

降圧型 DC-DC コンバータ IC アプリケーションノート

概要

本資料は弊社の非絶縁降圧型 DC-DC コンバータ IC の使用上の注意事項を記載したものです。本資料を参考にして、実機上での動作を十分に評価された上でご使用下さい。

非絶縁型降圧 DC-DC コンバータに関して

動作原理

非絶縁型降圧 DC-DC コンバータは図 1 のような MOS スイッチをオンオフし、LC フィルタにて平滑化することにより、定電圧を出力します。出力電圧はそのパルス幅によって決定され、パルス幅を変化させることによって所定の出力電圧を出力します。このパルス幅を変調する動作モードを PWM (Pulse Width Modulation) モードと呼びます。また、そのオンデューティは

$$D_{ON} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad \text{式 (1)}$$

V_{IN} : 入力電圧 (V), V_{OUT} : 出力電圧 (V)。

で表されます。また、下記の還流ダイオード D を MOSFET に変えた同期整流型コンバータは下記のダイオード整流型よりも高効率な特性が得られます。

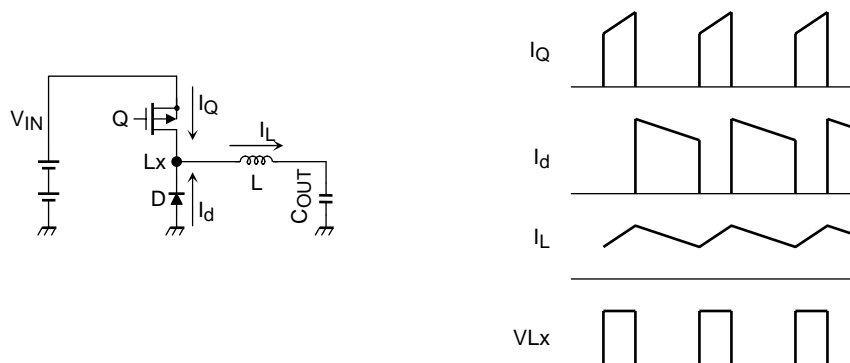


図 1 降圧型 DC-DC コンバータと動作波形

DC-DC コンバータ IC は出力電圧を 2 個のフィードバック抵抗により抵抗分割し、エラーアンプにて基準電圧源 V_{REF} と比較してその誤差分により PWM 信号を生成してオンオフサイクルを制御します。出力電圧をフィードバックする負帰還制御により、設定した電圧を安定化します。

電流モード DC-DC コンバータについて

電流モード制御方式では出力電圧帰還以外にインダクタに流れる電流を帰還する多重ループ制御方式です。このような制御方式を取ることで、

- 位相補償の簡素化
- ワンサイクルごとの電流制限
- 負荷変動に対する応答特性の向上
- ラインレギュレーション特性の向上

などのメリットが得られます。

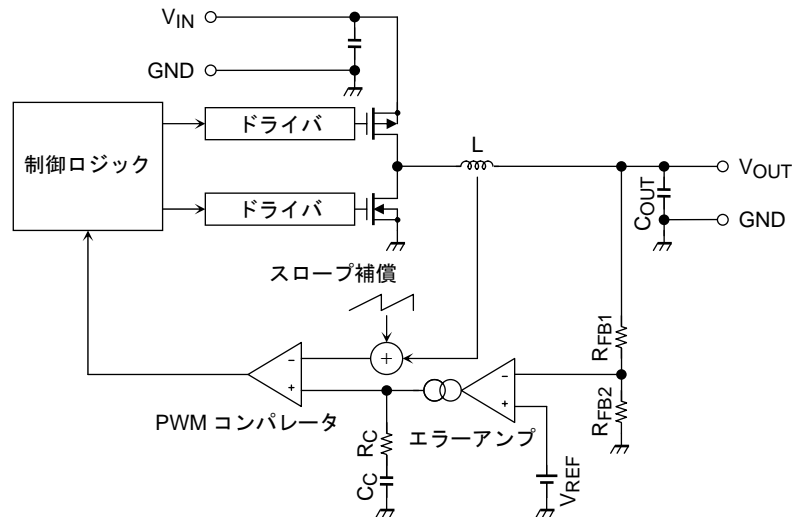


図 2 電流モード DC-DC コンバータ

各周辺部品の選定について

下記に各部品の設定方法や注意点に関して説明します。ただし、各部品は制御ループの制約を受けますので、各製品のデータシート等の応用回路例を参考にしてください。また、弊社 IC の絶対最大定格を超えないようにご使用下さい。

インダクタに関して

降圧型 DC/DC コンバータを動作させるのに必要なインダクタンスは通常、式 (2) で表されます。

$$L = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{f_{osc} \cdot \Delta I_L} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad \text{式 (2)}$$

V_{IN} : 入力電圧 (V), V_{OUT} : 出力電圧 (V), ΔI_L : インダクタのリプル電流 (A), f_{osc} : 発振周波数 (Hz)。

インダクタのリプル電流 ΔI_L は最大出力電流の 30%~40% に設定します。ご使用されるセットの入力電圧 V_{IN} の電圧範囲が大きい場合、(ピーク) リプル電流が規定値を超えないように上式の V_{IN} には入力電圧の最大値にて計算してください。

例えば、TB7102F (発振周波数 1 MHz) を $V_{IN} = 5\text{ V}$ / $V_{OUT} = 3.3\text{ V}$ / $I_{OUT} = 1\text{ A}$ でご使用される場合、 ΔI_L は 0.3 A 程度に設定し、

$$L = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{f_{osc} \cdot \Delta I_L} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{5\text{ V} - 3.3\text{ V}}{1\text{ MHz} \cdot 0.3\text{ A}} \cdot \frac{3.3\text{ V}}{5\text{ V}} = 3.7\ \mu\text{H} \quad \text{式 (3)}$$

となります。

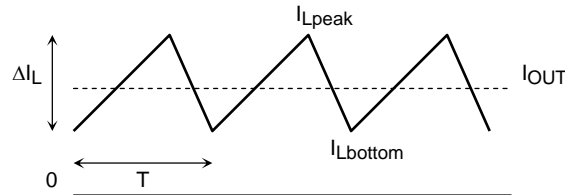


図 3 インダクタに流れる電流波形

また、出力リップル電圧 ΔV_{OUT} は

$$\Delta V_{OUT} = ESR \cdot \Delta I_L \quad \text{式 (4)}$$

ESR: 出力コンデンサの等価直列コンデンサ (Ω), ΔI_L : インダクタのリップル電流 (A) で表され、出力リップル電圧を小さくするには ESR、もしくは ΔI_L を小さくする必要があります。インダクタに流れるピーク電流 I_{Lpeak} は

$$I_{Lpeak} = I_{OUT} + \frac{1}{2} \cdot \Delta I_L \quad \text{式 (5)}$$

I_{OUT} : 出力電流 (A), ΔI_L : インダクタのリップル電流 (A)。となりますが、過電流制限機能が働かないように I_{Lpeak} はスイッチング端子電流制限 I_{LIM} よりも低く設定する必要があります。また、ご使用されるインダクタの直流重量特性が I_{Lpeak} までインダクタンス値が保証されている必要があります。

放射ノイズを抑制するために閉磁路構造のインダクタの使用してください。表 1 にインダクタンス値と各特性の相関関係を示します。

表 1 インダクタンス値と各特性の相関関係

インダクタンス (L)	大	⇔	小
インダクタ電流リップル (ΔI_L)	小	⇔	大
インダクタピーク電流 (I_{Lpeak})	低	⇔	高
出力電圧リップル (ΔV_{OUT})	小	⇔	大
負荷急変時の出力低下 (ΔV_{drop})	大	⇔	小
効 率 (η)	高	⇔	低

入力コンデンサに関して

入力コンデンサ C_{IN} には式 (6) で示すリップル電流 I_{CINRMS} が流れます。

$$I_{CINRMS} \approx I_{OUT} \frac{\sqrt{(V_{IN} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}}{V_{IN}} \quad \text{式 (6)}$$

V_{IN} : 入力電圧 (V), V_{OUT} : 出力電圧 (V), I_{OUT} : 出力電流 (A)。

そのため、コンデンサの等価直列抵抗 (ESR) により損失が発生しますので、使用するコンデンサの定格リップル電流や等価直列抵抗の許容値について十分に検討が必要です。

また、入力コンデンサ C_{IN} は負荷急変時等の電圧変動時に電荷量不足により、入力電圧が低下し動作電源電圧を下回る可能性があるため、容量値を小さくしすぎないよう注意が必要です。

入力コンデンサは IC 内部回路のバイパスコンデンサも兼ねておりますので等価直列抵抗 (ESR)、等価直列インダクタンス (ESL) の十分小さいコンデンサをご使用することをお勧めします。

なお、入力コンデンサの充放電による入力リップル電圧 ΔV_{IN} は式(7)で表されます。

$$\Delta V_{IN} \approx \frac{I_{OUT} \cdot V_{OUT}}{f_{osc} \cdot V_{IN} \cdot C_{IN}} \quad \text{式 (7)}$$

V_{IN} : 入力電圧 (V), V_{OUT} : 出力電圧 (V), I_{OUT} : 出力電流 (A), f_{osc} : 発振周波数 (Hz), C_{IN} : 入力コンデンサ容量 (F)。

入力リップル電圧が大きくなりすぎると入力電圧を複数の DC-DC コンバータで共有する場合、他のコンバータの動作に影響を与えるので注意が必要です。

出力コンデンサに関して

出力コンデンサ C_{OUT} は出力リップル電圧、負荷応答特性、及び制御ループの安定性に重要な役割があります。

出力リップル電圧に関してはインダクタの項の式(4)の通り、 $\Delta V_{OUT} = ESR \times \Delta I_L$ で表されるため、出力リップル電圧を小さくするには ESR の小さなコンデンサを使用する必要があります。

また DC-DC コンバータにおいて負荷電流が急激に変動した場合、制御ループが応答するまでは出力コンデンサ容量に依存した傾きで出力電圧が減少します。よって負荷変動による出力電圧低下 ΔV_{drop} を抑えるためには出力コンデンサを大きくする必要があります。また、 $ESR \times \Delta I_{OUT}$ (ΔI_{OUT} : 負荷変動幅) の出力電圧低下も発生するため、出力低下を抑えるには ESR の小さいコンデンサを使用する必要があります。

電流モード制御の DC-DC コンバータの場合、出力コンデンサの等価直列抵抗 (ESR) の制御ループに与える影響が小さいため、ESR の小さいセラミックコンデンサの使用が可能です。容量が小さい場合には DC-DC コンバータの制御が不安定になる場合があります。容量が大きすぎる場合は制御応答が遅くなります。出力コンデンサについては各製品のテクニカルデータシートを参考して下さい。

また、出力コンデンサ C_{OUT} には式(8)で示すリップル電流 $I_{COUTRMS}$ が流れます。

$$I_{COUTRMS} = \frac{\Delta I_L}{2\sqrt{3}} \quad \text{式 (8)}$$

ΔI_L : インダクタのリップル電流 (A)。

入力コンデンサに比べ、出力コンデンサに流れるリップル電流実効値は小さくなりますが、入力コンデンサ同様 ESR による損失が発生しますので、使用するコンデンサの定格リップル電流や等価直列抵抗の許容値について十分に検討が必要です。

なお、入力コンデンサ、出力コンデンサともに直流電圧特性や温度特性を十分に考慮してご使用下さい。なおそれぞれのコンデンサについての注意事項は下記のとおりです。

セラミックコンデンサを使用される場合、その容量は印加電圧や温度に大きな影響を受けるため、容量の電圧依存性を十分に考慮して、B 特性や X7R 特性等の温度特性の良好な製品を選定する必要があります。

アルミ電解コンデンサを使用される場合、小型で大容量を得られますが、温度変化により容量や ESR が急激に変化するため、使用される際には ESR や容量の温度特性を十分に検証する必要があります。また、信頼性的にも経年変化により、電解液の蒸発が発生して ESR や容量特性が大きく変化するため、経年変化を考慮しての選定が必要です。昨今では、電解コンデンサの大容量特性を維持し、低 ESR を実現した機能性高分子タイプもありますが、耐圧が比較的低いいため、過電圧に注意が必要です。

タンタルコンデンサは小型・大容量を得ることが出来、アルミ電解コンデンサより小さい ESR を得ることが出来ませんが、比較的耐圧が低く、過電圧に注意が必要です。また、破壊時にはショートモードが多く、使用に際しては十分な配慮が必要です。

フィードバック抵抗 (出力電圧設定) に関して

出力電圧はフィードバック端子に接続されたエラーアンプの基準電圧 (V_{REF}) を基に、フィードバック抵抗 R_{FB1} と R_{FB2} の抵抗分割比によって設定することができます。出力電圧は式 (9) から求められます。

$$V_{OUT} = V_{FB} \cdot \left(1 + \frac{R_{FB1}}{R_{FB2}} \right) \quad \text{式 (9)}$$

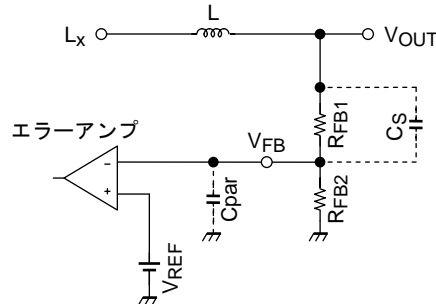


図 4 出力電圧設定抵抗

R_{FB1}, R_{FB2} : フィードバック抵抗 (Ω), V_{FB} : フィードバック端子電圧 (V)。

なお、フィードバック端子には寄生容量 C_{par} が存在し、 R_{FB1} の値が極端に大きい場合には、FB 端子の寄生容量 C_{par} と R_{FB1}, R_{FB2} による遅れ時間が発生します。抵抗値に関しては各製品のデータシートを参考にしてください。出力電圧設定には $\pm 1\%$ 以下の高精度抵抗の使用を推奨します。

また、 R_{FB1} にコンデンサ C_S を並列実装することで

$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi \times R_{FB1} \times C_S} [\text{Hz}] \quad \text{式 (10)}$$

R_{FB1} : フィードバック抵抗 (Ω), C_S : フィードバックコンデンサ容量 (F)。
にゼロ点 (位相戻し点) を作ることができ、制御系の安定化を図ることができます。

接合部温度に関して

周囲温度 T_a を考慮して、IC 内の動作接合部温度 T_{jopr} が絶対最大定格を超えないことが必要です。なお、接合部温度 T_j は式 (11) で与えられます。

$$\Delta T_j = R_{th(j-a)} \times P_{total}$$

$$T_j = T_a + \Delta T_j < T_{jopr\ max} \quad \text{式 (11)}$$

接合部温度上昇 ΔT_j 、接合部-外気間熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ 、動作接合部温度絶対最大定格 $T_{jopr\ max}$ 、接合部温度 T_j 、外気温度 T_a 、IC 内損失 P_{total} 。

基板レイアウト設計に関して

DC-DC コンバータを安定に動作させるにはレイアウト設計を十分に考慮する必要があります。図 5 に TB7102F の応用回路例を示します。TB7102F を例にとってパターンレイアウト上の注意事項を示します。

- DC-DC コンバータは負荷にできるだけ近く実装してください。
- 図の太線には大きな電流が流れるため、太線の配線はできるだけ太くしてください。
- 図の点線のループ ($L_x \sim L \sim C_{OUT} \sim PGND$) には交流の大きな電流が流れるため、配線をできるだけ太く短くして配線インダクタンス、配線抵抗を下げ、ループが小さくなるようにレイアウトしてください。
- C_{IN} は IC のバイパスコンデンサも兼ねており、できるだけ IC に近接させて実装してください。また電源電圧と V_{IN} 端子はスルーホールを介することのないように接続してください。
- R_{FB1} , R_{FB2} などの信号系の部品は極力インダクタ、 L_x 端子から離して実装してください。
- できるだけグラウンドプレーンを心がけ、また一点接地を心がけてください。

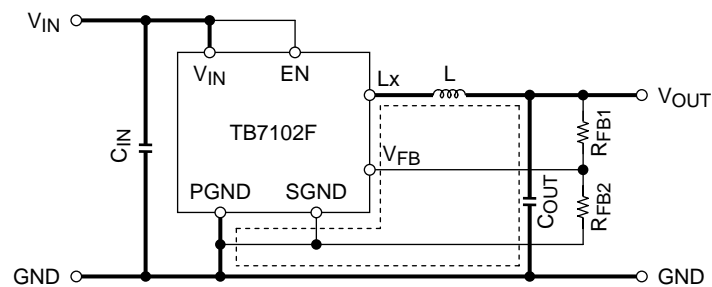


図 5 TB7102F 応用回路例

当社半導体製品取り扱い上のお願い

060919TAA_R7

- 当社は品質、信頼性の向上に努めておりますが、一般に半導体製品は誤作動したり故障することがあります。当社半導体製品をご使用いただく場合は、半導体製品の誤作動や故障により、生命・身体・財産が侵害されることのないように、購入者側の責任において、機器の安全設計を行うことをお願いします。
なお、設計に際しては、最新の製品仕様をご確認の上、製品保証範囲内でご使用いただくと共に、考慮されるべき注意事項や条件について「東芝半導体製品の取り扱い上のご注意とお願い」、「半導体信頼性ハンドブック」などをご確認ください。 021023_A
- 本資料に掲載されている製品は、一般的電子機器（コンピュータ、パーソナル機器、事務機器、計測機器、産業用ロボット、家電機器など）に使用されることを意図しています。特別に高い品質・信頼性が要求され、その故障や誤作動が直接人命を脅かしたり人体に危害を及ぼす恐れのある機器（原子力制御機器、航空宇宙機器、輸送機器、交通信号機器、燃焼制御、医療機器、各種安全装置など）にこれらの製品を使用すること（以下“特定用途”という）は意図もされていませんし、また保証もされていません。本資料に掲載されている製品を当該特定用途に使用することは、お客様の責任でなされることとなります。 021023_B
- 本資料に掲載されている製品を、国内外の法令、規則及び命令により製造、使用、販売を禁止されている応用製品に使用することはできません。 060106_Q
- 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。 021023_C
- 本資料に掲載されている製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず弊社営業窓口までお問合せください。
本資料に掲載されている製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令などの法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。
お客様が適用される法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。
060919_Z
- 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。 021023_D