International
IOR Rectifier
DESIGN TIPS
DT 98-2J
International Rectifier • 233 Kansas Street El Segundo CA 90245 USA

コントロールIC用ブートストラップ回路部品の選定

Jonathan Adams

訳：アイアールファーイースト株式会社

トピック

- **ブートストラップ回路の動作**
- **ブートストラップ供給への影響要素**
- **ブートストラップコンデンサの値の算出**
- **ブートストラップダイオードの選定**
- **レイアウトの重要性**

１．ブートストラップ回路の動作

V_{bs} 電圧（コントロールICの V_s ピンと V_b 間の電位差）は、コントロールICのハイサイドドライブ回路に電源を供給します。 これは、コントロールICがドライブするMOS Gated Transistor (MGT)を確実にエンハンス（フルオン）するため、10～20Vレンジであることが必要となります。 IRのコントロールICのいくつかには V_{bs} 部の低電圧保護機能があり、V_{bs} 電圧（データシート上の V_{bsuv}）が一定の電圧レベルを下回った場合、ICがMGTをドライブしないようにします。 これは、MGTを高損失モードで動作させないためです。

この V_{bs} 電源電圧はフローティング電源で V_s 電圧（ほとんどの場合、高周波での方形波となる）の上に位置します。 V_{bs} フローティング電源を作る方法にはたくさんあり、これらの中のひとつに、ここで述べているこのデザインチップのブートストラップの方法があります。 この方法は簡単で安価であるという利点がありますが、いくつかの制限もあります。 デューティサイクルとオンタイムはブートストラップコンデンサにおいての充電リフレッシュの要求により制限されます（長いオン時間と高いデューティサイクルはチャージポンプ回路を必要としますのでアプリケーションノートAN-978を参照下さい)。 ブートストラップ電源は次頁図１に示すダイオードとコンデンサの組み合わせによって構成されています。

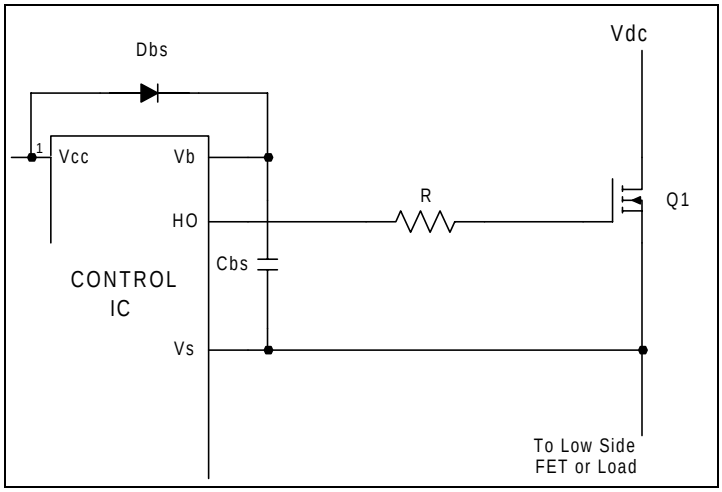

図１：IR 社コントロールIC を使用したブートストラップダイオード / コンデンサ回路

回路の動作は次のようになります。 V_s がグランドまで低下した場合（回路の構成により、ローサイドFET または負荷を通じて)、ブートストラップコンデンサ（C_{bs}）は15V V_{cc} 電源からブートストラップダイオード（D_{bs}）を通じて充電されます。 このようにして V_{bs} へ電源を供給します。

２．ブートストラップ電源への影響要素

Vbs コンデンサからの電源要求に寄与する５つの要素があります。 それらは次のようなものです:

1. MGT をエンハンス（フルオン）するために要求されるゲートチャージ
2. ハイサイドドライバ回路用の I_{qbs} - 消費電流
3. コントロール IC のレベルシフタ内においての電流
4. MGT ゲートソース順方向漏れ電流
5. ブートストラップコンデンサの漏れ電流

5番目の要素（ブートストラップコンデンサの漏れ電流）はブートストラップコンデンサが電解コンデンサである場合のみであり、その他のコンデンサの場合無視することができます。

３．ブートストラップコンデンサ値の算出

次の計算式はブートストラップコンデンサによって供給される必要な最小電荷の詳細です。

$$Q_{bs} = 2Q_g + \frac{I_{qbs(\max)}}{f} + Q_{ls} + \frac{I_{Cbs(leak)}}{f} \qquad \cdots \text{ 式(1)}$$

Q_g =ハイサイドFETのゲート電荷容量
f =周波数
$I_{cbs(leak)}$ =ブートストラップコンデンサリーク
Q_{ls} =周期ごとによって必要とされるレベルシフトチャージ=5nC(500V/600V)または20nC(1200V IC's)

ブートストラップコンデンサはこの電荷を供給し、その最大電圧を保持しなければなりません。 さもなければかなりの量のリプルが V_{bs} 電圧上に存在することになり、V_{bsuv} 低電圧保護電圧以下に低下し、そしてHO出力の機能が停止することにもつながります。 従って、C_{bs} コンデンサの電荷は上記の値の最低２倍以上でなければなりません。 最小コンデンサの値は下記の式から計算されます。

$$C \geq \frac{2\left[2Q_g + \frac{I_{qbs(\max)}}{f} + Q_{ls} + \frac{I_{Cbs(leak)}}{f}\right]}{V_{cc} - V_f - V_{LS}} \qquad \cdots \text{ 式(2)}$$

V_f = 順方向電圧はブートストラップダイオードにおいて低下
V_{LS} = 電圧はローサイドFETにおいて低下（またはハイサイドドライバの負荷において）

重要事項 ：

上記の式(2)から算出出来るCbsコンデンサの値は最低限必要とされるものです。しかしながらブートストラップ回路動作の特性によって、小容量コンデンサは過充電を引き起こす可能性もあり、それによりICにダメージを与えます。 従って、過充電リスクを最小にし、Vbs電圧上のリプルのさらなる低減のために、上記の式から得られたCbsを１５倍程度したものを目安とする。

C_{bs} コンデンサはハイサイドデバイスがオフの場合でかつ V_s 電圧がグランドまで引き下げられた時のみ充電します。 従って、ローサイドスイッチのオンタイム（あるいはハイサイドスイッチのオフタイム）は、ハイサイドドライバによって C_{bs} コンデンサから引き出される電荷が完全に補充されるのに十分な長さにしなければなりません。 これは、ローサイドスイッチのオン時間には最小値があることを意味します。 また負荷が充電経路の一部であるようなハイサイドスイッチ構成の場合、負荷のインピーダンスは C_{bs} ブートストラップコンデンサの充電にかなりの影響があります - もしインピーダンスが非常に高い場合、コンデンサは満足に充電することが出来ず、そしてチャージポンプ回路が必要とされるでしょう。（アプリケーションノートのAN-978を参照下さい。）

４．ブートストラップダイオードの選定

ブートストラップダイオード（D_{bs}）は主回路電圧をブロックする必要があります、これは、ハイサイドデバイスがオンになった時に見られます。 ブートストラップコンデンサから V_{cc} 電源への逆流を最小にするためには、ファーストリカバリダイオードでなければなりません。 そして同様に高温逆漏れ電流は、コンデンサが長時間電荷を蓄積しなければならない場合、重要となります。 ダイオードの電流定格は式(1)から算出された電荷とスイッチング周波数の積で求めます。

従って、ダイオードの特性は

V_{rrm} = 主回路デバイス電圧

$\max t_{rr}$ = 100ns

I_f = $Q_{bs} \times f$

5．レイアウトの重要性

ブートストラップコンデンサは常に可能な限りICピンの近くに設置されなければなりません。（図２）

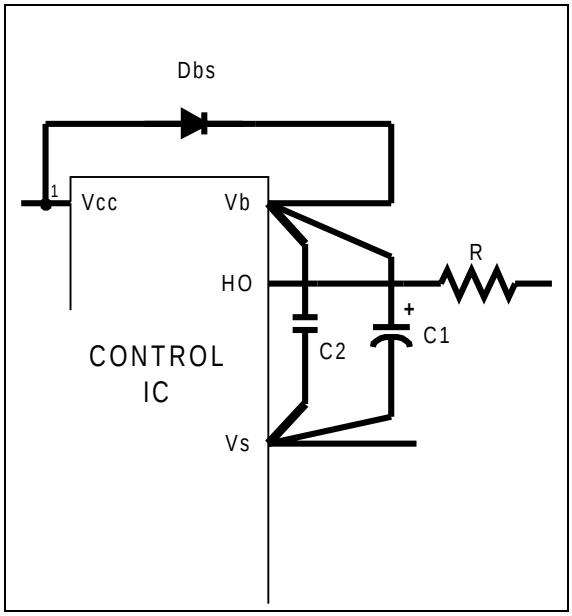

図２：ブートストラップ回路部品の推奨レイアウト

少なくとも ひとつは低ESRコンデンサをデカップリングとして使用し、たとえば、アルミ電解コンデンサがブートストラップコンデンサとして使用された場合、ICの近くに別にセラミックコンデンサを接続することが重要になります。 ブートストラップコンデンサがセラミックまたはタンタルコンデンサタイプの場合、これ自身にバイパスコンデンサとしての能力があります。