

## MC111、25V、単相 BLDC ドライバ

### 1 特長

- ホールセンサ内蔵、N チャンネル H ブリッジドライバ
- $R_{DS(ON)}$ : 850mΩ (HS + LS)
- 電流定格
  - 設定可能な電流制限最大 1.21A
  - 0.6A rms ( $T_A = 85^\circ\text{C}$ ,  $R_{\theta JA} = 100^\circ\text{C/W}$ )
- 内蔵電源 (VM) クランプ
- 速度曲線と開始デューティ サイクルを設定可能
- 整流方式: 方形波またはソフト (最大  $90^\circ$ )
  - 方形波: 最大トルク / 速度
  - ソフト: 速度と音響の最適化
- 設定可能な速度リファレンス入力: PWM または DC
  - 入力 PWM 周波数範囲: 20Hz ~ 90kHz
  - 入力 DC 電圧範囲: (0-3)V
- 出力 PWM 周波数: 25 または 50kHz
- 閉ループ速度制御精度:  $\pm 3\%$
- PWM デザリングにより EMI を低減
- 設定可能なソフト スタート時間
- ホール オフセット角度および時間を設定可能
- 速度出力 0.5 倍、1 倍、2/3 倍、2 倍
- 回転子ロック検出力 (RD)
- 設定可能な PWM モード
  - 同期、非同期、ハイブリッド
- 高速全域での高効率を実現する自動消磁
- I<sup>2</sup>C を介したワンタイム プログラミング (2 ページ)
- 保護機能
  - VM/GND と OUTx 間の短絡に対する過電流保護
  - 自動再起動付き回転子ロック保護 (LRP)
  - VM 低電圧誤動作防止 (UVLO)
  - VM 過電圧保護 (OVP)
  - サーマル シャットダウン (TSD)
  - 構成可能な故障時のリライ時間
- 機能的特徴 (動作継続)
  - FG/RD と GND が短絡している場合
  - PWM/DC と VM の間の短絡時の 100% 入力

### 2 アプリケーション

- 家電製品用冷却ファン
- CPU 冷却ファン
- GPU およびコンソール冷却ファン
- ブロワ ファン

### 3 説明

MC111 は、25V、850mΩ 定格のモータードライバで、単相ブラシレス DC モーター向けに、N チャンネル フルブリッジ、チャージポンプ、ホールセンサ、整流制御ロジック、保護回路を内蔵しています。ホールセンサは、回転子の位置情報を整流ロジックに提供し、連続的な回転子の動作を維持します。整流ロジックは、方形波とソフト PWM 波形に設定して、音響ノイズを低減したり、速度 / 効率を最大化したりできます。

PWM/DC ピンのパルス幅変調信号のデューティ サイクル、または (0 ~ 3)V の DC 電圧により、モーター速度が制御されます。FG/RD ピンは、モーター速度または回転子ロック状態を外部コントローラに通知するように設定できます。PWM/DC ピンと FG/RD ピンは、製造時に OTP を構成するためのプログラミング (OTP) モードをサポートする I<sup>2</sup>C インターフェイスとして一時的に構成できます。

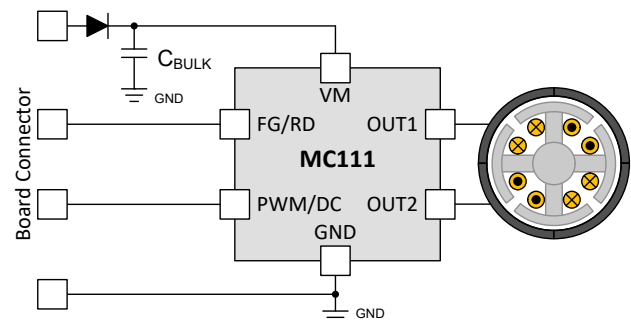
MC111 は、モーターとデバイスの保護機能を内蔵しています。主な保護機能として、電源低電圧誤動作防止、過電圧保護、出力過電流保護、デバイス過熱シャットダウン、回転子ロック保護などがあります。

MC111 は、6 ピンの SOT23-FL パッケージで構成されています。SOT23-FL は、最大高さ 1.1mm のフラットリードパッケージです。

#### パッケージ情報

部品番号	パッケージ (1)	本体サイズ (公称)
MC111DYMR	SOT23 (6)	3.80 mm × 2.90mm

(1) 利用可能なすべてのパッケージについては、データシートの末尾にある注文情報を参照してください。



概略回路図



## 目次

<b>1 特長</b> .....	<b>1</b>	<b>7 レジスタ マップ</b> .....	<b>34</b>
<b>2 アプリケーション</b> .....	<b>1</b>	7.1 USR_OTP レジスタ.....	35
<b>3 説明</b> .....	<b>1</b>	7.2 USR_TM レジスタ.....	49
<b>4 ピン構成および機能</b> .....	<b>3</b>	<b>8 アプリケーションと実装</b> .....	<b>53</b>
<b>5 仕様</b> .....	<b>4</b>	8.1 アプリケーション情報.....	53
5.1 絶対最大定格.....	4	8.2 代表的なアプリケーション.....	55
5.2 ESD 定格 (通信機器).....	4	8.3 電源に関する推奨事項.....	57
5.3 推奨動作条件.....	4	8.4 レイアウト.....	58
5.4 熱に関する情報.....	4	<b>9 デバイスおよびドキュメントのサポート</b> .....	<b>60</b>
5.5 電気的特性.....	5	9.1 デバイス サポート.....	60
5.6 I2C のタイミング要件.....	9	9.2 ドキュメントのサポート.....	60
5.7 タイミング図.....	10	9.3 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....	60
<b>6 詳細説明</b> .....	<b>11</b>	9.4 サポート・リソース.....	60
6.1 概要.....	11	9.5 商標.....	60
6.2 機能ブロック図.....	11	9.6 静電気放電に関する注意事項.....	60
6.3 機能説明.....	11	9.7 用語集.....	60
6.4 デバイスの機能モード.....	30	<b>10 改訂履歴</b> .....	<b>60</b>
6.5 プログラミング.....	32		

## 4 ピン構成および機能

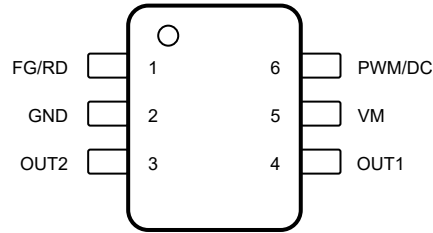


図 4-1. MC111、6 ピン SOT-23、上面図

表 4-1. ピンの機能

ピン 名称	パッケージ SOT23	タイプ <sup>(1)</sup>	説明
FG/RD	1	O	モーター速度または回転子ロック インジケータ出力。オープンドレイン出力には、所定のロジック High 電圧への外部プルアップ抵抗が必要です。テスト/プログラミング モードでは、このピンは I <sup>2</sup> C インターフェイスの SDA ピンになります。
GND	2	G	デバイスのグランド。システム グランドに接続。
OUT1	4	O	ハーフブリッジ出力。モーターの巻線に接続します。
OUT2	3	O	ハーフブリッジ出力。モーターの巻線に接続します。
VM	5	P	デバイスおよびモーターの電源。モーター電源電圧に接続し、1 つの 0.1μF コンデンサおよび 1 つのバルク コンデンサを使用して GND にバイパスします。コンデンサの電圧定格は、デバイスの通常動作電圧の 2 倍以上とすることを推奨します。
PWM/DC	6	I	モーター速度制御ピン - PWM または DC 信号を使用できます。PWM 入力モード (PWMDC_MODE = 0x0) でフローティングのままにすると、このピンは内部で 100% デューティ サイクル入りにプルアップされます。テスト/プログラミング モードでは、このピンは I <sup>2</sup> C インターフェイスの SCL ピンになります。

(1) I = 入力、O = 出力、I/O = 入力または出力、G = グランド、P = 電源、NC = 未接続

## 5 仕様

### 5.1 絶対最大定格

動作温度範囲内 (特に記述のない限り) <sup>(1)</sup>

		最小値	最大値	単位
電源ピン電圧	VM	-0.5	VM <sub>CLAMP</sub>	V
電源過渡電圧ランブ	VM	0	2	V/μs
ロジックピン電圧	PWM/DC	-0.5	VM + 0.5	V
オープンドレインピン電圧	FG/RD	-0.5	VM + 0.5	V
出力ピン電圧	OUTx	-1	VM + 1	V
ピーク出力電流 (OUTx)	OUTx		1.44	A
オープンドレイン出力電流	FG/RD		25	mA
周囲温度、T <sub>A</sub>		-40	125	°C
接合部温度、T <sub>J</sub>		-40	150	°C
保管温度、T <sub>stg</sub>		-65	150	°C

(1) 「絶対最大定格」の範囲外の動作は、デバイスの永続的な損傷の原因となる可能性があります。「絶対最大定格」は、これらの条件において、または「推奨動作条件」に示された値を超える他のいかなる条件でも、本製品が正しく動作することを意味するものではありません。「絶対最大定格」の範囲内であっても「推奨動作条件」の範囲外で使用すると、デバイスが完全に機能しない可能性があり、デバイスの信頼性、機能、性能に影響を及ぼし、デバイスの寿命を縮める可能性があります。

### 5.2 ESD 定格 (通信機器)

			値	単位
V <sub>(ESD)</sub>	静電放電	人体モデル (HBM) ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 準拠 <sup>(1)</sup>	±6000	V
		荷電デバイスモデル (CDM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 準拠 <sup>(2)</sup>	±1000	

(1) JEDEC ドキュメント JEP155 には、500V HBM であれば標準的な ESD 管理プロセスにより安全な製造が可能であると記載されています。

(2) JEDEC ドキュメント JEP157 には、250V CDM であれば標準的な ESD 管理プロセスにより安全な製造が可能であると記載されています。

### 5.3 推奨動作条件

動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

			最小値	公称値	最大値	単位
V <sub>VM</sub>	電源電圧	VM	3.2		19	V
V <sub>IN</sub>	ロジック入力電圧	PWM/DC (PWM モードで構成されている場合)	0		VM	V
V <sub>IN</sub>	アナログ入力電圧	PWM/DC (DC モードで構成されている場合)	0		3.2	V
f <sub>PWM_IN</sub>	PWM 周波数	PWM	0.02		90	kHz
V <sub>OD</sub>	オープンドレインプルアップ電圧	FG/RD	0		VM	V
I <sub>OD</sub>	オープンドレイン出力電流	FG/RD			20	mA
T <sub>A</sub>	動作時周囲温度		-40		125	°C
T <sub>J</sub>	動作時接合部温度		-40		150	°C

### 5.4 熱に関する情報

熱評価基準 <sup>(1)</sup>		MC111	単位
		SOT23 (DYM)	
		ピン	
R <sub>θJA</sub>	接合部から周囲への熱抵抗	156.1	°C/W

熱評価基準 <sup>(1)</sup>		MC111	
		SOT23 (DYM)	
		ピン	
			単位
$R_{\theta JC(top)}$	接合部からケース (上面) への熱抵抗	63.1	°C/W
$R_{\theta JB}$	接合部から基板への熱抵抗	25.6	°C/W
$\Psi_{JT}$	接合部から上面への特性パラメータ	10.1	°C/W
$\Psi_{JB}$	接合部から基板への特性パラメータ	25.5	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	接合部からケース (底面) への熱抵抗	該当なし	°C/W

(1) 従来および最新の熱評価基準の詳細については、『[半導体および IC パッケージの熱評価基準](#)』アプリケーション レポートを参照してください。

## 5.5 電気的特性

MC111:  $3.2V \leq V_{VM} \leq 19V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_J \leq 150^{\circ}C$  (特に記述のない限り)

標準値は  $T_J = 25^{\circ}C$  および  $V_{VM} = 12V$  での値です。

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
<b>電源 (VM)</b>						
$I_{VMQ}$	VM スリープ モード電流	$V_{PWM/DC} = 0V$ , SLEEP_EN = 0x1		0.08	0.14	mA
$I_{VM}$	VM アクティブ モード電流	$V_{PWM/DC} = 3V$ (PWMDC_MODE = 0x1) またはフローティング (PWM_DC = 0x0)、 OUTx 間は無負荷		3.9	5	mA
$t_{WAKE}$	スタンバイ / スリープ モードからのターンオン時間	PWM デューティ = 0% ~ 100% から OUTx スイッチングまでに要する時間。 PWM 入力 (PWMDC_MODE = 0x0)、 PWM_IN_RANGE = 0x0			16	ms
		PWM デューティ = 0% ~ 100% から OUTx スイッチングまでに要する時間。 PWM 入力 (PWMDC_MODE = 0x0)、 PWM_IN_RANGE = 0x1			64	ms
	スタンバイ / スリープ モードからのターンオン時間	DC 入力 = 0V ~ 3V から OUTx スイッチングまでに要する時間。DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1)			1	ms
$t_{STOP\_DET}$	DIN = 0% の検出に要する時間	PWM デューティ = 100% ~ 0% から、 RAMP_ON_STOP_DIS に従ってモーター 停止を開始するのに要する時間。PWM 入力 (PWMDC_MODE = 0x0、 PWM_IN_RANGE = 0x0)			16	ms
		PWM デューティ = 100% ~ 0% から RAMP_ON_STOP_DIS に従ってモーター 停止を開始するのに要する時間。PWM 入力 (PWMDC_MODE = 0x0、 PWM_IN_RANGE = 0x1)			64	ms
	DIN = 0% の検出に要する時間	DC 入力 = 3V ~ 0V から RAMP_ON_STOP_DIS に従ってモーター 停止を開始するのに要する時間。DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1)			1.3	ms
<b>PWM/DC (SCL) および FG (SDA)</b>						
$V_{IL}$	入力ロジック Low 電圧	アクティブまたはスタンバイ状態、あるいは SCL モード時、PWM/DC ピンは PWM 入力 モード (PWMDC_MODE = 0x0)、FG ピ ンは SDA モード			0.8	V
$V_{IH}$	入力ロジック High 電圧		2			V
$V_{HYS}$	入力ヒステリシス		0.15	0.2	0.26	V
$V_{SLEEP\_DC}$	DC 入力モードでのスリープ移行のための PWM/DC ピンの電圧スレッショルド	PWM/DC ピンに印加される電圧、 SLEEP_EN = 0x1、PWMDC_MODE = 0x1	0		0.1	V

MC111:  $3.2V \leq V_{VM} \leq 19V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_J \leq 150^{\circ}C$  (特に記述のない限り)

 標準値は  $T_J = 25^{\circ}C$  および  $V_{VM} = 12V$  での値です。

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$I_{IL}$ (PWM/DC)	入力ロジック Low 電流	$V_I = 0V$ , SLEEP_EN = 0x0, PWM/DC ピンは PWM 入力モード (PWMDC_MODE = 0x0) または SCL モード	225	245	265	$\mu A$
		$V_I = 0V$ , SLEEP_EN = 0x0, PWM/DC ピンは DC 入力モード (PWMDC_MODE = 0x1)			1	$\mu A$
		$V_I = 0V$ , SLEEP_EN = 0x1, PWM/DC ピンは PWM 入力モード (PWMDC_MODE = 0x0) または DC 入力モード (PWMDC_MODE = 0x1) または SCL モード	20	50	70	$\mu A$
$I_{IH}$ (PWM/DC)	入力ロジック High 電流	$V_I = 3.3V$ , PWM/DC ピンは PWM 入力モード (PWMDC_MODE = 0x0) または DC 入力モード (PWMDC_MODE = 0x1) または SCL モード	-1		0	$\mu A$
		$V_I = V_{VM}$ , PWM/DC ピンは PWM 入力モード (PWMDC_MODE = 0x0) または DC 入力モード (PWMDC_MODE = 0x1) または SCL モード	-1		0	$\mu A$
$V_{PU}$ (PWM/DC)	内部プルアップ電圧	PWM 入力モード (PWMDC_MODE = 0x0), $V_M \geq 3.6V$	2.7	2.9	3.2	V
		PWM 入力モード (PWMDC_MODE = 0x0), $V_M < 3.6V$	2.55		$V_M$	V
$f_{PWM\_IN}$	デューティ / 速度リファレンスの入力 PWM 周波数範囲	PWM 入力 (PWMDC_MODE = 0x0), PWM_IN_RANGE = 0x0	0.08		90	kHz
		PWM 入力 (PWMDC_MODE = 0x0), PWM_IN_RANGE = 0x1	0.02		22	kHz
$V_{PWM\_ACC}$	PWM 入力からのデューティ / 速度リファレンス精度	$20Hz \leq f_{PWM\_IN} \leq 45kHz$			0.4	%
		$45kHz < f_{PWM\_IN} \leq 90kHz$			0.8	%
$V_{DC}$	デューティ / 速度リファレンスの DC 入力範囲	DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1), $3.2V \leq V_M < 4.5V$	0		$V_M - 1.4$	V
		DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1), $4.5V \leq V_M \leq 35V$	0		3.1	V
$V_{DC\_DIN\_0\%}$	0% デューティ / 速度リファレンス (DIN = 0%) の DC 入力スレッショルド	DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1)			0.1	V
$V_{DC\_DIN\_100\%}$	100% デューティ / 速度リファレンス (DIN = 100%) の DC 入力スレッショルド	DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1), $3.2V \leq V_M < 4.5V$	$V_M - 1.4$		3.2	V
		DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1), $4.5V \leq V_M \leq 35V$	2.9	3	3.2	V
$V_{DC\_ACC}$	DC 入力からのデューティ / 速度リファレンス精度	DC 入力 (PWMDC_MODE = 0x1), $4.5V \leq V_M \leq 35V$			3	%
$V_{OL}$ (FG)	出力ロジック Low 電圧	$I_{OD} = 20mA$			0.4	V
$I_{OZ}$ (FG)	出力ロジック High 電流	$V_{OD} = 3.3V$	-1		1	$\mu A$
$I_{OZ}$ (FG)	出力ロジック High 電流	$V_{OD} = V_M$	-1		1	$\mu A$
<b>ドライバ出力 (OUTx)</b>						
$R_{DS(on)}$ (H+L)	ハイサイドおよびローサイド MOSFET のオン抵抗	$V_{VM} = 3.2V$ , $I_O = 500mA$ , $T_A = 25^{\circ}C$		0.85	1.02	$\Omega$
$R_{DS(on)}$ (H+L)	ハイサイドおよびローサイド MOSFET のオン抵抗	$V_{VM} = 12V$ , $I_O = 500mA$ , $T_A = 25^{\circ}C$		0.8	0.95	$\Omega$

MC111:  $3.2V \leq V_{VM} \leq 19V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_J \leq 150^{\circ}C$  (特に記述のない限り)  
標準値は  $T_J = 25^{\circ}C$  および  $V_{VM} = 12V$  での値です。

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$R_{DS(on)}$ (H+L)	ハイサイドおよびローサイド MOSFET のオン抵抗	$V_{VM} = 12V$ , $I_O = 500mA$ , $T_A = 150^{\circ}C$		1.3	1.5	$\Omega$
$f_{PWM\_OUT}$	PWM 出力周波数	PWM_OUT_FREQ = 0x0, DITHER_EN = 0x0	23.5	25	26.25	kHz
$f_{PWM\_OUT}$	PWM 出力周波数	PWM_OUT_FREQ = 0x1, DITHER_EN = 0x0	45	50	55	kHz
<b>デジタルラッチ ホール エフェクト センサ</b>						
$B_{OP}$	動作ポイント		0.4	0.8	1.6	mT
$B_{RP}$	リリース ポイント		-1.6	-0.7	-0.4	mT
$B_{HYS}$	ヒステリシス, $B_{HYS} = (B_{OP} - B_{RP})$		1.2	1.6	3.2	mT
$B_{OF}$	磁気オフセット, $B_{OF} = (B_{OP} + B_{RP}) / 2$		-1	0	1	mT
<b>発振器</b>						
$f_{osc}$	内部発振器の周波数	$V_{VM} = 12V$ , $T_J = 25^{\circ}C$	24.625	25	25.375	MHz
$f_{osc}$	内部発振器の周波数		24.25	25	25.75	MHz
<b>デューティ曲線</b>						
$D_{OUT\_RES}$	LSB あたりの出力デューティ サイクル分解能	50% 電圧レベル, $0.4\% \leq DOUT \leq 99.6\%$ で測定		0.4		%
$D_{HYS}$	$D_{IN}$ 立ち上がりの速度曲線ヒステリシス	$DIN\_HYS = 0x0$ . $DIN$ を 0% から $DINO + DIN\_HYS$ までスweepします。出力 $DOUT$ は $DOUT0$ からターゲット デューティ サイクルに変化します。		0		%
		$DIN\_HYS = 0x1$ . $DIN$ を 0% から $DINO + DIN\_HYS$ までスweepします。出力 $DOUT$ は $DOUT0$ からターゲット デューティ サイクルに変化します。		1.2		%
		$DIN\_HYS = 0x2$ . $DIN$ を 0% から $DINO + DIN\_HYS$ までスweepします。出力 $DOUT$ は $DOUT0$ からターゲット デューティ サイクルに変化します。		2.4		%
		$DIN\_HYS = 0x3$ . $DIN$ を 0% から $DINO + DIN\_HYS$ までスweepします。出力 $DOUT$ は $DOUT0$ からターゲット デューティ サイクルに変化します。		4.8		%
$SPEED_{ERR}$	閉ループ速度精度	$T_J = 25^{\circ}C$ , $SPEED\_LOOP\_EN = 0x1$ , $12.5\% \times MAX\_SPEED \leq SPEED\_REF \leq MAX\_SPEED$	-1		1	%
		$SPEED\_LOOP\_EN = 0x1$ , $12.5\% \times MAX\_SPEED \leq SPEED\_REF \leq MAX\_SPEED$	-3		3	%
<b>整流</b>						
$\theta_{HALL\_OS\_ANGLE}$	最小ホール オフセット角度	HALL_OS_ANGLE = 0x00		0		度
	最大ホール オフセット角度	HALL_OS_ANGLE = 0x1F		43.8		度
$\theta_{HALL\_OS\_ANGLE\_LSB}$	LSB あたりのホール オフセット角度分解能	HALL_OS_ANGLE LSB		1.4		度
$T_{HALL\_OS}$	最小ホール オフセット信号のリード / ラグ時間	HALL_OS_TIME = 0x00		0		$\mu s$
	最大ホール オフセット信号リード / ラグ時間	HALL_OS_TIME = 0xFF		2.55		ms
$T_{HALL\_OS\_LSB}$	LSB ごとのホール オフセット信号リード / ラグ時間分解能	HALL_OS_TIME LSB		10		$\mu s$

MC111:  $3.2V \leq V_{VM} \leq 19V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_J \leq 150^{\circ}C$  (特に記述のない限り)

 標準値は  $T_J = 25^{\circ}C$  および  $V_{VM} = 12V$  での値です。

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$t_{DEMAG}$	消磁期間の最小時間	DEMAG_TIME = 0x00		0		$\mu s$
	消磁期間の最大時間	DEMAG_TIME = 0x20		1.29		ms
$t_{DEMAG\_LSB}$	LSB ごとの DEMAG_TIME 時間分解能	DEMAG_TIME LSB		10.24		$\mu s$
$\theta_{SRISE}$	ソフト立ち上がりの最小角度	SRISE = 0x00		2.8		度
	ソフト立ち上がりの最大角度	SRISE = 0x10		90		度
$\theta_{SRISE\_LSB}$	LSB あたりの SRISE の角度分解能	SRISE LSB		2.8		度
$\theta_{SFALL}$	ソフト立ち下りの最小角度	SFALL = 0x00		2.8		度
	ソフト立ち下りの最大角度	SFALL = 0x1F		90		度
$\theta_{SFALL\_LSB}$	LSB あたりの SFALL の角度分解能	SRISE LSB		2.8		度
<b>プレスタートと PWM ランプ / ソフト スタート</b>						
PWM_RAM P_RATE	ソフトスタートおよび速度変化に対する出力 デューティ サイクル ランプ レート	PWM_RAMP_SEL = 0x0 (0 ~ 100% の 場合 1.3s)		77		%/s
		PWM_RAMP_SEL = 0x1 (0 ~ 100% の 場合 2.6s)		38.5		%/s
		PWM_RAMP_SEL = 0x2 (0 ~ 100% の 場合 5.2s)		19.2		%/s
		PWM_RAMP_SEL = 0x3 (0 ~ 100% の 場合 10.4s)		9.6		%/s
<b>保護回路</b>						
$V_{MCLAMP}$	VM クランプ電圧	$I_{clamp} = 20mA$	19.5		25	V
$V_{MPOR}$	デバイスの電源投入に必要な VM パワーオン リセットのスレッシュホールド	電源立ち上がり	2.3	2.55	2.7	V
$V_{MPOR\_HYS}$	VM パワーオンリセット スレッシュホールド ヒステ リシス	立ち上がりから立ち下りまでのスレッシュ ホールド	0.04	0.09	0.13	V
$V_{UVLO}$	モーターの駆動を開始 / 停止するための電 源低電圧誤動作防止スレッシュホールド	電源立ち上がり (UVLO_SEL = 0x0)	2.85	3	3.15	V
		電源立ち下り (UVLO_SEL = 0x0)	2.55	2.7	2.85	V
$V_{UVLO\_HYS}$	電源 UVLO ヒステリシス	立ち上がりから立ち下りまでのスレッシュ ホールド (UVLO_SEL = 0x0)		0.3		V
$V_{UVLO}$	モーターの駆動を開始 / 停止するための電 源低電圧誤動作防止スレッシュホールド	電源立ち上がり (UVLO_SEL = 0x1)	3.97	4.2	4.5	V
		電源立ち下り (UVLO_SEL = 0x1)	2.55	2.7	2.85	V
$V_{UVLO\_HYS}$	電源 UVLO ヒステリシス	立ち上がりから立ち下りまでのスレッシュ ホールド (UVLO_SEL = 0x1)		1.5		V
$V_{UVLO}$	モーターの駆動を開始 / 停止するための電 源低電圧誤動作防止スレッシュホールド	電源立ち上がり (UVLO_SEL = 0x2)	5.42	5.7	6	V
		電源立ち下り (UVLO_SEL = 0x2)	2.55	2.7	2.85	V
$V_{UVLO\_HYS}$	電源 UVLO ヒステリシス	立ち上がりから立ち下りまでのスレッシュ ホールド (UVLO_SEL = 0x2)		3		V
$V_{UVLO}$	モーターの駆動を開始 / 停止するための電 源低電圧誤動作防止スレッシュホールド	電源立ち上がり (UVLO_SEL = 0x3)	7.2	7.6	8	V
		電源立ち下り (UVLO_SEL = 0x3)	2.55	2.7	2.85	V
$V_{UVLO\_HYS}$	電源 UVLO ヒステリシス	立ち上がりから立ち下りまでのスレッシュ ホールド (UVLO_SEL = 0x3)		4.9		V
$V_{OVP}$	電源過電圧誤動作防止 (OVP)	電源立ち上がり (OVP_SEL = 0x1)	21.5	22.7	23.9	V
$V_{OVP}$	電源過電圧誤動作防止 (OVP)	電源立ち下り (OVP_SEL = 0x1)	20.1	21.2	22.3	V
$V_{OVP}$	電源過電圧誤動作防止 (OVP)	電源立ち上がり (OVP_SEL = 0x2)	17.5	18.4	19.3	V
$V_{OVP}$	電源過電圧誤動作防止 (OVP)	電源立ち下り (OVP_SEL = 0x2)	15.9	16.9	17.9	V
$V_{OVP\_HYS}$	電源過電圧ヒステリシス			1.5		V



MC111:  $3.2V \leq V_{VM} \leq 19V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_J \leq 150^{\circ}C$  (特に記述のない限り)  
標準値は  $T_J = 25^{\circ}C$  および  $V_{VM} = 12V$  での値です。

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
t <sub>OVP_DEG</sub>	電源過電圧グリッチ除去時間		70	80	90	μs
t <sub>OVP_BLANK</sub>	電源過電圧ブランキング時間	OVP_BLANK_EN = 0x1、 OVP_BLANK_TIME = 0x0		1		ms
		OVP_BLANK_EN = 0x1、 OVP_BLANK_TIME = 0x1		4		ms
I <sub>LIMIT</sub>	Current limit threshold	ILIMIT_SEL = 0x0	0.29	0.32	0.37	A
		ILIMIT_SEL = 0x1	0.38	0.43	0.49	A
		ILIMIT_SEL = 0x2	0.48	0.53	0.61	A
		ILIMIT_SEL = 0x3	0.58	0.63	0.73	A
		ILIMIT_SEL = 0x4	0.67	0.73	0.85	A
		ILIMIT_SEL = 0x5	0.76	0.83	0.97	A
		ILIMIT_SEL = 0x6	0.85	0.94	1.09	A
		ILIMIT_SEL = 0x7	0.94	1.03	1.21	A
		ILIMIT_SEL = 0x8	1.03	1.12	1.33	A
		ILIMIT_SEL = 0x9	1.11	1.21	1.44	A
t <sub>ILIMIT_BLANK</sub>	電流制限ブランキング時間 (最新の立ち上がりエッジ PWM (FET) 信号から適用)	ILIM_BLANK_SEL = 0x0		0.5		μs
		ILIM_BLANK_SEL = 0x1		1		μs
t <sub>ILIMIT_DEG</sub>	電流制限のグリッチ除去時間	ILIM_DEGLITCH_SEL = 0x0		0.6		μs
	電流制限のグリッチ除去時間	ILIM_DEGLITCH_SEL = 0x1		1.1		μs
I <sub>OCP</sub>	過電流保護トリップ ポイント (HS_FET)		1.3 * I <sub>LIMIT</sub>	1.7 * I <sub>LIMIT</sub>	2.2 * I <sub>LIMIT</sub>	A
I <sub>OCP</sub>	過電流保護トリップ ポイント (LS_FET)		1.5 * I <sub>LIMIT</sub>	1.7 * I <sub>LIMIT</sub>	1.85 * I <sub>LIMIT</sub>	A
t <sub>OCP_DEG</sub>	過電流保護グリッチ除去時間			0.6		μs
t <sub>LRD_START</sub>	起動時の回転子ロック検出時間	LRD_TIME_STARTUP = 0x0	0.31	0.32	0.34	s
		LRD_TIME_STARTUP = 0x1	0.42	0.44	0.46	s
		LRD_TIME_STARTUP = 0x2	0.5	0.52	0.55	s
		LRD_TIME_STARTUP = 0x3	1	1.05	1.1	s
N <sub>RETRY</sub>	回転子ロックと過電流に対するロング リトライ時間の比率。ロング リトライ時間 = N <sub>RETRY</sub> × t <sub>LRD_START</sub>	LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x0		2		
		LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x1		4		
		LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x2		8		
		LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x3		10		
		LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x4		12		
		LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x5		16		
		LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x6		24		
		LRD_LONG_RETRY_SEL = 0x7		28		
t <sub>LRD_RUN</sub>	起動時の回転子ロック検出時間	モーター動作中の回転子ロック	0.29	0.32	0.35	s
T <sub>TSD</sub>	サーマル シャットダウン温度		155	170	185	°C
T <sub>HYS</sub>	サーマル シャットダウン ヒステリシス			24		°C

## 5.6 I2C のタイミング要件

		最小値	公称値	最大値	単位
スタンダード モード					
f <sub>SCL</sub>	SCL クロック周波数	0		100	kHz

		最小値	公称値	最大値	単位
$t_{HD,STA}$	(反復) 開始条件のホールド時間。この時間が経過すると、最初のクロックパルスが生成されます	4			$\mu\text{s}$
$t_{LOW}$	SCL クロック Low 期間	4.7			$\mu\text{s}$
$t_{HIGH}$	SCL クロックの High の時間	4			$\mu\text{s}$
$t_{SU,STA}$	反復開始条件のセットアップ時間	4.7			$\mu\text{s}$
$t_{HD,DAT}$	データ ホールド時間: I2C バス デバイスの場合	0.01		3.45	$\mu\text{s}$
$t_{SU,DAT}$	データ セットアップ時間	250			ns
$t_R$	SDA と SCL の立ち上がり時間			1000	ns
$t_F$	SDA と SCL の立ち下がり時間			300	ns
$t_{SU,STO}$	STOP 条件のセットアップ時間	4			$\mu\text{s}$
$t_{BUF}$	STOP 条件と START 条件の間のバスフリー時間	4.7			$\mu\text{s}$
<b>ファストモード</b>					
$f_{SCL}$	SCL クロック周波数	0		400	kHz
$t_{HD,STA}$	(反復) 開始条件のホールド時間。この時間が経過すると、最初のクロックパルスが生成されます。	0.6			$\mu\text{s}$
$t_{LOW}$	SCL クロック Low 期間	1.3			$\mu\text{s}$
$t_{HIGH}$	SCL クロックの High の時間	0.6			$\mu\text{s}$
$t_{SU,STA}$	反復開始条件のセットアップ時間	0.6			$\mu\text{s}$
$t_{HD,DAT}$	データ ホールド時間: I2C バス デバイスの場合	0.01		0.9	$\mu\text{s}$
$t_{SU,DAT}$	データ セットアップ時間	50			ns
$t_R$	SDA と SCL の立ち上がり時間			300	ns
$t_F$	SDA と SCL の立ち下がり時間			300	ns
$t_{SU,STO}$	STOP 条件のセットアップ時間	0.6			$\mu\text{s}$
$t_{BUF}$	STOP 条件と START 条件の間のバスフリー時間	1.3			$\mu\text{s}$
$t_{SP}$	入力ノイズ フィルタにより抑制されるスパイクのパルス幅		50		ns

## 5.7 タイミング図

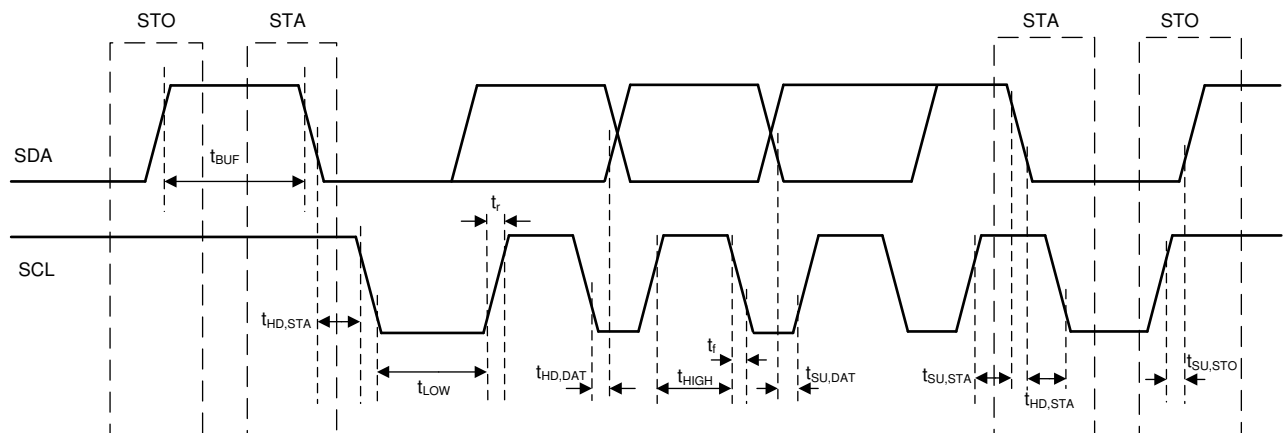


図 5-1. I<sup>2</sup>C のタイミング図

## 6 詳細説明

### 6.1 概要

MC111 は、25V、850mΩ 定格、1.25A ピークの単相 BLDC モータードライバで、N チャネル フルブリッジ FET、チャージポンプ、ホール センサ、整流制御ロジック、保護回路を内蔵しています。ホール センサは、回転子の位置情報を整流ロジックに提供し、連続的な回転子の動作を維持します。整流ロジックは、方形波とソフト PWM 波形に設定して、音響ノイズを低減したり、速度 / 効率を最大化したりできます。

### 6.2 機能ブロック図

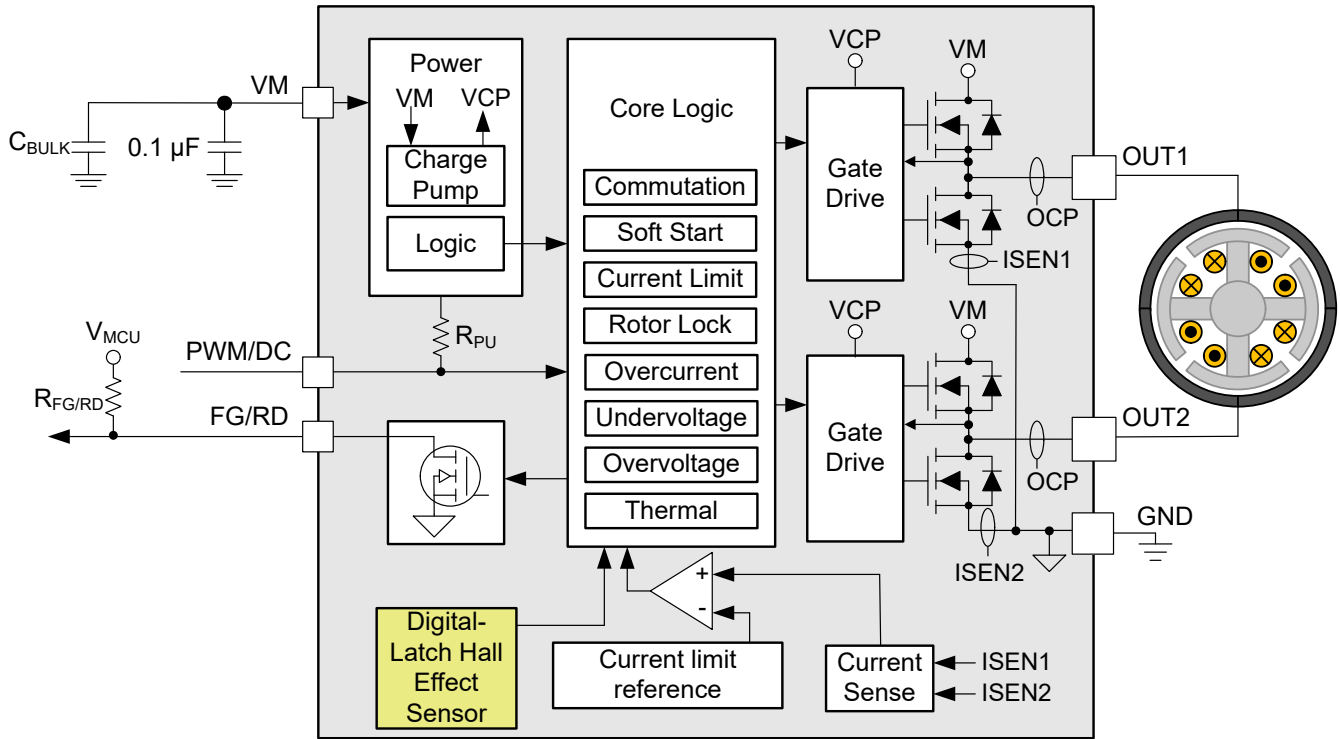


図 6-1. MC111 機能ブロック図

### 6.3 機能説明

#### 6.3.1 モーター制御

MC111 は、PWM/DC ピンにパルス幅変調 (PWM) または DC (アナログ) 入力を受け取ることで、モーター速度を制御します。MC111 は、入力デューティ (図 6-2 の DIN) をユーザー設定のターゲット出力デューティ サイクル (図 6-2 の DOUT\_TARGET) にマッピングするための、設定可能なデューティ曲線を提供します。MC111 は、出力デューティ サイクル (図 6-2 の DOUT) をスムーズに増減させて DOUT\_TARGET に到達させるための、ユーザーが設定可能なデューティランプも提供します。MC111 は、開ループ (デューティ サイクル) 制御と閉ループ (速度) 制御の両方をサポートしています。開ループ (デューティ サイクル) 制御では、印加されるデューティ サイクルは DOUT によって直接設定されます。閉ループ (速度) 制御では、印加されるデューティ サイクルは速度ループによって設定されます。内蔵のデジタルラッチホールセンサは、整流アルゴリズムに対して回転子の位置とタイミングの情報を提供します。MC111 は、効率 / モーター速度と音響ノイズの間で最適化するために、方形波 および出力 PWM 波形整形方式をサポートしています。MC111 は、H ブリッジで同期、非同期、およびハイブリッド出力 PWM 変調モードを提供します。設定可能なホールリード / ラグ角度と時間調整により、低速および高速の両方で効率を向上させることができます。さらに、MC111 は、整流前にモーター巻線電流をゼロにまで低減させるために、設定可能な消磁機能 (自動または手動) を備えており、DC バス (VM) 電圧スパイクや音響ノイズを最小化し、効率を向上させることができます。

図 6-2 に、MC111 のモーター制御ブロック図を示します。

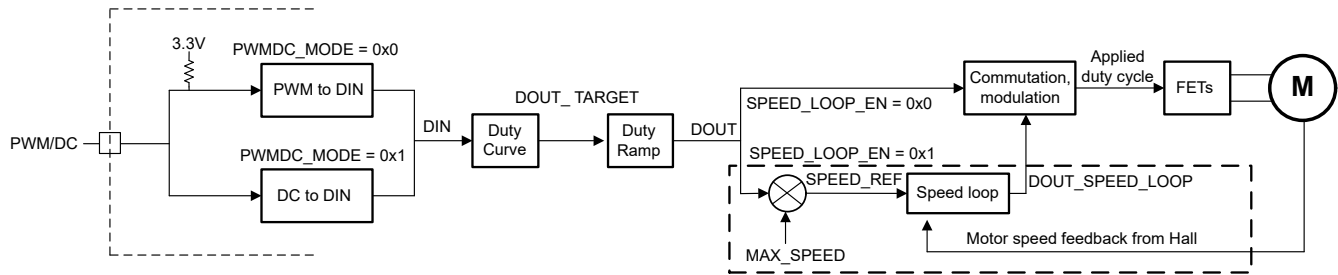


図 6-2. MC111 モーター制御のブロック図

### 6.3.1.1 デューティ入力

MC111 は、PWM/DC ピンからデューティ入力 (DIN) を受け取ります。PWM/DC 入力は PWM 信号と DC (アナログ) 信号のどちらかにでき、PWMDC\_MODE ビットによって選択されます。入力 PWM 周波数の範囲は 20Hz ~ 90kHz (PWM\_IN\_RANGE ビットで設定された入力 PWM 周波数範囲) で、DC 入力の範囲は (0 ~ 3)V です。PWM/DC ピンにはプルアップ機能が内蔵されており、オン / オフ制御のみを必要とするアプリケーションで、ピンがフローティング / 未接続のままのとき、デューティ入力 (DIN) を 100% に設定できます。

#### 注

PWRUP\_PWMDC\_MASK が 0x1 に設定されている場合、MC111 はパワーアップ後、1 秒間待機してから、PWM/DC ピンからのデューティ入力に反応します。PWRUP\_PWMDC\_MASK が 0x0 に設定されている場合、パワーアップ時の待機時間はありません。

### 6.3.1.2 デューティ曲線

MC111 は、図 6-3 に示すように、構成可能なデューティ曲線をサポートしています。これにより、特定の使用事例に応じてターゲット出力デューティ サイクル (DOUT\_TARGET) を入力デューティ (DIN) の関数として設定でき、単一プラットフォーム (MC111) でさまざまな最終アプリケーションに対応する BLDC ドライバ設計を実現できます。

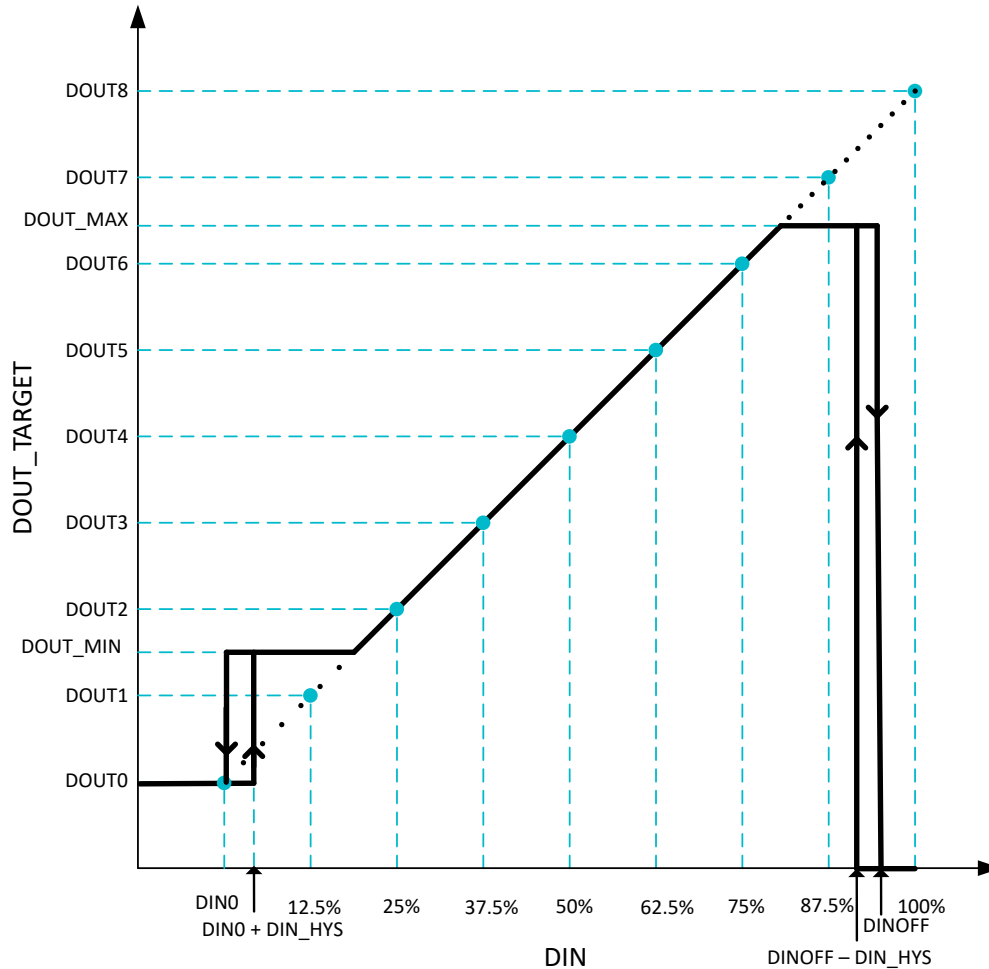


図 6-3. デューティ曲線

デューティ曲線上の構成可能なポイントは次のとおりです。

- **DINO、DOUT0**: DINO は、モーターの駆動を開始するための最小入力 (開始) デューティサイクルを設定するために使用できます。STBY\_EN = 0x1 の場合、 $DIN \geq (DINO + DINHYS)$  になるまでモーターは駆動されません。DINHYS は、DINO 付近のヒステリシスを設定し、モーターの駆動を開始 / 停止します。MC111 は、STBY\_EN を 0x0 に、DOUT0 をゼロでない値に設定することで、 $DIN < DINO$  の場合でもモーターを駆動する機能も備えています。DIN = 0% のときのデバイスの状態は、表 6-5 に示すように、SLEEP\_EN ビットと STBY\_EN ビットによって設定されます。
- **DINOFF**: DINOFF は最大入力デューティサイクル (DIN) を設定し、それを上回るとモーターの駆動を停止するためのターゲット出力デューティサイクル (DOUT\_TARGET) が 0 に設定され、 $DIN \geq DINOFF$  のとき DOUT\_TARGET = 0% になります。DIN < (DINOFF - DINHYS) になると、モーター駆動が再開されます。
- **DOUT\_MIN**: DOUT\_MIN は、 $DINO < DIN < DINOFF$  のときの最小ターゲット出力デューティサイクル (DOUT\_TARGET) を設定します。
- **DOUT\_MAX**: DOUT\_MAX は、 $DIN < DINOFF$  のときの最大ターゲット出力デューティサイクル (DOUT\_TARGET) を設定します。
- **DOUTx**: DOUTx は、入力デューティの固定の間隔で出力デューティを設定します。DOUT1 は DIN = 12.5% のときのターゲット出力デューティを設定し、DOUT2 は DIN = 25% のときのターゲット出力デューティを設定します。以降同様に、DOUT8 は DIN = 100% のときのターゲット出力デューティを設定します。DOUTx を使用して、正のスロープ デューティ曲線を設定できます (デューティ曲線を参照)。DOUTx は、負のスロープを設定するためにも使用でき

ます (図 6-4 を参照)。また、DOUTx を使用して、混合スロープ (正、負、ゼロ) を設定することもできます (図 6-5 を参照)。

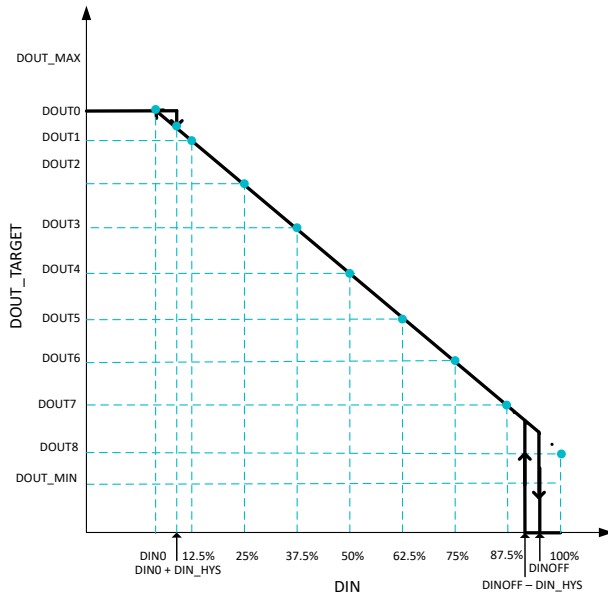


図 6-4. デューティ曲線 - 負のスロープ

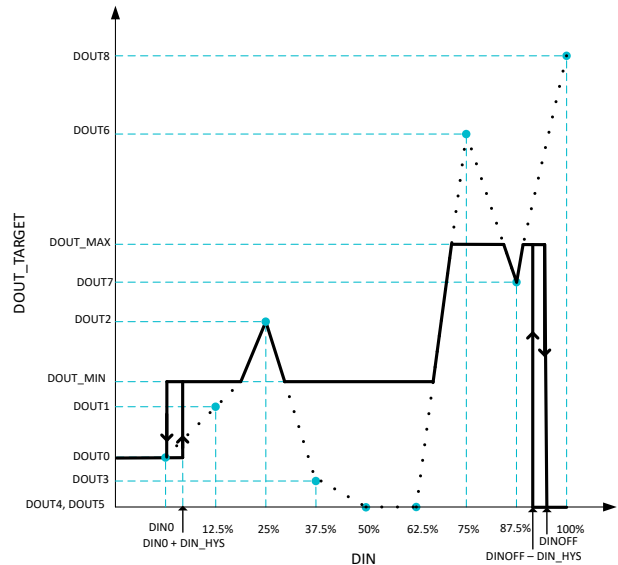


図 6-5. デューティ曲線 - 混合スロープ

### 6.3.1.3 モーターの起動、速度変更、停止

#### モーター起動

MC111 は 図 6-6 に示すように、モーター起動時に目標出力デューティ サイクル (図 6-2 の DOUT\_TARGET) に到達するまで、ユーザーが設定した 2 つのスロープ ランプを実装しています。この 2 段階ランプ (プリスタート、その後にはソフトスタート) によって、信頼性の高い起動とモーター ノイズの低減が可能になります。

MC111 は、スタンバイ モード、スリープ モード、または故障モードを抜けると、プリスタートフェーズに移行します。プリスタートフェーズ中、MC111 は常に方形波整流方式でモーターを駆動します。PWM\_RAMP\_EN が 0x1 に設定されている場合、出力デューティ サイクル (図 6-2 の DOUT) は PWM\_RAMP\_SEL で設定されたレートで次の値から直線的に増加します (速度ループが無効の場合  $DOUT\_START \times DOUT\_MAX$ 、速度ループが有効の場合  $DOUT\_START$ )。PWM\_RAMP\_EN が 0x0 に設定されている場合、DOUT は DOUT\_TARGET によって直接更新されます。プリスタートフェーズは、4 電気サイクル (8 ホール エッジ) が観測されるまで続きます。4 番目の電気サイクルが完了すると、デバイスはソフトスタートフェーズへ移行し、DOUT を DOUT\_TARGET まで上昇させます。なお、プリスタートフェーズ終了時点で DOUT がすでに DOUT\_TARGET に達している場合、ソフトスタートフェーズはスキップされ、デバイスは直接定常状態に入ります。MC111 が  $t_{LRD}$  内にホール信号の遷移を検出できなかった場合、デバイスは回転子ロック保護フォールト状態に移行します。起動シーケンス中の回転子ロック検出時間 ( $t_{LRD\_START}$ ) は、LRD\_TIME\_STARTUP によって設定されます。定常状態では、回転子ロック検出時間 ( $t_{LRD\_RUN}$ ) は 320ms に固定されています。プリスタートフェーズ中、ホール オフセット (角度および時間) は無効化されます。

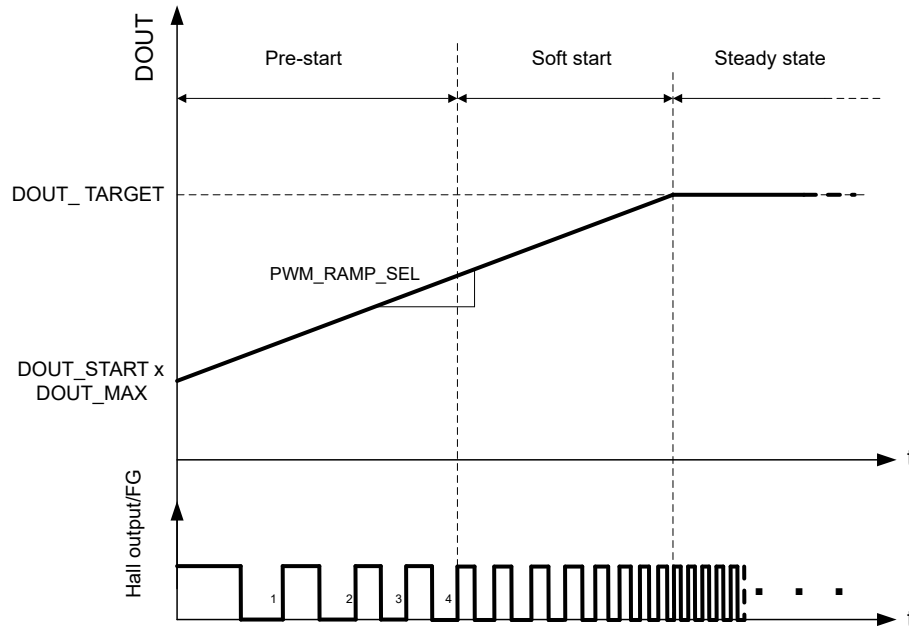


図 6-6. モーター起動時の出力デューティ サイクル

ソフトスタートフェーズ中、DOUT は PWM\_RAMP\_SEL で設定されたレートで上昇します。このフェーズではホールオフセットと消磁が適用され、MC111 は COMMUTATION\_MODE、SRISE、SFALL ビットで設定された整流方式を使用します。DOUT が出力デューティまたは速度目標値に到達すると、ソフトスタートフェーズは終了します。

### 速度変更

モーター動作中、DIN が変化すると、MC111 はユーザーが設定したランプ レートを使用して、出力デューティ サイクル (図 6-2 の DOUT) を前の目標デューティ サイクル (DOUT\_TARGET\_PREV) から新しい目標デューティ サイクル (DOUT\_TARGET) までスムーズに変化させます。加速中 (DOUT\_TARGET > DOUT\_TARGET\_PREV) は、ランプ レートは PWM\_RAMP\_SEL によって設定され、減速中 (DOUT\_TARGET < DOUT\_TARGET\_PREV) は、ランプ レートは PWM\_RAMP\_SEL (PWM\_DECEL\_SEL = 0x0 の場合) または  $0.5 \times \text{PWM\_RAMP\_SEL}$  (PWM\_DECEL\_SEL = 0x1 の場合) になります。PWM\_DECEL\_SEL = 0x1 は、モーターからの回生エネルギーのプッシュバックによる DC バススパイクを回避するため、減速中にランプを遅くします。図 6-7 に、PWM\_RAMP\_SEL に従う DOUT の増加および減少の例を示します。

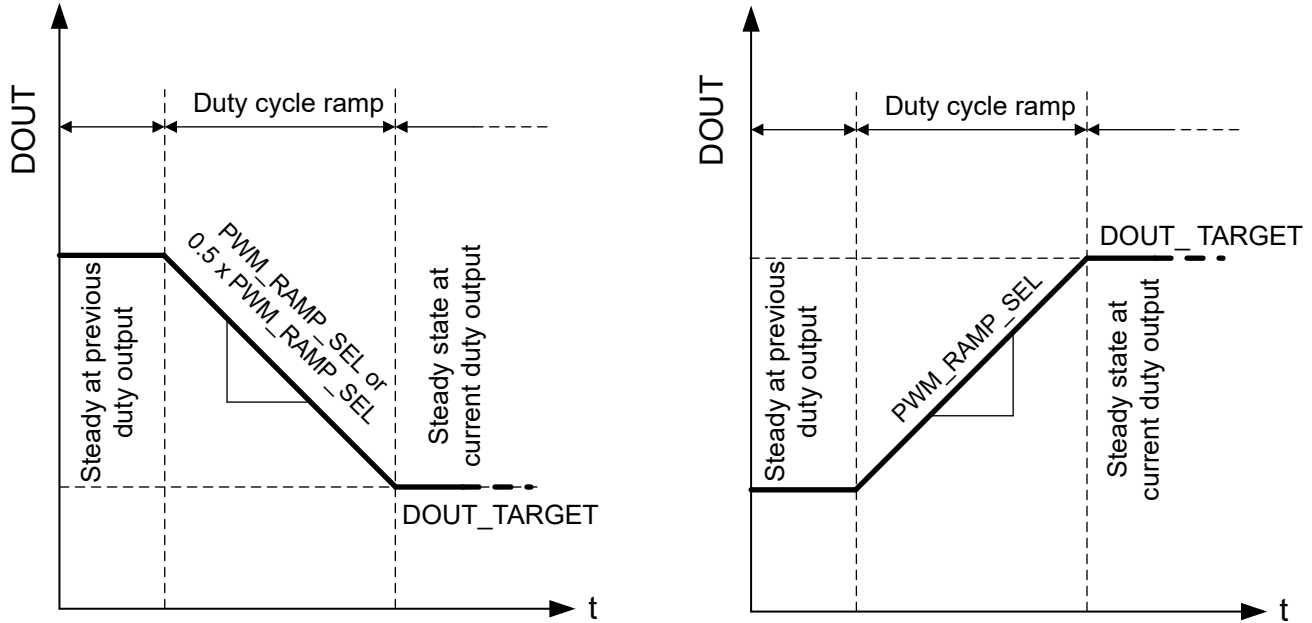


図 6-7. デューティ サイクルのランプ

ストップ

モーター停止 ( $DOUT\_TARGET = 0\%$ ) を受信すると、MC111 は  $RAMP\_ON\_STOP\_DIS$  の設定に基づいてモーターを停止します。 $RAMP\_ON\_STOP\_DIS$  が  $0x1$  に設定されている場合、モーター停止が検出されると ( $t_{STOP\_DET}$  以内に)、すべての FET がハイインピーダンスになります。 $RAMP\_ON\_STOP\_DIS$  が  $0x0$  に設定されている場合、デバイスは  $DOUT$  を  $PWM\_DECCEL\_SEL$  で設定されたレートでゼロまでランプダウンし、その後すべての FET をハイインピーダンスにします。FET がハイインピーダンスになると、 $STBY\_EN$  および  $SLEEP\_EN$  ビットに応じて、MC111 はスタンバイ状態を継続するか、低消費電力スリープ状態に移行します。図 6-8 に、 $DIN$  が  $0\%$  に設定されている場合にスリープ状態へ移行するモーター停止シーケンスを示します。

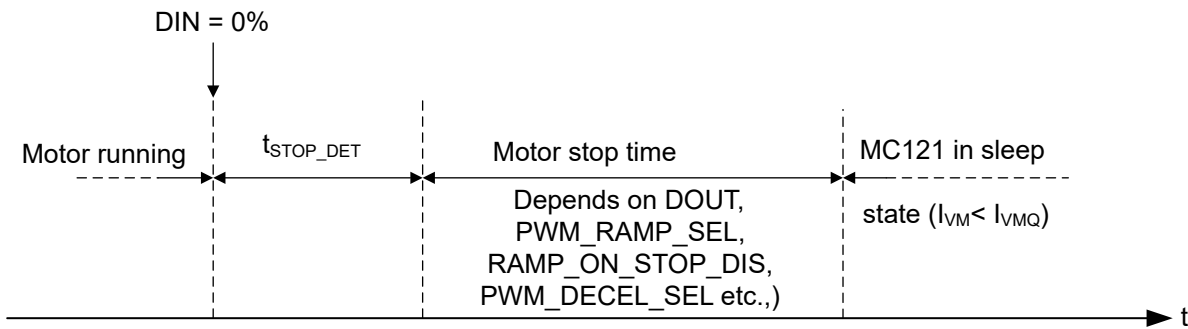


図 6-8.  $DIN$  が  $0\%$  に設定されている場合のスリープ移行シーケンス

注

$PWM\_RAMP\_EN$  ビットを  $0x0$  に設定すると、デューティ サイクルのランプは無効化されます。デューティ サイクルのランプを無効にすると、 $DOUT$  にステップ変化が生じ ( $DIN$  変化時)、モーターの位相電流や DC バス電圧スパイクが大きくなる可能性があります。電流または電圧スパイクを回避するため、 $PWM\_RAMP\_EN$  を  $0x1$  に設定することを推奨します。



### 6.3.1.4 開ループ (デューティ サイクル) 制御

開ループ制御モード (SPEED\_LOOP\_EN を 0x0 に設定) では、PWM/DC ピンからの入力デューティ (DIN) とデューティ曲線によって、整流波形のピーク出力デューティ サイクル (OUTx ピンに印加されるモーター位相電圧) DOUT が決まります (図 6-9 を参照)。H ブリッジ FET に印加されるデューティ サイクルは、整流モード (COMMUTATION\_MODE) と変調モード (PWM\_MODE) の設定で決まります。

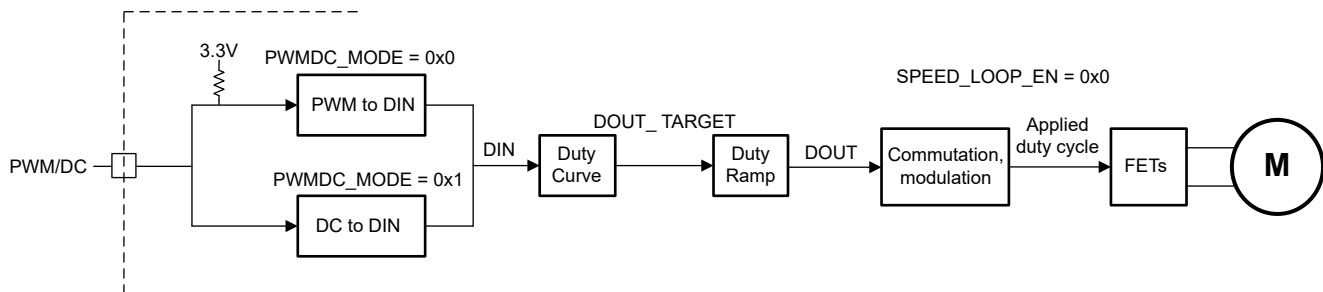


図 6-9. 開 (デューティ) ループ制御

### 6.3.1.5 閉ループ (速度) 制御

図 6-10 に示す通り、MC111 には閉ループ (速度) 制御モードがあり、各種動作条件 (VM、負荷) で一定の速度を維持するために使用できます。速度ループは、SPEED\_LOOP\_EN を 0x1 に設定し、速度リファレンス / 目標 (SPEED\_REF) を (DOUT × MAX\_SPEED) によって設定することで有効化されます。内蔵ホール センサからのモーター速度フィードバックが SPEED\_REF と比較され、誤差は PI ループに供給されます。PI ループ Kp および Ki 係数は、KP\_RATIO と KI\_RATIO によって設定されます。速度ループの出力 (DOUT\_SPEED\_LOOP) は、印加されるピークデューティ サイクルを設定します。速度ループの出力 (DOUT\_SPEED\_LOOP) が飽和すると、積分ワインドアップを防止するため、積分器が無効化されます。

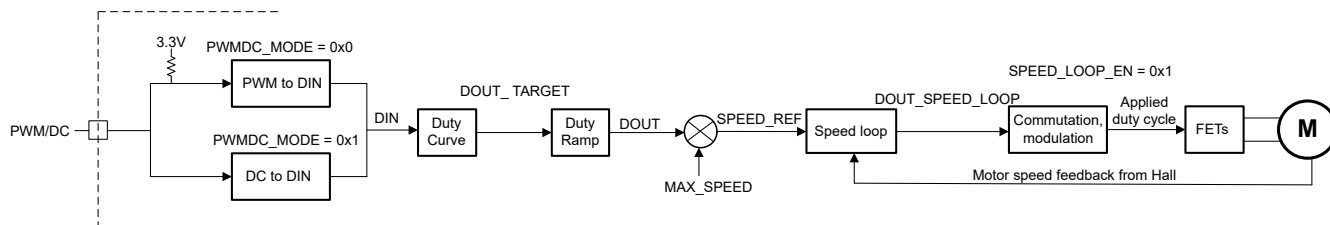


図 6-10. 閉ループ (速度) 制御

### 6.3.1.6 整流

モーターにおける整流とは、固定子と回転子の磁場の向きを設定し、連続的な回転子の動作を維持するプロセスです。単相 BLDC モーターの回転子には、N 極と S 極が交互に切り替わる永久磁石が含まれています。固定子には 1 相の巻線があり、通電時に回転子の磁極を引き付けたり反発させたりします。MC111 に内蔵されたホール センサは、モーターの整流のために固定子巻線に流す電流の方向を決定します。MC111 を使用した単相モーター整流の例を、図 6-11 に示します。適切なモーターの整流には、MC111 を 2 つの固定子極の間に配置し、ホール素子が回転子磁石の直下に位置するようにする必要があります。

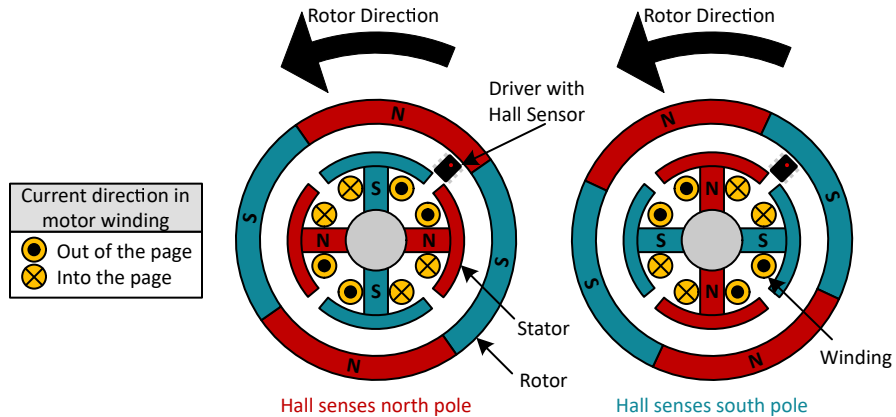


図 6-11. 単相モーター整流の例

MC111 ドライバは、単相 BLDC モーター整流のために以下の機能を内蔵しています。

- 回転子の位置センシング用のデジタル ラッチ ホール センサ
- HALL\_OS\_ANGLE ビットと HALL\_ANGLE\_MODE ビットを使用した、リードまたはラグ角度を調整するためのホール センサ オフセット角度の設定
- HALL\_OS\_TIME ビットと HALL\_TIME\_MODE ビットを使用した、リードまたはラグ時間を調整するためのホール センサ遅延の設定。
- HALL\_INVERT ビットによるホール オフセット信号の反転により、モーター回転方向の変更やホール センサの各種の向きに対応
- COMMUTATION\_MODE ビットで、方形波とソフトの PWM デューティ サイクル波形の選択

#### 6.3.1.6.1 ホール センサ

MC111 はデジタルラッチ ホール センサを内蔵しており、回転子の位置情報を整流アルゴリズムに提供します。以下のセクションでは、整流アルゴリズムに対するデバイスの向きと内部ホール信号の詳細を説明します。

##### 6.3.1.6.1.1 磁界方向の定義

ホール センサは、図 6-12 に黄色で示されたホール センサの表面から磁束が外側へ向かう場合に、正の磁界 ( $B > 0\text{mT}$ ) を検出します。SOT パッケージはフリップ チップ オン リード構造を採用しているため、ホール センサの表面は磁気回転子とは反対方向を向きます。この方向では、パッケージの下を N 極が通過すると、ホール センサは正の磁界を検出します。

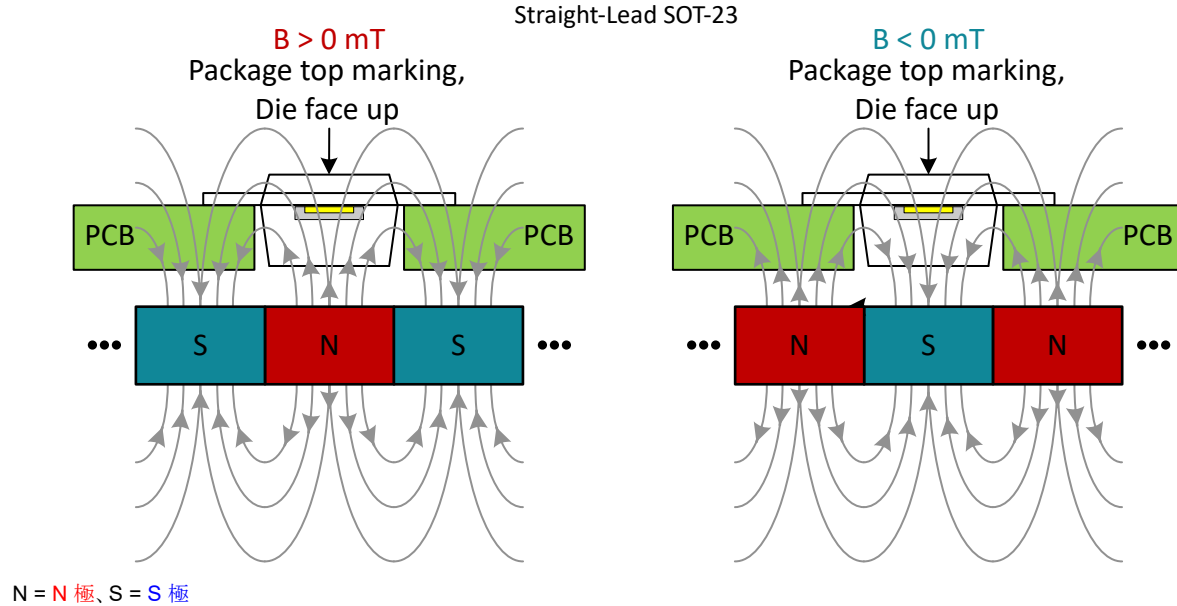


図 6-12. 回転子磁石とドライバを基準とした磁界方向の定義

#### 6.3.1.6.1.2 内部ホール ラッチ センサ出力

$B_{RP}$  と  $B_{OP}$  の間の磁界強度で本デバイスを電源オンすると、内部ホール ラッチ出力信号は不定となります。磁界強度が  $B_{OP}$  を上回ると、内部ホール ラッチ出力信号は Low になります。磁界強度が  $B_{RP}$  を下回ると、内部ホール ラッチ出力信号は High になります。

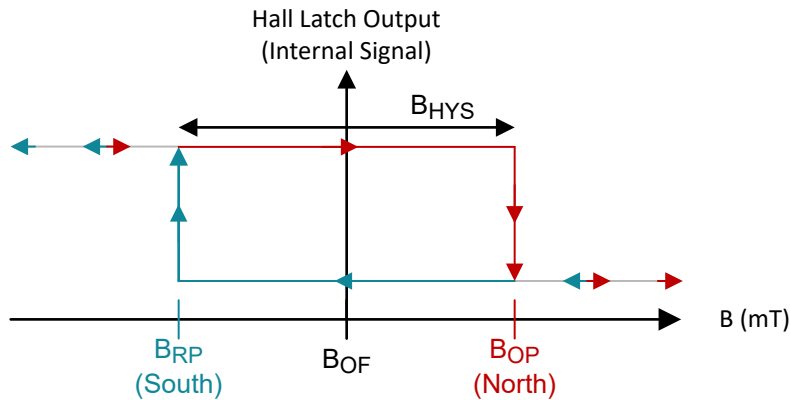


図 6-13. 内部ホール出力信号

#### 6.3.1.6.2 ホール オフセット

MC111 には、BEMF ゼロ交差に対するホール センサ (MC111) の相対位置によるホール センサと BEMF ゼロ交差間のオフセットを補償するためのオプションがあります。HALL\_OS\_ANGLE を使用すると、 $0^\circ$  から  $43.6^\circ$  までの範囲で、 $1.4^\circ$  刻みでホール オフセット角度の大きさを設定できます。ゼロ交差に対するこのオフセットの極性 (リードまたはラグ) は、HALL\_ANGLE\_MODE を使用して設定できます。

モーター位相電流を BEMF に合わせることで、さまざまな速度でモーター効率を最大化するには、ホール センサ出力に対してリード時間またはラグ時間を設定する必要があります。リード / ラグ時間 ( $t_{HALL\_OS\_TIME}$ ) は、HALL\_OS\_TIME の 0 から  $2.55\text{ms}$  まで ( $10\mu\text{s}$  単位) で設定できます。この時間の極性 (リードまたはラグ) は、HALL\_TIME\_MODE を使用して設定できます。

MC111 は、HALL\_OS\_ANGLE、HALL\_ANGLE\_MODE、HALL\_OS\_TIME、HALL\_TIME\_MODE に基づいて適用する必要があるリード時間またはラグ時間の合計を算出し、計算されたリード時間またはラグ時間を整流領域で適用します。たとえば、HALL\_OS\_ANGLE が  $-15.4^\circ$ 、HALL\_OS\_TIME が  $150\mu\text{s}$  に設定されており、モーターが  $500\text{Hz}$  で動作している場合、印加されるリードタイムは約  $64\mu\text{s}$  です。 $500\text{Hz}$  のとき、 $15.4^\circ$  は  $85.5\mu\text{s}$  に相当するので、実効リード / ラグ時間は  $(150 - 85.5)\mu\text{s} = \text{約 } 64\mu\text{s}$  です。

### 6.3.1.6.3 方形波整流

方形波整流は、MC111 によって実現されるシンプルな整流方式で、最大のトルク / 速度動作を可能にします。図 6-14 に、方形波整流におけるホール センサ信号に対するドライバ出力電圧を示します。

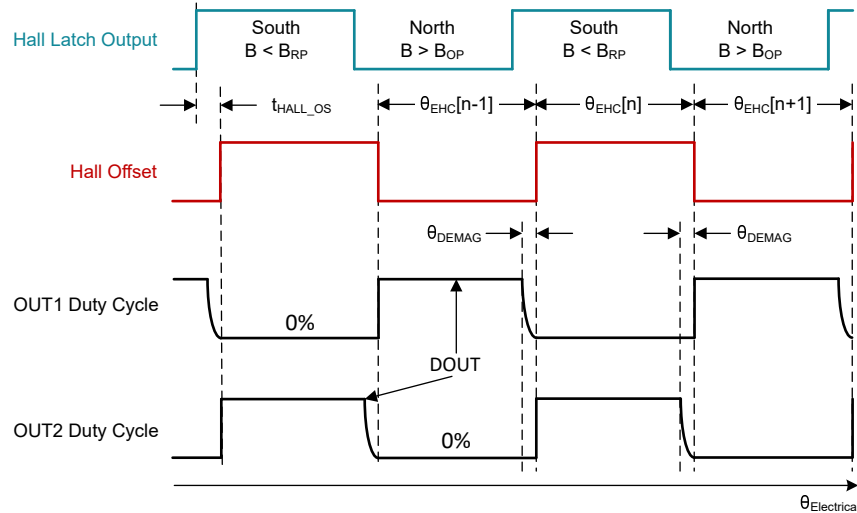


図 6-14. 方形波整流のタイミング波形

方形波整流では、出力デューティサイクルは、電氣的角度 ( $\theta_{\text{Electrical}}$ ) に対して DOUT で一定に維持されます。ホールセンサと HALL\_INVERT ビットからの信号によって、指令されたデューティサイクルでスイッチングする OUTx 端子と、 $180^\circ$  電氣的半サイクル ( $\theta_{\text{EHC}}$ ) の間に GND にプルダウンされる OUTx 端子が決定されます。

消磁状態  $\theta_{\text{DEMAG}}$  は、電氣的半サイクルの終了時に発生し、DEMAG\_TIME ビットによって決定されます。消磁の目的は、整流イベントにより OUTx 電圧の極性を反転させる前に、モーター電流をゼロに低減し、固定子巻線を消磁することです。消磁により、整流中の VM 電源と OUTx の電圧スパイクが最小限に抑えられます。消磁は、back-EMF が最小となる整流領域周辺でのモーター電流スパイクを低減することで、効率も向上させます。PWM\_MODE は、セクション 6.3.1.7 で説明されているように、PWM オフ時間および  $\theta_{\text{DEMAG}}$  時間中のモーター電流の同期、非同期、またはハイブリッド変調を設定します。図 6-15、図 6-16、図 6-17 は、それぞれ  $\theta_{\text{DEMAG}}$  中の非同期、同期、およびハイブリッド再循環状態のタイミング図を示します。

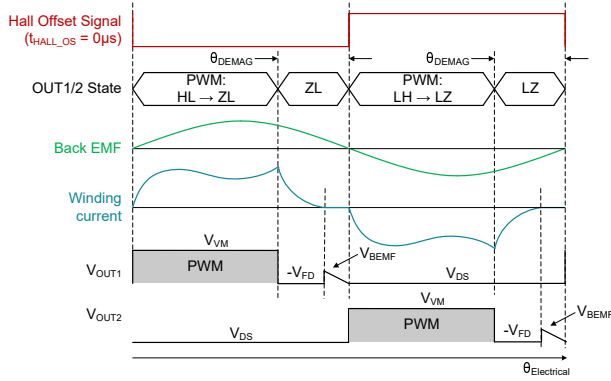


図 6-15.  $\theta_{\text{DEMAG}}$  における非同期モードを使用した方形波整流の詳細なタイミング図

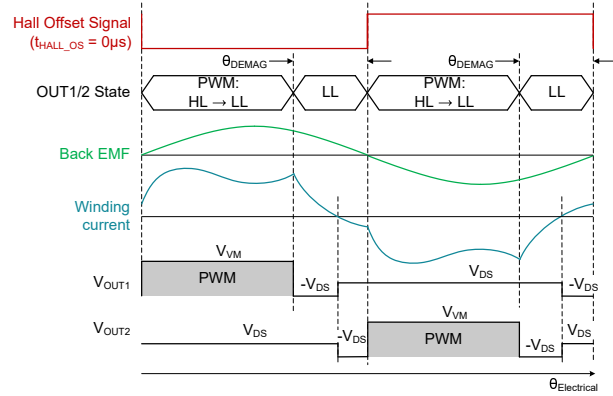


図 6-16.  $\theta_{\text{DEMAG}}$  における同期モードを使用した方形波整流の詳細なタイミング図

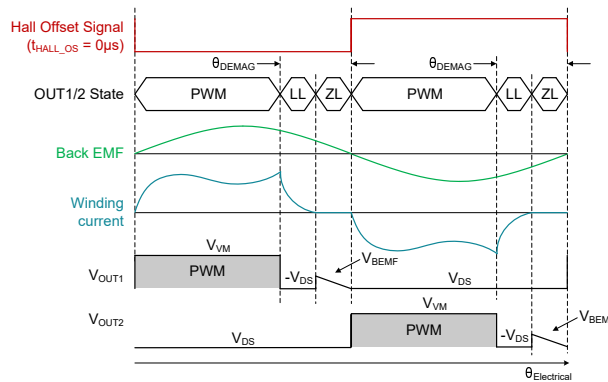


図 6-17.  $\theta_{\text{DEMAG}}$  におけるハイブリッドモードを使用した方形波整流の詳細なタイミング図

消磁時間 (DEMAG\_TIME) は固定時間に設定することも、自動的に決定することもできます。AUTO\_DEMAG\_EN が 0x0 に設定されている場合、消磁時間は動作条件全体にわたって一定であり、DEMAG\_TIME ビットによって、モーターの速度に基づいて  $\theta_{\text{DEMAG}}$  が決定されます。AUTO\_DEMAG\_EN が 0x1 に設定されている場合、ドライバは  $\theta_{\text{DEMAG}}$  角度を自動的に調整し、モーターの速度に基づいて消磁時間を最適化します。

#### 6.3.1.6.4 ソフト整流

ソフト整流方式では、整流イベント後、 $\theta_{\text{SRISE}}$  中、PWM デューティ サイクルは  $D_{\text{OUT}}$  まで上昇し、 $\theta_{\text{SFALL}}$  中は 0% に戻ります (図 6-18 を参照)。ソフト整流の目的は、方形波整流に比べて音響ノイズを低減することです。ホール センサ信号遷移のタイミングによって、電氣的半サイクル中の  $\theta_{\text{SRISE}}$  および  $\theta_{\text{SFALL}}$  の角度のタイミングが決定されます。 $\theta_{\text{SRISE}}$  および  $\theta_{\text{SFALL}}$  の角度は、SRISE および SFALL ビットを使用してプログラムできます。

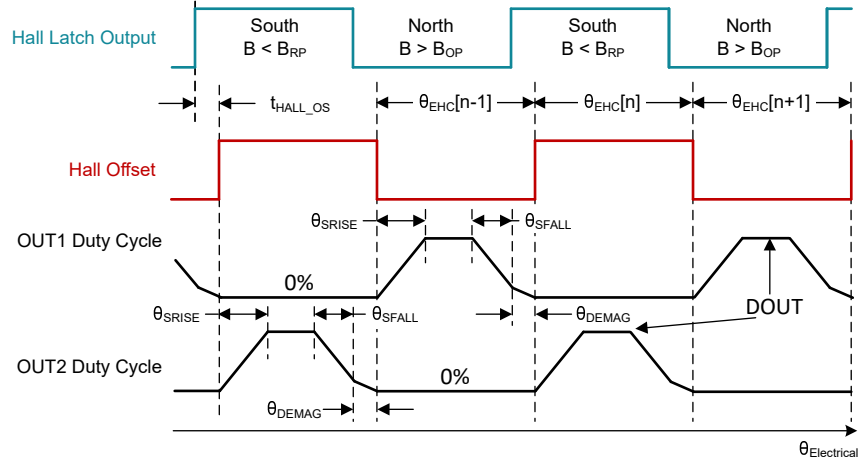


図 6-18. ソフト整流のタイミング波形

SRISE、SFALL、DEMAG\_TIME ビットをプログラミングする際、 $\theta_{SRISE}$ 、 $\theta_{SFALL}$ 、 $\theta_{DEMAG}$  の合計が  $180^\circ$  を超えると、 $\theta_{SRISE}$  の角度が減少します。

### 6.3.1.7 PWM 変調モード

MC111 には、同期、非同期、ハイブリッドの 3 種類の PWM 変調モードがあります。PWM\_MODE ビットによって、PWM 変調モードを設定します。同期モードでは、PWM オフ時間中に両方のローサイド FET がオンになります。また、フリーホイール電流をボディダイオードではなく FET を通して導通することで、電力損失を低減します。ただし、ターンオフ電流やモーター巻線インダクタンスによっては、同期変調中に逆電流が流れ、負トルクが発生してモーター速度が低下する場合があります。非同期モードでは、PWM オフ時間中に 1 つのローサイド FET だけがオンに維持され、その他の FET は無効化されます。フリーホイール電流は、LS FET のボディダイオードを通して導通されます。非同期モードでは、PWM オフ時間中に逆電流は流れませんが、ボディダイオード導通により、電力損失が大きくなる可能性があります。ハイブリッドモードは、これら両方を組み合わせたものです。フリーホイール電流が 13mA 未満に低下するまでは同期モードで動作し、その後は逆電流を防止するため非同期モードに切り替わります。

表 6-1 は、出力 PWM の H ブリッジ状態を示します。H は該当 OUTx レッグのハイサイド FET がオン、L はローサイド FET がオン、Z はその OUTx レッグの両方の FET がハイインピーダンスです。ホールオフセット信号は、ホールセンサの状態およびデバイス設定から決定される内部信号です。ホールオフセット信号によって、整流アルゴリズムのステートマシン内での出力スイッチング状態が決定されます。入力 PWM のデューティサイクルと、整流モード (方形波またはソフト) によって、出力 PWM の瞬時デューティサイクル  $D_{OUT}$  が決まります。

表 6-1. 出力状態の表

ドライバ状態	説明	PWM_MODE によって設定される変調モード	ホール オフセット信号	OUT1	OUT2
DOUT	デューティ サイクルあたりの PWM オン時間	X	L	L	H
		X	H	H	L
(1-DOUT)、電流制限、 $\theta_{DEMAG}$	PWM オフ時間 (デューティ) 中、電流制限オフ時間中、または整流イベント前の位相消磁中におけるモーター電流の再循環	非同期モード	L	L	Z
			H	Z	L
		同期モード	X	L	L

図 6-19 は、PWM オン時間、PWM オフ時間、および消磁状態における H ブリッジを流れるモーター電流を示しています。消磁状態の詳細については、セクション 6.3.1.6.3 を参照ください。

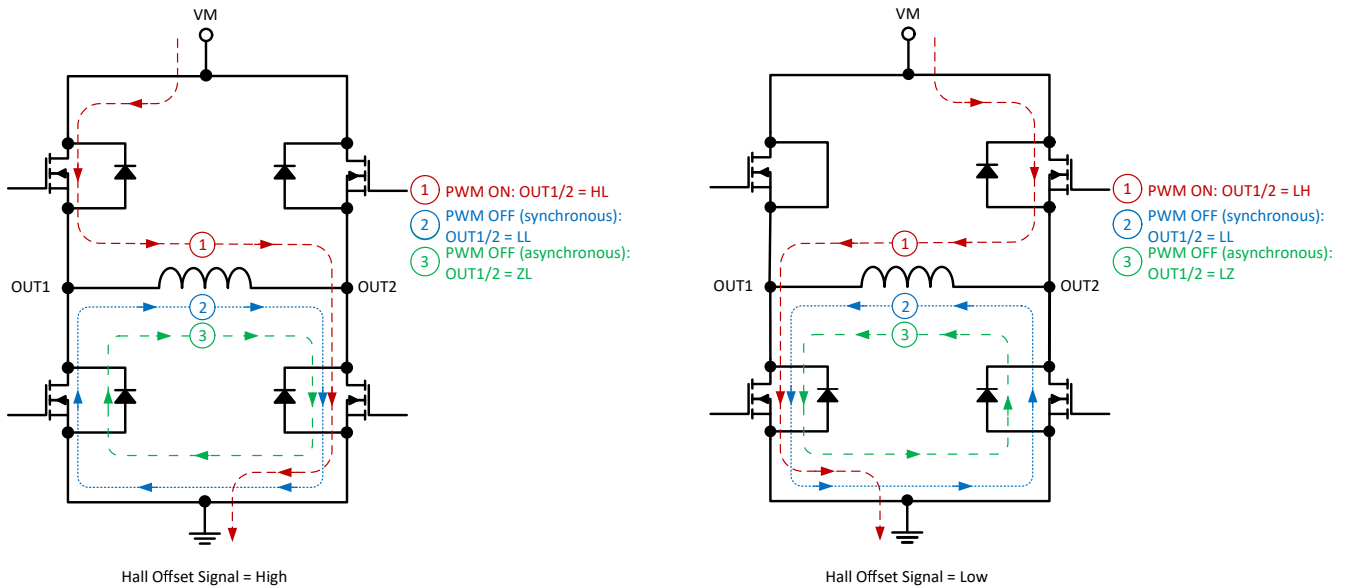


図 6-19. モーター電流と出力状態

ハイブリッド PWM モードでは、PWM オフ時間中 (同期モードと同様) に両方のローサイド FET を有効にすることで、ボディダイオードを通したモーター電流の再循環を防止します。モーター電流が 13mA 未満になると、ゼロ電流検出器が該当するローサイド FET を無効化し、H ブリッジを非同期モードに切り替えます。MC111 は同期モードと非同期モードを自動的に切り替えることで、デバイスの電力損失を低減するとともに、逆起電力による意図しない負電流がモーター巻線に流れることを防ぎます。

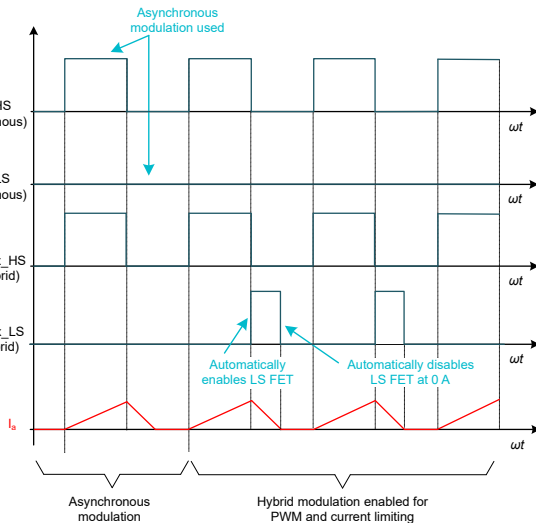


図 6-20. 非同期変調とハイブリッド変調

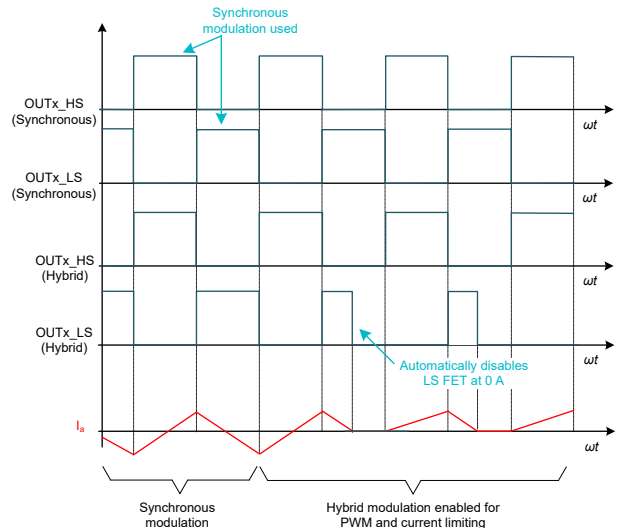


図 6-21. 同期変調とハイブリッド変調

表 6-2 は、PWM 変調モードを構成するための PWM\_MODE ビットフィールドの設定を示しています。

表 6-2. PWM\_MODE による変調モード

PWM_MODE ビット	PWM および電流制限オフ時間	消磁状態
000b	非同期	非同期
001b	非同期	同期
010b	同期	非同期

表 6-2. PWM\_MODE による変調モード (続き)

PWM_MODE ビット	PWM および電流制限オフ時間	消磁状態
011b	同期	同期
100b	同期	ハイブリッド
101b	非同期	ハイブリッド
110b	ハイブリッド	非同期
111b	ハイブリッド	ハイブリッド



### 6.3.2 保護

MC111 は、回転子ロック、電流制限、過電流、VM 低電圧、VM 過電圧、過熱イベントに対する保護機能を内蔵しています。表 6-3 に、故障モードの開始とアクティブ モードへの復帰を示します。

表 6-3. デバイスの故障時の動作および応答

故障	条件	H ブリッジ	デバイスロジック	FG/RD 表示	復帰
回転子ロックの保護	$t_{LRD}$ の間ホール遷移が検出されず、 LRD_RETRY_DIS = 0x0	すべての FET が無効化 (ハイインピーダンス)	有効	あり	$t_{lock\_long\_retry}$ または $t_{lock\_quick\_retry}$ 後に自動リトライ
	モーター ストール:5 回連続の起動試行で、 $t_{LRD}$ の間ホール遷移が検出されず、 LRD_RETRY_DIS = 0x1	すべての FET が無効化 (ハイインピーダンス)			ラッチされる (ラッチされた故障は電源リセットまたはウェークアップによってのみクリアされる)
電流制限	$I_{OUTx,LS} > I_{LIMIT}$	PWM_MODE に基づいて HS FET を無効化し、LS FET を介した電流再循環を行う		なし	次の出力 PWM デューティ サイクルの開始時に $I_{OUTx,LS} < I_{LIMIT}$
過電圧保護	$V_{VM} > V_{OVP}$ (立ち上がり)、 OVP_EN = 0x1	すべての FET が無効化 (ハイインピーダンス)		あり (FGRD_FAULT_SEL = 0x1 の場合)	$V_{VM} < V_{OVP}$ (立ち下がり)
過電流保護	$I_{OUTx} > I_{OCP}$ および OCP_MODE = 0x0	すべての FET が無効化 (ハイインピーダンス)			$t_{lock\_long\_retry}$ 後に自動リトライ
	$I_{OUTx} > I_{OCP}$ および OCP_RETRY_MODE = 0x1				3 回連続の OCP イベント後にラッチされる (ラッチされた故障は電源リセットまたはウェークアップによってのみクリアされる)
サーマル シャットダウン	$T_J > T_{TSD}$	すべての FET が無効化 (ハイインピーダンス)		$T_J < T_{TSD} - T_{HYS}$	
低電圧保護	$V_{VM} < V_{UVLO}$ (立ち下がり)	すべての FET が無効化 (ハイインピーダンス)	無効	$V_{VM} > V_{UVLO}$ (立ち上がり)	
内蔵電源クランプ	$V_{VM} > V_{MCLAMP}$ および VM_CLAMP_DIS = 0x0	HS FET 無効化 (ハイインピーダンス)	有効	なし	$V_{VM} < V_{MCLAMP}$

FG/RD ピンは、モーター速度または回転子ロックを検出するために、ファン コントローラへのフィードバックをサポートしています。FGRD\_MODE ビットを 0x0 に設定すると、周波数ジェネレータ (FG) 出力の FG/RD ピンが設定されます。内部ホール センサ信号の遷移によって、FG 信号の周波数が決まります。FG\_MULTIPLIER ビットを設定することで、FG ピンは内部ホール センサ周波数の 1/2、1、2/3、または 2 倍の係数でトグルします。FG\_MULTIPLIER ビットは、異なる数の磁極ペアを持つモーターをスワップする際に、システム設計とファームウェアの変更を最小限に抑えるのに役立ちます。FG\_HALL\_RAW\_EN が 0x0 に設定されている場合、FG ピンの信号はホール オフセット信号に対応します。FG\_HALL\_RAW\_EN = 0x1 の場合、FG ピンの信号はホール センサ信号に直接対応します。FG\_HALL\_RAW\_EN = 0x1 の場合、本デバイスは 2/3 FG\_MULTIPLIER 設定をサポートしません。

FG/RD ピンは、表 6-4 に従って、デバイスの故障モード、回転子ロックの状態、アクティブ モード ステータスを示します。モーターが停止 / アイドル状態 (DIN = 0% または DOUT\_TARGET = 0% によって停止) のときの FG ピンの状態は、回転子ロックまたはデバイスの故障状態を示すために使用される状態とは常に逆になります。たとえば、FGRD\_MODE、FGRD\_INVERT、FGRD\_FAULT\_SEL ビットの組み合わせにより、回転子ロックが FG ピンのアクティブ Low 信号で示される場合、モーターが停止 / アイドル状態のときの FG ピンの状態は (外部プルアップによって) High になります。

表 6-4. FG/RD ピンの動作

FGRD_MODE ビット	FGRD_INVERT ビット	FGRD_FAULT_SEL ビット	アクティブ モード表示	回転子ロック表示	故障モード表示
0x0	0x0	0x0	FG = トグル	FG = Low にアサート	FG = 直前の状態
		0x1			FG = Low にアサート
	0x1	0x0		FG = High にプルアップ	FG = 直前の状態
		0x1		FG = High にプルアップ	FG = High にプルアップ
0x1	0x0	0x0	RD = High にプルアップ	RD = Low にアサート	RD = 直前の状態
		0x1			RD = Low にアサート
	0x1	0x0	RD = Low にアサート	RD = High にプルアップ	RD = 直前の状態
		0x1			RD = High にプルアップ

6.3.2.1 回転子ロックの保護

MC111 が回転子ロック検出時間 ( $t_{LRD}$ ) よりも長い時間ホール遷移を検出しない場合、回転子ロックの故障が認識され、すべての FET が無効化されます (ハイ インピーダンス)。FG/RD ピンは、表 6-4 に従って回転子ロックの故障を示します。起動シーケンス中は、 $t_{LRD}$  は  $t_{LRD\_START}$  によって設定され、モーター動作 (定常状態) 中は、 $t_{LRD}$  は  $t_{LRD\_RUN}$  によって設定されます。起動中の回転子ロック リトライ シーケンス (LRD\_RETRY\_DIS = 0x0 の場合) を、図 6-22 に示します。パワーアップ / ウェークアップ後の最初の起動中、クイック リトライ試行回数は LRD\_NRETRY\_STARTUP によって設定されます。クイック リトライ時間はロック検出時間 ( $t_{LRD\_START}$ ) と同じです。LRD\_NRETRY\_STARTUP 試行が完了しても回転子ロックの状態が続くと、MC111 はロング リトライ時間 ( $t_{lock\_long\_retry}$ ) (LRD\_LONG\_RETRY\_SEL x  $t_{LRD\_START}$ ) に入ります。ロング リトライ時間が経過すると、MC111 はモーターを再度回転させようとしています。パワーアップ / ウェークアップ後の 2 回目の起動試行では、クイック リトライ試行回数は LRD\_NRETRY\_RUN によって設定されますが、回転子ロック検出時間 ( $t_{LRD\_START}$ ) とクイック リトライ時間は同じままです。LRD\_NRETRY\_RUN 試行が完了しても回転子ロック状態が続くと、MC111 はロング リトライ時間 ( $t_{lock\_long\_retry}$ ) に再び入ります。その後のモーター起動シーケンスでは、2 番目の起動サイクルと同じリトライ パターンが使用されます (図 6-22 を参照)。リトライ時間が経過した後の各モーター起動の試行 (クイックまたはロング リトライ) は、プレスタート位相から開始されます (図 6-6 を参照)。

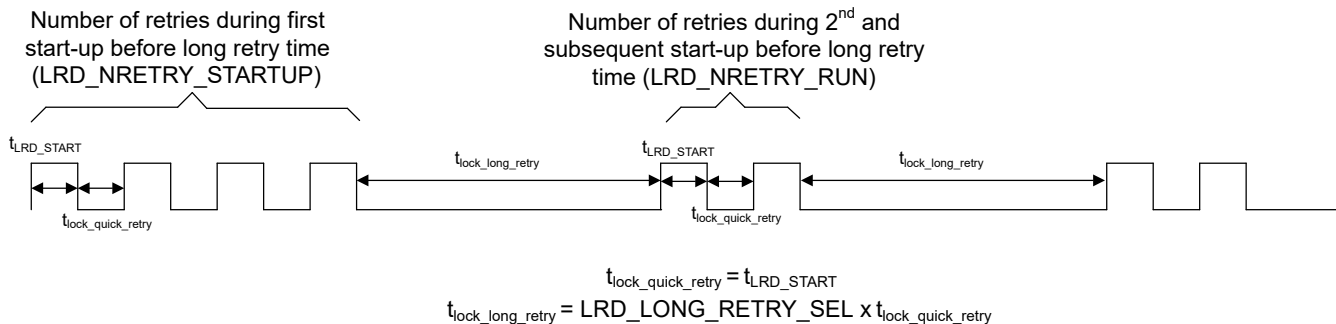


図 6-22. 起動中の回転子ロック リトライ シーケンスおよびタイミング (LRD\_RETRY\_DIS = 0x0 の場合)

モーター動作中に回転子ロック状態が検出された場合 ( $t_{LRD\_RUN}$  の間ホール遷移がない場合)、すべての FET は無効化され (ハイ インピーダンス)、FG/RD ピンは、表 6-4 に従って回転子ロックの故障を示します。MC111 は、回転子ロックのリトライ シーケンスを開始する前に、ロング リトライ時間の 1 回分を待機します (図 6-23 を参照)。

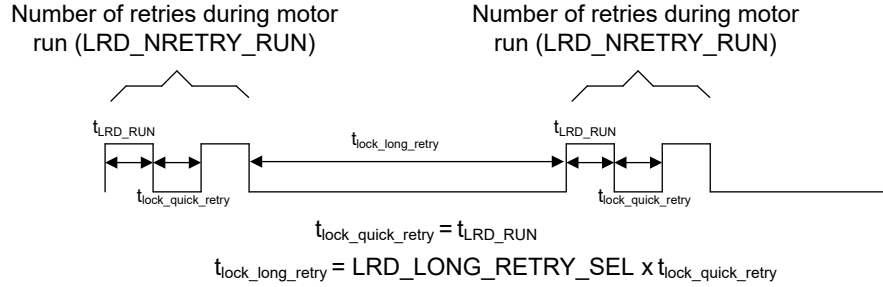


図 6-23. 実行中の回転子ロック リトライ シーケンスおよびタイミング (LRD\_RETRY\_DIS = 0x0 の場合)

MC111 は、図 6-24 に示すように、LRD\_RETRY\_DIS = 0x1 を設定することで、5 回連続の起動試行が回転子ロックとなった際に、回転子ロックの故障をラッチする動作を選択できます。モーター動作は、電源リセットまたはウェークアップ (スリープ終了) によって再開できます。

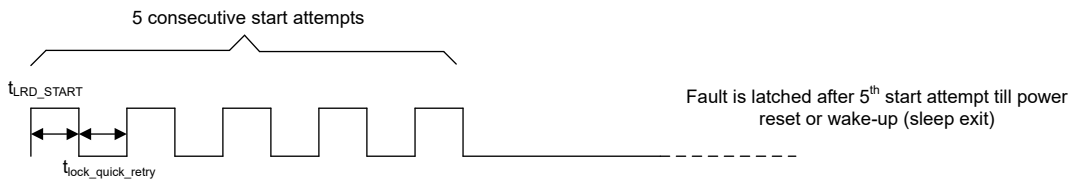


図 6-24. 回転子ロック リトライ シーケンスおよびタイミング (LRD\_RETRY\_DIS = 0x1 の場合)

### 6.3.2.2 電流制限

電流制限機能は、起動時、過負荷、ストール時の過電流動作からモーターを保護します。モーター位相電流が  $I_{\text{LIMIT}}$  スレッシュホールドを超えると、MC111 はハイサイド FET をオフにすることで、サイクル単位の電流制限方式を適用します。ILIMIT\_SEL は電流制限スレッシュホールドを設定します。PWM\_MODE ビットは、セクション 6.3.1.7 に記載されている PWM オフ時間と同様に、電流制限オフ時間中のモーター電流の同期、非同期、またはハイブリッド再循環状態を設定します。

次の PWM 周期の開始時点でもモーター電流が  $I_{\text{LIMIT}}$  スレッシュホールドを上回っている場合、ローサイド FET は別の PWM 周期にわたり有効状態が維持されます。次の PWM 周期の開始までにモーター電流が  $I_{\text{LIMIT}}$  を下回ると、出力は、表 6-1 に示すように、整流アルゴリズム ステートマシンによって決定される駆動状態に戻ります。

電流制限は、モーター電流が  $I_{\text{LIMIT}}$  スレッシュホールドを上回った場合に出力 PWM デューティ サイクルを下げることで、モーター トルクの上限を設定します。この電流制限機能は、整流ステート マシンによって決定される PWM デューティ サイクルよりも優先されます。モーター電流が  $I_{\text{LIMIT}}$  スレッシュホールドを下回ると、整流ステート マシンが出力デューティ サイクルを完全に制御します。図 6-25 および 図 6-26 に、サイクル単位の電流制限方式の波形例を示します。

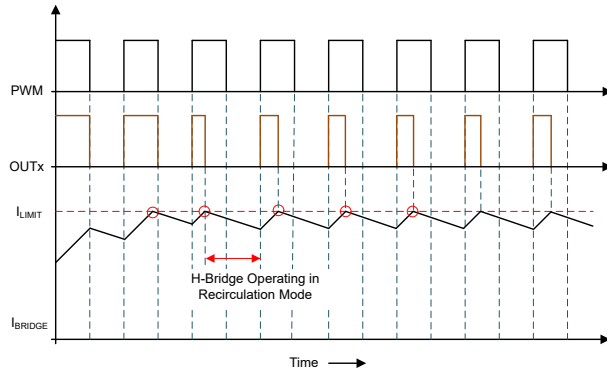


図 6-25. サイクル単位の電流制限動作

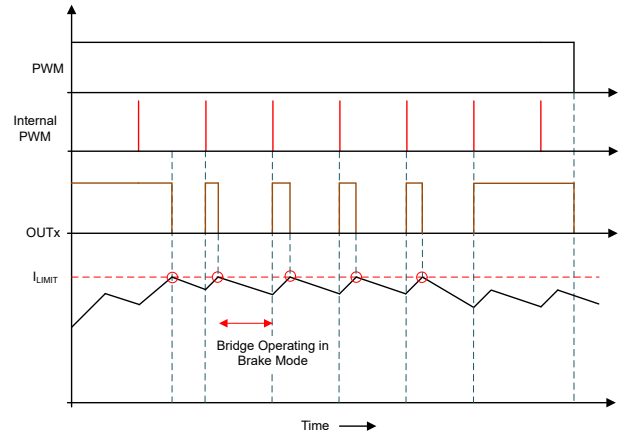


図 6-26. 100% PWM デューティ サイクルでのサイクル単位の電流制限動作

### 6.3.2.3 過電流保護 (OCP)

過電流保護 (OCP) 機能は、OUTx ピンの内蔵パワー FET を電源 (VM)、グラウンド、OUTx ピン間の短絡から保護します。図 6-27 に示すように、FET に流れる電流が OCP スレッシュホールド ( $I_{OCP}$ ) を上回る状態が OCP グリッチ除去時間 ( $t_{OCP}$ ) を超えて続くと、Hブリッジ内のすべての FET が無効化 (ハイインピーダンス) され、FG/RD ピンは表 6-4 に示すように回転子ロックの故障を示します。OCP 故障の復帰は、OCP\_RETRY\_MODE によって設定されます。

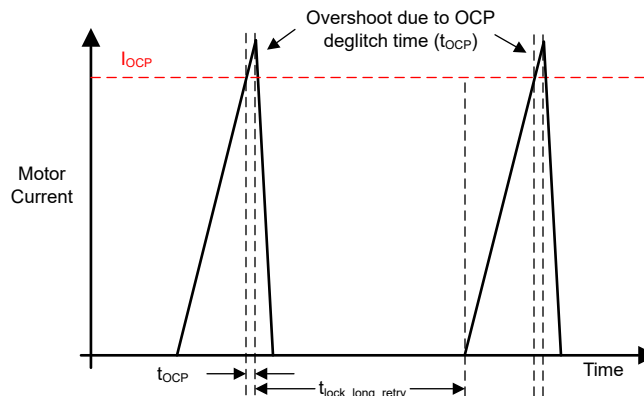
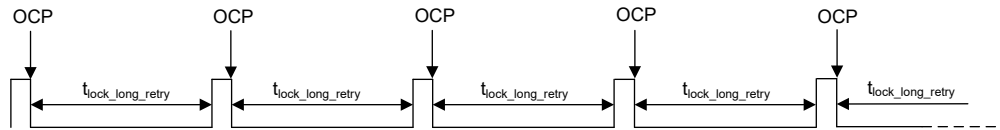


図 6-27. OCP 動作

OCP\_RETRY\_MODE が 0x0 に設定されている場合、図 6-28 に示すように、 $t_{lock\_long\_retry}$  が経過すると MC111 は (開始前位相から) モーターの駆動を開始します。 $t_{lock\_long\_retry}$  は、(LRD\_LONG\_RETRY\_SEL ×  $t_{LRD\_START}$ ) によって設定されます。OCP\_RETRY\_MODE が 0x1 に設定されている場合、MC111 は 3 回のリトライ後に故障をラッチします (リトライ時間は  $t_{lock\_long\_retry}$  によって設定)。以後のモーターの駆動は、故障状態をクリアするために以後のパワーリセットまたはウェークアップ (スリープ解除) の後にのみ可能です。

OCP\_RETRY\_MODE = 0x0



OCP\_RETRY\_MODE = 0x1

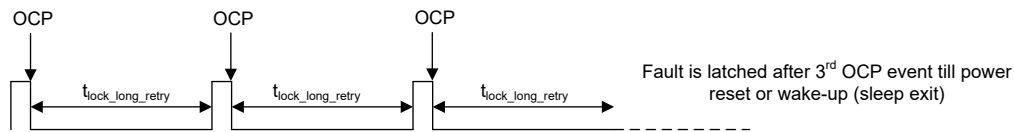


図 6-28. OCP リトライ モード

6.3.2.4 VM 低電圧誤動作防止 (UVLO)

VM ピンの電圧が UVLO の立ち下がりスレッシュホールド電圧  $V_{UVLO}$  を下回ると、デバイスのすべての回路が無効化され、内部ロジックがリセットされます。UVLO\_SEL = 0x0 の場合、図 6-29 に示すように、 $V_{VM}$  電圧が UVLO の立ち上がりスレッシュホールドを上回ると、デバイスがパワーアップしてモーター動作が再開します。UVLO\_SEL ≠ 0x0 の場合、デバイスは常に UVP\_SEL = 0x0 に対応する UVLO 立ち上がりスレッシュホールドでパワーアップしますが、モーター動作は、VM が UVLO\_SEL で設定された UVLO 立ち上がりスレッシュホールドを上回った場合にのみ開始されます。UVLO\_SEL ≠ 0x0 および  $3.15 < V_M < V_{UVLO}$  (立ち上がり) (UVLO\_SEL の設定に対応) の場合、VM UVLO の故障がアクティブになり、すべての FET が無効化され、FG/RD ピンは表 6-4 に従って回転子ロックの故障を示します。

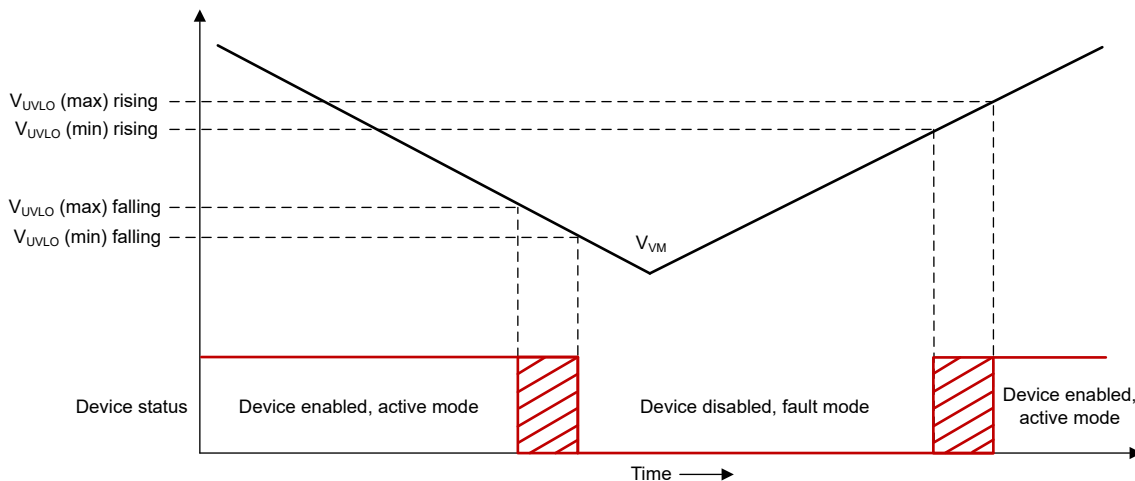


図 6-29. VM UVLO の動作

6.3.2.5 VM 過電圧保護 (OVP)

VM 電圧が  $V_{OVP}$  立ち上がりスレッシュホールドを上回ると、すべての FET がハイインピーダンスになり、FG/RD ピンは表 6-4 に従って回転子ロック故障を示します。VM 電圧が  $V_{OVP}$  立ち下がりスレッシュホールドを下回ると、デバイスは通常動作を再開します。OVP スレッシュホールドは OVP\_SEL で設定され、OVP\_EN を 0x0 に設定することで無効化できます。過電圧保護には 80µs の固定グリッチ除去時間があり、スプリアス OVP トリガを防止します。通常のモーター動作時の過渡的な VM スパイクによる OVP の誤検出を避けるため、ソフト整流の立ち上がりおよび立ち下がり区間では過電圧保護が無効化されています。また、消磁区間中は OVP が常に無効化されています。さらに、ピーク デューティ サイクル区間では、OVP\_BLANK\_EN を 0x1 に設定して有効化できるブランキング時間が OVP\_BLANK\_SEL (1ms または 4ms) によって提供され、OVP 検出の堅牢性が向上します。図 6-30 に、ソフト整流の各区間における OVP 検出動作を示します。方

形波整流では立ち上がり、立ち下りの区間はなく、ブランキング時間が有効化されている場合、整流インスタントから適用されます。

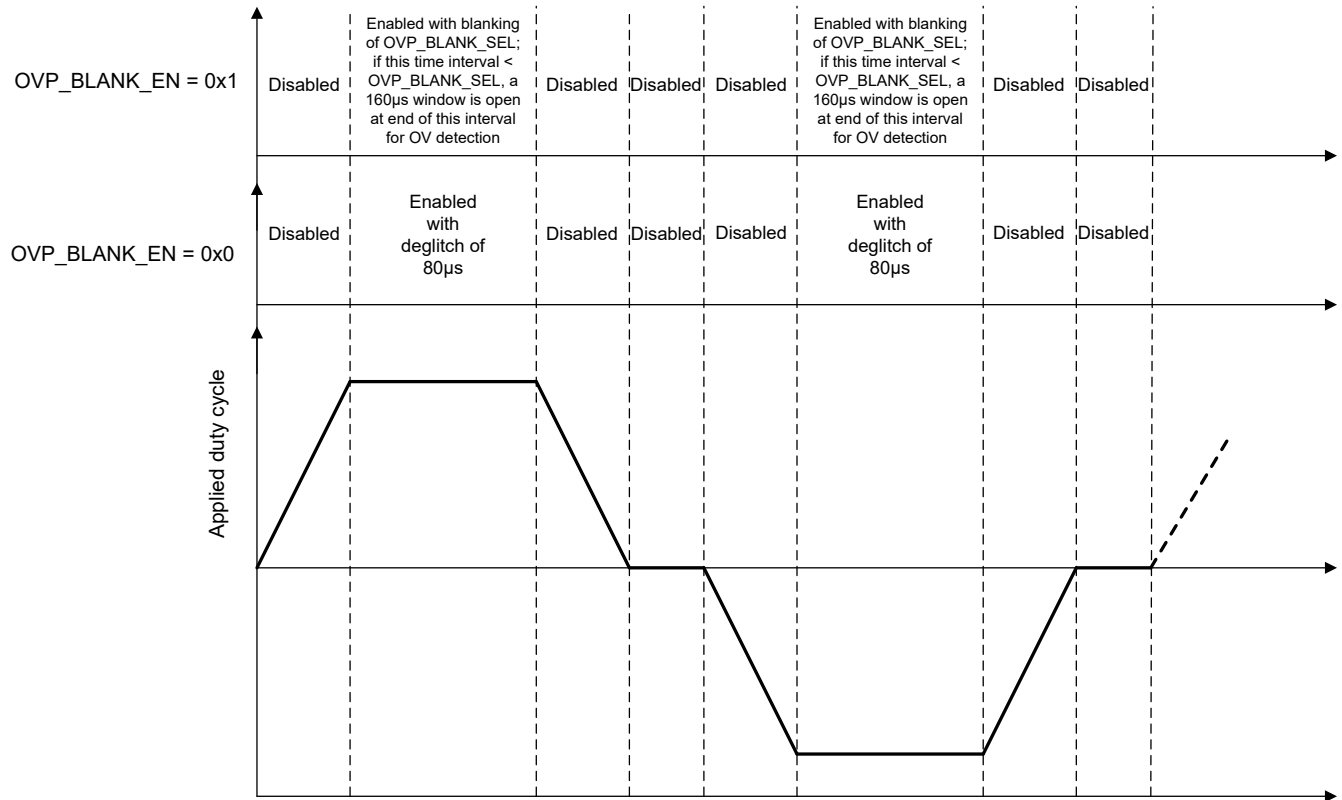


図 6-30. OVP 検出

### 6.3.2.6 サーマル シャットダウン (TSD)

ダイ温度がサーマル シャットダウン限界値 ( $T_{TSD}$ ) を超えると、H ブリッジ内のすべての FET が無効化されます。ダイ温度が安全なレベル ( $T_{TSD} - T_{HYS}$ ) まで低下すると、デバイスの動作は自動的に再開されます。

### 6.3.2.7 内蔵電源 (VM) クランプ

MC111 は、モーターからの回生エネルギーのプッシュバックによる VM ピンの電圧スパイクを制限するために、電源 (VM) ピンにクランプを内蔵しています。VM\_CLAMP\_DIS が 0x1 に設定されている場合、クランプは無効化されます。VM 電圧が VM\_CLAMP レベルに達すると、デバイスはクランプを有効にして VM 電圧を制限します。クランプが作動すると、HS FET はハイインピーダンスになり、モーター駆動が停止します。クランプ回路は、クランプ回路が安全動作領域で規定された制限に達するまでエネルギーを吸収できます。SOA の制限値を超えると、クランプは無効化されます。(SOA で規定されたよりも) 高いエネルギーをクランプする必要がある場合、許容可能な外部 TVS ダイオードを追加します。

#### 注

クランプ動作中に、過電流保護 (OCP) または過熱 (TSD) などの障害が発生した場合、クランプは無効になります。

## 6.4 デバイスの機能モード

### 6.4.1 アクティブモード

$V_{VM}$  電圧が  $V_{UVLO}$  電圧より大きく、 $D_{IN}$  が 0% を超えると、デバイスはアクティブモードに移行します。 $t_{WAKE}$  時間が経過すると、デバイスは入力に応答可能になります。

### 6.4.2 スリープモードとスタンバイモード

SLEEP は、スリープ (低消費電力) モードを有効にするために使用されます。スリープモード (SLEEP\_EN = 0x1 および D<sub>IN</sub> = 0%) では、デバイスは VM ピンから非常に低い静止電流 (I<sub>VMQ</sub>) を引き込みます。これは、FET、ホールセンサ、電流センス、デジタルコア、内部レギュレータ、チャージポンプを含む内部回路を無効にすることで行われます。t<sub>WAKE</sub> の間、D<sub>IN</sub> > 0% になると、デバイスはウェークアップしてアクティブ (STBY\_EN = 0x0) またはスタンバイ (STBY\_EN = 0x1) モードに移行します。

スリープモードが無効化されている (SLEEP = 0x0) の場合、STBY\_EN によって D<sub>IN</sub> に対するデバイスの動作が決定されます。D<sub>IN</sub> < DIN0 かつ STBY\_EN = 0x0 の場合、MC111 は DOUT0 に対応するデューティまたは速度でモーターを駆動します。D<sub>IN</sub> < DIN0 および STBY\_EN = 0x1 の場合、MC111 はモーター動作を停止 (DOUT = 0%) し、スタンバイ状態になります。

SLEEP\_EN と STBY\_EN の値に関係なく、D<sub>IN</sub> ≥ (DIN0 + DHYS) の場合、MC111 はデューティ曲線で設定されたデューティまたは速度でモーターを駆動します。表 6-5 に、スリープおよびスタンバイモードの動作を示します。

#### 注

D<sub>IN</sub> = 0% は、PWM 入力モード (PWM\_DC = 0x0) ではデューティサイクル 0% に対応し、DC (アナログ) 入力モード (PWM\_DC = 0x1) では DC 電圧 < 100mV に対応します。

表 6-5. スリープ/スタンバイモードの動作の概要

SLEEP_EN	STBY_EN	デバイスステータス変更の条件	デバイスステータス	D <sub>OUT</sub>	Hブリッジ
0x0	0x0	D <sub>IN</sub> < DIN0	アクティブモード	DOUT0	PWM
	スタンバイモード		0%	ハイインピーダンス	
X	X	DINOFF > D <sub>IN</sub> ≥ (DIN0 + DHYS)	アクティブモード	デューティ曲線に従って D <sub>IN</sub> で設定	PWM
0x1	X	D <sub>IN</sub> = 0%、 <a href="#">図 6-8</a> を参照	スリープモード	0%	ハイインピーダンス
0x1	0x0	0% < D <sub>IN</sub> < DIN0	アクティブモード	DOUT0	PWM
	スタンバイモード		0%	ハイインピーダンス	

### 6.4.3 フォルトモード

MC111 は、[セクション 6.3.2](#) に記載されているシステム異常から保護されています。場合によっては、整流アルゴリズムが中断され、デバイスがモーターを再起動する必要があります。

### 6.4.4 テストモードとワンタイムプログラマブルメモリ

MC111 にはテストおよびプログラミングモードが統合されており、PWM/DC ピンと FG/RD ピンがデバイス構成とテストのための I<sup>2</sup>C インターフェイスをサポートしています。I<sup>2</sup>C インターフェイスにより、ワンタイムプログラマブル (OTP) メモリへのアクセスも可能になります。レジスタのプログラムにより、前のセクションで説明したデバイス構成が選択されます。[図 6-31](#) に、MC111 の構成とプログラミングのための基本的なハードウェア構成を示します。

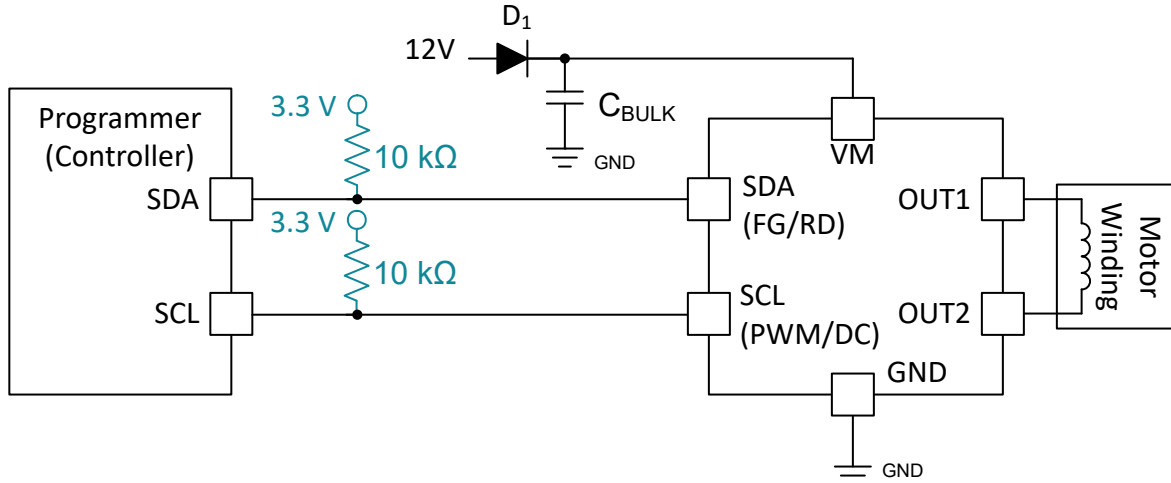


図 6-31. I<sup>2</sup>C プログラマおよびファン モジュール

MC111 は、以下の手順でテスト モードおよび OTP モードに移行します。

1. FG/RD ピンを Low にし、(20 ~ 80)% の範囲の任意のデューティで (416 ~ 833) kHz の範囲の高周波信号を 15 ~ 20 サイクルにわたって PWM/DC ピンに印加して、テスト モードに入ります。I<sup>2</sup>C インターフェイスは、テスト モードでアクティブです。
2. I<sup>2</sup>C 経由で MC111 と通信し、[セクション 7](#) のレジスタの読み取りと書き込みを行い、レジスタを構成します。
3. I<sup>2</sup>C 通信による信頼性の高い OTP メモリプログラミングを維持するため、通信時間全体にわたって MC111 の電源ピン電圧 (VM) を 8V 以上に維持してください。
4. OTP モードのロックを解除するには、連続した書き込みフレームで、OTP モードのエントリ キー 02h、01h、04h を USR\_OTP\_PRG\_UNLOCK レジスタに書き込みます。
5. OTP メモリを書き込むには、USR\_OTP\_CFG レジスタの USR\_OTP\_PROG\_ALL ビットに 1b を書き込みます。

## 6.5 プログラミング

MC111 は、テスト モードでの I<sup>2</sup>C プログラミングをサポートしています。[セクション 6.4.4](#) には、システムのプロトタイプ製作時や生産時にテスト モードに移行し、レジスタの読み取りと書き込みを行い、OTP メモリをプログラムする方法を説明しています。外部プログラミング ハードウェアまたはオンボードのマイコンは、I<sup>2</sup>C インターフェイス経由で MC111 と接続できます。以下のセクションでは、I<sup>2</sup>C 通信プロトコルの詳細について説明します。

### 6.5.1 I<sup>2</sup>C 通信

I<sup>2</sup>C バスはデータライン (SDA) とクロックライン (SCL) で構成され、オフ チップ プルアップ抵抗を備えています。バスがアイドルのときは、SDA ラインと SCL ラインの両方が High にプルされます。

通常はマイクロコントローラまたはデジタル信号プロセッサである制御装置がバスを制御します。制御装置は、SCL 信号とデバイス アドレスを生成する役割を担っています。コントローラは、データ転送の開始と停止を示す特定の条件も生成します。ペリフェラル デバイスは、コントローラ デバイスの制御下でバス上のデータを受信したり送信したりします。MC111 は、この文脈において I<sup>2</sup>C バス上のペリフェラル デバイスです。

MC111 のデバイス アドレスは 0x65 です。

#### 6.5.1.1 I<sup>2</sup>C 読み出し

I<sup>2</sup>C 読み出し動作は、書き込み動作と同様に開始されます。コントローラ デバイスは、ペリフェラル デバイスの 7 ビット アドレスと R/W ビットを 0b に設定して、バス上に START 条件を送信します。ペリフェラル デバイスがアクノリッジ信号 (ACK) で応答した後、コントローラ デバイスは読み出し対象のレジスタの 8 ビット アドレスを送信します。ペリフェラル デ



デバイスが再び ACK で応答すると、コントローラ デバイスは START コマンド「RSTRT」を再送し、続いて R/W ビットを 1b としたペリフェラル アドレスを送信して読み出し動作であることを示します。コントローラ デバイスは SDA ラインを解放して、ペリフェラル デバイスからレジスタ データを読み出します。ペリフェラル デバイスは ACK 信号で応答し、レジスタ データの送信準備ができたことを示します。

コントローラ デバイスは、引き続きペリフェラル デバイスにクロック信号を供給します。ペリフェラル デバイスは、各クロック サイクルで SDA ラインに 8 ビットのレジスタ データを送信します。バイトの終わりに、コントローラ デバイスはネガティブ アクノリッジ (NACK) 信号を送信し、ペリフェラル デバイスに通信停止とバス解放を指示します。続いて、コントローラ デバイスは STOP 条件を送信します。

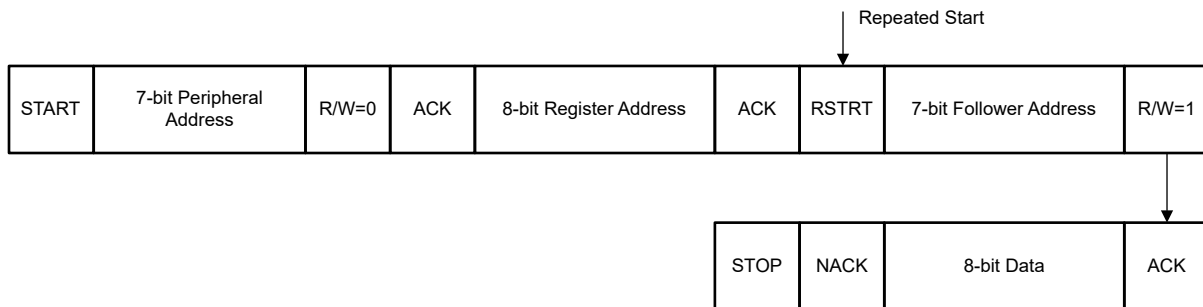


図 6-32. I<sup>2</sup>C 読み出しシーケンス

#### 6.5.1.2 I<sup>2</sup>C 書き込み

I<sup>2</sup>C バスに書き込むとき、コントローラ デバイスは、ペリフェラル デバイスの 7 ビット アドレスで START 条件をバスに送信し、R/W ビットを 0b に設定して、書き込み動作にあることを示します。ペリフェラル デバイスがアクノリッジ ビット (ACK) で応答した後、コントローラ デバイスはデータを受信するレジスタの 8 ビット アドレスを送信します。ペリフェラル デバイスが ACK ビットで再度応答した後、コントローラ デバイスは 8 ビット データを送信します。ペリフェラル デバイスは最後の ACK ビットで応答し、コントローラは STOP 条件で転送を終了します。



図 6-33. I<sup>2</sup>C 書き込みシーケンス

## 7 レジスタ マップ

表 7-1 は、MC111 の I<sup>2</sup>C テスト モードでアクセス可能なワンタイム プログラマブル メモリ (OTP) およびテスト モードのレジスタ マップを示します。USER\_OTP マップ (アドレス 0x00 ~ 0x1B) には、エンド システム製造時のデバイス プログラミングで使用できる OTP レジスタが含まれています。USR\_TM レジスタ マップ (アドレス 0x20 ~ 0x26) では、システム設計者がシステムのプロトタイプ製作や開発中にデバイス設定を試せるよう、テスト モード構成を提供しています。書き込み済み OTP レジスタは、パワー サイクル後も書き込まれたデータを保持します。OTP 書き込み後、レジスタはテスト モードで新しいデータを受信できますが、デバイスのパワー サイクル時には、書き込まれた OTP 値がデフォルトとして使用されます。テスト モードレジスタ USR\_TM は OTP メモリレジスタではなく、パワー サイクル時にリセットされます。

## 7.1 USR\_OTP レジスタ

表 7-1 に、USR\_OTP レジスタのメモリ マップト レジスタを示します。表 7-1 にないレジスタ オフセット アドレスはすべて予約済みと見なして、レジスタの内容は変更しないでください。

表 7-1. USR\_OTP レジスタ

オフセット	略称	レジスタ名	セクション
0h	INTERFACE_CONFIG0	インターフェイス構成レジスタ 0	セクション 7.1.1
1h	INTERFACE_CONFIG1	インターフェイス構成レジスタ 1	セクション 7.1.2
2h	START_STOP_CONFIG	開始および停止構成レジスタ	セクション 7.1.3
3h	DIN0	DIN0 の設定	セクション 7.1.4
4h	DOU0	DOU0 の設定	セクション 7.1.5
5h	DOU1	DOU1 の設定	セクション 7.1.6
6h	DOU2	DOU2 の設定	セクション 7.1.7
7h	DOU3	DOU3 の設定	セクション 7.1.8
8h	DOU4	DOU4 の設定	セクション 7.1.9
9h	DOU5	DOU5 の設定	セクション 7.1.10
Ah	DOU6	DOU6 の設定	セクション 7.1.11
Bh	DOU7	DOU7 の設定	セクション 7.1.12
Ch	DOU8	DOU8 の設定	セクション 7.1.13
Dh	HALL_TIME_CONFIG	ホール オフセット時間の構成レジスタ	セクション 7.1.14
Eh	COMMUTATION_CONFIG0	整流構成レジスタ 0	セクション 7.1.15
Fh	COMMUTATION_CONFIG1	整流構成レジスタ 1	セクション 7.1.16
10h	COMMUTATION_CONFIG2	整流構成レジスタ 2	セクション 7.1.17
11h	COMMUTATION_CONFIG3	整流構成レジスタ 3	セクション 7.1.18
12h	PROTECTION_CONFIG0	保護設定の構成レジスタ	セクション 7.1.19
13h	CLOSED_LOOP_CONFIG0	MAX_SPEED の最下位バイト	セクション 7.1.20
14h	CLOSED_LOOP_CONFIG1	閉ループでの MAX_SPEED の KI_RATIO と MSN、および開ループでの DOU_MAX	セクション 7.1.21
15h	CLOSED_LOOP_CONFIG2	閉ループでの KP_RATIO と LRD 設定	セクション 7.1.22
16h	PROTECTION_CONFIG1	保護および PWM デザイン用レジスタ	セクション 7.1.23
17h	GENERAL_CONFIG1	ILIM_SEL、ホール、LRD 設定用レジスタ	セクション 7.1.24
18h	GENERAL_CONFIG2	VM クランプ、プリスタートランプ、ホール設定用レジスタ	セクション 7.1.25
19h	GENERAL_CONFIG3	サイレンス、極ペア、LRD 設定用レジスタ	セクション 7.1.26
1Ah	GENERAL_CONFIG4	DEMAG およびサイレンス設定用構成レジスタ	セクション 7.1.27
1Bh	USR_OTP_CRC	USR_OTP に対して計算された CRC 用レジスタ	セクション 7.1.28

表の小さなセルに収まるように、複雑なビット アクセス タイプを記号で表記しています。表 7-2 に、このセクションでアクセス タイプに使用しているコードを示します。

表 7-2. USR\_OTP アクセス タイプ コード

アクセスタイプ	コード	説明
読み取りタイプ		
R	R	読み出し
書き込みタイプ		
W	W	書き込み
リセットまたはデフォルト値		

表 7-2. USR\_OTP アクセス タイプ コード (続き)

アクセス タイプ	コード	説明
-n		リセット後の値またはデフォルト値

### 7.1.1 INTERFACE\_CONFIG0 レジスタ (オフセット = 0h) [リセット = 00h]

INTERFACE\_CONFIG0 を表 7-3 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-3. INTERFACE\_CONFIG0 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	HALL_DEGLITCH_EN	R/W	0h	ホール センサからのホール信号のグリッチ除去を有効化します 0h = ホール グリッチ除去の無効化 1h = ホール グリッチ除去の有効化
6	PWM_IN_RANGE	R/W	0h	入力 PWM 信号の周波数検出範囲を選択します 0h = 80Hz ~ 90kHz 1h = 20Hz ~ 22kHz
5	PWM_OUT_FREQ	R/W	0h	OUTx の PWM スイッチング周波数を選択します 0h = 出力 PWM 周波数 25kHz 1h = 出力 PWM 周波数 50kHz
4-3	ILIM_BLANK_SEL	R/W	0h	デッドタイムとデフォルトのブランキングに加えて、電流制限 (ILIM) の追加のブランキング時間を選択します 0h = 追加のブランキングなし 1h = 160ns (公称) の追加ブランキング 2h = 320ns の追加 ILIM ブランキング 3h = 640ns の追加 ILIM ブランキング
2	ILIM_DEGLITCH_SEL	R/W	0h	サイクル単位の電流制限 (ILIMIT) のグリッチ除去時間を選択します。 0h = 481ns ~ 732ns のグリッチ除去時間 1h = 925ns ~ 1.419us のグリッチ除去時間
1-0	UVLO_SEL	R/W	0h	UVLO がトリガされるスレッショルドを選択します 0h = 立ち上がりスレッショルド 3V、立ち下がりスレッショルド 2.7V 1h = 立ち上がりスレッショルド 4.2V、立ち下がりスレッショルド 2.7V 2h = 立ち上がりスレッショルド 5.7V、立ち下がりスレッショルド 2.7V 3h = 立ち上がりスレッショルド 7.6V、立ち下がりスレッショルド 2.7V

### 7.1.2 INTERFACE\_CONFIG1 レジスタ (オフセット = 1h) [リセット = 60h]

INTERFACE\_CONFIG1 を表 7-4 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-4. INTERFACE\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	DIN_HYS	R/W	1h	速度曲線にデューティ サイクル ヒステリシス DIN_HYS を選択します。 0h = 0%、ヒステリシスなし 1h = 1.2% 2h = 2.4% 3h = 4.8%
5	STBY_EN	R/W	1h	DIN = 0% での OUTx の動作を選択します。 0h = ドライバは DOUT0 デューティ サイクルでモーターを整流。 1h = ドライバは t <sub>SLEEP</sub> 後に出力を無効化しますが、すべての内部回路はアクティブを維持し、より高速に再有効化します。

**表 7-4. INTERFACE\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明 (続き)**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
4	SLEEP_EN	R/W	0h	DIN = 0% のとき、スリープ モードを有効化します。 0h = スリープ モードは無効化。ドライバの状態は STBY_EN ビットによって決まります。 1h = スリープ モードを有効化。DOUT は 0% の出力デューティ サイクルまで下降し、 $t_{SLEEP}$ の間ホール エッジが受信されないと、ドライバは低消費電力スリープ モードへ移行します。
3	PWMDC_MODE	R/W	0h	PWM またはアナログのいずれかの入力モードを選択します。 0h = PWM ビンは、速度を制御するためにロジック PWM のデューティ サイクルを受け入れます。 1h = PWM ビンは、モーター速度を制御するためにアナログ電圧を受け入れます。
2	FGRD_INVERT	R/W	0h	回転子ロック時またはデバイス故障時に、FG/RD ピンのロジック レベルを選択します。 0h = 回転子ロックまたはデバイス故障中、FG/RD ピンは Low にアサートされます。 1h = 回転子ロックまたはデバイス故障中、FG/RD ピンは High にアサートされます。
1	FGRD_MODE	R/W	0h	FG/RD ピンの機能を選択します。 0h = FG 速度フィードバック出力 1h = RD 回転子ロック検出フィードバック出力
0	FGRD_FAULT_SEL	R/W	0h	FG/RD ピンがデバイス異常を通知するかどうかを選択します。 0h = FG/RD ピンは回転子ロック故障のみを通知 1h = FG/RD ピンは、回転子ロック、過電圧、過電流、サーマル シャットダウン、低電圧の各異常状態を通知

### 7.1.3 START\_STOP\_CONFIG レジスタ (オフセット = 2h) [リセット = 89h]

START\_STOP\_CONFIG を [表 7-5](#) に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-5. START\_STOP\_CONFIG レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	RAMP_ON_STOP_DIS	R/W	1h	停止時にデューティ サイクルをゼロまでランプ ダウンするか、直ちにゼロ デューティ サイクルを適用するかを選択します 0h = PWM_RAMP_EN、PWM_RAMP_SEL、および PWM_DECEL_SEL ビットに基づいて、デューティ サイクルを 0 までランプ ダウン 1h = モーター停止コマンドを受信すると、FET を即座にハイ インピーダンスにする
6-5	DINOFF	R/W	0h	入力 DC が上回ると出力デューティ サイクルがゼロになるスレッシュホルドを選択します 0h = 無効。入力デューティ サイクルが上回ると DOUT が 0 になる値がない 1h = 入力デューティ サイクルが 90% 以上の場合、DOUT は 0% に割り当てられる 2h = 入力デューティ サイクルが 95% 以上の場合、DOUT は 0% に割り当てられる 3h = 入力デューティ サイクルが 100% の場合、DOUT は 0% に割り当てられる

**表 7-5. START\_STOP\_CONFIG レジスタのフィールドの説明 (続き)**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
4-2	DOUT_MIN	R/W	2h	入力デューティサイクルが DIN0 と DINOFF の間にある場合、DOUT がクランプされる最小値を選択します 0h = 0% 1h = 5% 2h = 10% 3h = 12.5% 4h = 15% 5h = 20% 6h = 25% 7h = 30%
1-0	DOUT_START	R/W	1h	モーター起動時に適用される DOUT を選択します。DOUT は、この初期値から目標デューティサイクルまで上昇します。 0h = 開ループで DOUT_MAX の 12.5%、閉ループで 12.5% 1h = 開ループで DOUT_MAX の 25%、閉ループで 25% 2h = 開ループで DOUT_MAX の 50%、閉ループで 50% 3h = 開ループで DOUT_MAX の 100%、閉ループで 100%

#### 7.1.4 DIN0 レジスタ (オフセット = 3h) [リセット = 16h]

DIN0 を表 7-6 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-6. DIN0 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DIN0	R/W	16h	速度曲線が受け入れる最小入力デューティサイクル DIN を設定します。 $DIN = 100\% \times DIN0/255$ 0h = 0% 1h = 0.39126% 16h = 8.8% (デフォルト) FFh = 100%

#### 7.1.5 DOUT0 レジスタ (オフセット = 4h) [リセット = 1Ah]

DOUT0 を表 7-7 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-7. DOUT0 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT0	R/W	1Ah	DIN ≤ DIN0 のときの出力デューティ DOUT を設定します $DOUT = 100\% \times DOUT0/255$ 0h = 0%、すべての FET がオフになり、ドライバはハイインピーダンス状態になる 1h = 0.39126% 1Ah = 10.2% (デフォルト) FFh = 100%

#### 7.1.6 DOUT1 レジスタ (オフセット = 5h) [リセット = 20h]

DOUT1 を表 7-8 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-8. DOUT1 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT1	R/W	20h	DIN = 12.5% のときの出力デューティ DOUT を設定します $DOUT = 100\% \times DOUT1/255$ 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる 20h = 12.5% (デフォルト) FFh = 100%

### 7.1.7 DOUT2 レジスタ (オフセット = 6h) [リセット = 40h]

DOUT2 を表 7-9 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-9. DOUT2 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT2	R/W	40h	DIN = 25% のときの出力デューティ DOUT を設定します $DOUT = 100\% \times DOUT1/255$ 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる 40h = 25% (デフォルト) FFh = 100%

### 7.1.8 DOUT3 レジスタ (オフセット = 7h) [リセット = 60h]

DOUT3 を表 7-10 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-10. DOUT3 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT3	R/W	60h	DIN = 37.5% のときの出力デューティ DOUT を設定します $DOUT = 100\% \times DOUT1/255$ 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる 60h = 37.5% (デフォルト) FFh = 100%

### 7.1.9 DOUT4 レジスタ (オフセット = 8h) [リセット = 80h]

DOUT4 を表 7-11 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-11. DOUT4 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT4	R/W	80h	DIN = 50% のときの出力デューティ DOUT を設定 $DOUT = 100\% \times DOUT1/255$ 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる 80h = 50% (デフォルト) FFh = 100%

### 7.1.10 DOUT5 レジスタ (オフセット = 9h) [リセット = A0h]

DOUT5 を表 7-12 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-12. DOUT5 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT5	R/W	A0h	DIN = 62.5% のときの出力デューティ DOUT を設定 DOUT = 100% x DOUT1/255 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる A0h = 62.5% (デフォルト) FFh = 100%

### 7.1.11 DOUT6 レジスタ (オフセット = Ah) [リセット = C0h]

DOUT6 を表 7-13 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-13. DOUT6 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT6	R/W	C0h	DIN = 75% のときの出力デューティ DOUT を設定 DOUT = 100% x DOUT1/255 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる C0h = 75% (デフォルト) FFh = 100%

### 7.1.12 DOUT7 レジスタ (オフセット = Bh) [リセット = E0h]

DOUT7 を表 7-14 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-14. DOUT7 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT7	R/W	E0h	DIN = 87.5% のときの出力デューティ DOUT を設定します DOUT = 100% x DOUT1/255 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる E0h = 87.5% (デフォルト) FFh = 100%

### 7.1.13 DOUT8 レジスタ (オフセット = Ch) [リセット = FFh]

DOUT8 を表 7-15 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-15. DOUT8 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DOUT8	R/W	FFh	DIN = 100% のときの出力デューティ DOUT を設定します DOUT = 100% x DOUT1/255 0h = 0%、両方の出力が Low に維持され、ドライバはブレーキ状態になる FFh = 100% (デフォルト)

### 7.1.14 HALL\_TIME\_CONFIG レジスタ (オフセット = Dh) [リセット = 00h]

HALL\_TIME\_CONFIG を表 7-16 に示します。

[概略表](#)に戻ります。



表 7-16. HALL\_TIME\_CONFIG レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	HALL_OS_TIME	R/W	0h	ホール リード / ラグ時間オフセット。 $t_{HALL\_OS} = HALL\_OS \times 10.24\mu s, 10.24\mu s / \text{ステップ}$ 00h = 0 01h = 10.24us 02h = 20.48us

### 7.1.15 COMMUTATION\_CONFIG0 レジスタ (オフセット = Eh) [リセット = 00h]

COMMUTATION\_CONFIG0 を表 7-17 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-17. COMMUTATION\_CONFIG0 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	FG_MULTIPLIER	R/W	0h	この係数は FG 出力周波数に乘算され、モーターの極数が変化しても速度フィードバック周波数を同じに維持します。 0h = 1/2x 1h = 2/3x 2h = 1x 3h = 2x
5	FG_HALL_RAW_EN	R/W	0h	このビットが High の場合、FG_RD ピンを駆動する信号として HALL_OFFSET ではなく RAW_HALL に FG_MULTIPLIER フィールドが適用されます。 0h = HALL_OFFSET 信号が FG_MULTIPLIER 係数に基づいて FG_RD ピンを駆動 1h = RAW_HALL 信号が FG_MULTIPLIER 係数に基づいて FG_RD ピンを駆動。注: 2/3x オプションは HALL_RAW 信号には有効ではない。
4-3	COMMUTATION_MODE	R/W	0h	出力 PWM 波形の整流モードを選択します。 0h = 方形波整流 1h = ソフト整流
2-0	PWM_MODE	R/W	0h	PWM、電流制限、および消磁のオフ時間中の出力動作を選択します 0h = PWM、電流制限、消磁のための非同期モード 1h = PWM および電流制限の非同期モード、消磁の同期モード 2h = PWM および電流制限の同期モード、消磁の非同期モード 3h = PWM、電流制限、および消磁の同期モード 4h = PWM および電流制限の同期モード、消磁のハイブリッドモード 5h = PWM および電流制限の非同期モード、消磁のハイブリッドモード 6h = PWM および電流制限のハイブリッドモード、消磁の非同期モード 7h = PWM、電流制限、および消磁のハイブリッドモード

### 7.1.16 COMMUTATION\_CONFIG1 レジスタ (オフセット = Fh) [リセット = A0h]

COMMUTATION\_CONFIG1 を表 7-18 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-18. COMMUTATION\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	PWM_RAMP_EN	R/W	1h	PWM ランプ機能を有効化します 0h = PWM ランプ機能が無効で、入力デューティサイクルを DOUT に即座に適用する 1h = PWM ランプ機能が有効で、PWM_RAMP_SEL ビットに応じてランプレートを設定する

表 7-18. COMMUTATION\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
6-5	PWM_RAMP_SEL	R/W	1h	モーターの起動から DOUT が 0 から 100% にランプ アップするまでの総時間。これは、速度を変更するために入力 PWM デューティ サイクルを増減させる際のランプ レートも制御します。 0h = 10.4s (デューティ サイクル ランプ レート 9.6%/s) 1h = 5.2s (デューティ サイクル ランプ レート 19.2%/s) 2h = 2.6s (デューティ サイクル ランプ レート 38.5%/s) 3h = 1.3s (デューティ サイクル ランプ レート 77%/s)
4-0	SRISE	R/W	0h	ソフト整流の立ち上がりランプを設定します。方形波整流のデフォルトは 0 度。 $\theta_{SRISE} = (SRISE * 2.8 \text{ 度}) + 2.8 \text{ 度}$ 00h = 2.8 度 01h = 5.6 度 1Fh = 90 度

## 7.1.17 COMMUTATION\_CONFIG2 レジスタ (オフセット = 10h) [リセット = 20h]

COMMUTATION\_CONFIG2 を表 7-19 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-19. COMMUTATION\_CONFIG2 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	予約済み	R/W	0h	予約済み
5	PWM_DECEL_SEL	R/W	1h	減速時のランプ レートが PWM_RAMP_SEL 設定と同じか、その半分かを選択します 0h = 減速ランプ レートを PWM_RAMP_SEL によって設定 1h = 減速ランプ レートは PWM_RAMP_SEL の半分となる
4-0	SFALL	R/W	0h	ソフト整流の立ち下がりランプを設定します。方形波整流のデフォルトは 0 度。 $\theta_{SFALL} = (SFALL * 2.8 \text{ 度}) + 2.8 \text{ 度}$ 00h = 2.8 度 01h = 5.6 度 1Fh = 90 度

## 7.1.18 COMMUTATION\_CONFIG3 レジスタ (オフセット = 11h) [リセット = 46h]

COMMUTATION\_CONFIG3 を表 7-20 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-20. COMMUTATION\_CONFIG3 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	AUTO_DEMAG_EN	R/W	1h	$t_{DEMAG}$ 時間を固定または自動で選択します 0h = $t_{DEMAG}$ を DEMAG ビットに従って設定 1h = 電流のゼロ交差を検出し、 $t_{DEMAG}$ 時間の持続時間を自動的に決定 2h = 予約済み 3h = 予約済み
5-4	AUTO_DEMAG_STEP	R/W	0h	自動消磁のステップ分解能 0h = 2.56us 1h = 5.12us 2h = 10.24us 3h = 20.48us
3	予約済み	R/W	0h	予約済み
2-1	予約済み	R/W	0h	予約済み

表 7-20. COMMUTATION\_CONFIG3 レジスタのフィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
0	予約済み	R/W	0h	予約済み

### 7.1.19 PROTECTION\_CONFIG0 レジスタ (オフセット = 12h) [リセット = 04h]

PROTECTION\_CONFIG0 を表 7-21 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-21. PROTECTION\_CONFIG0 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	SPEED_LOOP_EN	R/W	0h	閉ループ速度制御動作を有効化または無効化します 0h = 入力コマンドを目標デューティサイクルとする開ループ動作 1h = 入力コマンドを目標速度とする閉ループ動作
6	OVP_EN	R/W	0h	過電圧保護を有効化または無効化 0h = 過電圧保護を無効化 1h = 過電圧保護を有効化
5-4	OVP_SEL	R/W	0h	OVP がアサートされるスレッシュホールドを選択します 0h = 予約済み 1h = 22.6V 立ち上がり、21.1V 立ち下がり 2h = 18.1V 立ち上がり、16.6V 立ち下がり 3h = OVP なし
3	OCP_RETRY_MODE	R/W	0h	OCP の後に無制限に再試行するか、3 回連続の再試行後に停止するかを制御します 0h = 無制限に再試行 1h = 連続して 3 回のみ再試行
2-0	LRD_LONG_RETRY_SEL	R/W	4h	$t_{LRD\_START}$ から $t_{lock\_long\_retry}$ を計算する乗数を選択します 0h = x 2 1h = x 4 2h = x 8 3h = x 10 4h = x 12 5h = x 16 6h = x 24 7h = x 28

### 7.1.20 CLOSED\_LOOP\_CONFIG0 レジスタ (オフセット = 13h) [リセット = 00h]

CLOSED\_LOOP\_CONFIG0 を表 7-22 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-22. CLOSED\_LOOP\_CONFIG0 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	MAX_SPEED_LSB	R/W	0h	閉ループで 100% デューティサイクルで動作している場合に、デバイスが目標とする電氣的最大速度 (単位:Hz) を表す 12 ビット値の最下位バイト 8 を設定します。式に従い、PWM ピンで観測された入力デューティサイクルに基づいて目標速度を計算するために使用されます。目標電氣的速度 (Hz) = 入力デューティサイクル × MAX_SPEED

### 7.1.21 CLOSED\_LOOP\_CONFIG1 レジスタ (オフセット = 14h) [リセット = FFh]

CLOSED\_LOOP\_CONFIG1 を表 7-23 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-23. CLOSED\_LOOP\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-4	DOUT_MAX_MSN または KI_RATIO	R/W	Fh	<p>開ループ: DOUT_MAX の最上位ニブルを設定すると、DIN が DIN0 と DINOFF の間にある場合に最大値の DOUT がクランプされます。DOUT_MAX の最小クランプ値 25%。閉ループ: KI_RATIO の 3 ビットを設定します</p> <p>0h = <math>K_p \times 8</math>            1h = <math>K_p \times 4</math>            2h = <math>K_p \times 2</math>            3h = <math>K_p \times 1</math>            4h = <math>K_p/2</math>            5h = <math>K_p/4</math>            6h = <math>K_p/8</math>            7h = <math>K_p/16</math></p>
3-0	DOUT_MAX_LSN または MAX_SPEED_MSN	R/W	Fh	<p>開ループ: DOUT_MAX の最下位ニブルを設定すると、DIN が DIN0 と DINOFF の間にある場合に最大値の DOUT がクランプされます。DOUT_MAX の最小クランプ値 25%。閉ループ: 閉ループで 100% デューティサイクルで動作している場合に、デバイスが目標とする電気的 maximum 速度 (Hz) を表す 12 ビット値の最上位バイト 4 を設定します。式に従い、PWM ピンで観測された入力デューティサイクルに基づいて目標速度を計算するために使用されます。目標電気的 velocity (Hz) = 入力デューティサイクル <math>\times</math> MAX_SPEED</p>

### 7.1.22 CLOSED\_LOOP\_CONFIG2 レジスタ (オフセット = 15h) [リセット = 02h]

CLOSED\_LOOP\_CONFIG2 を表 7-24 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-24. CLOSED\_LOOP\_CONFIG2 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	LRD_NRETRY_STARTUP	R/W	0h	<p>リセット、SLEEP、または STBY からのウェークアップ後、長いリトライ期間 <code>tlock_long_retry</code> を適用する前に実行される初回起動のリトライ回数。</p> <p>0h = 初回の一連の再試行は 1 回のみ            1h = 初回の一連の再試行は 2 回            2h = 初回の一連の再試行は 3 回            3h = 初回の一連の再試行は 4 回</p>
5-4	LRD_NRETRY_RUN	R/W	0h	<p>初回起動試行の後、リセット、SLEEP、または STBY からのウェークアップ後に、長いリトライ期間 <code>tlock_long_retry</code> を適用する前に実行される、その後の起動リトライ回数。</p> <p>0h = 以後の一連の再試行は 1 回のみ            1h = 以後の一連の再試行は 2 回            2h = 以後の一連の再試行は 3 回            3h = 以後の一連の再試行は 4 回</p>
3	DEADTIME_SEL	R/W	0h	<p>デッドタイム持続を 600ns から 520ns に短縮します</p> <p>0h = デッドタイムは 600ns            1h = デッドタイムは 520ns</p>
2-0	KP_RATIO	R/W	2h	<p>閉ループ速度コントローラにおける比例成分。</p> <p>0h = <math>8/f_{Max}</math>            1h = <math>4/f_{Max}</math>            2h = <math>2/f_{Max}</math>            3h = <math>1/f_{Max}</math>            4h = <math>1/(2 \cdot f_{Max})</math>            5h = <math>1/(4 \cdot f_{Max})</math>            6h = <math>1/(8 \cdot f_{Max})</math>            7h = <math>1/(16 \cdot f_{Max})</math></p>

### 7.1.23 PROTECTION\_CONFIG1 レジスタ (オフセット = 16h) [リセット = 44h]

PROTECTION\_CONFIG1 を表 7-25 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-25. PROTECTION\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	OVP_BLANK_SEL	R/W	0h	ピーク デューティ サイクル フェーズ中に適用されるブランキング期間を選択します。 0h = 1ms 後にブランキングがアクティブになる 1h = 4ms 後にブランキングがアクティブになる
6	OVP_BLANK_EN	R/W	1h	ピーク デューティ サイクル フェーズにおける OVP ブランキング時間を有効化または無効化します 0h = ピーク デューティ サイクル フェーズで OVP ブランキングはなく、ブランキングは SRISE フェーズと SFALL フェーズでのみアクティブとなる 1h = SRISE および SFALL フェーズに加えて、OVP_BLANK_SEL に従って、ピーク デューティ サイクル フェーズの OVP ブランキング
5	OCP_DEGLITCH_SEL	R/W	0h	OCP のグリッチ除去時間を選択します 0h = OCP グリッチ除去時間は 500ns 1h = OCP グリッチ除去時間は 1 $\mu$ s
4	予約済み	R/W	0h	予約済み
3-2	予約済み	R/W	0h	予約済み
1	予約済み	R/W	0h	予約済み
0	DITHER_EN	R/W	0h	High に設定すると内部発振器のディザリングが有効化され、それに伴い PWM 出力もディザリングされます 0h = ディザリング無効 1h = ディザリング有効

### 7.1.24 GENERAL\_CONFIG1 レジスタ (オフセット = 17h) [リセット = 46h]

GENERAL\_CONFIG1 を表 7-26 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-26. GENERAL\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	HALL_INVERT	R/W	0h	このビットはホール オフセット信号を整流ブロックに対して反転します。 0h = 非反転ホール ラッチ信号 1h = 反転ホール ラッチ信号
6	HALL_TIME_MODE	R/W	1h	ホール オフセット時間のリード / ラグ選択ビット 0h = ホール オフセット信号はホール ラッチ出力信号より $t_{\text{HALL\_OS}}$ だけ遅れる 1h = ホール オフセット信号はホール ラッチ出力信号より $t_{\text{HALL\_OS}}$ 分だけ進む
5-4	LRD_TIME_STARTUP	R/W	0h	起動時の回転子ロック検出時間 $t_{\text{LRD\_START}}$ を選択します。また、 $t_{\text{lock\_long\_retry}}$ の計算にも使用されます 0h = 325ms 1h = 440ms Ah = 524ms Bh = 1.05s

表 7-26. GENERAL\_CONFIG1 レジスタのフィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
3-0	ILIMIT_SEL	R/W	6h	電流制限スレッショルドを選択します。0h ~ 9h の値のみが有効です。 0h = 0.33A 1h = 0.44A 2h = 0.55A 3h = 0.66A 4h = 0.77A 5h = 0.88A 6h = 0.99A 7h = 1.10A 8h = 1.21A 9h = 1.32A

## 7.1.25 GENERAL\_CONFIG2 レジスタ (オフセット = 18h) [リセット = 81h]

GENERAL\_CONFIG2 を表 7-27 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

表 7-27. GENERAL\_CONFIG2 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	VM_CLAMP_DIS	R/W	1h	VM クランプ機能を無効化します 0h = VM クランプ有効 1h = VM クランプ無効
6	HALL_ANGLE_MODE	R/W	0h	ホール オフセットの角度成分を先行方向または遅れ方向に適用するかを選択します 0h = ホール オフセット信号はホール ラッチ出力信号より $\theta_{\text{HALL\_OS\_ANGLE}}$ 分だけ進む 1h = ホール オフセット信号はホール ラッチ出力信号より $\theta_{\text{HALL\_OS\_ANGLE}}$ だけ遅れる
5-1	HALL_OS_ANGLE	R/W	0h	ホール オフセットの角度成分 0h = 0 度 1h = 1.4 度 1Fh = 43.6 度
0	PRESSTART_RAMP_EN	R/W	1h	プリスタート PWM ランプ機能を有効化します 0h = プリスタートランプ機能は無効で、入力デューティサイクルが DOUT に即座に適用される 1h = プリスタートランプ機能は有効で、PWM_RAMP_SEL ビットに従ってランプレートが設定される

## 7.1.26 GENERAL\_CONFIG3 レジスタ (オフセット = 19h) [リセット = 24h]

GENERAL\_CONFIG3 を表 7-28 に示します。

[概略表](#)に戻ります。

表 7-28. GENERAL\_CONFIG3 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-4	SILENCE_ANGLE	R/W	2h	整流開始時の無音となる角度期間を設定します 0h = 0.0 1h = 1.4 2h = 2.8 3h = 4.2 4h = 5.6 5h = 7.0 6h = 8.4 7h = 9.8 8h = 11.3 9h = 12.7 10h = 14.1 11h = 15.5 12h = 16.9 13h = 18.3 14h = 19.7 15h = 21.1
3-2	POLE_PAIR	R/W	1h	回転子内の極ペア数を示します 0h = 1 極ペア 1h = 2 極ペア 2h = 3 極ペア 3h = 4 極ペア
1	LRD_RETRY_DIS	R/W	0h	回転子ロックが検出された際、5 回連続してリトライした後に、それ以上のリトライを無効化します 0h = リトライ回数無制限 1h = リトライ回数を 5 回に制限さ
0	PWRUP_PWMDC_MASK	R/W	0h	リセット状態からの初回パワーアップ時に、PWM ピンの入力速度コマンドを 1 秒間マスクします 0h = PWM ピン入力をマスクしない 1h = 初回パワーアップ時に PWM ピン入力を 1 秒間マスクする

### 7.1.27 GENERAL\_CONFIG4 レジスタ (オフセット = 1Ah) [リセット = 08h]

GENERAL\_CONFIG4 を表 7-29 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-29. GENERAL\_CONFIG4 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-1	DEMAG_TIME	R/W	4h	DEMAG 時間を設定します 0h = 0us 1h = 10.24us 2h = 20.48us 3Fh = 645.12us 7Fh = 1.29ms
0	SILENCE_MODE	R/W	0h	サイレンス フェーズ中の出力 FET の状態を選択します 0h = サイレンス フェーズ中、すべての FET はハイインピーダンスとなる 1h = サイレンス フェーズで非同期モードとなる

### 7.1.28 USR\_OTP\_CRC レジスタ (オフセット = 1Bh) [リセット = 00h]

USR\_OTP\_CRC を表 7-30 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-30. USR\_OTP\_CRC レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	USR_OTP_CRC	R/W	0h	USR_OTP レジスタに対して計算された CRC 値



## 7.2 USR\_TM レジスタ

表 7-31 に、USR\_TM レジスタのメモリマップトレジスタを示します。表 7-31 にないレジスタ オフセット アドレスはすべて予約済みと見なして、レジスタの内容は変更しないでください。

表 7-31. USR\_TM レジスタ

オフセット	略称	レジスタ名	セクション
20h	TEST_FAULT	故障をテストするためのレジスタ	セクション 7.2.1
21h	TEST_DIN	デューティ サイクル入力制御	セクション 7.2.2
22h	TEST_FAULT_STATUS	故障タイプを示すレジスタ	セクション 7.2.3
23h	TEST_SPEED_MSB	速度フィードバック	セクション 7.2.4
24h	TEST_SPEED_LSB	速度フィードバック	セクション 7.2.5
25h	USR_OTP_CFG	USR_OTP のプログラミングを設定するためのレジスタ	セクション 7.2.6
26h	USR_OTP_PRG_UNLOCK	USR_OTP をプログラムまたは検証するためのアクセスをロック解除	セクション 7.2.7

表の小さなセルに収まるように、複雑なビット アクセス タイプを記号で表記しています。表 7-32 に、このセクションでアクセス タイプに使用しているコードを示します。

表 7-32. USR\_TM アクセス タイプ コード

アクセス タイプ	コード	説明
読み取りタイプ		
R	R	読み出し
書き込みタイプ		
W	W	書き込み
W0C	W 0C	書き込み 0 でクリア
リセットまたはデフォルト値		
-n		リセット後の値またはデフォルト値

### 7.2.1 TEST\_FAULT レジスタ (オフセット = 20h) [リセット = 00h]

TEST\_FAULT を表 7-33 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-33. TEST\_FAULT レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	FAULT	R	0h	このビットを読み出すと、デバイスが異常モード (OCP、OVP、UVLO、回転子ロック、TSD) になっていることを示します。電流制限動作は、このビットでは通知されません。 0h = アクティブ モード 1h = 故障モード
6-0	予約済み	R	0h	予約済み

### 7.2.2 TEST\_DIN レジスタ (オフセット = 21h) [リセット = 01h]

TEST\_DIN を表 7-34 に示します。

概略表に戻ります。

**表 7-34. TEST\_DIN レジスタ フィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	DIN_CNTRL	R/W	1h	このレジスタに書き込むと、I2C で PWM ピンが使用できない間、速度を制御するための入力デューティサイクル DIN が設定されます。 DIN = DIN_CNTRL/255 0h = 0% (デフォルト) A0h = 62.5% FFh = 100%

### 7.2.3 TEST\_FAULT\_STATUS レジスタ (オフセット = 22h) [リセット = 00h]

TEST\_FAULT\_STATUS を [表 7-35](#) に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-35. TEST\_FAULT\_STATUS レジスタ フィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	予約済み	R	0h	予約済み
5	予約済み	R/W0C	0h	予約済み
4	TSD	R/W0C	0h	このビットを読み出すと、デバイスが温度シャットダウン (TSD) 保護中であることを示します。 0h = 通常動作 1h = TSD 故障
3	UVLO	R	0h	このステータス ビットは、デバイスが低電圧 (UVLO) 状態であることを示します。 0h = 通常動作 1h = UVLO 故障
2	OVP	R/W0C	0h	このビットを読み出すと、デバイスが過電圧保護 (OVP) 状態であることを示します。 0h = 通常動作 1h = OVP 故障
1	LRP	R	0h	このビットを読み出すと、デバイスが回転子ロック保護 (LRP) 状態であることを示します。 0h = 通常動作 1h = LRP 故障
0	OCP	R/W0C	0h	このビットを読み出すと、デバイスが過電流保護状態であることを示します。 0h = 通常動作 1h = OCP 故障

### 7.2.4 TEST\_SPEED\_MSB レジスタ (オフセット = 23h) [リセット = 00h]

TEST\_SPEED\_MSB を [表 7-36](#) に示します。

[概略表](#)に戻ります。

**表 7-36. TEST\_SPEED\_MSB レジスタ フィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	ELECTRICAL_PERIOD_MSB	R	0h	このレジスタを読み出すと、モーターの電氣的サイクルの周期が取得できます。FG ピンが使用できないテスト モード中の速度フィードバックに役立ちます。合計電氣的周期は、 $10.24\mu\text{s} * ((\text{ELECTRICAL\_PERIOD\_MSB} \ll 8) + (\text{ELECTRICAL\_PERIOD}))$ の計算値の 2 倍になります

### 7.2.5 TEST\_SPEED\_LSB レジスタ (オフセット = 24h) [リセット = 00h]

TEST\_SPEED\_LSB を表 7-37 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-37. TEST\_SPEED\_LSB レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	ELECTRICAL_PERIOD_LSB	R	0h	このレジスタを読み出すと、モーターの電氣的サイクルの周期が取得できます。FG ピンが使用できないテスト モード中の速度フィードバックに役立ちます。Electrical_PERIOD_MSB ビット フィールド説明の式。

### 7.2.6 USR\_OTP\_CFG レジスタ (オフセット = 25h) [リセット = 00h]

USR\_OTP\_CFG を表 7-38 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-38. USR\_OTP\_CFG レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	USR_OTP_CRC_ERR	R	0h	USR_OTP_CRC チェックのステータス 0h = CRC エラーなし 1h = CRC エラー
6	DEVICE_OTP_CRC_ERR	R	0h	デバイスの OTP 内容に対して計算された DEVICE OTP CRC のステータス 0h = CRC エラーなし 1h = CRC エラー
5	予約済み	R/W	0h	予約済み
4-3	USR_OTP_PAGE_USED	R	0h	USR_OTP シャドウ レジスタのロードに使用されるデータの生成元を示します 0h = USR_OTP のいずれからでも、これまでシャドウ レジスタがロードされていない。これは、電源オン時に USR_OTP1 が未プログラムであると判断されたことを意味します。 1h = シャドウ レジスタの最新ロードが USR_OTP1 から行われた 2h = シャドウ レジスタの最新ロードが USR_OTP2 から行われた。 3h = 予期されない無効な組み合わせ。
2	USR_OTP_PAGE_SEL	R/W	0h	このビットは、命令された動作の対象が最初の USR_OTP ページ (USR_OTP1) なのか、2 番目の USR_OTP ページ (USR_OTP2) なのかを示します。 0h = USR_OTP1 1h = USR_OTP2
1	USR_OTP_PROG_VERIFY	R/W	0h	予約済み
0	USR_OTP_PROG_ALL	R/W	0h	USR_OTP_PAGE_SEL に従って USR_OTP ページをプログラムするには、このビットに 1h を書き込みます

### 7.2.7 USR\_OTP\_PRG\_UNLOCK レジスタ (オフセット = 26h) [リセット = 00h]

USR\_OTP\_PRG\_UNLOCK を表 7-39 に示します。

概略表に戻ります。

表 7-39. USR\_OTP\_PRG\_UNLOCK レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-3	予約済み	R	0h	予約済み

表 7-39. USR\_OTP\_PRG\_UNLOCK レジスタ フィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
2-0	USR_OTP_PROG_UNLOCK	R	0h	USR_OTP のプログラミングまたはプログラム検証動作へのアクセスをロック解除するには、このビットに 2h、1h、4h のシーケンスを連続した書き込みフレームで書き込む必要があります

## 8 アプリケーションと実装

### 注

以下のアプリケーション セクションにある情報は、TI の製品仕様に含まれるものではなく、TI はその正確性も完全性も保証いたしません。個々の目的に対する製品の適合性については、お客様の責任で判断していただくことになります。また、お客様は自身の設計実装を検証しテストすることで、システムの機能を確認する必要があります。

### 8.1 アプリケーション情報

MC111 は、単相ブラシレス DC モーターの駆動に使用できます。以下の設計手順は、MC111 とのインターフェイスで使用できます。

#### 8.1.1 外付け部品

このセクションでは、ファン アプリケーションにおける MC111 の推奨外付け部品について説明します。

#### 電源関連部品

図 8-1 に、ファン モジュールの電源端子に配置される一般的な部品を示します。電源と直列に接続された  $D_1$  ダイオードは、誤って電源端子が逆接続された場合に MC111 を保護します。MC111 を適切に機能させるには、電源デカップリング コンデンサが必要であり、最小値として  $0.1\mu\text{F}$  を推奨します。VM ピンの近くにオプションの バルク コンデンサ  $C_{\text{BULK}}$  を配置すると、モーター動作中の  $V_{\text{VM}}$  電源電圧を安定化できます。過渡時のマージンを確保するため、等価直列抵抗 (ESR) が低いセラミック コンデンサで、電源電圧の 2 倍の電圧定格を持つものを推奨します。容量の値はアプリケーションに応じて  $1\mu\text{F} \sim 10\mu\text{F}$  が推奨されます。

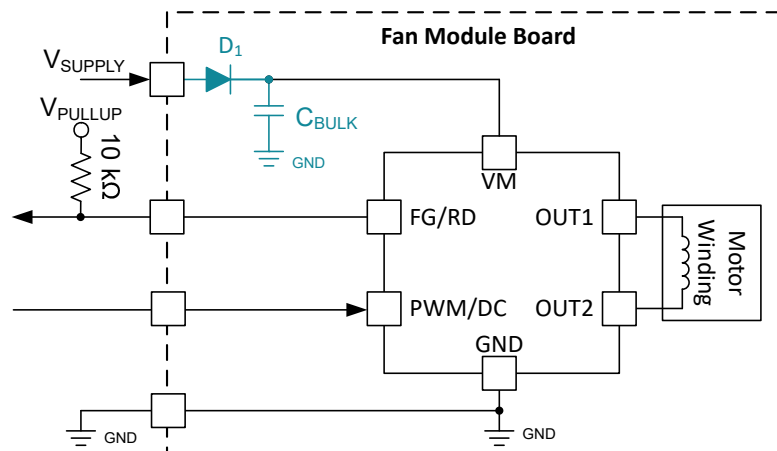


図 8-1. 代表的なファン モジュール外付け部品

モーター電流が大きく、回転子の慣性が高いモーター システムでは、整流動作中にインダクタに蓄積されたエネルギーにより、H ブリッジから VM ノードへ大電流が流れ込むことがあります。 $C_{\text{BULK}}$  コンデンサの追加電荷によって、 $V_{\text{VM}}$  電源電圧が上昇します。MC111 は過電圧保護機能を備えていますが、電源レールに保護クランプ部品を追加することで、電圧スパイクの大きさを抑制できます。これらの部品は、電源レールに対する ESD 保護としても機能します。

図 8-2 に、VM ノードに ツェナー ダイオードまたは TVS ダイオード ( $D_2$ ) を使用した例を示します。ダイオードのクランプ電圧は、ファン システムの最大動作電圧より高く、「推奨動作条件」の表に示される MC111 の最大動作電圧より低い必要があります。電源ラインに RC スナバを使用することで、電圧スパイクや ESD からドライバを保護できます (図 8-3)。TI では、 $C_{\text{SNUBBER}}$  に  $1\mu\text{F}$ 、 $R_{\text{SNUBBER}}$  に  $2\Omega$  を推奨しています。また、 $C_{\text{BULK}}$  と並列に 電解コンデンサを使用することもできます。

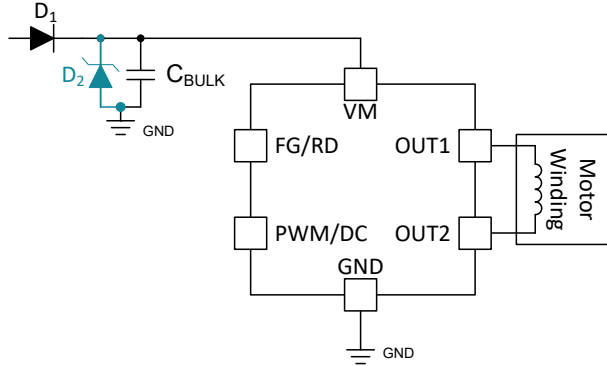


図 8-2. VM のクランプ ダイオード

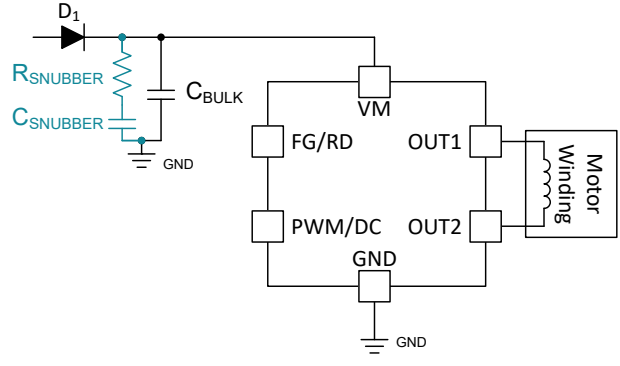


図 8-3. VM のスナバ

### PWM および FG/RD ピンの部品

図 8-1 に、ファン モジュールの PWM 制御、速度または故障フィードバックに必要な最小限の外付け部品を示します。FG/RD ピンはオープンドレイン出力であり、適切な電圧の出力信号を得るには、外付けプルアップ抵抗が必要です。オープンドレイン出力が Low にアサートされたとき、FG/RD ピンに流れ込む電流が 5mA 未満となるよう、プルアップ抵抗値を選択する必要があります。図 8-4 に示すように、PWM 入力と FG/RD 出力にインラインで抵抗を追加すると、コンネクタワイヤ上の ESD からドライバを保護するのに役立ちます。図 8-5 に示すように、FG/RD 信号および PWM 信号にクランプ ダイオードまたは TVS ダイオードを追加することで、ESD に対する保護をさらに強化できます。

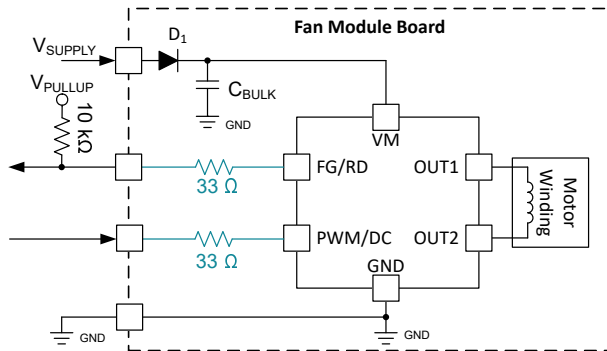


図 8-4. PWM と FG/RD の抵抗

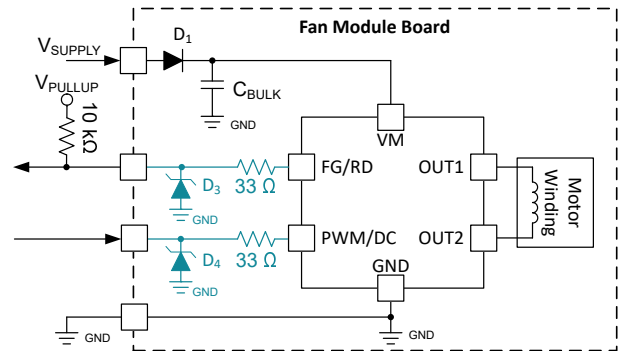


図 8-5. PWM と FG/RD の抵抗およびツェナー ダイオード

一部の単相ファン モジュールでは、FG/RD および PWM ピンにオープン コレクタ インターフェイスが必要です。図 8-6 および 図 8-7 に、オープン コレクタ インターフェイス用にファン モジュールの内側および外側の部品を接続する例を示します。

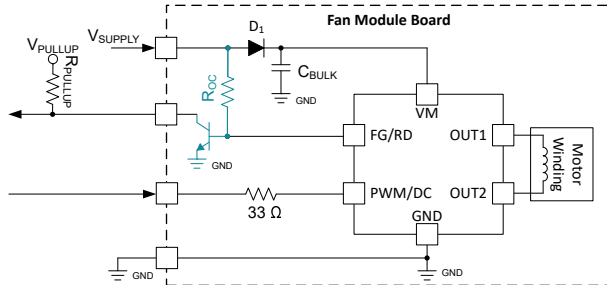


図 8-6. FG/RD のオープン コレクタ

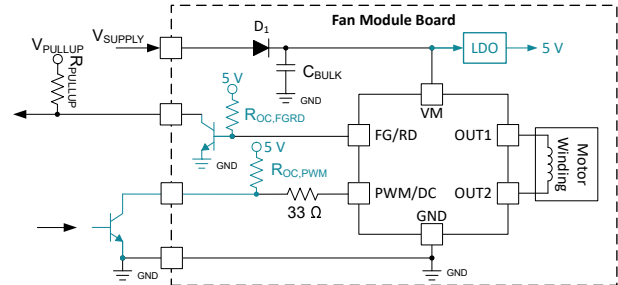


図 8-7. PWM および FG/RD のオープン コレクタ

## OTP およびテスト モードのプログラミング

MC111 は、OTP (ワンタイム プログラマブル) モードで、FG/RD および PWM ピンで I<sup>2</sup>C インターフェイスをサポートします。OTP モードでは、設計者はさまざまなデバイス設定をテストでき、量産時にデバイスの OTP をプログラムできます。図 8-8 に、MC111 のデバイス プログラミング用の外付け部品の接続例を示します。OTP およびテスト モードのプログラミングの詳細については、セクション 6.4.4 を参照してください。

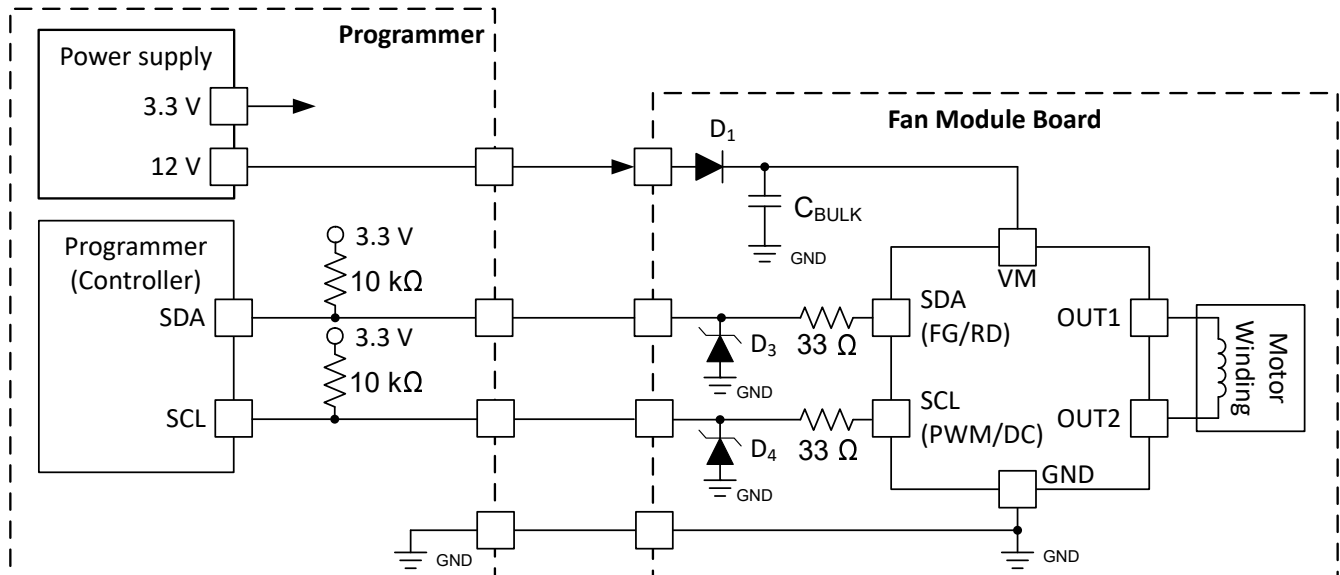


図 8-8. OTP メモリ プログラマおよびファン モジュール

## 8.2 代表的なアプリケーション

### 8.2.1 設計要件

#### 電流制限付き単相ブラシレス DC モーター制御

このアプリケーションでは、MC111 を使用して、最大 100% デューティ サイクルで電流制限を備えた単相ブラシレス DC モーターを駆動します。以下の設計手順を使用して、MC111 を電流制限モードで構成できます。

表 8-1 に、システム設計の入力パラメータの例を示します。

表 8-1. 設計パラメータ

パラメータ	値
電源電圧	12V

表 8-1. 設計パラメータ (続き)

パラメータ	値
モーターのピーク電流	1.2A
速度入力タイプ	PWM (0% ~ 100% デューティ), 50Hz
FG/RD ピンの機能	回転子ロックの故障時に High をアサート
整流形状	方形波

## 8.2.2 詳細な設計手順

### モーター電圧

ブラシレス DC モーターは通常、特定の定格電圧が指定されています (12V や 24V など)。より高い電圧でモーターを動作させると、同じモーター電力を得るために必要な駆動電流は低くなります。また、動作電圧が高いほど、到達可能な回転数も高くなります。MC111 は、3.2V ~ 35V の電圧範囲での動作が可能です。

### デバイス構成設定

MC111 のデフォルト OTP 構成を、表 7-1 に示します。デフォルト値は、モーターの起動および閉ループ動作を確実にを行うために選択されています。MC111 のチューニングおよびプログラミングのガイドを参照してください。このガイドでは、単相 BLDC モーターを開ループおよび閉ループ構成で調整する手順を段階的に説明し、デバイス機能を紹介しています。

表 8-2. 推奨 OTP 構成値 (デフォルトからの変更)

レジスタ値名	推奨値
PWM_IN_RANGE	1h
FGRD_INVERT	1h
FGRD_MODE	1h
PWM_MODE	7h
SILENCE_ANGLE	4h
ILIMIT_SEL	9h

デバイスの OTP が目的の構成でプログラムされると、デバイスはスタンドアロンで動作可能となり、I<sup>2</sup>C シリアル インターフェイスは不要になります。速度は PWM/DC ピンで指示でき、回転子ロックの故障は FG/RD ピンで監視できます。

### 消費電力と接合部温度の関係

電力損失から MC111 の接合部温度を計算するには、式 1 を使用します。熱抵抗  $\theta_{JA}$  は、周囲温度、PCB 層数、上層および下層の銅厚、PCB 面積などによって異なることに注意してください。

$$T_J[^\circ\text{C}] = P_{\text{loss}}[\text{W}] \times \theta_{JA}\left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right] + T_A[^\circ\text{C}] \quad (1)$$



### 8.2.3 アプリケーション曲線

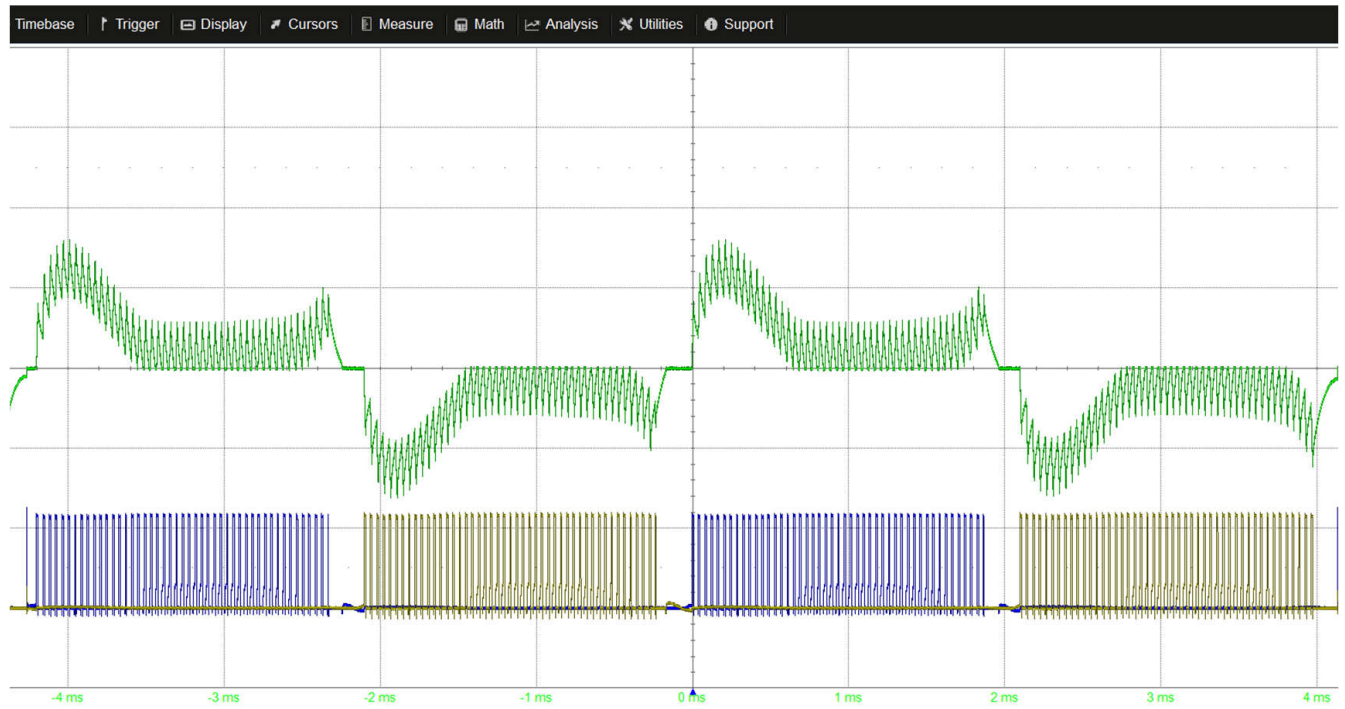


図 8-9. PWM 入力 = 25% での OUTx 電圧および位相電流

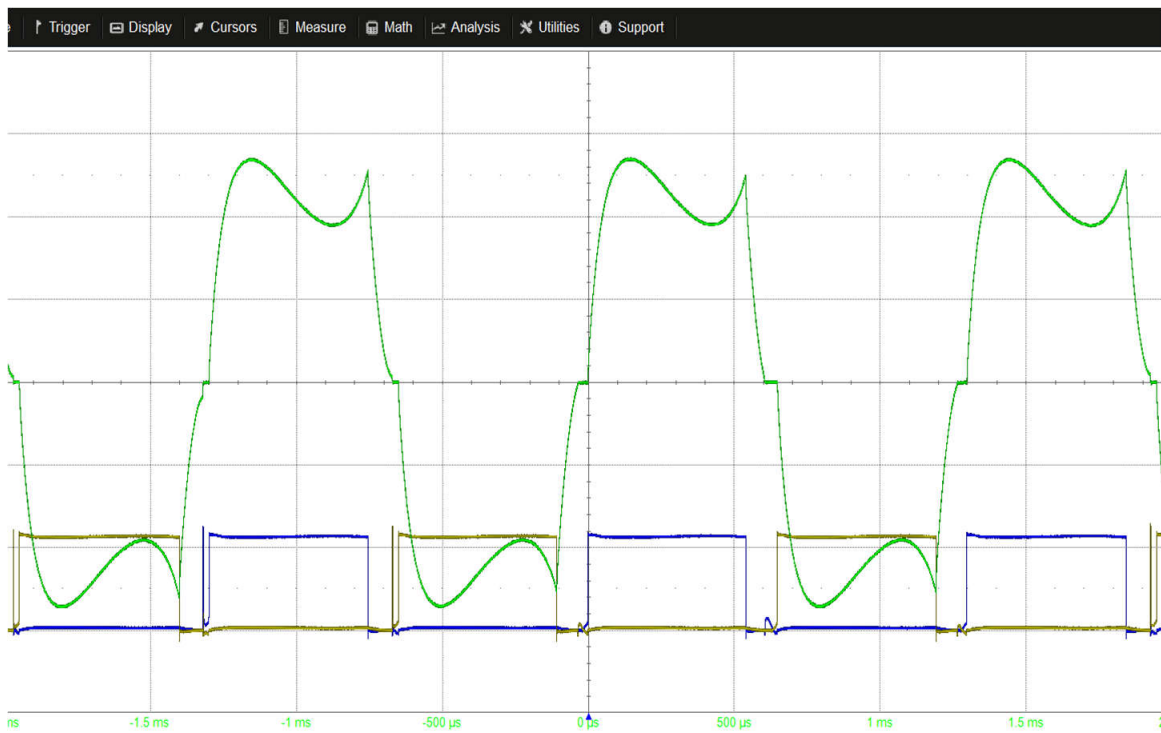


図 8-10. PWM 入力 = 100% での OUTx 電圧および位相電流

### 8.3 電源に関する推奨事項

### 8.3.1 バルク コンデンサ

適切なローカル バルク容量の確保は、モーター駆動システムの設計において重要な要素です。一般に、バルク コンデンサが大きいほど利点がありますが、コストと物理的なサイズが増加します。

必要なローカル容量は、次のようなさまざまな要因で決まります。

- モーター システムが必要とする最大電流
- 電源の容量と電流能力
- 電源とモーター システムの間の寄生インダクタンスの大きさ
- 許容される電圧リップル
- モーターの停止またはブレーキ方法

電源とモーター駆動システムとの間のインダクタンスにより、電源からの電流の変化する速度が制限されます。ローカル バルク容量が小さすぎると、モーターに大電流を供給しようとする場合、または負荷ダンピングが発生した場合、システムの電圧が変動します。十分なバルク容量を備えることで、モーターの電圧は安定し、大電流を素早く供給できます。

データシートには一般に、推奨値が記載されていますが、バルク コンデンサの容量が適切かどうかを判断するには、システムレベルのテストが必要です。

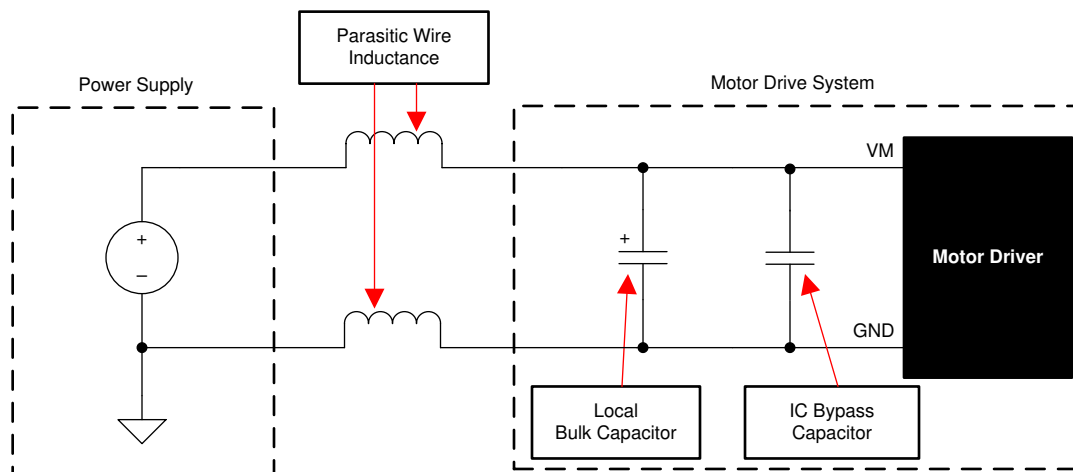


図 8-11. 外部電源を使用したモーター駆動システムの構成例

モーターが電源にエネルギーを伝達する場合のマージンを確保するため、バルク コンデンサの定格電圧は動作電圧より高くすることができます。

## 8.4 レイアウト

### 8.4.1 レイアウトのガイドライン

バルク コンデンサは、モーター ドライバ デバイスを通る大電流パスの距離ができるだけ短くなるように配置することができます。接続用の金属パターンはできる限り幅を広くし、PCB 層を接続する際には多数のビアを使用します。これらの手法により、寄生インダクタンスを最小限にして、バルク コンデンサが大電流を供給できるようになります。

デバイスのバイパス コンデンサはセラミックであり、デバイス ピンに近づけて配置されています。

大電流デバイス出力は、幅の広い金属パターンです。

大きい過渡電流から小電流信号パスへのノイズ結合および EMI を低減するために、PGND と AGND のグランドは分割します。寄生効果を低減し、デバイスの消費電力を改善するために、電力段以外のすべての回路 (サーマル パッドを含む) を AGND に接続することを推奨します。

本デバイスのサーマルパッドは、PCBの最上層のグランドプレーンに半田付けします。複数のビアを使用して最下層の大きなグランドプレーンに接続します。大きい金属プレーンおよび複数のビアを使うと、本デバイス内で発生する  $I^2 \times R_{DS(on)}$  の熱を放散するのに役立ちます。

放熱性を高めるため、サーマルパッドグランドに接続されたグランド領域を、PCBの全層にわたって最大化します。厚い銅のベタパターンを使うと、接合部から外気への熱抵抗が下がり、ダイ表面からの放熱性が改善されます。

適切なモーターの整流には、MC111を2つの固定子極の間に配置し、ホール素子が回転子磁石の直下に位置するようにする必要があります。DYMパッケージの配置例を、[図 8-12](#) に示します

### 8.4.2 レイアウト例

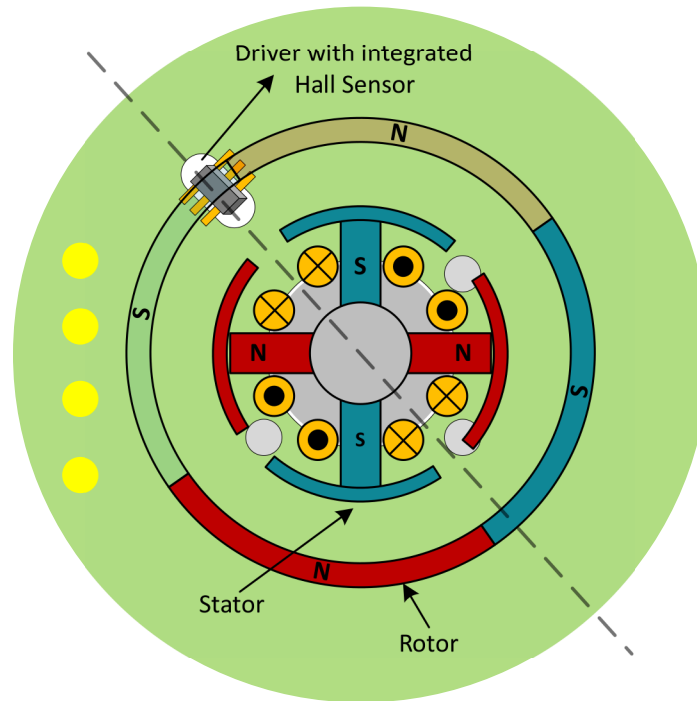


図 8-12. DYM パッケージの推奨配置例

## 9 デバイスおよびドキュメントのサポート

テキサス・インスツルメンツでは、幅広い開発ツールを提供しています。デバイスの性能の評価、コードの生成、システムの開発を行うためのツールやソフトウェアを、以下に挙げます。

### 9.1 デバイス サポート

### 9.2 ドキュメントのサポート

#### 9.2.1 関連資料

### 9.3 ドキュメントの更新通知を受け取る方法

ドキュメントの更新についての通知を受け取るには、[www.tij.co.jp](http://www.tij.co.jp) のデバイス製品フォルダを開いてください。[通知] をクリックして登録すると、変更されたすべての製品情報に関するダイジェストを毎週受け取ることができます。変更の詳細については、改訂されたドキュメントに含まれている改訂履歴をご覧ください。

### 9.4 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラムは、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

### 9.5 商標

テキサス・インスツルメンツ E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

### 9.6 静電気放電に関する注意事項



この IC は、ESD によって破損する可能性があります。テキサス・インスツルメンツは、IC を取り扱う際には常に適切な注意を払うことを推奨します。正しい取り扱いおよび設置手順に従わない場合、デバイスを破損するおそれがあります。

ESD による破損は、わずかな性能低下からデバイスの完全な故障まで多岐にわたります。精密な IC の場合、パラメータがわずかに変化するだけで公表されている仕様から外れる可能性があるため、破損が発生しやすくなっています。

### 9.7 用語集

[テキサス・インスツルメンツ用語集](#) この用語集には、用語や略語の一覧および定義が記載されています。

## 10 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

日付	改訂	注
December 2025	*	初版リリース

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package   Pins	Package qty   Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
PMC111DYMR	Active	Preproduction	SOT-23-THIN (DYM)   6	5000   LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-	

(1) **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月