

### 高速通信用フォトカプラーを用いた PLC 24V デジタル入力モジュールの設計

#### 概要

本資料は高速通信用フォトカプラーを用いる場合の

PLC 用 24V デジタル入力モジュールの設計について述べたものです。

これは参考資料です。本資料での最終機器設計はしないでください。

### 目次

概要.....	1
はじめに.....	3
1. PLC 用 24V デジタル入力モジュールと IEC 61131-2.....	4
2. TLP2363 を用いた 24V デジタル入力モジュールの入力回路設計.....	6
2-1. 設計方針.....	6
2-2. 条件を満たす抵抗 $R_1$ , $R_2$ の選定.....	7
2-2-1. $V_{IN} = 5\text{ V}$ 時の数式表現.....	8
2-2-2. $V_{IN} = 15\text{ V}$ 時の数式表現.....	12
2-2-3. $V_{IN} = 30\text{ V}$ 時の数式表現.....	14
2-2-4. 各必要条件の統合.....	16
2-2-5. $R_1$ , $R_2$ の選定と $I_F$ の算出.....	17
2-3. 入力条件 $I_{IN}$ , $V_{IN}$ の考察.....	22
2-3-1. $I_{IN}$ の算出.....	22
2-3-2. $V_{IN}$ の算出.....	23
2-3-3. $I_{IN}$ , $V_{IN}$ 算出結果まとめ.....	25
3. TLP2363 電源の緩やかな立ち上がり、立ち下がりに対する耐量.....	27
4. TLP2363 入力の緩やかな立ち上がり、立ち下がりに対する耐量.....	30
5. まとめ.....	34
製品取り扱い上のお願い.....	35

### はじめに

製造現場の自動化 (FA : ファクトリー・オートメーション) は今日の高度な“ものづくり”において、なくてはならないものとなりつつあります。その FA 実現の中核を担っているのが **PLC** (プログラマブル・ロジック・コントローラー) であり、その充実した入出力機能を支えているのが**デジタル入力モジュール**です。

本アプリケーションノートでは、PLC 向けの国際規格 **IEC 61131-2** への**準拠**を念頭に、高速通信用フォトカプラー **TLP2363** を用いた**デジタル入力モジュールの設計手法**について紹介します。

### 1. PLC 用 24V デジタル入力モジュールと IEC 61131-2

PLC において、デジタル入力モジュールはセンサーやスイッチによる外部からの 24V デジタル入力を受信し、ホストコントローラーへ信号を伝達する目的で使用されます。図 1 に 24V デジタル入力モジュールの基本構成を示します。ホストコントローラー側の GND レベルと、外部入力側の GND レベルが異なるため、信号伝達に高速通信用フォトカプラーを使います。<sup>[注 1]</sup>

[注 1] 低速の信号伝達にはトランジスタ出力フォトカプラーも使われます。

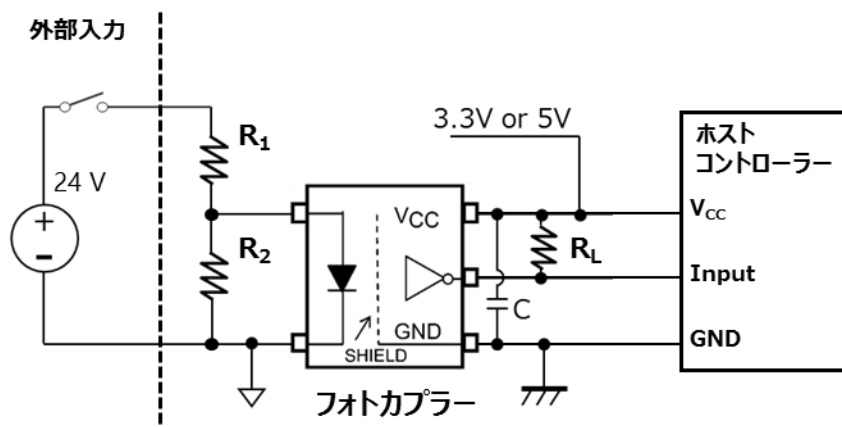


図 1 24V デジタル入力モジュールの基本構成

**IEC 61131** はメーカーごとに異なる設計思想が反映されていた PLC に対して、一部統一化することによって、ユーザーが使いやすい PLC を提供することを目的とした国際規格です。その中で **IEC 61131-2** では、**装置への要求事項及び試験**に関して記述されており、PLC で使用するデジタル入力モジュールに対して、接続される機器別に 3 種類のデジタル入力タイプ (タイプ 1, 2, 3) が規定されています。(表 1)

表 1 デジタル入力タイプごとに想定されている接続機器

デジタル入力タイプ	接続される機器
タイプ 1	リレー接点、押しボタンスイッチ、スイッチなどの機械接点をもつ機器からの信号を検出する機器。
タイプ 2	2線式近接スイッチなどの半導体機器からの信号を検出する機器。
タイプ 3	2線式近接スイッチなどの半導体機器からの信号を検出する機器。 タイプ 2よりも低い電力特性を提供する。

また、入力タイプごとに**入力電圧、入力電流に対する動作領域**が定められています。

**入力定格 24V<sub>dc</sub>において、タイプ 1, 2, 3 それぞれで規定される動作領域**は、図 2 のとおりです。本要求事項の特徴として、モジュールが OFF すべき領域も定められている点が挙げられます。

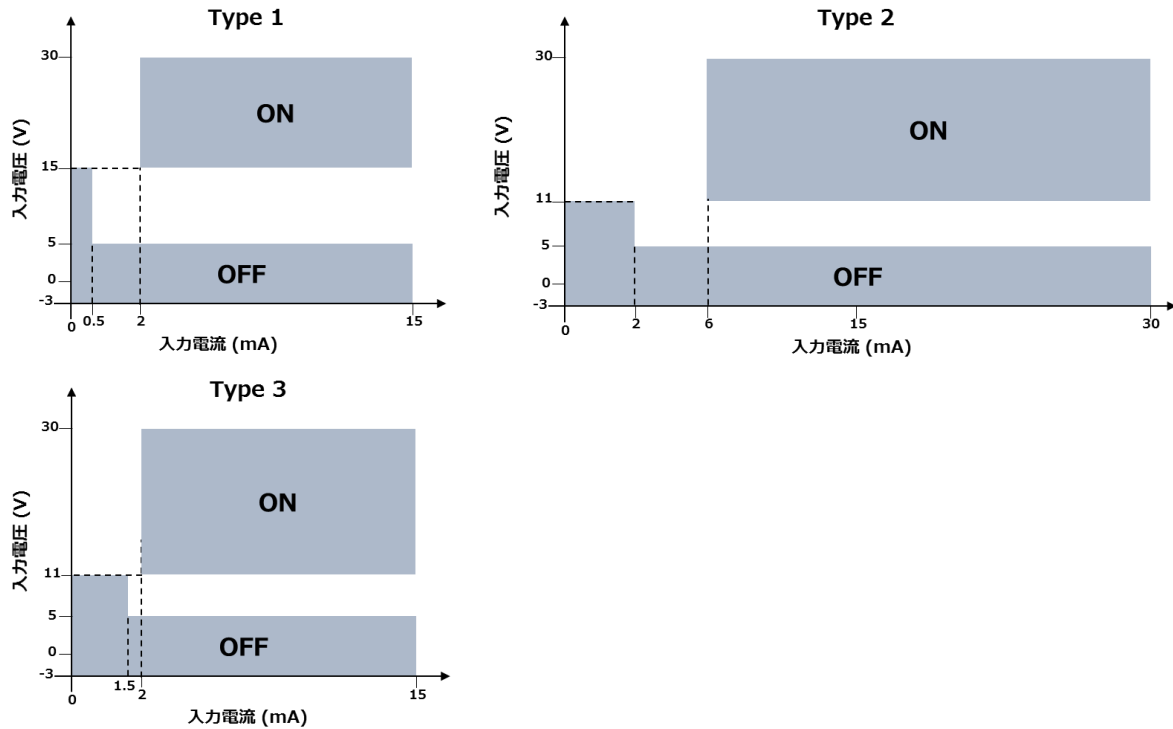


図 2 IEC 61131-2 タイプ 1, 2, 3 における 入力電圧・電流動作領域

図 2 の動作領域に従うように、図 1 のデジタル入力モジュールを設計するためには、最適な **R<sub>1</sub>** と **R<sub>2</sub>** を**選定する** 必要があります。従来の高速通信用フォトカプラーでは、出力の High/Low を制御するスレッシュールド入力電流に対する保証値は最大値のみであり、図 2 の動作領域に従うモジュールの設計が困難でした。

**TLP2363 はスレッシュールド入力電流を最大値のみならず、最小値も保証**することで、図 2 の動作領域に従うデジタル入力モジュールの設計の簡易化に貢献します。

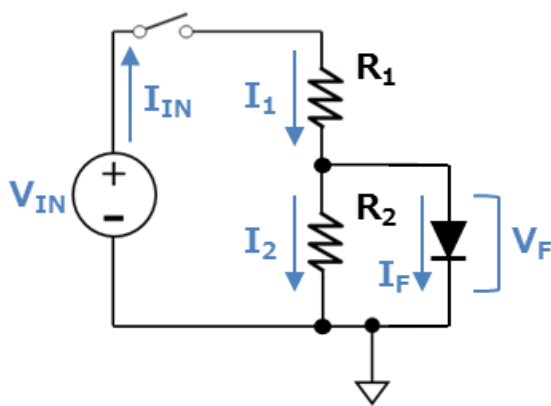
TLP2363 の詳細は[こちら](#)を参照ください。

### 2. TLP2363 を用いた 24V デジタル入力モジュールの入力回路設計

#### 2-1. 設計方針

それでは、TLP2363 を用いた IEC 61131-2 タイプ 1 に準拠する 24V デジタル入力モジュールの設計例を紹介します。

図 1 の中で外部入力からフォトカプラーの入力までに着目し、各パラメーター名を付与したものを図 1' に示します。



$V_{IN}$  : 入力電圧 (DC)

$I_{IN}$  : 入力電流

$I_1$  :  $R_1$  に流れる電流

$I_2$  :  $R_2$  に流れる電流

$I_F$  : TLP2363 の入力順電流

$V_F$  : TLP2363 の入力順電圧

図 1' デジタル入力モジュール 入力回路構成 と 各パラメーター

図 2 より、TLP2363 は各  $V_{IN}$ ,  $I_{IN}$  領域に対して、表 2 の状態をとる必要があることが分かります。

表 2 IEC 61131-2 タイプ 1 で定められる各  $V_{IN}$ ,  $I_{IN}$  領域に対して求められる TLP2363 の状態

TLP2363 状態		$I_{IN}$ (mA)		
		0 ~ 0.5	0.5 ~ 2	2 ~ 15
$V_{IN}$ (V)	-3 ~ 5	OFF	OFF	OFF
	5 ~ 15	OFF	遷移	遷移
	15 ~ 30	遷移	遷移	ON

$R_1$ ,  $R_2$ の選定において重要なことは、以下の4点です。

- ①  $-3\text{ V} < V_{\text{IN}} < 5\text{ V}$  のとき、TLP2363 が必ず OFF する  $I_{\text{F}}$  に電流を制限する。
- ②  $5\text{ V} < V_{\text{IN}} < 15\text{ V}$  のとき、 $0.5\text{ mA} < I_{\text{IN}} < 15\text{ mA}$  を満たすように電流を制限する。
- ③  $15\text{ V} < V_{\text{IN}} < 30\text{ V}$  のとき、 $2\text{ mA} < I_{\text{IN}} < 15\text{ mA}$  を満たすように電流を制限する。
- ④  $15\text{ V} < V_{\text{IN}} < 30\text{ V}$  のとき、TLP2363 が必ず ON する  $I_{\text{F}}$  に電流を制限する。

本アプリケーションノートでは、①, ④を満たす  $R_1$ ,  $R_2$  を求めた上で、 $I_{\text{IN}}$  を算出し、②, ③を満たすことを確認する順序で設計します。

### 2-2. 条件を満たす抵抗 $R_1$ , $R_2$ の選定

①, ④を TLP2363 のスレッショルド入力電流最小値 ( $I_{\text{FHL\_min}}$ )、スレッショルド入力電流最大値 ( $I_{\text{FHL\_max}}$ ) を用いて表現すると、

$$(a) : V_{\text{IN}} = 5\text{ V} \text{ のとき、} I_{\text{F}} < I_{\text{FHL\_min}}$$

$$(b) : V_{\text{IN}} = 15\text{ V} \text{ のとき、} I_{\text{FHL\_max}} < I_{\text{F}}$$

とできます。また、TLP2363 の  $I_{\text{F}}$  には絶対最大定格があるため、これを合わせて表現すると、

$$(c) : V_{\text{IN}} = 30\text{ V} \text{ のとき、} I_{\text{F}} < I_{\text{F}} \text{ 絶対最大定格}$$

とできます。

以上(a), (b), (c) をともに満たす  $R_1$ ,  $R_2$  を求めることがこの章での目標です。

まず、図 1' において、 $I_{\text{F}}$  を  $R_1$ ,  $R_2$  を用いて表現します。

$$V_{\text{IN}} = I_1 \times R_1 + V_{\text{F}}$$

$$I_1 = I_2 + I_{\text{F}}$$

$$I_2 = V_{\text{F}} / R_2 \quad \text{とできるので}$$

$$V_{\text{IN}} = (V_{\text{F}} / R_2 + I_{\text{F}}) \times R_1 + V_{\text{F}}$$

$$I_{\text{F}} = V_{\text{IN}} / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times V_{\text{F}} \quad \cdots \text{ (式 2.2.0)}$$

と表すことができます。

### 2-2-1. $V_{IN} = 5V$ 時の数式表現

(a) :  $V_{IN} = 5V$  のとき、 $I_F = I_{F\_off}$  として、式 2.2.0 より

$$I_{F\_off} = 5 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times V_F < I_{FHL\_min} \quad \dots \text{(式 2.2.1)}$$

式 2.2.1 において、 $I_{F\_off}$  が最大となるのは、 $V_F = V_{F\_min1}$  のときです。

\*  $V_{F\_min1}$  :  $I_{F\_off} = I_{FHL\_min}$  のとき、全動作温度条件下で最小となる  $V_F$

### 2-2-1(a). $V_F$ のばらつき幅考察

式 2.2.1 において、まずは  $V_F$  のばらつき幅に関して考察します。

TLP2363 のデータシートには、表 3 のように  $I_F = 2.6 \text{ mA}$ ,  $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  のときの  $V_F$  最小値、最大値が標準値とともに記載されています。

表 3 TLP2363 の  $I_F = 2.6 \text{ mA}$ ,  $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  のときの  $V_F$  最小値と標準値、最大値

項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
入力順電圧	$V_F$	$I_F = 2.6 \text{ mA}$ , $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	1.35	1.5	1.65	V

この記載から、 $V_F$  の標準値に対する最小値、最大値のばらつき幅は  $\pm 10 \%$  であると読み取れます。

TLP2363 のデータシート記載の  $I_F - V_F$  特性カーブ (図 3) を用いると、

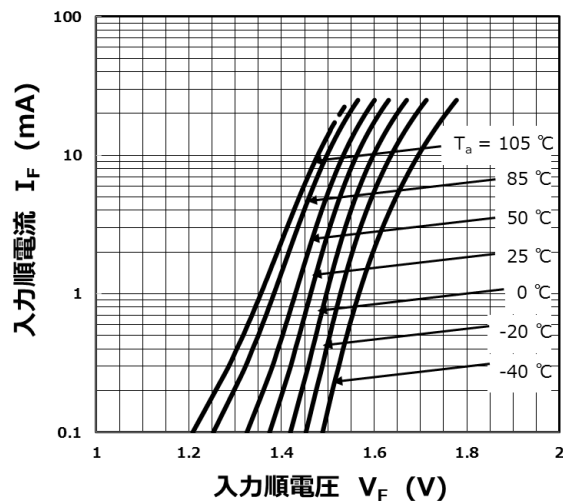


図 3 TLP2363 の  $I_F - V_F$  特性カーブ



Ta = 25 °C 条件において、標準値に対するばらつき幅 ±10 % を考慮した  $I_F - V_F$  特性カーブは図 4 のとおりです。

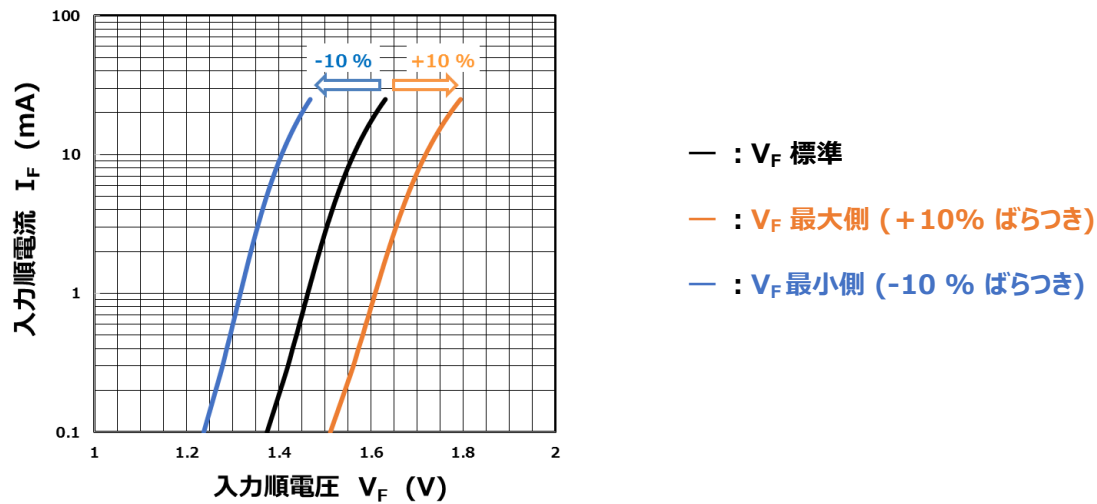


図 4 TLP2363 の Ta = 25 °C での  $I_F - V_F$  特性カーブ (±10 % ばらつき考慮)

同様に Ta = -40 °C 条件において、標準値に対するばらつき幅 ±10 % を考慮した  $I_F - V_F$  特性カーブは図 5 のとおり、Ta = 105 °C 条件において、標準値に対するばらつき幅 ±10 % を考慮した  $I_F - V_F$  特性カーブは図 6 のとおりです。

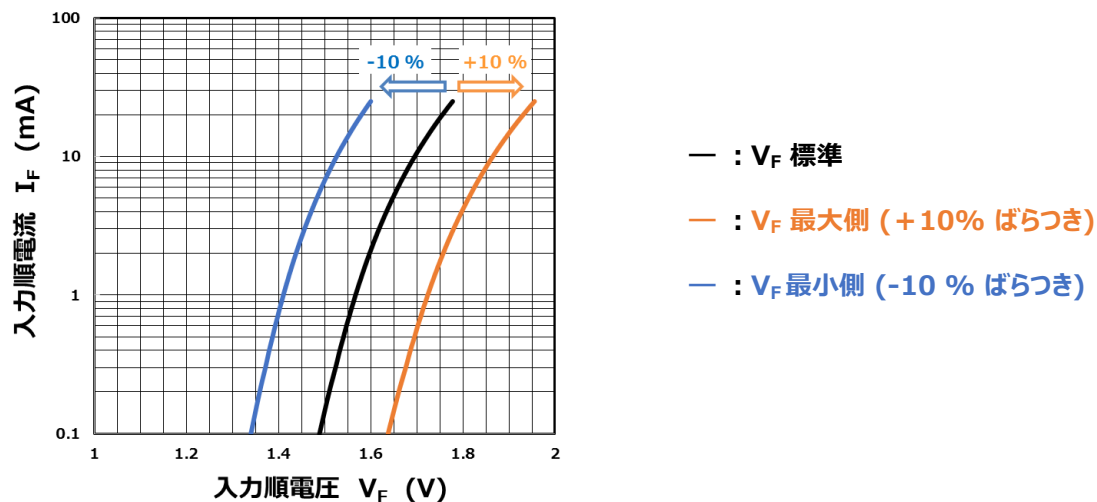


図 5 TLP2363 の Ta = -40 °C での  $I_F - V_F$  特性カーブ (±10 % ばらつき考慮)

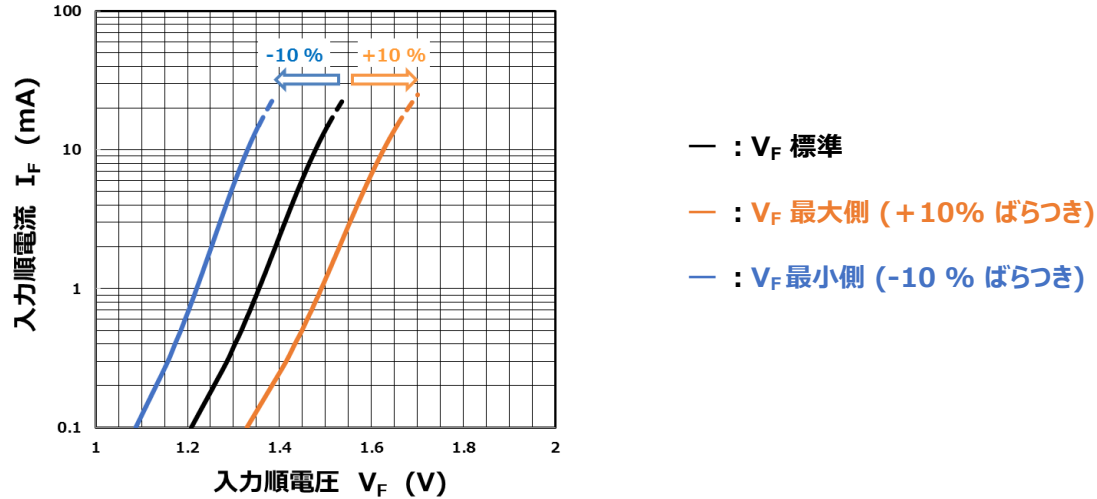


図 6 TLP2363 の  $T_a = 105^\circ\text{C}$  での  $I_F - V_F$  特性カーブ ( $\pm 10\%$  ばらつき考慮)

図 4, 5, 6 から、TLP2363 の全動作温度条件 ( $-40 \sim 105^\circ\text{C}$ ) において、**(1)標準の  $I_F - V_F$  特性カーブ**、**(2)標準に対して +10% のばらつき幅を考慮した  $V_F$  最大側ワースト  $I_F - V_F$  特性カーブ**、**(3)標準に対して -10% のばらつき幅を考慮した  $V_F$  最小側ワースト  $I_F - V_F$  特性カーブ** は図 7 で表すことができます。(ただし、(1)は  $T_a = 25^\circ\text{C}$  のときとする)

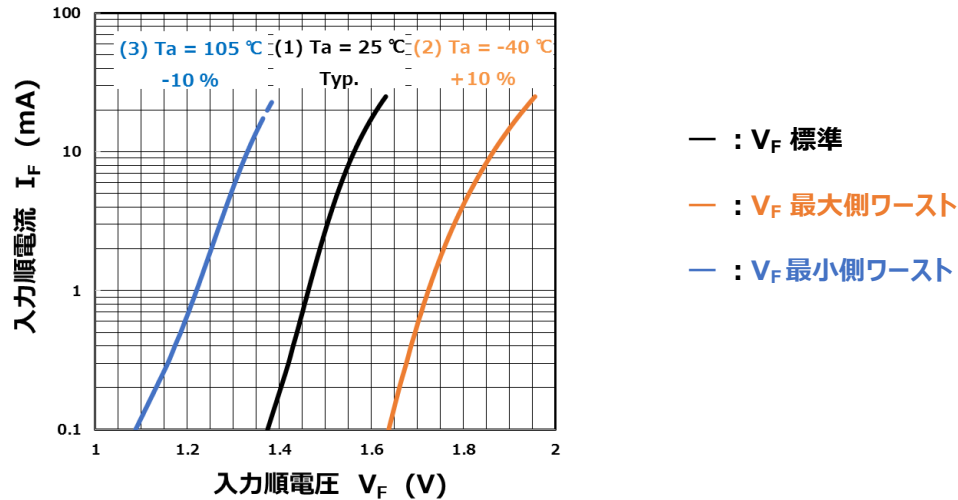


図 7 TLP2363 の全動作温度条件における 標準  $I_F - V_F$  特性カーブと、  
 $V_F$  最大側、最小側ワースト  $I_F - V_F$  特性カーブ

### 2-2-1(b). $V_{F\_min1}$ の考察

一方、TLP2363 のデータシートには、表 4 のように  $V_{CC} = 3.3 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  のとき、 $I_{FHL}$  の最小値、最大値が標準値とともに記載されています。ただし、最小値、最大値は  $T_a = -40 \sim 105 \text{ }^\circ\text{C}$  における保証値であり、標準値は  $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  のときの値です。

表 4 TLP2363  $I_{FHL}$  特性表

項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
スレッシュホールド入力電流 (H/L)	$I_{FHL}$	$V_{CC} = 3.3 \text{ V}$ , $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ , $V_0 < 0.6 \text{ V}$	0.3	0.9	2.4	mA

表 4 より、 $V_{CC} = 3.3 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  のとき、 $I_{FHL\_min} = 0.3 \text{ mA}$  なので、 $V_{F\_min1}$  は  $I_F = I_{F\_off} = 0.3 \text{ mA}$  のとき、全温度条件下で最小となる  $V_F$  とでき、図 7' より、 $V_{F\_min1} = 1.16 \text{ V}$  と分かります。

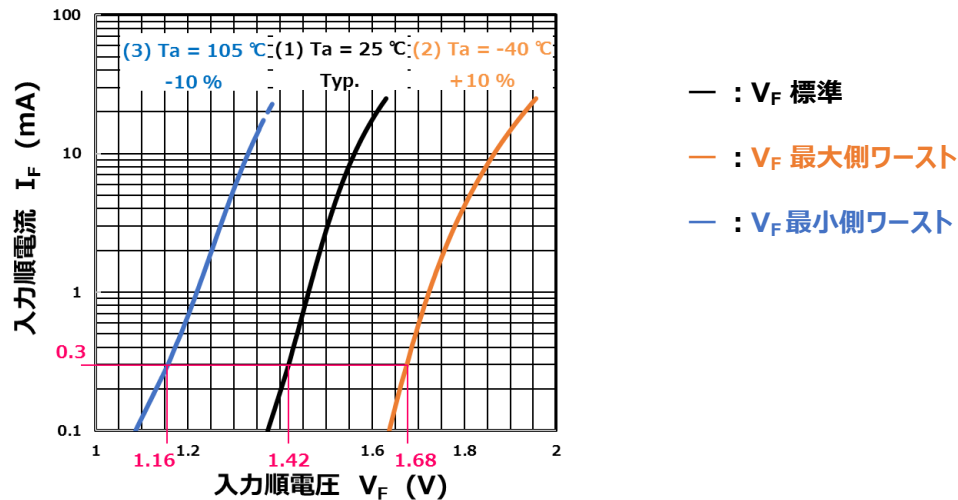


図 7' TLP2363 の全動作温度条件における 標準  $I_F$ - $V_F$  特性カーブと、 $V_F$  最大側、最小側ワースト  $I_F$ - $V_F$  特性 カーブ ( $I_F = 0.3 \text{ mA}$  のときの  $V_F$  値 記載)

これを式 2.2.1 に代入することで、 $R_1$ ,  $R_2$  は式 2.2.1' を満たす必要があることが分かります。

$$I_{F\_off} = 5 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times 1.16 < 0.3 \times 10^{-3} \quad \dots \text{ (式 2.2.1')}$$

### 2-2-2. $V_{IN} = 15\text{ V}$ 時の数式表現

(b) :  $V_{IN} = 15\text{ V}$  のとき、 $I_F = I_{F\_on1}$  として

式 2.2.0 より

$$I_{F\_on1} = 15 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times V_F > I_{FHL\_max} \quad \dots \text{(式 2.2.2)}$$

式 2.2.2 において、 $I_{F\_on1}$  が最小となるのは、 $V_F = V_{F\_max}$  のときであることが分かります。

\*  $V_{F\_max}$  :  $I_{F\_on1} = I_{FHL\_max}$  のとき、全動作温度条件下で最大となる  $V_F$

### 2-2-2(a). $V_F$ のばらつき幅考察

式 2.2.2 において、 $V_F$  のばらつき幅に関しては、図 7 のとおりです。

### 2-2-2(b). $V_{F\_max}$ の考察

(a) と同様に、図 7 と表 4 から、 $V_{F\_max}$  を見積もりたいところですが、注意しなければならない点があります。フォトカプラーに搭載している LED の光出力は経年変化するので、**長期間にわたり使用される場合には、初期設計の段階で経年変化分のマージンを確保しておく必要がある**ことです。

図 8 は TLP2363 に搭載している LED を最大定格条件で使用し続けた場合の光出力劣化カーブです。

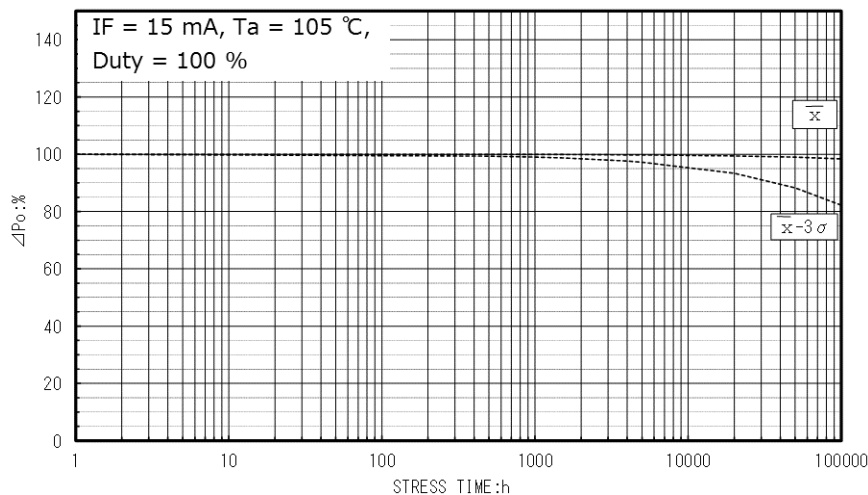


図 8 TLP2363 搭載 LED の光出力劣化カーブ (ワーストケース)

図 8 から、ワーストケースでも 10 万時間後の光出力劣化は 20 % 以下であることが分かります。この劣化分を考慮せず、フォトカプラーを ON させたい入力条件 (ここでは、 $V_{IN} = 15 \text{ V}$ ) において、表 4 の最大値ぎりぎりでも  $I_F$  を設計してしまうと、長期間にわたり使用し続けたときに、フォトカプラーが正常に ON しない可能性があります。

これを踏まえ、初期の段階で  $I_{FHL}$  の最大値は  $3.0 \text{ mA}$ <sup>[注 3]</sup> として設計されることを推奨します。

[注 3] 表 4 より、 $V_{CC} = 3.3 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  条件での  $I_{FHL}$  最大値は  $2.4 \text{ mA}$ 、10 万時間後の光出力劣化はワーストで約 20 % なので、 $2.4 \text{ mA} / (1 - 0.2) = 3.0 \text{ mA}$

$I_{FHL}$  最小値に対しては、フォトカプラーに搭載している LED の経年変化は光出力が低下する方向であるので、フォトカプラーを OFF させたい入力条件 (ここでは、 $V_{IN} = 5 \text{ V}$ ) において、初期の段階で  $I_{FHL}$  最小値より  $I_F$  が小さくなるように設計しておけば、長期間にわたり使用した場合でも TLP2363 は確実に OFF します。

以上を踏まえ、表 4 に 20 % 分の光出力劣化を考慮すると、表 4' とできます。

表 4' TLP2363  $I_{FHL}$  特性表 (20 % 分の光出力劣化を含む)

項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
スレッシュホールド入力電流 (H/L)	$I_{FHL}$	$V_{CC} = 3.3 \text{ V}$ , $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ , $V_O < 0.6 \text{ V}$	0.3	0.9	3.0	mA

表 4' より、 $V_{CC} = 3.3 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  のとき、 $I_{FHL\_max} = 3.0 \text{ mA}$  なので、 $V_{F\_max}$  は  $I_F = I_{F\_on1} = 3.0 \text{ mA}$  のとき、全温度条件下で最大となる  $V_F$  とでき、図 7'' より、 $V_{F\_max} = 1.78 \text{ V}$  と分かります。

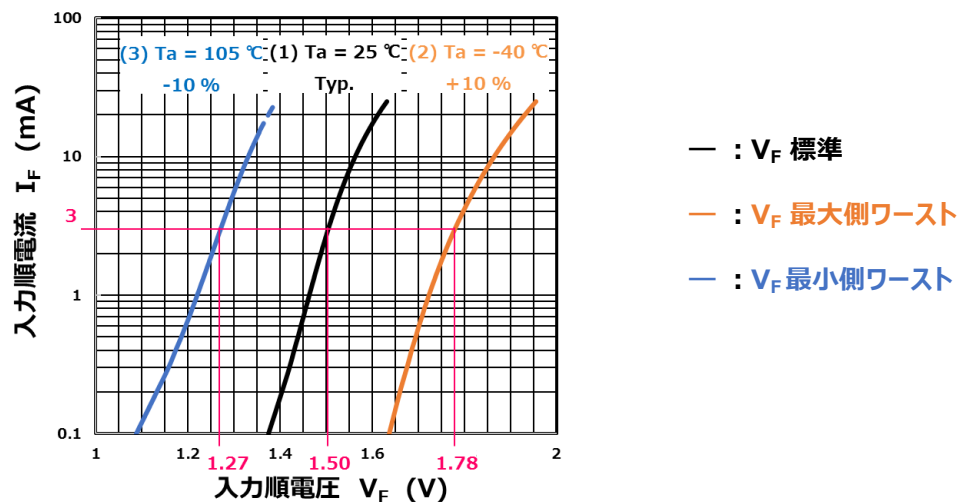


図 7'' TLP2363 の全動作温度条件における 標準  $I_F$ - $V_F$  特性カーブと、 $V_F$  最大側、最小側ワースト  $I_F$ - $V_F$  特性カーブ ( $I_F = 3.0 \text{ mA}$  のときの  $V_F$  値 記載)

これを式 2.2.2 に代入することで、 $R_1$ ,  $R_2$  は式 2.2.2' を満たす必要があることが分かります。

$$I_{F\_on1} = 15 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times 1.78 > 3.0 \times 10^{-3} \quad \dots (\text{式 2.2.2}')$$

### 2-2-3. $V_{IN} = 30 \text{ V}$ 時の数式表現

(c) :  $V_{IN} = 30 \text{ V}$  のとき、 $I_F = I_{F\_on2}$  として

式 2.2.0 より

$$I_{F\_on2} = 30 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times V_F < I_F \text{ 絶対最大定格} \quad \dots (\text{式 2.2.3})$$

式 2.2.3 において、 $I_{F\_on2}$  が最大となるのは、 $V_F = V_{F\_min2}$  のときであることが分かります。

\*  $V_{F\_min2}$  :  $I_{F\_on2} = I_F \text{ 絶対最大定格}$  のとき、全動作温度条件下で最小となる  $V_F$

### 2-2-3(a). $V_F$ のばらつき幅考察

式 2.2.3 において、 $V_F$  のばらつき幅に関しては、図 7 のとおりです。

### 2-2-3(b). $V_{F\_min2}$ の考察

TLP2363 のデータシートには、表 5 のように  $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  時の  $I_F$  の絶対最大定格値と、 $I_F$  の温度に対する低減率が記載されています。

表 5 TLP2363  $I_F$  の絶対最大定格と温度に対する低減率および、動作温度範囲

項目	記号	定格	単位
入力順電流 ( $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ )	$I_F$	25	mA
入力順電流低減率 ( $T_a \geq 85 \text{ }^\circ\text{C}$ )	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.5	mA/ $^\circ\text{C}$
動作温度	$T_{opr}$	-40 ~ 105	$^\circ\text{C}$

表 5 より、 $I_F$  絶対最大定格値が最も小さくなるのは、 $T_a = 105 \text{ }^\circ\text{C}$  のときであり、そのときの  $I_F$  絶対最大定格値は、

$$25 - 0.5 \times (105 - 85) = 15 \text{ mA と分かります。}$$

$V_{F\_min2}$  は  $I_F = I_{F\_on2} = 15 \text{ mA}$  のとき、全温度条件下で最小となる  $V_F$  とでき、図 7''' より、 $V_{F\_min2} = 1.35 \text{ V}$  と分かります。

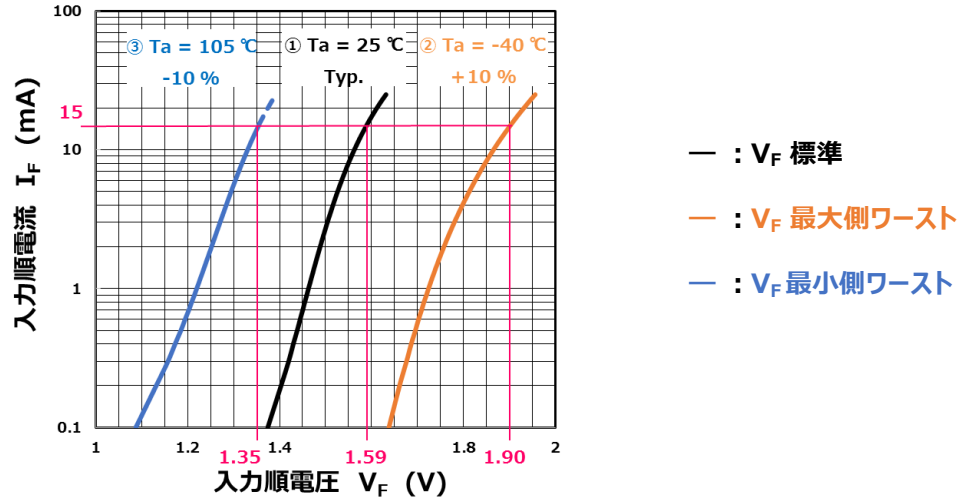


図 7''' TLP2363 の全動作温度条件における 標準  $I_F$ - $V_F$  特性カーブと、  
 $V_F$  最大側、最小側ワースト  $I_F$ - $V_F$  特性 カーブ ( $I_F = 15 \text{ mA}$  のときの  $V_F$  値 記載)

これを式 2.2.3 に代入することで、 $R_1, R_2$  は式 2.2.3 を満たす必要があることが分かります。

$$I_{F\_on2} = 15 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times 1.35 < 15 \times 10^{-3} \quad \dots \text{ (式 2.2.3')}$$

### 2-2-4. 各必要条件の統合

2-2-1 ~ 2-2-3 より

(a) :  $V_{IN} = 5\text{ V}$  のとき、 $I_F < I_{FHL\_min}$  は、

$$5 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times 1.16 < 0.3 \times 10^{-3} \quad \dots \text{(式 2.2.1')}$$

(b) :  $V_{IN} = 15\text{ V}$  のとき、 $I_{FHL\_max} < I_F$  は、

$$15 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times 1.78 > 3.0 \times 10^{-3} \quad \dots \text{(式 2.2.2')}$$

(c) :  $V_{IN} = 30\text{ V}$  のとき、 $I_F < I_F$  絶対最大定格 は、

$$30 / R_1 - (1 / R_1 + 1 / R_2) \times 1.35 < 15 \times 10^{-3} \quad \dots \text{(式 2.2.3')}$$

と、それぞれ表すことができ、(a), (b), (c) をともに満たす  $R_1, R_2$  は図 9 の斜線領域内の組み合わせであることが分かります。

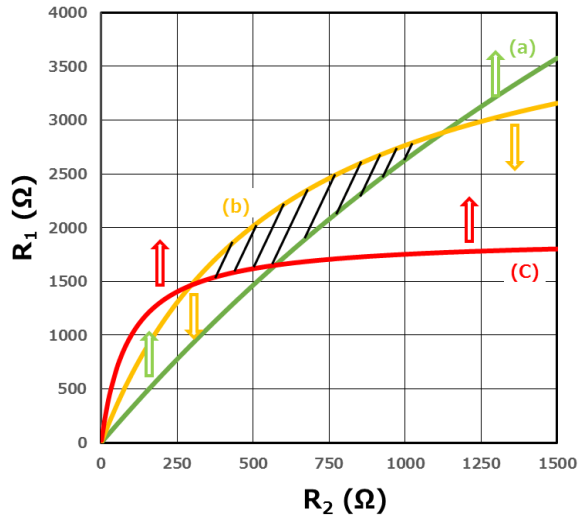


図 9 IEC 61131-2 タイプ 1 に準拠するための  $R_1, R_2$  許容範囲



### 2-2-5. R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>の選定と I<sub>F</sub>の算出

ここで、図 9 の R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> の許容範囲と E24 系列の抵抗から R<sub>1</sub> = 2200 Ω, R<sub>2</sub> = 750 Ω を選択した場合の I<sub>F</sub> を見積もります。

(ただし、抵抗の許容誤差は温度変化、経年変化を加味して ±5 % 以内とします)

#### 2-2-5(a). V<sub>IN</sub> = 5 V 時の I<sub>F</sub> 算出

まず (a) から、V<sub>IN</sub> = 5 V のときの I<sub>F\_off</sub> を見積もります。

式 2.2.1 より、V<sub>F</sub> が大きいほど I<sub>F\_off</sub> は小さくなることが分かります。

また、式 2.2.1 を整理すると、

$$I_{F\_off} = (5 - V_F) / R_1 - V_F / R_2$$

とできるので、R<sub>1</sub> が大きいほど、R<sub>2</sub> が小さいほど I<sub>F\_off</sub> は小さくなることが分かります。

従って、図 7' と式 2.2.1 より、I<sub>F\_off</sub> の最小値、標準値、最大値とそのときの V<sub>F</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ばらつき条件は表 6 と計算できます。

表 6 I<sub>F\_off</sub> の最小値、標準値、最大値と各条件

V <sub>in</sub> = 5 V	最小	標準	最大	単位
I <sub>F_off</sub>	-0.91	-0.27	0.37	mA
条件				
T <sub>a</sub>	-40	25	105	°C
V <sub>F</sub>	1.68	1.42	1.16	V
R <sub>1</sub>	2200 + 5 %	2200	2200 - 5 %	Ω
R <sub>2</sub>	750 - 5 %	750	750 + 5 %	Ω

ここで、ワーストケースである Ta = 105 °C のとき、I<sub>F\_off</sub> 最大値 0.37 mA において、TLP2363 が確実に OFF できることを確認します。

TLP2363 のデータシート記載の I<sub>FHL</sub> - Ta 特性カーブは図 10 のとおりです。

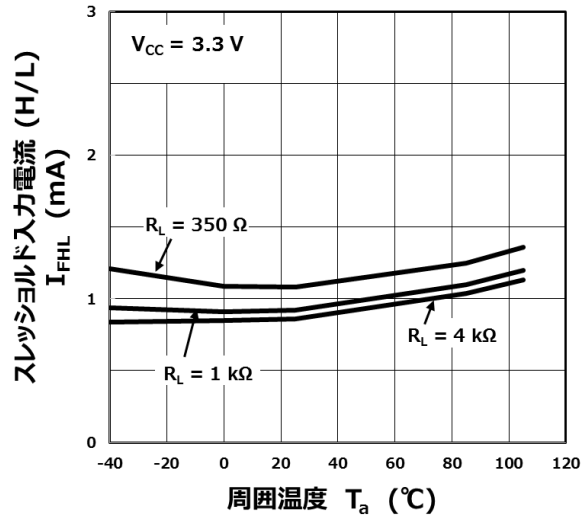


図 10 TLP2363 の  $V_{CC} = 3.3 V$  での  $I_{FHL} - T_a$  特性カーブ

図 10 から、 $V_{CC} = 3.3 V$ ,  $R_L = 1 k\Omega$  のとき、全動作温度条件下で  $I_{FHL}$  が最小となるのは、 $T_a = 0^\circ C$  のときであり、 $I_{FHL}$  が最大となるのは、 $T_a = 105^\circ C$  のときであることが分かります。

表 4 より、 $I_{FHL\_min} = 0.3 mA$  であることと、図 10 から、 $V_{CC} = 3.3 V$ ,  $R_L = 1 k\Omega$  のとき、 $I_{FHL}$  最小値と、 $I_{FHL}$  の温度特性の関係は、図 11 で表すことができます。

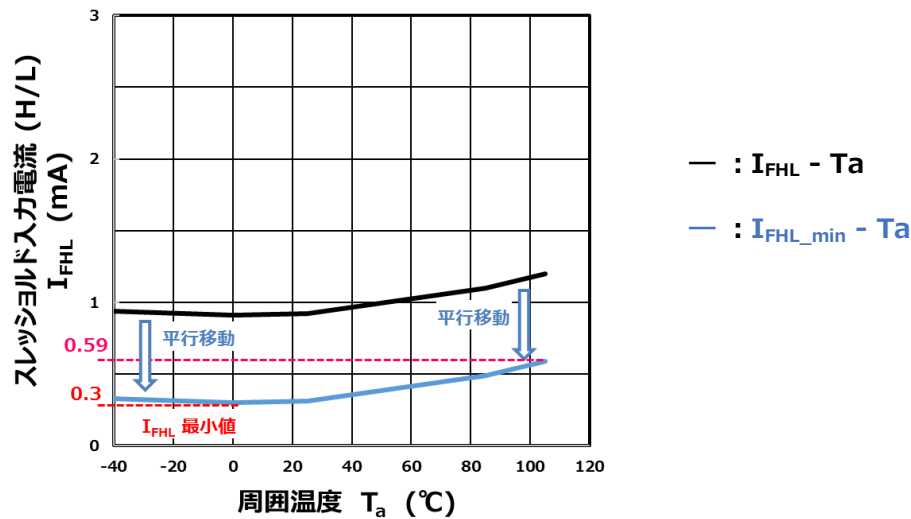


図 11 TLP2363 の  $V_{CC} = 3.3 V$ ,  $R_L = 1 k\Omega$  での  $I_{FHL}$  最小値と、 $I_{FHL}$  温度特性の関係

$V_{CC} = 3.3 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  のときの  $I_{FHL} - T_a$  カーブを、 $T_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  のときに  $I_{FHL}$  が最小値  $0.3 \text{ mA}$  を示すように平行移動させた  $I_{FHL\_min} - T_a$  カーブ (図 11 内青線) から、 $T_a = 105 \text{ }^\circ\text{C}$  のときの  $I_{FHL}$  最小値は  $0.59 \text{ mA}$  と見積もることができます。

よって、表 6 内でワーストケースである  $T_a = 105 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $I_{F\_off}$  最大値  $0.37 \text{ mA}$  のときでも、TLP2363 は確実に OFF できることが分かります。

### 2-2-5(b). $V_{IN} = 15 \text{ V}$ 時の $I_F$ 算出

次に (b) から、 $V_{IN} = 15 \text{ V}$  のときの  $I_{F\_on1}$  を見積もります。  
式 2.2.2 より、 $V_F$  が大きいほど  $I_{F\_on1}$  は小さくなることが分かります。  
また、式 2.2.2 を整理すると、

$$I_{F\_on1} = (15 - V_F) / R_1 - V_F / R_2$$

とできるので、 $R_1$  が大きいほど、 $R_2$  が小さいほど  $I_{F\_on1}$  は小さくなることが分かります。

従って、図 7' と式 2.2.2 より、 $I_{F\_on1}$  の最小値、標準値、最大値とそのときの  $V_F$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  ばらつき条件は表 7 と計算できます。

表 7  $I_{F\_on1}$  の最小値、標準値、最大値と各条件

$V_{in} = 15 \text{ V}$	最小	標準	最大	単位
$I_{F\_on1}$	3.23	4.13	4.96	mA
条件				
$T_a$	-40	25	105	$^\circ\text{C}$
$V_F$	1.78	1.50	1.27	V
$R_1$	2200 + 5 %	2200	2200 - 5 %	$\Omega$
$R_2$	750 - 5 %	750	750 + 5 %	$\Omega$

表 4' から  $I_{FHL}$  最大値は  $3.0 \text{ mA}$  であるから、ワーストケースである  $T_a = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $I_{F\_on1}$  最小値  $3.23 \text{ mA}$  において、TLP2363 は確実に ON できることが分かります。

### 2-2-5(c). $V_{IN} = 30\text{ V}$ 時の $I_F$ 算出

最後に (c) から、 $V_{IN} = 30\text{ V}$  のときの  $I_{F\_on2}$  を見積もります。  
式 2.2.3 より、 $V_F$  が大きいほど  $I_{F\_on2}$  は小さくなることが分かります。  
また、式 2.2.3 を整理すると、

$$I_{F\_on2} = (30 - V_F) / R_1 - V_F / R_2$$

とできるので、 $R_1$  が大きいほど、 $R_2$  が小さいほど  $I_{F\_on2}$  は小さくなることが分かります。

従って、図 7''' と式 2.2.3 より、 $I_{F\_on2}$  の最小値、標準値、最大値とそのときの  $V_F$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  ばらつき条件は表 8 と計算できます。

表 8  $I_{F\_on2}$  の最小値、標準値、最大値と各条件

$V_{in} = 30\text{ V}$	最小	標準	最大	単位
$I_{F\_on2}$	9.49	10.8	12.0	mA
条件				
$T_a$	-40	25	105	°C
$V_F$	1.90	1.59	1.35	V
$R_1$	2200 + 5 %	2200	2200 - 5 %	Ω
$R_2$	750 - 5 %	750	750 + 5 %	Ω

表 5 から TLP2363 の  $I_{FHL}$  の絶対最大定格は  $T_a = -40, 25\text{ °C}$  で 25 mA、 $T_a = 105\text{ °C}$  で 15 mA であるから、ワーストケースである  $T_a = 105\text{ °C}$ 、 $I_{F\_on2}$  最大値 12.0 mA において、TLP2363 の  $I_F$  絶対最大定格を超えないことが分かります。

### 2-2-5(d). $I_F$ 算出結果まとめ

以上をまとめると、E24 系列から  $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  を選択した場合、各  $V_{IN}$  条件における  $I_F$  は表 9 のとおりであり、TLP2363 は IEC 61131-2 タイプ 1 の要求に準拠した ON/OFF 遷移が可能であることが分かります。

ただし、TLP2363 はオープンコレクター出力タイプであり、 $V_{CC}$  に最小動作電圧以上の電圧を与えている場合、 $I_F < I_{FHL\_min}$  で  $V_O : High$ ,  $I_F > I_{FHL\_max}$  で  $V_O : Low$  です。

表 9  $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  のときの 各  $V_{IN}$  条件における  $I_F$  と TLP2363 の出力ロジック

$V_{IN}$ (V)	$I_F$ 最小値 (mA)	$I_F$ 標準値 (mA)	$I_F$ 最大値 (mA)	TLP2363 出力ロジック
5	-0.91	-0.27	0.37	High
15	3.23	4.13	4.96	Low
30	9.49	10.8	12.0	Low

## 2-3. 入力条件 $I_{IN}$ , $V_{IN}$ の考察

ここで再度、 $R_1$ ,  $R_2$  の選定手順をおさらいします。2.1 で記述したとおり、本アプリケーションノートでは①, ④を満たす  $R_1$ ,  $R_2$  を求めた上で、 $I_{IN}$  を算出し、②, ③を満たすことを確認する順序で設計してきました。

- ①  $-3\text{ V} < V_{IN} < 5\text{ V}$  のとき、TLP2363 が必ず OFF する  $I_F$  に電流を制限する。
- ②  $5\text{ V} < V_{IN} < 15\text{ V}$  のとき、 $0.5\text{ mA} < I_{IN} < 15\text{ mA}$  を満たすように電流を制限する。
- ③  $15\text{ V} < V_{IN} < 30\text{ V}$  のとき、 $2\text{ mA} < I_{IN} < 15\text{ mA}$  を満たすように電流を制限する。
- ④  $15\text{ V} < V_{IN} < 30\text{ V}$  のとき、TLP2363 が必ず ON する  $I_F$  に電流を制限する。

2-2 で、E24 系列から  $R_1 = 2200\ \Omega$ ,  $R_2 = 750\ \Omega$  を選定すれば、TLP2363 は IEC 61131-2 タイプ 1 の要求どおりに動作できることが確認できました。では、この抵抗条件のときに②, ③を満たせるのか確認しましょう。

### 2-3-1. $I_{IN}$ の算出

図 1' において、 $I_{IN}$  を  $I_F$ ,  $V_F$  を使って表現します。

$$\begin{aligned} I_{IN} &= I_2 + I_F \\ &= V_F / R_2 + I_F \quad \cdots \text{(式 2.3.1)} \end{aligned}$$

式 2.3.1 より、 $I_{IN}$  は TLP2363 の  $I_F$ ,  $V_F$  で表現でき、 $R_2$  が大きいほど、 $I_{IN}$  は小さくなるのが分かります。

図 7 の  $I_F - V_F$  特性カーブと式 2.3.1 から、TLP2363 の  $I_F$ ,  $V_F$  に対する  $I_{IN}$  の最小、標準、最大は図 12 のように表すことができます。ただし、 $I_{IN}$  が最小となる  $T_a = -40\text{ }^\circ\text{C}$  条件では  $R_2$  が +5 %ばらついた場合を、 $I_{IN}$  が最大となる  $T_a = 105\text{ }^\circ\text{C}$  条件では  $R_2$  が -5 %ばらついた場合を想定しています。

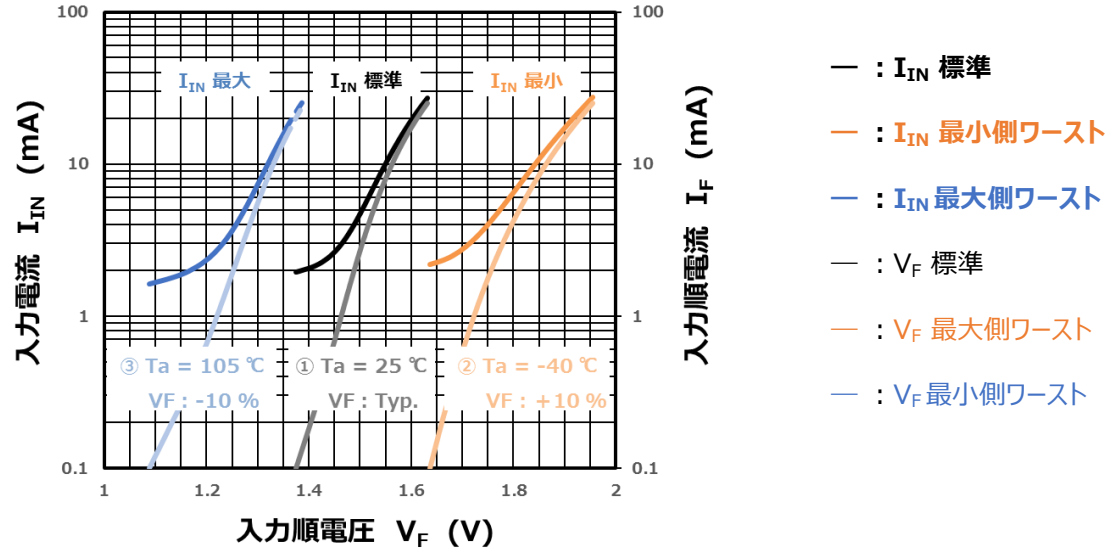


図 12 TLP2363 の  $I_F$ ,  $V_F$  に対する  $I_{IN}$  の最小、標準、最大

### 2-3-2. $V_{IN}$ の算出

図 1' において、 $I_{IN}$  を使って  $V_{IN}$  を表現します。

$I_1 = I_{IN}$  なので

$$V_{IN} = I_{IN} \times R_1 + V_F \quad \dots \text{(式 2.3.2)}$$

式 2.3.2 より、 $V_{IN}$  は  $I_{IN}$  の 1 次関数で表現できることが分かります。また、同一  $V_{IN}$  に対して、 $R_1$  が大きいほど  $I_{IN}$  は小さくなることも分かります。

図 12 と式 2.3.2 より、 $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  を選定したときの  $V_{IN}$  と  $I_{IN}$  の関係は図 13 のとおりと計算できます。

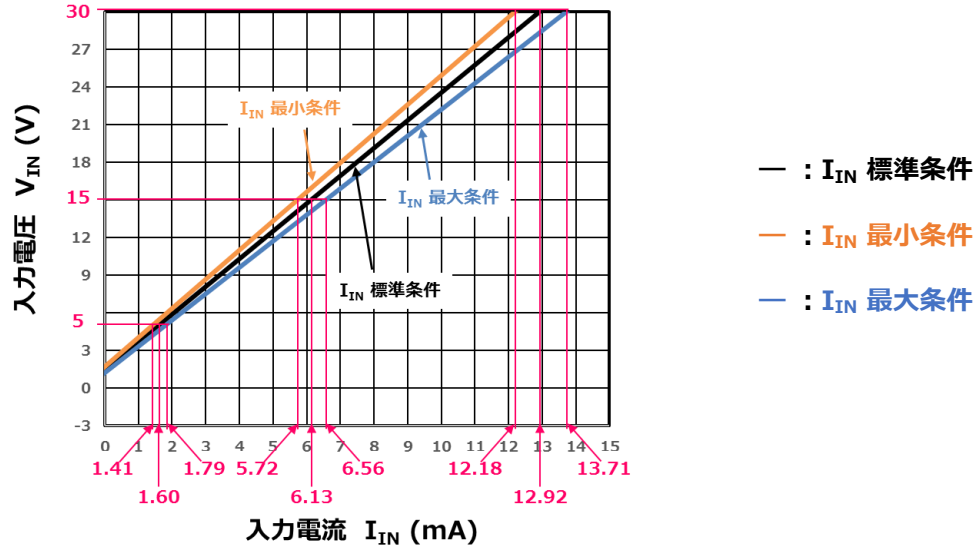


図 13 TLP2363 を用いて、 $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  を選定したときの、 $V_{IN} - I_{IN}$  特性カーブ ( $V_{IN} = 5 \text{ V}$ ,  $15 \text{ V}$ ,  $30 \text{ V}$  のときの  $I_{IN}$  値記載)

ここで、図 13 の各線の算出に用いる条件は表 10 のとおりです。

表 10 図 13 作図の条件一覧

条件	$I_{IN}$ 最小	$I_{IN}$ 標準	$I_{IN}$ 最大
$T_a$ (°C)	-40	25	105
$I_F - V_F$ 特性カーブ	+10 %	標準	-10 %
$R_1$ ( $\Omega$ )	$2200 + 5 \%$	2200	$2200 - 5 \%$
$R_2$ ( $\Omega$ )	$750 + 5 \%$	750	$750 - 5 \%$



### 2-3-3. $I_{IN}$ , $V_{IN}$ 算出結果まとめ

図 13 に IEC 61131-2 Type.1 の ON/OFF 領域を書き込むと、図 13' と表せます。

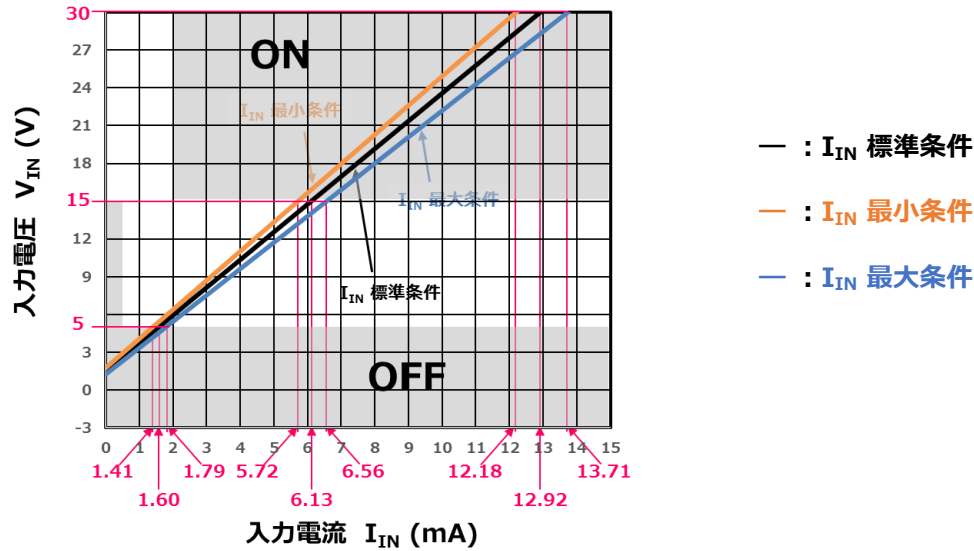


図 13' TLP2363 を用いて、 $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  を選定したときの、 $V_{IN} - I_{IN}$  特性カーブと IEC 61131-2 Type 1 ON/OFF 領域

図 13'より、TLP2363 を用いて E24 系列から  $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  を選択した場合、IEC 61131-2 Type.1 に準拠した ON/OFF 遷移が可能であり、各  $V_{IN}$  条件での  $I_{IN}$  は表 11 のとおりであることが分かります。

表 11  $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  のときの 各  $V_{IN}$  条件における TLP2363 の出力ロジックと  $I_{IN}$

$V_{IN}$ (V)	TLP2363 出力ロジック	$I_{IN}$ 最小値 (mA)	$I_{IN}$ 標準値 (mA)	$I_{IN}$ 最大値 (mA)
5	High	1.41	1.60	1.79
15	Low	5.72	6.13	6.56
30	Low	12.18	12.92	13.71

TLP2363 を用いて、 $R_1 = 2200 \Omega$ ,  $R_2 = 750 \Omega$  を選定した場合、表 11 より、

$5V < V_{IN} < 15 V$  のとき、 $1.41 \text{ mA} < I_{IN} < 6.56 \text{ mA}$ ,

$15V < V_{IN} < 30 V$  のとき、 $6.56 \text{ mA} < I_{IN} < 13.71 \text{ mA}$

となり、②、③を満たすことが分かります。

以上より、TLP2363 を用いて、IEC 61131-2 タイプ 1 に準拠する 24V デジタル入力モジュールを設計することができました。

### 3. TLP2363 電源の緩やかな立ち上がり、立ち下がりに対する耐量

IEC 61131-2 では、入力回路の動作領域に関する要求事項の他に、外部供給電源の変動に対する PLC システムの挙動について、実施すべき試験が規定されています。その中の**外部供給電源の緩やかな停止・始動試験**では、**電源を 60s かけて立ち上げたり、立ち下げたりする際に、あらかじめ規定された挙動を示すことを確認**すべき、とされています。

高速通信用フォトカプラーの電源電圧( $V_{CC}$ )を緩やかに立ち上げたり、立ち下げたりする際、製品によっては**出力がチャタリングを起こす**場合があります。

図 14 に電源電圧( $V_{CC}$ )を  $3.3V/75s$  の傾きで緩やかに立ち上げたり、 $-3.3V/75s$  の傾きで緩やかに立ち下げたりする際のフォトカプラーの出力電圧( $V_o$ )を評価するための測定回路を示します。

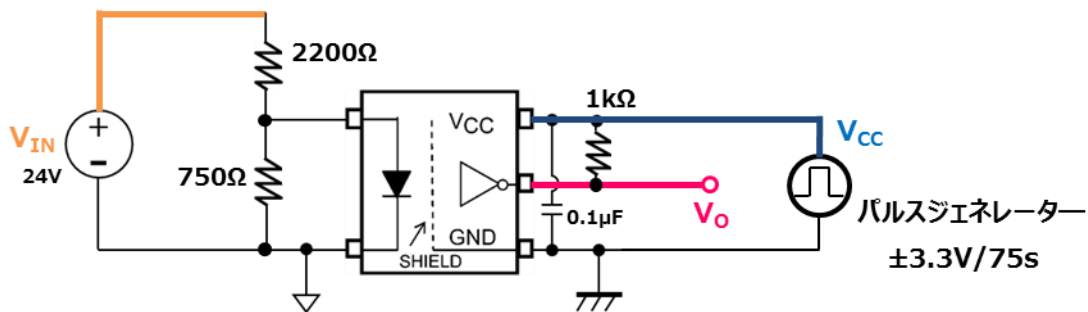


図 14 緩やかな電源立ち上がり、立ち下がりに対するフォトカプラー出力電圧測定回路

図 15 に図 14 の測定回路で測定したとき、出力電圧( $V_o$ )にチャタリングが発生する例を示します。

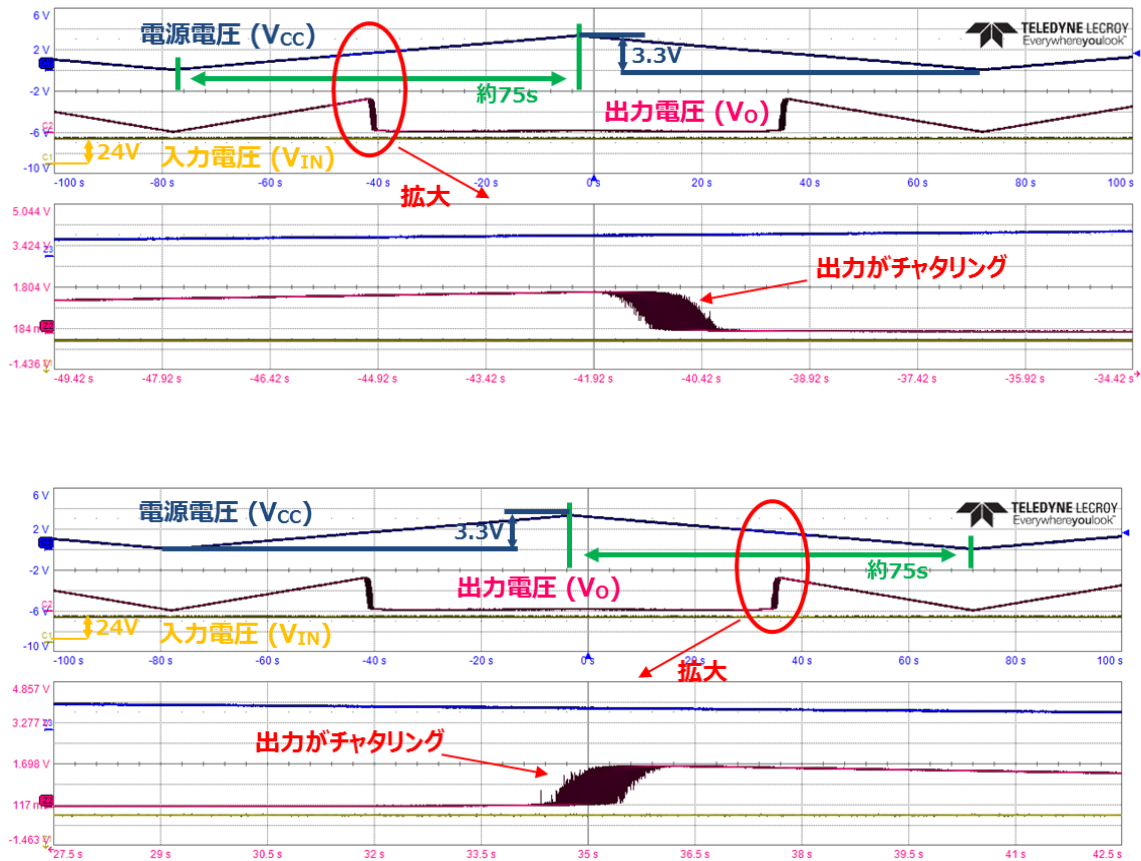


図 15 上：電源電圧( $V_{CC}$ )を 3.3V/75s の傾きで緩やかに立ち上げた際、フォトカプラーの出力電圧( $V_o$ )にチャタリングが発生する例

下：電源電圧( $V_{CC}$ )を -3.3V/75s の傾きで緩やかに立ち下げた際、フォトカプラーの出力電圧( $V_o$ )にチャタリングが発生する例

次に、高速通信用フォトカプラーとして TLP2363 を用いた場合の挙動を図 16 に示します。

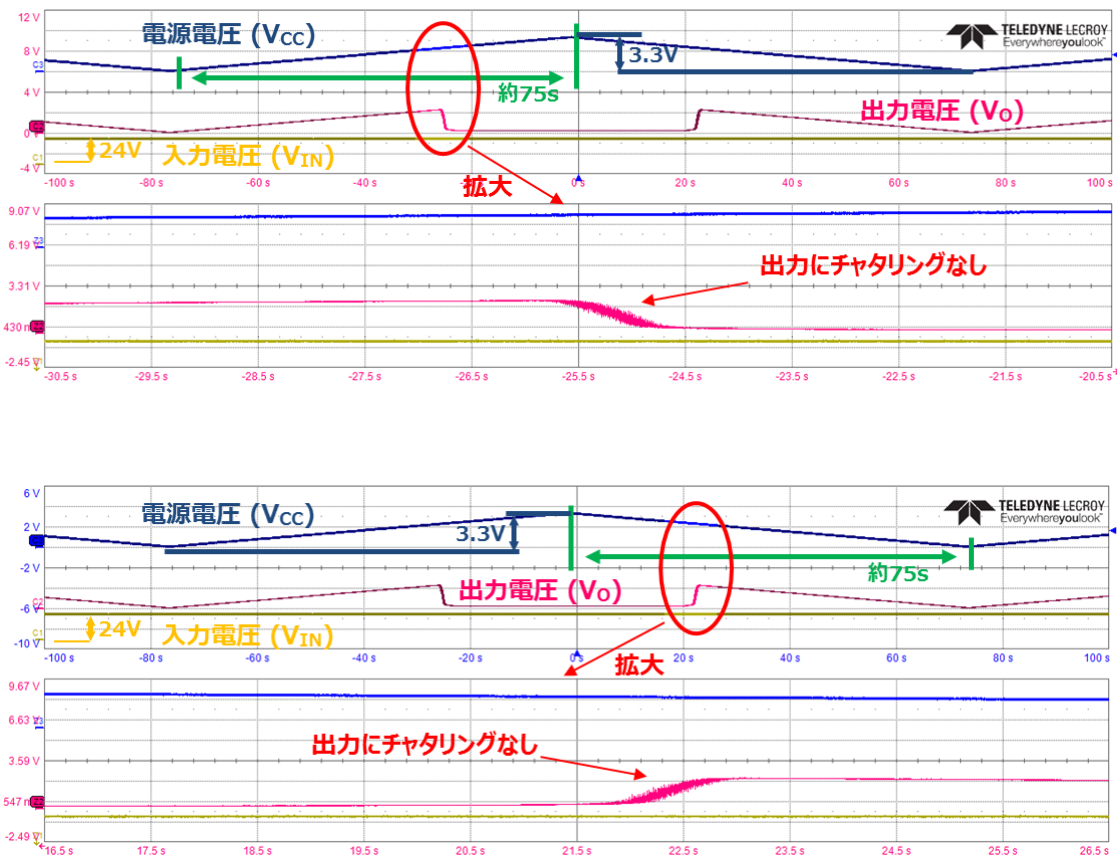


図 16 上：電源電圧( $V_{CC}$ )を 3.3V/75s の傾きで緩やかに立ち上げた際、TLP2363 の出力電圧( $V_O$ )挙動  
下：電源電圧( $V_{CC}$ )を -3.3V/75s の傾きで緩やかに立ち下げた際、TLP2363 の出力電圧( $V_O$ )挙動

図 16 のとおり、TLP2363 は電源電圧( $V_{CC}$ )を非常に緩やかに立ち上げたり、立ち下げたりしても、出力にチャタリングが発生しないことが分かります。

TLP2363 を用いれば、IEC 61131-2 で規定されている、外部供給電源の緩やかな停止・始動試験も問題なくクリアできます。

### 4. TLP2363 入力の緩やかな立ち上がり、立ち下がりに対する耐量

3 では、電源電圧( $V_{CC}$ )を緩やかに立ち上げたり、立ち下げたりした際のフォトカプラーの挙動に着目しましたが、この章では PLC への入力信号が緩やかな立ち上がり、立ち下がりを持つ場合のフォトカプラーの挙動について紹介します。

図 17 の測定回路を用いて、 $\pm 24V/75s$  の緩やかな立ち上がり、立ち下がりを持つ入力信号が入った場合のフォトカプラーの出力電圧( $V_O$ )を測定します。

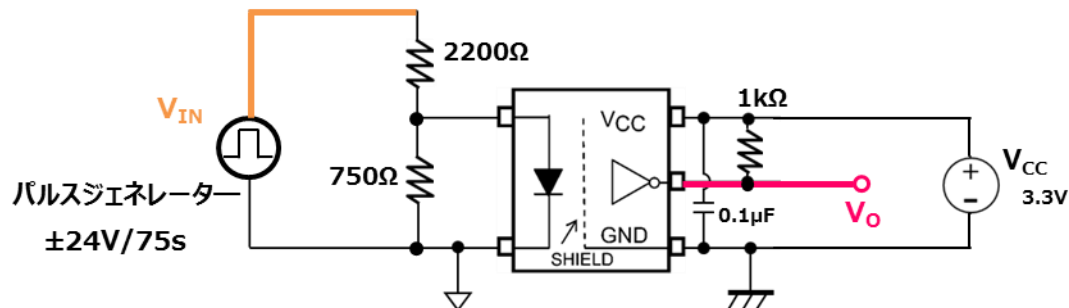


図 17 緩やかな立ち上がり、立ち下がりを持つ入力信号に対するフォトカプラー出力電圧測定回路

図 17 の測定回路を用いて、緩やかな立ち上がり、立ち下がりを持つ入力信号に対して耐量を持たないフォトカプラーの挙動を測定すると、図 18 のようにフォトカプラーの出力がチャタリングを起こしてしまいます。

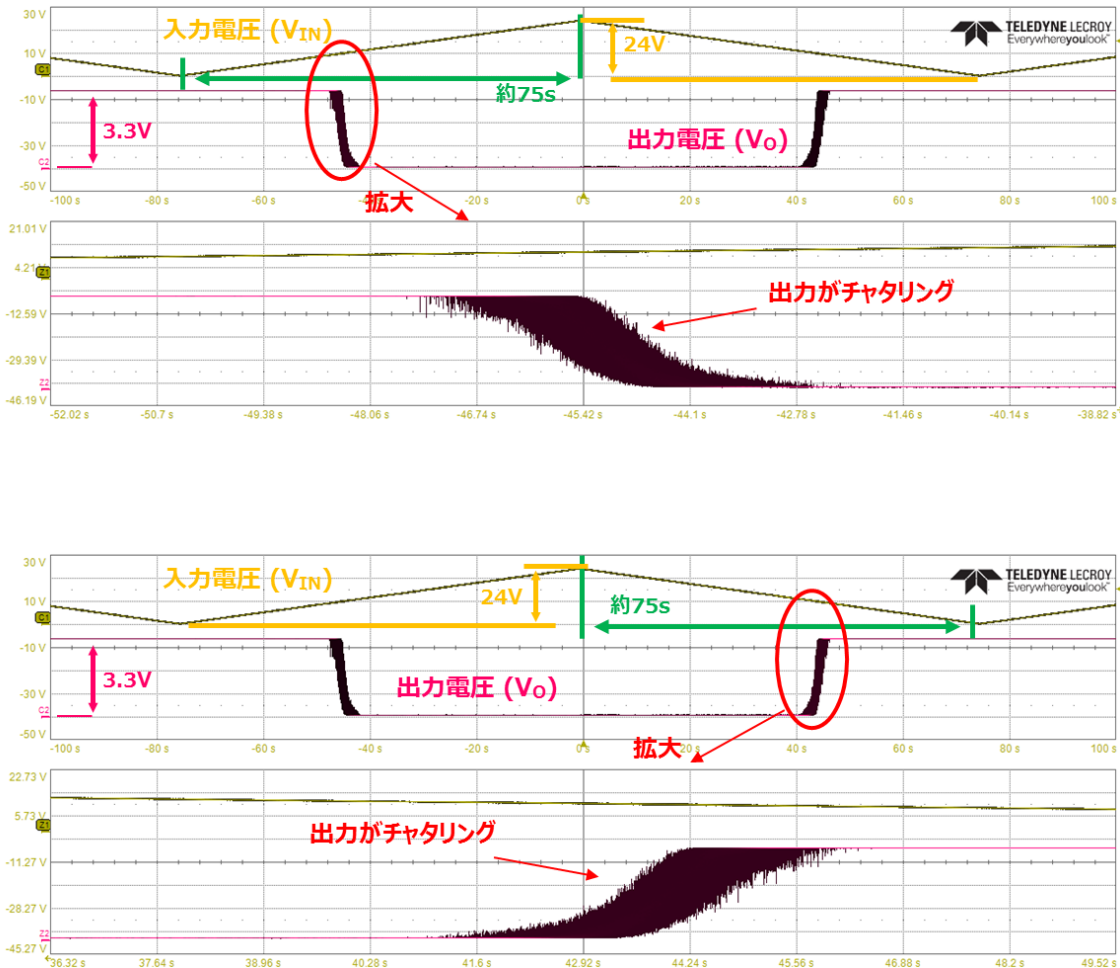


図 18 上：入力電圧( $V_{IN}$ )を 24V/75s の傾きで緩やかに立ち上げた際、フォトカプラーの出力電圧( $V_O$ )がチャタリングを起こす例  
 下：入力電圧( $V_{IN}$ )を -24V/75s の傾きで緩やかに立ち下げた際、フォトカプラーの出力電圧( $V_O$ )がチャタリングを起こす例

図 18 のチャタリングを抑制するためには例えば、図 19 のようにフォトカプラーの出力に RC フィルターとシュミットトリガー IC を接続する方法がありますが、**部品点数が増える**上に、**信号の遅延時間が延びて**しまいます。

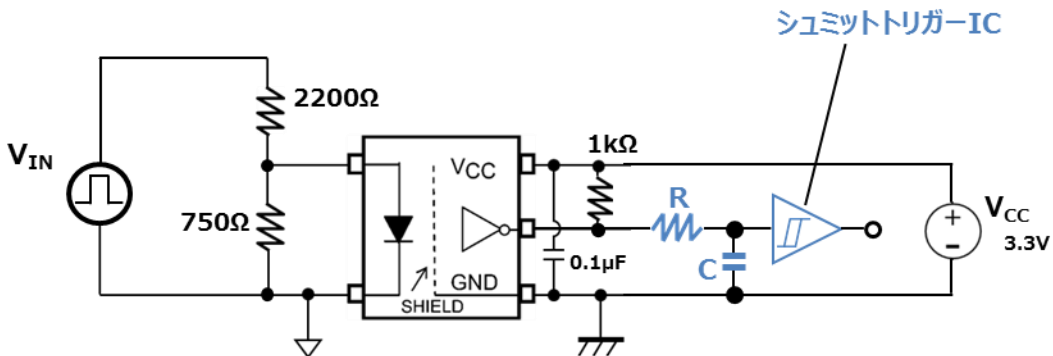


図 19 RC フィルターとシュミットトリガー IC の追加による、フォトカプラーの出力チャタリング抑制回路例



TLP2363 は緩やかな立ち上がり、立ち下がりを持つ入力信号に対して高い耐量を持っており、±24V/75sの傾きを持つ入力信号に対しても、図 20 のとおり、きれいな出力を保つことができます。

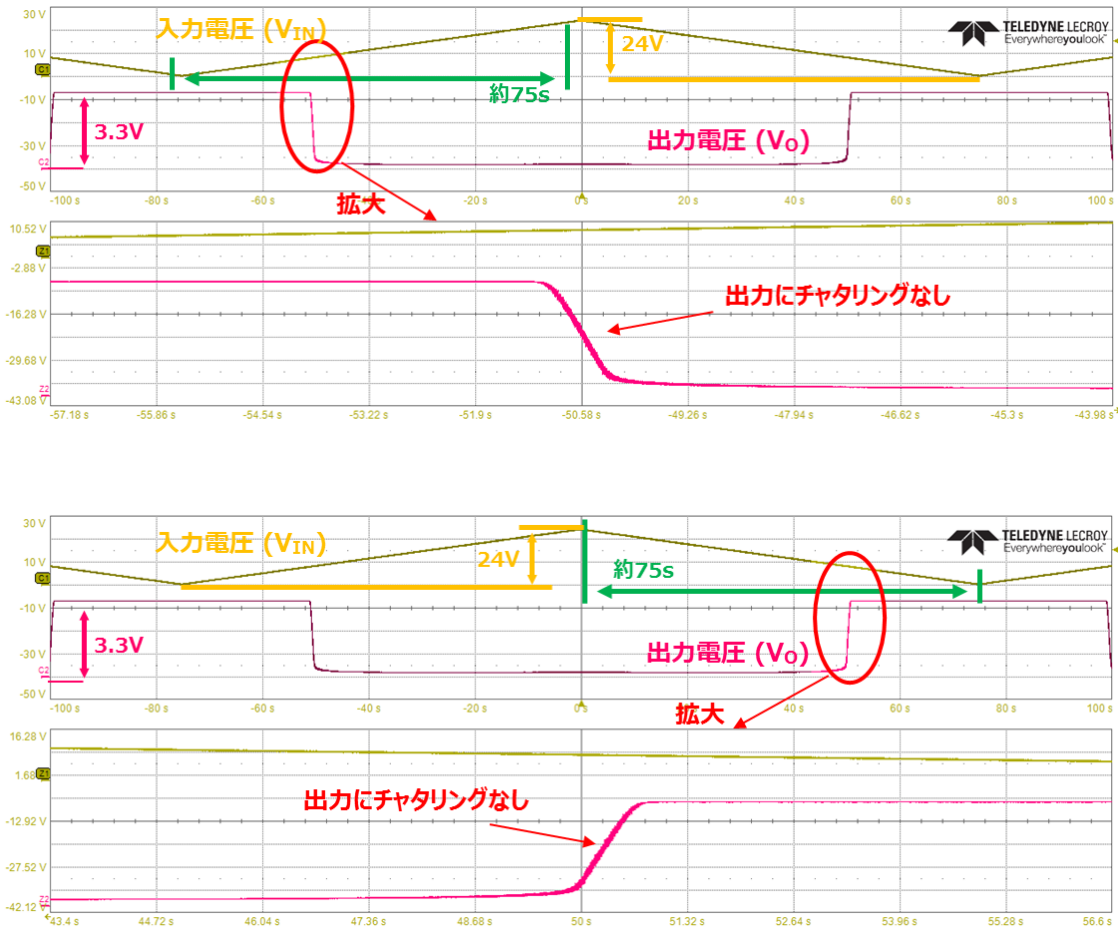


図 20 上：入力電圧( $V_{IN}$ )を 24V/75s の傾きで緩やかに立ち上げた際、TLP2363 の出力電圧( $V_O$ )挙動

下：入力電圧( $V_{IN}$ )を -24V/75s の傾きで緩やかに立ち下げた際、TLP2363 の出力電圧( $V_O$ )挙動

### 5. まとめ

本アプリケーションノートでは、高速通信用フォトカプラーを用いた PLC 24V デジタル入力モジュールの設計について紹介しました。**TLP2363** を用いれば **IEC 61131-2 Type 1** に準拠した **24V デジタル入力モジュール** を容易に設計できる上に、**緩やかな立ち上がり、立ち下がりを持つ電源電圧や入力信号に対しても高い耐量を有している**ため、外付け部品が不要となり、部品点数を削減することができます。

TLP2363 の詳細は[こちら](#)を参照ください。

#### 改定履歴

バージョン情報	日付	変更内容
Rev. 1.0	2021-03-25	初版

### 製品取り扱い上のお願ひ

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願ひします。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(ヘルスクエア除く)、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電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。
- ・ 本製品には GaAs(ガリウムヒ素)が使われています。その粉末や蒸気等は人体に対し有害ですので、破壊、切断、粉碎や化学的な分解はしないでください。
- ・ 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。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/>