

TPD4207F
小型コンプレッサモータ駆動応用回路

リファレンスガイド

RD042-RGUIDE-02

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

1.	はじめに	4
2.	概要	5
3.	応用回路例、部品表	8
3.1.	応用回路例	8
3.2.	部品表	9
4.	回路設計	10
4.1.	TPD4207F	10
4.1.1.	過電流保護	10
4.1.2.	過熱保護	11
4.1.3.	減電圧保護	12
4.1.4.	タイミングチャート、真理値表	12
4.1.5.	その他設計上の注意	14
4.2.	TMPM4K0FSADUG	14
4.2.1.	ベクトル制御	15
4.2.2.	センサレスベクトル制御における起動から定常状態までの制御段階	15
4.2.3.	アドバンスベクトルエンジンプラス (A-VE+)	16
4.2.4.	DC 電圧検出回路	16
4.2.5.	電流検出回路	17
4.2.6.	その他設計上の注意	19
4.3.	TLP2362	19

5.	素子概要	21
5.1.	TPD4207F	21
5.1.1.	概要	21
5.1.2.	外観と端子配置	21
5.1.3.	内部回路ブロック図	22
5.1.4.	端子説明	23
5.2.	TMPM4K0FSADUG	24
5.2.1.	概要	24
5.2.2.	端子配置	24
5.2.3.	内部回路ブロック図	25
5.2.4.	端子説明	26
5.3.	TLP2362	27
5.3.1.	概要	27
5.3.2.	外観と端子配置	27
5.3.3.	内部回路図	28
5.3.4.	機能説明	28

1. はじめに

当社高耐圧IPD (Intelligent Power Device) は、最大定格250～600Vのスイッチング素子を内蔵し、ブラシレスDCモータを直接駆動可能な製品です。モータ出力、駆動方式 (矩形波駆動、正弦波駆動)、アプリケーションのAC入力電圧等の仕様に応じた製品をラインアップしています。

高耐圧IPDラインアップはこちらから → [Click Here](#)

表1.1に最大定格600Vのスイッチング素子を内蔵した三製品 (TPD4152F、TPD4204F、TPD4207F) の応用上の比較一覧を示します。これらの製品は電源品質不安定な地域でもAC200V系入力機器への応用が可能です。

表 1.1 600V 系製品比較

製品	TPD4152F	TPD4204F	TPD4207F
最大定格	600V/0.7A	600V/2.5A	600V/5A
適用モータ出力	30W以下	60W以下	60W以下
駆動方式	矩形波駆動	正弦波駆動	正弦波駆動
推奨PWMコントローラ	不要	TB6634FNG	TMPM4K0FSADUG
ターゲットアプリケーション	ファン	ファン	コンプレッサ
リファレンスデザイン	Click Here	Click Here	Click Here
リファレンスガイド	RD017-RGUIDE-02	RD018-RGUIDE-02	本ドキュメント

TPD4207FはTPD4204Fと同様に正弦波駆動方式に対応しています。また、搭載MOSFETのオン抵抗を 0.44Ω (標準) と、TPD4204Fに比べ大幅に低減し、電流定格アップ (5A) を実現した製品です。電流定格アップにより、起動時の電流が大きくTPD4204Fでは駆動できなかったコンプレッサモータへの応用を可能にしました。なお、出力部素子の最大定格は600Vであり、電源品質が不安定な地域においてもAC200V系入力機器への応用が可能です。

本ドキュメントは、TPD4207Fのコンプレッサモータへの応用例を紹介します。

2. 概要

モータは電気エネルギーを機械エネルギーに変換する装置の総称です。コイルに電流が流れることで発生する磁界が、磁石と引き合ったり、反発することで回転子（ロータ）を回す作用があり、電流を流す方向を制御することによってどちらか一方へ回転します。

ブラシ付DC（直流）モータは、制御性が良く小型化可能なため近年最も多く使われているモータです。しかしながら、整流子とブラシの機械的な接触により電流の向きを制御するため、接点の磨耗により寿命が短いという欠点があります。一方ブラシレスDCモータはブラシと整流子を使わずにロータ位置を検出し、その位置情報に基づき制御回路で電流を制御します。機械的接点を持たないために、長寿命で変換損失が少ないというメリットがあり、産業機器だけでなく情報機器や家電など幅広い用途に使われています。表2.1にブラシ付DCモータとブラシレスDCモータの比較を示します。

表 2.1 ブラシ付 DC モータとブラシレス DC モータ

	ブラシ付 DC モータ	ブラシレス DC モータ
効率	60～80%	80%以上
サイズ	小	小
制御回路	不要	要
寿命	短	長
ブラシ	有	無
用途	玩具、小型家電	エアコン、洗濯機、冷蔵庫、小型家電

上述の通り、ブラシレスDCモータでは回転を制御するためにロータ位置を検出する必要があります。位置検出には主に、モータ内にホールセンサを内蔵しロータの磁界を観測する方法と、ロータが回転することで発生する誘起電圧変化により検出する方法の2通りがあります。ホールセンサを使用せず誘起電圧変化で位置検出する方法を、一般にセンサレス駆動と呼びます。センサレス駆動はモータ内にセンサを取り付ける必要がないため、モータの小型化が可能になりますが、低速動作時は発生する誘起電圧が小さくモニタが困難なため、低速運転ができないというデメリットがあります。表2.2にセンサレス駆動の主なメリット・デメリットを示します。コンプレッサモータは、内部が高温となるためホールセンサを取り付けることが出来ず、センサレス駆動が必要となります。

表 2.2 センサレス駆動ブラシレス DC モータのメリット・デメリット

メリット	デメリット
<ul style="list-style-type: none"> ●センサ不要のため小型軽量化が可能 ●センサとロータ位置の相対関係の調整が不要のため、モータ組立加工・調整の省力化が可能 ●センサ、センサからの配線が不要のため安価 	<ul style="list-style-type: none"> ●誘起電圧がモニタできないため低速運転が不可 ●演算により位置検出を行うためセンサ方式より応答性が悪い

ブラシレスDCモータは変換損失が小さいため、高効率動作が可能です。昨今の家電製品等の更なる省エネ要求の高まりにより効率の良いブラシレスDCモータの普及が進んでいます。特に三相ブラシレスモータを駆動する6個のスイッチング素子の通電方式には、大きく矩形波駆動（120度通電）と正弦波駆動（180度通電）の二通りあります。各相の通電期間が120度になるようにモータ巻き線電流を矩形波状に制御するのが矩形波駆動方式です。一方、各相の通電期間が180度になるようにモータ巻き線電流を正弦波状に制御するのが、正弦波駆動方式です。図 2.1に矩形波駆動方式、正弦波駆動方式の相電流波形の例を示します。

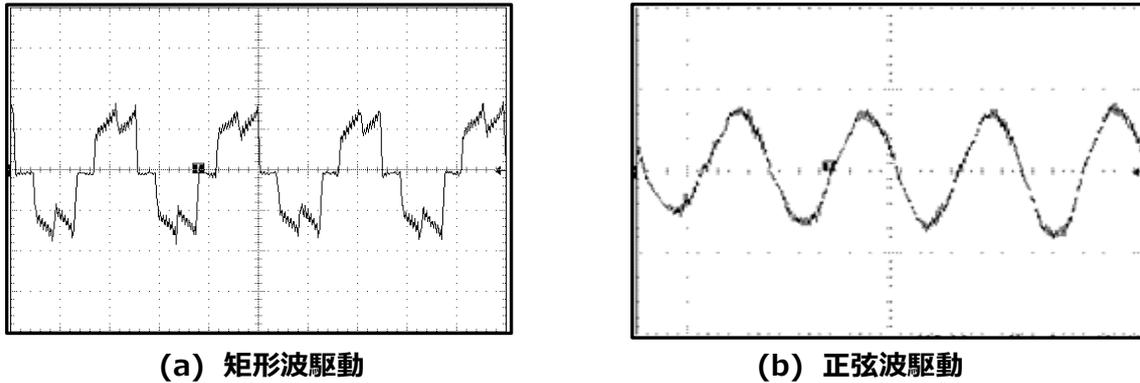


図 2.1 相電流波形例

表 2.3 に矩形波駆動（120度通電）、正弦波駆動（180度通電）各方式の特徴を示します。

表 2.3 矩形波駆動、正弦波駆動の特徴

	矩形波駆動（120度通電）	正弦波駆動（180度通電）
騒音/振動	△	○
効率	△	○
設計容易性	制御が容易、実装面積小	制御が複雑、実装面積大
その他	IPDのみで構成可能	PWMコントローラ/マイコン+IPDで構成

TPD4207Fは、レベルシフト型ハイサイドドライバ、ローサイドドライバ、出力パワーMOSFETを内蔵し、PWMコントローラIC及びマイコンからの制御信号により出力60W以下のブラシレスDCモータを直接駆動できる製品です。過熱保護回路・過電流保護回路・減電圧保護回路の各種保護回路、外部からの信号により強制的にシャットダウンする機能を内蔵しており、周辺回路の設計省力化・システムの小型化・システム全体の安全性や信頼性の向上に貢献します。最大定格600VのパワーMOSFETを内蔵し、500V定格のTPD4206Fよりもオン抵抗が低く高効率化が可能です。本製品は小型面実装タイプの新規パッケージSSOP30を採用し、制御基板を小型・薄型に構成可能であり設計自由度向上、機器の小型化に貢献します。

TMPM4K0FSADUGは正弦波駆動方式のベクトル制御に適したマイコン製品です。TPD4207Fと組み合わせブラシレスDCモータの正弦波駆動回路を実現します。ベクトル制御を用いた一周期ごとの制御により、ブラシレスDCモータを高効率・低騒音・低振動で駆動させることが可能です。その他、ソフトウェアにより、保護機能の設定、回転数制御等を調整可能であり、自由度の高い設計を実現します。

本リファレンスガイドは、TPD4207FとTMPM4K0FSADUGを組み合わせそれらの特徴を最大限に発揮するための正弦波駆動方式のブラシレスDCモータ駆動の応用、設計上の注意事項について解説していきます。

TPD4207FとTMPM4K0FSADUGの詳細は、製品データシートをご参照願います。

TPD4207Fのデータシートダウンロードはこちらから → [Click Here](#)

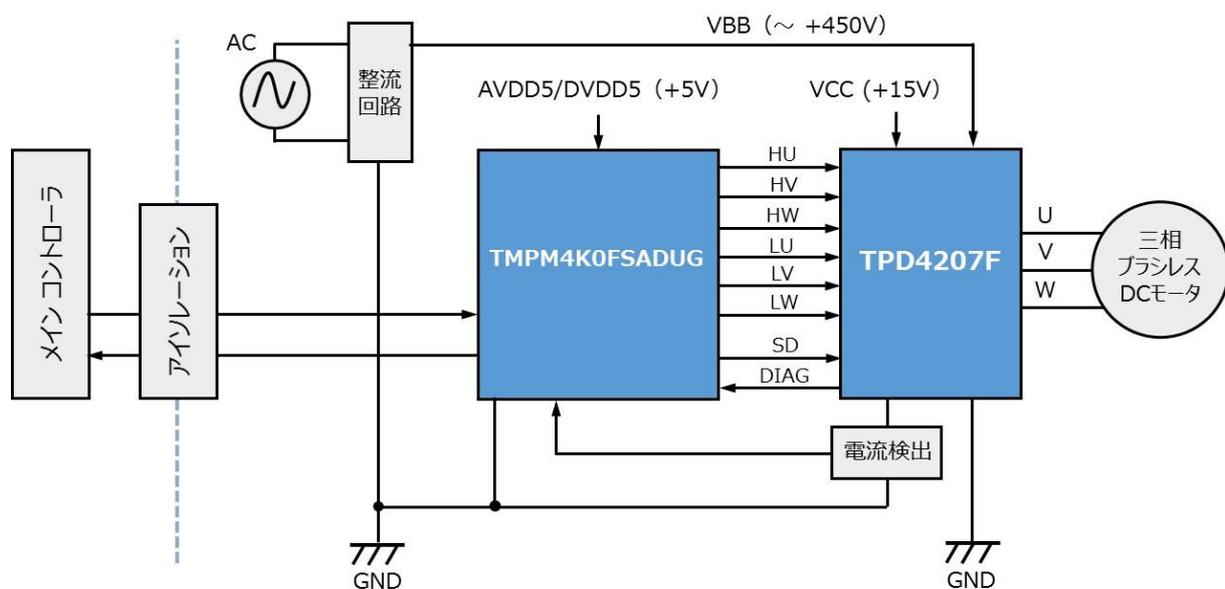
TMPM4K0FSADUGのデータシートダウンロードはこちらから → [Click Here](#)

ターゲットアプリケーション：

60W 以下の小型コンプレッサモータを使用するアプリケーション

- 冷蔵庫
- 浄水機
- 除湿器 等

回路例：



3. 応用回路例、部品表

3.1. 応用回路例

図 3.1 は、コンプレッサモータ制御回路となります。

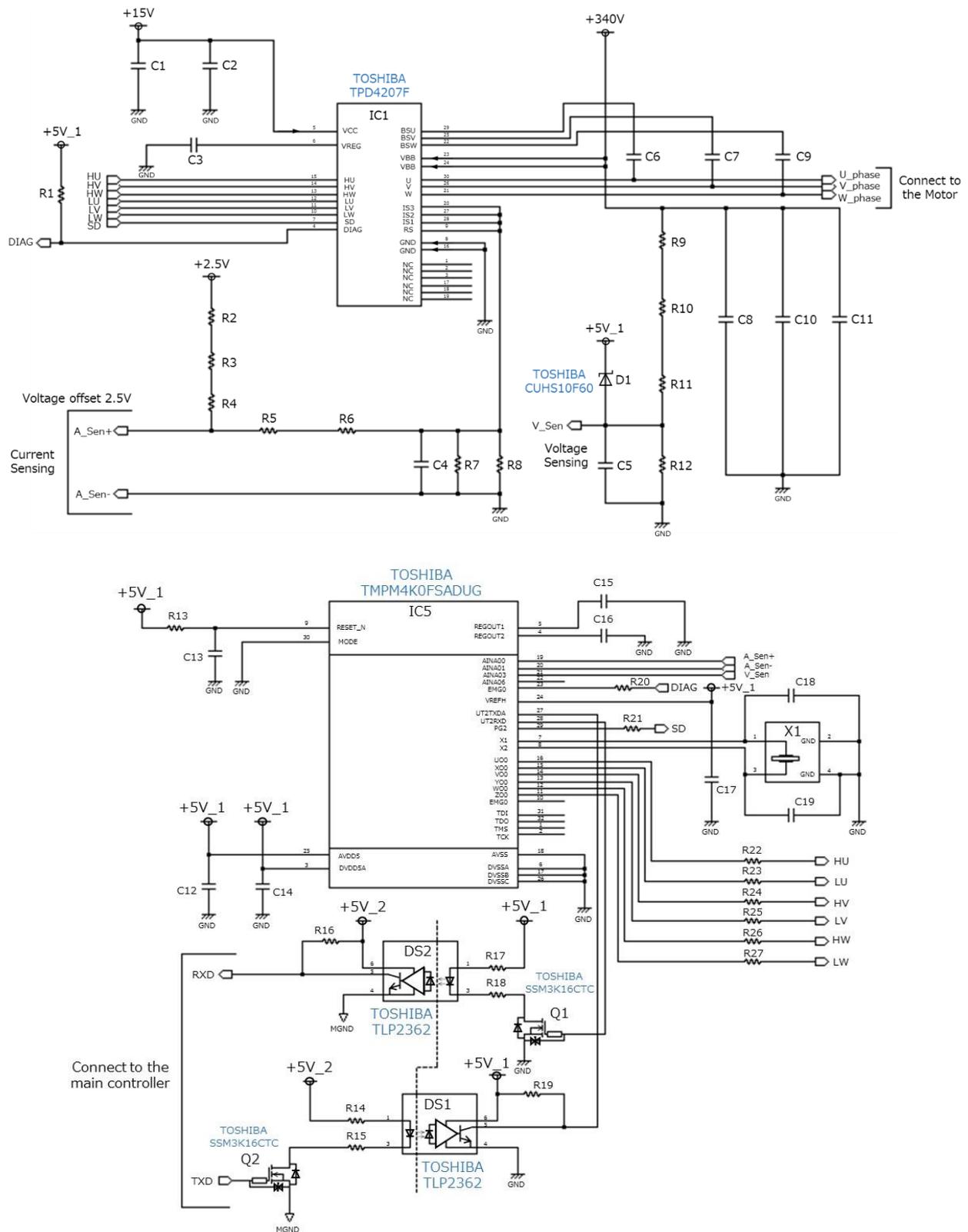


図 3.1 コンプレッサモータ制御応用回路

3.2. 部品表

表 3.1 部品表

アイテム	部品	数量	値	部品名	メーカー	説明	パッケージ名称	標準寸法 mm (inch)
1	IC1	1	-	TPD4207F	TOSHIBA	インテリジェントパワーデバイス 600V	SSOP30	20.0 × 14.2
2	IC5	1	-	TMPM4K0FSADUG	TOSHIBA	TXZ4 マイクロコントローラ	LQFP32	7.0 × 7.0
3	Q1、Q2	2	-	SSM3K16CTC	TOSHIBA	小信号 MOSFET	CST3C	0.8 × 0.6
4	D1	1	-	CUHS10F60	TOSHIBA	ショットキバリアダイオード	US2H	2.5 × 1.4
5	DS1、DS2	2	-	TLP2362	TOSHIBA	フォトカプラ (IC 出力)	SO6	3.7 × 7.0
6	X1	1	10MHz	FCX-04C	River Eletec	水晶振動子	-	3.2 × 2.5
7	R1、R13	2	10kΩ	-	-	カーボン、±5%	-	1.0 × 0.5 (0402)
8	R2、R6	2	150Ω	-	-	カーボン、±1%	-	1.0 × 0.5 (0402)
9	R3	1	100Ω	-	-	カーボン、±1%	-	1.0 × 0.5 (0402)
10	R4	1	11kΩ	-	-	カーボン、±1%	-	1.0 × 0.5 (0402)
11	R5	1	3.6kΩ	-	-	カーボン、±1%	-	1.0 × 0.5 (0402)
12	R7、R8	2	240mΩ	SL1TTER240F	KOA	電流検出抵抗器、 1W、±1%	-	6.3 × 3.2 (2512)
13	R9、R10、R11	3	180kΩ	-	-	カーボン、±1%	-	1.6 × 0.8 (0603)
14	R12	1	3.3kΩ	-	-	カーボン、±1%	-	1.6 × 0.8 (0603)
15	R14、R15、 R17、R18	4	180Ω	-	-	カーボン、±1%	-	1.0 × 0.5 (0402)
16	R16、R19	2	2.7kΩ	-	-	カーボン、±5%	-	1.0 × 0.5 (0402)
17	R20、R21、 R22、R23、 R24、R25、 R26、R27	8	100Ω	-	-	カーボン、±5%	-	1.0 × 0.5 (0402)
18	C1、C2、C3	3	4.7μF	-	-	セラミック、25V、±10%	-	2.0 × 1.2 (0805)
19	C6、C7、C9	3	2.2μF	-	-	セラミック、25V、±10%	-	2.0 × 1.2 (0805)
20	C4、C5	2	10nF	-	-	セラミック、25V、±10%	-	3.2 × 1.6 (1206)
21	C8、C10	2	1μF	-	-	ポリプロピレンフィルム、 650V、±10 %	DIP	-
22	C11	1	1nF	-	-	ポリプロピレンフィルム、 650V、±10 %	DIP	-
23	C12、C14	2	2.2μF	-	-	セラミック、10V、±10%	-	1.0 × 0.5 (0402)
24	C13、C17	2	100nF	-	-	セラミック、25V、±10%	-	1.0 × 0.5 (0402)
25	C15、C16	2	4.7μF	-	-	セラミック、10V、±10%	-	1.0 × 0.5 (0402)
26	C18、C19	2	5pF	-	-	セラミック、50V、±5%	-	1.0 × 0.5 (0402)

4. 回路設計

本応用回路の回路設計のポイントを示します。

4.1. TPD4207F

TPD4207F は、三相 PWM 信号 (UVWXYZ) 入力に応じ内蔵された 6 個の出力 MOSFET をオン・オフし、ブラシレス DC モータを駆動します。TPD4207F を使用した回路設計のポイントを示します。

4.1.1. 過電流保護

ロータロックなどにより TPD4207F 内の出力 MOSFET に過度な電流が印加される異常状態から素子を保護する機能です。RS 端子にて電流検出抵抗で発生する電圧値をモニタし、これが電流制限動作電圧 ($V_R=0.5V$ (標準)) を超えると電流制限動作遅延時間 ($Dt=3\mu s$ (標準)) の後、入力信号によらず全出力 MOSFET をオフ状態にし、電流の上昇を抑えます。保護状態の解除は入力信号を全て L レベルとすることで行います。過電流保護動作開始時、正常動作復帰時に DIAG 端子出力を反転します。

今回の回路例における定数設定に関しては、保護動作開始電流が最小となるのは V_R が最小 ($=0.46V$) で、検出抵抗値がバラツキ範囲内で最大 (R_S (max)) の時です。保護動作開始電流を $3.6A$ とすると次式が成り立ちます。

$$R_S = 0.46 \div 3.6 = 0.128(\Omega)$$

R_S (max) は $128m\Omega$ と算出されます。±1% 精度の抵抗を使用すると、 R_S (typ) は $126.7m\Omega$ となりますので、 R_S (typ)= $120m\Omega$ を選定します ($R_4=240m\Omega$ 、 $R_5=240m\Omega$ の並列接続)。この R_S (typ)= $120m\Omega$ で過電流保護動作の設定値を改めて計算します。

保護動作開始電流標準 ($I_{limit}(typ)$) :

$$I_{limit}(typ) = V_R(typ) \div R_S(typ)$$

が成り立つので

$$I_{limit}(typ) = 0.5 \div 0.12 = 4.17(A)$$

となります。

保護動作開始電流最大 ($I_{limit}(max)$) :

$$I_{limit}(max) = V_R(max) \div R_S(min)$$

が成り立つので

$$I_{limit}(max) = 0.54 \div 0.1188 = 4.55(A)$$

となります。

保護動作開始電流最小 ($I_{limit}(min)$) :

$$I_{limit}(min) = V_R(min) \div R_S(max)$$

が成り立つので

$$I_{limit}(min) = 0.46 \div 0.1212 = 3.80(A)$$

となります。

上記計算結果より、過電流保護動作開始電流は最大電流 3.6A と TPD4207F の最大定格電流 5A の間に入っていますので、R4=240mΩ、R5=240mΩは適切であることが確認できます。

4.1.2. 過熱保護

外部要因若しくは TPD4207F 内の出力 MOSFET の発熱により TPD4207F 内の素子が過度に温度上昇した異常状態から素子を保護する機能です。TPD4207F 内の温度検出部の温度が上昇し過熱保護温度 ($T_{SD} = 135^\circ\text{C}$ (最小)、 185°C (最大)) に達すると、入力信号によらず全出力 MOSFET をオフ状態にします。この保護機能はヒステリシス ($\Delta T_{SD} = 50^\circ\text{C}$ (標準)) を持ち、過熱保護動作後は検出温度が「 $T_{SD} - \Delta T_{SD}$ 」に下がると、入力信号に従った動作に復帰します。発熱源と温度検出部との位置・距離によっては、過熱保護動作を開始した時点では発熱部の温度は過熱保護温度以上になっていることもあります。過熱保護動作開始時、正常動作復帰時に DIAG 端子出力を反転します。

4.1.3. 減電圧保護

V_{CC} 電圧、 V_{BS} 電圧が下がり、TPD4207F 内の出力 MOSFET が十分にオンできない状態で動作する異常状態から素子を保護する機能です。 V_{CC} 電圧が低下し V_{CC} 減電圧保護動作電圧 ($V_{CCUVD}=11V$ (標準)) に達すると、入力信号によらず全出力 MOSFET をオフ状態にします。この保護機能はヒステリシスを持ち、 V_{CC} 電圧が V_{CC} 減電圧保護復帰電圧 ($V_{CCUVR}=11.5V$ (標準)) に達すると、入力信号に従った動作に復帰します。 V_{CC} 減電圧保護動作電圧開始時、正常動作復帰時に DIAG 端子出力を反転しますが、 V_{CC} 電圧値が 7V 以下の場合には反転しないことがあります。また、 V_{BS} 電圧が低下し V_{BS} 減電圧保護動作電圧 ($V_{BSUVD}=10V$ (標準)) に達すると、入力信号によらず全出力 MOSFET をオフ状態にします。この保護機能はヒステリシスを持ち、 V_{BS} 電圧が V_{BS} 減電圧保護復帰電圧 ($V_{BSUVR}=10.5V$ (標準)) に達すると、入力信号に従った動作に復帰します。 V_{BS} 減電圧保護動作では DIAG 端子出力を反転しません。

4.1.4. タイミングチャート、真理値表

PWM 信号入力に対するタイミングチャートを図 4.1 に、真理値表 4.1 を表に示します。

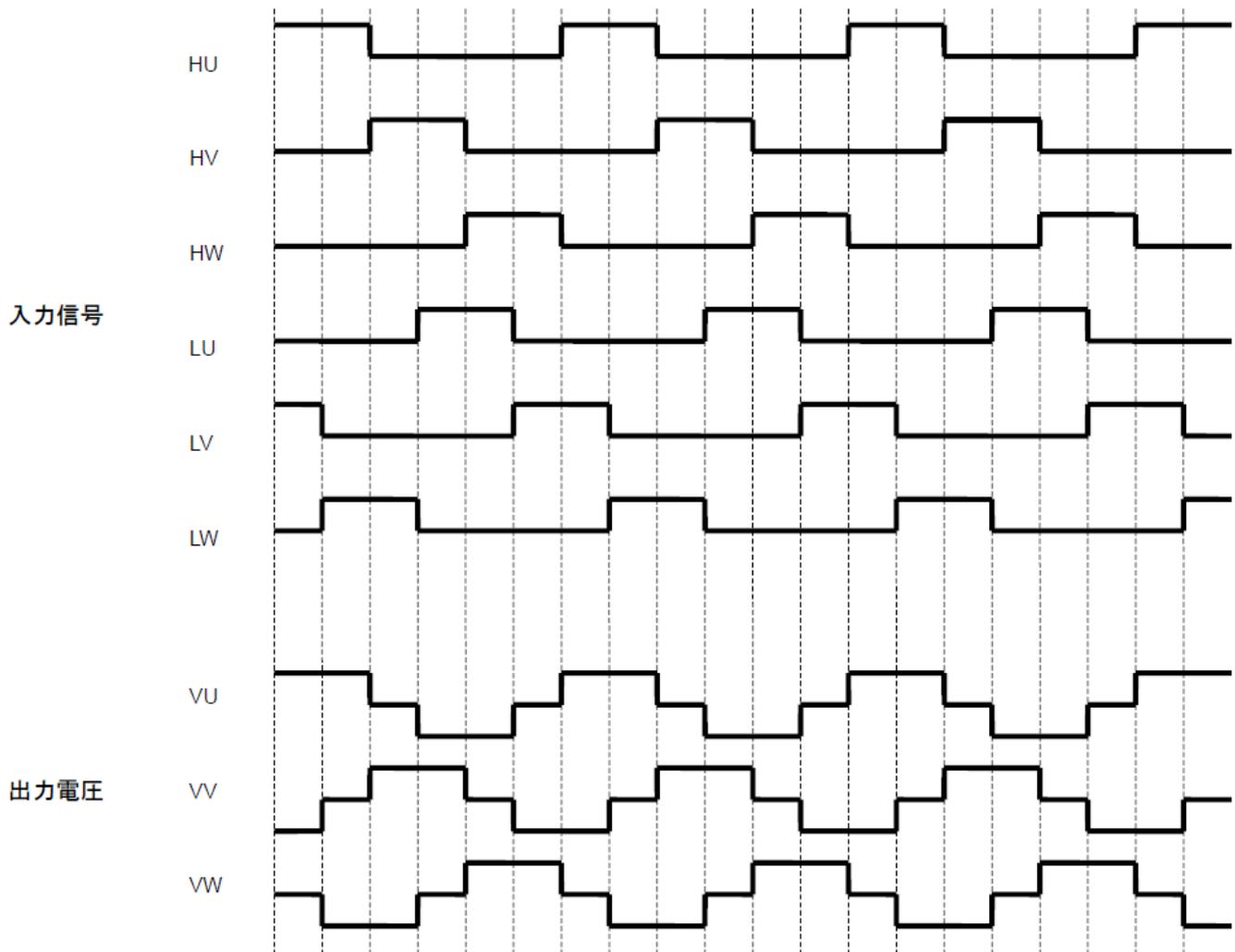


図 4.1 TPD4207F タイミングチャート

表 4.1 TPD4207F 真理値表

モード	入 力							ハイサイド			ローサイド			DIAG
	HU	HV	HW	LU	LV	LW	SD	U 相	V 相	W 相	U 相	V 相	W 相	
正常	H	L	L	L	H	L	H	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
	H	L	L	L	L	H	H	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
	L	H	L	L	L	H	H	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
	L	H	L	H	L	L	H	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
	L	L	H	H	L	L	H	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
	L	L	H	L	H	L	H	OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF
過電流	H	L	L	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	H	L	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	H	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	H	L	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	L	H	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
過熱	L	L	H	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	H	L	L	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	H	L	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	H	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	H	L	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
Vcc 減電圧	L	L	H	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	L	H	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	H	L	L	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	H	L	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	H	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	L	H	L	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
Vbs 減電圧	L	L	H	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
	H	L	L	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
	H	L	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
	L	H	L	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
	L	H	L	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
	L	L	H	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
Irregular (注)	L	L	H	L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
	H	L	L	H	L	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
	L	H	L	L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
SD	X	X	X	X	X	X	L	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON

X: Don't care

注: ハイサイド及びローサイド入力が入オンとなった場合は、出力信号はオフとなります。

4.1.5. その他設計上の注意

- 絶対最大定格は複数の定格の、どの一つの値も瞬時たりとも超えてはならない規格です。複数の定格のいずれに対しても超えることができません。絶対最大定格を超えると破壊、損傷および劣化の原因となり、破裂・燃焼による傷害を負うことがあります。
- 過電流の発生や素子の故障の場合に大電流が流れ続けないように、適切な電源ヒューズを使用してください。素子は絶対最大定格を超えた使い方、誤った配線、および配線や負荷から誘起される異常パルスノイズなどが原因で破壊することがあり、この結果、素子に大電流が流れ続けることで、発煙・発火に至ることがあります。破壊における大電流の流出入を想定し、影響を最小限にするため、ヒューズの容量や溶断時間、挿入回路位置などの適切な設定が必要となります。
- モータの駆動など、コイルのような誘導性負荷がある場合、ON 時の突入電流や OFF 時の逆起電力による負極性の電流に起因するデバイスの誤動作あるいは破壊を防止するための保護回路を接続してください。素子が破壊した場合、傷害を負ったり発煙・発火に至ることがあります。保護機能が内蔵されている素子には、安定した電源を使用してください。電源が不安定な場合、保護機能が動作せず、素子が破壊することがあります。素子の破壊により、傷害を負ったり発煙・発火に至ることがあります。
- V_{CC} 電圧が安定した状態で入力信号をコントロールしてください。 $(V_{BB}$ 電源と V_{CC} 電源の順番はどちらでも構いません) 電源を立ち下げる場合、モータが回転中に V_{BB} ラインをリレーなどで切り離してしまうような場合には V_{BB} 電源への電流回生ルートが遮断され、IC が破壊する恐れがありますので十分ご注意ください。
- モータ動作状態から停止や低速に速度変更しますと、モータの逆起電力の影響でモータ電源に電流が回生されるため、電源を昇圧する恐れがあります。高速から低速（停止）に速度変更する際は注意してください。昇圧によりパワー素子が破損しないよう、スピードダウンをゆっくりするなど、実験により確認し制御してください。

4.2. TPM4K0FSADUG

コンプレッサモータを駆動するために TPD4207F と組み合わせて使用するマイコンには以下の機能が必要です。

- 三相 PWM 信号 (UVWXYZ) 出力機能
- TPD4207F の異常診断出力 (DIAG) 信号をモニタし、異常時に PWM 出力をオフする機能
- ベクトル制御を用いたセンサレス駆動機能（コンプレッサモータ内には位置検出用のホールセンサが取り付けられないため）
- 様々なタイプのコンプレッサモータを駆動するための各種パラメータ調整機能
- メインマイコンからの速度指令を受けるための通信機能
- ベクトル制御の実行に必要な浮動小数点演算機能
- 4ch 以上の AD コンバータを内蔵

これらを満足する製品として TPM4K0FSADUG を選択しました。コンプレッサモータ駆動において特徴的なベクトル制御とその他回路設計に関し解説します。

4.2.1. ベクトル制御

DC ブラシレスモータを正弦波駆動するためにはホールセンサ等によるロータ位置の検出が必要ですが、コンプレッサモータの場合は高温になることでホールセンサの取り付けができません。このため、ベクトル制御を用いたセンサレス駆動を行います。また、ベクトル制御には高頻度の複雑な計算とモータに合わせたパラメータ調整が必要なため、浮動小数点演算機能を搭載したマイコンを用いて制御するのが一般的です。

ベクトル制御とは、モータの U、V、W 三相の電流をモニタしてトルク成分と磁界成分の二相に変換し、ロータの位置に応じ最適に制御する方法です。電流モニタには、各相にシャント抵抗を配置して三相の電流を直接モニタする方法（3 シャント方式）と、三相の下アームのソース端子を接続した後にシャント抵抗を配置しモニタするタイミングを調整して各相の電流をモニタする方法（1 シャント方式）があります。本応用回路例では 1 シャント方式を採用しています。ベクトル制御はトルク変動に応じたきめ細かい制御が可能であり、一般的に高効率で低振動・低騒音な駆動が可能です。

4.2.2. センサレスベクトル制御における起動から定常状態までの制御段階

ベクトル制御でロータ位置を推定するには、出力電圧、入力電流、モータインダクタンス等から誘起電圧を算出して用いますが、誘起電圧はある速度以上に達しないと値が小さいため、位置推定することができません。そのために、強制転流という手法を用いてモータを起動させた後に通常制御に切り替えています。

停止から定常状態までは 5 つの制御段階（ステージ）があり、モータを起動して定常（センサレス）回転させるには以下の各ステージを順次切り替えて実施します。

停止 (Stop) ステージ：

モータへの出力が停止している状態。外部負荷により回転している場合も含まれます。

位置決め (Initposition、直流励磁とも言う) ステージ：

モータのコイルに電流を流し、鉄心に磁束を発生させ、ロータの位置を任意の位置に固定し、スムーズに強制転流に移行させます。位置決め時間が経過した後、強制転流ステージに移行します。

強制転流 (Force) ステージ：

センサレス制御では、誘起電圧を利用してロータ位置を推定します。停止～低速では十分な誘起電圧を得られないため、このステージで誘起電圧がモニタできるまで回転速度を上昇させます。

強制転流→定常切替え (Change_up) ステージ：

強制転流から定常（センサレス）状態への切り替え処理を行います。強制転流から定常への切替え時間が経過した場合に、定常ステージに移行します。

定常 (Steady) ステージ：

推定されたロータの位置に応じて駆動します。また目標速度になるよう、三相 PWM の Duty を制御します。

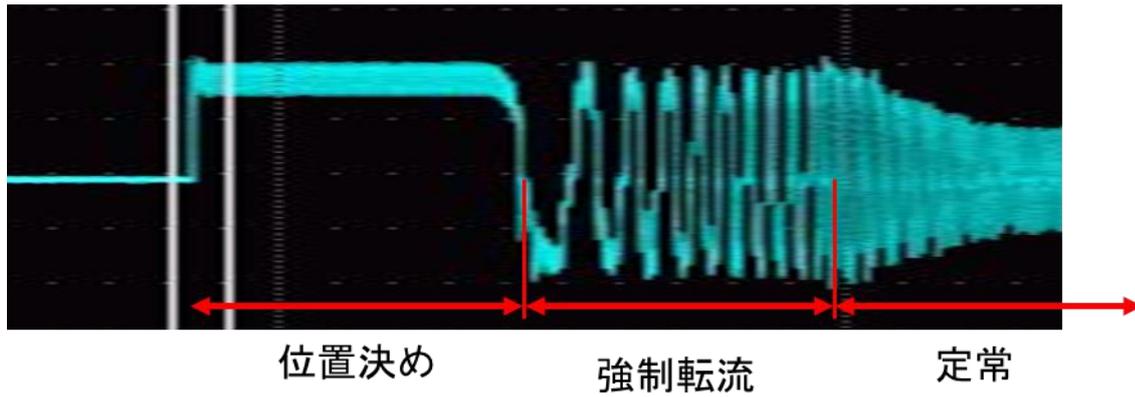


図 4.2 起動時モータ電流波形

4.2.3. アドバンスベクトルエンジンプラス (A-VE+)

TMPM4K0FSADUG は、アドバンスベクトルエンジンプラスと呼ばれるベクトル制御処理の一部を組み込んだ周辺機能を実装しています。ベクトル制御では複雑な演算を行う必要がありますが、それらを CPU 上でソフトウェア処理すると CPU に大きな負担が掛かります。アドバンスベクトルエンジンプラスが演算の一部を受け持つことで CPU の処理を大幅に軽減します。

ベクトル制御、ベクトルエンジンの詳細は当社 web 上の解説をご参照ください。

ベクトル制御、ベクトルエンジンの解説はこちらから → [Click Here](#)

4.2.4. DC 電圧検出回路

モータに印加される電圧は、TMPM4K0FSADUG の内部処理により決定されますが、その電圧を PWM 波形として出力する際に Duty100%時の電圧 V_{BB} を常に測定する必要があります。最もコストを抑えた検出回路は抵抗による分圧方式であり、本応用回路では、抵抗による検出方式を採用します。

モータ印加電圧を 100~600V で設計しています。 V_{BB} 電圧を R9,R10,R11,R12 で分圧し TMPM4K0FSADUG へ入力している V_{sen} と TMPM4K0FSADUG 内のオペアンプゲインを $VGAIN_VBB$ とすると、下記計算式で算出されます。

$$V_{sen} = V_{BB} \times \left(\frac{R12}{R9 + R10 + R11} \right) \times VGAIN_VBB$$

ここでオペアンプコントロールレジスタを「0000」に設定し、 $VGAIN_VBB=2$ とした際の V_{sen} と V_{BB} の関係を図 4.3 に示します。

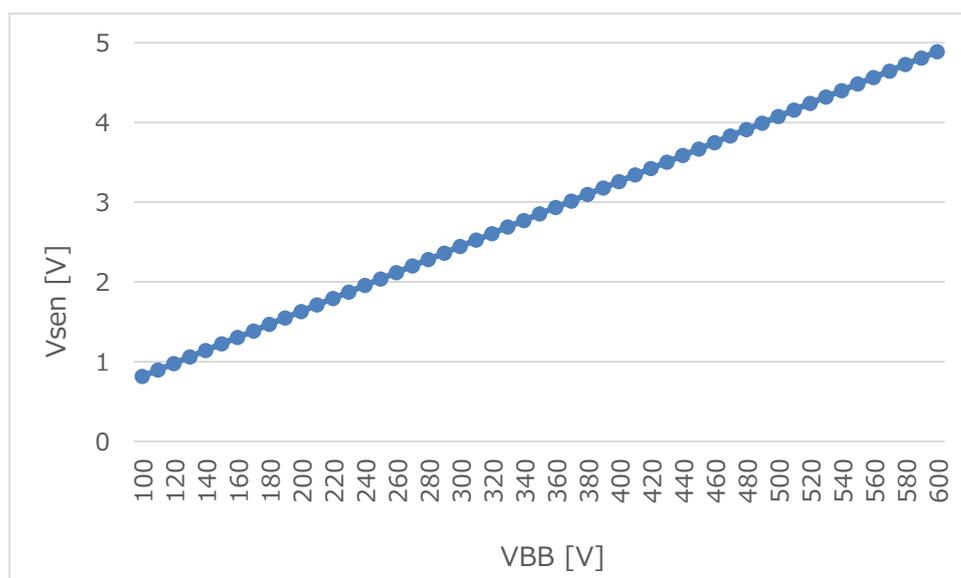


図 4.3 印加電圧 (V_{BB}) と V_{sen}

TMPM4K0FSADUG が過電圧状態を検出しシステムをシャットダウンすることで安全性向上を図ることができます。各アプリケーションごとに異常電圧の設定をしてください。実使用時には、部品誤差を考慮する必要があり、印加電圧にノイズがある場合には、ノイズ対策も必要となります。

4.2.5. 電流検出回路

モータの回転数や回転方向等のモータ駆動に必要な要素を計算するため、モータに流れる電流を TMPM4K0FSADUG で検出する必要があります。モータ制御を効率よく行うには電流検出を精度良く行うことが重要です。最もコストを抑えた検出方式は電流検出抵抗による検出ですが、各アプリケーション、部品配置制限により、クランプ方式等を使用する場合もあります。各アプリケーションに適した電流検出方式を選択する必要がありますが、本検出回路では、電流検出抵抗による検出方式を記載します。

TMPM4K0FSADUG 内のオペアンプゲイン $VGAIN_I$ は下記計算式で算出されます。

$$VGAIN_I = R2'/R1'$$

$R1', R2'$: 設定抵抗

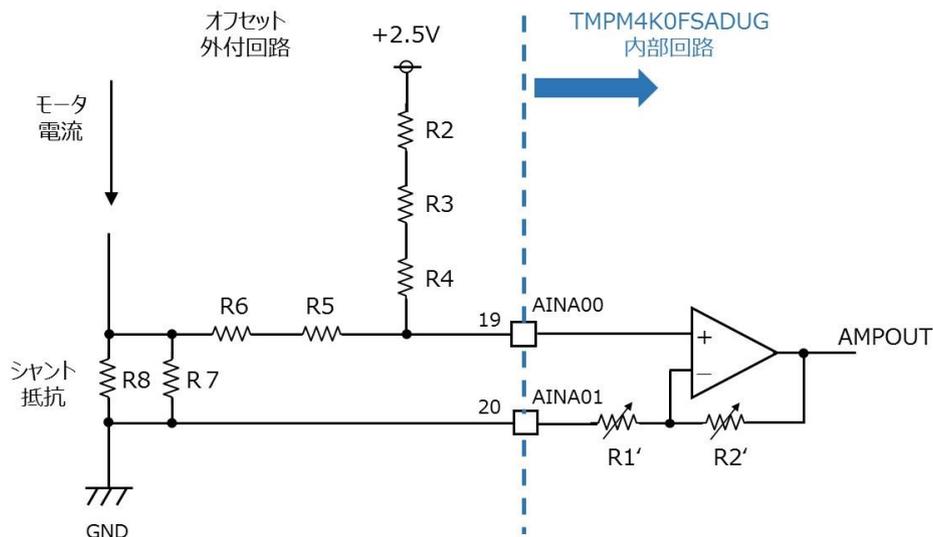


図 4.4 電流検出回路 (TMPM4K0FSADUG 内部構成図)

TMPM4K0FSADUG 内部での R1', R2' の設定値は表 4.2 になります。

※R1' = R2 + R3 + R4、R2' = R5 + R6 となるように抵抗値を設定してください。

表 4.2 ゲイン設定と内部抵抗定数

ゲイン設定	R1' [Ω]	R2' [Ω]
1	7500	7500
1.5	6000	9000
2	5000	10000
2.5	4286	10714
3	3750	11250
3.5	3333	11667
5	2500	12500
6	2143	12857
7	1875	13125
9	1500	13500
11	1250	13750
14	1000	14000

※R1', R2' は標準値です。

モータに流れる電流を 5A を最大電流として設計しています。0 A = V_{ref} となるように V_{ref} = 2.5V としています。

シャント抵抗 R7,R8 の両端電圧 $V_{I_{sen}}$ を検出しており, TPM4K0FSADUG 内のオペアンプゲイン設定 (VAGIN_I) を 3 倍に設定した場合、検出電流は下記計算式で算出されます。

$$V_{I_{sen}} = (A_{Sen+}) - (A_{Sen-}) \times VGAIN_I + V_{ref}$$

$$VGAIN_I = 3$$

計算式より、算出した $V_{I_{sen}}$ とモータ電流 I_{motor} の関係を図 4.5 に示します。

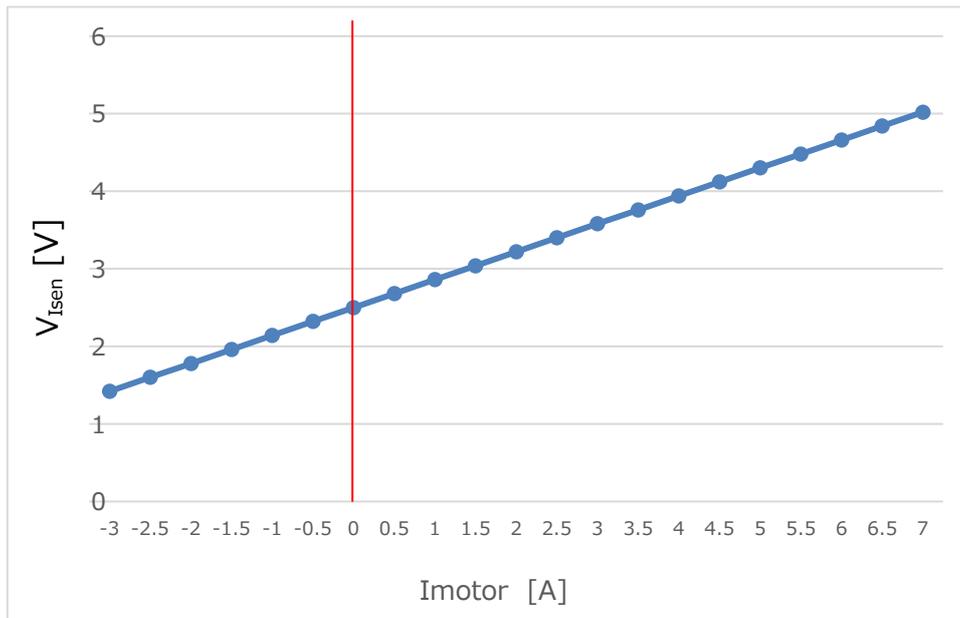


図 4.5 モータ電流と $V_{I_{sen}}$

4.2.6. その他設計上の注意

- 電源投入時、TPM4K0FSADUG の内部は不定状態であり、電源投入後電源電圧がパワーオンリセットが有効となる電圧に上昇するまで各端子の状態は不定です。パワーオンリセットが有効となり各端子の状態が確定してから動作を開始するよう願います。

4.3. TLP2362

TPM4K0FSADUGとメインコントローラ間の信号伝達を、フォトカプラTLP2362を介して行います。信号伝達するために、R14,R15,R17,R18の選定を行います。表4.3に示す推奨動作条件範囲内で設計を行います。

表4.3 TLP2362推奨動作範囲

項目	記号	注記	最小	標準	最大	単位
入力オン電流	$I_{F(ON)}$	(注1)	7.5	—	14	mA
入力オフ電圧	$V_{F(OFF)}$		0	—	0.8	V
電源電圧	V_{CC}	(注2)	2.7	3.3/5.0	5.5	
動作温度	T_{opr}	(注2)	-40	—	125	°C

RXD 側と TXD 側の発光側制限抵抗については回路構成が同じことから、 R_{IN} ($=R_{14}+R_{15}=R_{17}+R_{18}$) は以下の式で表されます。

$$R_{IN} = \frac{V_{CC} - V_F - V_{OL1}}{I_F}$$

$$V_{CC} = V5R0 = V5R0_CON$$

R_{IN} が最も小さくなるのは V_{CC} (min), V_F (max), V_{OL1} (max) の条件なのでこれらを求めます。 V_{CC} はLDOを使用することを想定し、 $5V \pm 3\%$ とします。

$$V_{CC}(min) = 5V \times 0.97 = 4.85V$$

となります。

ワースト条件でもLED入力電流が入力オン電流の最小値7.5mA以上となるような抵抗 R_{IN} を選定します。 V_F は $T_a=25^\circ C$ で最大値1.7Vです。 V_F が最大となるのは最低温度条件下($T_j=-40^\circ C$)であり、 V_F 温度係数が $-2mV/^\circ C$ なので1.83Vとなります。この条件で R_{IN} (max) を計算すると、

$$R_{IN}(max) = \frac{V_{CC1} - V_F}{I_F} = \frac{(4.85 - 1.83)V}{0.0075A} = 402\Omega$$

従って今回は $R_{IN}=360\Omega$ を選択します。ここで標準電流と最大電流を確認しておきます。標準電流は V_{CC1} (typ) = 5V, V_F (typ) = 1.6V, V_{OL1} (typ) = 0Vとして、

$$I_F(typ) = 9.44mA$$

となります。

最大電流は V_{CC1} (max) = 5.15V, V_F (min) = 1.25Vとして、

$$I_F(typ) = \frac{(5.15 - 1.25)V}{360\Omega} = 10.83mA$$

となります。

5. 素子概要

5.1. TPD4207F

5.1.1. 概要

TPD4207F は、SSOP30pin パッケージに、定格 600V のパワー-MOSFET を内蔵した高圧ブラシレス DC モータドライバで、3 シャント抵抗電流検出対応品です。レベルシフト型ハイサイドドライバ、ローサイドドライバ、過熱保護回路、減電圧保護回路、過電流保護、シャットダウン (SD) 機能、出力 MOSFET を内蔵しており、マイコンによる制御信号入力により、直接ブラシレス DC モータを可変速駆動できます。

- 高圧大電流ピンと制御ピンをパッケージの両側に分離しています。
- 3 シャント抵抗電流検出に対応しています。
- ブートストラップ方式によりハイサイドドライバ電源が不要です。
- ブートストラップダイオードを内蔵しています。
- デッドタイムを最小 1.4 μ s に設定が可能で正弦波駆動用に最適です。
- パワー-MOSFET による三相フルブリッジを内蔵しています。
- 過電流保護、過熱保護、シャットダウン (SD) 機能、減電圧機能を内蔵しています。
- 7V (標準) のレギュレータを内蔵しております。
- パッケージ : SSOP30 (20.2mm × 14.5mm × 2.2mm) (最大)

5.1.2. 外観と端子配置

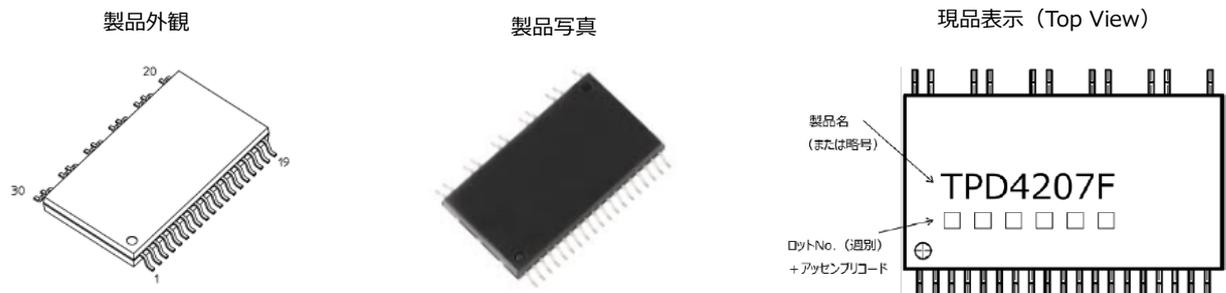


図 5.1 TPD4207F の製品外観と現品表示

5.1.3. 内部回路ブロック図

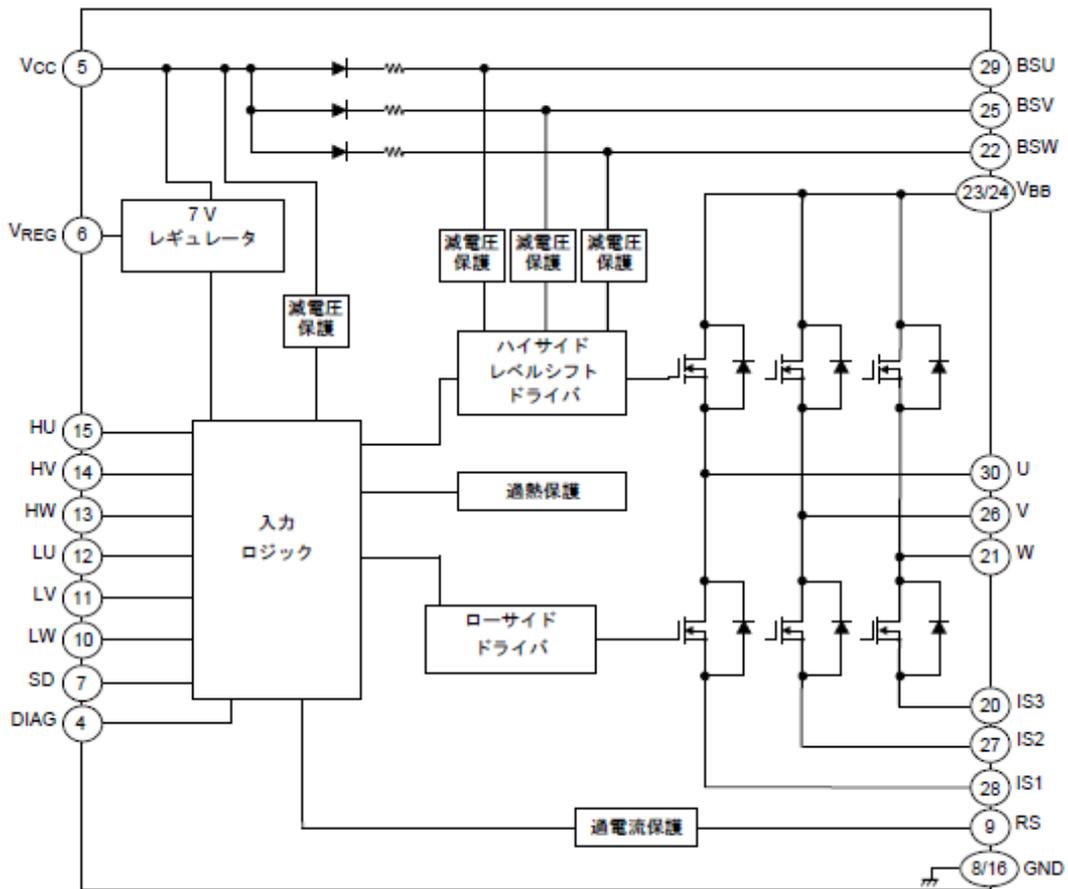


図 5.2 TPD4207F の内部回路ブロック図

5.1.4. 端子説明

表 5.1 TPD4207F の端子説明

端子番号	端子記号	端子の説明
1	NC	未使用端子。内部のチップには接続されていません。
2	NC	未使用端子。内部のチップには接続されていません。
3	NC	未使用端子。内部のチップには接続されていません。
4	DIAG	オープンドレイン構造の診断出力端子で、抵抗でプルアップする。異常時にオンします。
5	V _{CC}	制御電源端子。(15 V (標準))
6	V _{REG}	7 V レギュレータ出力端子。
7	SD	外部保護入力端子。("L"アクティブ、入力ヒステリシスなし)
8	GND	接地端子。
9	RS	過電流検出端子。
10	LW	W 相ローサイド側の MOSFET の制御端子。1.5 V 以下で OFF、2.5 V 以上で ON します。
11	LV	V 相ローサイド側の MOSFET の制御端子。1.5 V 以下で OFF、2.5 V 以上で ON します。
12	LU	U 相ローサイド側の MOSFET の制御端子。1.5 V 以下で OFF、2.5 V 以上で ON します。
13	HW	W 相ハイサイド側の MOSFET の制御端子。1.5 V 以下で OFF、2.5 V 以上で ON します。
14	HV	V 相ハイサイド側の MOSFET の制御端子。1.5 V 以下で OFF、2.5 V 以上で ON します。
15	HU	U 相ハイサイド側の MOSFET の制御端子。1.5 V 以下で OFF、2.5 V 以上で ON します。
16	GND	接地端子。
17	NC	未使用端子。内部のチップには接続されていません。
18	NC	未使用端子。内部のチップには接続されていません。
19	NC	未使用端子。内部のチップには接続されていません。
20	IS3	W 相 MOSFET ソース端子。
21	W	W 相出力端子。
22	BSW	W 相ブートストラップコンデンサ接続端子。
23	V _{BB}	高圧電源端子。
24	V _{BB}	高圧電源端子。
25	BSV	V 相ブートストラップコンデンサ接続端子。
26	V	V 相出力端子。
27	IS2	V 相 MOSFET ソース端子。
28	IS1	U 相 MOSFET ソース端子。
29	BSU	U 相ブートストラップコンデンサ接続端子。
30	U	U 相出力端子。

5.2. TMPM4K0FSADUG

5.2.1. 概要

TMPM4K0FSADUG は、モータ制御用マイコン TMPM4K グループ (1) の 32 ピンパッケージ品です。Arm[®] Cortex[™]-M4 (FPU 機能搭載) の 32bit CPU を最大動作周波数 80MHz で動作します。また、64 KB フラッシュ ROM にベクトル制御と PFC 制御を実現するハードウェア群 (A-VE+, 12bit ADC、A-PMD) を搭載し、モータ、モータ家電、産業機器に幅広く使用可能です。

- 高速 Arm[®] Cortex[™] -M4 (FPU 機能搭載)
- モータ制御に適した機能を搭載
 - AD コンバータ、プログラマブルモータドライバ、ベクトルエンジン、エンコーダ
- モータ制御に適した 5V 電圧動作に対応

5.2.2. 端子配置

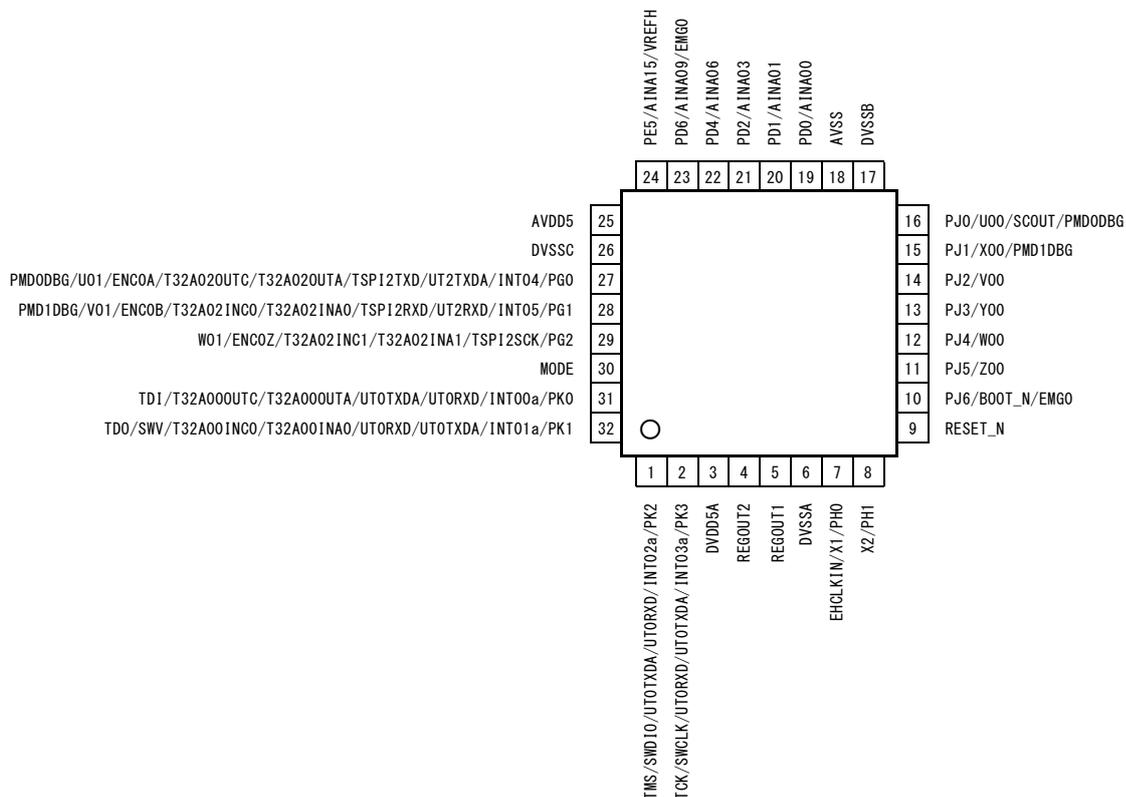


図 5.3 TMPM4K0FSADUG の端子配置

5.2.3. 内部回路ブロック図

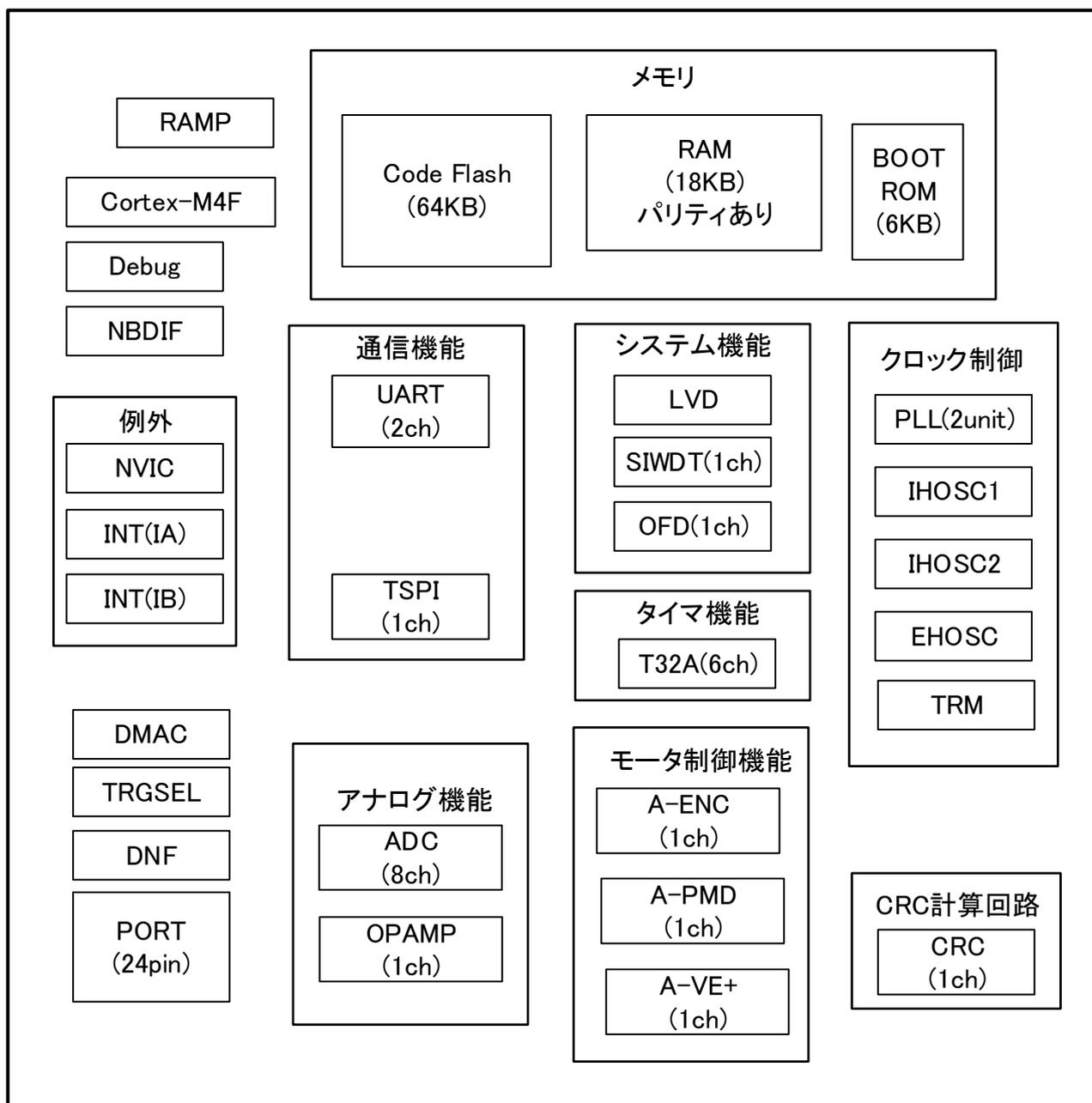


図 5.4 TPM4K0FSADUG の内部回路ブロック図

5.2.4. 端子説明

表 5.2 周辺端子名称と機能

ピン番号	周辺機能	ピン名称	Input Output Power GND	機能
1	JTAG	TMS	Input	JTAGテストモード選択入力端子（本回路図では未使用）
2	JTAG	TCK	Input	JTAGシリアルクロック入力端子（本回路図では未使用）
3	電源	DVDD5A	Power	デジタル用電源端子（5V）
4	電源	REGOUT2	Input	レギュレータ用コンデンサ接続端子（4.7uF）
5	電源	REGOUT1	Input	レギュレータ用コンデンサ接続端子（4.7uF）
6	電源	DVSSA	GND	デジタル用GND端子
7	制御端子	X1	Input	高速発振子接続端子
8	制御端子	X2	Output	高速発振子接続端子
9	制御端子	RESET_N	Input	リセット信号入力端子
10	アドバンスト プログラマブル モータ制御回路 (A-PMD)	EMG0	Input	異常検出入力端子（本回路図では未使用）
11		ZO0	Output	Z相出力端子
12		WO0	Output	W相出力端子
13		YO0	Output	Y相出力端子
14		VO0	Output	V相出力端子
15		XO0	Output	X相出力端子
16		UO0	Output	U相出力端子
17	電源	DVSSB	GND	デジタル用GND端子
18	電源	AVSS	GND	アナログ用GND端子、アナログ基準GND端子(VREFL)と兼用です
19	アナログデジタル コンバータ (ADC)	AINA00	Input	アナログ入力端子
20		AINA01	Input	アナログ入力端子
21		AINA03	Input	アナログ入力端子
22		AINA06	Input	アナログ入力端子（本回路図では未使用）
23	アドバンスト プログラマブル モータ制御回路 (A-PMD)	EMG0	Input	異常検出入力端子
24	電源	VREFH	Input	アナログ基準電源端子
25	電源	AVDD5	Power	アナログ用電源端子、アナログ基準電源端子(VREFH)と兼用です
26	電源	DVSSC	GND	デジタル用GND端子
27	UART	UT2TXDA	Output	非同期シリアル通信データ出力端子 TXD
28		UT2RXD	Input	非同期シリアル通信データ入力端子 RXD
29	I/O	PG2	Output	シャットダウン出力端子
30	制御端子	MODE	Input	モード端子（必ず"Low"レベルに固定してください）
31	JTAG	TDI	Input	JTAGシリアルデータ入力端子（本回路図では未使用）
32	JTAG	TDO	Output	JTAGシリアルデータ出力端子（本回路図では未使用）

- 注 1) DVDD5A,DVDD5B,DVDD5C は、端子が無い場合を除き外部で同電位の電圧を印加してください。
- 注 2) DVSSA,DVSSB,DVSSC は、端子が無い場合を除き外部で同電位の電圧を印加してください。
- 注 3) REGOUT1,REGOUT2 は、DVDD5A,DVDD5B,DVDD5C や DVSSA,DVSSB,DVSSC とショートしないでください。
- 注 4) コンデンサ容量は電気的特性を参照してください。
- 注 5) DVDD5,AVDD5 は同電位で使用してください。

5.3. TLP2362

5.3.1. 概要

TLP2362 は高光出力の GaAs 赤外発光ダイオードと高利得・高速の集積回路受光チップを組み合わせた SO6 パッケージのフォトカプラです。本製品は周囲温度 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境下で電源電圧 $2.7\text{ V}\sim 5.5\text{ V}$ の動作を保証しており、出力はオープンコレクタになっています。また、受光側にシールドを施し、 $\pm 20\text{ kV}/\mu\text{s}$ の高い瞬時コモンモード除去を与えており、入出力間の耐ノイズ性に優れています。

- インバータロジック出力タイプ (オープンコレクタ出力タイプ)
- 動作温度範囲： $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 電源電圧： $2.7\text{ V}\sim 5.5\text{ V}$
- データ伝送レート： 10 MBd (NRZ)
- スレッシュホールド入力電流： 5.0 mA (最大)
- 供給電流： 4 mA (最大)
- 瞬時コモンモード除去電圧： $\pm 20\text{ kV}/\mu\text{s}$ (最小)
- 絶縁耐圧： 3750 Vrms (最小)
- パッケージ： $3.7\text{ mm}\times 4.55\text{ mm}\times 2.1\text{ mm}$ (標準)

5.3.2. 外観と端子配置

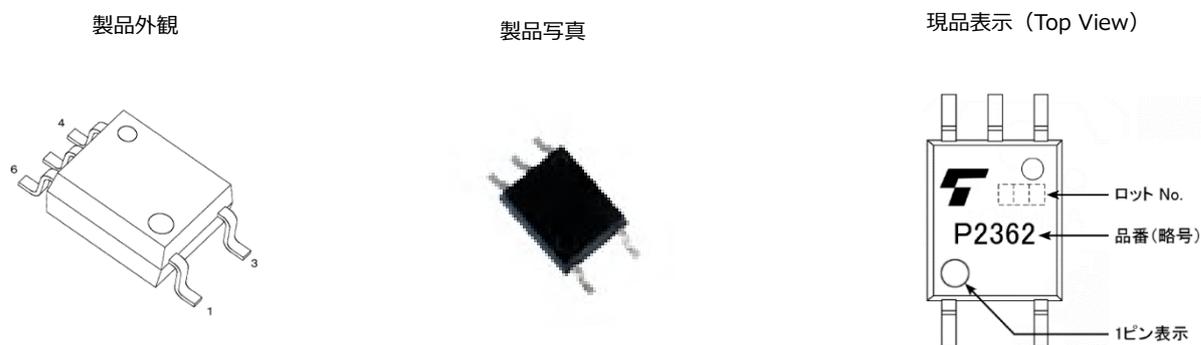


図 5.5 TLP2362 の製品外観と現品表示

5.3.3. 内部回路図

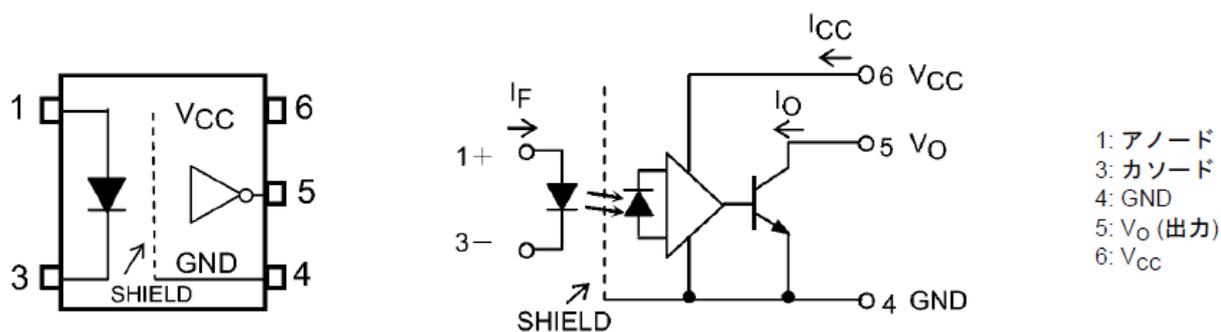


図 5.6 TLP2362 の内部回路図

5.3.4. 機能説明

表 5.3 真理値表

入力	LED	出力
H	ON	L
L	OFF	H

表 5.4 構造パラメータ

項目	最小	単位
沿面距離	5.0	mm
空間距離	5.0	
絶縁物厚	0.4	

ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。