

昇圧回路用ショットキバリアダイオードの選定方法

概要

本資料では LED 駆動回路等で使われる非同期(ダイオード)整流方式の昇圧スイッチングレギュレータの電源効率を最大化できるダイオードの選定方法を解説します。ダイオードとしては東芝ショットキバリアダイオード：CUHS20F40/CUHS20S40 を例に、スイッチング損失、低逆電流(低リーク電流)、低順方向電圧特性等を用いて説明します。

目次

概要.....	1
目次.....	2
1. はじめに.....	3
2. DCDCコンバータにおける昇圧回路について.....	3
2.1 非同期(ダイオード)整流型の昇圧回路の基本動作.....	4
3. 昇圧回路におけるショットキバリアダイオードの選定方法と注意点.....	4
3.1 絶対最大定格について.....	4
3.2 スイッチング損失について.....	5
3.3 熱損失について.....	6
3.4 製品別電源効率の例.....	7
4. まとめ.....	7
製品取り扱い上のお願い.....	8

1. はじめに

ノートパソコン、タブレット、携帯電話をはじめとする携帯機器や民生機器において CPU、メモリ、ディスプレイなど各部品で必要とする電源仕様は異なっています。バッテリー電源における電圧の供給(図 1.1)を例にとるとバッテリー電源の 3.6V 電圧から LCD バックライト用の直列接続された LED を駆動させるために 30V まで昇圧させることもあれば、Wi-Fi モジュールには 3.5V、カメラモジュールには 1.2V のように降圧する必要があり、一つのセットの中で複数の電圧が存在します。そのためセット内の DC 電源から電圧変換が必要となり、DCDC コンバータや LDO レギュレータなどにより昇圧、降圧されることになります。

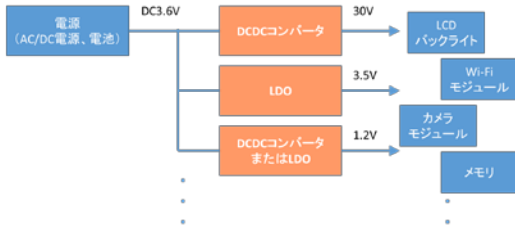


図 1.1 電源から様々なアプリケーションへの電圧供給例

電源回路において消費電力の高効率化と小型化が求められています。そのためダイオードや、トランジスタなどディスクリート部品は、IC に取り込むことで基板の小型化を図る傾向にあります。しかし昇圧 DCDC コンバータ回路に必要な高い耐圧と大きな電流定格に対応した素子を集積化する場合 IC の単価を上げてしまう要因になることから、実際はすべてのディスクリート部品が取り込まれるには至っていません。そのため 30V と比較的高い電圧を扱う LCD バックライト駆動用の DCDC コンバータにおいては非同期(ダイオード)整流方式が多く採用されています。次章では非同期(ダイオード)整流方式についての基本動作とショットキバリアダイオード(SBD)の選定について説明します。

2. DCDC コンバータにおける昇圧回路について

DCDC コンバータにおける昇圧回路の種類を表 2.1 に示します。

表 2.1 昇圧回路の種類比較

	非同期(ダイオード)整流方式	同期整流方式
基本回路		
長所	安価、回路が簡単	高効率
短所	低効率	回路が複雑、高価

LCD 用の昇圧回路においては、安価で回路が簡単にできる観点から非同期(ダイオード)整流方式が選択されます。非同期整流方式は VOUT 前段に整流用にダイオードを使用しており、ダイオード自身の損失を最小化させるため順方向電圧が低い SBD を選択されることが一般的です。

2.1 非同期(ダイオード)整流型の昇圧回路の基本動作

図 2.1 を用いて非同期整流型の動作原理を説明します。MOSFET の ON 時、電流は VIN から MOSFET を経由し GND へ流れます。この時インダクタ L に電流エネルギーを蓄えます。MOSFET の OFF 時、インダクタ L は直前の電流値をキープしようと働くことによりインダクタより電圧が発生します。VIN からの電圧に、インダクタ L で発生する電圧を継ぎ足すように電力を供給することで昇圧動作を行います。その後インダクタ L のエネルギーは放電により減衰していくため周期的に MOSFET を ON/OFF させることで昇圧動作を繰り返し、その後コンデンサ C により平滑化され VOUT へ出力されます。ダイオードにかかる電圧 Vtr、電流 ID の推移は図 2.2 の様になります。

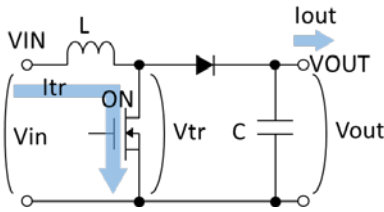


図 2.1 非同期整流型昇圧回路の電流経路

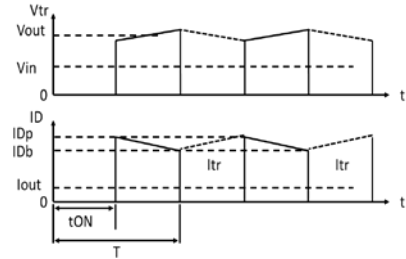


図 2.2 昇圧回路における理想動作での波形

出力電圧 Vout は VOUT につながる負荷が一定である場合、MOSFET の ON 時間 tON 及び周期 T に依存することから下記の様に簡易的に求めることができます。

$$Vout = \frac{T}{(T-tON)} * Vin \quad \dots \text{式 2.1}$$

ダイオードに流れる電流 ID を利用して出力電流 Iout を考えます。ID はインダクタ L の放電動作、平滑コンデンサへの充電電流により瞬時に流れる電流 IDp と MOSFET が OFF 時の最低電流 IDb を利用し、下記の様に表現できます。

$$Iout = \frac{(T-tON)}{T} * \frac{(IDp+IDb)}{2} = \frac{(T-tON)}{T} * ID \quad \dots \text{式 2.2}$$

式 2.1、式 2.2 で求められるのは、昇圧回路における構成部品の損失を考慮しない理想動作での出力電圧、出力電流になりますが、実際は各部品による損失により変化してしまいます。そのため各部品は損失を少なくするため各々可能な限り最適な製品を選択する必要があります。

LCD バックライト用の昇圧回路において制御回路、MOSFET、SBD が内蔵された専用 IC もあります。これは高価となってしまうことから性能と価格のバランスの良いソリューションとして図 2.3 のように MOSFET と制御回路が一体型となっている専用 IC があります。この場合は用途によって最適な SBD の選定を選ぶことで電源効率を改善する事が可能です。次章では SBD の選定方法について解説します。

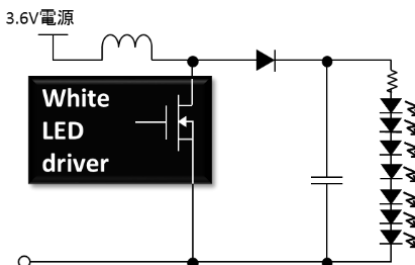


図 2.3 制御 IC と一体型の MOSFET

3. 昇圧回路におけるショットキバリアダイオード(SBD)の選定方法と注意点

SBD の選定方法としては使用電圧・電流の範囲で問題のない絶対最大定格を満足する製品選定と、昇圧回路の電源効率につながる損失について考える必要があります。

3.1 絶対最大定格について

電圧・電流の絶対最大定格値については負荷として接続される LED の個数とスイッチング時のピーク電流や電圧ノイズを考慮してマージンを持った製品を選定するようにしてください。

3.2 スwitching損失について

ダイオードとしてのスイッチングによる損失(PSW)は図 3.1 の様に順方向に電流が流れている状態から、バイアス方向が変化し通電しない状態になっても、蓄積されていた少数キャリアによって通電してしまい、損失となってしまいうケースがあります。バイアスの方向が周期的に変わる非同期整流用昇圧回路において動作周波数を上げるほど PSW は上昇してしまいます。一般的に非同期整流用昇圧回路に SBD が選択されるのはキャリアの蓄積がないことから理想的には逆回復時間 t_{rr} がほぼゼロに等しく、PSW を考慮する必要がない点が挙げられます。一方 t_{rr} の長い PN 接合を利用したダイオードを利用せざるをえない場合は計算式にて PSW を考慮する必要があり、式 3.1 にて計算できます。

$$PSW(W) \cong 0.5 * VR(V) * IR(PEAK)(A) * t_{rr}(s) * f(Hz) \quad \dots \text{式 3.1}$$

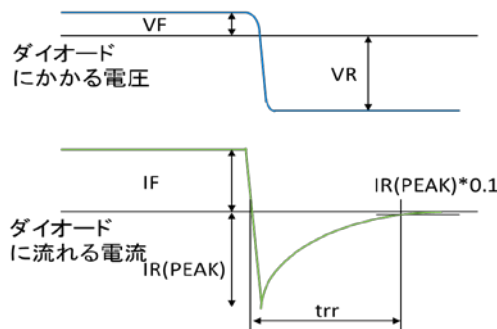


図 3.1 ダイオードのスイッチング時の電圧電流波形

3.3 熱損失について

熱損失についてはダイオードの順方向と逆方向に分けて考えます。MOSFET が OFF 時は SBD が Vin 及び L から順方向にバイアスを受けて電流 ID が流れることによる熱損失 PF(順方向損失)が発生します。VOUT での電圧と電流は図 3.3 のようになり、損失は tON、T 利用し下記式のように導けます。順方向電圧 VF が低いものほど電源効率が良くなります。

$$PF(W) = \frac{(T(s)-tON(s))}{T(s)} * \frac{(IDp(A)*VFb(V)+IDb(A)*VFp(V))}{2} \approx \frac{(T(s)-tON(s))}{T(s)} * (ID(A) * VF(V)) \quad \dots \text{式 3.2}$$

次に図 3.2 のように MOSFET が ON 時は SBD が VOUT 及び C からのバイアスを受けて逆電流が流れることで熱損失 PR(逆方向損失)が発生します。PR の逆方向にかかる電圧は Vout となり、MOSFET のスイッチング tON 時間、周期 T を利用すると、下記式のようになり、SBD の IR に依存することがわかります。

$$PR(W) = VR(V) * IR(A) * \frac{tON(s)}{T(s)} = Vout(V) * IR(A) * \frac{tON(s)}{T(s)} \quad \dots \text{式 3.3}$$

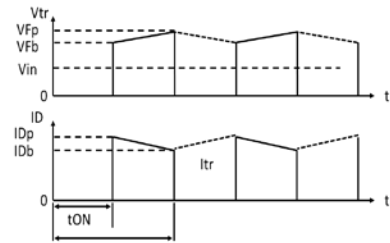
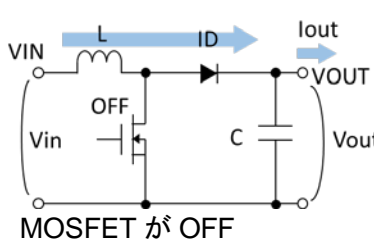
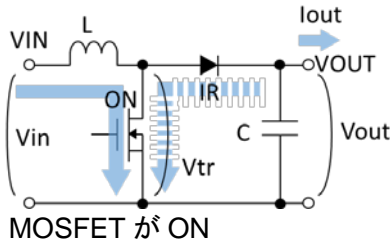


図 3.2 非同期整流型昇圧回路の電流経路

図 3.3 昇圧回路における電流、電圧波形

式 3.2、式 3.3 より合計の熱損失 P は式 3.4 になります。

$$P(W) = PF(W) + PR(W) = \frac{(T(s)-tON(s))}{T(s)} * (ID(A) * VF(V)) + Vout(V) * IR(A) * \frac{tON(s)}{T(s)} \quad \dots \text{式 3.4}$$

順方向電圧 VF、逆方向電流 IR はそれぞれ PF、PR に影響するため、ともに小さいものを選定することが理想ですが、ダイオードの特性として VF と IR は図 3.4 に示すようにトレードオフの関係にあります。そのため負荷により低 VF タイプ、低 IR タイプを使い分けることで熱損失を抑えることができます。

弊社では複数の SBD をラインナップしており、代表的な製品 CUHS20F40、CUHS20S40 を例にとると表 3.1 のようになります。

表 3.1 SBD の選定例

負荷条件	重視する特性	弊社製品例
重負荷時	低 VF	CUHS20S40
軽負荷時	低 IR	CUHS20F40

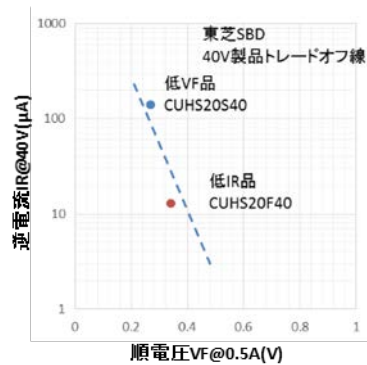
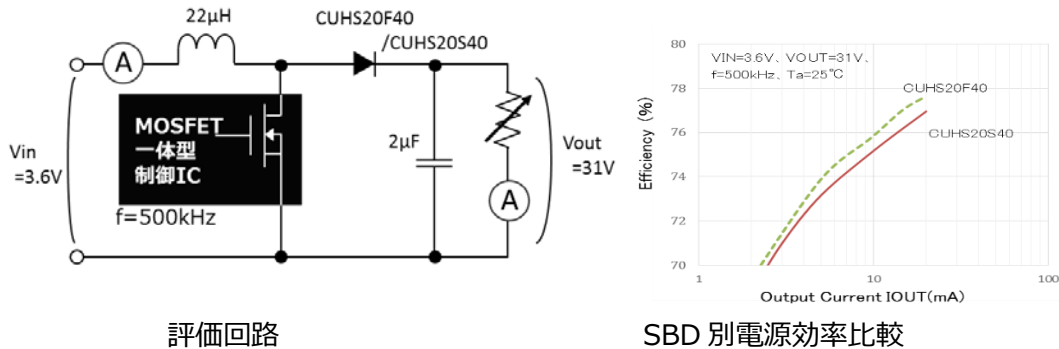


図 3.4 東芝 SBD のトレードオフ線と紹介製品

3.4 製品別電源効率の例

LCD バックライト用昇圧回路として直列 8 個の白色 LED を駆動させることを前提として、SBD のみを変更した場合の効率変化を図 3.4 に示します。白色 LED は VFバラつきを考慮した場合 3.0~3.8V で駆動することから今回 3.1V まで昇圧させることを想定しました。(図 3.4 評価回路参照)供給電圧を超えない耐圧 40V の SBD を低 VF タイプと低 IR タイプを使って電源効率を比較しました。このような LED 駆動電流 10~20mA という軽負荷な条件では式 3.4 の PR(逆方向損失)に依存することから IR の小さい CUHS20F40 のほうが CUHS20S40 比べて電源効率が良い結果が得られています。(図 3.4)

仮に白色 LED を並列に駆動させ、重負荷とした場合は式 3.4 の PF(順方向損失)がより大きくなる傾向にありますので低 VF タイプの CUHS20S40 を選ぶことで損失を低減できます。



評価回路

SBD 別電源効率比較

図 3.4 昇圧回路における SBD 別電源効率比較

※昇圧回路への入力電力を 100%としたときの出力電力の比率を示しています。

4. まとめ

LCD の LED バックライト駆動用の昇圧回路は安価でシンプルな非同期(ダイオード)整流方式が多く採用されています。整流用を使用する SBD に求められる特性は負荷条件に応じて変わり、重負荷時は低 VF タイプ、軽負荷時は低 IR タイプを使用することにより電源効率を改善することができます。弊社のショットキバリアダイオードは低 VF タイプから低 IR タイプの幅広いラインアップを取り揃えており、非常に使いやすい製品となっております。各特性の詳細につきましてはデータシートをご参考ください。

高効率の昇圧回路を実現できる SBD 製品

40V , 2A , 低VFタイプ **CUHS20F40** → [Click Here](#)

40V , 2A , 低IRタイプ **CUHS20S40** → [Click Here](#)

その他 東芝SBDラインアップ → [Click Here](#)

また、MOSFETも幅広いラインアップを取り揃えておりますので、合わせてご検討頂ければ幸いです

東芝MOSFETラインアップ → [Click Here](#)

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 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。
- 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。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本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、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、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製品に使用することはできません。
- 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。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本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 指令等、適用ある環境関連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。お客様がかか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。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/>