

ゲートドライバのブートストラップ回路に関する考慮事項

導入

N チャネル MOSFET または IGBT に基づくハーフブリッジを駆動するには、主電源よりも高いゲート電圧をハイサイド スイッチに提供する必要があります。このオーバードライブがないと、ハイサイド スイッチが適切にバイアスされず、パワーステージのパフォーマンスに大きな影響を与えます。

この追加電圧を生成する最も一般的な方法の 1 つは、スイッチング ノードに直列に接続されたコンデンサとダイオードで構成されるブートストラップ回路です。

この文書では、この回路の基本原理について説明し、コンポーネントの適切な選択に関するガイドラインを提供します。



1 基本

1.1 頭字語と略語のリスト

以下は、文書内で使用されている頭字語と略語とその意味のリストです。

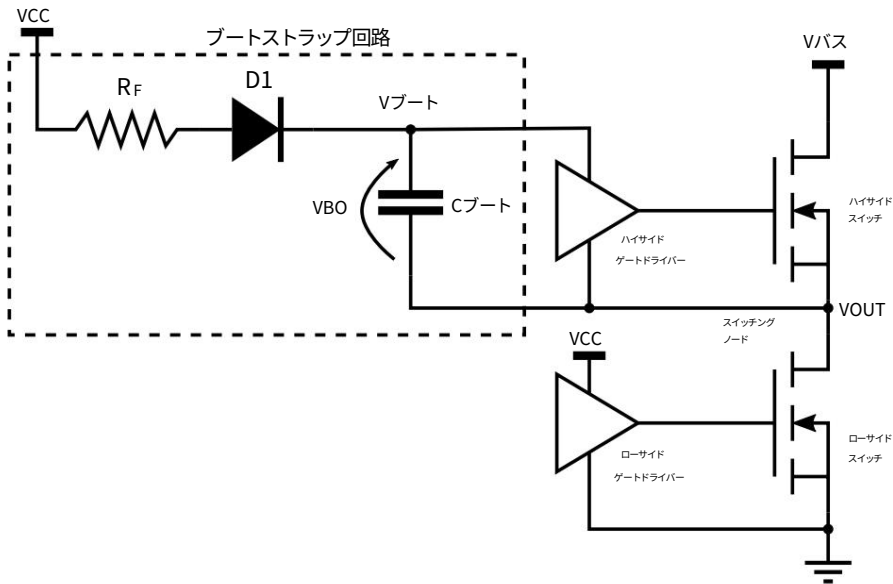
表 1.頭字語と略語のリスト

	説明
MOSFET	金属酸化物半導体電界効果トランジスタ
IGBT	絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ
HS	ハイサイド。これは、一般に、パワー段出力 (つまり、スイッチング ノード) を参照する回路を示します。
LS	ローサイド。これは一般に、パワーステージのグランドを基準とする回路を指します。
PWM	パルス幅変調
VLOOK	不足電圧ロックアウト。電源電圧が所定の電圧を下回った場合に、回路を強制的に安全な段階に置く保護です。目標の閾値。
6ステップ	台形制御とも呼ばれる、三相ブラシレスモーターの制御アルゴリズムです。
火	フィールド指向制御。これは閉ループであり、三相ブラシレス モーターを駆動する制御アルゴリズムです。
SVM	空間ベクトル変調。これは、三相モーター インバーターのパワー段の駆動戦略です。
変調 索引	モーター駆動アルゴリズムでは、モーターに印加される電圧ベクトルの振幅を次のように表します。パワー段の供給電圧のパーセンテージ。

1.2 基本動作原理

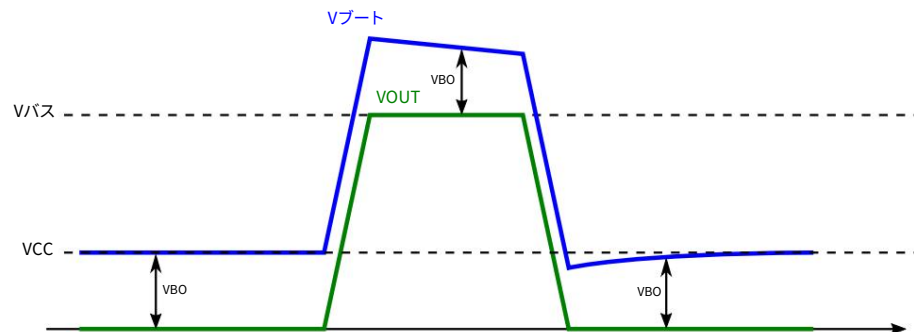
ブートストラップ回路の典型的な回路図を図1 に示します。

図 1.ブートストラップ回路



LS スイッチがオンの場合、CBOOTブートストラップ コンデンサはブートストラップ ダイオード (D1) を通じて充電されます。巡回 HS スイッチでは、OUT ノードがVBUSまで上昇し、ダイオードが逆バイアスになります。CBOOT (VBO)の電圧は次のとおりです。維持されると、その結果、VBOOT がVBUSよりも上昇し、HS を維持するために必要な追加の電圧が提供されます。

図 2. 時間図

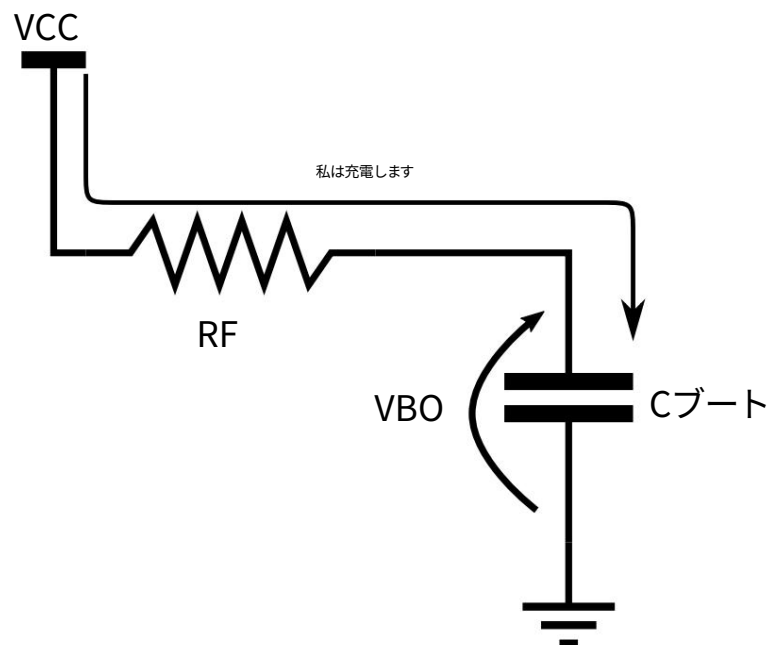


1.3

充電フェーズと放電フェーズ前のセクション

で紹介したように、ブートストラップ コンデンサの充電は、LS スイッチを介して OUT ノードを強制的に接地するために実行されます。

図 3. CBOOT 充電時の等価回路



充電段階中のブートストラップ コンデンサの電圧増加は、次の式で表されます。

式 1

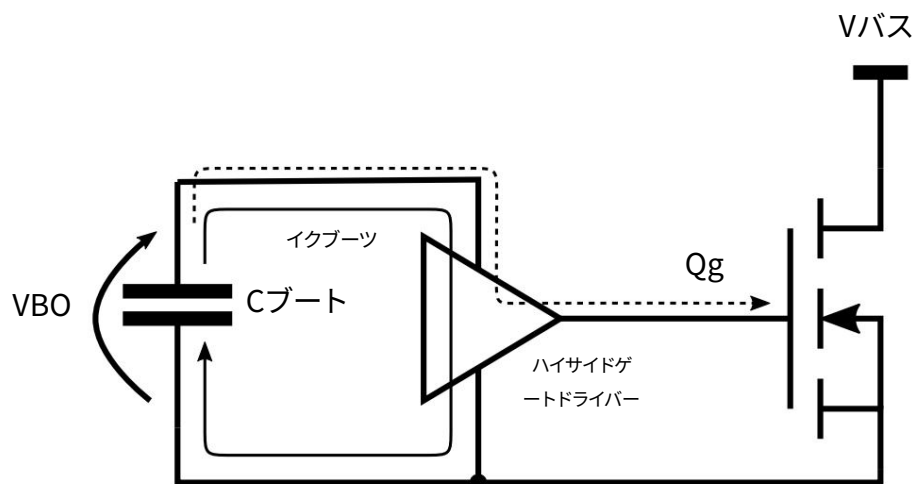
$$V_{BO}(t) = V_{CC} - (V_F + V_{BO}(t_0)) \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{R_F \cdot C_{BOOT}}} \right) \quad (1)$$

どこ :

- V_{BO} はブートストラップ コンデンサ CBOOT の電圧です。
- $V_{BO}(t_0)$ は充電フェーズの開始時の開始電圧です。 • V_{CC} はゲート ドライバの電源電圧です。
- V_F はブートストラップ ダイオード (図1 の D1) の順方向電圧です。
- R_F は、ブートストラップ ダイオード (図1の D1) のオン抵抗を含むブートストラップ回路の等価直列抵抗です。

HS がオンになると、ブートストラップ コンデンサが放電されます。

図4。CBOOT放電時の等価回路



この場合、駆動回路に提供される電荷を使用してVBO変動を計算する方が便利です。

2つの部分で構成されます。1つはスイッチをオンにするためにHSゲート駆動回路によって提供される部分(つまり、総ゲート電荷)、もう1つは回路のバイアスを維持するために必要な部分です。

結果として得られる式は次のとおりです。式2

$$\Delta VBO(t) = \frac{Qg + IBOOTq \times t}{C_{ブート}} \quad (2)$$

どこ：

- ΔVBO は、放電段階での電圧低下です。
- Qg は HS の総ゲート電荷です。 $IBOOTq$ は、CBOOT
- に接続されている回路の静止電流です。

式2を使用して式1のVBO(t0)を計算すると、各充電および放電サイクルの終了時に得られるVBO電圧を推定することができます。

2 ユースケース

次のセクションでは、いくつかの一般的な使用例について説明します。

2.1 一定のデューティサイクル

一定のスイッチング周波数とデューティサイクルで動作する場合、HS スイッチと LS スイッチのオン時間は次のようになります。も一定です。

RF・CBOOTの約5倍のセトリングタイムの後、充電によりブートストラップオーバードライブ電圧が安定します。電圧変化は放電電圧に等しい。

式1と式2 から開始すると、最小電圧 (つまり、放電段階の終了時) は次のようになります。次の式で計算されます。

式 3

$$\Delta V_{BO}(t_{onLS}) = \Delta V_{BO}(t_{onHS}) \quad (3)$$

$$V_{BO,分} = (V_{CC} - V_F) - \frac{Q_g + I_{BOOT} \times t_{onHS}}{C_{ブート}} \left(1 - e^{-\frac{t_{onLS}}{R_F \times C_{ブート}}} \right)$$

どこ：

- t_{onLS} は LS スイッチオン時間です。
- t_{onHS} は HS のスイッチオン時間です。

2.2 最大オンタイム

最大 HS オン時間は、式2 から計算できます。

式 4

$$\Delta V_{BO}(t_{onHS,最大}) = V_{BO}(t_0) - V_{UV} \quad (4)$$

$$t_{onHS,最大} = \frac{(V_{BO}(t_0) - V_{UV}) \times C_{BOOT} - Q_g}{I_{ブートq}}$$

どこ：

- $V_{BO}(t_0)$ は開始電圧です。最良の場合は、ブートストラップ コンデンサが完全に充電され、次の値に等しいときです。 $V_{CC} - V_F$ 。
- V_{UV} は、HS の適切な動作を保証できない低電圧しきい値です。スイッチ。ほとんどの場合、これはゲート ドライバー IC の $UVLO$ レベルと同じです。

2.3 モーター駆動

ハーフブリッジが三相モータードライバーの一部である場合、回転電流を生成するためにそのデューティサイクルが変化します。モーターの上で。

回転電流の生成は、台形 (6 ステップ) または正弦波 (FOC など) 整流に基づくことができます。

台形整流は、モーターの電気回転を 60° の 6 つのセグメントに分割します。

ベクトルが 4 象限になると、3 相に異なる駆動が適用されます。

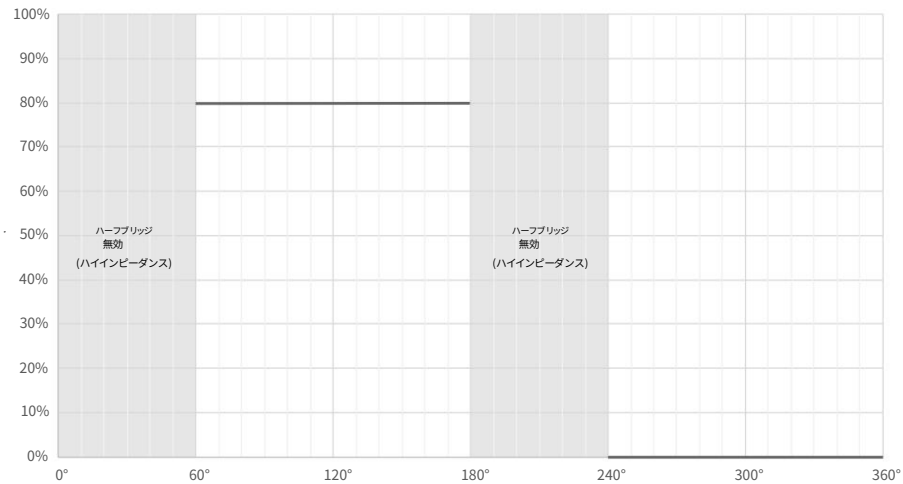
各象限で 1 方向のみが使用され、合計 6 方向が使用されるため、整流に 6 ステップという名前が付けられます。方法。

正弦波整流では、最も一般的な駆動戦略は空間ベクトル変調 (SVM) です。各ハーフブリッジのデューティ サイクルは、連続的な回転を得るターゲットベクトルの方向に従って調整されます。したがって、正弦波電流が発生します。

2.3.1 台形整流（6ステップ）

各状態に適用されるデューティ サイクルは一定であると考えることができるため、ブートストラップの動作は変わりません。
回路はセクション 2.1 で説明したケースと同等です

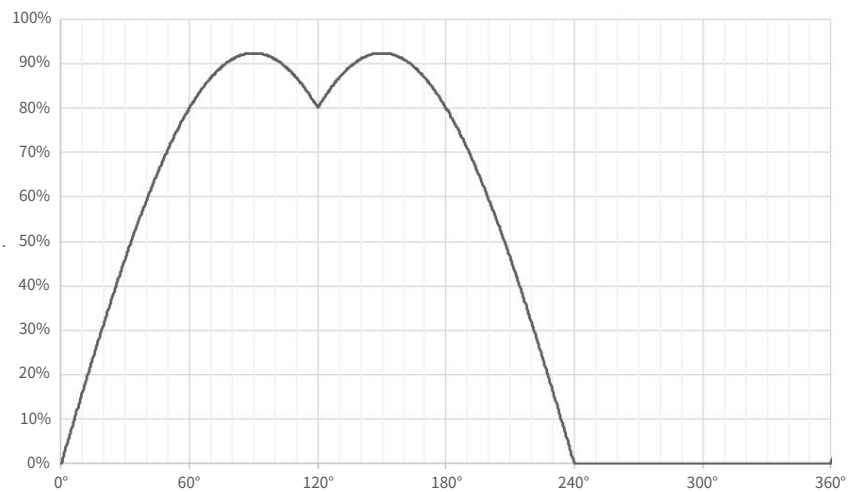
図5.台形駆動例（変調率80%）



2.3.2 不連続 PWM による空間ベクトル変調

SVM のこの実装では、セグメントごとに 2 つのハーフブリッジを使用してベクトルの方向を制御します。
3 番目のものはデューティ サイクル 0% に固定されています（つまり、常にグラウンドに接続されています）。

図 6.不連続 PWM を使用した SVM の例 (変調指数 80%)



このシーケンスにより、0% デューティサイクル段階でブートストラップ コンデンサが完全に再充電され、回路の寸法決定が容易になります。

デューティサイクルは連続的に変化するため、デューティサイクルの計算式を定義するのは困難です。
最小限のVBOと通常はシミュレーションが必要です。

図 7.不連続 PWM を使用した SVM: VCC - VBO、PWM 周波数とQgによる最小変動

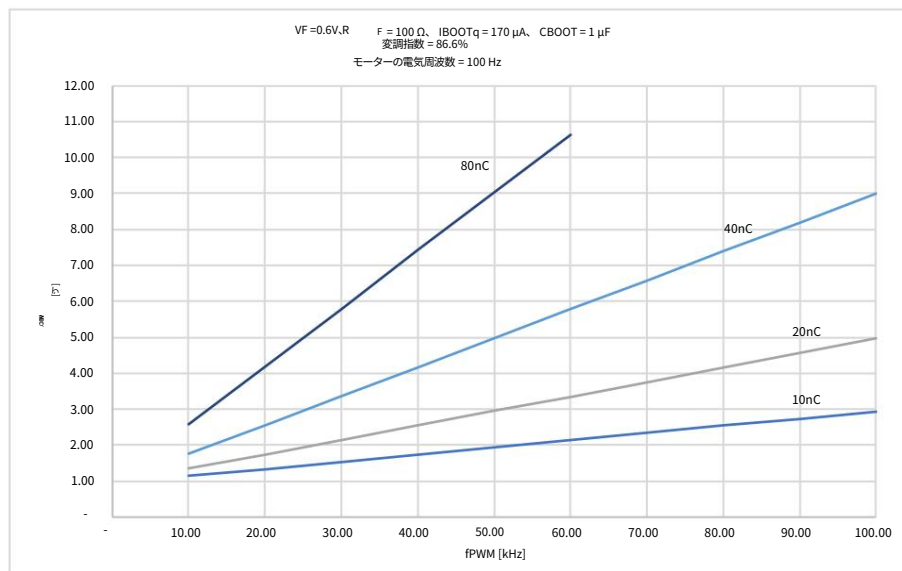
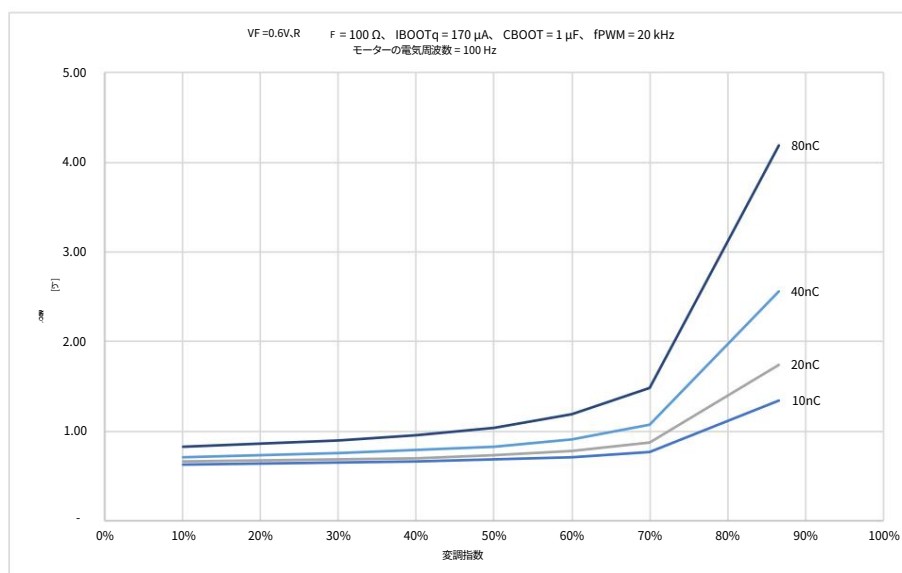


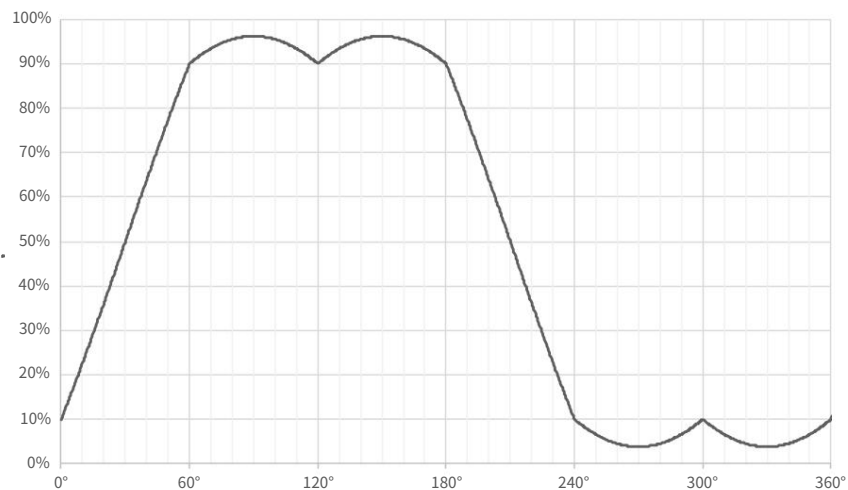
図 8.不連続 PWM を使用した SVM の例: VCC - VBO、変調指数とQgによる最小変動



2.3.3 連続 PWM による空間ベクトル変調

SVM のこの実装では、可変デューティ サイクルがすべてのハーフブリッジに適用されるため、ブートストラップ コンデンサは常に充電段階と放電段階の影響を受けます。

図 9. 連続 PWM を使用した SVM の例 (変調指数 80%)



この場合も、最小VBOとシステム動作の計算式を定義することが困難です。
シミュレーションを通じてのみ推定できます。

図 10. 連続 PWM を使用した SVM – PWM 周波数Qgによる VBO、最小変動

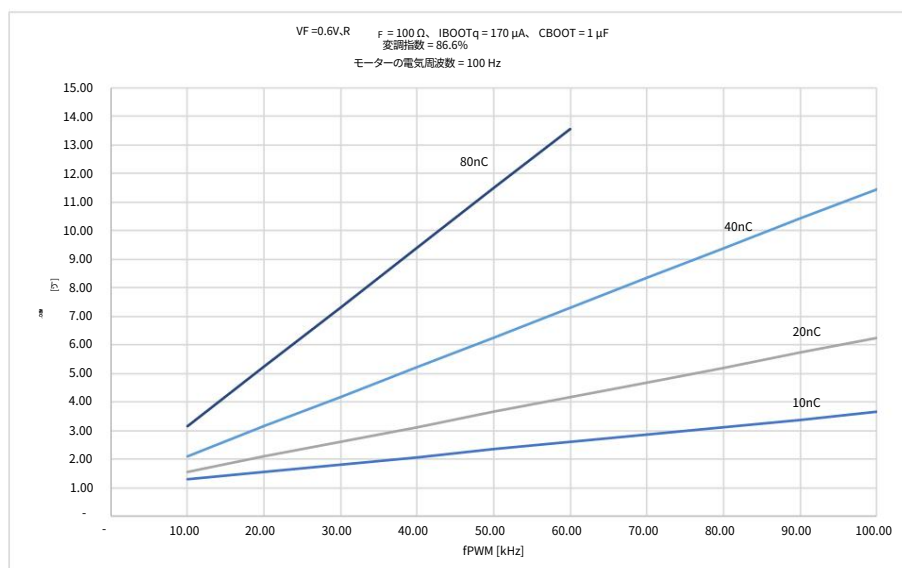
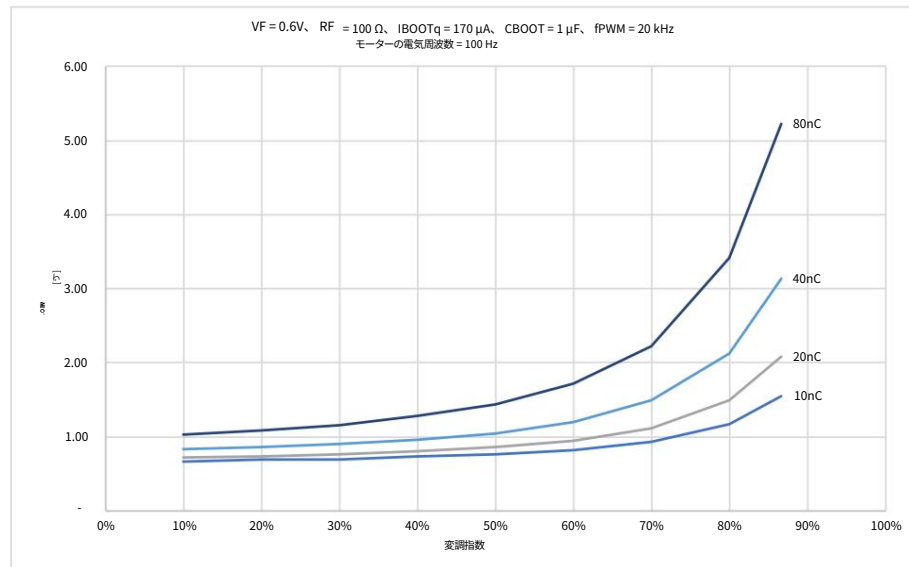


図 11. 連続 PWM を使用した SVM の例 – 変調指数と Q_g による VBO、最小変化



改訂履歴

表 2.文書の改訂履歴

日付	バージョン	変更点
2022 年 3 月 23 日	1	初回リリース。



コンテンツ

1	基本.....	2
1.1	頭字語と略語のリスト.....	2
1.2	基本動作原理	2
1.3	充電フェーズと放電フェーズ.....	3
2	使用例	5
2.1	一定のデューティ サイクル	5
2.2	最大オン時間	5
2.3	モーターの駆動	5
2.3.1	台形転流（6 ステップ）	6
2.3.2	不連続 PWM を使用した空間ベクトル変調.....	6
2.3.3	連続 PWM による空間ベクトル変調	7
	改訂履歴	10
	テーブル一覧	12
	図表一覧.....	13



テーブルのリスト

表1。 頭字語と略語のリスト2

表 2.文書の改訂履歴10



フィギュア一覧

図1。 ブートストラップ回路2

図2。 タイムチャート3

図3。 CBOOT充電時の等価回路3

図4。 。 CBOOT 放電時の等価回路4

図5。 台形駆動例（変調率80%）6

図 6.不連続 PWM を使用した SVM の例 (変調指数 80%) 6

図 7.不連続 PWM を使用した SVM: VCC - VBO、 PWM 周波数およびQgによる最小変動..... 7

図 8.不連続 PWM を使用した SVM の例:変調指数とQgによるVCC - VBO、最小変動..... 7

図 9.連続 PWM を使用した SVM の例 (変調指数 80%) 8

図 10.連続 PWM を使用した SVM – PWM 周波数Qgによる VBO,min の変動..... 8

図 11. 連続 PWM を使用した SVM の例 - 変調指数とQgによる VBO,min の変化 9



重要なお知らせ – よくお読みください

STMicroelectronics NV およびその子会社 (「ST」) は、予告なしにいつでも ST 製品および/または本書に変更、修正、機能拡張、変更、改善を行う権利を留保します。購入者は注文する前に、ST 製品に関する最新の関連情報を入手する必要があります。ST 製品は、注文確認時に定められた ST の販売条件に従って販売されます。

ST 製品の選択、選択、および使用については購入者が単独で責任を負い、ST はアプリケーションの支援や購入者の製品の設計については一切の責任を負いません。

ST は、明示的か黙示的かを問わず、いかなる知的財産権に対するライセンスも付与しません。

ここに記載されている情報と異なる条項が記載された ST 製品を再販した場合、当該製品に対して ST が付与した保証は無効になります。

ST および ST ロゴは ST の商標です。ST の商標に関する追加情報については、www.st.com/trademarks を参照してください。他のすべての製品名またはサービス名は、それぞれの所有者の財産です。

この文書の情報は、この文書の以前のバージョンで提供されていた情報に優先し、置き換えられます。

© 2022 STマイクロエレクトロニクス – 無断複写・転載を禁じます