

技術資料(ダイオード編)

1. ダイオード

1-1. ダイオードの種類

一般整流ダイオード

一般整流ダイオードは、高耐圧のPN接合型整流素子です。

チップ構造については、当社独自の化学的・物理的に安定したガラスパッシベーションを使用しており、耐湿性・耐熱性に優れた構造です。

ブリッジダイオード

ブリッジダイオードは、商用電源の整流用に適しています。高 I_{FSM} ・低ノイズ・低 V_F 製品を取り揃えています。

また、2次側整流用途等として、ショットキーバリアダイオードやファストリカバリダイオード等の高速ダイオードを搭載したブリッジダイオードも取り揃えています。

ショットキーバリアダイオード (SBD)

ショットキーバリアダイオードは、金属と半導体の接合で生じる障壁を利用したダイオードです。

PN接合と比較して順方向の立ち上がり電圧が低く、スイッチング速度が極めて速いため、高速低 V_F ダイオードとして最適の整流素子です。

ファストリカバリダイオード (FRD)

ファストリカバリダイオードは、逆回復特性を改善した高耐圧のPN接合型高速整流素子です。

高速化のためのキャリアライフタイムをコントロールしています。

1-2. 特性用語一覧





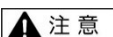

1-2-1. 製品構成

表1 製品構成

項目	用語の説明	
単体ダイオード	1製品当たり1チップで構成されているダイオードの総称	
ツインダイオード	1製品当たり2チップ構成されているダイオードの総称 さらにセンタータップ、ダブル、アレイに分類される	
	センタータップ	2チップが内部配線にて並列接続されており、カソードを1端子で共有している“カソードコモン”、アノードを1端子で共有している“アノードコモン”がある
	ダブル	2チップが内部配線にて直列接続されているもの
	アレイ	2チップがそれぞれ独立して配線されているもの
ブリッジダイオード	1製品当たり複数チップで構成されており、内部配線にてブリッジ回路を形成しているダイオードの総称 SIP(Single In-line Package)、DIP(Dual In-line Package)、SQIP(Square In-line Package)、SMD(Surface Mounting Device:面実装)等のパッケージ種がある	

1-2-2. 絶対最大定格（瞬時であっても超えてはならない値）

表2 絶対最大定格

項目	記号	用語の説明
保存温度 Storage temperature	Tstg	素子非動作中に超えてはならない保存周囲温度
接合部温度 Junction temperature	Tj	素子動作中に超えてはならない接合部温度
ピーク繰返し逆電圧 Repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}	素子に印加可能な交流逆電圧の最大ピーク値
非繰返しピーク逆電圧 Non-repetitive peak reverse voltage	V _{RSM}	素子に印加可能な単発サージ逆電圧の最大値  注意 サージの規定条件にご注意下さい
繰返しせん頭サージ逆電圧 Repetitive peak surge reverse voltage	V _{RRSM}	素子に印加可能な連続サージ逆電圧の最大値  注意 サージの規定条件にご注意下さい
平均順電流 Average forward current	I _{F(AV)}	抵抗負荷で、50Hzの正弦波整流し、得られる最大出力電流平均値  注意 平均順電流は 50Hz でも 60Hz でも同じになります。 使用温度からデレーティングを行い、指定箇所が、その温度以下となる条件にて、ご使用下さい
サージ順電流 Surge forward current	I _{FSM}	50Hz(パルス幅 10ms)の正弦波 1 サイクルでの非繰り返し最大許容電流ピーク値  注意 約 1.09 倍すると 60Hz(パルス幅 8.3ms)での値になります。 使用温度からデレーティングを行い、ご使用下さい
	I _{FSM1}	1ms のパルス幅の正弦波 1 サイクルでの非繰り返し最大許容電流ピーク値  注意 使用温度からデレーティングを行い、ご使用下さい
電流二乗時間積 Current squared time	I ² t	パルス幅 1ms 以上 10ms 未満での非繰り返し最大許容電流ピーク値を算出するための値  注意 使用温度からデレーティングを行い、ご使用下さい
絶縁耐圧 Dielectric strength	V _{dis}	AC 電圧の実効値を印加した時の端子-ケース、放熱フィン間の絶縁耐圧値
締付けトルク Mounting torque	TOR	製品を放熱フィンに実装する時のネジ止めの締付けトルクの最大値

1-2-3. 電氣的・熱的特性

表3 電氣的・熱的特性

項目	記号	用語の説明
順方向電圧 Forward voltage	V_F	規定条件にて、順電流を流した時に生じる電圧降下の値
逆電流 Reverse current	I_R	規定条件にて、逆電圧を印加した時に流れる電流値
逆回復時間 Reverse recovery time	trr	規定条件にて、順方向に電圧を印加し、電流を流し、逆方向に変わった後、電流がなくなるまでの時間
接合容量(端子間容量) Total capacitance	Ct	規定条件での容量値
熱抵抗 Thermal resistance	Rth(j-x)	規定条件にて、定常状態での熱の伝導の度合いを表す数値 または 1W 当りに接合部と x 間で生じる温度差 Rth(j-a): 接合部と周囲間の定常熱抵抗 Rth(j-c): 接合部とケース間の定常熱抵抗 Rth(j-l): 接合部とリード間の定常熱抵抗

1-2-4. 付記

当社では2017年度より、JEITA ED-4511Bに従って、従来使用していた特性記号を一部変更いたしました。

読み替えの際は、下表を参照して下さい。

新表記	旧表記	備考
接合部温度 T_J Junction temperature	接合部温度 T_J Operating Junction Temperature	基本的に同義 ED-4511B では“推定接合部温度”としているが、当社では“接合部温度”と呼称する
ピーク繰返し逆電圧 V_{RRM} Repetitive peak reverse voltage	せん頭逆電圧 V_{RM} Maximum Reverse Voltage	交流電圧印加を対象とする 直流電圧印加を保証する場合は $V_R(DC)$ で表す
平均順電流 $I_F(AV)$ Average forward current	出力電流 I_o Average Rectified Forward Current	同義
接合容量 Ct Total capacitance	接合容量 Cj Junction Capacitance	基本的に同義
熱抵抗 Rth(j-x) Thermal resistance	熱抵抗 θ_{jx} Thermal Resistance	同義 過渡熱抵抗は $Z_{th}(j-x)$ で表す

1-3. 電氣的特性

整流用ダイオードの理想的な特性は、順方向の電圧降下が無く ($V_F=0V$)、逆方向に電圧を印加しても電流を完全に阻止する ($I_R=0A$) のものです。

しかし、ダイオードの電流電圧特性は、現実には図 1 のように順方向に電流を流すと電圧降下 V_F が生じ、逆方向に電圧を印加すると逆電流 I_R が流れます。この V_F や I_R (及び後述の trr) によって電力損失が発生し、温度が上昇する原因となります。

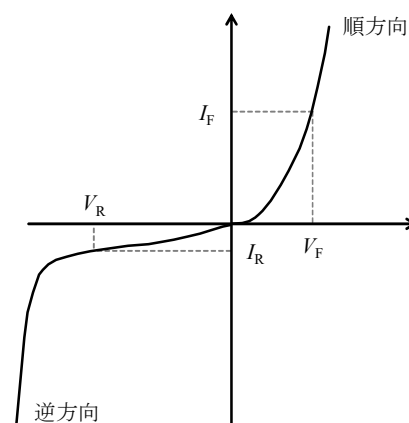


図1 ダイオードの電流電圧特性

表4 ショットキーバリアダイオード定格表 (例)

項目	記号	条件	規格値	単位
保存温度 Storage temperature	Tstg		-55~150	°C
接合部温度 Junction temperature	Tj		-55~150	°C
ピーク繰返し逆電圧 Repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}		60	V
繰返しせん頭サージ逆電圧 Repetitive peak surge reverse voltage	V _{RRSM}	パルス幅 0.5ms, duty1/40 Pulse width 0.5ms, duty1/40	65	V
平均順電流 Average forward current	I _{F(AV)}	50Hz 正弦波, 抵抗負荷, フィン付き 1 素子当たりの平均順電流 I _{F(AV)} /2, T _c =118°C 50Hz sine wave, Resistance Load, With heatsink, Per diode I _{F(AV)} /2, T _c =118°C	20	A
サージ順電流 Surge forward current	I _{FSM}	50Hz 正弦波, 非繰返し 1 サイクル せん頭値, T _j =25°C 50Hz sine wave, Non-repetitive 1cycle peak value, T _j = 25°C	230	A
絶縁耐圧 Dielectric strength	V _{dis}	一括端子・ケース間, AC1 分間印加 Terminals to case, AC 1 minute	2.0	kV
締付けトルク Mounting torque	TOR	(推奨値: 0.3N・m) (Recommended torque: 0.3N・m)	0.5	N・m
順方向電圧 Forward voltage	V _F	I _F =10A パルス測定, 1 素子当りの規格 値 Pulse measurement, Per diode	0.63 max.	V
逆電流 Reverse current	I _R	V _R =V _{RRM} パルス測定, 1 素子当りの規 格値 Pulse measurement, Per diode	8.0 max.	mA
接合容量 Total capacitance	C _t	f=1MHz, V _R =10V, 1 素子当りの規格 値 Per diode	370 typ.	pF
熱抵抗 Thermal resistance	R _{th(j-c)}	接合部・ケース間 Junction to case	1.8 max.	°C/W

1-3-1. 順方向特性 V_F

順方向特性 (例) を図 2 に示します。縦軸を順電流 I_F、横軸を順電圧 V_F とした片対数グラフで表しています。ダイオードの順方向特性には以下のような特長があります。

- ・電流が微小でも電圧降下がある。
- ・シリコンによって作られているダイオードでは温度係数が負となる。(温度が高いほど V_F が小さくなる)

- ・シリコンカーバイドショットキーバリアダイオード

(SiC-SBD) では温度係数が正となる。

(温度が高いほど V_F が大きくなる)

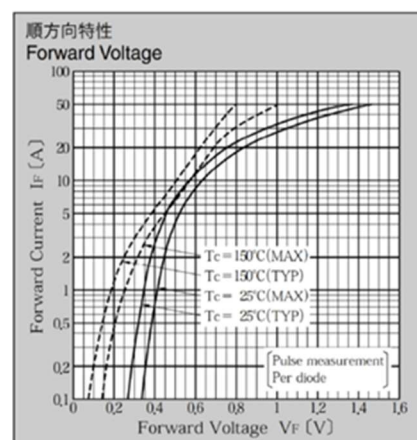


図 2 順方向特性

ご使用になる際には、順方向特性図から、印加する電流での電圧降下概算値をご確認頂き、設計上の参考としてご使用下さい。(例、25℃で 10A 流れた場合 : 0.64V max.)

また、ご使用の際は以下の点にもご留意下さい。

- ・ V_F を測定する場合は、ケルビン接続（4 端子法）にて測定下さい。
- ・ ダイオードには特性バラツキがあります。
- ・ 特性図にない、微小な電流領域の V_F および温度に関しては、担当営業までお問い合わせ下さい。

図 3 に示すように V_F - I_F カーブは、1 チップ当たりの順電流の平均値 $I_F(AV)$ とピーク値 I_P の 2 点を結んだ直線で近似されることがあります。

定格表の平均順電流 $I_F(AV)$ と、 $I_P(=3 \times I_F(AV))$ の 2 点での近似であっても微小電流や大電流以外の領域では、誤差はほとんどありません。

近似直線を式で表すと、図 3 の $I_F=0$ の点の V_F を V_0 、直線の傾きの逆数 dV_F/dI_F を r_0 とすると

$$V_F = V_0 + r_0 \times I_F$$

で表されます。

V_0 および r_0 のパラメータが必要な場合は、担当営業までお問い合わせ下さい。

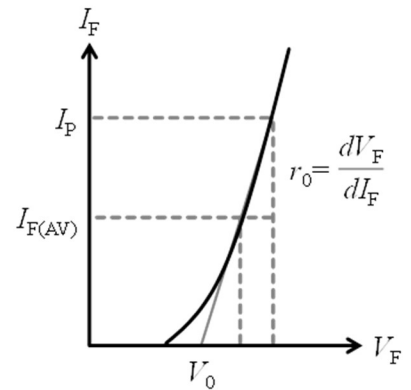


図 3 V_F - I_F カーブ

1-3-2. 順電力損失 P_F

順電力損失曲線の例を図 4 に示します。

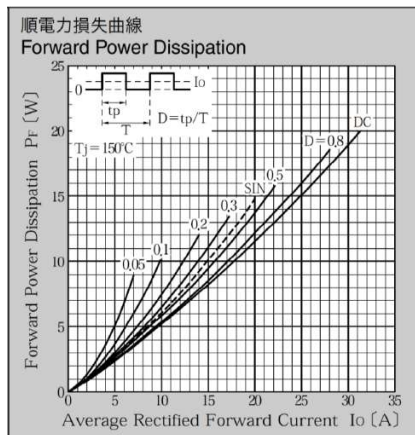


図 4 順電力損失曲線

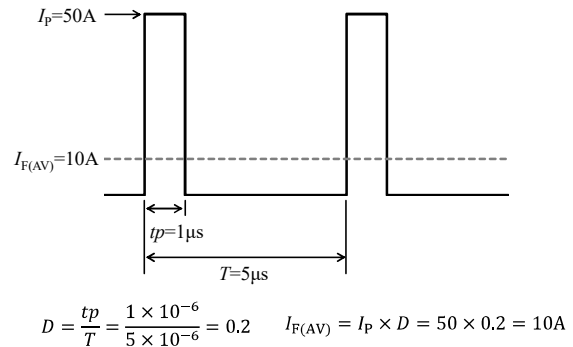


図 5 Duty

印加される電流波形が図 5 のような矩形波の場合は、Duty D は 0.2 となり、平均順電流 $I_F(AV)$ は 10A と計算されます。

この場合の順電力損失 P_F は、図 4 の $D=0.2$ のライン上の $I_F(AV) = 10A$ 点から順電力損失を読み取り、7.5W となります。D はダイオードの順方向に電流が印加されている時の間隔を表しています。

1-3-3. 逆方向特性 I_R

SBD は PN 接合している一般ダイオードに比べ、逆電流 I_R が大きく損失が無視できません。一方で SBD 以外のダイオードについては I_R が小さく、損失もほとんど無視することができます。

逆方向特性の例を図 6 に示します。縦軸を逆電流 I_R 、横軸を逆電圧 V_R とした片対数グラフで表しています。

逆方向特性は温度係数が正(温度が高いほど I_R が大きくなる)という特長があります。グラフでは代表的な温度についての特性値を表しています。

記載されていない温度での特性や、参考図としての一般ダイオード及び FRD の I_R 特性については、担当営業までお問い合わせ下さい。

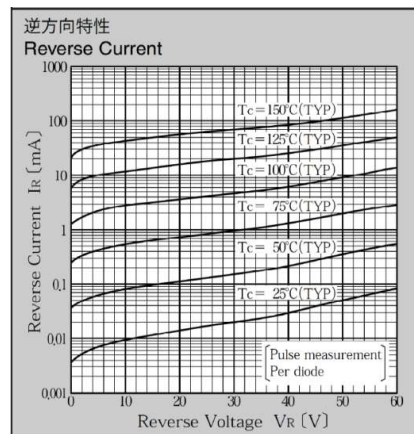


図 6 逆方向特性

注意 周囲温度による影響

SBD の場合、周囲温度により逆電力損失が増加し、放熱量によっては熱暴走により素子が破壊する場合があります。(詳細は、「1-9. 熱暴走について」を参照下さい)

素子の使用条件及び放熱条件には充分考慮のうえご使用下さい。

1-3-4. 逆電力損失 P_R

逆電力損失 P_R とは、逆電流 I_R が原因で発生する損失のことで、逆方向特性と同様に SBD のみ記載しています。

参考に逆電力損失曲線の例を図 7 に示します。縦軸を逆電力損失 P_R 、横軸を逆電圧 V_R のグラフで表しています。条件は図左上の波形で示されます。D はダイオードの逆方向に電圧が印加されていない時の間隔 (Duty) を表しています。

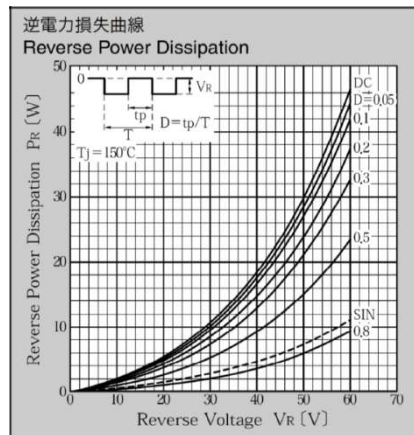


図 7 逆電力損失曲線

1-3-5. スイッチング特性

1) 逆回復時間 t_{rr}

PN 接合は、少数キャリアの蓄積効果のため動作周波数に限界があります。

逆回復時間 t_{rr} は動作周波数の限界を示す指標として用います。

t_{rr} の測定回路モデルと測定方法は、図 8 の通りです。

- a) 測定回路に E_1 、 E_2 、 R_1 、 R_2 を設定し、測定条件の順電流 I_F 及び逆電流 I_R を測定します。
- b) SW_1 を ON し、 E_1 より順電流 I_F を流します。
- c) SW_2 を ON し、 E_2 から逆電圧を印加することにより順電流 I_F が減少します。続いて逆電流 I_R が流れたのち、電流がほぼ流れない状態となります。このときの波形を図 9 に示します。
- d) 電流のゼロ点から逆回復電流ピーク値 I_{R1} を経て I_{R2} まで減少する期間を逆回復時間 t_{rr} と呼びます。

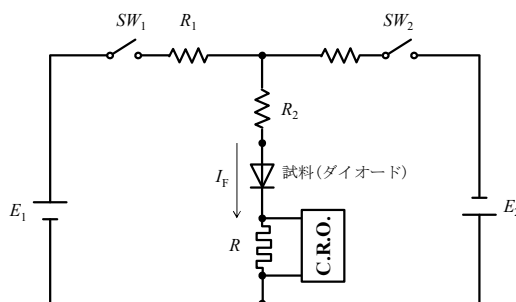


図 8 t_{rr} 測定回路

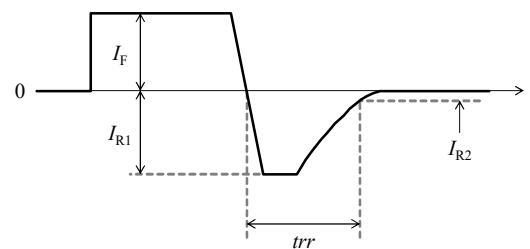


図 9 リカバリ電流波形

2) 接合容量 Ct

一般ダイオードおよび FRD は少数キャリア動作なので trr が存在します。

一方、SBD は多数キャリア動作なので理論上 trr は存在しませんが、接合部の容量により、trr と同じような動作が確認されます。

接合容量 Ct は、SBD の trr に代わる動作周波数の指標となります。

1-3-6. スイッチング損失 Ps

前述したようにダイオード順バイアス時の少数キャリア蓄積効果により、ターンオフ時、逆電圧を阻止できずに瞬時的に逆電流が流れてしまう期間が発生します。図 10 のダイオード逆回復時間 trr に生じる電力損失がスイッチング損失です。スイッチング損失 Ps は一般的に

$$P_S = \frac{1}{6} V_R \times I_{RP} \times trr \times f$$

で計算されます。

動作周波数が高い場合には、スイッチング損失が大きくなり、ダイオードトータル損失に対するスイッチング損失の割合が無視できなくなります。よって実際の動作波形を確認の上、スイッチング損失 Ps を求めて下さい。

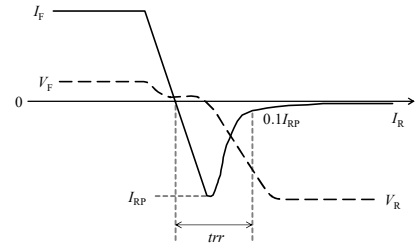


図 10 スイッチング波形

1-4. デイレーティングカーブ

デイレーティングカーブは、各種温度(ケース・リード・周囲)と平均順電流 I_F(AV)から絶対最大定格である接合部温度 Tj を限度として規定されます。

一般ダイオードは電源一次側整流用として使用するため正弦波入力を、SBD および FRD は二次側で使用するため Duty を規定した特性図を作成しています。一般ダイオードを例に、実使用に関する判断方法を示します。

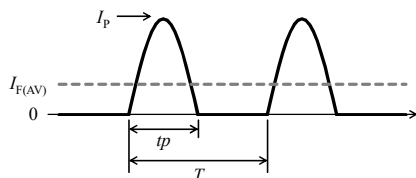


図 11 正弦波電流 波形例

まず、ダイオードに流れるピーク電流 I_p 実測値から平均順電流 I_F(AV) を求めます。

例、I_p = 1A, tp = 10ms, T = 20ms の場合

$$I_F(AV) = \frac{2tp}{\pi T} \times I_p = \frac{2 \times 10 \times 10^{-3}}{3.14 \times 20 \times 10^{-3}} \times 1 = 0.32A$$

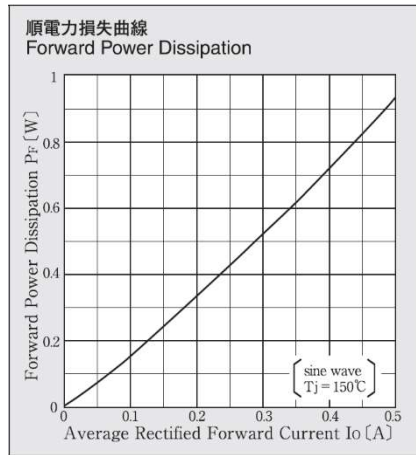


図 12 順電力損失曲線

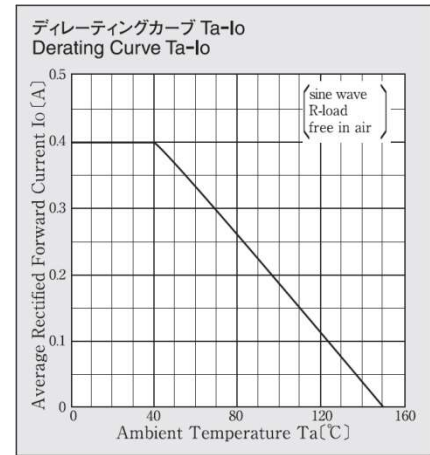


図 13 ディレーティングカーブ

上記より求めた $I_F(AV)$ 値より、順電力損失曲線(図 12)を用いて、順電力損失 P_F を求めます。

特性図より $I_F(AV) = 0.32A$ 時の順電力損失 P_F は約 0.55W と読み取れます。ここで求めた順電力損失に熱抵抗を掛け、実測温度を足した値が T_j となります。

製品仕様の絶対最大定格にある T_j 以下であれば使用可能です。

また、求めた $I_F(AV)$ 値(0.32A)とディレーティングカーブ(図 13)より、周囲温度は約 65°C 以下と導出できますので、それ以下であれば T_{jmax} 以下と判断できます。

1-5. 接合部温度の推定

1-5-1. 熱抵抗

ダイオードの動作時に発生する電力損失は、全て熱に変換され、接合部温度 T_j を上昇させます。設計された放熱系(放熱フィンなど)で、定格表に指定される T_{jmax} 以下に接合部温度が抑えられているかを確認し、 T_{jmax} を超える場合は、定格温度以下とするために放熱フィンや周囲温度条件の見直しを行わなければなりません。

モールド樹脂などで密閉されたダイオードチップの接合部温度を直接測定することはできませんので、外部温度より接合部の温度を推定する必要があります。この推定に使われるのが熱抵抗 R_{th} で、ダイオードの消費電力(電力損失)に対する熱伝導の抵抗度合いを表します。この接合部から周囲(外気)への熱の伝導経路は、図 14 のような電氣的等価回路で表されます。定格表や特性図に出てくる温度及び熱抵抗は、添字によりどの位置なのかを表します。

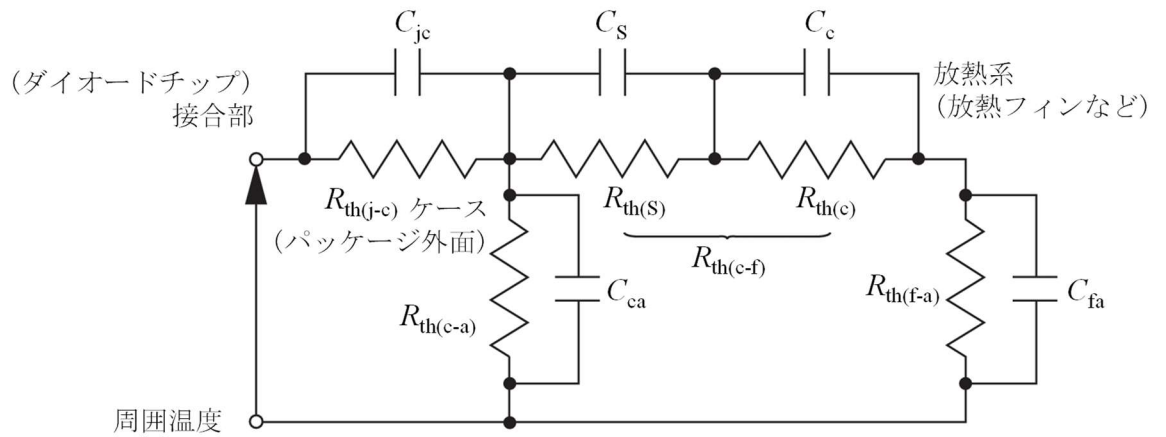


図 14 熱抵抗等価回路

それぞれの添字は、下記のような位置を表します。

$R_{th(j-c)}$: 接合部-ケース間の熱抵抗	C_{jc} : 接合部-ケース間の熱容量
$R_{th(c-f)}$: ケース-放熱フィン間の熱抵抗	C_{fa} : 放熱フィン-周囲間の熱容量
$R_{th(f-a)}$: 放熱フィン-周囲間の熱抵抗	C_{ca} : ケース-周囲間の熱容量
$R_{th(c-a)}$: ケース-周囲間の熱抵抗	C_s : 絶縁板の熱容量
$R_{th(S)}$: 絶縁板の熱抵抗	C_c : ケースの熱容量
$R_{th(c)}$: ケースの熱抵抗	

T_j はダイオードの接合部の温度のことであり、 $R_{th(j-c)}$ は接合部とケースの間の熱抵抗のことです。

実際にダイオードに印加される電圧・電流より、順方向損失・逆方向損失を求めます。両損失を足した値が、ダイオードトータル損失となります。トータル損失に熱抵抗 $R_{th(j-\square)}$ を掛けた値が、ダイオードの接合部と対象箇所（位置）間の温度差となります。

1-5-2. 電力損失の求め方

一般ダイオードや FRD は、逆電流 I_R による損失が十分に小さいため、順電力損失のみを計算します。一方で SBD は、 I_R が大きいため、順電力損失と逆電力損失の総和で計算します。

1) ブリッジダイオードに正弦波の電流が印加された場合の電力損失の求め方

ブリッジダイオードに交流正弦波の電流が印加された場合、全波整流されて図 15 のような電流で出力されます。そのばあい、以下のように電力損失を求めます。

図 15 において、ピーク電流 I_p 、平均順電流 $I_F(AV)$ とした場合

$$I_p = 1.57A \text{ (測定値)}$$

$$I_F(AV) = \frac{2tp}{\pi T} \times I_p \times 2 = \frac{2 \times 10 \times 10^{-3}}{3.14 \times 20 \times 10^{-3}} \times 1.57 \times 2 = 1.0A$$

この時の順電力損失 P_F を順電力損失曲線(図 16)から読み取ると、 P_F は約 1.6W となります。

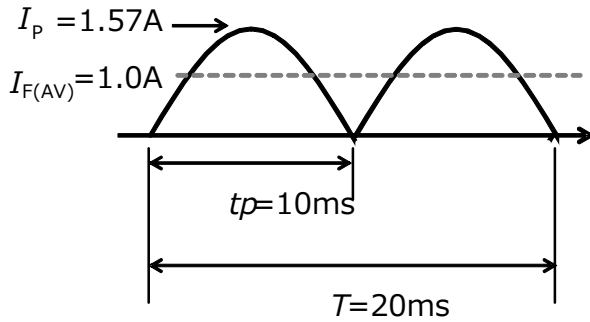


図 15 正弦波電流波形 (例) 整流後

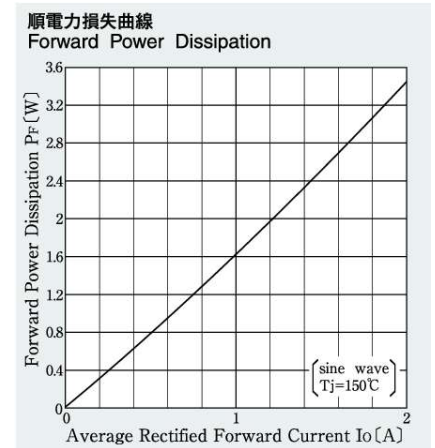


図 16 順電力損失曲線

2) 単体の FRD に三角波の電流が連続印加された場合の電力損失の求め方

FRD に図 17 のような三角波電流の波形が印加されたとします。ピーク電流 $I_p=10A$ の三角波で

Duty(= $1\mu/5\mu$)=0.2 とすると、平均順電流 $I_F(AV)$ は tp 間の平均×Duty で

$$I_F(AV) = 10 \div 2 \times 0.2 = 1.0A$$

となります。

この時の順電力損失 P_F を順電力損失曲線(図 18)から読み取ると、Duty=0.2、 $I_F(AV)=1A$ において

P_F は約 1W となります。

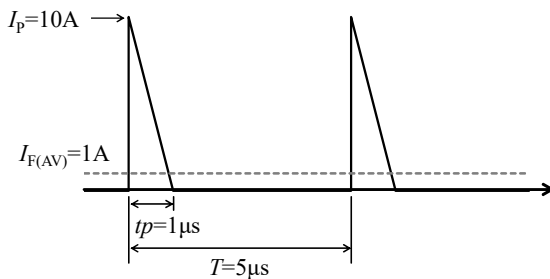


図 17 三角波電流波形 (例)

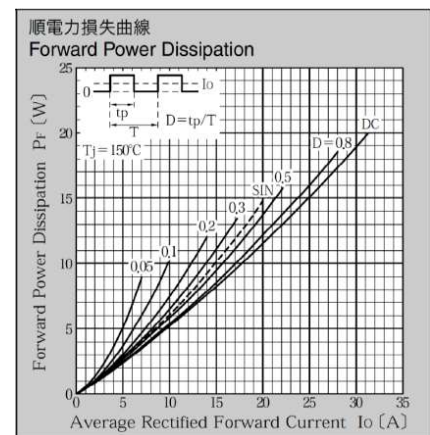


図 18 順電力損失曲線

3) センタータップ(2素子入り)のSBDに台形波の電流が印加された場合の電力損失の求め方

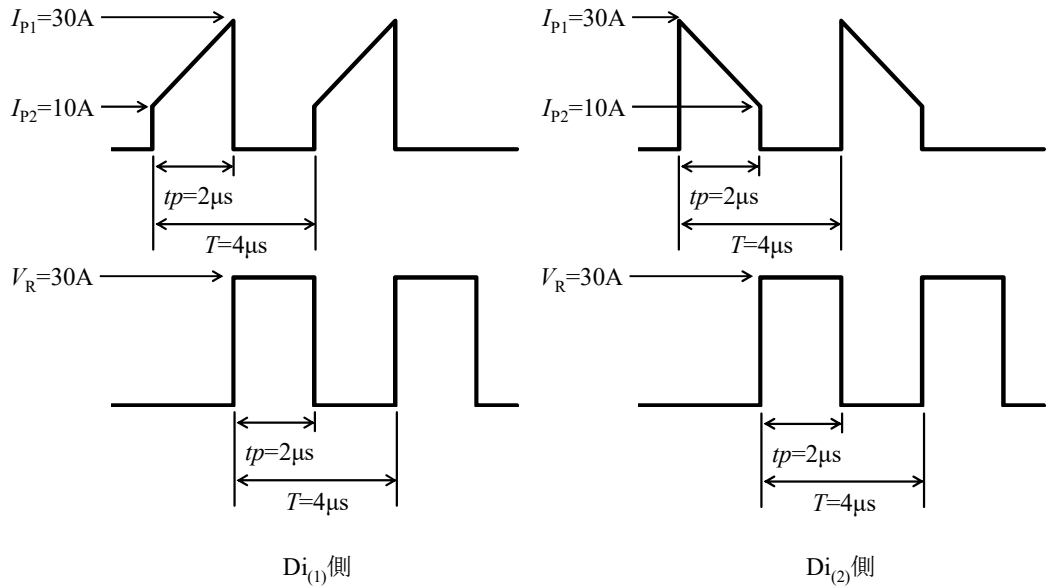


図 19 台形波電流・電圧波形 (例)

図 19 のような台形波電流の波形がセンタータップのSBDに印加されたとします。このとき、

$$\text{Duty}(= 2\mu/4\mu) = 0.5$$

となります。また、平均順電流 $I_F(\text{AV})$ は以下のように計算されます。

$$\text{Di}_{(1)}: I_F(\text{AV})(1) = (I_{p1} + I_{p2}) \div 2 \times D = (30 + 10) \div 2 \times 0.5 = 10\text{A}$$

$$\text{Di}_{(2)}: (\text{同様に}) I_F(\text{AV})(2) = 10\text{A}$$

この条件を元に、図 20 の順電力損失曲線から P_F を読み取ります。

$$P_F(1) = 6\text{W}, P_F(2) = 6\text{W}$$

また、図 21 の逆電力損失曲線から逆電力損失 P_R を読み取ります。Di(1)およびDi(2)ともに $V_R = 30\text{V}$

印加されているため、

$$P_R(1) = 5\text{W}, P_R(2) = 5\text{W}$$

となります。

以上より、順逆双方向の合計の電力損失 P は、

$$P = P_F(1) + P_F(2) + P_R(1) + P_R(2) = (6 + 6) + (5 + 5) = 22\text{W}$$

となります。

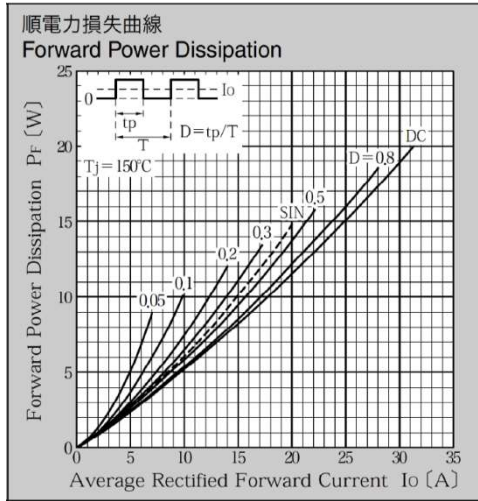


図 20 順電力損失曲線

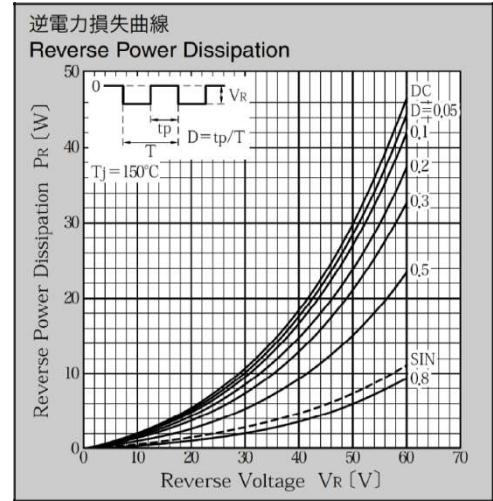


図 21 逆電力損失曲線

1-5-3. 接続部温度 T_j の推定方法

1) 放熱フィンなしプリント基板実装における T_j の推定方法(1)

定常動作時の接合部温度 T_j は、接合部—リード間の熱抵抗 R_{th(j-l)}を用いて次式により求められます。

$$T_j = P \times R_{th(j-l)} + T(l-a) + T_a(ope)$$

ここでは、1-5-2 電力損失の求め方 1) の例を元に計算を行います。

a) 平均順電流 I_{F(AV)}時の電力損失 P を特性図の順電力損失曲線より求めます。

(ここでは P = 0.8W とします)

b) 接合部-リード間熱抵抗 R_{th(j-l)}は定格表の電気的特性値を使用します。

(ここでは R_{th(j-l)} = 10°C/W とします)

c) リード-周囲間温度上昇 T_{l-a} は実測により求めます。

$$T(l-a) = T_l - T_a$$

T_l : リード温度 (図 22 を参照, パッケージ種による)

T_a : 周囲温度 (発熱の影響を直接受けない位置)

(ここでは T_a = 25°C, T_l = 80°C とします)

d) 周囲温度 T_{a(ope)}は設計によります。

(ここでは T_{a(ope)} = 50°C とします)

以上の条件で計算すると、

$$T_j = P \times R_{th(j-l)} + T(l-a) + T_a(ope) = 0.8 \times 10 + (80 - 25) + 50 = 113^\circ\text{C}$$

となります。

以上より、T_j 推定値は 113°C となります。

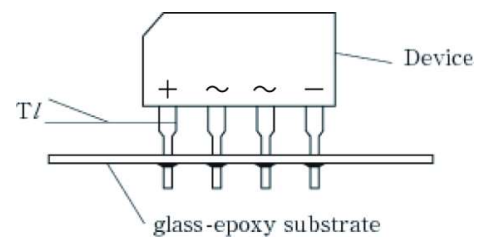


図 22 リード温度測定箇所 (例)

2) 放熱フィンなしプリント基板実装における Tj の推定方法(2)

定常動作時の接合部温度 Tj は、接合部一周囲間の熱抵抗 Rth(j-a)を用いて、次式により求められます。

$$T_j = P \times R_{th}(j-a) + T_a(ope)$$

ここでは、1-5-2 電力損失の求め方 2) の例を元に計算を行います。

- a) 平均順電流 I_{F(AV)}時の電力損失 P を特性図の順電力損失曲線より求めます。

(ここでは P=0.85W とします)

- b) 接合部-周囲間の熱抵抗 Rth(j-a)は定格表の電気的特性値を使用します。

(ここでは Rth(j-a)=110°C/W とします)

- c) 周囲温度 Ta(ope)は設計によります。

(ここでは Ta(ope)=45°C とします)

以上の条件で計算すると、

$$T_j = P \times R_{th}(j-a) + T_a(ope) = 0.85 \times 110 + 45 = 138.5^\circ\text{C}$$

となります。

以上より、Tj 推定値は 138.5°C となります。

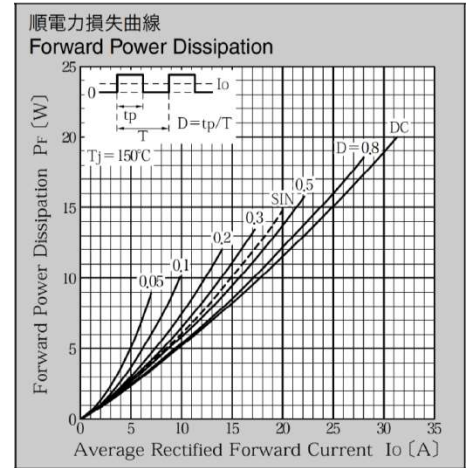


図 23 順電力損失曲線

3) 放熱フィン実装における Tj の推定方法

フィン使用時の接合部温度 Tj は、接合部-ケース間熱抵抗 Rth(j-c)を用いて次式により求められます。

$$T_j = P \times R_{th}(j-c) + T(c-a) + T_a(ope)$$

ここでは、1-5-2 電力損失の求め方 3) の例を元に計算を行います。

- a) 電力損失 P を特性図の電力損失曲線より求めます。

(ここでは P=14.5W とします)

- b) 接合部-ケース間熱抵抗 Rth(j-c)は定格表の電気的特性値を使用します。

(ここでは Rth(j-c)=2°C/W とします)

- c) ケース温度-周囲間温度上昇 T(c-a)を実測により求めます。

(例えば、Tc=80°C、Ta=25°Cの場合：T(c-a)=Tc-Ta=80-25=55°C)

- d) 周囲温度 Ta(ope)は設計によります。(ここでは Ta(ope)=45°C とします)

以上の条件で計算すると、

$$T_j = P \times R_{th}(j-c) + T(c-a) + T_a(ope) = 14.5 \times 2 + 55 + 45 = 129^\circ\text{C}$$

となります。

以上より、T_j 推定値は 129℃となります。

1-6. サージ順電流特性

一般的によく使用されるコンデンサインプット型電源回路では、電源の投入時に大きな突入電流が流れます。これは整流部の後段の平滑用コンデンサがチャージされていないため、入力側のスイッチを ON にすると、ダイオードを通して大きな充電電流が流れるためです。この突入電流がダイオードのサージ順電流耐量以下であることを確認し、耐量以上の電流が流れる時は、対策を行う必要があります。

1-6-1. サージ順電流 I_{FSM}

サージ順電流 I_{FSM} は、50Hz 正弦波 1 サイクルでの非繰返し最大許容順電流値であり、温度が指定条件に戻る前の再投入などの繰返し動作には適用できません。また、I_{FSM} が 2 サイクル以上印加される場合は、耐量が減少しますので、サージ順電流耐量特性図をご確認下さい。なお、パルス幅 1ms の正弦波(θ = 180°)における非繰返し最大許容順電流値を I_{FSM1} と定義しています。

繰返し動作の場合は、繰返し回数に応じて、その 1 回目の電流ピーク値が定格を満たしていることが条件となります。

1-6-2. 電流二乗時間積 I²t

定格表に記した I_{FSM} は 50Hz 正弦波入力時の規格です。しかし、実際の回路では、印加電圧・電源のインピーダンスなどにより、突入電流のピーク値及びパルス幅 tp は個々に変わり、10ms より短いパルス幅であることがほとんどです。

1ms ≤ tp < 10ms でのパルス幅での非繰返し許容順電流値を計算する場合には、電流二乗時間積 I²t を使用し、

$$I^2t \geq \int_0^{tp} I^2 dt$$

を満たす時には許容できると判断できます。

例 図 24 のような正弦波が T_j = 25℃ で印加された場合

印加される電流波形はピーク電流 I_p = 180A の正弦波ですが、電流二乗時間積 I²t は矩形波で規定されます。

1) 正弦波から矩形波へ換算します。

$$180 \div \sqrt{2} = 127.3\text{A}$$

2) I^2t を計算します。

$$I^2t = 127.3 \times 127.3 \times 0.002 = 32.4\text{A}^2\text{s}$$

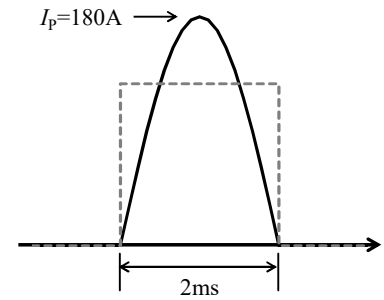


図 24 正弦波 (例)

以上より、 I^2t が $32.4\text{A}^2\text{s}$ 以上のダイオードを選定すれば、 $T_j=25^\circ\text{C}$ での使用において問題はありません。

1-6-3. 高温時の突入電流について

定格表では $T_j=25^\circ\text{C}$ 時の保証のみとなっていますが、高温時に突入電流が印加された場合は、図 25 のサージ順電流減少率特性図から電流二乗時間積 I^2t 定格値をディレーティングすることで使用可否判断ができます。

例 図 24 のような正弦波が $T_j=100^\circ\text{C}$ で印加された場合

2) にて $T_j=25^\circ\text{C}$ で算出された値を用いて、ディレーティングを読み取ります。

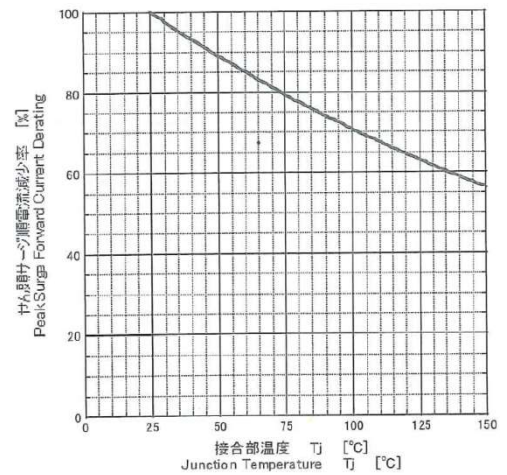


図 25 サージ順電流減少率

図 25 から $T_j=100^\circ\text{C}$ の時の減少率を読み取ると 70%となるため、定格値を $60\text{A}^2\text{s}$ とした場合は、

$$I^2t = 60 \times 70\% = 42\text{A}^2\text{s} \quad (T_j = 100^\circ\text{C})$$

以上より、図 24 の電流波形は $I^2t < 42\text{A}^2\text{s}$ 以下であるため、使用について問題はありません。

1-7. サージ逆電圧特性

ダイオードは逆電流 I_R が急増し、素子破壊の原因となるため、ピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM} を超える逆電圧の印加は許容していません。

しかし、 V_{RRM} を超えていても、下記項目を満足していれば使用可能です。

- ・ 繰り返しせん頭サージ逆電圧 V_{RRSM}
- ・ 繰り返しせん頭サージ逆電力 P_{RRSM}

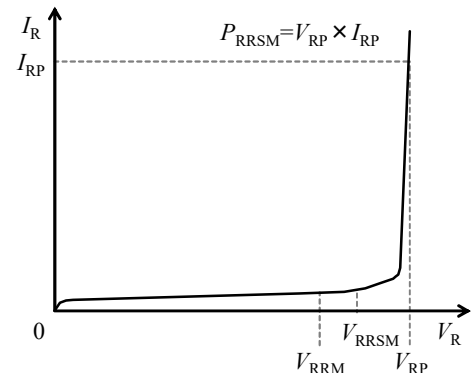


図 26 V_{RRSM} , P_{RRSM} の定義

これらは主に V_{RRM} を超えるスパイク状の電圧に対して適用します。

1-7-1. ピーク非繰り返し逆電圧 V_{RSM}

ピーク非繰り返し逆電圧 V_{RSM} は、降伏電圧を超えない (I_R の急増しない) 領域で、パルス幅 Duty の条件付きで使用可能な最大電圧を規定しています。

1-7-2. 繰り返しせん頭サージ逆電圧 V_{RRSM}

繰り返しせん頭サージ逆電圧 V_{RRSM} は、降伏電圧を超えない (I_R の急増しない) 領域で、パルス幅 Duty の条件付きで使用可能な最大電圧を規定しています。

1-7-3. 繰り返しせん頭サージ逆電力 P_{RRSM}

V_{RRSM} を超える電圧の場合には、繰り返しせん頭サージ逆電力 P_{RRSM} が適用できるかどうかの検討を行います。

P_{RRSM} は逆方向にかかる最大電圧 V_{RP} とその時のピーク逆電流 I_{RP} の積により表されます。接合部温度 T_j とパルス幅 t_p をディレーティングし、規格を満足していれば使用可能となります。

1-8. ダイオードの並列・直列接続

1-8-1. ダイオードの並列接続

ダイオードを図 27 のように並列接続して使用する場合、同じ製品であっても順電圧 V_F にはバラツキがあり、それぞれのダイオードに流れる電流に不均衡が生じることを考慮しなければなりません。

図 28 に示すように、 V_{Fmax} 特性のものと min 特性のものが組み合わせられて使用されたとき、 V_{Fmin} 特性のものが V_{Fmax} 特性のものより多くの電流を負担することになります。また、2つのダイオードの温度環境が異なる場合にも電流分担の不均衡が生じます。よって、並列接続で使用する場合には、これらの問題を考慮してマージンを設定するなど、温度の違いが生じないような実装をする必要があります。

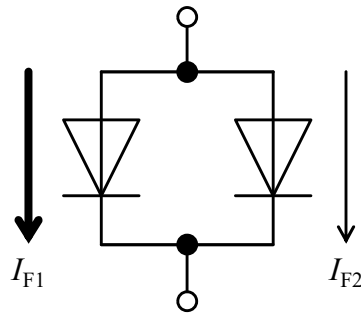


図 27 ダイオードの並列接続

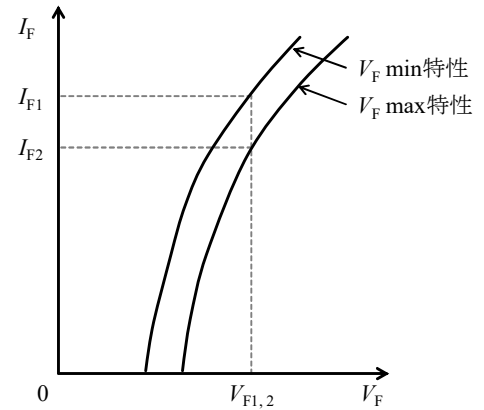


図 28 順方向特性のバラツキ

1-8-2. ダイオードの直列接続

ダイオードを図 29 のように直列接続して使用する場合、接合容量や逆電流のバラツキにより、各ダイオードに印加される逆電圧 V_R が異なることがあります。

直流的にはバランス抵抗を各ダイオードに並列接続する事で均等分圧できますが、高周波動作でのダイオードターンオフ時には、 t_{rr} のバラツキによって、瞬間的に分圧のバランスがくずれることが予想されます。よって、高周波動作時のダイオード直列接続使用は、推奨しておりません。

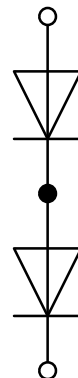


図 29 ダイオードの直列接続

1-9. 熱暴走について

ダイオードの温度上昇は、順電力損失 P_F や逆電力損失 P_R 等、素子の自己発熱によるものと、周囲から伝搬してくる二次的なものがあります。一方、ダイオードには、温度上昇によって素子の逆電流 I_R が増加するという特性があります。素子の発熱量よりも放熱量が小さい場合には、さらなる温度上昇を招くため、

温度上昇 → 逆電流の増加 → 逆電力損失の増加 → 温度上昇

を繰返し、素子の温度が上昇し続けた結果、素子が破壊されてしまいます。このような現象を、熱暴走といいます。

図 30 にダイオードの接合部温度と損失の関係を示します。ダイオードは接合部温度が上昇すると順電圧 V_F が低下する性質があるため、順電力損失 P_F は低下します。逆に逆電流 I_R は増加する性質があるため、逆電力損失 P_R は増加します。 P_F と P_R の和がダイオード全体の損失 P_{total} となります。ある温度を超えると P_R は急激に増加するため、 P_{total} としては P_F による低下分よりも、 P_R の増加の影響が大きくなります。

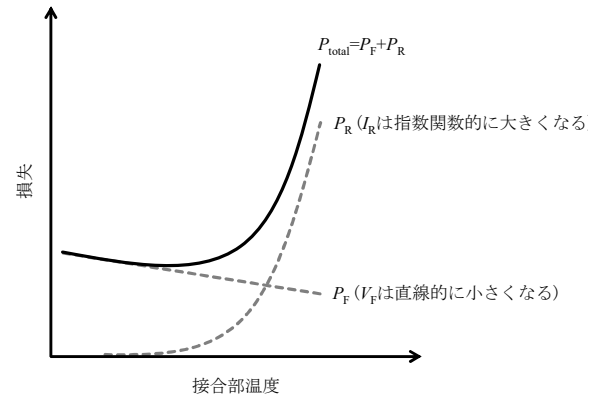
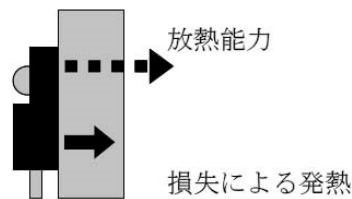


図 30 ダイオードの接合部温度と損失の関係

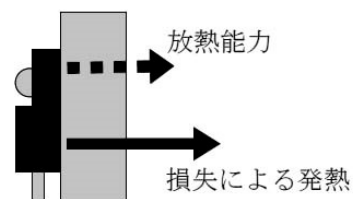
P_{total} の傾きが急になり、ある傾きを超えると熱暴走が起こります。どこまでの傾きが許容できるかは放熱量（熱抵抗）によって変わります。

I_R が大きい SBD は、一般ダイオードや FRD に比べ、熱暴走の危険が高くなりますので、素子の使用条件及び放熱条件を充分考慮のうえご使用下さい。



放熱能力 > 損失による発熱

放熱の能力に余裕があり、素子の損失による発熱が充分放熱されている。



放熱能力 < 損失による発熱

放熱の能力よりも、素子の損失による発熱が大きく放熱しきれない。

