

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ

İNVERTÖR TASARIMI

BİTİRME ÖDEVİ

İlker YAĞLIDERE

040050312

Bölümü: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı: Elektronik Mühendisliği

Danışmanı: Dr. H. Bülent YAĞCI

MAYIS 2008

ÖNSÖZ

Çalışmam için gerekli olan maddi desteği sağlayan Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi' ne, tasarıda kullandığım transformatörü üreten Elektra Elektronik Limited Şirketi' ne ve bana teorik bilgileri ile destek veren değerli arkadaşım Veysel Tutku Büyükdeğirmenci' ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca hayatım boyunca beni her konuda koşulsuz destekleyen babama şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2008

İlker YAĞLIDERE

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. İNVERTÖR SİSTEMİNE KAVRAMSAL YAKLAŞIM	2
2.1. Doğru Akımın Alternatif Akıma Çevrilmesi	2
2.1.1. Yarım köprü yöntemi	2
2.1.2. Tam köprü yöntemi	4
2.2. Darbe Genişliği Modülasyonu	6
2.2.1. Darbe genişliği modülasyonlu işaretlerinin üretimi	7
2.3. İnvvertör Sisteminin Bileşenleri	10
2.3.1. Güç transistörleri	11
2.3.1.1. BJT	11
2.3.1.2. MOSFET	12
2.3.1.3. IGBT	14
2.3.2. Anahtar elemanlarını süren yardımcı yapılar	15
2.3.3. Yerel osilatör	16
2.3.4. Referans üretici, hata üretici ve darbe genişliği modülatörü	17
2.4. Çıkış Geriliminin Regüle Edilmesi, Geribesleme	17
2.5. Ölü Zaman Kavramı ve Önemi	18
2.6. İnvvertör Sisteminde Kayıplar ve Verim	19
3. KARE DALGA İNVERTÖR SİSTEMİ TASARIMI	21
3.1. Darbe Genişliği Modülasyonlu İşaretlerin Üretimi	24
3.2. Modüle Edilmiş İşaretler ile MOSFET lerin Sürülmesi	25
3.3. Geribesleme ve Çıkış Geriliminin Regüle Edilmesi	26
4. TESTLER ve BAŞARIM	28
4.1. Çıkış Geriliminin Dalga Şeklinin İncelenmesi	28
4.2. Regülasyonun İncelenmesi	31
4.3. Verimin Ölçülmesi	33
5. SONUÇLAR	35

KAYNAKLAR

37

ÖZGEÇMİŞ

38

KISALTMALAR

RMS	: Root Mean Square
LCD	: Liquid Crystal Display
DC	: Direct Current
AC	: Alternating Current
BJT	: Bipolar Junction Transistor
SCR	: Silicon Controlled Rectifier
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
EMK	: Elektro Motor Kuvvet
PWM	: Pulse Width Modulation
FET	: Field Effect Transistor
HI-FI	: High Fidelity
SR	: Set-Reset

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Yarım köprü yapısı.....	2
Şekil 2.2 : BJT ve koruma diyotları ile yarım köprünün oluşturulması.....	3
Şekil 2.3 : Yarım köprü yapısında akımların birbirlerine göre konumu.....	4
Şekil 2.4 : Tam köprü yapısı.....	5
Şekil 2.5 : Darbe genişliği modülasyonlu işaretin üretimi.....	8
Şekil 2.6 : Benzetim sonucu elde edilen pwm işareti.....	8
Şekil 2.7 : Darbe genişliği modülasyonlu işaretin osiloskopta gözlenmesi...	9
Şekil 2.8 : LM3524 tümdevresinin içyapısı.....	10
Şekil 2.9 : BJT için anahtarlama kayıpları.....	12
Şekil 2.10 : Mosfetin çalışma bölgeleri.....	14
Şekil 2.11 : Totem pole sürücü yapısı.....	17
Şekil 3.1 : 12V doğru gerilimi 220V alternatif gerilime çeviren 500W güçteki örnek invertör sistemi.....	23
Şekil 3.2 : Mosfetleri süren iki işaretin geçit uçlarından alınan osiloskop görüntüsü.....	25
Şekil 4.1 : 68.4V çıkış ile 40W lık ampulün beslenmesi.....	29
Şekil 4.2 : 63V çıkış ile 200W lık ampulün beslenmesi.....	29
Şekil 4.3 : 220V çıkış ile 40W lık ampulün beslenmesi.....	30
Şekil 4.4 : 223V çıkış ile 200W lık ampulün beslenmesi.....	30
Şekil 4.5 : Sistem 100W yük altında iken çıkış geriliminin ayarlanması.....	31
Şekil 4.6 : Sistem yükü 40W a düşürüldüğünde çıkış gerilimi.....	32
Şekil 4.7 : Sistem yükü 200W a çıkarıldığında çıkış gerilimi.....	32
Şekil 4.8 : Sistem yüklenmediğinde çıkış gerilimi.....	33

ÖZET

Günümüzde şebeke elektriğinin bulunmadığı, taşıtlar gibi birçok ortamda 220V etkin değere sahip alternatif gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. Taşıtların ihtiyaç duyduğu elektrik akımı genellikle 12V 60Ah bir aküden temin edilmektedir. Evlerde kullanılan cihazları bu akü ile doğrudan çalıştırmak mümkün değildir, çünkü evlerde kullanılan cihazlar 220V alternatif gerilimle çalışmaktadır. Ancak düşünüldüğü zaman 12V 60Ah kapasitesindeki bir aküden çekilebilecek güç ile birçok cihaz çalıştırılabilir. Ne var ki, bunun için öncelikle aküden alınan gerilimin alternatif gerilime çevrilmesi ve 220V etkin değere yükseltilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada 220V etkin değere sahip alternatif gerilim, orta uçlu bir transformatör 12V doğru gerilim ile anahtarlanarak üretilmiştir. Yapılan çalışma ile bir arabadan temin edilebilecek güç ile birçok elektronik cihazın sorunsuzca çalıştırılabileceği gösterilmiştir. Tasarlanan sistem 127cm bir LCD (Liquid Crystal Display) televizyonu ve sıradan bir bilgisayarı aynı anda çalıştırabilir. Bu çalışmada kullanılan transformatör, iki adet 12V giriş sargısına ve bir adet 320V çıkış sargısına sahiptir. Seçilen 320V değeri yaklaşık olarak şebeke geriliminin tepe noktası olup, 20ms lik periyotta yalnızca bir süre çıkışta var olmaktadır. Üretilen gerilim parçalı bir gerilim olup, şu parçalardan oluşmaktadır: bir pozitif, bir negatif ve değeri 0V olan üçüncü bir parça. İlk bakışta yüksek görünen 320V değeri, sistem yüklendikçe kayıplar nedeniyle 250 – 280 V mertebelerine kadar düşmektedir. Sistem, çıkış gerilimini darbe genişliği modülasyonundan faydalanarak regüle etmektedir. Bir başka deyişle, sistem farklı yükler altında darbe genişliğini değiştirerek çıkış geriliminin etkin değerini 220V civarında regüle etmektedir. Dahası, sistem giriş gerilimindeki değişimleri de sezerek darbe genişliğini değiştirmektedir.

İnvertörü 500W a kadar yüklemek mümkündür. Sistem 40 W yük altında %85 verimle, 200W yük altında ise %80 verimle çalışmaktadır ve yüksek verimine bağlı olarak birçok uygulamada tercih edilebilir. İnvertör, kontrol devresinin ve sürücü güç mosfetlerinin ısınmaması sebebiyle küçük bir alanda gerçekleştirilebilir. Sistem her bir kanal için beşer adet güç mosfeti kullanmaktadır. Yapılan bir deneyde, sistemde yalnız iki (her bir kanal için birer tane) adet soğutucu bağlanmamış mosfet kullanılmış ve sistem 100W yük altında 10dk boyunca çalıştırılmıştır. Bu deneyde bile mosfetler serin çalışmıştır.

SUMMARY

Today, 220V rms (root mean square) value alternating voltage is needed in many places like vehicles where 220V network does not exist. The current vehicles need is generally obtained by a 12V 60Ah accumulator. The devices used in houses can not be operated by this accumulator directly, because the devices used in houses operate with 220V alternating voltage. However, when thought, various devices can be operated by power provided by a 12V 60Ah accumulator. Nevertheless, the voltage provided should be inverted to alternating voltage and should be amplified to 220V rms value firstly.

In this thesis, 220V rms value alternating voltage is generated by switching a center-tapped transformer with 12V direct voltage. With this study, it is proved that various devices can operate with power provided by a car. System designed can operate a 127cm LCD television and an ordinary computer at the same time. Transformer used in this study has two 12V primary windings and a 320V secondary winding. The value of 320V chosen is nearly the top point of the network voltage and exists at the output only some time in a period of 20ms. The voltage generated is a piecewise voltage and consists of these three pieces: a positive, a negative and a third piece which has a 0V value. The 320V value which seems to be high at first look will decrease down to 250 – 280 V because of losses when the system is under load. System regulates the output voltage by taking advantage of pulse width modulation. In other words, system regulates the output voltage around 220V rms value under different loads by changing the pulse width. Furthermore, system senses the input voltage changes and changes the pulse width.

It is possible to load the inverter up to 500W. The system works with an efficiency of 85% under 40W load and 80% under 200W load so it can be preferred in many applications depending on its high efficiency. The inverter can be created in a limited area, because the driver power mosfets and the control circuit does not warm up. In an experiment, only two (one per channel) mosfets which do not have heat sinks were used and the system was run ten minutes under 100W load. Even in this experiment, mosfets worked coldly.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Günümüzde şebeke elektriğinin bulunmadığı taşıtlar gibi birçok ortamda 220V etkin değere sahip alternatif gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak taşıtlarda 12V doğru gerilim bulunmaktadır ve bu doğru gerilim bir takım işlemler sonucu şebeke gerilimine benzeyen bir biçime sokulabilmektedir. Bu çalışmada, 12 volt doğru gerilim kullanılarak orta uçlu bir transformatörün push pull yapıda anahtarlanması yöntemiyle 220V etkin değere sahip alternatif gerilim üretilmiştir. Çalışmada tasarlanan yapı 500W gücündedir. Yapılan çalışma ile bir arabanın çakmak girişinden dahi alınabilecek güç ile birçok elektronik cihazın sorunsuzca çalıştırılabileceği gösterilmiştir. Örnek olarak arabasında dinlenen bir kişi bu sistemi kullanarak 127 ekran bir LCD televizyonu ve sıradan bir bilgisayar kasasını aynı anda çalıştırabilir. Çalışmada kullanılan transformatör iki adet 12V giriş sargısına ve bir adet 320V çıkış sargısına sahiptir. Seçilen 320V değeri şebeke geriliminin tepe noktası olup, invertör tarafından 20ms lik periyodun yalnızca belli bölümlerinde çıkışa verilmektedir. Periyodun gerilim üretilmeyen diğer bölümlerinde ise sistem dinlenmektedir ve çıkışta gerilim bulunmamaktadır. Çıkışta gerilim bulunan süre ile gerilim bulunmayan sürenin oranına bağlı olarak çıkış geriliminin etkin değeri belirlenmektedir. Sistem darbe genişliği modülasyonu yaparak çıkış gerilimini regüle etmektedir. Bir başka deyişle, sistem farklı yükler altında negatif geribesleme ile darbe periyot oranını değiştirerek çıkış geriliminin etkin değerini 220V civarında sabit tutmaktadır. Sistem 40 W yük altında %85 verimle çalışırken, 200W yük altında %80 verimle çalışmaktadır. Yapılan çalışma ile taşıtlarda şebeke geriliminin üretilmesi amaçlanmıştır.

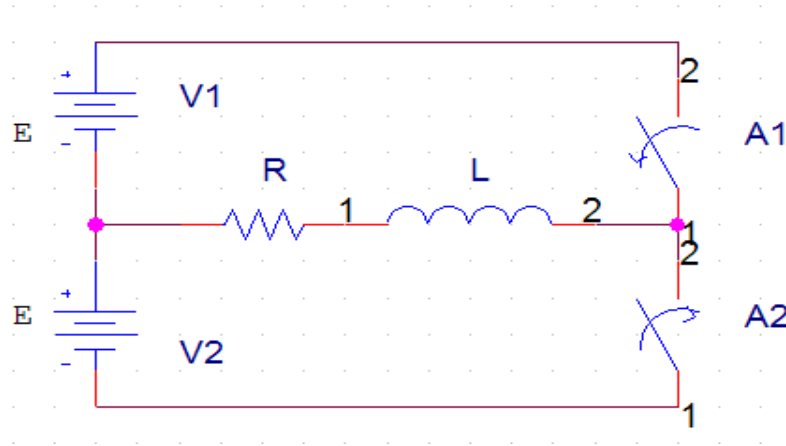
2. İNVERTÖR SİSTEMİNE KAVRAMSAL YAKLAŞIM

Bu bölümde bir DC (Direct Current) kaynaktan AC (Alternating Current) çıkış üretmekte kullanılan invertörlerin genel çalışma mantığı incelenecek, invertörü oluşturan eleman ve yapılar üzerinde durulacaktır. AC çıkış anahtarlama işlemleri ile elde edilir ve elde edilen dalga şekli gerilim parçacıklarından oluşur. Bu parçacıkların değeri pozitif, negatif veya sıfır olabilir, fakat genel olarak sadece bir adet sıfır olmayan genlik vardır [1].

2.1. Doğru Akımın Alternatif Akıma Çevrilmesi

Doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi için anahtarlama işlemi kullanılmaktadır. Anahtarlama işlemi ile doğru akım yüke yarım köprü ya da tam köprü yapısı ile aktarılır. Sonuç olarak yüke aktarılan akımın yönü sürekli değiştirilir ve neticede yük üzerinden alternatif akım akması sağlanır.

2.1.1. Yarım köprü yöntemi



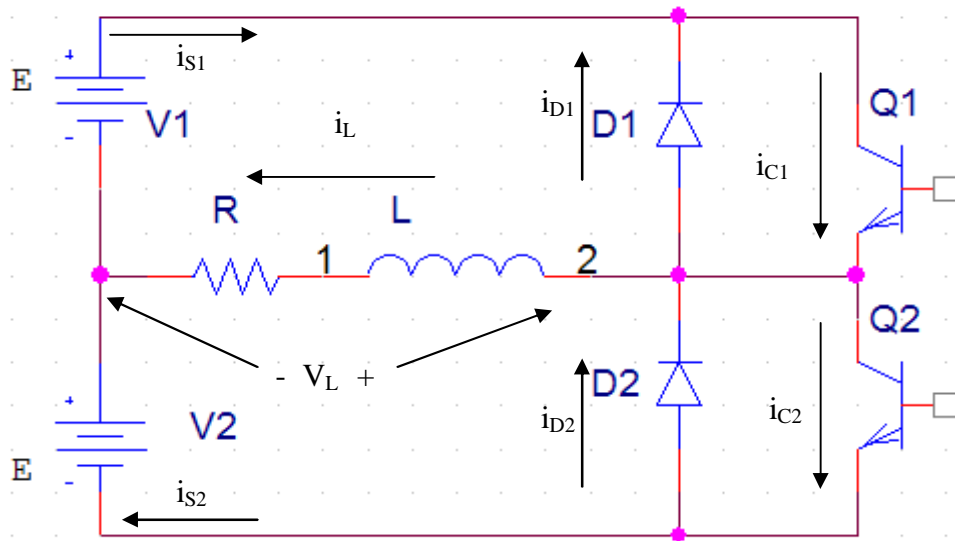
Şekil 2.1 – Yarım köprü yapısı

Şekil 2.1 deki devre yapısı ile doğru gerilim anahtarlansak bir direnç endüktans çiftine anahtarlama frekansında bir alternatif akım aktarılabilir. Aktarım sırasında her yarı periyotta yalnızca bir anahtar üzerinden akım akıtılacaktır. Yani bir anahtarın

akım akıttığı zaman dilimi içerisinde diğer anahtar akım akıtmayacaktır. Böylece yük üzerinde yönü sürekli değişen bir akım, alternatif akım oluşacaktır. Devrede iki tane anahtar kullanıldığı için yapıya yarım köprü denmektedir.

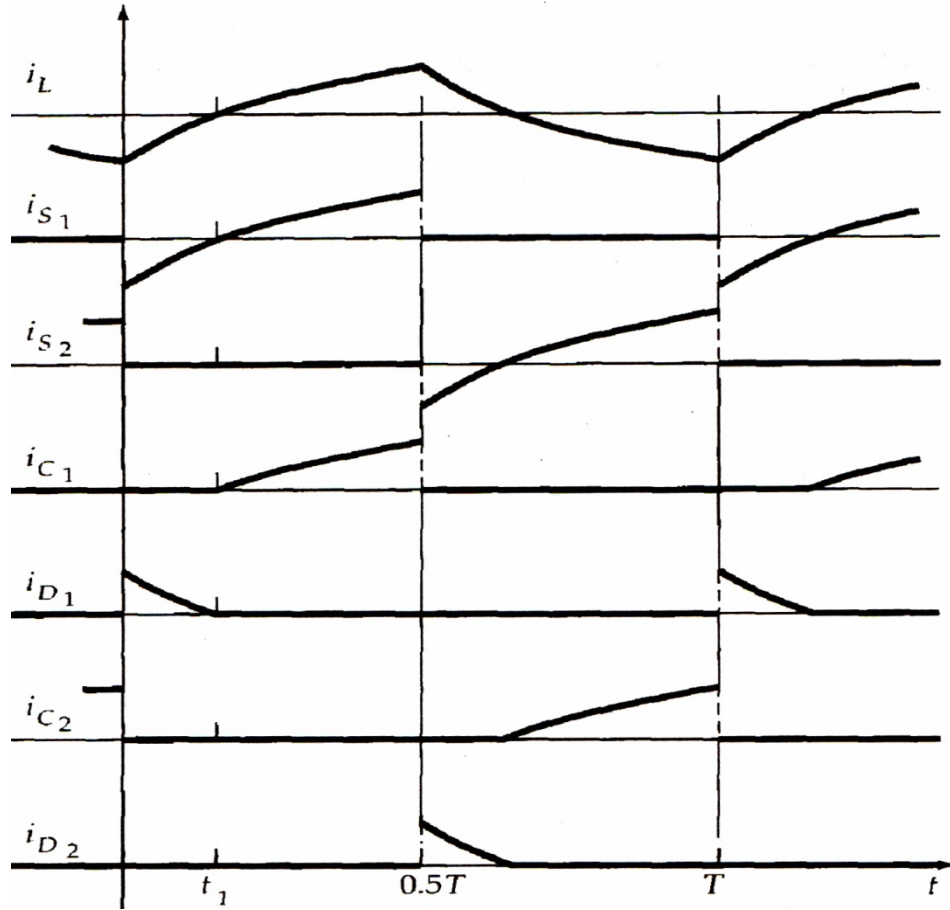
Devrede kullanılan anahtarlar BJT (Bipolar Junction Transistor), SCR (Silicon Controlled Rectifier), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) veya MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) olabilir. İdeal durumda anahtarlar üzerinde gerilim düşümü olmayacağı düşünülse de, yüksek akımlar akıtan elemanlar üzerinde bir miktar gerilim düşümü olması kaçınılmazdır.

Bu yapıda R direncini L endüktansının iç direnci olarak düşünürsek, endüktans üzerinde değeri art arda E ve -E olan bir kare dalga üretilmektedir. Endüktans üzerindeki gerilimin polaritesi, endüktans içinden akan akımın arttığını veya azaldığını göstermektedir. Yapıda dikkat edilmesi gereken bir nokta, herhangi bir anahtar iletimden yalıtıma sokulduğunda endüktans üzerinden akan akımın bir anda durmayacağıdır. Endüktans, üzerinden akan akımın sürekliliğini sağlamak için kaynak gibi davranarak ters yönde çok büyük gerilimler endükleyecektir. Bu zıt emk (Elektro Motor Kuvvet) yarıiletken elemanları kolayca delebilir. Bu sebepten ötürü, yapıda kullanılan anahtar elemanlara paralel olarak ters yönde iletme girecek yeterince hızlı koruma diyotları bağlanması gerekmektedir. Bu diyotlar vasıtasıyla endüktans üzerinde depolanmış enerji gereken anlarda besleme kaynağına geri pompalanır. Koruma diyotları eklenmiş ve anahtar olarak BJT transistör kullanılmış bir devre şekil 2.2 de verilmiştir.



Şekil 2.2 – BJT ve koruma diyotları ile yarım köprünün oluşturulması

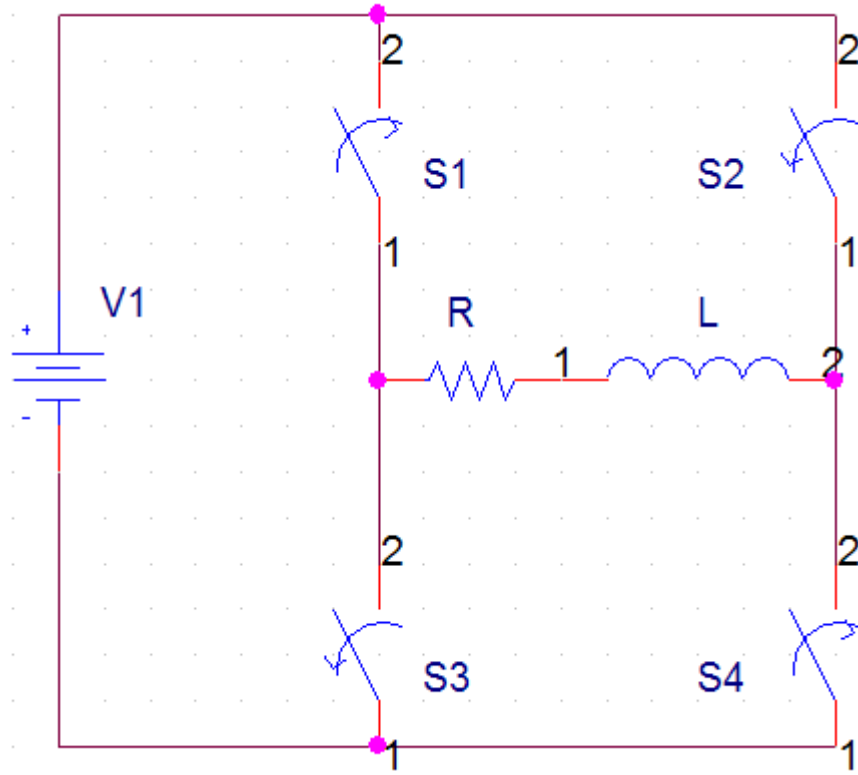
Verilen devrede Q_1 ve Q_2 transistörleri art arda anahtarlanmaktadır. Bu devrede Q_1 iletimde iken i_L pozitifdir. Q_1 ' in baz akımı kesildiği anda Q_1 iletimden çıkacak ve i_{C1} sıfırlanacaktır ama i_L akımının bir anda sıfıra düşmesi söz konusu değildir ve i_L sıfırlanana kadar azalacaktır ve bu zaman diliminde endüktans, devresini D_2 üzerinden tamamlayacaktır. i_{D2} akımının değeri gittikçe düşer. Aslında D_2 diyotunun iletimde olduğu bu evrede V_2 kaynağı doldurulur, endüktans üzerindeki enerjiyi V_2 kaynağına aktarır. Ne zaman ki i_L sıfıra düşer, işte o an endüktansın akım yönü değişir ve Q_2 iletime geçer. i_{C2} akımı giderek artar. Q_2 anahtarının baz akımı kesildiğinde ise bu kez de i_{D1} akımı devreye girer. Bu döngü sürüp gider. Döngüye ait akımların zaman grafiği aşağıda verilmiştir. Akımların birbirlerine göre durumunu gösteren şekil 2.3 incelendiğinde yarım köprü yapısı daha iyi anlaşılacaktır [1].



Şekil 2.3 – Yarım köprü yapısında akımların birbirlerine göre konumu

2.1.2. Tam köprü yöntemi

Yarım köprü yapısının çift kaynağa ihtiyaç duyması pratikte problem yaratacağından dolayı kullanım alanları daha sınırlıdır. Oysaki tam köprü yapısı ile tek kaynak kullanılarak doğru gerilim alternatif gerilime çevrilmektedir. Yapı kaynak sayısı açısından avantajlı olsa da, bu kez de iki anahtar yerine dört anahtar kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Dahası, iletim anında gerilim düşümü tek anahtar üzerinden değil, iki anahtar üzerinden olmaktadır. Bir başka deyişle anahtar kayıpları yarım köprüdekinin iki katı mertebesindedir. Diğer bir olumsuzluk ise üstteki S_1 ve S_2 anahtarlarının kapılarını sürmek için daha yüksek gerilimler gerekmektedir. Bir güç mosfetini düşünürsek, geçit potansiyeli kaynak potansiyelinin V_{th} (3-4V mertebelerinde bir değer) kadar üzerinde olduğu zaman mosfet anahtarlanacaktır [2]. Yani V_1 12V ise S_1 ve S_2 mosfetlerinin geçiti en az 15V ile sürülmelidir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için genelde kapasitif anahtarlamalı düzenler kullanılmaktadır. Tam köprü, diğer adıyla H köprüsü yapısı şekil 2.4 te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 – Tam köprü yapısı

H köprüsü invertör olarak kullanıldığı gibi, doğru akım motoru sürmek için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yükün bir DC motor olduğunu farz edersek, S1 ve S4 anahtarları ile motor bir yönde hareket ettirilirken, S2 ve S3 anahtarları ile motor önce fren yaptırılıp sonra da zıt yönde harekete geçirilebilmektedir. Frenleme sırasında motor üzerinde depolanmış olan enerji, kullanılan aküye geri basılmakta ve bu zaman dilimi içerisinde akü doldurulmaktadır. Böylece akünün ömrü uzatılmaktadır.

2.2. Darbe Genişliği Modülasyonu

Darbe genişliği modülasyonu, belirli bir frekanstaki işaretin darbe periyot oranının başka bir sinyalle kontrol edilmesidir. Darbe genişliği modülasyonu ile sürülen bir anahtar modülasyonlu işaretin lojik 1 konumunda olduğu anlarda iletimde, modülasyonlu işaretin lojik 0 konumunda olduğu anlarda ise yalıtımda olacaktır. Yöntemin getirisi, anahtarın açık ve kapalı olma süre oranının kontrol edilerek çıkış geriliminin kontrol edilmesine olanak sağlamasıdır. Çıkıştaki yükün sabit olmadığı negatif geribeslemeli bir güç uygulamasında, darbe genişliği modülasyonu sayesinde hızlı ve etkin bir şekilde çıkış geriliminin istenen bir değerde sabit tutulması sağlanabilir. Ayrıca darbe genişliği modülasyonu ile sürülen anahtar herhangi bir anda ya tam iletimde ya da tam yalıtımda olacağından anahtar üzerinde harcanan güç en düşük mertebede olacaktır. Bu da sonuç olarak verimi artıracak ve anahtarın soğutulması problemini çok büyük ölçüde azaltacaktır. Örnek olarak IRF2804 mosfeti için $R_{ds(on)}$ iletim direnci yalnızca $1.8m\Omega$ dur [3]. Bunun anlamı şudur: bu mosfetin geçit girişine kaynak potansiyelinin 10V üzerinde bir sinyal uygulanırsa, mosfet $1.8m\Omega$ iç direnci olan bir anahtar gibi davranır. Yani bu mosfet üzerinden 75A akım akıtılsa bile, üzerinde teorik olarak sadece 135mV gerilim düşümü olmaktadır. Pratikte ise durum daha farklıdır ve bir tek mosfetin üzerinden termal problemlerden ötürü bu denli büyük akımlar akıtılmaz. Genelde özel mosfetler kullanılmadığı sürece, büyük yük akımları akıtmak için mosfetlerin paralellenmesi yoluna gidilerek yük akımı birden fazla mosfete paylaşılır. Bu durumda gerilim düşümü ve sonuçta mosfetler üzerinde harcanan güç birkaç kat daha azalacaktır.

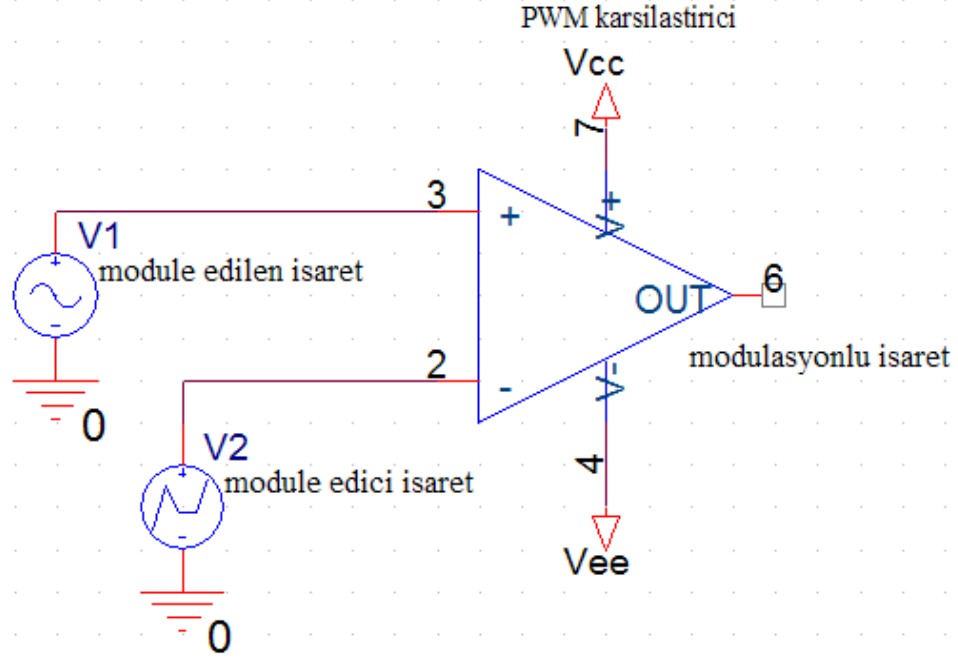
Genel olarak darbe genişliği modülasyonu kullanılarak bir güç katında çıkış geriliminin genlik kontrolü, çıkış geriliminin regülasyonu, çıkış geriliminin dalga

şekli kontrolü, çıkış frekansının kontrolü, çıkışın harmonik içeriğinin kontrolü gibi kontrolleri yapmak mümkündür [1]. Ayrıca modülasyonun yapısı gereği anahtarlar sürekli açık ve kapalı konumlarda çalıştığından bu sistemlerin yüksek verimle çalışacağı açıktır.

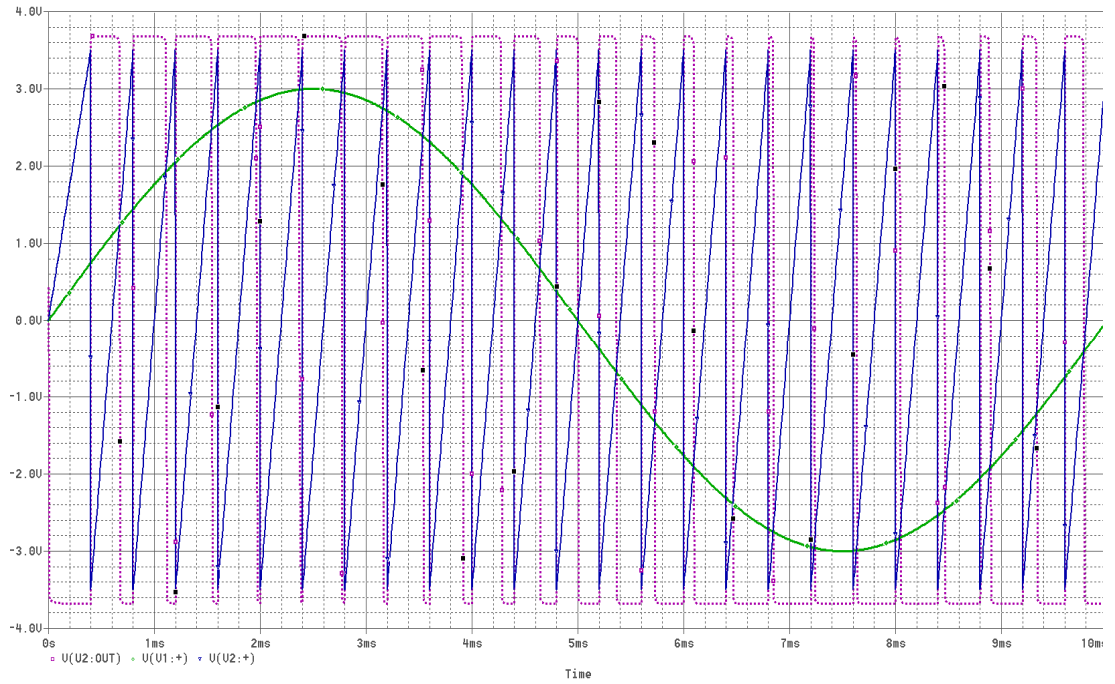
2.2.1. Darbe genişliği modülasyonlu işaretlerinin üretimi

Genel olarak darbe genişliği modülasyonlu bir işaretin üretilmesi için modüle edici yüksek frekanslı bir işaret üretilir. Modüle edici işaret, diğer bir deyişle taşıyıcı işaret veya örnekleme işaretidir. Bu işaret genlik olarak, modüle edilecek işaretin genliğinden tepe değer olarak daha büyük, taban değer olarak daha küçük seçilmelidir. Frekans olarak ise modüle edilecek işaretin frekansından en az üç dört kat daha büyük seçilmelidir. Dalga şekli olarak ise testere dişi veya diğer adıyla rampa dalga şekli tercih edilmektedir. Örnek bir d sınıfı ses kuvvetlendiricisi incelendiğinde ön yükselticiden geçen ses işaretinin 80KHz frekanslı, tepeden tepeye 10V genlikli bir testere dalga ile karşılaştırıldığı gözlenmiştir.

Nyquist örnekleme teoremine göre, bir işaretin tekrar elde edilebilmesi için en yüksek frekanslı bileşenin en azından iki katı örnekleme frekansı ile örneklenmesi gerekir. Teoride durum böyle iken, pratikte örnekleme frekansının örneklenecek en yüksek frekanslı işaret frekansının iki katından da daha büyük seçilmesi gerekmektedir. Şöyle ki, modüle edilmiş işaret demodüle edilirken taşıyıcı işareten arındırılmak için alçak geçiren filtreden geçirilmektedir. Çok keskin filtrelerin tasarımının güç ve maliyetli olmasından ötürü, taşıyıcı işaret mümkün olduğunca yüksek frekanslı seçilmektedir. Taşıyıcı işaret ile taşınan işaretin frekansları arasında ne kadar fark olursa filtreleme işlemi o kadar kolay olacaktır. Yukarıda verilen ses örneğine geri dönecek olursak, 80KHz frekanslı örnekleme işareti insan kulağının duyabileceği en yüksek frekans olan 20KHz in tam dört katı seçilmiştir. Böylece daha basit bir filtre katı tasarlanabilmesi mümkün kılınmıştır. Modülasyonun gerçekleşmesi için şekil 2.5 ile gösterilen yapı kullanılmaktadır ve bu yapı PWM (Pulse Width Modulation) karşılaştırmacı olarak bilinmektedir.



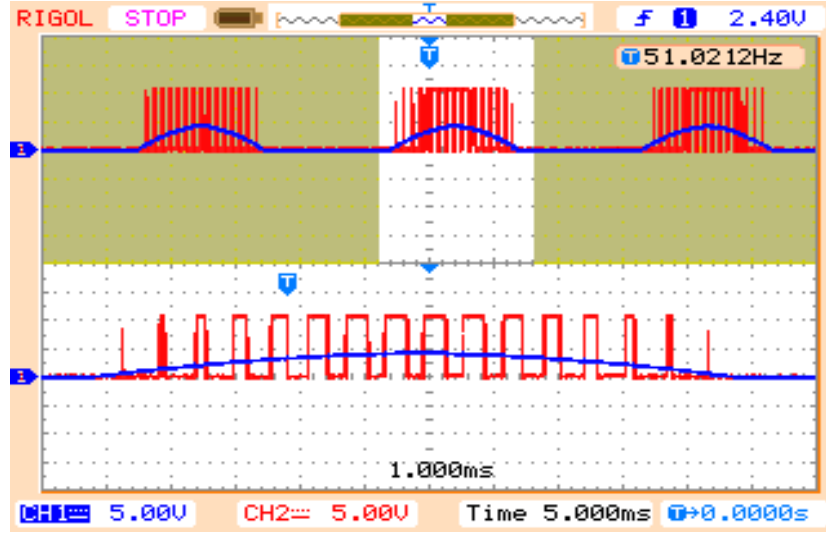
Şekil 2.5 – Darbe genişliği modülasyonlu işaretin üretimi



Şekil 2.6 – Benzetim sonucu elde edilen pwm işareti

Şekil 2.6 da ise sinüs şeklindeki bir işaretin modüle edilmesinin benzetim sonucu görülmektedir. Testere biçimindeki işaret modüle edici işaret olup, sinüs biçimindeki işaret ise modüle edilen işarettir. Kesikli çizgi ile gösterilen işaret ise modüle edilmiş işarettir. Görüldüğü gibi haber işaretinin genliğinin artması modülasyonlu işarete darbe süresinin artışına karşılık gelmektedir. Düşük genlikteki haber işarete

karşılık darbe süresi küçük bir işaret üretilirken, büyük genlikli haber işaretine karşılık darbe süresi modüle edici işaretin periyoduna yaklaşan bir işaret üretilmektedir.

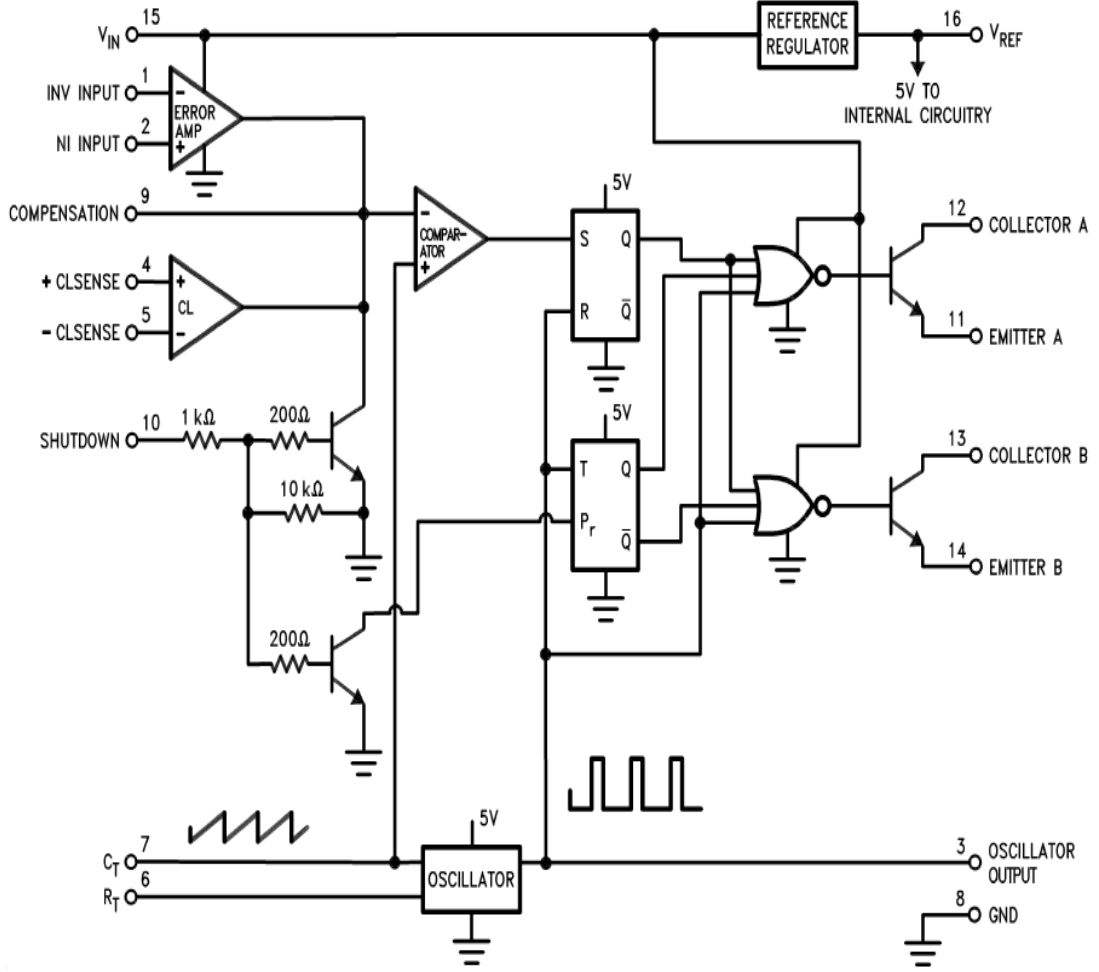


Şekil 2.7 – Darbe genişliği modülasyonu işaretinin osiloskopta gözlenmesi

Şekil 2.7 de ise bir sinüs işaretinin yalnızca pozitif alternansının süzülüp modüle edilmesi sonucu elde edilen osiloskop görüntüsü gösterilmiştir. Örneklemeye işareti haber işaretine göre oldukça yüksek frekanslı olduğundan, görüntü ile ilgili ayrıntılar ancak görüntünün bir bölgesi yaklaştırılarak gösterilebilmiştir.

Darbe genişliği modülasyonu sonucu üretilen işaretler, haber işaretinin frekansının yanı sıra taşıyıcı işaretin frekansını da bünyelerinde barındırmaktadırlar. Modülasyonu işaretler demodüle edilirken bu yüksek frekanslı bileşenlerin süzülmesi gerekmektedir. Bunun için genellikle uygun yapıda alçak geçiren LC filtrelerinden yararlanılmaktadır [4].

PWM işaretlerinin nasıl üretilebileceğinin daha iyi anlaşılması için örnek bir modülatör olan LM3524 tümdevresinin içyapısı incelenecektir. LM3524 tümdevresinin içyapısı şekil 2.8 de gösterilmiştir [5].



Şekil 2.8 – LM3524 tümdevresinin içyapısı

Tümdevre bünyesinde iki adet hata üretici, bir adet PWM karşılaştırıcısı, bir adet yerel osilatör, bir adet referans üretici ve push pull yapıda da kullanılabilen iki adet sürücü transistör barındırmaktadır. Hata üreticileri kullanılarak tasarlanan sistemin çıkışında üretilen işaretin genliği sürekli kontrol altında tutulmakta ve darbe boşluk oranı ayarlanarak çıkış gerilimi istenen değerde tutulabilmektedir. Push pull kullanımda, transistörlerinin birinin iletimde olduğu anda diğerinin yalıtımda olması gerekmektedir. Bu problem, T tipi flip flozun Q ve Q' çıkışlarının birisinin bir nor kapısına, diğerinin ise diğer nor kapısına etki etmesi ile çözülmüştür.

2.3. İnvörtör Sisteminin Bileşenleri

Bir invertör sistemi genel olarak şu birim ve elemanlardan oluşur:

1. Güç Transistörleri
2. Anahtar Elemanlarını Süren Yardımcı Birimler

3. Yerel Osilatör
4. Referans ve Hata Gerilimi Üreteçleri
5. Darbe Genişliği Modülatörü
6. Transformatör

2.3.1. Güç transistörleri

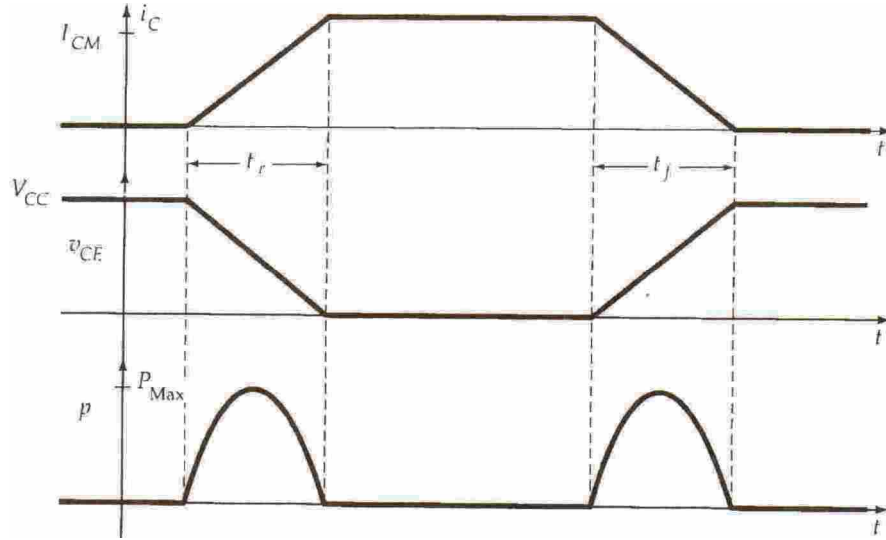
Güç transistörleri, bir invertör sisteminin en önemli ve nispeten pahalı elemanlarından biridir. Bir invertör yapısında, invertörün çalışma koşulları göz önünde bulundurularak farklı tipte transistörler kullanılabilir. Kullanılan transistör BJT, SCR, MOSFET veya IGBT türünde olabilir. Ancak unutulmamalıdır ki, bir invertör ancak doğru transistör seçilerek tasarlandığında en yüksek verim veya başarımla çalışacaktır. Farklı tipte transistörler farklı uygulama ihtiyaçlarını karşılayabilmektedirler. Bu başlık altında yaygın kullanım sahası bulan BJT, MOSFET ve IGBT lerden bahsedilecektir.

2.3.1.1. BJT

BJT, bipolar jonksiyon transistörünün kısaltılmış gösterimidir. BJT ler günümüz elektronik sektöründe çok önemli bir yer tuttuğu gibi, güç uygulamalarında da geniş kullanım alanı bulmaktadırlar. BJT ler nispeten ucuz olduğu ve BJT ile tasarım yapmanın kolay olması sebeplerinden dolayı bu denli büyük bir pazar payına sahiptir. Güç uygulamalarında kullanılan transistörler yüksek akımlar akıttığı için genellikle akım kazançları düşük mertebelindedir. Bu nedenle, bir güç BJT sini süren kat yüksek akım akıtabilme kapasitesine sahip olmalıdır. Bu problemi aşmak için güç uygulamalarında genellikle darlington yapılı güç transistörleri kullanılmaktadır. Problemin daha net anlaşılması için piyasada yaygın olarak kullanılan iki BJT nin 10A akım akıtırken ve 4V V_{CE} gerilimi tutarken sağladıkları en düşük akım kazançları karşılaştırılabilir. Örnek olarak bu değer 2N3055 için sadece 5 civarında iken TIP142 darlington transistörü için 500 civarındadır. Diğer bir deyişle 10A kollektör akımı akıtmak için bir transistör 2A baz akımına ihtiyaç duyarken diğeri ise sadece 20mA baz akımına ihtiyaç duymaktadır.

Diğer yandan BJT nin iletimi ve kesimi süresince ihmal edilemeyecek kadar büyük güç kayıpları vardır. Anahtarlama kayıpları şekil 2.9 da gösterildiği gibi kollektör akımının veya diğer bir deyişle kollektör-emetör geriliminin bariz değişim aralığı

süresince oluşur [1]. Bu kayıplar yükselme ve düşme süreleri ile orantılıdır ve bu süreler en düşük düzeye indirildiğinde bahsedilen kayıplar da en düşük miktara inecektir.



Şekil 2.9 – BJT için anahtarlama kayıpları

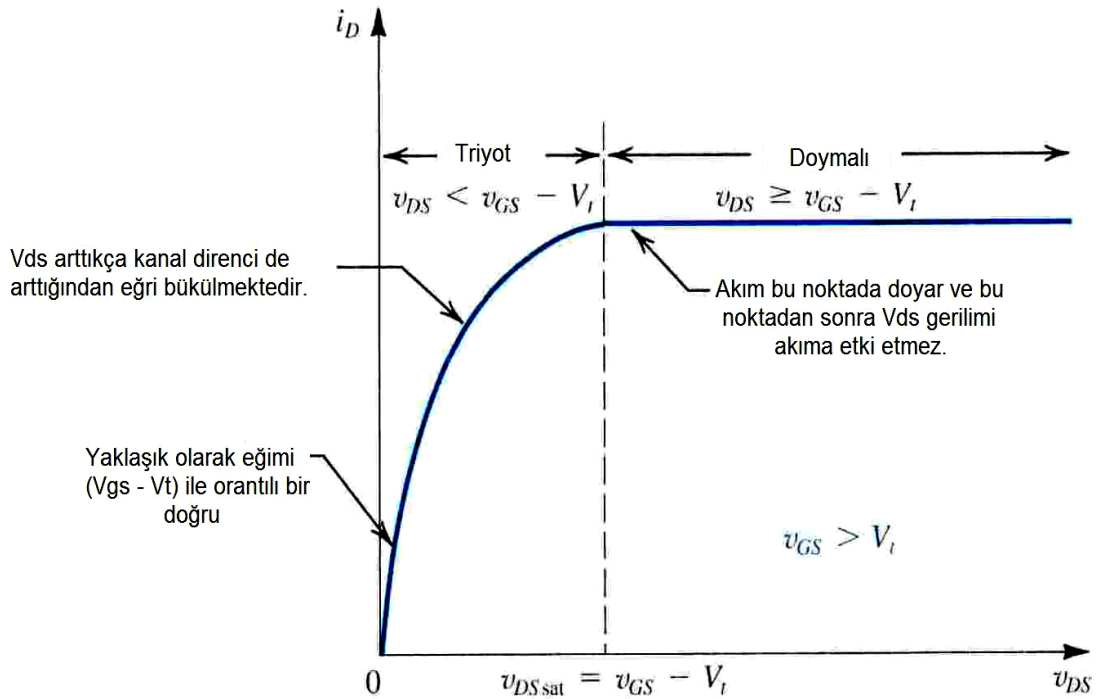
2.3.1.2. MOSFET

MOSFET, metal oksit yarıiletken alan etkili transistörün kısaltılmış adıdır. Endüstriyel elektronikte yaygın bir kullanım alanı bulan güç mosfetleri, 1976 yılından beri piyasada bulunmaktadır [6]. Günümüzde 10MHz frekansta anahtarlama yapan sistemlerde bile güç mosfetleri kullanılmaktadır [7]. Mosfetlerin ortaya çıkması, bazı uygulamalarda BJT lerin yerine geçmesine neden olmuştur. Yüksek frekanslı anahtarlamanın gerektiği durumlarda mosfetler bjtlerden daha az toplam kayba sahiptir [1]. Alan etkili transistörler BJT ler ile karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

1. Alan etkili bir transistör tipik olarak 100MΩ gibi çok yüksek bir giriş direncine sahip iken BJT transistörler için bu değer tipik olarak yalnızca 2KΩ civarındadır [8].
2. FET (Field Effect Transistor) ler BJT lerden daha az alan kaplar ve bu nedenle tümdevre yapılarında daha yaygın olarak kullanılır [8].
3. FET ler BJT lere kıyasla daha yüksek ısı kararlılık sağlayabilecek şekilde çalıştırılabilir. FET in çalışması, akımın kanal olarak adlandırılan yarıiletken bölge içerisindeki çoğunluk taşıyıcılarla iletimine dayanır. Bu nedenle akımın sıcaklığa bağımlılığı bipolar transistöre göre daha azdır [9].

4. FET ler BJT lerden daha az gürültülüdür. Bu nedenden ötürü düşük düzeyli yükselteçlerin giriş katları için daha uygundur. Örnek olarak FET ler hi-fi (high fidelity) FM alıcı yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır [8].
5. FET ler anahtar veya kıyıcı olarak kullanıldığında sapma gerilimi yoktur [8].
6. FET ler yayınıma karşı nispeten duyarsızdır, buna karşın BJT ler oldukça duyarlıdır. BJT lerin özellikle h_{FE} değeri radyasyondan çok etkilenmektedir [8].
7. FET ler kolayca paralellenebilir [6].
8. FET ler ikincil belverme etkilerine maruz kalmazken, ikincil belverme BJT ler için ciddi bir problem teşkil etmektedir [6].
9. FET ler kolayca hasar görebilir.
10. FET lerin bant genişliği BJT lere nazaran daha küçüktür [9].
11. FET lerin eğiminin küçük olması nedeniyle büyük kazanç değerlerinin elde edilmesi zordur [9].

Mosfetler iki ana uygulama grubunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma alanları, mosfetlerin anahtar olarak kullanıldığı uygulamalar ve lineer uygulamalardır [6]. Diğer bir deyişle bu iki kullanım alanına karşılık gelen çalışma modları triyot veya direnç bölgesi ile doymalı bölgede çalışma modlarıdır [10]. Şekil 2.10 incelendiğinde mosfetin çalışma bölgeleri daha iyi kavranacaktır.



Şekil 2.10 – Mosfetin çalışma bölgeleri

Bir mosfet triyot modunda çalıştırıldığı zaman, savak akımı geçit-kaynak geriliminin sürekli bir fonksiyonu olacaktır. Bu çalışma bölgesinde mosfet aslında gerilim kontrollü bir direnç olarak çalışmaktadır. Bir mosfet triyot modunda çalıştırılarak akım kontrolü yapılabilir. Bu tür bir uygulamaya bir mosfetin geçit-kaynak geriliminin kontrol edilerek bir fanın devir kontrolünün yapılması örnek gösterilebilir.

Bir mosfet anahtar modunda çalıştırıldığı zaman ise ya tam iletimde ya da tam yalıtımda kalacak şekilde çalışır. Mosfet iletimde iken üzerinde önemli bir gerilim tutmaz ve önemli miktarda akım akıtabilir. Bununla birlikte, mosfet yalıtımda iken tüm gerilimi üzerinde tutar ve neredeyse hiç akım akıtmaz. Sonuç olarak mosfet hep bu iki uç durumda çalıştırıldığı için üzerinde önemli güçler harcanmaz. Kayıplar dinamiktir, mosfet iletme ve yalıtıma geçerken oluşur. Bu nedenle anahtarlama hızı arttıkça bu kayıpların artacağı ve yüksek frekanslarda daha hızlı mosfetlerin kullanılması gerekeceği barizdir. Anahtarlama kayıplarının çok basit şekilde hesaplanması mümkün değilken, sürekli durumda mosfet üzerinde statik olarak kaybolan güç (2.1) bağıntısı ile kolayca bulunabilir.

$$P = I_D^2 R_{DS(iletim)} \quad (2.1)$$

Mosfetin anahtarlama kayıplarını azaltmak için geçidini çok hızlı sürmek şarttır. Mosfetin parazitik kapasiteleri ne kadar çabuk doldurulup boşaltılırsa, mosfet o kadar çabuk konum değiştirecektir ve anahtarlama kayıpları o kadar azalacaktır. Bunun için mosfetlerin iyi tasarlanmış kaliteli sürücülerle sürülmesi gerekmektedir.

Mosfetlerin anahtar modda kullanıldığı uygulamalara örnek olarak anahtarlama güç kaynakları, gerilim dönüştürücüler ve motor kontrol düzenleri gösterilebilir.

2.3.1.3. IGBT

IGBT, yalıtılmış kapı bipolar transistörünün kısaltılmış adıdır. IGBT baz akımı olmayan veya bazı mosfet ile sürülen bir BJT gibi düşünülebilir. Çalışması bir MOSFET ten çok BJT ye benzer [1]. IGBT ler BJT ve MOSFET in avantajlarını üzerinde taşır. Bir IGBT, MOSFET gibi yüksek giriş empedansına sahiptir. Yine bir MOSFET gibi ikincil belverme problemine sahip değildir [1]. Transistörün yüksek olan eğiminden yararlanmak amacı ile üretilmiştir [9]. Bu nedenle BJT gibi düşük iletim kayıplarına sahiptir [1]. Dahası BJT gibi sağlam bir elemandır. IGBT ler de

MOSFET ler gibi gerilim kontrollü çalışırlar. IGBT ler bu avantajlarından ötürü kullanım alanı bulmaktadırlar. Ancak IGBT MOSFET e kıyasla dezavantaja da sahiptir. Anahtarlama hızı açısından, bir IGBT bir MOSFET ten daha yavaştır.

Bir IGBT 400A anma akımına, 1200V dayanma gerilimi değerine ve 20KHz anahtarlama frekansı gibi değerlere sahip olabilir [1]. IGBT lerin kullanım alanlarına örnek olarak DC ve AC motor sürücüleri, güç kaynakları ve katı hal röleleri gösterilebilir.

2.3.2. Anahtar elemanlarını süren yardımcı yapılar

Bir anahtar elemanını sürmek için de enerji harcamak gerekir. Yeterli hızda ve seviyede sürülemeyen anahtarlar istenmeyen bölgelerde çalışabilir ve büyük kayıplara neden olabilir. İstenen özelliklerde anahtarlama yapabilmek için genellikle özel sürücü yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Örnek olarak sürülen yapı bir güç BJT si ise büyük baz akımları söz konusu olacaktır ve sürücü yapı bu büyük baz akımını verebilecek özelliklerde olmalıdır. Bir güç mosfetinin sürülmesinin gerektiği durumlarda ise mosfetin geçit ucundan akım çekmeyeceği düşünülebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, yüksek hızlarda anahtarlanan bir güç mosfetinin parazitik kapasiteleri ihmal edilemez. Mosfeti iletme sokabilmek için önce bu parazitik kapasiteleri doldurmak gerekir. Genel olarak bir güç mosfetini sürmek için gereken ortalama geçit akımı aşağıdaki formülle bulunabilir [7]:

$$I_G = Q / t \quad (2.2)$$

Verilen formülde

I_G : Ortalama geçit akımı,

Q : Toplam yük ($Q_{GS} + Q_{GD}$),

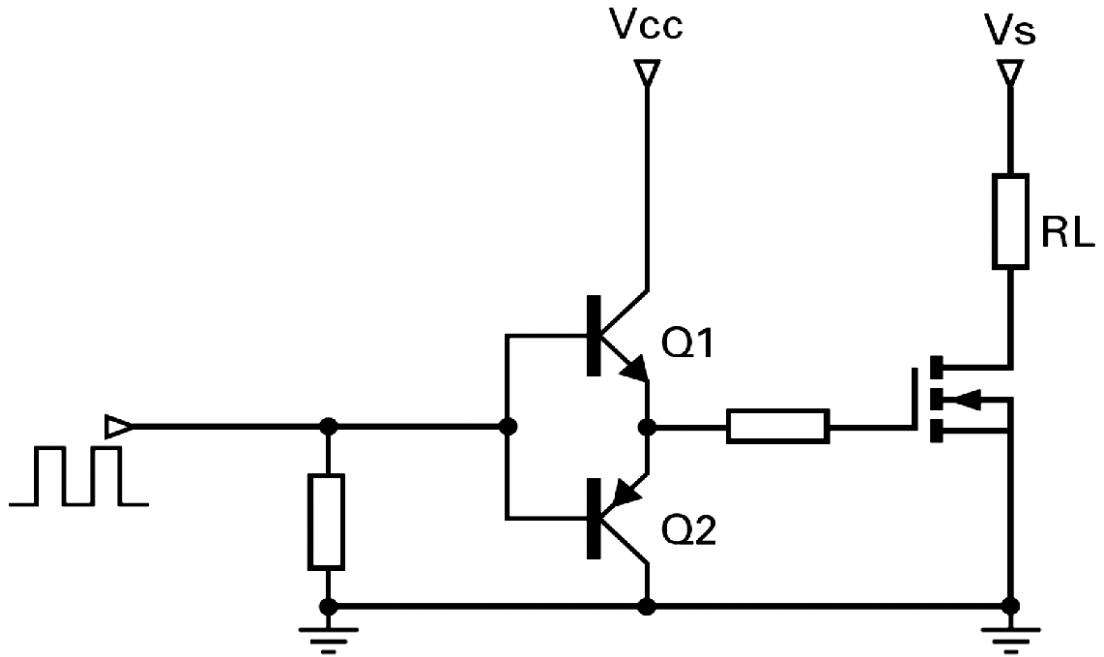
t : Anahtarlama süresi (t_{iletim} ya da $t_{yaltım}$) dir.

Örnek olarak bir güç mosfetinin 20ns sürede anahtarlanmak istendiği düşünölsün. Bu mosfet ortalama 145nC yük depoluyorsa, bu hızda bir anahtarlama yapabilmek için mosfetin geçidinden ortalama 7.25A akım akıtmak gerecektir. Bu denli büyük bir akımı akıtılabilmek için özel bir sürücü kata ihtiyaç duyulacağı aşikardır. Bu geçici zaman dilimi içerisinde mosfet istenmeyen bölgede çalışacaktır ve üzerinde önemli miktarda güç harcanacaktır. Sonuç olarak frekansa bağlı olarak mosfeti çok hızlı açıp kapatabilecek, dolayısıyla anlık olarak büyük akımlar akıtılabilecek yapıların kullanılması gerekmektedir.

Genel olarak sürücü bir yapının aşağıdaki dört özelliği önem arz eder [7]:

- en yüksek ani akımı
- akım kazancı
- maliyeti
- boyutları

Bu ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliklerde izoleli ve izolesiz çeşitli tümdevre çözümler piyasada yaygın olarak bulunmaktadır. Ancak ihtiyaç duyulan özelliklerdeki sürücü yapmayı tasarlamak da gerekebilir. Bir NPN ve bir PNP transistör emetör ve bazları ortak bağlanarak totem pole olarak bilinen şekil 2.11 de gösterilen tampon yapısı oluşturulabilir. Bu yapının çıkış akımı içeri ve dışarı yönlü olabildiğinden birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu tampon yapısı sayesinde yüksek akım kazancı sağlanır mosfetler çok daha kısa sürelerde anahtarlanabilir. Transistörler darlington yapıda seçilerek akım kazancı çok yüksek tutulabilir. Sonuç olarak mosfet kayıpları bu yapı kullanılarak azaltılabilir.



Şekil 2.11 – Totem pole sürücü yapısı

2.3.3. Yerel osilatör

Darbe genişliği modülasyonu ile çalışan bir yapıda yerel osilatör biriminde üretilen işaret ancak bir takım sayısal işlem ve karşılaştırmalardan geçtikten sürücüye ulaşır. Bu işlemler arasında ölü zaman yaratma ve push pull yapılar için iki farklı sürücüye

kumanda edebilecek iki farkı sinyal üretme gibi işlemler bulunabilir. Genel olarak anahtarlama frekansı yerel osilatörde üretilen işaretin frekansına eşittir.

2.3.4. Referans üretici, hata üretici ve darbe genişliği modülatörü

Anahtarlama regülatör yapılarında genel olarak kararlı bir lineer referans gerilimi regülatörü bulunur. Bu referans gerilimi üreticiden alınan işaret çıkışta üretilen işaretten alınan örneklerle sürekli karşılaştırılır ve karşılaştırma sonucuna göre bir hata gerilimi üretilir. Sonuçta üretilen bu hata gerilimine göre darbe süresi artırılarak ya da azaltılarak çıkış gerilimi regüle edilir. İşte bu referans gerilimini üreten kaynağa referans üretici denir. Hata gerilimini üreten karşılaştırıcı yapısına da hata üretici denir.

Şekil 2.8 de içyapısı gösterilen LM3524 tümdevresi bünyesinde bir tane referans üretici, iki tane hata üretici ve bir tane PWM karşılaştırıcısı barındırmaktadır. Hata üreticinin çıkışında üretilen işaret pwm karşılaştırıcı veya diğer adıyla pwm modülatöre iletilir. PWM karşılaştırıcının diğer girişinde ise testere biçimindeki örnekleme işareti bulunmaktadır. PWM karşılaştırıcının çıkışında üretilen işaret ile çıkış transistörleri sürülmektedir.

2.4. Çıkış Geriliminin Regüle Edilmesi, Geribesleme

Anahtarlama bir regülatör yapısında çıkış geriliminin regülasyonu, sisteme negatif geribesleme uygulanarak darbe periyot oranının değiştirilmesiyle sağlanır. Genel olarak darbe periyot oranı arttıkça çıkış geriliminin etkin değeri de yükselir. Yapısında transformatör kullanılan bir regülatörde, bakır sargıların direnci nedeniyle kayıplar olacaktır. Bu kayıplar çıkıştan çekilen akım arttıkça artacaktır. Ve sonuç olarak sistemde darbe periyot oranına müdahale edebilecek negatif geribeslemeli bir kontrol mekanizması kullanılmamış ise çıkış gerilimi düşecektir. Çıkış akımı transformatörün sınır değerine kadar arttığında çıkıştaki gerilim düşümü önemli mertebelerde olacaktır. Bu sıkıntıyı ortadan kaldırmak ve gerilim regülasyonunu sağlamak üzere anahtarlama düzenlerinde yaygın olarak negatif geribeslemeli darbe genişliği modülasyonu ile darbe periyot oranını kontrol etme çözümüne gidilmektedir. Toplam çevrim kazancının negatif olması sonucunda çıkış gerilimi istenen değere oturtulmaktadır ve sisteme kararlılık kazandırılmaktadır.

Şekil 2.8 de gösterilen LM3524 tümdevresinin içyapısı incelendiğinde negatif geribeslemenin sistemin çalışmasına ve regülasyonun sağlanmasına nasıl katkıda bulunduğu daha iyi anlaşılacaktır. Hata üreticilerinin yalnız birinin kullanıldığı, tümdevrenin transistörlerinin emetör takipçisi yapısında mosfetler üzerinden bir transformatörü anahtarladığı varsayılınsın. Ayrıca hata üreticinin evirmeyen girişine referans üreticinin ürettiği 5V luk gerilimin verildiği ve eviren girişinin de çıkışta üretilen gerilim doğrultulup örneklenerek beslendiği kabul edilsin. Çıkış geriliminin artması sonucu örneklenen gerilimin değeri de artacaktır. Böyle bir durumda örneklenen gerilim referans geriliminin üzerine çıkacak bunun sonucunda hata üreticinin çıkışında lojik 0 gerilimi oluşacaktır. Hata üreticinin çıkışı pwm karşılaştırıcının eviren girişine bağlı olduğundan, eviren girişi lojik 0 ile beslenen pwm karşılaştırıcı lojik 1 çıkışı üretecektir. PWM karşılaştırıcının çıkışı ise SR (Set-Reset) flip flozunun S girişine bağlı olduğu için, SR flip flozu lojik 1 çıkış üretecektir. Herhangi bir girişi lojik 1 olan NOR kapıları lojik 0 çıkışını üretecektir. Ve sonuç olarak lojik 0 ile sürülen NPN transistörler tıkamaya girecektir. NPN transistörler tıkamaya girdiği için çıkış geriliminin genliği düşecektir.

2.5. Ölü Zaman Kavramı ve Önemi

Yarım köprü, tam köprü ve push pull yapılarında anahtarların aynı anda açılması istenmeyen bir durumdur. Böyle bir durumda kaynak veya kaynaklar kısa devre olabilir. Bu sebepten ötürü anahtarların arasında genellikle sistemin çalışmasına etki etmeyecek büyüklükte bir ölü zaman bırakılır. Ölü zamanlı bir yapıda, bir anahtar iletimden çıktıktan sonra ölü zaman kadar süre geçmeden diğer anahtar iletime geçemez. Bu ölü süre içinde anahtar iletimden çıkar. Bu şekilde anahtarların çakışması önlenir. Ne var ki ölü zaman bazı problemleri de beraberinde getirebilmektedir. Tasarlanan basit ve yavaş bir invertör yapısı ise, ölü zamandan kaynaklanan net bir olumsuzluk ortaya çıkmayabilir. Ancak ölü zamanın haber işaretinde bozulmalara yol açacağı unutulmamalıdır ve sisteme gereğinden fazla ölü zaman konulmamalıdır. Örnek olarak d sınıfı bir ses kuvvetlendiricisinde 15ns ölü zaman bırakılması ses işaretinde % 0.18 lik toplam harmonik distorsiyona yol açabilecekken ölü zamanın 40ns ye çıkarılması % 2.1 lik harmonik distorsiyona neden olabilir [11].

Sonuç olarak ölü zaman yaratılması şart olan bir sistemde bu süre, sistemin güvenliğini riske atmayacak kadar uzun, ancak önemli miktarda harmonik distorsiyona neden olmayacak kadar da kısa seçilmelidir.

2.6. İnvörtör Sisteminde Kayıplar ve Verim

Bir invertör sisteminde temel kayıplar anahtar kayıplarıdır. Ayrıca invertör sisteminde bir transformatör kullanılmışsa, transformatör de kayıplara neden olacaktır. Dahası anahtarlama frekansı arttıkça kullanılan anahtarın ve kullanılmışsa transformatörün çalışılan frekansa uygun seçilmesi gerekecektir. Aksi takdirde anahtarlama frekansı arttıkça kayıplar daha da artacaktır.

Bir invertör sisteminde anahtar olarak MOSFET, BJT, SCR veya IGBT elemanları kullanılabilir. Anahtar elemanı bunlardan hangisi seçilirse seçilsin üzerinde bir gerilim tutacaktır ve sonuçta kayıplara neden olacaktır. Bu kayıpları en aza indirmek için doğru tipte ve gerek duyulan teknik özelliklerde anahtar seçimi birinci derecede önemlidir.

Bir invertör sisteminde gerilim veya akım kazancı sağlamak amacıyla transformatör kullanılmışsa bu transformatör öncelikle anahtarlama frekansına uygun olarak tasarlanmış olmalıdır. Tasarımda doğru nüve malzemesi seçilmelidir. Ayrıca transformatör istenen en yüksek anlık gücü sağlayabilecek kesit alanına sahip olmalıdır. Sargı telleri ise toplam sargı direnci düşük kalacak şekilde uygun kesitte bakır telden sarılmalıdır. Termal nedenlerden dolayı yüksek frekans transformatörlerinde 5 ile 7 A/mm² arasındaki akım yoğunluklarına izin verilmektedir [6]. Aksi takdirde transformatör üzerinde sargıların iç direncinden kaynaklanan önemli güç kayıpları ve gerilim düşümleri olacaktır, transformatör çok ısınacaktır.

Bir yüksek frekans transformatörü sarılırken unutulmaması gereken diğer bir olay ise deri olayıdır. Deri olayı etkisinden ötürü, yüksek frekanslarda akım tele homojen yayılmaz, telin yüzeyine yığılır. Deri kalınlığı 2.3 denkleminde gösterilen şekilde hesaplanabilir [6].

$$\delta = \frac{2.2mm}{\sqrt{\frac{f}{kHz}}} \quad (2.3)$$

Tel kesitini deri kalınlığının iki katından daha büyük seçmek isabetli bir tercih olacaktır [6]. Gerekli kesiti sağlayabilmek için yüksek frekans şeritleri kullanılır. Bu şeritler birbirinden yalıtılmış birden fazla damardan oluşur.

3. KARE DALGA İNVERTÖR SİSTEMİ TASARIMI

Bu bölümde ikinci bölümde üzerinde durulan temel yapı ve kavramlardan yola çıkılarak örnek bir invertör sisteminin nasıl tasarlanabileceği üzerinde durulacaktır. Tasarlanacak olan sistem ile üzerinde durulan kavramların pratikte ne gibi bir kullanım alanı bulabileceği daha iyi kavranacaktır. Genel olarak tasarlanabilecek değişik yapılarıdaki invertör yapıları şu problemlerin çözümünde fayda sağlayabilir:

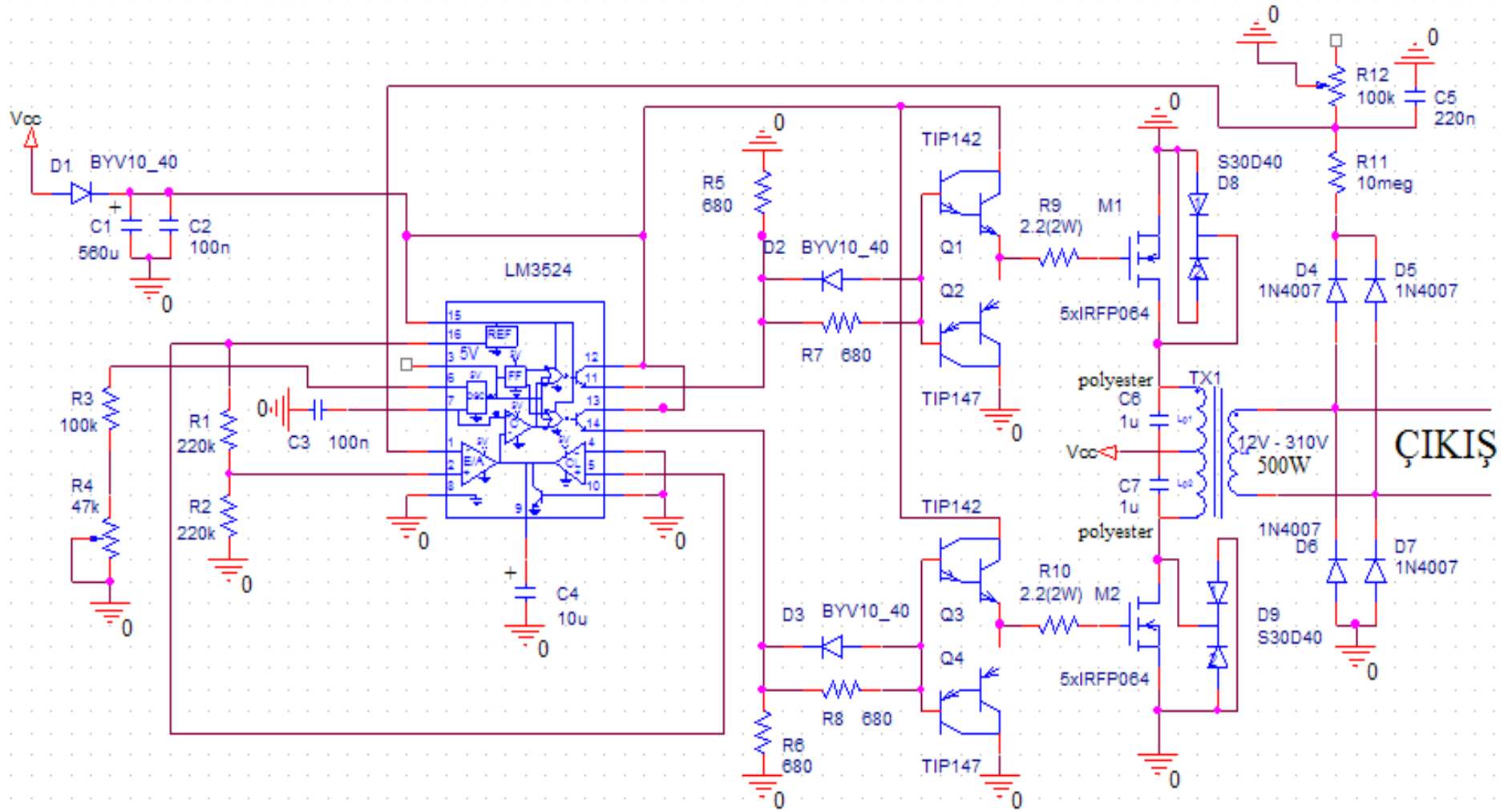
1. Doğru akımın mevcut olduğu bir ortamda alternatif akımın üretilmesi,
2. Belli bir genlikteki doğru gerilimin daha yüksek veya daha düşük genlikli bir gerilime çevrilmesi,
3. Regülasyonsuz bir gerilimden regülasyonlu bir gerilimin üretilmesi.

Bu bölümde tasarlanacak olan örnek invertör sistemi, 12V doğru gerilimi 220V alternatif gerilime çevirecek bir sistem olacaktır. Tasarlanacak olan örnek invertör yapısı yukarıdaki üç problemin de çözümünü bünyesinde barındırmaktadır. Orta uçlu bir transformatör push pull yapıda anahtarlanarak hem doğru gerilim alternatif gerilime çevrilecek, hem de ihtiyaç duyulan gerilim kazancı sağlanacaktır. Darbe genişliği modülasyonu sayesinde ise sistemin çıkışı kararlı bir gerilime sabitlenerek regülasyon sağlanacaktır. Sistemdeki parametreler değiştirilerek sistem farklı ihtiyaçlar için kullanılabilir.

Sistemde bulunan R_4 trimpotunun konumu değiştirilerek sistemden 50Hz ya da 60Hz frekansında çıkış almak mümkündür. R_3 direncinin değeri 100K Ω seçilerek ayarlanabilecek en düşük frekans 50Hz seçilmiştir ve transformatör korunmuştur. Alt frekans sınırını biraz daha esnek tutmak için R_3 direncinin değeri 120K Ω seçilebilir. Bu durumda çıkış frekansı 46Hz ve 64Hz arasında ayarlanabilir.

Geribesleme yolu üzerinde bulunan R_{12} trimpotu ayarlanarak, çıkış geriliminin etkin değeri 67V tan 290V a kadar ayarlanabilmektedir. Uygun sayıda güç mosfetinin ve uygun güçte transformatörün kullanılması ile sistemden alınabilecek olan en yüksek güç değiştirilebilir. Ancak sistem 50Hz frekansında anahtarlama yaptığı için çok yüksek çıkış güçleri için tercih edilmemelidir. 50Hz frekansta çalışacak yüksek güçlü

bir transformatörün çok büyük ve ağır olacağı unutulmamalıdır. Örnek olarak bu tasarımda kullanılan 500W güçteki transformatör 9.1kg ağırlığındadır. Çözüm olarak ise yüksek güçlü bir sistem tasarlanmak istendiğinde bunun için 20KHz civarında bir anahtarlama frekansı seçilerek ferit nüveli bir transformatör anahtarlanıp, elde edilen çıkış doğrultulup, H köprüsü ile tekrar 50Hz frekansta alternatif gerilime çevrilebilir. Yüksek güçlerde ferit nüveli sistemlerin tasarlanması boyut, ağırlık ve verim açısından avantaj sağlayacaktır. Tasarlanan sistem şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 – 12V doğru gerilimi 220V alternatif gerilime çeviren 500W güçteki örnek invertör sistemi

3.1. Darbe Genişliği Modülasyonu İşaretlerin Üretimi

Darbe genişliği modülasyonu ve bu işaretlerin üretimi ile ilgili bilgiler bölüm 2.2 de anlatıldığı için bu bölümde LM3524 tümdevresi ile modülasyonlu işaretin üretimi hakkında bilgi verilecektir. Tasarımda kullanılan LM3524 tümdevresinin içyapısı şekil 2.8 de gösterilmiştir.

Tasarımda kullanılan yapıda, tümdevrenin iki hata üreticiden birinin devre dışı bırakılması amacıyla tümdevrenin 4 numaralı bacağı toprak seviyesinde tutulmuş ve 5 numaralı bacak V_{ref} potansiyelinde tutulmuştur. Bu hata üreticinin eviren ucu 4 numaralı bacak iken evirmeyen ucu 5 numaralı baktır. Böylece bu hata üreticinin çıkışı sürekli lojik 1 seviyesinde kalmaktadır. Diğer bir deyişle bu üreticinin hata işareti üretmesi önlenmiştir. Sonuç olarak 1 ve 2 numaralı bacaklara sahip olan diğer hata üreticinin çıkışının doğrudan pwm karşılaştırıcının eviren girişinin değerini belirlemesi sağlanmıştır. İptal edilen ikinci hata üretici çıkış akımının en yüksek değerinin denetlenip sınırlandırılması için kullanılabilir.

1 ve 2 numaralı bacaklara sahip olan hata üretici ise geribesleme yolunda hata işaretinin ve sonuçta modülasyonlu işaretin üretimi için kullanılmıştır. Üreticinin evirmeyen girişi olan 2 numaralı girişi, 2.5V büyüklüğündeki kararlı bir gerilim ile sürülmektedir. 1 numaralı eviren giriş ise çıkıştan alınan örnek gerilimi ile sürülmektedir. 2.5V seviyesindeki referans işaret, transformatör çıkışından alınan örnek gerilimi ile karşılaştırılarak bir hata gerilimi üretilmekte ve bu hata geriliminin süresine bağlı olarak sürücü işaretlerin darbe-periyot oranı ayarlanmaktadır. Sonuç olarak ise regülasyon sağlanmaktadır.

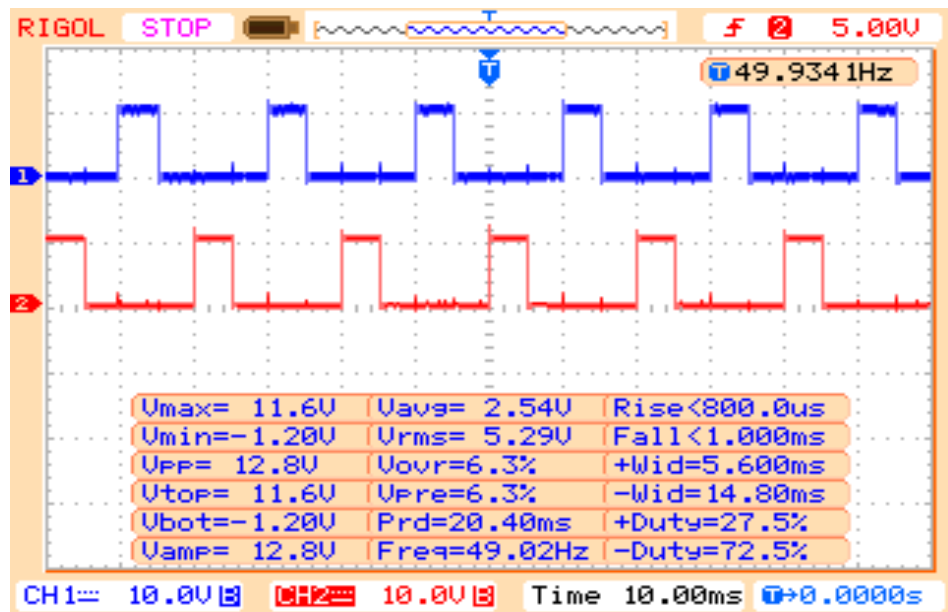
Hata üreticinin ürettiği hata gerilimi, pwm karşılaştırıcının eviren girişine gelmektedir. PWM karşılaştırıcının evirmeyen girişine ise yerel osilatörde üretilen testere biçimindeki sinyal iletilmektedir. Bu iki seviyenin karşılaştırılması sonucunda pwm modülasyonlu işaret üretilmektedir ve bu işaret tümdevre içerisinde işlenerek push pull yapısında çıkışın sürülmesi sağlanmaktadır. Tümdevre yapısı içinde bulunan çıkış transistörlerini süren nor kapılarının birisine T flip flozun Q çıkışının, diğerine ise Q' çıkışının gitmesi sayesinde çıkış transistörleri çakışmamaktadır.

Hata üreticilerinin çıkışı 9 numaralı bacakla tümdevre dışına verilmiştir. Sistemin kararlı çalışabilmesi için bu çıkışa genellikle değeri çok küçük olmayan bir

kondansatör bağlanmaktadır. Bazı durumlarda ise hata üreteçlerinin ve dolayısıyla sistemin kararlılığının sağlanması için hata üreteçlerinin çıkışı ve eviren girişleri arasında negatif geribesleme uygulanmaktadır. Bu geribesleme genellikle bir kompanzasyon kapasitesi ve ona paralel bağlı kazancı düşüren, dolayısıyla kararlılığı artıran bir geribesleme direnci üzerinden yapılmaktadır.

3.2. Modüle Edilmiş İşaretler ile MOSFET' lerin Sürülmesi

Push pull yapısına uygun şekilde modüle edilmiş iki sürücü sinyal, tümdevre çıkışında üretildikten sonra bu sinyallerin tasarımda paralel olarak bağlanmış her kanal için beşer adet güç mosfetini hızlı şekilde sürebilecek kadar kuvvetlendirilmesi gerekir. Aksi takdirde, akım anlamında yeterli güçte olmayan sinyaller mosfetleri yeterince hızlı anahtarlayamayarak büyük kayıplara neden olacaktır. Sistemde üretilen çift kanallı işaret, yeterli akım kazancının sağlanabilmesi için yüksek kazançlı darlington transistörlerle kurulan totem pole yapılar ile kuvvetlendirilmiştir. Totem pole yapılarının girişine ve çıkışına dirençler konularak mosfetler ve sürücü transistörler korunmuştur. Ayrıca bu dirençler sayesinde mosfetleri süren işaretin sönümü sağlanmış, anahtarlama sırasında oluşan salınımlar oldukça azaltılmıştır. Sürücü işaretlerin son şekli şekil 3.2 de gösterilmiştir. Gösterilen iki işareten birisi transformatörün birinci giriş sargısına kumanda ederken, diğeri ise ikinci giriş sargısına kumanda etmektedir.



Şekil 3.2 – Mosfetleri süren iki işaretin geçit uçlarından alınan osiloskop görüntüsü

D_2 ve D_3 diyotları ile mosfetlerin iletim konumundan yalıtım konumuna geçme süresi azaltılarak mosfetlerin iletme ve yalıtıma girme süreleri eşitlenmiştir. M_1 mosfet grubu yalıtıma geçerken mosfetlerin giriş kapasitesini boşaltan akım sırasıyla R_9 , Q_2 , D_2 ve R_5 elemanları üzerinden akmaktadır. Bu kapasiteyi dolduran akım ise sırasıyla R_7 , Q_1 ve R_9 elemanları üzerinden akmaktadır. Görüldüğü gibi D_2 diyotu kullanılarak R_7 direnci boşalma sırasında kısa devre edilmektedir. R_7 ve R_5 dirençlerinin değeri de özellikle eşit seçilmiştir. Böylece kapasitenin boşalma süresi azaltılmış, ayrıca sürücü işaretin yükselme ve düşme süreleri eşit kılınmıştır. Mosfetlerin iletme ve yalıtıma girme sürelerinin eşit ve $1\mu s$ olması sağlanmıştır. Bu süre 10ms lik yarı periyot süresi ile karşılaştırıldığında mosfetlerin oldukça hızlı anahtarlandığı söylenebilir. Sonuç olarak anahtarlama kayıpları ihmal edilebilir düzeyde tutularak verimin düşmesi önlenmiştir.

M_1 ve M_2 mosfet gruplarına ters yönde paralel bağlanan D_8 ve D_9 schottky koruma diyotları ile transformatörün akımında meydana gelebilecek ani değişimler sonucu ortaya çıkabilecek yüksek değerli gerilimlerin mosfetleri delmesinin önüne geçilmiştir. Burada schottky diyotun tercih edilmesinin nedeni çok hızlı bir diyot olup, ani değişimlere çok çabuk cevap verebilmesidir. Neticede zıt yönlü endüktans gerilimlerinin oluşması, bu iki diyot tarafından önlenerek mosfet grupları korunmaktadır.

3.3. Geribesleme ve Çıkış Geriliminin Regüle Edilmesi

LM3524 tümdevresi için genel olarak negatif geribeslemenin nasıl sağlandığı ve regülasyonun nasıl olduğu bölüm 2.4 de ayrıntılı olarak anlatıldığından bu bölümde yalnızca tasarlanan sistemin çıkış gerilimini nasıl 220V değerinde tuttuğu incelenecektir.

Transformatör çıkışındaki gerilimden sürekli örnekler alınıp 2.5V büyüklüğündeki referans işaret ile karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak hata üreticinin çıkışında sürekli olarak bir hata gerilimi üretilmektedir. Bu gerilime göre darbe-periyot oranı yani darbe süresi ayarlanarak regülasyon sağlanmaktadır.

Çıkış geriliminden örnek alıp doğru bir gerilimle karşılaştırabilmek için çıkıştan alınan örnek gerilimi önce delinme gerilimi yüksek diyotlar ile oluşturulan bir köprüden geçirilerek doğrultulmaktadır. Köprünün negatif çıkışı sistemin toprak

seviyesine bağlanmıştır. Pozitif çıkışı ise birbirlerine seri bağlı R_{11} direnci ve R_{12} trimpotu ile örneklenmektedir. Elde edilen örnek işareti değeri belli bir zaman sabiti gözetilerek belirlenen C_5 kondansatörü ile süzülmetedir, diğer bir deyişle ise ortalaması alınmaktadır. C_5 kondansatörünün değerinin büyük seçilmesi, sistemin yük değişimlerine karşı geç cevap vermesine neden olacaktır. Diğer bir deyişle regülasyon sağlanana kadar geçen süreyi arttıracaktır. Çok küçük seçildiğinde ise sistem dengeli çalışmayabilir, kararlılık sağlanamayabilir.

Sistemin dengeye oturduğu noktada hata üreticinin her iki girişindeki gerilimin eşit olacağı göz önünde bulundurulursa, R_{12} trimpotunun hangi değeri için çıkışta kaç volt gerilim olacağı yaklaşık olarak aşağıda verilen formülle hesaplanabilir.

$$R_{12} \times (V_O - 2.5) = 2.5 \times 10^7 \quad (3.1)$$

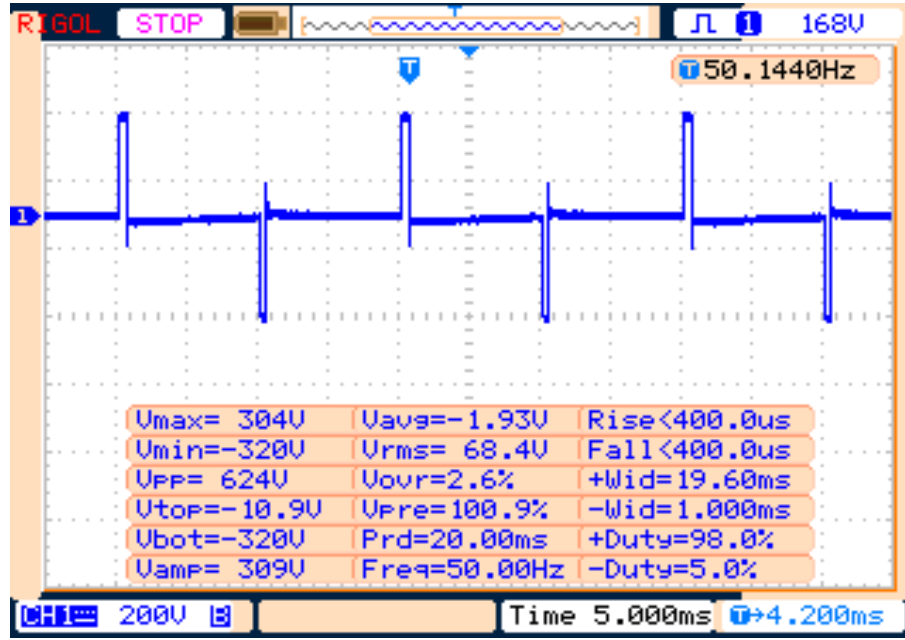
4. TESTLER ve BAŞARIM

Bu bölümde, tasarlanan sistemin başarımı farklı deneyler yapılarak incelenecektir. 4.1 bölümünde, üretilen çıkışın farklı yükler altındaki dalga şekli incelenecektir. 4.2 bölümünde, çıkış geriliminin etkin değerinin farklı yükler altında ne kadar iyi regüle edildiği incelenecektir. 4.3 bölümünde ise sistemin farklı yükler altında ne kadar verimle çalıştığı incelenecektir.

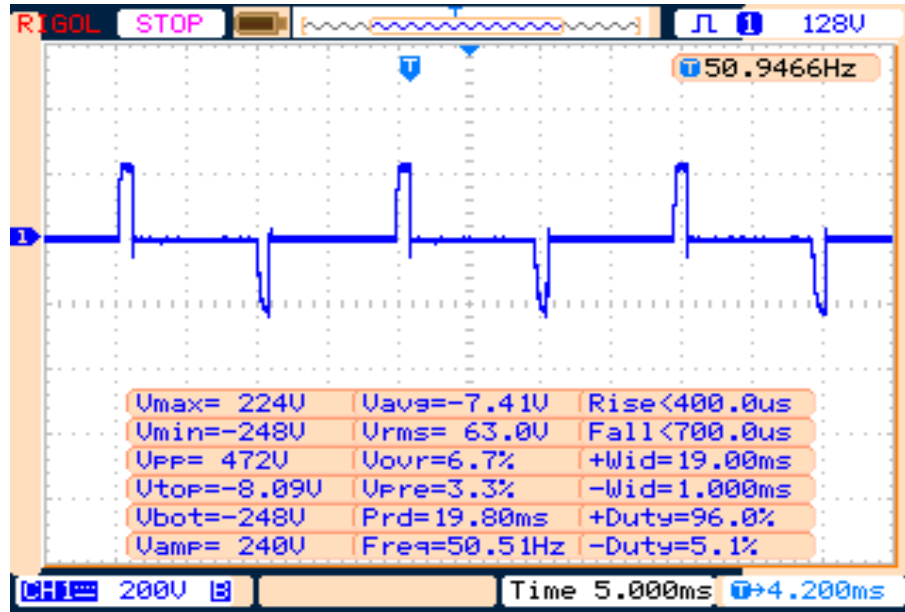
4.1. Çıkış Geriliminin Dalga Şeklinin İncelenmesi

Çıkış geriliminin değeri pozitif, negatif ve sıfır parçacıklarından oluşmaktadır. Değeri sıfır olmayan, enerjili parçacıkların çıkışta görülme oranına bağlı olarak çıkış geriliminin etkin değeri belirlenmektedir. Bu etkin değer geribesleme yolundaki R_{12} trimpotunun konumu değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Çıkışa farklı rezistif yükler bağlandığında ve çıkış geriliminin etkin değeri değiştirildikçe osiloskop çıkışında aşağıda verilen görüntüler gözlenmektedir. İnvörtör çıkışındaki gerilimin genel görünümü, darbe boşluk oranı yüke ve çıkış geriliminin etkin değerine göre değişen parçalı bir gerilimdir.

Osiloskop görüntülerinde çıkış geriliminin tepe ve taban değerlerinin mutlak olarak eşit olmadığı saptanmıştır. Bunun nedeni transformatörün iki giriş sargısının tam olarak simetrik sarılamamış olmasıdır. Push pull yapılarında bu problem ile sık sık karşılaşılmaktadır. Ancak tasarlanan yapının beslediği yükün, gerilimi önce doğru gerilime çevirip sonra kullanacağı düşünülerek bunun önemli bir problem olmadığı söylenebilir.



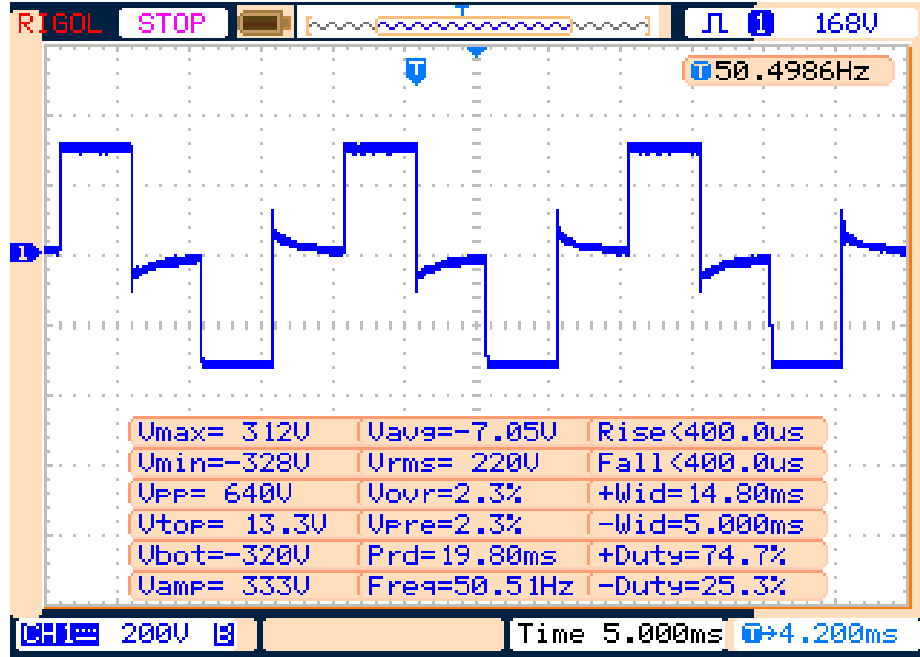
Şekil 4.1 – 68.4V çıkış ile 40W ılık ampulün beslenmesi



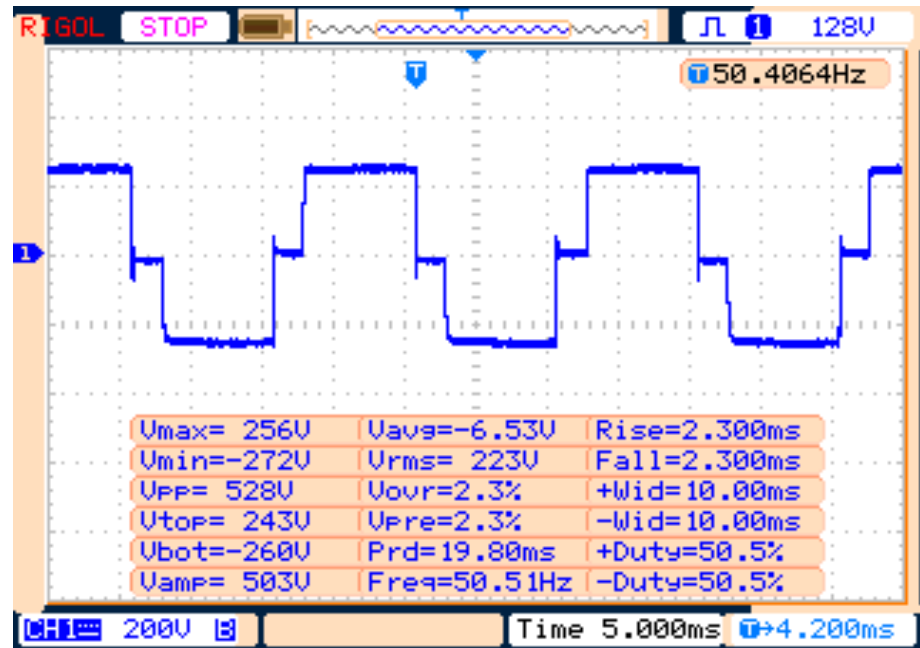
Şekil 4.2 – 63V çıkış ile 200W ılık ampulün beslenmesi

Çıkışta 65V civarında bir gerilim üretilirken çıkışa 40W ve 200W gücündeki 220V luk ampullerin bağlanması sonucunda Şekil 4.1 ve şekil 4.2 de gösterilen osiloskop görüntüleri elde edilmiştir. Çıkışta sadece 65V etkin gerilim üretildiği için darbe sürelerinin oldukça kısa olduğu gözlenmektedir. Her iki durumda da görüntülerde de görüldüğü gibi parçalı gerilimler elde edilmiştir. Ancak burada aynı sayılabilecek çıkış gerilimlerinde çıkışa farklı yükler bağlanarak gösterilmek istenen, devrede geribesleme mekanizmasının diğer bir deyişle de modülasyonun nasıl çalıştığıdır. Şekil 4.1 ve şekil 4.2 karşılaştırıldığında darbe periyot oranlarının farklı olduğu

görülmektedir. Çıkışta farklı yükler altında aynı gerilimi üretmek için farklı darbe genişliği oluşturulmaktadır. Sisteme ideal olarak bakıldığında çıkış yükündeki değişimin darbe genişliğini değiştirmemesi beklenebilir. Ancak transformatör sargılarının ihmal edilemeyecek dirençlere sahip olmasının doğal bir sonucu olarak çıkış akımı arttıkça sargılar üzerinde gerilim düşümü olmakta ve sistem bu kayıpları karşılayıp çıkış gerilimini sabit tutabilmek için darbe genişliği oranını artırmaktadır.



Şekil 4.3 – 220V çıkış ile 40W lık ampulün beslenmesi

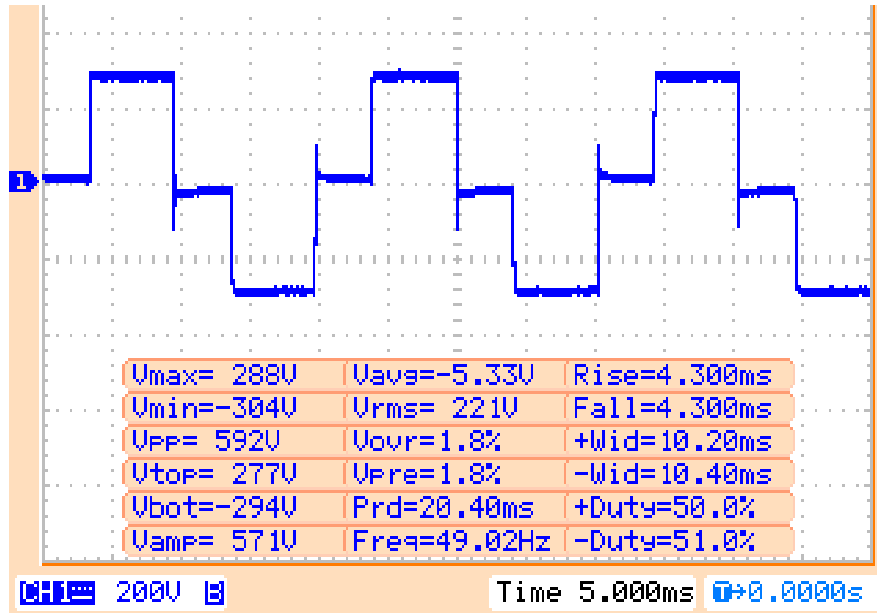


Şekil 4.4 – 223V çıkış ile 200W lık ampulün beslenmesi

Aynı deney bu kez de çıkış gerilimi artırılarak yapılmıştır. Şekil 4.2 ve şekil 4.4 karşılaştırıldığında çıkış geriliminin etkin değerinin 63V dan 223V a çıkarılması darbe genişliğini önemli oranda artırmaktadır. Artan darbe genişliği çıkış geriliminin etkin değerini artırmıştır.

Şekil 4.3 ve şekil 4.4 karşılaştırıldığında ise çıkış yükünün 40W dan 200W a çıkarılması yine aynı şekilde darbe genişliğini önemli miktarda artırmıştır. Ancak burada artan darbe genişliği çıkış gerilimini artırmak için değil, transformatörün kayıplarını karşılamak için kullanılmaktadır. Şekillerden görüldüğü gibi çıkıştan 40W güç çekilirken çıkış geriliminin tepeden tepeye değeri 640V iken, çıkıştan 200W yük çekildiğinde bu değer 528V a düşmektedir. Yani çıkıştaki yük arttıkça bakır kayıplarının da artmakta olduğu söylenebilir.

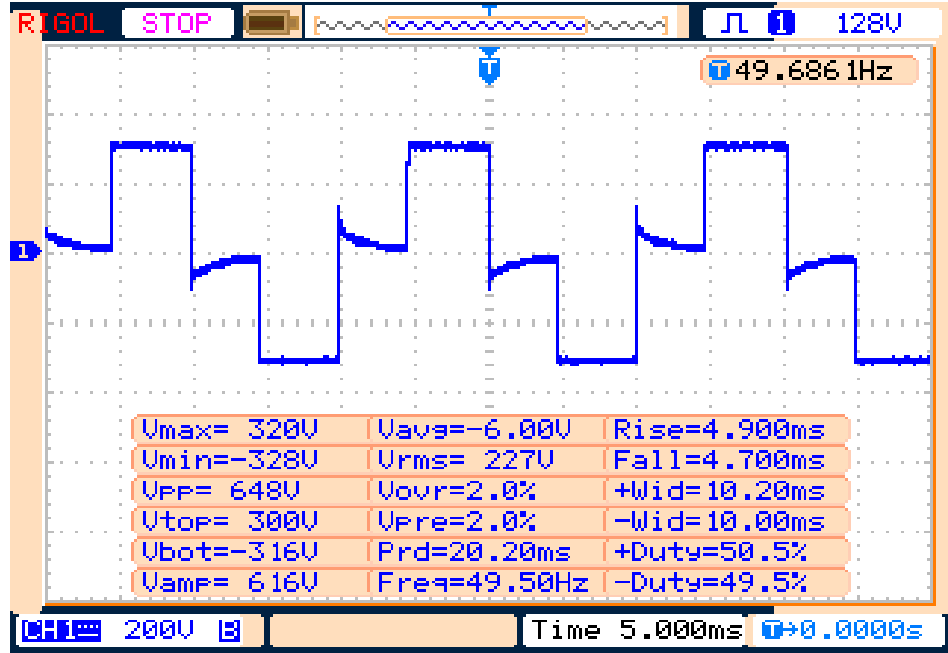
4.2. Regülasyonun İncelenmesi



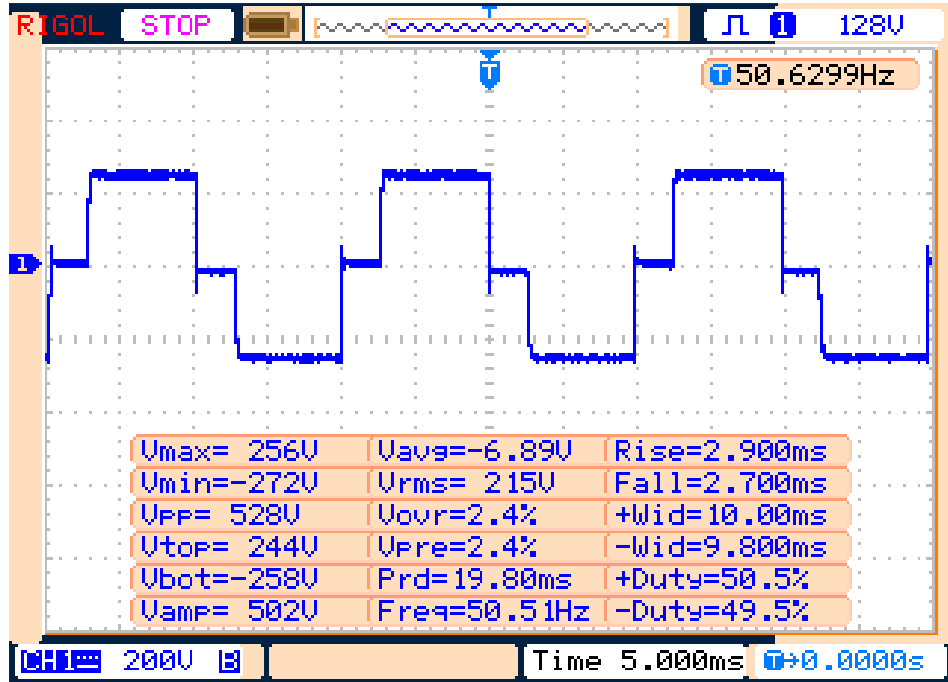
Şekil 4.5 – Sistem 100W yük altında iken çıkış geriliminin ayarlanması

Bu bölümde, önce sistem 100W ile yüklenerek çıkış gerilimi şekil 4.5 de gösterildiği gibi 221V etkin değere ayarlanmıştır. Daha sonra ise çıkıştan 40W ve 200W güç çekilmiştir ve bu durumlarda sistemin ayarlanan 221V çıkış gerilimini ne kadar hata ile üretebildiği incelenmiştir. Sabit bir yük altında sistem ayarlanan değerde bir çıkış gerilimini sorunsuz ürettiği için, bu bölümde sadece çıkış yükünün değiştirilmesinin çıkış gerilimini ne ölçüde değiştirdiği incelenmiştir. Ayrıca yine bu bölümde sistem

çıkışı yüksüz bırakıldığında çıkış gerilimin kaç volta kadar yükseldiği ve dalga şeklinde ne gibi bozulmalar olduğu da incelenmiştir.



Şekil 4.6 – Sistem yükü 40W a düşürüldüğünde çıkış gerilimi

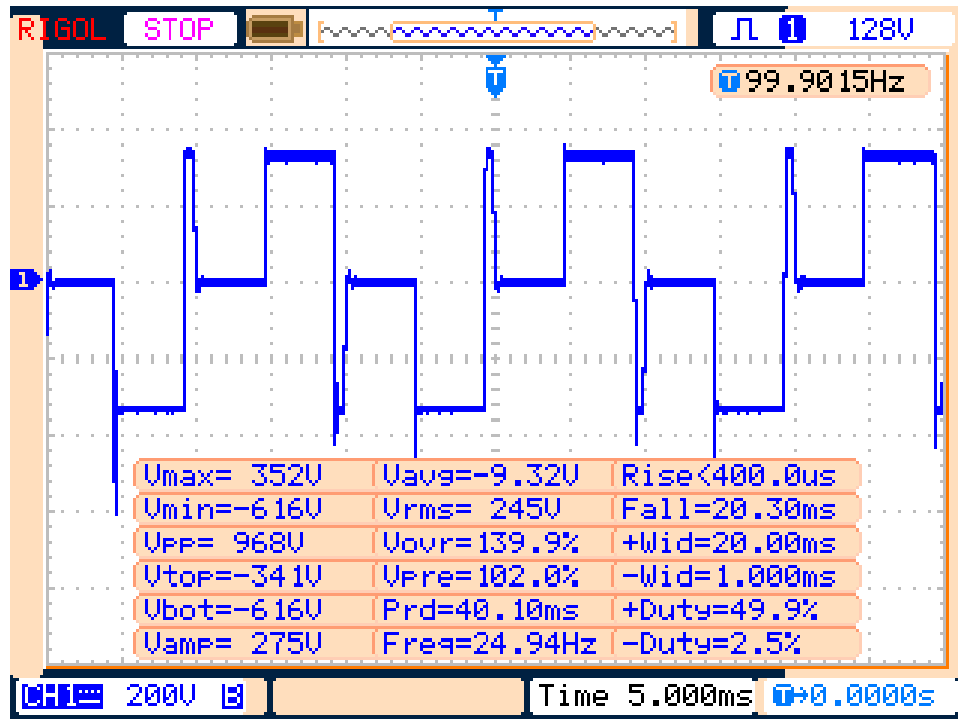


Şekil 4.7 – Sistem yükü 200W a çıkarıldığında çıkış gerilimi

Şekil 4.6 ve şekil 4.7 incelendiğinde çıkış yükündeki değişimlerin çıkış gerilimini de değiştirdiği görülecektir. Yine de sistemin geribesleme yoluyla bu değişimi oldukça azalttığı söylenebilir. Sistem 100W ile yüklenerek çıkış gerilimi 221V a ayarlanmıştır. Yük 40W a düşürüldüğünde çıkışın 6V artarak 227V değerine çıktığı

gözlenmiştir. Yani sistem çıkışında % 2.7 lik bir hata gerilimi oluşmuştur. Yük 200W a çıkarıldığında ise çıkış bu kez 6V azalarak 215V değerine düşmektedir. Sistem yine % 2.7 lik bir hata gerilimi oluşturmuştur. % 2.7 lik hata ihmal edilebilir olduğundan ve çıkış gerilimi güvenli sınırlar içerisinde kaldığından bu bir probleme yol açmayacaktır. Sonuç olarak sistemin çıkış gerilimini iyi sayılabilecek düzeyde regüle ettiği gözlenmektedir.

Şekil 4.8 ile gösterilen deneyde ise, sistemin çıkışına hiçbir yük bağlanmadığı durumda çıkış geriliminin tehlikeli seviyelere yükselip yükselmediği ve dalga şeklinin nasıl değiştiği incelenmiştir.



Şekil 4.8 – Sistem yüklenmediğinde çıkış gerilimi

Şekil 4.8 de görüldüğü gibi, sistem çıkışı yüksüz iken dahi çıkış geriliminin etkin değeri 350V seviyelerine yükselmemektedir. Sistem geribesleme yolu ile çıkış geriliminin çok yükselmesini engelleyerek daha önceden ayarlanan ayar noktası için ancak 245V a kadar çıkmasına izin vermektedir. Çıkışa yük bağlandığı anda çıkış geriliminin bir miktar daha düşeceği göz önünde bulundurulursa herhangi bir tehlikeli durumun olmadığı sonucuna varılabilir.

4.3. Verimin Ölçülmesi

Mobil bir sistem için en önemli başarımlar ölçütlerinden biri kuşkusuz verimdir. Bu çalışmada oluşturulan sistemin de gücünü bir aküden temin ettiği düşünüldüğünde veriminin ne kadar yüksek olduğu önem arz etmektedir. Tablo 4.1 de sistemin farklı yükler için ne kadar verimle çalıştığı verilmiştir.

Tablo 4.1 – Sistemin farklı yükler altındaki verimi

Ölçüm No	V _I (V)	I _I (A)	V _O (V)	I _O (A)	P _I (W)	P _O (W)	η (%)
1	13.17	0.30	235	0	3.95	0	–
2	12.95	3.39	220	0.17	43.90	37.40	85.2
3	12.49	8.70	215	0.41	108.66	88.15	81.1
4	11.96	17.74	202	0.84	212.17	169.68	80.0

Tasarlanan sistemin veriminin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Başlıca kayıplar transformatörden dolayı oluşmaktadır. Daha küçük bir miktarda da anahtarlama kayıpları oluşmaktadır. Bu durumda sistemde kullanılan transformatör sargılarının direnci ne kadar düşük tutulursa verimin de o denli yüksek olacağı söylenebilir. Fakat transformatörün daha kalın tellerden sarıldığına hacminin ve maliyetinin artacağı da unutulmamalıdır.

Verimin yüksek çıkmasını sağlayan önemli bir etken de anahtarları süren katın görevini oldukça iyi yapmasıdır. Totem pole yapılar mosfet gruplarını 1µs içinde açtığı ve kapattığı için, anahtar kayıpları en düşük düzeyde tutulmaktadır. Anahtar kayıplarının çok küçük mertebelerde olduğunun bir göstergesi de mosfetlerin bağlı olduğu soğutucularda hissedilebilir bir sıcaklık artışı olmamasıdır. Tüm bunlar mosfetlerin sürülmesinin basit olduğu kadar önemli bir konu olduğunu göstermektedir. Geçitleri yeterince büyük akımlarla sürülen mosfetlerin kayıpları en düşük düzeyde tutulmuştur.

Sonuç olarak sistem verim açısından incelendiğinde bir takım özel yükler göz ardı edilirse, veriminin her durumda % 70 in üzerinde olacağı söylenebilir. Bu açıdan sistemin genel kullanıma uygun olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR

Tasarlanan sistem ile, 12V doğru gerilim kullanılarak 220V etkin değere sahip şebeke geriliminin üretilebileceği gösterilmiştir. Tasarlanan sistem omik bir yükü belemek için kullanılabilir. Ancak sistemin kare dalga çıkışlı olması nedeniyle bir takım motor yapılarının bu sistem ile çalıştılamayacağı kesindir. Yine bir takım kapasitif yükler için verim beklenenden düşük kalabilir. Çıkışın içerdiği yüksek frekanslı harmonikler bazı yükler için problem yaratabilir. 50Hz frekanslı sinüs girişe göre tasarlanmış olan bazı yapılar yüksek frekanslı harmonikler nedeniyle çıkıştan standart güçlerinden daha fazla güç çekebilirler. Bu sistem daha çok aldığı gerilimi doğrultarak kullanan cihazlar için uygundur. Aldığı gerilimi doğrultup da kullanan bir cihaz için kare dalga girişinin daha uygun olduğu bile söylenebilir. Şöyle ki, doğrultulan kare dalga, doğrultulan sinüs dalgadan daha az dalgalanma gerilimine sahip olacaktır. Sistem, çıkış geriliminin dalga şekli açısından önemli bir problem yaratmamaktadır ve kullanıma elverişli olduğu sonucuna varılmıştır.

Sistem çıkış geriliminin regülasyonu açısından incelendiğinde ise iyi sayılabilecek seviyede bir regülasyon ile karşılaşılmaktadır. İnvörtör çıkışı 40W ile yüklü iken çıkış gerilimi 227V, 100W ile yüklü iken 221V ve 200W ile yüklü iken 215V olmaktadır. Çıkış geriliminin etkin değeri farklı yükler için hep kabul edilebilir aralıklarda kalmaktadır. Sistemin regülasyon açısından da kullanıma elverişli olduğu sonucuna varılmıştır.

Sistem verim açısından irdelendiğinde, bir invertör sistemi için verimin oldukça yüksek seviyelerde olduğu dikkati çekmektedir. Bu, anahtarların sürekli ya tam açık ya da tam kapalı konumda olmasının sonucudur. Sistem 40W yük altında %85 verimle, 200W yük altında ise %80 verimle çalışmaktadır. Bu denli büyük güçlerle bu kadar yüksek verimlerle çalışmak oldukça iyi bir sonuçtur denilebilir. Sistemin verim açısından da genel kullanıma son derece uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Son olarak sistemin aksayan yönleri üzerinde durulacaktır. Yüksek güçlere çıkıldıkça, transformatör ağırlığının gittikçe artması sistemi belli bir gücün üzerinde

pratik olarak kullanılamaz kılmaktadır. Çıkış geriliminin yüksek frekanslı birçok harmoniğe sahip olması ise sistemi bir takım özel yükleri beslemek için kullanılamaz kılmaktadır. Sistemin göze batan üçüncü problemi ise transformatörün iki giriş sargısının tam simetrik sarılamamasından ötürü çıkış geriliminin pozitif ve negatif alternanslarının az da olsa farklı genliklere sahip olmasıdır. Bu, aldığı gerilimi doğrularak kullanan cihazlar için pratikte bir problem yaratmayacaktır.

Genel olarak yapının aksayan az sayıdaki özelliği göz ardı edildiğinde, sistemin pratik olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Günümüzde bilgisayarları zorunlu hallerde beslemek için kullanılan birçok kesintisiz güç kaynağı da aynı yapıyı temel alan çözümler sunmaktadır. Piyasada mevcut olan kesintisiz güç kaynaklarının çok büyük bir kısmı sinüs değil, çalışmada tasarlanan yapı gibi kare dalga çıkış üretmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Gürdal, O.**, 2000. Güç Elektroniđi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [2] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf>
- [3] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf2804.pdf>
- [4] **Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P.**, 1995. Power Electronics, John Wiley & Sons.
- [5] <http://cache.national.com/ds/LM/LM3524D.pdf>
- [6] **Kuntman, H.H.**, 1998. Endüstriyel Elektronik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [7] <http://www.zetex.com/3.0/appnotes/design/dn80.pdf>
- [8] **Boylestad, R.L., Nashelsky, L.**, 2001. Electronic Devices and Circuit Theory, Prentice Hall.
- [9] **Türköz, M.S.**, 2004. Elektronik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [10] **Sedra, A.S., Smith, K.C.**, 2004. Microelectronic Circuits, Oxford University Press, New York.
- [11] <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1071.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında doğan İlker YAĞLIDERE, 2003 yılında Çanakkale Milli Piyango Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve aynı yıl Anadolu Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği programında lisans eğitimine başladı. 2005 ÖSS sonucunda 300 üzerinden 292 ham puan alarak İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği programına kaydoldu ve aynı yıl Hüsnü Özyeğin Vakfı Başarı Bursu'na layık görüldü. 2008 yılına kadar İTÜ' de bulunduğu altı yarıyıl boyunca, neredeyse her yarıyıl onur ve yüksek onur listelerinde yer aldı.