

LogiCoA™ 電源ソリューション

# アナログ・デジタル融合制御電源

## 同期整流 降圧 DCDC コンバータ 動作解説書

(12V→5V, 5A)

### はじめに

LogiCoA™ 電源は、アナログ・デジタル融合制御をスイッチング電源制御に用いるソリューションです。本アプリケーションノートは、LogiCoA™ 電源ソリューション を用いた同期整流 降圧 DCDC コンバータ(バックコンバータ) として LogiCoA001-EVK-001 の解説を記載しています。

本書では、はじめに LogiCoA™ 電源ソリューションおよびアナログ・デジタル融合制御を用いたバックコンバータの特徴について説明します。次に LogiCoA001-EVK-001 の動作条件と各ブロックの動作を説明し、ソフトウェアによる電源制御について説明します。LogiCoA001-EVK-001 についてはユーザズガイド[1]も参考としてください。

※LogiCoA™ は、ローム株式会社の商標または登録商標です。

## 目次

## はじめに

1	LogiCoA™ 電源ソリューション概要 .....	3
2	LogiCoA™ マイコンを用いたアナログ・デジタル融合制御バックコンバータの特徴 .....	4
3	動作条件 .....	6
4	ブロック図及びブロック動作説明 .....	7
4.1	ブロック図 .....	7
4.2	MCU .....	8
4.3	制御部電源 .....	9
4.4	ドライバ部電源 .....	9
4.5	リモートコントロールスイッチ .....	9
4.6	エラーアンプ及び基準電圧 .....	10
4.7	ソフトスタート .....	11
4.8	三角波生成部及び PWM コンパレータ .....	11
4.9	オープンループ動作作用可変抵抗(デバッグ用) .....	13
4.10	出力段 .....	13
4.11	入力電圧検出部 .....	13
4.11.1	起動/停止電圧判定 .....	13
4.11.2	入力過電圧保護 .....	13
4.12	出力電圧検出部 .....	14
4.12.1	出力低電圧保護 .....	14
4.12.2	出力過電圧保護 .....	14
4.13	ドレイン電流検出部 .....	15
4.13.1	過電流保護 .....	15
4.14	LED インジケータ .....	15
5	シリアル通信 .....	15
6	RMOS によるスイッチング電源制御 .....	16
6.1	状態遷移制御 .....	16
6.2	バックコンバータの状態遷移図 .....	17
6.3	状態変数・状態フラグー覧 .....	19
6.4	ファームウェアの提供 .....	20
7	デバッグ接続とプログラムの開発 .....	21
8	オペレーショナルタイム(OTM)を用いた PWM 制御 .....	22
8.1	オペレーショナルタイムの概要 .....	22
8.2	バックコンバータの PWM 制御 .....	23
9	アプリケーション回路図 .....	26
10	参考ドキュメント .....	27

## 1 LogiCoA™ 電源ソリューション概要

LogiCoA™ 電源ソリューションの概要を Figure 1-1 に示します。LogiCoA™ 電源はアナログ・デジタル融合制御を電源制御に用いたソリューションで①電源制御用マイコン(LogiCoA™ マイコン)ML62Q203x/ML62Q204x(以降 ML62Q20xx グループ)、②電源制御マイコン用オペレーティングシステム RMOS、③電源アプリケーションの三つの要素から構成されます。アナログ・デジタル融合制御の詳細については、解説アプリケーションノート[2]を参照してください。

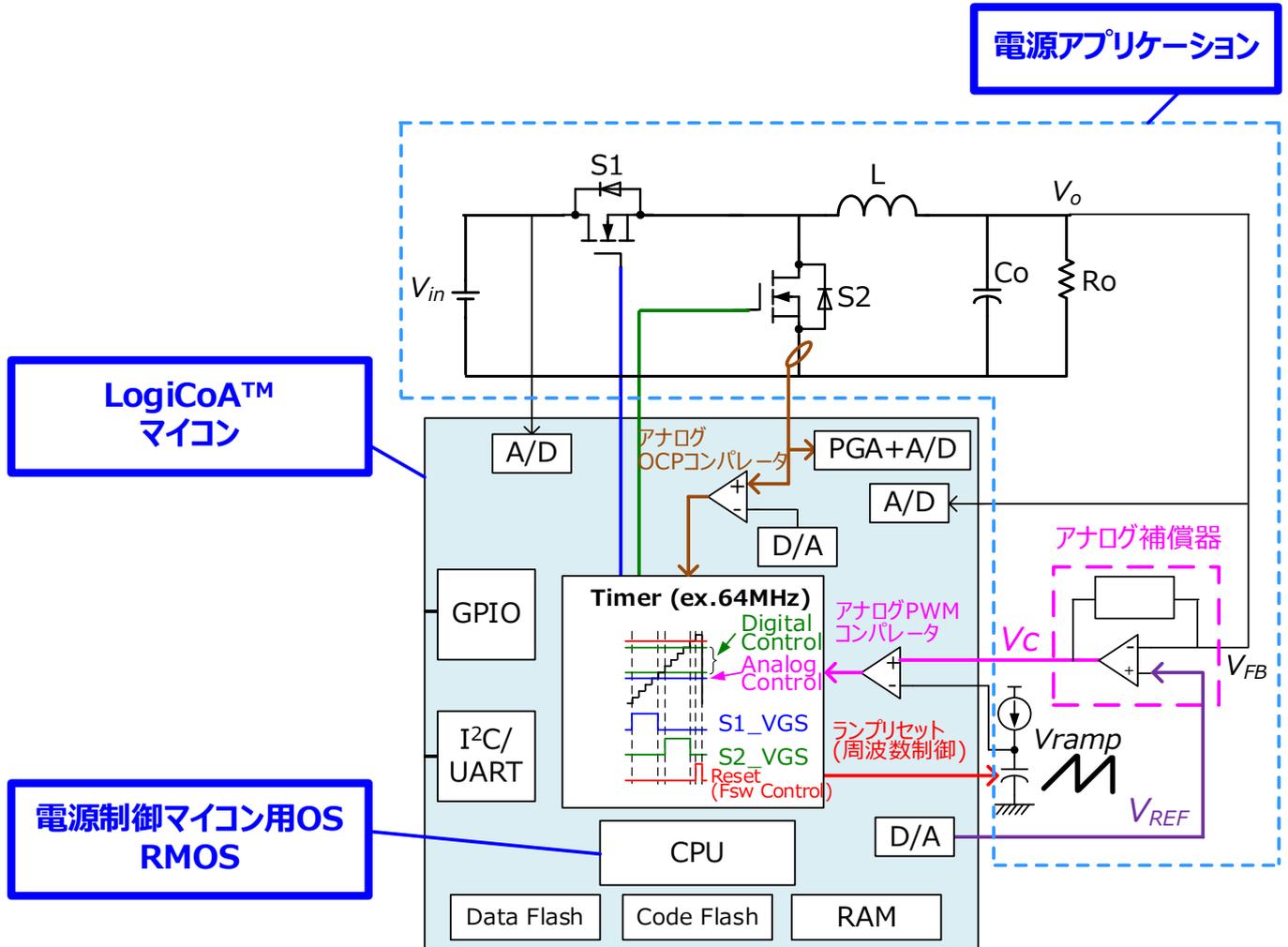


Figure 1-1. LogiCoA™ 電源ソリューションのシステム概要

- ① 電源制御用マイコン(LogiCoA™ マイコン)  
 アナログ・デジタル融合制御を用いた電源制御に最適なマイコンで、ML62Q2033/2035 及び ML62Q2043/2045 の製品がリリースされています(本ドキュメントリリース時点)。LogiCoA001-EVK-001 では ML62Q2035 を搭載しています。ML62Q2035 の詳細については、4.2 MCU 及び ML62Q20xx グループ データシート[3]、ML62Q2033/2035/2043/2045 ユーザーズマニュアル[4]を参照してください。
- ② 電源制御マイコン用オペレーティングシステム RMOS(アールモス; **R**eal time **M**icro **O**perating **S**ystem)  
 LogiCoA™ マイコンでスイッチング電源を制御するために開発されたマルチタスク・リアルタイム制御に対応したオペレーティングシステムで、ML62Q20xx グループ上で動作します。RMOS の詳細については、6 RMOS によるスイッチング電源制御 及び RMOS の解説アプリケーションノート [5]を参照してください。
- ③ 電源アプリケーション  
 各種の電源トポロジに対応したアプリケーション回路です。LogiCoA001-EVK-001 では、バックコンバータのアプリケーション回路として、LDO、ゲートドライバ、オペアンプ、MOSFET、インダクタなどの部品を搭載しています。

## 2 LogiCoA™ マイコンを用いたアナログ・デジタル融合制御バックコンバータの特徴

Figure 2-1 にアナログ・デジタル融合制御を用いたバックコンバータの特徴を示します。

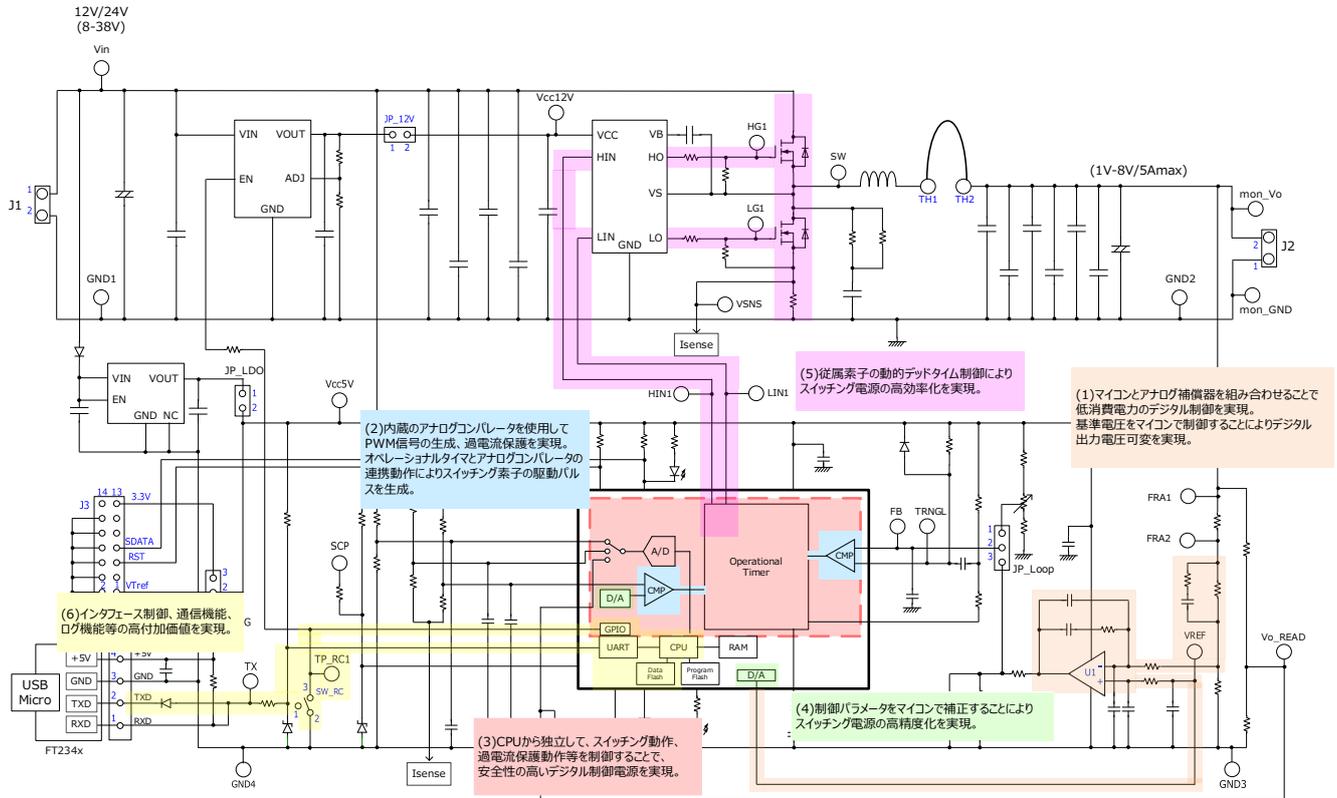


Figure 2-1. アナログ・デジタル融合制御を用いたバックコンバータの特徴

### (1)アナログ補償器と低消費電力マイコンを用いたデジタル制御、デジタル出力電圧設定を実現

出力電圧制御にアナログ補償器を使用し、LogiCoA™マイコン ML62Q2035(CPUクロック;16MHz、タイマクロック;64MHz)と組み合わせて、スイッチング電源の制御回路を構成します。DSP 等の高消費電力デバイスを使用しないため制御回路の低消費電力化を図ることができます。

また、出力電圧制御はアナログ補償器で行いますが、アナログ補償器に与える基準電圧 VREF はマイコン内の D/A コンバータで生成しているため、スイッチング電源の出力電圧設定値はマイコンから制御することができます。

### (2)マイコン内蔵のアナログコンパレータとオペレーショナルタイマの連携によりスイッチング素子駆動パルス生成、過電流保護を実現

ML62Q2035 には、パワー半導体のゲート駆動信号を生成するために最適化されたオペレーショナルタイマ(10 出力、最大 10 個のパワー半導体を制御)、PWM 信号の生成や過電流保護回路に使用できるアナログコンパレータ(3 チャンネル)、及び基準電圧信号として使用することができる D/A コンバータ(2 チャンネル)を内蔵しています。オペレーショナルタイマは、タイマ間連携動作、タイマ-コンパレータ間連携動作、タイマ-外部信号間連携動作、位相追従動作を自由に設定できるように構成されているため、バックコンバータ以外にも様々な電源回路トポロジの制御を行うことができます。

PWM 制御信号はマイコン内蔵のアナログコンパレータをPWM コンパレータとして動作するように設定します。PWM 信号はアナログ制御と同様に三角波をPWMコンパレータに入力することで生成します。三角波はオペレーショナルタイマを使用して生成することで、スイッチング素子のONタイミング(スイッチング周波数)をマイコンから制御することができます。また、スイッチング素子のON Duty (PWM信号のパルス幅)はアナログ制御で決定されるので、スイッチングパルスの分解能は無限大となります(フルデジタル制御では、スイッチングパルスはタイマの分解能で決定されるので有限の分解能を持ちます)。また、スイッチング素子のMax Dutyもマイコンから制御することができます。

過電流保護はマイコン内蔵のアナログコンパレータを過電流保護コンパレータとして動作するように設定します。マイコン内蔵の D/A コンバータを過電流保護コンパレータに接続する設定とすることで、過電流保護の設定値をマイコンから制御することができます。

### (3) CPUから独立したスイッチング動作、過電流保護動作により安全性の高いデジタル制御電源を実現

ML62Q2035のオペレーショナルタイマ、コンパレータ、D/Aコンバータ等は、一度設定を行った後はCPUから独立して動作を継続します。このため、万一CPUが停止したとしても過電流保護等の保護機能は継続して動作するので、安全性の高いデジタル制御電源を作ることができます。

また、アナログ・デジタル融合制御では、出力電圧はアナログ補償器で制御しているので、CPU が停止した場合でも出力電圧は CPU が停止する直前の値が出力されます。

### (4) 制御パラメータの補正を行うことによりスイッチング電源の高精度化を実現

ML62Q2035は、スイッチング電源の様々な制御パラメータをマイコンで制御しているので、部品ばらつきによる特性変化をソフトウェアで補正することが可能です。

#### 【制御パラメータ例】

- |                    |                                  |
|--------------------|----------------------------------|
| ・スイッチング周波数         | ・・・ オペレーショナルタイマの周期設定で制御          |
| ・スイッチング素子の最大Duty制限 | ・・・ オペレーショナルタイマのパルス幅設定で制御        |
| ・同期整流素子のデッドタイム     | ・・・ オペレーショナルタイマのRiseポイント設定で制御    |
| ・起動/停止電圧           | ・・・ A/Dコンバータで入力電圧を取得することで制御      |
| ・出力電圧設定値           | ・・・ アナログ補償器に与える基準電圧をD/Aコンバータで制御  |
| ・過電流保護設定値          | ・・・ コンパレータに与える基準電圧を D/A コンバータで制御 |

### (5) 従属素子の動的デッドタイム制御によりスイッチング電源の高効率化を実現

ML62Q2035 のオペレーショナルタイマは、スイッチング素子の立下りエッジを検知してタイマのカウント動作をスタートさせる機能及びタイマのカウンタがスタートしてからタイマ出力がハイレベルになるまでのタイミングを制御する機能を備えています。これにより同期整流素子の動作タイミングとデッドタイムを制御することができます。また、マイコンは入力電圧、スイッチング素子の電流、出力電圧等をモニタしているので、電源の状態に対してデッドタイムを動的に最適化することが可能となり、電源回路の効率を最大限に引き出すことができます。(本ドキュメントリリース時点では動的デッドタイム最適化は未実装。)

### (6) インタフェース制御、通信機能、ログ機能等の高付加価値を実現

ML62Q2035 は低消費電力マイコンですが、インタフェース制御、通信機能、ログ機能等の高付加価値機能を実現するための十分なパフォーマンスを備えています。また、LogiCoA™マイコン用に、マルチタスク・リアルタイム制御を実現した、スイッチング電源制御用オペレーティングシステム"RMOS"を準備しており、通信機能、ログ機能はオペレーティングシステムの標準機能として実現することができます。(本ドキュメントリリース時点ではログ機能は未実装。)

### 3 動作条件

以下に LogiCoA001-EVK-001 の動作条件を記載します。

(特に指定のない限り  $T_a=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{in}=12\text{V}$ )

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
入力電圧	$V_{in}$	7.5	12.0	38.0	V	
制御部電源電圧(LDO)	$V_{cc5Vldo}$	4.9	5.0	5.1	V	$V_{cc5V}=LDO$ 出力時
制御部電源電圧(USB)	$V_{cc5Vusb}$	4.25	5.00	5.75	V	$V_{in}=\text{open}$ , $V_{cc5V}=\text{USB}$ から供給時
ドライバ部電源電圧	$V_{cc12V}$	11.4	12.0	12.6	V	$V_{in}>13\text{V}$ 時
出力電圧	$V_o$	-	5.0	-	V	デフォルト設定値, 通信で可変
出力電圧設定範囲	$V_{o\_r}$	1.0	-	8.0	V	通信で可変
出力電流	$I_o$	-	-	5.0	A	
スイッチング周波数	$f_{sw}$	-	160	-	kHz	デフォルト設定値
スイッチング周波数設定範囲	$f_{sw\_r}$	80	-	500	kHz	
最大Duty	$D_{max}$	-	80	-	%	デフォルト設定値
ソフトスタート時間	$T_{sstart}$	-	5	-	ms	$I_o=0\text{A}$
電力変換効率	$\eta$	-	92	-	%	$V_o=5\text{V}$ , $I_o=5\text{A}$
起動開始電圧	$V_{start}$	-	9.0	-	V	$V_{in}$ 上昇時, デフォルト設定値, 通信で可変
起動開始電圧設定範囲	$V_{start\_r}$	7.5	-	38.0	V	
停止電圧	$V_{stop}$	-	8.0	-	V	$V_{in}$ 低下時, デフォルト設定値, 通信で可変
停止電圧設定範囲	$V_{stop\_r}$	7.5	-	38.0	V	
起動遅延時間	$T_{start}$	-	1000	-	ms	$V_{in}$ 上昇時, デフォルト設定値
起動開始遅延時間設定範囲	$T_{start\_r}$	10	-	-	ms	
入力過電圧保護検出電圧	$V_{ivp}$	-	38.0	-	V	デフォルト設定値
入力過電圧保護検出電圧設定範囲	$V_{ivp\_r}$	7.5	-	38.0	V	
過電流保護検出電流	$I_{ocp}$	-	6.0	-	A	デフォルト設定値
過電流保護検出電流設定範囲	$I_{ocp\_r}$	2.5	-	8.0	A	
出力低電圧保護検出電圧	$V_{lvp}$	-	3.0	-	V	$V_o$ 低下時, デフォルト設定値
出力低電圧保護検出電圧設定範囲	$V_{lvp\_r}$	1.0	-	7.0	V	
出力低電圧保護マスク時間	$T_{lvp}$	-	500	-	ms	$V_o$ 低下時, デフォルト設定値
出力低電圧保護マスク時間設定範囲	$T_{lvp\_r}$	10	-	-	ms	
出力過電圧保護検出電圧	$V_{ovp}$	-	6.0	-	V	$V_o$ 上昇時, デフォルト設定値
出力過電圧保護検出電圧設定範囲	$V_{ovp\_r}$	1.0	-	10.0	V	

## 4 ブロック図及びブロック動作説明

以降では LogiCoA001-EVK-001 の各ブロックの動作説明を記載します。また、本バックコンバータのファームウェアをベースとして簡易変更・調整可能な機能について抜粋して記載しています。ただし、ここで記載する機能変更内容については必ずしも LogiCoA001-EVK-001 の基板上で動作するものではありませんのでご注意ください。

### 4.1 ブロック図

LogiCoA001-EVK-001 のアプリケーションブロック図を Figure 4-1 に示します。

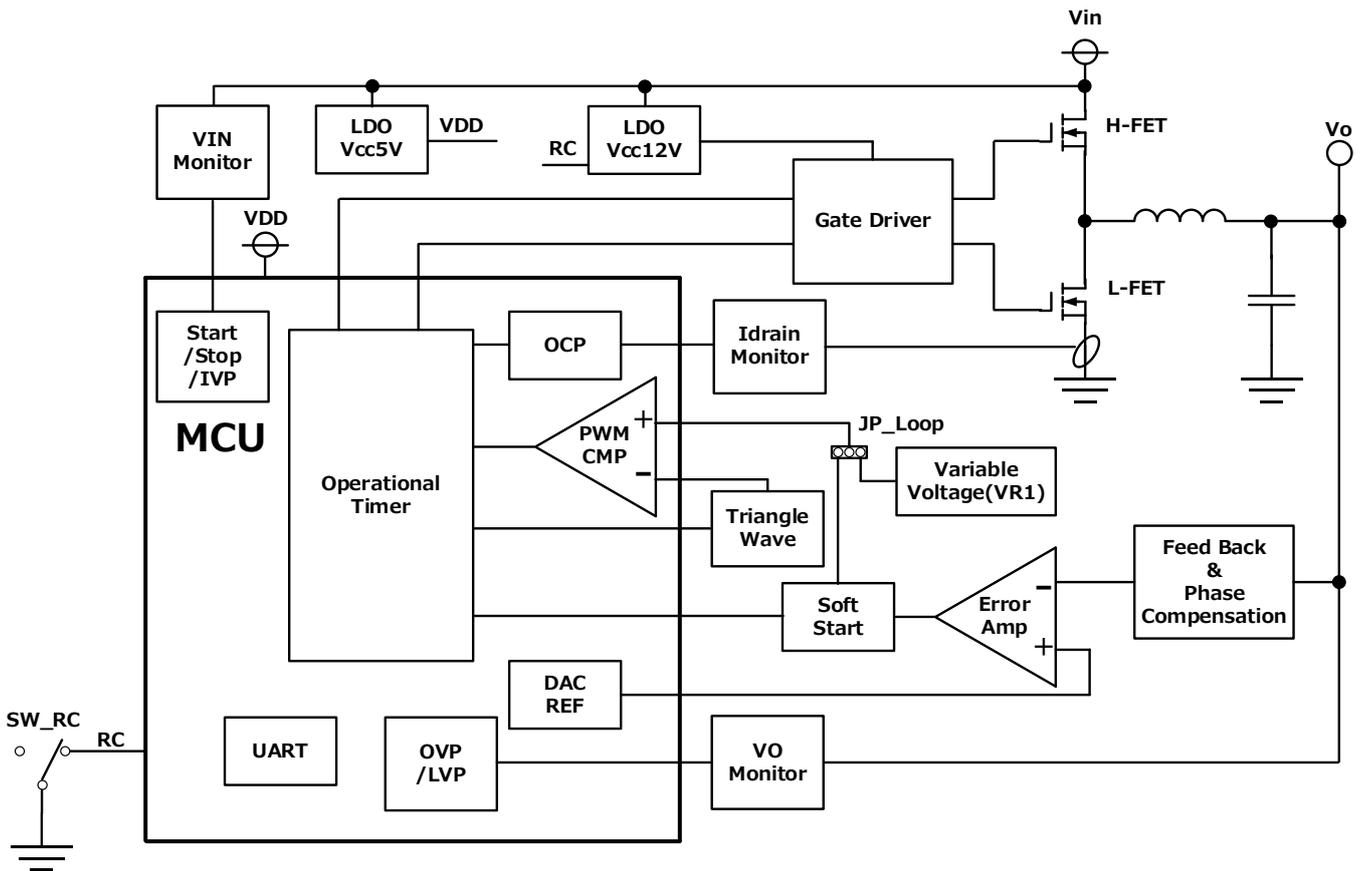


Figure 4-1. アプリケーションブロック図

## 4.2 MCU

LogiCoA001-EVK-001 では電源制御用コントローラとして LogiCoA™ マイコン ML62Q2035 を搭載しています。MCU の電源 VDD は制御部電源 Vcc5V より供給され、供給電圧がパワーオンリセット立ち上がり閾値電圧 4.10V(typ)を超えると MCU が起動し RMOS が動作を開始します。ML62Q2035 の各端子の機能一覧及び LogiCoA001-EVK-001 での使用機能を Table 4-1 に示します。

Table 4-1. ML62Q2035 端子一覧

端子番号	端子名	1次機能	2次機能	3次機能	4次機能	5次機能	6次機能	7次機能	8次機能
		GPI/EXI	UART	I <sup>2</sup> C	OTM	CMP/DAC	ADC	CMP	CMP/ADC
19	VDD	—	—	—	—	—	—	—	—
18	VSS	—	—	—	—	—	—	—	—
17	VDDL	—	—	—	—	—	—	—	—
16	P01	—	—	—	—	CMP0P	—	CMP0P /CMP1P	CMP0P
15	P02	—	—	—	OTO4B	CMP0M	—	CMP0M /CMP1M	CMP0M
14	P03	EXI0	—	—	OTO0A	—	—	—	—
13	P04	EXI1	—	—	OTO0B	—	—	—	—
12	P05	EXI1	—	—	OTO1A	—	—	—	—
11	P06	EXI2	—	—	OTO2A	—	—	—	—
10	P10	EXI3	RXD1, (/TXD1)	—	OTO3A	—	—	—	—
9	P11	—	—	—	OTO4A	CMP2P	—	CMP2P	CMP2P
8	P12	—	RXD0, (/TXD0)	SDAU0	OTO1B	—	—	—	—
7	P00/TEST0	EXI3	—	—	—	—	—	—	—
6	P13	EXI2	TXD0	SCLU0	OTO5B	—	AIN4	—	—
5	RESET_N	—	—	—	—	—	—	—	—
4	P14	—	—	—	—	CMP1P	AIN0	CMP1P /CMP2P	AIN0 /CMP1P
3	P15	—	—	—	—	CMP1M	AIN1	CMP1M /CMP2M	AIN1 /CMP1M
2	P16	—	—	—	—	CMP2M	AIN2	CMP2M	AIN2 /CMP2M
1	P17	EXI0	—	—	—	—	AIN3	—	—
20	P23	—	TXD1	—	OTO5A	DACOUT0	—	—	—

LogiCoA001-EVK-001にて使用している機能

ML62Q2035 の主な仕様を Table 4-2 に示します。ML62Q2035 についての詳細は[3]、[4]を参照してください。

Table 4-2. ML62Q2035 の主な仕様

品番	ML62Q2035	
CPU	16bit RISC CPU Core(nx-U16/100), 最大16MHz動作	
メモリ	Code Flash: 32KB, Data Flash: 4KB(消去単位:128B), RAM: 2KB	
アナログコンパレータ	3ch(クロック非同期動作), 応答時間: Max 100ns	
タイマ	16bit timer with PWM/Capture × 6カウンタ, 10出力 最大64MHz動作(分解能15.625ns)	
ADコンバータ	12bit SA-ADC: 5ch	
DAコンバータ	8bit, 2ch	
プログラマブルゲインアンプ	1ch, ゲイン設定: 4レベル(×4/×8/×16/×32)	
シリアルI/F	I <sup>2</sup> C×1, UART×2	
I/Oポート	I: 1, I/O: 15	
外部割込み	4	
その他	乗除算器, 温度センサ, Power ON Reset	
クロック	Low	Internal RC Oscillator: 32.768kHz ± 1.5%*
	High	PLL: 64MHz ± 1.5%*, CPU: 16MHz ~ 125kHz ± 1.5%* PWM/Capture: 64MHz~500kHz ± 1.5%*
消費電流(CPU)	Stop: 80µA, Halt: 90µA, Active: 3.3mA@16MHz	
動作電圧	4.5V ~ 5.5V	
動作温度	Ta = -40°C ~ +105°C (Tj = 115°C) (絶対最大定格: Tjmax = 125°C)	
パッケージ	TSSOP20	

\*: Ta = -20°C ~ +85°C

### 4.3 制御部電源

LogiCoA001-EVK-001 では制御部(MCU 及びアナログ制御回路)電源(Vcc5V)として 5V 固定出力の LDO BD950N1WG-C を搭載しています。BD950N1WG-C はスタンバイ制御機能を持ちますが、LogiCoA001-EVK-001 では VIN 端子と EN 端子は接続されており、Vin が投入され BD950N1WG-C の VIN 端子電圧が UVLO 解除電圧(typ 2.6V)を超えると Vcc5V が出力を開始します。BD950N1WG-C の詳細については BD9xxN1-C シリーズ データシート[6]を参照してください。

### 4.4 ドライバ部電源

LogiCoA001-EVK-001 では出力 FET を駆動するゲートドライバの電源(Vcc12V)として 12V 出力の LDO BD900N1WG-C を搭載しています。BD900N1WG-C はスタンバイ制御機能を持ち、後述のリモートコントロールスイッチによって ON/OFF を制御することができます。BD900N1WG-C の詳細については[6]を参照してください。

### 4.5 リモートコントロールスイッチ

LogiCoA001-EVK-001 では外部から ON/OFF 制御を行うことができる RC(RC: Remote Control)機能を備えています。ML62Q2035 の P10 端子に接続されたスイッチ(SW\_RC)を OPEN もしくは GND ショートに切り替えることにより以下の設定で動作します。ノイズによる誤検出を防ぐため、RC=H 検出時は 150 $\mu$ s、RC=L 検出時は 1.25ms のマスク時間が設定されています。P10 端子は端子内部で 40k $\Omega$ (typ)のプルアップ抵抗付き GPIO 入力として設定されています。動作状態の閾値は ML62Q2035 の入力端子特性により決まりますので[3]を参照してください。

リモートコントロールスイッチ部では、ファームウェアの変更により RC の ON/OFF 論理を入れ換えることが可能です。また、マスク時間についても調整が可能です。ただし、LogiCoA001-EVK-001 の基板上で RC の ON/OFF 論理を入れ換えると、ドライバ部電源 Vcc12V のスタンバイ制御論理と逆転するために DCDC は動作しません。

Table 4-3. リモートコントロールスイッチ動作状態

SW_RC	P10端子	DCDC
OPEN	VDD	ON
GNDショート	GND	OFF

### 4.6 エラーアンプ及び基準電圧

エラーアンプ及び周辺回路を Figure 4-2 に示します。エラーアンプには BU7481SG を搭載しています。制御部電源 Vcc5V が供給されるとエラーアンプは動作を開始しますが、ソフトスタート回路によってエラーアンプ出力の立ち上がりは制御されます。BU7481SG の詳細については BU7481SG データシート[7]を参照してください。

エラーアンプの基準電圧 Vo\_REF は MCU に内蔵された 8bit DA コンバータにより生成されます(VDD=5V 時 1.973V typ)。出力電圧 Vo は、Vo\_REF を用いて以下の計算式によって求められます。

$$V_o = V_{O\_REF} \times \frac{R_{29} + R_{30} + R_{31}}{R_{31}}$$

例)Vo\_REF=1.973V、R29=51Ω、R30=3.3kΩ、R31=2.2kΩ時、出力電圧は以下の値になります。

$$V_o = 1.973V \times \frac{51\Omega + 3.3k\Omega + 2.2k\Omega}{2.2k\Omega} \cong 4.9782V$$

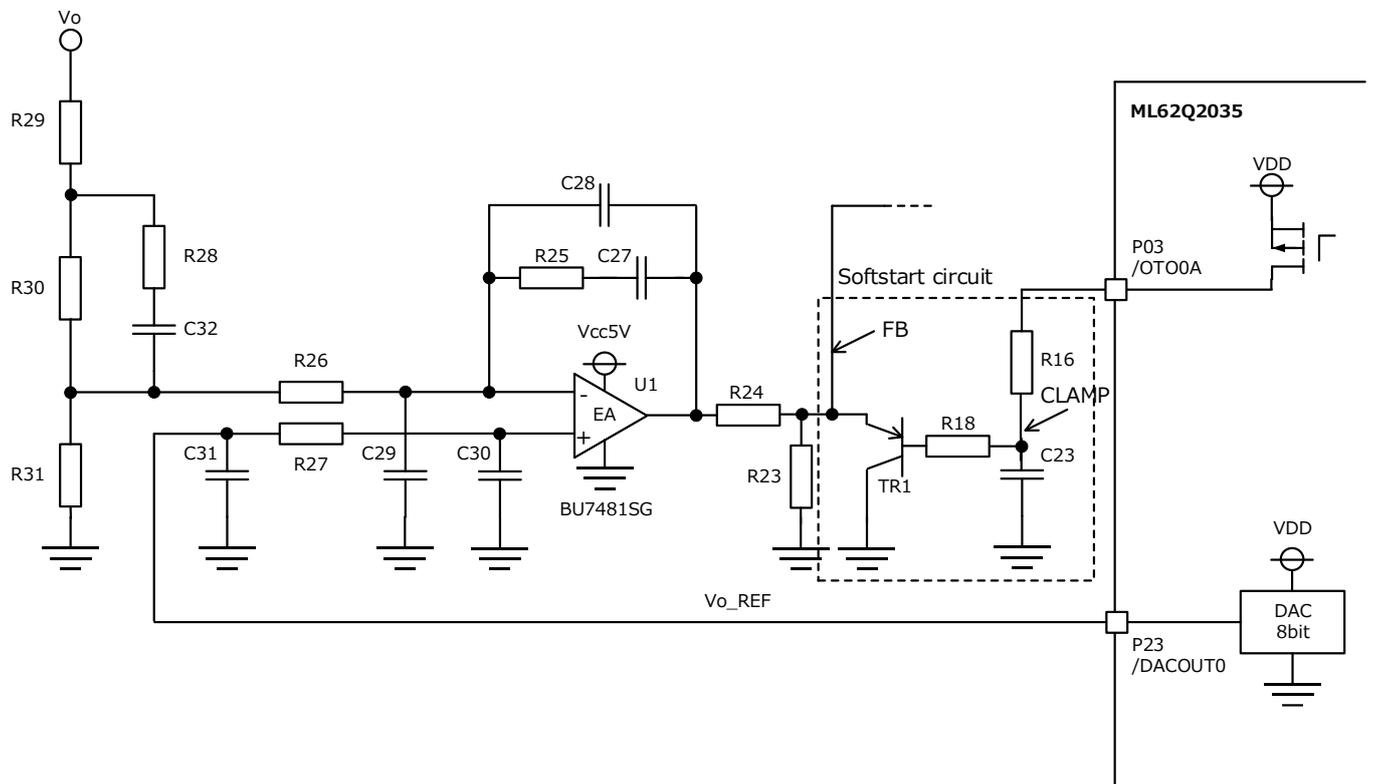


Figure 4-2. エラーアンプ周辺回路

エラーアンプ周辺部では、ファームウェアの変更により Vo\_REF の電圧を変更することが可能です。LogiCoA001-EVK-001 では Vo\_REF の電圧を変更することにより出力電圧を変更することができます。

## 4.7 ソフトスタート

LogiCoA001-EVK-001 では、起動時にエラーアンプ出力 (FB) をクランプし、立ち上がり速度を制御することにより DCDC 出力をソフトスタートさせ、急峻な立ち上がりによるオーバーシュートとラッシュ電流を抑制します。

$R_{18}=100\Omega$  と  $TR_1$  のベース電流により  $R_{18}$  の両端に発生する電圧を微小とみなせるため、FB 電圧は CLAMP 電圧 +  $TR_1$  の  $V_{BE}$  でクランプされます。P03/OTO0A 端子は PMOS オープンドレインとして設定されており、起動時は PMOS の ON Duty を制御することによりクランプする電圧を徐々に立ち上げます。P03/OTO0A 端子内部の PMOS が ON (H を出力) している間は  $C_{23}$  が充電され、PMOS が OFF している間は  $C_{23}$  が充電されずに電圧を保持します。このため、CLAMP 電圧の立ち上がり速度は PMOS の ON Duty を高くすると速くなり、ON Duty を低くすると遅くなります。起動時には ON Duty を段階的に下げていくことにより CLAMP 電圧 (=FB 電圧) の立ち上がり速度を徐々に下げ、出力の急峻な立ち上がりを抑制します。定常状態では CLAMP 電圧は VDD となり FB 電圧はクランプされません。

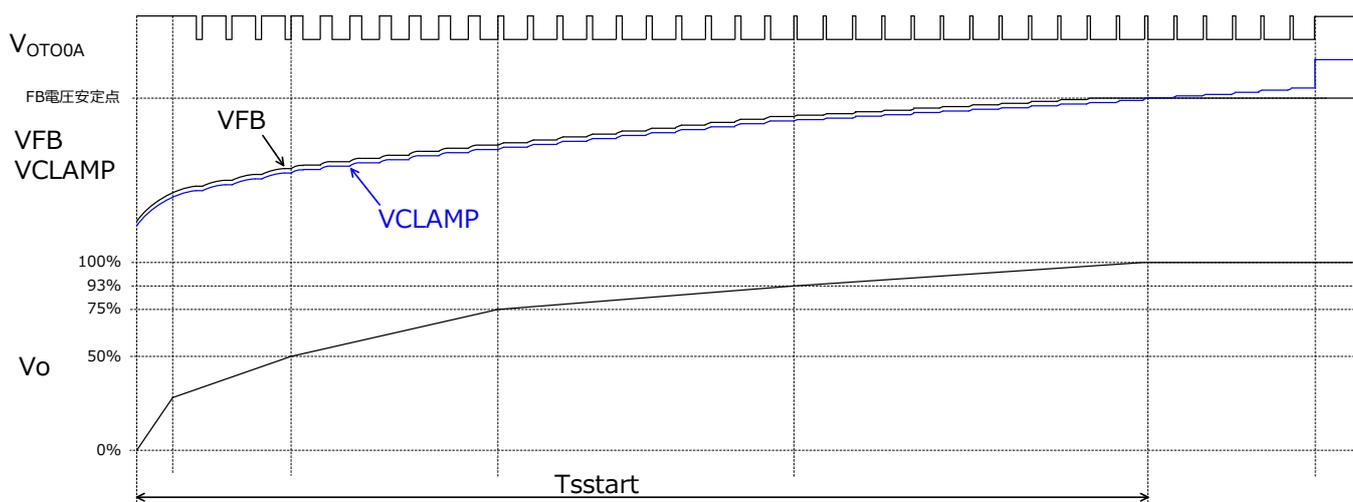


Figure 4-3. ソフトスタート動作 タイミングチャート

ソフトスタート部では、ファームウェアの変更により CLAMP 電圧の立ち上がり制御(時間、傾き)を変更することが可能です。LogiCoA001-EVK-001 では CLAMP 電圧の立ち上がり制御を変更することによりソフトスタート時間を変更することができます。

## 4.8 三角波生成部及び PWM コンパレータ

三角波生成部周辺回路及びタイミングチャートを Figure 4-4 及び Figure 4-5 に示します。P04/OTO0B 端子から矩形波が出力されることにより、P02/CMP0M 端子に三角波が生成されます。P04/OTO0B 端子が H 出力から L 出力に切り替わると  $C_{26}$  は放電されます。P04/OTO0B が L を出力している間、 $R_{17}$  を介して  $C_{26}$  が充電され TRNGL の波形は上昇していきます。P01/CMP0P 端子及び P02/CMP0M 端子はアナログコンパレータ入力として設定されており、内蔵のアナログコンパレータが FB と TRNGL を比較する PWM コンパレータとして動作します。

Figure 4-5 に示すように、P04/OTO0B 端子から出力される矩形波の周波数は DCDC コンバータのスイッチング周波数  $f_{sw}$  (160kHz typ) となります。また、矩形波の H 出力の期間では TRNGL の電圧が H になるので、PWM コンパレータは L を出力します。このため、矩形波の L Duty が DCDC コンバータの Max Duty  $D_{max}$  (80% typ) となります。

三角波生成部では、ファームウェアの変更により DCDC コンバータのスイッチング周波数及び最大 Duty を変更することが可能です。

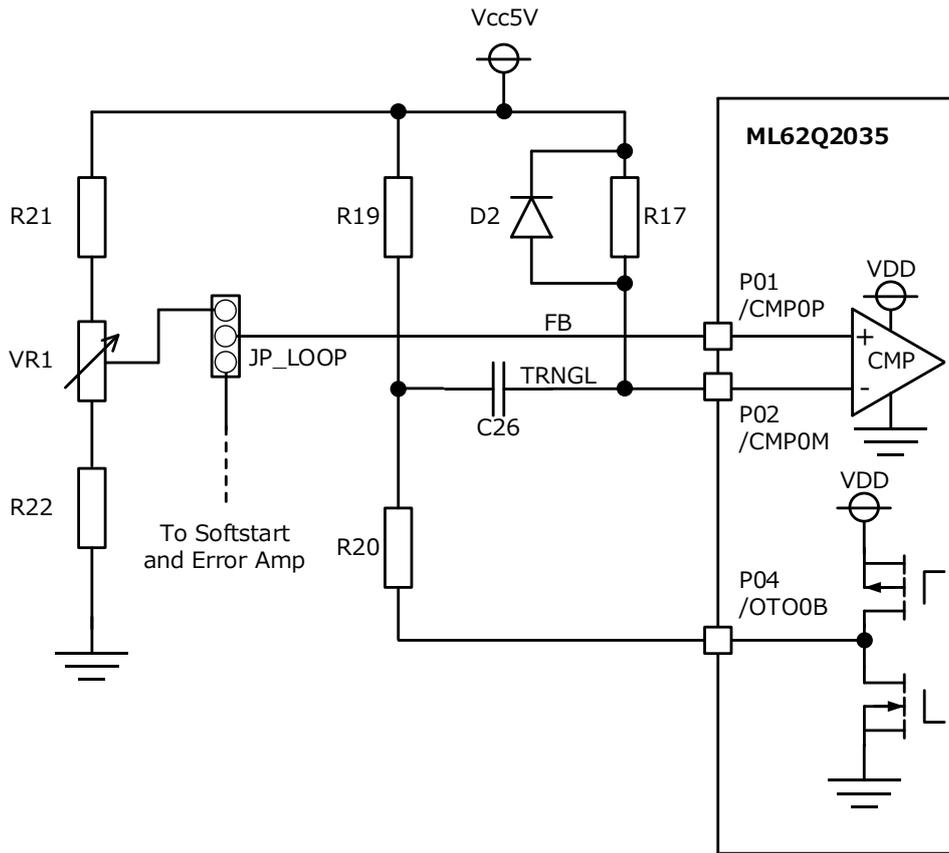


Figure 4-4. 三角波生成部周辺回路

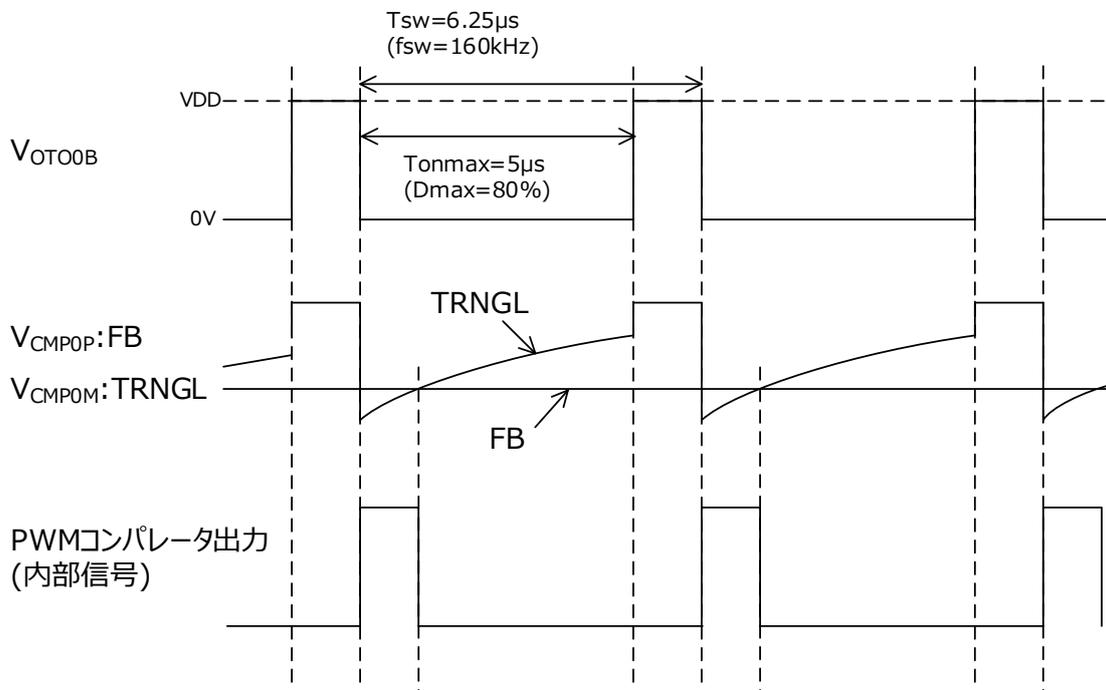


Figure 4-5. 三角波生成部 タイミングチャート

## 4.9 オープンループ動作作用可変抵抗(デバッグ用)

LogiCoA001-EVK-001 はデバッグ用にフィードバック制御を行わずにオープンループで動作させることが可能です。ジャンパ JP\_Loop(Figure 4-1. アプリケーションブロック図及び Figure 4-4. 三角波生成部周辺回路参照)の接続にてオープンループとクローズドループを切り替えることができます。オープンループ設定時には、PWM コンプレータの入力電圧を可変抵抗  $VR_1$  にて調整することが可能です。Vcc5V の 5V 電源を  $R_{21}$  と 10k  $\Omega$  の可変抵抗  $VR_1$  で分圧した電圧が FB 電圧となります。(  $R_{22}$  は 0 $\Omega$  が実装されています。)

## 4.10 出力段

出力段では、MCU から出力されるハイサイド FET、ローサイド FET 制御信号をゲートドライバによりレベルシフトして出力 FET を駆動し、LC フィルタにより平滑化して安定化した出力電圧を供給します。ゲートドライバには BD2320EFJ-LA を搭載しています。BD2320EFJ-LA の詳細については BD2320EFJ-LA データシート[8]を参照してください。

## 4.11 入力電圧検出部

入力電圧検出部の回路を Figure 4-6 に示します。  $R_6$  及び  $R_7$  で分圧された  $V_{in}$  の電圧を ML62Q2035 の P15/AIN1 端子に入力し、端子の入力電圧を 12bit AD コンバータにてデジタル値に変換して値を取得します。

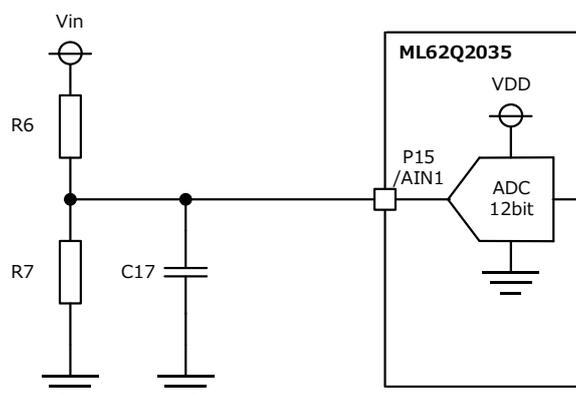


Figure 4-6. 入力電圧検出部

### 4.11.1 起動/停止電圧判定

LogiCoA001-EVK-001 は、上記入力電圧検出部にて  $V_{in}$  入力電圧をモニタし、起動電圧 9.0V 以上になると 1s の起動遅延時間後起動を開始します。入力電圧が 8.0V を下回ると停止します。ノイズ除去のため、電圧の判定には 150 $\mu$ s のマスク時間が設けられています。入力電圧が起動電圧を下回ると起動電圧判定マスク時間のカウンタをリセットします。入力電圧が停止電圧を上回ると停止電圧判定マスク時間のカウンタをリセットします。

起動/停止電圧判定部では、ファームウェアの変更により起動電圧、停止電圧の閾値及びマスク時間、起動遅延時間を変更することが可能です。

### 4.11.2 入力過電圧保護

LogiCoA001-EVK-001 は入力過電圧保護機能(IVP: Input Voltage Protection)を備えています。上記入力電圧検出部にて  $V_{in}$  入力電圧をモニタし、検出電圧 38.0V を上回ると保護動作が働き、出力のスイッチングを停止します。ノイズ除去のため、電圧の判定には 250 $\mu$ s のマスク時間が設けられています。定常状態で入力電圧が検出電圧を下回るもしくは保護停止するとマスク時間のカウンタをリセットします。保護動作時はラッチ停止となり、 $V_{in}$  入力電圧が検出閾値を下回った状態で RC を再投入すると起動を開始します。

入力過電圧保護部では、ファームウェアの変更により検出電圧の閾値及びマスク時間時間を変更することが可能です。

## 4.12 出力電圧検出部

出力電圧検出部の回路を Figure 4-7 に示します。R<sub>32</sub> 及び R<sub>33</sub> で分圧された Vo の電圧を ML62Q2035 の P14/AIN0 端子に入力し、端子の入力電圧を 12bit AD コンバータにてデジタル値に変換して値を取得します。

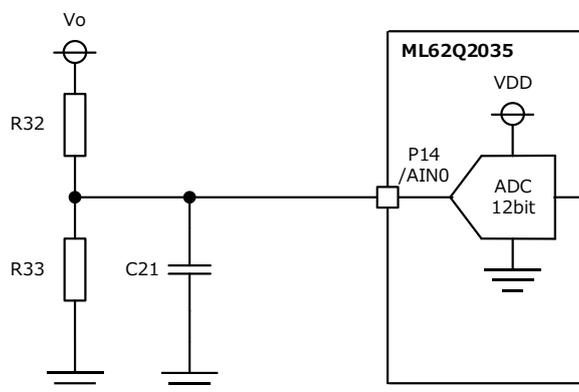


Figure 4-7. 出力電圧検出部

### 4.12.1 出力低電圧保護

LogiCoA001-EVK-001 は出力低電圧保護機能(LVP: Low Voltage Protection)を備えています。上記出力電圧検出部にて Vo 出力電圧をモニタし、検出電圧 3.0V を下回るとタイマカウントをスタートします。出力電圧が検出電圧を下回った状態が 500ms 継続すると保護動作が働き、出力のスイッチングを停止します。タイマカウンタは 500 $\mu$ s 毎に内蔵カウンタを初期値からインクリメントしており、タイマカウント中に出力電圧が検出電圧を上回るとカウント値をデクリメントします。保護停止もしくは RC により出力を停止するとタイマカウンタをリセットします。保護動作時はラッチ停止となり、RC を再投入すると起動を開始します。

出力低電圧保護部では、ファームウェアの変更により検出電圧の閾値及びマスク時間を変更することが可能です。

### 4.12.2 出力過電圧保護

LogiCoA001-EVK-001 は出力過電圧保護機能(OVP: Over Voltage Protection)を備えています。上記出力電圧検出部にて Vo 出力電圧をモニタし、検出電圧 6.0V を上回ると保護動作が働いて出力のスイッチングを停止します。ノイズ除去のため、電圧の判定には 250 $\mu$ s のマスク時間が設けられています。定常状態で出力電圧が検出電圧を下回るとマスク時間のカウンタをリセットします。保護動作時はラッチ停止となり、RC を再投入すると起動を開始します。

出力過電圧保護部では、ファームウェアの変更により検出電圧の閾値及びマスク時間を変更することが可能です。

### 4.13 ドレイン電流検出部

ドレイン電流検出部の回路を Figure 4-8 に示します。ローサイド FET FET2 に流れるドレイン電流  $I_d$  を電流検出抵抗  $R_5$  で電圧  $V_{SNS}$  に変換し、 $R_8$ 、 $R_9$  及び  $R_{10}$ 、 $R_{11}$  で  $V_{CC5V}$  に対して分圧して AD コンバータ/アナログコンパレータ入力電圧範囲に合わせたオフセットを付けた電圧を ML62Q2035 の P16/AIN2 端子、P11/CMP2P 端子に入力します。P16/AIN2 端子、P11/CMP2P 端子内部にてそれぞれ AD コンバータでのデジタル値取得と過電流保護閾値に対する電流検出を行います。

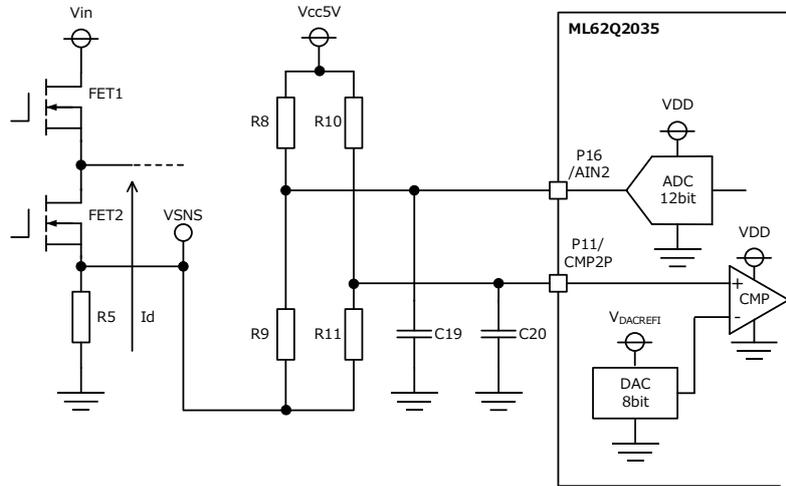


Figure 4-8. ドレイン電流検出部

#### 4.13.1 過電流保護

LogiCoA001-EVK-001 はパルスバイパス方式の過電流保護機能(OCp: Over Current Protection)を備えています。上記、ドレイン電流検出部のアナログコンパレータにてローサイド FET ドレイン電流をモニタし、検出電流 6.0A を上回ると保護動作が働いて FET を OFF させます。保護動作によるスイッチング停止からは自動復帰しますが、過負荷状態が継続している場合、再度過電流保護を検出します。

過電流保護部では、ファームウェアの変更によりアナログコンパレータの基準電圧を変更することが可能です。LogiCoA001-EVK-001 ではコンパレータの基準電圧を変更することにより検出電流を変更することができます。

### 4.14 LED インジケータ

LogiCoA001-EVK-001 には LED1(赤色)および LED2(緑色)の 2 灯の LED が実装されており、それぞれの点灯により以下の動作状態を示しています。

Table 4-4. LED1 点灯パターンと動作状態

LED1	状態
消灯	-
点滅	プログラム書き込み/MCUへのアクセス状態

Table 4-5. LED2 点灯パターンと動作状態

LED2	状態
1.6ms周期で短く1回(100ms x 1)点灯	入力電圧が起動電圧以下の Vin 停止状態
1.6ms周期で短く2回(100ms x 2)点灯	入力電圧が起動電圧を超えて RC 制御にて停止している RC 待機状態
1.6ms周期で1回(700ms x 1)点灯	通常動作状態
1.6ms周期で短く5回(100ms x 5)点灯	異常停止状態

## 5 シリアル通信

LogiCoA001-EVK-001 では、基板上に搭載された USB-UART 変換モジュールを介して外部の Windows PC 等からシリアル通信を行うことにより、電源制御パラメータの変更や動作ログの取得が可能です(本ドキュメントリリース時点で動作ログ取得機能は未実装)。シリアル通信及び通信コマンドの詳細については通信機能及び GUI 作成の解説アプリケーションノート[9]を参照してください。

## 6 RMOS によるスイッチング電源制御

LogiCoA™ 電源ソリューションでは、スイッチング電源制御マイコン用オペレーティングシステム RMOS(アールモス ; **R**ea**l** time **M**icro **O**perating **S**ystem)及び、多様な電源トポロジ向けに RMOS 上に記述されたファームウェアをリファレンスプログラムとして提供しており、これらのソフトウェアにより電源制御を行います。以下では、RMOS を用いた電源制御の概要について説明します。詳細については、RMOS の解説アプリケーションノート [5]を参照してください。

### 6.1 状態遷移制御

RMOS では状態遷移制御を用いてスイッチング電源の制御を行う機能を実装しています。スイッチング電源の動作状態は、下記の 4 つの動作状態に分類することができます。

- |          |  |
|----------|--|
| ① 待機動作 … | スイッチング電源が電圧を出力していない状態<br>(入力電圧が起動開始電圧以下、リモート ON/OFF 制御による停止) |
| ② 起動動作 … | スイッチング電源の出力電圧がゼロから定常電圧に上昇していく状態                              |
| ③ 定常動作 … | スイッチング電源の出力電圧が定常電圧を出力している状態                                  |
| ④ 停止動作 … | スイッチング電源の出力電圧を停止させる状態  |

スイッチング電源の動作において上記の動作状態は独立しているので、制御プログラムも各動作状態に対して独立させて記述することができます。他の動作状態を考慮することなくプログラムを記述することができるため、プログラムを単純化して記述することができます。また、制御プログラムを記述する際には、上記の動作状態を更に細分化し、電源の動作状態に対してプログラムをモジュール化して記述します(状態遷移制御モジュール)。そして、電源の状態に合わせて実行するプログラムモジュールを変更(遷移)する、状態遷移制御を行います。

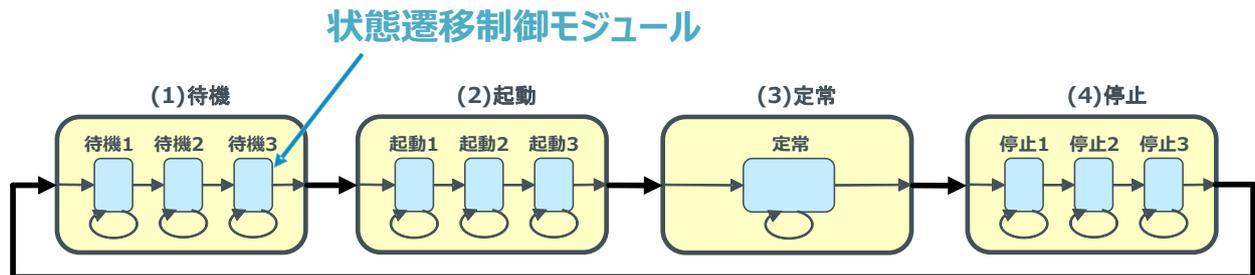


Figure 6-1. 状態遷移制御モジュール(イメージ)

RMOS では、あらかじめ状態遷移制御モジュール記述エリアが準備されています(待機動作×5、起動動作×5、定常動作×2、停止動作×5)。プログラムは、RMOS の状態遷移制御モジュール記述エリアにプログラムを記述することで電源制御プログラムを作成することができます。RMOS では指定された状態遷移制御モジュールのいずれかが 50μs 毎に実行され、電源の状態に応じて RMOS に指示を出すことで、実行する状態遷移制御モジュールを変更(遷移)することができます。また、RMOS では 2 種類のスイッチング電源を同時に制御するために 2 セットの状態遷移制御モジュール群が準備されています。

RMOS では、状態遷移制御モジュールの実行を遷移させる形式で電源制御を行うため、プログラムの構成は状態遷移図で表します。状態遷移図では、各状態遷移モジュールの動作、状態遷移の条件、状態遷移先を記述します。プログラムを開発するにあたっては、まずは状態遷移図を作成し、各状態における電源の動作を検討することで、制御の抜けや漏れを防ぐことができます。

## 6.2 バックコンバータの状態遷移図

LogiCoA001-EVK-001 の状態遷移図を Figure 6-2 に示します。6.1 状態遷移制御 で述べたように、動作状態は①待機(Standby)、②起動(Startup)、③定常(Normal)、④停止(Stop)に分けられ、Figure 6-2 の最上段が①待機、上から2 段目が②起動、3 段目が③定常、最下段が④停止となります。Table 6-1 に示すように、待機、起動、停止の各状態は 5 つの状態遷移制御モジュールを、定常状態は 2 つのモジュールを持ち、50 $\mu$ s の周期でいずれかのモジュールが実行されます。ただし、定常動作のみ 50 $\mu$ s 周期で実行されるモジュールと 500 $\mu$ s 周期で実行されるモジュールが並列に動作します。各モジュールでは、図中に記述されているように、動的に取得した入力電圧、出力電圧やプログラムの内部カウンタなどの状態変数や状態フラグによって、次状態への遷移もしくは同状態での停滞を判定・制御します。状態変数、状態フラグについては、6.3 状態変数・状態フラグ一覧 にて一覧を記載します。

Table 6-1. 状態遷移制御モジュール群 0(PS0)

No.	モジュール名	動作状態
1	PS0_Standby_0	待機動作
2	PS0_Standby_1	
3	PS0_Standby_2	
4	PS0_Standby_3	
5	PS0_Standby_4	
6	PS0_Startup_0	起動動作
7	PS0_Startup_1	
8	PS0_Startup_2	
9	PS0_Startup_3	
10	PS0_Startup_4	
11	PS0_Normal_50u	定常動作
12	PS0_Normal_500u	
13	PS0_Stop_0	停止動作
14	PS0_Stop_1	
15	PS0_Stop_2	
16	PS0_Stop_3	
17	PS0_Stop_4	

※1) 制御周期 : 50 $\mu$ s

※2) 電源の状態に対応するいずれか 1 つのモジュールが実行される。定常動作のみ  
PS0\_Normal\_50u モジュール PS0\_Normal\_500u モジュールが並列で実行される。

※3) “PS0”は、2 セットある状態遷移制御モジュール群のうち 1 つ目のモジュール群であることを示す。(他方は PS1)

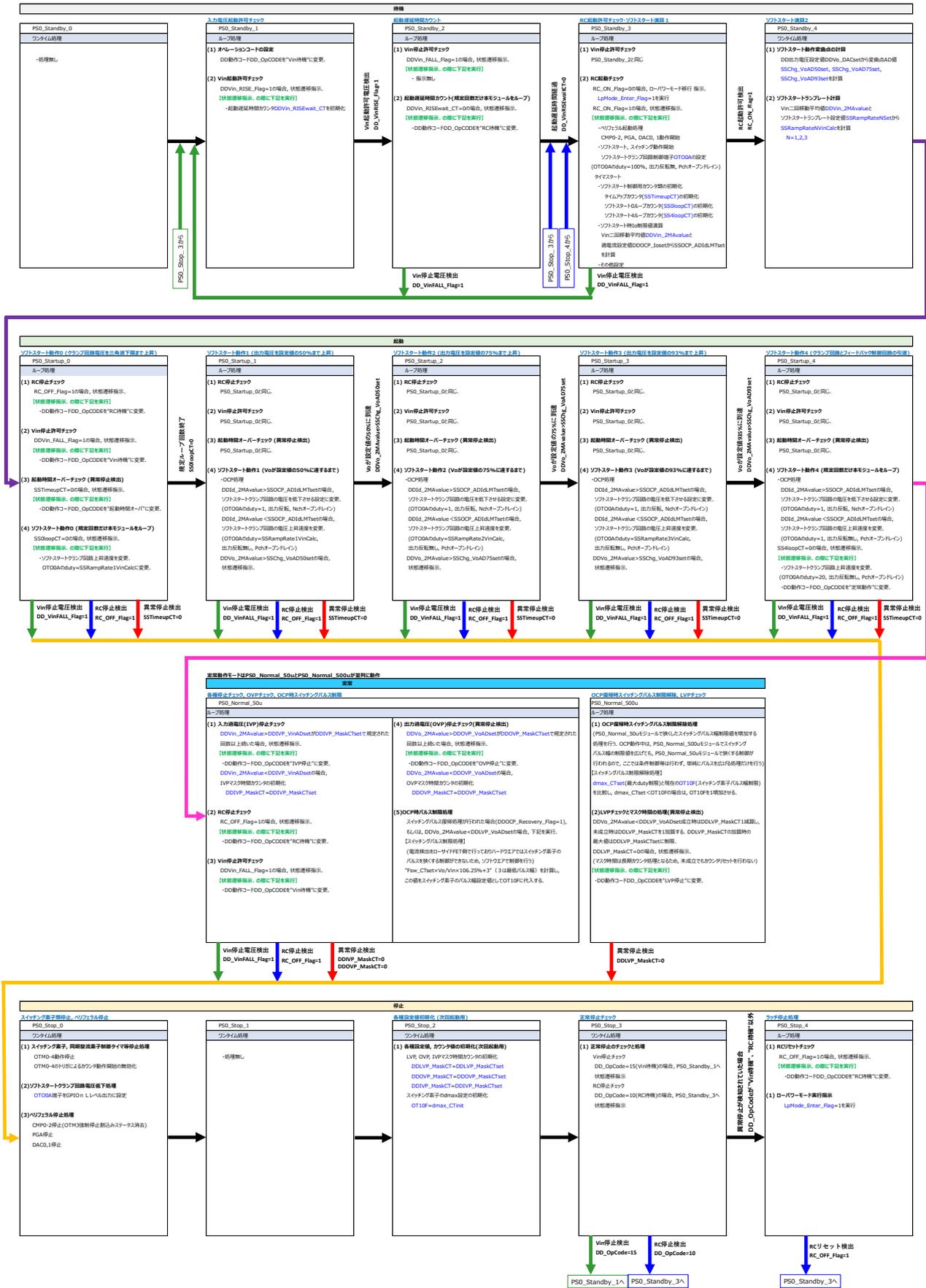


Figure 6-2. LogiCoA001-EVK-001 状態遷移図

### 6.3 状態変数・状態フラグ一覧

Table 6-2 及び 6-3 に RMOS が処理を行っている状態変数、状態フラグ及びバックコンバータの制御に使用している状態変数、状態フラグを示します。状態変数、状態フラグを使用した制御プログラムの記述については[5]を参考としてください。

Table 6-2. RMOS の状態変数・状態フラグ

(1)起動停止

No.	変数名・フラグ名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	DDVin_RISEset	2	起動開始入力電圧設定値	DDVin_RISEsetinit	12880	モニタ周期: 50µs
2	DDVin_RISE_Flag	Flag	入力電圧による起動許可の検出	-	-	
3	DDVin_RISEchk_CT	1	入力電圧による起動許可検出のノイズ除去カウンタ	DDVin_RISEchk_CTinit	3	
4	DDVin_FALLset	2	停止開始入力電圧設定値	DDVin_FALLsetinit	11456	
5	DDVin_FALL_Flag	Flag	入力電圧による停止許可の検出	-	-	
6	DDVin_FALLchk_CT	1	入力電圧による停止許可検出のノイズ除去カウンタ	DDVin_FALLchk_CTinit	3	

(2)リモートON/OFF

No.	変数名・フラグ名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	RC_ON_Flag	Flag	RCによる起動許可の検出	-	-	モニタ周期: 50µs
2	RC_ONchk_CT	1	RCによる起動許可検出のノイズ除去カウンタ	RC_ONchk_CTinit	3	
3	RC_OFF_Flag	Flag	RCによる停止許可の検出	-	-	
4	RC_OFFchk_CT	1	RCによる停止許可検出のノイズ除去カウンタ	RC_OFFchk_CTinit	25	
5	RClogic_Inv_Flag	Flag	RC制御入力ロジック反転フラグ	-	-	

(3)デジタルフィルタ

No.	変数名	バイト数	機能	参照変数名	バイト数	備考
1	DDVin_2MAvalue	2	入力電圧AD値の2回移動平均	DDVin_Advalue	2	計算周期: 25µs
2	DDVo_2MAvalue	2	出力電圧AD値の2回移動平均	DDVo_Advalue	2	計算周期: 25µs
3	DDId_2MAvalue	2	ドレイン電流AD値の2回移動平均	DDId_Advalue	2	計算周期: 25µs

(4)通信

No.	変数名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	PS_ADR	1	通信用アドレス設定	PS_ADR_init	31	
2	RXD_CmdGr	1	通信により受信したコマンドグループ	-	-	
3	RXD_CmdNo	1	通信により受信したコマンドナンバ	-	-	
4	RXD_Data16	2	通信により受信した16bitデータ	-	-	

(5)ローパワー動作モードの制御

No.	変数名	バイト数	機能	備考
1	LpMode_Enter_Flag	Flag	ローパワー動作モードに移行する	
2	LpMode_Exit_Flag	Flag	通常動作モードに移行する	
3	LpMode_Use RcReset_Flag	Flag	RCリセット処理の有効化	

(6)システム関連

No.	変数名	バイト数	機能	備考
1	DD_OpCode	1	動作コードを記録	
2	DD_OpCode_FailRec	1	異常停止時の動作コード記録	
3	TaskCompChk_Flag	Flag	タスク完了チェックフラグ	

(7)LED点滅

No.	変数名	バイト数	機能	備考
1	LED1FP_VinStby	-	入力電圧が起動電圧以下で待機時の点滅パターン	
2	LED1FP_RcStby	-	RC待機時の点滅パターン	
3	LED1FP_NomOP	-	定常動作時の点滅パターン	
4	LED1FP_FAIL	-	異常停止時の点滅パターン	

Table 6-3. バックコンバータ制御用の状態変数・状態フラグ

## (1)スイッチング素子・同期整流素子設定

No.	変数名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	Fsw_Ctset	2	スイッチング周波数設定(OTM設定値)	Fsw_CTinit	399	
2	dmax_Ctset	2	スイッチング素子の最大Duty設定(OTM設定値)	dmax_CTinit	319	
3	DTimeHoffLon_CTset	2	スイッチング素子オフと同期整流素子オンのデッドタイム設定(OTM設定値)	DTimeHoffLon_CTinit	9	
4	DTimeLoffHon_CTset	2	スイッチング素子オフと同期整流素子オンのデッドタイム設定(OTM設定値)	DTimeLoffHon_CTinit	379	

## (2)起動遅延

No.	変数名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	DDVin_RISEwait_CTset	2	起動遅延時間設定	DDVin_RISEwait_CTinit	20000	カウント周期: 50μs
2	DDVin_RISEwait_CT	2	起動遅延時間カウンタ	-	-	

## (3)ソフトスタート

No.	変数名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	SSRampRate1set	1	ソフトスタート1ランプレート設定値	SSRampRate1init	50	
2	SSRampRate2set	1	ソフトスタート2ランプレート設定値	SSRampRate2init	25	
3	SSRampRate3set	1	ソフトスタート3ランプレート設定値	SSRampRate3init	12	
4	SSTimeupCTset	2	起動時間オーバ検出時間	SSTimeupCTinit	1000	
5	SS0loopCTset	1	ソフトスタート開始前ループカウンタ値	SS0loopCTinit	3	
6	SS4loopCTset	1	定常動作引渡ループカウンタ値	SS4loopCTinit	150	

## (4)出力電圧設定

No.	変数名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	DDVo_DACset	1	出力電圧設定用DAC値	DDVo_DACinit	101	
2	DDVo_DAC_MaxLmt	-	出力電圧設定用DAC制限値	(本変数はシンボル)	181	

## (5)保護動作

No.	変数名	バイト数	機能	初期設定用シンボル名	初期値	備考
1	DDOCP_Ioset	2	過電流保護設定値	DDOCP_Ioinit	6000	
2	DDLVP_VoADset	2	出力低電圧保護設定値	DDLVP_VoADinit	12528	カウント周期: 500μs
3	DDLVP_MaskCTset	2	出力低電圧保護マスク時間(ノイズ除去)設定値	DDLVP_MaskCTinit	1000	
4	DDOVP_VoADset	2	出力過電圧保護設定値	DDOVP_VoADinit	25056	カウント周期: 50μs
5	DDOVP_MaskCTset	1	出力過電圧保護マスク時間(ノイズ除去)設定値	DDOVP_MaskCTinit	5	
6	DDIVP_VinADset	2	入力過電圧保護設定値	DDIVP_VinADinit	54432	カウント周期: 50μs
7	DDIVP_MaskCTset	1	入力過電圧保護マスク時間(ノイズ除去)設定値	DDIVP_MaskCTinit	5	

## 6.4 ファームウェアの提供

LogiCoA001-EVK-001 では、電源評価基板とともにファームウェアとしてバックコンバータ制御用に記述された RMOS ソースコードを提供しており、以下の URL からダウンロード可能です。

Table 6-4. RMOS ダウンロード URL とファイル名

ダウンロードURL	<a href="https://www.rohm.co.jp/reference-designs/ref66009">https://www.rohm.co.jp/reference-designs/ref66009</a>
リファレンスプログラム名	LogiCoA™ソリューション バックコンバータ リファレンスプログラム
ファイル名	RMOS100-PSFW001.zip

## 7 デバッグ接続とプログラムの開発

LogiCoA001-EVK-001 はファームウェアが実装済みであり、単体にて動作評価可能なものとなりますが、以下の環境を用意することによって RMOS を使用したスイッチング電源制御プログラムの開発・デバッグを行うことができます。

- ① 統合開発環境 LEXIDE-Ω
- ② RMOS プロジェクトファイル(LEXIDE-Ωに読み込んで使用するファイル)
- ③ Windows PC(Windows10 64bit 版 or Windows11 64bit 版)
- ④ オンチップエミュレータ EASE1000 V2
- ⑤ Microsoft Excel 64bit 版(通信機能の確認に使用。マクロ機能の使用許可が必要。)

統合開発環境 LEXIDE-Ωは、オープンソースの統合開発環境である Eclipse をベースとして開発されたソフトウェアです。PC にインストールして使用します。インストーラは当社の Web サイトからダウンロードできます。

RMOS プロジェクトファイルは zip 圧縮形式で提供しています。Windows PC の HDD(SSD)ドライブ内の任意のフォルダに解凍して使用します。

オンチップエミュレータ EASE1000 V2 は、PC の USB 端子及び ML62Q203x/4x グループのデバッグ用端子に接続して使用します。EASE1000 V2 と LEXIDE-Ωを使用することで、デバッグ作業(マイコンへのプログラム書き込み、実行、停止、ステップ実行、内部メモリの読み出し等)を行うことができます。

RMOS を使用したスイッチング電源制御プログラムの開発・デバッグの詳細については[5]を参照してください。

## 8 オペレーショナルタイマ(OTM)を用いた PWM 制御

### 8.1 オペレーショナルタイマの概要

LogiCoA™ 電源ソリューションではアプリケーションの出力 FET 制御にオペレーショナルタイマを用います。オペレーショナルタイマは、タイマ間での論理積やトリガ制御、タイマと内蔵アナログコンパレータ出力での論理積やトリガ制御など、さまざまな動作が可能な構成となっています。Figure 8-1 にオペレーショナルタイマの機能を抜粋した概略図を示します。(図中では、簡略化のためチャンネル 0 のみの接続を代表して記載しています。)

オペレーショナルタイマは OTM0 から OTM5 までの 6 チャンネルがあり、この内 OTM2 及び OTM3 のみは 1 系統の出力、他は 2 系統の出力を持ちます。2 系統の出力は同一の周期で異なる Duty での PWM 出力が可能です(PWM 出力:OTMn0 及び OTMn1、n=0、1、4、5。ただし、n=2、3 では OTMn0 のみ)。この PWM 出力に他チャンネルのタイマ信号やアナログコンパレータ出力、外部トリガ入力などの論理積をとることができます(論理積後出力:OTMn0S 及び OTMn1S)。また、2 系統の出力は A/B 2 つの出力端子(ex. OTO0A と OTO0B)から出力されますが、2 系統をいずれの端子から出力するか(出力信号選択)が設定可能です。各出力信号は正/負いずれの論理で出力するか(出力論理選択)が設定可能となっています。

オペレーショナルタイマは、上記、論理積の選択、出力信号選択、出力論理選択に加えて、各種信号のタイマカウントスタート/ストップを他チャンネルのタイマ信号やアナログコンパレータ出力、外部トリガ入力などで制御することが可能です。これにより、複数の出力 FET の ON/OFF を連携させる、保護検出のコンパレータ出力によりスイッチングを停止させるなどの制御が可能となります。

オペレーショナルタイマの特長を以下に示します。詳細については[3]、[4]を参照してください。

- Duty の異なる同一周期 PWM 出力が可能
- 他チャンネルの PWM 出力、外部トリガ、アナログコンパレータの出力と論理積をとって出力可能
- 外部トリガ入力やタイマ割り込み要求(イベントトリガ)、アナログコンパレータ出力によるカウンタの動作開始/停止/カウンタクリアが可能
- 外部トリガ入力やアナログコンパレータ出力による端子出力の強制停止、及び強制停止時に割り込みを発生
- タイマ出力の論理切り替え(正論理/負論理)が可能
- 16bit カウンタによるキャプチャ/PWM 機能を搭載
- カウントクロックは 32kHz/16MHz/64MHz/外部トリガ入力(1~128 分周)から選択可能
- キャプチャ機能により入力信号の Duty、周期が測定可能

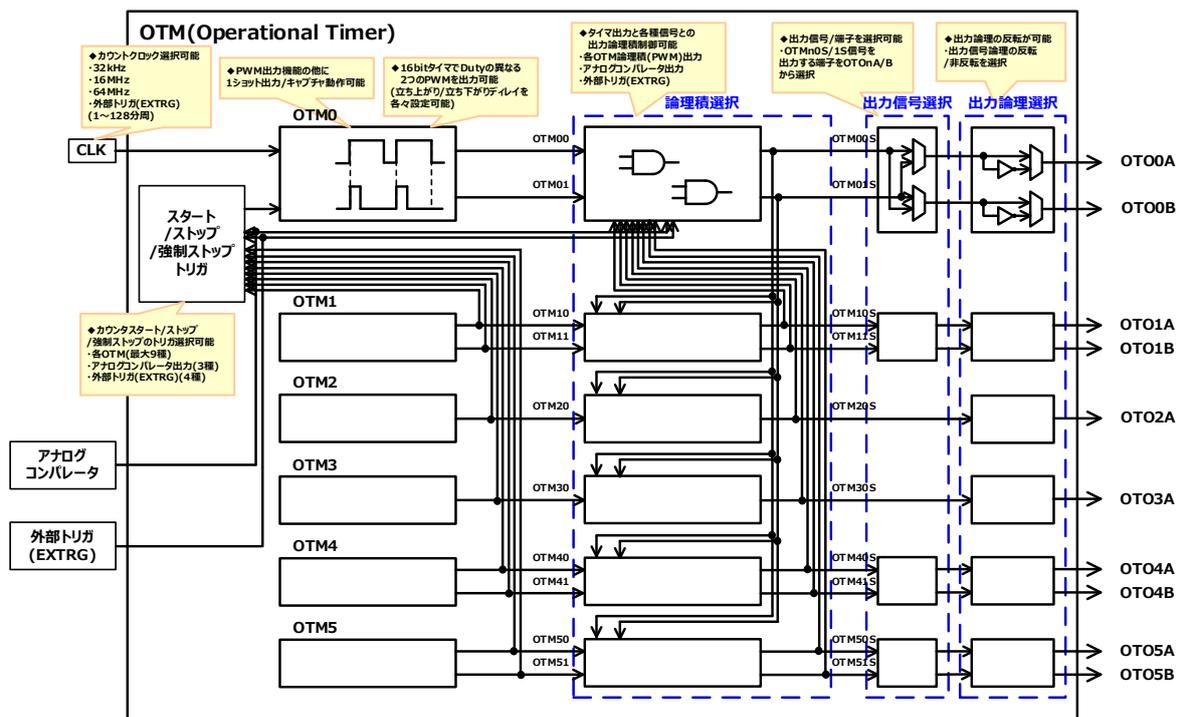


Figure 8-1. オペレーショナルタイマ概略図

### 8.2 バックコンバータの PWM 制御

本バックコンバータの PWM 制御について説明します。各タイムは Table 8-1 及び Figure 8-2 に示す役割を持ちます。各タイムの出力端子については Table 5. ML62Q2035 端子一覧を参照してください。

Table 8-1. 各オペレーショナルタイムの役割

チャンネル	PWM出力	内部信号	出力信号	
			OTOnA	OTOnB
OTM0	OTM00	ソフトスタート制御	ソフトスタート制御	-
	OTM01	Max Dutyクロック	-	Max Dutyクロック
OTM1	OTM10	-	ハイサイドゲート制御	-
	OTM11	未使用	未使用	未使用
OTM2	OTM20	-	ローサイドゲート制御	-
OTM3	OTM30	OCP保護	-	-
OTM4	OTM40	L→H デッドタイム生成	未使用	未使用
	OTM41	未使用	未使用	未使用
OTM5	OTM50	未使用	未使用	未使用
	OTM51	未使用	未使用	未使用

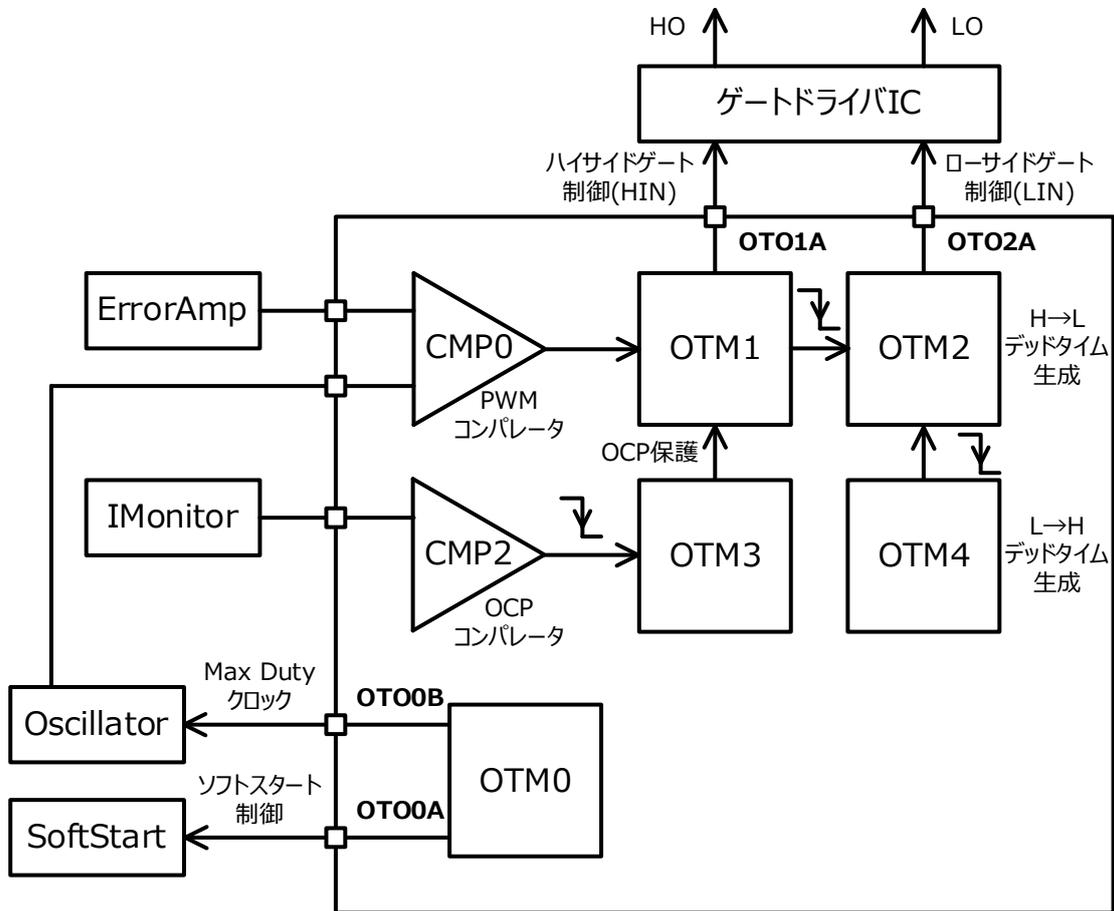


Figure 8-2. 各オペレーショナルタイムの役割

Figure 8-3 にてバックコンバータの PWM 制御のタイミングチャートを示します。

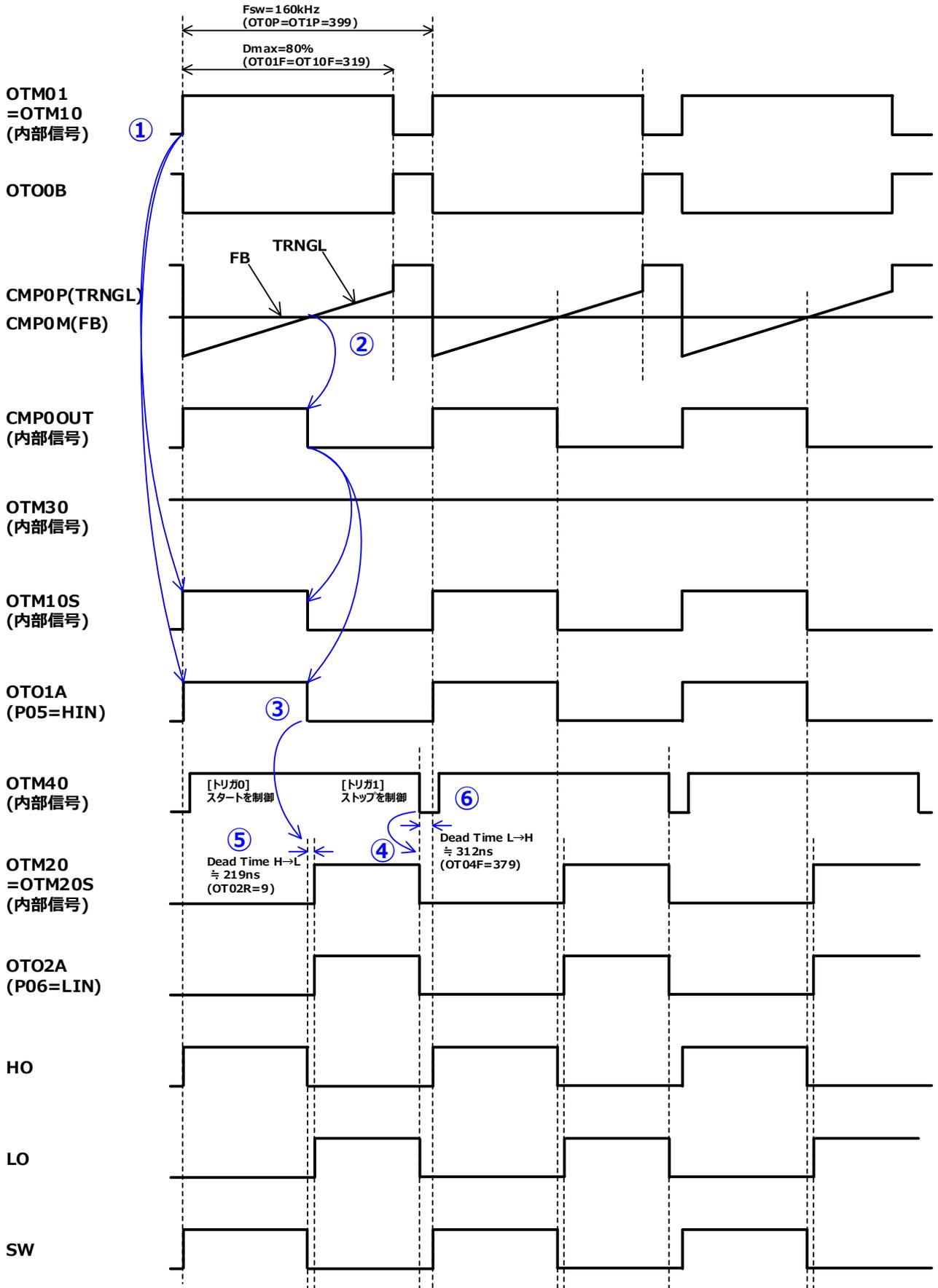


Figure 8-3. PWM 制御タイミングチャート

以下にて、各オペレーショナルタイムの動作を説明します。

OTM0: 出力信号 OTO0A にてソフトスタート制御を行い、OTO0B にて三角波生成用の Max Duty クロックを出力します。

OTO0A のソフトスタート制御については Figure 8-3 のタイミングチャート含まれていないため 4.7 ソフトスタート をあわせて参照してください。4.7 記載のように、起動中(状態遷移制御モジュール Startup\_0 から Startup\_4)にて端子内部の PMOS の ON Duty を制御することにより出力をソフトスタートさせています。OTO0A は他の信号とは論理積を取らず、OTM00=OTM00S が出力されます。OTM00 はスイッチング周波数 fsw で動作します。

OTO0B については 4.8 三角波生成部及び PWM コンバータ をあわせて参照してください。OTO0B は他の出力と論理積を取らず、スイッチング周波数 fsw、Max Duty Dmax の OTM01=OTM01S(内部信号)を論理反転した信号が出力されます。

OTM1: 出力信号 OTO1A にてハイサイド FET 制御を行います。

OTO1A は、スイッチング周波数 fsw、Max Duty Dmax の OTM10(内部信号)と PWM コンバータ(CMP0)の出力 CMP0OUT(内部信号)、OCP 検出を示す OTM30(内部信号 OCP 未検出時 H)との論理積を取った OTM10S が出力されます。(OTM30 の挙動については、後述の OTM3 の項を参照ください。) ①クロックサイクルの開始(OTM10 の立ち上がり)から OTM10 は H を出力し、ハイサイド FET が ON します。その後②TRNGL の電圧が上昇し FB 電圧を超えると CMP0OUT は L となり、論理積をとっている OTM10S も L となってハイサイド FET が OFF します。

OTO1B は未使用です。

OTM2: 出力信号 OTO2A にてローサイド FET 制御を行います。

OTO2A は、他の信号とは論理積を取らず OTM20=OTM20S が出力されます。OTM20 はハイサイド FET 制御信号 OTO1A の立ち下がりエッジとデッドタイム生成用内部信号 OTM40 の立ち下がりエッジをトリガとして動作します。③OTO1A の立ち下がりエッジでタイマカウントをスタートし、ハイサイド FET OFF→ローサイド FET ON 時のデッドタイム( $T_{deadHL}$ )設定時間をカウントした後 OTO2A に H を出力し、④OTM40 の立ち下がりエッジで L を出力します。⑤ $T_{deadHL}$  は OTM20 のタイマカウントスタートから立ち上がりタイミングまでの遅延時間で決まり、DTimeHoffLon\_CTset(デフォルト値 9)にて設定されます。 $T_{deadHL}$  は、DTimeHoffLon\_CTset の値から以下の計算式で求められます。

$$T_{deadHL} = \frac{1}{f_{PLL}} \times (DTimeHoffLon\_CTset + 5) = \frac{1}{64MHz} \times (9 + 5) \cong 219ns$$

OTM3: 出力信号は未使用です。内部信号 OTM30 にて OCP 動作時の制御を行います。

OTO3A は未使用です。OCP 検出を示す内部信号 OTM30 は、通常動作時は H を出力しますが OCP コンバータ(CMP2)出力 CMP2OUT(内部信号)の立ち下がりエッジをトリガとしてカウントを強制停止し L を出力します。OTM1 の出力信号 OTO1A は OTM30 と論理積を取ることにより OCP 検出時に L となり、出力 FET を OFF させます。

OTM4: 出力信号は未使用です。内部信号 OTM40 にてローサイド FET OFF→ハイサイド FET ON 時のデッドタイムを生成します。

OTO4A 及び OTO4B は未使用です。OTM40(内部信号)のスイッチング周波数は fsw で、1 クロックサイクルの末尾にデッドタイム(L 出力区間)を持ちます。OTM40 の立ち下がりエッジで OTO2A 出力を L にすることにより、ローサイド FET OFF→ハイサイド FET ON 時のデッドタイム( $T_{deadLH}$ )を設けることができます。⑥ $T_{deadLH}$ は OTM40 の立ち下がりタイミングから次クロックが開始してハイサイド FET が ON するまでの遅延時間で決まり、DTimeLoffHon\_CTset(デフォルト値 379)にて設定されます。 $T_{deadLH}$  はスイッチング周期のカウント数と OTM40 立ち下がりタイミングのカウント数の差分となり、DTimeLoffHon\_CTset の値から以下の計算式で求められます。

$$T_{deadLH} = \frac{1}{f_{PLL}} \times (FswCTset - DTimeLoffHon\_CTset) = \frac{1}{64MHz} \times (399 - 379) \cong 312ns$$

OTM5: 出力信号及び内部信号ともに未使用です。

9 アプリケーション回路図

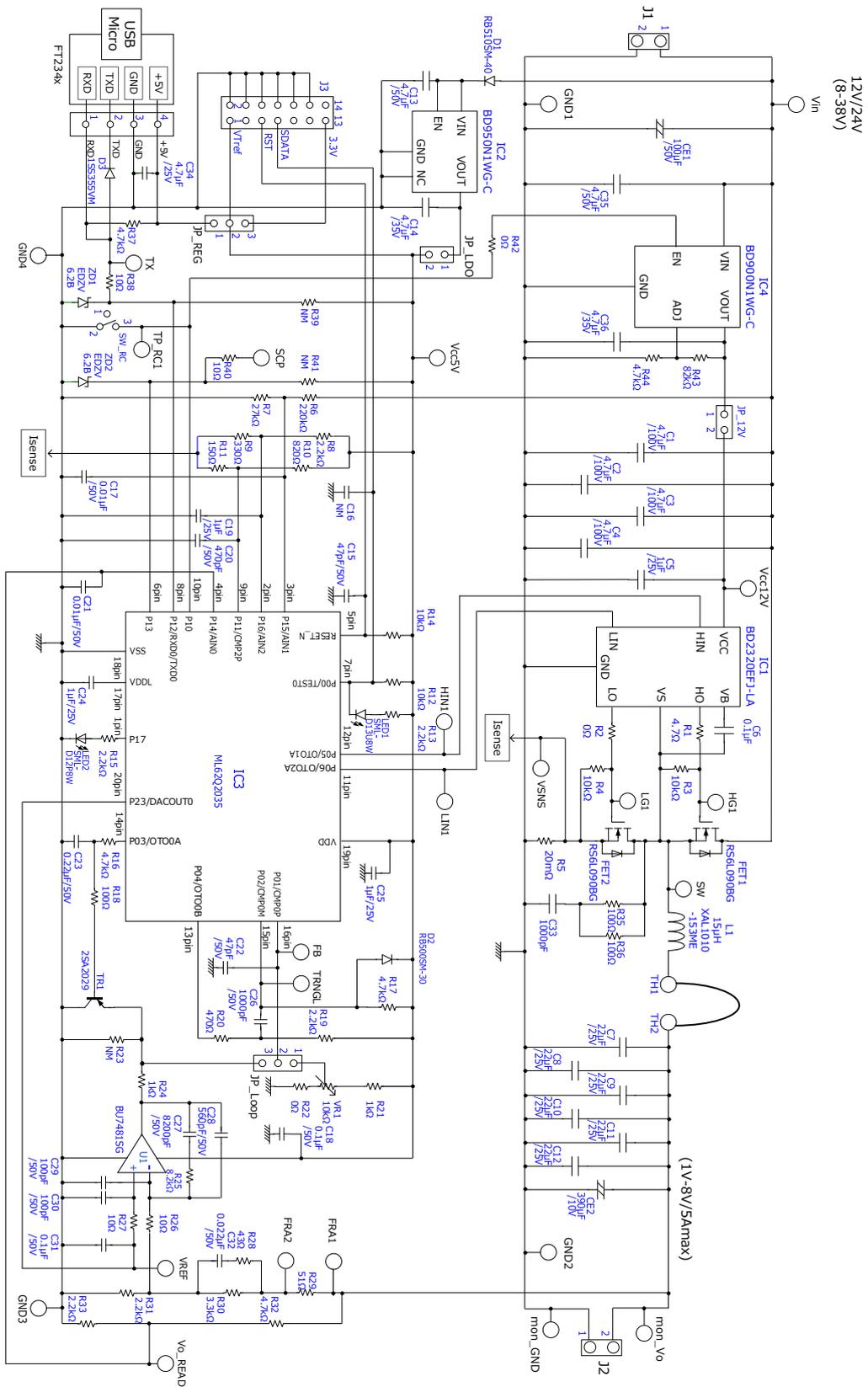


Figure 9-1. バックコンバータ アプリケーション回路図

## 10 参考ドキュメント

- [1] 66UG089J、Rev002、同期整流 降圧 DCDC コンバータ 評価ボード LogiCoA001-EVK-001
- [2] 66AN144J、Rev001、スイッチング電源設計を革新するアナログ・デジタル融合制御
- [3] FJDL62Q2000-03、ML62Q2000 グループ データシート
- [4] FJUL62Q2045-03、ML62Q2033/2035/2043/2045 ユーザーズマニュアル
- [5] 66AN146J、Rev.001、スイッチング電源制御マイコン用オペレーティングシステム “RMOS”
- [6] TSZ02201-0BDB0A400100-1-1 Rev.001、車載向け 45V 耐圧 150mA 固定/可変出力 Nano Cap™ LDO レギュレータ BD9xxN1-C シリーズ データシート
- [7] TSZ02201-0RAR0G200370-1-1 Rev.001、低電圧高速 CMOS オペアンプ BU7481G BU7481SG データシート
- [8] TSZ02201-0Q2Q0A800840-1-1、Rev.001、高速ハイサイド/ローサイド ゲートドライバ BD2320EFJ-LA データシート
- [9] 66AN148J、Rev.001、RMOS 搭載通信機能及び GUI 作成環境解説書

## 改訂履歴

Date	Revision Number	Description
2024. 4. 15	001	新規作成
2024.10.31	002	p.15 4.14 LED インジケータの記述を追加 p.16 Figure 6-1 タイトル更新 p.17 誤記訂正 p.21 誤記訂正 p.24 Figure 8-3 更新 p.25 $T_{deadHL}$ の算出式を訂正 p.27 [1]のバージョン番号を更新

### ご 注 意

- 1) 本資料に記載されている内容は、ロームグループ(以下「ローム」という)製品のご紹介を目的としています。ローム製品のご使用にあたりましては、別途最新のデータシートもしくは仕様書を必ずご確認ください。
- 2) ローム製品は、一般的な電子機器(AV機器、OA機器、通信機器、家電製品、アミューズメント機器等)もしくはデータシートに明示した用途への使用を意図して設計・製造されています。したがって、極めて高度な信頼性が要求され、その故障や誤動作が人の生命、身体への危険もしくは損害、またはその他の重大な損害の発生に関わるような機器または装置(医療機器、輸送機器、交通機器、航空宇宙機器、原子力制御装置、燃料制御、カーアクセサリーを含む車載機器、各種安全装置等)(以下「特定用途」という)にローム製品のご使用を検討される際は事前にローム営業窓口までご相談くださいますようお願いいたします。ロームの文書による事前の承諾を得ることなく、特定用途にローム製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、ロームは一切その責任を負いません。
- 3) 半導体を含む電子部品は、一定の確率で誤動作や故障が生じる場合があります。万が一、誤動作や故障が生じた場合であっても、人の生命、身体、財産への危険または損害が生じないように、お客様の責任においてフェールセーフ設計など安全対策をお願いいたします。
- 4) 本資料に記載された応用回路例やその定数などの情報は、ローム製品の標準的な動作や使い方を説明するためのもので、実際に使用する機器での動作を明示的にも黙示的にも保証するものではありません。したがって、お客様の機器の設計において、回路やその定数及びこれらに関連する情報を使用する場合には、外部諸条件を考慮し、お客様の判断と責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、ロームは一切その責任を負いません。
- 5) ローム製品及び本資料に記載の技術を輸出または国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続きを行ってください。
- 6) 本資料に記載された応用回路例などの技術情報及び諸データは、あくまでも一例を示すものであり、これらに関する第三者の知的財産権及びその他の権利について権利侵害がないことを保証するものではありません。また、ロームは、本資料に記載された情報について、ロームもしくは第三者が所有または管理している知的財産権その他の権利の実施、使用または利用を、明示的にも黙示的にも、お客様に許諾するものではありません。
- 7) 本資料の全部または一部をロームの文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを固くお断りいたします。
- 8) 本資料に記載の内容は、本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。ローム製品のご購入及びご使用に際しては、事前にローム営業窓口で最新の情報をご確認ください。
- 9) ロームは本資料に記載されている情報に誤りがないことを保証するものではありません。万が一、本資料に記載された情報の誤りによりお客様または第三者に損害が生じた場合においても、ロームは一切その責任を負いません。



ローム製品のご検討ありがとうございます。  
より詳しい資料やカタログなどをご用意しておりますので、お問い合わせください。

## ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.co.jp/contactus>