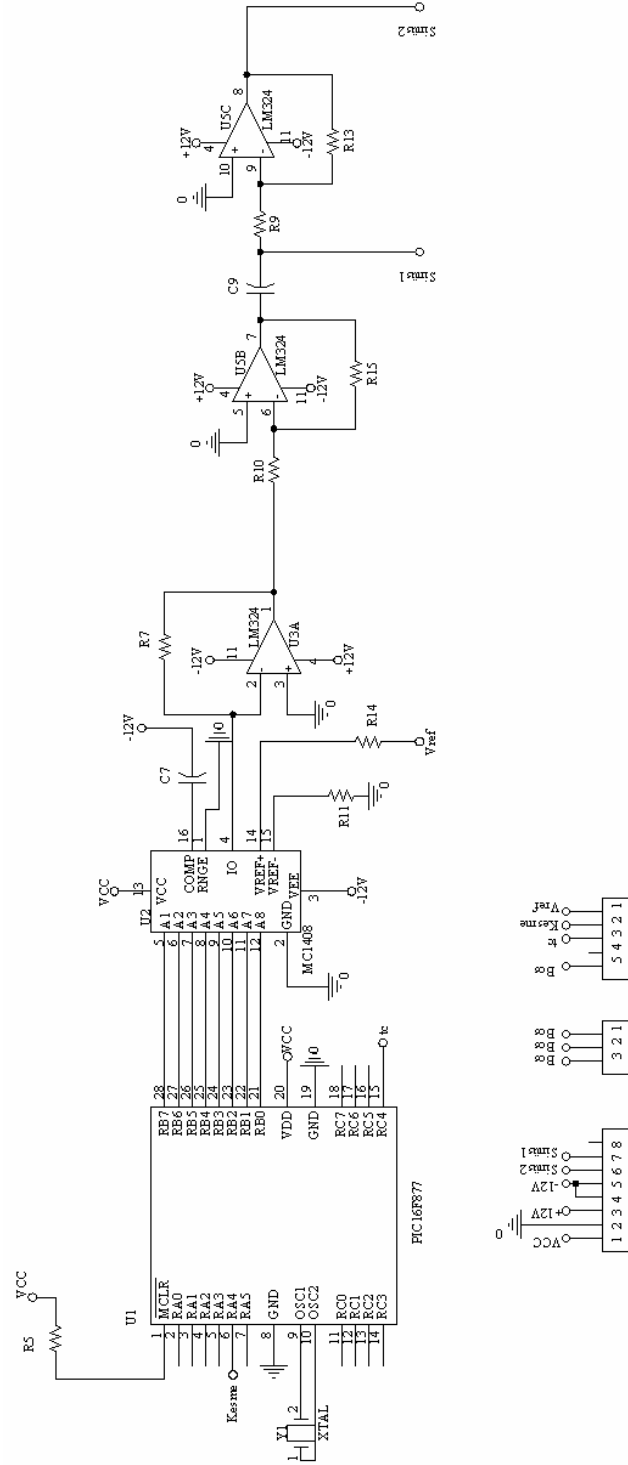
Şekil IV.2. : Oluşturulan sinüs işareti

Tek yönlü gerilim anahtarlama SPWM tekniğinde birbirinden 180° faz farklı iki işaret kullanıldığı için çıkış gerilimi evrilir ve iki farklı işaret elde edilir.

Bu kart da sadece sinüs üretilmektedir. Frekansın ve gerilimin kontrolü kontrol kartı tarafından gerçekleştirilir. Sinüs oluşturulurken PIC'e kesme yaptırılarak

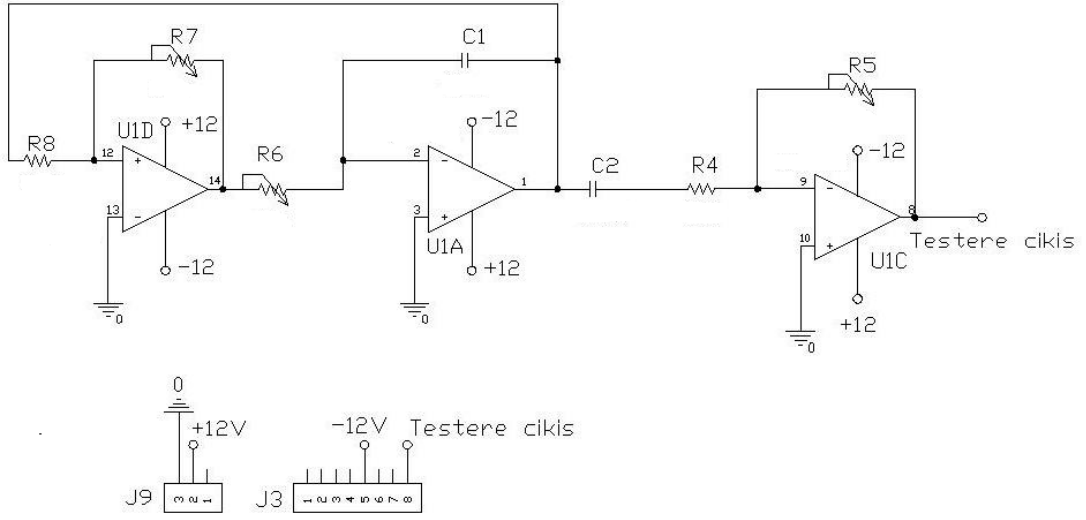
istenilen sinüs değerinin o adımdaki sayısal değeri bulunur ve PIC'in B portuna çıkış olarak iletilir.

Elde edilen dijital değerdeki sinüs gerilimi DAC ile analog işarete donüştürölür. Sistemde, sinüs işaretinin genliği de bu entegre vasıtasıyla gerçekleştirilir. 14 numaralı pin vasıtası ile çıkış işaretinin maksimum tepe noktası ayarlanabildiği için sinüsün, dolayısıyla inverter çıkışının gerilim ayarı bu pin üzerinden gerçekleştirilir. Tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM inverter de gerekli olan 180° faz farklı diğer sinüs işareti, komparatör vasıtası ile elde edilerek bu iki işaret akım saturasyon ve kapı karşılaştırma kartına iletilir.



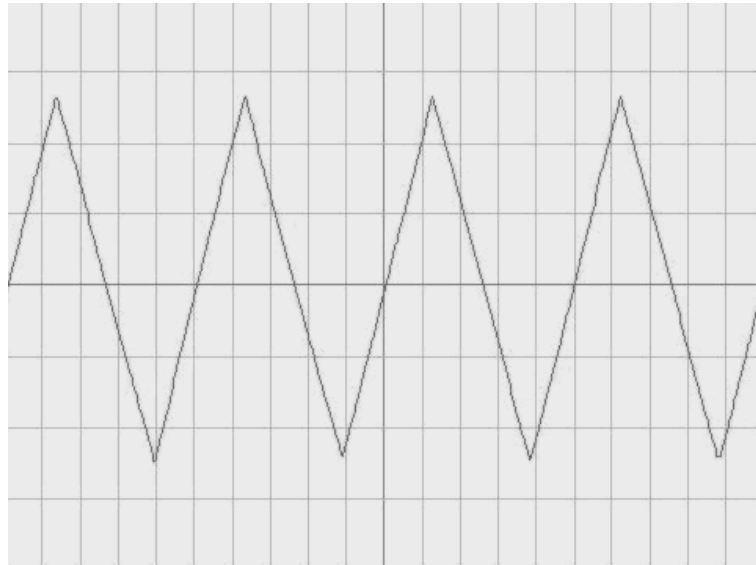
Şekil IV.3.: Sinüs osilatör kartı

IV.2. ÜÇGEN OSİLATÖR KARTI



Şekil IV.4.: Üçgen dalga osilatör kartı

Devrede U1D schmitt tetikleyici, U1A'da integral alıcı olarak çalışmaktadır. U1D çıkışında kare dalga elde edilir. İntegral alıcı olarak çalışan U1A girişine uygulanan kare dalga işaretleri, üçgen dalga işarete çevrilir. Devredeki R6 ayarlı direnç ile çıkış işaretinin frekansı ayarlanır. İşaretin genliğini değiştirmek için ise U1C opampının kazancı ayarlanarak üçgen dalga işaretinin tepe gerilimi istenilen değere getirilir.



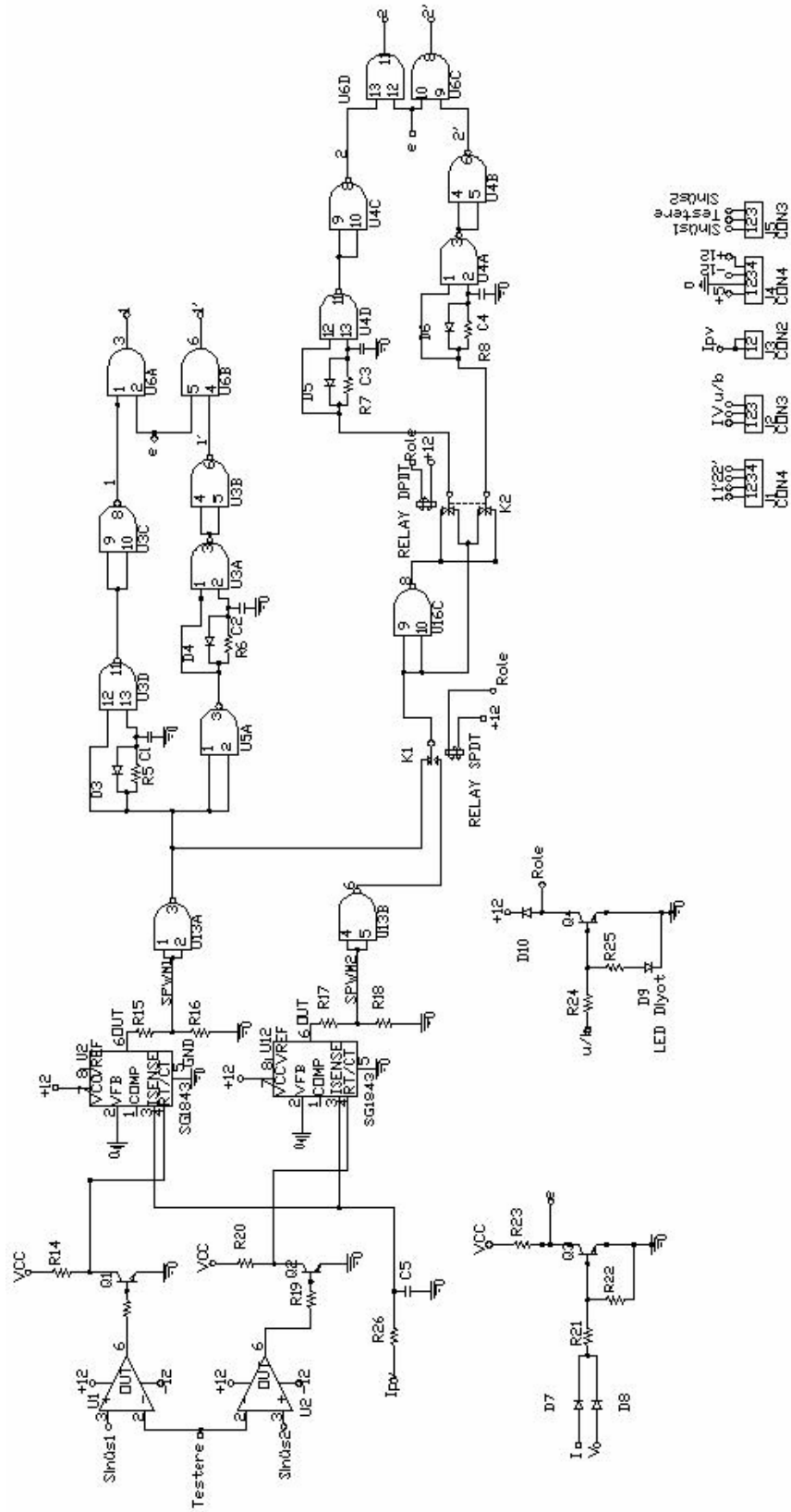
Şekil IV.5.: Oluşturulan üçgen dalga işareti

IV.3. AKIM SATURASYON VE KAPI KARŞILAŞTIRMA KARTI

Şekil IV.6 da sinüs osilatör kartından gelen sinüs1 kontrol işareti SPWM’i oluşturan asıl kontrol işareti olarak baz alınır ve tek yönlü SPWM anahtarlama 180° faz farklı sinüs2 işareti de devreye alınarak gerekli anahtarlama sağlanır. Sinüs1, sinüs2 ve üçgen dalganın karşılaştırılması sonucunda oluşan SPWM1 ve SPWM2 işaretleri SG3843 (akım modlu PWM kontrolör) kontrolörüne iletilir. Kontrolörün görevi aşırı akım olduğu sürece devreyi kapatmaktır. Devrede de görüldüğü gibi I_{pv} (proses variable) akım geri besleme bilgisi karta gelir.

SG3843 kontrolöründe akım sınırlaması eşik değeri 3 nolu pinde olup bu değer 1 V dur. Bu gerilim değeri üretici tarafından belirlenmiş bir değer olup, kontrolörün bu özelliğinden dolayı sınırlandırılması istenen akım değeri bu değere göre kalibre edilerek istenilen sınırlandırma gerçekleştirilir. Bu kartta akım kontrolü “puls to puls akım kontrolü” ile gerçekleştirilmiştir. puls to puls akım kontrolünde sistemin belli bir eşik akımına çıkılmasına izin verilir. Eşik akımının üzerine çıkan kontrolör belli bir süre kesime gider ve bu süre sonunda tekrar ilettime geçer. Kontrolör, belirlenen sınır değere kadar SPWM işaretine herhangi müdahalede bulunmaz.

SG3843 kontrolöründen sonra SPWM işaretinde (U3D-U4D entegreleriyle) ölü zaman oluşturulur. Uygulama da bu süre $2 \mu sn$ olarak alınmıştır. Bu arada tek yönlü ya da çift yönlü SPWM anahtarlama seçeneği röle kontakları vasıtası ile seçilir. Ölü zamanın oluşturulmasından sonra U6 ve kapılarından mosfet sürücülerine giden kontrol işaretleri elde edilir. Sistemdeki işaretlerin lojik olarak kapanması U6 ve kapısının e ucu ile gerçekleşir.[1], [3], [8], [11]



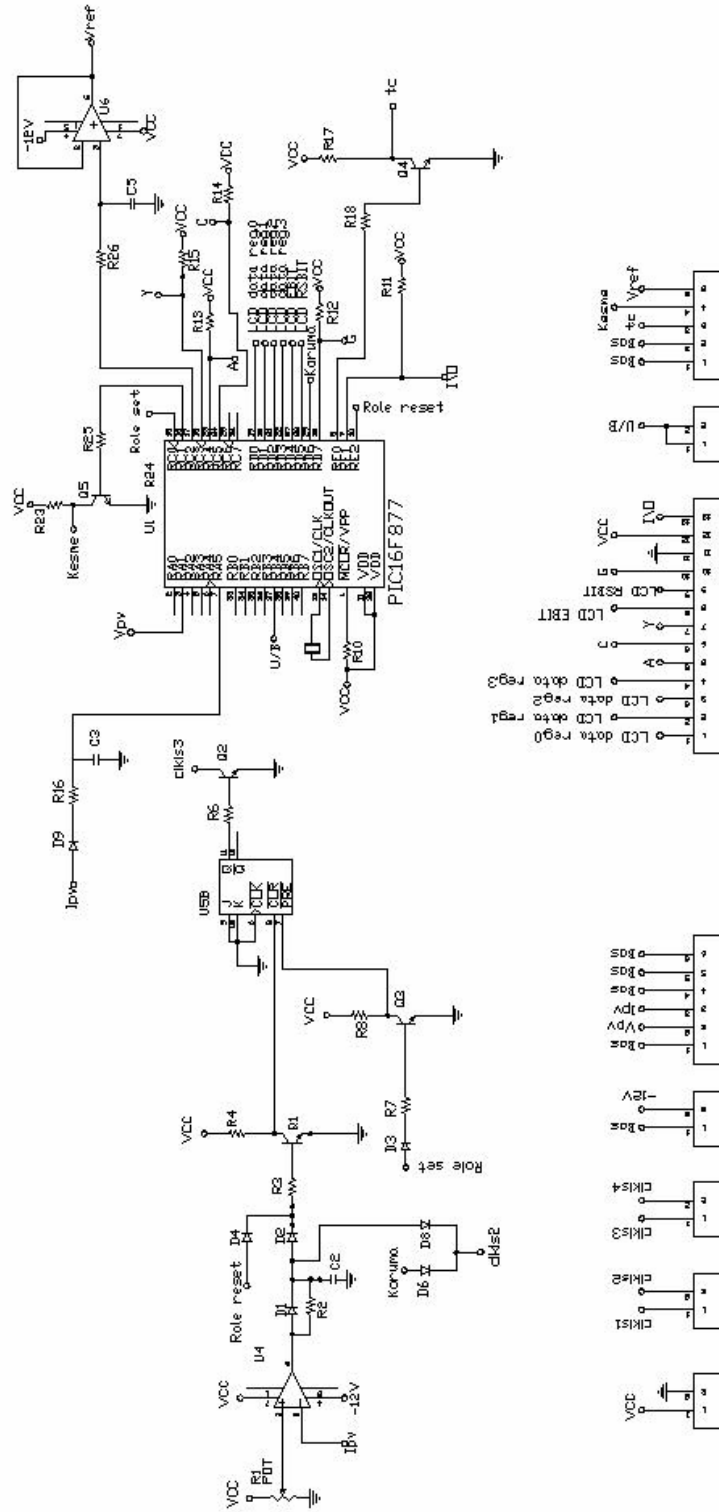
Şekil IV.6. :Akım saturasyon-kapı ve karşılaştırma devresi

IV.4.KONTROL KARTI

Kontrol kartı (Bkz: Şekil IV.7) sistemde birçok görevler üstlenir. Bu görevlerin gerçekleştirilmesi için PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Ancak koruma işlemi gerçekleştirilirken mikrodenetleyicinin mevcut işlem hızının koruma için yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı, olası bir kısa devre veya akımın sınırlandırılması gerektiği hallerde sistemin bu işlemi analog olarak gerçekleştirilmesi tercih edilmiştir. Sistemde meydana gelen kısa devre arızası durumunda mikrodenetleyici uyarılmış, böylece olası bir kısa devre durumu kullanıcıya bildirilmiştir.[1], [7],[13], [26]

Kontrol kartı sistemde;

- Kullanıcı ile inverterin çalışmasında gerekli olan arayüzü oluşturur.
- Kontrol kartı, gerekli frekans değerine göre PORTC.1 pininden sinüs osilatör kartına kesme (interrupt) işareti gönderir. Kontrol kartının programlanması sırasında programlanan PWM işaretinin frekans değeri donanımda da değişmediği için (programda belirlenen PWM frekansı donanımda da aynı değerde bir değişiklik olmadan oluşturulduğu için) istenilen sinüs işaretinin frekans değerine uygun frekans değeri üretilerek kontrol açık çevrim olarak sağlanmıştır.
- İnverter çıkış gerilimini üretir. Bunun için PORTC.2 pinindeki PWM işareti kullanılarak sinüs osilatör kartında bulunan MC1408 DAC inverterin 14 Nolu pini beslenir. (bkz: sinüs osilatör kartı) . Gerilim kontrolü için geri besleme değeri ise analog olarak PORTA.2 pininden 8 bit çözünürlükte okunur.
- İnverteri V/f Skaler kontrol edilmesini sağlar.
- İnverteri isteğe bağlı olarak Tek yönlü ve çift yönlü gerilim anahtarlamalı PWM tekniği ile çalıştırılmasını sağlar.
- Soft start özelliği sayesinde kalkış anında sistemin şebekeden aşırı akım çekmesine engel olur.
- Olası bir kısa devre durumunu LCD ekranda gösterir.



Şekil IV.7.: Kontrol kartı devresi

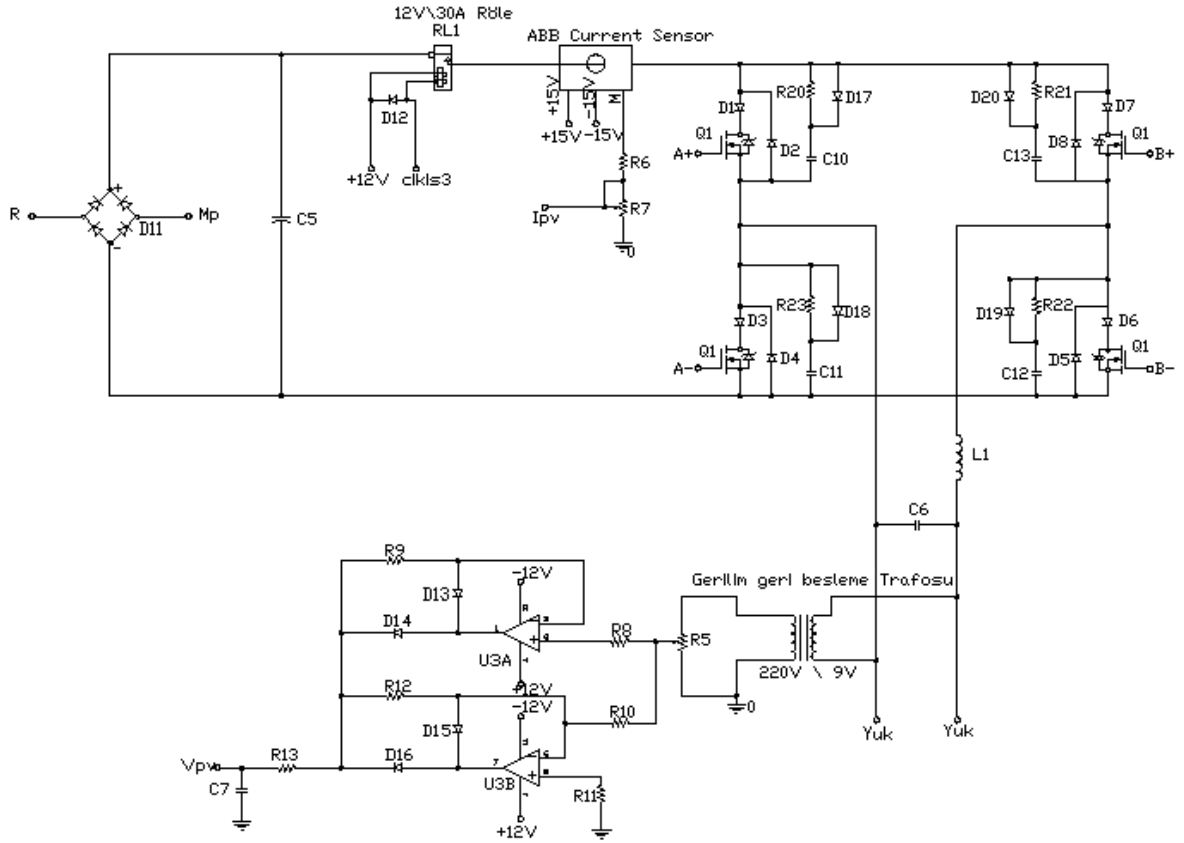
IV.6. GÜÇ DEVRESİ KARTI

Şebekeye bağlı olan köprü doğrultucu C5 kondansatörü ile filtrelendir. Elde edilen DC gerilim Tam köprüde röle yardımıyla bağlanır ve bu röle bağlantısı inverterin soft start zamanına kadar kapalı konumda kalır. Böylece inverter kapalı durumda iken tam köprü inverter enerjisiz bırakılarak mosfetlerin olası iletme geçme durumuna karşı önlem alınmış olur.

Devrede kullanılan akım sensöründen alınan bilginin mikrodenetleyici ve analog devrede DC olarak ölçülmesi istenmiştir. Kullanılan akım sensörü ABB firmasına ait olup çıkış işareti tek yönlü olarak elde edilir. Sensör, ters yönden geçen akım değerini iletebilecek bir yapıya sahip olmaması sebebi ile akım bilgisi DC baraya bağlanmıştır. Akım değerinin kalibrasyonunun kolay olması için M ucu ile Şase arasına potansiyometre bağlanmıştır.

Gerilim geri beslemesi için kullanılan devrede mevcut geri besleme devresinden önce köprü doğrultucu kullanılmış ancak sağlıklı bir çözüm sağlanamamıştır. Bu sebeple şekildeki devre kullanılmıştır. Ayrıca devrede 220/9V dönüştürme oranına sahip bir gerilim trafosu kullanılarak gerekli olan elektriksel izolasyon sağlanmış, hem de ölçüm için gerekli gerilim değerine düşülebilmektedir.

Bilindiği gibi mosfetlerde savak ile kaynak arasında mosfetlerin kendi yapısından dolayı bu uçlara paralel bağlı bir diyot bulunmaktadır. IRFP460 mosfetinde mevcut olan diyot dışında 30A/600V değerinde DSEI30-06 diyodu kullanılmıştır.[15], [17]



Şekil IV.9: Güç devresi kartı

BÖLÜM V

V.1. YAPILAN DENEYLER

İnverter çıkış gerilimi etkin değeri, yapılan deneylerde 120V a kadar çıkarılmış ve deneylerde 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz ve 400 Hz frekans değerlerinde dalga şekilleri ölçülmüştür. İnverter çıkışında omik yük olarak 300 Ω değerinde yük bağlanmıştır. İnverterin endüktif yüklenmesi sırasında ise bir fazlı asenkron motor kullanılmıştır. İnverter çıkışında oluşan dalga şekilleri Ek-A 'da gösterilmiştir.

Tablo V.1. Toplam Harmonik Bozulma Miktarı(Akım ve Gerilim)

frekans	Toplam Harmonik Bozulma Miktarı (Omik)			
	Tek Yönlü Gerilim Anahtarlama		Çift Yönlü Gerilim Anahtarlama	
	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim
50 Hz	%13.1	%6.2	%13.2	%2.2
100 Hz	%5.5	%4.9	%4.9	%2.9
200 Hz	%16.0	%6.2	%13.3	%4.5
400 Hz	%10.6	%0.7	%11.2	%1.7

frekans	Toplam Harmonik Bozulma Miktarı (Endüktif)			
	Tek Yönlü Gerilim Anahtarlama		Çift Yönlü Gerilim Anahtarlama	
	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim
50 Hz	%12.3	%1.2	%26.7	%2.7
100 Hz	%27.7	%1.7	%23.9	%3.1
200 Hz	%31.0	%5.8	%25.3	%4.4
400 Hz	%25.9	%0.7	%24.8	%1.7

BÖLÜM VI

YAPILAN ÇALIŞMANIN EĞİTİME KATKISI

Yapılan çalışma kapsamında endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan tam köprü inverterlerin çalışma prensibi ve farklı denetim özellikleri üzerinde durulmuştur. Tam köprü çalışma için iki farklı denetim algoritması oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Tam köprü inverterin çıkış frekansı ve geriliminin kontrolü amaçlanmıştır

Bölüm II ve III 'de üzerinde durulan PWM çalışma tekniği, tam köprü inverterin çalışma yapısı ile uygulamanın anlatıldığı Bölüm IV'de gerçekleştirilen uygulama dikkate alındığı vakit projenin yüksek öğrenim kurumlarının elektrik ve elektronik bölümlerinde (meslek yüksek okullarının elektrik, elektronik ve bilgisayar programları; teknik eğitim fakültelerinin elektrik, elektronik ve bilgisayar eğitimi bölümleri ile mühendislik fakültelerinin elektrik, elektrik-elektronik ve elektronik mühendisliği bölümleri) rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir. Bölümlerin elektronik, Güç elektroniği, lojik devreler, Otomatik kontrol ve mikroşlemciler derslerinin uygulama kısımlarında faydalı olacağı düşünülmüştür.

Bu bilgiler ışığında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'ndeki dersler ve içerikleri araştırılmış ve yapılan çalışmanın hangi dersler çerçevesinde kullanılabileceği aktarılmaya çalışılmıştır.

Ortaya çıkarılan dersler ve içerikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo VI.1. Tasarımın kullanılabilceği dersler ve içerikleri

DERS	KODU	İÇERİĞİ
ÖLÇME TEKNİĞİ	ELK 224	Ölçme yöntemlerinin ve ölçme düzenlerinin sınıflandırılması , denkleştirme yöntemi ve uygulama tekniği , otomatik ayarlı denkleştiriciler , alternatif akım denkleştiricileri (polar ve dik koordinat denkleştiricileri) , ölçü trafolarının ölçü hatlarına etkileri , direnç ölçmede çeşitli köprü yöntemleri , bazı özel dirençlerin ölçülmesi , doğru akım kaynakları ile beslenip geçici ve sürekli halleri ile uygulanan köprü yöntemleri , alternatif akım ile uygulanan köprü yöntemleri , A.C. köprü örnekleri ve özellikleri , A.C. Köprülerinde kullanılan fiziksel devre elemanlarının eşdeğer devreleri ile asal ve artık parametreleri ve toprak kapasiteleri , ekranlamalar , toprak kapasitelerinin ölçme işlemine yaptıkları etkiler ve bunların giderilmesi için yöntemler , özel amaçlı köprü örnekleri ve sıfır yöntemleri , akım ve gerilim ölçü transformatörlerinin ölçeklenmesi , köprülenmiş – T ve paralel – T devreleri.
ELEKTRONİK	ELC 371	Yarı iletken teorisi , diyotlar , temel karakteristikleri ve diyot çeşitleri. Diyot uygulamaları , bipolar jonksiyonlu transistörlerin yapıları , karakteristikleri , yükseltme etkisi ve kutuplama devreleri. Alan etkili transistörlerin yapıları , karakteristikleri ve kutuplama devreleri. Transistörlerin A.C. eşdeğer devreleri ile h , π , ve r modellerinin karşılaştırılması. Bipolar ve FET transistörlerin A.C. küçük işaret analizleri. Çok katlı amplifikatörlerin orta frekanslardaki analizi ile alt ve üst kesim frekanslarının yaklaşık hesabı. Büyük işaret

		yükselteçlerinin çalışma sınıflarının incelenmesi. İşlemsel yükselteçlerin temelleri , özellikleri ve işlemsel yükselteç devrelerini içeren konularla ilgili deneysel çalışmalar.
LOJİK DEVRELER	ELC 378	Analog ve sayısal işaret tanımları , iki olasılıklı mantık , iki tabanlı sayı sistemi , iki tabanlı kodlama düzenleri , hexadesimal ,BCD sayı sistemleri , ASCII kodu , Boole cebri , lojik kapı tanımları , AND , OR , NAND , NOR , EXOR , EXNOR tanımları , doğruluk tablosu , lojik ifadelerin oluşturulması , sadeleştirme yöntemleri , Karnaugh haritası , AND-OR ile gerçekleştirme , OR-AND ile gerçekleştirme ,ardışıl lojik devre tanımı , multivibratörler , flip-flop devreleri , JK flip-flop , D flip-flop çalışma tablosu anlatımı , flip-flop ile oluşturulan sayıcı düzenleri , ripple counter , senkron sayıcı , binary counter , ondalık sayıcı ve tüm devre örnekleri , shift register tanımı ve örnekleri. Endüstriyel uygulamalar , timer , sayıcı , decoder düzenleri.
GÜÇ ELEKTRONİĞİ	ELK 342	Güç elektroniğinde güç dönüştürme şekilleri , güç elektroniği devrelerinin sınıflandırılarak çalışma prensiplerinin incelenmesi. Güç elektroniğinde kullanılan yarı iletken anahtarlar. Tristör karakteristikleri , tristorün iletme geçme kesime gitme sırasındaki davranışları. Tristörün tetikleme devresinde kullanılan diyak UJT , PUT , SUS , SBS , tetikleme transistörleri ve optik kuplaj elemanları. Tetikleme devresi için darbe generatörleri. Invers kosinüs metodu ile ve entegre devrelerle tetikleme. Bipolar güç transistörleri , güç mosfetleri , izole kaplı bipolar transistörler (IGBT) ve statik endüksiyon transistörleri (SİT) yapıları , özellikleri , sürekli rejim ve anahtarlama karakteristikleri , güvenli çalışma bölgeleri ve sürme devreleri GTO tristörler ,

		<p>anahtarlama karakteristikleri ve GTO tristör kontrolü. Tristörlerin D.A. devresinde anahtar olarak kullanılması. Asimetrik tristör , statik endüksiyon tristörü (SİTH). FET kontrollü tristör (FET- CTH). Mos kontrollü tristör (MCTH) ve sürülmesi.</p> <p>Triyakların özellikleri ve tetikleme devreleri A.A. devresinde tristör , triyak veya ters paralel bağlı tristörlerle faz kontrolü. Tristör ve triyaklı değişik tip sıfır gerilim şalteri çalışmalarının incelenmesi. Bir fazlı kontrolsüz yarım dalga ve tam dalga doğrultucularının omik yüklü ve omik – endüktif yüklü çalışma durumlarının incelenmesi. Üç fazlı kontrolsüz yarım dalga ve tam dalga (köprü) doğrultucuların omik yüklü ve omik – endüktif yüklü çalışmalarının incelenmesi. 12 fazlı doğrultucuların incelenmesi , kontrollü doğrultucularla reaktif güç ve güç katsayısının iyileştirilmesinin yöntemleri. Güç elektroniğinde koruma düzenleri , konularla ilgili deneysel çalışmalar.</p>
MİKRO İŞLEMCİLER	ELC 472	<p>Lojik devreler dersinin devamı olarak, RAM , ROM kavramları ve tüm devre örnekleri, bellek organizasyonu, aritmetik devreler, ALU kavramı ve yardımcı registerlar, mikro işlemci mimarisi, örnek olarak 6803 mikrobilgisayar sisteminin incelenmesi, adres yolu ve veri yolu kavramları, çevre birimleri tanımları, OP CODE tanımları ve makine dili program oluşturulması, sistemin dış çevre ile haberleşmesi, RS-232 düzeni, paralel haberleşme, CENTRONİC ara birimi, ekran sürücü birimi ve ekran türleri.</p>
OTOMATİK KONTROL II	ELC 474	<p>Sürekli rejim hataları, 2. dereceden sistemlerin zaman düzlemi kriterleri, karanlık analizi, Routh-Hurwitz kriteri, PID kontrolör, On-Off kontrolör, PID katsayılarının Ziegler-Nichols kuralları ile bulunması,</p>

		<p>lineer kontrol sistemlerinin frekans cevabı, Bode diyagramı, Polar (Nyquist) diyagram, faz payı-kazanç payı, kompanzasyon teknikleri, Lead-Lag kompanzasyonu.</p> <p>Uygulama : Konum kontrolü, sıcaklık kontrolü, basınç kontrolü, seviye kontrolü, hız kontrolü ve diğer endüstriyel kontrol sistemleri ile ilgili uygulamalar.</p>
--	--	--

BÖLÜM VII

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Geniş kullanım alanına sahip olan tam köprü inverterlerin çalışma prensibi ve farklı denetim özellikleri üzerinde durulmuştur. Tam köprü inverterin kontrolü için iki farklı kontrol yöntemi uygulanmıştır. Bahsedilen iki farklı kontrol yönteminin uygulanması ile birlikte yapılan deneyler sonucunda iki tekniğin birbiri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Uygulanan ilk kontrol yönteminde tam köprü inverter çıkışı çift yönlü PWM anahtarlama yaparak çalıştırılmıştır. Çift yönlü PWM anahtarlama çıkış dalga şekli anahtarlama frekansı boyunca pozitif ve negatif alternanslarda çıkış vermiş, ayrıca sistemin anahtarlama frekansı taşıyıcı işaret olan üçgen dalga işaret ile aynı olmuştur.

Uygulanan ikinci kontrol yönteminde ise inverter çıkışı tek yönlü gerilim anahtarlama olarak çalıştırılmıştır. Tek yönlü anahtarlama çıkış dalga şekli çift yönlü PWM anahtarlamanın aksine taşıyıcı frekansında değil kontrol işareti frekansında pozitif ve negatif alternanslarda çıkış vermiştir. Bu anahtarlama tekniğinde, mosfetlerin anahtarlama frekansı taşıyıcı frekansında olmasına rağmen çıkış dalga şeklinde oluşan SPWM işareti frekansı anahtarlama frekansının iki katıdır.

Devrenin tasarımı, uygulanması ve yapılan deneyler sonunda her iki tekniğin birbirlerine göre üstün ve zayıf yanları olduğu görülmüştür.

Çift yönlü gerilim anahtarlama inverter çalışmada çıkış dalga şekli tek yönlü gerilim anahtarlama çalışmaya oranla yüksek mertebeden harmonikler içermektedir. Bu da toplam harmonik bozulma miktarının daha fazla olduğu anlamına gelir. Bu teknikte, anahtarlama frekansının düşük olması sebebi ile oluşan kayıplar Çift yönlü gerilim anahtarlama inverter çalışmaya oranla daha azdır. Söz konusu teknik, diğer tekniğe oranla daha yüksek güçlerde kullanılabilir.

Tek yönlü gerilim anahtarlama inverter çalışmada anahtarlama frekansı çift yönlü anahtarlama inverter çalışmanın iki katına çıktığı için kayıplar artmıştır. Çıkış

dalga şeklinin toplam harmonik bozulma miktarının az olması, kayıpların tolerans aralığında olduğu durumlarda söz konusu tekniğin kullanılmasını cazip hale getirmiştir.

Yapılan deneylerde çıkış gerilimi toplam harmonik bozulma miktarı %0,7 (Deney:10) ile %6,2 (Deney:14) arasında değişmektedir. Sistemin inverter çıkış gerilimindeki toplam harmonik bozulma miktarı %5 değeri üzerine, yapılan deneylerde çıkmış olsa da uygulamanın başarılı olduğu söylenebilir.

Sistemde kullanılan PIC16F877 mikrodenetleyicisi daha öncede belirtildiği gibi sistemin kontrolü için yeterli değildir. Endüstriyel amaçlı olarak kullanılan sanayi tipi inverterlerde yüksek işlem kapasitesine sahip mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır. Ayrıca kullanılan mikrodenetleyici sistemde oluşan parazitlere karşı da duyarlıdır. Bu sebeple sistem çıkışında yüksek akımlara ulaşılmasından kaçınılmıştır.

KAYNAKLAR

Kitaplar

- [1] Teközgen E.: “Endüstriyel Elektronik”, Birsen Yayınevi, ISBN 975-511-161-1, İstanbul, Türkiye, (1997).
- [2] Gülgün R.: “Güç Elektroniği”, YTÜ Basım-Yayın Merkezi, 4. Baskı, ISBN 975-461-173-4, İstanbul, Türkiye (1999)
- [3] Pastacı H.: “Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri”, YTÜ Basım-Yayın Merkezi, İstanbul, Türkiye, (1999)
- [4] E.A.Parr.: “Endüstriyel Kontrol El Kitabı Cilt 1”, Meb, ISBN 975-11-0888-8, İstanbul, Türkiye (2002).
- [5] E.A.Parr.: “Endüstriyel Kontrol El Kitabı Cilt 2”, Meb, ISBN 975-11-0889-6, İstanbul, Türkiye (2002).
- [6] Bose K. B.: “Modern Power Electronics and AC Drives”, Prentice Hall, ISBN 0-13-016743-6, USA, (2002).
- [7] Dinçer G., Gerçek C., Bodur A.: “PIC Basic Pro ile PIC Micro Programlama”, Era Bilgi Sistemleri Yayıncılık, ISBN 975-6897-16-3, İstanbul, Türkiye,(2003)
- [8] Altunsaçlı, A.: “Elektrik Motorları ve Sürücüleri”, Color Ofset, İskenderun, Türkiye,(2003) 200-246.
- [9] Sarıoğlu K., Gökaşan M., Boğosyan S.: “Asenkron makineler ve kontrolü”, Birsen Yayınevi, ISBN 975-511-343-6, İstanbul, Türkiye, (2003)
- [10] Mohan N., Underland T., Robbins W.: “Güç Elektroniği”, Literatür Yayınevi, ISBN 975-8431-99-4, İstanbul, Türkiye (2003)
- [11] Şahin H.: “Proteus”, Altaş Yayıncılık, ISBN 975-8834-02-9, İstanbul, Türkiye, (2004).
- [12] Fang Z. Peng.: “Introduction to Power Electronics”, Dept. of Electrical and Computer Engineering Michigan State University, (August 2004).
- [13] Tuğay, G.: “Herkes İçin Elektronik Hobi”, Alfa Yayınları, 4. Baskı, Cağaloğlu, İstanbul, Türkiye (2004)

Tezler

- [14] Troy Nergaard, Jeremy Ferrell,,: “Design of a 10 kW Inverter for a Fuel Cell”, *2001 Future Energy Challenge* (2001).
- [15] Sun. X.: “Advanced control of SPWM DC/AC Inverters”, *Phd*, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong Sar, China (June 2003).

Makaleler

- [16] Fairchild Semiconductor.: “Insulated-Gate Transistors Simplify AC-Motor Speed Control”, *Application Note AN 7511*, (September 1993).
- [17] Alan Li, John Bendel.: “Design with MOSFET Load Switch” , *Application Note AN 1030*, Fairchild Semiconductor, (October 1998).
- [18] K.S.Oh.: “MOSFET Basics”, *Application Note AN 9010*, (July 2000).
- [19] Analog Devices: “Compensating the dead time of voltage inverters with the ADMC331”, Analog Devices, *Application Note AN 331-50*, (August 2000).
- [20] Xiangning He, Kuang Sheng, Barry W. Williams, Zhaoming Qian.; “A Composite Soft-Switching Inverter Configuration with Unipolar Pulsewidth Modulation Control”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (February 2001).
- [21] Bor-Ren Lin.: “A single-phase three-level pulsewidth modulation AC/DC converter with the function of power factor corrector and active power filter”, *ELSEVIER* (19 January 2001).
- [22] Dariusz Czarkowski, David V. Chudnovsky.; “Solving the Optimal PWM Problem for Single-Phase Inverters”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, (April 2002).
- [23] Datasheet: “Matching MOSFET Drivers to MOSFET’s ”, *Microchip, Application Note*,(2002).
- [24] Mr. Abhijit D. Pathak, Ralph E. Locher.: “How to Drive Mosfet’s and IGBT’s Into the 21st Century” , *IXYS Corporation*,(2003).
- [25] Elmas Ç., Yiğit T.: “Darbe Genişlik Modülasyonlu Üç Fazlı Bir Eviricinin Bilgisayar Temelli Denetimi”, *3RD International Advanced Technologies Symposium*, 06500 Teknikokullar Ankara, (2003).

- [26] Bodur H., Bakan F., Sarul M., Aksoy İ.: “Doğrudan Moment Kontrollü Bir Asenkron Motor Sürücüsünde Anahtarlama Frekansının İncelenmesi”, *Elektrik - Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, Y.T.Ü.Elektrik Mühendisliği Bölümü, (2003).
- [27] Alan Elbanhawy.: “Reducing Power Losses in MOSFETs by Controlling Gate Parameters”, *Application Note AN 7017*, Fairchild Semiconductor ,(2005).

Elektronik Yayınlar

- [28] www.powerelectronics.com (Erişim tarihi: Ocak 2005)
- [29] www.eproje.com (Erişim Tarihi: Aralık 2005)
- [30] www.coremaster.com (Erişim tarihi: Ekim 2005)
- [31] www.microchip.com (Erişim tarihi: Kasım 2005)
- [32] www.muhendislik.net (Erişim tarihi: Ocak 2006)
- [33] www.users.pandora.be/educyclopedia/electronics/powercontrol.htm (Erişim tarihi: Şubat 2006)
- [34] www.silisyum.net (Erişim tarihi: Ocak 2006)
- [35] www.antrak.org.tr (Erişim tarihi: Ocak 2006)
- [36] www.directindustry.com (Erişim tarihi: Şubat 2006)
- [37] www.datasheetcatalog.com (Erişim tarihi: Şubat 2006)
- [38] www.alldatasheet.com (Erişim tarihi: Mart 2006)
- [39] www.picproje.org (Erişim tarihi: Mart 2006)

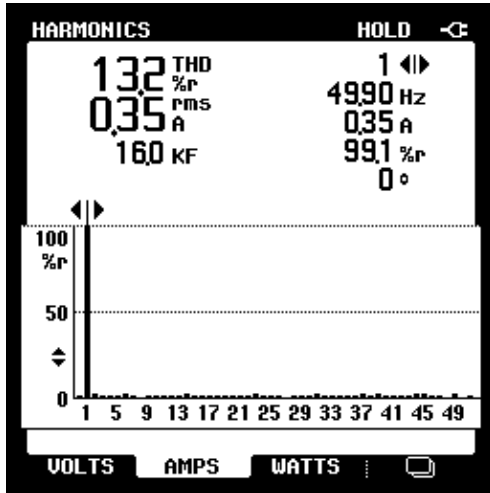
EK-A

YAPILAN DENEYLER

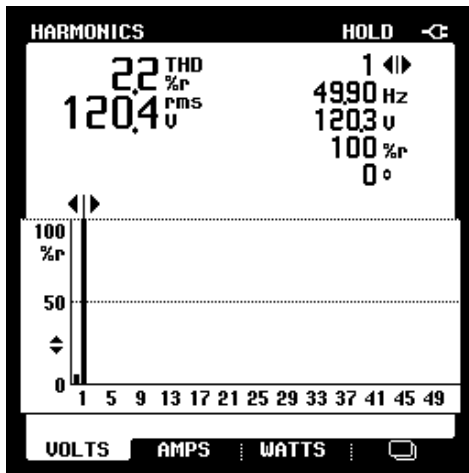
Deney 1: Omik yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:50 Hz

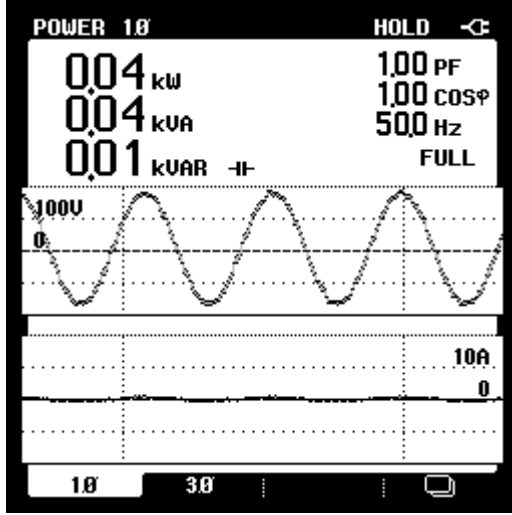
Gerilim:120V



Şekil A.1. : Toplam harmonik bozulma miktarı (akım)



Şekil A.2.:Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

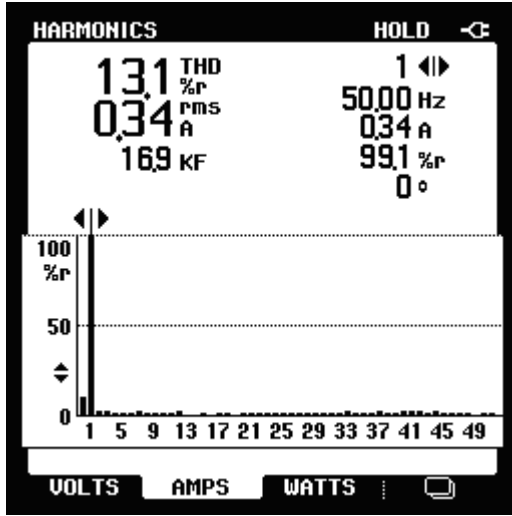


Şekil A.3.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

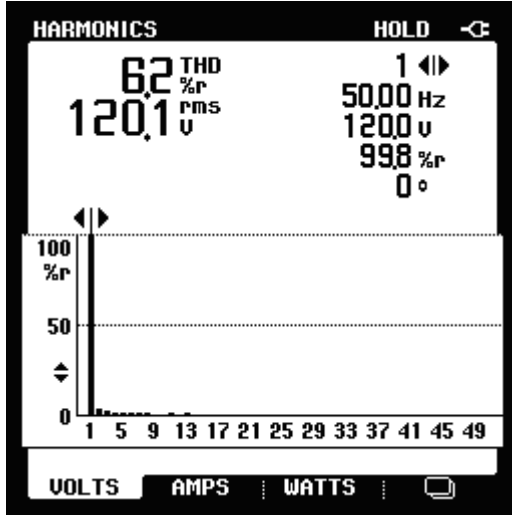
Deney 2: Omik yükte tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM çalışma

Frekans:50 Hz

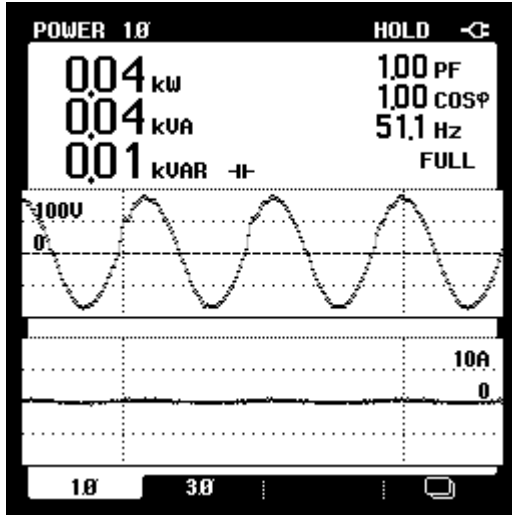
Gerilim:120V



Şekil A.4. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.5. : Toplam harmonik bozulma miktarı (gerilim)

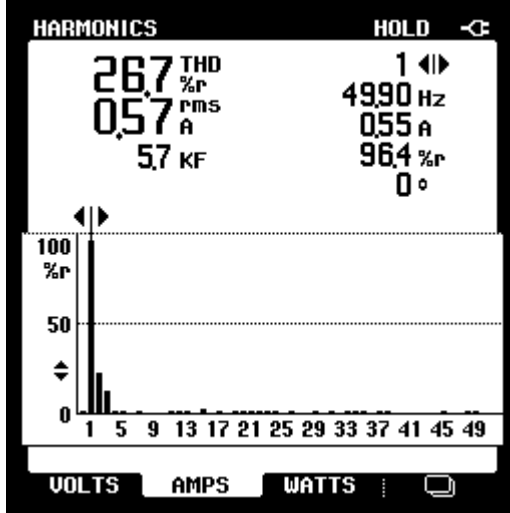


Şekil A.6.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

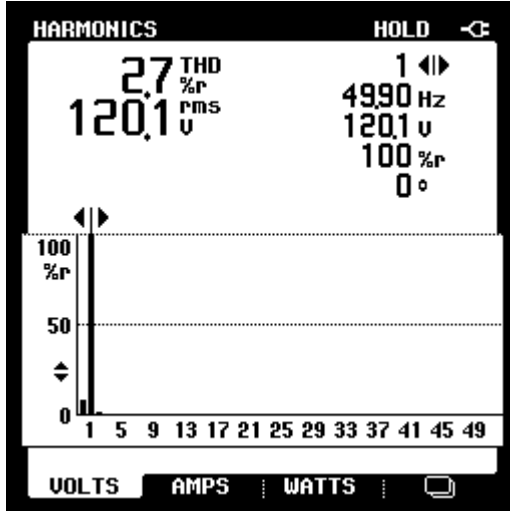
Deney 3: Endüktif yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:50 Hz

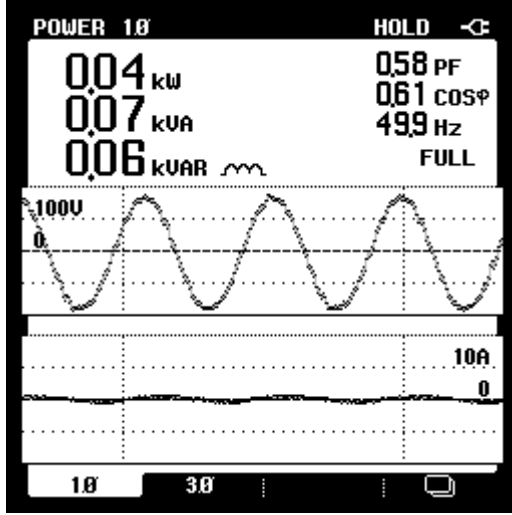
Gerilim:120V



Şekil A.7. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.8. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

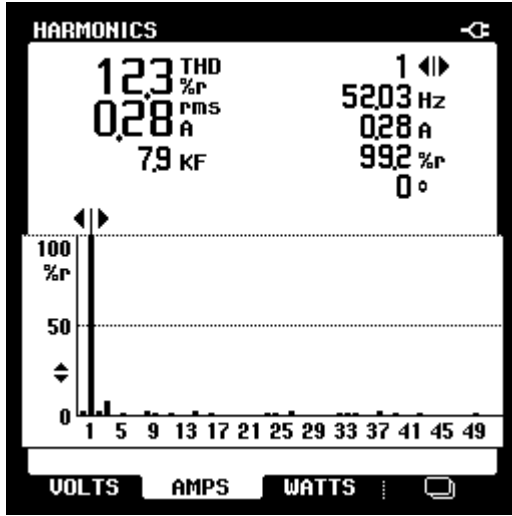


Şekil A.9.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

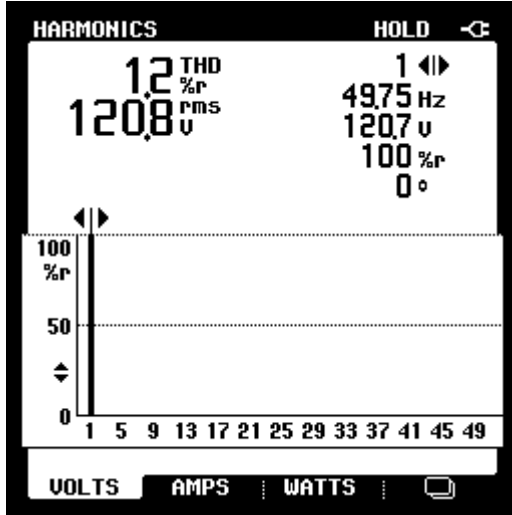
Deney 4: Endüktif yükte tek yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:50 Hz

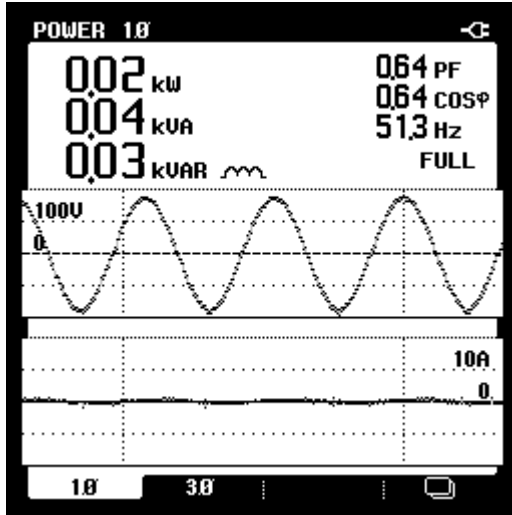
Gerilim:120V



Şekil A.10. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.11. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

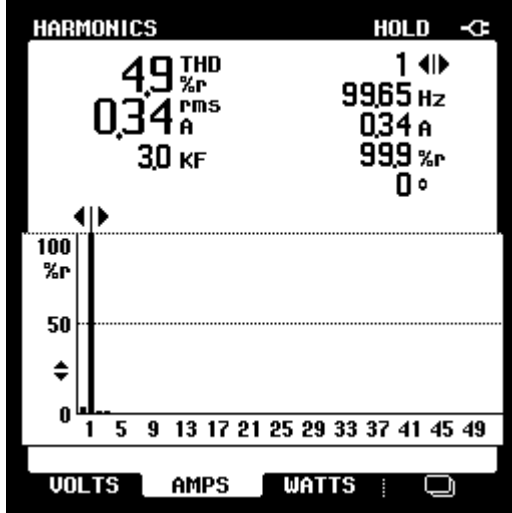


Şekil A.12.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

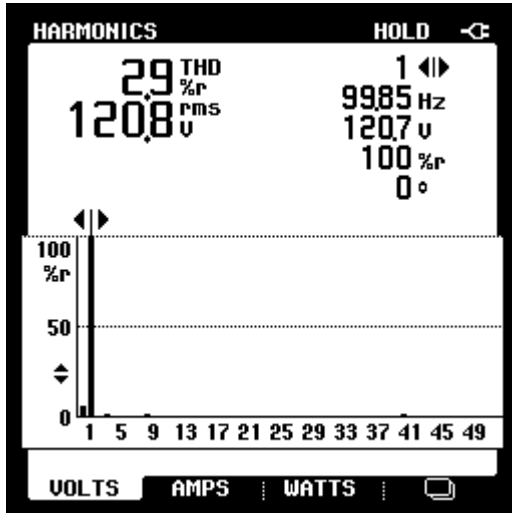
Deney 5: Omik yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:100 Hz

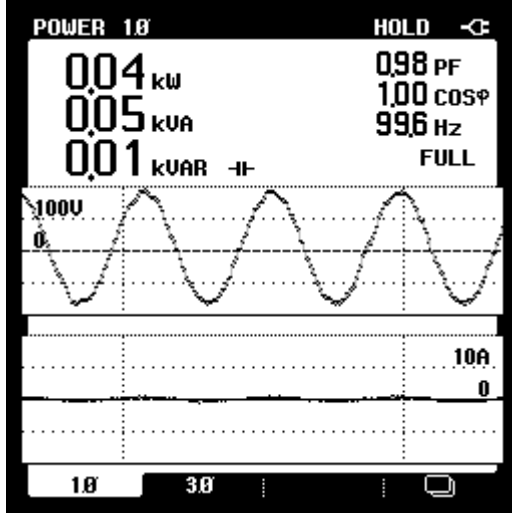
Gerilim:120V



Şekil A.13. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.14. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

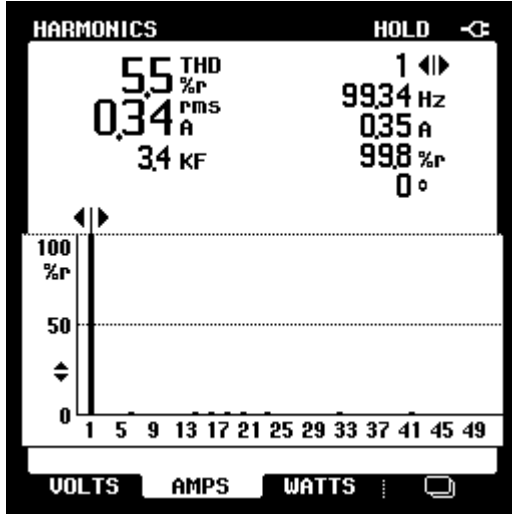


Şekil A.15.: İverter çıkış gerilimi dalga şekli

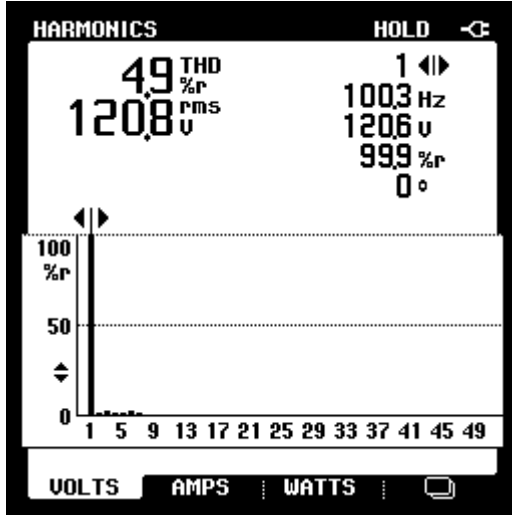
Deney 6: Omik yükte tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM çalışma

Frekans:100 Hz

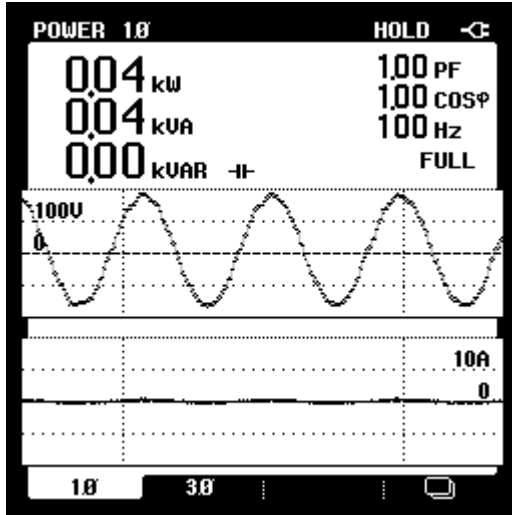
Gerilim:120V



Şekil A.16. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.17. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

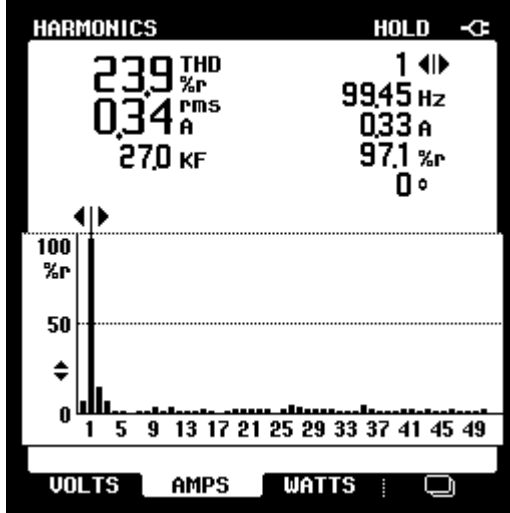


Şekil A.18.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

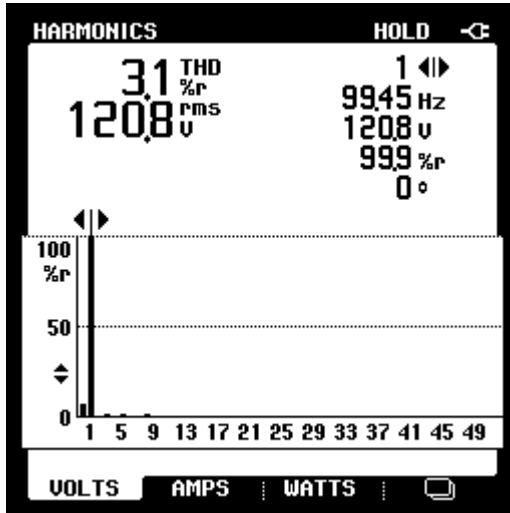
Deney 7: Endüktif yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:100 Hz

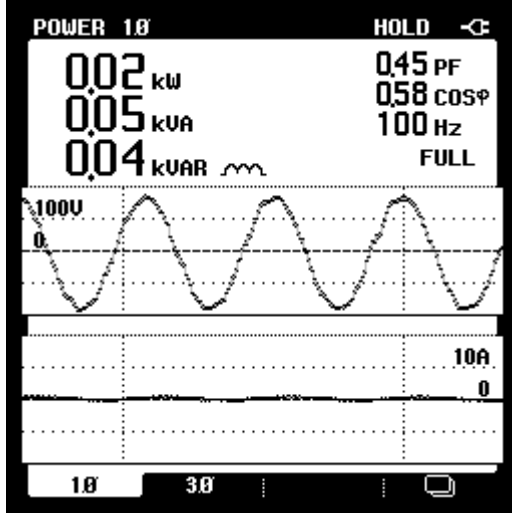
Gerilim:120V



Şekil A.19. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.20. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

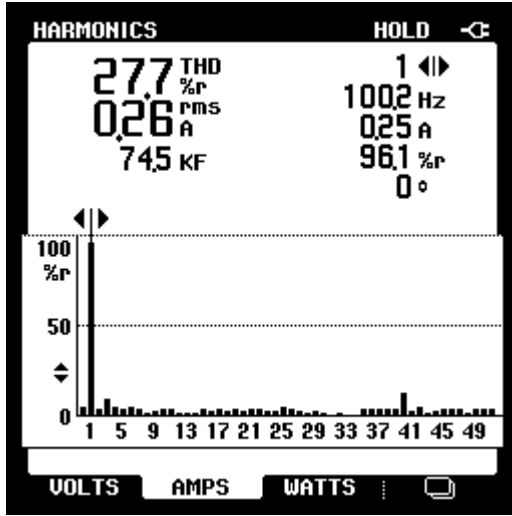


Şekil A.21.: İverter çıkış gerilimi dalga şekli

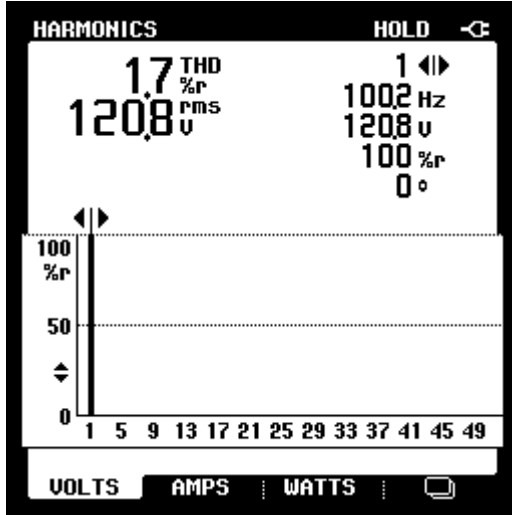
Deney 8: Endüktif yükte tek yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:100 Hz

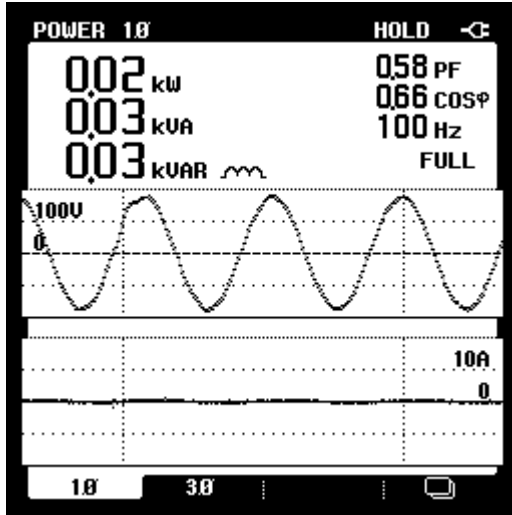
Gerilim:120V



Şekil A.22. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.23. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

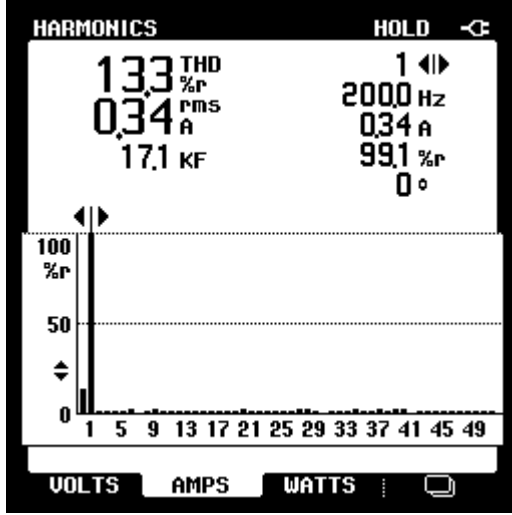


Şekil A.24.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

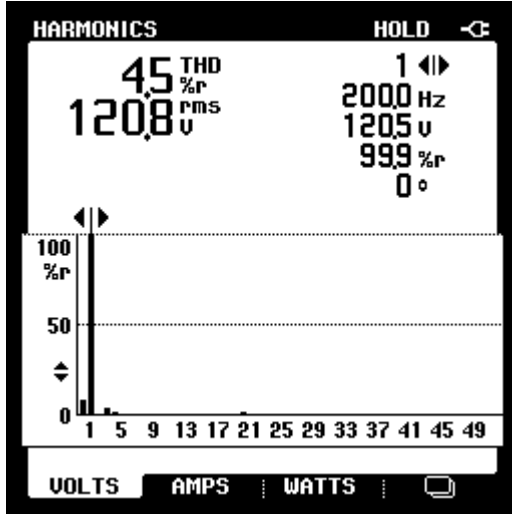
Deney 9: Omik yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:200 Hz

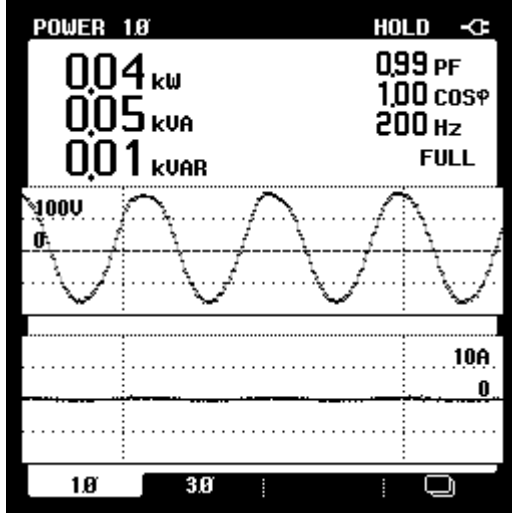
Gerilim:120V



Şekil A.25. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.26. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

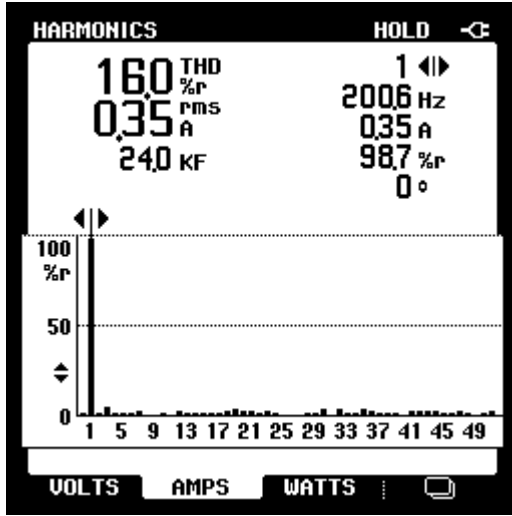


Şekil A.27.: İverter çıkış gerilimi dalga şekli

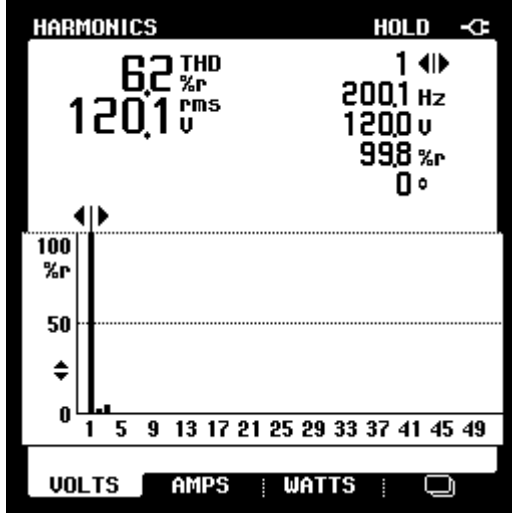
Deney 10: Omik yükte tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM çalışma

Frekans:200 Hz

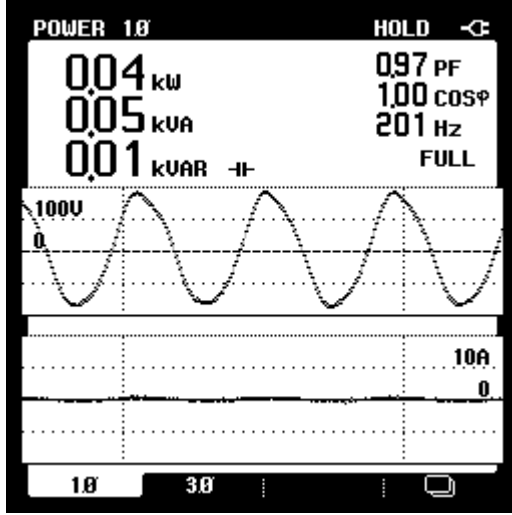
Gerilim:120V



Şekil A.28. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.29. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

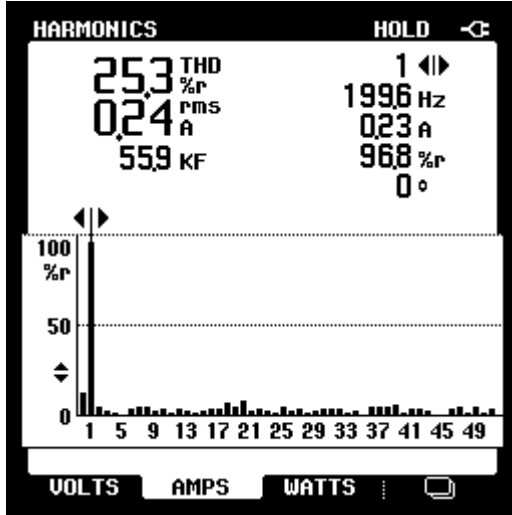


Şekil A.30.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

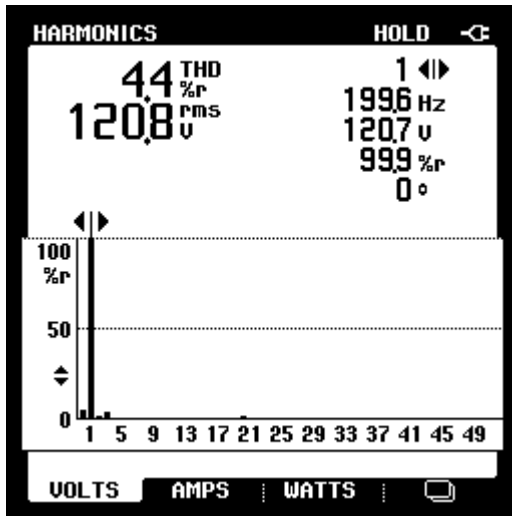
Deney 11: Endüktif yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:200 Hz

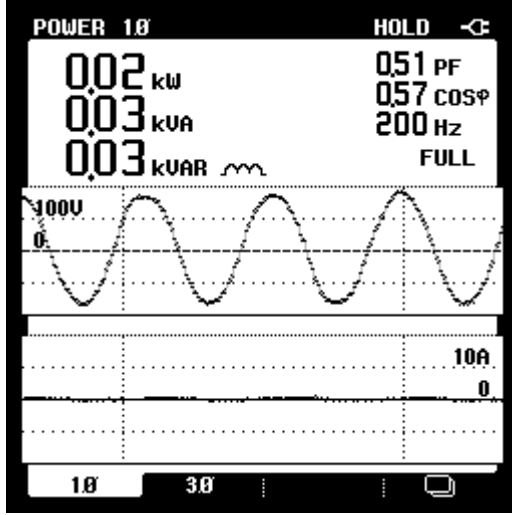
Gerilim:120V



Şekil A.31. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.32. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

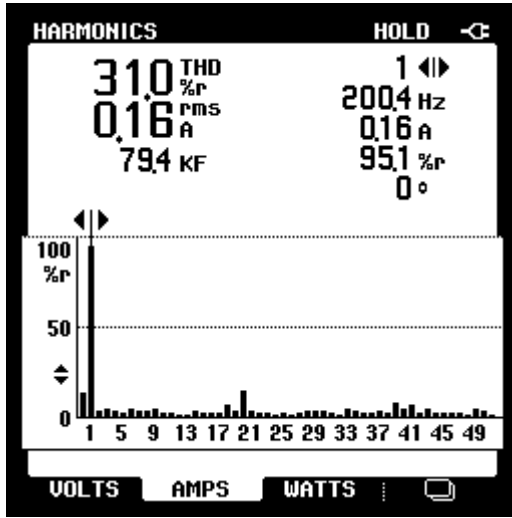


Şekil A.33.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

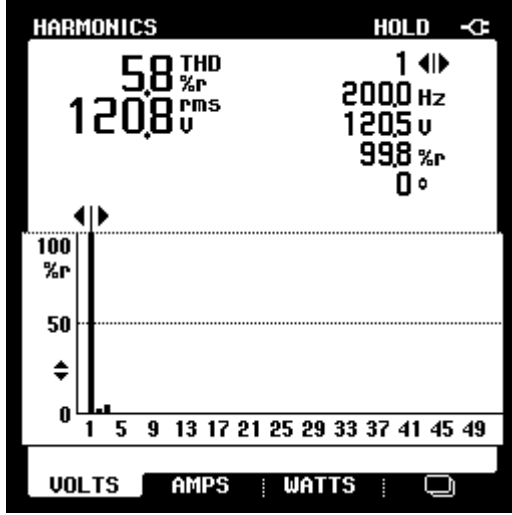
Deney 12: Endüktif yükte tek yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:200 Hz

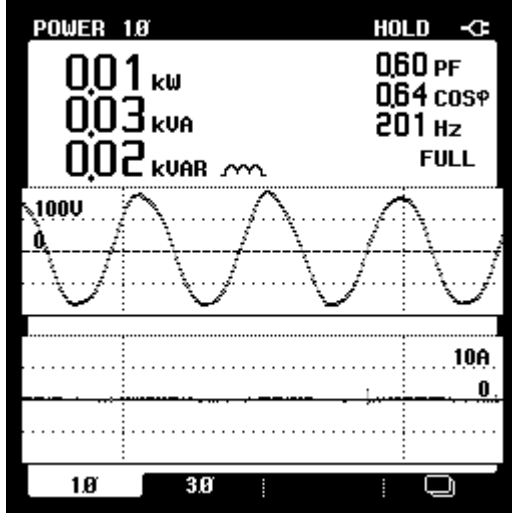
Gerilim:120V



Şekil A.34. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.35. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

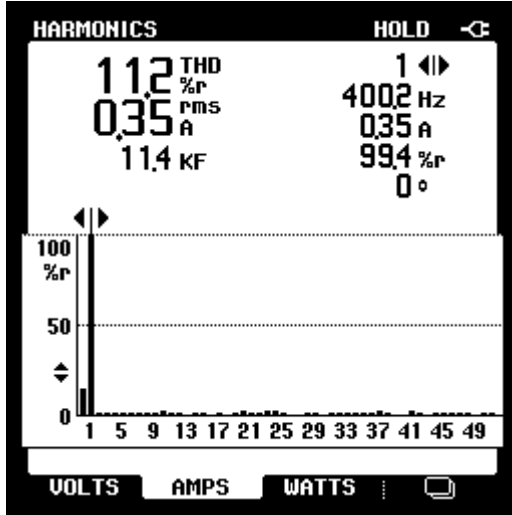


Şekil A.36.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

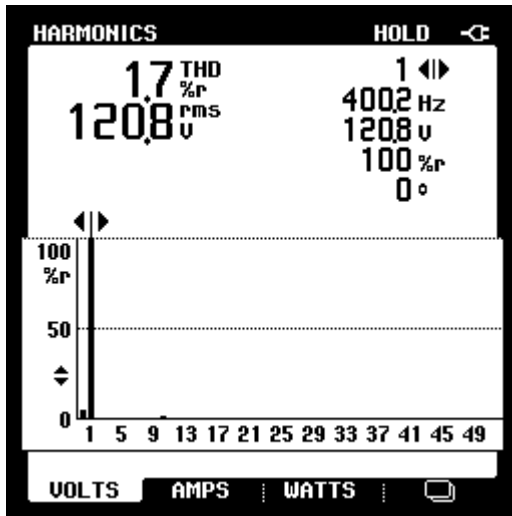
Deney 13: Omik yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:400 Hz

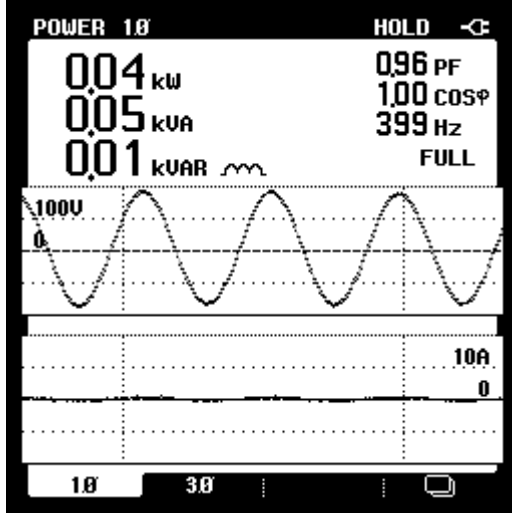
Gerilim:120V



Şekil A.37. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.38. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

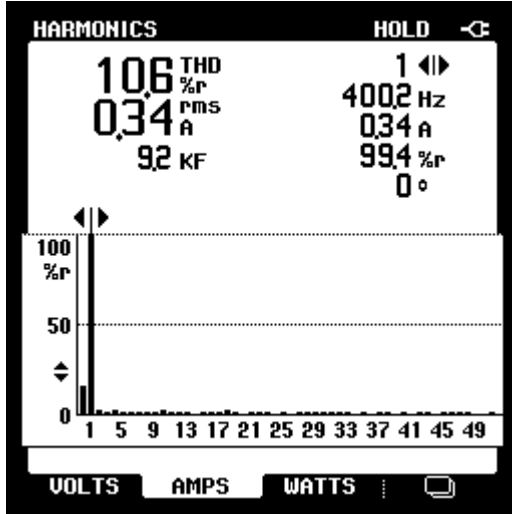


Şekil A.39.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

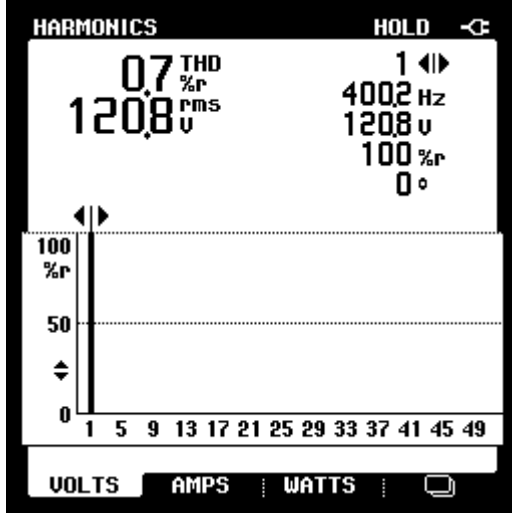
Deney 14: Omik yükte tek yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:400 Hz

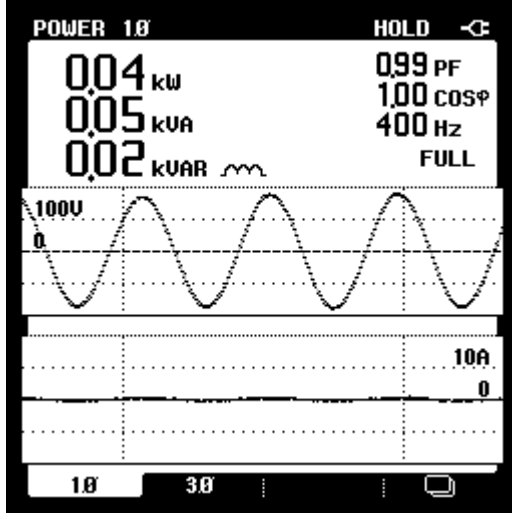
Gerilim:120V



Şekil A.40. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.41. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

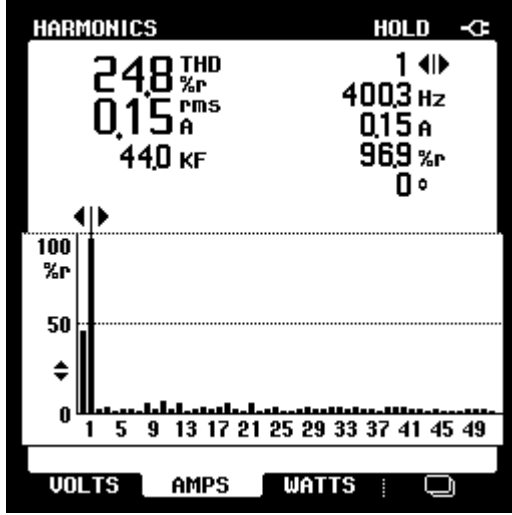


Şekil A.42.: İnverter çıkış gerilimi dalga şekli

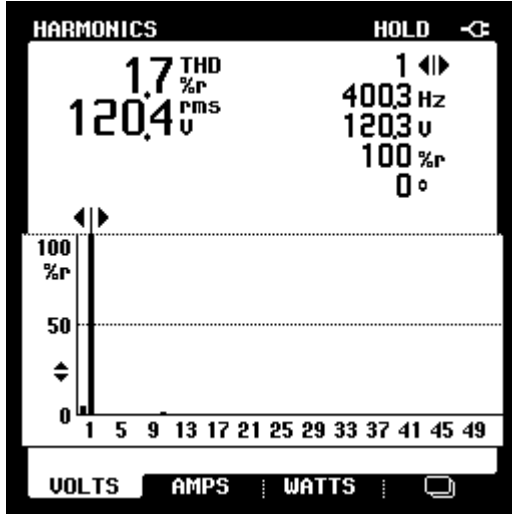
Deney 15: Endüktif yükte çift yönlü gerilim anahtarlama PWM çalışma

Frekans:400 Hz

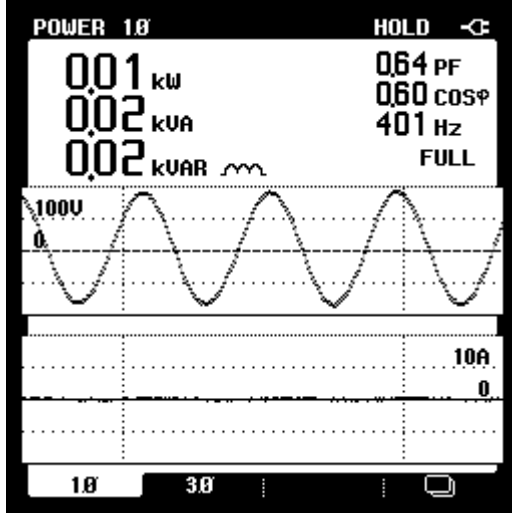
Gerilim:120V



Şekil A.43. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.44. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)

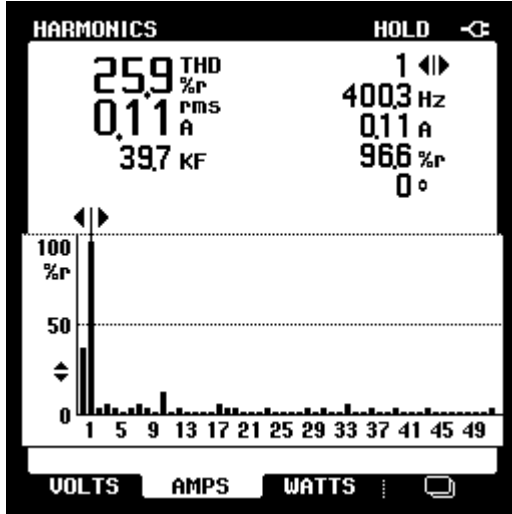


Şekil A.45.: İnverter çıkışı dalga şekli

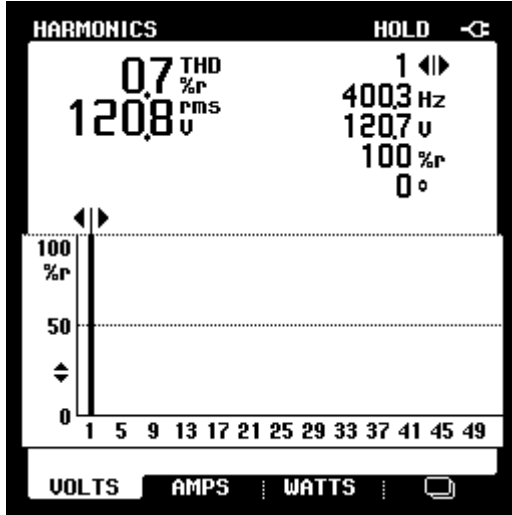
Deney 16: Endüktif yükte tek yönlü gerilim anahtarlamalı PWM çalışma

Frekans:400 Hz

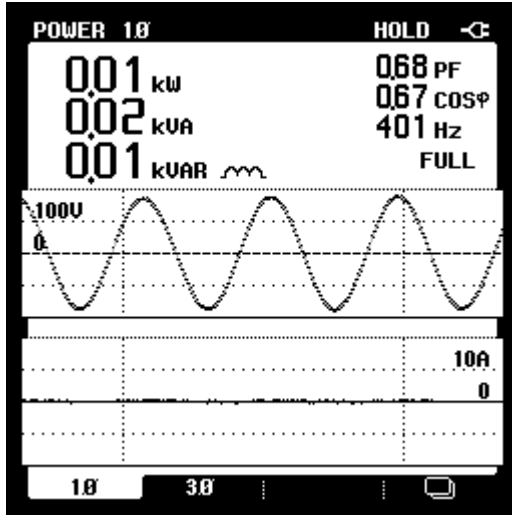
Gerilim:120V



Şekil A.46. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Akım)



Şekil A.47. : Toplam harmonik bozulma miktarı (Gerilim)



Şekil A.48.: İnverter çıkışı dalga şekli

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İstanbul ili Üsküdar ilçesinde dünyaya geldi. 1998 yılında Haydarpaşa End. Meslek lisesinden mezun olduktan sonra 2000 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nü kazandı. 2004 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek lisans eğitimine başladı. Halen yüksek lisans programına devam etmektedir.

Kaner YURTBAŞI