



ROHM Solution Simulator Power Device ユーザーズガイド (インバータ編)

ROHM Solution Simulator

Power Device ユーザーズガイド（インバータ編）

はじめに

本ユーザーズガイドは、「Power Device Solution circuit」のインバータ回路を存分に活用していただくために、各パラメータの基本的な調整方法やノウハウをまとめたものです。インバータ回路を設計する上でボトルネックとなりそうなテーマごとに、具体的な解決方法を紹介しておりますので、「うまく動かない」「もっと条件を最適化したい」時などの参考としてご活用ください。

目次

- 1. インバータ回路一覧 p.1
- 2. trr の影響 p.2
- 3. 損失分析による最適デバイスの選定 p.4
- 4. ハーフブリッジとフルブリッジの特徴 p.7

1. インバータ回路一覧

Table 1.に「Power Device Solution circuit」に予め用意してあるインバータ回路をまとめます。ここでは、一般的な単相ハーフブリッジ、フルブリッジをはじめ、3相、3レベル、およびIHやモータドライブなど、アプリケーション別にリファレンス回路を用意しておりますので、用途に合わせてご活用ください。

分類	管理 No	回路仕様
IH Inverter	B-1	IH Half-Bridge Inverter Po=10kW
	B-2	IH Full-Bridge Inverter Po=20kW
Half-Bridge Inverter	B-3	Half-Bridge Inverter Vo=200V Io=100A
Full-Bridge Inverter	B-4	Full-Bridge Inverter Vo=200V Io=100A
1-Phase 3Wire Inverter	B-5	1-Phase 3-Wire Inverter Vo=100/200V Po=20kW
3-Phase Inverter	B-6	3-Phase 3-Wire Inverter Vo=200V Po=5kW
	B-7	3-Phase 4-Wire Inverter Vo=115/200V Po=20kW
Motor Drive	B-8	Motor Drive 2-Phase-Modulation Po=10kW
	B-9	Motor Drive 3-Phase-Modulation Po=10kW
	B-10	Motor Drive Step-Modulation Po=5kW
3-level Inverter	B-11	3-level Inverter type-T Vo=200V Io=50A
	B-12	3-level Inverter type-I Vo=200V Io=50A

Table 1. Power Device Solution Circuit インバータ回路一覧

2. trrの影響

ここではインバータ回路において重要な特性であるtrrの影響について説明します。

2-1. 回路例

Figure 1.の回路「[B-6. 3-Phase 3-Wire Inverter Vo=200V Po=5kW](#)」を例に説明します。

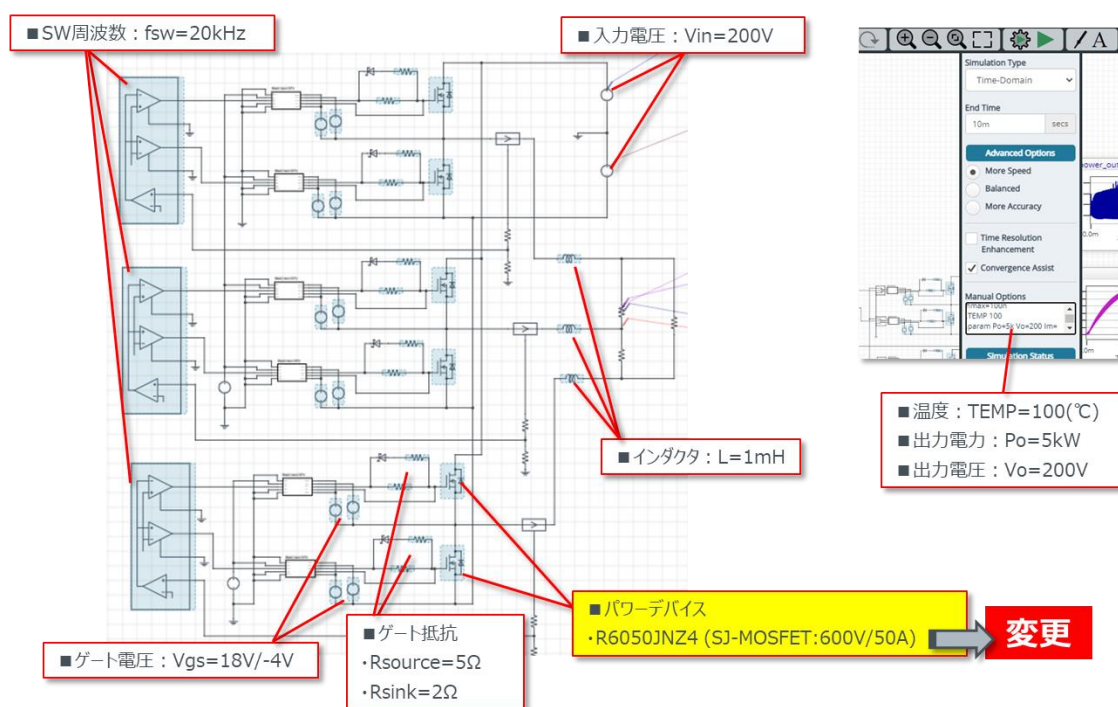


Figure 1. 回路例 B-6. 3-Phase 3-Wire Inverter Vo=200V Po=5kW

2-2. trr特性の重要性

Figure 2.に、本回路におけるスイッチング時の電流経路を示します。

インバータ回路では、供給する電力を調整するため、PWM,PFMなどの制御でHigh side と Low sideのデバイスを交互にON/OFFさせる①～⑤の動作が繰り返されます。この④⇒⑤の動作ではHigh sideがOFF⇒ONするタイミングでLow sideの内部ダイオードにリカバリ電流が流れるため、赤線で示した貫通電流が流れます。

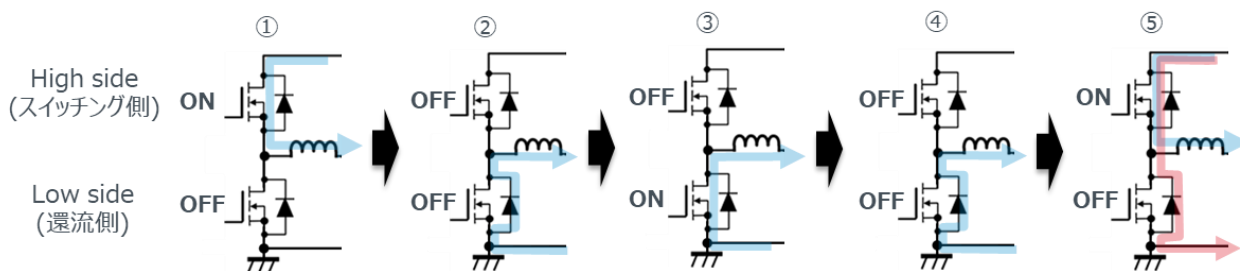


Figure 2. スwitchング時の電流経路

このリカバリ電流については、発生した還流側デバイス自身の損失への影響は小さいですが、Figure 3.のようにスイッチング側デバイスでは、VDS 変化の前に通常のスイッチング電流に上乗せされる形でリカバリ電流が流れるため、非常に大きな Turn ON 損失となります。よって、インバータ回路におけるスイッチングデバイスは、trr 特性の良いものを選定することが重要となります。

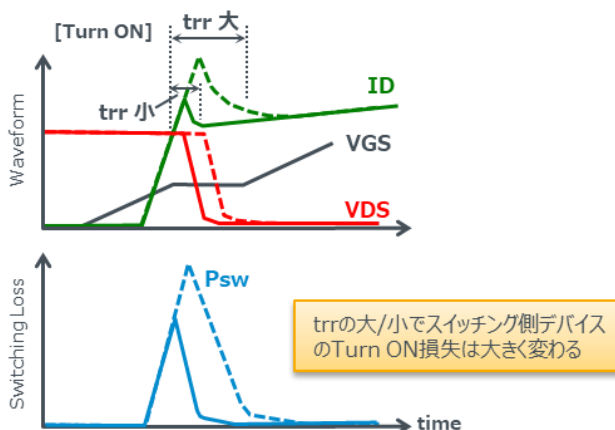


Figure 3. スwitching側デバイスターンオン波形

2-3. trr特性差の比較

Figure 4.に、B-6回路における一般的なダイオード([R6047KNZ4](#))と高速ダイオード([R6050JNZ4](#))を搭載したスイッチ側デバイスのTurn ON波形を示します。前述の通り、trr特性の違いによりTurn ON損失に顕著な差が出ており、高速ダイオードのR6050JNZ4の方が、R6047KNZ4に比べて、Turn ON損失を約1/5に低減することができます。

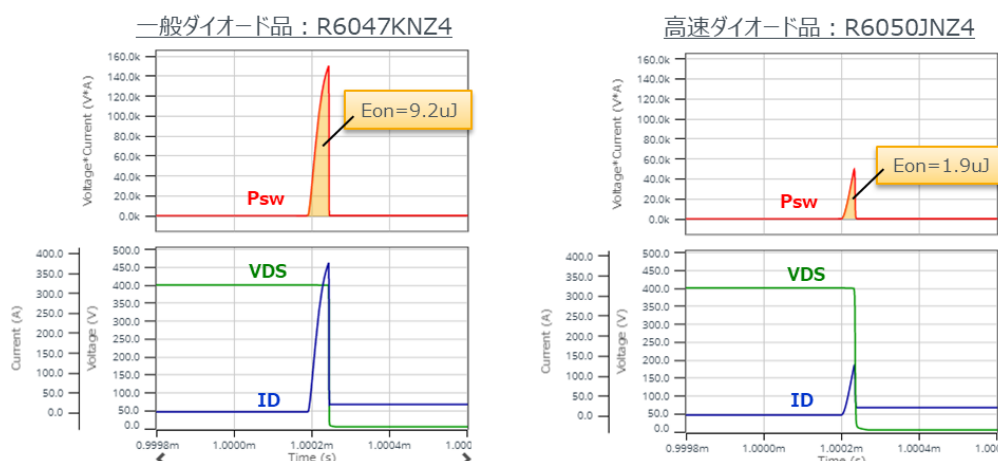


Figure 4. 一般ダイオード品/高速ダイオード品 シミュレーション波形比較

また、インバータ回路動作全体を通して MOSFET の損失を分析すると、Figure 5.に示すように、trr による損失が大きく影響することがわかります。

このことからインバータ回路では高速ダイオードを選定することが重要と言えます。

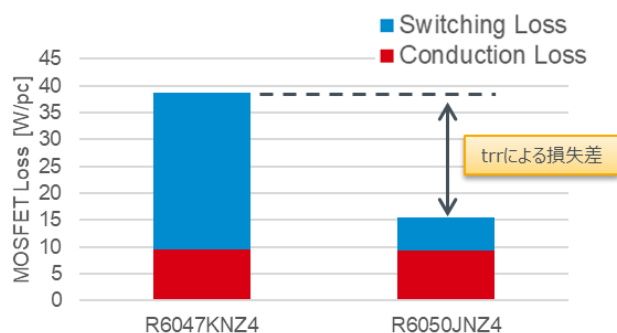


Figure 5. 一般ダイオード品/高速ダイオード品損失分析

3. 損失分析による最適デバイスの選定

ここではデバイスの損失について、スイッチング損失と導通損失に分けて分析することで最適なデバイスを選定する方法を紹介します。

3-1. 回路例

Figure 6.の回路「[B-9. Motor Drive 3-Phase-Modulation Po=10kW](#)」を例に説明します。黄色BOX部の条件をそれぞれ変更し、パワーデバイスを変更して最適なデバイスを検討します。

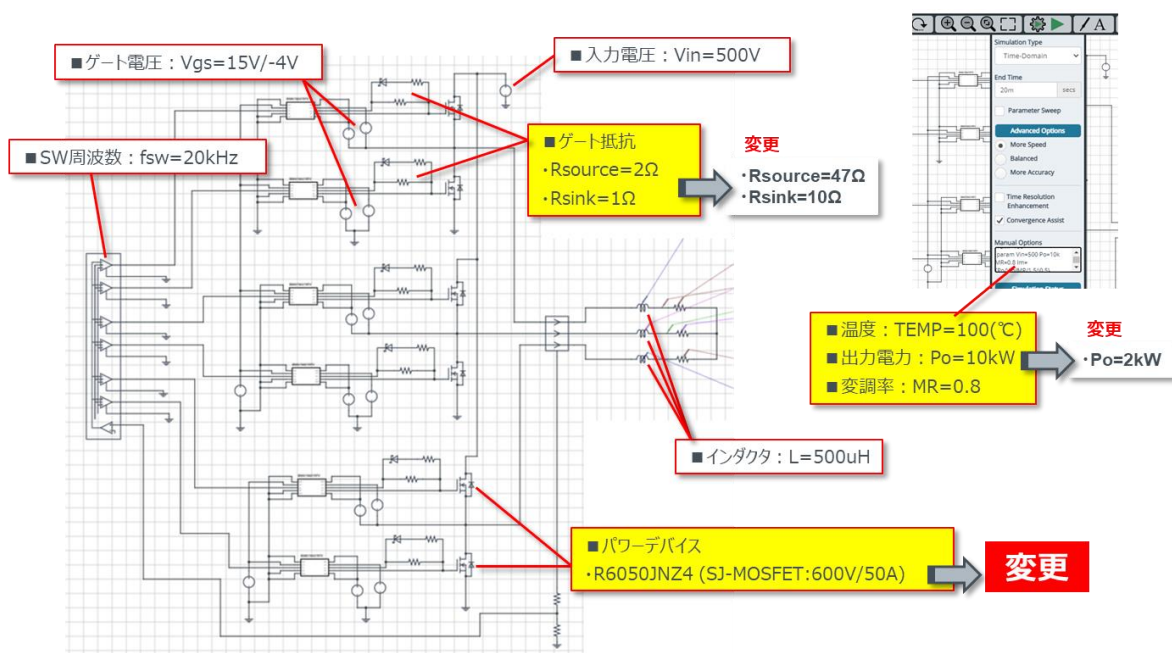


Figure 6. 回路例 B-9. Motor Drive 3-Phase-Modulation Po=10kW

3-2. 損失分析の方法

Figure 7.に、MOSFETのスイッチング時のVDS、ID、損失(Pd)、および損失を時間積分したエネルギー(E)のシミュレーション波形を示します。ROHM Solution Simulatorでは、波形の演算機能“Waveform Analyzer”を使って損失を積分することで、エネルギー波形を容易に出力することができます。このエネルギー波形を見ると、スイッチング区間(Eon,Eoff)、および導通区間(Econd)の消費エネルギーが一目でわかります。また、カーソルの差分を読むことで、数値として出すこともできます。

DCDCコンバータのように入出力が一定の場合は、1周期のエネルギーにスイッチング周波数を掛けることでスイッチング損失と導通損失をそれぞれ算出することができます。

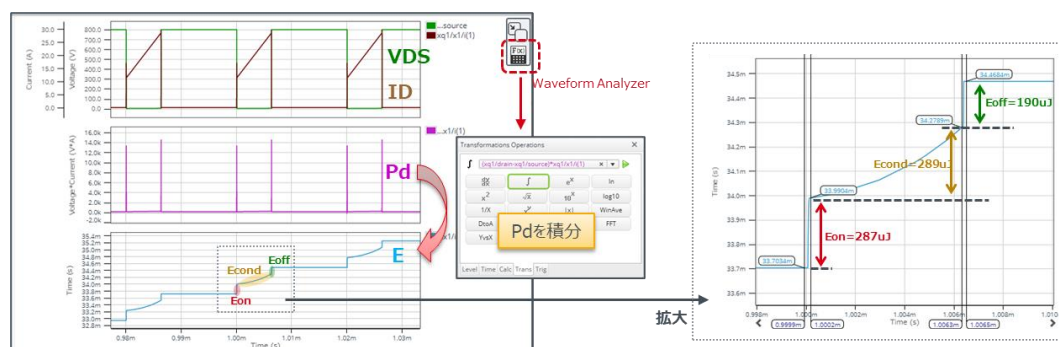


Figure 7. DCDCコンバータ回路のMOSFET 波形

しかしながら、インバータ回路については Figure 8.に示すように負荷が変動するため、一部のスイッチング波形だけを見ても回路動作全体の損失を算出することはできません。

このように、デバイスの損失が一定でない回路動作については、損失波形を場合分けして、任意の部分だけ抜き出すことで、導通損失とスイッチング損失に切り分けて考えることができます。

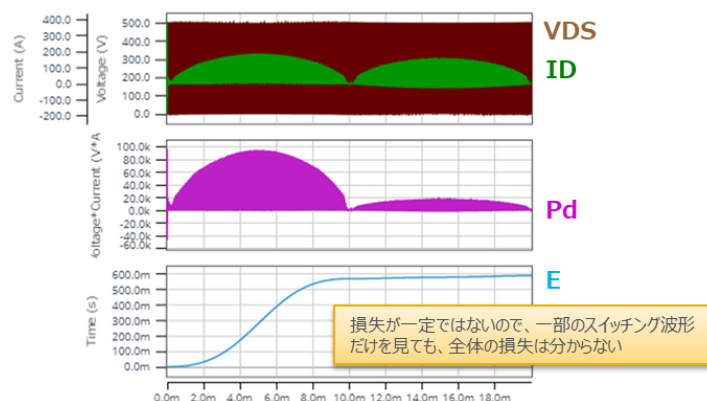


Figure 8. インバータ回路の MOSFET 波形

Figure 9.の黄色線は導通損失を抜き出した波形です。

ここで行った場合分けは、導通損失のみを抜き出すために、「VGS が High」且つ、「電力が導通損失の最大値以下」となる場合の電力を抽出しています。任意の波形が抽出できたら、1 周期の平均値を出して損失の割合を分析します。Figure 9.の場合、トータル損失 29.5W、導通損失 20.5W なので、スイッチング損失は 9.0W。よって、損失の割合は、導通損失 70%、スイッチング損失 30% ということがわかります。

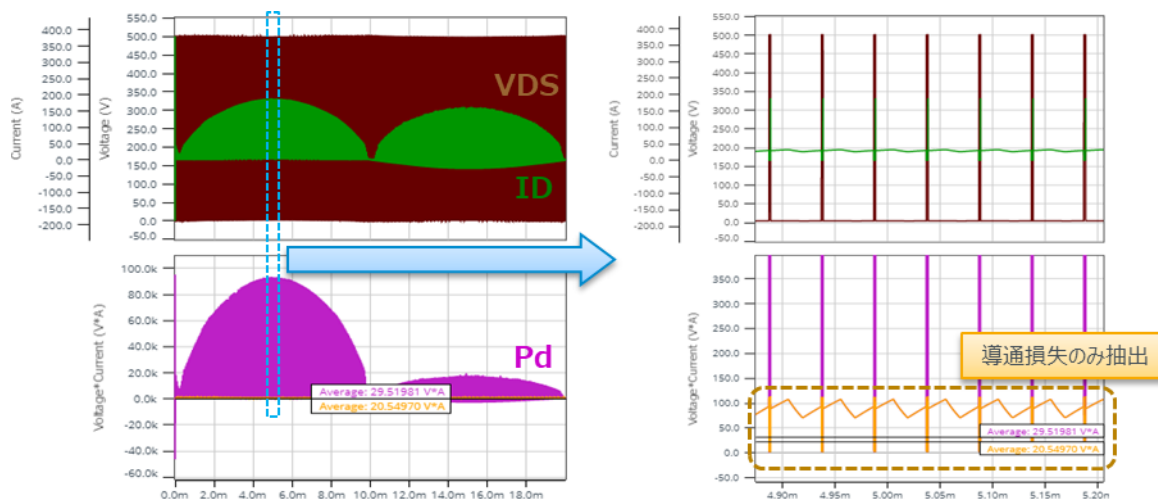


Figure 9. インバータ回路の MOSFET 波形(導通損失抽出)

上記の例では、スイッチング損失と導通損失のみに分けていましたが、場合分けの条件を細かく設定することで、ターンオン損失、ターンオフ損失、リカバリ損失、寄生ダイオード損失等、損失をより細分化することも可能です。

3-3. 最適なデバイスの検討

3-1 の回路「B-9. Motor Drive 3-Phase-Modulation Po=10kW」において、パワーデバイスを変化したときの、各デバイスの損失分析結果を Figure 10. に示します。

R60**JNZ4 の『**』は電流定格を表しており、電流定格が上がるほど導通損失が下がり、逆に電流定格が下がるほどスイッチング損失が下がるという傾向を確認することができます。今回の回路条件で低損失なデバイスを選定する場合、[R6030JNZ4](#) が最適なデバイスといえます。

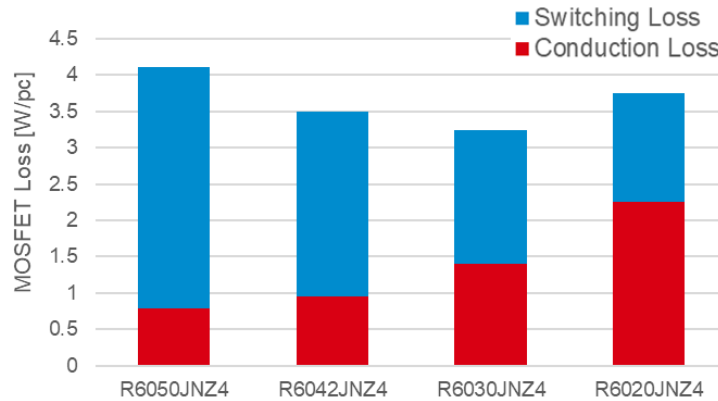


Figure 10. MOSFET 損失分析結果

4. ハーフブリッジとフルブリッジの特徴

ここではハーフブリッジインバータ回路とフルブリッジインバータ回路、それぞれの特徴について説明します。

4-1. 回路例

Figure 11.の回路「[B-3. Half-Bridge Inverter Vo=200V Io=100A](#)」と、
Figure 12.の回路「[B-4. Full-Bridge Inverter Vo=200V Io=100A](#)」を例に説明します。

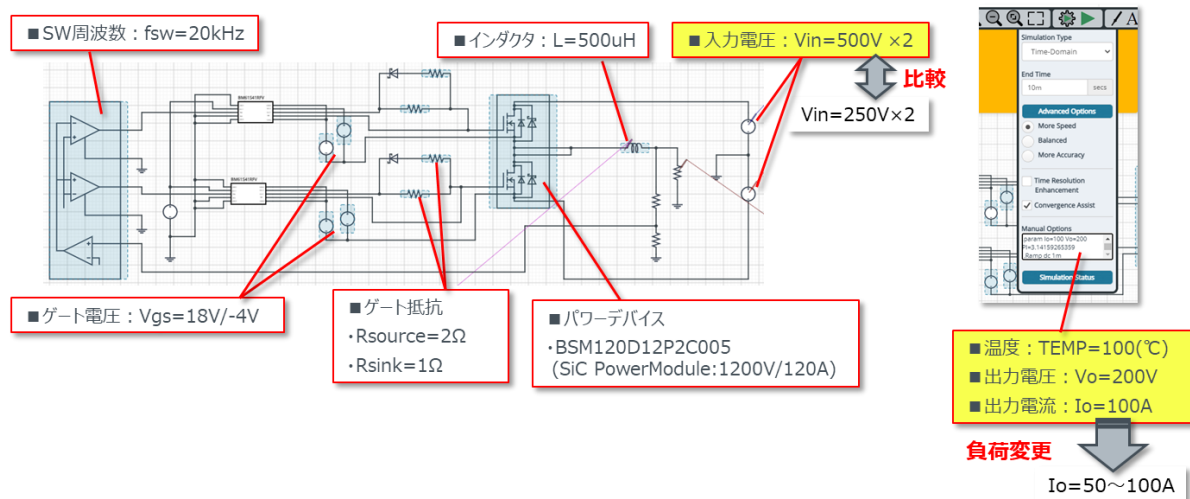


Figure 11. 回路例 B-3. Half-Bridge Inverter $V_o=200\text{V}$ $I_o=100\text{A}$

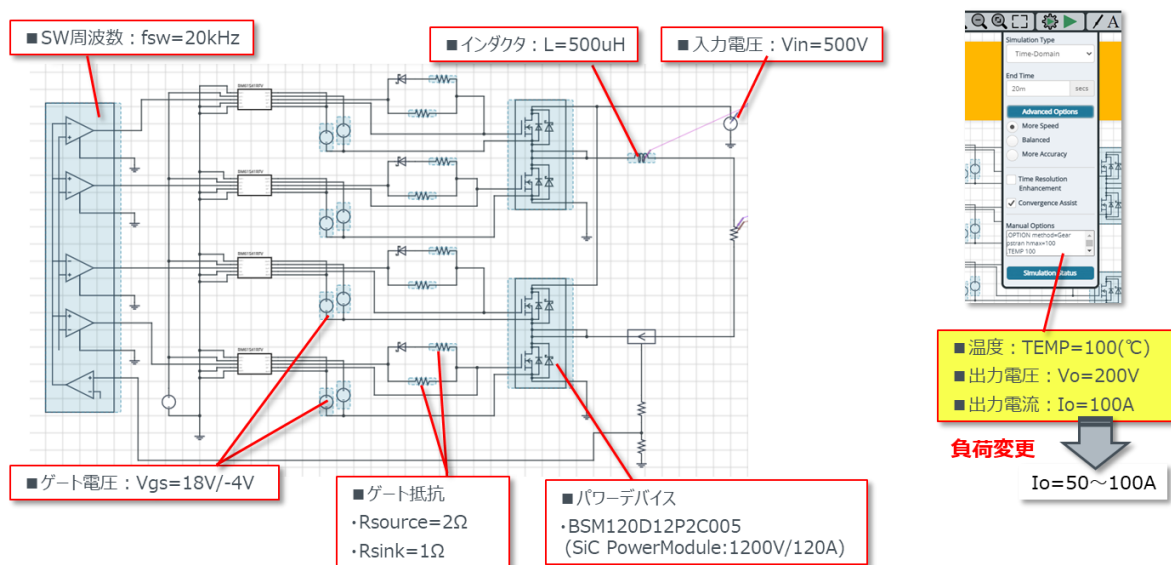


Figure 12. 回路例 B-4. Full-Bridge Inverter $V_o=200\text{V}$ $I_o=100\text{A}$

4-2. ハーフブリッジとフルブリッジの特徴

Table 2.に、ハーフブリッジインバータ回路とフルブリッジインバータ回路の特徴を示します。

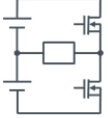
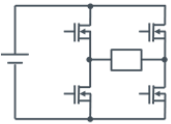
	メリット	デメリット
Half Bridge 	<ul style="list-style-type: none"> ・スイッチデバイスが2つで構成出来る ・電流経路のスイッチが1つなので大電流用途に有利 	<ul style="list-style-type: none"> ・直流電圧源が2つ必要 ・スイッチデバイスには2電源分の電圧がかかるため高耐圧が必要 ・直流電圧源1つ分の電圧までしか出力できない
Full Bridge 	<ul style="list-style-type: none"> ・直流電圧源1つで構成できる ・スイッチにかかる電圧は1電源分 	<ul style="list-style-type: none"> ・スイッチデバイスは4つ必要 ・電流経路にスイッチが2つ入るためスイッチの導通損失が大きい

Table 2. ハーフブリッジとフルブリッジの特徴

条件にもよりますが、回路の特徴を考えると、ハーフブリッジは低電圧/大電流用途、フルブリッジは高電圧/大電力用途に適しているといえます。

4-3. ハーフブリッジとフルブリッジの動作比較

Figure 13.に、4-1の回路におけるイニシャル状態($V_{in}=500V$)でのモジュールの損失を比較した結果を示します。

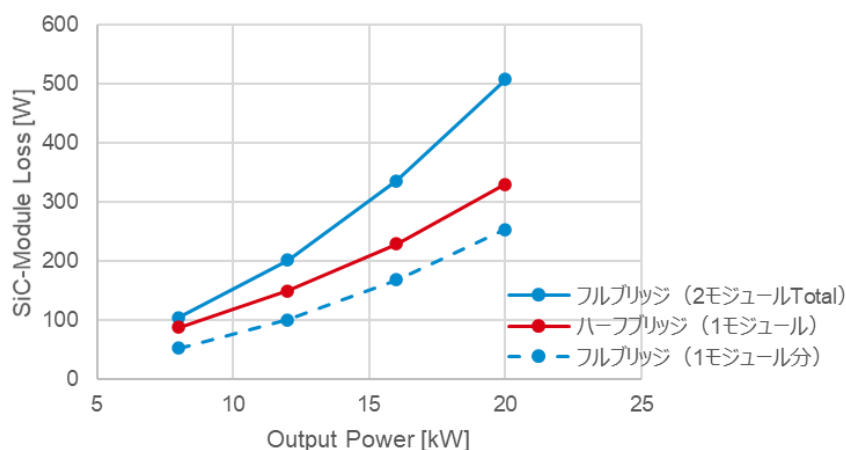


Figure 13. ハーフブリッジ回路,フルブリッジ回路のモジュール損失比較

損失を比較すると、ハーフブリッジはスイッチデバイスに2電源分の電圧がかかるためスイッチング損失が大きく、1モジュール当たりの損失はフルブリッジよりも高くなっています。一方、トータル損失で見ると、それ以上に2モジュール分の導通損失の方が大きいためフルブリッジの方が損失は高くなっています。

次に、ハーフブリッジの $V_{in}=500V$ が、1電源しかない場合を想定し、 $V_{in}=250V \times 2$ に分割するとどうなるか見てみます。

Figure 14.は、 $V_{in}=500V \times 2$ と $V_{in}=250V \times 2$ の出力波形を示しています。これを見ると、 $V_{in}=250V \times 2$ の方は、 V_o が250Vで頭打ちになっていることがわかります。これは前述しましたハーフブリッジのデメリットである1電源分の電圧までしか出力できないことが原因です。出力電圧の設定 $V_o=200V$ は実効値であり、ピーク電圧としては282Vとなるので、 $V_{in}=250V \times 2$ では電圧が不足しています。

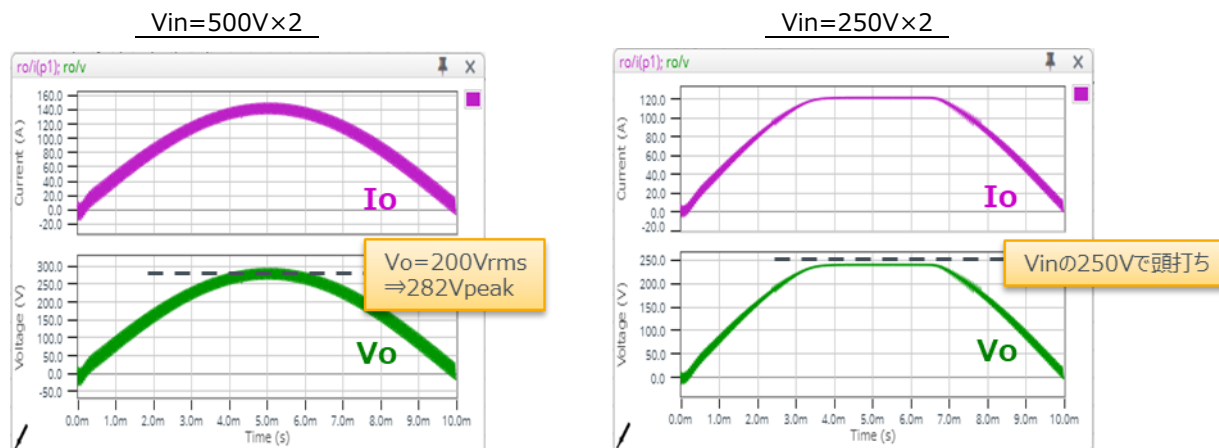


Figure 14. ハーフブリッジ出力波形

このようにハーフブリッジとフルブリッジには、それぞれメリット、デメリットがあり、どちらが良いかは一概には言えません。それぞれの特徴を理解し、用途に応じて適切に使い分けことが重要です。

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。
したがって、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いません。
- 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。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

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