

**Başvuru Raporu****Yüksek Güçlü Motor Sürücü Uygulamaları için Sistem Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler**

Cole

MaciasBrushle

ss DC

**ÖZET**

Daha yüksek güç değerlerini sürdüren motor uygulamaları, daha düşük güç uygulamalarında gerekli olmayan tasarım hususlarını beraberinde getirir. Güç kademesinin anatomisine bakarak sorun giderme yöntemleri geliştirebiliriz kılavuzları, harici devrelerden oluşan bir kütüphane, TI sürücü ürün özellikleri veya daha yüksek güçlü sistemlerin değişken doğasıyla mücadele etmek için yerleşim teknikleri.

**İçindekiler**

<b>1 Yüksek Güçlü Motor Uygulamalarına Giriş</b>	<b>2</b>
1.1 Kötu Tasarlanmış Yüksek Güçlü Motor Sürücü Sisteminin Etkileri	2
1.2 Yüksek Güçlü Tasarım Süreci Örneği	3
<b>2 Yüksek Güçlü Bir Motor Tahrik Sisteminin Üst Düzeyde İncelenmesi</b>	<b>4</b>
2.1 Motor Tahrik Güç Kademesinin Anatomisi ve Sorun Giderme	4
2.2 Yüksek Güçlü Bir Sistemde Sorun Giderme	5
<b>3 MOSFET'ler ve MOSFET Kapı Akımı ile Yüksek Güç Tasarımı (IDRIVE)</b>	<b>6</b>
3.1 MOSFET Kapı Akımı	6
<b>4 Harici Bileşenlerle Yüksek Güçlü Tasarım</b>	<b>11</b>
4.1 Yiğın ve Dekuplaj Kondansatörleri	11
4.2 RC Snubber Devreleri	13
4.3 Yüksek Taraf Boşaltma - Düşük Taraf Kaynak Kondansatörü	14
4.4 Gate-to-GND Diyotlar	15
<b>5 Paralel MOSFET Güç Kademesi ile Yüksek Güçlü Tasarım</b>	<b>16</b>
<b>6 Koruma ile Yüksek Güç Tasarımı</b>	<b>17</b>
6.1 VDS ve VGS İzleme	17
6.2 Pasif Kapıdan Kaynağa Pulldown Dirençleri	18
6.3 Güç Kaynağı Ters Polarite veya Güç Kaynağı Kesilme Koruması	19
<b>7 Motor Kontrol Yöntemleriyle Yüksek Güç Tasarımı</b>	<b>20</b>
7.1 Fren ve Sahil	20
<b>8 Düzen Aracılığıyla Yüksek Güçlü Tasarım</b>	<b>22</b>
8.1 Kelvin Bağlantısı Nedir?	22
8.2 Genel Yerleşim Önerileri	23
<b>9 Sonuç</b>	<b>24</b>
<b>10 Teşekkür</b>	<b>24</b>

**Şekillerin Listesi**

Şekil 2-1. Yüksek Seviye Güç Kademesi	4
Şekil 3-1. MOSFET Üzerindeki Anahtarlama Kaynaklı Endüktif Spiking ve Kuplaj	7
Şekil 3-2. Kapı Akımı Sabitken Sink ve Kaynak Dirençleri	8

Şekil 3-3. Sink ve Kaynak Akımı Kontrol Edildiğinde Kapı Direnci Yer Tutucusu, Örneğin Akıllı Kapı Sürücüsü .....	9
Şekil 4-1. Yığın Kondansatör Örneği .....	11
Şekil 4-2. Paket Boyutuna Göre Kapasitans ve Kondansatöre Maruz Kalan Gerilim .....	12
Şekil 4-3. Örnek RC Snubber'lar .....	13
Şekil 4-4. Örnek Yüksek Taraf Drenaj - Düşük Taraf Kaynak Kondansatör Konumu .....	14
Şekil 4-5. Örnek Kapıdan GND'ye Diyot .....	15
Şekil 5-1. Daha Yüksek Akım Taşıma Kapasitesi Elde Etmek İçin MOSFET'lerin Paralel Kullanılması .....	16
Şekil 6-1. VDS ve VGS Monitörlerinin Örnek Uygulaması .....	17
Şekil 6-2. Örnek Pasif Kapıdan Kaynağa Pulldown Dirençleri .....	18

Şekil 7-1. Kıyı Durumu Sırasında Gövde Diyotlarından Akan Akım Örneği.....	20
Şekil 7-2. Örnek Aktif Fren Devresi.....	21
Şekil 8-1. İyi Bir Kelvin Bağlantısı Örneği.....	22
Şekil 8-2. Örnek Akıllı Kapı Sürücü Şeması Parazitlerin Muhasebeleştirilmesi.....	23

## 1 Yüksek Güçlü Motor Uygulamalarına Giriş

Yüksek güçlü motor uygulamaları, 12-V otomotiv güç koltukları gibi yüzlerce watt ile sonuçlanan düşük voltajlı sistemlerden 60-V ve 100-A elektrikli aletler gibi birden fazla kilovatlık sistemlere kadar her yerde olabilir. Tipik olarak bu sistemler şönt tabanlı akım algılama ve büyük güç MOSFET'lerini kontrol eden izole edilmemiş kapı sürücüleri kullanır. Bu uygulamalar bir bataryadan veya DC'ye dönüştürülmüş şebeke AC gücünden beslenebilirken, hepsinin ortak hedefi sağlam olmak ve ateşleme, kısa devre, aşırı akım, **MOSFET ters kurtarma** veya PCB parazitik endüktans davranışından kaynaklanan yüksek akım ve yüksek voltaj olaylarına karşı korunmaktır.

Örneğin, elektrikli el aletleri delme, taşlama, kesme, parlatma, bağlantı elemanları çakma ve daha fazlası gibi endüstriyel ve evsel amaçlar için yüksek güç değerlerine sahiptir. Gereksinimler şunları içerir:

- Aletler genellikle elde taşındığı için küçük form faktörü
- Aletler genellikle pille çalıştığı için yüksek verimlilik
- Aletlerin büyük yüklerin üstesinden gelmek için yüksek tork üretmesi gerektiğinden yüksek akım
- Aletin arızalanması durumunda güvenlik birincil endişe kaynağı olduğundan yüksek güvenilirlik
- Uygun dağılım olmadan yüksek güç yoğunlukları sistemlerin aşırı ısınmasına neden olduğundan iyi termal performans

Yüksek güç sistemleri tasarlarken, bu gereksinimler birbirleriyle çelişir ve ödünleşim yaratır. Elektrikli aletler söz konusu olduğunda, yüksek akım, verimlilik ve termal performans daha büyük bir kart boyutuyla artırılabilir, bu da küçük ve elde taşınabilir olma ihtiyacıyla çelişir.

Bu da yüksek güç tasarımını çok önemli hale getirmektedir. Elektromanyetik Girişim (EMI) örneğinde olduğu gibi, yüksek güç uygulamaları için tasarım yapmak, oluşabilecek veya oluşmayabilecek sorunları hafifletmek için kararlar alma ve planlama sürecidir.

### 1.1 Kötü Tasarlanmış Yüksek Güçlü Motor Sürücü Sisteminin Etkileri

Şaşırtıcı bir şekilde, zayıf yüksek güç tasarımı her zaman elektrik yangını veya dumanla sonuçlanmaz. Sonuçlar bir spektrumdur. Elektrik yangını durumunda, sonuçlar anlık olabilir ve motorun ilk kez dönmesi aynı zamanda katastrofik kart hasarı nedeniyle motorun son kez dönmesidir. Bu, tasarımda temelde bir hata olduğunu veya normal çalışmanın bazı yönlerinin güçlendirildiğini gösterir. Sonuç olarak, tasarımın bazı yönleri azaltılabilir veya hafifletilebilir, hasar kaynağı kontrol edilebilir ve hasar olasılığını ihmal edilebilir bir seviyeye getirmek için sistem üzerindeki olumsuz etkileri azaltılabilir.

Diğer durumlarda, motor dönecek ve daha fazla akım vermesi veya dönmeyi durdurması komutu verildiğinde hasar meydana gelebilir. Operasyondaki bir değişiklik sistemi kapasitesinin ötesinde zorlar. Daha zor durumlarda, motor yüz saat boyunca aynı akım veya hızda dönecek ancak test sonuçlanmadan dakikalar önce arızalanacaktır. Bu, özel bir kullanım durumunun tasarımın arızalanmasına neden olabileceği veya düzenli çalışmanın, kalıcı ve gözlenen bir arıza meydana gelene kadar zaman içinde tasarımda hasara yol açabileceği anlamına gelebilir.

Spektrumdaki farklılıkları anlamak, tasarımcının hasarı düzeltmek veya önlemek için ne tür bir değişikliğe ihtiyaç duyulduğunu anlamasını sağlar. Tıpkı hasar spektrumunda olduğu gibi, değişiklik spektrumu da malzeme listesindeki bir bileşenin değiştirilmesinden şematik ve yerleşim planının tamamen yeniden tasarlanmasına kadar değişebilir.



## 1.2 Yüksek Güçlü Tasarım Süreci Örneği

Bu örnek varsayımsal bir konuyu ele almakta ve yüksek güçlü bir motor sürücüsü uygulamasını geliştirmek için yüksek güçlü tasarım ilkelerini kullanmaktadır. Bu örnek, sürecin nasıl kullanıldığını göstermeye hizmet etmektedir ve uygulama notunun geri kalanı, sonuçta kullanılan süreçle sonuçlanan teoriyi açıklamaktadır.

Aşağıdaki örneği ele alalım:

- DRV835x kullanılarak 20 A'de çalışan 48-V sistemde, sistem beklediği gibi çalışır
- Akım, hedef akım olan 30 A'e yükseltildiğinde, sistem sürekli olarak hasar görür
- Bu, 30 A akım seviyesinin üzerine çıkarılan tüm sistemler için gerçekleşir

Verilenler incelendiğinde, sistemde temel bir sorun olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, sorun gidermede bir sonraki adım olarak kapı sürücü devresinin işlevleri doğrulanmalıdır.

Sorun giderme adımlarını uyguladıktan sonra, dikkate değer gözlemler şunlardır:

- nFAULT sinyali sadece düşük tarafı anahtarlama çalıştıktan sonra uygulanır ve kriterlere bakıldığında, düşük tarafta bir VGS hatası meydana gelmiştir, bu da giriş düşük taraf kapı sinyali anahtarlendiğinde kapı voltajının beklenen voltaja yükselmediği anlamına gelir
- Bir DMM kullanarak, düşük taraf kapıdan kaynağa empedans testi, kısa devre ve hasarı gösteren birkaç çift ohm gösterir
- Hasar öncelikle tek bir fazda meydana gelir, ancak test edilen sisteme bağlı olarak diğer bazı fazlar da hasar görmüştür

Geçit-kaynak arasındaki kısa devre, mutlak bir maksimum limit aşılmış olabileceğinden voltaj endüktif sıçramasının sorun olduğunu gösteriyor gibi görünüyor. Bu durum, daha düşük bir akım seviyesinde hasar olmamasıyla da desteklenmektedir. Buna ek olarak, eğer hasar öncelikle tekil bir faz üzerindeyse, bu, yerleşimin optimize edilmediğini ve soruna katkıda bulunabileceğini gösterebilir.

Voltaj yükselmesini azaltmak amacıyla:

- IDRIVE'ı düşürerek sivrilmeyi sınırlamak amacıyla geçit sürücü sink ve kaynak akımı azaltılmıştır.
  - Bu, sistemin 30-A'de hayatta kalmasını sağladı, ancak VDS sinyalinin ve kapıların ortaya çıkan yükselme ve düşme süresi uygulama için çok yavaştı. Yükselme ve düşme süresi kabul edilebilir olsaydı, sorun burada çözülmüş olacaktı.
- Düşük taraf geçit ve kaynak gerilimleri üzerinde 20 A'de bir osiloskop probu kullanıldığında, dalga biçimleri düşük taraf kaynağında [DRV835x 100-V Üç Fazlı Akıllı Geçit Sürücüsü](#) veri sayfasında tanımlanan mutlak maksimum sınırlara yakın ancak bunları aşmayan negatif gerilim yükselmesi olduğunu gösterir.
  - Bu durum, akım arttıkça bu ani yükselmelerin daha da kötüleşeceği ve sonunda mutlak maksimum değerleri aşacağı varsayımına yol açar

Düşük taraftaki kaynak ve kapıdaki negatif yükselmenin sorun olduğuna dair bazı göstergelerle birlikte, bazı çözümler şunları içerir:

- Düşük taraf kapasitörlerine yüksek taraf kaynağı ekleyin
- Geçit-GND diyotları ekleyin
- Yığın kapasitansını artırın
- Hasar alan fazın etrafındaki yerleşimi analiz edin ve özellikle GND ve algılama direnci yolu olmak üzere iyileştirin

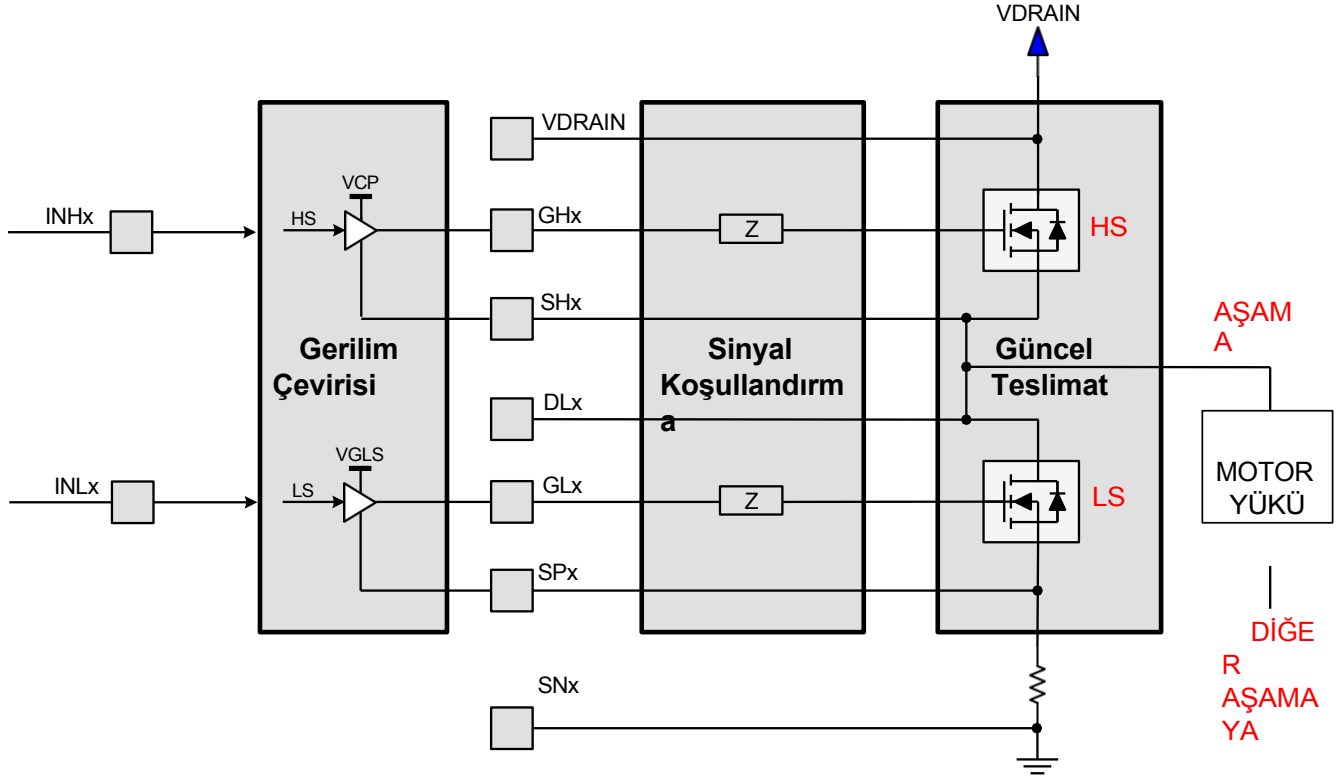
Sorunu çözebilecek seçenekleri değerlendirin. Panonun yeniden tasarlanmasını önlemek için en iyisi malzeme listesinde bir değişiklik aramak veya daha önce boşaltılmış olan bileşenleri doldurmaktır.

- Yüksek taraf drenajı ile düşük taraf kaynak kapasitörleri için ayak izleri mevcut olduğundan, ancak doldurulmadığından, bir kapasitör eklemek, yeniden tasarım yapmak zorunda kalmadan ve geçit sürücü akımını düşürmeden sorunu çözdü.

Bu uygulama notu, süreci sorun giderme kılavuzları, harici devreler kütüphanesi, TI sürücü ürün özellikleri veya daha yüksek güçlü sistemlerin değişken doğasıyla mücadele etmek için yerleşim tekniklerinin geliştirilmesine ayırmaktadır.

## 2 Yüksek Güçlü Bir Motor Tahrik Sisteminin Üst Düzeyde İncelenmesi

### 2.1 Motor Tahrik Güç Kademesinin Anatomisi ve Sorun Giderme



**Şekil 2-1. Yüksek Seviye Güç Kademesi**

Sorun giderme kılavuzları, harici devreler kütüphanesi, TI sürücü ürün özellikleri veya yerleşim teknikleri geliştirmeden önce, tipik geçit sürücüsü sistemi ve alt işlevleri anlaşılmalıdır.

Şekil 2-1'in sağ tarafından başlayarak, invertör, faz veya yarım köprü olarak da bilinen motor sürücü güç katının bir işlevi motora akım sağlamaktır. En basit parçalarına ayrıldığında, akım VDRAIN'den yüksek taraf FET'ine ve düşük taraf FET'inin kapalı olduğu varsayılarak motora akar. Alternatif olarak, eğer düşük taraf FET'i açık ve yüksek taraf FET'i kapalı olduğunda, akım motordan ve düşük taraf FET'inden GND'ye akar. Kilowatt motor sürücü uygulaması bağlamında, bu FET'lerden yüzlerce amper kadar akım akabilir.

Şekil 2-1'in sol tarafına geçerseniz, güç kademesinin bir başka işlevi de dijital mantık PWM giriş sinyallerini (örneğin INHx ve INLx) 24 V veya 48 V gibi daha yüksek bir analog voltaj seviyesindeki sinyallere çevirmektir. Buna ek olarak, analog voltaj seviyelerini çevirmek için verilen motor sürücüsü besleme voltajından voltaj raylarını üretmek genellikle motor sürücüsünün işlevlerinin bir parçasıdır. Bu analog gerilimler VDRAIN'den veya sistemdeki en yüksek giriş geriliminden daha yüksek olabilir. Bu nedenle, bu voltajları elde etmek için doğrusal regülatörler, şarj pompaları veya bootstrap mimarileri kullanılır (örneğin, VCP ve VGLS).

Şekil 2-1'in ortasında, güç katının bir başka ikincil işlevi de FET'in kapılarındaki sinyalleri koşullandırmak veya kontrol etmektir. MOSFET'ler drenaj ve kaynak gerilimlerine göre kapı gerilimine bağlı olarak anahtar, direnç veya akım kaynağı gibi davranabildiğinden, FET'in tüm gerilimleri kontrol edilmeli ve izlenmelidir. Koruma, sinyal koşullandırma teknikleri ve özel devrelerin tümü bu işlevin kapsamına girer.

Özetle, motor tahrik güç kademesinin üç işlevi şunlardır:

- Motora akım verilmesi
- Dijital gerilim seviyelerinden motor gerilim seviyesine gerilim çevirisi
- Kapı sinyali koşullandırma veya koruma

## 2.2 Yüksek Güçlü Bir Sistemde Sorun Giderme

Sorun giderme sürecindeki ilk adım hasarın nerede meydana geldiğini anlamaktır. Hasar meydana geldikten sonra herhangi bir işlevin artık amaçlandığı gibi çalışıp çalışmadığını değerlendirmek için güç kademesinin işlevlerini kontrol edin.

Motora akım verilmesi durumunda, bir Dijital Multimetre (DMM) alın ve FET'lerin drenajı ile kaynağı veya [Şekil 2-1](#)'de gösterilen VDRAIN ile SHx arasında bir empedans kontrolü yapın. Güç verilmediğinde drenaj-kaynak yolunun yüksek empedanslı (yani k $\Omega$ ) olması beklenir, bu nedenle düşük empedans FET'lerde ve akım iletim yolunda hasar olduğunu gösterir. Daha sorunlu sorun giderme için, kararlılığı ve sinyallerdeki çınlama miktarını kontrol etmek üzere bir geçiş sırasında FET'teki kapı voltajını, drenaj voltajını ve kaynak voltajını problemler için bir osiloskop kullanın.

Gerilim çevirisi durumunda, bir DMM alın ve [Şekil 2-1](#)'de gösterildiği gibi kapı sinyalleri ile VGLS, VCP veya GND gibi kapı gerilim kaynakları arasında bir empedans kontrolü yapın. Bu yolların kapasitif yük ile yüksek empedanslı olması beklenir. Düşük empedans hasara işaret eder (yani, ohm olanlar). Daha derinlemesine sorun giderme için, çalışma sırasında gerilim kaynaklarının kararlılığını kontrol etmek üzere bir osiloskop gerilim probu kullanın.

Geçit sinyallerinin koşullandırılması veya korunması durumunda, bir DMM veya LRC metre alın ve pasif bileşenlerin hasar görmediğinden emin olmak için yoldaki bileşenler üzerinde bir empedans kontrolü yapın. Okunan değeri şemada listelenen beklenen değerle karşılaştırmak hasar olup olmadığını kontrol etmenin kolay bir yoludur.

Çoğu motor sürücüsünün bu işlevleri tek bir cihaza veya silikon parçasına entegre ettiğine dikkat etmek önemlidir. Sonuç olarak, bu entegre kapı sürücülerinin çoğu bu işlevleri izleyebilir, kontrol edebilir ve Bir çeşit FAULT, WARNING, LOCK GPIO sinyali veya okunabilir kayıt ile tasarımcı. Eğer nFAULT sinyali verilirse, nFAULT sinyalinin neden verildiğini ve hangi hatanın tetiklendiğini anlamak çok önemlidir. Her hata için kriterler genellikle veri sayfasında sağlanır. Daha da önemlisi, nFAULT sinyali sıfırlanabiliyorsa, sinyal bir osiloskop voltaj probu ile izlenebilir ve FET kapısı, kaynak veya drenaj voltajları gibi diğer sinyalleri yakalamak için düşen kenar tetikleyicisi olarak kullanılabilir.

Özet olarak, adımlar şunlardır:

- FET'lerin tüm terminalleri arasındaki empedansı kontrol etmek için bir DMM kullanın
- Kararlılığı ve çınlamayı kontrol etmek için geçit, drenaj ve kaynak voltajlarını araştırmak üzere bir osiloskop kullanın
- Geçit ve geçit voltaj kaynakları arasındaki empedansı kontrol etmek için bir DMM kullanın
- Kapı besleme gerilimlerini kararlılık açısından incelemek için bir osiloskop kullanın
- Güç katındaki pasif bileşen değerlerini doğrulamak için bir DMM veya LCR kullanın
- Verilen herhangi bir FAULT sinyalinin nedenini anlayın

Neyse ki, yüksek güç tasarımı öncelikle bir şeyler ters gittikten sonra gerçekleştirilen bir deney olmak zorunda değildir. Daha önce de belirtildiği gibi, olası sorunları hafifletmek için alınabilecek önlemler vardır.

Bu eylemler, farklı bir kart mimarisi veya daha fazla bileşen veya kart alanına yol açan farklı kapı sürücüsü çalışmasıyla sonuçlanabilir. Bu nedenle, olası her eylemi uygulamak ve gerçek sistemin en önemli gereksinimlerini göz önünde bulundurmak arasında ödünleşimler vardır - bu, yüksek güçlü tasarım sanatıdır.

### 3 MOSFET'ler ve MOSFET Kapı Akımı ile Yüksek Güç Tasarımı (IDRIVE)

#### 3.1 MOSFET Kapı Akımı

Daha önce de belirtildiği gibi, MOSFET drenaj ve kapı akımı motora güç iletiminin bel kemiğidir. Akım sağlamak ve FET'i açmak için MOSFET'in içsel kapı kapasitörlerinde yük birikmesi gerekir. Bu süreç, [MOSFET ve IGBT Kapı Sürücü Devrelerinin Temelleri](#) ve [Akıllı Kapı Sürücüsünü Anlama](#) uygulama notlarında daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Sonuç olarak, ideal birinci dereceden [Denklem 1](#)'de gösterildiği gibi, FET'in geçidindeki elektrik yükü oranını veya akımı, drenaj-kaynak gerilimindeki artışa bağlar:

$$SR_{DS} = \frac{IDRIVE \times VDS}{Q_{gd}} \quad (1)$$

Nerede?

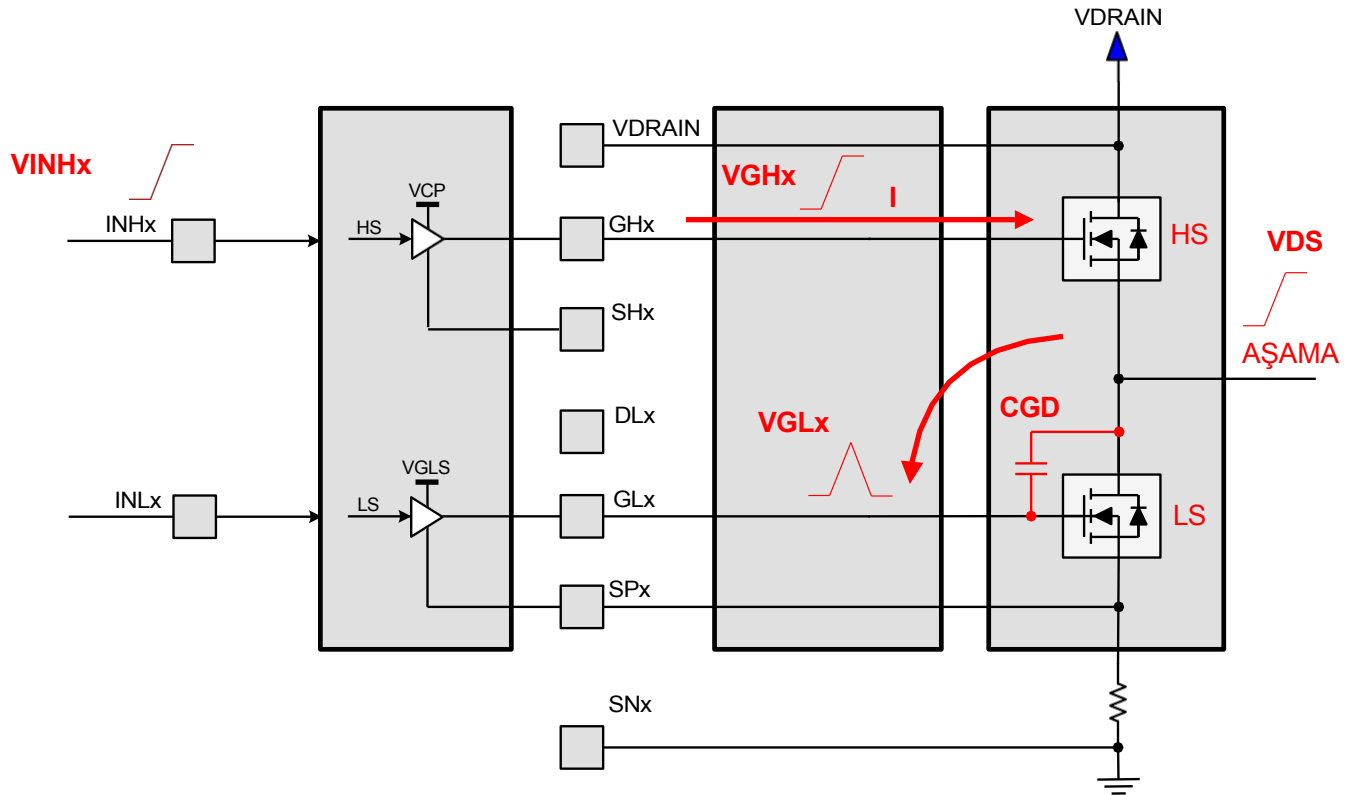
- $SR_{DS}$  = saniye cinsinden drenajdan kaynak gerilimine dönüş hızı
- $IDRIVE$  = amper cinsinden kapıya gelen veya kapıdan çıkan akım
- $V_{DS}$  = MOSFET drenaj gerilimi ile kaynak arasındaki gerilim farkı, volt cinsinden
- $Q_{gd}$  = MOSFET için coulomb cinsinden doğal kapıdan boşaltma yükü

[Denklem 1](#)'e göre, yüksek bir  $IDRIVE$  ve küçük bir  $Q_{gd}$  çok hızlı bir dönüş hızı ile sonuçlanır, çünkü sistem besleme voltajı özellikle değişecek şekilde tasarlanmadığı sürece VDRAIN genellikle bir sistemde sabittir. Yüksek çevirme hızı MOSFET'lerde daha düşük anahtarlama kayıplarına neden olduğundan, çevirme hızını mümkün olduğunca yüksek yapmak ilk başta faydalı görünebilir. Ancak çoğu tasarımcı, tasarım için çok yüksek bir çevirme hızı kullanmanın olumsuz etkileri olduğunun farkına varmadan daha yüksek bir çevirme hızı kullanmaya çalışır.

##### 3.1.1 Kapı Akımı Nasıl Hasara Neden Olur?

Ne yazık ki, yüksek güçlü bir sistemde yüksek dönüş hızının olumsuz etkileri vardır. MOSFET'in doğal kapasitif kuplajı ve parazitik LC rezonansının etkileri, FET'lerden daha fazla akım geçtikçe ve VDS voltajı daha hızlı geçiş yaptıkça artar.





### Şekil 3-1. MOSFET Üzerindeki Anahtarlamadan Kaynaklanan Endüktif Spiking ve Kuplaj

**Şekil 3-1'**de gösterildiği gibi, kapı sinyalinin yükselen kenarının yüksek frekanslı bileşeni - ve daha da önemlisi Miller bölgesinden geçen yükselen VDS sinyali - akımın diğer FET'in içsel kapasitörlerine akmasına neden olur. Bu sinyal, kapasitörler daha yüksek frekanslarda daha düşük empedansa sahip olduğundan, doğal kapıdan drenaja veya kapıdan kaynağa kapasitör üzerinden bağlanır. Bu birleştirilmiş sinyaller yeterince yüksekse, motor sürücüsünün mutlak maksimum değerlerini aşabilir veya bir fazdaki düşük ve yüksek taraf FET'lerini açarak akım motoru atlayıp VDRAIN'den GND'ye giden doğrudan yoldan akarken bir ateşleme durumuna neden olabilirler.

MOSFET'ler, CGD kuplajı nedeniyle açılmadan önce maksimum dönüş hızı sınırına sahiptir. Bu, dönüş hızı çok **yüksekse, geçit doğrudan** kaynağa **kısa devre yapılsa bile** MOSFET'in açılacağı anlamına gelir.

Geçit sürücüsü pulldown gücü ve geçit yolundaki parazitik endüktans göz önüne alındığında, bu, istem dışı açılmaya neden olmadan önce mümkün olan maksimum dönüş hızını azaltır.

Basitçe söylemek gerekirse, daha yüksek kapı akımı daha fazla bağlantı anlamına gelir ve daha az

kapı akımı daha az bağlantı anlamına gelir. Tekrarlamak gerekirse:

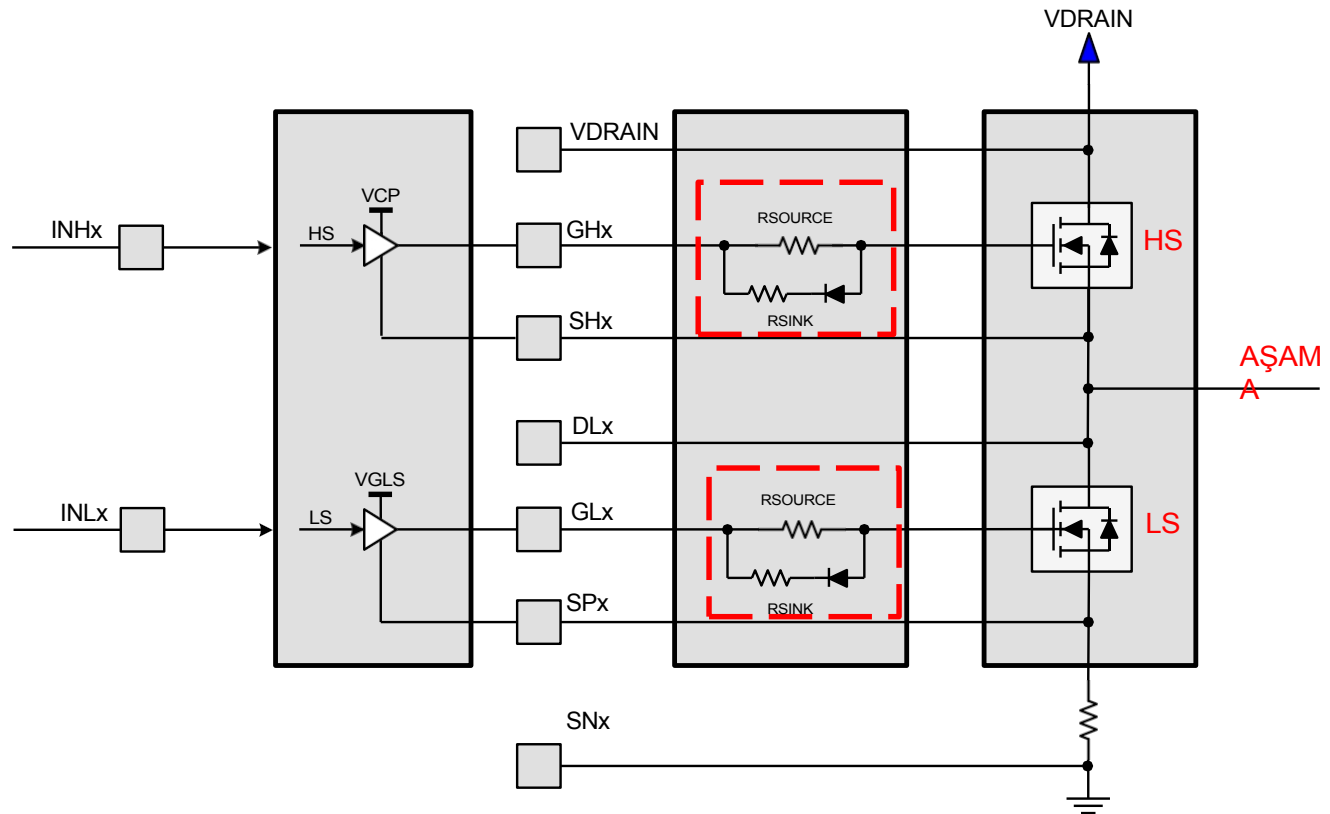
- Çok fazla kapı akımı hasara yol açar
- Akımın azaltılması hasarı önler
- Sistem için doğru kapı sürücü akımının ( $I_{DRIVE}$ ) seçilmesi çok önemlidir.

Artık çok fazla kapı akımının etkileri anlaşıldığına göre, kapı akımını ayarlamak için yöntemler geliştirilmeli ve belirli bir sistem için kapı akımının hesaplanması türetilmelidir.

### 3.1.2 Kapı Dirençleri ve Akıllı Kapı Sürücü Teknolojisi

Kapı akımı veya  $I_{\text{DRIVE}}$  FET'in anahtarlama özelliklerinde büyük bir rol oynarken, kapı akımını ayarlamak için yöntemler gereklidir.

### 3.1.2.1 Kapı Dirençleri



### Şekil 3-2. Kapı Akımı Sabitken Sink ve Kaynak Dirençleri

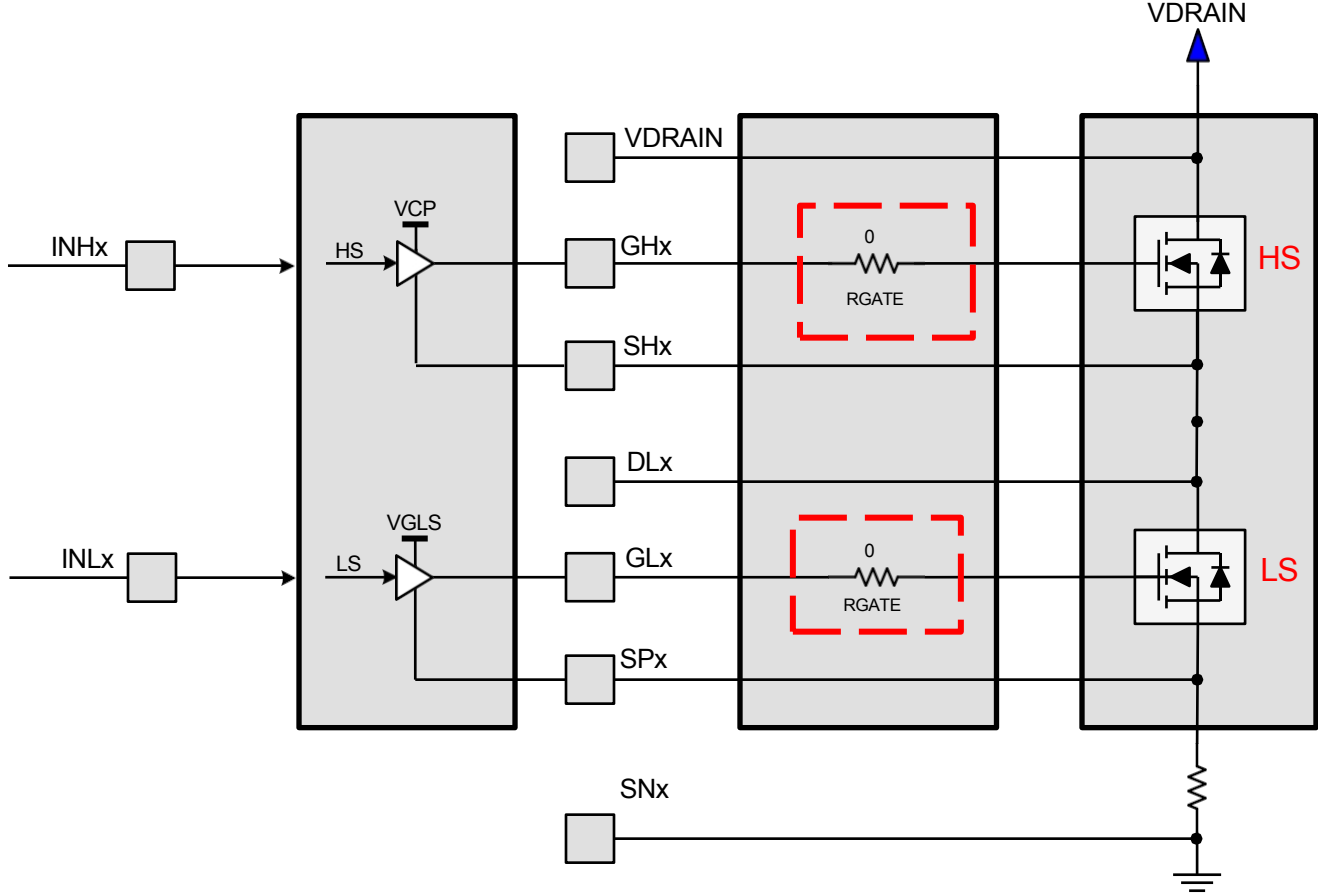
Çoğu kapı sürücüsü cihazında, kaynak ve yutak veya pullup ve pulldown, kapı sürücü akım değerleri veri sayfasında bulunur. Bazı cihazlarda bu değer dahili olarak sabittir ve çıkış akımı kapasitesi, belirli bir FET için hesaplanan IDRIVE değerinden çok daha büyüktür.

Uygulanan kapı voltajının dönüş hızını kontrol etmek ve FET'in kapısına uygulanan tepe akımını azaltmak için harici bir seri kapı direnci ekleyin. Bu bir RC filtresine benzer: R geçit direncidir ve C MOSFET'in doğal kapasitansdır. Daha fazla kontrol için, tasarımcı alıcı ve kaynağı ayrı ayrı kontrol etmek istiyorsa, paralel olarak başka bir kapı direnci ve diyot yerleştirin. Bu **Şekil 3-2'**de gösterilmiştir.

MOSFET parametreleri, sistem voltajı ve kart parazitlerinin tümü nihai dönüş hızını etkiler, bu nedenle optimum bir kapı direnci değeri seçmek yinelemeli bir süreçtir. Bu süreç [Kapı Sürücülerinin İçin Harici Kapı Direnci Tasarım Kılavuzu](#) teknik notunda açıklanmıştır.

Bir kapı direnci için kullanılacak en iyi direnci belirlemeye yardımcı olan yararlı bir ilke vardır: daha az direnç, daha hızlı bir dönüş hızıyla daha fazla akıma eşittir ve daha fazla direnç, daha yavaş bir dönüş hızıyla daha az akıma eşittir.

### 3.1.2.2 Akıllı Kapı Sürücüsü ve Dahili Kontrollü Sink ve Source Kapı Akımları



**Şekil 3-3. Sink ve Kaynak Akımı Kontrol Edildiğinde Kapı Direnci Yer Tutucusu, Örneğin Akıllı Kapı Sürücüsü**

Birçok TI geçit sürücüsü, FET'e verilen akımı kontrol etmek için kullanılan Akıllı Geçit Sürücüsü adı verilen teknolojiyi içerir. Tasarımcının, bir kayıttaki bitleri değiştirerek veya [Şekil 3-2'de](#) açıklandığı gibi belirlenmiş bir pin üzerinde harici bir direnç yapılandırarak kaynak ve sink akımını seçmesi yeterlidir. Daha fazla bilgi [Akıllı Kapı Sürücüsünü Anlama](#) uygulama notunda bulunabilir.

Bununla birlikte, tasarımcının iki ayar arasında veya en düşük ayardan daha düşük bir sink veya source akımı yapması gerekebileceğinden, FET'in gate'i ile cihazın gate drive pini arasına seri bir 0-Ω direnç koymak yine de iyi bir uygulamadır. Bu direnç aynı zamanda voltaj ölçümleri için kolay erişilebilir bir test noktası olarak da kullanılabilir. Bu, [Bölüm 3.1.2.2'de](#) gösterilmiştir.

### 3.1.2.3 Kapı Dirençleri ve Akıllı Kapı Sürücü Teknolojisi için Özet

- Hem kapı direnci hem de Smart Gate Drive teknolojisi kapı sink ve source akımını ayarlar
- Kritik sönümlü performans için kaynak endüktansının reaktansına eşit bir kapı direnci seçin ve [Kapı Sürücülerini İçin Harici Kapı Direnci Tasarım Kılavuzu](#) teknik notunda açıklandığı gibi düşük sönümlü performans için kaynak endüktansının reaktansının iki katına kadar bir kapı direnci seçin
- Alternatif olarak, dirençler genel hesaplamalar kullanılarak, VGS dalga formu gözlemlenerek ve sırasıyla daha yavaş veya daha hızlı dönüş hızları için daha yüksek veya daha düşük değer ayarlanarak da seçilebilir
- Smart Gate Drive kaynak veya sink akımı, [Bölüm 3.1.3'te](#) açıklandığı gibi belirli bir FET için hesaplanabilir
- Geçit direncini veya IDRIVE'ı seçme süreci yinelemeli ve deneyseldir
- Kaynak ve sink akımı cihaz içinde kontrol edilebiliyorsa, örneğin Smart Gate Drive, FET'in gate'ine seri olarak 0-Ω direnç eklemek ve daha fazla ayarlama gerekiyorsa sıfır olmayan bir dirençle değiştirmek yine de iyi bir uygulamadır

### 3.1.3 Verilen bir FET için Örnek Kapı Akımı Hesaplaması

Bu örnek için DRV835x cihaz ailesi kullanılmış ve 3 fazlı BLDC motorlar için 54-V, 1,5-kW, >%99 verimli, 70 × 69 mm<sup>2</sup> güç kademesi referans tasarımında kullanılan CSD19536KTT güç MOSFET'leri ile eşleştirilmiştir: [TIDA-010056](#).

Yaklaşık kapı akımını tahmin etme adımları genel olarak şöyledir:

1. FET parça numarasını ve ilgili veri sayfasını bulun
2. Veri sayfasında  $Q_{gd}$  değerini bulun
3. Tipik  $Q_{gd}$  kabul edilebilir, ancak her zaman Q'nun minimum veya maksimum toleransının farkında olun<sub>gd</sub>
4. Gerekli VDS yükselme ve düşme süresini tahmin edin. Birçok yüksek güçlü sistem için 100 ns ila 300 ns arasındaki yükselme ve düşme süreleri genel bir kılavuz olarak iyi bir başlangıç noktasıdır.
5. Alternatif olarak, tasarımcı denklemini VDS dönüş hızı ( $SR_{DS}$ ) yerine geçit sürücü akımı ( $I_{DRIVE}$ ) cinsinden elde etmek için Denklem 2'yi yeniden düzenleyebilir; burada 25 V/μs ila 100 V/μs genel giriş olarak kabul edilebilir:

$$I_{DRIVE} = \frac{Q_{gd}}{t_{RiseFall}} \quad (2)$$

Nerede?

- $I_{DRIVE}$  = amper cinsinden kapıya gelen veya kapıdan çıkan akım
- $t_{RiseFall}$  = VDS için eşdeğer yükselme veya düşme süresi (VGS değil), saniye cinsinden
- $Q_{gd}$  = MOSFET'in coulomb cinsinden doğal kapıdan boşaltma yükü

CSD19536KTT için,  $Q_{gd} = 17$  nC ve [Denklem 3](#)'ün yükselme ve düşme süresine 100 ns koymak için genel yönergeleri kullanabiliriz. Bazı tasarımcıların düşme süresini yükselme süresinden iki kat daha hızlı yapmak istediklerini unutmayın.

$$I_{DRIVE} = \frac{(17 \times 10^{-9})}{(100 \times 10^{-9})} \quad (3)$$

$$I_{DRIVE} = 170 \text{ mA} \quad (4)$$

DRV835x ailesi tam olarak 170 mA'lık bir  $I_{DRIVE}$  ayarına sahip değildir, ancak kaynak akımı için 150 mA veya 100 mA ve sink akımı için 100 mA'lık daha düşük seçeneklere sahiptir. Kaynak, kapı voltaj kaynağından alınan ve FET'e itilen akımı ifade eder, bu da yükselme süresine karşılık gelir; ve batma, yükün FET'in kapısından çekilme ve FET'in kaynağına itilme hızını ifade eder, bu da düşme süresine karşılık gelir.

Yükselme ve düşme süresinin 300 ns olduğu durumda da aynı denklem kullanılabilir:

$$I_{DRIVE} = \frac{(17 \times 10^{-9})}{(300 \times 10^{-9})} \quad (5)$$

$$I_{DRIVE} = 56 \text{ mA} \quad (6)$$

DRV835x ailesini tekrar kullanarak kaynak akımı için 50 mA seçin ancak en küçük sink akımı 100 mA'dır. Bu, 0-Ω kapı direncini sıfır olmayan bir değerle değiştirerek eşdeğer kapı sink akımını en düşük ayarın altına çekmek için mükemmel bir örnektir. 0-Ω kapı direncine sahip olmayı planlamıyorsanız, istenen performansı elde etmek için izler kesilmeli ve kart yeniden tasarlanmalıdır.

Unutmayın, biz sadece güvenli bir genel kılavuz ile hesaplanan bir başlangıç kapısı tahrik akımı kullanıyoruz. Bu birinci dereceden bir denklemdir ve gerçek sistemde görülenle tam olarak eşleşmez, ancak amaç makul bir başlangıç noktası elde etmektir. Bu nedenle, cihazın kesin bir seçimi yoksa, eşdeğer yükselme veya düşme süresinin hesaplanan değerden daha uzun olmasını sağlamak için aşağı yuvarlarız. Tasarımcıların testten sonra bu sayıyı artırması veya azaltması beklenir.

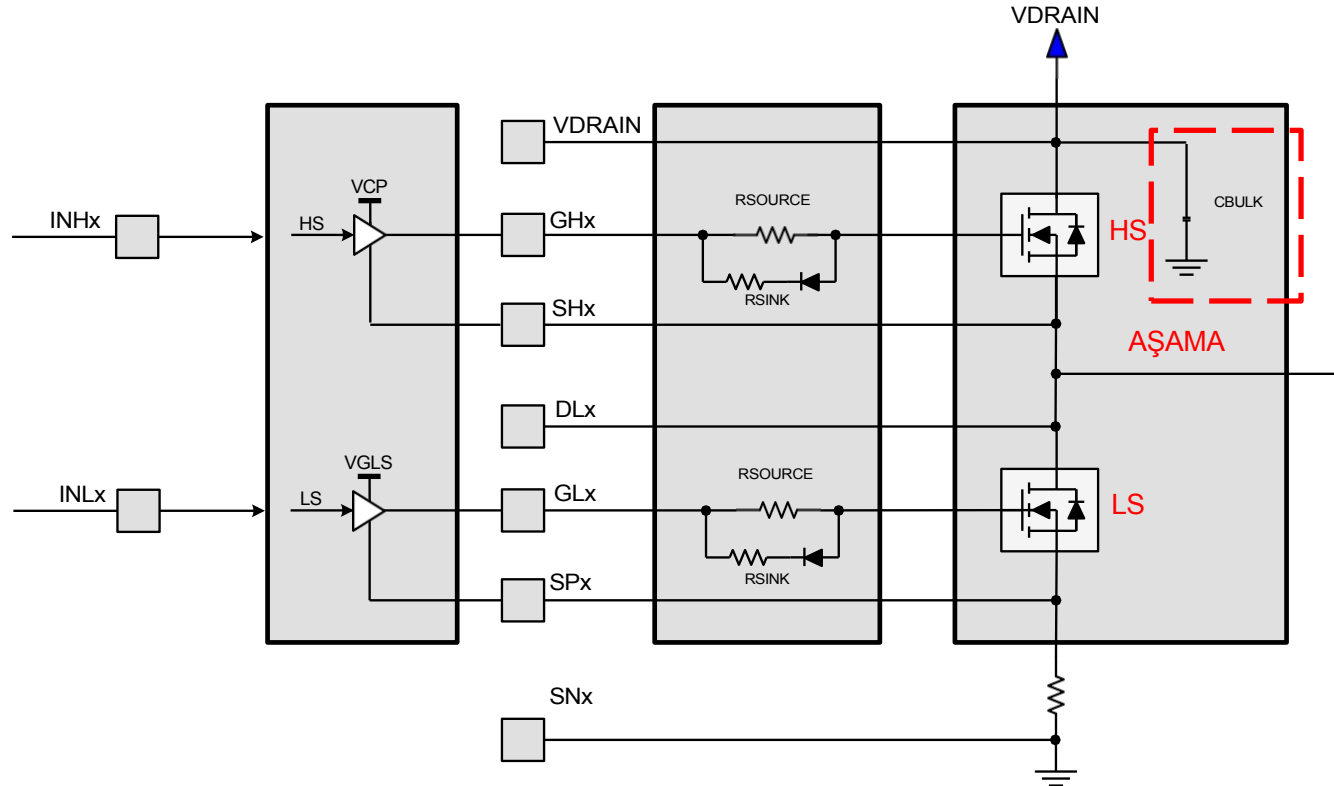
## 4 Harici Bileşenlerle Yüksek Güçlü Tasarım

Bu bölüm için çok sayıda teori ve *simülasyon* destekleyici kanıt, *Simülasyon Yoluyla Motor Sürücü Kartı Parazitlerini Anlama ve Azaltma* makalesinde bulunmaktadır. Burada tartışılan teorinin makale ile desteklenmesi şiddetle tavsiye edilir.

Bölümlerin çoğu teoriyi tartışmakta ancak madde işaretleri ile özetlenmektedir. Bölümün okunması ve bölüm özeti olarak madde işaretlerine geri dönülmesi teşvik edilmektedir.

Bölüm boyunca ilerledikçe, sisteme eklenebilecek daha fazla devre geliştirilir. Bu eklemeler, kart alanını sınırlayan elde taşınabilir olma ihtiyacı gibi sistem hususları ve hedefleriyle çelişebilir. Neyin eklenip neyin eklenmeyeceğine karar vermek, yüksek güçlü tasarım sanatının bir parçasıdır.

#### 4.1 Yığın ve Dekuplaj Kondansatörleri



### Şekil 4-1. Yığın Kondansatör Örneği

Yığın ve dekaplaj kapasitörlerinin birincil amacı, ana güç kaynağının ihtiyaç duymaması için bir sisteme anlık şarj sağlamaktır. Daha spesifik olmak gerekirse, besleme içindeki akım dalgalanması ve kablo ve izlerden kaynaklanan parazit endüktans nedeniyle oluşan voltaj artışları, beslemedeki yetersiz şarjın sonucudur. Güç kaynağı fiziksel olarak motor sürücü devresinden uzakta bulunduğundan, beslemeden MOSFET'lere giden yolda oldukça fazla endüktans vardır.

Küçük değerli kapasitörler nispeten hızlı bir şekilde boşaltılabilir ve şarjla doldurulabilir, burada daha büyük değerli kapasitörler çok fazla enerji depolayabilir, ancak bu kadar hızlı tepki vermezler. Bu nedenle çoğu veri sayfasında güç kaynaklarında paralel yerleştirilmiş büyük ve küçük kapasitörlü bileşenler önerilmektedir. Güç aşaması bağlamında, millifarad veya yüzlerce mikrofaraad elektrolitik veya seramik kapasitörler, tekil ila onlarca mikrofaraad seramik kapasitörlerle birlikte kullanılır.

Buna ek olarak, **Bölüm 4.1**'de gösterildiği gibi, motorun bir jeneratör görevi görebileceği, bulk ve dekaplaj kapasitörlerinin yüksek taraf FET'in drenajındaki veya VDRAIN'deki voltajın yükselmesini önlemek için motordan enerji depoladığı zamanlar vardır.

#### Özetle:

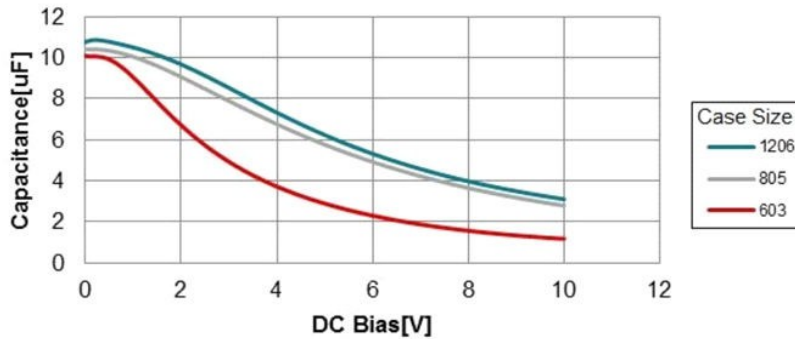
- Düşük değerli kapasitörler hızlı bir şekilde bir miktar şarj sağlayabildiğinden ve yüksek değerli kapasitörler zaman içinde çok fazla şarj sağladığından, sistemdeki voltaj çınlamasını ve voltaj artışlarını azaltmaya yardımcı olur
- Bunları her zaman kullanmanız şiddetle tavsiye edilir. Birkaç 100-µF ila 330-µF kapasitör ile birkaç 1 µF ila 2,2 µF paralel, daha sonra değiştirilebilecek birkaç ayak izi ile iyi bir başlangıç noktasıdır.
- Genel bir kural 2 µF/W'dir; ancak gerçek sistem sonuçları önemli ölçüde değişir

Doğrusu, bu belirsiz bir tavsiyedir. Bu, belirli bir düzen için parazitlikleri tahmin etme ve optimum bir toplu kapasitör değeri elde etmek için SPICE aracılığıyla etkilerini simüle etme sürecini tanımlamaz. Sonuç olarak, denklemler veya zor matematik yoktur. Ancak, bunu pratik bir tavsiye olarak vurgulamak istiyoruz. Tasarım sürecinde sistemi gerçekte test etmek veya veri sayfasıyla birlikte geçmiş sistem bilgisine güvenmek çok daha az çaba gerektirir. Performans yeterince iyi değilse, tasarımcılar daha fazla kapasitör ekler veya malzeme listesini değiştirir, böylece mevcut bir kapasitör sorunu çözmek için farklı bir değere sahip bir kapasitörle değiştirilir.

Özetle, temel bir kapasitör değeri elde etmek için genel bir kural uygulamayı planlamak, ancak bir sistemi gerçekte test etmek, başka bir değişikliğe gerek kalmadan iyi performansla veya deneysel ve yinelemeli bir sürecin performans sorunlarını çözdüğü kötü performansla sonuçlanabilir.

#### 4.1.1 Kondansatör Gerilim Değerleri Hakkında Not

Seramik kondansatörlerin DC gerilim değer kaybı zayıftır. Bu, alüminyum oksit elektrolitik gibi farklı bir malzeme yerine seramik kondansatör kullanmanın bilinen bir dezavantajıdır. Bir seramik kapasitör, nominal gerilime maruz kaldığında nominal kapasitansın yarısını yaşar.



**Şekil 4-2. Paket Boyutuna Göre Kapasitans ve Kondansatöre Maruz Kalan Gerilim**

**Şekil 4-2** gerçek bir üretim kapasitör örneğini göstermektedir. Dikkat edin, 10 V için derecelendirilmiş 10 µF kapasitör, 10 V'ta önerilmediğinde yalnızca 1-3 µF eşdeğer kapasitansla sonuçlanır. Bu grafikler herhangi bir kapasitör veri sayfasında bulunur [ve diğer mühendisler bu gerçekleri zaten araştırmış ve ortaya çıkarmıştır](#).

Yüksek güç bağlamında, 48 V'luk bir sistem en az 100 V veya 2'nin 48 V ile çarpımı 96 V'a eşit olan ve en yakın endüstri değeri 100 V olan seramik kapasitörlere ihtiyaç duyar. Sonuç olarak, güç kademesindeki 48 V nominal kapasitörler yararlı değildir ve buna göre boyutlandırılmalıdır.

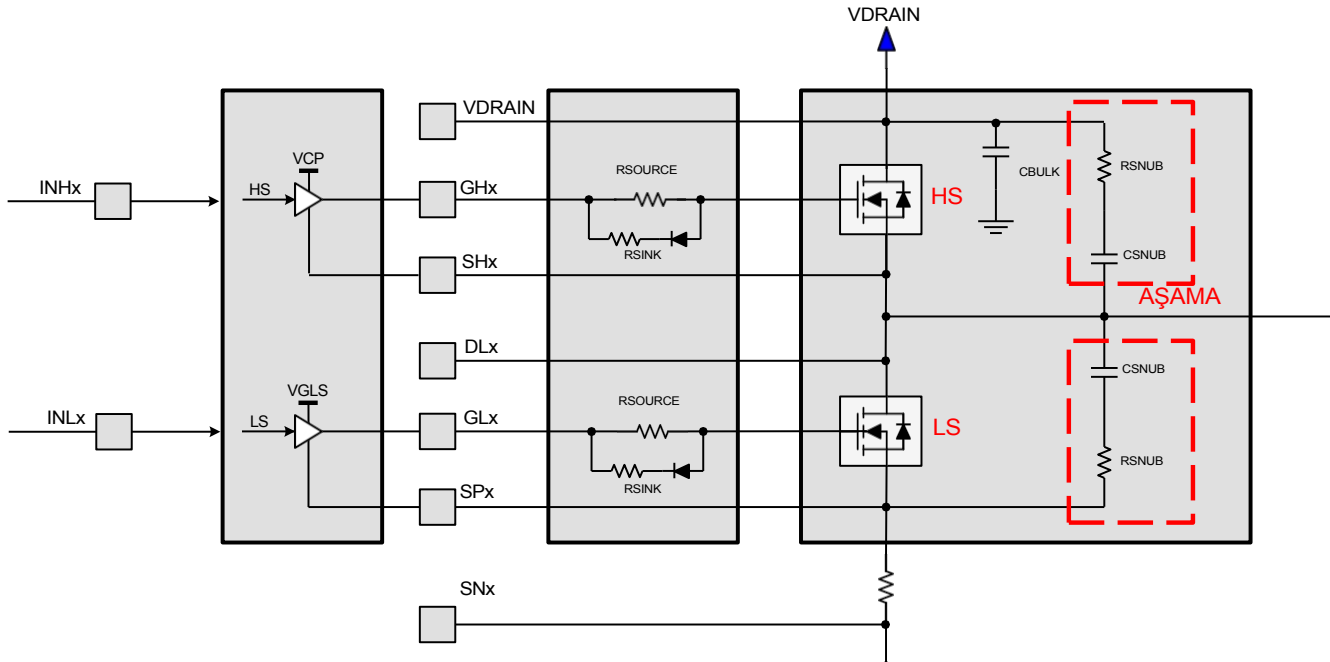
Bu kılavuzun bazen besleme gerilimi ile çarpılarak 1,5'e düşürüldüğünü unutmayın. 60 V uygulamalarda olduğu gibi 2 ile çarpıldığında 120 V elde edilir ve bu da 100 V ile 150 V endüstri standardı arasında yer alır. Bu nedenle, 1,5 çarpı 60 V, tıpkı 48 V durumunda olduğu gibi 90 V veya 100 V olarak hesaplanır. **Şekil 4-2**'de gösterildiği gibi, bu kılavuz başarısız olabilir ve daha fazla bilgi için kondansatörün veri sayfasına başvurulması önerilir.

#### Özetle:

- Bir kondansatöre daha fazla gerilim uygulandığında etkin kapasitans azalır
- Kondansatörlerin maruz kaldığı tipik voltajın 2 veya 1,5 katı voltaj değerine sahip kondansatörler seçin:
  - Bu, 48-V sistemler için yaklaşık 100-V'luk bir değerdir

- Seramik kondansatörler, alüminyum kondansatörlere kıyasla çok daha kötü voltaj değer kaybına sahiptir, bu nedenle genel yönergeler alüminyum elektrolitik kondansatörler için geçerli değildir
  - Üretici tarafından sağlanan tam değer kaybı için kapasitörün veri sayfasını kontrol etmeniz önerilir

## 4.2 RC Snubber Devreleri



### Şekil 4-3. Örnek RC Snubber'lar

Snubber devresi sadece motor sürücü uygulamalarında kullanılmaz, aynı zamanda birçok anahtarlama regülatör devresinde de kullanılır. Sonuç olarak, bu konuyu ele alan çok sayıda kaynak vardır.

Giriş için, RC snubber anahtar düğümünden GND bağlantısı gibi sabit bir voltaj referansına seri olarak bağlanmış bir direnç ve kapasitörden oluşur. Bir motor sürücü devresi için, faz düğümü ile FET'in yüksek taraf drenajı arasına ve faz düğümü ile **Şekil 4-3**'te gösterilen FET'in düşük taraf kaynağı arasına bir RC snubber yerleştirin.

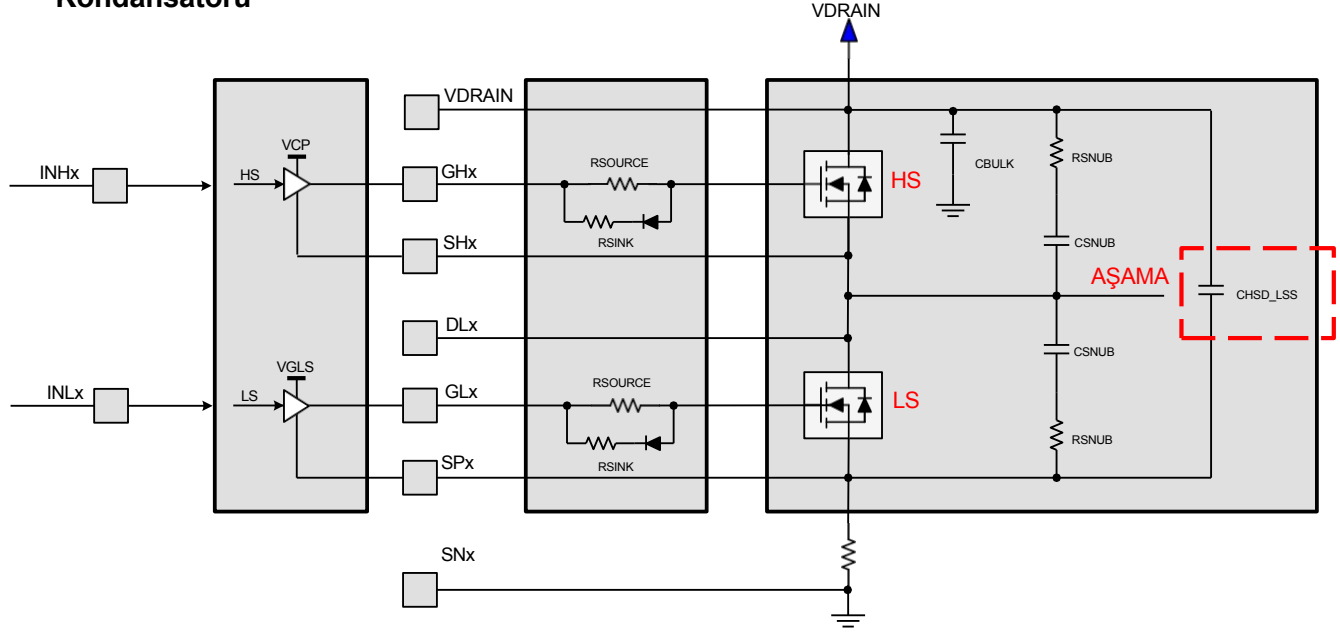
Faz salınımlarını veya her bir MOSFET boyunca voltaj halkalanmasını azaltmada en etkilidirler. Bir düğümdeki ilk ani yükselmeyi azaltırlar ve çınlama döngülerinin sayısını azaltmak için bir sönümleme faktörü sağlarlar.

Bununla birlikte, RC değerleri belirli bir sistemin parazitlerine göre ayarlanmalıdır. Parazitlikler modellenemediği sürece, R ve C değerleri deneysel olarak seçilir. Neyse ki, bunların nasıl hesaplanacağını açıklayan birçok kaynak vardır, örneğin [Motor Sürücüler için Uygun RC Snubber Tasarımı için](#) E2E SSS.

Özetle:

- RC snubber'lar çınlayan bir düğümün yerleşme süresini azaltmada çok iyidir
- Optimum RC snubber değerleri, belirli bir sistemin parazit değerlerine bağlıdır
- Snubber'ları MOSFET'e çok yakın, aynı katmana yerleştirin
  - FET'in zıt katmanlarına yerleştirilirse, via endüktansı snubber'ın etkinliğini azaltır

### 4.3 Yüksek Taraf Boşaltma - Düşük Taraf Kaynak Kondansatörü



**Şekil 4-4. Örnek Yüksek Taraf Drenaj - Düşük Taraf Kaynak Kondansatör Konumu**

Şekil 4-4'te ilk bakışta, yüksek taraf drenajından düşük taraf kaynağına kapasitörler kendi kendini açıklıyor gibi görünür ve genellikle dekaplaj veya yığın kapasitörlerle karıştırılır. Ancak, çoğu motor sürücü uygulamasında düşük taraf kaynağı GND'ye bağlı değildir. Bunun yerine, düşük taraf kaynağı genellikle akım algılama için kullanılan bir şönt dirence bağlanır ve daha sonra GND'ye bağlanır.

Bu önemlidir çünkü dekaplaj kapasitörleri güvenilir bir şekilde şarj sağlamak için kararlı referanslara ihtiyaç duyar. GND kararsızlığı, algılama direnci düzeninin getirdiği endüktans, düşük taraf FET'inden akan motor akımı veya kötü topraklama tekniklerinin bir sonucu olarak bir sistemde mevcut olabilir. GND anahtar düşümü ile birlikte sıçrarsa, dekaplaj kapasitörleri kararlı bir referans ve düşük endüktif yoldan şarj sağlamak için işlerini yapamazlar. Referans olarak, algılama dirençleri için yaygın bir paket olan 0,2512 bileşen paket boyutu, 1-5 nH parazitik endüktans sağlar.

HS drenajından düşük taraf kaynak kondansatörüne olan bağlantı bu sorunları aşabilir çünkü kararlı olduğu varsayılan VRAIN'e bağlıdır ve yükü bir algılama direnci yolu yerine doğrudan düşüm üzerine boşaltabilir. Bu bir AC GND kavramıdır ve RC snubber'ın LS kaynağının yanı sıra HS drenajına da bağlanabilmesinin nedenidir.

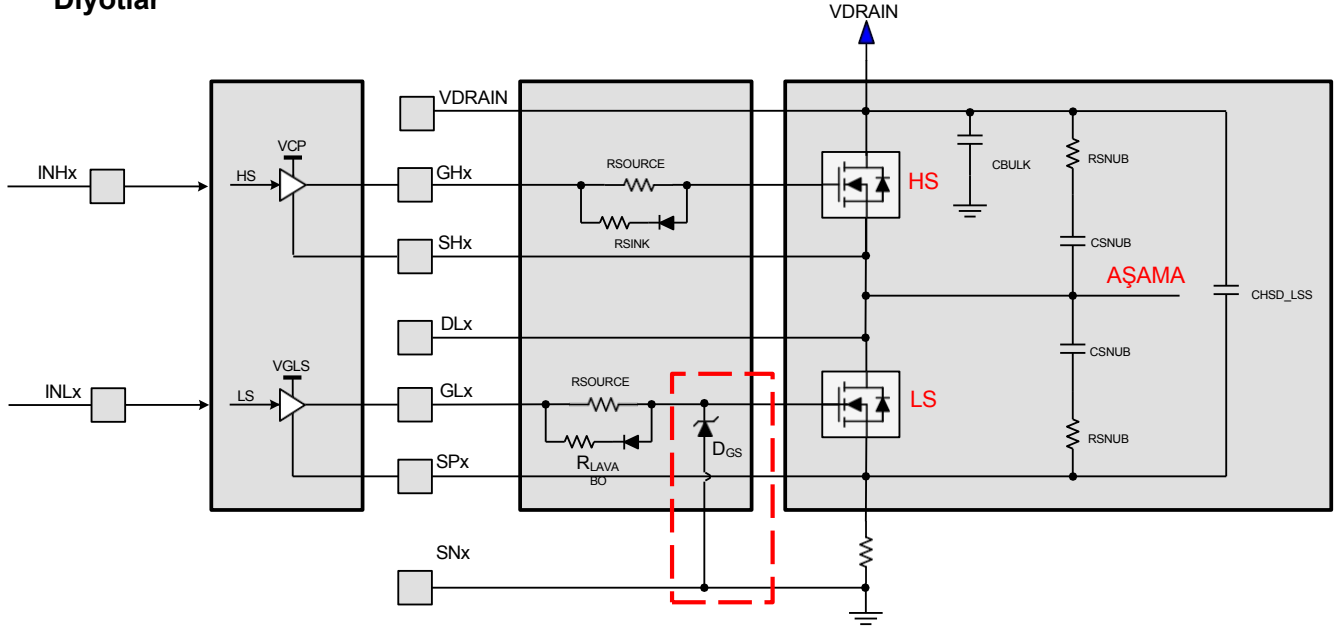
Sonuç olarak:

- Bu yöntem, düşük taraftaki kaynak ve GND üzerindeki negatif sıçramayı bastırarak harika bir iş çıkarır.
- Yaklaşık 0,01  $\mu$ F-1  $\mu$ F değerinin seçilmesi ve FET'e mümkün olduğunca yakın yerleştirilmesi doğru çalışmalarını sağlar
  - Özellikle, değer, motorun gerçek davranışını yansıtan akım algılama dalga formunun parazitik olmayan dalgalanmasını etkilemeyecek kadar düşük olmalıdır

Birçok mühendis bu azaltma tekniğini hafife alır ve bu noktada RC snubber'lara ve yığın kapasitörlere öncelik verdikleri için ayak izlerini kullanmazlar. GND veya algılama direnci negatif veya GND'nin altında çalışırsa, HS drenajından LS kaynak kondansatörüne düşük empedanslı bir yolda şarj sağlar. GND ve LS kaynak voltajını gösteren dalga formları, negatif zil sesi oluşup oluşmadığını ve yarım köprülere HS drenajından LS kaynak kapasitörlerine eklemek için tasarımın güncellenip güncellenmeyeceğini belirlemek için yararlıdır.



#### 4.4 Gate-to-GND Diyotlar



**Şekil 4-5. Örnek Kapıdan GND'ye Diyot**

Basitçe söylemek gerekirse, diyotlar bir düğümü bir gerilime kenetler, böylece cihaz için mutlak maksimum değerler ihlal edilmez. Geçit sürücüsü ve MOSFET'in mutlak maksimum değerlerine uygun akım değeri, sıkıştırma gerilimi ve zamanlama bilgileri, etkili bir diyot seçmek için önemlidir. Popüler bir konum, [Şekil 4-5](#)'te gösterildiği gibi negatif geçici ani yükselmelere yardımcı olmak için katodu FET'in yakınındaki GLx düğümüne ve anodu GND'ye bağlamaktır.

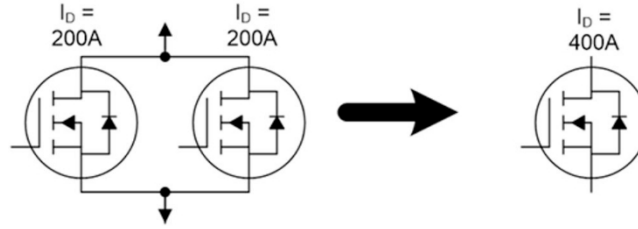
Bunlar, diğer yöntemlerin yerini alması için önerilen birincil azaltma teknikleri değildir çünkü diyotlar, filtreleme veya ayrıştırma yoluyla enerjiyi bastırmak yerine sadece enerjiyi yeniden yönlendirir. Her PWM döngüsünde voltaj yükselmesi meydana gelebileceğinden diyotlar genellikle bir kondansatöre kıyasla daha fazla kayıp ve güç kaybına neden olur.

Özetle:

- TVS diyotları, hasarı önlemek için voltajı cihazın mutlak değer değerlerinin altına sıkıştırır
- Diyotlar diğer hafifletme teknikleri ile birlikte kullanılmalı ve bunlara güvenilmemelidir
- Diyotlar, kapasitörlere giren ve çıkan akıma kıyasla daha fazla güç harcar

## 5 Paralel MOSFET Güç Kademesi ile Yüksek Güçlü Tasarım

Bir yarım köprü devresinin akım iletme kapasitesini artırmak için, MOSFET'lerin drenajlarını, kaynaklarını ve kapılarını birbirine bağlayarak birden fazla MOSFET'i paralel olarak yerleştirmek yaygındır. Teorik açıdan, bu çoklu paralel MOSFET'leri tek bir bileşen olarak ele alın.



**Şekil 5-1. Daha Yüksek Akım Taşıma Kapasitesi Elde Etmek İçin MOSFET'lerin Paralel Kullanılması**

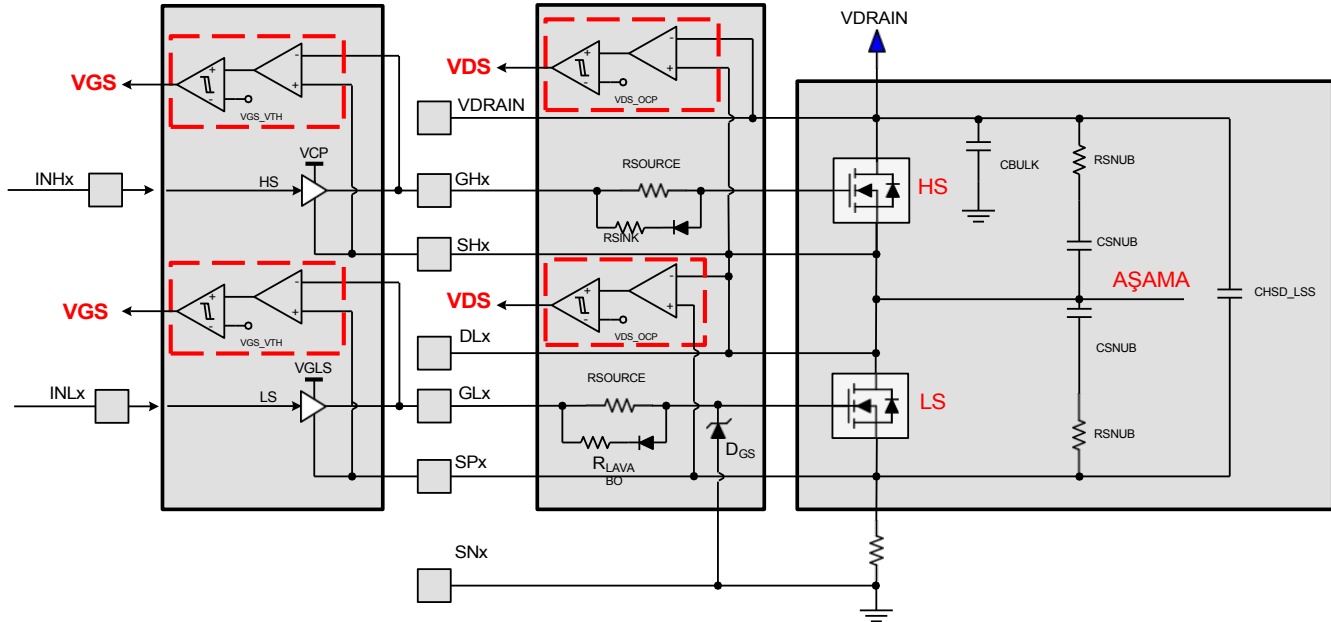
Gerçekte, iki MOSFET hiçbir zaman tam olarak aynı değildir. Bu, sonuçta bir MOSFET'in önce açıldığı ve bir MOSFET'in daha fazla akım taşıdığı anlamına gelir. Bu farkın en aza indirilmesi sistemin çalışması için kritik öneme sahiptir. [Paralel MOSFET](#) tasarımının arkasındaki teori ve süreç, [Paralel MOSFET'lerin Sürülmesi](#) uygulama özetinde açıklanmıştır.

Özetlenebilecek birkaç husus vardır:

- Paralel kullanılan FET'lerin her bir kapısı için bir direnç ekleyin, paralel FET'lerin tümü için bir direnç değil. Uyumsuz MOSFET kapıları, aralarında ek empedans olmadan birbirlerine karşı çalacaktır.
- FET'leri fiziksel olarak birbirine çok yakın ve benzer veya aynı düzende tutun
- Kapı izlerini birleşik ve eşit kalınlıkta tutun ve FET'lerin kapılarına çok yakın olacak şekilde ayırın
- GHx ile SHx'i ve GLx ile SLx'i benzer uzunluk ve genişlikte olacak şekilde geçit sürücüsüne geri dönen izlerle eşleştirin
- Kaynak ve boşaltma bağlantılarında sadece izler değil, bakır düzlemler de kullanılmalıdır

## 6 Koruma ile Yüksek Güç Tasarımı

## 6.1 VDS ve VGS İzleme



### Şekil 6-1. VDS ve VGS Monitörlerinin Örnek Uygulaması

Adlarından da anlaşılacağı gibi, VDS ve VGS izleme basitçe FET'in kapı, kaynak ve drenajındaki voltajı izlemeyi amaçlar.

Bir shoot-through örneğinde, bir faz veya invertör bacağındaki yüksek taraf FET açılır. Bir süre sonra giriş sinyalleri yüksek taraf FET'i kapatmak ve ardından aynı faz içindeki düşük taraf FET'i açmak için değiştirilir. Yüksek taraf FET ve düşük taraf FET aynı anda açılırsa, motor bypass edilir ve akım yüksek taraf ve düşük taraf FET'in çok daha düşük dirençli yolundan aynı anda akar.

Ateşleme olayı ile ilgili sorun, toprağa giden dirençli yolun gerçekten düşük olmasıdır. Örneğin, 48-V'luk bir beslemeden motor direncine (yüzlerce miliohm ile bir ohm arasında) giden dirençli yol, beslemenin FET'lerin miliohm'luk direnci üzerinden toprağa kısa devre yapmasından çok daha yüksek dirençlidir. Aşırı akım FET'lerin akım değerini aşabilir, cihazın mutlak maksimum değerlerini ihlal edebilecek büyük endüktif sıçramaya neden olabilir ve ayrıca PCB'de kalıcı hasara yol açabilecek PCB sıcaklığının önemli ölçüde artmasına neden olabilir.

Kapı ve kaynak gerilimi (VGS) arasındaki fark izlenirse, FET'in açık olup olmadığını ve akım iletilmediğini anlayabiliriz. Drenaj ve kaynak gerilimi arasındaki fark izlenirse, akımın FET üzerinden iletilip iletilmediğini anlayabiliriz. Sonuç olarak, bu iki gerilimi izleyebilir ve FET'leri ne zaman açıp kapatacağımıza akıllıca karar verebilir ve sürücünün her iki FET'i de açmasını önleyebiliriz

aynı fazda. Kısacası, VGS monitörleri kapının açık olup olmadığını, VDS monitörleri ise kapı açıkken akım akıp akmadığını belirler.

Tipik uygulama, bu gerilimleri karşılaştırmacılarla izlemektir. Bazı entegre cihazlar, bir FET'i kapatıp diğerini açmak arasında bir zaman gecikmesi ekleyerek veya giriş sinyallerinin yüksek ve düşük tarafı aynı anda açmasına izin veremeyerek bazı shoot-through koruma özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte, bazı cihazlar VGS veya VDS monitörlerini cihaza entegre etmez ve bu nedenle, bir shoot-through olayı durumunda girişleri geçersiz kılmaz. Daha fazla bilgi için geçit sürücüsünün veri sayfasını kontrol etmek her zaman en iyisidir.

TI teknolojisi söz konusu olduğunda Smart Gate Drive, kapıların açılmasına izin verilip verilmeyeceğini belirlemek için VGS ve VDS monitörlerinin durumlarına dayanır. Daha fazla bilgi [Akıllı Kapı Sürücüsünü Anlama](#) uygulama notunda bulunabilir.

## Özetle:

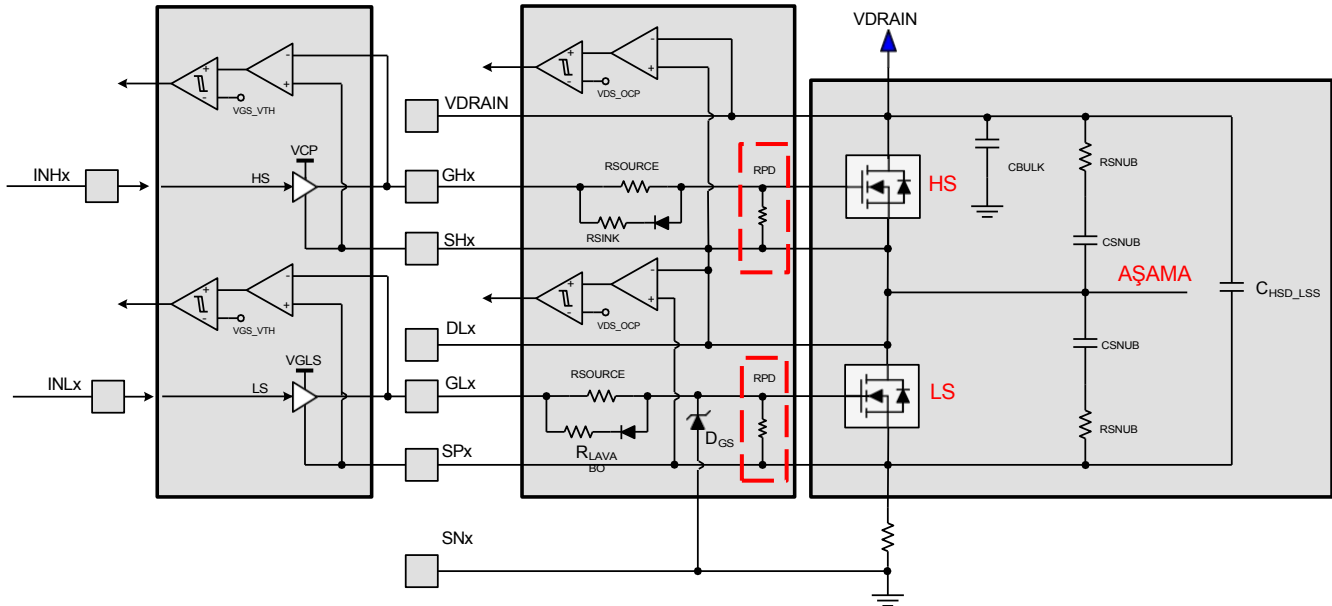
- VGS'nin izlenmesi FET'in açık olup olmadığını belirler
- VDS'nin izlenmesi, kapı açıkken FET üzerinden akım geçip geçmediğini belirler
- VGS ve VDS karşılaştırıcı çıkışlarının girişleri geçersiz kılan komütasyon mantığına dahil edilmesi, yüksek akım veya shoot-through gibi zarar verici güç kademesi durumlarında sistemi korur

### 6.1.1 Aşırı Akım, Ateşleme veya FET Kısa Devre Olayı Sırasında FET'lerin Kapatılması

VDS monitörleri veya diğer akım koruması bir aşırı akım olayı tespit ederse, bariz çözüm FET'leri kapatarak akımın geçmesini engellemektir. Bu senaryoda, faz akımı tipik kullanım durumundan 10 veya 100 kat daha yüksek olabilir. Bölüm 2'de daha önce incelendiği gibi, fazdaki daha fazla akım daha yüksek parazitik endüktif spiking ile sonuçlanır, ancak kapı sürücü akımını azaltarak FET'lerin yükselme veya düşme süresini artırmak endüktif spikingi azaltır.

Tipik bir kapı sürücüsü durumunda, Bölüm 3.1.2.2'de belirtildiği gibi, sink akımı harici kapı dirençleri tarafından sabitlenir ve aşırı akım olayı sırasında değiştirilemez. Ancak TI'nın Akıllı Kapı Sürücüsü teknolojisi, FET'in tipik değerden daha uzun bir düşme süresine sahip olması için kapı sürücü akımını otomatik olarak düşürür, bu da aşırı akım olayından kaynaklanan genel voltaj yükselmesini azaltır.

### 6.2 Pasif Kapıdan Kaynağa Pulldown Dirençleri



**Şekil 6-2. Örnek Pasif Kapıdan Kaynağa Pulldown Dirençleri**

Pasif pull-down direncinin birincil amacı, geçit sürücüsü arızalandığında geçit ve kaynak arasında bilinen bir ilişki olmasını sağlamaktır. Özellikle, geçit sürücüsü bir sink veya source akım durumunda takılırsa, veya kapı sürücüsü yüksek empedans durumuna geçerse, direnç FET'in iletme geçmesini engelleyecek bir yol olmasını sağlar.

Pasif gate-to-source pull-down dirençleri, yükün gate ve source voltajlarını eşitlemesi için bir yol sunar, böylece FET daha hızlı kapanır. Gerçekte, kapı sürücüsü hasar görmüşse, başka bir koruma veya komütasyon mantık devresi bir sorun olduğunu fark eder ve sistem bunu algılar. Bu pull-down dirençlerinin önemi, diğer koruma devreleri bir sorun oluştuğunu tespit etmeden önce shoot-through durumunun oluşmadığından emin olmaktır. Bu, sistemi düzeltmek için geçit sürücüsü IC'sini değiştirmek ile erimiş bir motor, patlamış FET'ler veya PCB'de geri dönüşü olmayan hasarla uğraşmak arasındaki farktır.

Bazı kapı sürücülerinin bu koruyucu rolü yerine getirmek için cihaza entegre edilmiş pasif, yüzlerce kΩ'luk pull-down dirençlerine sahip olduğunu belirtmek önemlidir. Bununla birlikte, bazı tasarımcılar FET'lerin kapı ve kaynağının yakınında bulunan daha güçlü bir pull-down isteyebilir, böylece kapıdaki yükün kapı ve kaynak voltajını eşitlemek için potansiyel bir kapı direnci ve endüktif izlerden geçmesi gerekmez. Diğer bir avantajı ise harici pull-down'ların

Geçit sürücüsüne bağımlılık, sistemin bilinen bir durumda arızalanmasına izin vermek için yedeklerin eklenmesi bağlamında da yardımcı olur.

Son bir not olarak, nihai güç kaybı hesaplamasında her bir pulldown direncinin dikkate alınması gerekir. Bununla birlikte, çekiş dirençleri genellikle bir miliwatt'tan daha az toplam güç kaybına katkıda bulunur ve bu da  $RDS_{(on)}$  veya algılama direnci tarafından üretilen onlarca miliwatt'tan çok daha azdır. VGLS, şarj pompası veya bootstrap kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda, bu pulldown dirençlerinden geçen herhangi bir akımın hesaba katılması gerektiğini unutmayın.

Özetle:

- Harici pasif darbe dirençleri, kapıdaki yükün kaynağa taşınması için bir yol sağlar, böylece aktif darbeler başarısız olursa bir FET kapanabilir
- Bu aşağı çekmeler onlarca kilo-ohm ile yüzlerce kilo-ohm arasında değişir
- Bu harici pasif aşağı çekmeler, bir kapı sürücü devresindeki ana kayıp kaynaklarına kıyasla çok daha az güç kaybına katkıda bulunur
- Birçok geçit sürücüsü, cihaz içinde pasif pulldown özelliğini entegre eder

### 6.3 Güç Kaynağı Ters Polarite veya Güç Kaynağı Kesilme Koruması

Tüm elektrik sistemlerinin karşılaştığı bir tehlike, güç kaynağından gelen ters polaritedir. Elektrik sistemleri tasarlanırken ters akü koruması sağlamak için çeşitli teknikler mevcuttur, ancak hepsinin ortak amacı akü terminalleri ters bağlandığında akım akışını önlemektir. Teori ve teknikler [Otomotiv motor-sürücü sistemlerinin ters polarite koşullarından korunması](#) uygulama notunda ele alınmıştır.

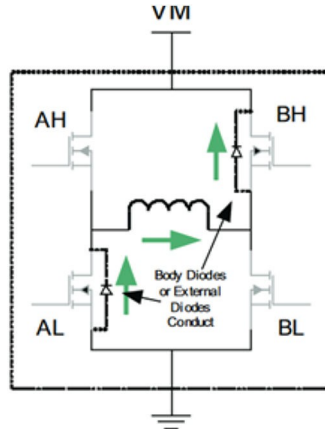
Ayrıca, yüksek akımlı motorlara sahip bazı motor sürücü uygulamaları, alternatif bir yük kapatma yolu elde etmek veya sakın akımı azaltmak için güç anahtarları gerektirir. Sistem çıkış gücü çok yüksek olduğundan, ayrık geçiş elemanları uygulanmalıdır. [Kesme](#) anahtarının uygulanmasına yönelik yöntemler [Yüksek Akımlı Motor Sürücü Uygulamalarında Kesme Anahtarı](#) uygulama notunda ele alınmıştır.

Özetle:

- Seri diyot, tek MOSFET veya NMOS ve BJT devreleri ile ters akü ve kesme anahtarlarını önleyin
- Farklı yöntemler arasında maliyet, güç dağıtımı ve PCB alanı dengeleri vardır

## 7 Motor Kontrol Yöntemleriyle Yüksek Güç Tasarımı

## 7.1 Fren ve Sahil



**Şekil 7-1. Kıyı Durumu Sırasında Gövde Diyotlarından Akan Akım Örneği**

Halihazırda hareket halinde olan bir rotorun durdurulması veya hızının düşürülmesi, yüksek güçlü bir tasarım için sorunlara neden olabilecek tipik bir kullanım durumudur. Bu özel tanımda, rolanti, motor fazlarının yüzdürülmesi olarak anlaşılabilecek tüm yüksek ve düşük tarafların kapatılmasıdır. Motorlar kısmen endüktif yüklerdir, bu nedenle endüktörler, stator bobinlerinden geçen rotorun manyetik malzemesinden üretilen geri EMF'ye ek olarak akımın akmasını sağlamak için voltaj üreterek akımdaki değişikliklere direnmeye çalışır. Sonuç olarak, motor fazındaki voltaj FET'in drenajında görülen voltajdan daha yükseğe çıkar ve bu da akımın motordan FET'lerin gövde diyotlarından geçerek bu coasting durumu sırasında zamanla beslemeye akmasına neden olur.

Voltajdaki bu ani yükselmeler ve motor fazlarından çıkan artan akım beslemeye gider ve FET drenajındaki eşdeğer voltajı daha yüksek bir değere çıkarır. Daha önce de belirtildiği gibi, yığın kapasitörler bu enerjinin bir kısmını veya tamamını emer, ancak yığın kapasitörlerin voltajı arttıkça kontrol edilmeden bırakılırsa, voltajda ortaya çıkan artış, kapı sürücüsü için mutlak maksimumları kolayca aşabilir.

Bu aslında her PWM döngüsünün ölü zamanında meydana gelir, ancak FET'ler o kadar kısa bir süre boyunca kıyı durumunda kalır ki ortaya çıkan enerji genellikle hasara neden olacak kadar hızlı bir şekilde kaynağa geçmez. Bununla birlikte, yüksek taraf kaynağındaki artan voltaj tespit edilebilir.

Neyse ki motor kontrol yöntemleri veya harici devrelerle bu durum önlenebilir ve en iyi uygulama bobinlerde depolanan enerjiyi yönetmek için bir plana sahip olmaktır. Boşa almak yerine, bir frenleme kontrol yöntemi uygulamak veya harici bir devre eklemek tercih edilir.

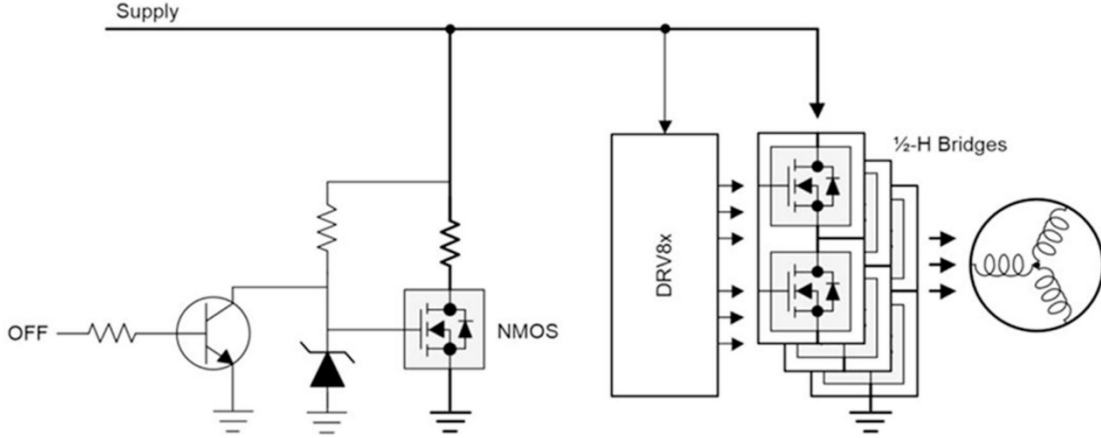
### 7.1.1 Algoritma Tabanlı Çözümler

Düşük taraf frenlemenin genel bir örneği, tüm yüksek taraf kapılarını kapatmak ve tüm düşük taraf kapılarını açmaktır. Bu, tüm motor fazlarını GND'ye bağlar ve indüktördeki enerji birikimi GND'ye girip çıktıkça akımın dönmesine ve çökmesine izin verir. Tasarımcı, akım algılama veya VDS monitörleri kullanarak akımın ne zaman tamamen azaldığını belirler ve ardından motoru düşük taraf frenleme durumundan çıkarır.

Aktif frenlemenin genel bir örneği, zıt kapı çiftlerine bir PWM girişi uygulayarak motorun mevcut durumuna karşı çıkmaktır. [Şekil 7-1](#)'i referans alan daha somut bir örnek için, A'nın yüksek tarafının açık ve B'nin düşük tarafının açık olduğunu düşünün. Aktif frenleme, stator bobinlerinde depolanan akıma karşı beslemeden gelen akımı zorlamak için A'nın düşük tarafını ve B'nin yüksek tarafını PWM yapacaktır.

Aynı genel kavram, step motorlar bağlamında *Akım Devridaimi ve Çürüme Modları* uygulama raporunda ele alınan yavaş ve hızlı çürüme *modlarında* da uygulanır.

### 7.1.2 Harici Devre Çözümleri



**Şekil 7-2. Örnek Aktif Fren Devresi**

Daha önce de belirtildiği gibi, yığın kapasitörler motor tarafından üretilen enerjinin bir kısmını veya tamamını absorbe edebilir, bu nedenle kapasitör sayısını veya değerini artırmak kıyı koşulunda yardımcı olur.

Aktif bir yaklaşım için bir çözüm, motor sürücüsüne giden gücü kontrol eden harici bir pulldown eklemektir. Bu devre harici olarak GND'ye bir yol sağlar, motor gücünü dağıtır ve [Şekil 7-2](#)'de gösterilen yüksek taraf drenajında voltajın yükselmesini önler. Bu, motor tarafından üretilen harici gücü yönetmek için kapı sürücü aşamasına bağımlı olmayan ve motor sürücüsünün dışında sistem kontrolü isteyenler için popülerdir. Artan enerji nedeniyle direnç ve pulldown FET, watt değeri için boyutlandırılmalı ve derecelendirilmelidir. Buna ek olarak, voltajın ne zaman çok yükseldiğini bilmek için bir tür geri bildirim gereklidir; bu genellikle bir MCU'nun ADC'sine giden bir voltaj bölücü ile uygulanır.

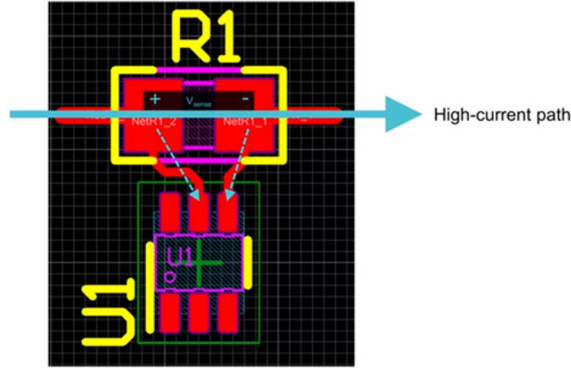
### 7.1.3 Kıyıya Karşı Fren Özeti

Özetle:

- Rotor dönerken kıyı durumuna geçmek, Geri EMF'nin besleme geriliminden daha yüksek olmasına ve akımın motor fazlarından yüksek taraf FET gövde diyotlarına ve nihayetinde beslemeye itilmesine neden olabilir. Voltajdaki artış kapı sürücüsüne zarar verebilir.
- Bir frenleme algoritması veya harici frenleme devresi kullanarak durma veya yavaşlama durumu sırasında motorda depolanan enerjiyi yönetmek için bir plana sahip olun

## 8 Düzen Aracılığıyla Yüksek Güçlü Tasarım

### 8.1 Kelvin Bağlantısı nedir?



Şekil 8-1. İyi Bir Kelvin Bağlantısı Örneği

Kelvin bağlantısı, temas direncini azaltacak veya ortadan kaldıracak şekilde akım taşıyan bir yol veya referans noktası ile hassas bir elektrik potansiyeli temas noktasıdır. Tersine, bir PCB üzerinde aynı elektrik düğümüne sahip iki iz hayal edin. Bir iz akım taşımak için kullanılırken diğeri sadece voltajı algılamak için kullanılır. Bir bakıma, bir bileşen üzerindeki gerilimi algılamak için dijital multimetre (DMM) kullanmak, Kelvin bağlantısı kullanmakla aynı teoridir.

Bu bağlantı türü, harici motor sürücü sistemleri aracılığıyla akım algılanırken sıklıkla kullanılır. Ana motor akımı direnç yolundan akar ve Kelvin bağlantıları CSA'nın girişlerine (SPx ve SNx pinleri) yönlendirilir.

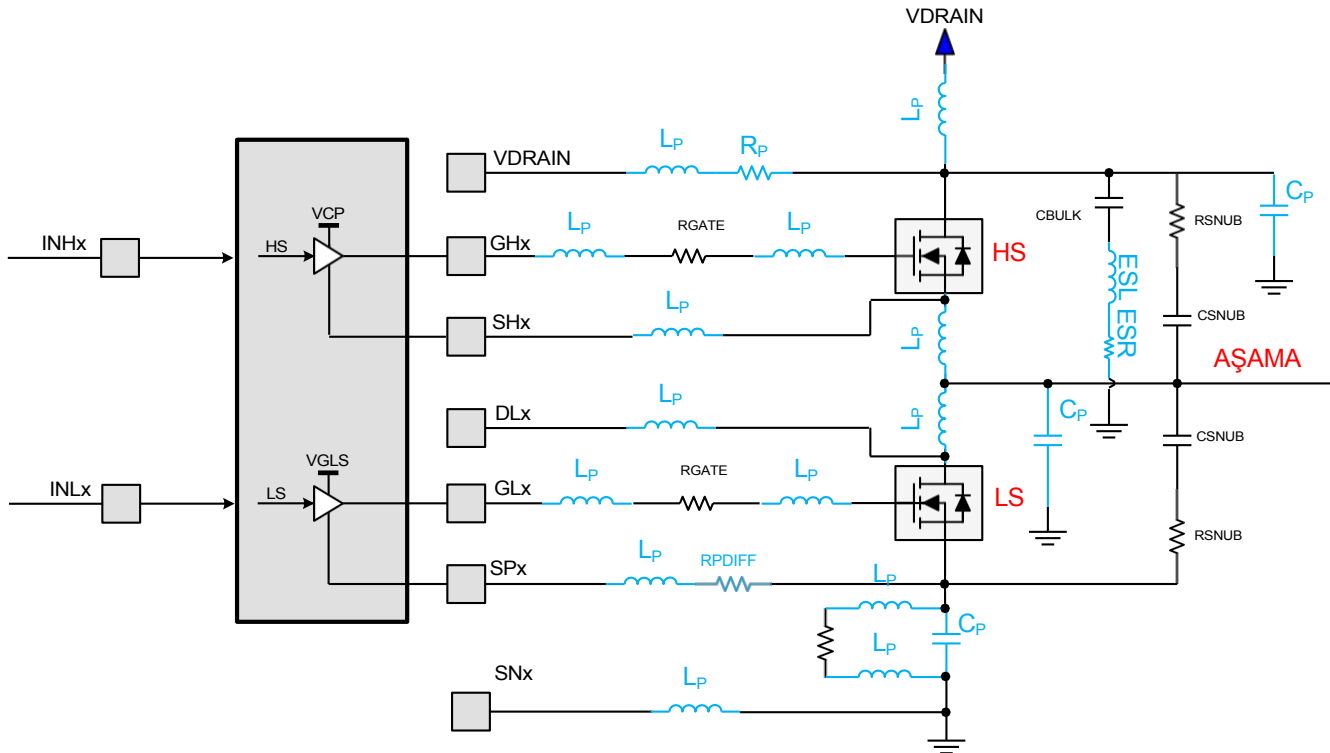
Kelvin bağlantıları hakkında tam bir video eğitimi [TI Precision Labs - Current Sense Amplifiers](#)'da bulunmaktadır: [Şönt Direnç Düzeni](#) sunumunda bulabilirsiniz.

Özetle:

- Birincil akım yolu ve birincil algılama yolu olduğundan emin olun
- Algılama direnci ile IC'nin algılama pinleri arasındaki uzunluğu en aza indirmeyi deneyin
- Sinyaller arasındaki hataları en aza indirmek için algılama yollarını aynı uzunlukta ve kalınlıkta tutmaya çalışın. Diferansiyel yönlendirme burada yardımcı olur.
- Kullanılan şönt direncin iniş pedi tarafından sağlanan tavsiyelere uyun



## 8.2 Genel Yerleşim Önerileri



**Şekil 8-2. Örnek Akıllı Kapı Sürücü Şeması Parazitlerin Muhasebeleştirilmesi**

PCB'ler üretildiğinde, fizik kuralları sisteme biraz daha direnç, indüktör ve kapasitör eklenmesini gerektirir. Eklenen bu bileşenler parazitlerin sonucudur - bir örnek **Şekil 8-2**'de gösterilmiştir.

Yerleşim planının temel hedeflerinden biri bu parazitlikleri en aza indirerek etkin bir şekilde ihmal edilebilir hale getirmektir. Yüksek güç tasarımı zorlaştıran şey, daha fazla akım ve voltajın bu parazitlerin etkilerini daha belirgin hale getirmesidir.

Sonuç olarak, bir uygulama notunun tamamı **Motor Sürücülerinin Pano Yerleşimi için En İyi Uygulamalara** ayrılmıştır. Belgenin tamamının okunması şiddetle tavsiye edilir.

Bununla birlikte, TI tarafından sunulan yüksek güçlü kapı sürücüsü cihazları bağlamında yardımcı olması için buraya ek madde işaretleri eklenmiştir:

- Gerçek PCBA'lar sisteme eklenen parazit bileşenlere sahiptir
  - Uzun hatlar kapasitans ve direnç ekler
  - İnce izler ayrıca direnç ve endüktans ekler
- 1 oz bakır dökümü ile 10 mil/A iz genişliği için bir kılavuздur, ancak aynı zamanda vialar, özellikle açışal halka alanı için de geçerlidir. İzler ve yollar ne kadar büyük veya geniş olursa, endüktans o kadar az olur.
  - Bu nedenle, en az 15 mil kapı akımı kaynağı ve sink yolları kullanın, ancak 20 mil tercih edilir

**Not**

1 ons bakır ile 10 mil/A kılavuzu kırılmaya başlar ve orta katmanlardaki ısının bir sonucu olarak daha geniş izler gerekir

- Daha iyi termal ve akım kapasitesi elde etmek için VDC, motor fazları ve GND güç poligonlarının dış katmanlarda sağlanması ve mümkünse poligonların iç katmanlarda da tekrarlanması önerilir
- Bir hattın bölümlerini aynı hat içinde daha ince ve daha küçük yapmak empedans uyumsuzluğu ekler
  - Uyumsuzluğu düzeltmek için gözyaşı damlaları veya düzlemler kullanın
- Daha fazla akım, parazitik etkiler nedeniyle daha yüksek voltaj yükselmesi anlamına gelir
- Bileşen ayak izleri, bileşenlere ek olarak parazit ekler
- Yoldaki viyalar parazit, yani endüktans ekler

- Dönüş yolu anlaşılmalıdır:
  - DC akımı GND düzlemlerinde gidebildiği yere kadar yayılırken, yüksek frekanslı akım ilgili yüksek hız izinin altına çekilir. Bu nedenle, akımın kartın belirli bir alanında akmasının engellenmesi gerekmediği sürece, bölünmüş GND'nin aksine ortak GND her zaman daha iyidir.
- Ortak topraklama parazit açısından her zaman bölünmüş GND'den daha iyidir. Ayrık GND sadece yüksek frekanslı akımı ve büyük miktarda akımı hassas bileşenlerden uzağa yönlendirmek için kullanılır. Bu da ayrık GND'nin kullanılması için bu sinyallerin söz konusu bileşenlere doğru veya yakınından geçiyor olması gerektiği anlamına gelir.
  - Bölünmüş bir GND seçilirse, bazı yollara bilinen endüktans eklenir
- Daha iyi anlamak için, akım olduğunuzu düşünün: pimin veya bileşenin kaynağından cihazın veya harici konektörün GND pimine kadar bir döngü çizin. Döngüyü mümkün olduğunca küçük yapın. Bu bazen düzlemlere çok sayıda vida eklemek, toprak düzlemi kapsamını artırmak veya bileşenleri yeniden düzenlemek anlamına gelir.
- Deneyimler, PCB üretiminde 100 ve 300 GND dikiş viası arasındaki fiyat farkının ihmal edilebilir olduğunu göstermektedir. Dış ve iç katman GND'lerini bağlamak için bir GND dikiş viası düzlemi oluşturun.
  - Otomatik araçların başarısız olduğu yerlerde GND dikiş yollarını manuel olarak yerleştirin
- Tipik bir geçit sürücüsü IC'sindeki en önemli sinyaller ve bileşen konumları, azalan önem sırasına göre aşağıdaki listeye dahil edilmiştir:
  1. Voltaj regülatörleri ve bunlarla ilişkili kapasitörler (VCP, VGLS veya düşük voltaj regülatörleri AVDD, DVDD ve benzeri gibi) (en kritik)
  2. Giriş beslemeleri ve referans gerilimleri için bypass kapasitörleri (VM, GND ve CSAREF gibi)
  3. Sinyal yolu ve daha yüksek akım veya güç yolları (GHx, GLx ve SHx gibi)
  4. Sık sık geçiş yapan, frekansa göre sıralanmış dijital sinyaller (SPI veya PWM sinyalleri gibi)
  5. Sık sık değişmeyen dijital sinyaller (ENABLE veya nFAULT gibi) (en az kritik)

## 9 Sonuç

[Bölüm 1.2'](#)deki örnek genel olsa da, bu düşünce süreci kullanılarak birçok sorun çözülebilir. Yüksek güçlü motor sürücüsü uygulamalarına yönelik hususları analiz ederek, oluşabilecek sorunları önceden planlayabildik ve sorunun ne olduğunu hızlı bir şekilde belirlemek için kapı sürücüsünün işlevlerini değerlendirdik. Bu, yüksek güçlü tasarım sanatıdır.

## 10 Teşekkür

Cole Macias, bu uygulama notunun oluşturulması sırasındaki teknik katkıları ve incelemeleri için Matt Hein, Adam Sidelsky, Prajka Vyavahare (PV), Manu Balakrishnan, Nicholas Oborny, Anthony Lodi ve Aaron Barrera'ya teşekkür eder.

## ÖNEMLİ BİLDİRİM VE FERAGATNAME

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

Bu kaynaklar, TI ürünleriyle tasarım yapan yetenekli geliştiricilere yöneliktir. (1) uygulamanız için uygun TI ürünlerini seçmek, (2) uygulamanızı tasarlamak, doğrulamak ve test etmek ve (3) uygulamanızın geçerli standartları ve diğer güvenlik, emniyet, düzenleme veya diğer gereksinimleri karşılamasını sağlamak yalnızca sizin sorumluluğunuzdadır.

Bu kaynaklar önceden haber verilmeksizin değiştirilebilir. TI, bu kaynakları yalnızca kaynakta açıklanan TI ürünlerini kullanan bir uygulamanın geliştirilmesi için kullanmanıza izin verir. Bu kaynakların başka şekilde çoğaltılması ve sergilenmesi yasaktır. Başka herhangi bir TI fikri mülkiyet hakkı veya herhangi bir üçüncü taraf fikri mülkiyet hakkı için lisans verilmez. TI, bu kaynakları kullanmanızdan kaynaklanan her türlü talep, hasar, maliyet, kayıp ve yükümlülük için sorumluluk kabul etmez ve TI ve temsilcilerini bunlara karşı tamamen tazmin edeceksiniz.

TI ürünleri, [ti.com](https://www.ti.com)'da bulunan veya söz konusu TI ürünleriyle birlikte sağlanan [TI Satış Koşulları](#) veya diğer geçerli koşullara tabi olarak sağlanır. TI'nın bu kaynakları sağlaması, TI ürünleri için TI'nın geçerli garantilerini veya garanti feragatnamelerini genişletmez veya başka bir şekilde değiştirmez.

TI, teklif etmiş olabileceğiniz tüm ek veya farklı şartlara itiraz eder ve bunları reddeder.

Posta Adresi: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265 Copyright

© 2022, Texas Instruments Incorporated