パワーデバイス

# スイッチング波形のモニタ方法

スイッチング電源やモータドライブ回路など、パワーデバイス素子によってスイッチングしている箇所を観測する場合、一般的にオシロスコープと電圧プローブを使用します。スイッチング波形は矩形波で、パワー回路の場合は高い電力の高周波を含んでいます。波形の入口であるプローブを適切に使用しないと正しい波形が観測できません。このアプリケーションノートではスイッチング波形を正しくモニタする方法について説明しています。

## スイッチング箇所

例えばスイッチング電源回路を作成し出力電圧が正しい値であっても、スイッチング動作が誤動作していないことや、スイッチング波形が素子の定格電圧を超えていないことを確認する必要があります。スイッチングは矩形波で、高次の高調波成分を含むため、周波数としては数 GHz に達する場合もあります。更にパワー回路では取り扱う電力が大きいため、少しの寄生素子（特にインダクタンス成分）の影響により高い電圧が発生します。

## 電圧プローブによる波形観測

スイッチング箇所のモニタには差動プローブを使用するのが理想ですが、高価なため一般的に 300V 以下の低圧回路ではパッシブ型電圧プローブを使用することが多いです。Figure 1 はスイッチング箇所を電圧プローブでモニタしている写真です。プローブの先端はスイッチング箇所へ接続し、グラウンド側は付属のワニ口グラウンドリードで接続しています。Figure 2 は観測波形です。上側はスイッチング波形で、下側は DC/DC コンバータの出力波形を表示しています。スイッチング信号が急峻に変化する時にリンギングが観測されています。

Figure 1. 電圧プローブによるスイッチング箇所のモニタ、グラウンド側は付属のワニ口グラウンドリードで接続

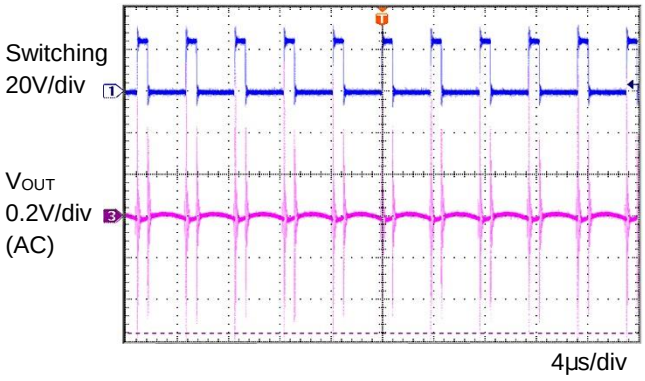



Figure 2. ワニ口グラウンドリードを接続したプローブで観測した波形

このリンギングは、プローブのグラウンドリードがインダクタンスとして付加されるため、プローブの入力容量と直列共振を起こしています。そのため、この方法では正しい波形が観測できていないことになります。

プローブの等価回路例を Figure 3 に示します。また共振式は式(1)により求められます。グラウンドリードの長さが 160mm の場合、インダクタンスは 1mm あたり 1nH だと概算すると 160nH となります。式(1)より共振周波数は約 200MHz になります。

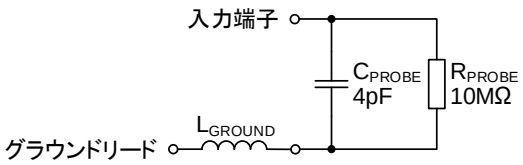



Figure 3. プローブの等価回路の一例

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{GROUND} \times C_{PROBE}}} \quad [Hz] \qquad (1)$$

© 2020 ROHM Co., Ltd.

No. 62AN151J Rev.001
2020.4

共振を防ぎ正しい波形を得るために、グラウンドリードにより付加されるインダクタンスを小さくする必要があります。グラウンドリードの長さを短くしインダクタンスを小さくすると共振周波数が高くなり、測定機器の周波数帯域外へ出すことができます。

短いグラウンドリードの一例を Figure 4、5 に示します。Figure 4 は PCB へ実装するタイプ、Figure 5 は PCB へ接触するタイプです。特にプローブ・チップ・アダプタはグラウンドリードの長さが数 mm でインダクタンスは数 nH に小さくなります。これらのアクセサリは電圧プローブと共に販売されています。

Figure 4 プローブ・チップ・アダプタ
(Tektronix 社製)

Figure 5. グラウンド・スプリング
(Tektronix 社製)

プローブ・チップ・アダプタを使用しスイッチング箇所をモニタした状態を Figure 6 に、その測定結果を Figure 7 に示します。前述のワニログラウンドリードを接続したプローブで観測した波形（Figure 2）と比べると、プローブによるリンギング発生は殆どなく、元波形に忠実な波形が得られています。

以上の手段は回路の動作電圧が低い場合に有効で、高い場合は正確な波形が得られません。この場合は高圧差動プローブや、光アイソレーション型差動プローブを使用してください。

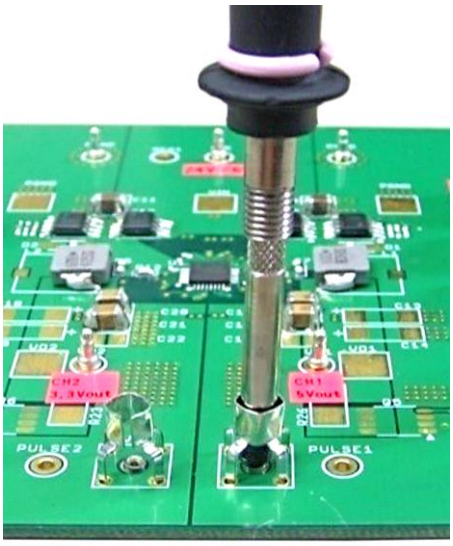



Figure 6. プローブ・チップ・アダプタを使用しスイッチング箇所をモニタした状態

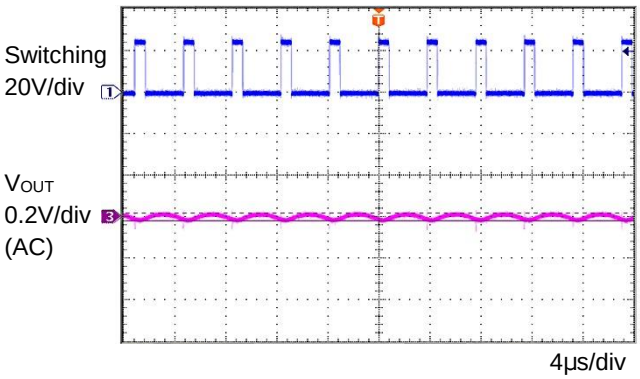



Figure 7. プローブ・チップ・アダプタを使用したプローブで観測した波形

© 2020 ROHM Co., Ltd.

## 簡易プローブ・チップ・アダプタ

前述のようにプローブ・チップ・アダプタの効果は非常に有効ですが、手元にない場合は簡易的な物で代用できる場合があります。次にそれを自作する手順を紹介します。

1. リード線形抵抗や0.5mmスズメッキ線をプローブのグラウンド部分に巻き付け、アダプタのグラウンド支持部分を作成します（Figure 8）。
2. リード線形抵抗や 0.5mm スズメッキ線をピンセットの先端に巻き付け、アダプタのチップ（先端）支持部分を作成します（Figure 9）。
3. Figure 10 は、作成したアダプタと、使用するプローブです。
4. 基板にはんだ付けで実装して使用します（Figure 11）。

Figure 8. アダプタのグラウンド支持部分を作成

Figure 9. アダプタのチップ（先端）支持部分を作成

Figure 10. 作成した簡易プローブ・チップ・アダプタ

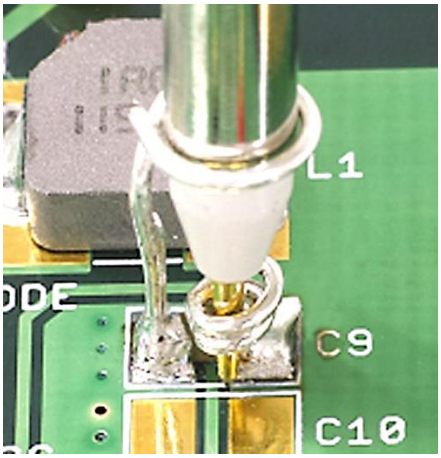



Figure 11. 基板に実装した状態

© 2020 ROHM Co., Ltd.

## シミュレーションでのプローブの影響

シミュレーション結果と実測波形が合わないことがありますが、要因の 1 つに測定系の違いがあります。シミュレーションの測定プローブは理想プローブなので、入力インピーダンスは無限大です。一方で実測ではモニタポイントに測定機器が接続されるため、様々な寄生インピーダンスが付加されます。前述のプローブのグラウンドリードもその 1 つであるため、シミュレーション波形が合わない場合は、シミュレーション回路に測定機器の等価回路を追加して検証することも必要です。

Figure 12 は MOSFET によるスイッチングをシミュレーションするための回路図で Figure 13 はその結果です。結果はリンギングが殆どない波形が観測されています。

次にプローブでモニタした事を想定して、Figure 3 の等価回路を追加しシミュレーションした回路図を Figure 14 に、その結果を Figure 15 に示します。グラウンドリードの長さは 160mm で 160nH のインダクタンスがあると仮定しています。波形には大きなリンギングが発生し、元の波形と大きな差が見られます。

以上は 1 つの例ですが、測定系によって付加される等価回路は観測波形に影響をあたえていることが判ります。

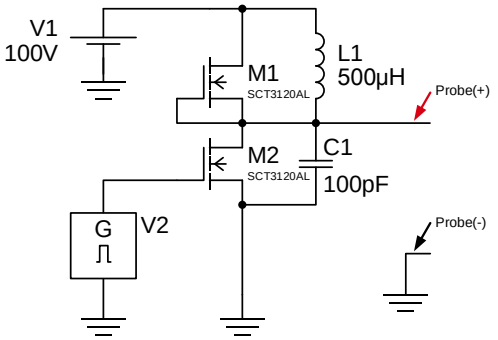



Figure 12. MOSFET によるスイッチングをシミュレーションする回路

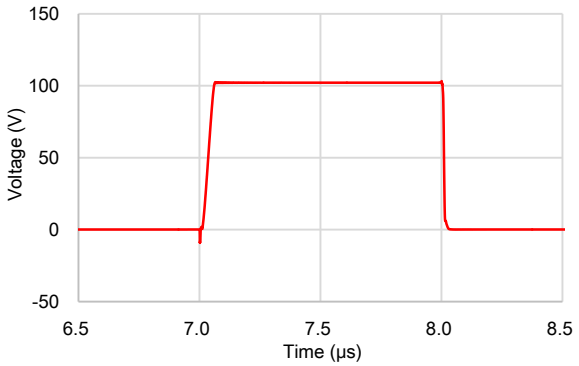



Figure 13. Figure 11 のシミュレーション結果波形

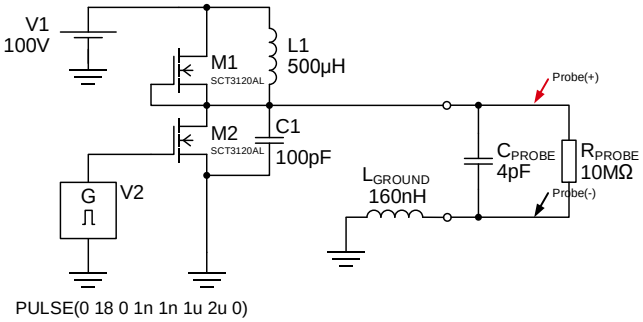
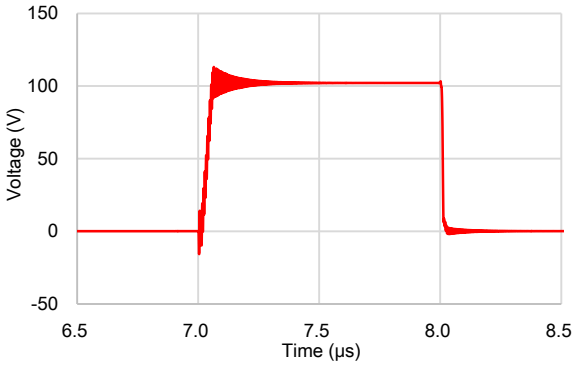



Figure 14. プローブの等価回路を付加したシミュレーション回路




Fifure15. Figure 13 のシミュレーション結果波形

© 2020 ROHM Co., Ltd.

## ご 注 意

1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。

2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。

3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。

4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがいまして、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。

5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。

6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされておりません。

7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム

8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器

9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。

10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したものですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。

11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス･オフィスまでお問合せください。

12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又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を行ってください。

13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。

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ご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

http://www.rohm.co.jp/contact/


© 2016 ROHM Co., Ltd. All rights reserved.