

スイッチングレギュレータ IC シリーズ

電力損失の求め方(同期整流タイプ)

No.AEK59-D1-0057-2

このアプリケーションノートは、半導体デバイス温度を算出する際に必要となる電力損失の求め方について説明しています。温度管理は製品の信頼性を確保するために重要です。

Figure 1 は同期整流タイプ DC/DC コンバータの回路図です。Figure 2 はスイッチングノードの電圧波形とインダクタ電流波形で、損失が発生する部分を表しています。

IC の電力損失は主に以下に示す 5 つの要因があります。

1. MOSFET のオン抵抗による伝導損失 P_{ON-L}, P_{ON-H}
2. MOSFET のスイッチング損失 P_{SW-H}
3. デッドタイム損失 P_D
4. MOSFET のゲート電荷損失 P_G
5. IC の制御回路による動作損失 P_{IC}

伝導損失

伝導損失は Figure 2 波形の A 区間と B 区間で計算されます。A 区間はハイサイド MOSFET がオン、ローサイド MOSFET がオフになり、出力電流とオン抵抗およびオンデューティサイクルから算出できます。B 区間はハイサイド MOSFET がオフ、ローサイド MOSFET がオンになり、出力電流とオン抵抗およびオフデューティサイクルから算出できます。

伝導損失 P_{ON-H} と P_{ON-L} は次式で求められます。

ハイサイド MOSFET

$$P_{ON-H} = I_O^2 \times R_{ON-H} \times \frac{V_O}{V_{IN}} \quad [W] \quad (1)$$

ローサイド MOSFET

$$P_{ON-L} = I_O^2 \times R_{ON-L} \times \left(1 - \frac{V_O}{V_{IN}}\right) \quad [W] \quad (2)$$

I_O : 出力電流 [A]

R_{ON-H} : ハイサイド MOSFET オン抵抗 [Ω]

R_{ON-L} : ローサイド MOSFET オン抵抗 [Ω]

V_{IN} : 入力電圧 [V]

V_O : 出力電圧 [V]

スイッチング損失

スイッチング損失は Figure 2 波形の C 区間と D 区間で計算されます。ハイサイド、ローサイド MOSFET が交互にオンオフする時、オン切り替えの遷移中に損失が発生します。2 つの三角形の面積を求める式が、立ち上がり、立ち下がり遷移中の電力損失の計算式に似ているため、この計算は単純な図形計算で近似できます。

スイッチング損失 P_{SW-H} は次式で求められます。

ハイサイド MOSFET

$$P_{SW-H} = \frac{1}{2} \times V_{IN} \times I_O \times (t_r + t_f) \times f_{SW} \quad [W] \quad (3)$$

V_{IN} : 入力電圧 [V]

I_O : 出力電流 [A]

t_r : ハイサイド MOSFET 立ち上がり時間 [sec]

t_f : ハイサイド MOSFET 立ち下がり時間 [sec]

f_{SW} : スwitchング周波数 [Hz]

ローサイド MOSFET は、ボディダイオードが通電している間のゲート電圧でターンオンし、次にゲート電圧で FET をターンオフすると、負荷電流はボディダイオードを通して同じ方向に流れ続けるため、ドレイン電圧は低電圧にとどまります。そのためスイッチング損失 P_{SWL} はごく僅かです。

デッドタイム損失

ハイサイドとローサイド MOSFET が同時にオンすると、VIN-GND 間が短絡し非常に大きな電流スパイクが発生します。これを防止するため両 MOSFET をオフにするデッドタイムを設けますが、インダクタ電流は連続して流れます。デッドタイム中はこのインダクタ電流はローサイド MOSFET のボディダイオードへ流れます。デッドタイム損失 P_D は Figure 2 波形の E 区間と F 区間で計算され、次式で求められます。

$$P_D = V_D \times I_O \times (t_{Dr} + t_{Df}) \times f_{SW} \quad [W] \quad (4)$$

V_D : ローサイド MOSFET の

ボディダイオード順方向電圧 [V]

I_O : 出力電流 [A]

t_{Dr} : 立ち上がり時デッドタイム [sec]

t_{Df} : 立ち下がり時デッドタイム [sec]

f_{SW} : スwitchング周波数 [Hz]

ゲート電荷損失

ゲート電荷損失は MOSFET のゲートの充電に起因する電力損失です。ハイサイドおよびローサイド MOSFET のゲート電荷量（またはゲート容量）に依存し、ゲート電荷損失は次式で求められます。

$$P_G = (Q_{g-H} + Q_{g-L}) \times V_{gs} \times f_{sw} \quad [W] \quad (5)$$

または

$$P_G = (C_{g-H} + C_{g-L}) \times V_{gs}^2 \times f_{sw} \quad [W] \quad (6)$$

Q_{g-H} : ハイサイド MOSFET のゲート電荷量 [C]

Q_{g-L} : ローサイド MOSFET のゲート電荷量 [C]

C_{g-H} : ハイサイド MOSFET のゲート容量 [F]

C_{g-L} : ローサイド MOSFET のゲート容量 [F]

V_{gs} : ゲート駆動電圧 [V]

f_{sw} : スイッチング周波数 [Hz]

IC の動作損失

IC の制御回路による消費電力 P_{IC} は次式で求められます。

$$P_{IC} = V_{IN} \times I_{CC} \quad [W] \quad (7)$$

V_{IN} : 入力電圧 [V]

I_{CC} : IC の消費電流 [A]

全電力損失

IC の電力損失 P は、これら全てを足した値になります。

$$P = P_{ON-H} + P_{ON-L} + P_{SW-H} + P_D + P_G + P_{IC} \quad [W] \quad (8)$$

P_{ON-H} : 伝導損失(ハイサイド) [W]

P_{ON-L} : 伝導損失(ローサイド) [W]

P_{SW-H} : スイッチング損失(ハイサイド) [W]

P_D : デッドタイム損失 [W]

P_G : ゲート電荷損失 [W]

P_{IC} : IC の動作損失 [W]

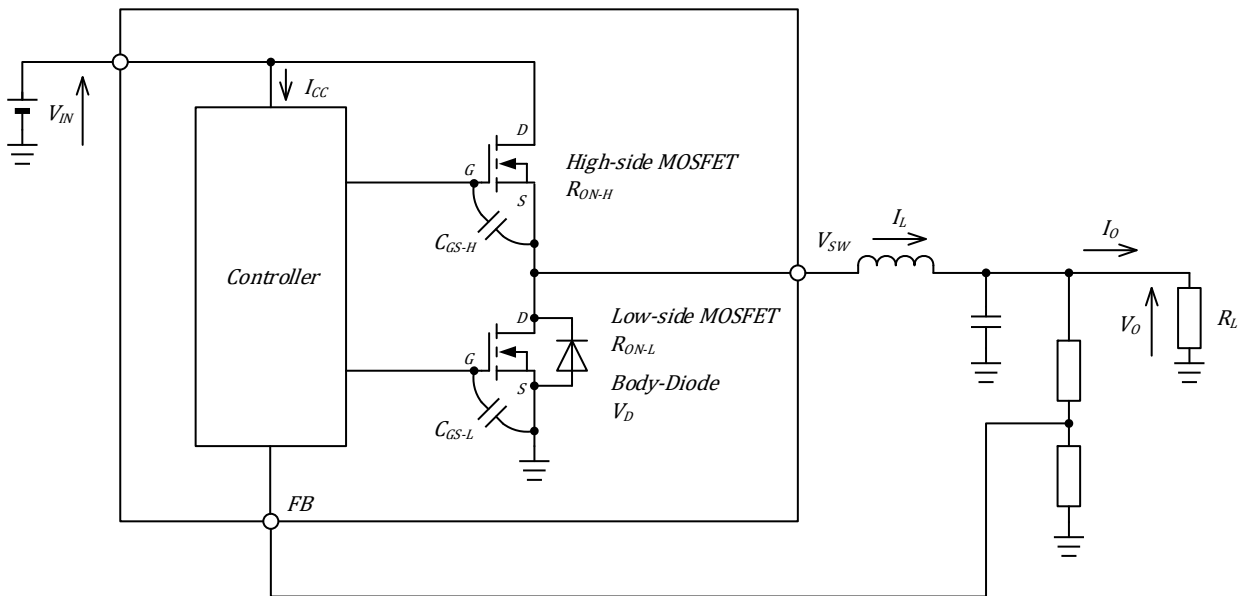


Figure 1. 同期整流タイプ DC/DC コンバータ回路図

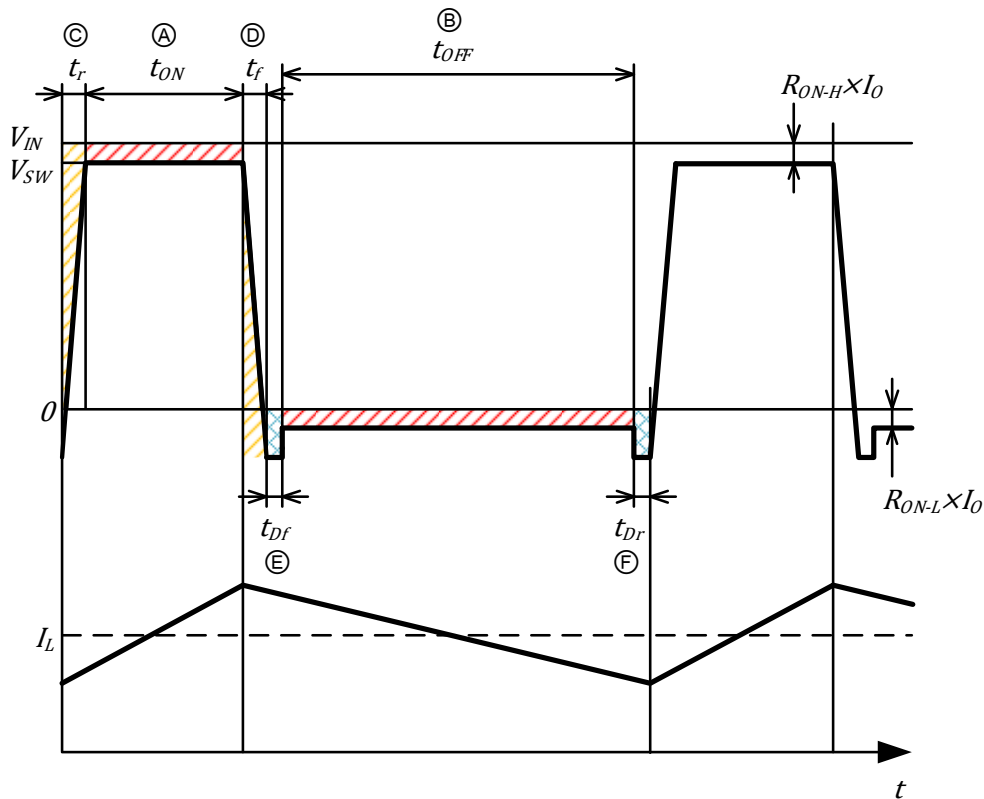


Figure 2. スイッチング波形と損失

計算例

計算式	パラメータ	結果
1. 伝導損失 $P_{ON-H} = I_O^2 \times R_{ON-H} \times \frac{V_O}{V_{IN}}$ $P_{ON-L} = I_O^2 \times R_{ON-L} \times \left(1 - \frac{V_O}{V_{IN}}\right)$	V_{IN} : 入力電圧 12 V V_O : 出力電圧 5.0 V I_O : 出力電流 3.0 A R_{ON-H} : ハイサイド MOSFET オン抵抗 100 m Ω R_{ON-L} : ローサイド MOSFET オン抵抗 70 m Ω	375 mW 367.5 mW
2. スイッチング損失 $P_{SW-H} = \frac{1}{2} \times V_{IN} \times I_O \times (t_r + t_f) \times f_{SW}$	f_{SW} : スイッチング周波数 2.0 MHz t_r : ハイサイド MOSFET 立ち上がり時間 4 nsec t_f : ハイサイド MOSFET 立ち下がり時間 6 nsec	360 mW
3. デッドタイム損失 $P_D = V_D \times I_O \times (t_{Dr} + t_{Df}) \times f_{SW} \quad [W]$	V_D : ローサイド MOSFET のボディダイオード順方向電圧 0.5 V t_{Dr} : 立ち上がり時デッドタイム 30 nsec t_{Df} : 立ち下がり時デッドタイム 30 nsec	180 mW
4. ゲート電荷損失 $P_G = (Q_{g-H} + Q_{g-L}) \times V_{gs} \times f_{SW}$ $P_G = (C_{g-H} + C_{g-L}) \times V_{gs}^2 \times f_{SW}$	Q_{g-H} : ハイサイド MOSFET のゲート電荷量 1 nC Q_{g-L} : ローサイド MOSFET のゲート電荷量 1 nC C_{g-H} : ハイサイド MOSFET のゲート容量 200 pF C_{g-L} : ローサイド MOSFET のゲート容量 200 pF V_{gs} : ゲート駆動電圧 5.0V	20 mW
5. IC の動作損失 $P_{IC} = V_{IN} \times I_{CC}$	C_{g-L} : ローサイド MOSFET のゲート容量 200 pF I_{CC} : IC の消費電流 1.0 mA	12 mW
全電力損失 $P = P_{ON-H} + P_{ON-L} + P_{SW-H} + P_D + P_G + P_{IC}$		1.31 W

MOSFET のゲート容量やボディダイオードの順方向電圧など、IC の内部パラメータは一般に公開されていない場合が多いです。その場合は計算例に記載されている値を使用すると、おおよその見当をつけることができます。

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など）および本資料に明示した用途への使用を意図しています。
- 7) 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られません。
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 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でご使用ください。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。
- 13) 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。
- 14) 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/>