

面実装反射センサ

面実装反射センサは、赤外LEDとフォトトランジスタを小型面実装パッケージに搭載した製品で、LEDから出力された光の反射をフォトトランジスタで検出することにより、デバイス表面近くの物体の有無の検知に応用することができます。光の反射を利用していますので物体検知だけでなく回転体の回転数検出などにも応用できます。本稿では、KU163を代表例として説明します。

構造

KU163の構造を図1に示します。赤外LEDとフォトトランジスタは遮光板で区切られて搭載されています。遮光板はLEDが発光した際にデバイス内部を通して、フォトトランジスタに入射してしまうことを防ぐために設けられております。遮光板を搭載してもデバイス内部を通った光は完全に遮光できないため、漏れ電流値として仕様化されています。KU163を応用設計するにあたっては、このようなLEDとフォトトランジスタの結合特性を理解することが重要ですが、LEDとフォトトランジスタ個々の特性を理解することも重要です。

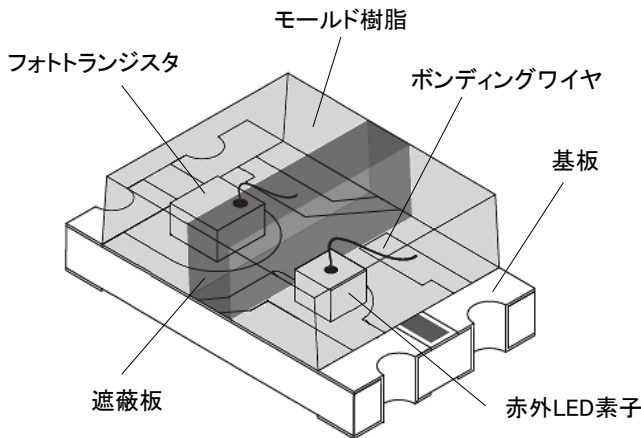


図1. KU163の構造

各種特性

赤外LEDの特性

KU163に使われているLED素子は、940～950nm近辺にピーク発光波長を持つ赤外LEDです。この発光波長のLEDは家電用のリモコン発光用途に多く利用されています。赤外LEDは固体発光デバイスであり、インジケータ用の可視LEDと同様に長寿命です。LEDは、そのほとんどが化合物半導体であり、周囲温度によって特性が変化する性質を持っています。

図2は周囲温度における相対出力の特性を示しています。図3は同様に順電圧特性を示しています。順電圧は周囲温度に対し負の特性を持っており、出力も同様に負の特性を持ちます。

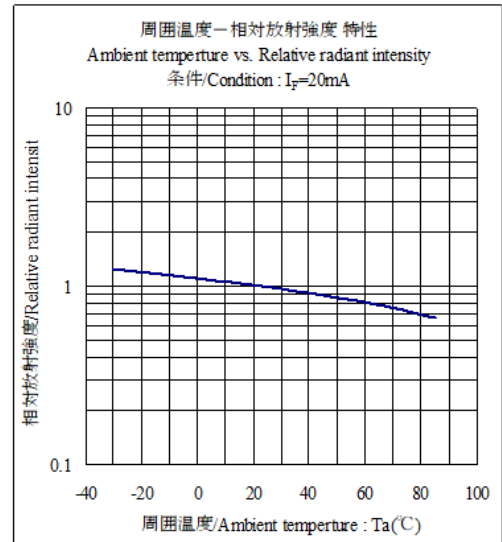


図2 KU163/赤外LEDの出力特性

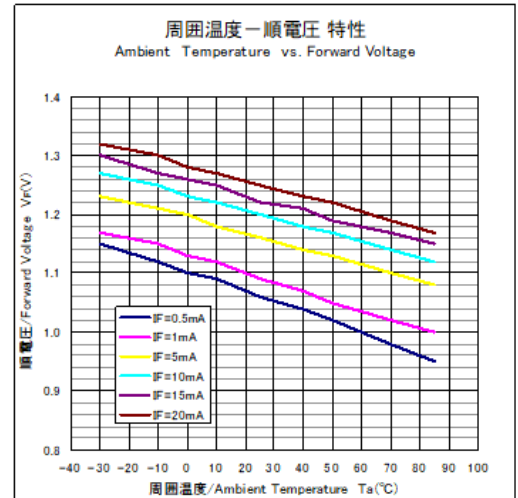


図3 KU163/赤外LEDの順電圧特性

また一般的にパッケージの許容損失に依存して、周囲温度により流せる順電流の最大値が規定されます。図4はKU163に搭載されているLEDのディレーティング特性です。KU163を使用するセットの最大動作温度に従い、順電流の最大値を制限する必要があります。KU163の動作温度の上限、85°Cでは順電流が10mAに制限されます。

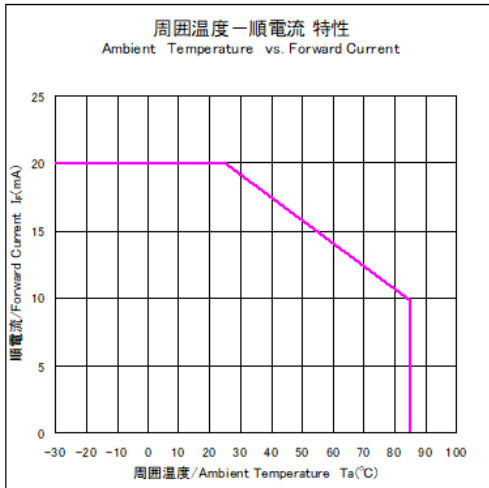


図4. KU163/赤外LEDのディレーティング特性

フォトランジスタの特性

フォトランジスタもLEDと同様、半導体デバイスですがシリコンをベースとした半導体で、LEDとは逆の、光を電流に変換する機能があります。フォトランジスタはフォトダイオードで発生した光電流をトランジスタの増幅作用を用いて増幅する素子です。

通常のトランジスタにおけるベース電流が光の入射による光電流に相当します。ゆえに大きな光電流が期待できる反面、応答速度はフォトダイオードに比較して遅いものとなります。

フォトランジスタの分光感度特性は、LEDと比較すると広い波長感度を持ち、赤外だけでなく可視光領域にも感度があります。感度のピーク波長はLEDの発光ピーク波長と差がありますが、広い波長感度を持ちますので、実用上問題はありません。

KU163においては、パッケージが可視カットフィルタの機能を持つ樹脂で封止されていますので、可視光領域の感度が低減されています。

図5は暗電流特性を示しています。暗電流とは全く光が入らない状態(暗状態)にて発生する電流値で、図5のような温度特性を持ちます。

図6は光電流の温度特性です。こちらも暗電流と同様に、温度特性を持ちます。

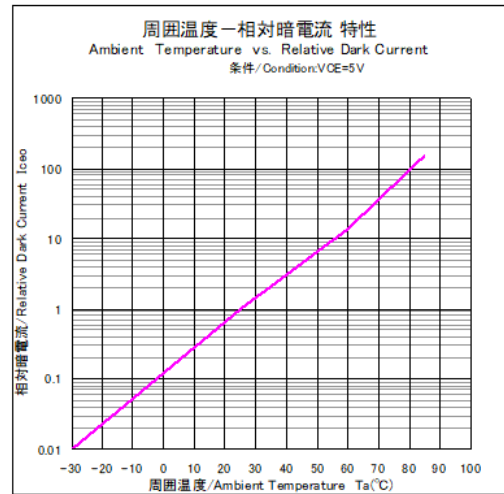


図5. KU163/フォトランジスタ暗電流の温度特性

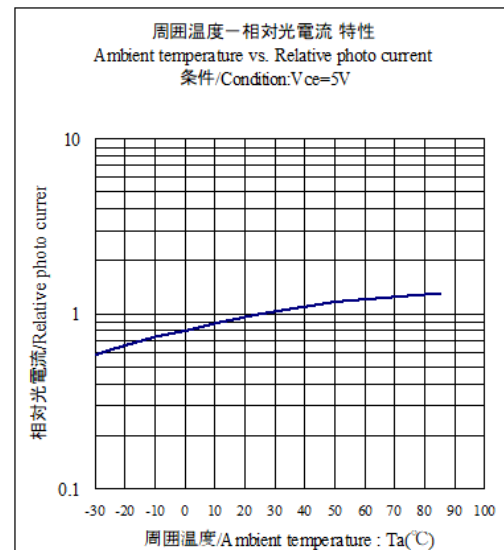


図6. KU163/フォトランジスタの光電流特性

以上のように、LED、フォトランジスタともに温度特性があり、設計の際にはどのような環境、周囲温度で動作をさせるかを考慮に入れることが重要なポイントであることが分かります。

反射センサとしての結合特性

KU163のLEDとフォトトランジスタ、それぞれの素子の結合による総合特性について紹介します。
 KU163はデバイス内部でLEDが出力した光がフォトトランジスタに入射されないよう、それぞれを遮光板で遮っていますが、わずかながら漏れた光により光電流が発生します。図7が漏れ電流特性の温度特性です。グラフはLEDを5mAの定電流で駆動した場合の特性を示しています。

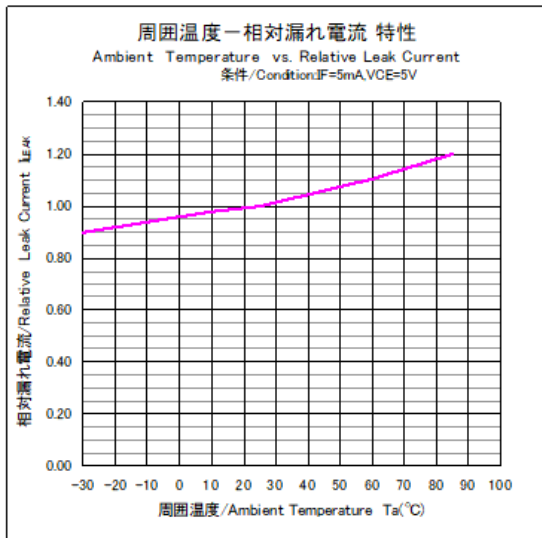


図7. KU163漏れ電流特性

図8はKU163の光電流特性ですが、LED側は5mAの定電流で駆動し、アルミ蒸着面への距離を1mm一定としたときの光電流出力の温度特性です。LED、フォトトランジスタそれぞれの温度特性が総合されたものになっております。なお、光電流の出力は、暗電流と漏れ電流を含んだ特性となっております。

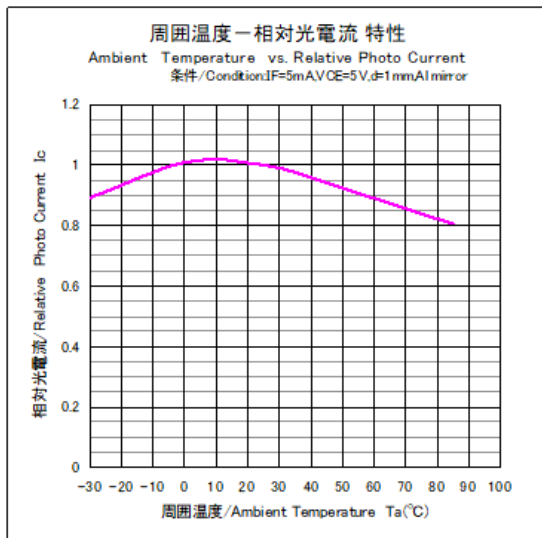


図8. KU163光電流特性

次に反射センサとしての特性を示します。
 フォトトランジスタの光電流は検知すべき対象の反射率に依存します。アルミ蒸着面をKU163上部表面から1mmの距離で得られる光電流を相対的に1とし、距離と光電流をグラフ化した特性が図9です。
 検知対象の反射率をパラメーターにしております。図9はLEDを5mAの定電流で駆動し、同様なアルミ蒸着面の検知対象から得られる光電流を相対的に1とし、KU163と検知対象との距離を変化させたときに得られる光電流をグラフ化しています。

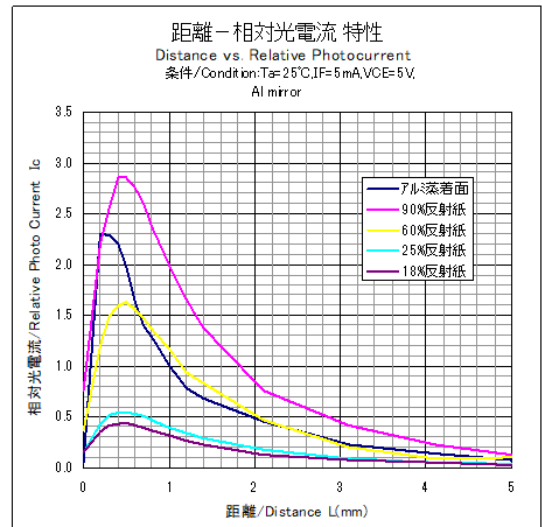


図9. KU163距離－光電流特性

以上がKU163の結合特性です。図9を見ても明らかなように、検知対象によって得られる光電流が大きく異なることに注意してください。アルミ蒸着面よりも90%の反射率を持つ紙のほうが大きな光電流が得られていることが分かります。

応用設計

これまでの特性を考慮に入れた設計例を紹介します。
 図10 のようにデバイス表面から1mm離れた場所で一定方向に動いている物体の速度の検出を目的と想定します。検知対象には反射率の高い塗料(反射率90%と仮定)が一定間隔で塗布されており、その間の部分は反射率が低い(反射率20%と仮定)という条件とします。
 KU163は図11 の回路で使用され、光電流出力は負荷抵抗RLにて電圧変換します。
 この出力をロジックレベルに変換し、マイクロコントローラにてパルスエッジのタイミングをタイマーなどで計測、速度へ換算します。(図12)

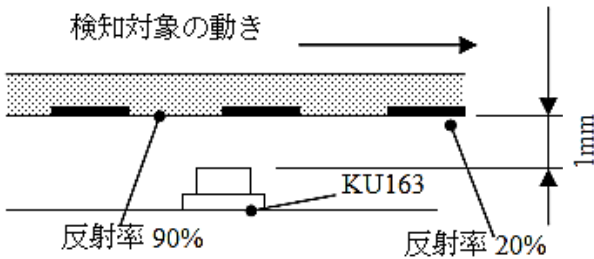


図10. 速度検出の応用例

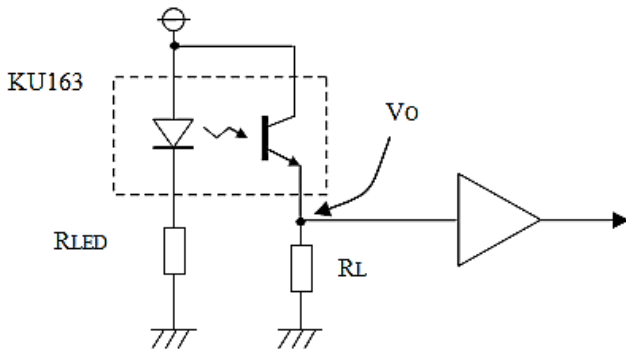


図11. 応用回路例

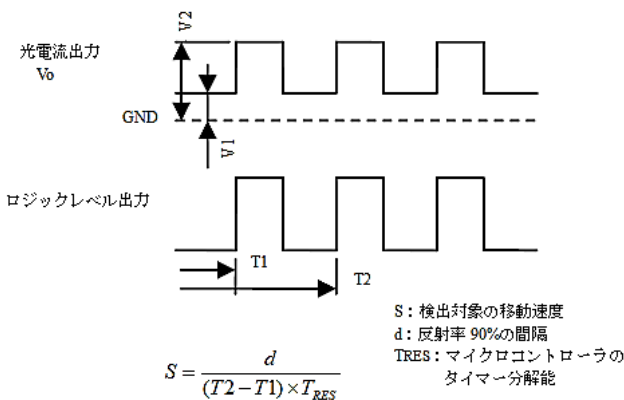


図12. 速度検出

その他の動作条件は以下のように設定します。

電源電圧: 5V
 動作温度範囲: $-30^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$

KU163のLEDの駆動電流は5mAとします。
 図11 のような負荷抵抗(RLED)による駆動回路は、前述の条件では十分変動することが予測されますが、ここではフォトトランジスタの出力に着目するためにまずは温度条件を室温(25°C)と仮定します。RLEDは以下の式から計算できます。

$$R_{LED} = (5 - 1.1) / 0.005 = 780\Omega$$

LEDのVFは製品仕様のTyp.値を使って算出しています。フォトトランジスタの出力電圧(V_o)はKU163の特性(図9)および製品仕様のTyp.値から以下のように期待できます。

$$\text{反射率90\%の出力電圧 } V_1 = 2 \times 300[\mu\text{A}] \times R_L$$

$$\text{反射率20\%の出力電圧 } V_2 = 0.6 \times 300[\mu\text{A}] \times R_L$$

出力(V_o)はロジックICへ接続するので、ロジック回路側の入力条件に整合するよう負荷抵抗(R_L)を設定します。まずはCMOSレベルに適合させることを考えます。CMOSレベルの入力を一般的条件としたとき、電源電圧が5Vなので、

$$\text{Hレベル: } 0.7 \times V_{dd} = 3.5\text{V}$$

$$\text{Lレベル: } 0.2 \times V_{dd} = 1.0\text{V}$$

と計算できます。Hレベルの条件から R_L を求めると、

$$R_L = \frac{3.5[\text{V}]}{2 \times 300[\mu\text{A}]} = 5.8\text{k}\Omega$$

と計算できます。
 R_L がこの値のときのLレベルの出力電圧を計算します。

$$V2 = 5.8[k\Omega] \times 0.6 \times 300[\mu A] = 1.044V$$

V2は1.044Vとなり、設計上のマージンを入れなくともCMOSロジックを安定的にドライブできないこととなります。CMOSの他にTTLレベルのロジックを接続することが考えられます(TTL: Transistor Transistor Logic)。Hレベルは2.0V以上、Lレベルは0.8V以下という条件ですので、 $RL=3.3k\Omega$ とした場合、V1は2.16V、V2は0.65Vとなり、ロジック回路へそのまま接続することが可能になります。しかしながら、TTLそのものは駆動電流能力が必要ですので、フォトトランジスタの出力を接続するには適しません。CMOSタイプでTTLロジックレベルに対応したバッファを使用することを推奨します。

図13はロジック回路で出力を直接受けるのではなく、コンパレータにより設定したリファレンス電圧にてロジック回路を駆動できるよう改善した回路です。フォトトランジスタは使用環境にも依りますが、周囲の照明や太陽光のような外乱光の影響を受けやすく、外乱光が入射される環境では外乱光による光電流が、本来の反射光による信号による光電流の出力に加算されます。ロジックレベルで出力を受ける際、条件によってはH/Lレベルの中間的な電圧が出力される場合が考えられます。図13のような回路を採用することで、最も安定的に動作させることができます。

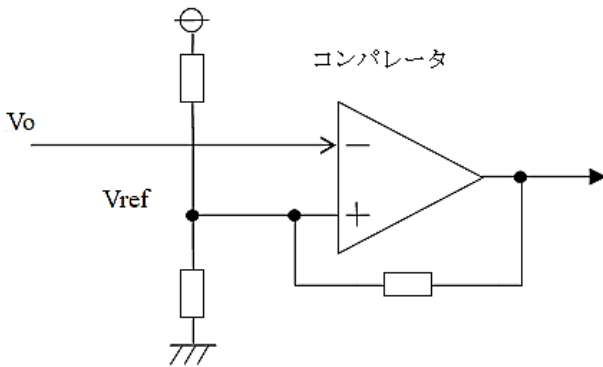


図13. コンパレータ回路

上述の使用条件でのAC的な動作について考えてみます。フォトトランジスタには接合容量成分が存在し、この容量成分と負荷抵抗(RL)により決定される応答速度の限界があります。図14がその特性を示したグラフです。図14より $V_{CE}=5V$ 、 RL が $3.3k\Omega$ のときには、立ち上がり時間は30us、立ち下り時間は40usと読み取れます。

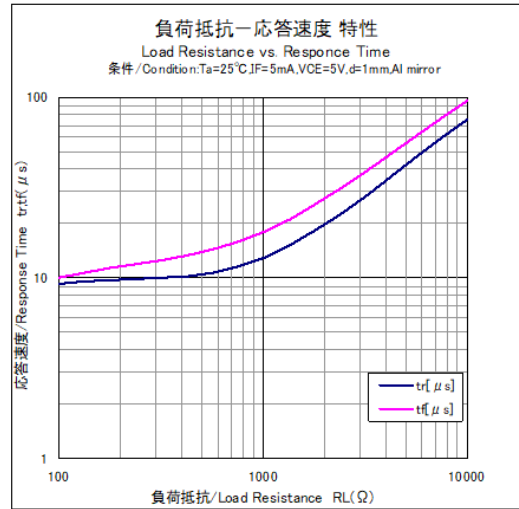


図14. KU163の応答特性

一般的な周波数帯域と応答速度の関係式

$$B_W \times T = 0.35$$

BW : 周波数帯域(遮断周波数)

T : 応答時間

に $T=40\mu s$ を代入すると、遮断周波数は $8.75[KHz]$ と計算できます。図10において、反射率90%の塗料が1cm間隔になっている場合、上限 $8750cm/秒$ までの速度検出が可能です。