

パワースイッチングデバイス

ドライバソース端子の接続方法

MOSFET や IGBT などのパワースイッチングデバイスのスイッチング損失を小さくするひとつの手法としてドライバソース端子(いわゆるケルビンソース端子)を有する 4pin パッケージや 7pin パッケージが近年増えています。しかし、正しく接続しなければドライバソース端子を有するパワースイッチングデバイスの性能を最大限引き出せないだけでなく、パワースイッチングデバイスの故障につながる可能性があります。そこで、本アプリケーションノートではドライバソース端子の正しい接続方法について、ガイドラインとして提示することを目的としています。パワースイッチングデバイスがドライバソース端子を有することによって生み出される効果と使用上の注意事項についてはアプリケーションノート「ドライバソース端子によるスイッチング損失の改善」をご確認ください。^[1]

対象パッケージ



TO-247-4L



TO-263-7L

ドライバソース端子の接続

ドライバソース端子を有するパワースイッチングデバイスは MOSFET 以外にもありますが、今回は MOSFET を例に挙げて説明します。Figure.1 にドライバソース端子を有する MOSFET の回路記号、Figure.2 に TO-247-4L の内部構造図を示します。

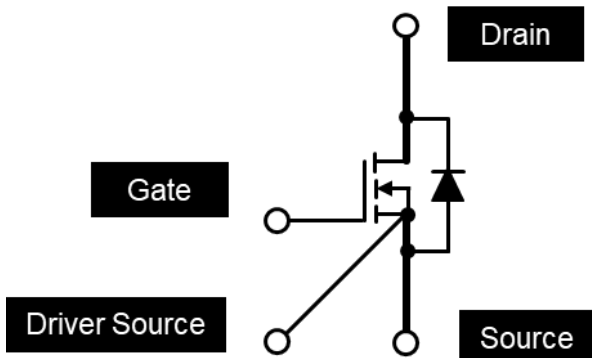


Figure 1. MOSFET 回路記号

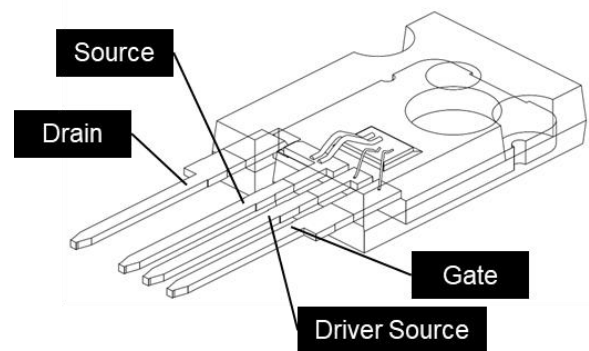


Figure 2. TO-247-4L の内部構造図

ドライバソース端子を有する MOSFET の接続回路例を Figure.3 に示します。ゲート駆動回路はゲート端子、ドライバソース端子に接続します。ドレイン電流(I_D)の流れるパワー回路はドレイン端子、ソース端子(以後、パワーソース端子)に接続することが望ましいです。

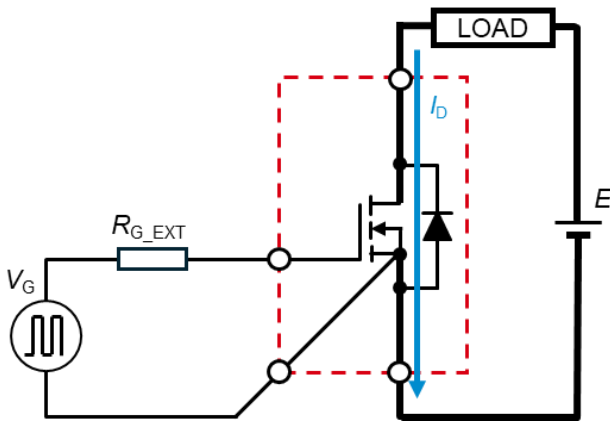


Figure 3. ドライバソース端子を有する MOSFET の接続回路

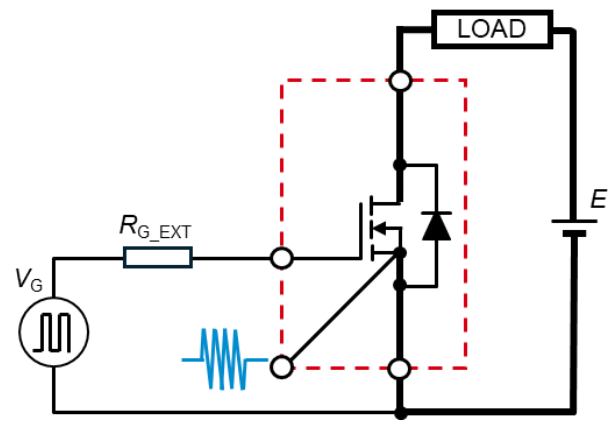


Figure 5. ドライバソース端子をオープン

リスクを伴う使用方法

ドライバソース端子はチップ内部でパワーソース端子と電位的には接続されていますが、以下のような使用方法はリスクを伴うことがあります。

1. ドライバソース端子とパワーソース端子を直接接続する
2. ドライバソース端子をオープンにする

1. ドライバソース端子とパワーソース端子を直接接続する
 ドライバソース端子とパワーソース端子を直接接続すると Figure.4 の回路図となります。

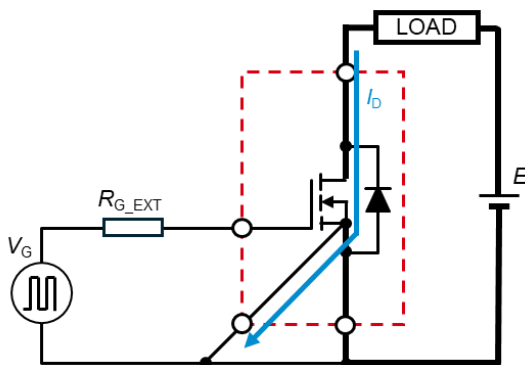


Figure 4. ドライバソース端子とパワーソース端子を直接接続

この場合、ドライバソース端子にもドレイン電流が流れることとなります。ドライバソース側のワイヤーとパワーソース側のワイヤーは太さや本数が異なる場合があり、定格電流内で使用していてもドライバソース側のワイヤーが容断/破断する可能性があります。また、PAD メタル内で水平方向にドライバソースとパワーソース間の電流が流れ、意図しないチップの発熱が起こる可能性も否定できません。

2. ドライバソース端子をオープンにする
 ドライバソース端子をオープン状態にし、ゲート駆動をパワーソース端子で行うと Figure.5 の回路図となります。

この場合、ドライバソース端子がハイインピーダンス状態になりスイッチングノイズを放射する事で、周辺に意図しない影響を起こすリスクがあると考えられます。またノイズの影響を受けゲートソース信号が誤動作する原因となる可能性も考えられます。

ゲートドライバ IC 別の接続方法

上記で説明した危険な接続方法を解消するため、以下の 4 通りのゲートドライバ IC 別の接続方法を示します。

1. 絶縁 1ch ゲートドライバ IC

Figure.6 にブリッジ構成においてハイサイド、ローサイドともに絶縁 1ch のゲートドライバ IC (ROHM : [BM61x4x](#) を 2 つ)を使用した時の回路図を示します。ドライバソース端子を有するパワースイッチングデバイスを使用する際は、まず Figure.6 のようにハイサイド、ローサイド共に絶縁のゲートドライバを使用してください。

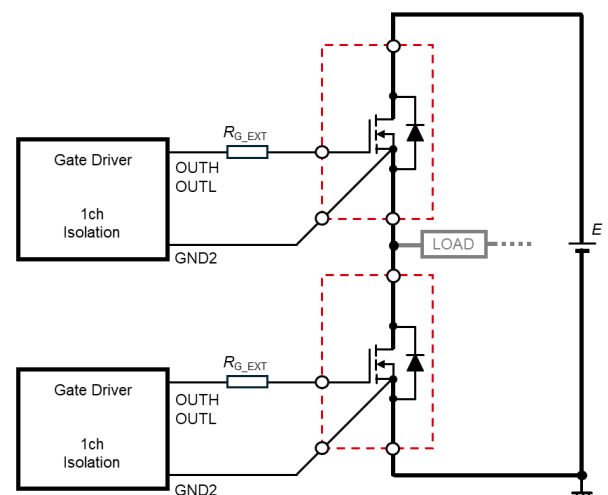


Figure 6. ROHM : BM61x4x 使用時の回路図

2. ローサイド非絶縁で GND はゲート駆動用 GND とパワー-GND が分かれている 2ch ゲートドライバ IC

Figure.7 にブリッジ構成においてブートストラップ方式によりハイサイドが絶縁、ローサイドが非絶縁で、GND はゲート駆動用 GND とパワー-GND が分かれている 2ch ゲートドライバ IC (ROHM : [BM60213FV-C](#)) を使用した時の回路図を示します。「1. 絶縁 1ch ゲートドライバ IC」と共に、こちらドライバソース端子付きパワースイッチングデバイスの性能を最大限生かすことができる駆動回路です。

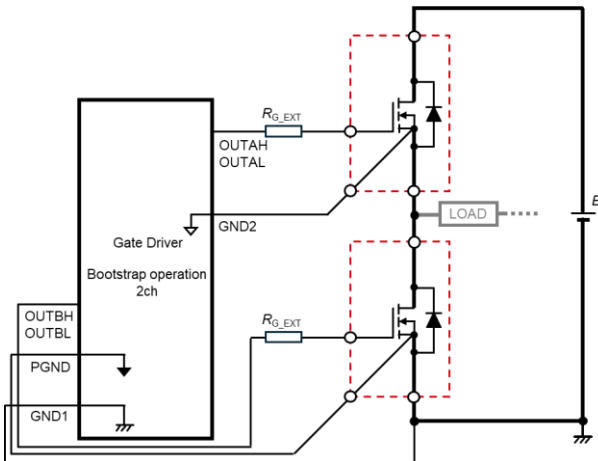


Figure 7. ROHM : BM60213FV-C 使用時の回路図

ROHM : BM60213FV-C はミラークランプ機能がありません。ゲートドライバ IC にミラークランプ機能がない場合でも、ディスクリート構成によってミラークランプを構成することができる回路をアプリケーションノート「コンパレータレスミラークランプの設計方法」^[2]にて紹介しています。

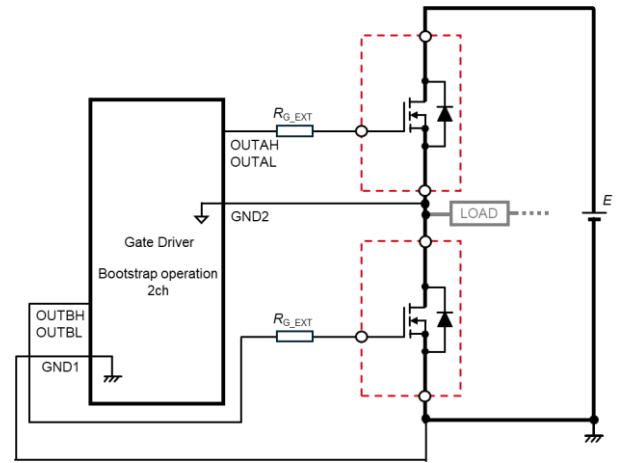
3. ローサイド非絶縁で GND はゲート駆動用 GND とパワー-GND が分かれていない 2ch ゲートドライバ IC

Figure.8 にブリッジ構成においてブートストラップ方式によりハイサイドが絶縁、ローサイドが非絶縁で、GND はゲート駆動用 GND とパワー-GND が分かれていない 2ch ゲートドライバ IC (ROHM : [BM60212FV-C](#)) を使用したときの回路図を示します。ゲートドライバ IC に 1,2 を選択できない場合は、まず

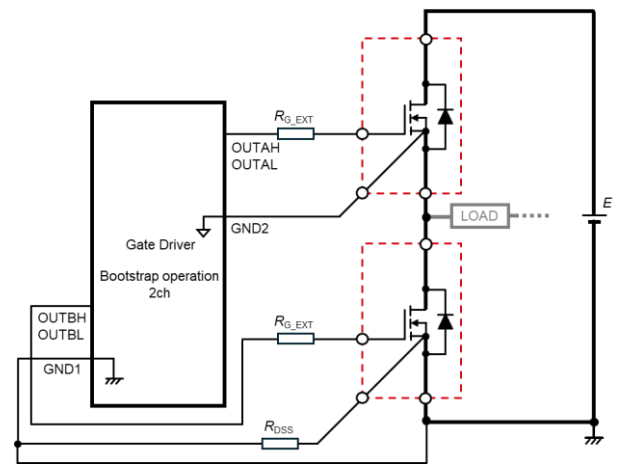
(a)ドライバソース端子のないパワースイッチングデバイスを使用するをご検討ください。TO-247N(3pin)を使うことでリスクを伴う使用方法を避けることができます。

ドライバソース端子を有するパワースイッチングデバイスの使用が回避できない場合は、ドライバソース端子のないパッケージと同様のスイッチング損失になりますが、

(b)パワーソース端子とドライバソース端子の間に抵抗(R_{DSS})を挿入してください。



(a) ドライバソース端子のないパワースイッチングデバイスを使用する



(b) パワーソース端子とドライバソース端子の間に抵抗(R_{DSS})を挿入

Figure 8. ROHM : BM60212FV-C 使用時の回路図

Figure.9 の回路にて、ドライバソース端子側に流れる電流(I_{DRV})をシミュレーションにて検証しました。パワーソース端子の基板パターン等による寄生インダクタンスを L_{SOURCE} とし、 $L_{SOURCE} = 30\text{nH}$ 、 $R_G = 2.2\text{ohm}$ において、

(x)パワーソース端子とドライバソース端子を分けて接続したとき
 (y) $R_{DSS} = 0\text{ohm}$
 (z) $R_{DSS} = 1\text{ohm}$
 時の I_D 、 I_{DRV} シミュレーション波形を Figure.10 に示します。
 L_{SOURCE} が

- (b-1) $L_{SOURCE} = 0\text{nH}$
- (b-2) $L_{SOURCE} = 10\text{nH}$
- (b-3) $L_{SOURCE} = 20\text{nH}$
- (b-4) $L_{SOURCE} = 30\text{nH}$

の 4 通りにおいて R_{DSS} と dI_D/dt を変化させた時の I_{DRV} の最大値 (I_{DRV_peak})をプロットしたグラフを Figure.11 に示します。

シミュレーション条件

SIC MOSFET : SCT4062KR(1200V 62mohm TO-247-4L)

HV dc 電圧 : $E=800V$

ドレイン電流 : $I_D=40A(Pulse)$

ゲート電圧 : $V_{GS}=18V/0V$

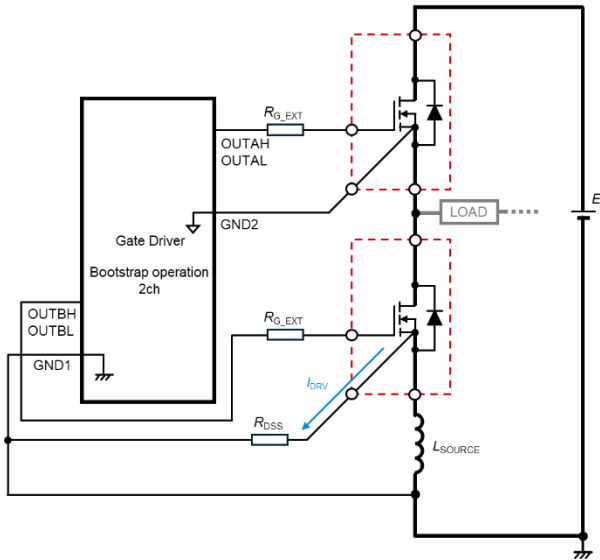
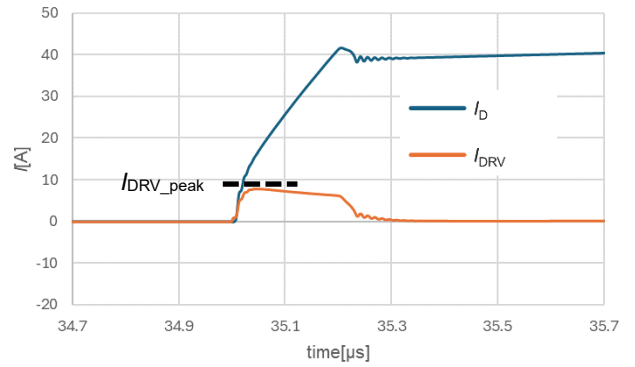
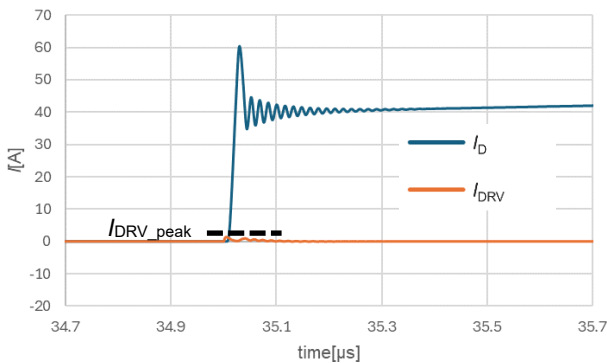
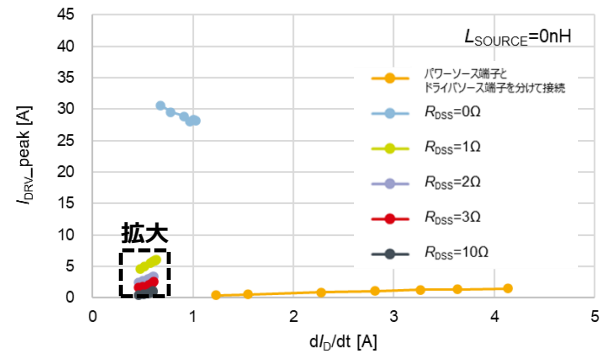


Figure 9. シミュレーション回路

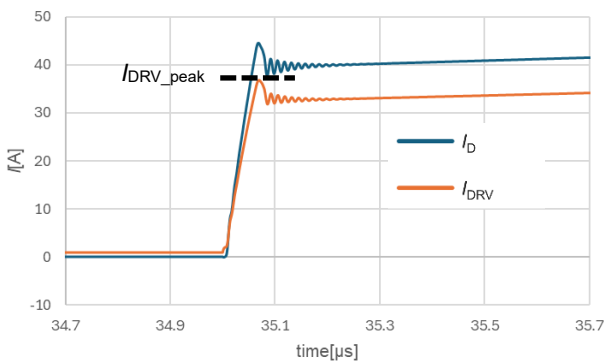


(z) $L_{SOURCE} = 30nH, R_G=2.2ohm, R_{DSS} = 1ohm$

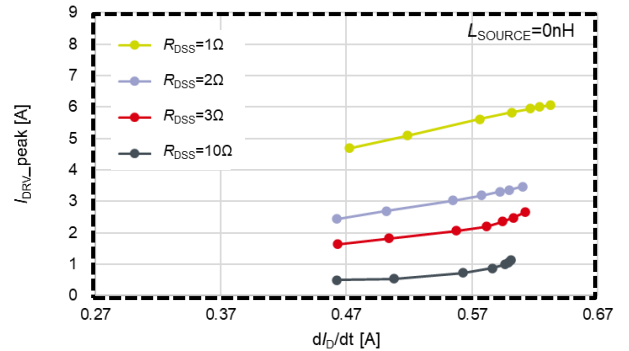
Figure10. シミュレーション波形



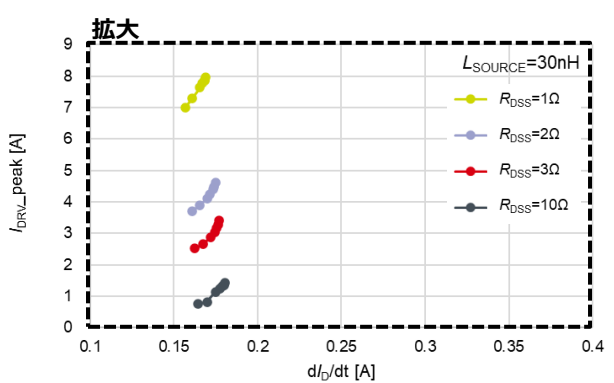
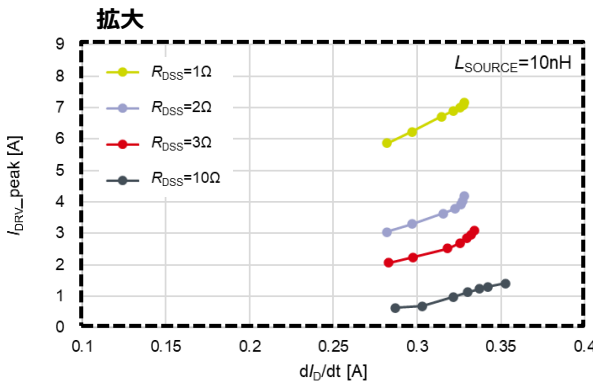
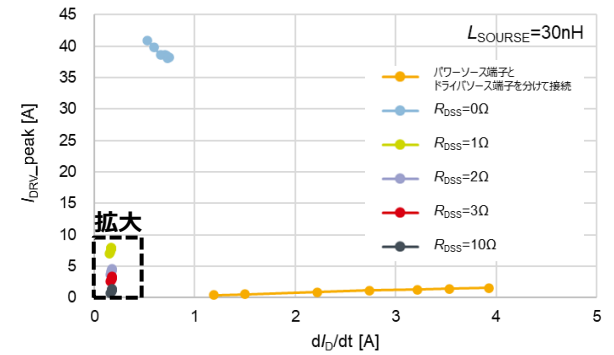
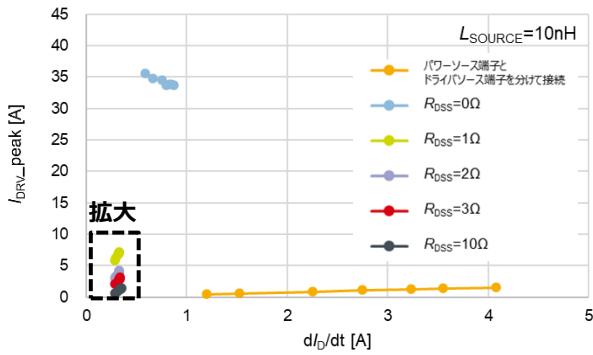
(x) $L_{SOURCE} = 30nH, R_G=2.2ohm$, パワーソース端子とドライバソース端子を分けて接続



(y) $L_{SOURCE} = 30nH, R_G=2.2ohm, R_{DSS} = 0ohm$



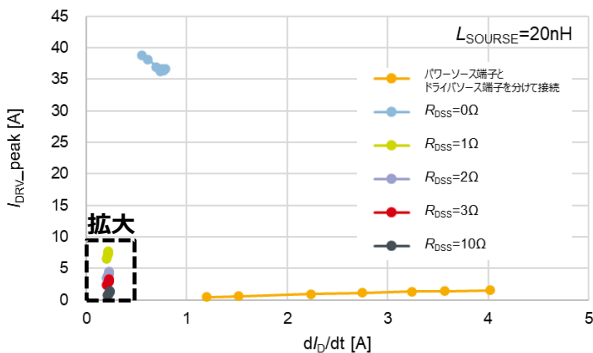
(b-1) $L_{SOURCE}=0nH$



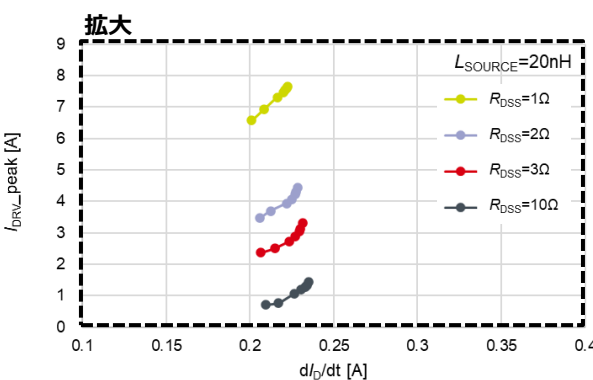
(b-2) $L_{SOURCE}=10nH$

(b-4) $L_{SOURCE}=30nH$

Figure 11. シミュレーション結果※1



※1 本シミュレーション結果はおお客様の装置における特性および動作を保証するものではありません。ご使用になる場合はお客様にて十分なお検討、評価の上、最終的な回路、定数の選定をお願い致します。



(b-3) $L_{SOURCE}=20nH$

パワーソース端子とドライバソース端子を接続すると dI_D/dt が減少します。今回のシミュレーションでは dI_D/dt が $1A/ns \sim 4A/ns$ (パワーソース端子とドライバソース端子を分けて接続) から $0.1A/ns \sim 0.4A/ns$ (パワーソース端子とドライバソース端子を直接または R_{DSS} を隔てて接続) と $1/10$ に減少し、スイッチング損失が増加します。

シミュレーションの結果から、 R_{DSS} がなければ、ほとんどのドレイン電流がドライバソース端子に流れることがわかります。 R_{DSS} は消費電力も考慮し、数 ohm 以上設ける必要があります。また、パワーソース端子の寄生インダクタンス L_{SOURCE} に蓄積されたエネルギーが R_{DSS} に流れるため、寄生インダクタンスが大きく、 dI_D/dt が大きいほど抵抗値を大きくする必要があります。

シャント抵抗の接続においては、以下のことに注意してください。
Figure 7(a)にてドライバソース端子のないパワースイッチングデバイスを使用する際はシャント抵抗(R_{shunt})を Figure.12 のようにゲート駆動回路の内側に接続すれば、ローサイドのゲート駆動電圧は式(1)だけ目減りします。

$$V_{GS_DOWN} = R_{shunt} \times I_D \quad (1)$$

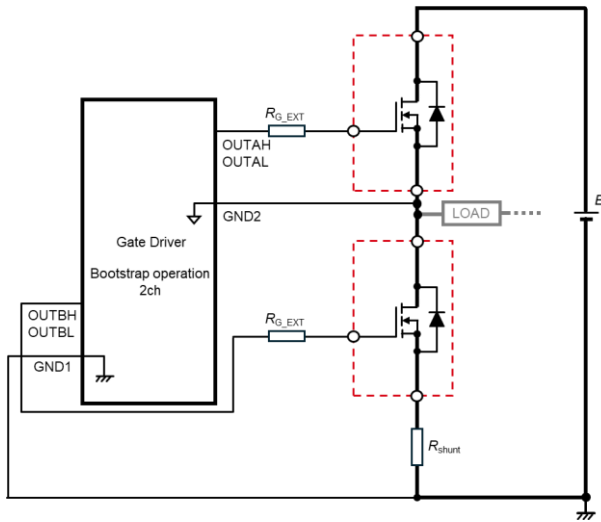


Figure 12. R_{shunt} をゲート駆動回路の内側に接続

ゲート駆動電圧が減少すると、 R_{ON} が上昇するため、MOSFET の損失が増加し効率が悪化するだけでなく、MOSFET の ON 抵抗が高い領域で使用すれば、熱破壊の危険性も考えられます。 R_{shunt} をゲート駆動回路の内側に接続する場合はこれらのリスクに十分注意し、必ず実機上にて熱的に問題がないかを検証する必要があります。

R_{shunt} を GND 側に接続した場合、GND1 はパワー回路の GND であるため R_{shunt} が短絡し、ゲート駆動のパターンをパワー電流が流れ、 R_{shunt} がシャント抵抗として機能できません。

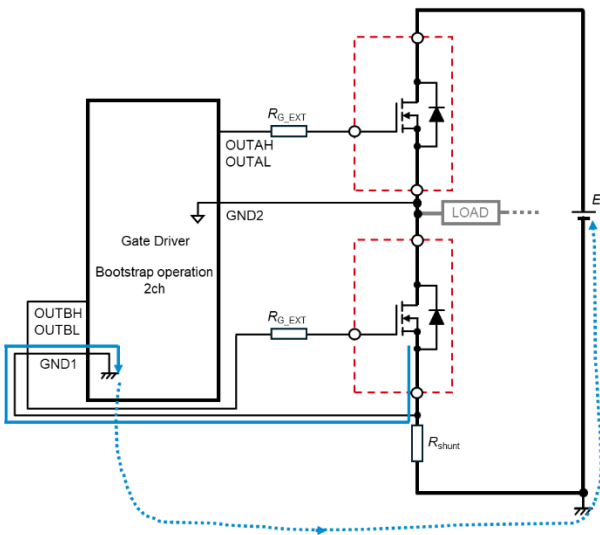


Figure 13. R_{shunt} をゲート駆動回路よりも GND 側に接続

したがって、ドライバソース端子のないパワースイッチングデバイスを使用する際は Figure.13 の接続方法は使用できず Figure.12 の接続を選択し、実機上にて熱的に問題がないかを検証しながら設計を行う必要があります。

まとめ

ドライバソース端子を有するパワースイッチングデバイスはお使いになるドライバ IC に適した方法で接続する必要があります。そのためには、可能な限り絶縁ゲートドライバ IC を使用してください。ローサイド非絶縁ゲートドライバ IC を使用する場合は、GND がゲート駆動用 GND とパワー GND で分かれているゲートドライバ IC の使用を強く推奨します。GND が分かれていないゲートドライバ IC の使用を避けられない場合はドライバソース端子のないパワースイッチングデバイスに変更してください。その際はシャント抵抗とゲート電圧に注意してください。

最終手段としてパワースソース端子とドライバソース端子の間に抵抗を挿入する方法を紹介しましたが、本アプリケーションノートではこれらの使用方法を推奨するものではありません。

参考資料：

- [1] 「ドライバソース端子によるスイッチング損失の改善」
アプリケーションノート(No. 62AN039J Rev.002)
ローム株式会社, 2020 年 4 月
[ドライバソース端子によるスイッチング損失の改善 \(rohm.com\)](http://rohm.com)
- [2] 「コンパレータレスミラークランプの設計方法」
アプリケーションノート(No. 65AN010J Rev.001)
ローム株式会社, 2022 年 4 月
[コンパレータレスミラークランプの設計方法 \(rohm.com\)](http://rohm.com)

ご 注 意

- 1) 本資料に記載されている内容は、ロームグループ(以下「ローム」という)製品のご紹介を目的としています。ローム製品のご使用にあたりましては、別途最新のデータシートもしくは仕様書を必ずご確認ください。
- 2) ローム製品は、一般的な電子機器(AV機器、OA機器、通信機器、家電製品、アミューズメント機器等)もしくはデータシートに明示した用途への使用を意図して設計・製造されています。したがって、極めて高度な信頼性が要求され、その故障や誤動作が人の生命、身体への危険もしくは損害、またはその他の重大な損害の発生に関わるような機器または装置(医療機器、輸送機器、交通機器、航空宇宙機器、原子力制御装置、燃料制御、カーアクセサリーを含む車載機器、各種安全装置等)(以下「特定用途」という)にローム製品のご使用を検討される際は事前にローム営業窓口までご相談くださいますようお願いいたします。ロームの文書による事前の承諾を得ることなく、特定用途にローム製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、ロームは一切その責任を負いません。
- 3) 半導体を含む電子部品は、一定の確率で誤動作や故障が生じる場合があります。万が一、誤動作や故障が生じた場合であっても、人の生命、身体、財産への危険または損害が生じないように、お客様の責任においてフェールセーフ設計など安全対策をお願いいたします。
- 4) 本資料に記載された応用回路例やその定数などの情報は、ローム製品の標準的な動作や使い方を説明するためのもので、実際に使用する機器での動作を明示的にも黙示的にも保証するものではありません。したがって、お客様の機器の設計において、回路やその定数及びこれらに関連する情報を使用する場合には、外部諸条件を考慮し、お客様の判断と責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、ロームは一切その責任を負いません。
- 5) ローム製品及び本資料に記載の技術を輸出または国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続きを行ってください。
- 6) 本資料に記載された応用回路例などの技術情報及び諸データは、あくまでも一例を示すものであり、これらに関する第三者の知的財産権及びその他の権利について権利侵害がないことを保証するものではありません。また、ロームは、本資料に記載された情報について、ロームもしくは第三者が所有または管理している知的財産権その他の権利の実施、使用または利用を、明示的にも黙示的にも、お客様に許諾するものではありません。
- 7) 本資料の全部または一部をロームの文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを固くお断りいたします。
- 8) 本資料に記載の内容は、本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。ローム製品のご購入及びご使用に際しては、事前にローム営業窓口で最新の情報をご確認ください。
- 9) ロームは本資料に記載されている情報に誤りがないことを保証するものではありません。万が一、本資料に記載された情報の誤りによりお客様または第三者に損害が生じた場合においても、ロームは一切その責任を負いません。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどをご用意しておりますので、お問い合わせください。

ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.co.jp/contactus>