

eFuse IC TCKE1401NM

アプリケーションノート

概要

TCKE1401NM は最大 75 V 入力可能な 1 入力 1 出力の eFuse IC です。繰り返し利用可能なヒューズとして使用することができ、多数の動作機能や保護機能を搭載しています。また 44.5 mΩ (標準) の低 ON 抵抗および 6.0 A までの出力電流能力を備えており、ファンやバッテリーパックといった産業機器の電源回路保護用途に適しています。パッケージは小型 VQFN24D (4.0 mm (標準) × 4.0 mm (標準)) であるため、基板の小型化に貢献します

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

概要	1
目次	2
1. はじめに	7
2. eFuse IC とは	8
2.1. eFuse IC の使用方法	8
2.2. eFuse IC 使用によるメリット	8
3. TCKE1401NM の端子構成および内部ブロック	9
3.1. TCKE1401NM 端子配置図	9
3.2. TCKE1401NM 端子構成	10
3.3. TCKE1401NM ブロック図	11
4. TCKE1401NM の内蔵機能	12
5. TCKE1401NM の各種回路の説明	13
5.1. 突入電流抑制機能の動作	13
5.2. パワーグッド機能 (PGOOD) および V_{OUT} 検知 (PGTH) の動作	14
5.3. 低電圧誤動作防止機能 (UVLO) の動作	17
5.4. 過電圧保護機能 (OVP) の動作	20
5.5. 入力逆接続保護機能および逆流防止機能	23
5.5.1. 入力逆接続保護機能	24
5.5.2. 逆流防止機能	24
5.6. 過電流保護機能 (OCP) の動作	25
5.6.1. オートリトライモードの過電流保護動作	26
5.6.2. ラッチオフモードの過電流保護動作	27
5.6.3. 過電流保護回路の設定	28
5.7. 短絡保護機能の動作	29
5.7.1. オートリトライモードの V_{OUT} 短絡保護動作	29
5.7.2. ラッチオフモードの V_{OUT} 短絡保護動作	30
5.8. 出力電流モニター (IMON)	31
5.9. 異常検出機能 (FLAG)	31
5.10. V_{SYS} 、 V_{IN} および GND 端子	33
5.11. 過熱保護機能 (TSD)	33
5.11.1. オートリトライモードの過熱保護	33
5.11.2. ラッチオフモードの過熱保護	33
5.11.3. 過熱保護回路の動作原理	34
5.12. EN 端子	35
5.13. MODE 端子設定	36
6. TCKE1401NM の応用例	37

6.1. TCKE1401NM のアプリケーション応用例 37

6.2. TCKE1401NM の周辺回路例 38

6.3. TCKE1401NM の応用回路例 40

7. ご使用上の注意 42

8. 最後に 43

製品取り扱い上のお願い 44

図目次

図 1.1	従来ヒューズと eFuse IC の違い	7
図 2.1	eFuse IC の使用例・主な機能例	8
図 3.1	端子配置図	9
図 3.2	TCKE1401NM のブロック図	11
図 5.1	EN 立ち上がり波形	13
図 5.2	V_{IN} 立ち上がり波形	13
図 5.3	$t_{dV/dT} - C_{dV/dT}$	14
図 5.4	PGTH 周辺回路図	14
図 5.5	TCKE1401NM PGOOD 機能および PGTH 入力動作例	16
図 5.6	UVLO 周辺回路図	17
図 5.7	UVLO 検出例	17
図 5.8	内部 UVLO モード検出例	17
図 5.9	UVLO 動作例	19
図 5.10	OVP 周辺回路図	20
図 5.11	OVP 検出例	20
図 5.12	内部 OVP モード検出例	20
図 5.13	OVP 動作例	22
図 5.14	入力逆接続保護および逆流防止機能を	23
図 5.15	入力逆接続保護および逆流防止機能を	23
図 5.16	TCKE1401NM 入力逆接続波形	24
図 5.17	出力電圧－電流特性	25
図 5.18	t_{LIM} 波形	25
図 5.19	t_{CL_PLIM} 波形	25
図 5.20	TCKE1401NM 過電流保護 動作例 (オートリトライモード)	26
図 5.21	TCKE1401NM 過電流保護 動作例 (ラッチオフモード)	27
図 5.22	ILIM 端子周辺外付け回路	28
図 5.23	$I_{LIM} - R_{ILIM}$ 特性例	28
図 5.24	短絡保護動作例 (オートリトライモード)	29
図 5.25	短絡保護動作例 (ラッチオフモード)	30
図 5.26	FLAG 端子等価回路	31
図 5.27	過熱保護動作タイミングチャート	33
図 5.28	過熱保護回路と動作原理	34
図 5.29	EN 端子の接続例 (外部制御)	35
図 5.30	EN 端子等価回路	35
図 5.31	通常のコンパレータとウィンドウコンパレータの動作	35

図 6.1	サーバー電源への応用	37
図 6.2	電動工具への応用	37
図 6.3	業務用プリンターへの応用	37
図 6.4	TCKE1401NM 周辺回路例	38
図 6.5	24 V ライン向け入力逆接続保護・逆流防止機能使用 参考回路	40
図 6.6	48 V ライン向け入力逆接続保護・逆流防止機能未使用 参考回路	41

表目次

表 3.1	TCKE1401NM の端子説明	10
表 4.1	TCKE1401NM の内蔵機能リスト	12
表 5.1	PGOOD 出力状態と各保護機能の動作	15
表 5.2	UVLO DC 特性 (データシート記載)	18
表 5.3	UVLO AC 特性 (データシート記載)	18
表 5.4	OVP DC 特性 (データシート記載)	21
表 5.5	OVP AC 特性 (データシート記載)	21
表 5.6	TPN1200APL、T2N7002AK の主要特性	23
表 5.7	データシート記載の過電流保護 (OCP) 特性	28
表 5.8	FLAG 出力の対象機能と動作	32
表 5.9	データシート記載の過熱保護 T_{SD} 特性	34
表 5.10	復帰モード設定	36
表 6.1	周辺回路部品の役割	38
表 6.2	図 6.5 の参考回路における各種計算値	40
表 6.3	図 6.6 の参考回路における各種計算値	41

1. はじめに

現在、各種電子機器において過熱や発火などを防止する保安部品として、ヒューズやポリスイッチ（リセッタブルヒューズ、ポリヒューズ）といった部品が多用されています。いずれも定格以上の電流が流れることで発生するジュール熱を利用した保護デバイスで、本資料ではこれらを従来ヒューズと呼びます。

ガラス管ヒューズやチップヒューズでは内蔵する金属部品の溶断により、ポリスイッチでは導電性ポリマーの熱膨張による抵抗値の急激な増大により、通電を遮断あるいは制限することで回路を保護し機器の破壊を防止しています。

しかしながら従来ヒューズには、動作する電流の精度が低く遮断電流のばらつきが大きい、ジュール熱を使用するため保護までに時間が掛かる、といったデメリットがあります。

また、金属部品の溶断するヒューズは一度動作すると不可逆的に破壊するため、ヒューズ自体の交換作業が必要になるというデメリットもあります。

図 1.1 に示すように、eFuse IC（電子ヒューズ）は、通電の遮断を MOSFET で行うことにより、上述した従来ヒューズのさまざまなデメリットを解決する製品です。従来ヒューズと同様に使用できるほか、ICであることを活かして過電流以外のさまざまな保護機能を持たせることもできます。

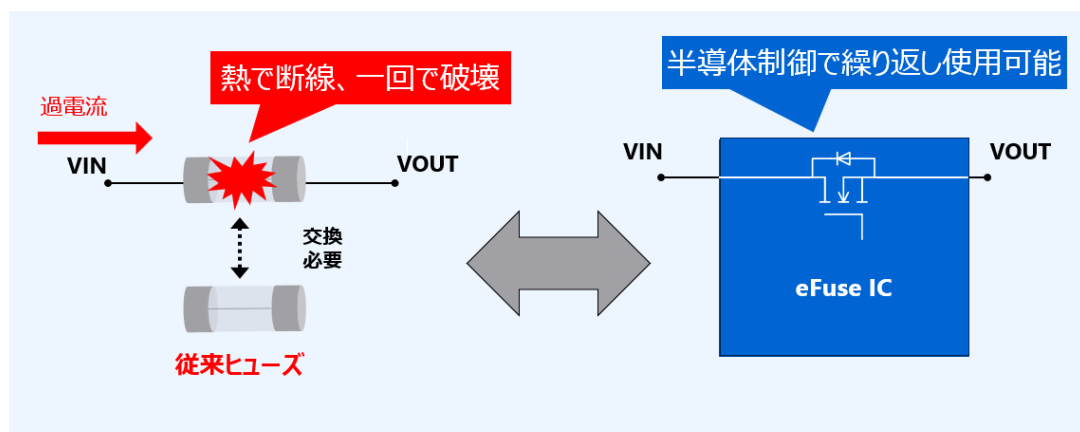


図 1.1 従来ヒューズと eFuse IC の違い

本資料では、過電流保護機能（OCP）、短絡保護機能（SCP）、過電圧保護機能（OVP）、低電圧誤動作防止機能（UVLO）、過熱保護機能（TSD）など各種保護機能に加え、突入電流抑制機能、FLAG 機能（注 1）、パワーグッド機能（PGOOD）（注 2）、出力電流モニター機能（注 3）を搭載した TCKE1401NM について、その主な特性、動作、使用方法および用途を解説します。さらに、外付け MOSFET を用いた入力逆接続保護機能および常時監視逆流防止機能、一部保護機能のしきい値設定方法についても解説します。

（注 1） FLAG 機能：異常状態を検知した際に信号を出力し、外部回路に異常を通知する機能

（注 2） パワーグッド機能：出力電圧が規定値に達した際に信号を出力し外部回路に通知する機能

（注 3） 出力電流モニター機能：出力電流に比例した微小電流を出力し、外付け抵抗により電圧としてモニターできる機能

2. eFuse IC とは

2.1. eFuse IC の使用方法

eFuse IC は、従来ヒューズで金属部品の溶断により行っていた電流の遮断を半導体スイッチで行います。設定値を超える過電流を検出すると、内蔵された MOSFET を制御し、電流を制限あるいは遮断します。図 2.1 に PMIC (Power Management IC) の電源供給に eFuse IC を使用した場合のブロック図を示します。

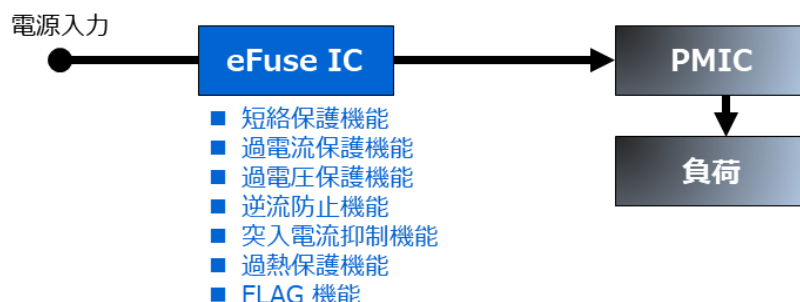


図 2.1 eFuse IC の使用例・主な機能例

この例では、PMIC の電源ラインに従来ヒューズの代わりに eFuse IC を挿入しています。PMIC 自身やその先の回路の異常で過電流が流れたときに、電流を制限あるいは遮断して回路を保護し、機器の発煙、発火などを防ぐことに貢献します。

2.2. eFuse IC 使用によるメリット

- ・ 交換不要によるメンテナンス費用と時間の削減

eFuse IC では内蔵された MOSFET をオフして電流を遮断しますので、一度の過電流で破壊されることはなく、再度 MOSFET をオンすれば、元のように電流を流して通常動作に復帰させることができます。不可逆的に溶断する従来のヒューズと異なり繰り返し使用できますので、部品を交換する必要がなく修理など保守メンテナンスに掛かる費用や時間を削減できます。

- ・ 高精度な過電流検出による堅牢な保護性能の実現

従来ヒューズは溶断や熱膨張を利用しているため、通電を遮断する電流を厳密に決定することができません。従って、負荷で想定される電流に対し、ある程度の幅を持たせた定格電流のヒューズを選定する必要があり、状況によっては十分な保護が行えない場合があります。これに対して eFuse IC は電流を監視しながら動作するため、高精度な過電流保護を実現します。また、TCKE1401NM は設定可能な過電流保護機能を備えており、システム要件に応じた保護レベルを設定することで、回路や機器に対する堅牢な保護性能を実現します。

- ・ 高速な保護動作による信頼性の向上

従来ヒューズではジュール熱の温度上昇がヒューズ材料の融点に達するまで時間が掛かるため、過電流の発生から遮断までタイムラグがあります。この間は過電流が流れ続けることになりますが、eFuse IC では過電流の検出とほぼ同時にスイッチをオフして電流を遮断することが可能です。そのため、過電流が流れる時間を大幅に短縮することができます。これによって機器へのダメージを減らすことができ、長期的な信頼性を向上させることができます。

- ・ 各種保護機能のワンパッケージ化による低コスト化、小型化

eFuse IC はその名のとおり IC であることから、過電流保護機能や短絡保護機能の他、従来のヒューズでは実現不可能な過電圧保護機能、突入電流抑制機能（スルーレートコントロール）、過熱保護機能といったさまざまな機能をワンパッケージ化できます。ディスクリート受動部品や複数の IC の組み合わせによる機能実現と比較して、部品点数や工数の大幅な削減や実装面積の縮小を実現でき、システムの低コスト化や小型化に貢献します。

3. TCKE1401NM の端子構成および内部ブロック

3.1. TCKE1401NM 端子配置図

図 3.1 に TCKE1401NM の端子配置図を示します。各端子は電源入出力、保護機能の設定、動作制御および状態通知などの役割を担っています。

各端子の詳細な機能については、後述する端子説明（表 3.1）を参照してください。

* 中心の電極パッドは GND かオープンランドパターンに実装してください。

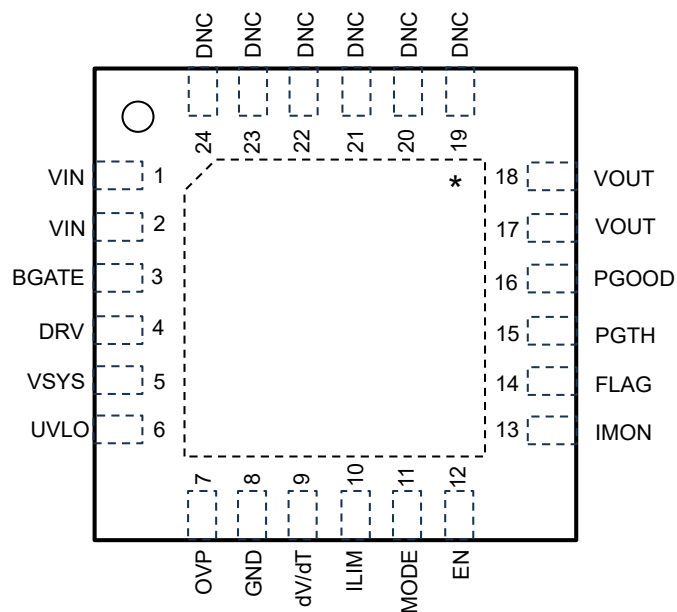


図 3.1 端子配置図

3.2. TCKE1401NM 端子構成

表 3.1 に TCKE1401NM の各端子機能を示します。

表 3.1 TCKE1401NM の端子説明

端子名	タイプ (注 4)	説明
VIN	P	電源入力端子です。
VSYS	P	eFuse IC 内部回路への電源供給端子です。外付け MOSFET を使用する場合は図 5.14 を参照し、VSYS 端子を MOSFET のソースに接続してください。外付け MOSFET を使わない場合は VSYS 端子を VIN 端子に接続してください。
BGATE	O	外付けの Blocking Nch MOSFET (Q1) 用ゲート駆動端子です。本 MOSFET を使用する場合は図 5.14 を参照し、BGATE 端子をゲートに接続してください。本 MOSFET を使わない場合は、BGATE 端子をオープンにしてください。
DRV	O	外付けの Fast pull-down Nch MOSFET (Q2) 用ゲート駆動端子です。本 MOSFET を使用する場合は図 5.14 を参照し、DRV 端子をゲートに接続してください。本 MOSFET を使わない場合は、DRV 端子をオープンにしてください。
UVLO	I	低電圧誤動作防止機能 (UVLO) の入力端子です。UVLO 端子のしきい値は外付け抵抗で調整可能です。UVLO 端子電圧がしきい値以下になると、VOUT 出力はオフに、FLAG 端子は Low を出力します。UVLO 端子はオープンにしないでください。内部 UVLO しきい値を使う場合は、UVLO 端子と GND を接続してください。
OVP	I	過電圧保護機能 (OVP) の入力端子です。OVP 端子のしきい値は外付け抵抗で調整可能です。OVP 端子電圧がしきい値を超えると、VOUT 出力はオフに、FLAG 端子は Low を出力します。OVP 端子はオープンにしないでください。内部 OVP しきい値を使う場合は、OVP 端子と GND を接続してください。
dV/dT	I/O	出力立ち上がり時間の設定端子です。dV/dT 端子と GND の間に容量を接続することで、出力スルーレートの調整が可能です。
ILIM	I/O	過電流保護機能の出力制限電流 I_{LIM} 設定端子です。ILIM 端子と GND の間に抵抗を接続することで、 I_{LIM} の調整が可能です。
MODE	I	オートリトライまたはラッチオフの復帰モード選択端子です。表 5.10 を参照してください。
EN	I	入力イネーブル端子です。外部から eFuse IC を制御しない場合は、EN 端子をオープンにします。この場合、EN 端子は内部でプルアップされています。ラッチオフ状態の eFuse IC を再起動するには、EN 端子に電圧を再印加してください。
IMON	O	出力電流モニター端子です。出力電流モニターを使用する場合は、IMON 端子と GND の間に抵抗を接続します。VSYS が 9 V より高く出力電流モニターを使わない場合、IMON 端子をオープンにできます。
FLAG	O	FLAG 出力端子です。異常検出後、FLAG 端子出力は Low になります。FLAG 端子を使わない場合は、GND に接続するかオープンにしてください。
PGTH	I	パワーグッド機能 (PGOOD) しきい値入力端子です。PGTH 端子はオープンにしないでください。
PGOOD	O	PGOOD 出力端子です。V _{PGTH} がしきい値 (V _{PGTHR}) を超えると、PGOOD 端子は High を出力し、出力電圧が有効なレベルであることを示します。V _{PGTH} がしきい値 (V _{PGTHF}) を下回ると、PGOOD 端子は Low を出力し、出力電圧が有効なレベルに達していないことを示します。PGOOD 端子を使わない場合は、GND に接続するかオープンにしてください。
VOUT	P	出力端子です。
DNC	-	本端子は GND に接続するか、オープンにしてください。

(注 4) I = Input、O = Output、I/O = Input and Output、P = Power

3.3. TCKE1401NM ブロック図

図 3.2 に TCKE1401NM のブロック図を示します。

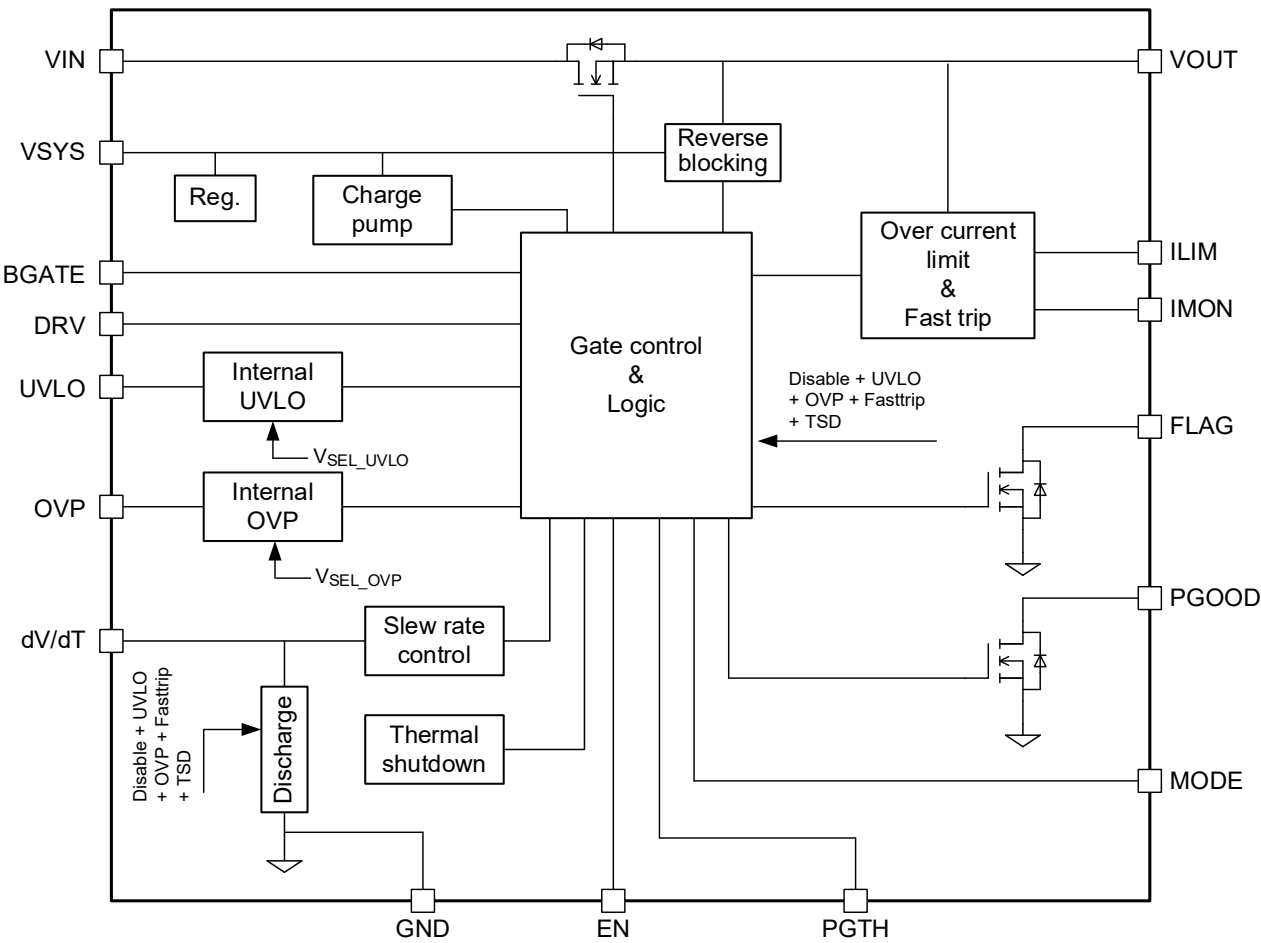


図 3.2 TCKE1401NM のブロック図

4. TCKE1401NM の内蔵機能

TCKE1401NM は、表 4.1 に示す複数の機能が内蔵されています。

表 4.1 TCKE1401NM の内蔵機能リスト

機能	対応 / 非対応	設定値調整可否
過電流保護	対応	可能
短絡保護	対応	可能 (注 5)
過電圧保護	対応	可能
低電圧誤動作防止機能	対応	可能
過熱保護	対応	—
スルーレート調整	対応	可能
入力逆接続保護・逆流防止	対応 (注 6)	—
FLAG 出力	対応	—
パワーグッド機能	対応	可能 (注 7)
出力電流モニター機能	対応	—
ディスチャージ機能	非対応	—

(注 5) 過電流保護の設定値により決定します。短絡保護機能には、出力制限電流 $I_{\text{LIM}} \times 2.0$ (標準) で設定可能な I_{FASTTRIP} と、内部で規定される I_{SCP} (45 A (標準)) の二つのしきい値が存在します。

(注 6) 入力逆接続保護機能および逆流防止機能を使用する際は、外付け MOSFET を追加してください。

(注 7) PGOOD しきい値は、VOUT 端子、PGTH 端子および GND 間に接続する分圧抵抗により設定できます。

5. TCKE1401NM の各種回路の説明

5.1. 突入電流抑制機能の動作

出力がオンになると、負荷側の容量を充電するための突入電流が流れます。この突入電流が大きすぎると、過電流保護回路の動作による立ち上がり不能や、出力電圧のオーバーシュートが発生するおそれがあります。本機能は、出力電圧上昇時のスルーレートを制御することで、この突入電流を抑制し、安定した起動を実現します。

図 5.1 に EN 立ち上がり時、図 5.2 に V_{IN} 立ち上がり時の出力電圧 (V_{OUT}) の立ち上がりおよび突入電流の様子を示します。

$V_{IN} = 48\text{ V}$, $R_{ILIM} = 3\text{ k}\Omega$, $R_{LOAD} = 48\text{ }\Omega$,
 $C_{dV/dT} = 0.01\text{ }\mu\text{F}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$

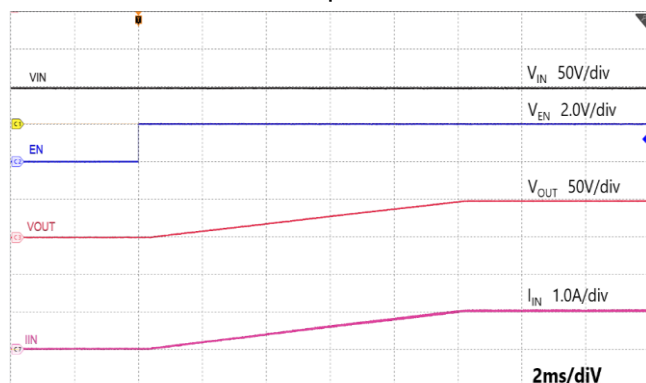


図 5.1 EN 立ち上がり波形

$V_{IN} = 48\text{ V}$, $R_{ILIM} = 3\text{ k}\Omega$, $R_{LOAD} = 48\text{ }\Omega$,
 $C_{dV/dT} = 0.01\text{ }\mu\text{F}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$

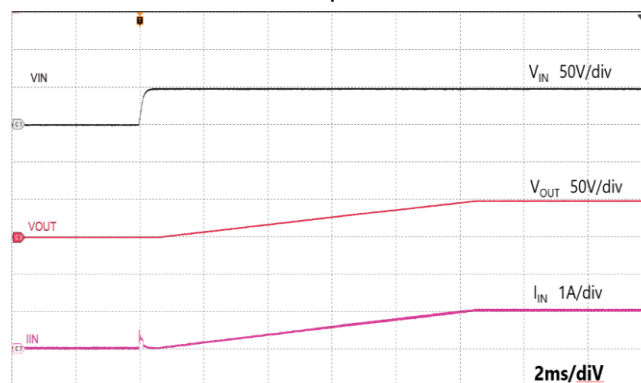


図 5.2 V_{IN} 立ち上がり波形

スルーレートは dV/dT 端子と GND 間に接続する外付け容量で設定し、使用用途に応じて立ち上がり時間を調整できます。式 1 および式 2 を用いて突入電流を算出します。

$$\text{式 1: } I\text{ (A)} = C \frac{dV}{dT} \geq I_{INRUSH} = C_{OUT} \frac{V_{IN}}{t_{dV/dT}}$$

$$\text{式 2: } t_{dV/dT}\text{ (s)} = 20.8 \times 10^3 \times V_{IN} \times C_{dV/dT}$$

I_{INRUSH} : 突入電流値 (A)

C_{OUT} : 出力容量 (F)

V_{IN} : 入力電圧 (V)

$t_{dV/dT}$: V_{OUT} 立ち上がり時間 (0% to 100%) (s)

$C_{dV/dT}$: dV/dT 端子外付け容量 (F)

図 5.3 に $C_{dV/dT}$ に対する $t_{dV/dT}$ の変化を示します。

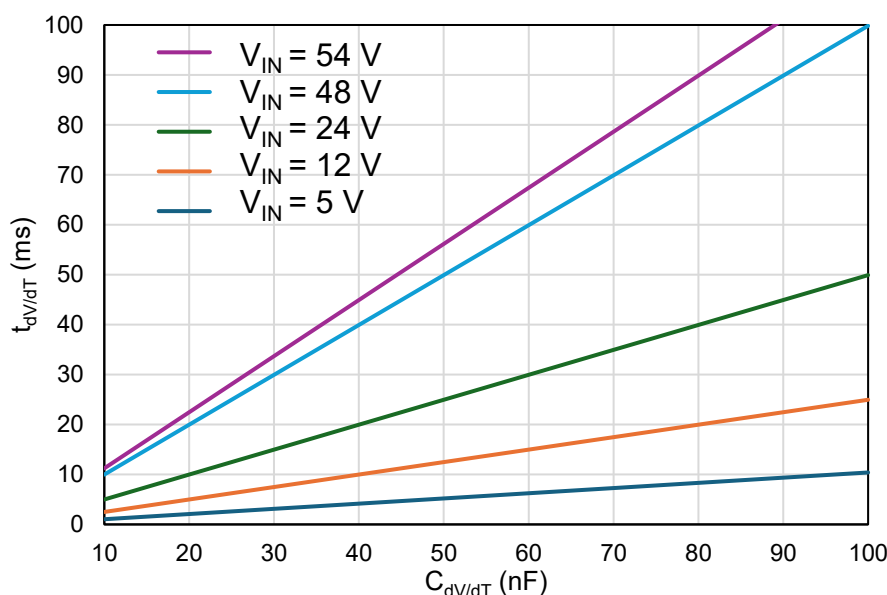


図 5.3 $t_{dV/dT}$ - $C_{dV/dT}$

5.2. パワーグッド機能 (PGOOD) および V_{OUT} 検知 (PGTH) の動作

パワーグッド機能 (PGOOD) は、出力電圧が所定のレベルに達したことを外部回路へ通知する機能です。PGOOD しきい値は、 V_{OUT} 端子、PGTH 端子および GND 間に接続する分圧抵抗により設定できます。

TCKE1401NM の PGTH 周辺回路図を図 5.4 に示します。

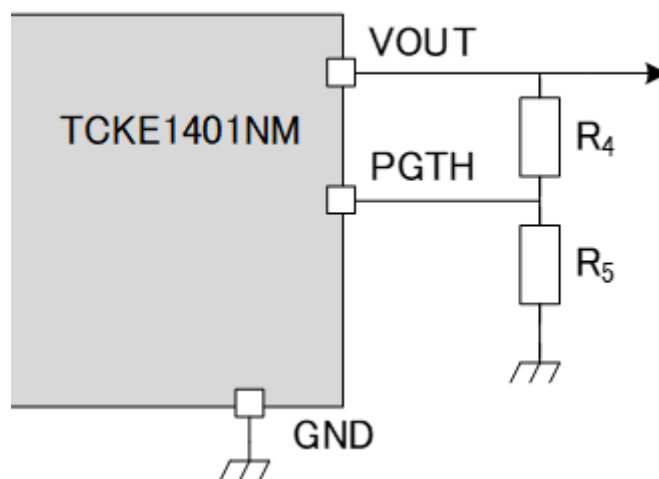


図 5.4 PGTH 周辺回路図

PGTH 端子は PGOOD 判定用の入力端子であり、PGTH 端子電圧が入力しきい値電圧を超えると PGOOD 信号は High を出力します。保護機能等により V_{OUT} が低下し、PGTH 端子電圧が入力しきい値電圧を下回った場合、PGOOD 端子は Low を出力します (表 5.1)。図 5.4 に基づく PGTH 端子電圧は、式 3 で表されます。

$$\text{式 3: } V_{PGTH} (V) = V_{OUT} \times \frac{R5}{R4+R5}$$

表 5.1 PGOOD 出力状態と各保護機能の動作

IC 状態 (注 8)		IC 動作	PGOOD 出力
通常状態		通常動作	High
過熱	$T_j > T_{SD}$	シャットダウン	Low
低電圧	$V_{UVLO} < V_{UVLOF}$ $V_{SYS} < V_{SYS_UVLO}$ (注 9)	シャットダウン	Low
過電圧	$V_{OVP} > V_{OVPR}$ $V_{SYS} > V_{SYS_OVP}$ (注 10)	シャットダウン	Low
過電流 (tCL_PLIM 中)	$I_{LIM} < I_{OUT} < I_{FASTTRIP}$	I_{OUT} 電流リミット	High / Low (注 11)
過電流 (tCL_PLIM 後)	$I_{LIM} < I_{OUT} < I_{FASTTRIP}$	シャットダウン	Low
逆流 (注 12)	$V_{OUT} - V_{SYS} \geq 10 \text{ mV}$	外部 MOSFET (Q1) OFF	High
逆接続 (注 12)	$V_{SYS} > -80 \text{ V}$, $V_{OUT} > -0.3 \text{ V}$, $V_{SYS} - V_{OUT} \geq -85 \text{ V}$ (注 13)	OFF 状態維持	Low

(注 8) 特に指定がない場合、 $4.7 \text{ V} \leq V_{SYS} = V_{IN} \leq 75 \text{ V}$ の条件です。

(注 9) UVLO 端子を GND にショートし、内部 UVLO モードにした場合の条件です。

(注 10) OVP 端子を GND にショートし、内部 OVP モードにした場合の条件です。

(注 11) PGTH 端子電圧が V_{PGTHF} 以上の場合は High、 V_{PGTHF} 未満の場合は Low を出力します。

(注 12) 逆流防止機能・入力逆接続防止機能の詳細は 5.5 章をご参照ください。

(注 13) 電圧印加は 10ms パルスの条件です。

なお、FLAG 機能も PGOOD 機能と同様に IC の状態を外部回路へ通知しますが、PGOOD 機能とは別の判定回路を備えています。そのため、PGOOD 出力は FLAG 出力に影響しません。FLAG 機能の詳細については、5.9 章をご参照ください。

図 5.5 は PGOOD 機能および PGTH 入力動作例のタイミングチャートです。出力がオンになり、PGTH 端子電圧 V_{PGTH} が PGOOD 立ち上がりしきい値 V_{PGTHR} を超えると、PGOOD 端子は High を出力します。一方、 V_{PGTH} が PGOOD 立ち下がりしきい値 V_{PGTHF} を下回ると、PGOOD 端子は Low を出力します。また、PGOOD 出力にはデグリッチ時間を設けています (V_{PGTH} の立ち上がり時: t_{PGOODR} 、立ち下がり時: t_{PGOODF})。

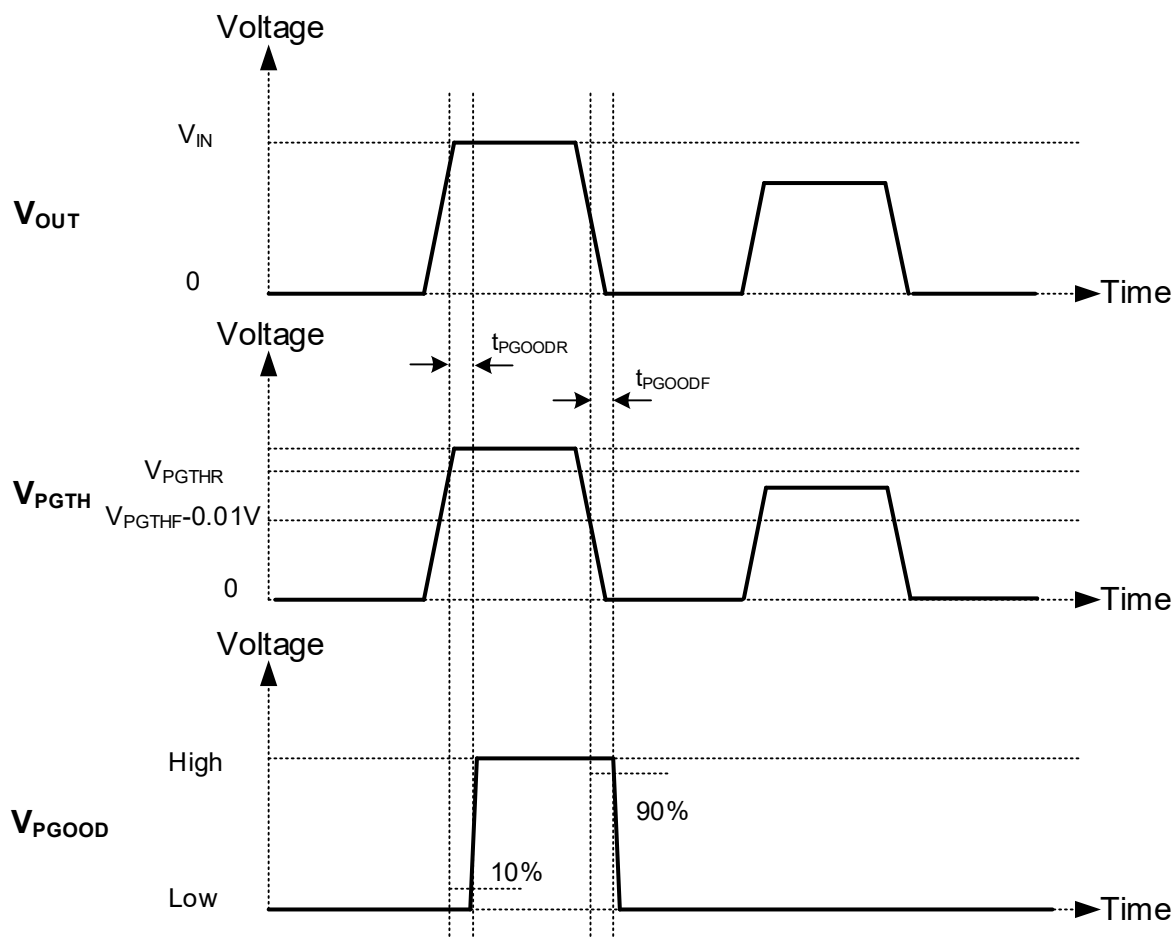


図 5.5 TCKE1401NM PGOOD 機能および PGTH 入力動作例

PGOOD 端子はオープンドレイン出力のため、外付けのプルアップ抵抗が必要です。また、PGTH は後段回路の UVLO しきい値設定に使用でき、PGOOD は後段回路のイネーブル/ディセーブル制御にも使用できます。

OVP や UVLO などの異常状態から復帰する際は、 V_{PGTH} の状態に応じて高速復帰モードまたはスルーレート制御モード (dV/dT モード) で起動します。詳細については、5.3 章と 5.4 章をご参照ください。

異常状態からの復帰時に V_{PGTH} が V_{PGTHF} を下回っている場合は、dV/dT モードで起動します。このときのスルーレートは dV/dT 端子に接続された外付け容量によって決まります。また、PGTH 端子を GND に接続することで高速復帰モードを無効にすることもできます。この場合、PGOOD は Low を出力します。

5.3. 低電圧誤動作防止機能 (UVLO) の動作

低電圧誤動作防止機能 (UVLO) は、入力電圧 V_{IN} が低下した際に後段回路が最低動作電圧未満で動作することを防止し、システムの誤動作を防ぐ機能です。UVLO 端子の電圧が V_{UVLOF} を下回ると出力がオフになり、FLAG 端子は $0.33 \mu s$ (標準) 後に Low を出力します。UVLO のヒステリシスは $70 mV$ (標準) です。UVLO のしきい値を設定するには、周辺回路図のように、VIN 端子、UVLO 端子および GND に分圧抵抗を接続してください。

TCKE1401NM の UVLO 周辺回路図を図 5.6 に、UVLO 検出例を図 5.7 に示します。

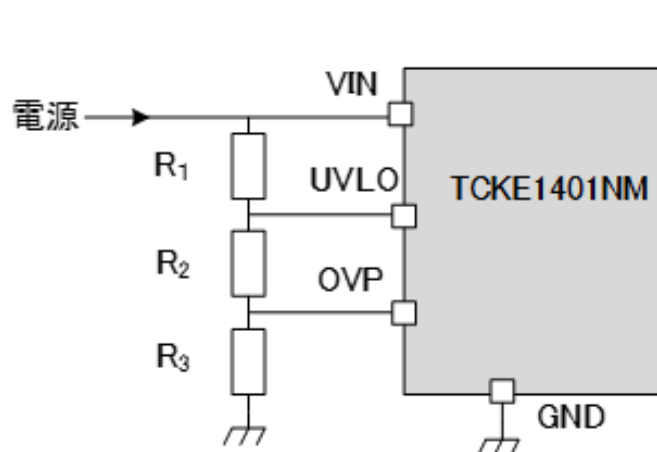


図 5.6 UVLO 周辺回路図

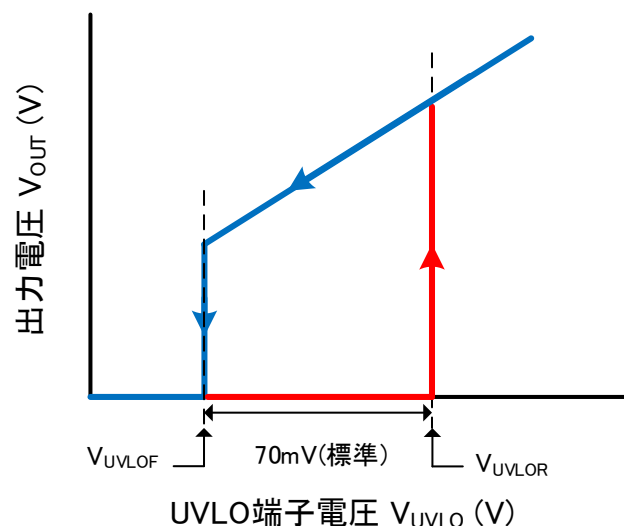


図 5.7 UVLO 検出例

また、 $14.84 V$ (標準) の固定しきい値 ($V_{SYS_UVLO(falling)}$) と $980 mV$ (標準) のヒステリシスからなる内部 UVLO モードも備えています。内部 UVLO モード検出例を図 5.8 に示します。

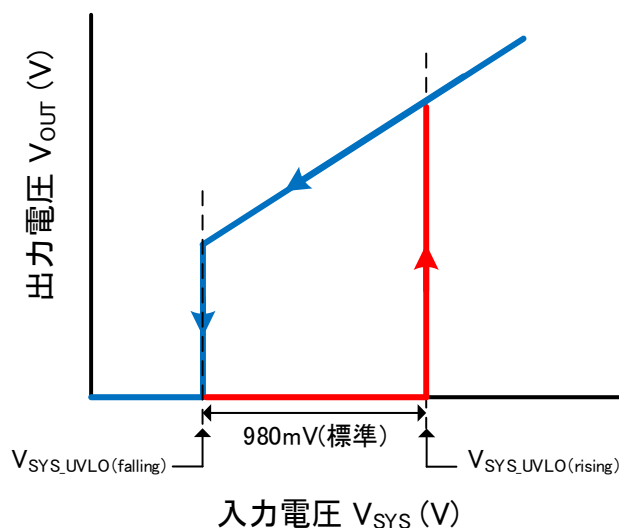


図 5.8 内部 UVLO モード検出例

このモードを使用するには、UVLO 端子を GND にショートしてください。UVLO を使用しない場合は、UVLO 端子を VSYS 端子に接続できます。このとき、UVLO 端子の定格 ($-0.3 V$ (最小)) に十分注意して回路を設計してください。なお UVLO 端子はオープン状態で使用しないでください。入力逆接続保護を使用する場合は、UVLO 端子と VSYS 端子間に $300 k\Omega$ 以上の抵抗を接続してください。

図 5.6 に基づいた UVLO のしきい値は、以下の式 4 および式 5 を用いて設定します。

$$\text{式 4: } V_{IN_UVLOF} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} \times V_{UVLOF}$$

$$\text{式 5: } V_{IN_UVLOR} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} \times V_{UVLOR}$$

V_{IN_UVLOF} : UVLO 下降時入力電圧
 V_{UVLOF} : 1.12 V (標準)
 V_{IN_UVLOR} : UVLO 上昇時入力電圧
 V_{UVLOR} : 1.19 V (標準)
 R_1 、 R_2 、 R_3 : 分圧抵抗

表 5.2 UVLO DC 特性 (データシート記載)

項目	記号	測定条件	T _a = 25°C			T _a = -40 to 125°C		単位
			最小	標準	最大	最小	最大	
内部 UVLO しきい値電圧	V _{SYST_UVLO}	V _{SYST} rising、V _{UVLO} = 0 V	—	15.82	—	14.61	23.62	V
		V _{SYST} falling、V _{UVLO} = 0 V	—	14.84	—	13.45	22.23	V
UVLO しきい値電圧	V _{UVLOR}	上昇時	—	1.19	—	1.142	1.224	V
	V _{UVLOF}	下降時	—	1.12	—	1.039	1.15	V
内部 UVLO モード切り替え電圧	V _{SEL_UVLO}		—	213	—	153.2	272.8	mV

表 5.3 UVLO AC 特性 (データシート記載)

項目	記号	測定条件	T _a = -40 to 125°C			単位
			最小	標準	最大	
UVLO 復帰時間	UVLO_ton	UVLO = H (100 mV above V _{UVLOR}) to V _{OUT} = 100 mV with V _{PGTH} < V _{PGTHF} 、C _{dV/dT} ≥ 10 nF、[C _{dV/dT} in nF]	—	220 + 14.5 × C _{dV/dT}	—	μs
UVLO 復帰時間 (高速)	UVLO_ton_fast	UVLO = H (100 mV above V _{UVLOR}) to MOSFET ON with V _{PGTH} > V _{PGTHF}	—	195	410	μs
UVLO 動作時 FLAG 応答時間	UVLO_toff	UVLO = L (20 mV below V _{UVLOF}) to FLAG = L	—	0.33	3	μs
UVLO 解除時 FLAG 応答時間	UVLO_tFLAG	UVLO = H to FLAG = H delay	382	580	772	μs

図 5.9 は UVLO の動作例を示したタイミングチャートです。UVLO から復帰する際は、 V_{PGTH} の状態に応じて高速復帰モードまたは dV/dT モードで起動します。これにより、異常状態と過渡的な現象を区別し、起動タイミングを適切に制御できます。

異常状態からの復帰時に V_{PGTH} レベルが V_{PGTHF} を超えている場合、 $C_{dV/dT}$ の値に関係なく UVLO t_{ON_fast} 経過後に高速復帰モードで起動します。高速復帰モードは、出力スルーレート制御後に約 500 μs (標準) 経過してから有効になります。 V_{PGTH} レベルが V_{PGTHF} を下回っている場合は、 dV/dT モードで起動します。このときのスルーレートは dV/dT 端子に接続された外付け容量によって設定されます。また、PGTH 端子を GND に接続することで、高速復帰モードを無効にすることもできます。

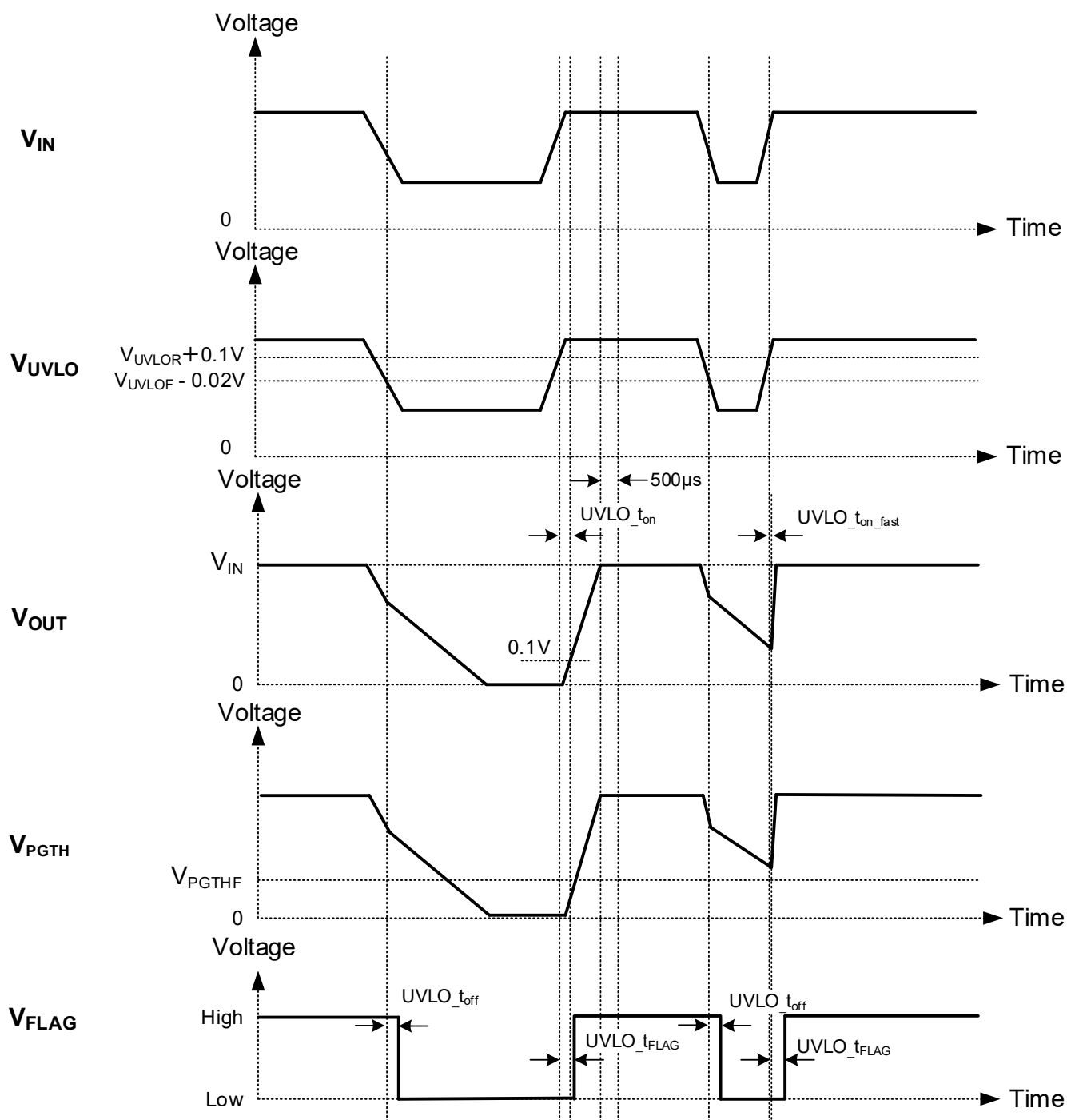


図 5.9 UVLO 動作例

5.4 章の OVP 機能と併用する場合の抵抗値設定例については、6.3 章の応用回路例をご参照ください。

5.4. 過電圧保護機能 (OVP) の動作

過電圧保護機能 (OVP) は、入力電圧 V_{IN} が設定したしきい値を超えた場合に出力を停止させ、負荷に過電圧が印加されることを防止する機能です。OVP 端子に V_{OVPR} を超える電圧が印加されると出力がオフになり、負荷を保護します。OVP のしきい値を設定するには、周辺回路図に示すように、VIN 端子、OVP 端子、GND に分圧抵抗を接続してください。

TCKE1401NM の OVP 周辺回路図を図 5.10、OVP 検出例を図 5.11 に示します。

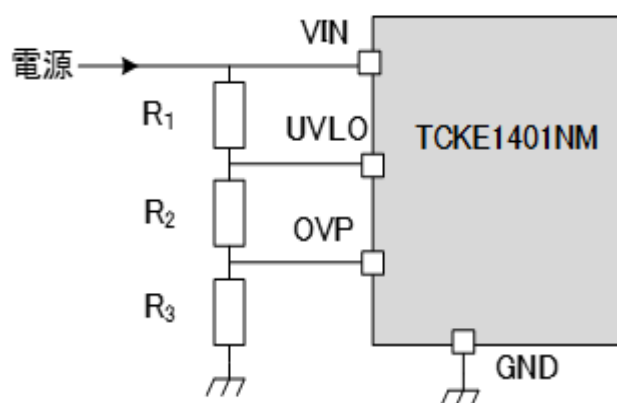


図 5.10 OVP 周辺回路図

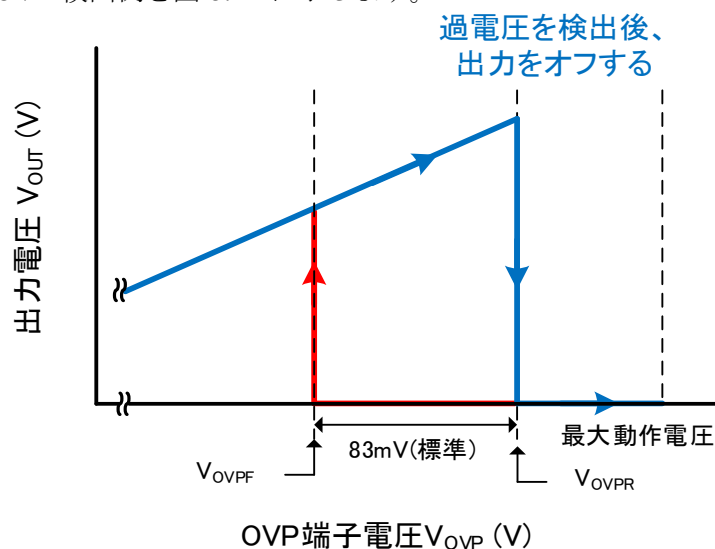


図 5.11 OVP 検出例

また、35.72 V (標準) の固定しきい値 (V_{SYS_OVP} (Rising)) と 380 mV (標準) のヒステリシスからなる内部 OVP モードも備えています。内部 OVP モードの検出例を図 5.12 に示します。

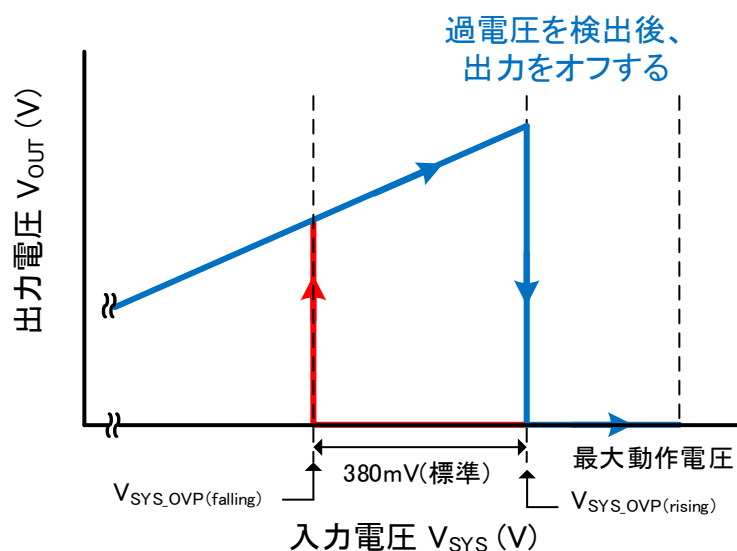


図 5.12 内部 OVP モード検出例

このモードを使用するには、OVP 端子を GND にショートしてください。なお OVP 端子はオープンにしないでください。

図 5.10 に基づいた OVP のしきい値は、以下の式 6 および式 7 を用いて設定します。

$$\text{式 6: } V_{IN_OVPF} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \times V_{OVPF}$$

$$\text{式 7: } V_{IN_OVPR} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \times V_{OVPR}$$

V_{IN_OVPF} : OVP 下降時入力電圧
 V_{OVPF} : 1.15 V (標準)
 V_{IN_OVPR} : OVP 上昇時入力電圧
 V_{OVPR} : 1.233 V (標準)
 R_1 、 R_2 、 R_3 : 分圧抵抗

表 5.4 OVP DC 特性 (データシート記載)

項目	記号	測定条件	T _a = 25°C			T _a = -40 to 125°C		単位
			最小	標準	最大	最小	最大	
内部 OVP しきい値電圧	V _{SYS_OVP}	V _{sys} rising、V _{OVP} = 0 V	—	35.72	—	33.11	45.93	V
		V _{sys} falling、V _{OVP} = 0 V	—	35.34	—	32.74	45.46	V
OVP しきい値電圧	V _{OVPR}	上昇時	—	1.233	—	1.18	1.298	V
	V _{OVPF}	下降時	—	1.15	—	1.09	1.187	V
内部 OVP モード切り替え電圧	V _{SEL_OVP}		—	216	—	167	265	mV

表 5.5 OVP AC 特性 (データシート記載)

項目	記号	測定条件	T _a = -40 to 125°C			単位
			最小	標準	最大	
OVP 動作時 FLAG 応答時間	OVP_t _{off}	OVP = H (20 mV above V _{OVPR}) to FLAG = L	—	0.74	3	μs
OVP 復帰時間 (高速)	OVP_t _{on_fast}	OVP = L (100 mV below V _{OVPF}) to MOSFET ON with V _{PGTH} > V _{PGTHF}	—	165	374	μs
OVP 復帰時間	OVP_t _{on}	OVP = L (100 mV below V _{OVPF}) to MOSFET ON with V _{PGTH} < V _{PGTHF} 、C _{dV/dT} ≥ 10 nF、[C _{dV/dT} in nF]	—	190 + 14.5 × C _{dV/dT}	—	μs

図 5.13 は過電圧保護機能の動作例を示したタイミングチャートです。OVP から復帰する際は、 V_{PGTH} の状態に応じて高速復帰モードまたは dV/dT モードで起動します。これにより、異常状態と過渡的な現象を区別し、起動タイミングを適切に制御できます。また、過電圧保護動作に入ると、FLAG 端子は OVP_toff ($0.74\ \mu s$ (標準)) 後に Low を出力し、過電圧保護が解除されるまで Low 出力を維持します。

異常状態からの復帰時に V_{PGTH} レベルが V_{PGTHF} を超えている場合、 $C_{dV/dT}$ の値に関係なく $OVP_t_{on_fast}$ 経過後に高速復帰モードで起動します。高速復帰モードは、出力スルーレート制御後に約 $500\ \mu s$ (標準) 経過してから有効になります。 V_{PGTH} レベルが V_{PGTHF} を下回っている場合は、 dV/dT モードで起動します。このときのスルーレートは dV/dT 端子に接続された外付け容量によって決まります。また、PGTH 端子を GND に接続することで、高速復帰モードを無効にすることもできます。

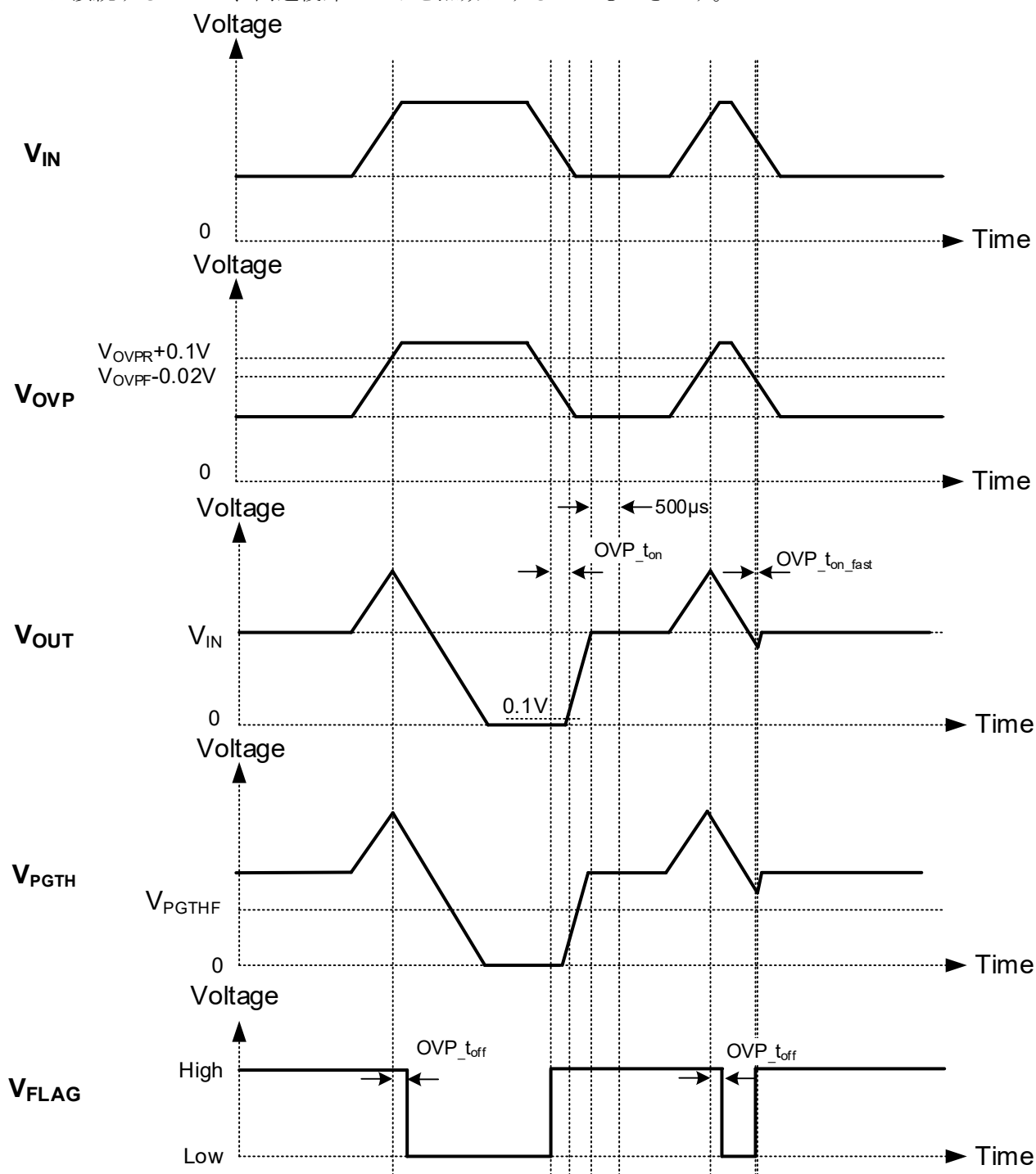


図 5.13 OVP 動作例

5.3 章の UVLO 機能と併用する場合の抵抗値設定例については、6.3 章の応用回路例をご参照ください。

5.5. 入力逆接続保護機能および逆流防止機能

入力逆接続保護機能は、入力電源が逆極性で接続された場合に eFuse IC および負荷回路を保護する機能です。

逆流防止機能は、出力側電圧が入力側電圧より高くなった場合に発生する逆流から eFuse IC および入力電源を保護する機能です。

本製品では、外付け Blocking Nch MOSFET (Q1) および Fast pull-down Nch MOSFET (Q2) を使用することで、これらの機能を実現します (図 5.14)。

なお、BGATE 端子は内部で昇圧された電圧 $V_{IN} + 10\text{ V}$ (標準) が出力されていますので、入力逆接続保護および逆流防止機能を使わない場合は、VSYS 端子と VIN 端子をショートし、BGATE 端子および DRV 端子をオープンにしてください (図 5.15)。

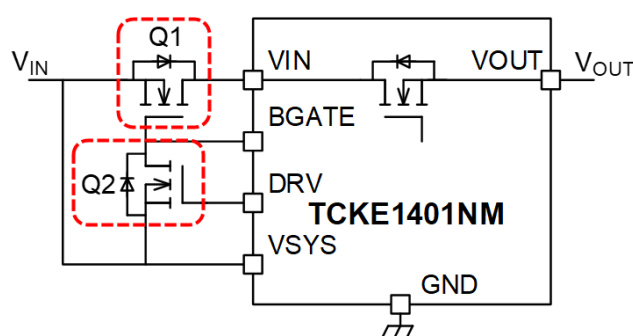


図 5.14 入力逆接続保護および逆流防止機能を使用するときの回路接続図

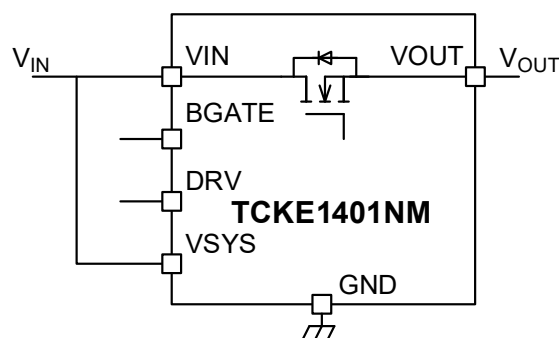


図 5.15 入力逆接続保護および逆流防止機能を使用しないときの回路接続図

Q1 は eFuse IC とバックトゥバック構成で接続され、入力逆接続保護および逆流防止のためのスイッチとして機能します。Q2 は Q1 のゲート電荷を高速に放電するプルダウンスイッチとして機能し、保護動作時に Q1 を高速にオフさせます。

通常動作時は、BGATE 端子から供給されるゲート駆動電圧によって Q1 がオンします。

Q2 には $V_{DSS} \geq 15\text{ V}$ 、 $V_{GSS} = \pm 20\text{ V}$ 定格、 $C_{iss} < 50\text{ pF}$ 、 $V_{th} \leq 3\text{ V}$ の Nch MOSFET を使用してください。また、Q1 および Q2 は BGATE 端子および DRV 端子の電気特性を参照して選定してください。

本アプリケーションノートでは、外付け MOSFET の推奨品例として、Q1 に当社製 TPN1200APL を、Q2 に当社製 T2N7002AK を使用します。TPN1200APL、T2N7002AK の主要な特性は表 5.6 の通りです。詳細は各製品のデータシートを参照してください。

表 5.6 TPN1200APL、T2N7002AK の主要特性

項目	記号	TPN1200APL	T2N7002AK
ドレイン・ソース間電圧	V_{DSS}	100 V	60 V
ゲート・ソース間電圧	V_{GSS}	$\pm 20\text{ V}$	$\pm 20\text{ V}$
ドレイン電流	I_D	40 A	200 mA
ドレイン・ソース間オン抵抗	$R_{DS(ON)}$	13.3 m Ω (標準) @ $V_{GS} = 4.5\text{ V}$	3.2 Ω (標準) @ $V_{GS} = 4.5\text{ V}$
入力容量	C_{iss}	1425 pF	11 pF

その他の MOSFET を使用する場合は、ご使用になる電源電圧および負荷電流に対して十分な V_{DSS} および I_D 定格のマージンを確保し、できるだけオン抵抗の低い製品を選定してください。

- Blocking Nch MOSFET (Q1) のパラメトリックサーチはこちら→

[Click Here](#)

- Fast pull-down Nch MOSFET (Q2) のパラメトリックサーチはこちら→

[Click Here](#)

5.5.1. 入力逆接続保護機能

入力端子に逆極性電圧が印加された場合、Q1 により負荷側への電流経路が遮断されます。これにより、eFuse IC および負荷回路を保護します。

図 5.16 に入力逆接続保護動作の波形を示します。

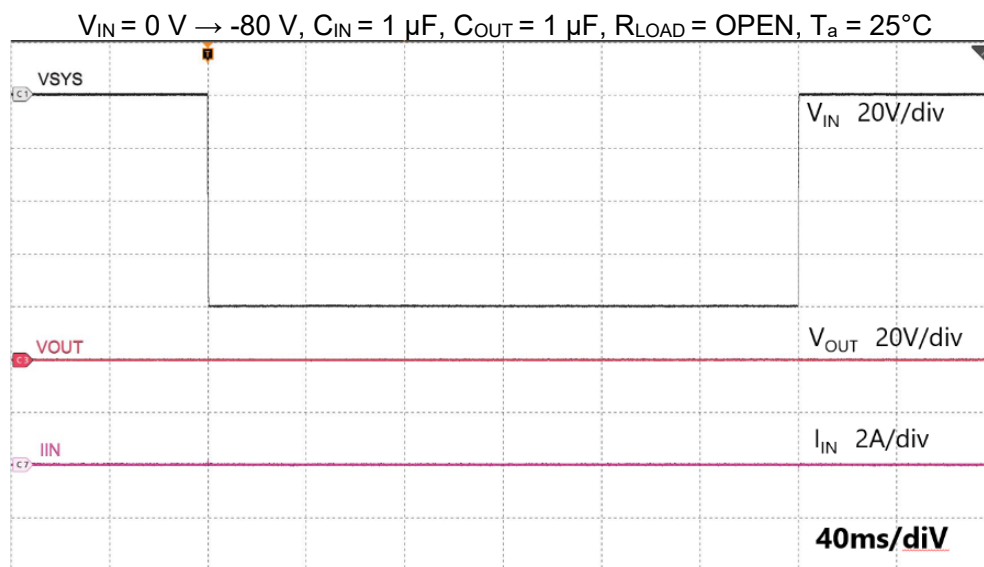


図 5.16 TCKE1401NM 入力逆接続波形

5.5.2. 逆流防止機能

$V_{SYS} - V_{OUT}$ が逆流防止電圧しきい値 (V_{RB}) を下回ると逆流状態と判断し、DRV 端子を High にして Q1 をオフし、入力側への逆流を遮断します。この場合、Q1 がオフになるまでの合計時間は逆流防止機能応答時間 (t_{RCB_fast}) + t_{Driver} で表されます。 t_{Driver} は以下の式 8 を用いて算出します。

$$\text{式 8: } t_{Driver} = -R_{DS(ON)(Q2)} \times C_{iss}(Q1) \times \ln \frac{V_{GTH}(Q1)}{V_{BGATE}}$$

$R_{DS(ON)(Q2)}$: Fast pull-down Nch MOSFET (Q2) のオン抵抗

$C_{iss}(Q1)$: Q1 の入力容量

$V_{GTH}(Q1)$: Q1 のゲートしきい値電圧

V_{BGATE} : 10 V (標準)

Q1 は、 $V_{SYS} - V_{OUT}$ が V_{RBR} を超えると出力がオンします。 $V_{SYS} - V_{OUT}$ の差が大きいほど、逆流防止機能応答時間 t_{RCB} は速くなります。

5.6. 過電流保護機能 (OCP) の動作

過電流保護機能 (OCP) は過電流が流れたときの消費電力を抑えて IC と負荷の劣化や破壊を防止する回路です。出力電流が設定値の出力制限電流 I_{LIM} を超える過電流を検知すると、出力電流は I_{LIM} に制限されます。過電流検知後、出力電流が I_{LIM} に制限されるまでの応答時間を t_{LIM} と呼びます。また、負荷状態に応じて出力電圧は低下します。

さらに、後述する短絡保護機能と組み合わせることで、過電流や短絡時の保護性能を向上させ、システムの安全性向上に貢献します。図 5.17 に TCKE1401NM の電流制限動作時における出力電圧と出力電流の関係を示します。

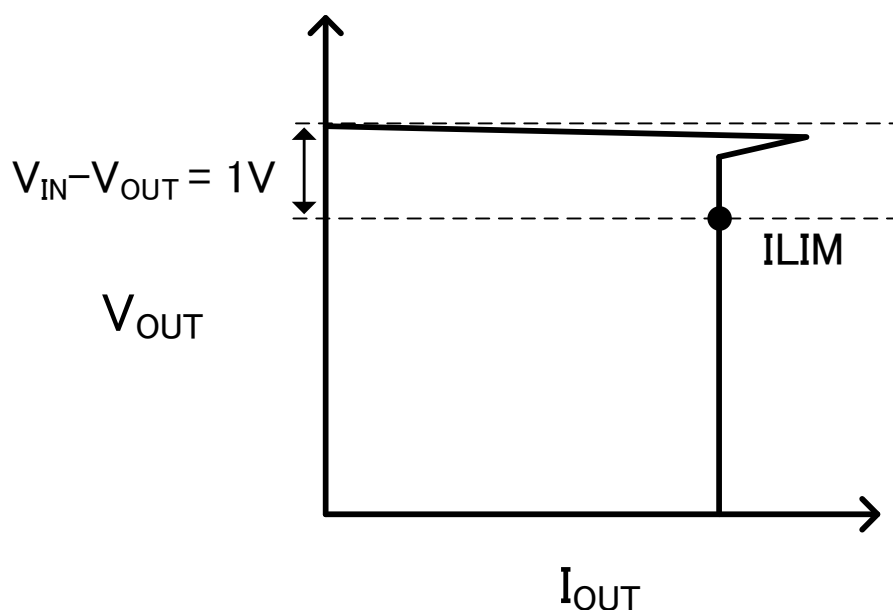


図 5.17 出力電圧—電流特性

本動作中の消費電力は $(V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{LIM}$ となるため、eFuse IC の温度が上昇します。過電流状態が継続し、IC 温度が過熱保護しきい値に達した場合は過熱保護機能 (TSD) が動作して出力を停止します。

また、 I_{LIM} による電流制限状態を維持できる時間 t_{CL_PLIM} は 160 ms (標準) です。 t_{CL_PLIM} 経過前に TSD が動作した場合は、出力を停止してシャットダウン状態に移行します。図 5.18 に t_{LIM} の波形を、図 5.19 に t_{CL_PLIM} の波形を示します。

$V_{IN} = 48 V$, $R_{ILIM} = 30 k\Omega$, $R_{LOAD} = 48 \Omega$, $T_a = 25^\circ C$

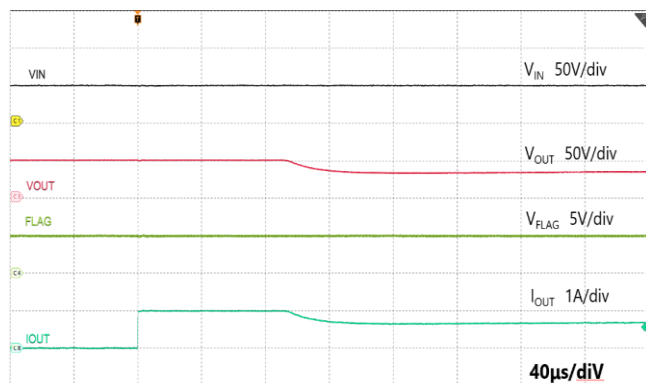


図 5.18 t_{LIM} 波形

$V_{IN} = 48 V$, $R_{ILIM} = 30 k\Omega$, $R_{LOAD} = 48 \Omega$, $T_a = 25^\circ C$

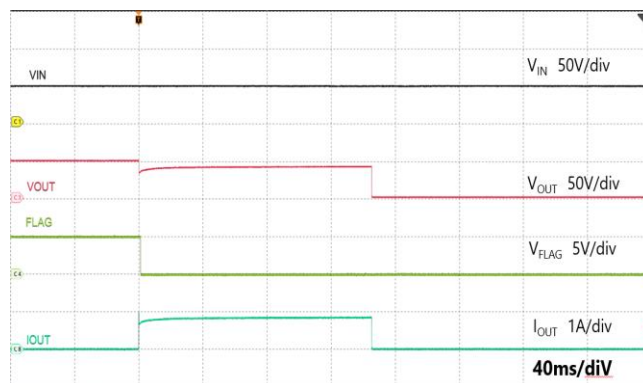


図 5.19 t_{CL_PLIM} 波形

5.6.1. オートリトライモードの過電流保護動作

図 5.20 はオートリトライモードでの過電流保護動作例を示したタイミングチャートです。 t_{CL_PLIM} 後、または前述の TSD によって出力が停止すると、 $t_{TSD_retry} = 330\text{ ms}$ (標準) 周期のオートリトライを開始します。 t_{TSD_retry} 後に過電流状態が解消されていない場合は再び電流制限動作を行います。

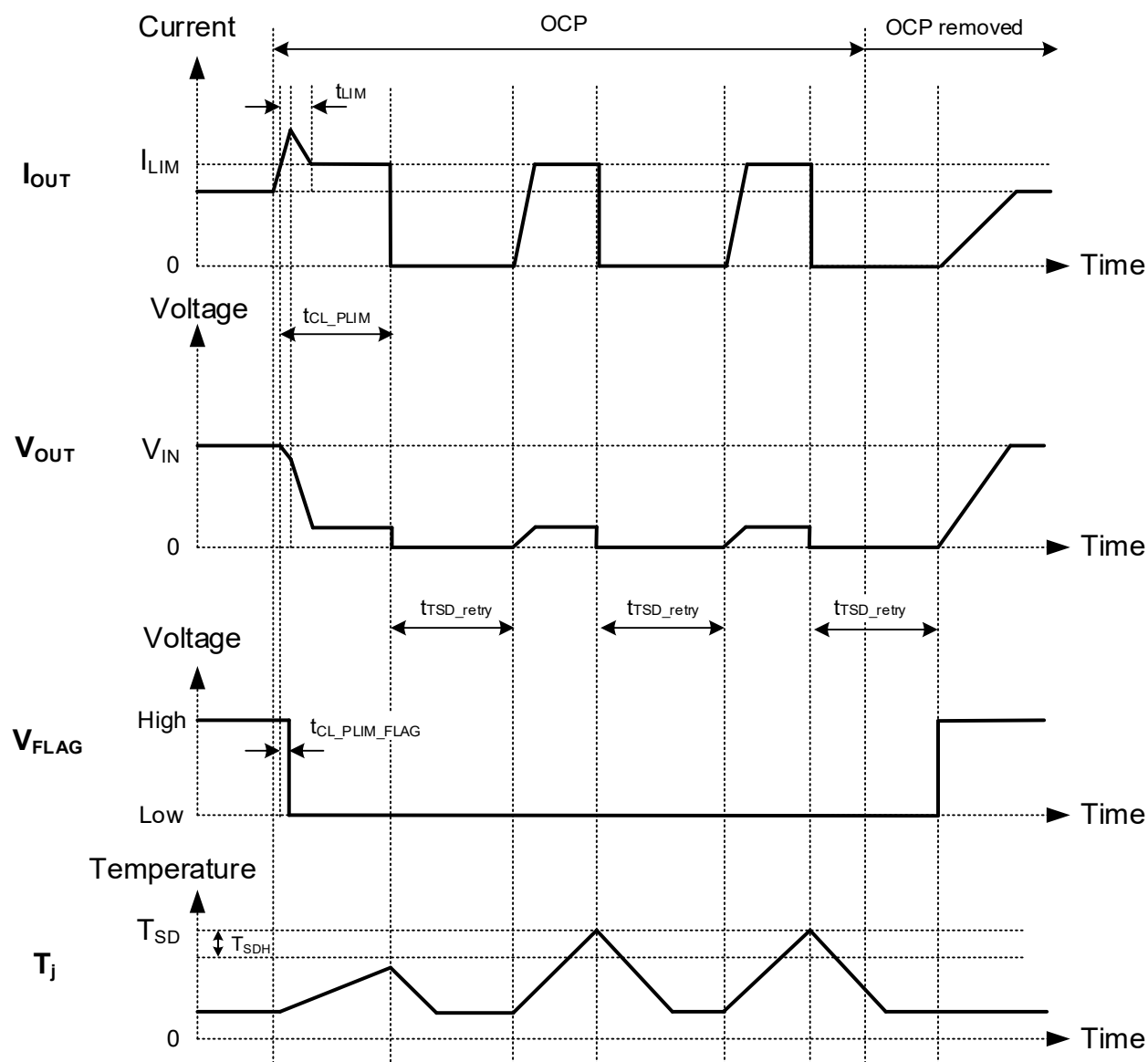


図 5.20 TCKE1401NM 過電流保護 動作例 (オートリトライモード)

5.6.2. ラッチオフモードの過電流保護動作

図 5.21 はラッチオフモードでの過電流保護動作例を示したタイミングチャートです。過電流状態によって出力が停止すると、保護動作時にラッチがかかるため自動復帰しません。EN 端子のコントロール信号や V_{IN} の再印加で再起動する必要があります。再起動するまで保護動作が継続します。

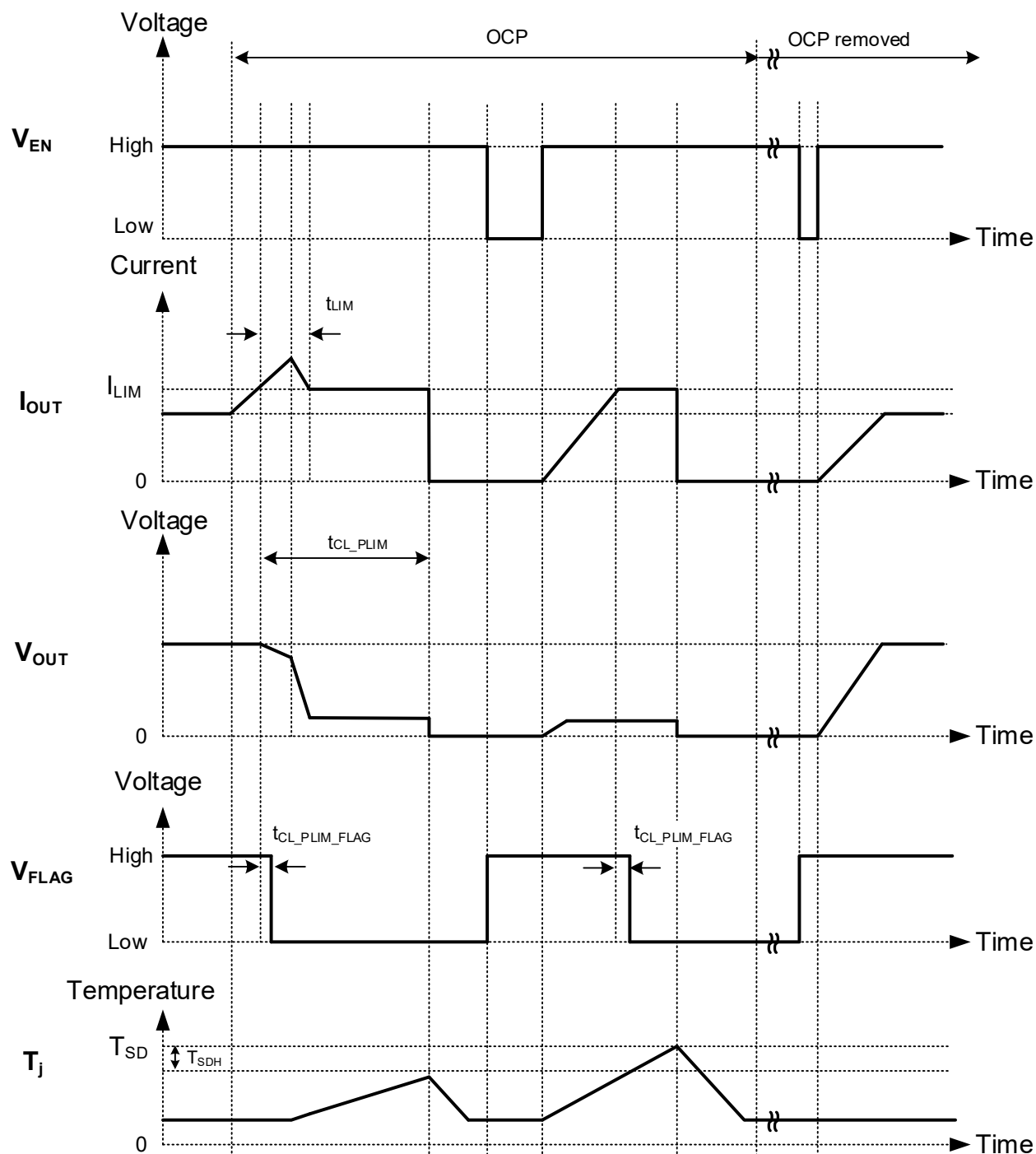


図 5.21 TCKE1401NM 過電流保護 動作例 (ラッチオフモード)

5.6.3. 過電流保護回路の設定

TCKE1401NM の出力制限電流 I_{LIM} は調整可能で、 I_{LIM} 端子の外付け抵抗（出力制限電流調整用抵抗 R_{ILIM} ）を適切に選ぶことにより、用途に応じた最適な I_{LIM} に設定できます。 I_{LIM} は式 9 により求められますが、抵抗値の選定にあたっては必ず実機でご確認ください。また、 R_{ILIM} が 3 k Ω 以下にならないようご注意ください。

$$\text{式 9: } I_{LIM} = \frac{18.9}{R_{ILIM}} + 0.13$$

I_{LIM} : 出力制限電流 (A)

R_{ILIM} : 出力制限電流調整用抵抗 (k Ω)

I_{LIM} 端子の周辺回路図を図 5.22 に示します。また、 R_{ILIM} の設定値と出力制限電流 I_{LIM} の関係を図 5.23 に示します。

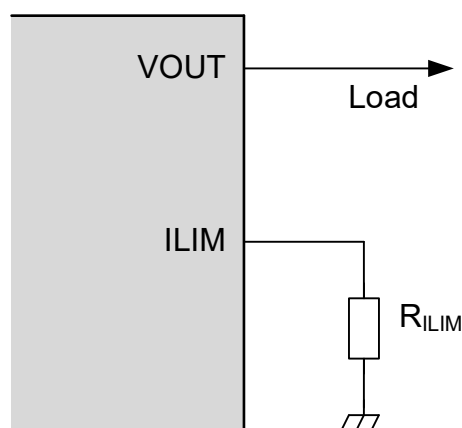


図 5.22 I_{LIM} 端子周辺外付け回路

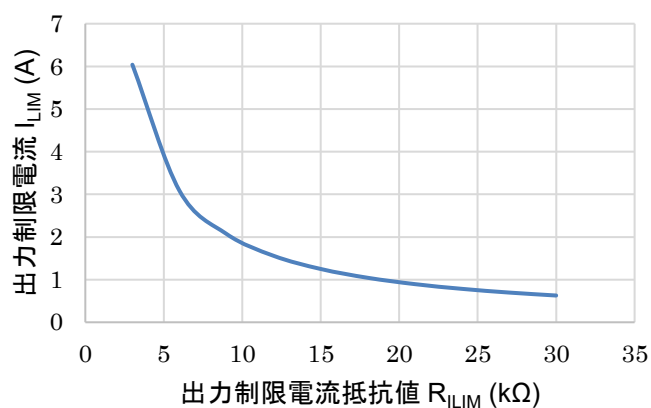


図 5.23 I_{LIM} - R_{ILIM} 特性例

表 5.7 データシート記載の過電流保護 (OCP) 特性

項目	記号	測定条件		T _a = 25°C			T _a = -40 to 125°C		単位
				最小	標準	最大	最小	最大	
出力制限電流 (注 14)	I _{LIM}	V _{IN} - V _{OUT} = 1 V	R _{LIM} = 30 kΩ	—	0.82	—	0.54	1.10	A
			R _{LIM} = 9 kΩ	—	2.21	—	1.84	2.59	A
			R _{LIM} = 4.02 kΩ	—	4.83	—	4.18	5.47	A
			R _{LIM} = 3 kΩ	—	6.43	—	5.58	7.28	A

(注 14) V_{SYS} が 9 V を下回る場合、IMON 端子に R_{IMON} を接続してご使用ください ($1 \text{ k}\Omega \leq R_{IMON} \leq 10 \text{ k}\Omega$)。

5.7. 短絡保護機能の動作

短絡保護機能は、電源ラインや負荷が何らかの異常により短絡した際に出力を停止し、過大な電流が流れることを防止する回路です。TCKE1401NMには短絡保護回路 (Fast-trip 回路) が搭載されており、出力電流が短絡保護しきい値電流 I_{FASTTRIP} ($I_{\text{LIM}} \times 2.0$ (標準)) を超えると短絡状態と判定します。短絡保護機能は $I_{\text{FASTTRIP}} < I_{\text{OUT}} < I_{\text{SCP}}$ (45 A (標準)) の範囲で動作し、 $t_{\text{FASTTRIP}} = 3 \mu\text{s}$ (標準) で出力をオフします。なお、出力電流が I_{SCP} を超えた場合は、 $t_{\text{SCP}} = 1 \mu\text{s}$ (標準) で高速に検知し、直ちに出力をオフします (SCP 回路)。本機能により、短絡発生時の大電流および IC の消費電力を抑制することができます。

5.7.1. オートリトライモードの VOUT 短絡保護動作

図 5.24 はオートリトライモードでの短絡保護動作例を示したタイミングチャートです。VOUT 端子が短絡し、短絡保護機能が動作した後、本製品はソフトスタート動作で再起動します。しかし、短絡状態が継続している場合は、過電流保護機能 (OCP) による電流制限動作が継続するため、IC の温度が上昇します。その後、温度上昇により過熱保護回路が動作するとシャットダウン動作へ移行します。

一定時間後に再び動作を開始しますが、VOUT 端子短絡が解消されない場合は再び電流を制御します。よって、電流リミット→温度上昇→過熱保護→シャットダウン→温度低下→再起動→電流リミットのサイクルを繰り返します。

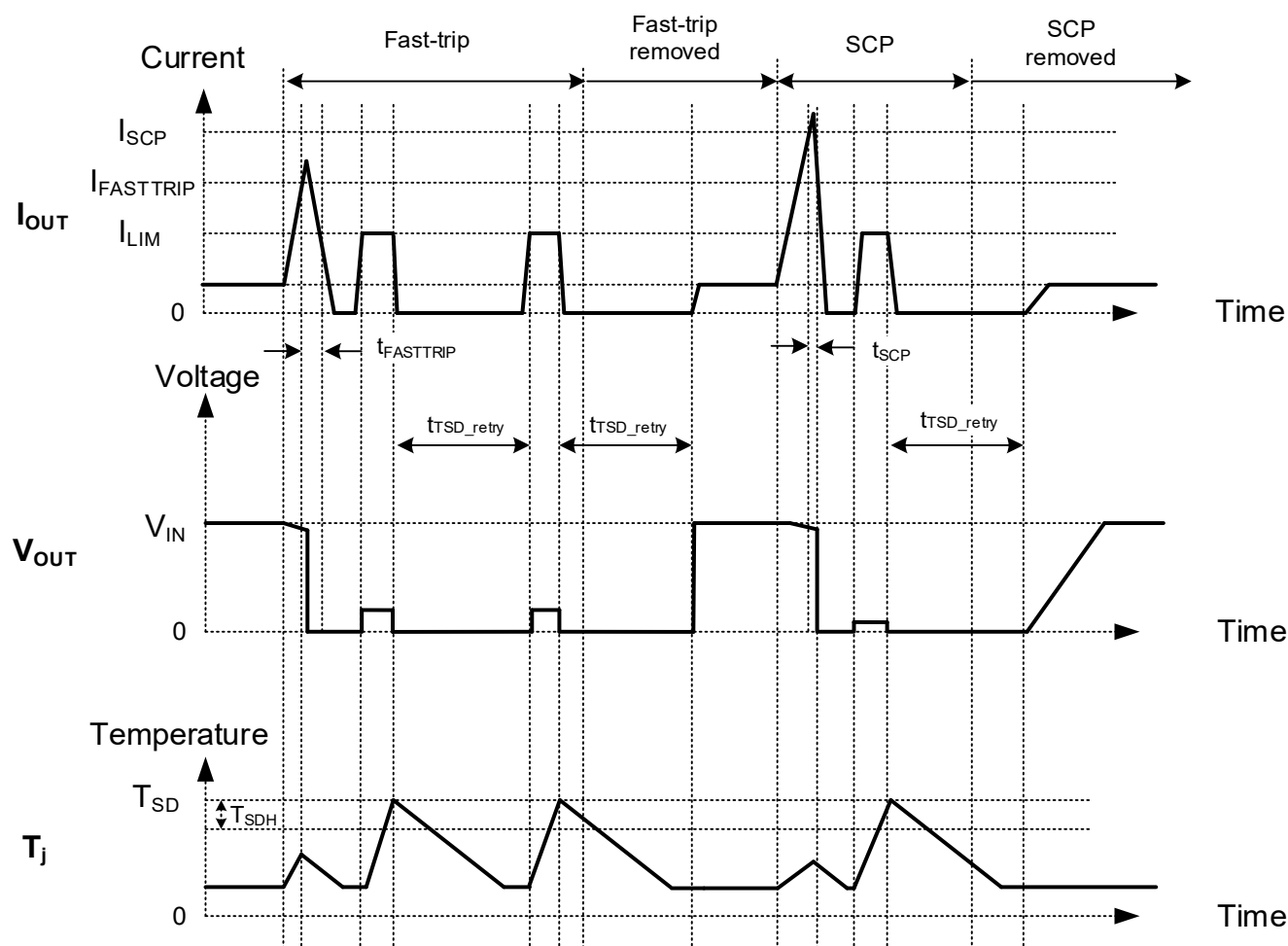


図 5.24 短絡保護動作例 (オートリトライモード)

5.7.2. ラッチオフモードの VOUT 短絡保護動作

図 5.25 はラッチオフモードでの短絡保護動作例を示したタイミングチャートです。VOUT 端子が短絡し、出力電流が短絡保護しきい値電流 $I_{FASTTRIP}$ に達すると、本製品は短絡状態と判定して出力をオフします。その後、ソフトスタート動作で再起動しますが、短絡が継続している場合は、過電流保護機能 (OCP) による電流制限動作が継続するため、IC の温度は上昇します。その後、過熱保護機能が動作すると、シャットダウン状態へ移行します。

復帰させるにはオートリトライモードとは異なり、EN 端子のコントロール信号や V_{IN} の再印加で再起動する必要があります。再起動するまで保護動作が継続します。

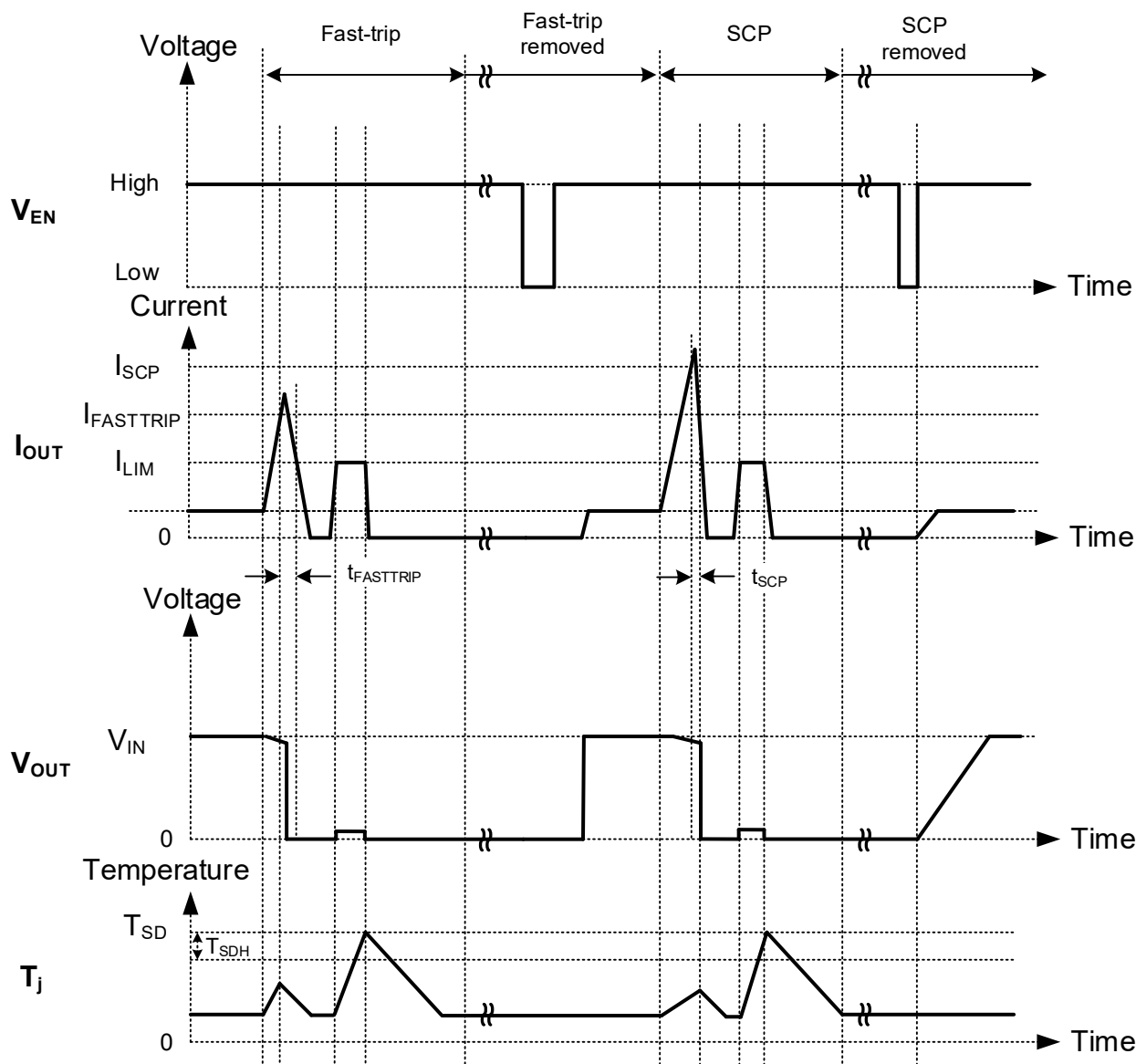


図 5.25 短絡保護動作例 (ラッチオフモード)

5.8. 出力電流モニター (IMON)

IMON 端子は、出力電流に比例した微小電流を出力し、外付け抵抗により電圧としてモニターできる端子です。IMON 端子の出力電流と、VOUT 端子の出力電流は比例します。IMON 端子の出力電流は、IMON 端子と GND 間に接続した外付け抵抗 R_{IMON} により電圧に変換されます。電流モニターの最大電圧 ($V_{IMON\ max}$) は、4 V ($9\ V \leq V_{SYS} = V_{IN}$ の場合) または 2 V ($V_{SYS} = V_{IN} < 9\ V$ の場合) に制限されます。 $V_{IMON\ max}$ を超えないよう、 R_{IMON} は以下の式 10 を用いて設定してください。電流モニターの追従性が悪化するため、IMON 端子には容量を接続しないでください。 V_{SYS} が 9 V 以上で出力電流モニターを使用しない場合、IMON 端子はオープンにできます。

$$\text{式 10: } V_{IMON} = [I_{OUT} \times G_{IMON}] \times R_{IMON}$$

G_{IMON} : I_{MON}/I_{OUT} ゲイン (27.9 $\mu A/A$ (標準))

I_{OUT} : VOUT 端子出力電流 (A)

5.9. 異常検出機能 (FLAG)

FLAG 機能は過熱、低電圧、過電圧、過電流、逆流、および ILIM 端子短絡といった異常状態を検出すると、FLAG 端子出力を High→Low に切り替えてシステムの異常を IC の外部へ発信する診断回路です。異常の誤検出を防止するため、内部回路にデグリッチを設けています。FLAG 端子は、オープンドレイン構造となっており、外付けの抵抗でプルアップして使用してください (図 5.26)。

FLAG 端子を使用しない場合、オープンまたは GND に接続できます。

プルアップ抵抗は、FLAG 端子のシンク電流 (最大定格) を十分考慮の上選定してください。また、実機で十分に評価した上、適切な抵抗値を決定してください。

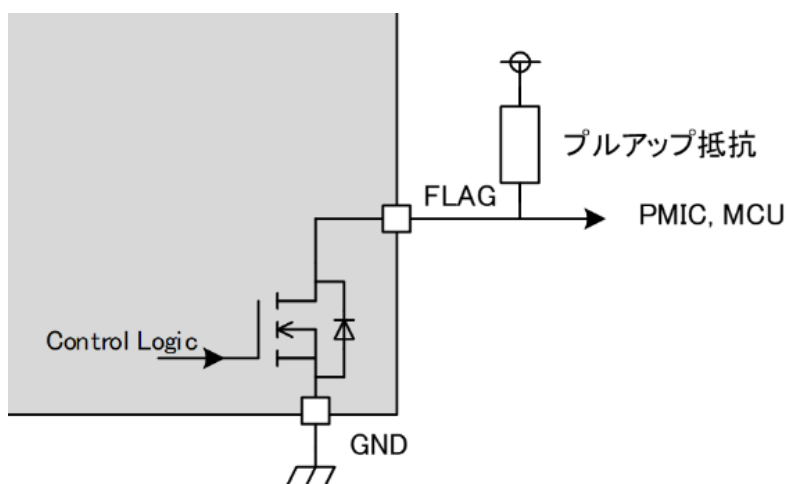


図 5.26 FLAG 端子等価回路

表 5.8 FLAG 出力の対象機能と動作

IC 状態 (注 8)		IC 動作	FLAG 出力
通常状態		通常動作	High
過熱	$T_j > T_{SD}$	シャットダウン	Low
低電圧	$V_{UVLO} < V_{UVLOF}$ $V_{SYS} < V_{SYS_UVLO}$ (注 9)	シャットダウン	Low
過電圧	$V_{OVP} > V_{OVPR}$ $V_{SYS} > V_{SYS_OVP}$ (注 10)	シャットダウン	Low
過電流	$I_{LIM} < I_{OUT} < I_{FASTTRIP}$, $t_{CL_PLIM_FLAG} < t_{CL_PLIM}$	I_{OUT} 電流リミット	Low
逆流 (注 12)	$V_{OUT} - V_{SYS} \geq 10 \text{ mV}$	外部 MOSFET (Q1) OFF	Low
逆接続 (注 12)	$V_{SYS} > -80\text{V}$, $V_{OUT} > -0.3 \text{ V}$, $V_{SYS} - V_{OUT} \geq -85 \text{ V}$ (注 13)	OFF 状態維持	Indefinite

(注 8) 特に指定がない場合、 $4.7 \text{ V} \leq V_{SYS} = V_{IN} \leq 75 \text{ V}$ の条件です。

(注 9) UVLO 端子を GND にショートし、内部 UVLO モードにした場合の条件です。

(注 10) OVP 端子を GND にショートし、内部 OVP モードにした場合の条件です。

(注 12) 逆流防止機能・入力逆接続防止機能の詳細は 5.5 章をご参照ください。

(注 13) 電圧印加は 10ms パルスの条件です。

5.10. VSYS、VIN および GND 端子

VSYS 端子は内部制御回路への電源供給端子です。VSYS 端子と GND 間には容量を接続し、安定した電源を供給してください。入力逆接続保護および逆流防止機能を使用する場合は、外付け MOSFET の Q1 および Q2 を接続してください。

5.11. 過熱保護機能 (TSD)

過熱保護機能 (TSD) は連続的な大電流で eFuse IC の接合温度 (T_j) が設定値を超えた場合、IC の動作を停止する機能です。TSD 後に、表 5.10 に示す復帰モードに応じて、ラッチオフまたは $T_j < 165^\circ\text{C}$ (標準) 後に $t_{\text{TSD_retry}} = 330 \text{ ms}$ (標準) 周期のオートリトライを開始します。

5.11.1. オートリトライモードの過熱保護

過熱保護によりシャットダウン状態へ移行した後、一定時間後 (330 ms (標準)) に再起動します。

過熱保護機能 (TSD) は、出力に大電流が流れ続けた場合や出力が短絡した場合に、IC の消費電力によって接合温度が上昇し、過熱保護しきい値温度 T_{SD} (165°C (標準)) 以上になると、出力をオフして IC を保護する回路です。TCKE1401NM では、過熱保護が動作すると出力をオフさせると同時に、FLAG 端子の出力も High レベルから Low レベルとなります。過熱保護の動作温度と復帰温度はヒステリシス (T_{SDH}) を持たせています。

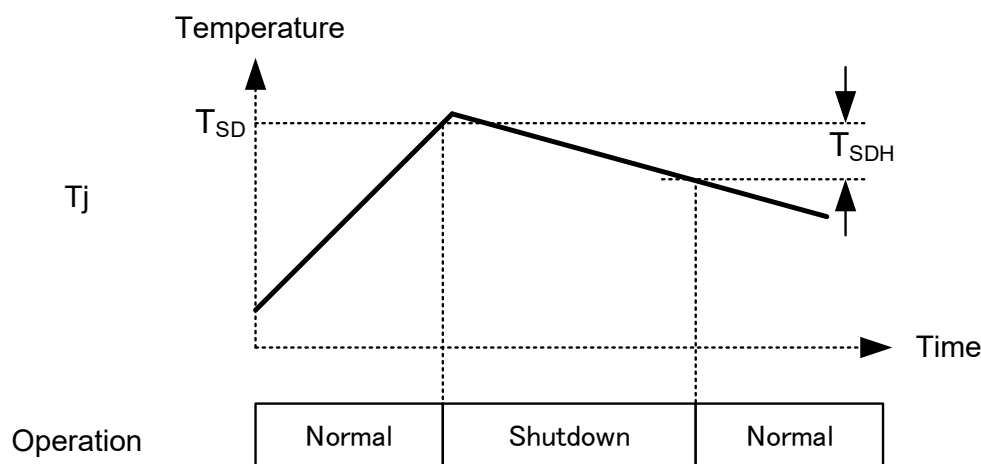


図 5.27 過熱保護動作タイミングチャート

5.11.2. ラッチオフモードの過熱保護

過熱保護機能が動作しシャットダウン状態へ移行した後、復帰させるには EN 端子のコントロール信号や入力電圧 V_{IN} の再印加で再起動する必要があります。再起動するまで保護動作が継続します。

5.11.3. 過熱保護回路の動作原理

接合温度の検出は、図 5.28 に示すように温度に対して電圧の変化が少ない基準電圧 V_{REF} を R_A と R_B で分圧した V_{TSD} と、ダイオードの順方向電圧を比較することで行います。TCKE1401NM が正常に動作しているときは、 V_{TSD} に対してダイオードの順方向電圧が高い状態となっています。ダイオードの順方向電圧は約 $-2\text{ mV/}^{\circ}\text{C}$ の温度係数を持っていることから、接合温度が上昇して順方向電圧が V_{TSD} を下回るとコンパレータが反転して、TCKE1401NM の出力をオフ状態とします。同時に、FLAG 端子の出力が High レベルから Low レベルに反転します。

表 5.9 データシート記載の過熱保護 T_{SD} 特性

項目	記号	測定条件	$T_a = 25^{\circ}\text{C}$	$T_a = -40\text{ to }125^{\circ}\text{C}$			単位
			標準	最小	標準	最大	
過熱保護しきい値温度	T_{SD}	T_j	165	-	-	-	$^{\circ}\text{C}$
過熱保護ヒステリシス温度	T_{SDH}	T_j	20	—	-	-	$^{\circ}\text{C}$
過熱保護オートリトライ周期	t_{TSD_retry}	MODE = GND	-	230	330	430	ms

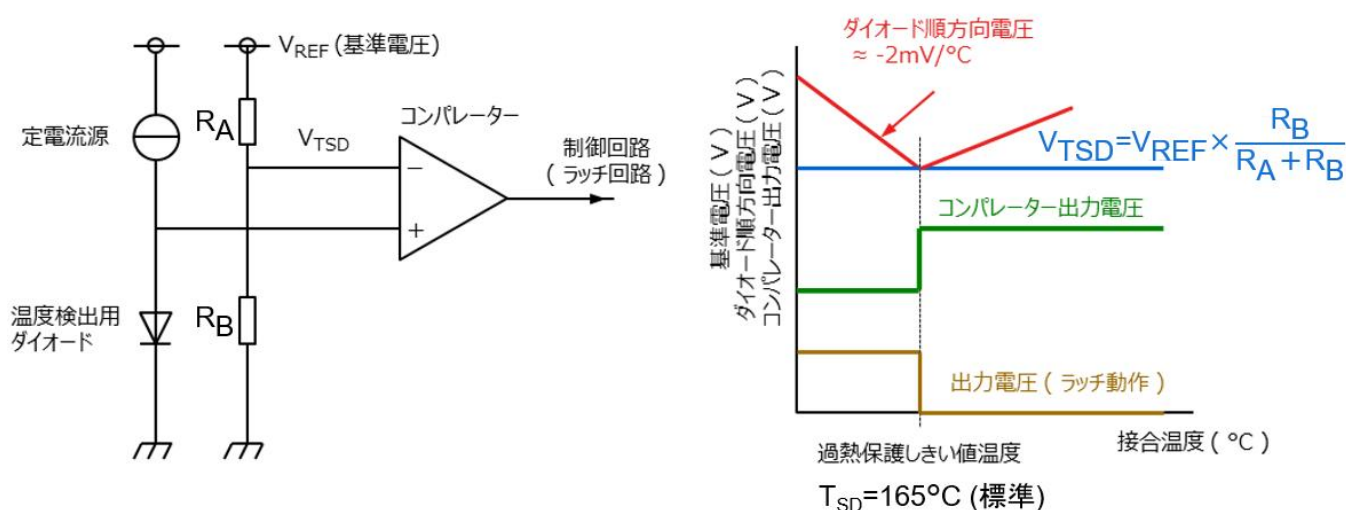


図 5.28 過熱保護回路と動作原理

5.12. EN 端子

本端子を使用することで、TCKE1401NM の動作を制御できます。EN 端子は外部から制御信号を入力して使用する方法 (図 5.29) と、オープンでの使用に対応しています。オープンで使用する場合は内部プルアップ回路により High 状態となります。

外部から制御信号を入力する場合、EN 端子のオン/オフしきい値電圧はヒステリシスが設けられているため、制御信号の High レベルは 2.0 V 以上、Low レベルは 0.8 V 以下となるように設定してください。

また、TCKE1401NM の EN 端子には、図 5.30 のようにウインドウコンパレータが内蔵されています。ウインドウコンパレータは、 V_{REF_P} と V_{REF_N} の 2 つのしきい値を備えているため、チャタリングやリングングが重畳した不安定な制御信号が入力されても図 5.31 (b) のように安定した出力を得ることができます。入力に対して 1 つのしきい値を持つ通常のインバーターでは、図 5.31 (a) のように出力が誤動作する可能性があります。

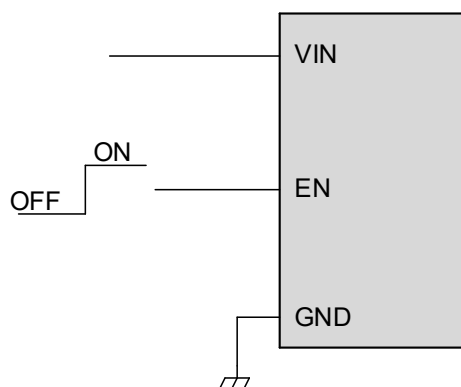


図 5.29 EN 端子の接続例 (外部制御)

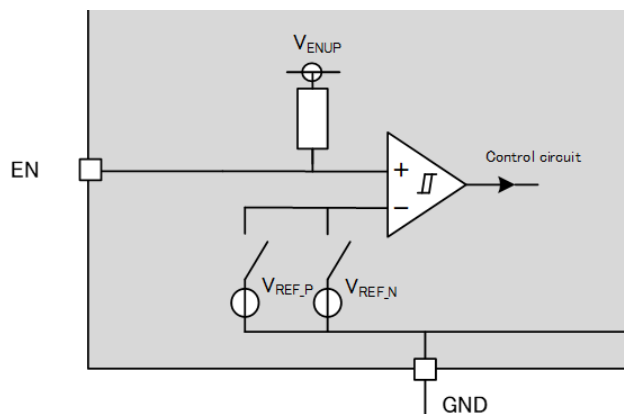


図 5.30 EN 端子等価回路

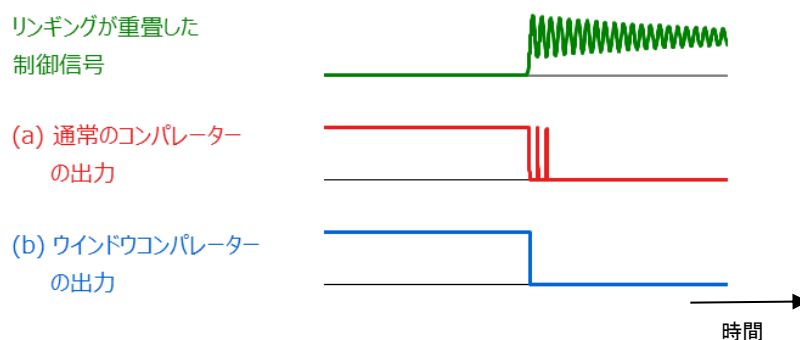


図 5.31 通常のコンパレータとウインドウコンパレータの動作

5.13. MODE 端子設定

本製品は、MODE 端子の状態に応じて復帰モードを変更できます。MODE 端子の状態については、表 5.10 を参照してください。

表 5.10 復帰モード設定

MODE 端子状態	復帰モード
OPEN	異常状態後、eFuse IC はラッチオフします。eFuse IC を再起動するには、EN 端子に電圧を再印加するか、VSYS 端子への入力電圧を一度 0 V にした後に再印加するか、または UVLO 端子電圧を V_{UVLOF} 以下にした後に再度 UVLO を解除してください。
GND にショート	t_{TSD_retry} の周期でオートリトライします。

6. TCKE1401NM の応用例

6.1. TCKE1401NM のアプリケーション応用例

以下に TCKE1401NM の各アプリケーションにおける応用例を紹介します。

- サーバー電源

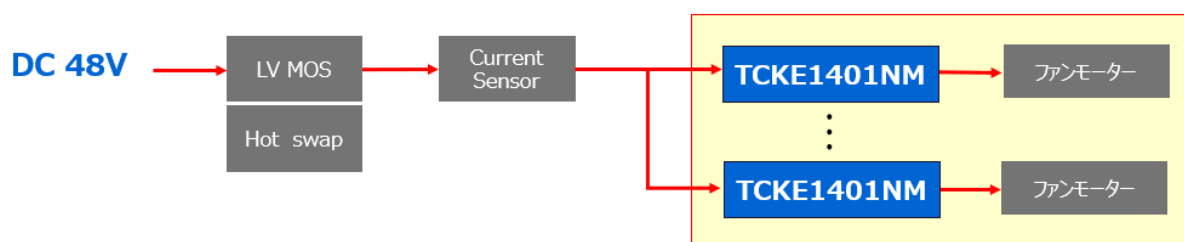


図 6.1 サーバー電源への応用

- 電動工具



図 6.2 電動工具への応用

- 業務用プリンター



図 6.3 業務用プリンターへの応用

6.2. TCKE1401NM の周辺回路例

図 6.4 は、TCKE1401NM の周辺回路例です。電源を VIN 端子および VSYS 端子に接続します。通常動作時は、MOSFET を通じて VIN 端子電圧とほぼ同じ電圧が VOUT 端子から出力されます。

短絡保護や過電流保護動作などで電流が急減すると、eFuse IC の入出力端子に接続される配線などのインダクタンス成分の逆起電力により高いスパイク電圧が発生し、eFuse IC の損傷や破壊を引き起こす恐れがあります。この場合、入力側には正のスパイク電圧、出力側には負のスパイク電圧が発生します。基板設計では、eFuse IC の入力側および出力側の配線長をできるだけ短くしてください。また、GND 配線面積をできるだけ広くしてインピーダンスを低減してください。

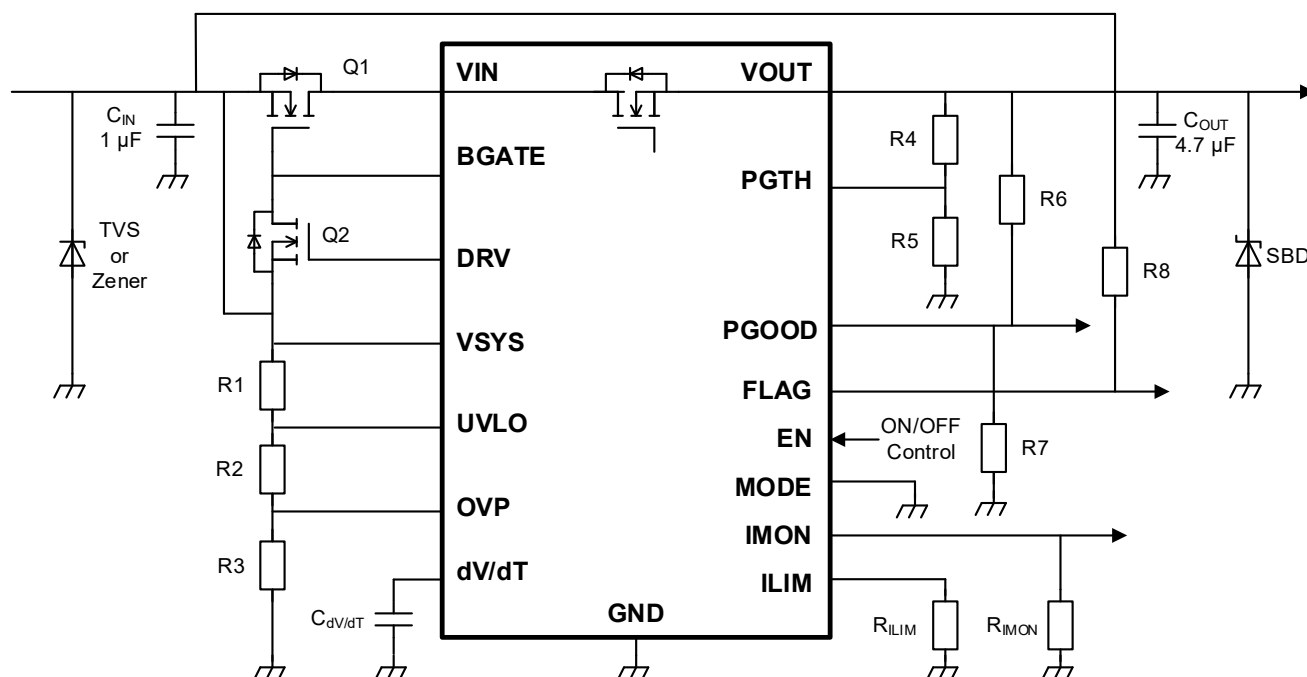


図 6.4 TCKE1401NM 周辺回路例

表 6.1 周辺回路部品の役割

記号	説明
C_{IN}	入力容量
C_{OUT}	出力容量
$C_{dV/dT}$	スルーレート調整用容量
Q1, Q2	常時監視逆流防止機能、入力逆接続保護機能用 MOSFET
R1, R2, R3	過電圧保護、低電圧誤動作防止のしきい値設定用抵抗
R4, R5	パワーグッド機能のしきい値設定用抵抗
R6, R7	パワーグッド機能のプルアップ/分圧抵抗
R8	FLAG 端子プルアップ抵抗
R_{ILIM}	出力制限電流調整用抵抗
R_{IMON}	電流モニター用抵抗

C_{IN}には入力に発生する正のスパイク電圧のピーク値を抑える働きがあります。C_{IN}は0.1 μF以上を推奨しますが、適切な容量値は実際の PCB 基板での動作に基づいて設計してください。スパイク電圧のピーク値 V_{SPIKE}と C_{IN}の容量値の関係は、以下の式 11 で表されます。

$$\text{式 11: } V_{\text{SPIKE}} = V_{\text{IN}} + I_{\text{OUT}} \times \sqrt{\frac{L_{\text{IN}}}{C_{\text{IN}}}}$$

V _{SPIKE}	: 発生するスパイク電圧の波高値 (V)
V _{IN}	: 通常動作時の入力電圧(V)
I _{OUT}	: 出力電流 (A)
L _{IN}	: 入力端子の実効インダクタンス (H)
C _{IN}	: 入力コンデンサ容量 (F)

V_{IN}が高い場合はV_{OUT}も高くなり、短絡保護や過電流保護時の電流変化が大きくなるため、V_{IN}およびV_{OUT}の不安定動作により IC の破壊に至る恐れがあります。VIN 端子に絶対最大定格を超える過渡電圧が印加される場合は、入力端子と GND 間に TVS ダイオード (ESD 保護ダイオード) またはツェナーダイオードを接続してください。過渡電圧の最大振幅が eFuse IC の絶対最大定格以下であっても、入力端子に発生する高速の過渡電圧が内部回路に影響して予期しない動作を引き起こす場合があります。TVS またはツェナーダイオードはこのような高速な過渡電圧を抑える働きがあります。

短絡保護動作時など出力側に発生する負のスパイク電圧に対しては、出力端子と GND 間に SBD (ショットキーバリアダイオード) を接続してください。これにより、出力電位が GND を大幅に下回ることを防止できます。

6.3. TCKE1401NM の応用回路例

本章では、これまで説明した周辺回路構成を基にして、24 V ラインおよび 48 V ラインでの電源システム用途を例に、各設定端子の抵抗値や保護動作のしきい値を含む応用回路の設計例を紹介します。

図 6.5 に、24 V ラインでの入力逆接続保護・逆流防止機能の使用を想定した参考回路を示します。

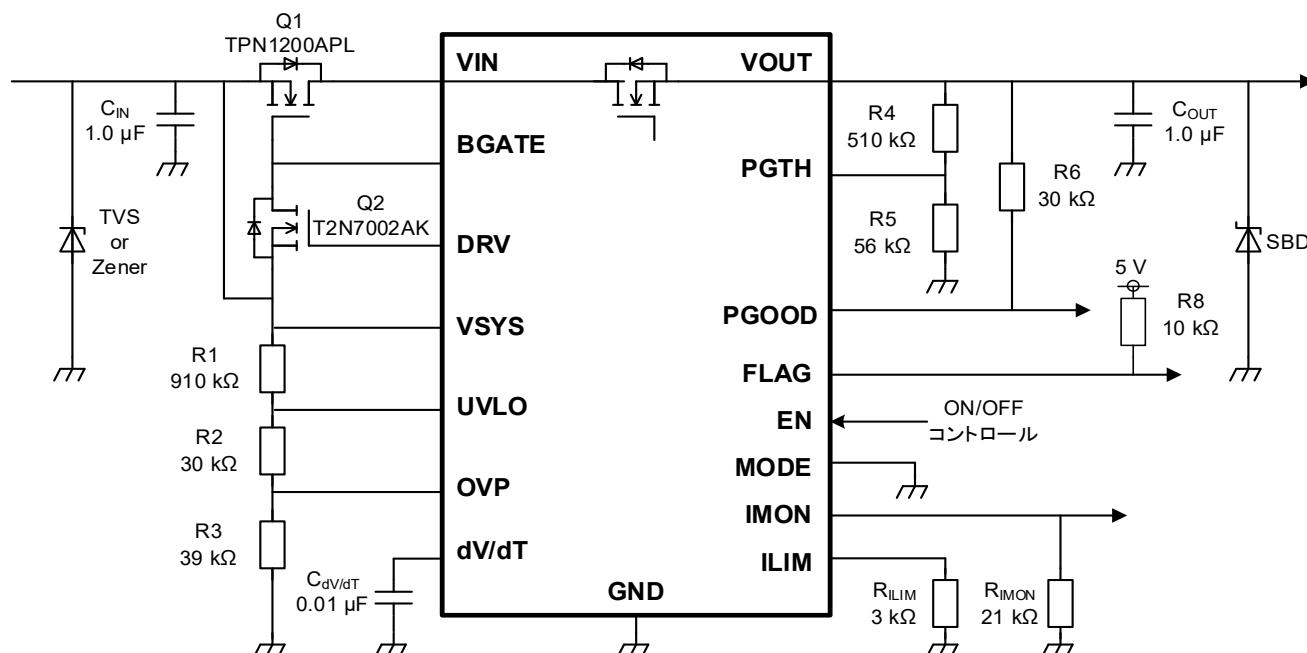


図 6.5 24 V ライン向け入力逆接続保護・逆流防止機能使用 参考回路

図 6.5 での外付け抵抗および容量の設定値から算出されるしきい値および動作時間の計算結果を表 6.2 に示します。計算結果は、各電気的特性の標準値から求めた参考値です。

表 6.2 図 6.5 の参考回路における各種計算値

設定項目	計算結果 (標準値) (注 15)
UVLO 検出電圧	15.9 V
UVLO 解除電圧	16.9 V
OVP 検出電圧	31.0 V
OVP 解除電圧	28.9 V
PGOOD 検出電圧	11.8 V
PGOOD 解除電圧	11.2 V
出力制限電流 (I_{LIM})	6.43 A
V_{OUT} 立ち上がり時間 (10% to 90%) (t_r)	3.99 ms

(注 15) 本表の計算値はデータシートの標準値を用いています。実際のしきい値および動作時間は、IC の電気的特性のばらつきや外付け部品の許容差によって変動します。

図 6.6 に、48 V ラインで入力逆接続保護・逆流防止機能を使用しない場合を想定した参考回路を示します。

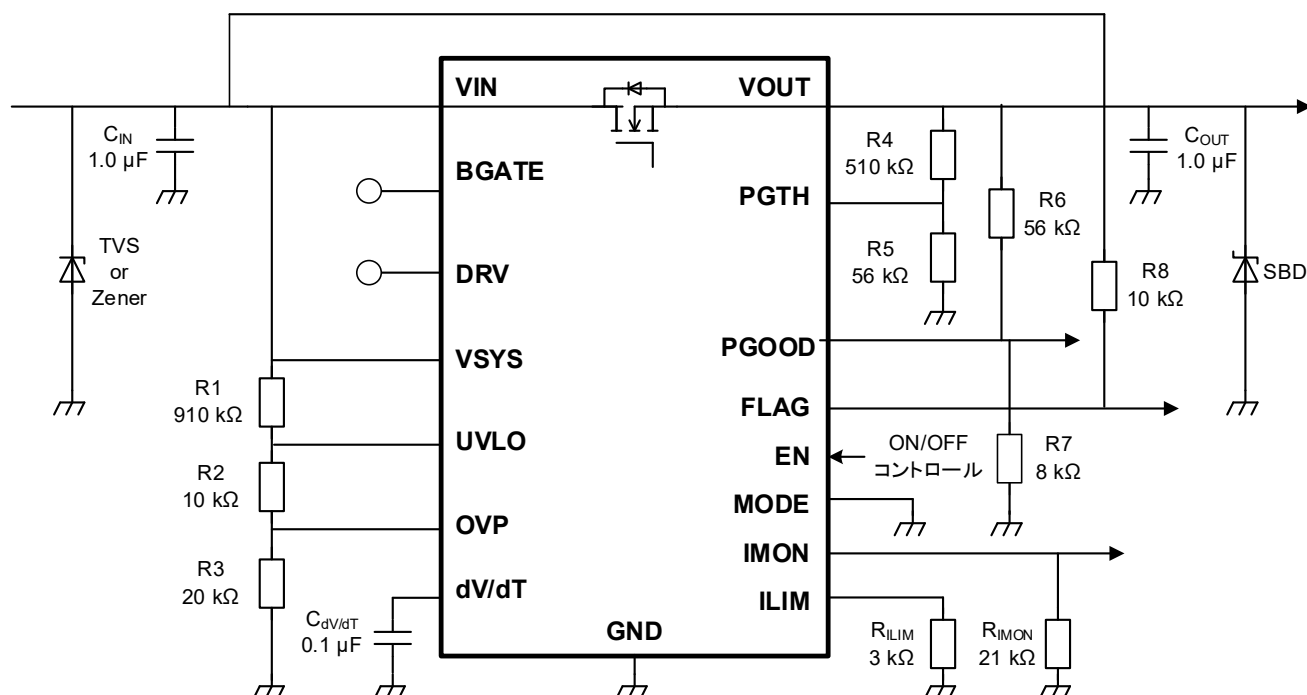


図 6.6 48 V ライン向け入力逆接続保護・逆流防止機能未使用 参考回路

図 6.6 での外付け抵抗および容量の設定値から算出されるしきい値および動作時間の計算結果を表 6.3 に示します。計算結果は、各電気的特性の標準値から求めた参考値です。

表 6.3 図 6.6 の参考回路における各種計算値

設定項目	計算結果 (標準値) (注 15)
UVLO 検出電圧	35.1 V
UVLO 解除電圧	37.3 V
OVP 検出電圧	58.0 V
OVP 解除電圧	54.0 V
PGOOD 検出電圧	11.8 V
PGOOD 解除電圧	11.2 V
出力制限電流 (I_{LIM})	6.43 A
V_{OUT} 立ち上がり時間 (10% to 90%) (t_r)	39.9 ms

(注 15) 本表の計算値はデータシートの標準値を用いています。実際のしきい値および動作時間は、IC の電気的特性のばらつきや外付け部品の許容差によって変動します。

7. ご使用上の注意

絶対最大定格について

本製品の絶対最大定格は、瞬時たりとも超えてはならない定格値です。

入出力コンデンサについて

本製品はセラミックコンデンサが使用可能ですが、種類によっては非常に大きな温度特性を持つ場合もあります。コンデンサの選定にあたっては、使用環境を十分に考慮し、選定してください。

実装について

IC と C_{OUT} 間の距離が長いと、配線やインダクタのインピーダンスにより位相余裕に影響する恐れがあります。安定した電源供給のため、 C_{OUT} はできるだけ IC の近くに実装してください。また、入力および GND パターンをできるだけ大きくして配線インピーダンスを小さくしてください。

VSYS 端子について

VSYS 端子は IC 内部回路への電源供給端子です。予期しない動作を防止するため、 C_{IN} 、 C_{OUT} 、インピーダンスを考慮し、この端子へ安定した電源が供給されるよう設計してください。

最大許容損失および出力電流について

想定される最大許容損失と出力電流に対して十分な設計マージンを確保してください。周囲温度、入力電圧等を考慮し、最大許容損失と出力電流に対して適切なディレーティングを推奨します（一般的には最大定格の 70~80%）。

保護回路について

本製品は過電流保護回路、過電圧保護回路、過熱保護回路を内蔵しておりますが、製品の動作を常に絶対最大定格内に抑える事を保証するものではありません。ご使用条件によっては製品仕様や信頼性保証に影響を与える可能性があります。

本製品のご使用にあたっては、上記および当社「半導体信頼性ハンドブック」等に記載の絶対最大定格に対するディレーティングを考慮の上、いかなる場合においても絶対最大定格を超えないようご注意ください。なお、セットにおいてフェールセーフ等の十分な安全対策を施すことを推奨いたします。

8. 最後に

ここまで TCKE1401NM の使用方法や保護機能についての説明を記載しました。TCKE1401NM は単に過電流保護だけではなく、過電圧や過熱、逆流など考えられるさまざまな異常状態から IC や機器を保護することができます。また、突入電流の抑制や低電圧時の誤動作防止など有用な機能も搭載しています。これらの機能は電子機器の信頼性を大きく向上させることに貢献します。本資料を参考に TCKE1401NM をご活用いただき、機器の高性能化や小型化、トータルコストの低減を実現いただければ幸いです。

- TCKE1401NM の製品ページはこちら→

[Click Here](#)

- eFuse IC の製品ページはこちら→

[Click Here](#)

- eFuse IC のパラメトリックサーチはこちら→

[Click Here](#)

- eFuse IC の FAQ はこちら→

[Click Here](#)

- eFuse IC の e-learning はこちら→

[Click Here](#)

- eFuse IC のご購入はこちら→

[Click Here](#)

- Blocking Nch MOSFET (Q1) のパラメトリックサーチはこちら→

[Click Here](#)

- Fast pull-down Nch MOSFET (Q2) のパラメトリックサーチはこちら→

[Click Here](#)

その他半導体に関する情報はセミコンダクターホームページをご参照ください。

- 東芝デバイス&ストレージ株式会社 セミコンダクターHP はこちら→

[Click Here](#)

(注) 社名・商品名・サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、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。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の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。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（生命直結機器）、車載・輸送機器、防衛関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、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することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、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。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、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。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、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ないでください。また、輸出に際しては、「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、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。