高周波回路におけるフォトリレーの留意点３

東芝デバイス&ストレージ株式会社

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。

© 2026
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

目次

概要 3
1．はじめに 4
2．アイパターンとは 6
3．当社フォトリレーのアイパターン 9
4．フォトリレーの高周波信号制御の応用例 10
5．製品紹介 11
6．さいごに 11
変更履歴 12
製品取り扱い上のお願い 13

図目次

図 1　フォトリレーの動作原理（1a 接点） 4
図 2　フォトリレー出力部の RON と COFF 5
図 3　高周波信号ではインダクタンス（L）成分も現れる 5
図 4　デジタルデータ信号を重ね合わせて表示したアイパターンの概念図 7
図 5　アイパターン説明図 7
図 6　アイパターンの良否比較イメージ 8
図 7　アイパターンにおけるマスクテストの概念図 8
図 8　PCI Express Gen5（32 Gbps、NRZ）条件におけるアイパターン測定結果 9
図 9　USB4（20 Gbps、NRZ）条件におけるアイパターン測定結果 10
図 10　半導体テスターにおけるフォトリレーの応用例 10

表目次

表 1　フォトリレーとメカニカルリレーの比較 5
表 2　VSON パッケージシリーズフォトリレー 11

© 2026
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

概要

フォトリレー（MOSFET 出力フォトカプラー）は、さまざまなメリットを有しており、機械式リレー（メカニカルリレー）からの置き換えが進んでいます。一方で、半導体テスターや計測器応用などの高周波回路において使用する場合には、メカニカルリレーと比較して留意すべき点があります。

本アプリケーションノートでは、フォトリレーを用いて高周波信号を制御する際の主な留意点について概説します。詳細な回路設計手法や各種規格への適合設計を網羅するものではなく、信号品質評価の考え方および評価例を通じて、デバイス選定時の指針を示すことを目的としています。
あわせて、高速デジタル信号における信号品質評価手法の一つであるアイパターンに着目し、当社フォトリレーを用いた評価結果を示します。

なお、本資料では、周波数帯域が数 100 MHz から数 10 GHz の信号を高周波信号と位置づけます。また、a 接点フォトリレー（入力側 LED がオンのときに、出力側 MOSFET がオンとなるフォトリレー）を前提として説明します。

© 2026
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

１．はじめに

フォトリレーは MOSFET を出力段に持つ半導体リレーの形態です（図 1)。表 1 にフォトリレーとメカニカルリレーの比較を示します。

近年、信頼性の担保およびフォトリレーのパッケージの小型化が進み、省スペースの観点で機械式リレー（メカニカルリレー)からの置き換えが進んでいます。しかしながら、メカニカルリレーと比較してオン時には抵抗成分（オン抵抗 R_{ON})が存在し、オフ時には出力側 MOSFET の寄生ダイオードの PN 接合容量を主とした容量成分（出力端子間容量 C_{OFF})が存在します（図 2)。また、周波数が高くなるに従ってインダクタンス（L)成分も見えてきます（図 3)。この点で高周波信号を伝送する回路において、メカニカルリレーをフォトリレーに置き換える場合には配慮が必要です。このアプリケーションノートでは「高周波回路におけるフォトリレーの留意点２　(2021 年 11 月公開)」に引き続き、高周波を扱う場合のフォトリレーに対する**留意**点を説明します。

(1) 入力側の LED に電流を流すと LED が発光し光信号が発生します。
(2) 光信号は接点側の PDA により電気信号に変換され、MOSFET の
　　制御端子（ゲート)に電気信号を入力します。
(3) ゲートに電気信号が入力されることで MOSFET がオンし、接点が接続された状態になります。

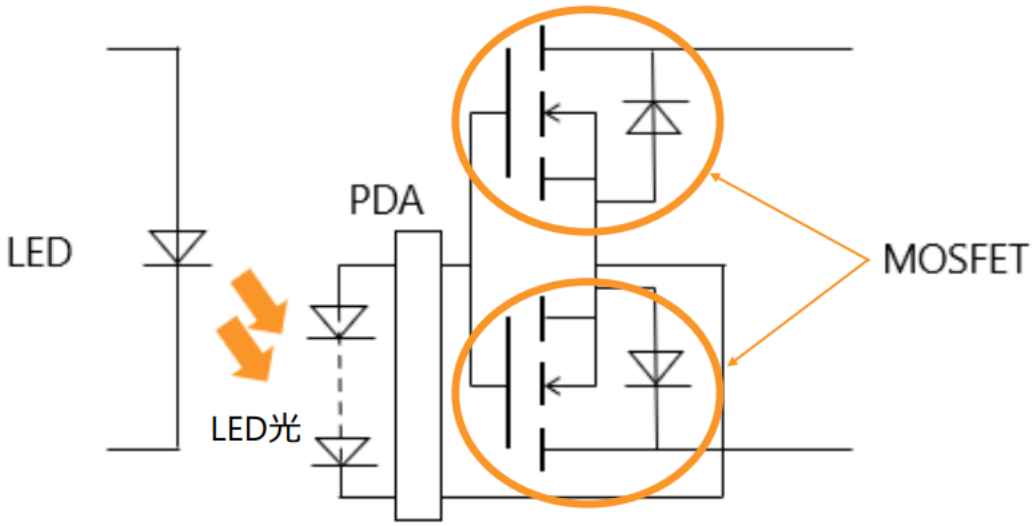


図 1　フォトリレーの動作原理 (1a 接点)

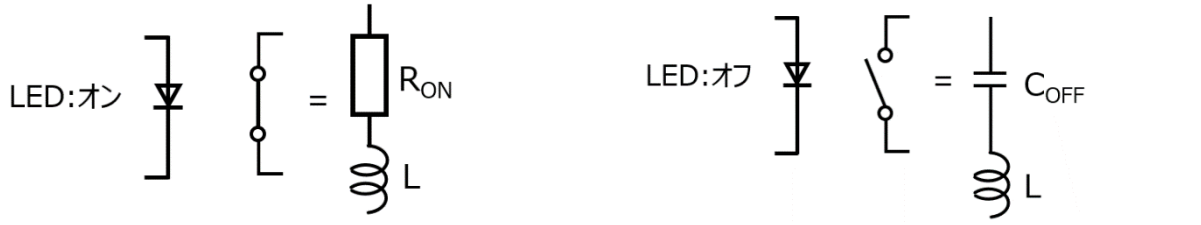
表 1　フォトリレーとメカニカルリレーの比較

	メカニカルリレー (シグナルリレー)	フォトリレー	備考欄 (フォトリレーの特性)
寿命	△ (接点回数制限あり)	◎ (接点回数制限なし)	長寿命
オン電流	◎ (2 A) ※T_a 85 °C / AC・DC兼用	○ (~5 A) ※T_a 25 °C/V_{OFF} = 60 V ベース	
オン抵抗	約0.1 Ω (開閉劣化あり)	約0.02 ~ 25 Ω (開閉安定)	高信頼性
阻止電圧	◎ (例: AC 250 V, DC 30 V)	○ (例: 20 ~ 600 Vまでラインアップ)	
絶縁耐圧	○ (例: 1 kV_{rms})	◎ (max: 5 kV_{rms})	
ターンオン / ターンオフ時間	△ (約5 ms)	○ (約0.1 ms)	高速
動作音	△あり	◎なし	静音
小型化	○ (例: 60 mm^2)	◎ (S-VSON: 2.9 mm^2 - 1.45 × 2.0 mm)	省面積
入力側消費電力	× (コイル) 100 mW~	◎ (LED) (例: 0.5 mW)	低消費電力
接点構成	1c、2cメイン	1a、1b、2a、1a1b	
オフ電流	◎　なし	○微小　20 pA ~	



(a) LED: オン時 (接点: オン)　　(b) LED: オフ時 (接点: オフ)

図 2　フォトリレー出力部の R_{ON} と C_{OFF}



(a) LED: オン時 (接点: オン)　　(b) LED: オフ時 (接点: オフ)

図 3　高周波信号ではインダクタンス(L)成分も現れる

2．アイパターンとは

アイパターンとは、デジタル信号の品質を評価する際に用いられる図のことです。デジタル信号の電圧やタイミングの変化を多数サンプリングし、その波形を重ね合わせることで、目（アイ）のような形をしたパターンを作成します。波形が続く限り、この重ね合わせを繰り返します。信号の品質が良い場合、波形はきれいに重なり、アイが大きく開きます。逆に品質が悪い場合は、重ね合わせた波形が乱れ、アイの部分が不明瞭になり小さくなります。この状態を「アイが閉じている」とも言います。一般的に、アイパターンがはっきりしているほど信号の品質は良好です。まとめると、アイパターンが開いている場合は信号品質が良好であり、伝送特性も良好であることを示します。一方、アイパターンが閉じている場合は信号品質が劣化しており、伝送特性も悪化していることを示します。

このアイパターンの開口度合いや形状から、信号のジッターや電圧マージン、時間マージンなどを評価することができます。

アイパターンは、高速デジタル伝送用のケーブルやコネクタなどの品質および性能を評価する際に広く用いられています。一般的に、周波数が高くなるとアイパターンは不明瞭になります。

フォトリレーを選定する際には、想定する使用周波数において、品質の良いアイパターンが得られることが重要です。

また、開口高さが多少低下していても、開口幅が広い場合には、立上り時間および立下り時間が良好であることを示します。

また、アイパターンの観測方法は以下の通りです。アイパターンを観測するには、オシロスコープにパターンジェネレータ等で発生した「0 と 1 が不規則に並んだデジタルデータ信号」（図 4）を入力します。この際、トリガはデジタルデータ信号ではなくクロック信号で行います。

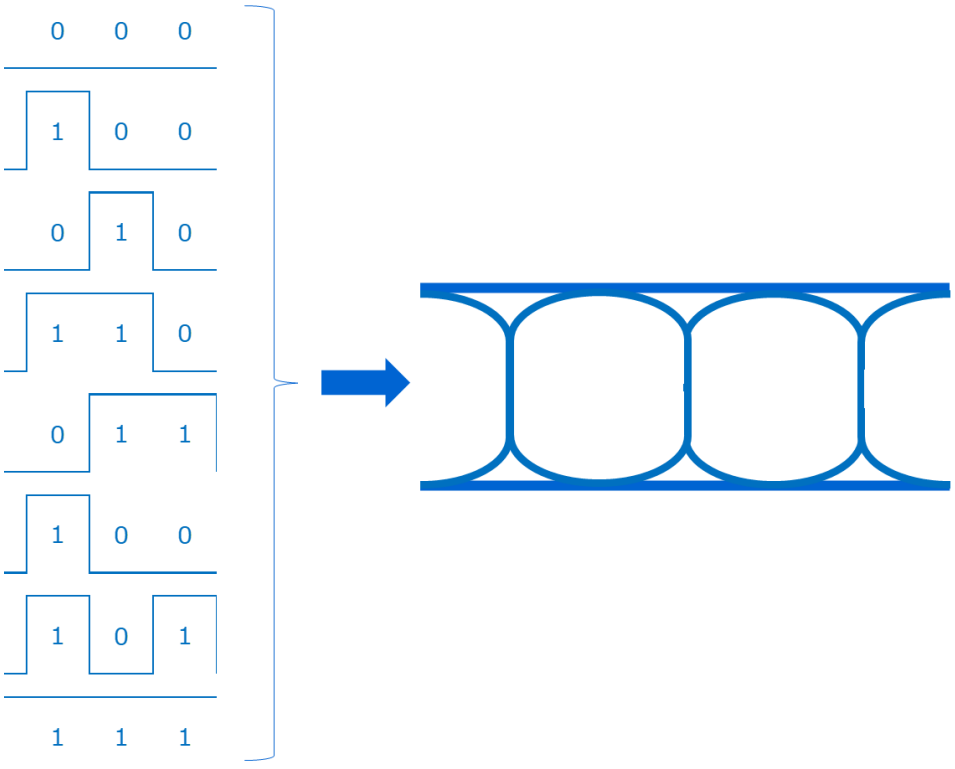


図 4　デジタルデータ信号を重ね合わせて表示したアイパターンの概念図

以下に「アイパターン」について説明します。（図５参照）

①０レベル　⇒　デジタル信号の電圧０
②１レベル　⇒　デジタル信号の電圧１
③立ち上り時間　⇒　デジタル信号の電圧が０から１へ変化する時間
④立ち下り時間　⇒　デジタル信号の電圧が１から０へ変化する時間
⑤アイ高さ　⇒　アイパターンの開口部の高さ
⑥アイ幅　⇒　アイパターンの開口部の幅
⑦ジッター　⇒　デジタル信号の重なり部分のズレ幅
⑧振幅
⑨ユニットインターバル（UI）　⇒　デジタル信号の１ビット分の範囲

このアイパターンで重要なのは、以下の３つです。

- アイ部分の開き度合い（⑤・⑥）
- 立ち上がり時間（③）、立ち下がり時間（④）
- ジッター（⑦）

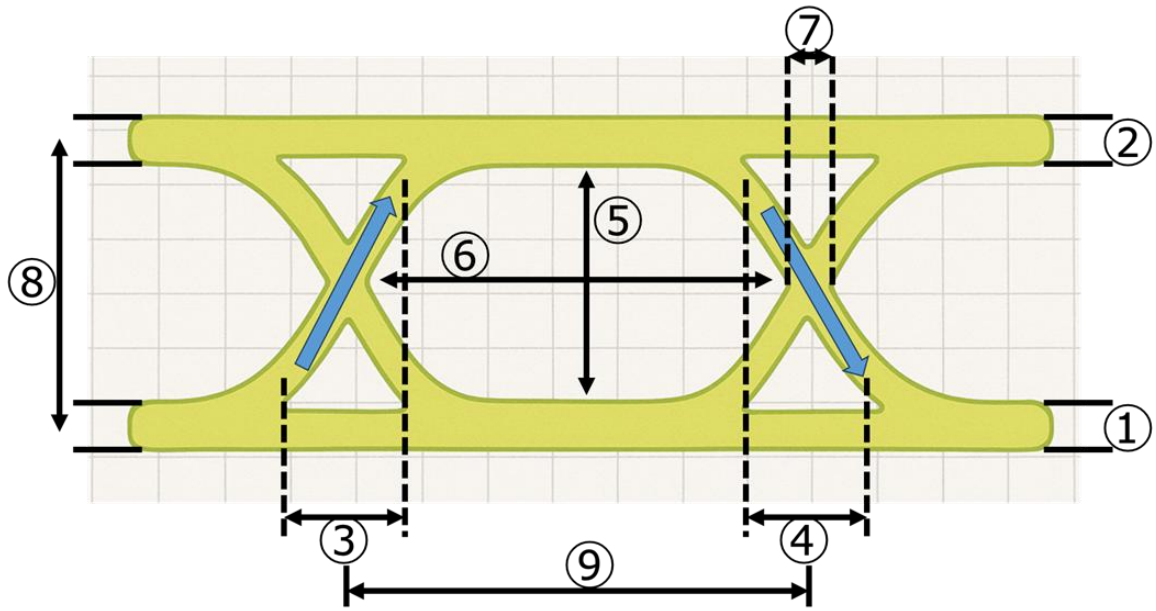


図 5　アイパターン説明図

以下に「信号品質」の例を示します。

左側：良好な信号品質：

アイが大きく開いており、アイ高さ、アイ幅が広い。
ジッターは小さい。

右側：劣化した信号品質

アイが閉じ気味で、アイ高さ、アイ幅が狭い。
ジッターが大きい。

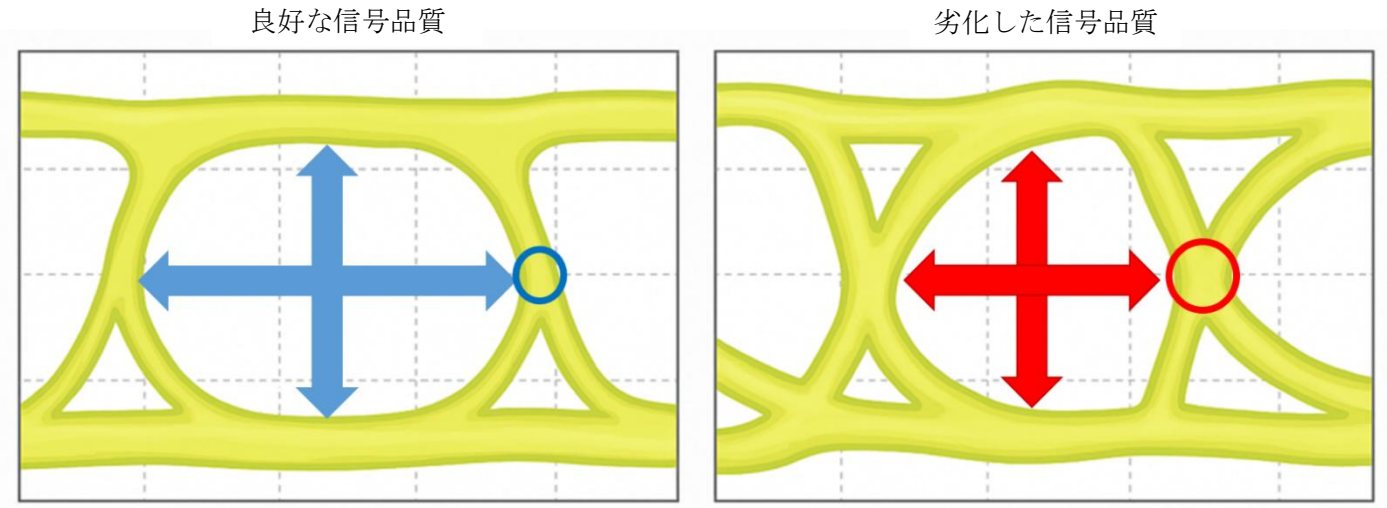


図 6　アイパターンの良否比較イメージ

伝送規格によっては、規格要件を満たすために、アイパターンに対してマスクテストをクリアする必要があります。

マスクテストは、下図に示すように、規格で定められた許容範囲（マスク）内に信号波形が侵入していないかを確認する試験です。マスクの形状は、PCI Express、SATA、USB、Ethernet など各通信規格ごとに定義されており、そのサイズや位置は規格によって異なります。



図 7　アイパターンにおけるマスクテストの概念図

© 2026
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

３．当社フォトリレーのアイパターン

本章では、当社フォトリレーのアイパターン評価結果について示します。

ここでは、主に半導体テスターにおける**ピンエレクトロニクス（PE）**と呼ばれる回路ブロックにおいて、被測定デバイス（DUT）に所望の信号（通常はパルス信号）を入力し、その動作を確認する FC テスト部で使用されている代表的な製品を評価対象としています。

評価には、パッケージ内部の寄生インダクタンスおよび寄生容量を低減する設計を採用した、高周波特性に適した WSON4 パッケージ製品 TLP3475W を用いました。

本評価では、フォトリレーを DUT として評価ボードに実装し、PCI Express Gen5（32 Gbps、NRZ）および USB4（20 Gbps、NRZ）の各条件において、アイパターンを測定しました。

測定結果は、アイ高さ（Eye Height）、アイ幅（Eye Width）、ならびに BER 規定下でのトータルジッター（Total Jitter）を指標として整理しています。

なお、評価条件として Eye Amplitude は 500 mV としています。

PCIe5(NRZ):32Gbps

アイ高さ	アイ幅	ジッタ
mV	ps	ps
216	23.8	10.5

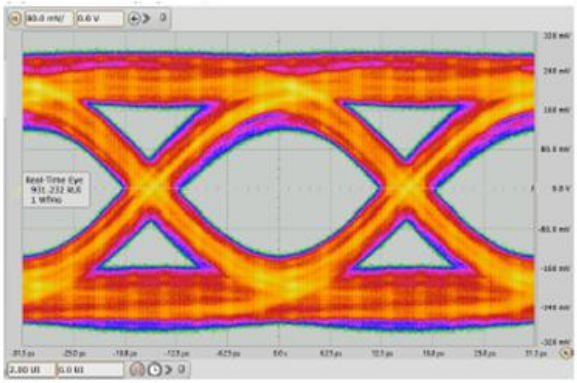


図 8　PCI Express Gen5（32 Gbps、NRZ）条件におけるアイパターン測定結果

USB4(NRZ):20Gbps

アイ高さ	アイ幅	ジッタ
mV	ps	ps
277	41.8	9.7

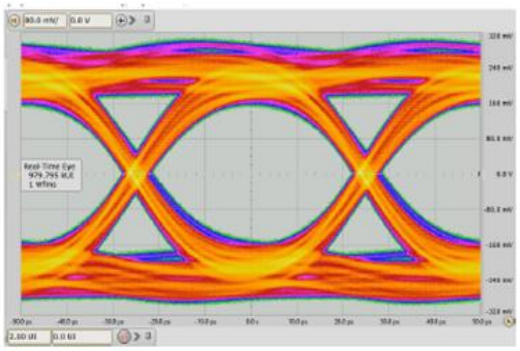


図 9　USB4（20 Gbps、NRZ）条件におけるアイパターン測定結果

© 2026
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

TLP3475W は、PCI Express Gen5（32 Gbps、NRZ）および USB4（20 Gbps、NRZ）の条件において、アイ高さおよびアイ幅が十分に確保された良好なアイパターンを示しました。

また、BER 規定下におけるトータルジッターも小さく、高速デジタル信号に対して十分な電圧マージンおよびタイミングマージンを有していることが確認されました。これは、パッケージ内部の寄生容量および寄生インダクタンスを低減した設計により、高速信号伝送時における波形劣化が抑制されているためと考えられます。

4．フォトリレーの高周波信号制御の応用例

分布定数回路上のフォトリレーの振る舞いの例として、半導体テスターにおけるフォトリレーの応用（図 9）について述べます。半導体テスターでは DUT の測定のため、ピンエレクトロニクス（PE）と呼ばれる回路ブロックがあります。このブロックは(1)DUT に所望の信号（通常はパルス信号）を入力し、所望の動作をするかどうかを確認する FC テスト部と、(2)DC 特性を確認するための DC テスト部の 2 つで構成されます。FC テスト、DC テストでは信号ラインの切り替えにフォトリレーが使用される場合が多いですが、フォトリレーがオン状態・オフ状態の場合の振る舞いに十分に留意する必要があります。

FC テストにおいてはパルスドライバーからの信号を DUT に伝送しますが、DUT とパルスドライバーとの間にあるフォトリレーをオン状態にしてから信号を伝送させます。また、その時は DC テスト部の 2 つのリレーはオフ状態にしておきます。第 2 章で述べたようにフォトリレー出力部の MOSFET はオフ時には等価的にキャパシタンス成分となるので、DC ユニット部に接続するフォトリレーのC_{OFF}が大きいと、DUT に入力すべきパルス信号の一部がこれら DC テスト部のフォトリレーを介して DC ユニット部に分岐してしまいます（漏れ電流）。したがって FC テストを適正にできない恐れがあります。

DC テストにおいては、DC ユニットに接続された 2 つのリレーがオン状態となります。その際は FC テスト部のリレーはオフとします。FC テスト部のフォトリレーにもC_{OFF}が存在しますが、DC テスト時の信号は文字通り DC のため、FC テスト部のC_{OFF}は問題とならない場合もあります。

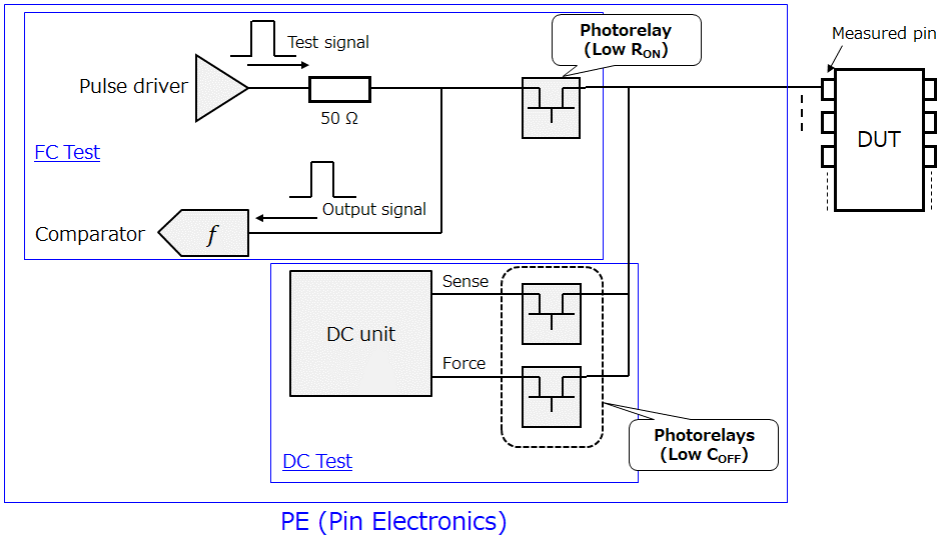


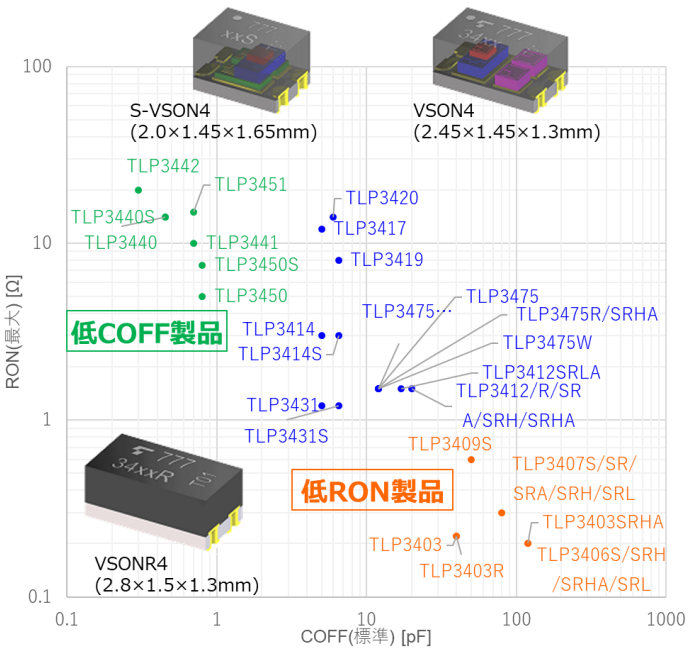
図 10　半導体テスターにおけるフォトリレーの応用例

当社では通常このような分布定数回路上のフォトリレーの振る舞いを見るデータとして、製品の S パラメーターを提供しています。

詳細については、「高周波回路におけるフォトリレーの留意点　(2020 年 10 月公開)」を参照ください。

５．製品紹介

当社では半導体テスター応用に適した、小型パッケージの製品（VSON パッケージシリーズ）を多数ラインアップしています。表 2 に製品一覧を示します。



品番	パッケージ名 (Toshiba)	IFT max. (mA)	$I_{LIM(LED)}$ max. (mA)	VFON max. (V)	VOFF max. (V)	COFF typ. (pF)	IOFF max. nA	RON max. (Ω)	ION max. (A)	ton max. (ms)	toff max. (ms)
TLP3403	VSON4	3			20	40	1	0.22	1	2	1
TLP3403R	VSONR4			3	20	40	1	0.22	1	2	1
TLP3403SRHA	S-VSON4T			3	20	120	1	0.2	1.5	2	0.2
TLP3406S	S-VSON4	3			30	120	1	0.2	1.5	2	1
TLP3406SRH	S-VSON4T			3	30	120	1	0.2	1.5	2	1
TLP3406SRHA	S-VSON4T			3	30	120	1	0.2	1.5	2	0.2
TLP3406SRL	S-VSON4T			1.6	30	120	1	0.2	1.5	2	1
TLP3407S	S-VSON4	3			60	80	1	0.3	1	2	1
TLP3407SR	S-VSON4T	0.2		3	60	80	1	0.3	1	20	1
TLP3407SRA	S-VSON4T	0.2	1	3	60	80	1	0.3	1	20	1
TLP3407SRH	S-VSON4T			3	60	80	1	0.3	1	2	1
TLP3407SRL	S-VSON4T			1.6	60	80	1	0.3	1	2	1
TLP3409S	S-VSON4	3			100	50	1	0.6	0.65	2	1
TLP3412	VSON4	3			60	20	1	1.5	0.4	0.5	0.5
TLP3412R	VSONR4			3	60	20	1	1.5	0.4	0.5	0.5
TLP3412SRA	S-VSON4T		2	3	60	20	1	1.5	0.4	1	0.5
TLP3412SRH	S-VSON4T			3	60	20	1	1.5	0.4	0.5	0.5
TLP3412SRHA	S-VSON4T			3	60	20	1	1.5	0.4	0.5	0.2
TLP3412SRLA	S-VSON4T			1.6	60	17	1	1.5	0.4	0.35	0.15
TLP3414	VSON4	3			40	5	1	3	0.25	0.5	0.5
TLP3414S	S-VSON4T	3			40	6.5	1	3	0.25	0.15	0.1
TLP3417	VSON4	3			80	5	1	12	0.12	0.5	0.2
TLP3419	VSON4	3			80	6.5	1	8	0.2	0.4	0.4
TLP3420	VSON4	3			100	6	1	14	0.1	0.3	0.3
TLP3431	VSON4	3			20	5	1	1.2	0.45	0.5	0.5
TLP3431S	S-VSON4T	3			20	6.5	1	1.2	0.45	0.15	0.1
TLP3440	VSON4	3			40	0.45	1	14	0.12	0.2	0.3
TLP3440S	S-VSON4T	3			40	0.45	1	14	0.12	0.2	0.3
TLP3441	VSON4	3			40	0.7	1	10	0.14	0.2	0.2
TLP3442	VSON4	3			40	0.3	1	20	0.1	0.2	0.2
TLP3450	VSON4	3			20	0.8	1	5	0.2	0.2	0.2
TLP3450S	S-VSON4T	3			20	0.6	1	8.5	1.6	0.08	0.12
TLP3451	VSON4	3			60	0.7	1	15	0.12	0.2	0.2
TLP3475	VSON4	3			50	12	1	1.5	0.3	0.5	0.4
TLP3475R	VSONR4			3	50	12	1	1.5	0.3	0.5	0.4
TLP3475S	S-VSON4	3			60	12	1	1.5	0.4	0.5	0.4
TLP3475SRHA	S-VSON4T			3	60	12	1	1.5	0.4	0.5	0.2
TLP3475W	WSON4	3			60	12	1	1.5	0.4	0.25	0.2
TLP3476S	S-VSON4T	3			60	12	1	1.5	0.4	0.25	0.2

注）UL、cULなど安全規格の取得の予定はありません。
吸湿管理レベル３(JEDEC)の製品取扱いが必要となり、防湿梱包品となります。

＊絶縁耐圧＝500V_{rms}

表 2　VSON パッケージシリーズフォトリレー

６．さいごに

本アプリケーションノートでは、高周波回路におけるフォトリレーの留意点について概説し、当社フォトリレーを用いたアイパターン評価結果および半導体テスターへの応用例を通じて、その特性と有効性を示しました。

高周波・高速デジタル信号を扱う回路では、寄生容量やインダクタンスといった素子固有の特性が信号品質に大きく影響するため、デバイス選定および回路設計において十分な配慮が必要となります。

当社フォトリレーは、パッケージ構造および内部設計の最適化により、高速通信規格に対応可能な良好なアイパターン特性を実現しており、半導体テスターや各種計測機器をはじめとする高周波信号制御用途において有効な選択肢となります。

今後も当社では、さらなる高周波対応、高速化および小型化を目指した製品開発を継続し、より高い周波数帯域に対応可能なフォトリレーのラインアップ拡充を進めてまいります。

フォトリレーの高周波回路への適用をご検討の際には、本資料がデバイス選定および回路設計の一助となれば幸いです。

© 2026
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

変更履歴

バージョン情報	日付	対応ページ	変更内容
Rev. 1.0	2026-10-15	-	初版

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エア、ソフトウエ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、お客様のハードウエア・ソフトウエア・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。

© 2026
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation