

Başvuru Raporu**Akıllı Kapı Sürücüsünü Anlama**

Nicholas Oborny, Ashish Ojha

ÖZET

Bir motor sistemi tasarımındaki kapı sürücüsü, öncelikle bir elektrik motoruna akım sağlamak için harici güç MOSFET'lerini geliştirmekle ilgilenen entegre bir devredir (IC). Geçit sürücüsü aşağıdakiler arasında bir ara aşama görevi görür mantık seviyesi kontrol girişleri ve güç MOSFET'leri. Kapı sürücüsü, çok çeşitli harici MOSFET seçimlerine ve harici sistem koşullarına uyum sağlayacak kadar sağlam ve esnek olmalıdır.

Texas Instrument'ın Akıllı Kapı Sürücüsü, sistem tasarımcılarının günümüzün motor uygulamalarında mevcut olan çeşitli ortak zorlukları çözmelerine yardımcı olur. Bu zorluklar arasında anahtarlama ve EMC performansını optimize etmek, malzeme listesi (BOM) sayısını azaltmak, MOSFET ve sistem korumalarını yönetmek ve motor kontrolü için sürücü zamanlama performansını iyileştirmek için dönüş hızı kontrolü ve ayarı yer alır.

Bu uygulama raporunda, bir güç MOSFET'inin geliştirilmesinin ardındaki teori ve yöntemler, motor geçit sürücü sistemlerinde karşılaşılan çeşitli zorluklar ve bu zorlukları çözmeye yardımcı olmak için TI Akıllı Geçit Sürücülerinde uygulanan farklı özellikler açıklanmaktadır.

Ticari Markalar

Tüm ticari markalar ilgili sahiplerinin mülkiyetindedir.

İçindekiler

1 Güç MOSFET Teorisi ve Çalışması	2
1.1 Temel bilgiler	2
1.2 Parametreler	3
1.3 Turnon Davranışı	5
1.4 Basit Çevirme Hızı Hesaplaması	5
1.4.1 Örnek	5
1.5 Kapı Sürücü Akımı	6
1.5.1 Tepe Kapı Sürücü Akımı	6
1.5.2 Ortalama Kapı Sürücü Akımı	7
2 Sistem Zorlukları ve Akıllı Kapı Sürücüsü Özellikleri	8
2.1 EMC ve Güç Kaybı Optimizasyonu için Çevirme Hızı Kontrolü	8
2.1.1 Sistem Zorlukları	8
2.1.2 I _{DRIVE} Uygulama	8
2.1.3 I _{DRIVE} Çevirme Hızı Kontrolü	9
2.1.4 EMI Optimizasyon Örneği	12
2.1.5 Çevirme Süresi Kontrolü	14
2.2 T _{DRIVE} Durum Makinesi ile Sağlam MOSFET Anahtarlama	14
2.2.1 MOSFET Ei Sıkışma	15
2.2.2 MOSFET Kapı Arıza Tespiti	16
2.2.3 dV/dt Dönüş Önleme	17
2.3 Sistem BOM Azaltma	18
2.4 Yayılma Gecikmesi Optimizasyonu	20
2.4.1 Sistem Zorlukları	20

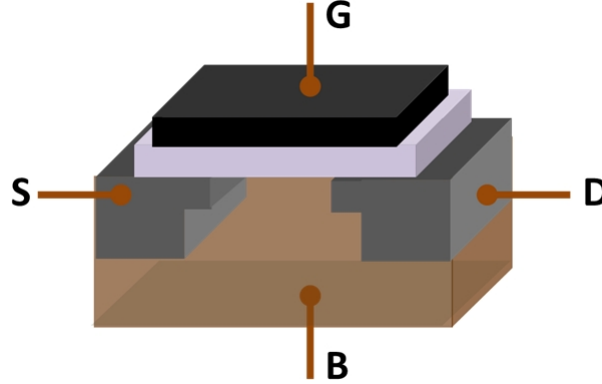
2.4.2 Yayılma Gecikmesi Azaltma	21
3 Revizyon Geçmişi.....	23

1 Güç MOSFET Teorisi ve Çalışma

1.1 Temel Bilgiler

Metal-oksit-yarı iletken alan etkili transistör veya MOSFET, günümüz elektronik devre tasarımında kullanılan en yaygın transistördür. MOSFET, kendisini çeşitli uygulamalarda kullanışlı kılan birçok özelliğe sahiptir. Bu özellikler arasında ölçeklenebilirlik, düşük açma akımı, yüksek anahtarlama hızları ve yüksek KAPALI durum empedansı sayılabilir. MOSFET, IC tasarımında (analog ve dijital), anahtarlama güç uygulamalarında, motor kontrolünde, yük anahtarlarında ve çok sayıda diğer tasarımda kullanılmıştır.

MOSFET, [Şekil 1-1](#)'de gösterildiği gibi drenaj (D), kaynak (S), kapı (G) ve gövde (B) olmak üzere dört terminalden oluşur. Genellikle gövde terminali kaynak terminaline kısa devre edilerek üç terminalli bir cihaz haline getirilir.



Şekil 1-1. MOSFET Modeli

MOSFET, birkaç basit denklemle tanımlanabilen üç temel çalışma bölgesine sahiptir. Bu bölgeler ve bunlara karşılık gelen denklemler aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- Kesim

$$V_{GS} \leq V_{th} \quad (1)$$

nerede

- V_{GS} = MOSFET'in kapı ve kaynak terminaleri arasındaki gerilim
- V_{th} = MOSFET eşik gerilimi

- Doğrusal

$$V_{GS} > V_{th}, V_{DS} \leq V_{GS} - V_{th} \quad (2)$$

nerede

- V_{DS} = MOSFET'in drenaj ve kaynak terminaleri arasındaki gerilim

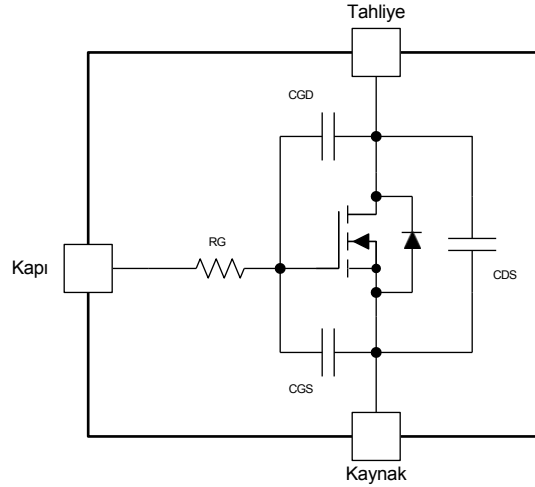
- Doygunluk

$$V_{GS} > V_{th}, V_{DS} > V_{GS} - V_{th} \quad (3)$$

Kesme bölgesinde, MOSFET KAPALI durumdadır ve drenaj ile kaynak arasında hiçbir iletim gerçekleşmez. Doğrusal bölgede, MOSFET AÇIK'tır ve MOSFET hem kaynak hem de drenaj gerilimlerine göre kapı gerilimi tarafından kontrol edilen bir dirence benzer şekilde davranır. Doygunluk bölgesinde, MOSFET AÇIK'tır ve drenaj ve kapı-kaynak gerilimleri tarafından kontrol edilen bir akım kaynağına benzer şekilde davranır.

1.2 Parametreler

Şekil 1-2, terminalden terminale kapasitansları ve kapı direncini vurgulayan yaygın bir MOSFET modelini göstermektedir.



Şekil 1-2. MOSFET Devre Modeli

C_{GS} kapasitansı oldukça sabitken, C_{GD} ve C_{DS} kapasitansları geçitten drenaja voltaj, drenajdan kaynağa voltaj ve uygulanan frekans ile büyük ölçüde değişir. **Tablo 1-1**, bir güç-MOSFET'inin bazı tipik veri sayfası parametrelerini listeler. MOSFET'in anahtarlama performansını nasıl etkilediklerini anlamak için bu değerleri gözden geçirin.

Tablo 1-1. MOSFET Veri Sayfası Parametreleri (CSD18532Q5B)

Parametre		Test Koşulları	Min	Tip	Maksimum	Birim
DİNAMİK ÖZELLİKLER						
Ciss	Giriş kapasitansı	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = 30\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$	3900	5070		pF
Coss	Çıkış kapasitansı		470	611		pF
Crss	Ters transfer kapasitansı		13	17		pF
R_G	Seri kapı direnci		1.2	2.4		Ω
Q_g	Kapı şarjı toplamı (10 V)	$V_{DS} = 30\text{ V}$, $I_D = 25\text{ A}$	44	58		nC
Q_{gd}	Kapı şarjı kapıdan boşaltmaya		6.9			nC
Q_{gs}	Kapı şarjı kapıdan kaynağa		10			nC
$Q_{g(th)}$	V'de kapı yükü _{th}		6.3			nC
Q_{oss}	Çıkış şarjı	$V_{DS} = 30\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$	52			nC
$t_{d(açık)}$	Açılış gecikme süresi	$V_{DS} = 30\text{ V}$, $V_{GS} = 10\text{ V}$, $I_{DS} = 25\text{ A}$, $R_G = 0\ \Omega$	5.8			ns
t_r	Yükselme süresi		7.2			ns
$t_{d(kapalı)}$	Kapanma gecikme süresi		22			ns
t_f	Sonbahar zamanı		3.1			ns

Kondansatörler ve direnç aşağıdaki gibi tanımlanır:

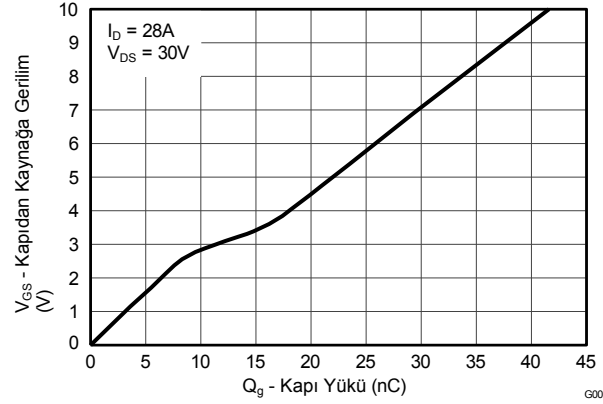
C_{ISS} Drenaj ve kaynak kısa devre edilmişken kapı ve kaynak terminalleri arasındaki giriş kapasitansının bir ölçüsü ($C_{ISS} = C_{GS} + C_{GD}$).

C_{OSS} Kapı ve kaynak kısa devre edilmişken drenaj ve kaynak terminalleri arasındaki çıkış kapasitansının bir ölçüsü ($C_{OSS} = C_{DS} + C_{GD}$).

C_{RSS} Kaynak toprağa bağlıyken drenaj ve kapı terminalleri arasında ölçülen ters transfer kapasitansı ($C_{RSS} = C_{GD}$).

R_G Kapı terminali ile aynı hizadaki seri direnç.

Kapasitans değerinin gerilime göre değişimini hesaba katmak için, daha anlamlı bilgi sağlamak üzere tipik olarak bir geçit yükü eğrisi kullanılır. Kapı yükü değerleri, terminaller arası kapasitanslar içinde depolanan yük ile ilgilidir. Kapı yükü sistem tasarımcıları için daha kullanışlıdır çünkü bir anahtarlama geçişi sırasında kapasitansın gerilime göre değişimini dikkate alır.



Şekil 1-3. MOSFET Kapı-Şarj Eğrisi

Geçit yükü parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

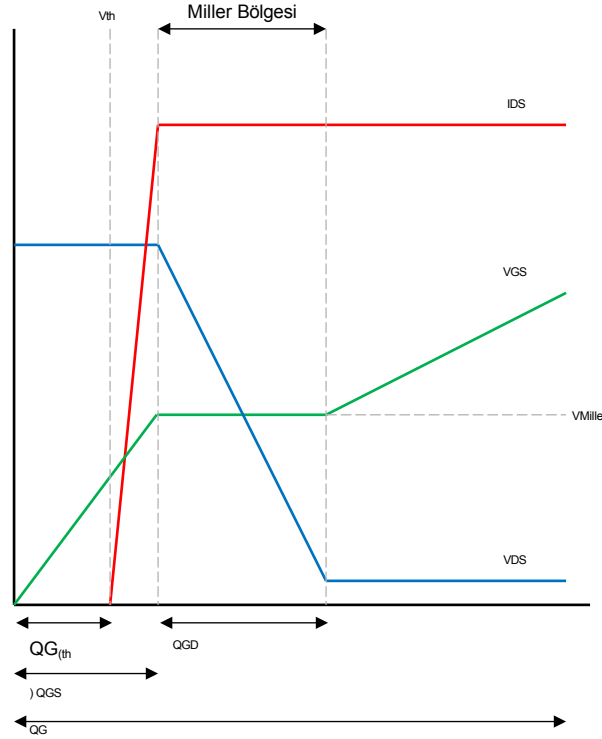
- Q_G** Kapı-kaynak gerilimini belirtilen değere yükseltmek için gereken toplam kapı yükü (4,5 V ve 10 V yaygın olarak kullanılan gerilimlerdir).
- $Q_{G(th)}$** 0 V'tan MOSFET'in eşik gerilimine kadar gereken şarj. Akım, eşik geriliminde drenajdan kaynağa doğru akmaya başlayacaktır.
- Q_{GS}** 0 V'tan Miller plato gerilimine kadar gereken şarj. Plato geriliminde drenaj-kaynak gerilimi dönmeye başlayacaktır.
- Q_{GD}** Miller bölgesinden geçmek için gereken yük. Miller bölgesi adını, ters transfer kapasitansı şarj edilirken kapıdan kaynağa voltajın bu süre boyunca nispeten sabit kalmasından alır. MOSFET V_{DS} dönüşü bu dönemde MOSFET güçlendikçe gerçekleşir.

Not

Hem Q_{GD} hem de Q_G , kapasitansa karşı MOSFET anahtarlama için iyileştirilmiş değerlere sahip olsa da, yine de V_{DS} 'ye bağımlıdır ve bu parametreler kullanılırken bu hesaba katılmalıdır.

1.3 Turnon Davranış

Bölüm 1.2'de verilen bilgilere dayanarak, geçidi aşağıdaki değerlere önyargılı hale getirmek için belirli bir miktarda şarj gereklidir belirli bir voltaj. Bu anlayışla, MOSFET'e belirli gerilimler ve akımlar uygulandığında nasıl davrandığı daha net hale gelmeye başlar. Şekil 1-4 bir MOSFET'in tipik açma tepkisini göstermektedir.



Şekil 1-4. MOSFET Açılma Tepkisi

Eğri, kapıya bir yük sağlandıkça kapıdan kaynağa voltajın artmasıyla başlar. Kapıdan kaynağa voltaj MOSFET eşik voltajına ulaştığında, akım drenajdan kaynağa akmaya başlar. MOSFET Miller bölgesinde ilerlerken kapıdan kaynağa voltaj oldukça sabit kalır. Miller bölgesi sırasında drenaj-kaynak gerilimi düşer. Miller bölgesinden sonra, kapı son sürücü voltajına ulaşana kadar şarj olmaya devam eder.

1.4 Basit Çevirme Hızı Hesaplama

Ne yazık ki, parametrelerden ve denklemlerden kesin MOSFET V_{DS} dönüş hızlarını hesaplamak, MOSFET, kart ve paket parazitleri hakkında özel bilgi ve kapı sürücü devresi hakkında ayrıntılı bilgi gerektirir. Bu hesaplamalar bu belgenin kapsamı dışındadır. Bu belge sadece laboratuvar verileriyle karşılaştırılan birinci dereceden basit yaklaşımlara odaklanmaktadır.

MOSFET V_{DS} dönüşü Miller bölgesi sırasında gerçekleştiğinden, Miller şarjı (Q_{GD}) ve kapı sürücü gücü dönüş hızını yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılabilir. Yapılması gereken ilk varsayım, MOSFET geçit sürücüsü için ideal veya ideale yakın bir sabit akım kaynağının kullanıldığıdır.

1.4.1 Örnek

Şekil 1-5, 24 V'ta bir CSD18532Q5B'yi süren bir DRV8701 Akıllı Kapı Sürücüsünü göstermektedir. DRV8701 cihazı 25-mA kaynak-akım ayarı için yapılandırılmıştır. Dalga biçimi, Denklem 4 kullanılarak hesaplanan birinci dereceden yaklaşımla yakından eşleşen yaklaşık 312 ns'lik bir dönüş hızı gösterir.

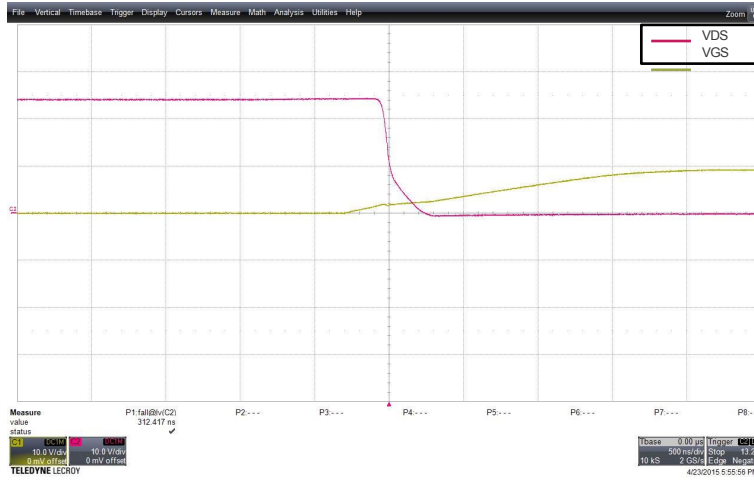
$$t_{SLEW} \approx \frac{Q_{GD}}{I_{KAYNAK}}$$

$$t_{SLEW} \approx \frac{6,9 \text{ nC}}{25 \text{ mA}} \approx 276 \text{ ns}$$

(4)

nerede

- $Q_{GD} = 6,9 \text{ nC}$
- $I_{SOURCE} = 25 \text{ mA}$


Şekil 1-5. Ölçülen MOSFET Çevirme Hızı

1.5 Kapı Sürücüsü Akım

Tepe geçit sürücü akımı ve ortalama geçit sürücü akımı, motor sürücüsü gibi bir anahtarlama güç-MOSFET sistemi tasarlarken incelenmesi gereken iki temel parametredir.

1.5.1 Tepe Kapı Sürücüsü Akım

Tepe geçit sürücü akımı, geçit sürücüsünün açma ve kapama periyotları sırasında güç MOSFET geçidine kaynaklayabileceği veya batırabileceği tepe akımıdır. Bu değer öncelikle MOSFET'in ne kadar hızlı dönebileceğinden sorumludur.

1.5.1.1 Örnek

DRV8701 150 mA'lık bir tepe kaynak akımını ve 300 mA'lık bir tepe sink akımını destekler. [Bölüm 1.4.1](#)'deki örnek kullanılarak, [Denklem 5](#) ve [Denklem 6](#) (sırasıyla) kullanılarak bir yükselme ve düşme süresi hesaplanabilir.

$$t_{RISE} \approx \frac{Q_{GD}}{I_{KAYNAK}}$$

$$t_{RISE} \approx \frac{6,9 \text{ nC}}{150 \text{ mA}} \approx 46 \text{ ns}$$

(5)

nerede

- $Q_{GD} = 6,9 \text{ nC}$
- $I_{SOURCE} = 150 \text{ mA}$

$$t_{DÜŞ} = \frac{Q_{GD}}{I_{Sink}}$$

$$t_{DÜŞ} = \frac{6,9 \text{ nC}}{300 \text{ mA}} = 23 \text{ ns} \quad (6)$$

nerede

- $Q_{GD} = 6,9 \text{ nC}$
- $I_{Sink} = 300 \text{ mA}$

1.5.2 Ortalama Kapı Sürücüsü Akım

Ortalama geçit sürücü akımı, güç MOSFET'lerini sürekli olarak anahtarlarken geçit sürücüsünden gereken ortalama akımdır. Daha önce açıklandığı gibi, bir güç MOSFET'ini anahtarlama için gereken şarj miktarı küçüktür (44 nC), ancak MOSFET'i kHz aralığında anahtarlarken, bu şarjın ortalaması kapı sürücüsü beslemesinden sabit bir akım çekecektir.

Ortalama kapı tahrik akımını hesaplamak için [Denklem 7](#)'yi kullanın.

$$I_{AVG} = Q_G * \# \text{ Anahtarlama Yapan MOSFET} * \text{Anahtarlama Frekansı} \quad (7)$$

1.5.2.1 Örnek

$$I_{AVG} = 44 \text{ nC} * 6 * 45 \text{ kHz} = 11,88 \text{ mA} \quad (8)$$

2 Sistem Zorlukları ve Akıllı Kapı Sürücüsü Özellikler

Bu bölümde, motor kapısı sürücü sistemlerinde karşılaşılan çeşitli zorluklar ve bu zorlukları çözmeye yardımcı olmak için TI Akıllı Kapı Sürücülerinde uygulanan farklı özellikler açıklanmaktadır.

2.1 EMC ve Güç Kaybı İçin Çevirme Hızı Kontrolü Optimizasyon

2.1.1 Sistem Zorluklar

MOSFET V_{DS} dönüş hızının ayarlanması ve ayarlanması genellikle motor geçit sürücüsü sistem tasarımında karşılaşılan ilk ve en kritik zorluktur. MOSFET dönüş hızı, anahtarlama gücü dağılımı, yayılan emisyonlar, diyot geri kazanımı ve endüktif voltaj artışları ve dV/dt parazitik dönüş dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere birçok performans parametresini doğrudan etkiler.

Çoğu zaman bu zorlukların üstesinden gelmek için birden fazla yöntem olsa da (bu makalenin kapsamı dışında bir konu), hepsinin paylaştığı ortak bir değişken, dönme hızına doğrudan bağımlılıktır. Tipik olarak göz önünde bulundurulması gereken ana denge, daha yavaş dönüş hızlarının yayılan emisyonlarda, voltaj yükselmelerinde ve parazitik kuplajda performansı artırması, ancak güç dağılımını artırmasıdır. Bu değiş tokuş için uygun dengeyi bulmak her motor sistemi tasarımcısı için dikkate alınması gereken bir husustur.

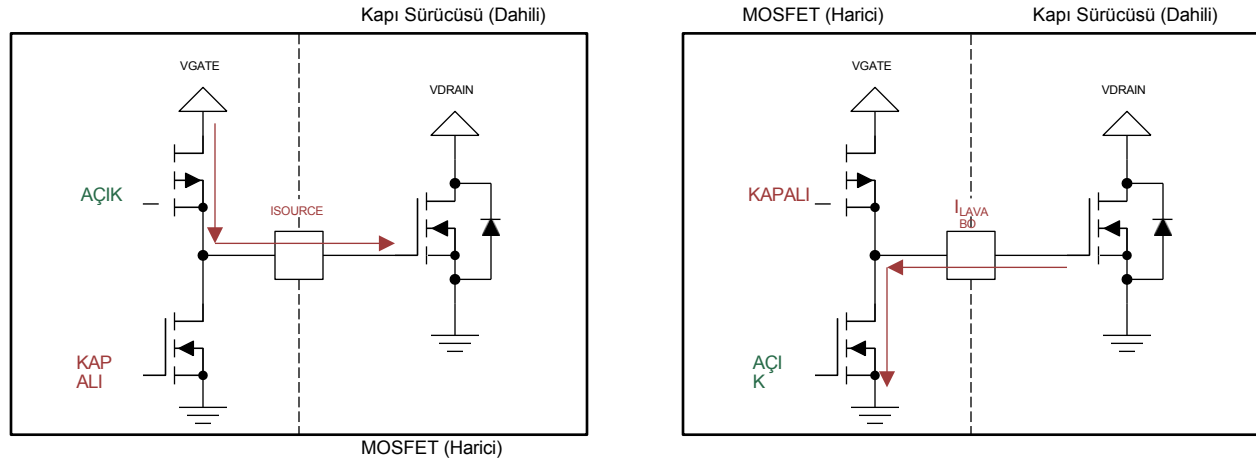
Çevirme hızı ve bunun MOSFET performansı üzerindeki çeşitli etkileri hakkında daha fazla bilgi edinmek için bu makaleleri okuyabilirsiniz.

- [MOSFET ve IGBT Kapı Sürücü Devrelerinin Temelleri](#)
- [Kapı Sürücü Genliğini Ayarlayarak MOSFET Karakteristiklerini Optimize Etme](#)
- [Endüktif parazitleri en aza indirerek buck dönüştürücü EMI ve gerilim stresini azaltın](#)

2.1.2 I_{DRIVE} Uygulama

Daha önce açıklandığı gibi, MOSFET kapısına uygulanan akımın hassas bir şekilde kontrol edilmesi, kullanıcının MOSFET V_{DS} dönüş hızı için makul bir hesaplama yapmasını ve ayarlamasını sağlar. Texas Instruments Akıllı Geçit Sürücüler, MOSFET dönüş hızını kolayca kontrol etmek için motor geçit sürücülerinin çoğunda ayarlanabilir bir geçit sürücü akımı şeması içerir. Ayarlanabilir geçit sürücü akımı parametresi I_{DRIVE} olarak adlandırılır. Bu bölümde I_{DRIVE} 'nin yaygın olarak nasıl ayarlandığı ve uygulandığı açıklanmaktadır.

En yaygın olarak uygulanan yöntem [Şekil 2-1](#)'de gösterilmektedir. Bu yöntemde, harici güç MOSFET kapısına yönlendirilen akımı yönetmek için kapı ile voltaj kaynağı arasında bir MOSFET ön sürücü anahtarı etkinleştirilir.



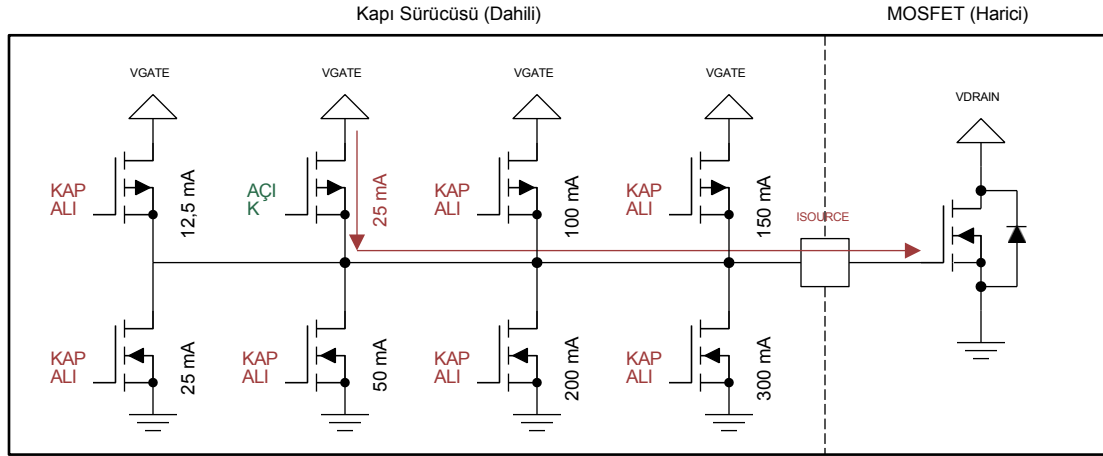
Şekil 2-1. IDRIVE Yöntemini Değiştirin

V_{DS} dönüşü sırasında harici MOSFET'in kapısına giden akımı kontrol etmek için Akıllı Kapı Sürücüsü çeşitli MOSFET özelliklerinden yararlanır. Anahtar (ön sürücü MOSFET) doygunluk bölgesinde çalıştırılabilirse ([Bölüm 1.1](#)), harici MOSFET'e giden akım sabit bir değerle sınırlandırılır. Harici MOSFET Miller bölgesinde ilerlerken, kapı-kaynak voltajı plato yapar ve nispeten sabit kalır ([Bölüm 1.3](#)).

Bu iki özelliği kullanarak Akıllı Kapı Sürücüsü, ön sürücü anahtarının kapısına doğru voltaj öngeriliminin uygulandığından ve anahtarın Miller şarj süresi boyunca doyma bölgesinde olduğundan emin olabilir.

Harici MOSFET'in kapısı kısa devre olarak görüldüğünden (bir kapasitansa uygulanan AC voltajı) kaynak veya yutak akımı anahtarın doyma akımıyla sınırlıdır.

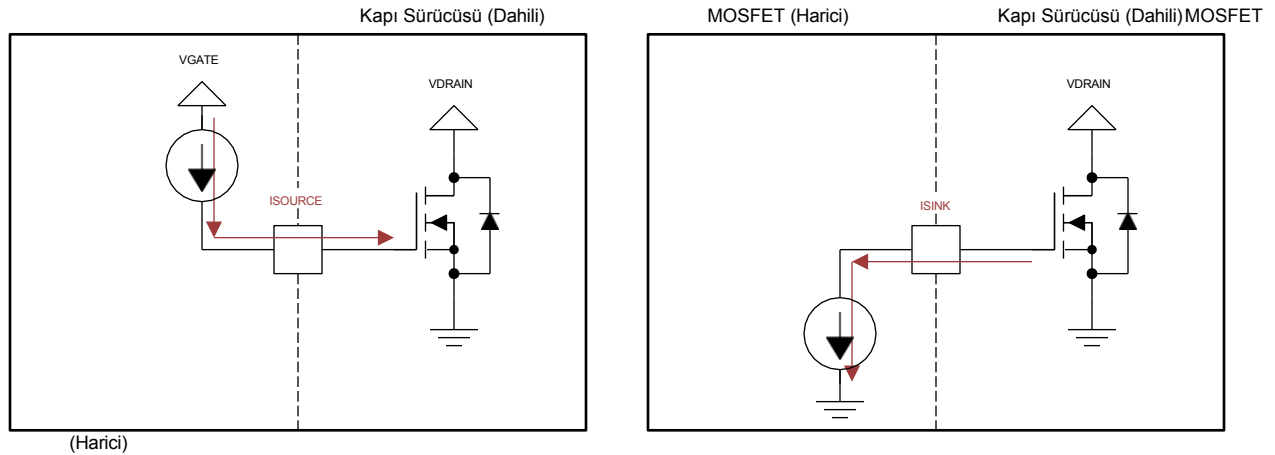
Birden fazla anahtar kullanarak (Şekil 2-2'de gösterilmiştir), Akıllı Kapı Sürücüsü normal çalışma sırasında farklı akım seviyeleri arasında geçiş yapabilir.



Şekil 2-2. Çoklu IDRIVE Ayarları

IDRIVE özelliğini uygulamak için ikinci yöntemde anahtarlar yerine akım kaynakları kullanılır. Bu uygulama, cihaz, voltaj ve sıcaklık boyunca harici MOSFET V_{DS} dönüş hızının çok hassas ve tutarlı bir şekilde kontrol edilmesini gerektiren uygulamalarda ortaya çıkar. Doygunluktaki bir anahtar basit bir akım kaynağı olarak hareket etmek için uygun şekilde boyutlandırılabilirken, daha önce açıklanan faktörler arasında hala bir varyasyon vardır. Bu varyasyonu ortadan kaldırmak için anahtar yerine bir akım kaynağı kullanılır (bkz. Şekil 2-3). Bu mimari özellikle

EMI hassasiyeti olan ve sistemin belirli bir dönüş hızında karakterize edilmesine bağlı olan uygulamalarda önemlidir.



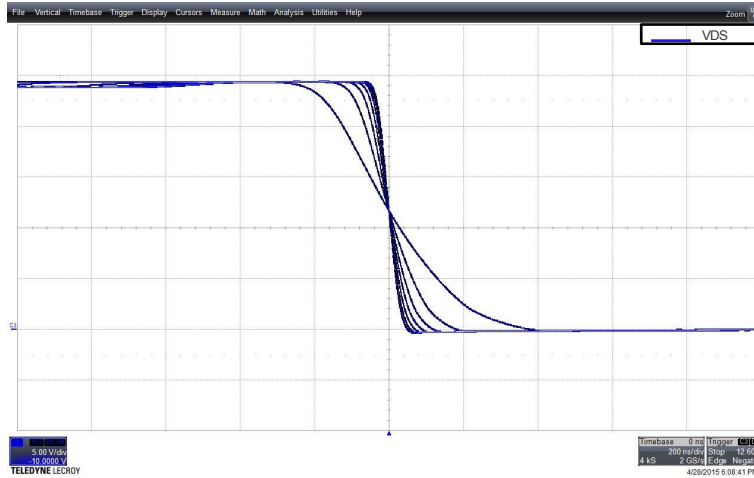
Şekil 2-3. Akım Kaynağı IDRIVE Yöntemi

Anahtar yöntemine benzer şekilde (Şekil 2-2), ayarlanabilir geçit sürücü seviyeleri sağlamak için birden fazla akım kaynağı kullanılabilir.

2.1.3 IDRIVE Çevirme Hızı Kontrol

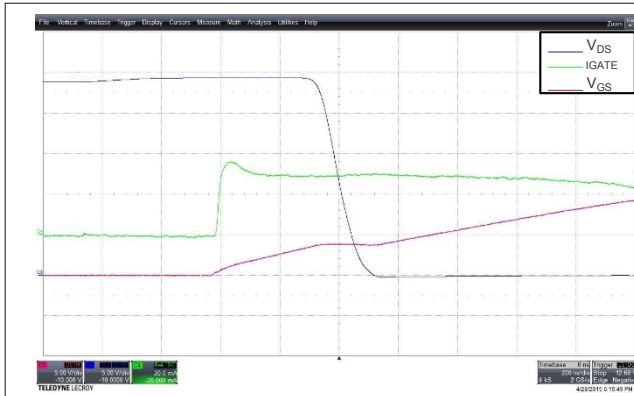
I_{DRIVE} özelliği, V_{DS} dönüş hızının sisteme harici bileşenler eklemeyen veya çıkarmadan herhangi bir zamanda ayarlanmasını sağlar. Bu özellik, bir sistem tasarımcısının MOSFET'in anahtarlama performansını verimlilik, yayılan emisyon performansı, diyot kurtarma endüktif sıvri uçları ve dV/dt dönüşü açısından ince ayar yapmasını sağlar.

Aşağıdaki kalıcılık grafiği, bir TI Akıllı Kapı Sürücüsünde I_{DRIVE} ayarının yapılmasının V_{DS} dönüş hızı üzerindeki etkisini göstermektedir. MOSFET V_{DS} 24 V'tan 0 V'a dönmektedir ve I_{DRIVE} geçit kaynağı akımının yedi seviyesinde (10 mA, 20 mA, 30 mA, 40 mA, 50 mA, 60 mA ve 70 mA) ayarlandıkça dönme hızı azalmaktadır.

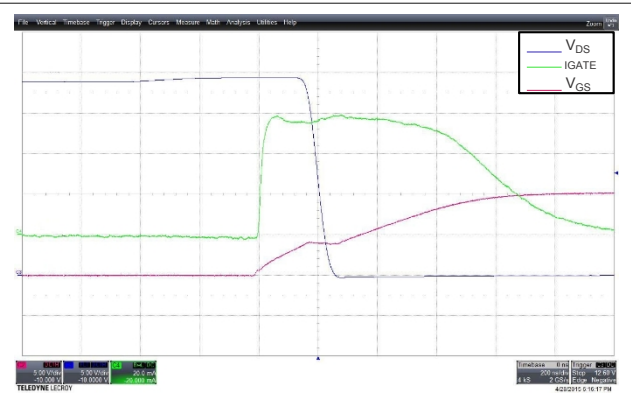


Şekil 2-4. V_{DS} IDRIVE Ayarları Arasında Kalıcılık Grafiği

Aşağıdaki şekillerde MOSFET'in geliştirilirken aldığı ek sinyaller gösterilmektedir. Akıllı Kapı Sürücüsünden gelen akım ve harici MOSFET'in Miller bölgesi, V_{DS} döndüğünde açıkça gösterilmektedir.



Şekil 2-5. IDRIVE 30-mA Ayarı



Şekil 2-6. IDRIVE 60-mA Ayarı

Bölüm 1.4'te belirtildiği gibi, ideale yakın bir akım kaynağı ve doğru bir MOSFET Q_{GD} parametresi mevcutsa, V_{DS} dönüş hızı için yaklaşık bir hesaplama yapılabilir. Aşağıdaki tabloda, hesaplanan V_{DS} dönüş hızı, çeşitli IDRIVE ayarları için ölçülen V_{DS} dönüş hızıyla karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalarda, seri kapı direncinin ve ek ideal olmayan durumların etkilerinin minimum olduğu varsayılmıştır.

$$t_{SLEW} = Q_{GD} / I_{SOURCE}$$

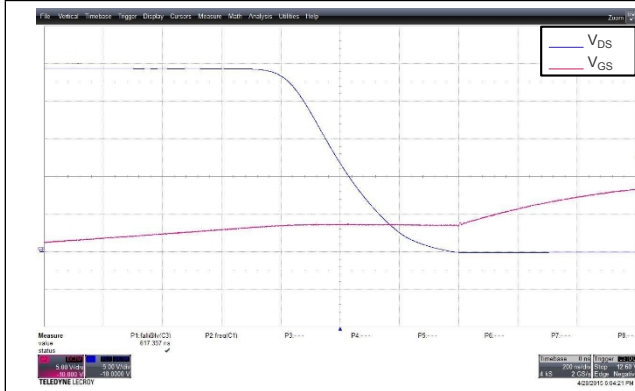
(9)

Tablo 2-1. IDRIVE Çevirme Hızı Korelasyonu

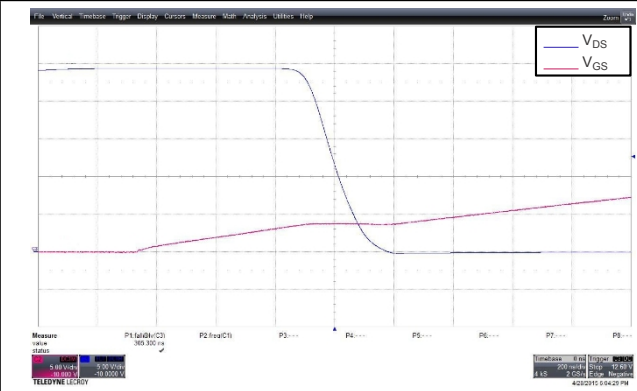
MOSFET Q _{GD} Tipik (nC)	IDRIVE Ayar (mA)	Hesaplanan Çevirme Hızı (ns)	Ölçülen Çevirme Hızı (ns)	Yaklaşık Hata (%)
8	10	800	617	23
8	20	400	305	24
8	30	267	206	23
8	40	200	158	21
8	50	160	128	20
8	60	133	109	18
8	70	114	97	15

İdeal hesaplamada bir miktar hata olsa da, bu değerler bir sistem tasarımcısının yaklaşık bir dönüş hızı için tasarım yapmasına ve ardından prototip oluşturma sırasında sistemi hassas bir şekilde ayarlamasına olanak tanır. MOSFET Q'nun doğruluğu_{GD} hesaplamının doğruluğunda büyük rol oynar.

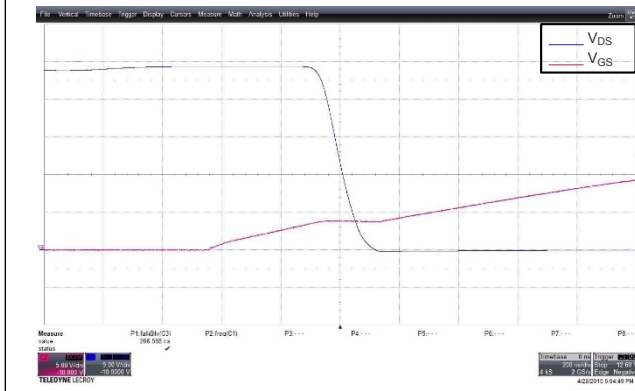
Aşağıdaki kapsam grafikleri yukarıdaki tabloda gösterilen farklı I_{DRIVE} değerleri içindir.



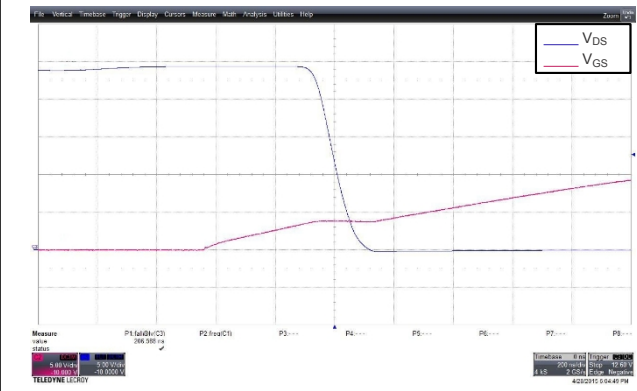
Şekil 2-7. 10-mA I_{DRIVE}



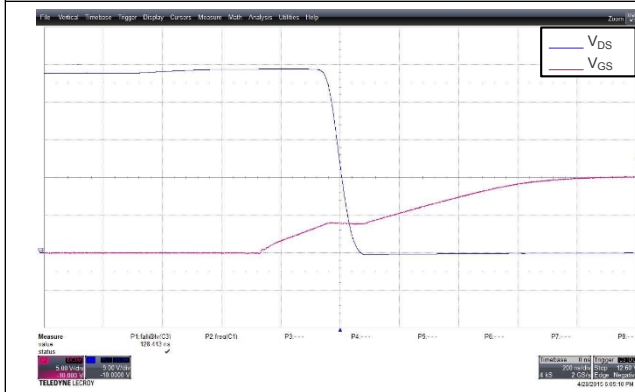
Şekil 2-8. 20-mA I_{DRIVE}



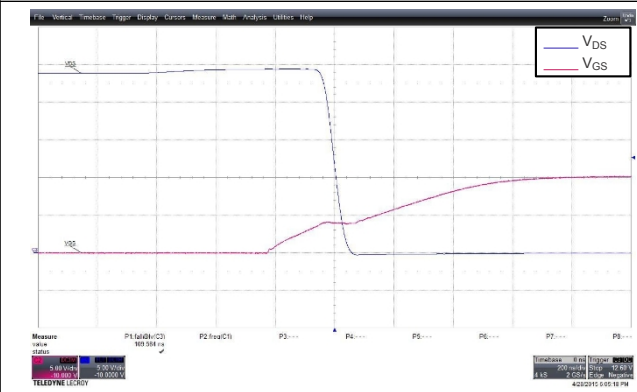
Şekil 2-9. 30-mA I_{DRIVE}



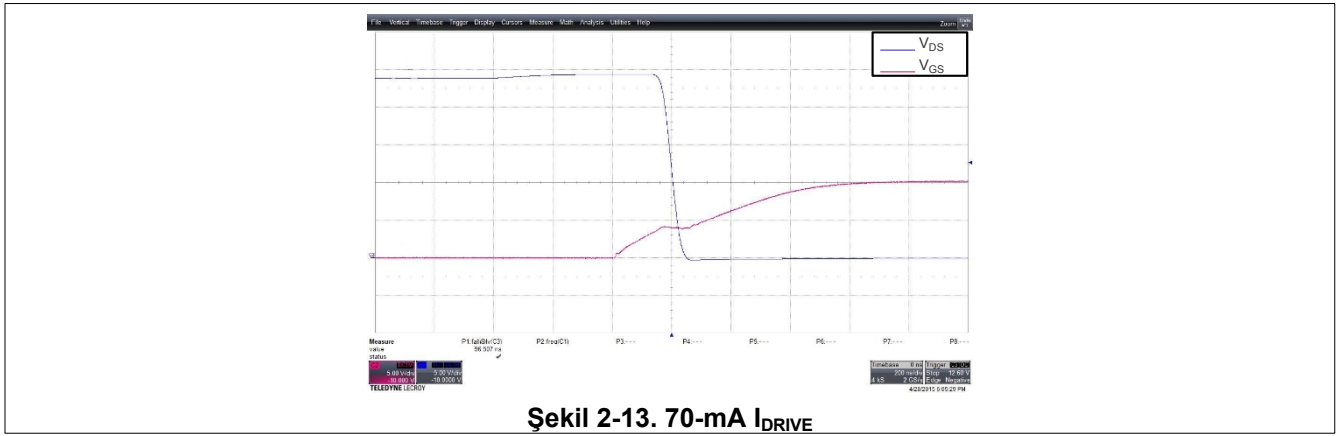
Şekil 2-10. 40-mA I_{DRIVE}



Şekil 2-11. 50-mA I_{DRIVE}



Şekil 2-12. 60-mA I_{DRIVE}



2.1.4 EMI Optimizasyonu Örnek

EMI olarak da bilinen elektromanyetik girişime katkıda bulunan başlıca etkenlerden biri, güç MOSFET'lerinin anahtarlanmasından kaynaklanan yüksek frekanslı gürültüdür. İdeal olarak güç katmanı tarafından üretilen kare voltaj dalga formları temiz topraktan beslemeye sinyallerdir, ancak durum nadiren böyledir. MOSFET paketindeki ve PCB düzenindeki parazitler, anahtarlama çıkışında çınlama yapabilen alt ve üst gerilimlere neden olabilir. Bu parazitik çınlama 1 MHz'den çok daha yüksek frekanslarda, genellikle doğrudan hassas spektrum bantlarında meydana gelebilir. Ayrıca, MOSFET anahtarlamasının temel kenar hızı yüksek frekans spektrumunda gürültüye dönüşebilir.

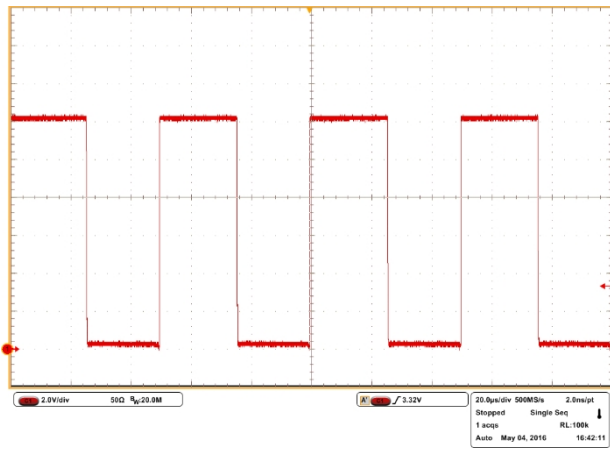
Bu parazitlerin üstesinden düzen iyileştirmeleri, engelleyiciler ve tasarım geliştirmeleri ile gelinebilirken, genellikle ayarlanması gereken anahtar düğme güç MOSFET'lerinin anahtarlama hızıdır. I_{DRIVE}, sistem tasarımcılarının kabul edilebilir bir EMI seviyesini korurken verimlilik kayıplarını en aza indiren en uygun ayarı seçmelerine olanak tanıyan bir kayıt yazma veya bir direnç ayarı aracılığıyla MOSFET dönüş hızının basit kontrolünü sağlayarak motor kapısı sürücü sistemini ayarlamak için ideal bir yol sağlar.

Tablo 2-2'de listelenen veriler Akıllı Geçit Sürücüsü I_{DRIVE} özelliğinin gerçek bir uygulamasından alınan bir örnektir. **Tablo 2-2**, farklı I_{DRIVE} ayarlarında Akıllı Geçit Sürücüsü ile 30 ila 200 MHz arasında bir CISPR 25 EMI mühendislik taramasından elde edilen tepe okumalarını göstermektedir. I_{DRIVE} akım ayarı azaldıkça, tepe tarama okumaları da azalır.

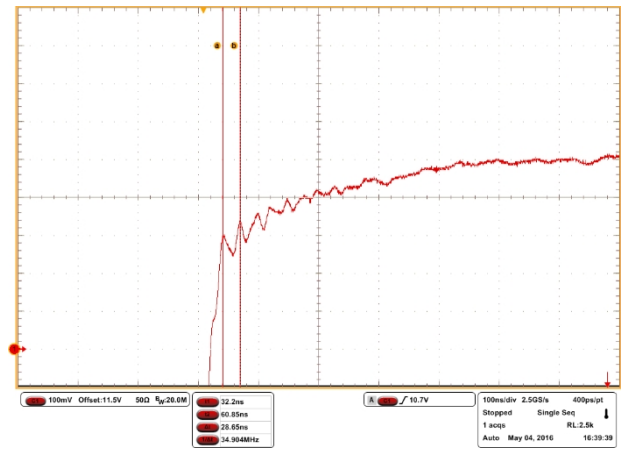
Tablo 2-2. EMI Tarama Sonuçları

I _{DRIVE} Ayar (mA)	35-MHz Tepe Noktası (dBμV/m)	65-MHz Tepe Noktası (dBμV/m)	160-MHz Tepe Noktası (dBμV/m)
10/20	5	<0	<0
20/40	12	<0	<0
50/100	12	<0	<0
200/400	28	12	2
250/500	30	15	5

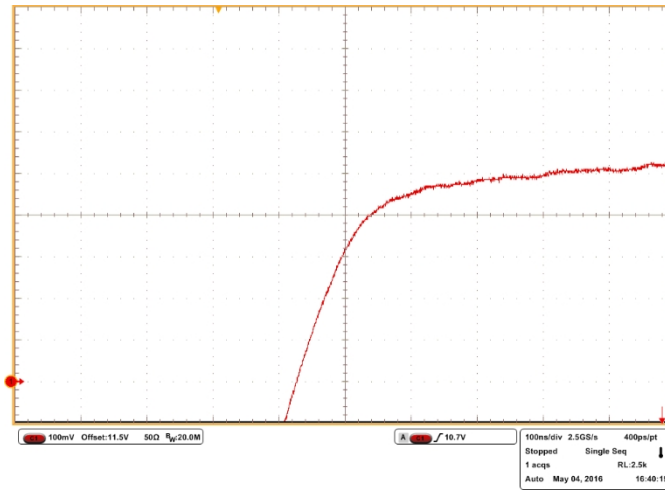
Çıkış dalga formları bir osiloskop üzerinde analiz edildiğinde, daha yüksek I_{DRIVE} ayarlarında, anahtar düğümünde yüksek frekanslı bir salınımın indüklendiği görülebilir. **Şekil 2-14** salınımın belirgin olmadığı yüksek seviyeli osiloskop yakalamasını gösterir, ancak yükselen kenarın sonuna yaklaştırıldığında (**Şekil 2-15**) EMI taramalarındaki 35 MHz sinyal gösterilir. I_{DRIVE} azaltıldığında salınım neredeyse tamamen ortadan kalkar (**Şekil 2-16**), bu da I_{DRIVE} mimarisinin gerçek dünyadaki bir uygulamada nasıl kullanılacağına dair bir örnek verir. **Şekil 2-17** ile **Şekil 2-21** arasında 30 ila 200 MHz spektrumunun tamamını içeren kaynak EMI taramaları gösterilmektedir.



Şekil 2-14. 250/500-mA Anahtar-Nod Dalga Biçimi

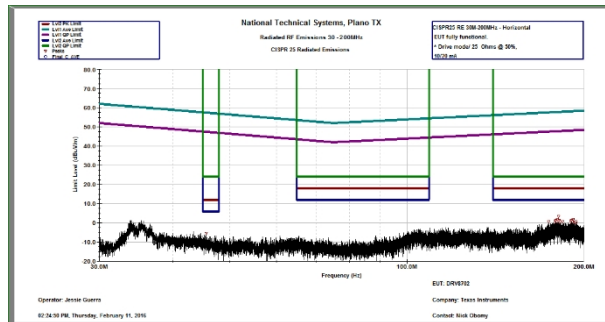


Şekil 2-15. 250/500-mA Anahtar-Nod Dalga Biçimi Yakınlaştırma

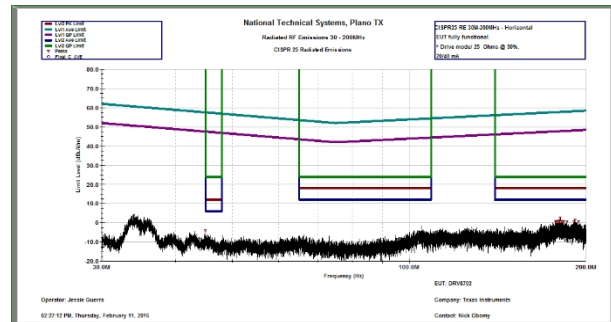


Şekil 2-16. 10/20-mA Anahtar-Düğüm Dalga Biçimi Yakınlaştırma

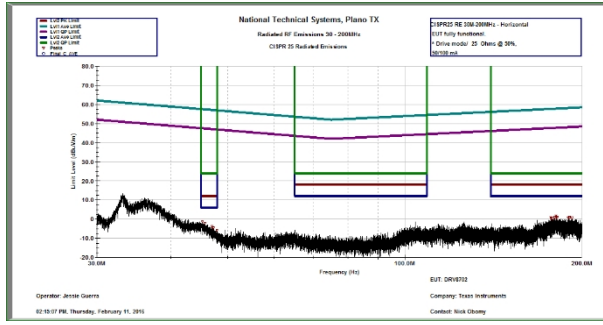
Şekil 2-17 ile Şekil 2-21 arasında IDrive ayarlarının her biri için yayılan emisyon mühendislik taramalarından elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



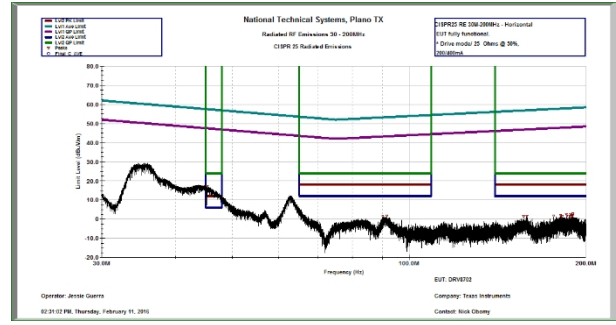
Şekil 2-17. 10/20-mA EMI Taraması



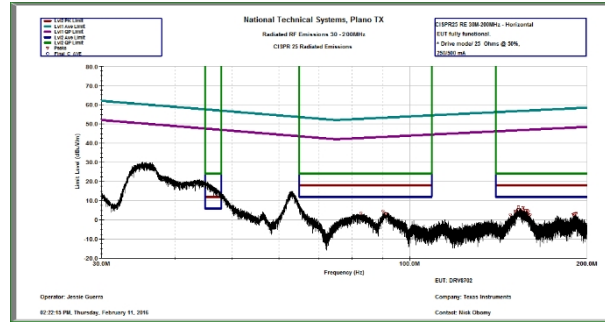
Şekil 2-18. 20/40-mA EMI Taraması



Şekil 2-19. 50/100-mA EMI



TaramasıŞekil 2-20. 200/400-mA EMI Taraması



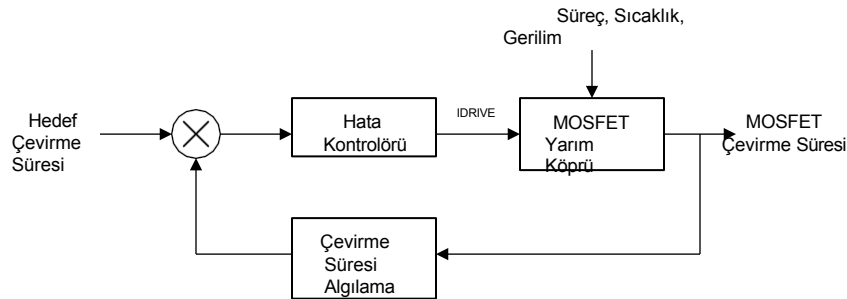
Şekil 2-21. 250/500-mA EMI Taraması

2.1.5 Çevirme Süresi Kontrol

DRV8718-Q1 ve DRV8714-Q1 gibi bazı TI Akıllı Kapı Sürücülerinde, kapalı döngü geri besleme ile anahtar düğümü dönüş süresini düzenlemek için gelişmiş bir işlev sağlanmıştır. Daha önce açıklanan açık döngü kontrol yöntemleri genellikle MOSFET dönüş hızı kontrolü için yeterli olsa da, bazen sistem tarafından daha sıkı kontrol gerekir.

Bunun nedeni, temel MOSFET parametrelerinin üretim ve sistem durumu farklılıkları nedeniyle hala değişebilmesidir. MOSFET kapı şarjı gibi parametreler cihazdan cihaza değişir ve aynı cihazda bile sistem voltajı ve sıcaklığındaki değişiklikler bu parametrelerin çalışma sırasında değişmesine neden olur.

Bu zorluğu çözmek için bir kapalı döngü dönüş süresi kontrol döngüsü gereklidir. Kapalı döngü dönüş süresi kontrolü, anahtar-düğüm dönüş süresini izleyerek ve yapılandırılmış bir hedef ayara ulaşmak için sürücünün çalışması sırasında I_{DRIVE} akım ayarını sürekli olarak ayarlayarak çalışır. Bunun bir örneği aşağıdaki şemada gösterilmiştir.



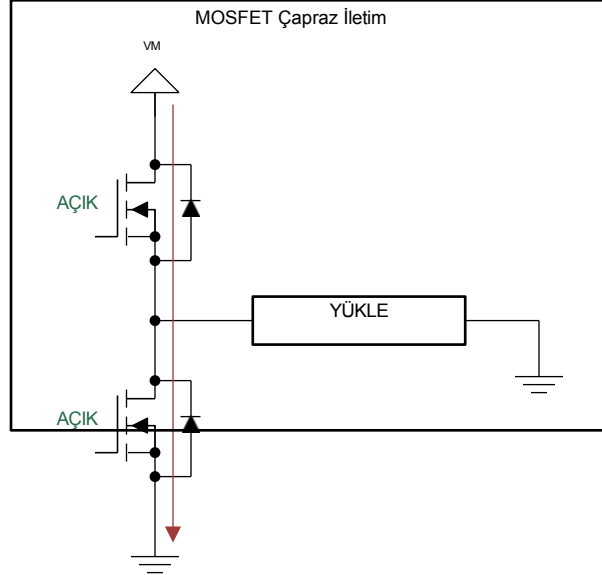
Şekil 2-22. Çevirme Süresi Kontrol Döngüsü

2.2 T_{DRIVE} Durumu Makinesi Aracılığıyla Sağlam MOSFET Anahtarlama

Bu bölüm, sağlam anahtarlama işleminin sağlanmasında karşılaşılan bazı yaygın zorlukları ve bu zorlukları çözmek için TI Akıllı Kapı Sürücülerinde uygulanan farklı özellikleri açıklamaktadır.

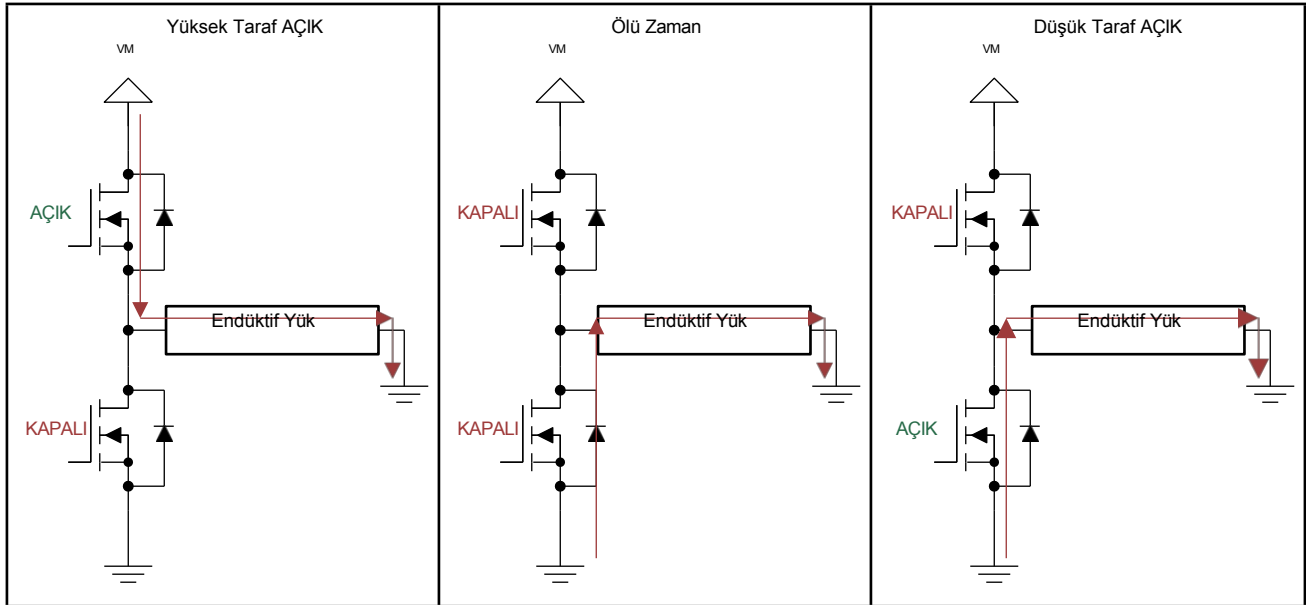
2.2.1 MOSFET EI Sıkışma

Anahtarlama MOSFET sistemlerinde, güç MOSFET'lerine veya sistem beslemesine zarar gelmesini önlemek için çapraz iletim veya "shoot-through" koşullarından kaçınmak çok önemlidir. Çapraz iletim (Şekil 2-23'te gösterilmiştir), hem yüksek taraf hem de düşük taraf MOSFET aynı anda etkinleştirildiğinde meydana gelir. Güç kaynağı ile toprak arasında düşük empedanslı bir yol oluşur. Bu yol büyük akım akışına izin vererek harici MOSFET'lere veya güç kaynağına zarar verebilir.



Şekil 2-23. Çapraz İletim Örneği

Çapraz iletim veya shoot-through, en yaygın olarak düşük taraftan yüksek tarafa (veya yüksek taraftan düşük tarafa) geçiş yaparken meydana gelir. Giriş sinyalinin alındığı andan harici MOSFET'in kapalı olduğu ana kadar MOSFET'in dahili yayılma gecikmesi ve dönüş hızına bağlı olarak bir gecikme meydana gelir. Bu gecikme süresi dolmadan karşı MOSFET etkinleştirilirse, çapraz iletim meydana gelebilir. Bu sorunu önlemek için basit bir yöntem, karşı MOSFET'i etkinleştirmeden önce bir zamanlama süresi eklemektir (Şekil 2-24'te gösterilmiştir). Bu süreye ölü zaman adı verilir. Artan ölü zaman, diyot iletim kayıpları nedeniyle motor sürücüsünün verimliliğini azaltır.



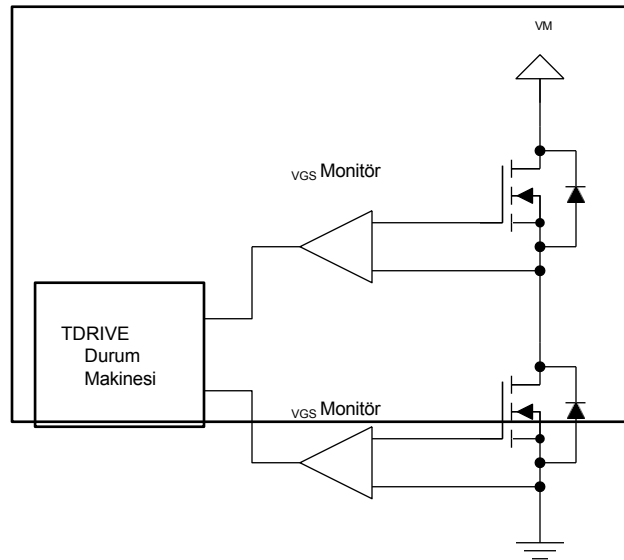
Şekil 2-24. Ölü Zaman Örneği

T_I Akıllı Kapı Sürücüler, MOSFET V_{GS} voltajını izleyerek ve akıllı bir T_{DRIVE} durum makinesi ile anahtarlama MOSFET sistemi için optimize edilmiş bir ölü zaman miktarı sağlayabilir. V_{GS} monitörleri, komut verilen MOSFET'i etkinleştirmeden önce yarım köprüdeki karşı MOSFET'in devre dışı bırakıldığından emin olur.

Çapraz iletim korumasına (shoot-through) ek olarak, bu yöntem diyot iletim süresini azaltarak sistem performansı avantajları sağlayabilir. MOSFET iç gövde diyotunun iletim kayıpları tipik olarak standart MOSFET iletim kayıplarından daha kötüdür ve genel sistem verimliliğini azaltır.

T_{DRIVE} durum makinesi, düşük taraftan yüksek tarafa (veya yüksek taraftan düşük tarafa) harici MOSFET'e geçiş yaparken dahili el sıkışma özelliğine sahiptir. Handshaking, harici MOSFET'lerin shoot-through olarak da bilinen çapraz iletim periyoduna girmesini önlemek için tasarlanmıştır.

Dahili el sıkışma, bir MOSFET'in ne zaman devre dışı bırakıldığını ve diğerinin ne zaman etkinleştirilebileceğini belirlemek için harici MOSFET'lerin V_{GS} monitörlerini kullanır (Şekil 2-25). Bu el sıkışma, sistemin çapraz iletim riski olmadan sisteme optimize edilmiş bir ölü zaman eklemesini sağlar.



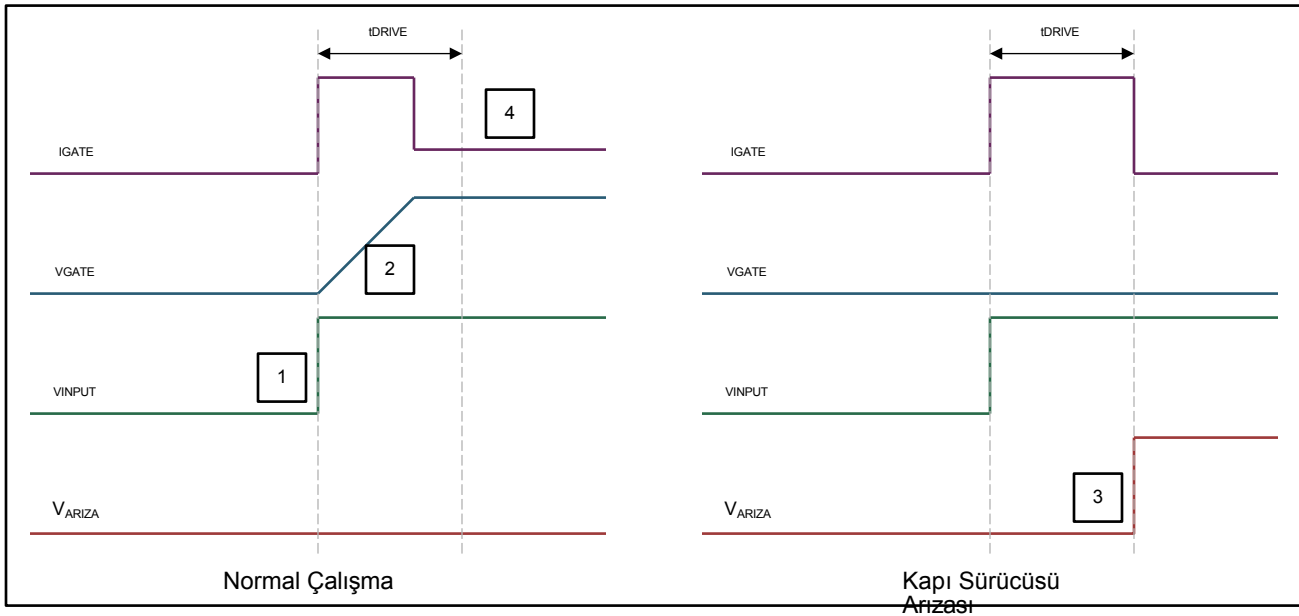
Şekil 2-25. V_{GS} Monitör Örneği

2.2.2 MOSFET Kapı Arızası Tespiti

T_{DRIVE} durum makinesi, Akıllı Geçit Sürücüsünün harici MOSFET'in geçidindeki düşük veya yüksek takılma durumu gibi hata koşullarını tespit etmesini sağlar. Kapı hataları, güç MOSFET kapısı oksitindeki bir kusur veya arızadan ya da kapı sürücüsünün kendisindeki bir pin hatası arızasından kaynaklanabilir. Akıllı Kapı Sürücüsü, gerilimi izleyerek ve harici güç MOSFET'ine giden akımı yöneterek MOSFET kapısında anormal bir olay (kısmi kısa devre, kısa devre) meydana geldiğinde bunu tespit edebilir ve raporlayabilir.

T_{DRIVE} kapı sürücü zamanlayıcısı, MOSFET kapısında kısa devre veya MOSFET V_{GS} kelepçesinin yanlışlıkla açılması gibi anormal durumlarda Akıllı Kapı Sürücüsü ve MOSFET kapısından geçen yüksek tepe akımının sabit bir süreyle sınırlandırılmasını sağlar. Şekil 2-26 aşağıda ana hatları verilen bu konsepti göstermektedir:

1. Akıllı Kapı Sürücüsü, MOSFET kapısını etkinleştirmek için bir komut alır.
2. Daha sonra harici MOSFET kapısına güçlü bir akım kaynağı uygulanır ve kapı voltajı yükselmeye başlar.
3. Geçit voltajı t_{DRIVE} süresinden sonra artmazsa (MOSFET geçidinde kısa devre veya aşırı akım durumunu gösterir), Akıllı Geçit Sürücüsü bir geçit sürücü hatası sinyali verir ve harici MOSFET ve geçit sürücüsünü korumak için geçit sürücüsü devre dışı bırakılır.
4. Bir kapı sürücü hatası oluşmazsa, Akıllı Kapı Sürücüsü doğru kapı voltajını korumak ve dahili akım tüketimini azaltmak için T_{DRIVE} döneminden sonra küçük bir akım kaynağını etkinleştirir.

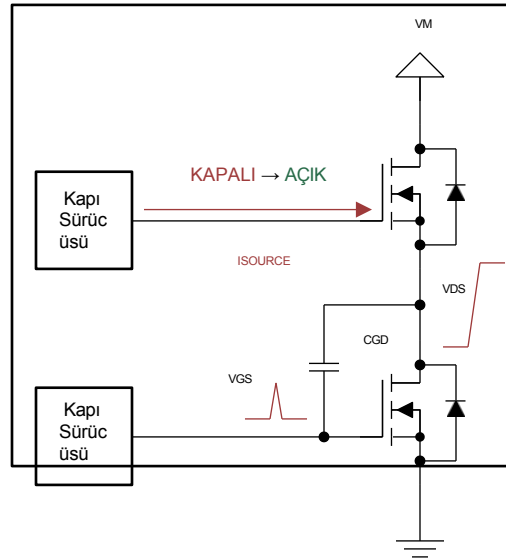


Şekil 2-26. TDRIVE Örnek

2.2.3 dV/dt Turnon Önleme

Çapraz iletim ve kapı hatası koruma özelliklerine ek olarak, dahili T_{DRIVE} durum makinesi de dV/dt turnonunu önlemek için bir mekanizma sağlar.

dV/dt turnon, yüksek taraf MOSFET'i hızla çevirirken meydana gelebilecek bir sistem sorunudur. Anahtar düşümü düşükten yükseğe doğru hızla döndüğünde (Şekil 2-27), parazitik geçitten drenaja kapasitans (C_{GD}) aracılığıyla düşük taraf MOSFET'in geçidine bağlanabilir. Bağlantı, düşük taraf MOSFET'in kapıdan kaynağa voltajını yükseltebilir ve voltaj MOSFET eşik voltajını (V_{th}) geçerse MOSFET'i etkinleştirebilir. Yüksek taraftaki MOSFET açıkken düşük taraftaki MOSFET etkinleşirse çapraz iletim meydana gelir.

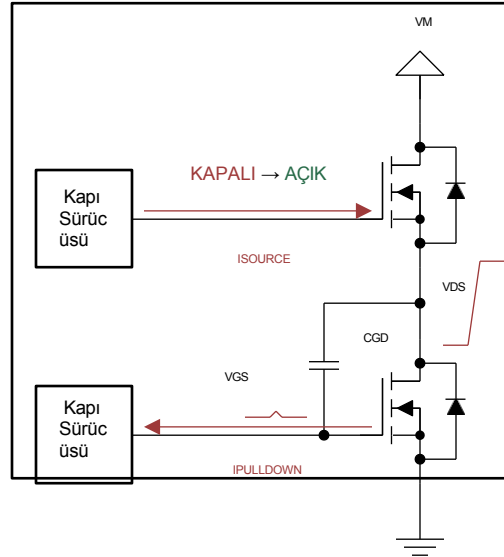


Şekil 2-27. dV/dt Örneği

T_{DRIVE} durum makinesi, harici sistemde çapraz iletime yol açabilecek dV/dt turnonunu önlemek için çalışır. yarım köprü. Akıllı Kapı Sürücüsü, yüksek taraf V_{DS} dönüşü sırasında düşük taraf MOSFET'te güçlü bir aşağı çekmeyi etkinleştirerek, düşük taraf MOSFET kapısının parazitik kapasitansından drenaj kapasitansına (C_{GD}) bağlanan parazitik yük için düşük empedanslı bir yol (Şekil 2-28) sağlayabilir. Bu empedans yolu yükselmeyi önler

Düşük taraf MOSFET'in kapıdan kaynağa voltajında, kapalı olması gerekirken potansiyel olarak MOSFET'i etkinleştirebilir.

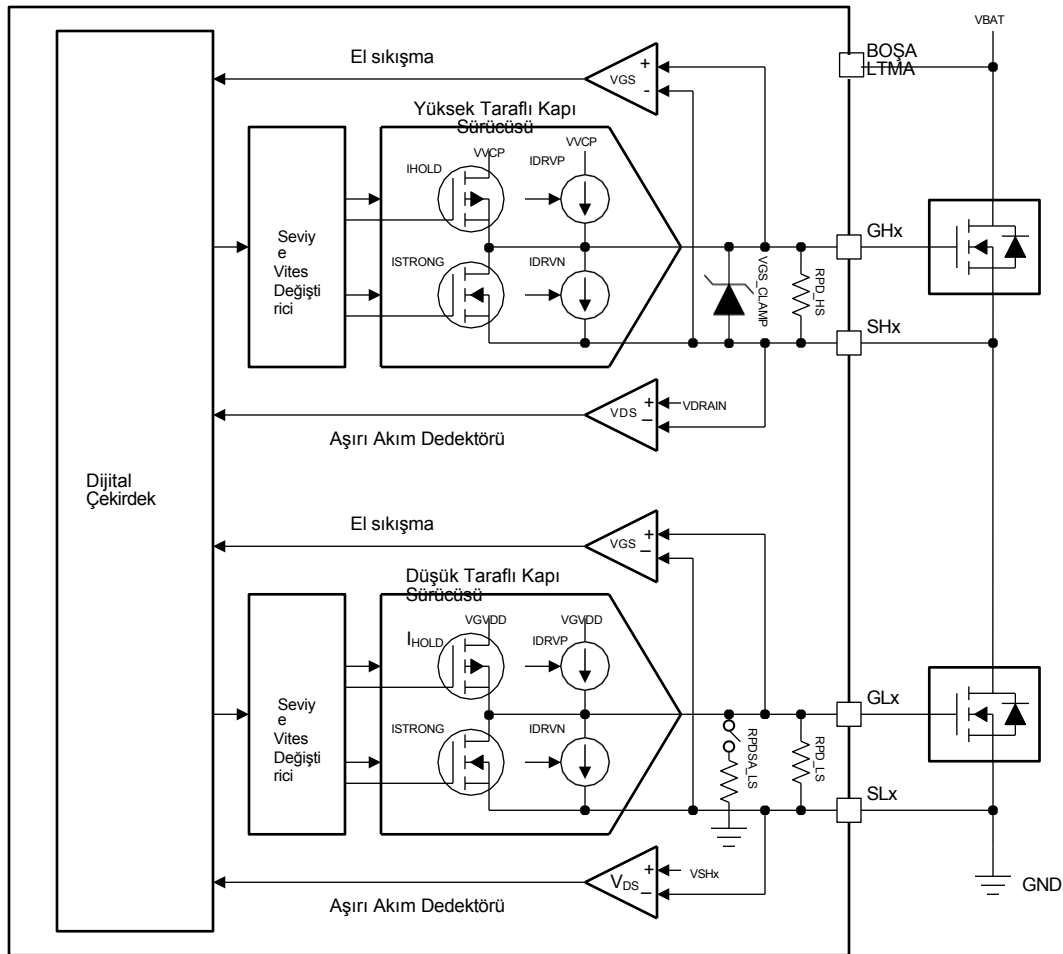
TDRIVE durum makinesi, anahtarlama periyodundan sonra güçlü çekmeyi devre dışı bırakır ve harici düşük taraf MOSFET'in kapıdan drenaja kısa devre senaryosunda Akıllı Kapı Sürücüsüne veya sisteme zarar verme olasılığını azaltmak için zayıf bir çekmeye geçer. Akıllı Geçit Sürücüsü, yüksek akım süresini sınırlandırarak kendisine zarar gelmesini önleyebilir ve sisteme daha fazla zarar gelmesini sınırlandırabilir.



Şekil 2-28. TDRIVE Pulldown

2.3 Sistem Ürün Ağacı Azaltma

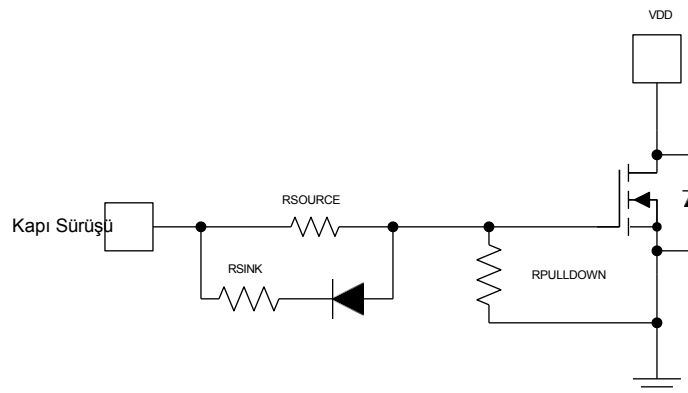
Sistem esnekliğine ek olarak, bir Akıllı Kapı Sürücüsü, motorlu kapı sürücü sisteminin temel bileşenlerinin entegrasyonu yoluyla sistem BOM'unu ve gerekli kart alanını azaltma olanağı sağlar. Tipik bir Akıllı Kapı Sürücüsü blok şeması [Şekil 2-29](#)'da gösterilmektedir.



Şekil 2-29. Akıllı Kapı Sürücüsü Blok Diyagramı

Dikkat edilmesi gereken ilk önemli nokta, harici MOSFET'in açma ve kapama kontrolü için ayarlanabilir kapı sürücü akım kaynaklarıdır. Bunlar, **Şekil 2-30'**da gösterildiği gibi harici bileşenlerle yapılacak tipik dönüş hızı kontrol telafisini sağlamak için ayarlanabilir. Tipik olarak, R_{SOURCE} ve R_{SINK} dirençleri geçit sürücüsü ile MOSFET geçidi arasındaki empedansı manuel olarak ayarlar. Diyot, yükselme ve düşme V_{DS} dönüş hızlarının ayrı ayrı ayarlanmasını sağlar. Akıllı Geçit Sürücüsünde, ayarlanabilir geçit sürücüleri bu işlevi entegre eder.

Ek olarak, dahili aşağı çekme dirençleri bu işlevi uygulamak için tipik harici dirençlerin yerini alır. $R_{PULLDOWN}$ direnci, kapı sürücüsü etkin değilken bile MOSFET'in devre dışı kalmasını sağlar.



Şekil 2-30. Tipik Kapı Sürücüsü Çevirme Hızı Harici Bileşenler

Son olarak, her kapı sürücü çıkışı için entegre V_{DS} ve V_{GS} karşılaştırıcıları sağlanmıştır. Bu karşılaştırıcılar harici MOSFET'ler için aşırı akım tespitini yönetir ve potansiyel kapı sürücü hatalarını tespit eder. Bu karşılaştırıcılar ve çeşitli ayarları doğrudan Akıllı Kapı Sürücüsü SPI veya donanım ayarları aracılığıyla yapılandırılabilir.

2.4 Yayılma Gecikmesi Optimizasyon

Bu bölümde, ilerleme gecikmesi optimizasyonunda karşılaşılan bazı yaygın zorluklar ve bu zorlukları çözmek için TI Akıllı Kapı Sürücülerinde uygulanan farklı özellikler açıklanmaktadır.

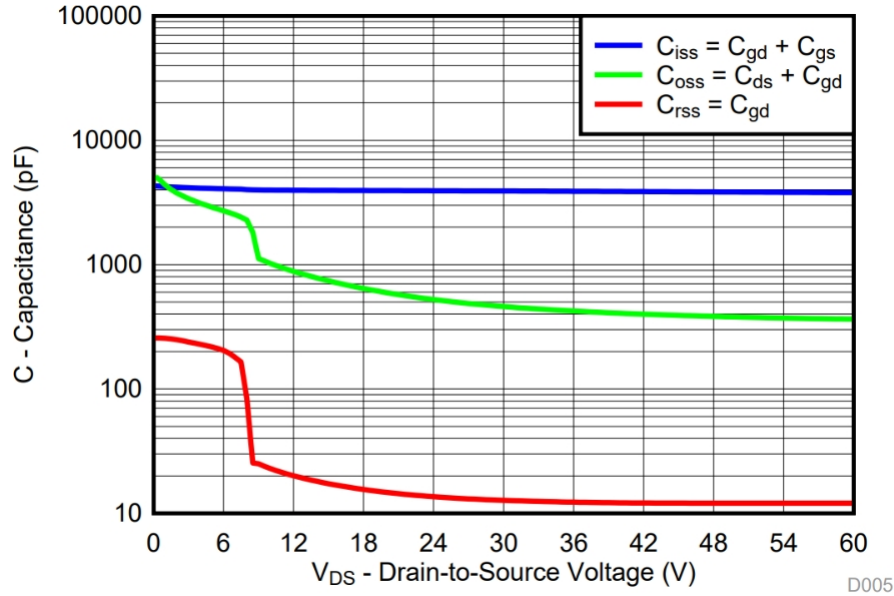
2.4.1 Sistem Zorluklar

Motor geçit sürücüsü sistem tasarımındaki bir diğer yaygın zorluk, yayılma gecikmesini ve bunun sistemin anahtarlama performansına etkisini yönetmektir. Yayılma gecikmesinin genel anahtarlama performansını etkileyen iki temel parametresi vardır. Birincisi girişten çıkışa olan genel gecikme, ikincisi ise dönüşten çıkışa olan uyumsuzluktur.

kapatmak için açık. Bu iki parametre minimum ve maksimum görev döngüsünü, frekans aralığını ve görev döngüsü adım çözünürlüğünü doğrudan etkileyecektir. Hız ve tork kontrolü açısından motordan optimum performans elde etmek için iyi anahtarlama performansı önemlidir.

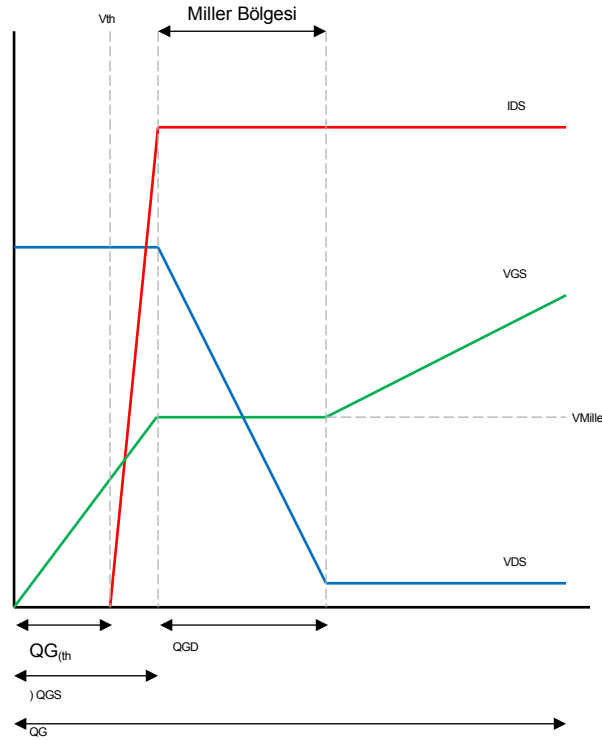
Çoğu geçit sürücüsü gecikme ve uyumsuzluk parametrelerini belirtirken, bunlar genel giriş-çıkış sisteminin yalnızca bir parçasıdır. Diğer önemli kısım ise MOSFET anahtarlama gecikmesinin kendisidir. Yüksek dönüş hızlarında, MOSFET'in yayılma gecikmesine ve uyumsuzluğa katkısı sürücüye kıyasla genellikle minimum düzeyde olacaktır, ancak EMC'ye duyarlı sistemlerde sıklıkla görüldüğü gibi yavaş dönüş hızlarında MOSFET ana katkı sağlayıcı olabilir.

Tipik bir MOSFET veri sayfasına daha fazla bakarak, MOSFET parametrelerinin genel yayılma gecikmesini nasıl etkilediğini anlamaya başlayabiliriz. CSD18532Q5B için voltaj karşısındaki kapasitans parametreleri aşağıda Şekil 2-31'de gösterilmektedir.



Şekil 2-31. CSD18532Q5B Kapasitans Eğrileri

MOSFET'in Q_{GD} ve Q_{GS} değerlerini belirlemek için kullanılabileceğinden, bu parametrelerin voltajla nasıl değiştiğini anlamak önemlidir. Çoğu zaman Q_{GD} ve Q_{GS} MOSFET'in elektriksel karakteristiği olarak belirtilir, ancak bu genellikle gerçek sistem koşullarını temsil etmeyecek belirli bir V_{DS} 'de belirtilir.



Şekil 2-32. MOSFET Açılma Tepkisi

Aşağıdaki denklemlere bakarak, C_{rss} ve V_{DS} 'nin bir fonksiyonu olarak daha doğru bir Q_{GD} değeri belirleyebiliriz. Bu, Şekil 2-32'de gösterildiği gibi Q_{GD} şarjı sırasında dinamik olarak değiştiği için V_{DS} üzerinden entegre edilir. Daha sonra C_{iss} ve V_{DS} 'nin bir fonksiyonu olarak daha doğru bir Q_{GS} bulabiliriz. Şekil 2-32'de gösterildiği gibi Q_{GS} şarjı sırasında V_{DS} nispeten statik olduğundan bu çarpılır.

$$Q_{GD} = \int_0^{V_{DS}} C_{rss} dV \quad Q_{GS} = C_{iss} V_{DS}$$

Şekil 2-33. Şarj Hesaplamaları

Q_{GD} ve Q_{GS} adreslerinden yayılma gecikmesi ve dönüş süresine MOSFET katkısını belirleyebiliriz.

$$t_{prop} = \frac{Q_{GS}}{I_{Source}} \quad t_{slew} = \frac{Q_{GD}}{I_{Source}}$$

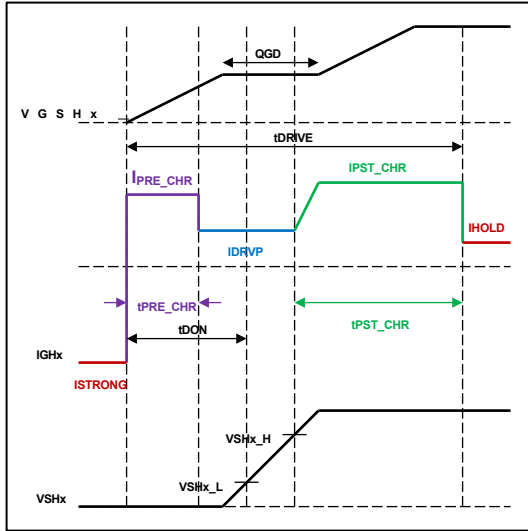
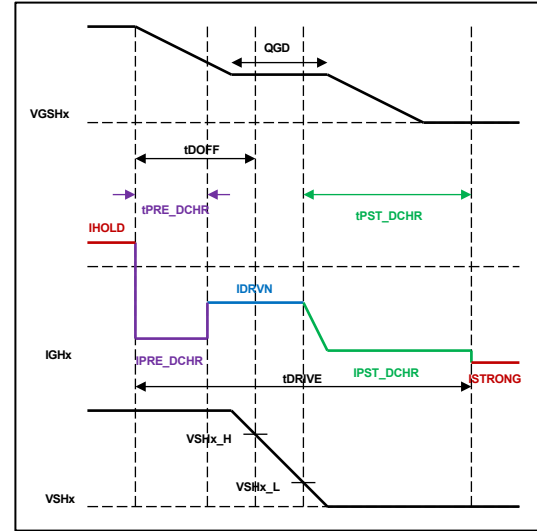
Şekil 2-34. Zamanlama Hesaplamaları

CSD18532Q5B MOSFET örneğini tekrar kullanarak, yaklaşık Q_{GD} ve Q_{GS} değerlerini hesaplayabiliriz. 12 V güç kaynağı varsayıldığında, Q_{GD} yaklaşık 1,2 nC ve Q_{GS} yaklaşık 6,9 nC'dir. Ayrıca 1us dönüş süresi varsayıldığında, 1,2 mA'lık bir I_{SOURCE} hesaplayabiliriz. Buradan, yaklaşık yayılma gecikmesini hesaplayabiliriz 5,75 us olarak hesaplanmıştır. Özetle, $Q_{GS} \gg Q_{GD}$ olduğunu ve bunun tipik olarak çoğu MOSFET için geçerli olduğunu görebiliriz. Daha yavaş dönüş hızlarında yayılma gecikme süresinin anahtarlama performansında önemli bir faktör haline geldiği sonucuna da varabiliriz. Eğer 20kHz PWM sinyali kullanılıyorsa, 5 us'den daha büyük bir yayılma gecikmesi zaten toplam periyodun %10'undan fazladır.

2.4.2 Yayılma Gecikmesi Azaltma

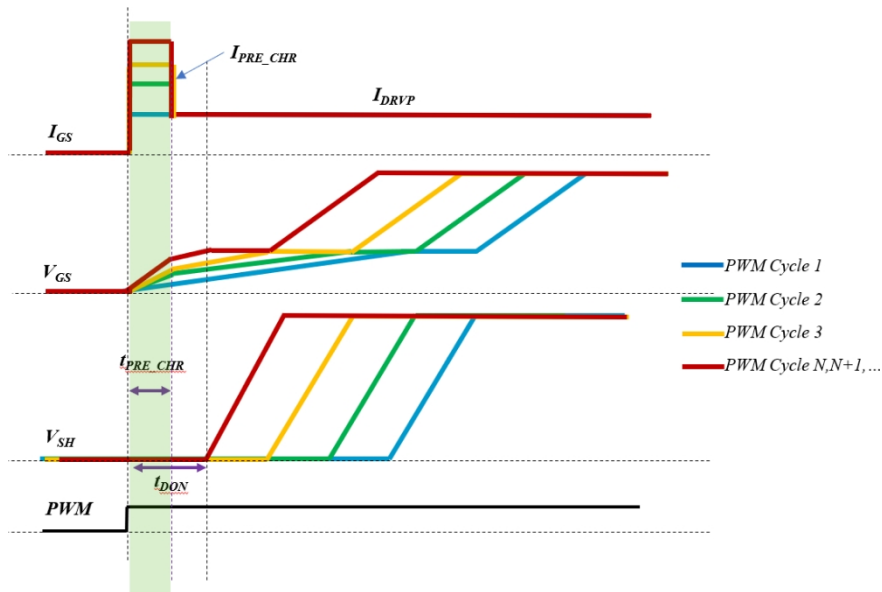
DRV8718-Q1 ve DRV8714-Q1 gibi belirli TI Akıllı Kapı Sürücülerinde, dinamik bir akım kontrolü kullanarak MOSFET şarj ve deşarjı için yayılma gecikmesini azaltmak için gelişmiş bir işlev sağlanır

şeması. Bu şema, daha geniş bir PWM görev döngüsü aralığını desteklemek ve ayrıca miller şarj bölgesinden sonra artık şarj bölgesinden geçerken MOSFET'teki termal dağılımı azaltmak için yayılma gecikmesini azaltır. Bu durum **Şekil 2-35** ve **Şekil 2-36**'da gösterilmektedir. Dyanmik akım kontrolü, propagaton gecikmesini (t_{DON}/OFF) azaltmak için bir ön şarj akımı (I_{PRE_CHR}), dönüş hızı kontrolü için bir sürücü akımı ($I_{DRV/P/N}$) ve artık şarj için bir son şarj akımı (I_{PST_CHR}) dahil olmak üzere çeşitli bölgelere sahiptir.


Şekil 2-35. Dinamik Şarj Öncesi

Şekil 2-36. Dinamik Şarj Sonrası Profili

Sağlam dinamik akım kontrolü uygulamak için Akıllı Kapı Sürücüsü, anahtar düğümünün dönme bölgesine ne zaman gireceğini öğrenmek ve tahmin etmek ve kapı tahrik akımını önceden ayarlamak için uyarlanabilir bir şema kullanır. Karşılaştırıcılarla doğrudan geri besleme kullanımından kaynaklanan tipik gecikmeler çevirme bölgesinin kendisini etkileyebileceğinden öngörücü bir şema gereklidir.

Bu uyarlanabilir şemada, kontrolör programlanan yayılma gecikmesinin bir kısmı için akımı modüle eder ve ardından anahtar düğümünün hangi noktada döndüğünü izler. Anahtar düğümünün erken veya geç dönmesine bağlı olarak ön şarj akımı **Şekil 2-37**'de gösterildiği gibi yukarı veya aşağı ayarlanır. Her PWM döngüsünde, ön şarj akımı (I_{PRE_CHR}), istenen yayılma gecikmesine (t_{DON}) ulaşılan kadar anahtar düğümü (V_{SH}) dönüş zamanlamasına göre güncellenir.


Şekil 2-37. Yayılma Gecikmesi Uyarlamalı Ayarlama

3 Revizyon Tarihçe

NOT: Önceki revizyonların sayfa numaraları mevcut versiyondaki sayfa numaralarından farklı olabilir.

Revizyon C'den (Kasım 2018) Revizyon D'ye (Mart 2021) değişiklikler	Sayfa
• Güncellenmiş özet	1
• Organizasyonu iyileştirmek için Akıllı Kapı Sürücüsü Özellikleri ve Sistem Faydaları bölümleri birleştirilmiştir..	8
• Dönüş Süresi Kontrolü bölümü eklendi.	14
• Yayılım Gecikmesi Optimizasyonu bölümü eklendi.....	21
Revizyon B'den (Ocak 2018) Revizyon C'ye (Kasım 2018) değişiklikler	Sayfa
• Tablo 1-1 'de değiştirilen spesifik değerler	3
• Bölüm 1.5.2 'de "6,9 nC" ifadesi "44 nC" olarak değiştirilmiştir	7
Revizyon A'dan (Mayıs 2016) Revizyon B'ye (Ocak 2017) değişiklikler	Sayfa
• Akıllı Kapı Sürücüsü için terminoloji güncellendi.....	1

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'nın [Satış Koşullarına](#) veya [ti.com](#)'da bulunan ya da söz konusu TI ürünleriyle birlikte sağlanan 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