

**TOSHIBA**

Leading Innovation >>>

# ダイオード中小型編

## 応用上の注意



## 2. 応用上の注意

### 2.1.1 ダイオードの電圧定格

ピーク逆電圧については表 2.1 の各整流方式で 1 素子当たりのピーク逆耐電圧に示された電圧に対して、電源変動、トランスのレギュレーション、開閉サージなどを考慮して 1.5~2 倍以上の電圧定格のものを選ぶ必要があります。

負荷が抵抗負荷の場合、一般には、AC100 V ラインでは 200 V、AC200 V ラインでは 400 V 耐圧が必要です。

誘導負荷の場合は電源の開閉時などに過渡的に高い電圧がかかるため、一般に、AC100 V ラインでは 400 V 耐圧、AC200~240 V ラインでは 600~800 V 耐圧のものがが必要です。また外来サージ、負荷回路からのサージにより過大な逆電圧が印加されますと、アバランシェ領域での逆損失が過大となり素子を劣化または破壊することがありますので、サージ吸収回路を付加して保護する必要があります。特に、サージ電圧の発生頻度が高い用途には、逆サージ電力耐量の保証されたアバランシェダイオードを選定の上ご使用ください。

### 2.1.2 ダイオードの定常電流定格

ダイオードの電流定格は正弦半波の 180° 通電波形の平均値で示されます。これはその素子が指定条件のもとで最大接合温度 ( $T_j \text{ max}$ ) を超えないで流すことのできる最大電流が示されています。

實際上素子に流し得る電流は負荷条件 (定常電流、過渡電流) と冷却条件によって決定されます。個別資料では、指定冷却条件で最大許容周囲温度 - 平均順電流 (図 2.1)、平均順電流 - 平均順電力損失 (図 2.2) のカーブで示されています。

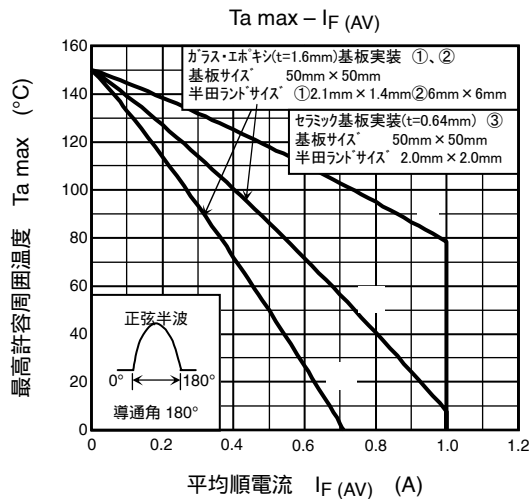


図 2.1

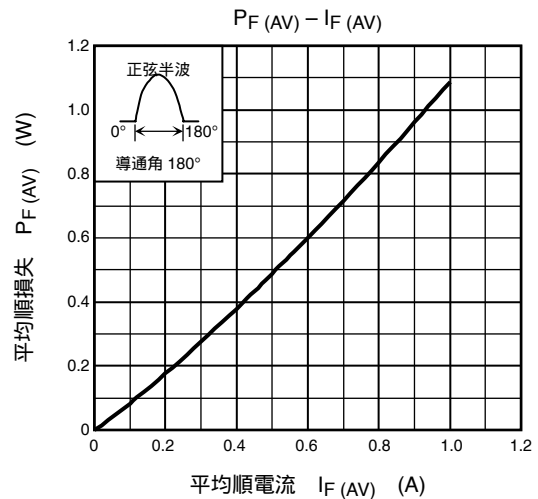


図 2.2

容量負荷では、抵抗およびインダクタンス負荷に比べて、導通角が狭くなります。

正弦波電流に対して同じ平均値電流でもピーク電流値が大きくなり、実効値電流が定格値よりも大きくなる場合がありますので、注意する必要があります。従って、容量負荷の場合の最大平均電流の決定は電流の導通角により決めています。

図 2.3 は導通角 $\alpha$ に対する最大平均電流のディレーティング特性を示します。

例えば導通角が $90^\circ$ のとき、図 2.4 より平均電流率は 80%となります。また、容量負荷の場合、電源スイッチの閉路時に定常電流のピーク値に対して数倍から 10 倍程度の過渡電流が流れ、サージ電流定格の大きい素子を選定する必要があります。

特に繰り返し通電する場合には、 $i_F - v_F$  特性および  $r_{th(j-c)} - t$  または  $r_{th(j-a)}, r_{th(j-l)} - t$  特性により接合部温度上昇 ( $\Delta T_j$ ) を求め、 $T_{j\max}$  以内に抑える必要があります。(接合温度の求め方 P2-14~P2-20 参照)

ダイオードの一般的な使用としては、電源の整流回路があります。

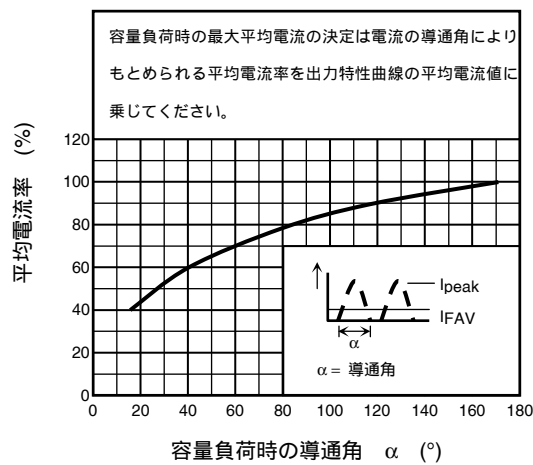
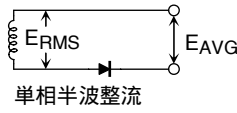
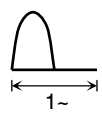
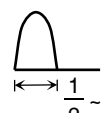
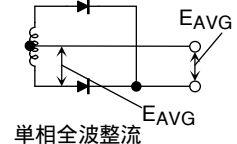
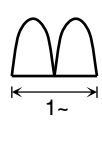
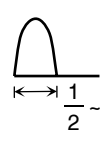
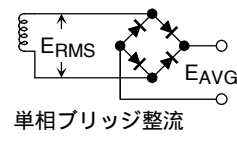
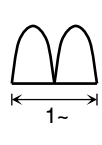
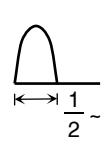
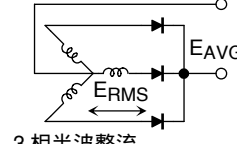
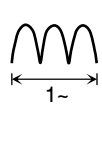
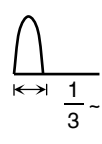
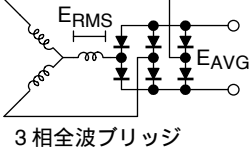

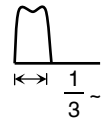
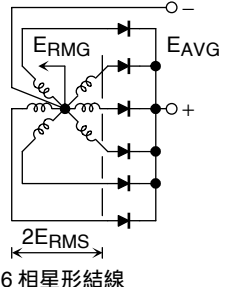

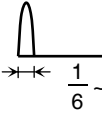
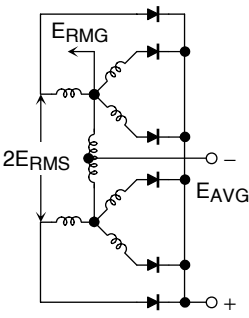

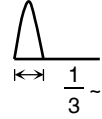


図 2.3

電源回路では、そのダイオード (表 2.1) により、ピーク電圧、ピーク電流の値が異なりますので、素子の最大定格に注意して素子を選択しなければなりません。また、電源の負荷として、コンデンサ負荷、インダクタンス負荷、抵抗負荷がありますが、これら負荷条件も考慮しなければなりません。

表 2.1

| 整流回路   | DC 出力電圧   |                |           | AC 入力電圧 (RMS)                |                                  | 1 素子当たりの電流  |                 |                 |                |            |                 |                | ピーク<br>逆耐電圧 |                                  |
|--|---|----------------|-----------|------------------------------|----------------------------------|---|-----------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------------|
|  | 電圧波形  | ピーク<br>電圧      | リップル<br>率 | 相電圧                          | 線間電圧                             | 出力電流<br>波形  | 平均電流            | 抵抗負荷            |                |            | 誘導負荷            |                |             |                                  |
|  |   |                |           |                              |                                  |   |                 | 実効値             | ピーク<br>電流      | ピーク/<br>平均 | 実効値             | ピーク<br>電流      |             | ピーク/<br>平均                       |
|  <p>単相半波整流</p>    |    | $3.14 E_{AVG}$ | 12.1      | $E_{RMS}$                    | $2.22 E_{AVG}$                   |    | $I_{AVG}$       | $1.57 I_{AVG}$  | $3.14 I_{AVG}$ | 3.14       | —               | —              | —           | $3.14 E_{AVG}$<br>$1.41 E_{RMS}$ |
|  <p>単相全波整流</p>    |    | $1.57 E_{AVG}$ | 48        | $E_{RMS}$<br>$1.11 E_{AVG}$  | $2 E_{RMS}$<br>$2.22 E_{AVG}$    |    | $0.5 I_{AVG}$   | $0.785 I_{AVG}$ | $1.57 I_{AVG}$ | 3.14       | $0.707 I_{AVG}$ | $2.00 I_{AVG}$ | 2.00        | $3.14 E_{AVG}$<br>$2.82 E_{RMS}$ |
|  <p>単相ブリッジ整流</p> |   | $1.57 E_{AVG}$ | 48        | $E_{RMS}$<br>$1.11 E_{AVG}$  | $E_{RMS}$<br>$1.11 E_{AVG}$      |   | $0.5 I_{AVG}$   | $0.785 I_{AVG}$ | $1.57 I_{AVG}$ | 3.14       | $0.707 I_{AVG}$ | $1.00 I_{AVG}$ | 2.00        | $1.57 E_{AVG}$<br>$1.41 E_{RMS}$ |
|  <p>3相半波整流</p>  |  | $1.21 E_{AVG}$ | 18.3      | $E_{RMS}$<br>$0.855 E_{AVG}$ | $1.73 E_{RMS}$<br>$1.48 E_{AVG}$ |  | $0.333 I_{AVG}$ | $0.587 I_{AVG}$ | $1.21 I_{AVG}$ | 3.63       | $0.578 I_{AVG}$ | $1.00 I_{AVG}$ | 3.00        | $2.09 E_{AVG}$<br>$2.45 E_{RMS}$ |

| 整流回路  | DC 出力電圧   |               |           | AC 入力電圧 (RMS)                         |                                    | 1 素子当たりの電流  |                |                |                |            |                |               | ピーク<br>逆耐電圧 |                                |
|---|---|---------------|-----------|---------------------------------------|------------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|------------|----------------|---------------|-------------|--------------------------------|
|   | 電圧波形  | ピーク<br>電圧     | リップル<br>率 | 相電圧                                   | 線間電圧                               | 出力電流<br>波形  | 平均電流           | 抵抗負荷           |                |            | 誘導負荷           |               |             |                                |
|   |   |               |           |                                       |                                    |   |                | 実効値            | ピーク<br>電流      | ピーク/<br>平均 | 実効値            | ピーク<br>電流     |             | ピーク/<br>平均                     |
|  <p>3 相全波ブリッジ</p>    |    | $1.05E_{AVG}$ | 4.3       | $E_{RMS}$<br>$0.428E_{AVG}$           | $1.73E_{RMS}$<br>$0.74E_{AVG}$     |    | $0.333I_{AVG}$ | $0.579I_{AVG}$ | $1.05I_{AVG}$  | 3.15       | $0.578I_{AVG}$ | $1.00I_{AVG}$ | 3.00        | $1.05E_{AVG}$<br>$2.45E_{RMS}$ |
|  <p>6 相星形結線</p>      |    | $1.05E_{AVG}$ | 4.3       | $E_{RMS}$<br>$0.74E_{AVG}$<br>(中心より)  | $2E_{RMS}$<br>$1.48E_{AVG}$<br>無負荷 |    | $0.167I_{AVG}$ | $0.409I_{AVG}$ | $1.05I_{AVG}$  | 6.30       | $0.408I_{AVG}$ | $1.00I_{AVG}$ | 6.00        | $2.09E_{AVG}$<br>$2.83E_{RMS}$ |
|  <p>3 相 2 重星形結線</p> |  | $1.05E_{AVG}$ | 4.3       | $E_{RMS}$<br>$0.855E_{AVG}$<br>(中心より) | $2E_{RMS}$<br>$1.71E_{AVG}$<br>無負荷 |  | $0.167I_{AVG}$ | $0.293I_{AVG}$ | $0.525I_{AVG}$ | 3.15       | $0.289I_{AVG}$ | $0.50I_{AVG}$ | 3.00        | $2.09E_{AVG}$<br>$2.45E_{RMS}$ |

## 2.1.3 ダイオードの逆漏れ電流設計基準

最近、ダイオードの使用方法が多様化している中で本来の整流機能に加え信号検出用として使用される特殊用途の場合、素子の逆漏れ電流 (IRRМ) の温度特性、バラツキなどにより信号停止状態、または誤動作を引き起こす要因となることがありますので回路設計上の配慮が必要となります。

## (1) IRRМ の設計基準について

ダイオードの IRRМ の温度依存特性は一般に (2-4) 式により示され、接合部温度 ( $T_j$ ) に対して指数関数的に正の依存特性となります。

$$I_{RRM} = I_s \exp\left(-\frac{qV}{2K T_j}\right) \dots\dots\dots (2-4)$$

ここで  $T_j$  : 接合部温度 (絶対温度: °K)

$K$  : ボルツマン定数

$q$  : 電子の電荷

$V$  : 印加電圧

IRRМ の温度依存特性は、一例を図 2.4 に示し、上式 (2-4) による計算値とほぼ同じ傾向となります。

実際、使用される場合、素子の通電電流、実装条件 (放熱条件)、最高周囲温度  $T_a$  (max) により接合部温度上昇 ( $T_j$ ) が (2-5) 式により決定されます。

$$T_j = T_a (\text{max}) + \Delta T_j \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\Delta T_j = P_F (AV) \cdot R_{th} (j-a)$$

ここで  $P_F (AV)$ : 通電電流に対する素子の損失 (W)

$R_{th} (j-a)$ : 実装状態で決定される素子の接合部と周囲間の定常熱抵抗 (°C/W)

この  $T_j$  に対する IRRМ ( $T_j$ ) が回路上の基準値となります。

例えば、CMG07 をプリント基板上に実装し、通電電流  $I_F (AV) = 0.2 \text{ A}$ ;  $T_a (\text{max}) = 50^\circ\text{C}$  の場合、 $T_j = 60^\circ\text{C}$  と推定されます。

この  $T_j$  に対する IRRМ ( $T_j$ ) 値は、図 2.4 より  $I_{RRM} (T_j) = 110 \mu\text{A}$  となり、この IRRМ ( $T_j$ ) が設計基準となります。

## (2) 高速整流ダイオードの IRRМ について

SBD、HED、FRD などの高速整流ダイオードは、一般整流ダイオードに比べ IRRМ は高く、使用環境が厳しい場合 (高温、高電圧など)、逆方向損失の増加により熱暴走を起こし、破壊に至る場合があります。順方向、逆方向損失を考慮した放熱設計、安全設計が必要です。

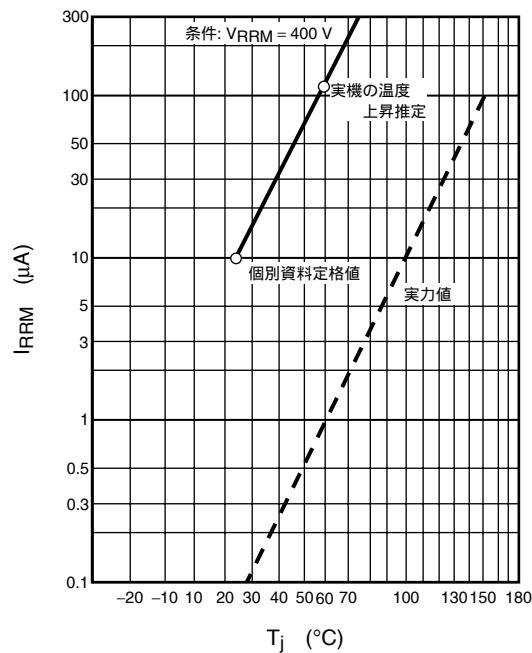


図 2.4 CMG07  $I_{RRM}$ - $T_j$  分布

(3) ショットキバリアダイオード (SBD) の熱暴走のご注意

熱暴走について

ショットキバリアダイオード (以下 SBD) は、高速動作で、かつ順電圧 ( $V_F$ ) が低い特長を持った素子です。一般整流ダイオードに比べ逆方向の漏れ電流 ( $I_R$ ) が大きく、動作時の温度上昇や電流の増加によって、熱暴走を発生し破壊に至る場合があります。

DC-DC コンバータのように、順方向および逆方向に、ある比率で常時電圧が印加される、一般的な SBD の使用においては、下記内容についてご注意ください。

(1) 順方向損失

通常の順方向電流動作では、通電後の素子の温度が上昇すると、 $V_F$  は低下する方向であり、素子の温度としては安定方向になります。従って、順方向損失および接合温度が最大定格を超えないような設計をしてください。

(2) 逆方向損失

$I_R$  による損失は低い温度では小さく、順方向損失に比べて無視できるレベルです。しかし、 $I_R$  は温度に対し指数関数的に増加するため、高温領域では損失が無視できなくなります。さらに、 $I_R$  による自己発熱が放熱能力を超え急激な熱暴走に陥る場合があります。

このため逆方向損失に対しては、接合温度の最大定格および熱暴走に対するマージンを十分にとった設計をしてください。

SBD を使用の際は、順方向および逆方向の損失を考慮し、素子に掛る高温時の許容損失を求め、その許容損失に見合う放熱設計および安全設計を実施してください。また、実使用に際しては、最悪条件を考慮した実機による十分な評価を実施し、設計してください。

高温でのご使用について

AC アダプタ、DC-DC コンバータなど放熱があまり期待できない機器における高温時の使用に際しては、素子温度に対する保護回路などを付加した安全設計をしてください。



(4) 推奨回路例

図 2.5 は、低バイアス通電条件で、しかも交流ゼロ電圧検出回路が付加された、特殊用途の回路例を示します。

図中で整流回路の交流入力的一端から  $D_5$  ( $D_6$ )、 $R_1$  を通してトランジスタ ( $Tr$ ) のベース ( $R_2$  の両端) に交流半波電圧が与えられ、 $Tr$  の出力 ( $V_0$ ) に交流ゼロ電圧検出用の信号が発生します。ここで逆流防止用ダイオード ( $D_7$ ) がない場合、整流回路の  $D_1$  ( $D_2$ ) の  $I_{RRM}$  により、交流半波電圧に直流電圧が重畳され、この  $I_{RRM}$  の大きさによっては、交流ゼロ電圧検出用の信号が停止したり、波形歪を生じたりすることがあります。

このような不具合を防止するために、素子の  $I_{RRM}$  が緩和される抵抗  $R_4$  の接続を、推奨します。例えば、低バイアス条件 (AC 10 V 程度) では  $R_4 \leq 1 \text{ k}\Omega$  を推奨します。

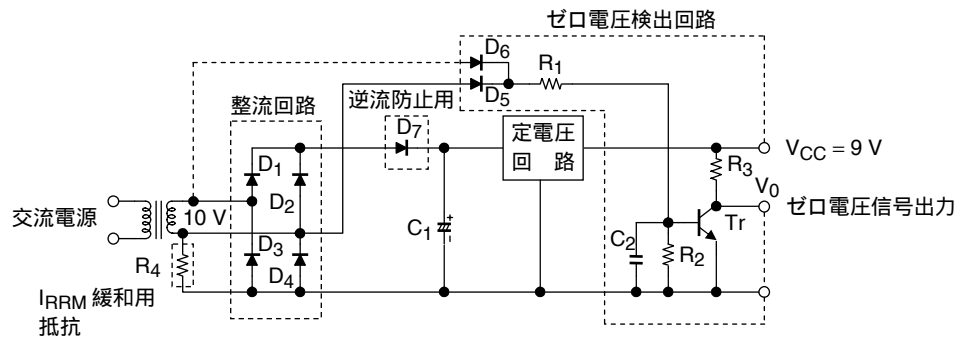


図 2.5 交流ゼロ電圧検出回路例 (推奨回路)

2.1.4 ダイオードのスイッチング損失

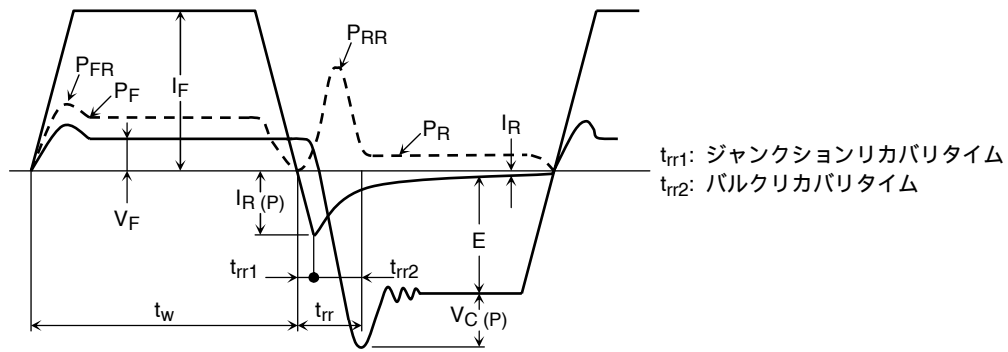


図 2.6 高速整流ダイオードにおける整流波形

(1) 順方向スイッチング損失 PFR

順方向スイッチング損失 PFR は、ダイオードの順方向に立ち上がりの急峻なパルス（矩形波）が印加された場合生じる損失です。

パルスが印加されるとダイオードの順方向電圧降下は定常値 VF よりも瞬時的に高くなり、定常状態よりも大きな電力消費をすることになります。（図 2.6 参照）

これは、立ち上がりの急峻なパルスが印加された場合、瞬時的にキャリアが蓄積されて導通状態とならず、ある一定の時間を経過することが必要とされ、その間ダイオードは順方向であっても高抵抗の状態にあります。この現象をフォワードリカバリ（forward recovery）といいます。このフォワードリカバリタイムは、動作周波数に対する依存性を持ちませんが、立ち上がり時間に依存します。

(2) 逆方向スイッチング損失 PRR

逆方向スイッチング損失 PRR は、急峻な逆電圧パルスがダイオードに印加されたとき、ただちに逆電流を阻止できずにリカバリタイム期間中逆電流が流れるために生じる損失です。（図 2.6 参照）

逆方向最大損失 PRR は、(2-6) 式で近似されます。

$$PRR \approx \frac{1}{2} I_R(P) \times t_{rr} \times E \times f = Q_R \times E \times f \dots\dots\dots(2-6)$$

IR (P): 逆方向電流の波高値                      t<sub>rr</sub>: リカバリタイム  
 E : 逆電圧 (定常時)                              QR: ダイオードの残留蓄積電荷

しかし、実際には、(2-6) 式は (2-7) 式のように簡略化することができます。

$$PRR \approx \frac{1}{6} I_R(P) \times t_{rr2} \times E \times f \dots\dots\dots(2-7)$$

なぜならば、実際に電力消費となる時間は、t<sub>rr</sub> の中でも後半の t<sub>rr2</sub> であるため、前半の t<sub>rr1</sub> ではほとんど電力消費は生じず、(2-6) 式の値の 1/2 以下となるからです。

図 2.7、図 2.8 に一般 Di、FRD、HED の逆回復特性を示します。

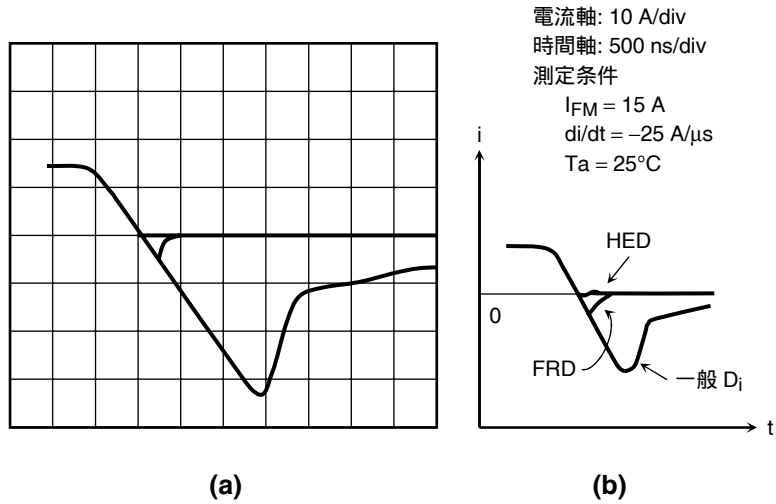


図 2.7 一般  $D_i$ 、FRD、HED の  $t_{rr}$  比較 (例)

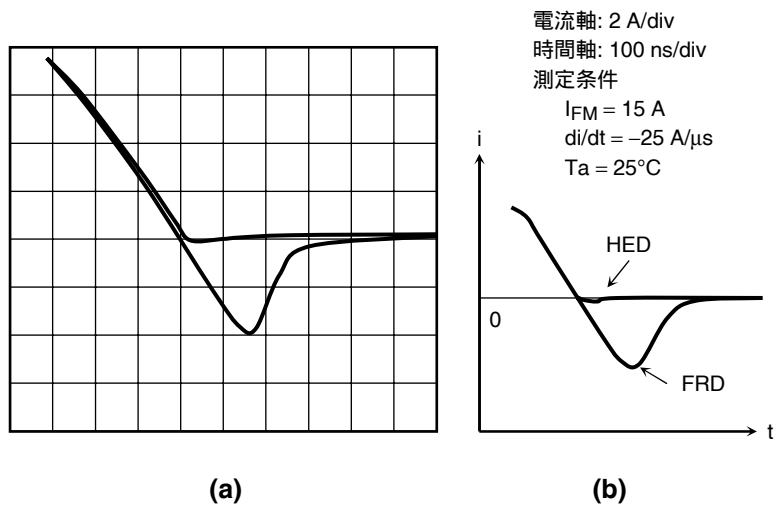


図 2.8 FRD、HED の  $t_{rr}$  比較 (例)

2.2 ツェナーダイオードの定格と使用法

最近の電子回路は複雑な制御の要求が多く、マイコン、メモリなどの使用が一般化されつつあります。これらのデバイスを駆動するためには非常に高精度の安定化電源が要求されます。また、これらのデバイスは、安定化電源用のほかにサージ吸収素子としても使用される場合が多くなっており、

これらの要求に対し、ツェナーダイオードの使用は年々増加の途にあります。

ここでは、その用途別にツェナーダイオードの使用範囲を紹介します。

2.2.1 定電圧用途の使用法

一般的には、ツェナーダイオードの  $V_Z$  は 5 V 未満のものは負の温度特性を有し、5 V 以上のものは正の温度特性を有しています。(参考値 図 2.9)

$V_Z$  は (2-8) 式により算出されます。

$$V_Z = v_Z \left( 1 + \frac{\gamma_Z \cdot I_Z \cdot v_Z \cdot R_{th}}{100} \right) \dots\dots\dots(2-8)$$

$v_Z$  : カタログ値

$I_Z$  : ツェナー電流 (測定電流)

$\gamma_Z$  : ツェナー電圧温度係数  
%/°C

$R_{th}$  : 熱抵抗

$V_Z$  の測定はこのように温度に対する変化が大きいことから、測定時の温度上昇を極力少なくするためパルス測定法が用いられています。またツェナーはその特性カーブに示されるように、立ち上がり部分の  $r_d$  は非常に大きく、定電圧回路への使用は  $I_Z$  を十分流した点、すなわち  $r_d$  の小さい領域で使うことが望まれます。

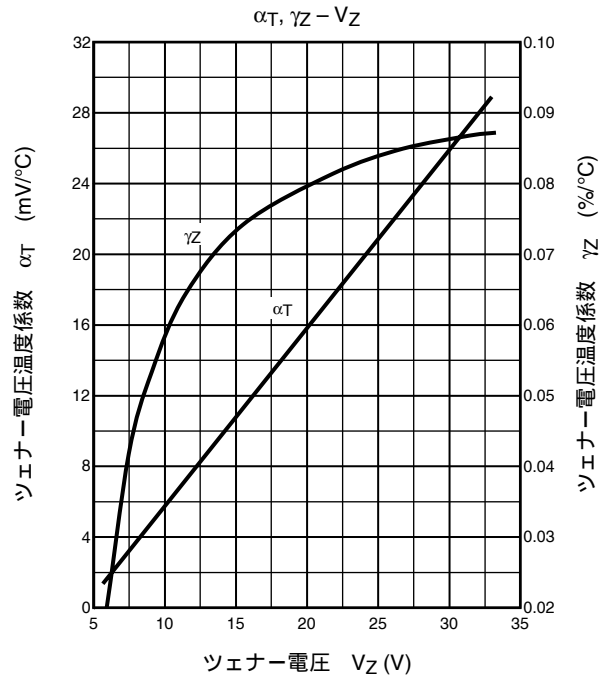


図 2.9

2.2.2 サージ吸収用途の使用法

サージ電圧の吸収にはバリスタなどの保護用のデバイスがありますが、これらは主として誘導雷などによる過大サージの吸収に適しています。しかし、サーキット内から発生するスイッチングノイズなどには、非常に急峻な立ち上がり特性を有しているため、バリスタでの吸収には限度があります。

図 2.10 は、入力サージ電圧に対するバリスタとツェナーダイオードの比較例です。

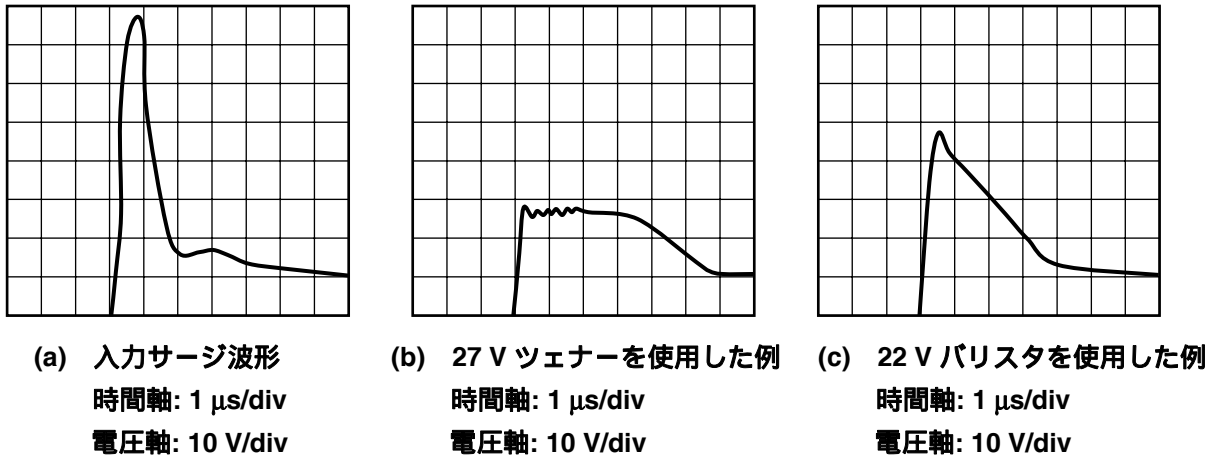


図 2.10 サージ吸収の使用例

ツェナーダイオードをサージ電圧吸収に使う場合はサージ吸収エネルギーに応じたダイオードをご使用ください。

一般にサージ電圧は、図 2.12 のような三角波形となるため図 2.11 のグラフを使用する場合、(2-9) 式により方形波近似して図 2.11 の設計推奨値以内であれば問題ありません。

$$t = \frac{1}{P_p} \int_0^{t_1} P_Z(t) dt \dots\dots\dots(2-9)$$

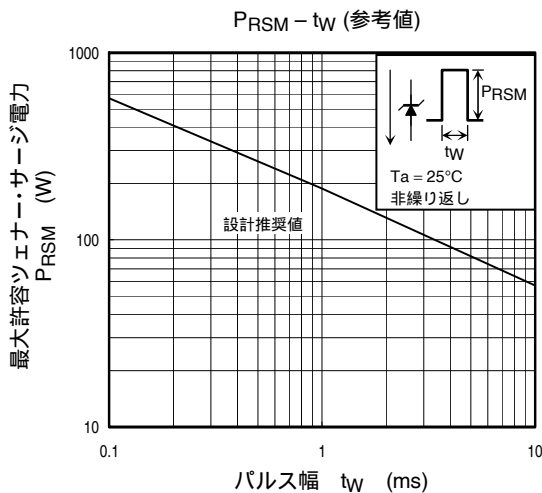


図 2.11 CMZ12 シリーズサージ電力耐量

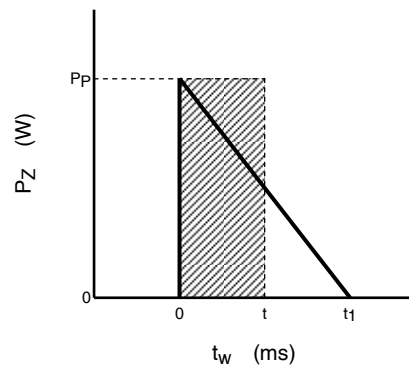


図 2.12

2.3 接合温度の求め方

2.3.1 定常状態での熱の流れ

ダイオードの最大許容損失は、素子が使用される周囲温度 (Ta) と素子の最高接合温度 (Tj max) および放熱条件によって決まります。

素子接合部において発生する熱が外部へ伝導される経路は、熱への移動を電気の流れと同様に考えて電気回路に置き替えると熱抵抗と熱容量とにより表され、熱的安定状態では図 2.13 の等価回路にて表すことができます。

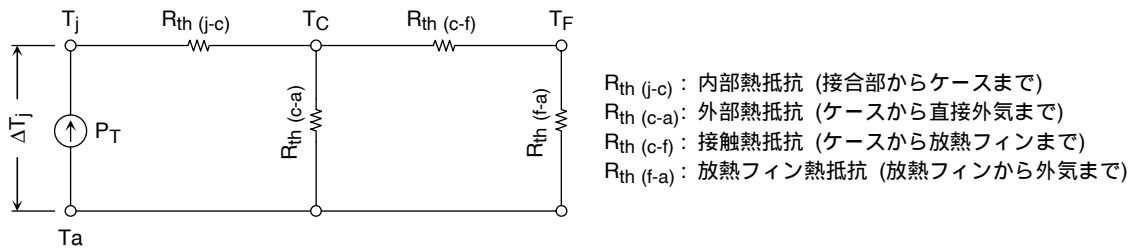


図 2.13 放熱等価回路

接合部からみた外気までの全熱抵抗 Rth (f-a) は図 2.13 の等価回路から (2-10) 式で与えられます。

$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + \frac{R_{th(c-a)} (R_{th(c-f)} + R_{th(f-a)})}{R_{th(c-a)} + (R_{th(c-f)} + R_{th(f-a)})} \dots\dots\dots(2-10)$$

小容量のダイオードでは一般に放熱フィンを用いないので Rth (j-a) は、

$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + R_{th(c-a)} \dots\dots\dots(2-11)$$

となります。

中容量以上のダイオードでは、Rth (c-a) がほかに比べ相当大きいため (2-10) 式を簡略化して実用上 (2-12) 式にて表されます。

$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + R_{th(c-f)} + R_{th(f-a)} \dots\dots\dots(2-12)$$

従って、接合部で PT (W) の熱が発生しますと接合温度 Tj は (2-13) 式となります。

$$T_j = P_T (R_{th(j-c)} + R_{th(c-f)} + R_{th(f-a)}) + T_a \dots\dots\dots(2-13)$$

2.3.2 過渡状態での熱の流れ

一般にダイオードの熱インピーダンスは、図 2.14 の示す分布定数回路と等価で熱抵抗のほかに熱容量が存在します。

これにより短時間の過渡的な熱インピーダンスは定常の熱抵抗に比べ、小さな値となります。

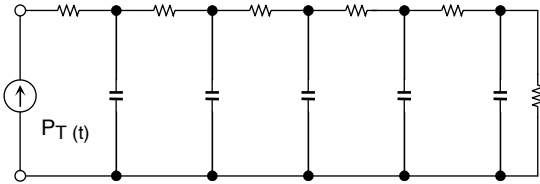


図 2.14 過渡熱インピーダンス等価回路

図 2.15 には繰り返しパルスの接合部温度の時間に対する温度変化  $T_j(t)$  の例を示します。

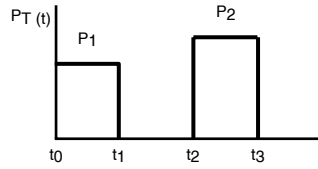
図 2.16 に過渡熱抵抗特性の代表例として、CMG07 の特性を掲載しています。

図 2.15 (a) に示すパルス電力波形の場合、(c) 図のように時間の遅れたステップ状電力の重ね合わせの原理により、接合温度は(2-14、2-15) 式により求められます。

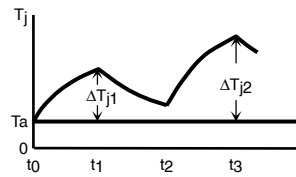
$$\Delta T_{j1} = P_1 \times r_{th}(t_1) \dots \dots \dots (2-14)$$

$$\Delta T_{j2} = P_1 [r_{th}(t_3) - r_{th}(t_3 - t_1)] + P_2 r_{th}(t_3 - t_2) \dots \dots \dots (2-15)$$

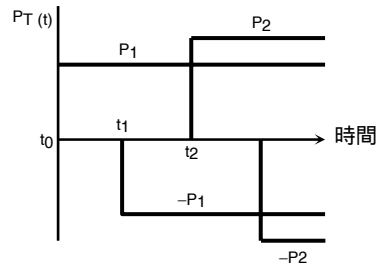
表 2.2 には基本的な負荷電流に対する接合温度の計算式を掲載します。



(a) パルス電力波形



(b) 接合温度



(c) ステップ波形の重ね合わせ

図 2.15 パルス電力波形に対する接合温度上昇

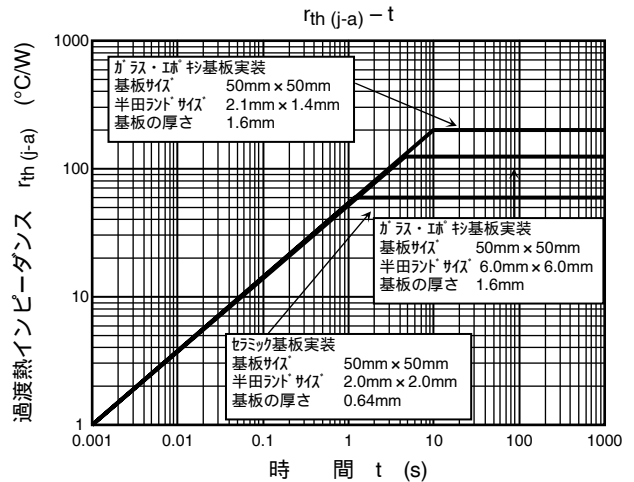


図 2.16 CMG07 過渡熱抵抗

表 2.2 基本的な負荷電流計算式

| 負 荷 電 流                    | 接合部での電力損失波形 | 接合部温度上昇の波形<br>( $T_R$ = 基準温度) | 接合部温度と電力損失に対する解、<br>$R_{th}$ = 定常状態の熱抵抗、<br>$r_{th}(t_1)$ = 時間 $t_1$ での過渡熱インピーダンス、<br>$r_{th}(t_1 - t_2)$ = 時間 $(t_2 - t_1)$ での過渡熱インピーダンス  |
|----------------------------|-------------|-------------------------------|--|
| (a) 連続負荷                   |             |                               | $T_j - T_R = P_0 R_{th}$ $P_0 = \frac{T_j - T_R}{R_{th}}$  |
| (b) 単一パルス負荷                |             |                               | $T_{t1} - T_R = P_0 r_{th}(t_1)$ $T_{t2} - T_R = P_0 [r_{th}(t_2) - r_{th}(t_2 - t_1)]$ $P_0 = \frac{T_{t1} - T_R}{r_{th}(t_1)}$   |
| (c) 短いパルス列負荷<br>(等振幅)      |             |                               | $T_{t1} - T_R = P_0 r_{th}(t_1)$ $T_{t3} - T_R = P_0 [r_{th}(t_3) - r_{th}(t_3 - t_1) + r_{th}(t_3 - t_2)]$ $T_{t5} - T_R = P_0 [r_{th}(t_5) - r_{th}(t_5 - t_1) + r_{th}(t_5 - t_2) - r_{th}(t_5 - t_3) + r_{th}(t_5 - t_4)]$   |
| (d) 振幅の等しくない<br>パルス列負荷     |             |                               | $T_{t1} - T_R = P_0 r_{th}(t_1)$ $T_{t3} - T_R = P_0 r_{th}(t_3) - P_0 r_{th}(t_3 - t_1) + P_2 r_{th}(t_3 - t_2)$ $T_{t5} - T_R = P_0 r_{th}(t_5) - P_0 r_{th}(t_5 - t_1) + P_2 r_{th}(t_5 - t_2) - P_2 r_{th}(t_5 - t_3) + P_4 r_{th}(t_5 - t_4)$   |
| (e) 等振幅の長いパルス<br>列負荷 (近似解) |             |                               | $T_j - T_R = P_0 \left\{ \left( \frac{t_p R_{th}}{\tau} \right) + \left( 1 - \frac{t_p}{\tau} \right) r_{th}(\tau + t_p) - r_{th}(\tau) + r_{th}(t_p) \right\}$ $P_0 = \frac{T_j - T_R}{\left( \frac{t_p R_{th}}{\tau} \right) + \left( 1 - \frac{t_p}{\tau} \right) r_{th}(\tau + t_p) - r_{th}(\tau) + r_{th}(t_p)}$ |
| (f) 連続責務に続く<br>過負荷 (非パルス状) |             |                               | $T_{tOL} - T_R = P_{DC} R_{th} + (P_{OL} - P_{DC}) r_{th}(t_{OL})$ $P_{OL} = \frac{T_{tOL} - T_R - P_{DC} R_{th}}{r_{th}(t_{OL})} + P_{DC}$  |



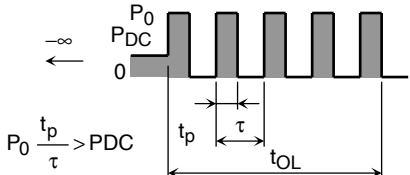
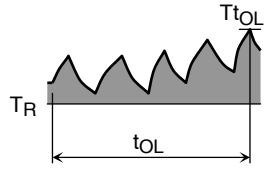
| 負 荷 電 流                     | 接合部での電力損失波形   | 接合部温度上昇の波形<br>( $T_R$ = 基準温度)   | 接合部温度と電力損失に対する解、<br>$R_{th}$ = 定常状態の熱抵抗、<br>$r_{th}(t_1)$ = 時間 $t_1$ での過渡熱インピーダンス、<br>$r_{th}(t_1 - t_2)$ = 時間 $(t_2 - t_1)$ での過渡熱インピーダンス  |
|-----------------------------|---|---|--|
| (g) 連続責務に続く過負荷 (パルス状) (近似解) |  <p> <math>P_0</math><br/> <math>P_{DC}</math><br/> <math>0</math><br/> <math>-\infty</math><br/> <math>P_0 \frac{t_p}{\tau} &gt; P_{DC}</math><br/> <math>t_p</math><br/> <math>\tau</math><br/> <math>t_{OL}</math> </p> |  <p> <math>T_R</math><br/> <math>T_{tOL}</math><br/> <math>t_{OL}</math> </p> | $T_{OL} - T_R = P_{DC} R_{th} + P_0 \left\{ \left( \frac{t_p}{\tau} - \frac{P_{DC}}{P_0} \right) r_{th}(t_{OL}) + \left( 1 - \frac{t_p}{\tau} r_{th}(\tau - r_{th}(\tau + r_{th}(t_p))) \right) \right\}$ $P_0 = \frac{T_{OL} - T_R - P_{DC} [R_{th} - r_{th}(t_{OL})]}{\frac{t_p}{\tau} r_{th}(t_{OL}) + 1 - \frac{t_p}{\tau} r_{th}(\tau + t_p) - r_{th}(\tau) + r_{th}(t_p)}$ |

図 2.17 (a) (b) のような複雑な電力波形の場合は、波高値と面積が等しい矩形波で近似して前項の手順により接合温度を求めます。

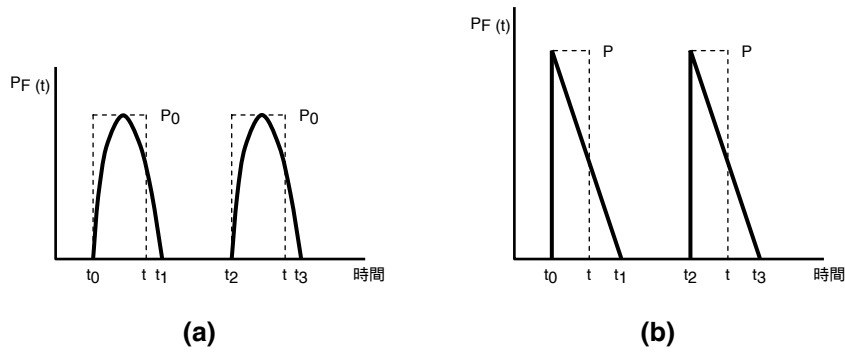


図 2.17 複雑な電力波形の場合

$$t = \frac{1}{P_0} \int_0^{t_1} P_0(t) dt \dots\dots\dots(2-16)$$

2.3.3 放熱フィンの求め方

動作電流が直流、単相、3相、6相に応じて使用素子の特性曲線から、平均順電流  $I_F(AV)$  に対応する平均順損失  $P_F(AV)$  を求めます。(図 2.18 (a))

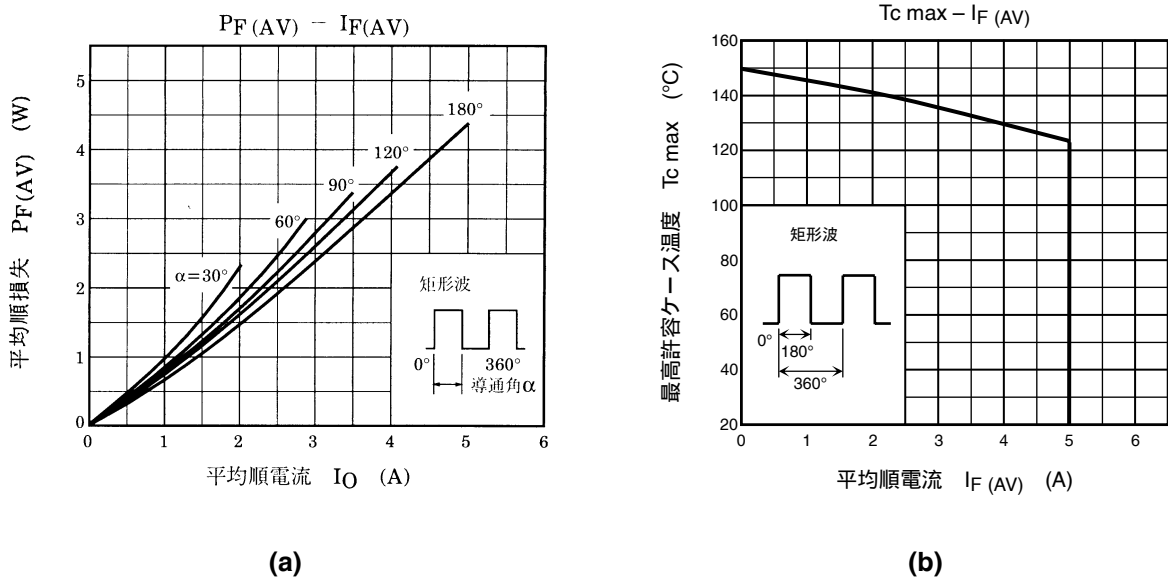


図 2.18 5DLZ47A 平均オン損失および最高許容ケース温度

電流波形が特殊な場合には順電圧降下特性から計算で求める必要があります。また、使用周波数が 400 Hz よりも高いときは、ターンオン損失およびターンオフ損失が問題になることがあります。

同じく平均順電流に対する最高許容ケース温度  $T_c$  を求めます。(図 2.18 (b))

最高周囲温度を  $T_a$ 、素子定常熱抵抗  $R_{th(j-c)}$ 、接触熱抵抗を  $R_{th(c-f)}$  とすると放熱フィン熱抵抗は (2-17) 式となります。

$$R_{th(f-a)} < \frac{T_c - T_a - (\text{マージン})}{P} - R_{th(c-f)} \dots\dots\dots(2-17)$$

マージンは通常 20~35°C 位をとります。

(1) 接触熱抵抗  $R_{th(c-f)}$

接触熱抵抗は、素子のケースまたはスタッドと放熱フィンとの接触面の状態、もしくはケース、絶縁板および放熱器との接触面の状態により決まります。

放熱フィンの接触面の平坦度、粗さ、接触面積、締め付けトルクおよび絶縁板の厚さなどにより影響されます。

例えば接触面にシリコングリスを塗布しますと接触面のあらさ、平坦度による影響を小さくすることができます。なお、締め付けトルクと接触熱抵抗は、規定のトルクの約 50%~80%程度で飽和しますので、規定以上のトルク締め付けは行わないでください。

最近では絶縁シートとシリコングリスをかねたシリコンラバーも使用されるようになってきておりますが、強度の面で用いる際には十分に検討する必要があります。放熱の際には表 2.3 の接触熱抵抗をも考慮の上ご検討ください。

表 2.3 シリコングリス YG6260 (東芝シリコン製)

| 外囲器    | 絶縁板             | $R_{th(c-f)}$ [°C/W] |          |
|--------|-----------------|----------------------|----------|
|        |                 | シリコングリス有             | シリコングリス無 |
| TO-220 | 絶縁板なし           | 0.3~0.5              | 1.5~2.0  |
|        | マイカ (50~100 μm) | 2.0~2.5              | 4.0~6.0  |

(2) 放熱フィンの熱抵抗  $R_{th(f-a)}$

放熱フィンの熱抵抗は、放熱フィンの表面より外気へ逃げる熱の経路の分布定数熱抵抗と考えられます。外気の状態、外気の風速、放熱フィンと外気の温度差、放熱器の配置方法、放熱フィンの大きさにより決定されますが、数式的に表現することは難しく現状ではすべて実測により求めています。

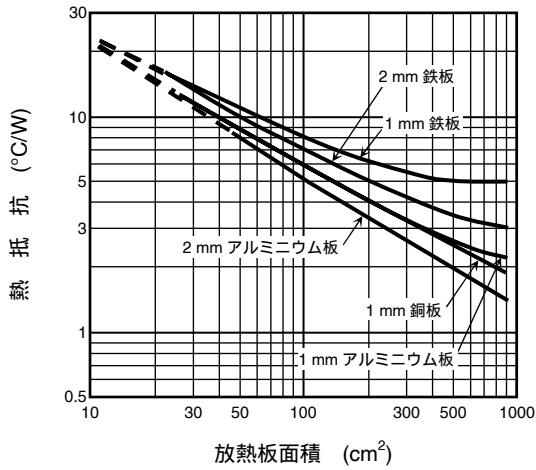


図 2.19

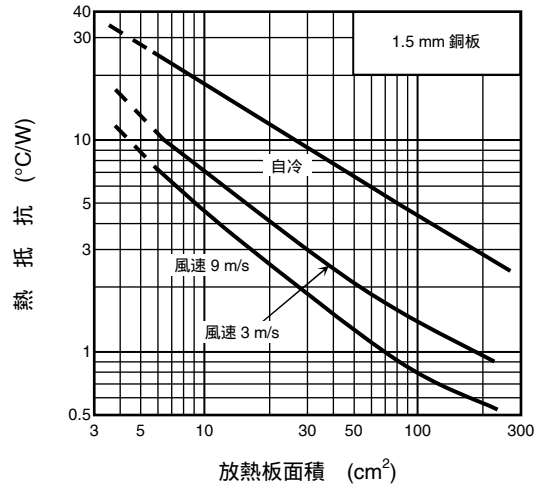


図 2.20

図 2.19、図 2.20 は放熱フィンの中央に素子を 1 個取り付け、放熱フィンを垂直にしたときの熱抵抗の実測値を示します。

### 2.3.4 基板コーティング

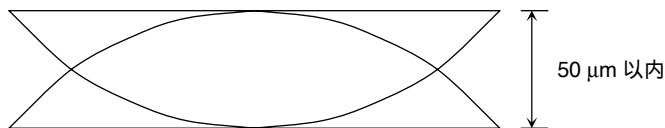
高信頼性を必要とする機器、あるいは悪環境下（湿度、腐食性ガス、塵埃など）で 사용되는機器にデバイスを使用する場合は、防湿コーティングを行うことがあります。コーティング樹脂の使用に際しては、応力の少ないものを選択してください。

### 2.3.5 放熱板への取り付け

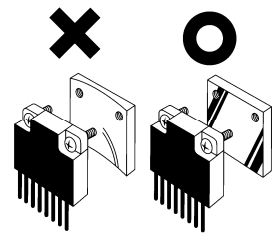
放熱板にバリや凹凸があったり、取り付けの大きさや締め付けトルクが適切でなかったりした場合、素子に歪を与え、ペレットの破壊、樹脂の破壊、樹脂とフレームの密着性劣化などが発生します。以下の注意事項に従った放熱板の取り付けをお勧めします。

#### (1) 放熱板

- デバイスに放熱板を取り付ける場合は、指定のアクセサリを使用してください。また、取り付けの際に、デバイスに過大な応力を加えないようにしてください。
- デバイスを放熱板に2ヶ所以上で取り付ける場合は、ほかの取り付け部を開放したまま1ヶ所のみを規定トルク値まで締め付けることはしないで、すべての取り付け部を軽く予備締めした後に規定のトルク値まで締め付けてください。
- 放熱器のデバイスを取り付ける面は十分滑らかでなければいけません。放熱器の反りや凹凸が大きかったり、プレスバリや切削クズなどの異物がはさまれたりすると極端な場合にはデバイスを破壊させることがあります。このような問題を防ぐため、放熱器のデバイス取り付け面平坦度は、50 μm 以下としてください。

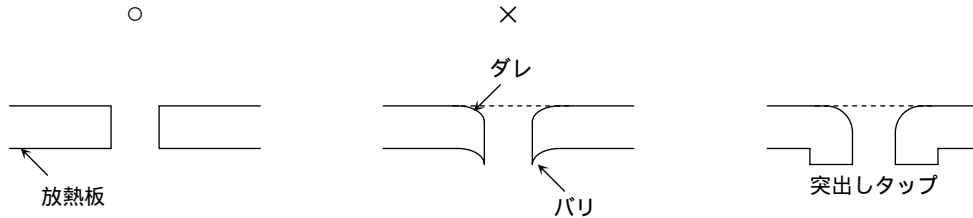


- 放熱板とデバイスとの間にシリコングリースを薄く塗布することで熱伝導がよくなります。この場合、不揮発性のシリコングリースを使用してください。揮発性のシリコングリースは、長期間使用するとひび割れが生じ、放熱効果を悪化させることがあります。
- プラスチックパッケージデバイスの場合、グリースの選定によってはベースオイルがパッケージの内部に浸入してデバイスの寿命を著しく悪化させることがあるので、推奨のシリコングリース（東芝シリコン製 YG6260）を使用してください。その他のものを使用する場合は同等品を選択してください。
- デバイスの動作中は、放熱板が高温になりますので、接触によって火傷をしないようにしてください。



(2) 取り付け穴

放熱器の取り付け穴部分のプレス抜型ダレは  $50\mu\text{m}$  以下とし、取り付け穴は必要以上に大きく開けないようにしてください。取り付け穴部ダレが生じたり、穴径が大きくなったりした場合には、必ず角ワッシャを使用してください。



(3) ネジ

放熱器への取り付けに使用するネジは大別して、小ネジとタッピングネジがあります。タッピングネジを使用する場合はトルクが大きくなり締め付けトルクの最大値を超える場合がありますので注意が必要です。また、特殊ネジ（皿ネジ、丸皿ネジ）はデバイスに異常な応力を加えることとなりますので、使用しないでください。

(4) 絶縁スペーサ

マイカまたは機械的強度のあるものを使用してください。

(5) 絶縁ワッシャ

素子に合ったものを使用してください。

(6) 締め付けトルク

ダイオードを放熱板を用いて使用する場合取り付け用ビスの締め付けトルクによって、樹脂破壊や場合によっては、ダイオードのチップまで破壊させることがあります。

各外囲器ごとのビスの締め付けトルクを表 2.4 に示します。

また、エアドライバはデバイス本体に接触させないでください。

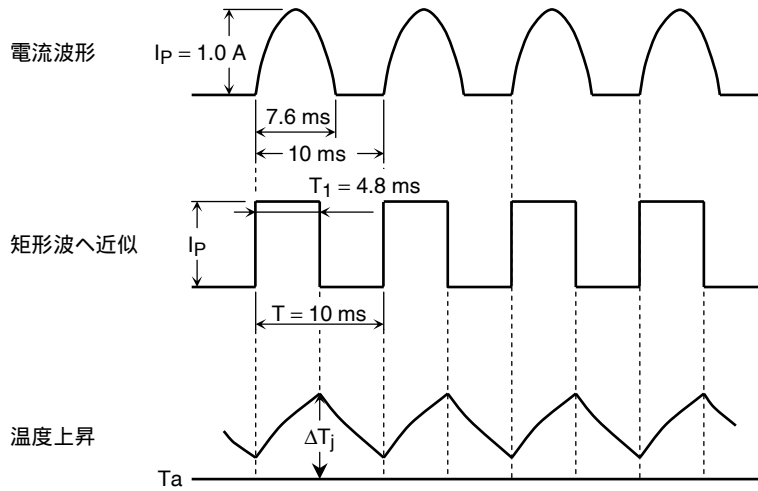
表 2.4

| 外囲器          |          | ビスの締め付けトルク<br>(max) |
|--------------|----------|---------------------|
| JEDEC        | 東芝名称     |                     |
| TO-220AB     | 12-10E1A | 0.6 N·m             |
| TO-220 NIS   | 12-10C1A | 0.6 N·m             |
| TO-3P (N)    | 12-16D1A | 0.8 N·m             |
| TO-3P (N) IS | 12-16E1A | 0.6 N·m             |

2.4 熱計算の具体例

2.4.1 接合部温度上昇の推定

ダイオードの選択は、規定条件の電流がダイオードに流れた場合に発生する接合部の温度上昇を計算により推定し、接合温度が最大定格内にあるか判断することにより素子選択を行います。



接合部温度上昇の推定計算 (2 発近似法)

$$\Delta T_j = P_p \{ N R_{th} + (1 - N) r_{th}(T_1 + T) + r_{th}(T_1) - r_{th}(T) \}$$

- $P_p$  : ピークパワー
- $N$  :  $T_1/T$
- $r_{th}(T_1)$  :  $T_1$  のパルス時間の過渡熱抵抗
- $r_{th}(T)$  :  $T$  時間の過渡熱抵抗
- $r_{th}(T_1 + T)$  :  $T_1 + T$  の時間の過渡熱抵抗
- $R_{th}(j-a)$  : 定常熱抵抗

図 2.21

2.4.2 波形の近似変換

複雑なパルス波形を波高値の等しい、矩形波のパルスに変換します。

複雑なパルス波形を矩形波パルスに変換する場合、正確には積分しなければなりません。しかし、変換しようとする元の波形が、ほぼ三角波、または正弦波の場合には、簡便的に変換しようとする波形のパルス幅の、それぞれ 50%、63%の矩形波パルスとして近似することができます。

複雑なパルス波形を矩形波に換算することは接合部の温度上昇に対して最も厳しい条件で近似したことになります。矩形波近似による温度上昇は、過熱効果を短時間に集中するため、同一ピーク電力でかつ同一平均電力のほかの波形と比較した場合、最大となります。

従って、実際の接合部最大温度は、近似法にてシュミレーションした値より、低い温度になります。

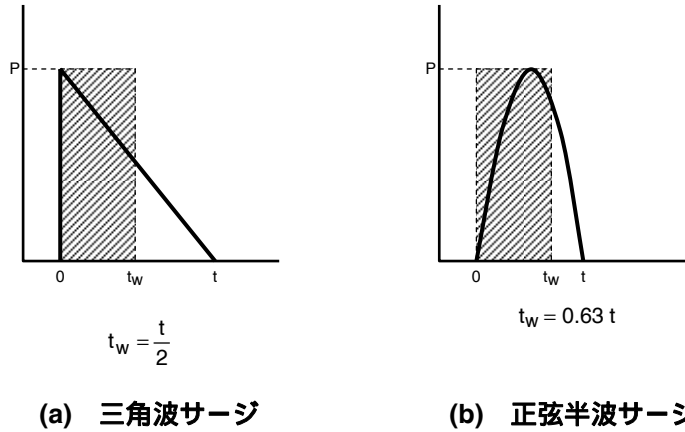


図 2.22



## 製品取り扱い上のお願い

- 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（以下、本製品という）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、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。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
- 本製品は、一般的電子機器（コンピュータ、パーソナル機器、事務機器、計測機器、産業用ロボット、家電機器など）または本資料に個別に記載されている用途に使用されることが意図されています。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、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、電力機器、金融関連機器などが含まれます。本資料に個別に記載されている場合を除き、本製品を特定用途に使用しないでください。
- 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。）をせず、また当社は、本製品および技術情報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。
- 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きを行ってください。
- 本製品には、外国為替及び外国貿易法により、輸出または海外への提供が規制されているものがあります。
- 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弊社営業窓口までお問合せください。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。