



Gowin FOC Current Loop Control Light IP ユーザーガイド

IPUG770-1.1J, 2023-08-18

著作権について（2023）

著作権に関する全ての権利は、**Guangdong Gowin Semiconductor Corporation** に留保されています。

GOWIN、Gowin、及びGOWINSEMIは、当社により、中国、米国特許商標庁、及びその他の国において登録されています。商標又はサービスマークとして特定されたその他全ての文字やロゴは、それぞれの権利者に帰属しています。何れの団体及び個人も、当社の書面による許可を得ず、本文書の内容の一部もしくは全部を、いかなる視聴覚的、電子的、機械的、複写、録音等の手段によりもしくは形式により、伝搬又は複製をしてはなりません。

免責事項

当社は、**GOWINSEMI Terms and Conditions of Sale**（GOWINSEMI取引条件）に規定されている内容を除き、（明示的か又は黙示的に拘わらず）いかなる保証もせず、また、知的財産権や材料の使用によりあなたのハードウェア、ソフトウェア、データ、又は財産が被った損害についても責任を負いません。当社は、事前の通知なく、いつでも本文書の内容を変更することができます。本文書を参照する何れの団体及び個人も、最新の文書やエラッタ（不具合情報）については、当社に問い合わせる必要があります。

バージョン履歴

日付	バージョン	説明
2021/03/16	1.0J	初版。
2023/08/18	1.1J	● IP ポートを更新。 ● スクリーンショットを更新。

目次

目次.....	i
図一覧.....	iii
表一覧.....	iv
1 本マニュアルについて	1
1.1 マニュアル内容	1
1.2 関連ドキュメント.....	1
1.3 用語、略語.....	1
1.4 テクニカル・サポートとフィードバック.....	2
2 概要.....	3
2.1 FOC Current Loop Control Light IP の紹介	3
2.2 FOC の電流ループのアルゴリズムの概要	4
2.2.1 モータの原理.....	4
2.2.2 FOC の原理	5
2.2.3 FOC 電流ループの原理	6
2.2.4 Clarke 変換の原理	6
2.2.5 Park 変換の原理	7
2.2.6 Park 逆変換の原理	7
2.2.7 PI 制御の原理	8
2.2.8 SVPWM の原理	9
2.2.9 PWM デッドタイム補償の原理.....	11
3 特長及び性能.....	13
3.1 主な特長	13
3.2 最大周波数.....	13
3.3 レイテンシ.....	13
3.4 リソース使用率	13

4 機能の説明	15
4.1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の構造と機能	15
5 ポートの説明	17
5.1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のポート	17
5.2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) のポート	19
6 タイミングの説明	23
7 呼び出しと構成	25
8 リファレンスデザイン	28
8.1 設計例のアプリケーション	28

図一覧

図 2-1 モータの原理図	4
図 2-2 モータ駆動用の三相ブリッジの原理図	4
図 2-3 FOC の原理図	5
図 2-4 FOC 電流ループの原理図	6
図 2-5 Clarke 変換の原理	6
図 2-6 Park 変換の原理	7
図 2-7 Park 逆変換の原理	7
図 2-8 PI 制御の原理図	8
図 2-9 Anti-Windup PI 制御の原理	8
図 2-10 SVPWM セクターの分布	9
図 2-11 モータ駆動用の三相ブリッジの原理図	9
図 2-12 セクターの分布	10
図 2-13 セクター1 のベクトル合成図	10
図 2-14 セクター1 の PWM 出力	11
図 2-15 デッドタイム補償	12
図 4-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のブロック図	15
図 5-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のポート図	17
図 5-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) のポート図	20
図 6-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の入力タイミング	23
図 6-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の出力タイミング	24
図 7-1 IP Core Generator インターフェース	25
図 7-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の GUI	26
図 7-3 Help ドキュメント	27
図 8-1 リファレンスデザインの構造	28

表一覧

表 1-1 用語、略語	2
表 2-1 FOC Current Loop Control Light IP	3
表 2-2 セクターのスイッチングシーケンス一覧	11
表 3-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のリソース使用率.....	14
表 5-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の IO ポート一覧	18
表 5-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) の IO ポート一覧	21

1 本マニュアルについて

1.1 マニュアル内容

本マニュアルは、ユーザーが Gowin FOC Current Loop Control Light IP を使いこなせるよう、その機能、ポート、タイミング、呼び出しと構成、リファレンスデザインなどについて説明しています。本マニュアルに記載のソフトウェア GUI のスクリーンショットは、Gowin ソフトウェア 1.9.9 Beta-2 バージョンの場合のものです。ソフトウェアのアップデートにより、一部の内容が変更される場合があります。

1.2 関連ドキュメント

GOWIN セミコンダクターの公式 Web サイト www.gowinsemi.com/ja から、以下の関連ドキュメントがダウンロード、参考できます：

- GW1N シリーズ FPGA 製品データシート([DS100](#))
- GW2A シリーズ FPGA 製品データシート([DS102](#))
- GW1NR シリーズ FPGA 製品データシート([DS117](#))
- GW2AR シリーズ FPGA 製品データシート([DS226](#))
- GW2ANR シリーズ FPGA 製品データシート([DS961](#))
- GW1NS シリーズ FPGA 製品データシート([DS821](#))
- GW1NSR シリーズ FPGA 製品データシート([DS861](#))
- GW1NSER シリーズ FPGA 製品データシート([DS881](#))
- GW1NRF シリーズ FPGA 製品データシート([DS891](#))
- GW2ANR シリーズ FPGA 製品データシート([DS961](#))
- GW2AN-55 FPGA 製品データシート([DS976](#))

1.3 用語、略語

表 1-1 に、本マニュアルで使用される用語、略語、及びその意味を示します。

表 1-1 用語、略語

用語、略語	正式名称	意味
DSP	Digital Signal Processing	デジタル信号処理
IP	Intellectual Property	設計資産
RAM	Random Access Memory	ランダム・アクセス・メモリ
LUT	Look-up Tables	ルックアップテーブル
FOC	Field Oriented Control	フィールド指向制御
SVPWM	Space Vector Pulse Width Modulation	空間ベクトルパルス幅変調
PWM	Pulse Width Modulation	パルス幅変調

1.4 テクニカル・サポートとフィードバック

GOWIN セミコンダクターは、包括的な技術サポートをご提供しています。使用に関するご質問、ご意見については、直接弊社までお問い合わせください。

Web サイト : www.gowinsemi.com/ja

E-mail : support@gowinsemi.com

2 概要

2.1 FOC Current Loop Control Light IP の紹介

Gowin FOC Current Loop Control Light IP は、モータを少ないリソースで制御できる、FOC の電流ループを実装します。

表 2-1 FOC Current Loop Control Light IP

FOC Current Loop Control Light IP	
IPコアの適用	
ロジックリソース	表3-1参照
提供されるファイル	
設計ファイル	Verilog (暗号化)
リファレンスデザイン	Verilog
テストベンチ	Verilog
テストおよび設計フロー	
合成ソフトウェア	GowinSythesis
統合開発環境	Gowinソフトウェア(1.9.7.05 Beta以降)

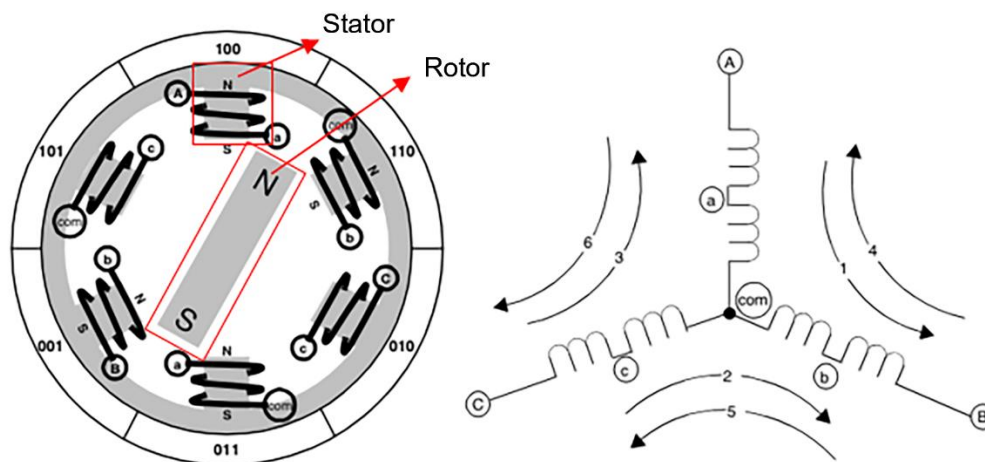
注記：

デバイスのサポート情報は、Gowin セミコンダクターのホームページで確認できます。

2.2 FOC の電流ループのアルゴリズムの概要

2.2.1 モータの原理

図 2-1 モータの原理図



モータは、磁場と電流の相互作用を利用して駆動トルクを出力する電力機器です。

モータは主に固定子と回転子で構成されています。固定子に流れる電流により磁界が発生し、極性の違いにより回転子が回転します。三相ブリッジに周期的な電流が流れるため、回転子は回転運動を出力します。

図 2-2 モータ駆動用の三相ブリッジの原理図

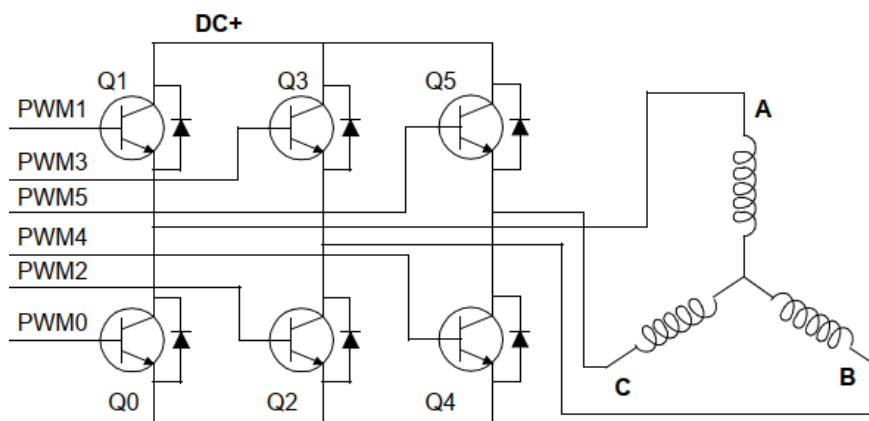
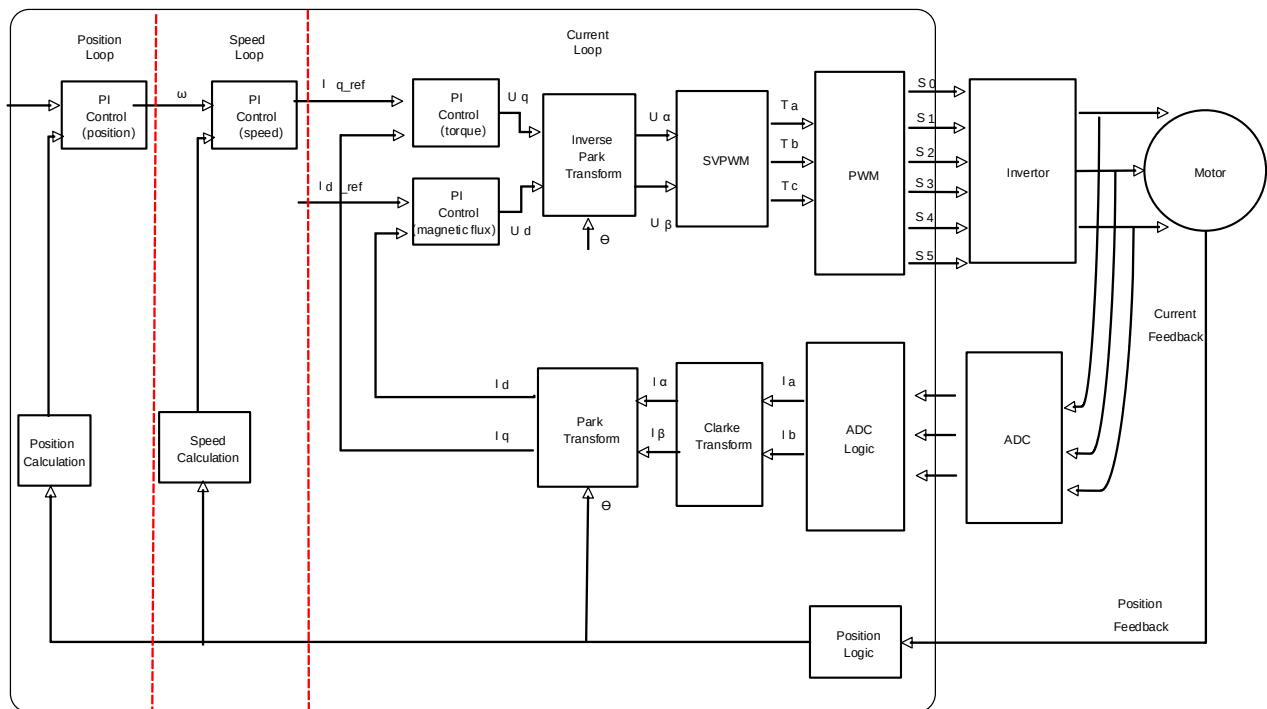


図 2-2 に示すように、上下のトランジスタスイッチのオン/オフにより、A 相、B 相、および C 相の 3 相に通電して磁界を発生させ、回転子を回転させます。例えば、Q1 と Q4 をオン、その他トランジスタをオフにすると、正電流が Q1→A 相巻線固定子→C 相巻線固定子→Q4→マイナス端子の順に流れます。A 相と C 相を流れる電流が磁界を発生します。電磁誘導と右

手の法則によれば、その磁界の方向は **B** に平行であることがわかります。磁界の作用により回転子は **B** の平行方向に回転します。モータを指定された方向に連続的に回転させるには、固定子を特定の順序で通電する必要があります。つまり、「転流」が必要です。

2.2.2 FOC の原理

図 2-3 FOC の原理図



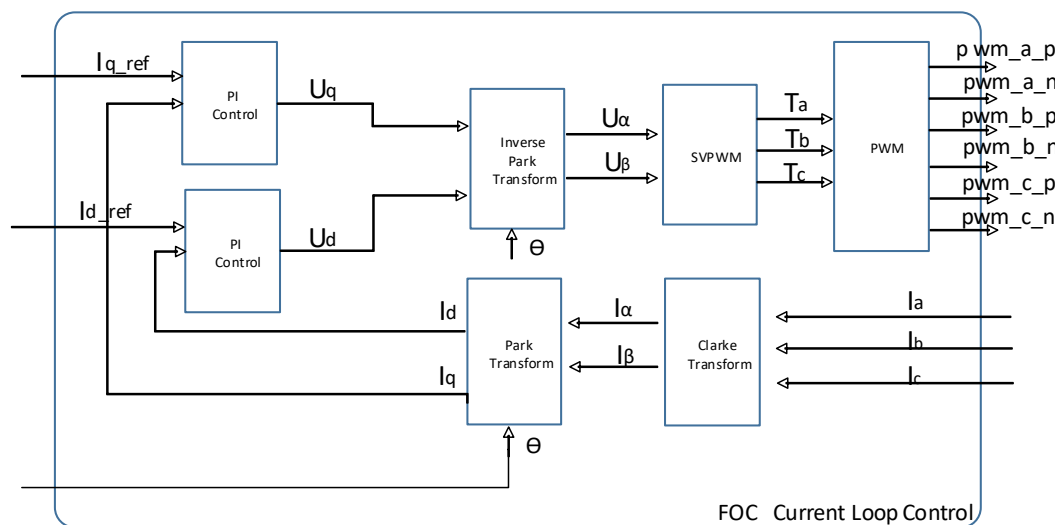
FOC（フィールド指向制御（ベクトル制御とも呼ばれる））は、フィールド指向の原理に従って、モータの固定子電流ベクトルを測定および制御することにより、モータの励磁電流とトルク電流を制御します。

図 2-3 に示すように、モータ回転子の位置、モータの回転速度、電流などの情報をフィードバックとして使用し、3 相電流に対して一連の数学変換を実行して、分離された使いやすい制御フィードバックを取得します。次に、フィードバック量と目標値の誤差に応じて動的に調整し、三相正弦波を出力してモータを回転させます。

FOC は通常、電流ループ、速度ループ、位置ループの 3 つのループ制御を採用しています。電流ループはモータのトルクを制御します。これは FOC 制御の基礎となるものです。速度ループと位置ループは、主にモータエンコーダーの信号を検出することによる負のフィードバック PI 調整に使用されます。速度ループと位置ループの PI 出力は、電流ループの入力になります。つまり、どのモードでも電流ループを使用する必要があります。速度と位置が制御されていると同時に、システムは電流（トルク）を制御して、対応する速度と位置の制御を実現します。

2.2.3 FOC 電流ループの原理

図 2-4 FOC 電流ループの原理図



FOC 内部ループ制御は、FOC のコアです。図 2-4 に示すように、三相電流が直交電流に変換されます。ADC サンプリングによって入力されたモータの三相電流は **Clarke** 変換と **Park** 変換によって座標変換され、三相静止座標系は二相回転座標系に変換されます。回転速度は **PI** 制御によって調整されます。次に、座標系は **Park** 逆変換によって復元されます。電圧は **SVPWM** でレギュレーションが実行され、**PWM** 波が生成されてモータの制御が実装されます。

2.2.4 Clarke 変換の原理

図 2-5 Clarke 変換の原理

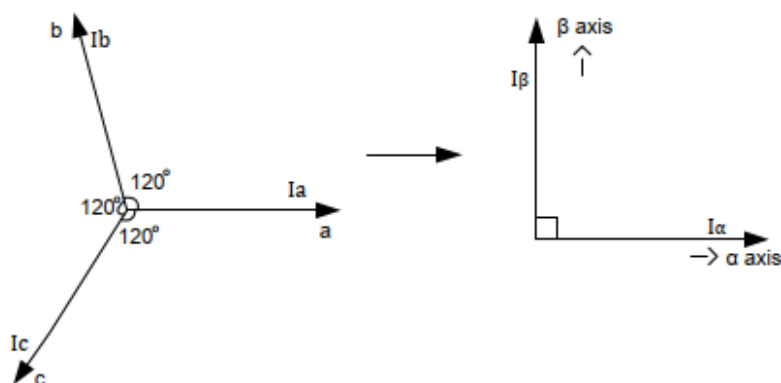


図 2-5 に示すように、**Clarke** 変換は、3 軸の 2 次元座標系を 2 軸の 2 次元座標系に変換するプロセスです。

$$I_\alpha = \frac{2}{3}I_a - \frac{1}{3}I_b - \frac{1}{3}I_c$$

$$I_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_b - I_c)$$

$I_a + I_b + I_c = 0$ の場合、

$$I_\alpha = I_a$$

$$I_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_a + 2I_b)$$

2.2.5 Park 変換の原理

図 2-6 Park 変換の原理

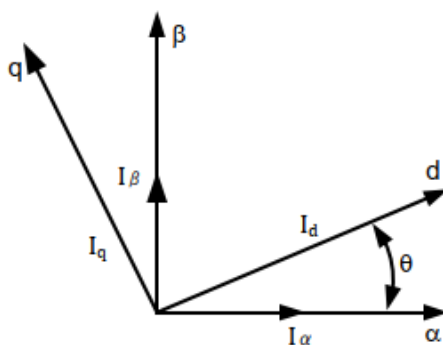


図 2-6 に示すように、Park 変換は、静止座標系を回転座標系に変換するプロセスです。

$$I_d = I_\alpha \cos(\theta) + I_\beta \sin(\theta)$$

$$I_q = I_\beta \cos(\theta) - I_\alpha \sin(\theta)$$

2.2.6 Park 逆変換の原理

図 2-7 Park 逆変換の原理

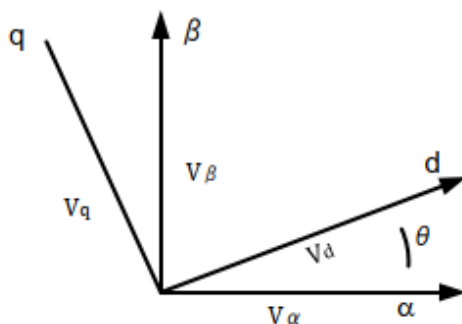


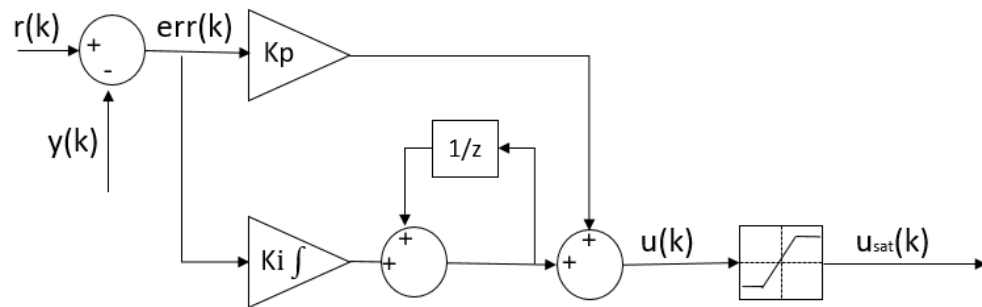
図 2-7 に示すように、Park 逆変換は、回転座標系を静止座標系に変換するプロセスです。

$$V_{\alpha} = V_d \cos(\theta) - V_q \sin(\theta)$$

$$V_{\beta} = V_q \cos(\theta) + V_d \sin(\theta)$$

2.2.7 PI 制御の原理

図 2-8 PI 制御の原理図

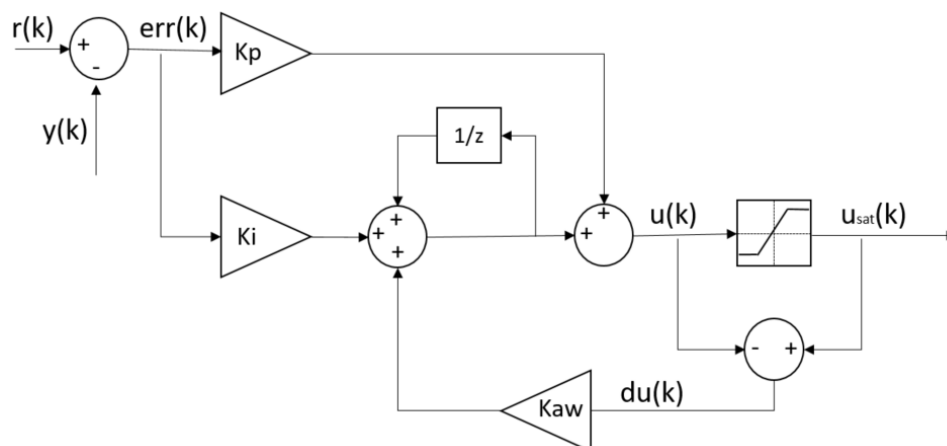


$$u(k) = Kp * err(k) + Ki * err(k) * (1 + \frac{1}{z})$$

PI 制御とは、比例および積分によってエラーを制御することです。図 2-8 に示すように、実際の値 $r(k)$ には、参照値 $y(k)$ からのエラー $err(k)$ があります。PI コントローラは、比例係数 Kp と積分係数 Ki を使用してエラーを制御します。

PI 制御は通常線形領域で使用され、制御オブジェクトの入力制限を考慮しないため、過剰なエラー出力が発生することがあります。これにより、閉ループシステムには **windup** 現象が現れます。この現象を回避するために、図 2-9 のような **Anti-Windup** の PI コントローラが設計されています。

図 2-9 Anti-Windup PI 制御の原理



$$u(k) = Kp * err(k) + \left(Ki + Kaw * du(k) \frac{z}{z-1} \right) err(k)$$

Anti-Windup の PI コントローラは、入力と出力の間のエラーを積分器にフィードバックすることにより、積分器の影響を弱めて **windup** 現象を抑制します。

2.2.8 SVPWM の原理

SVPWM（空間ベクトルパルス幅変調）では、理想的な磁束鎖交の基準座標系として三相モータの固定子が使用され、システムは、三相ブリッジのトランジスタスイッチを制御して適切なスイッチング操作を実行し、理想的な磁束鎖交に近い **PWM** 波形を生成します。

図 2-10 SVPWM セクターの分布

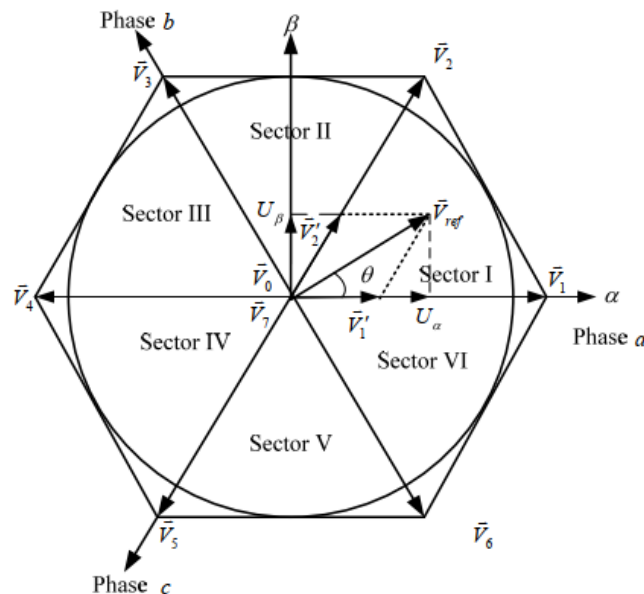
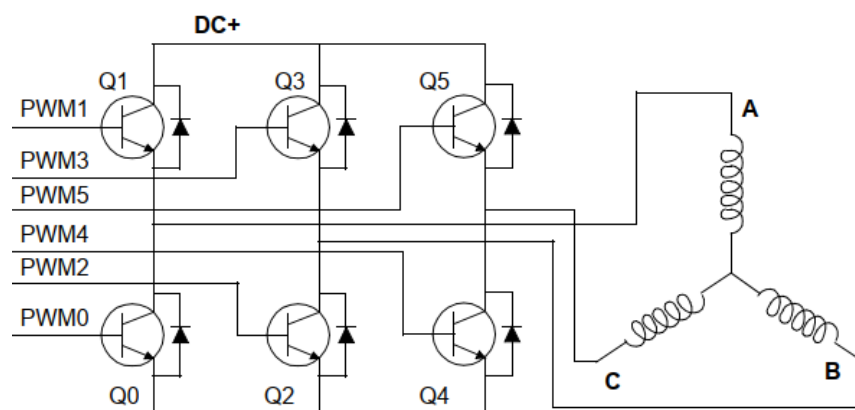


図 2-11 モータ駆動用の三相ブリッジの原理図



SVPWM の空間は 6 つのセクターに分割されており、各セクターはエンコード（A、B、C）によって三相ブリッジのトランジスタスイッチに対応します。ここで、「0」は上部トランジスタがオフで下部トランジスタがオ

ンであることを意味し、「1」は上部トランジスタがオンで下部トランジスタがオフであることを意味し、たとえば、セクター1は(1, 0, 0)として表すことができます。つまり、Q1、Q2、Q4 がオンで、他のトランジスタがオフとなります。次に、電流を切り替える時間を制御することにより、セクター1 の領域に回転子を回転させます。

図 2-12 セクターの分布

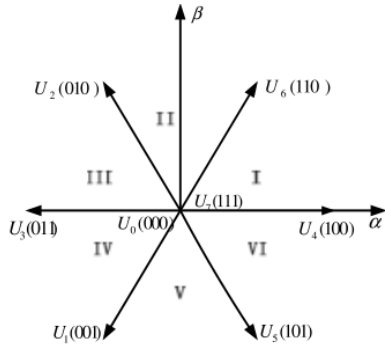


図 2-13 セクター1 のベクトル合成図

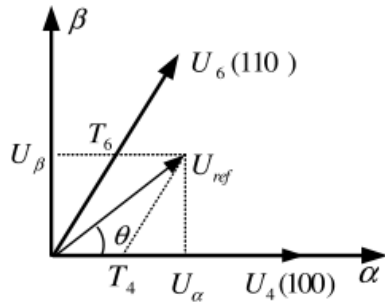


図 2-12 および図 2-13 に示すように、U4T4 と U6T6 のベクトル合成により、期待される出力電圧 (U_{ref}) が得られます。

$$\int_0^T U_{ref} = \int_0^{T_4} U_4 + \int_{T_4}^{T_4+T_6} U_6 + \int_{T_4+T_6}^T U_0$$

$$U_{out} T = U_4 T_4 + U_6 T_6 + U_0 T_{T-T_4-T_6} = U_x T_x + U_y T_y + U_0 T_0$$

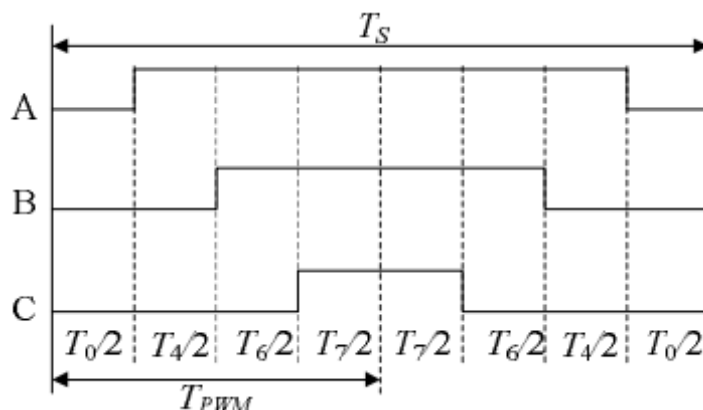
そのうち U_{ref} は期待される電圧であり、 T は周期であり、 T_x , T_y , および T_0 はそれぞれ対応する座標系とゼロベクトルが1周期で作用する時間です。

実際のパルス幅変調波形を生成するには、ベクトルスイッチング時間を計算する必要があります。その中で、ゼロベクトルを使用することにより、スイッチング回数を最小限に抑えることができます。負荷電流が大きい瞬間のスイッチングを避けることにより、スイッチング損失を最小限に抑え

ることができます。したがって、スイッチング回数を減らすために、スイッチング状態が変化するたびに、スイッチング状態のみを変更します。また、ゼロベクトルは、生成された PWM を対称にするために時間的に均等に分配され、それによって PWM の高調波成分を効果的に低減します。

例えば、セクター1 では電圧ベクトルは U_0 、 U_4 、 U_6 、 U_7 、 U_7 、 U_6 、 U_4 、 U_0 である場合、PWM 出力は図 2-14 のようになります。

図 2-14 セクター1 の PWM 出力



その他のセクターのスイッチングシーケンスを表 2-2 に示します。

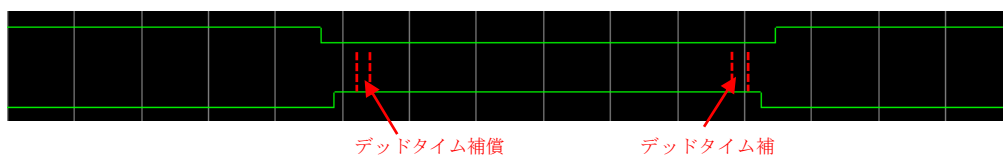
表 2-2 セクターのスイッチングシーケンス一覧

セクター	U_{ref} の場所	スイッチングシーケンス
セクター I	$0 \leq \theta \leq 60$	...0-4-6-7-7-6-4-0...
セクター II	$60 \leq \theta \leq 120$	...0-2-6-7-7-6-2-0...
セクター III	$120 \leq \theta \leq 180$	...0-2-3-7-7-3-2-0...
セクター IV	$180 \leq \theta \leq 240$	...0-1-3-7-7-3-1-0...
セクター V	$240 \leq \theta \leq 300$	...0-1-5-7-7-5-1-0...
セクター VI	$300 \leq \theta \leq 360$	...0-4-5-7-7-5-4-0...

2.2.9 PWM デッドタイム補償の原理

トランジスタスイッチのオン/オフに一定の時間がかかり、ターンオフ時間がターンオン時間より長くなるため、理想的なトリガー信号に従ってトランジスタスイッチをオン/オフすると、スイッチングデバイスがシュートスルー現象によって損傷する可能性があります。このシュートスルー現象の発生を防ぐために、ターンオンとターンオフの間に一定の遅延時間を挿入する必要があります。この遅延時間は、図 2-15 に示すように、デッドタイム補償と呼ばれます。

図 2-15 デッドタイム補償



3 特長及び性能

3.1 主な特長

- 少ないリソース使用率
- デッドタイム補償付きの PWM 出力

3.2 最大周波数

Gowin FOC Current Loop Control Light IP の最大周波数は、主に FPGA デバイスのスピードグレードによって異なり、約 110MHz です。

3.3 レイテンシ

Gowin FOC Current Loop Control Light IP のレイテンシは約 86 サイクルです。

3.4 リソース使用率

Gowin FOC Current Loop Control Light IP は Verilog で実装されます。パフォーマンスとリソース使用率は、使用されているデバイスの集積度、スピードグレード、および IP のモードによって異なる場合があります。

例えば、GW2A-18 FPGA の場合、Gowin FOC Current Loop Control Light IP のリソース使用率は表 3-1 のようになります。他の GOWIN FPGA でのアプリケーション検証については、これからの最新情報を参照してください。

表 3-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のリソース使用率

シリーズ	スピードグレード	デバイス名	リソース使用率	備考
GW2A-18	-7	Registers	1696	-
		LUT	1765	
		ALU	615	
		DSP	3	
		BSRAM	0	

4機能の説明

4.1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の構造と機能

Gowin FOC Current Loop Control Light IP のブロック図を図 4-1 に示します。

図 4-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のブロック図

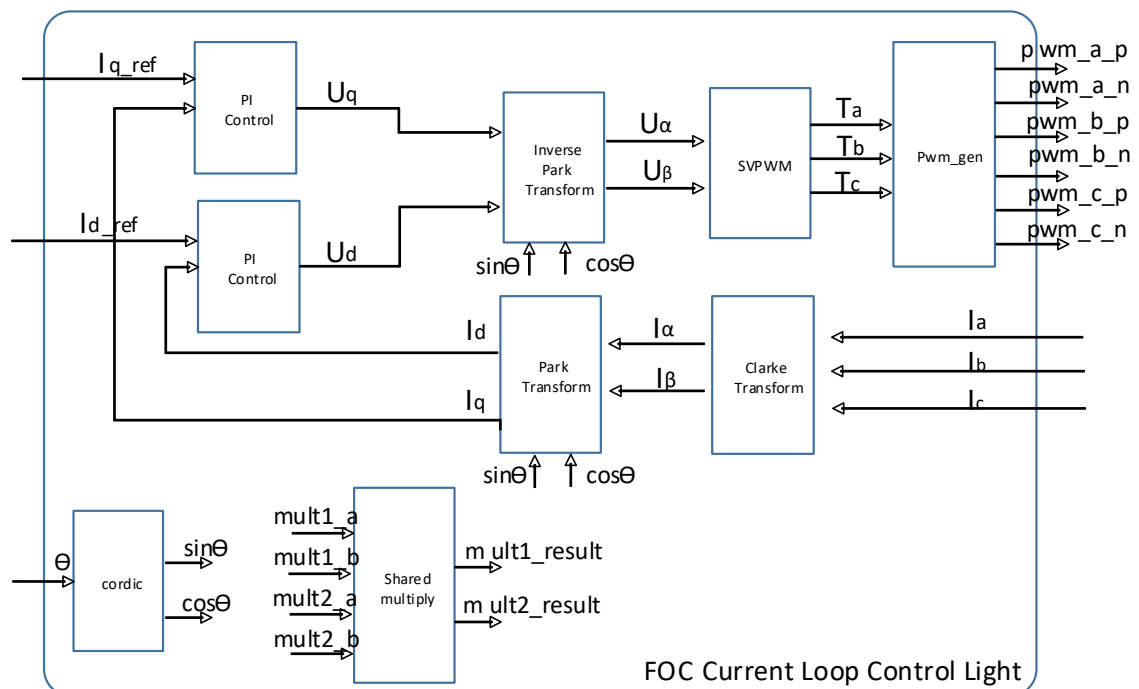


図 4-1 に示すように、三相電流が直交電流に変換されます。まず、モータの三相電流と電気角を収集し、クラーク変換とパーク変換を介して座標変換を実行し、三相静止座標系を二相回転座標系に変換します。これによりそれを制御しやすいトルク成分と磁束成分にでカップリングします。次に、PI 制御で調整し、Park 逆変換で座標系を復元します。最後に SVPWM 変調+ PWM でモータドライブボードを駆動します。

FOC 電流ループは主に次のモジュールで構成されています。

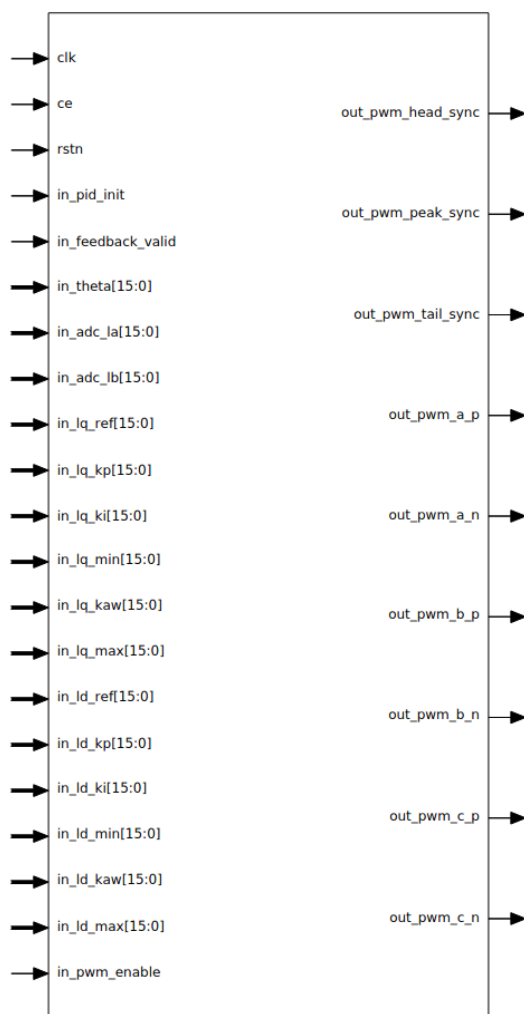
- **Clarke Transform モジュール** : ADC によってサンプリングされた相電流 I_a 、 I_b 、および I_c ($I_a + I_b + I_c = 0$ の場合、 I_a と I_b のみが必要) の三相静止座標系を二相静止座標系に変換し、 I_α と I_β を出力します。
- **Park Transform モジュール** : I_α 、 I_β 二相静止座標系を回転座標系に変換し、 I_d 、 I_q を出力します。
- **PI Control モジュール** : I_q と I_{q_ref} 、 I_d と I_{d_ref} のエラーに比例および積分制御を実行し、 U_q と U_d を計算して出力します。
- **Inverse Park Transform モジュール** : U_q と U_d の回転座標を静止座標系 (U_α と U_β) に変換します。
- **SVPWM モジュール** : U_α と U_β に基づいて SVPWM 変調を実行し、位相ベクトルの時間 T_a 、 T_b および T_c を出力します。
- **PWM モジュール** : 位相ベクトルの時間に従って PWM 波を出力します。

5 ポートの説明

5.1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のポート

Gowin FOC Current Loop Control Light IP の IO ポートを図 5-1 に示します。

図 5-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP のポート図



Gowin FOC Current Loop Control Light IP の IO ポートの詳細を表 5-1 に

示します。

表 5-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の IO ポート一覧

信号	方向	ビット幅	説明
clk	入力	1	動作クロック
rstn	入力	1	非同期リセット信号、アクティブLow。同期リセット、非同期リリースをお勧めします。
ce	入力	1	クロックイネーブル信号
in_pid_init	入力	1	PIコントローラの内部信号を0に初期化します
フィードバック入力（相電流と電気角度）			
in_feedback_valid	入力	1	フィードバック信号有効性インジケータ、アクティブHigh。
in_adc_la	入力	16	U相電流、符号付き。
in_adc_lb	入力	16	V相電流、符号付き。
in_adc_lc	入力	16	W相電流、符号付き（IPのGUIで3入力Clarke Transformが選択されている場合に存在します）
in_theta	入力	16	電気角度、符号なし、0～65536は0～360度に対応します
トルクPIパラメータ			
in_lq_ref	入力	16	トルクPIの基準量、符号付き
in_lq_kp	入力	16	トルクPIの比例パラメータkp、符号付き例えば、kp = 4000、スケール係数（fraction width）が12の場合（スケール係数はIPのGUIで設定できます）、PIコントローラの実際の比例パラメータは $4000/2^{12}$ になります。
in_lq_ki	入力	16	トルクPIの積分パラメータki、符号付き例えば、ki = 4000、スケール係数（fraction width）が12の場合（スケール係数はIPのGUIで設定できます）、PIコントローラの実際の比例パラメータは $4000/2^{12}$ になります。
in_lq_min	入力	16	トルクPI出力の最小飽和限界値、符号付き
in_lq_kaw	入力	16	PIコントローラにおける"anti-windup"係数
in_lq_max	入力	16	トルクPI出力の最大飽和限界値、符号付き
磁束PIパラメータ			

信号	方向	ビット幅	説明
in_id_ref	入力	16	磁束PIの基準量、符号付き
in_id_kp	入力	16	磁束PIの比例パラメータkp、符号付き。 使用方法は上記と同様です。
in_id_ki	入力	16	磁束PIの積分パラメータki、符号付き。 使用方法は上記と同様です。
in_id_min	入力	16	磁束PI出力の最小飽和限界値
in_id_kaw	入力	16	PIコントローラにおける "anti-windup"係数
in_id_max	入力	16	磁束PI出力の最大飽和限界値
PWM			
in_pwm_enable	入力	1	PWM信号イネーブル、アクティブHigh
out_pwm_head_sync	出力	1	内部三角波カウンタhead値インジケータ、アクティブHigh
out_pwm_peak_sync	出力	1	内部三角波カウンタpeak値インジケータ、アクティブHigh
out_pwm_tail_sync	出力	1	内部三角波カウンタtail値インジケータ、アクティブHigh
out_pwm_a_p	出力	1	PWM出力
out_pwm_a_n	出力	1	
out_pwm_b_p	出力	1	
out_pwm_b_n	出力	1	
out_pwm_c_p	出力	1	
out_pwm_c_n	出力	1	

5.2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) のポート

Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) の IO ポートを図 5-2 に示します。

図 5-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) のポート図



Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) の IO ポートの詳細を図 5-2 に示します。

表 5-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP (Debug Mode) の IO ポート一覧

信号	方向	ビット幅	説明
Cordicモジュール出力			
out_cordic_valid	出力	1	Cordicモジュール出力有効信号、アクティブHigh
out_cordic_cos	出力	18	Cordicモジュールのsin値出力、符号付き
out_cordic_sin	出力	18	Cordicモジュールのcos値出力、符号付き
Clarke Transformモジュール出力			
Out_ct_l_valid	出力	1	Clarke Transformモジュール出力有効信号、アクティブHigh
Out_ct_lalfa	出力	18	Clarke Transformモジュールの I_{α} 値出力、符号付き
Out_ct_lbeta	出力	18	Clarke Transformモジュールの I_{β} 値出力、符号付き
Park Transformモジュール出力			
Out_pt_l_valid	出力	1	Park Transformモジュール出力有効信号、アクティブHigh
Out_pt_lq	出力	18	Park Transformモジュールの I_q 値出力、符号付き
Out_pt_ld	出力	18	Park Transformモジュールの I_d 値出力、符号付き
PI Controlモジュール			
Out_pi_valid	出力	1	PI Controlモジュール出力有効信号、アクティブHigh
Out_pi_Uq	出力	18	トルクPI Controlモジュールの U_q 値出力、符号付き
Out_torque_pid_err	出力	18	トルクPI Controlモジュールのエラー出力、符号付き
Out_torque_pid_p	出力	31	トルクPI Controlモジュールの比例値出力、符号付き
Out_torque_pid_i	出力	31	トルクPI Controlモジュールの積分値出力、符号付き
Out_pi_Ud	出力	18	磁束PI Controlモジュールの U_d 値出力、符号

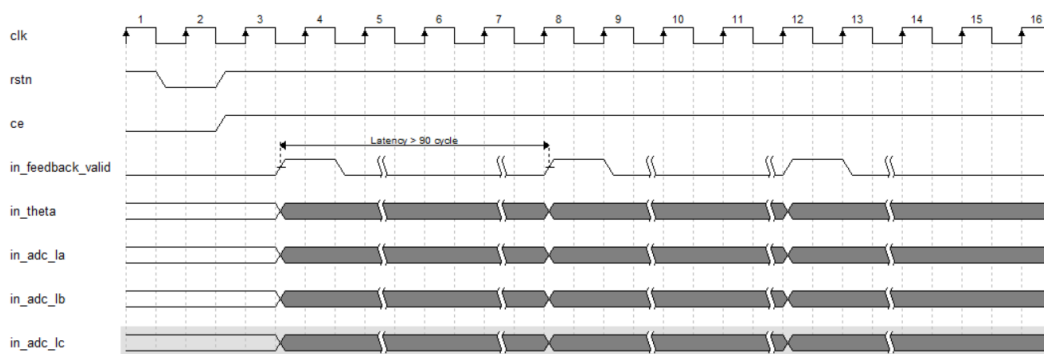
信号	方向	ビット幅	説明
			付き
Out_flux_pid_err	出力	18	磁束PI Controlモジュールのエラー出力、符号付き
Out_flux_pid_p	出力	31	磁束PI Controlモジュールの比例値出力、符号付き
Out_flux_pid_i	出力	31	磁束PI Controlモジュールの積分値出力、符号付き
Inverse Park Transformモジュール			
Out_ippt_valid	出力	1	Inverse Park Transformモジュール出力有効信号、アクティブHigh
Out_ippt_Ualfa	出力	18	Inverse Park Transformモジュールの I_q 値出力、符号付き
Out_ippt_Ubeta	出力	18	Inverse Park Transformモジュールの I_d 値出力、符号付き
SVPWMモジュール			
Out_svpwm_valid	出力	1	SVPWMモジュール出力有効信号、アクティブHigh
Out_svpwm-Ta	出力	18	SVPWMモジュールのA相ベクトルの時間出力、符号なし
Out_svpwm-Tb	出力	18	SVPWMモジュールのB相ベクトルの時間出力、符号なし
Out_svpwm-Tc	出力	18	SVPWMモジュールのC相ベクトルの時間出力、符号なし
Out_svpwm_sector	出力	3	SVPWMモジュールのセクター位置出力、符号なし
Open Loop Debugモード			
In_svpwm_valid	入力	1	SVPWMモジュール入力有効信号、アクティブHigh
In_svpwm_Ualfa	入力	18	SVPWMモジュールの U_α 入力、符号付き
In_svpwm_Beta	入力	18	SVPWMモジュールの U_β 入力、符号付き

6 タイミングの説明

このセクションでは、Gowin FOC Current Loop Control Light IP のタイミングについて説明します。

図 6-1 に Gowin FOC Current Loop Control Light IP の入力タイミングを示します。

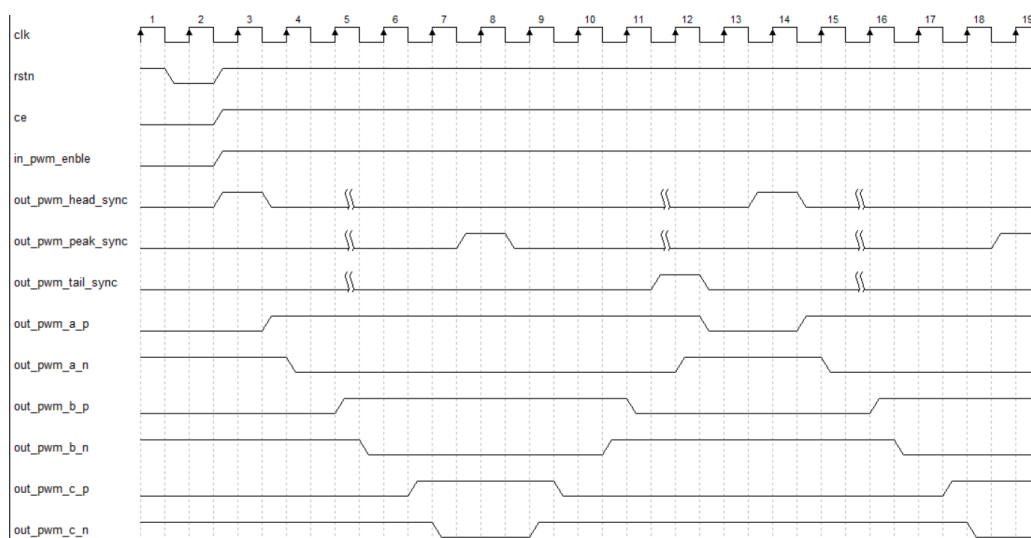
図 6-1 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の入力タイミング



1. High レベルの in_feedback_valid は、フィードバック信号が有効であることを示します。
2. 内部モジュールが正常に動作するようにするには、有効信号の間隔を 90 サイクル以上にする必要があります。

図 6-2 に Gowin FOC Current Loop Control Light IP の出力タイミングを示します。

図 6-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の出力タイミング



1. 信号 **in_pwm_enable** を High にして PWM モジュールを機能させます。
2. PWM は三角波カウンタを使用しており、毎回アクティブ High の **head** 値インジケータ、**peak** 値インジケータ、**tail** 値インジケータを出力します。
3. 最後に、三相 PWM が出力されます。

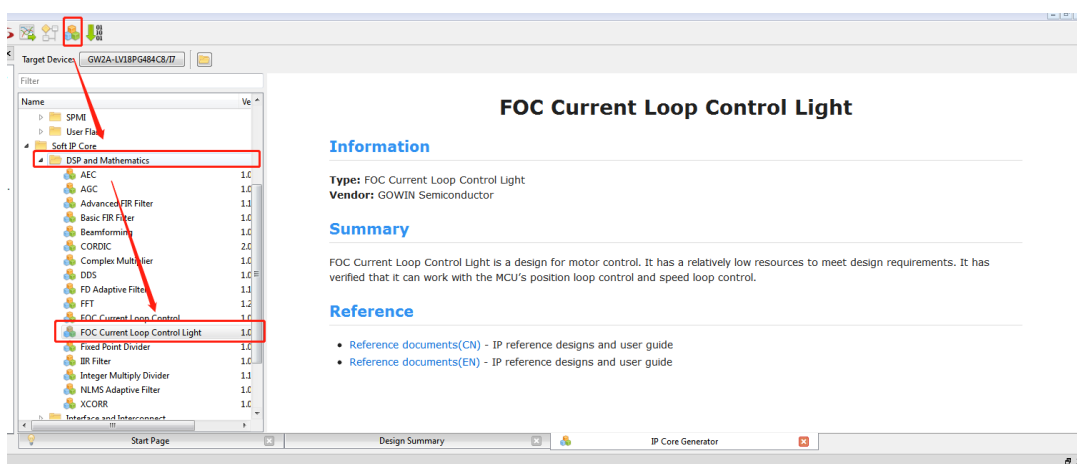
7 呼び出しと構成

Gowin ソフトウェア GUI のメニューバー > Tools > IP Core Generator を使用して IP を呼び出し・構成できます。

1. IP Core Generator を開きます

プロジェクトが作成された後、IP Core Generator オプションをクリックして、Gowin の IP コア生成ツールを開きます（図 7-1）。

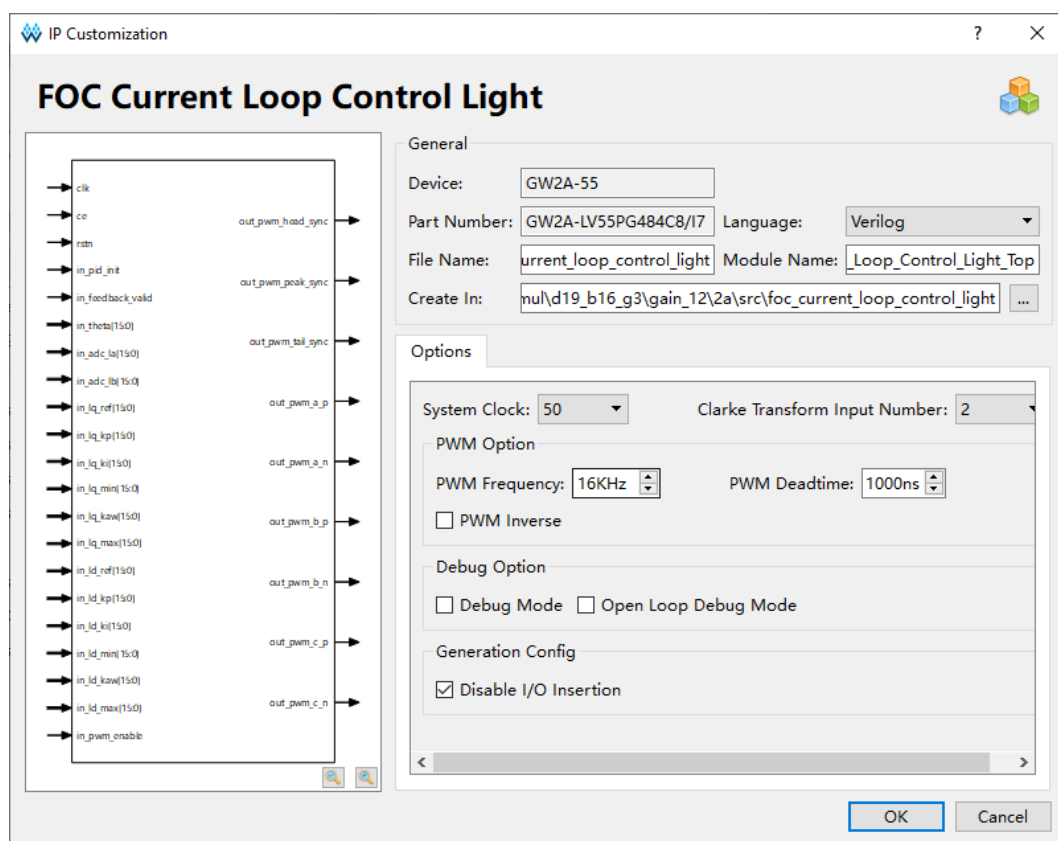
図 7-1 IP Core Generator インターフェース



2. Gowin FOC Current Loop Control Light IP を開きます

“DSP and Mathematics” > “FOC Current Loop Control Light” をダブルクリックして FOC Current Loop Control IP コアの GUI を開きます（図 7-2）。

図 7-2 Gowin FOC Current Loop Control Light IP の GUI



3. Gowin FOC Current Loop Control Light IP の構成

System Clock、Clarke Transform Option、PWM Option、および Debug Option の 4 つの構成オプションがあります。

- System Clock : IP の入力クロックの周波数。
- Clarke Transform Input Number : Clarke Transform モジュールの入力数 (2 または 3)。
- PWM Option : PWM の周波数、PWM のデッドタイム、PWM 信号の反転。
- Debug Option : デバッグオプション。

4. Help ドキュメントを開きます

図 7-2 の右下の Help ボタンをクリックして、構成 GUI 内の各オプションの簡単な英語表記の意味を確認することができます。Help ドキュメントオプションの説明の順序と GUI の順序は一致しています (図 7-3)。

図 7-3 Help ドキュメント

FOC Current Loop Control Light

Information

Type: FOC Current Loop Control Light

Vendor: GOWIN Semiconductor

Summary: FOC Current Loop Control Light is a design for motor control. It has a relatively low resources to meet design requirements. It has verified that it can work with the MCU's position loop control and speed loop control.

Options & Description

General Option

System clock :

- IP's system clock.

Clarke Transform Option

Clarke Transform Input Number:

- Input data signal number of clarke transform.

PWM Option

PWM Frequency:

- Frequency of PWM.

PWM Deadtime:

- Deadtime of PWM.

PWM Inverse:

- PWM output signal inverse function.

8 リファレンスデザイン

このセクションでは、主に Gowin FOC Current Loop Control Light IP のリファレンスデザイン例の構成とその使用方法について説明します。

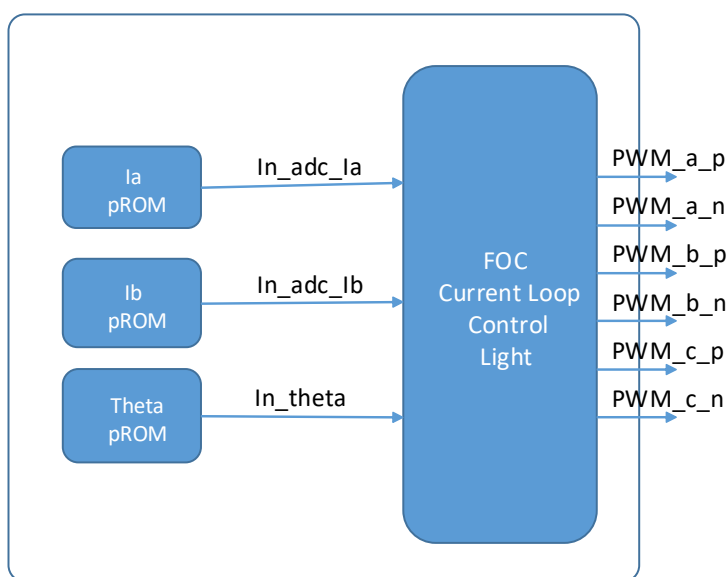
Gowin FOC Current Loop Control Light IP の設計例にはモジュールが 1 つしかありません。詳細については、Gowin FOC Current Loop Control Light IP の [リファレンスデザイン](#) を参照してください。

8.1 設計例のアプリケーション

リファレンスデザインの基本構造を図 8-1 に示します。設計例では、その実行手順は次のとおりです。

1. 入力データ(Theta, Ia, Ib, Ic)は pROM に格納され、そして Gowin FOC Current Loop Control Light IP モジュールに入力されます。
2. IP による処理後、PWM 出力が取得されます。

図 8-1 リファレンスデザインの構造



この設計例を使用することで、Gowin FOC Current Loop Control Light IP

の機能をすばやく検証することができます。リファレンスデザインをボードレベルのテストに適用する場合、ユーザーはリファレンスデザインに適したスティミュラスを提供する必要があります。信号はロジック・アナライザーまたはオシロスコープで観測できます。

