

はじめに

MYC0409-NA は 48V 入力対応の DC-DC コンバータである。回路方式はチャージポンプを採用しており、低背かつ、高効率のモジュールを実現している。入力電圧 (V_{IN}) 変換比率は 4 分割の固定であり、20V-60V の入力電圧範囲で出力電圧 (V_{OUT}) $=V_{IN}/4$ の電圧を最大で 6A 出力することが可能である。また、MYC0409-NA では並列動作が可能であり、2 つ以上の MYC0409-NA を並列に接続することで出力電流を 6A 以上に対応することが可能である。

一般的に DC-DC コンバータは負荷電流に応じて、適切な定格電流のコンバータを選定する必要がある。そのため負荷に応じて複数の種類のコンバータを採用する必要がある。一方、並列動作対応の DC-DC コンバータは並列台数を増やすことで 1 種類の DC-DC コンバータで小電力から比較的大電流のシステムへの適応が可能となる。また、各モジュールに電流を分散させることで局所的な発熱を防ぐことが可能であること、大形のインダクタを必要とせず、低背の電源システムの実現が可能といったメリットである。

DC-DC コンバータを並列動作する場合の重要な設計事項として、各コンバータ間の電流シェア（電流バランス）がある。複数台の DC-DC コンバータが並列接続された状態で 1 つの電源に電流が集中した場合、その電源に過度なストレスがかかり故障や寿命低下の原因となる。

そのため、並列動作可能な DC-DC コンバータには各電源で電流をシェアする機能が搭載されている。電流シェアをする方法はいくつかあるが、本稿ではチャージポンプのドループ特性を利用して電流シェアする方法及び、その時の電力ディレーティングの計算方法、また弊社評価基板における電流シェアの評価結果を紹介する。

ドループ制御

MYC0409-NA はチャージポンプを適応したオープンループ制御の電源であり負荷電流の増加に伴い、出力電圧が低下するドループ特性を持つ。また、電圧変換比率は一定であるため、図1のような理想電圧変換器と出力等価抵抗 (R_{OUT}) の簡易モデルで示すことが可能である。定倍率の電圧変換及び、負荷電流に対する電圧低下を R_{OUT} によって表現している。図1より、チャージポンプの出力電圧は下記の式で表すことが可能である。

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{\text{巻き数比(DIV } N)} - R_{OUT} * I_{out}$$

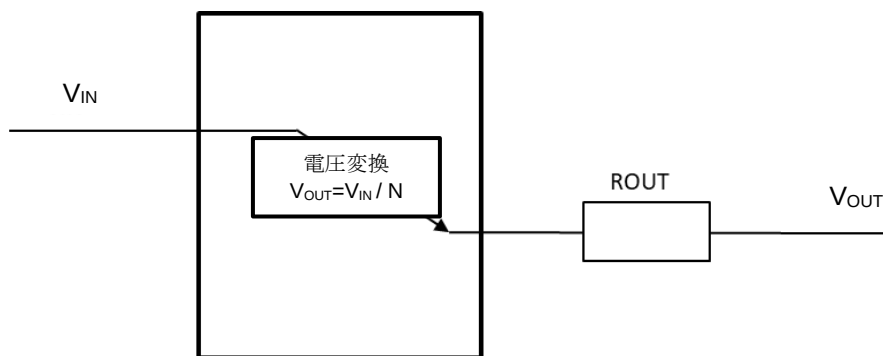


図1 チャージポンプの簡易モデル

このドループ特性を使用することで、複雑な電流シェア回路や追加の外付け回路を用いることなく、各モジュール間で電流シェアを行うことが可能である。

図2にドループ特性による電流シェアの概略図を示す。図2では電源モジュールを2個並列に接続した場合の出力電圧と出力電流 (I_{OUT}) の関係性を示している。前述の式で示した R_{OUT} や各モジュールの配線レイアウトによって、図2のModule1及びModule2の傾きが変化する。この傾きによって各モジュール間に流れる電流が決定される。両モジュールの R_{OUT} 及び配線インピーダンス、モジュール温度が完全に一致している場合、各モジュールには出力電流の半分 ($I_{OUT}/2$) の電流が流れる。一方でドループの傾きに差がある場合は、図2のようにModule1では I_{OUT1} の電流、Module2では I_{OUT2} の電流が流れて、 $I_{OUT1} > I_{OUT}/2 > I_{OUT2}$ の状態となる。しかしながら、Module1にはModule2と比較して大きな電流が流れるため、損失が増加して発熱が起こる。モジュールの温度が上がることで R_{OUT} が増加するため、Module1の電流が減少する。そのため、Module1とModule2の電流は自動的に差が小さくするように電流バランスを行う。

図2では無負荷時の各モジュールの出力電圧を同様と仮定した。一方で無負荷時の出力電圧に差がある場合、モジュール間で電流の循環が発生する。これはModule1に正の方向に電流が流れて、Module2では負の方向に電流（逆流）が流れて出力電圧が安定状態となる。この時、電流が循環することで不要な電流が流れるため、無負荷時の損失が増大する。

MYC0409-NAではチャージポンプを採用しており、無負荷時の出力電圧は前述の通り R_{OUT} に依存しないため、トリミングによる調整や補正をすることなく概ね同様の出力電圧となる。

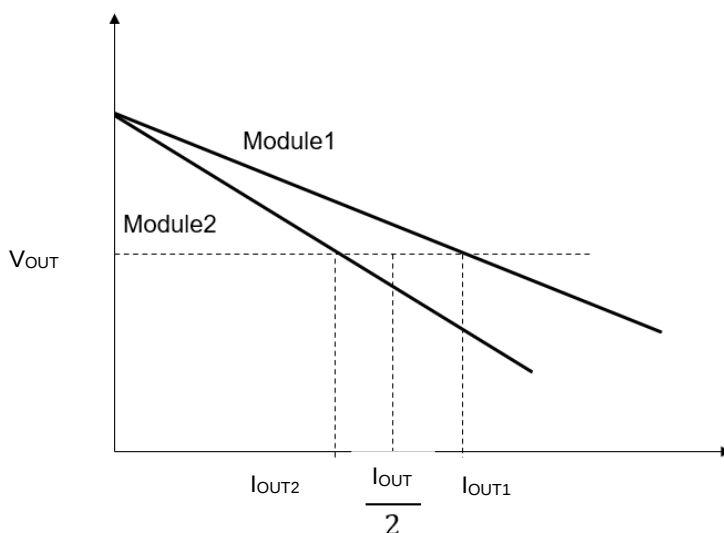


図2 ドループ特性による電流シェア

並列動作時の電力ディレーティング

並列動作時の最大出力電流はシングル動作時の定格電流×並列台数ではなく、電力ディレーティングが発生する。その理由は各モジュールの出力電流が均等に電流シェアできないためである。

無負荷時の出力電圧は前述の通り $V_{OUT}=V_{IN}/4$ であるため概ね同様の値になるが、モジュール内部の部品のばらつきや、モジュールを接続する配線のばらつきによって、各モジュールのドループの傾きが異なる。また、モジュール温度によってもドループの傾きが変化するため、搭載環境や放熱構造、入出力の配線抵抗を考慮して電力ディレーティングを決定する必要がある。

図3にMYC0409-NAを搭載したシステムの抵抗成分の等価回路図を示す。図3は4台のモジュールを並列接続した図でありROUT*は各モジュールのROUTである。

MYC0409-NAのROUTの測定点を図4に示す。図4より測定時の入力および出力電圧は赤枠部で検出を行っており、出力電流はモジュール外部で測定を行いROUTの算出を行っている。

Rip*及びRop*は、電源及び負荷から図4に示すモジュール測定点までの配線パターン抵抗成分である。後述の本稿で使用した評価基板ではモジュールのROUTと比較してRip*及びRop*が十分低いため、この値を無視することが可能である。しかしながら、分散電源システムへの適応によって配線が長くなる条件や基板の銅箔厚み、層構成によっては、Rip*及びRop*が電流シェアに影響を与える。この場合は、これらのパラメータを考慮して計算することが必要である。

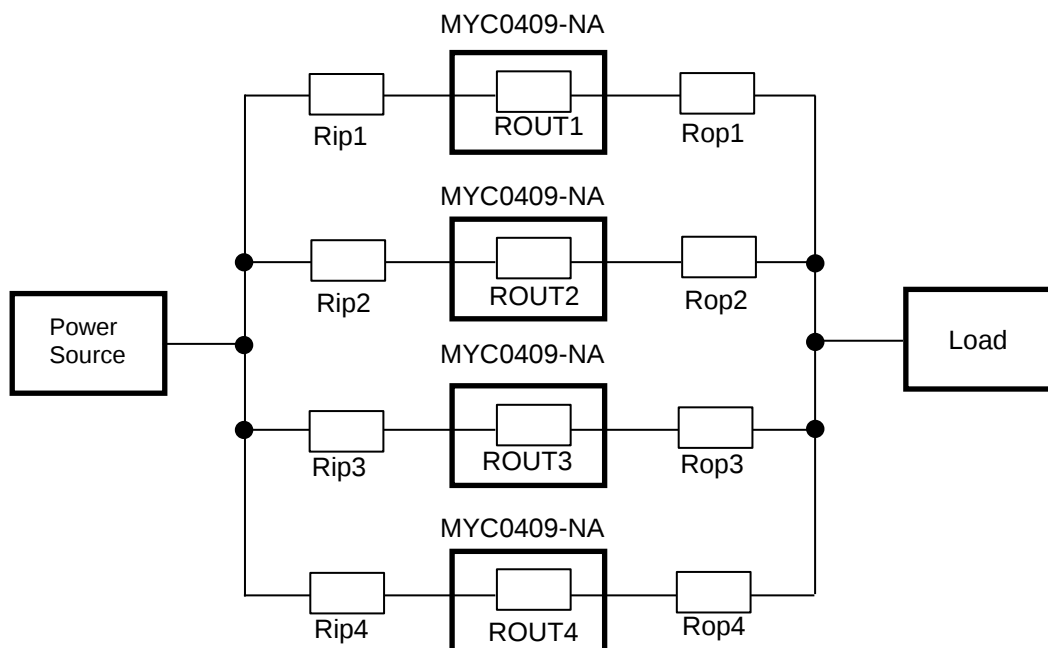


図3 MYC0409-NAを並列接続したシステムにおける抵抗成分の等価回路図

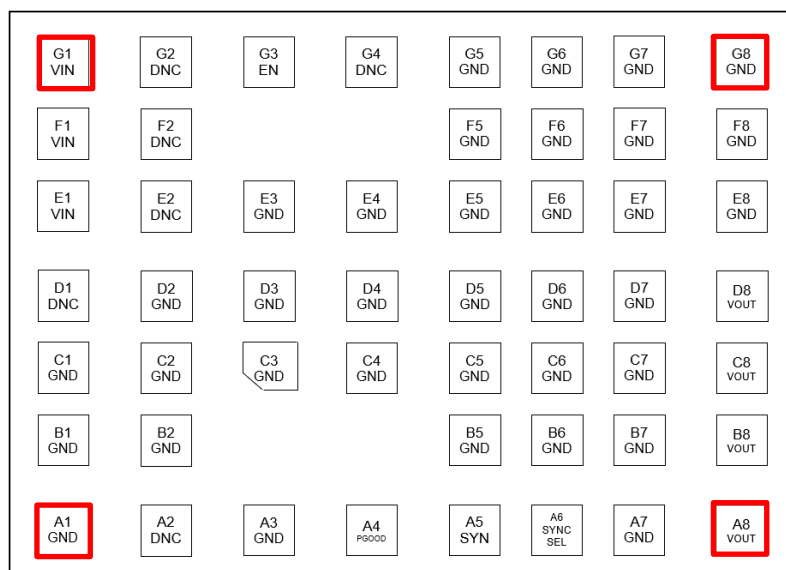


図4 ROUTの測定点

温度係数

前述の通り、ROUTはモジュール温度の影響を受ける。温度によるROUTへの影響を確認するためにMYC0409-NAのROUTの温度特性を測定した。ROUTはモジュール温度にほぼ比例した温度係数を有しており、入力電圧毎にその係数が異なる。ROUTを構成する要素として半導体や配線の寄生抵抗、セラミックコンデンサのバイアス特性等といった複数の要因である。そのため、温度や印加する電圧によって損失に与える影響が異なる。

実測値より求めた温度係数を表1に示す。

表1 MYC0409-NAの温度係数

V _{IN} (V)	温度係数
20	0.151
24	0.149
36	0.141
48	0.120
54	0.105
60	0.089

計算式

並列動作時において、ROUTと配線抵抗の合計値が最も低いモジュールに最も大電流が流れる。最も高い電流が流れるモジュールの電流値をシングル動作時の定格電流6Aとして、トータルの出力電流(I_{OUT_4para})を算出する。

ROUT1と配線抵抗の合計が最も低い条件と仮定した場合の最大出力電流の計算式は下記となる。この計算式によって、並列動作時の出力電流のディレーティングが決定される。これらはあくまでも計算式であり、定格電流6Aを超えずに使用すること。

$$I_{out_4para} := \left(1 + \frac{TR_{out1}}{TR_{out2}} + \frac{TR_{out1}}{TR_{out3}} + \frac{TR_{out1}}{TR_{out4}} \right) \cdot 6$$

ROUT* : 各モジュールのROUT (T_A=25degC)
R* : 配線パターンの抵抗値
K : 温度係数
T* : 各モジュールの温度

$$TRout1 := \frac{Rip1}{4} + Rout1 + K \cdot (T1 - 25) + Rop1$$

$$TRout2 := \frac{Rip2}{4} + Rout2 + K \cdot (T2 - 25) + Rop2$$

$$TRout3 := \frac{Rip3}{4} + Rout3 + K \cdot (T3 - 25) + Rop3$$

$$TRout4 := \frac{Rip4}{4} + Rout4 + K \cdot (T4 - 25) + Rop4$$

並列動作台数が2台の場合も同様に下式となる。

$$Iout_2para = \left(1 + \frac{TRout1}{TRout2} \right) \times 6$$

評価結果

電流シェアの評価に使用した評価ボードを図5に示す。今回は評価ボードに4台のMYC0409-NAを搭載した際の電流シェアの測定を実施した。電流検出方法は各モジュールの出力に電流検出抵抗を搭載して、その抵抗に流れる電流を測定した。図6に回路図を示す。

図7に各入力電圧に対する電流シェアを示し、図8に各入力電圧に対する均等に電流シェアされた状態 ($I_{OUT}/4$) との電流の差異を示す。本結果より、負荷電流 $I_{OUT}=1A$ 以上の領域で $\pm 3\%$ 以下という良好な電流シェアが実現できている。軽負荷時は電流値が低く温度補正がかかりにくいため、各モジュール間の電流値に差が出やすい傾向にあるが、ばらつきの影響の1つとして測定環境がある。電流増幅のオペアンプのオフセットや測定機器の硬度等、軽負荷時の測定精度を向上する測定方法に関しては今後の課題である。

図9に温度特性を示す。本評価の温度は $T_A=25\text{degC}$ 、自然空冷の条件で評価を実施した。今回の測定ではヒートシンクによる放熱を行っていないため、熱が逃げにくい中心の2台のモジュールの温度が上昇している。仮に図5のCH1側もしくはCH4から強制空冷を実施した場合、ファン側に搭載されたモジュールの温度が下がり更に電流が流れやすくなる。強制空冷によってモジュール間の電流シェアを悪化する可能性があるため、強制空冷の場合はファンの向きに注意が必要である。

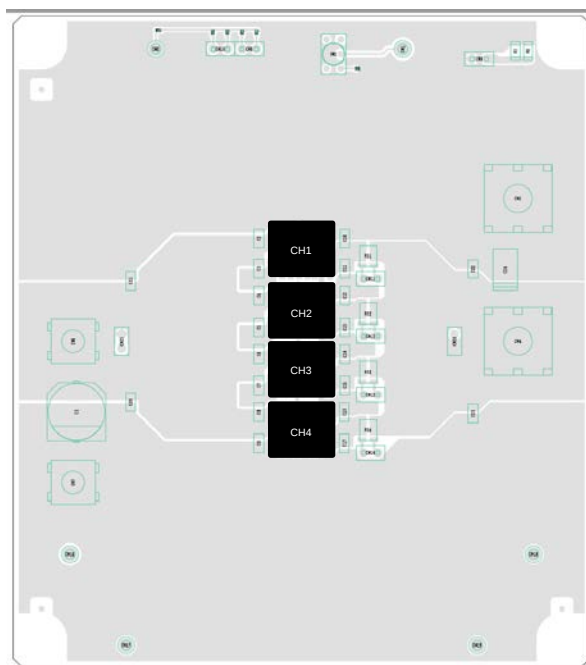


図5 MYC0409-NA の評価ボード
114.5 x 101.5 x 1.6mm (4 Layer FR-4)
外層 (1, 4) =2oz, 内層 (2, 3) =1oz

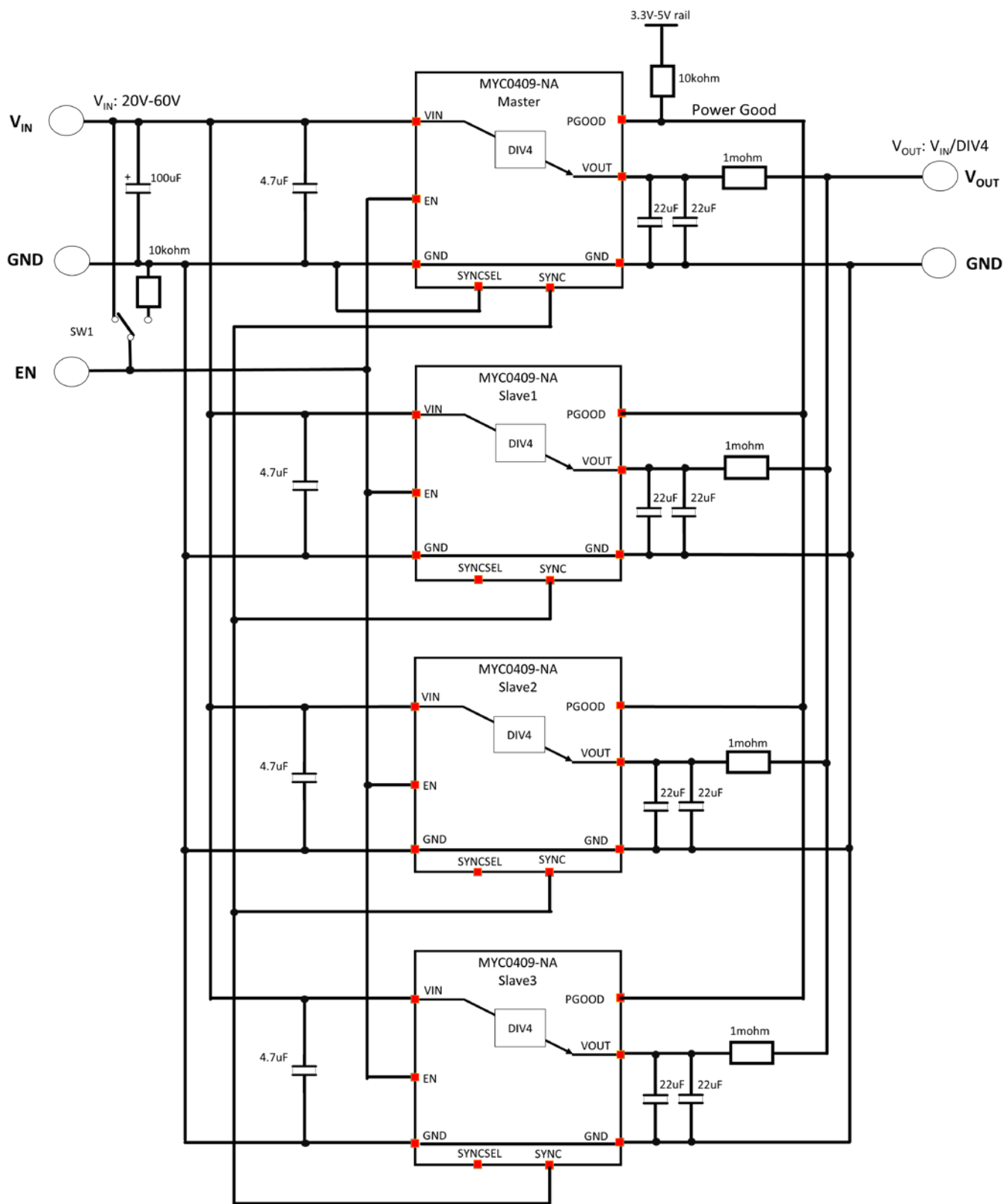


図 6 評価回路

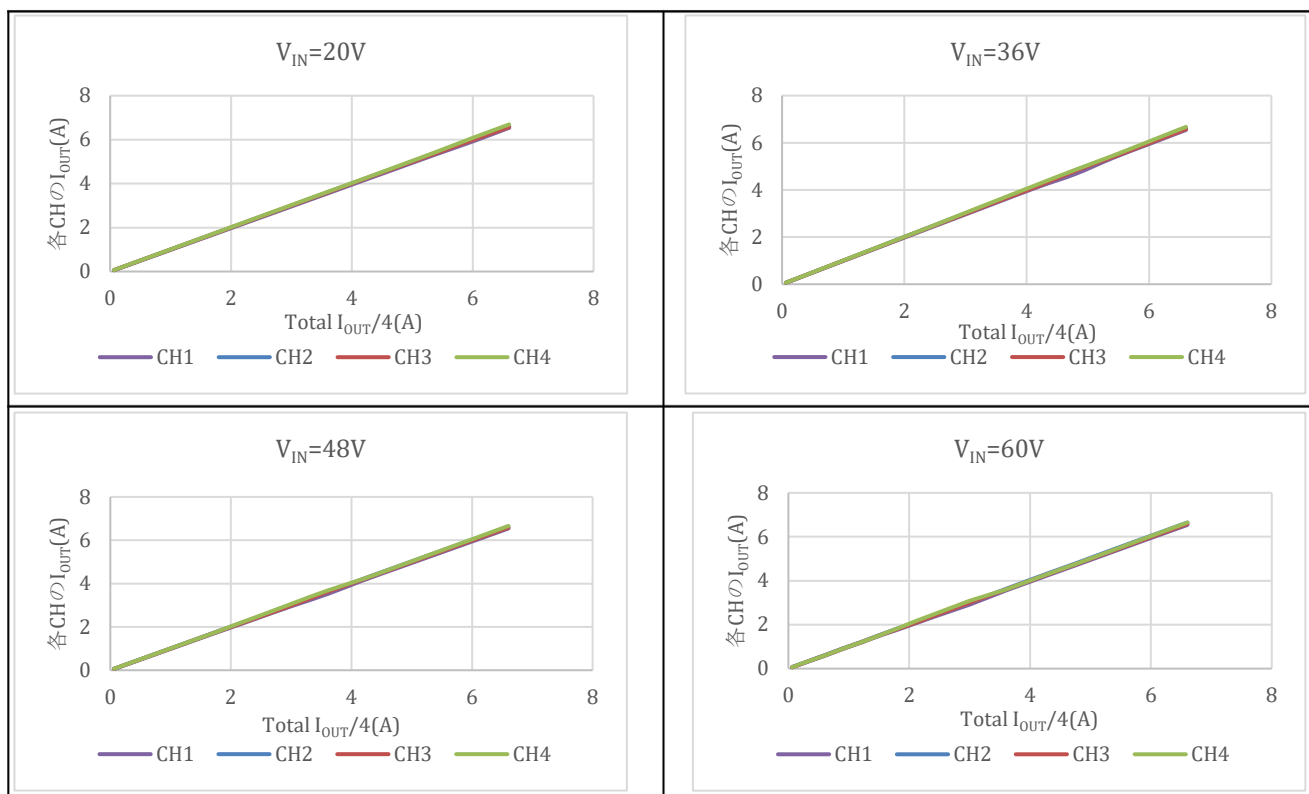


図7 各入力電圧に対する電流シェア

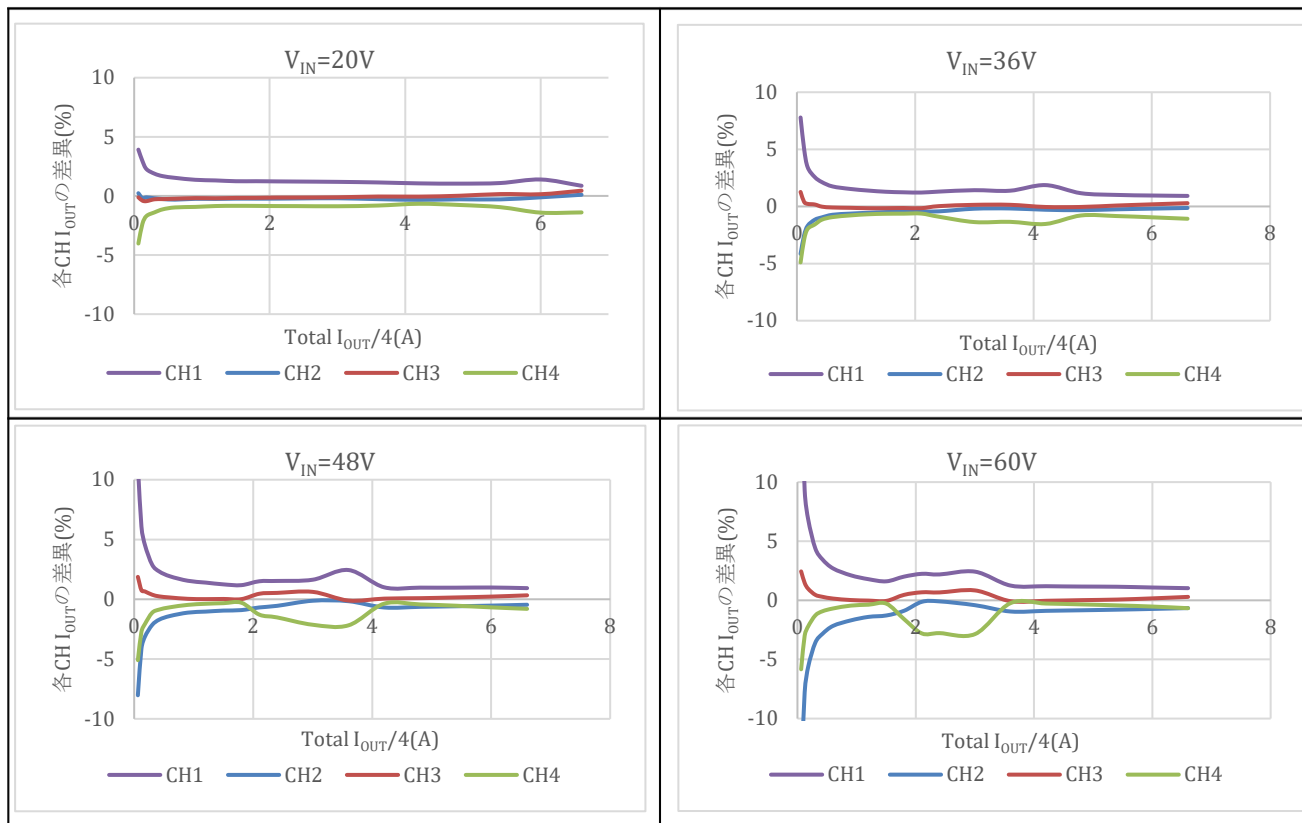


図8 各入力電圧に対する出力電流の差異

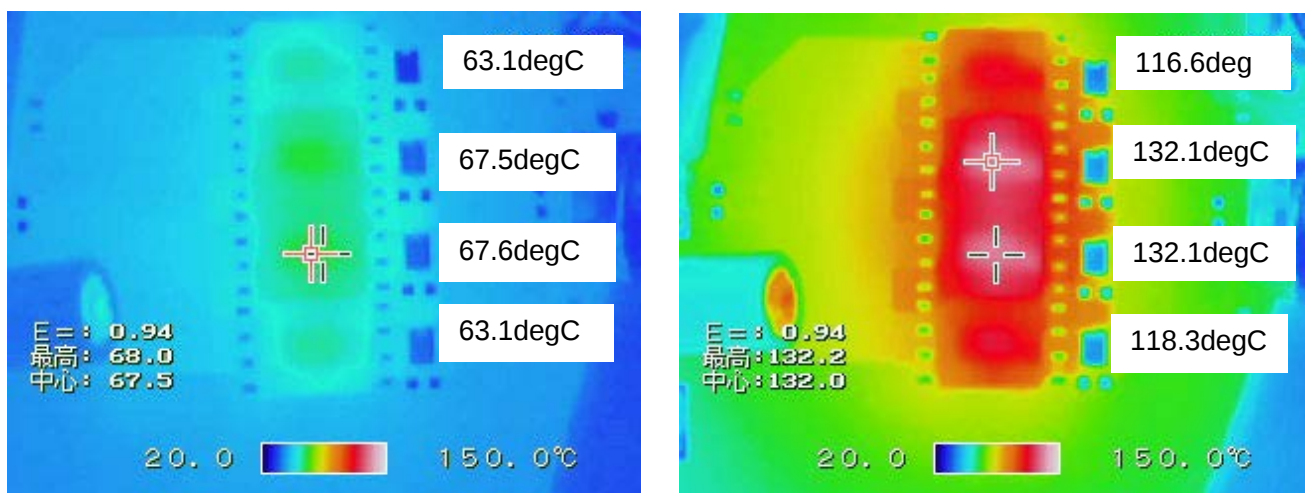


図9 温度特性 (VIN=48V, VOUT=12V)

免責

- ・本資料に記載された情報は、当社製品を理解していただくためのものです。最終的には必ず納入仕様書をご確認ください。
- ・本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- ・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ておりますが、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、当社はその責任を負うものではありません。
- ・本資料の情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
- ・本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません
- ・文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。

お問い合わせフォーム

<https://www.murata.com/contactform?Product=Power%20Device>

著作権および商標

当文書の情報は著作権法、商標法、その他の知的財産権関連法令で保護されています。
当社の承諾なく複写・転載することは法律で禁止されています。