

スイッチングレギュレータ IC シリーズ

降圧コンバータにおけるブートストラップ回路

このアプリケーションノートではブートストラップコンデンサを使用した昇圧回路について述べる。降圧コンバータにおいて、この回路はハイサイドスイッチが Nch MOSFET である場合に用いられる。

1. 降圧コンバータにおけるブートストラップ回路の役割

降圧コンバータにおいて、ハイサイドスイッチの極性により近傍の回路構成は異なります。

ハイサイドスイッチに Pch MOSFET を使用した場合は、ゲート電圧が入力電圧 V_{IN} で駆動できる他、減電や MAX Duty などにおいて Nch MOSFET を使用した場合に比べて有利な部分があります。一方で、同じ電流を流すために必要なチップ面積は Pch MOSFET を使用した場合の方が大きくなります。

ハイサイドスイッチに Nch MOSFET を使用した場合は、ゲート電圧が $V_{IN} + V_{th}$ (Nch MOSFET のスレッシュホールド電圧) 以上が必要です。ゲート電圧が V_{IN} よりも高いので昇圧回路が必要です。この回路を内蔵ダイオードと外付けブートストラップコンデンサで構成します(チャージポンプ型)。前述の通り、チップ面積は Pch MOSFET より小さくできるため、外付けブートストラップコンデンサを含めてもトータルコストで安くできます。

2. チャージポンプ動作説明

チャージポンプ型昇圧回路において必要な部品はダイオードとコンデンサ(ブートストラップコンデンサ)です。ダイオードは IC に素子として内蔵されることが多く、ブートストラップコンデンサのみ外部で接続されます。

では、実際の回路例を Figure 1 に示します。

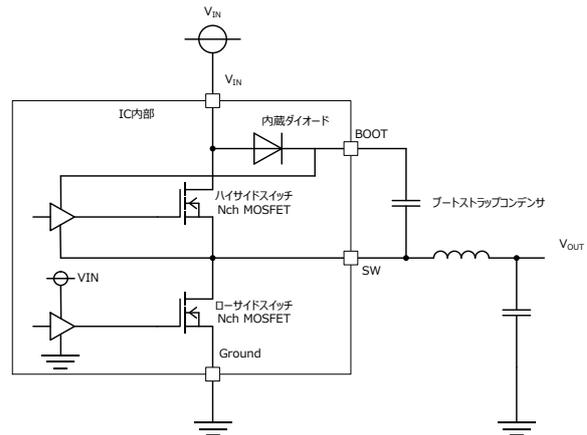


Figure 1. チャージポンプ型昇圧回路例

Figure 1 の例で、SW ピンと BOOT ピンの電圧は内蔵ダイオードの順方向電圧を V_f として、Figure 2 のように表せます。

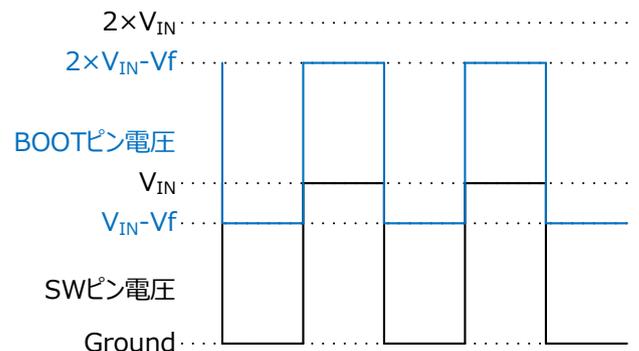


Figure 2. SW と BOOT の電圧

Figure 2 のスイッチング動作において、SW 電圧が Low の時、 V_{IN} からコンデンサに電荷が蓄積され、コンデンサ両端の電圧は $V_{IN}-V_f$ となります。SW 電圧が High の時は、BOOT 電圧が $2 \times V_{IN}-V_f$ まで上昇した後、内蔵ダイオードにより $2 \times V_{IN}-V_f$ を維持します。よって、BOOT 電圧は $V_{IN}-V_f$ と $2 \times V_{IN}-V_f$ の間をスイッチングします(Figure 3)。

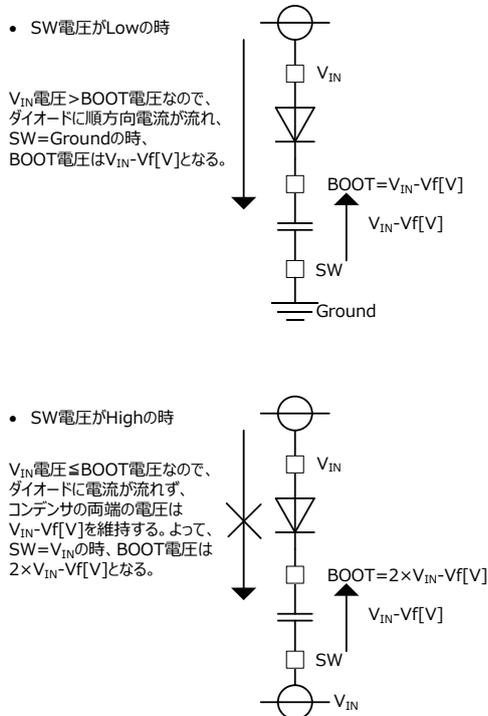
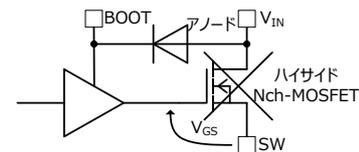


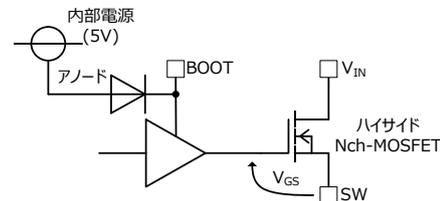
Figure 3. チャージポンプ型昇圧回路図

この BOOT 電圧をハイサイド Nch MOSFET のゲート電圧として用いると完全にオンさせる十分なゲート・ソース間電圧 V_{GS} が得られます。

この例では内蔵ダイオードのアノードを V_{IN} から得ていますが、計算にも表れている通り、 $2 \times V_{IN}-V_f$ まで BOOT 電圧が上昇します。ハイサイド Nch MOSFET のゲート・ソース間耐圧を超える場合も考えられるため、高入力電圧の製品では 5V 程度の内蔵電圧をアノードに接続し、ゲート・ソース間耐圧以下になるよう設計しています(Figure 4)。



ダイオードのアノードを V_{IN} にした場合、ハイサイドNch MOSFETのゲート電圧は最大 $V_{IN}-V_f[V]$ となります。 V_{IN} に高電圧を印加し、 V_{GS} 定格を超えると、ハイサイドNch MOSFETを破壊します。



ダイオードのアノードを5V程度の内部電源にすることで、ハイサイドNch MOSFETのゲート電圧は最大でも $5-V_f[V]$ となり、Nch MOSFETの V_{GS} 定格を超えず、ハイサイドNch MOSFETを保護できます。

Figure 4. V_{GS} 定格を超えないように考慮した方式

3. ブートストラップコンデンサ容量について

ブートストラップコンデンサの最低容量は各データシート記載の容量に従ってください。ブートストラップコンデンサにはセラミックコンデンサの内、サイズが小さいものを使用します。セラミックコンデンサは DC バイアス特性を考慮し、実容量がデータシート記載の容量に合っているか確認する必要があります。

DC バイアス特性とはセラミックコンデンサの両端にかかる DC 電圧により容量が変化する特性のことです。一般に DC 電圧が上昇するに従い、容量が減少する傾向にあります。また、サイズなどによって容量の変化値が異なります。

Figure 5 ではサイズ違いによる DC バイアス特性例を示しています。

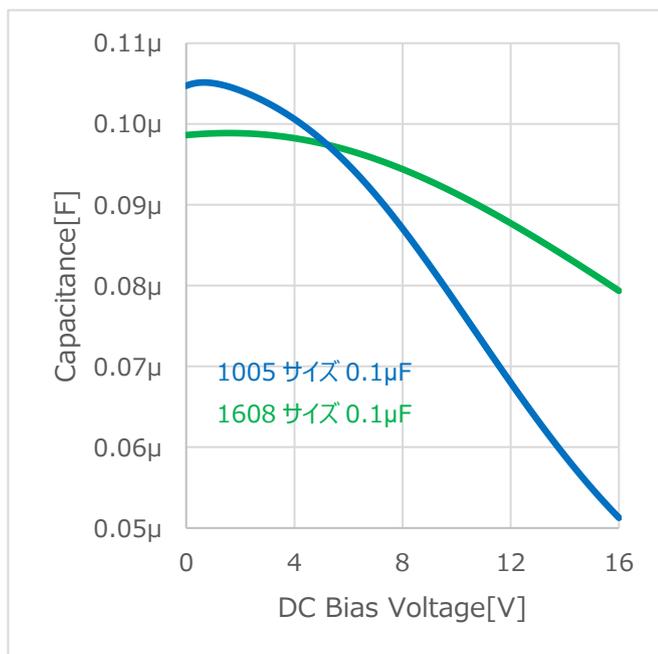


Figure 5. セラミックコンデンサの DC バイアス特性例

1005 サイズのセラミックコンデンサに 16V を印加した場合、公称値の 0.1µF を大きく下回り、半分ほどしかありません。ブートストラップコンデンサの最低容量は各 IC によって異なりますが、容量が小さくなりすぎると、ゲート駆動に必要な電荷が足りなくなります。電荷が足りなくなるとゲート駆動が安定して行えず、動作に支障が出ます。

ただし、サイズを大きくするとコストに影響するため、実容量が最低容量を満たす、最小のコンデンサを使用することをお勧めします。一方で、容量を大きくしすぎるとコンデンサ両端電圧の上昇が遅れ、ゲート駆動用の電圧が低くなってしまふ可能性があります。

適切な容量値は下記式から得られます。ハイサイド Nch MOSFET がオンの時にはブートストラップコンデンサに蓄えられていた電荷を消費し、ゲート駆動します。

$$Q_{LOSS} = Q_G + I_{BOOT} \times \frac{D}{f} \tag{1}$$

Q_{LOSS} : Nch MOSFET がオンしているとき、消費される全電荷量[C]

Q_G : ゲートチャージ、および、内部回路で損失される電荷[C]

I_{BOOT} : ブートストラップコンデンサから流れる電流[A]

f : スイッチング周波数[Hz]

D : スイッチングデューティ

この時、BOOT-SW 間電圧の変動量 ΔV_{BS} とブートストラップコンデンサの容量 C_{BOOT} 、 Q_{LOSS} の関係式は次の通りです。

$$C_{BOOT} \geq \frac{Q_{LOSS}}{\Delta V_{BS}} \tag{2}$$

ΔV_{BS} は 0.1V 以下にするのが望ましいので、

$$C_{BOOT} \geq \frac{Q_{LOSS}}{0.1} \tag{3}$$

と表せます。

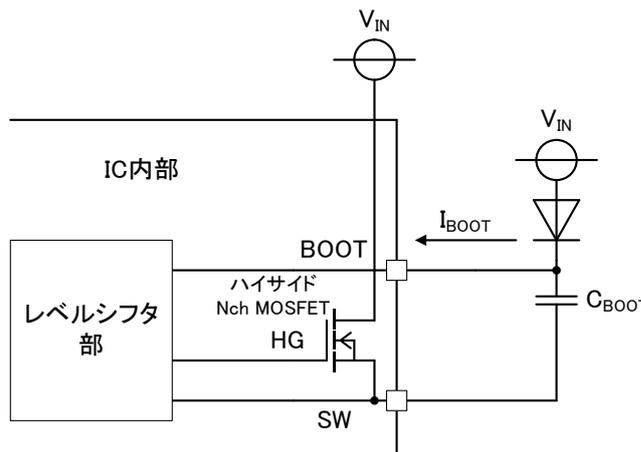


Figure 6. C_{BOOT} を決定するために必要な回路図

一例として、 $Q_G = 10\text{nC}$ 、 $I_{BOOT} = 10\text{nA}$ 、 $D = 0.3$ 、 $f = 1\text{MHz}$ の時を計算します。式(1)より、

$$Q_{LOSS} = 10\text{nC} + 10\text{nA} \times \frac{0.3}{1\text{MHz}} \cong 10\text{nC}$$

式(3)に代入して、

$$C_{BOOT} \geq \frac{10\text{nC}}{0.1} = 0.1\mu\text{F}$$

よって、 C_{BOOT} は 0.1µF 以上にするべきと求められます。

ただし、データシート記載の容量はこれらの式から得られた結果に従って設計されていますので、その値を使用してください。

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いません。
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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。
- 10) 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のですが、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、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 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/>