

## 効率の計算

Arvind Raj

PMP - DC/DCコントローラ

このアプリケーション・レポートでは、データシートに記載されていない動作点でのバック・コンバータの効率および消費電力を計算する手順を説明します。

### 内 容

1. はじめに.....	2
2. インダクタで消費される電力.....	2
3. MOSFETで消費される電力.....	3
4. 結果.....	5
5. 結論.....	5

### 説明図

図 1. バック・コンバータの基本的なトポロジ.....	2
図 2. インダクタ電流.....	2
図 3. バック・コンバータのハイサイドMOSFET電流.....	3
図 4. バック・コンバータのローサイドMOSFET電流.....	3

### 説明表

表 1. TPS54620の効率.....	5
表 2. TPS62750の効率.....	5

## 1. はじめに

Texas Instrumentsには、幅広い範囲の入力および出力電圧で動作するDC/DCコンバータの多彩なポートフォリオがあります。しかし、データシートには、特定の動作条件での効率曲線しか記載されていません。同じデバイスが異なる出力電圧で使用される場合もあり、ユーザーはそれらの出力電圧での効率や消費電力を知っておく必要があります。このアプリケーション・レポートでは、任意の出力電圧での消費電力を計算し、それによって任意の出力電圧でのコンバータの効率をプロットする方法を説明します。これにより、ラボでの測定を行う必要なしに、電源の効率をすばやく簡単に求めることができます。

DC/DCコンバータでの電力消費には、3つの主要な要因があります。

- インダクタの導通損失
- MOSFETの導通損失
- MOSFETのスイッチング損失

## 2. インダクタで消費される電力

図2に、一般的なDC/DCコンバータでインダクタに流れる電流を示します。

インダクタの導通損失は次の式で与えられます。

$$P_L = I_{\text{RMS}_L}^2 \times R_{\text{DCR}} \quad (1)$$

ここで、 $R_{\text{DCR}}$ はインダクタのDC抵抗です。

RMSインダクタ電流は次の式で求められます。

$$I_{\text{RMS}_L}^2 = I_O^2 + \frac{\Delta I^2}{12} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta I$  = リップル電流です。

一般に、 $\Delta I$ は出力電流の約30%です。したがって、インダクタ電流は次のように計算できます。

$$I_{\text{RMS}_L} = I_O \times 1.00375 \quad (3)$$

リップル電流は $I_{\text{RMS}_L}$ の0.375%しか寄与しないため、無視できます。したがって、インダクタで消費される電力は、次のように計算できます。

$$P_L = I_O^2 \times R_{\text{DCR}} \quad (4)$$

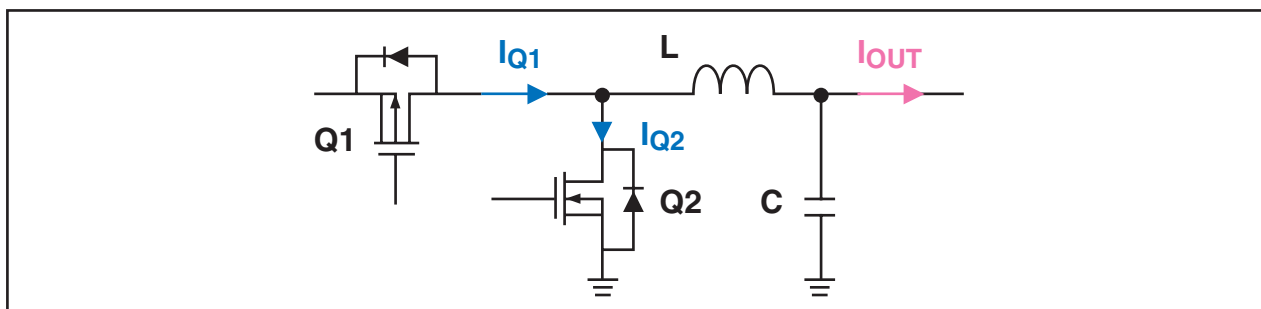


図 1. バック・コンバータの基本的なトポロジ

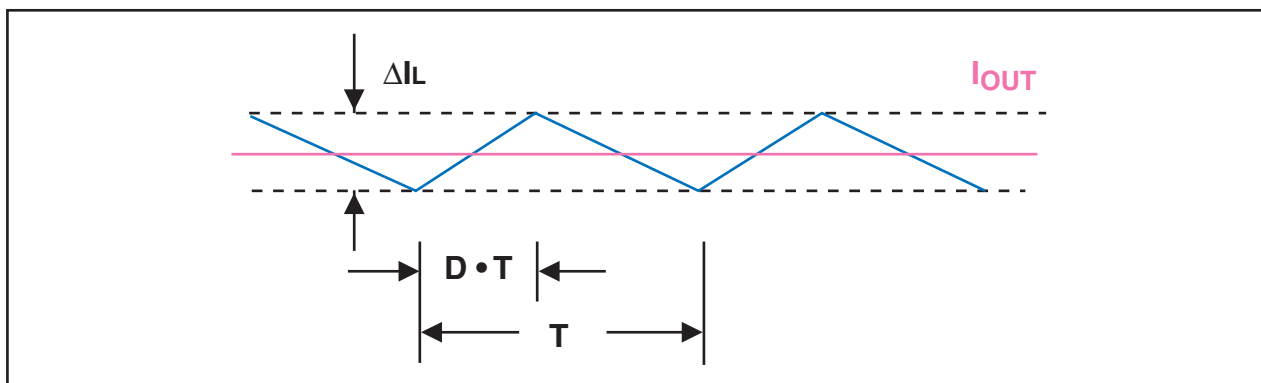


図 2. インダクタ電流

### 3. MOSFETで消費される電力

図3に、ハイサイドMOSFETに流れる電流を示します。

ハイサイドMOSFETで消費される電力は、次の式で与えられます。

$$P_{Q1} = I_{RMS\_Q1}^2 \times R_{DSON1} \quad (5)$$

ここで、 $R_{DSON1}$ は、ハイサイドMOSFETのオン時のドレイン-ソース間抵抗です。

$I_{RMS\_Q1}$ に式を代入すると、次のようになります。

$$P_{Q1} = \frac{V_O}{V_{IN}} \times \left( I_O^2 + \frac{\Delta I^2}{12} \right) \times R_{DSON1} \quad (6)$$

図4に、ローサイドMOSFETに流れる電流を示します。

ローサイドMOSFETで消費される電力は、次の式で与えられます。

$$P_{Q2} = I_{RMS\_Q2}^2 \times R_{DSON2} \quad (7)$$

ここで、 $R_{DSON2}$ は、ローサイドMOSFETのオン時のドレイン-ソース間抵抗です。

$I_{RMS\_Q2}$ に式を代入すると、次のようになります。

$$P_{Q2} = \left( 1 - \frac{V_O}{V_{IN}} \right) \times \left( I_O^2 + \frac{\Delta I^2}{12} \right) \times R_{DSON2} \quad (8)$$

両方のMOSFETで消費される合計電力は、次の式で与えられます。

$$P_{FET} = P_{Q1} + P_{Q2} \quad (9)$$

$P_{Q1}$ および $P_{Q2}$ の式を代入します。

$$P_{FET} = \left( I_O^2 + \frac{\Delta I^2}{12} \right) \times \left[ \frac{V_O}{V_{IN}} \times (R_{DSON1} - R_{DSON2}) + R_{DSON2} \right]$$

$$\text{Where } \Delta I = \frac{(V_{IN} - V_O) \times V_O}{L \times f \times V_{IN}} \quad (10)$$

ここで

$L$  = インダクタンス (H)

$f$  = 周波数 (Hz)

$V_{IN}$  = 入力電圧 (V)

$V_O$  = 出力電圧 (V)

一般的な降圧型電源設計では、インダクタのリプル電流 $\Delta I$ は合計出力電流の30%未満であるため、 $\Delta I^2/12$ の寄与は無視でき、次のようになります。

$$P_{FET} = I_O^2 \times \left[ \frac{V_O}{V_{IN}} \times (R_{DSON1} - R_{DSON2}) + R_{DSON2} \right] \quad (11)$$

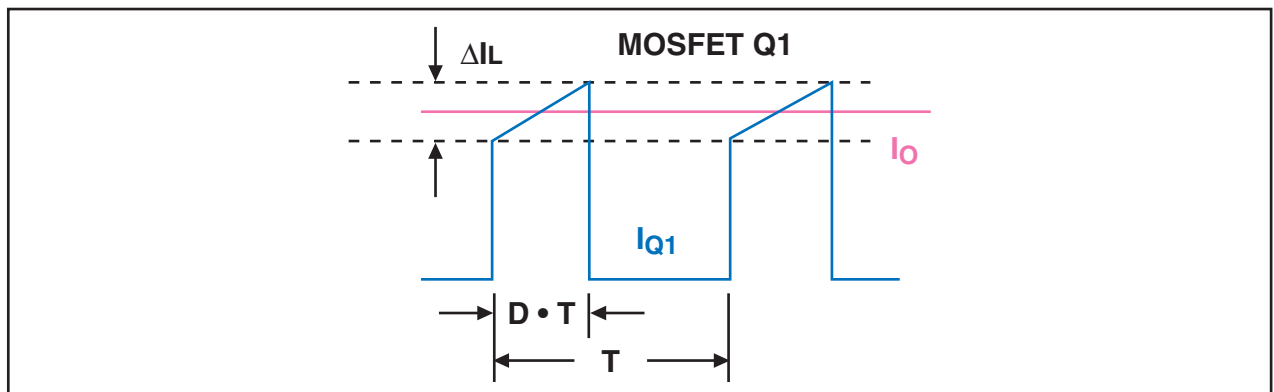


図 3. バック・コンバータのハイサイドMOSFET電流

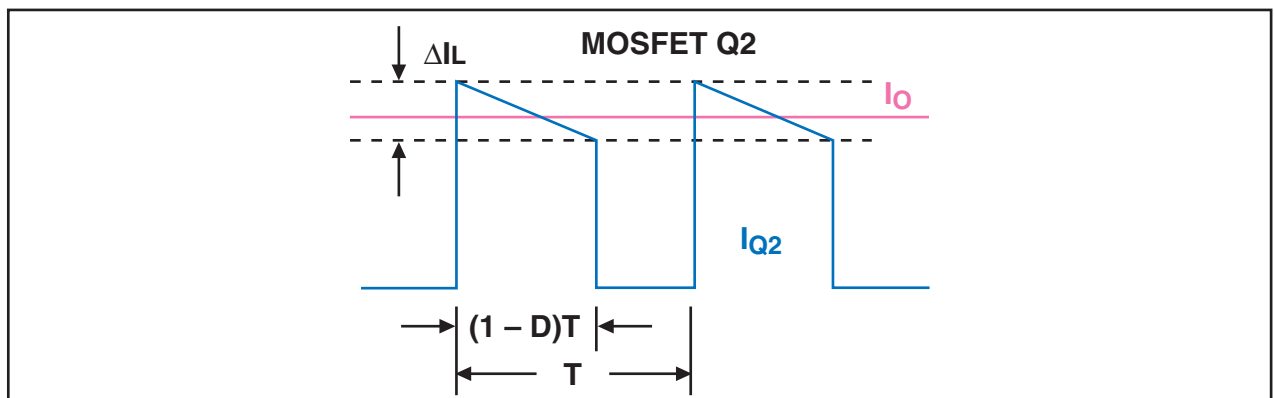


図 4. バック・コンバータのローサイドMOSFET電流

$R_{\text{DSON1}} = R_{\text{DSON2}}$  のとき、MOSFETで消費される電力は出力電圧に依存しないことに注意してください。それにより、任意の出力電圧でのMOSFETの導通損失を計算できます。スイッチング損失のような他の損失とインダクタの導通損失などは出力電圧に依存せず、出力電圧が変化しても一定に保持されます。したがって、 $P_D$ は次のように計算できます。

$$P_D = P_L + P_{\text{FET}} + \text{Other\_losses} \quad (12)$$

Other\_lossesには、MOSFETのスイッチング損失、静止電流損失などが含まれます。電源の合計損失と出力電力の両方がわかっている場合、任意の出力電圧での全体効率を次のように計算できます。

$$\eta = \frac{P_O}{P_O + P_D} \quad (13)$$

### 例

次の例は、他の出力電圧での電源の効率がわかっている場合に、任意の出力電圧での電源の効率を計算する方法を示しています。

TPS54620が $V_{\text{IN}} = 12\text{V}$ 、 $V_O = 3.3\text{V}$  (4A) で使用されていると仮定します。データシートには、これらの条件での効率グラフが示されていません。ただし、 $V_{\text{IN}} = 12\text{V}$ および $V_O = 5\text{V}$  (4A) での効率グラフは示されています。5Vの効率データを使用して、3.3Vの効率を計算できます。4Aでの5Vの効率は、93.78%です。

1. 5V出力の合計電力損失を計算します。

$$P_D = V_O \times I_O \times \left( \frac{1-\eta}{\eta} \right) = 5\text{V} \times 4\text{A} \times \left( \frac{1-0.9378}{0.9378} \right) = 1.326\text{W} \quad (14)$$

2. MOSFETの合計導通損失を計算します。

$$\begin{aligned} P_{\text{FET}} &= I_O^2 \times \left[ \frac{V_O}{V_{\text{IN}}} \times (R_{\text{DSON1}} - R_{\text{DSON2}}) + R_{\text{DSON2}} \right] \\ &= 4\text{A}^2 \times \left[ \frac{5\text{V}}{12\text{V}} \times (0.026\Omega - 0.019\Omega) + 0.019\Omega \right] \\ &= 350.66\text{mW} \end{aligned} \quad (15)$$

$R_{\text{DSON1}}$ および $R_{\text{DSON2}}$ は、TPS54620データシートに記載されています。

3. インダクタの導通損失を計算します。

$$\begin{aligned} P_L &= I_O^2 \times R_{\text{DCR}} = 4\text{A}^2 \times 0.104\Omega \\ &= 166.4\text{mW} \end{aligned} \quad (16)$$

4. 他の損失を計算します。

$$\text{Other\_losses} = P_D - P_{\text{FET}} - P_L = 0.81\text{W} \quad (17)$$

5.  $V_O = 3.3\text{V}$ でのMOSFETの導通損失を計算します。

$$\begin{aligned} P_{\text{FET}(\text{new})} &= I_O^2 \times \left[ \frac{V_{O(\text{new})}}{V_{\text{IN}}} \times (R_{\text{DSON1}} - R_{\text{DSON2}}) + R_{\text{DSON2}} \right] \\ &= 4\text{A}^2 \times \left[ \frac{3.3\text{V}}{12\text{V}} \times (0.026\Omega - 0.019\Omega) + 0.019\Omega \right] \\ &= 334.8\text{mW} \end{aligned} \quad (18)$$

6.  $V_O = 3.3\text{V}$ で消費される合計電力を計算します。

$$\begin{aligned} P_D(3.3\text{V}) &= P_L + P_{\text{FET}}(3.3\text{V}) + \text{Other\_losses} \\ &= 0.166\text{W} + 0.334\text{W} + 0.81\text{W} = 1.31\text{W} \end{aligned} \quad (19)$$

7.  $V_O = 3.3\text{V}$ での効率を計算します。

$$\eta = \frac{V_O \times I_O}{V_O \times I_O + P_D(3.3\text{V})} = \frac{3.3\text{V} \times 4\text{A}}{3.3\text{V} \times 4\text{A} + 1.31\text{W}} = 90.97\% \quad (20)$$

計算値90.97%は、測定値である91.84%にごく近い値となります。

## 4. 結果

表1に、TPS54620同期バック・コンバータにおいて、 $V_o = 5V$ で様々な出力電流において測定された効率を示します。 $V_o = 5V$ での測定値を使用して、 $V_o = 3.3V$ での効率を計算した後、測定データによって検証しています。

もう1つの例は、TPS62750を $V_o = 2V$ で使用した場合です。TPS62750データシートには、 $V_o = 2V$ での効率は記載されていませんが、 $V_o = 3.6V$ での効率が記載されています。表2に、この例のTPS62750に対して測定および計算された効率を示します。

## 5. 結論

このアプリケーション・レポートでは、データシートに記載されていない条件でのバック・コンバータの効率をすばやく簡単に計算する方法を紹介しました。この手順を使用すれば、正確な結果が得られ、効率データを取得するために電源を構築してテストする必要がなくなります。

$V_o = 5 V$		$V_o = 3.3 V$	
$I_o(A)$	効率 (%)	測定効率 (%)	計算効率 (%)
1	92.98	91.29	89.88
2	94.45	92.68	91.97
3	94.29	92.53	91.76
4	93.78	91.84	91.07
5	93.03	90.66	90.04
6	92.15	89.57	88.84

表 1. TPS54620の効率

$V_o=3.6 \text{ volts}$		$V_o=2 \text{ volts}$	
$I_o(A)$	効率 (%)	測定効率 (%)	計算効率 (%)
0.1	91.95	86.94	86.46
0.2	92.63	87.04	87.26
0.3	93.18	87.97	88.13
0.4	92.95	87.94	87.66
0.5	92.54	87.54	86.87
0.6	92.19	86.91	86.33

表 2. TPS62750の効率

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといたします)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIJといたします)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIJは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメータに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIJは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIJは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは承認をすることを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIJにより示された数値、特性、条件その他のパラメータと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIJは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIJは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション(例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの)に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIJがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。

弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。

マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

温度: 0~40、相対湿度: 40~85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。

### 3. 防湿梱包

防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

### 4. 機械的衝撃

梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

### 5. 熱衝撃

はんだ付け時は、最低限260以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

### 6. 汚染

はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上