

# SiC ve GaN Tabanlı IGBT Modülleri İçin Quasi Rezonans IGBT Kapı Sürücü Tasarımı

(Quasi Resonant IGBT Gate Driver Design for SiC and GaN Based IGBT Modules)

 M.Sc Fatih YALÇIN<sup>1</sup>, Ph.D Hüseyin KÖSE<sup>2</sup> 

1. PESS Enerji Teknolojileri LTD. ŞTİ, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ostim Teknik Üniversitesi Ankara, Türkiye  
[fatihyalcin@pess-energy.com](mailto:fatihyalcin@pess-energy.com)
2. PESS Enerji Teknolojileri LTD. ŞTİ Elektrik Elektronik Mühendisliği Ostim Teknik Üniversitesi Ankara, Türkiye  
[huseyin@pess-energy.com](mailto:huseyin@pess-energy.com)

*Özet- Bu makalede SiC ve GaN tabanlı IGBT modülleri için ACPL-352J-500E IGBT sürücü entegresi kullanılarak optik olarak izole edilmiş IGBT kapı sürücüsü tasarımı anlatılacaktır. Bu makalenin temel amacı, çok düşük gürültülü ve kararlı bir performansa sahip yeni bir tip izole quasi rezonanslı DC-DC dönüştürücü devresi içeren yüksek kaliteli IGBT kapı sürücü devresi tasarlamaktır. Dört kanallı izole sürücü çıkışı sayesinde her bir anahtarlama elamanı birbirinden izole olarak beslenmektedir.*

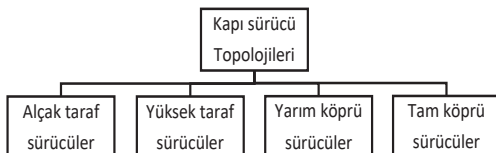
*Abstract- This paper represent optically isolated IGBT gate driver design for SiC and GaN based IGBT modules using Avago ACPL-352j driver IC. The main goal of this paper to design a good quality IGBT gate driver circuits including a novel isolated quasi resonant DC-DC converter circuit having very low noise and stable performance. Thanks to four isolated driver output it has a very low noise and stable performance.*

*Anahtar kelimeler - IGBT, kapı sürücü devresi, quasi rezonat besleme, optik izolasyon, galvanik izolasyon, sinüzoidal pwm modülasyon.*

## 1. Giriş

Günümüzde yüksek güçlü endüstriyel güç dönüştürücü cihazlarda yüksek verim ve performansından dolayı IGBT anahtarları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu güç dönüştürücü cihazlardaki operasyon anahtarlama elemanları tarafından yürütüldüğü için bu anahtarlama elemanlarının başarısı cihazın başarısını ve verimini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle IGBT kapı sürücü devreleri ve sürücü teknikleri günümüzde oldukça önemli bir hale gelmiştir. IGBT modülleri ile çalışan bir çok güç elektroniği uzmanı kapı sürücü devresi tasarımına yönelmiştir.

*Şekil 1 IGBT kapı sürücü topolojileri*



IGBT modüllerini sürmek için geliştirilen faydalı yöntemlerden bazıları alçak taraf sürücüler, yüksek taraf sürücüler, yarım köprü sürücüler ve tam köprü sürücü topolojileridir[1]. Seçilen topolojinin başarısındaki en önemli etkenlerden bir tanesi anahtarlama elemanına yeterli gücü en kısa sürede iletmektir.

IGBT kapı sürücüsü, sıfır akım ve sıfır gerilim anahtarlama için gerekli kapı şarjını sağlamalı ve yeterli tepe akım kapasitesine sahip olmalıdır. Kapı sürücüsüne giriş sinyalinin çıkışa iletilmesindeki gecikme, IGBT anahtarlama periyoduna kıyasla küçük olmalıdır bu nedenle kapı sürücü hızı, yeni nesil SiC ve GaN tabanlı IGBT'lerin daha yüksek anahtarlama hızı avantajından faydalanabilmek için uygun şekilde tasarlanmalıdır[2].

Hangi topolojinin kullanılacağı seçildikten sonra bir diğer önemli seçim de izolasyon durumudur. Sürücü devresi ile kontrol devresi arasındaki izolasyon uygulamaları için çok önemlidir. Anahtarlama elemanının anahtarlama gürültüsü oluşturması nedeniyle kontrol devresini etkilemekte ve sistemde oluşabilecek bir arıza durumunda kontrol devresine zarar verebilmektedir[3][4].

Kapı sürücüsü uygulamaları için en yaygın izolasyon yöntemleri galvanik izolasyon ve optik izolasyon yöntemleridir. Bu iki yöntem arasındaki temel farklar tablo 1 ve tablo 2 gösterilmiştir[5].

Tablo 1. Optik izolasyonun avantaj ve dezavantajları

| Optik izolasyon avantajları          | Optik izolasyon dezavantajları                        |
|--------------------------------------|---|
| Yüksek izolasyon gerilimi sahiptir.  | Düşük çıkış gücüne sahiptir.                          |
| Nispeten daha küçük pakete sahiptir. | Bir güç kaynağına ihtiyaç duyar.                      |
| Nispeten daha ucuzdur.               | Yüksek giriş gerilim dalgalanmalarına karşı zayıftır. |

Tablo 2. Galvanik izolasyonun avantaj ve dezavantajları

|   |   |
|---|---|
| Galvanik izolasyon avantajları                | Galvanik izolasyon dezavantajları       |
| Yüksek çıkış gücüne sahiptir.                 | Özel olarak tasarlanması gerekmektedir. |
| Güç kaynağına ihtiyaç duymaz.                 | Nispeden daha büyük pakete sahiptir.    |
| Yüksek giriş dalgalanmalarına karşı güçlüdür. | Nispeten daha pahalıdır.                |

IGBT sürücü kartı test edilirken Sinüzoidal PWM modülasyon tekniği kullanılmıştır. Modülasyon tekniği olarak sinüzoidal PWM modülasyon tekniğinin seçilmesindeki en önemli neden, S-PWM modülasyon yönteminin geleneksel modülasyon tekniklerine göre daha düşük THD distorsiyonuna sahip olmasıdır [6][7][8].

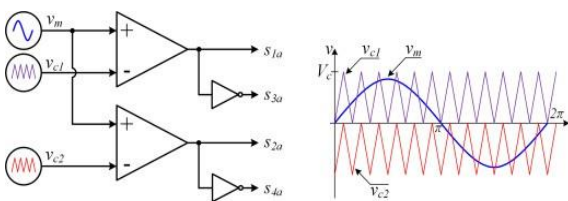
## 2. İlgili çalışmalar

Bu kısımda IGBT sürücü kartının geliştirilmesinde kullanılan yöntemlerden ve makale kapsamında yapılan araştırmalardan bahsedilecektir.

### 2.1 Sinüzoidal PWM modülasyon tekniği

Sinüzoidal PWM modülasyon tekniği, güç dönüştürme uygulamalarında en popüler modülasyon tekniklerinden birisidir. Günümüzde S-PWM modülasyon tekniği analog ve dijital olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulmaktadır.

İlk ve en eski yöntem olan analog modülasyonda bir referans dalga ve bir taşıyıcı dalga bir analog karşılaştırıcıdan geçirilir ve çıkışta elde edilen sinyal anahtarlama elemanının sürücü sinyali olarak kullanılır.



Şekil 2 Analog S-PWM modülasyonu

Şekil 2'de düşük frekanslı sinüzoidal referans dalga yüksek frekanslı 2 taşıyıcı üçgen dalga ile karşılaştırılmaktadır. İlk taşıyıcı dalga referans sinyalin pozitif kısmını örneklerken, ikinci taşıyıcı dalga negatif kısmını örneklemektedir. Karşılaştırıcı eleman çıkışında S-PWM sinyali elde edilmektedir.

Karşılaştırıcı eleman çıkışındaki tersleyen kapılar tam köprü topolojisindeki anahtarlama elemanlarını sürmek için ihtiyaç duyulan tamamlayıcı(complementary) sinyalleri elde etmek için kullanılmıştır.

Sayısal modülasyon tekniğinde gerekli darbe genişlikleri mikrodenetleyici içerisinde yer alan yazılım tarafından hesaplanmakta ve doğrudan mikrodenetleyici çıkışına aktarılmaktadır.

Geliştirilen IGBT sürücü devresinde sayısal S-PWM modülasyon tekniği kullanılmış olup aşağıdaki tabloda bu modülasyon tekniğine ait parametreler ve değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Sinüzoidal PWM modülasyon parametreleri ve değerleri

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Referans sinüs frekansı (RF) | 50 Hz => 20 mS           |
| Taşıyıcı dalga frekansı (CF) | 20 kHz => 50 uS          |
| ADC Çözünürlüğü (AR)         | 10 bit (1024)            |
| Max ADC gerilimi (AV)        | 5V                       |
| Örnekleme miktarı (SQ)       | 10 mS / 50 uS = 200 adet |
| Adım açısı (SA)              | 180° / 200 = 0.9°        |

Sinüs dalgasının bir periyot boyunca ortalama toplam geriliminin sıfır olması ve periyodik bir sinyal olması nedenleriyle hem pozitif hemde negatif alternansın örneklenmesine gerek yoktur. Sadece yarım periyot (180° ve 10 mS) örneklenerek pozitif ve negatif alternanslar elde edilebilmektedir.

Verilen parametrelere göre darbe genişlikleri D1 denkleminde verilen formül kullanılarak yazılım tarafından hesaplanmaktadır. Modülasyon parametreleri değişmediği sürece bu değerlerin sabit olması nedeniyle işlemciyi gereksiz yere meşgul etmemek adına modülasyon tekniği kullanılmadan önce darbe genişlikleri hesaplanarak elde edilen veriler doğrudan işlemcinin hafızasına yazılabilmektedir.

$$D = \frac{AR * v_m * \sin(C * SA)}{AV} \quad D1$$

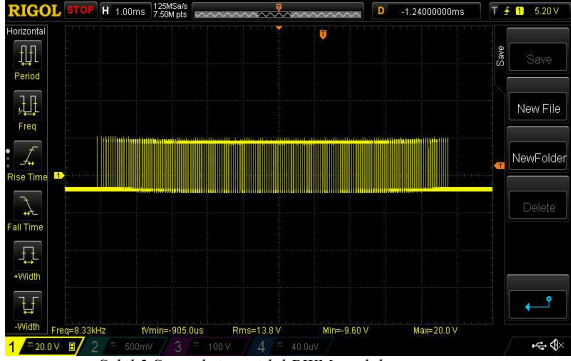
- D : Darbe genişlik değeri
- V<sub>m</sub> : Referans sinyal genliği
- C : Darbe indeksi
- SA : Adım açısı
- AV : Maksimum ADC gerilimi

Bu darbe genişlik dizisi herhangi bir anahtarlama elemanına uygulandığında, bu anahtarlama elemanı S-PWM invertör amacıyla kullanılabilir. Günümüzde analog ve sayısal S-PWM yöntemleri arasında en popüler yöntem sayısal S-PWM modülasyondur, çünkü analog S-PWM modülasyon tekniğinin uygulanmasında sayısal modülasyon göre daha fazla sorun ile karşılaşmaktadır. Anahtarlama elemanları için diğer iki kritik parametre ise soft start ve dead time kontrolüdür.

Soft start fonksiyonunun amacı, cihaz ilk açıldığı anda oluşabilecek ani kalkış akımlarını önlemektir. Bazı durumlarda, ani kalkış akımı, nominal akım değerinin 1 ila 10 katına kadar çıkabilmektedir. Darbe genişlik değerlerinin kademeli olarak artırılması sonucunda yumuşak başlatma işlemi elde edilmektedir.

Anahtarlama elemanı bazı durumlarda kendisine verilen süre içerisinde kapanmayıp iki anahtar arasında geçici bir kısa devre oluşturabileceğinden, dead time kontrolü anahtarlama elemanları için bir diğer önemli konudur. Bu istenmeyen durumu önlemek ve çalışma güvenliğini sağlamak için dead time kontrolünün eklenmesi gereklidir.[9]

Bu kritik parametrelerin mikrodenetleyici tabanlı sayısal modülasyon tekniği ile sisteme uygulanması kolaydır, çünkü bu parametreler yazılım yardımıyla ile yapılabilir. Analog modülasyon tekniğinde bu işlevleri gerçekleştirmek için karmaşık donanım yapılandırması gerekmektedir[10].



Şekil.3 Sayısal sinüzoidal PWM modülasyon sonucu

Şekil 3’de, teorik olarak bahsedilen sinüzoidal PWM modülasyon tekniğine ait uygulama sonucu gösterilmektedir. İki seviyeli invertörler arasında en yaygın olarak kullanılması nedeni, diğer modülasyon tekniklerine göre çok daha düşük bir THD’ye sahip olmasıdır.

## 2.2 Quasi rezonans dönüştürücü

Bir rezonans dönüştürücü, sinüzoidal şekilli gerilim ve/veya akım sıfırdan geçtiğinde anahtarlama meydana gelen ve neredeyse kayıpsız bir geçişle sonuçlanan bir dönüştürücüdür. Quasi-rezonans dönüştürücü, bir tür rezonans dönüştürücü gibidir, ancak tam olarak benzer değildir. Quasi rezonans dönüştürücüdeki dalga biçimleri, gerçek bir rezonans dönüştürücüdeki gibi sinüzoidal değildir;

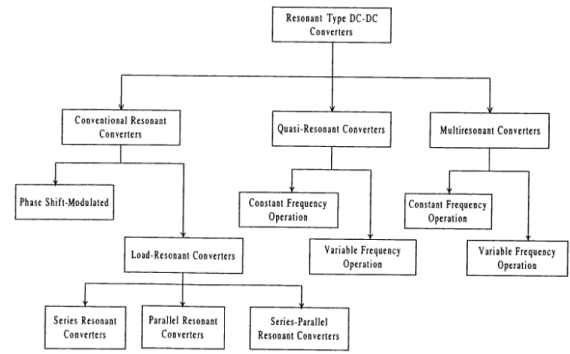
Quasi rezonans dönüştürücü ile geleneksel flyback dönüştürücü arasındaki fark, basitçe devre parazitlerinin neden olduğu istenmeyen osilasyon etkisinin faydalı bir amaç için kullanıma sunulmasıdır. "Quasi"(yarı) olarak adlandırılan rezonans dönüştürücüde, anahtarlama anı güç kısmında değil, çekirdek manyetik akı giderildikten sonraki osilasyon zamanında gerçekleşmektedir. Bu osilasyon, kontrolörün bir sonraki anahtarlama döngüsünü başlatması için bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

Quasi rezonanslı dönüştürücülerde, anahtarlama sıfır akımda (ZCS) veya sıfır gerilimde (ZVS) gerçekleşmektedir, bu nedenle gürültü ve ısı oluşumunu önemli ölçüde azaltmaktadır. Quasi rezonans dönüştürücülerin yüksek frekanslarda çalışması çıkış gücündeki kaliteyi oldukça arttırmaktadır[11][12].

Mevcut cihazlar, devre teknolojileri ve modülasyon tekniklerinin hepsi birlikte genel olarak düşünüldüğünde anahtarlama frekansı aralığı genel olarak 30-50 kHz aralığında değişmektedir. Bu frekans aralığının, ekipman ağırlık, boyut ve verimlilik gibi açılardan optimum seviyeye yakın olduğu kabul edilmektedir.[13]

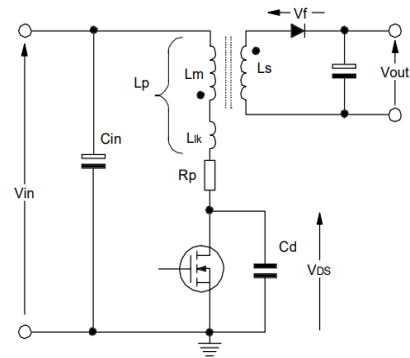
Quasi rezonanslı bir dönüştürücüde anahtarlama harici bir rezonans LC kullanılmayarak, manyetik bağlı endüktansın kaçak endüktansı ve devrenin parazitik kapasitansı ile birlikte üretilen rezonans halkasının vadisinde meydana gelir. Bu nedenle, ilk avantajı harici endüktans ve kapasitans ihtiyacı olmamasıdır.

Yumuşak anahtarlamanın sağlanması dönüşüm işleminin verimini arttıracağı gibi IGBT kapı sürücüsü için besleme kaynağı olarak kullanılacağından dolayı aynı zamanda sürücü kartının performansında doğrudan etki etmektedir. Anahtarlama kayıplarının azaltılması ile soğutucu ve anahtarlama elemanın küçülmesi mümkün olmaktadır. Bu da sistem maliyetinin düşürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır.



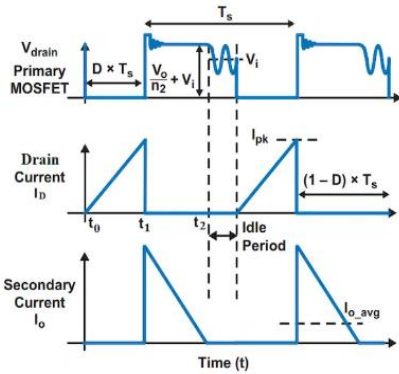
Şekil 4 Rezonans dönüştürücü tipleri[14].

Şekil 4’de görüldüğü üzere rezonans dönüştürücüler geleneksel rezonans dönüştürücüler, quasi rezonans dönüştürücüler ve çoklu rezonans dönüştürücüler olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bu makaleye konu olan IGBT sürücü devresinin beslemesi için daha önce de bahsedildiği gibi sabit frekanslı quasi rezonans dönüştürücü kullanılmıştır.



Şekil 5 ZVS Quasi rezonans dönüştürücü temel devresi[15].

Şekil 5’de quasi rezonans dönüştürücülerin genel topolojisi görülmektedir. Bu topolojide devrenin kaçak endüktansı ve anahtarlama elemanın parazitik kapasitansından faydalanılarak bir osilasyon oluşturulup anahtarlama işlemi bu osilasyon anında yapılmaktadır. Quasi rezonans dönüştürücüyü geleneksel flyback dönüştürücülerden ayıran en büyük özelliği yumuşak anahtarlama kabiliyetidir.



Şekil 6 ZVS Quasi rezonans dönüştürücü temel devresi dalga şekli[16].

Şekil 6’de quasi rezonans dönüştürücünün çıkışında olması gereken dalga şeklini göstermektedir. Anahtarın kapalı konumdan açık konuma geçerken oluşturduğu geçici dalgalanma ve açık konumdan kapalı konuma geçerken oluşan osilasyon görülmektedir.

Tablo 4 Rezonans dönüştürücüler ile geleneksel flyback dönüştürücü karşılaştırması

| Rezonant converter ile Geleneksel Flyback converter Karşılaştırması |                                    |                                       |
|---|------------------------------------|---------------------------------------|
| Tür   | Avantaj                            | Dezavantaj                            |
| Quasi-Rezonant  | Düşük anahtarlama kaybına sahiptir | EMI filtre tasarımı daha zordur       |
|   | EMI filtresi daha küçüktür.        | Düşük ve orta güçlerde kullanılabilir |
|   | Maliyeti daha azdır.               |                                       |
|   | İzole çalışır.                     |                                       |
|   | Çoklu çıkış verebilir.             |                                       |
|   | Geniş giriş aralığına sahiptir.    |                                       |
| Geleneksel Flyback  | Avantaj                            | Dezavantaj                            |
|   | Yüksek güçlerde kullanılabilir     | Anahtarlama kayıpları yüksektir       |
|   | İzole çalışır.                     | EMI filtresi büyüktür                 |
|   | Çoklu çıkış verebilir.             | Maliyeti fazladır.                    |
|   | Geniş giriş aralığına sahiptir.    | Transient tepkisi yavaştır.           |
|   | Transient tepkisi daha iyidir.     |                                       |

### 2.3 IGBT Kapı sürücü gereksinimleri

Elektronik anahtarlardaki güç kayıplarının en büyük nedenlerinden bir tanesi anahtarlama geçişlerinin sıfır akım ve/veya sıfır gerilim anı dışında yapılmasından kaynaklanmaktadır[17].

Ayrıca IGBT kapı sürücü devresi, aşırı gerilim, aşırı akım, yüksek dv/dt değerleri ve kapı koruması gibi fonksiyonlarda sağlaması gerekmektedir.

IGBT kapı sürücü devresinin gereksinimleri özet olarak aşağıda gibi listelenmiştir.

- Gerekli kapı şarjını en kısa sürede sağlamalıdır.
- IGBT kapısını korumalıdır.
- Gerekli arayüz ve hata sinyallerini sağlamalıdır.

- Kontrol ve güç devreleri arasında izolasyonu sağlamalıdır.

Literatür taraması sonucunda, topoloji olarak tam köprü sürücü, modülasyon tekniği olarak sinüsoidal PWM, IGBT kapı sürücüsü beslemesi için quasi rezonans dönüştürücü, kapı sürücü entegresi olarak da ACPL-352J-500E kullanılmasına karar verilmiştir.

### 2.4 Silisyum Karbür ve Galyum Nitrat IGBT modüllerinin klasik silikon IGBT’ler ile karşılaştırılması

Silikon tabanlı IGBT’ler 0.6 eV ile 1.5 eV bandı aralığında yer alırken yeni nesil SiC ve GaN IGBT modülleri 2 eV üstünde daha geniş bir band aralığında yer almaktadır.

Tablo 5. IGBT Modüllerinin karşılaştırılması[18]

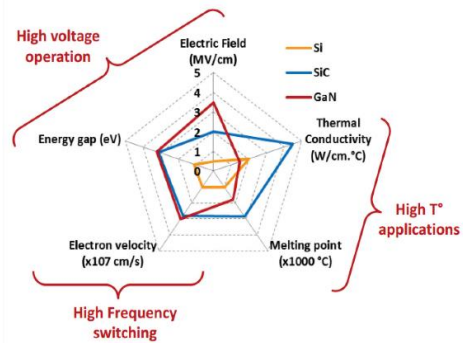
| Yarı iletken türü                | Si              | 6H-SiC          | GaN             |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Bant aralığı(eV)                 | 1.2             | 2.86            | 3.4             |
| Kritik Alan(V/cm)                | 10 <sup>5</sup> | 10 <sup>6</sup> | 10 <sup>6</sup> |
| Mobilite(cm <sup>2</sup> /Vs)    | 800             | 350             | >2000           |
| Doyum hızı(10 <sup>7</sup> cm/S) | 1               | 2               | 2.5             |
| Termal iletkenlik(W/Kcm)         | 1.3             | 2.9             | 1.2             |

Tablo 5’de silikon, silisyum karbür ve galyum nitrat IGBT modüllerine ait karşılaştırma verileri yer almaktadır.

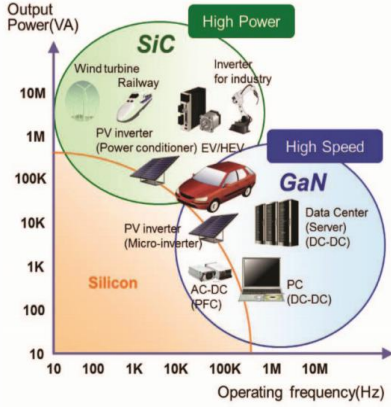
Geniş Bant Boşluklu (WBG) yarı iletken malzemeler eşdeğer silikon (Si) tabanlı yarı iletkenlerle karşılaştırıldığında daha düşük anahtarlama ve iletim kayıplarına sağlayarak yarıiletken performansını ve verimini arttırmaktadır[19].

Üretim teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte, SiC and GaN High-Electron-Mobility Transistörler (HEMT) ticari olarak yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bir yarı iletkenin geniş bant aralığına sahip olması o yarı iletkenin yüksek voltaj, frekans ve sıcaklıklarda çalışmasını sağlamaktadır.



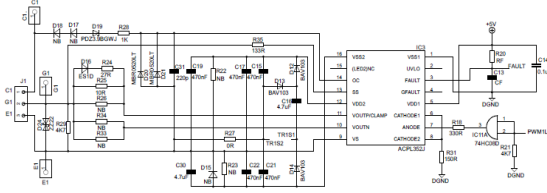
Şekil 7 IGBT türlerinin özelliklerini gösteren grafik[20]



Şekil 8 IGBT türlerinin kullanım alanlarına yönelik görsel[21]

Şekil 7 ve 8 de silikon, silisyum karbür ve galyum nitrat tabanlı IGBT modüllerinin özellikleri ve kullanım alanları gösterilmektedir. Bu bölümde anlatılan ve görselde yer alan verilere göre silisyum karbür IGBT modülleri yüksek güçlü ve yüksek verimli güç dönüştürme işlemlerinde kullanılırken, galyum nitrat tabanlı IGBT modüllerinin yüksek frekanslı uygulamalarda tercih edildiği görülmüştür.

### 3. Önerilen IGBT sürücü devresi



Şekil 9 IGBT kapı sürücü devre şeması

IGBT kapı sürücü devresi şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 9'da IGBT sürücü kartının sadece tek bir kanalı yer almaktadır diğer üç kanal tamamen aynı yapıda olduğu gösterilmemiştir.

Sürücü kartının ilk bölümü, PWM kontrollü quasi rezonans DC-DC dönüştürücü devresini içermektedir, 24 VDC girişten 15 VDC sürücü gerilimi sağlamak için kullanılmaktadır. Dört adet izoleli 15 VDC gerilim beslemesine sahiptir çünkü her bir IGBT modülü beslemesi birbirinden izole edilmelidir. ACPL-352J 5V lojik IC beslemesi, IDC başlık konektörü üzerinden harici olarak gelmektedir.

Sürücü kartının ikinci kısmı, IGBT arızası, ULVO(düşük gerilim kilitleme) ve kapı arızası gibi düşük güçlü sinyal hatlarını içermektedir. Bu hatlar, mikrodenetleyici veya analog koruma devreleri ile arayüz oluşturmak için kullanılmaktadır.

Sürücü kartının son kısmı çıkış katıdır. Kapı sürücü entegresi, çıkış katındaki pasif bileşenler yardımıyla gerekli sürücü sinyalini IGBT'ye iletmektedir.



Şekil 10 IGBT kapı sürücü devre kartı

Şekil 10'da IGBT sürücü kartının gerçek görüntüsü yer almaktadır. Mavi dikdörtgen ile işaretlenmiş bölgede içerisinde quasi rezonans dönüştürücü devresi bulunmaktadır. Sarı dikdörtgen ile işaretlenmiş bölgede ayarlı gerilim regülatörü bulunmaktadır ve yeşil dikdörtgen ile işaretlenmiş bölgede ise IGBT sürücü kartının çıkış bölümü yer almaktadır.

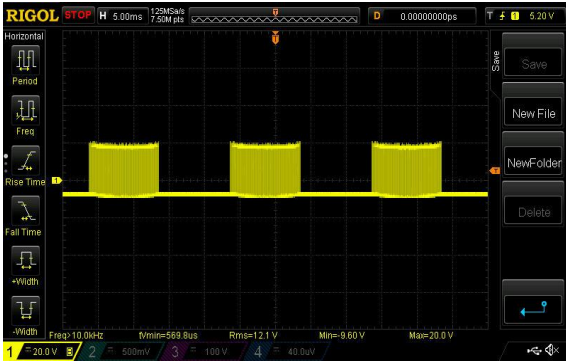
Önerilen IGBT kapı sürücü devresi, IGBT kapı sürücü gereksinimleri bölümünde belirtilen tüm gerekli özellikleri karşılamaktadır. Hızlı anahtarlama işlemi, arayüz sinyalleri ve optik izolasyon sürücü entegresi tarafından sağlanmaktadır. IGBT kapısı korunması ise kart üzerindeki çift yönlü geçici voltaj dalgalanmalarını bastıran bir diyot ile sağlanmaktadır.

### 4. Deneysel sonuçlar ve tartışma

Yeni geliştirilen IGBT sürücü kartı bir fazlı inverter içerisinde test edilmiştir. Test ortamına ilişkin parametreler tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6 Sistem parametreleri

| Topoloji             | Tam köprü evirici                  |
|----------------------|------------------------------------|
| Modülasyon tekniği   | Sinüzoidal PWM                     |
| IGBT modülü          | Vincotech<br>PZ12NMA027MR-M340F68Y |
| IGBT kapı sürücü IC  | ACPL352J-500E                      |
| Anahtarlama frekansı | 20 kHz                             |
| DC BUS gerilimi      | 400 VDC                            |
| DC giriş akımı       | 25,5 A                             |
| AC çıkış gerilimi    | 220 VAC                            |
| AC çıkış akımı       | 45 A                               |
| Çıkış frekansı       | 50 Hz                              |
| Güç faktörü          | 0.96                               |
| Yük tipi             | Rezistif                           |
| İnverter verimi      | % 97                               |

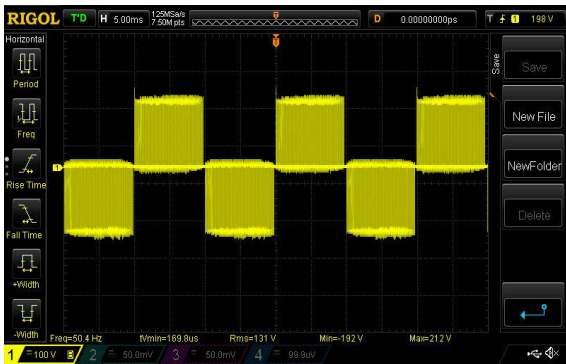


Şekil 11 IGBT sürücü kartı giriş sinyali

Şekil 11’de IGBT sürücü kartına uygulanan giriş sinyali görülmektedir. Şekilde görülen sinyal pozitif alternansa ait S-PWM sinyalidir. Paketler arası boşluğun nedeni o kısımda negatif alternansa ait S-PWM sinyalinin bulunmasıdır.

Daha öncede bahsedildiği gibi iki sinyalin arasındaki tek fark aralarında 180 derece faz farkı olmasıdır bunun haricinde geriye kalan her şey birebir aynı olması nedeniyle şekil 11’de negatif alternansa ait S-PWM sinyaline yer verilmemiştir. Darbe paketinin yakınlaştırılmış hali şekil 3’de gösterilmiştir.

Şekil 12’de anahtarlama elamanının çıkış sinyali verilmiştir. IGBT sürücü devresi 2 seviyeli invertör uygulamasında kullandığı için çıkış sinyali şeklide görüldüğü gibidir. Şekil 12’de görüldüğü üzere herhangi bir yanlış darbe veya hatalı sinyal görülmektedir.



Şekil 12 IGBT sürücü kartı çıkış sinyali

#### 4.1 Yeni sürücü kartının diğer sürücü kartları ile karşılaştırılması

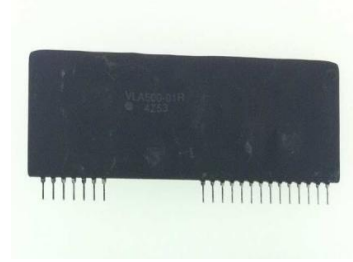
Bu bölümde önerilen yeni IGBT sürücü kartının literatüre kazandırdığı faydalardan ve diğer IGBT sürücü kartlarına göre avantaj ve dezavantajlarından bahsedilecektir.

Geleneksel sürücü kartlarında yaygın olarak sabit besleme voltajı kullanılmaktadır. Beşinci bölümde anlatıldığı gibi sürücü kartı çok kısa zaman aralıklarında yüksek akıma ihtiyaç duyması yoğun ve hızlı bir besleme ihtiyacını gerektirmektedir.

Bu noktada besleme kaynağının kalitesi sürücü sistemini doğrudan etkilediği için bu makalede özellikle bu konu üzerinde çalışılmıştır.

Karşılaştırma VLA500-01 IGBT sürücü ile bu makalede anlatılan ACPL-352j-500 quazi rezonans IGBT sürücüsü arasında yapılacaktır.

VLA500-01 içerisinde izole beslemesi ve sürücü devresi olan tek bir IGBT’yi sürmek için tasarlanmış ve yaygın olarak kullanılan bir IGBT sürücüsüdür. Sürücü görseli şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13 VLA500-01 IGBT sürücüsü

Tablo 7 VLA500-01 ile QR ACPL-352J karşılaştırması[21]

| Sürücü                        | VLA500-01 | QR ACPL352-J | Birim |
|-------------------------------|-----------|--------------|-------|
| Besleme voltajı               | 15        | 24           | VDC   |
| Anlık max. kapı sürücü akımı  | 12        | 9            | A     |
| IGBT sürme sayısı             | 1         | 4            | ADET  |
| Yayımla gecikmesi             | 1         | 0,1          | us    |
| Yükselme süresi               | 300       | 37           | nS    |
| Maliyet(yaklaşık)             | 85        | 40           | USD   |
| Maksimum anahtarlama frekansı | 20        | 50           | kHz   |

#### 5. Sonuç

Bu sürücü kartının temel amacı, pahalı kapalı devre tak çalıştır IGBT sürücü modüllerine alternatif bir çözüm sağlamaktır. Test sonuçları incelendiğinde sürücü kartının iyi bir performans ve kararlılık sergilediği görülmüştür. Tablo 7’deki karşılaştırma sonuçlarına göre VLA500-01 IGBT sürücüsünün maliyet ve sürücü hızı açısından ACPL-352J ye göre geri kaldığı görülmüştür. Daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için test ortamı olarak masafüsti yerine hali hazırda çalışmakta olan endüstriyel bir cihaz seçilmiştir. Bu sürücü kartını diğer sürücü kartlarından ayıran en temel özelliği sürücü beslemesinin neredeyse kayıpsız olarak kabul edilebilecek bir dönüştürücü topolojisi olan quazi rezonans besleme topojisini kullanmasıdır. Bu besleme topolojisi Avago’nun akıllı kapı sürücü entegrasi ile birleştirilmesi sonucunda ortaya bir kapı sürücü devresinin sahip olması gereken tüm fonksiyonlara sahip sürücü kartı ortaya çıkmıştır.

## REFERANSLAR

- [1] B. Sun, Z. Zhang and M. A. E. Andersen, "A Comparison Review of the Resonant Gate Driver in the Silicon MOSFET and the GaN Transistor Application," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 6, pp. 7776-7786, Nov.-Dec. 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2914193.
- [2][17] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics Handbook", 2001
- [3] E.A.M. Klumperink, S. L. J. Gierkink, A. P. van der Wel and B. Nauta, "Reducing MOSFET 1/f noise and power consumption by switched biasing," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 35, no. 7, pp. 994-1001, July 2000, doi: 10.1109/4.848208.
- [4] G. Boselli, G. Trucco and V. Liberali, "Effects of digital switching noise on analog circuits performance," 2007 18th European Conference on Circuit Theory and Design, 2007, pp. 160-163, doi: 10.1109/ECCTD.2007.4529561.
- [5] M. Antonov and I. Krysan, "An Electronic Key with Galvanic Isolation for Monitoring the State of Elements in Energy Converters," 2020 *IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240828.
- [6] H. Hussin, A. Saparon, M. Muhamad and M. D. Risin, "Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Design and Implementation by Focusing on Reducing Harmonic Content," 2010 *Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation*, 2010, pp. 620-623, doi: 10.1109/AMS.2010.125.
- [7] M. S. N. Romli, Z. Idris, A. Saparon and M. K. Hamzah, "An area-efficient Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) technique for Single Phase Matrix Converter (SPMC)," 2008 *3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2008, pp. 1163-1168, doi: 10.1109/ICIEA.2008.4582701.
- [8] A. Bahrami and M. Narimani, "A Sinusoidal Pulsewidth Modulation (SPWM) Technique for Capacitor Voltage Balancing of a Nested T-Type Four-Level Inverter," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 2, pp. 1008-1012, Feb. 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2846618.
- [9] S. Hong, H. -J. Kim, K. -Y. Lee, J. Cheon and D. -H. Han, "A novel dead-time generation method of clock generator for resonant power transfer system," 2010 *International SoC Design Conference*, 2010, pp. 51-54, doi: 10.1109/SOCD.2010.5682976.
- [10] H. Takahashi, H. Obara and Y. Fujimoto, "Dead time compensation for three-level flying capacitor inverter with phase shift PWM," 2018 *IEEE 15th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC)*, 2018, pp. 229-233, doi: 10.1109/AMC.2019.8371093.
- [11] Danis Farrakhov, Kirill Barabanov, Alexander Podguzov, Ilnar Yamalov, Ruslan Urazbakhtin "Quasi-resonant buck converter for high power application", 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), 09 December 2020
- [12][17] Daniel W. Hart, "Power Electronics", Chapter 9 Resonant Converters
- [13] Lee, Fred C. "High-frequency quasi-resonant converter technologies." *Proceedings of the IEEE* 76.4 (1988): 377-390.
- [14] Power Electronics Handbook (Fourth Edition), Muhammad H. Rashid, ISBN 9780128114070,
- [15] Avago ACPL352J-500E datasheet <https://docs.broadcom.com/doc/pub-005817> erişim tarihi 20.10.2022
- [16] <https://www.allaboutcircuits.com/news/benefits-challenges-gan-based-quasi-resonant-power-converter/> erişim tarihi 20.10.2022
- [18] Shur, M., 2019. Wide band gap semiconductor technology: State-of-the-art. *Solid-State Electronics*, 155, pp.65-75.
- [19] P. Palmer, X. Zhang, E. Shelton, T. Zhang and J. Zhang, "An experimental comparison of GaN, SiC and Si switching power devices," *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2017, pp. 780-785, doi: 10.1109/IECON.2017.8216135.
- [20] Taylor, A., Lu, J., Zhu, L., Bai, K., McAmmond, M. and Brown, A., 2018. Comparison of SiC MOSFET-based and GaN HEMT-based high-efficiency high-power-density 7.2 kW EV battery chargers. *IET Power Electronics*, 11(11), pp.1849-1857.
- [21] VLA500-01 datasheet <https://www.kynix.com/uploadfiles/pdf65976/VLA500-01R.pdf> erişim tarihi 27.10.2022

### Özgeçmişler



**Fatih Yalçın**, 2018 yılında Aksaray Üniversitesi Elektrik - Elektronik Mühendisliğinden mezun olmuştur. 2022 yılında Ostim Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği yüksek lisans programına başlayan yazar, ağırlıklı olarak güç elektroniği alanında çalışmaktadır. Endüstriyel tip eviriciler, doğrultucular ve kesintisiz güç kaynakları tasarımı ve üretimi yapmakta olan bir firmada kıdemli ar-ge mühendisi olarak çalışmaktadır.



**Dr. Hüseyin KÖSE**, 2009 yılında Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra bir güç elektroniği firmasında araştırma ve geliştirme mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2009-2020 yılları arasında Gazi Üniversitesi'nde Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini tamamlamış, aynı zamanda özel sektörde Ar-Ge müdürü olarak çalışmıştır. Bu uzun süreçte güç elektroniği ile ilgili endüstriyel alanlarda tecrübe edinmiştir. Doğrultucular, invertörler, ups, anahtarlamalı dönüştürücüler gibi yüksek güçlü güç elektroniği ürünleri tasarlamak ve yürütmek için deneyime sahiptir. Bu günlerde ise Haziran 2021'de kurulan kendi güç elektroniği şirketinin yöneticisi ve OSTİM Teknik Üniversitesi'nde Dr. öğretim üyesi olarak ders vermektedir. KÖSE' nin ulusal ve uluslararası araştırma tezleri, makaleler, bildiriler, desteklenen projeler dahil olmak üzere 10'dan fazla akademik çalışması bulunmaktadır.