

<DIIPM >

# DIIPM ブートストラップ回路設計の手引き

## DIIPMアプリケーションノート目次

<b>1章 ブートストラップ回路定数設計</b> .....	<b>2</b>
1. 1 ブートストラップ回路動作 .....	2
1. 2 初期充電.....	2
1. 2. 1 初期充電方法 .....	2
1. 2. 2 初期充電時間について.....	3
1. 2. 3 動作停止中のBSC電圧の低下について.....	4
1. 3 インバータ動作中の充電動作 .....	5
1. 3. 1 充電の基本動作説明 .....	5
1. 3. 2 三相正弦波制御の場合の充電について .....	7
1. 3. 3 駆動条件による充電状態への影響について .....	9
1. 3. 4 ブートストラップコンデンサ容量の検討方法.....	13
1. 3. 5 電流制限抵抗について.....	13
1. 3. 6 ブートストラップ回路定数設定時の注意点.....	15
1. 4 その他制御方式時の消費電流.....	16

### [巻末]

- ・ 特記事項
- ・ 安全設計に関するお願い
- ・ 本資料ご利用に際しての留意事項

# DIIPM ブートストラップ回路設計の手引き

## 1章 ブートストラップ回路定数設計

### 1.1 ブートストラップ回路動作

DIIPMでは、ブートストラップ回路を用いたフローティング電源により、通常のインバータ回路駆動時に必要な4つの独立電源(P側IGBT駆動用3相分+N側IGBT駆動用)をN側駆動用制御電源1つで動作させることができます。

ブートストラップ回路は、ブートストラップダイオード(以下BSD)とブートストラップコンデンサ(以下BSC)、電流制限抵抗で構成されます。(図1-1)

P側IGBTの駆動にBSCを電源として使用し、P側(IGBT,MOSFETなど)オン時のゲートチャージ及び、P側素子の駆動IC内ロジック回路の消費電流を供給します。(図1-2 コンデンサが電源の代わりであるため、その電流供給能力には制限があり、ブートストラップ回路によるP側駆動は、比較的消費電流が小さいDIIPMに特に適した方法です。)

回路駆動により消費された電荷は、インバータ動作中に各相の出力端子(U端子など)の電位がGNDレベル付近まで下がることで、N側15V制御電源から制限抵抗、BSDを通して、コンデンサに充電されます。

ただし、P側素子のSWシーケンス、BSCの容量、制限抵抗値など使用条件によっては、必要な電荷量に対して十分な充電が行われず、BSCの電位が電源電圧低下(UV)保護レベル以下に低下し、P側IGBTのSW停止やゲート電圧(≒コンデンサ電圧)の低下によるP側IGBTの損失増加につながりますので、コンデンサの容量など回路定数の設定時には十分な検討、評価が必要です。

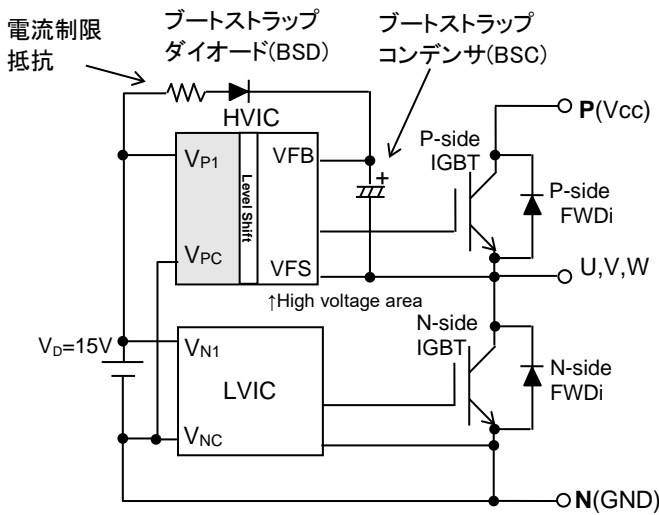
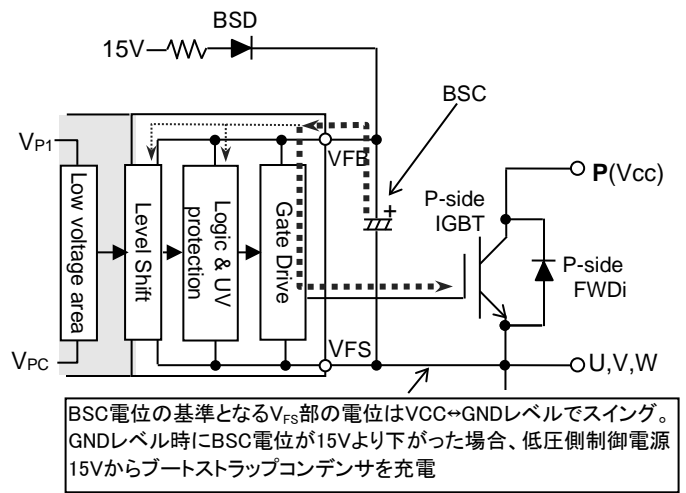


図1-1 ブートストラップ回路



BSC電位の基準となるVfs部の電位はVCC⇄GNDレベルでスイング。GNDレベル時にBSC電位が15Vより下がった場合、低圧制御電源15Vからブートストラップコンデンサを充電

図1-2 ブートストラップ回路

### 1.2 初期充電

#### 1.2.1 初期充電方法

ブートストラップ回路を用いる場合、初期始動前、あるいは、IPMの一定時間休止後(1秒程度でも)には、BSCの電圧がUV保護レベルより下がっている可能性があるため、始動前にBSCをあらかじめ初期充電する必要があります。

BSCの充電は、通常N側IGBT全相をオンさせて行います。モータなどの負荷がつながっている場合は、1相をオンさせるだけでもモータ内配線を通して、他相の出力端子電位も低下し充電できる場合があります。ただし、モータ内の配線抵抗などにより、コンデンサの充電効率は低下する可能性があります。

充電は、ワンパルスで行う方法と、15V制御電源の供給能力、BSDのサージ順電流や制限抵抗の許容損失などの制限がある場合に複数回のオンパルスにて行う方法もあります。

初期充電時には、十分充電できる時間幅の入力パルスの印加が必要です。

# DIIPM ブーストラップ回路設計の手引き

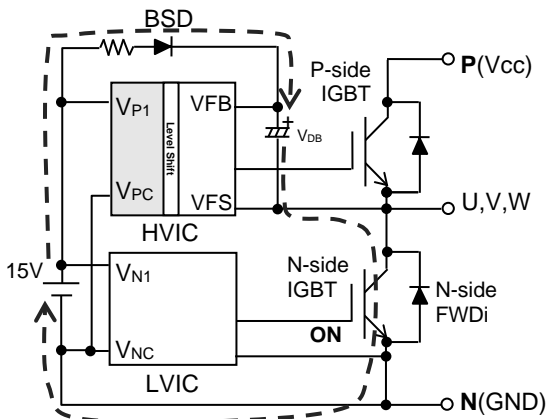


図1-3 初期充電経路

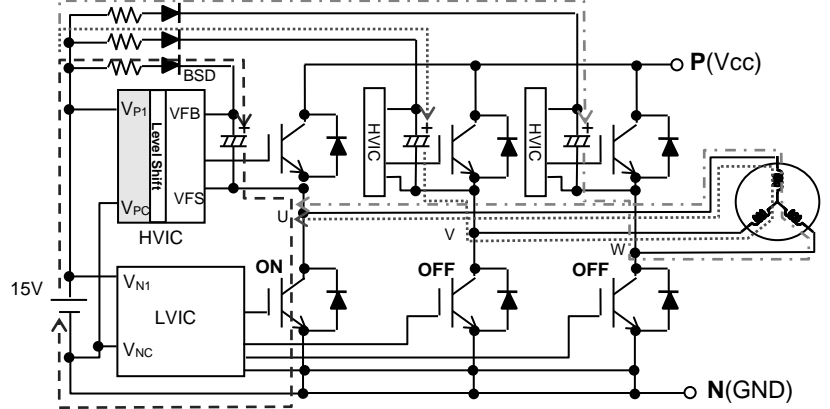


図1-4 1相のみオン時初期充電経路例

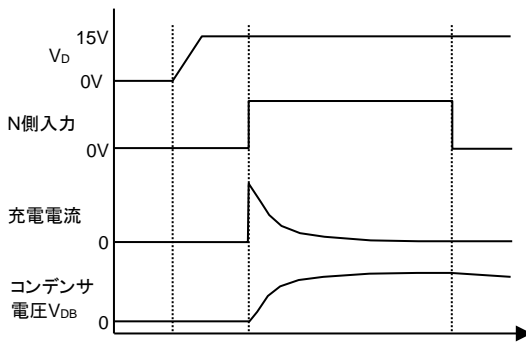


図1-5 ワンパルスでの充電波形例

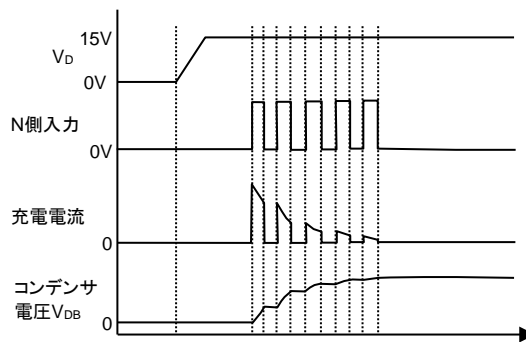


図1-6 複数パルスでの充電波形例

## 1. 2. 2 初期充電時間について

初期充電に必要な時間は、BSC容量、BSDの $V_F$ 、制限抵抗値に依存し、充電は概ねBSC容量と制限抵抗値による時定数を持って行われます。

超小型DIIPM Ver.5 PS219B2(BSD及び制限抵抗( $typ=100\Omega$ )内蔵)にて、 $V_D=15V$ 時の $BSC=22$ 、 $100\mu F$ とした場合の充電波形(計算例)を図1-7に示します。

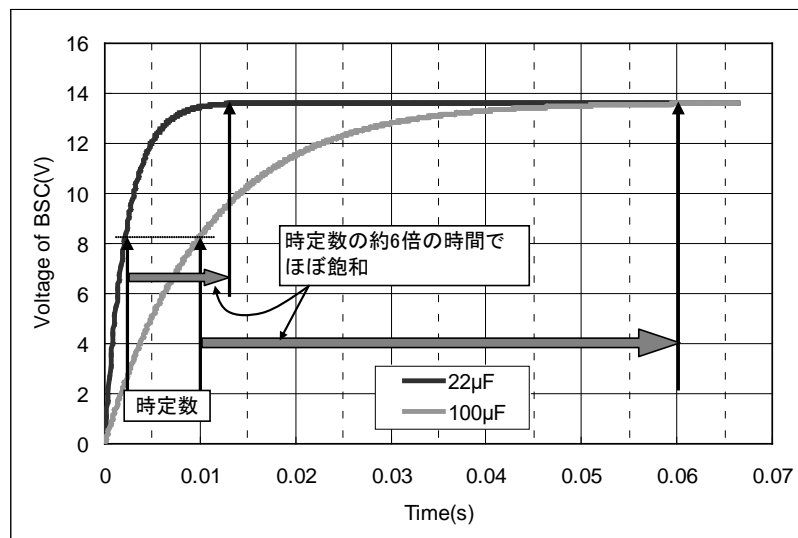


図1-7 初期充電波形例

図のように時定数 ( $22\mu F$ 時 $2.2ms(=22\mu F \times 100\Omega)$ ,  $100\mu F$ 時 $10ms$ )では、飽和充電電圧の約6割までしか充電されないため、飽和するまで充電するには、時定数の約6倍の時間が必要です。また、飽和充電電圧は、図1-3に示すように充電経路にあるBSD,N側IGBTのオン電圧により低下しますので、制御電源電圧 $V_D=15V$ より合計で $1.2V$ 程度低くなります。

初期充電は、少なくとも $V_{DB}$ の推奨電源電圧範囲である $13V$ 以上になるまで実施してください。(充電後、インバータ動作

# DIPIPM ブートストラップ回路設計の手引き

(開始までの時間の低下分を考慮して、13Vより高めに充電することを推奨します。)

BSCが十分に充電された後、インバータ(PWM入力)スタート前にP側保護状態のリセット用パルスを入力することを推奨いたします。入力するパルス幅は、各製品に規定の最小許容入力パルス幅で問題ありません。(超小型DIPIPM Ver.5 PS219B2であれば 0.7μs。各製品のデータシートを参照ください。)

## 1. 2. 3 動作停止中のBSC電圧の低下について

インバータ動作の停止中にもBSC電圧は、ICの電力消費により低下します。時間に対する低下量は、BSC容量CとP側の定常消費電流 $I_{DB}$ (超小型DIPIPM Ver.5 PS219B2の場合は、max 0.1mA)で計算可能です。定常消費電流につきましては製品により異なりますので、各製品のデータシートで確認ください。

$$\text{低下量 } \Delta V = I_{DB} \times t / C \text{ (t:放電時間)}$$

停止時間が長くなり、 $V_{DB}$ の推奨電源電圧範囲である13Vを下回る場合には、インバータ始動前に再充電が必要です。図1-8に超小型DIPIPM Ver.5の場合の低下量計算例を示します。(条件: BSC初期充電電圧15V、 $I_{DB}$ 最大値=0.1mA、BSC=22, 100μF)

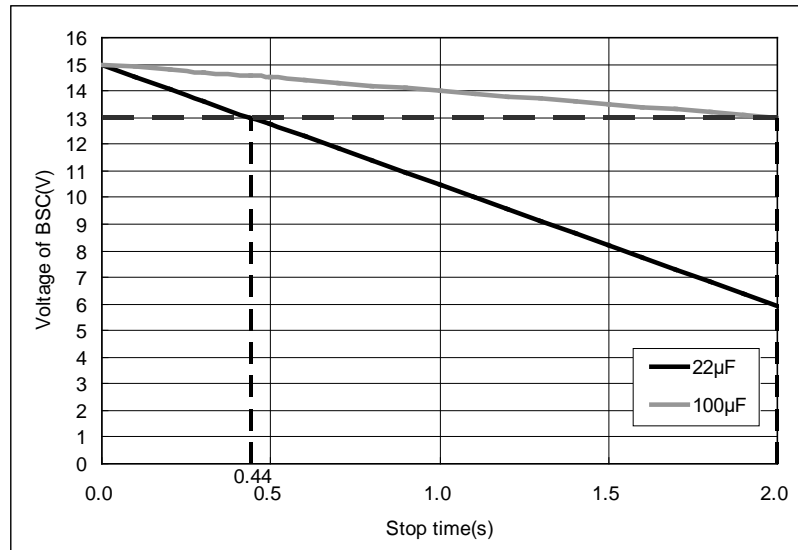


図1-8 動作停止中の電圧低下計算例

BSC=22μFの時には、放電開始電圧15Vとした場合に0.44s以上休止した場合は、動作開始前に再充電が必要となります。0.7s休止した場合には、12V以下にまで下がり、UV保護がかかるレベルになる可能性があります。(本結果は計算例です。最終的には実機にて確認・評価してください。)

# DIIPM ブーストラップ回路設計の手引き

## 1.3 インバータ動作中の充電動作

### 1.3.1 充電の基本動作説明

3相正弦波制御などのPWM信号によるインバータ動作中にP側IGBTのゲートチャージなどにより消費されたブーストラップコンデンサ(以下BSC)の電荷は、N側IGBTがオン、あるいは、P側IGBTオフ後の還流時にその相の出力端子(U端子など)の電位がGNDレベル付近まで下がることで、VFB端子の電位( $V_{FB}$ )がN側制御電源電圧(15V)より低くなった場合に、充電電流がブーストラップダイオード(以下BSD)を通して流れ、BSCが充電されます。

(実際にはBSDがオンする必要があるため、 $V_{FB}$ の電位が制御電源電圧15VよりもBSDのターンオン電圧(約0.6V)以上低い場合に充電電流が流れ始めます。)(図1-9,10)

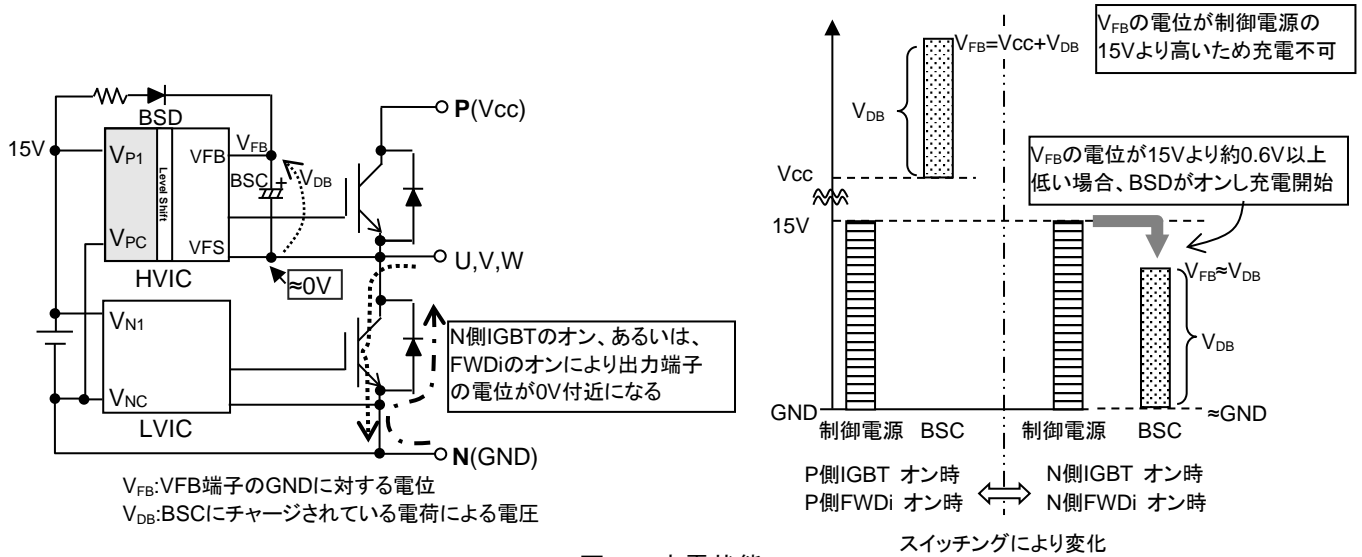


図1-9 充電状態

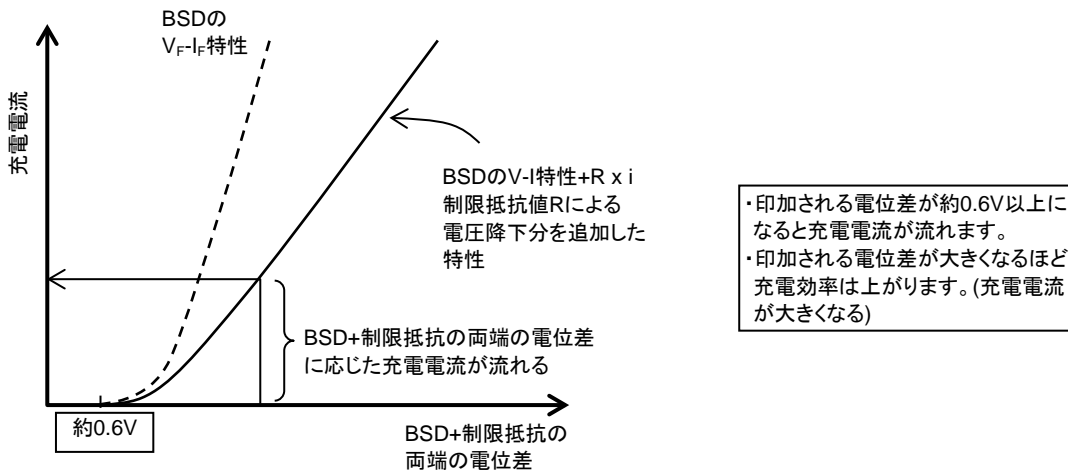


図1-10 制限抵抗値と充電電流

実動作時には、出力電流の方向すなわち電流が流れる素子(N側IGBTあるいはN側FWDi)及び電流値により、出力端子電位(=BSCの基準電位)が一定ではなく変動するため、それに合わせて $V_{FB}$ も上下動します。したがって、N側IGBTがオン、あるいは、N側FWDiがオンした際にかかわらずBSCを充電しているわけではありません。以下に充電状態について説明します。

インバータ動作時の充電状態には、以下の2状態があります。

- ・モード1 P側IGBT通電後のN側FWDiへの還流時
- ・モード2 N側IGBTの通電時

各モード時の出力電流の流れを図1-11に示します。また、各充電モードは出力電流の向きで決まります。(図1-12)

# DIIPM ブーストラップ回路設計の手引き

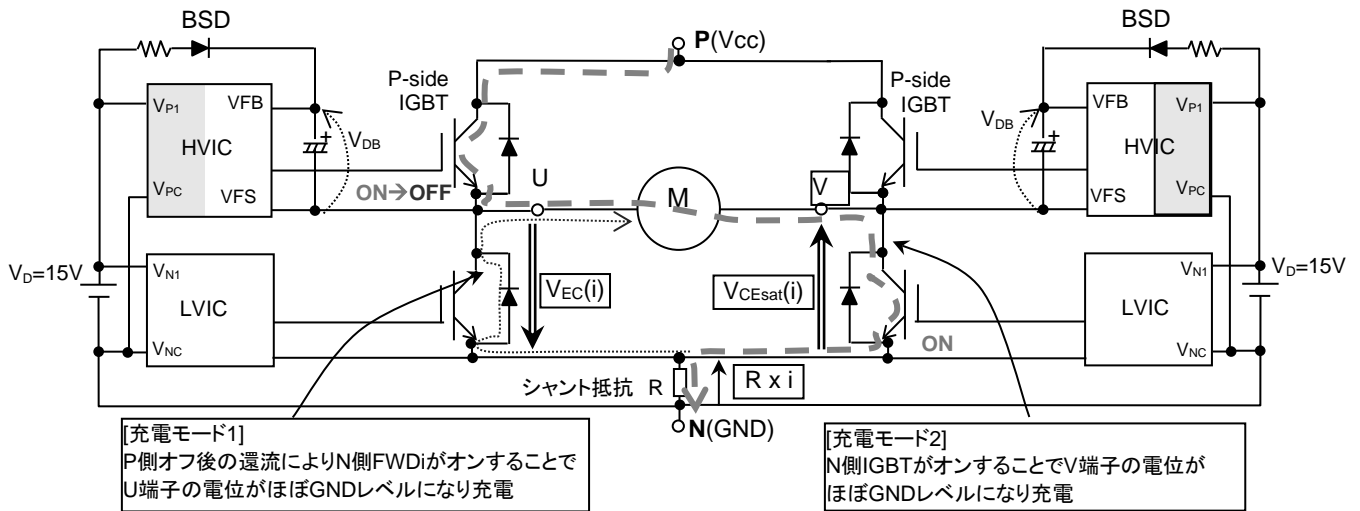


図1-11 充電モード(U→Vへ電流が流れる場合)

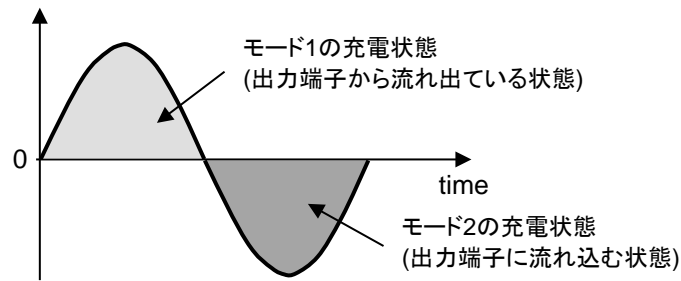


図1-12 出力電流波形と充電モードの関係例

各充電モードにおける出力電流*i*の時の出力端子電位(BSCの基準電位)は、モード1であればFWDiの順電圧 $V_{EC}(i)$ 、モード2であればIGBTの飽和電圧 $V_{CEsat}(i)$ とシャント抵抗(電流検出のためメイン電流経路に設置している場合)による電圧降下  $R \times i$  により以下ようになります。

モード1 : 出力端子電位=GND電位(0V)- $V_{EC}(i)$  < 0V

モード2 : 出力端子電位=GND電位(0V)+ $V_{CEsat}(i)+R \times i$  > 0V

$V_{DB}$ は上述の出力端子電位を基準とするため、VFB端子の電位 $V_{FB}$ は、以下のとおりとなります。

モード1 :  $V_{FB} = V_{DB} - V_{EC}(i)$

モード2 :  $V_{FB} = V_{DB} + V_{CEsat}(i) + R \times i$

となります。この関係を図示したのが、図1-13となります。

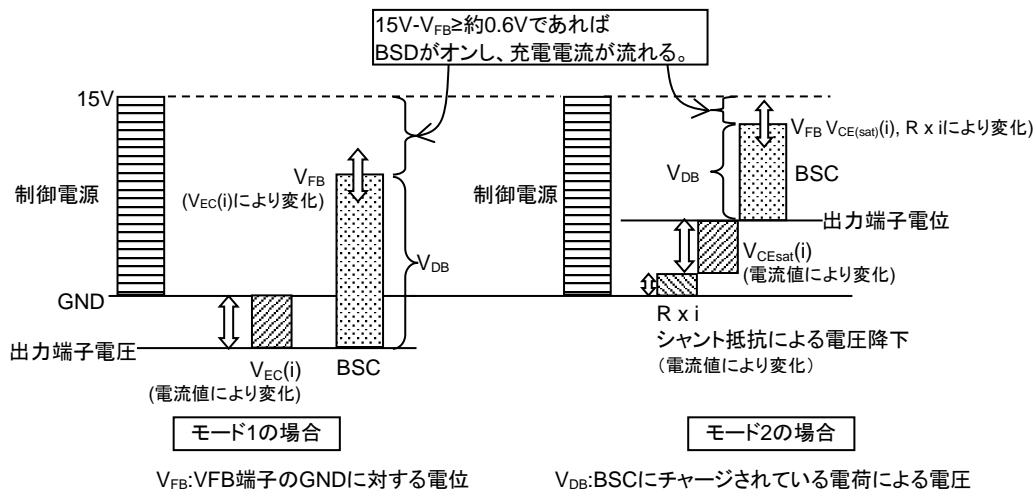


図1-13 充電モードによる $V_{DB}$ 電位の差異

# DIIPM ブーストラップ回路設計の手引き

15Vと $V_{FB}$ の電位差が約0.6V以上でBSDがオンし充電されるため、充電可能となる $V_{DB}$ は、以下のようになります。

- モード1 :  $15 - V_{FB} \geq 0.6$
- $15 + V_{EC}(i) - 0.6 \geq V_{DB}$
- モード2 :  $15 - V_{FB} \geq 0.6$
- $15 - V_{CEsat}(i) - R \times i - 0.6 \geq V_{DB}$

例として、超小型DIIPM Ver.5 PS219B2(5A/600V)にて電流がほぼ0Aの場合と定格5Aの電流時に、充電可能となる最大 $V_{DB}$ 電圧(この電圧よりBSCの電圧が下がると充電可能)を概算すると以下のようになります。

条件:  $i=5A$ 時  $V_{EC}=1.7V$ ,  $V_{CE(sat)}=1.5V$ , シヤント抵抗値=50m $\Omega$   
 $i\approx 0A$ 時  $V_{EC}\approx 0.6V$ ,  $V_{CE(sat)}\approx 0.6V$ , シヤント抵抗値=50m $\Omega$  (電流0のためシヤントによる電圧降下はほぼ0)

表1-1 充電可能となる $V_{DB}$ 電圧計算例(この電圧より下がると充電開始)

	$i=5A$	$i\approx 0A$
モード1	16.1V	15.0V
モード2	12.65V	13.8V

この表から、モード1ではBSCの電圧がモード2よりも高い $V_{DB}$ 電圧でも充電可能であり、モード2ではBSCの電圧が相当低下しないと充電できないことがわかります。BSCはこの電圧以下で充電可能であることから、BSCの最大電圧はこの電圧以下に制限されることになり、**ブーストラップ回路によって充電可能な最大の電圧値は、出力電流値とパワー素子の特性に依存する**ことがわかります。

図1-14に上記同条件で、出力電流周波数 $f_o=60Hz$ 、 $i_o=5A$ , 0.5A peak時の充電開始電圧の計算結果を示します。この図より、BSCの最大電圧は電流値に依存することが確認できます。

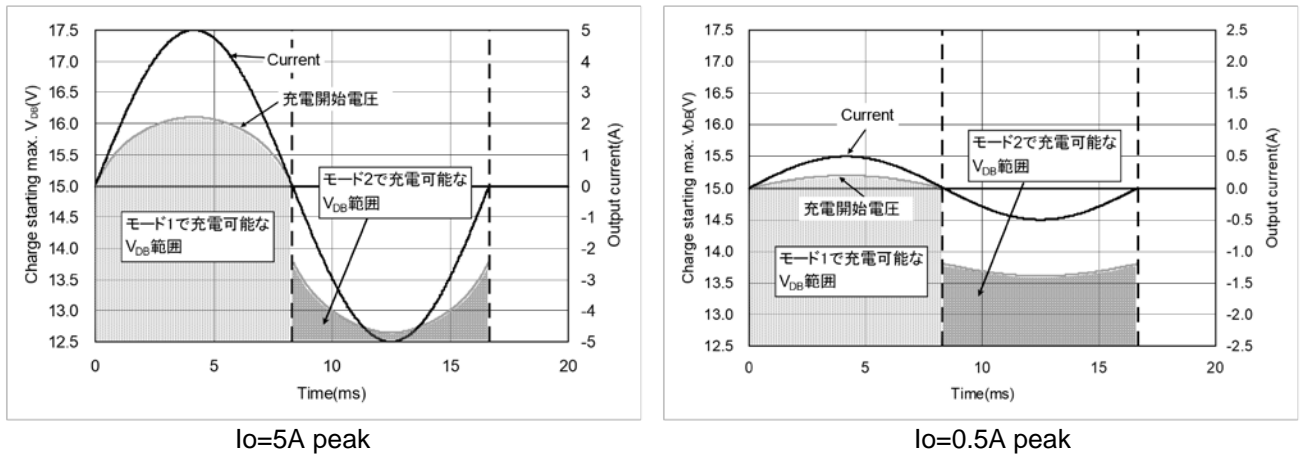


図1-14 充電開始電圧概算結果( $f_o=60Hz$ )

### 1. 3. 2 三相正弦波制御の場合の充電について

ここでは、三相正弦波制御での充電状態について詳細を説明します。

超小型DIIPM Ver.5 PS219B2(5A/600V)にて、下記条件で実動作させ取得した $V_{DB}$ の電圧と出力電流波形を例として、図1-15に示します。

条件:  $V_D=15V$ ,  $f_c=15kHz$ ,  $i_o=5A$  (peak),  $f_o=60Hz$ , BSC=4.7 $\mu F$ , 内蔵BSD(内蔵制限抵抗値=100 $\Omega$ ), 三相正弦波制御 (本例は、実動作中のBSCの電圧降下がわかりやすくなるように容量を少なめに評価)

# DIPIPM ブーストラップ回路設計の手引き

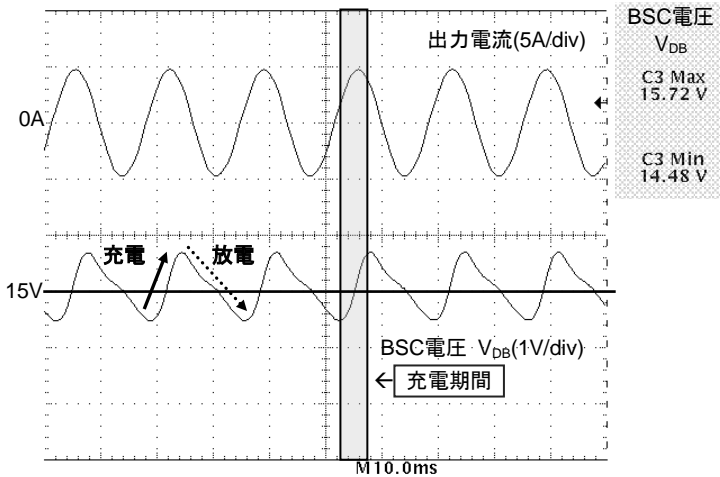


図1-15 充電波形例

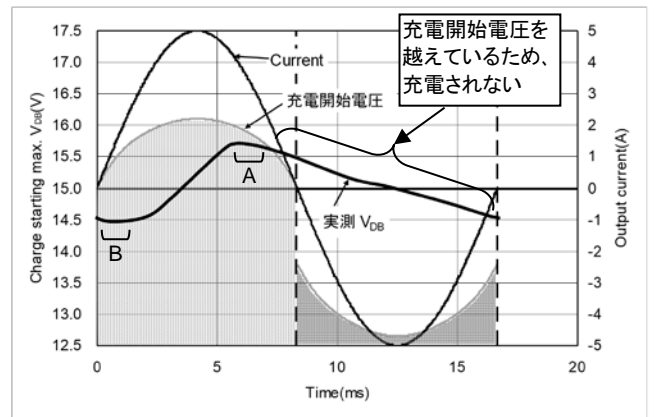


図1-16 充電状況

本図より、充電されているのはモード1(電流が正)の期間のみであり、モード2(電流が負)の期間においては、放電し続けていることがわかります。

充電開始電圧を計算した図1-14にこのBSC電圧波形を重ねると図1-16となり、正の電流(充電モード1)の領域では充電可能であるが、負の電流領域(充電モード2)では、BSCの電圧 $V_{DB}$ が充電開始電圧より高いため、充電できないことがわかります。従って、BSCの容量が少なすぎるなど特殊状態でない限り、**BSCは、出力電流が正の充電モード1(N側FWDiに還流)時に大部分が充電されることとなります。**しかしながら、モード1の領域で、充電開始電圧以下にもかかわらず充電していない期間が存在していることがわかります。(A,B部)

A部では、充電開始電圧と充電されたBSCの電圧 $V_{DB}$ の差が小さくなり(=BSD+制限抵抗の両端の電圧が小さくなる)、充電電流が減少し充電効率が落ちるために、消費電荷量が充電量を上まわり、BSC電圧が低下したと考えられます。

B部では、充電開始電圧との電圧差が大きく充電電流は流れますが、N側FWDiのオンduty(=P側IGBTのオフduty)がこの領域において0%付近であるため充電時間が短く、実質的な充電量が少ないためと考えられます。(図1-17参照) によって、充電効率はPWM信号のDutyなどにも影響を受けることになり、**力率(出力電流とPWM信号(出力電圧)の位相差)や変調率にも依存します。**

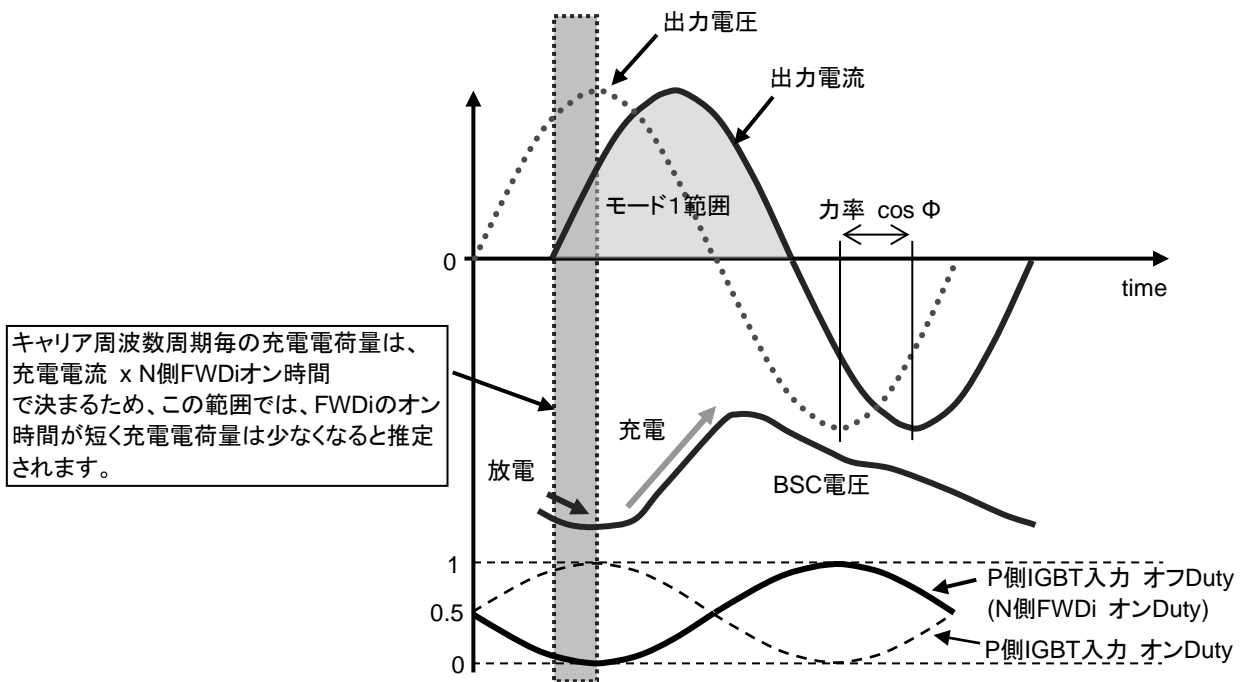


図1-17 PWM信号と出力電流の位相差による影響

BSCの充電状態は、その他の駆動条件等にも影響を受けます。以下に三相正弦波制御時の駆動条件による充電状態への影響についてシミュレーション波形によって比較した結果を説明します。



# DIIPM ブーストラップ回路設計の手引き

## 1. 3. 3 駆動条件による充電状態への影響について

駆動条件によるBSCの充電状態への影響をみるため、同じPS219B2(5A/600V)にて、条件を変えてBSCの充電電圧をシミュレーション(代表例)した結果を以下に示します。

[共通計算条件] 特に条件記載無い場合は、この共通条件を使用

IPM: 超小型DIIPM Ver.5 PS219B2 BSC=4.7 $\mu$ F,  $I_o$ =5Apeak,  $f_c$ =15kHz,  $f_o$ =20Hz, P.F=0.8, 変調率=0.7,  $V_D$ =15V, シャント抵抗50m $\Omega$ , 三相変調正弦波制御

[比較条件]

- (1) 出力周波数差異 :  $f_o$ =20Hz, 60Hz, 120Hz
- (2) キャリア周波数差異 :  $f_c$ =15kHz, 5kHz
- (3) BSC容量差異 : BSC=1 $\mu$ F, 4.7 $\mu$ F, 22 $\mu$ F
- (4) 出力電流ピーク差異 :  $I_o$ =5Apeak, 2Apeak /  $f_o$ =60Hz, 20Hz

### (1) 出力周波数差異 : $f_o$ =20, 60, 120Hz

出力周波数によるBSC充電状態を計算した結果(代表例)を図1-18,19,20に示します。

20Hz時は1周期が長いので、充電されにくいモード2(電流負の領域)の期間が長くなります。そのため、BSC電圧低下量は大きくなり、この条件では、推奨動作条件電圧下限の13Vよりもさらに低下しています。(本条件では低下量が大きく、モード2でも充電されているのがわかります。A部)

120Hz時には、逆に1周期が短く、電圧低下量は小さくなります。ただし、モード1期間での充電時間も短くなることから、電圧最大値は低くなります。(20Hz時に比べ、電圧の変動量が小さくなる。)

**システムの動作モードに低周波出力条件がある場合、BSCの容量などが適切でないと電圧がかなり低下し、損失の増加やUV保護によるシステム停止につながる可能性がありますので、十分な評価・確認が必要です。**

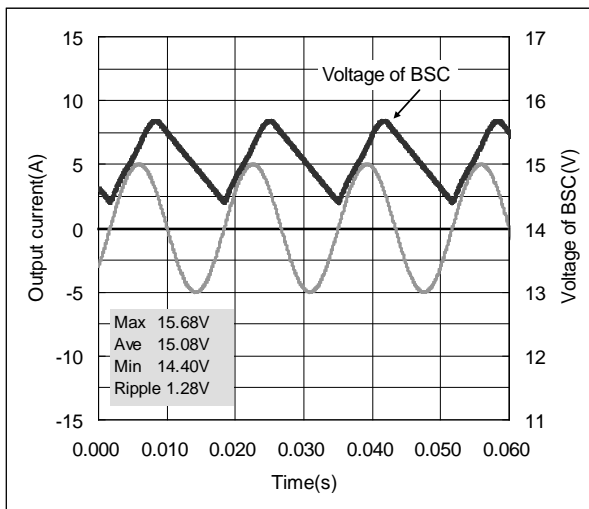


図1-18  $f_o$ =60Hz

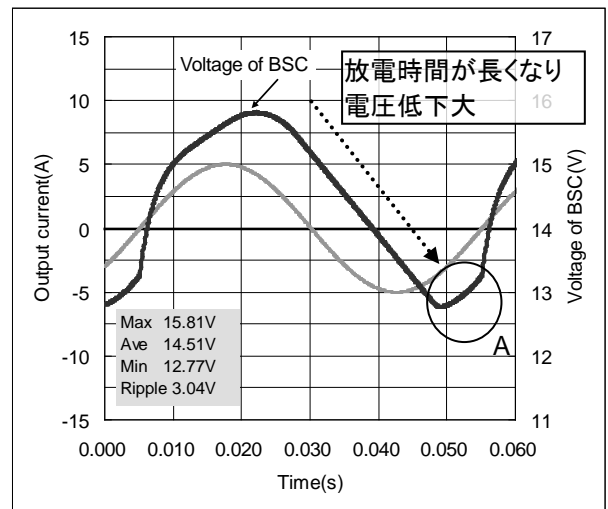


図1-19  $f_o$ =20Hz

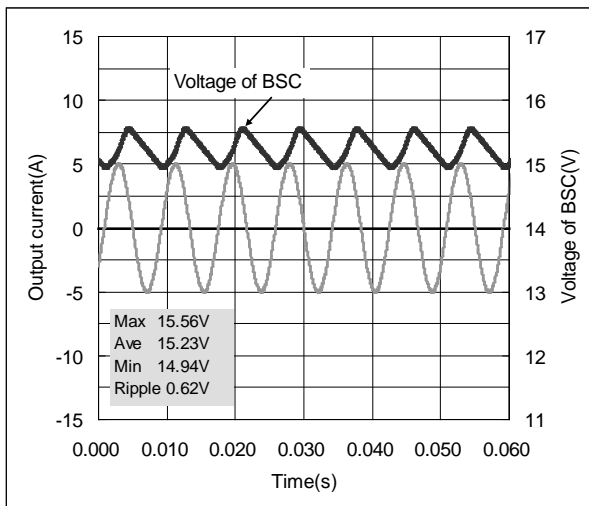


図1-20  $f_o$ =120Hz

# DIIPM ブートストラップ回路設計の手引き

(2) キャリア周波数差異:  $f_c=15\text{kHz}$ ,  $5\text{kHz}$

キャリア周波数によるBSC充電状態を計算した結果(代表例)を図1-21,22に示します。

キャリア周波数が高くなるとその分ゲートチャージ量(消費電流)が増加しますので、BSCの電圧低下量はキャリア周波数が高くなるほど大きくなります。従って、高キャリアで使用する場合には、一般的にはBSC容量を増やす必要があります。

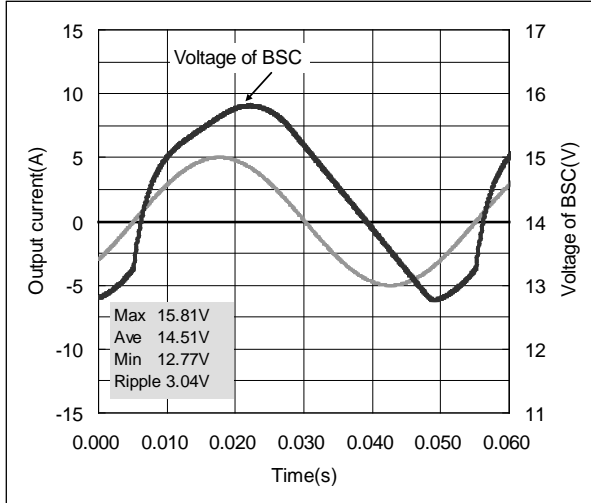


図1-21  $f_c=15\text{kHz}$

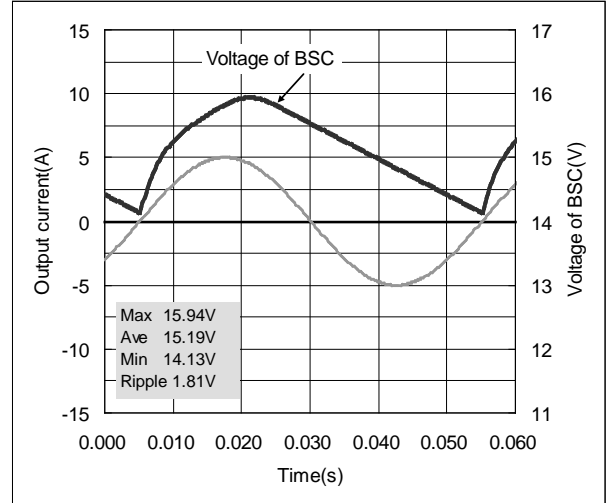


図1-22  $f_c=5\text{kHz}$

上記計算に使用した超小型DIIPM Ver.5 PS219B2(5A/600V)のキャリア毎の消費電流特性(代表例)を図1-23に示します。キャリア周波数が高いほど消費電流が、増加することがわかります。また、消費電流はゲートチャージ量が増えることで増加するため、一般的には電流定格が大きい(ゲート容量が大きい)ほど消費電流は大きくなりますので、その分、BSCの容量も考慮する必要があります。

DIIPMでは、製品毎にキャリア毎の消費電流特性データを用意していますので、各品種のアプリケーションノートなどを参照願います。

測定条件:  $V_D=V_{DB}=15\text{V}$ ,  $T_j=125^\circ\text{C}$ , IGBT ON Duty=10, 30, 50, 70, 90%

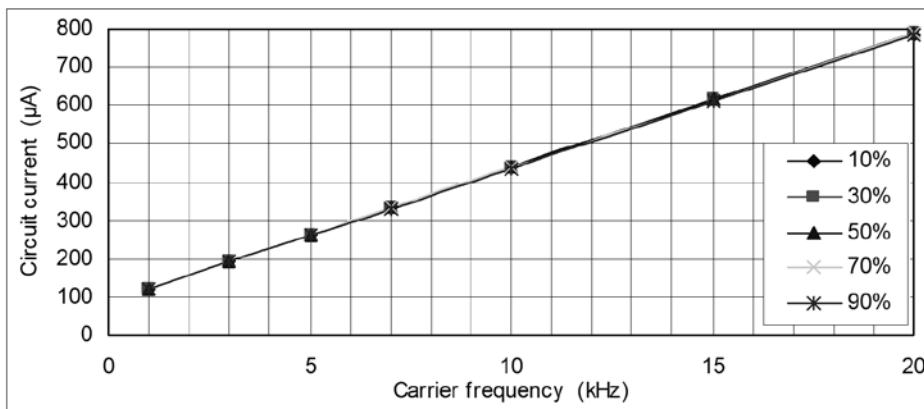


図1-23 消費電流  $I_{DB}$  vs. キャリア周波数特性(代表例) PS219B2 (5A/600V)

# DIIPM ブートストラップ回路設計の手引き

(3) BSC容量差異 : BSC=1 $\mu$ F, 4.7 $\mu$ F, 22 $\mu$ F

BSC容量差異によるBSC充電状態を計算した結果(代表例)を図1-24~26に示します。

BSC容量が極端に低い場合、同じ消費電流でも電圧降下が大きくなり、BSCの下限電圧はかなり低下しますので、充放電によるBSC電圧のリプルは大きくなります。(DIIPMでは、制御電源電圧 $V_{DB}$ のリプル値としては2Vp-p以内を推奨しています。)

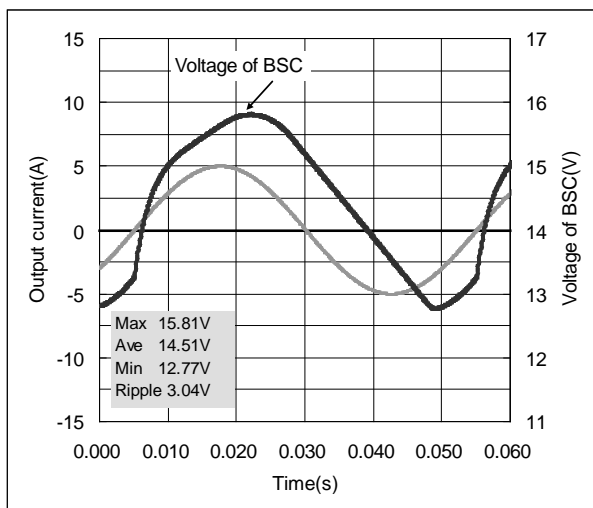


図1-24 BSC=4.7 $\mu$ F

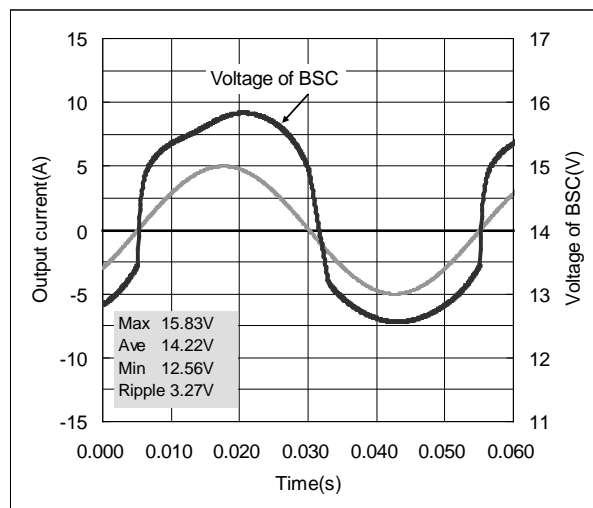


図1-25 BSC=1.0 $\mu$ F

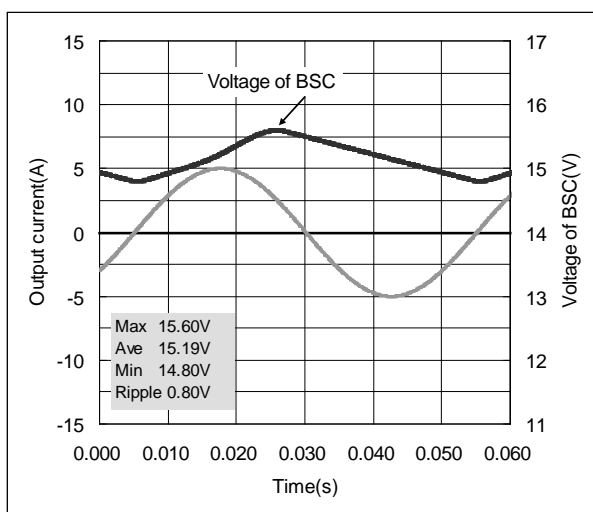


図1-26 BSC=22 $\mu$ F

# DIIPM ブーストラップ回路設計の手引き

## (4) 出力電流ピーク差異 : $I_o=5A_{peak}, 2A_{peak} / f_o=60Hz, 20Hz$

出力電流値差異によるBSC充電状態を計算した結果(代表例)を図1-27~30に示します。

1. 3. 1項にも記載のとおり、充電開始電圧は電流値によって変化します。出力電流が低い場合、充電開始電圧はモード1部分では下がり、モード2部分では上がりますので、BSC電圧の上下限值もそれに応じて変化します。電流が低い方が、充電電圧の最大値が下がります。(図1-27,28) また、モード2での充電が行われる動作条件の場合は、モード2で充電開始電圧が上がり、充電されやすくなるため、充電電圧の最小値は上がります。(図1-29,30)

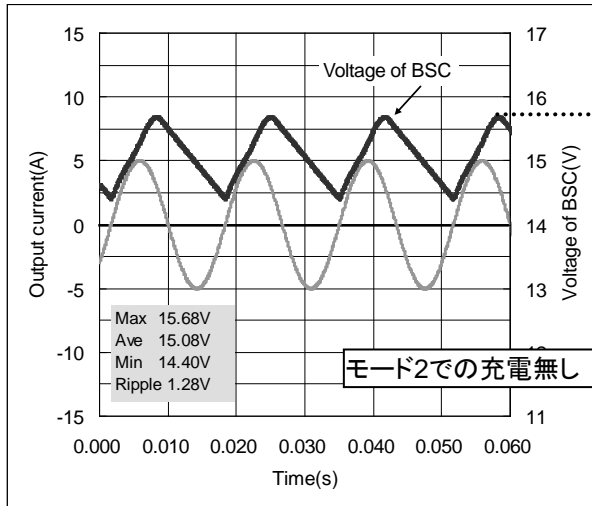


図1-27  $I_o=5A_{peak}, f_o=60Hz$

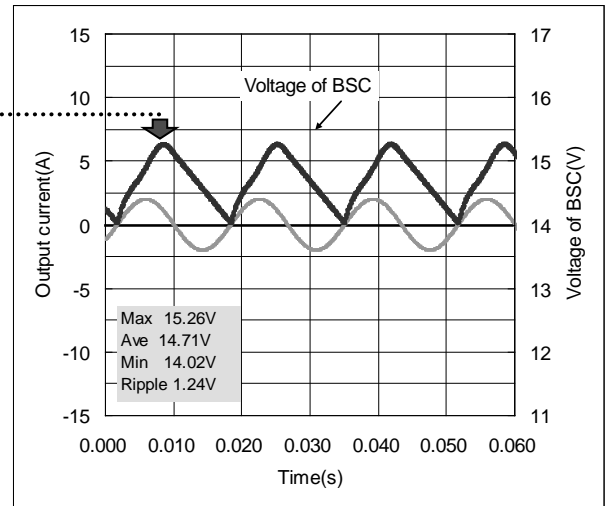


図1-28  $I_o=2A_{peak}, f_o=60Hz$

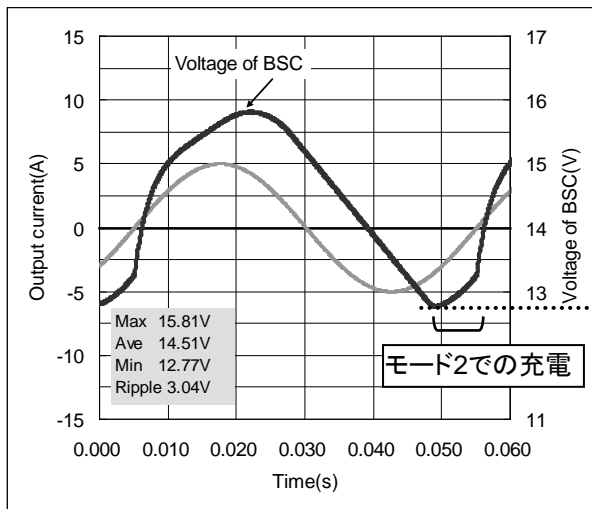


図1-29  $I_o=5A_{peak}, f_o=20Hz$

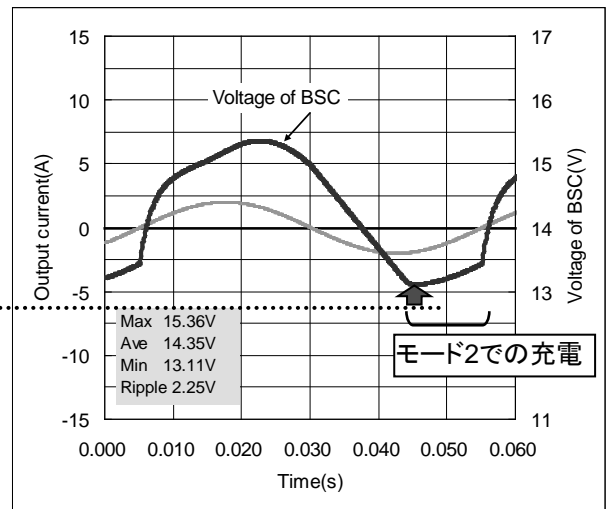


図1-30  $I_o=2A_{peak}, f_o=20Hz$

上記(1)~(4)のとおり、BSCの充電状態は動作条件によって刻々と変化しますが、容量値以外で特に影響を受けやすいのは、

- 出力電流周波数  $f_o$
- キャリア周波数  $f_c$

となります。上記以外にも、制御方式(二相変調正弦波制御など)、力率、変調率、BSCの特性(容量誤差、温度特性、DCバイアス特性、寿命)、パワー素子の特性などにも影響を受けますので設計時に十分な検討・評価を実施してください。また、上記計算は全て $V_D=15V$ で計算していますが、 $V_D$ が変動して1V下がると、BSCの電圧もそのまま1V下がることとなりますので15V電源の変動を考慮した設計が必要です。

# DIPIPM ブートストラップ回路設計の手引き

## 1. 3. 4 ブートストラップコンデンサ容量の検討方法

前項に記載のとおり、BSCの充電状態は条件によって刻々と変化するため、BSC電圧の絶対値の計算は、容易ではありません。ただし、BSC電圧の変化量(リップル量)については、一定の条件下(モード2での充電がない場合)では概算可能です。ここでは、前述の図1-16の条件(下記)を使用して、リップル量を概算方法を説明します。

条件: 5A品,  $V_b=15V$ ,  $f_c=15kHz$ ,  $I_o=5A$  (peak),  $f_o=60Hz$ , BSC=4.7 $\mu F$ , 三相正弦波制御

この条件時の充電波形を図1-31に再度示します。これまで説明しましたように、充電は出力電流が正の期間にほぼ行われ、BSCの電圧が低下する時間は、出力電流1周期のおよそ60%となります。従って、低下時間内の電圧低下量が、この条件での電圧変化量(リップル量)となりますので、低下時間中の消費電荷量とBSC容量から、低下量を概算することができます。

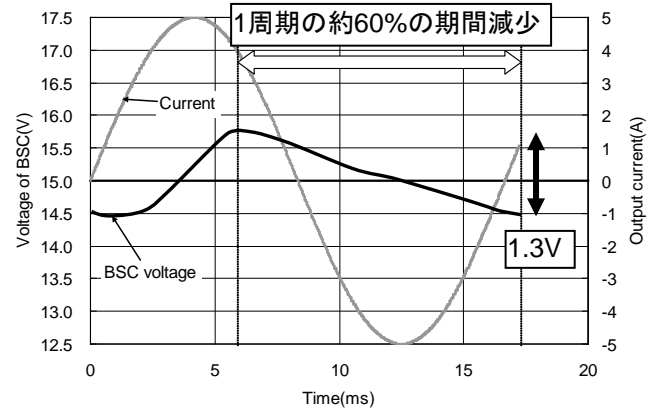


図1-31 充電波形例

$$\text{電圧変化量}\Delta V = \frac{\text{低下中の消費電荷量}}{\text{BSC容量}}$$

低下中の消費電荷量は、次式のとおりとなります。

$$\text{低下中の消費電荷量} = \text{消費電流} \times \text{出力電流周期} \times 60\%$$

ここで、消費電流は前出の $I_{DB}$  vs. キャリア周波数特性(図1-23)から得られます。よって、この条件でのリップル量は

$$\text{電圧変化量 } \Delta V = 610\mu A \times 16.6ms \times 60\% / 4.7\mu F = 1.3V$$

と概算できます。

DIPIPMでは、制御電源電圧のリップル値としては2Vp-p以内を推奨しています。本概算方法などを利用して、BSC容量値設計を実施願います。その際には、使用条件、容量値のバラツキ、温度特性、寿命などによる容量の減少やゲート容量のばらつきなどを考慮して2V以内となるように設計する必要があります。また、動作中のBSCの最低電圧についても推奨電源電圧範囲の13V以下にならないように設定してください。目安としては、typの容量値で計算して1V程度のリップルとなる容量の2~3倍程度が一般的です。上記の場合、typ. 5.6 $\mu F$ のBSCを使用すると1V程度のリップルになるため、その2~3倍で10 $\mu F$ ~15 $\mu F$ 程度以上が目安となります。

**本計算は、三相正弦波制御における目安としての概算方法を示したものです。制御方法などによっては低下時間が、1周期の60%以上になることも考えられます。また、コンデンサなどの特性によっては容量を増やす必要がありますので、最終的には、実機での評価などにて十分な確認が必要です。**

## 1. 3. 5 電流制限抵抗について

ブートストラップ回路の電流制限抵抗は、初期充電時の15V電源の電流供給能力、BSDのサージ順電流耐量に応じて設定する必要があります。この制限抵抗は、インバータ動作時のBSCの充電効率にも影響を与えます。これは、BSDの $V_{F+}$ 制限抵抗電圧降下のI-V特性グラフ(図1-32)に示すように、制御電源電圧(15V)とBSCの電位差に応じた分だけ充電電流が流れることで充電されるため、制限抵抗を変えた場合、同じ充電電流を得るためには、制限抵抗による電圧降下分に合わせてBSCの電圧が、増減する必要があります。そのため、制限抵抗を増やした場合は、BSC電圧の低下につながりますのでBSC電圧が下がりにすぎないか最悪ケースを想定した十分な評価が必要です。

超小型DIPIPM Ver.5 PS219B2は制限抵抗(typ100 $\Omega$ )を内蔵していますが、50 $\Omega$ に変更したと仮定した場合のBSC電圧を比較した結果を図1-33,34に記載します。(実際には、超小型DIPIPM Ver.5シリーズなどBSD内蔵品では、内部制限抵抗の値は変更できません。)

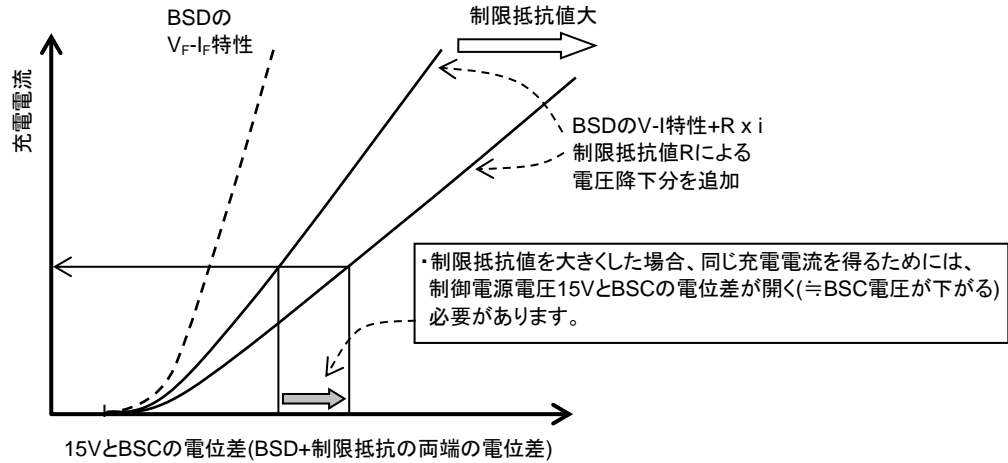
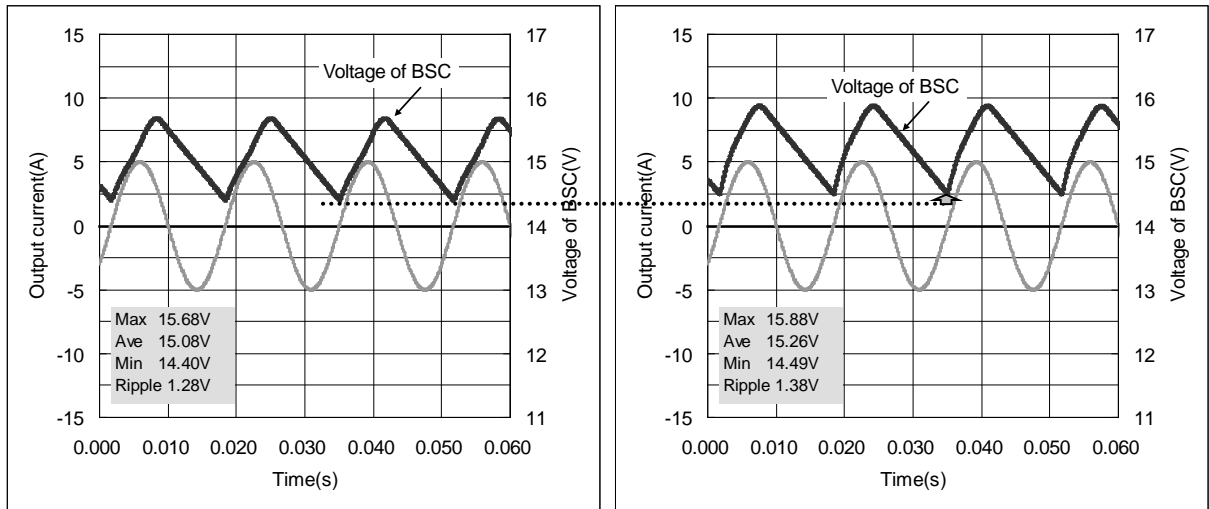


図1-32 制限抵抗変更時の充電電流特性



[計算条件] BSC=4.7 $\mu$ F,  $I_o$ =5A(peak),  $f_c$ =15kHz,  $f_o$ =20Hz, P.F=0.8, 変調率=0.7,  $V_D$ =15V, ショット抵抗50m $\Omega$ , 三相変調正弦波制御, 制限抵抗100 $\Omega$ 及び50 $\Omega$

図1-33 制限抵抗: 100 $\Omega$

図1-34 制限抵抗: 50 $\Omega$

制限抵抗によるBSC電圧への影響は充電電流が増えるほど大きくなるため、ゲートチャージなど消費電流が増える電流定格が大きいものほど影響も大きくなります。(同一基板でのシリーズ品の開発時には注意が必要です。) 前項のBSC容量の設定と同様、動作条件を考慮の上、動作中のBSCの最低電圧が、推奨電源電圧範囲の13V以下にならないように、十分な評価にて確認・設定してください。

# DIIPM ブートストラップ回路設計の手引き

## 1. 3. 6 ブートストラップ回路定数設定時の注意点

ブートストラップ回路の各定数の検討時には、各素子の温度特性、寿命による変化、ばらつきなどを考慮した上で設計願います。以下に各素子の選定において注意すべき点について挙げます。

### (1) ブートストラップコンデンサ

BSCには、電解コンデンサが一般的に使用されていますが、近年、大容量のセラミックコンデンサも使用されつつあります。しかし、電解コンデンサとは異なり、**セラミックコンデンサは、DCバイアス特性(DC電圧印加時の容量特性)により容量が大きく低下するものがありますので注意が必要です。**表1-2に電解コンデンサとセラミックコンデンサの一般的な特性例を示します。

表1-2 コンデンサ静電容量の各特性例

	電解コンデンサ	大容量セラミックコンデンサ
温度特性 (Ta:-20~85°C)	アルミ電解コンデンサ: 低温:-10% 高温:+10%程度 導電性高分子アルミ固体タイプ: 低温:-5% 高温:+10%程度	B,X5R,X7Rなど温度特性ランクにより異なる。 低温:-5%~0%程度 高温:-5%~-10%程度
DCバイアス特性 (DC15V印加時)	定格電圧内であればほぼ変化無し	サイズ、温度特性、定格電圧により異なる。 <b>-70%~-15%程度低下</b>

電解コンデンサについては、DCバイアス特性は問題ありませんが、繰り返し充放電によるリップル耐量、寿命(周囲温度による影響大)などに注意が必要です。上記、特性はWEBに掲載のコンデンサの特性の参考例です。コンデンサの詳細特性につきましては、各コンデンサメーカーにご確認ください。

### (2) ブートストラップダイオード

ブートストラップダイオードには、DIIPMの素子耐圧(DIPが600V品であれば600V)以上のもので、高速品(リカバリー時間trr=100ns以下)を使用し、初期充電時の大電流を考慮して電流定格を選定してください(制限抵抗値との組み合わせで検討の必要有り)。

また、**耐圧などのバラツキ、その他特性など品質が十分確認された製品を使用してください。**BSDが、過電圧などによりショート破壊した場合、DC-LINK電圧が、DIIPMの制御ICの低圧側に印加されて過電圧破壊し、DIIPMの各種機能(保護、ゲート駆動など)が失われ、IGBTゲート破壊などにつながり、システムの破壊様相は、激しいものとなる可能性があります。

### (3) 電流制限抵抗

電流制限抵抗選定時には、許容損失、サージ耐量(スイッチングオン・オフ時にサージが印加される可能性があります)などに注意が必要です。特に小型チップ抵抗などを使用する場合は、耐サージ設計されたタイプを推奨します。詳細につきましては、各抵抗器メーカーにご確認ください。

# DIIPM ブートストラップ回路設計の手引き

## 1.4 その他制御方式時の消費電流

ブートストラップ回路を用いるP側駆動用電源の消費電流は、制御方式により変わります。上述の図1-23では、常時スイッチングする三相変調正弦波制御の場合の消費電流を掲載しましたが、ここでは、代表的な二相変調正弦波制御(各60度のベタオン、ベタオフ区間有り)と120度通電制御(P側スイッチング)時の消費電流の見積もり方法について、説明します。

図1-23にて示した超小型DIIPM Ver.5 PS219B2のIGBT ON Duty=50%時の消費電流  $I_{DB}$  vs. キャリア周波数特性を図1-35に再度示します。(fc=1kHz→0Hzまで延長。)

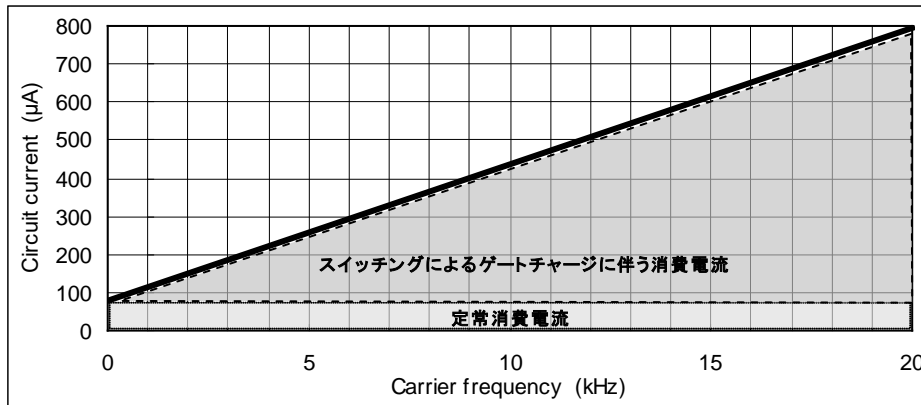


図1-35 消費電流  $I_{DB}$  vs. キャリア周波数特性(代表例) PS219B2 (5A/600V)

各周波数での消費電流は定常消費電流とスイッチングに伴う消費電流からなります。fc=0Hz時の消費電流は、スイッチング動作と関係なく制御ICなどにより消費される定常消費電流です。fc=0Hz以外の周波数では、定常消費電流を除いた残りの部分が、スイッチング時のIGBTゲートチャージ及び制御IC内回路動作による消費電流となります。

ここで、二相変調正弦波制御および120度通電制御時の消費電流を検討するに当たり、三相正弦波制御時との違いをまとめると図1-36のようになります。



図1-36 制御方式によるスイッチング状態差異

この図からわかるように、この三つの制御方式における消費電流の差異は、スイッチング回数の差異となることがわかります。二相変調正弦波制御方式は三相変調に対し3分の2のスイッチング回数、120度通電制御の場合は3分の1のスイッチング回数となります。従って、各方式の消費電流は、図1-35のスイッチングによる消費電流部分をそれぞれ3分の2、3分の1にしたものとなります。図1-37に各制御方式時の消費電流の計算結果を記載します。

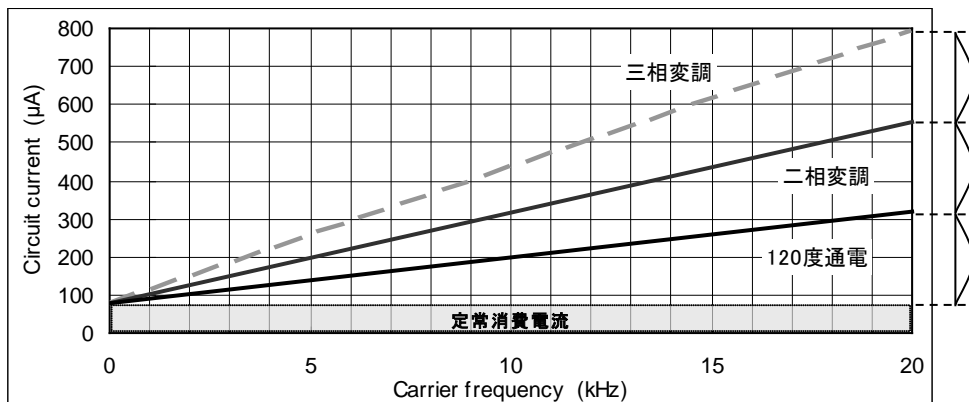


図1-37 各制御方式時の消費電流  $I_{DB}$  vs. キャリア周波数特性(計算値)



# DIIPM ブーストラップ回路設計の手引き

この消費電流特性を用いて、三相変調及び二相変調制御におけるBSCの充電状態の計算結果を参考例として、図1-38~41に示します。

[計算条件]

IPM: 超小型DIIPM Ver.5 PS219B2 BSC=4.7 $\mu$ F,  $I_o$ =5Apeak,  $f_c$ =15kHz及び5kHz,  $f_o$ =60Hz, P.F=0.8, 変調率=0.7,  $V_D$ =15V, シャント抵抗50m $\Omega$ , 三相変調及び二相変調正弦波制御

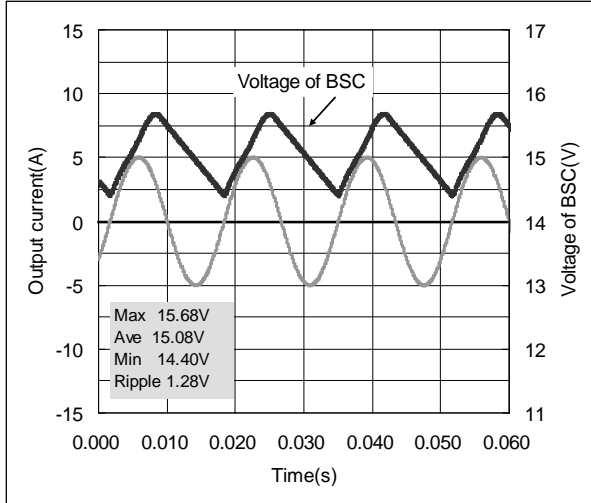


図1-38 三相変調  $f_c$ =15kHz

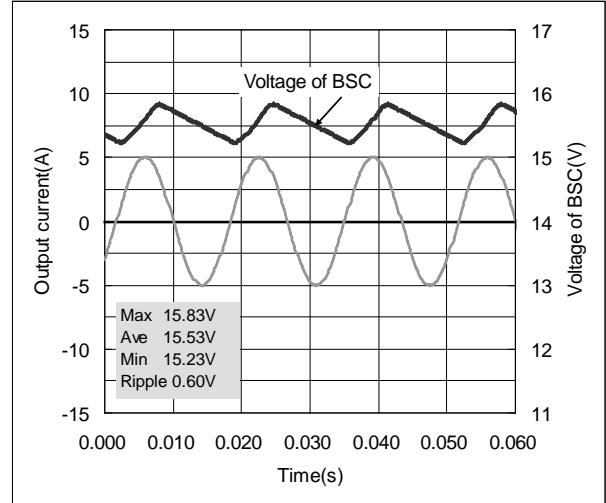


図1-39 三相変調  $f_c$ =5kHz

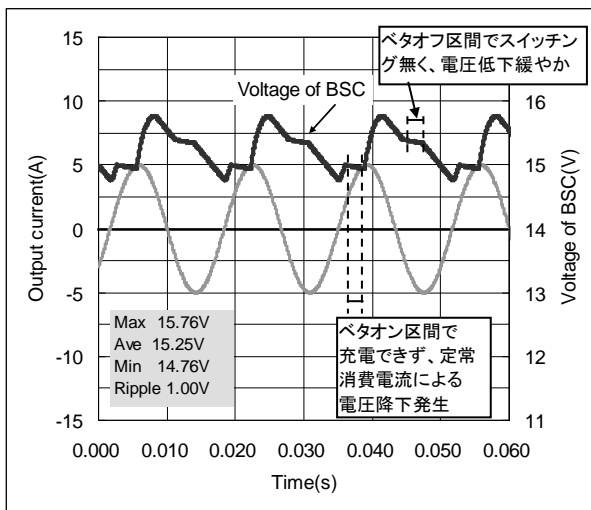


図1-40 二相変調  $f_c$ =15kHz

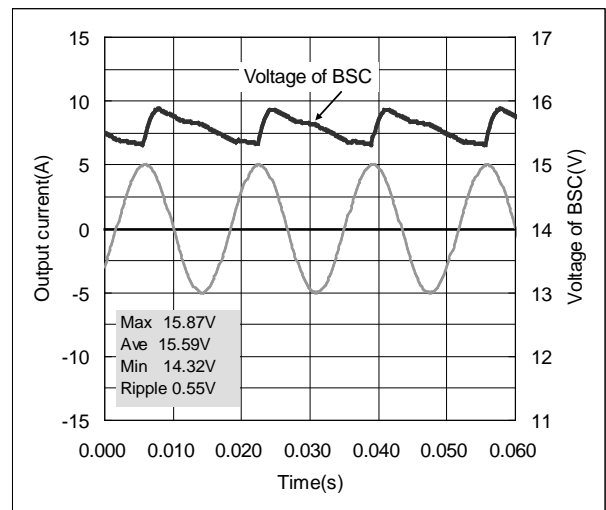


図1-41 二相変調  $f_c$ =5kHz

二相変調の場合は、ベタオフ区間ではゲートチャージが発生せず定常消費電流による電圧降下のみとなり、この区間でのBSCの電圧降下は緩やかになります。本来、急速に充電可能な出力電流が正の区間内において、ベタオン区間があるため、充電できず充電効率は低下します。ただし、本条件では、二相変調の場合の消費電流は三相変調に対し小さいことから、結果的には、BSCの電圧、リップルなどは、三相変調と比べ、若干良好な結果となっています。

### 特記事項

本資料に記載されている情報は、いかなる場合でも、条件、特性及び品質を保証するものではありません。弊社半導体製品は必ず本資料に記載された最大定格の範囲内でご使用いただき、また、適用される法令による要求、規範及び基準をお客様が遵守することを前提としております。

なお、弊社の権限を有する者が署名した書面による明示の承諾がある場合を除き、人身事故を招くおそれのある用途に弊社半導体製品を使用することはできません。

パワー半導体製品は、長期の信頼性（パワーサイクルやサーマルサイクル等）について寿命を有していることや、特殊環境下（結露、高湿度、高粉塵、高塩分、高地、有機物・腐食性ガス・爆発性ガスが多い環境、端子部等への過度な応力等）での使用により、故障が発生したり、誤動作したりする場合がありますので、十分ご注意ください。また、技術的要件によっては弊社半導体製品に環境規制物質等が含まれる可能性があります。詳細確認を要する場合には、最寄りの弊社営業所、あるいは代理店までお問い合わせください。

本資料の内容・データは、専門技術・教育を受けられた技術者を対象としています。弊社半導体製品のお客様用途への適合性及び適合性に関する弊社製品データの完全性については、お客様の技術部門の責任にて評価・判断してください。なお、貴社製品への適用検討にあたって、弊社半導体製品単体で評価するだけでなく、システム全体で十分に評価し、適用可否をご判断ください。必要に応じ、電源と半導体製品の間に適切な容量のヒューズまたはブレーカーを取り付けて二次破壊を防ぐなど、安全設計に十分ご注意ください。関連するアプリケーションノート・技術資料も合わせてご参照ください。

## 安全設計に関するお願い

弊社は品質、信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品は故障が発生したり、誤動作する場合があります。弊社の半導体製品の故障又は誤動作によって結果として、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないような安全性を考慮した冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計などの安全設計に十分ご注意ください。

## 本資料ご利用に際しての留意事項

- 本資料は、お客様が用途に応じた適切な三菱半導体製品をご購入いただくための参考資料であり、本資料中に記載の技術情報について三菱電機または、第三者に帰属する知的財産権その他の権利の実施、使用を許諾するものではありません。
- 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例の使用に起因する損害、第三者所有の権利に対する侵害に関し、三菱電機は責任を負いません。
- 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他全ての情報は本資料発行時点のものであり、三菱電機は、予告なしに、本資料に記載した製品または仕様を変更することがあります。三菱半導体製品のご購入にあたりましては、事前に三菱電機または代理店へ最新の情報をご確認頂きますとともに、三菱電機半導体情報ホームページ ([www.MitsubishiElectric.co.jp/semiconductors/](http://www.MitsubishiElectric.co.jp/semiconductors/)) などを通じて公開される情報に常にご注意ください。
- 本資料に記載した情報は、正確を期すため、慎重に制作したのですが万一本資料の記述誤りに起因する損害がお客様に生じた場合には、三菱電機はその責任を負いません。
- 本資料に記載の製品データ、図、表に示す技術的な内容、プログラム及びアルゴリズムを流用する場合は、技術内容、プログラム、アルゴリズム単位で評価するだけでなく、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。三菱電機は、適用可否に対する責任を負いません。
- 本資料に記載された製品は、人命にかかわるような状況の下で使用される機器あるいはシステムに用いられることを目的として設計、製造されたものではありません。本資料に記載の製品を運輸、移動体用、医療用、航空宇宙用、原子力制御用、海底中継用機器あるいはシステムなど、特殊用途へのご利用をご検討の際には、三菱電機または代理店へご照会ください。
- 半導体・デバイスサイトに含まれる製品や技術をお客様が他の国へ提供する場合は、日本およびその他の国の輸出管理規制等を遵守する必要があります。また、日本、その他の仕向け地における輸出管理規則に抵触する迂回行為や再輸出は禁止します。
- 本資料の一部または全部の転載、複製については、文書による三菱電機の事前の承諾が必要です。
- 本資料に関し詳細についてのお問い合わせ、その他お気付きの点がございましたら三菱電機または代理店までご照会ください。

記載されている会社名及び商品名は、一般に各社の商標又は登録商標です。