

まえがき

SEMIPACK1 は世界初の絶縁型パワーモジュールとして、1975 年にセミクロンにより開発されました。現在、SEMIPACK は様々なケースサイズおよび回路構成を有するファミリー製品になっています。SEMIPACK 製品の定格電流は最大 1200A まで、定格電圧は 600V ~ 2200V です。SEMIPACK の製造拠点は以下の通り 3 箇所です。

SKSK(スロバキア): はんだ及びボンディングモジュール

SKCNP(中国): 圧接型モジュール

SKI(イタリア): 高速ダイオードモジュール及び特別タイプ

特徴

金属ベースプレートと絶縁されたセラミック上に半導体チップをはんだ付けしたベースプレート型モジュール(SEMIPACK 0、1、2 及び SEMIPACK 3 の数タイプ)、又は高負荷サイクル耐量を有する圧接型モジュール(SEMIPACK 3、4、5、6)。

SEMIPACKモジュール製品には、サイリスタモジュール、整流ダイオードモジュールおよび高速ダイオードモジュールがあります。定格電流及び定格電圧は以下の通りです。

- サイリスタモジュール: 定格電流 15 ~ 800A、定格電圧 600 ~ 2200V
- 整流ダイオードモジュール: 定格電流 15 ~ 1200A、定格電圧 600 ~ 2200V
- 高速ダイオードモジュール: 定格電流 40 ~ 205A、定格電圧 400 ~ 1700V

Al₂O₃(SEMIPACK 0、1、2)又は AlN(SEMIPACK 3、4、5、6)のセラミック絶縁基板と銅ベースプレートとの組合せによる、ヒートシンクへの最適な熱伝導

SEMIPACK 3 ~ 6 のサイリスタチップは増幅ゲート構造を採用

高速ダイオードモジュールのダイオードは拡散、エピタキシャルおよび CAL (Controlled Axial Lifetime) 技術を採用、定格電圧 600 ~ 1700V

UL 認証: ファイル no. E 63 532

SEMIPACK パッケージ



図 1 SEMIPACK 製品ファミリー

SEMIPACK には 7 タイプのパッケージ、SEMIPACK 0 ~ SEMIPACK 6 があります。
 主要寸法は以下の通りです。

ケース	長さ(mm)	幅(mm)	高さ(mm)
SEMIPACK 0	61	21	23.2
SEMIPACK 1	93	20	30
SEMIPACK 2	94	29	30
SEMIPACK 3	115	51	52
SEMIPACK 4	101	50	52
SEMIPACK 5	150	60	52
SEMIPACK 6	140	70	90

図 2 SEMIPACK パッケージ主要寸法

SEMIPACK 製品カタログに記載の外形図の標準寸法誤差は $\pm 0.5\text{mm}$ です。

取付け方法

前作業、表面処理

良好な熱的接続を確実にし、データシートの規定値を実現するために、ヒートシンクの接触面の汚れやゴミを除去し、以下の仕様を満たす必要があります。

平面度: 100mm に対し、 $< 50\ \mu\text{m}$

粗さ Rz: $< 10\ \mu\text{m}$

ヒートシンクに取付ける前に、モジュールのベースプレート面またはヒートシンクの接触面に Wacker-Chemie P12 の様なサーマルコンパウンドを薄く (約 $50\ \mu\text{m}$)、均一に塗布します。

塗布には、硬質ゴムローラーの使用またはシルクスクリーン工程を推奨します。

ヒートシンク 100mm に対し、 $< 50\ \mu\text{m}$

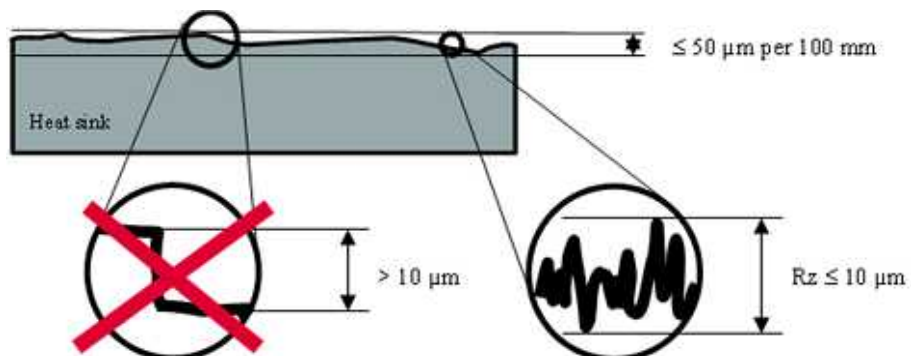


図 3 ヒートシンク表面仕様

サーマルペースト塗布

サーマルペーストはヒートシンク表面、またはモジュールの裏面に薄く塗布してください。WACKER CHEMIE の Silicone Paste P12 を使用した場合、厚さ 50 μm ~ 100 μm を推奨します。

厚さは図 4 に示す通り、測定ゲージを使用して測定可能です。



図 4 湿性フィルム厚ゲージ 5-150 μm

SEMIKRON はサーマルペーストの塗布には、スクリーン印刷を推奨します。特定のケースでは、硬質ゴムローラーがサーマルペーストの塗布に適している場合があります。

形名付与法

形名表示

SK KT 280 / 22 E H4
1 2 3 4 5 6

- 1: SEMIKRON 製品
- 2: 回路構成、図 5 参照
- 3: 定格電流 (I_{TAV} [A])
- 4: 定格電圧 (V_{RSM} [V])
- 5: dv/dt 5 クラス
D: 500V/ μs
E: 1000V/ μs
F: 2000V/ μs
- 6: オプション、例 H4 = 絶縁耐圧 4.8kV/1s

回路構成

SEMIPACK には、以下に示す様に、1 素子または 2 素子が内部接続された 10 種類の回路構成があります。

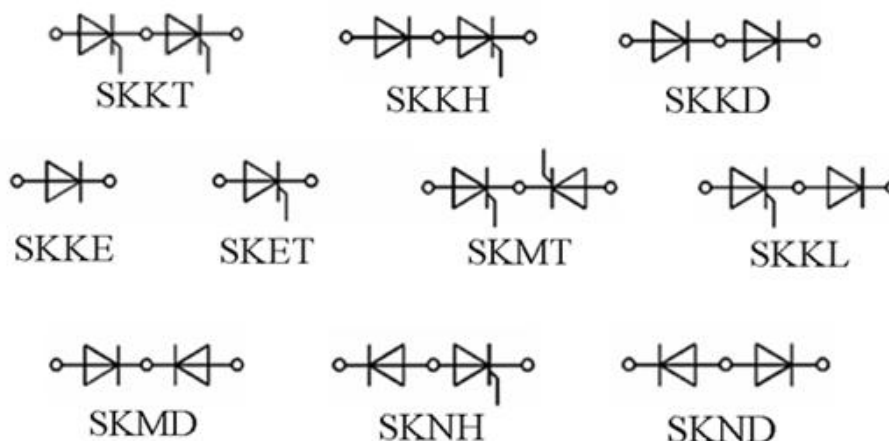


図 5 SEMIPACK 回路構成

技術的詳細

データシート項目

電気的特性

[]内の項目はサイリスタのみに適用

絶縁耐圧 V_{isol}

SEMIPACK モジュールの絶縁耐圧は端子 - ベースプレート間の絶縁に関する保証値です。定格値 $3.6kV_{rms}$ 1 秒印加試験を 100%実施しています。

印加試験中、ゲートを含む全ての端子を相互に接続してください。絶縁耐圧試験規格は IEC publication IEC 60146-1-1:1991、EN 60146-1-1:1994 Section 4.2.1(=VDE 0558 T1-1:1993)、EN 50178:11.1997(=DIN EN 50178(VDE 0160):1998、および UL1557:1997 にて規定されています。電鉄車両用途向けの場合、IEC 61287-1 標準をご参照下さい。

ピーク非繰り返し逆電圧 V_{RSM} 、[ピーク非繰り返しオフ電圧 V_{DSM}]

非繰り返し、頻度が低いピーク過渡電圧の最大許容値

ピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM} 、[ピーク繰り返しオフ電圧 V_{DRM}]

繰り返し過渡逆電圧およびオフ電圧の最大許容値

直流逆電圧 V_R

ダイオード (V_R) [またはサイリスタ (V_D 、 V_R)] の定常的な直流逆電圧の最大許容値です。この値は $0.7V_{RRM}$ [$0.7V_{DRM}$] となります。

平均順[オン状態]電流 I_{FAV} 、 $[I_{TAV}]$

記号 I_{FAV} 、 $[I_{TAV}]$ は通常平均電流および限界電流に対し用いられます。限界値は規定の電流波形および冷却条件(例: ケース温度 T_c)におけるダイオード[サイリスタ]のオン電流の絶対最大連続値です。この電流値において、接合温度は最大許容値であり、過負荷やワーストケースに対するマージンはありません。従って、推奨最大連続電流は $0.8I_{TAV}$ です。動作周波数 40Hz ~ 200Hz に対する最大平均オン電流はデータシートの図 1 より読み取る事ができます。一般整流用ダイオードおよびサイリスタが動作周波数 200Hz ~ 500Hz で使用される場合、スイッチング損失は無視できなくなり、それを補うさらなる電流のデレーティングが必要です。

RMS 順[オン]電流 I_{FRMS} 、 $[I_{TRMS}]$

記号 I_{FRMS} 、 $[I_{TRMS}]$ は平均電流および電流限界に対し用いられます。限界値は全ての電流波形および冷却条件における連続オン電流の絶対最大値です。

サージ順[オン]電流 I_{FSM} 、 $[I_{TRMS}]$

単相正弦半波幅 10ms サージ電流の波高値です。規定のサージ電流以下の非繰り返し電流サージが流れた直後、ダイオード[サイリスタ]はデータシートの図 8 または図 16 に規定した逆電圧に耐えることができます。

サージ電流特性 $I_{F(OV)}$ 、 $[I_{T(OV)}]$

正弦半波電流幅 1 ~ 10ms または最大幅 10ms の複数正弦半波電流の波高値で、非繰り返しの条件においてのみ許容され、ダイオード[サイリスタ]には、この電流がしばしば流れます。過負荷電流は素子に印加されるオフ電圧に依存します。(データシートの図 8 または図 16 参照)

i^2t

この値は回路を短絡による損傷から保護するための適切なヒューズの選定に役立ちます。接合温度 25 および 125 に対し、規定されます。対象となる入力電圧および予想される素子の短絡に対するヒューズの i^2t は、ダイオード[サイリスタ]の 10ms における i^2t より低くなければなりません。動作温度が上昇するとヒューズの i^2t はダイオード[サイリスタ]の i^2t に比べ急激に低下します。一般的には 25 におけるダイオード[サイリスタ]の i^2t と(無負荷状態の)ヒューズの i^2t との比較で十分です。

i^2t はサージオン電流 I_{TSM} より、次の式を用いて計算で求められます。

$$i^2TS = I_{TSM}^2 \cdot t_{hw}/2$$

t_{hw} は規定の正弦半波 I_{TSM} の幅です。50Hz では $t_{hw}/2 = 0.005s$ となります。10%高い I_{TSM} は t_{hw} が小さい分相殺され、60Hz、50Hz の i^2t は実質的に同じ値になります。

[臨界オン電流上昇率 $(di/dt)_{cr}$]

サイリスタのターンオン直後はチップの一部分に電流が集中するため、オン電流上昇率が制限されます。臨界値は次の条件において規定されます。50Hz または 60Hz 繰り返し負荷、許容正弦半波オン電流の波高値に対するピーク電流、1A/ μs 以上の上昇率を有するゲートトリガ電流の 5 倍のピークゲート電流の 3 つです。臨界オン電流上昇率は周波数の増加とともに低下し、ピークオン電流が下がると上昇します。したがって、ピークオン電流はデータシートの規定値以下にする必要があります。

[臨界オフ電圧上昇率(dv/dt)_{cr}]

オフ電圧が 0.66V_{DRM} に達した時の指数関数上昇率として規定されます。この値を超えると、サイリスタはブレークオーバーして自己点弧に至ります。

直流逆[オフ]電流 I_{RD}[I_{DD}]

規定の温度および電圧における最大逆電流またはオフ[サイリスタに適用]電流です。この値は指数関数的に温度に依存します。

直流順[オン]電圧 V_F[V_T]

規定の電流および 25 における主端子間の最大順電圧です。

閾値電圧 V_(TO)[V_{T(TO)}]および順[オン]特性傾斜抵抗 r_T

この二つの値は順特性(上限値)を規定し、これを使用して順損失 P_F[P_T]または平均順損失 P_{FAV}[P_{TAV}]を計算します。

$$P_{F[T]} = V_{T(TO)} * i_{F[T]} + r_T * i_{F[T]}^2$$

$$P_{F[T]AV} = V_{T(TO)} * I_{F[T]AV} + r_T * I_{F[T]RMS}^2$$

$$I_{2F[T]RMS} / I_{2F[T]AV} = 360^\circ /$$

方形波パルス

$$I_{2F[T]RMS}^2 / I_{2F[T]AV}^2 = 2.5 \text{ または}$$

$$I_{2F[T]RMS}^2 / I_{2F[T]AV}^2 = (\theta / 2)^2 * 180^\circ /$$

正弦半波

θ : 電流通電角

i_{F[T]} : 瞬時順電流

I_{F[T]RMS} : RMS 順[オン]電流

I_{F[T]AV} : 平均[オン]電流

[ラッチング電流 I_L]

ゲートトリガパルス 10 μs の終端でサイリスタがオン状態を維持するためのオン電流の最小値です。この値は“オン電流上昇率”で規定されたトリガ条件に適合します。

[保持電流 I_H]

25 においてサイリスタがオン状態を維持するためのオン電流の最小値です。25 以下でサイリスタがオンした場合、この値は大きくなります。

逆回復電荷 Q_{rr}

Q_{rr} は逆回復時間 t_{rr} における転流時に主回路(電流-時間面積)に流れる電荷の総量です。データシートに関連特性は、この値の転流前の順電流 I_{FM}[I_{TM}]および順電流下降率 di/dt(図 6 参照)に対する依存性を示しています。

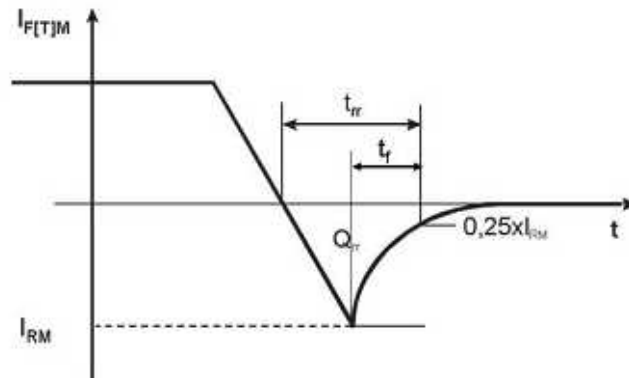


図 6 ダイオード/サイリスタ/ターンオフ時間における電流波形

t_{rr} , Q_{rr} , 下降時間およびピーク逆回復電流 I_{RM} (図 6 参照) 間において以下の様な関係が存在します。

$$t_{rr} = I_{RM} / (-di_{F(T)}/dt) + t_f$$

$$t_{rr} = \text{SQR}(2 * Q_{rr} / (-di_{F(T)}/dt) + t_f^2/4) + t_f/2$$

$$I_{RM} = 2 * Q_{rr} / t_{rr}$$

$$I_{RM} = \text{SQR}(2 * Q_{rr} * (-di_{F(T)}/dt) + t_f^2/4 * (-di_{F(T)}/dt)^2) - t_f/2 * (-di_{F(T)}/dt)$$

順電流 $I_F [I_T]$ の下降時間が遅い場合、 t_f は t_{rr} に比べ小さくなるので、式は以下の様に簡単になります。

$$t_{rr} = \text{SQR}(2 * Q_{rr} / (-di_{F(T)}/dt))$$

$$I_{RM} = \text{SQR}(2 * Q_{rr} * (-di_{F(T)}/dt))$$

高速ダイオードのスイッチングに関する詳細は“ダイオードのターンオフ”の“高速整流ダイオード”に記載されています。

[転流ターンオフ時間 t_q]

転流ターンオフ時間の範囲は数 100 μs で、サイリスタに再びオフ電圧を印加する為に必要な時間です。この値は転流電圧が 0 を横切る時点よりオフ電圧を印加出来るまでの最短時間と定義されます。AC コンバータ用のサイリスタでは、転流ターンオフ時間は通常、重要ではありません。したがって、データシートでは標準値のみの提示で、保証値はありません。

[ゲートトリガ電圧 V_{GT} およびゲートトリガ電流 I_{GT}]

方形波トリガパルスは 100 μs 以上または DC で、主端子間に DC6V を印加した場合の最小値です。トリガパルスが 100 μs 以下の場合、これらの値は大きくなり、例えばゲートトリガ電流 I_{GT} は 1.4 ~ 2 倍に増加します。したがって I_{GT} の 4 ~ 5 倍のゲートトリガ電流が流れる様に、ゲート点弧回路を設定する必要があります。サイリスタに逆電圧が印加されている期間中、オフ状態損失の許容以上の増加やサイリスタチップのホットスポットを避ける為、ゲートに電圧が印加されない様にします。

[ゲート非トリガ電圧 V_{GD} およびゲート非トリガ電流 I_{GD}]

このトリガ電圧および電流は許容動作温度の範囲において、サイリスタを点弧しません。トリガ回路において誘導または容量によるノイズは、この値以下にする必要があります。

[トリガ時間]

図7はゲートトリガ過程のゲートトリガ信号 V_G とアノード - カソード電圧 V_{AK} との時間の定義を示しています。

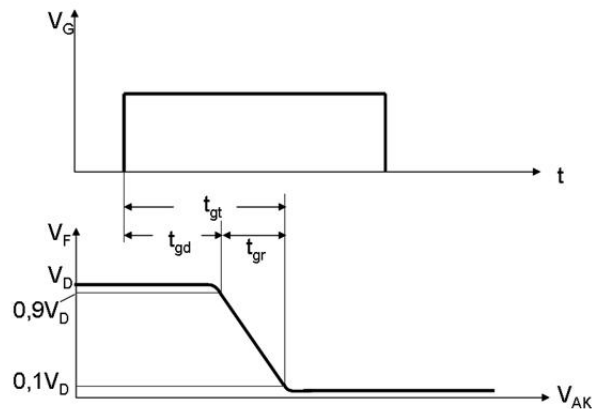


図7 サイリスタのトリガ過程における時間の定義

[ゲート制御遅れ時間 t_{gd}]

トリガパルスの立上りとアノード - カソード間電圧が初期値の 90%に下降するまでの時間です。データシートでは以下の条件における標準値が規定されています。

- 方形波ゲートパルス 幅 $100 \mu s$
- アノード - カソード間電圧 $0.5V_{DRM}$
- ターンオン後のオン電流 約 $0.1I_{TAV}$ @ 85
- ターンオン中の接合温度 25

[ゲート制御上昇時間 t_{gr}]

ターンオン中、アノード - カソード電圧が初期値の 90%から 10%に下降するまでの時間です。

[ゲート制御ターンオン時間]

ゲート制御遅れ時間 t_{gd} とゲート制御上昇時間 t_{gr} の和です。

熱抵抗 $R_{th(x-y)}$ および熱インピーダンス $Z_{th(x-y)}$

SEMIPACK モジュールでは、熱抵抗/熱インピーダンスは位置 "x" と "y" 間の熱流に対し規定されます。

使用される添字は以下の通りです。

- j 接合
- c ケース/ベースプレート
- s ヒートシンク
- r 基準点
- a 周囲

ケース - ヒートシンク間の接触熱抵抗 $R_{th(c-s)}$ は取付方法の条件に従って適用します。この場合、接合

- ケース間熱抵抗の電流波形および通電角の依存性は、計算による平均接合温度に対する最大瞬

時値を考慮しなければなりません。データシートの規定値は正弦波のみに適用します。

他の電流波形に対してはデータシートの図7より得られます。データシートの図1および図11に使用されている接合 - 周囲間熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ は以下の式が成立します。

$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + R_{th(c-s)} + N * R_{th(h-a)}$$

N は1個のヒートシンク上で同時に動作するサイリスタまたはダイオードの数量です。

ヒートシンクの熱抵抗 $R_{th(h-a)}$ は次の項目が増加すると減少します。

: 損失、冷却風量、SEMIPACK モジュールの数量およびモジュール間の距離

SEMIPACK モジュールの過渡熱抵抗 $Z_{th(j-c)}$ および $Z_{th(j-s)}$ はデータシートの図6および図14に時間関数として示されています。1秒以上では、熱抵抗全体を計算する為にヒートシンクの過渡熱抵抗を加える必要があります。この為、セミクロンのヒートシンクのデータシートは時間 t の関数として過渡熱抵抗 $Z_{th(s-a)}$ または $Z_{th(c-a)}$ の特性図を含んでいます。一個のヒートシンクに複数のモジュールを取り付け、1モジュールの過渡熱抵抗を計算する場合、ヒートシンクの熱抵抗はモジュールの個数分を乗じなければなりません。

温度

限界値の計算で最も重要な基準は最大許容接合温度 T_{vj} です。回路故障時に(例、ヒューズの動作時)、 T_{vj} を短時間超過することが多くあります(参照、サージオン電流)。許容電流に対する他の重要な基準点はケース温度 T_c です。SEMIPACK モジュールでは T_c (基準点/基準点温度 T_{cref}) の測定箇所は高温チップ直下のベースプレートの最も温度が高い所です。ヒートシンク温度 T_s は損失およびヒートシンクの規定に密接な関係があります。SEMIPACK モジュールでは T_s (基準点/基準点温度) の測定箇所はベースプレートに近いヒートシンクの最も温度が高い所でモジュールの側面上方より測定します。(参照: IEC 60747-1, Am. 1-Am. 3, IEC 60747-15 cls. 7.4.3)

電流または電圧ストレスの印加がない場合の許容周囲条件として、特に最大許容保存温度が記載されています。パラメータ T_{stg} は最大許容ケース温度にも適用され、モジュール内部または外部の温度はこれを超えてはなりません。

機械的特性

機械的特性項目は以下の様にデータシートに規定されています。

Mn: 端子ネジおよび締付け金具の最大締付けトルク

Ft: 平型素子の許容圧接力

A: 振動または衝撃時の x, y および z 軸方向における許容加速度

ハードモールドなしの SEMIPACK が回転機に使用されると、ソフトモールドが分離、漏洩する可能性がありますので、この用途についてはお問合せ下さい。

R_{th} , $I_{T(F)MS}$ 他

熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ および $R_{th(c-s)}$ の測定

熱抵抗 R_{th} は規定の 2 点間の温度差を定常状態において温度差を生じさせる損失 P で割った値として定義されます。

$$R_{th(1-2)} = T/P_V = (T_1 - T_2)/P_V \quad (1)$$

2 点の温度の選択により、以下の熱抵抗が規定されます。

- 接合 - ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$
- ケース - ヒートシンク間熱抵抗 $R_{th(c-s)}$
- ヒートシンク - 周囲間熱抵抗 $R_{th(s-a)}$
- 接合 - 周囲間熱抵抗 $R_{th(j-a)}$

Δ^Λ - タシートの熱抵抗値は測定値に基づいています。式 (1) に示す通り、 R_{th} は温度差 T に大きく影響を受けます。したがって、基準点および測定法の影響も受けます。

SEMIKRON は図 8 に示す測定法 A を使用して $R_{th(j-c)}$ および $R_{th(c-s)}$ を測定します。基準点は以下の通りです。

$R_{th(j-c)}$ の基準点はチップの見かけの接合 (T_j) とヒートシンクのドリル穴を通して、直接測定するチップ直下のモジュール底面、図 8 の基準点

$R_{th(c-s)}$ の基準点は上述のモジュールの底面。ヒートシンク温度 T_s はチップに最も近いヒートシンクの上を測定します。

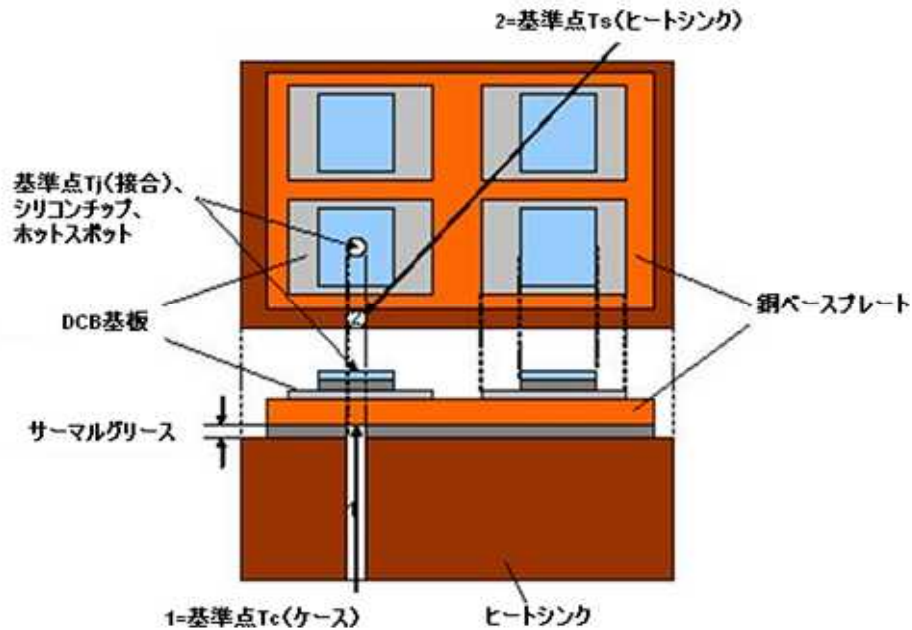


図 8 SEMIPACK に適用の測定法 A に於ける R_{th} 測定基準点

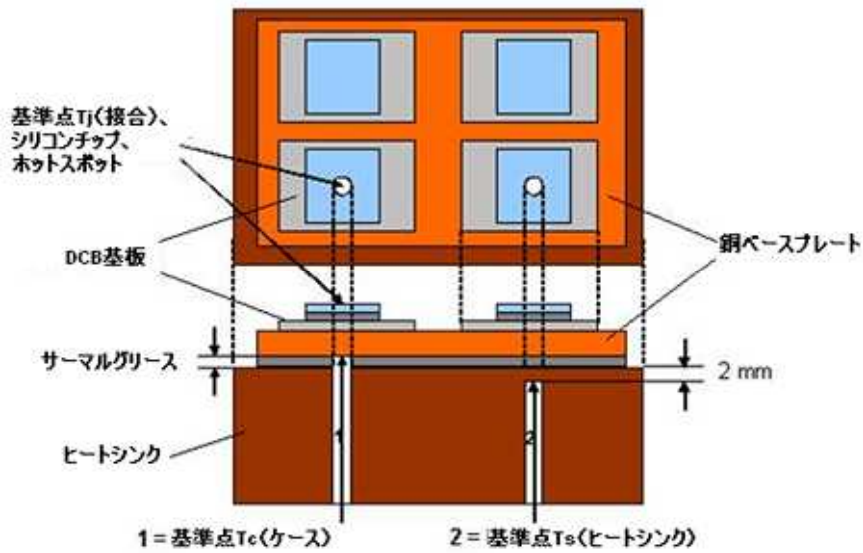


図9 測定法 B に於ける R_{th} 測定基準点

上述の様に、測定法及び基準点は R_{th} の値に大きな影響を与えます。図9に示す測定法 B を使用している他メーカーもあります。 $R_{th(c-s)}$ 測定の主な違いは第 2 基準点です。図 9、基準点 2 参照。この基準点はヒートシンク内部のモジュールの底面に極めて近い位置にあります。ヒートシンクの温度分布 (図 10 参照) では、温度差 $T(=T_c-T_s)$ は極めて小さいので $R_{th(c-s)}$ も同様に小さくなります。図 10 は温度分布及び各測定法に於ける基準点の位置を示しています。式 (1) に於いて測定法 B に於ける $R_{th(c-s)}$ は小さくなる事は明らかです。これにより、 $R_{th(c-s)}$ の減少は最終的に $R_{th(s-a)}$ に加算される事になり、接合 - 周囲間熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ は測定法に関わらず同じ値になります。

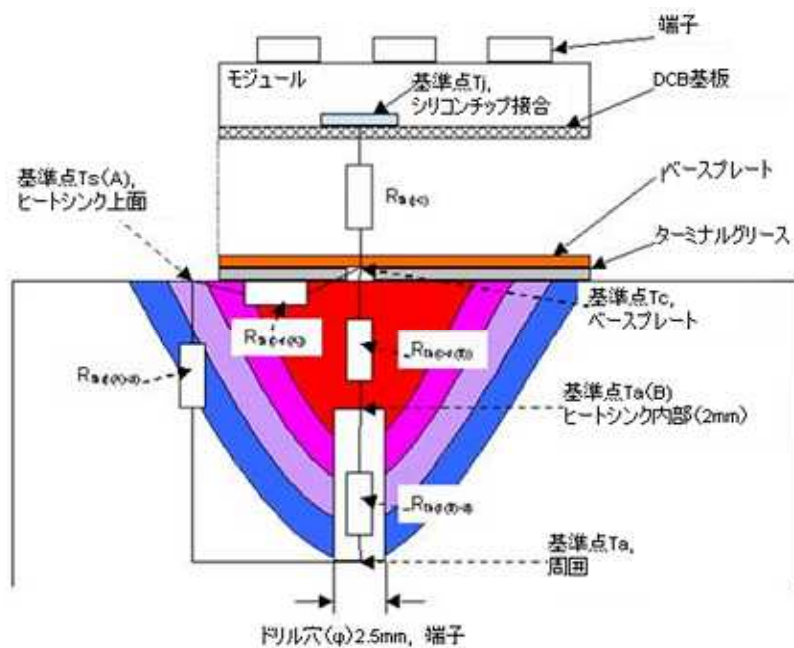


図 10 測定法 A、B に於ける熱分布と各基準点 T_j 、 T_c 、 T_s 及び T_a の位置

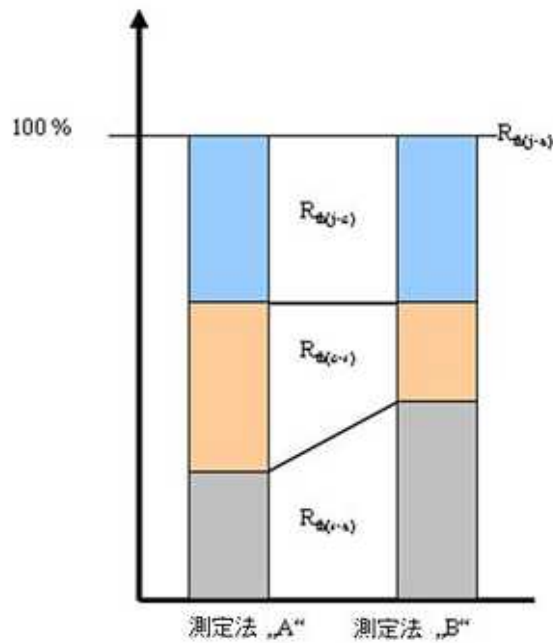


図 11 各測定法に対する熱抵抗値の比較

熱抵抗測定に関するその他の情報については、以下を参照して下さい。

・M. Freyberg, U. Scheumann, "Measuring Thermal Resistances of Power Modules";

PCIM Europe, May, 2003

熱抵抗

低温状態のモジュールをスイッチングオン時、熱抵抗 R_{th} はデータシートの定常値よりも低い値を示します。この現象はパッケージ内部の熱容量により生じます。動作中の損失による熱エネルギーにより熱容量は飽和し、この過程で、熱抵抗は上昇します。それは過渡熱抵抗インピーダンス Z_{th} と呼ばれます。熱容量全体が飽和し、熱エネルギーが周囲に放出されると過渡熱抵抗 Z_{th} はデータシートの定常値 R_{th} に到達します。

この動作の利点はパワーモジュールの短時間過電流耐量です。

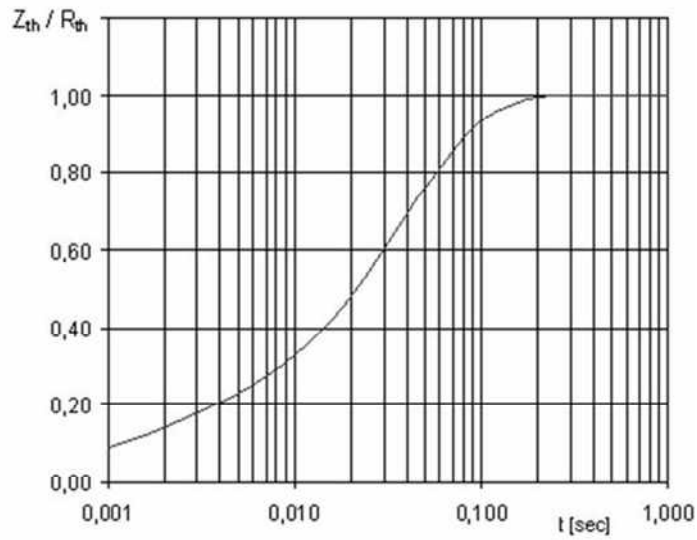


図 12 接合 - ケース間過渡熱インピーダンス例

セミクロンはモジュールの認証プロセスに於いて、過渡熱抵抗特性を測定します。この測定に基づいて数理モデルが導かれ、次の様な式(2)になります。

$$Z_{th}(t) = R_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) + R_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) + \dots + R_n \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}} \right) \quad (2)$$

SEMIPACK モジュールの係数 R_n 、 n についてはデータブック 16 ページの“過渡熱インピーダンスの分析結果”の表を参照して下さい。

サージ過電流

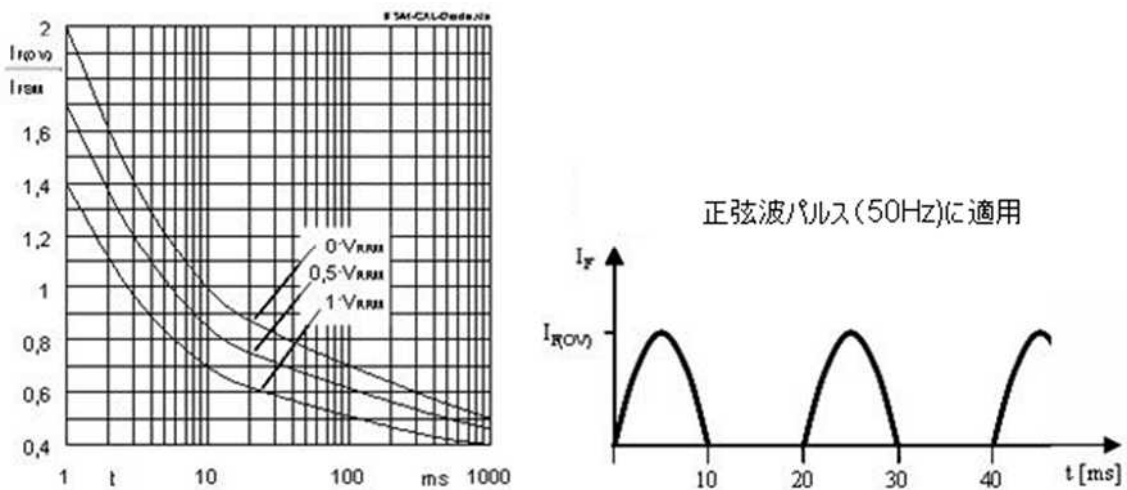


図 13 サージ過電流 - 時間

サージオン電流 I_{TSM} は故障条件に於いて許容される過電流のピーク値を時間 t の関数として標準化した値です。パラメータはサージ電流が流れ終わった直後に印加されるピーク逆電圧です。グラフで 10ms より長い時間については、16.6 又は 20ms 毎に 8.3 又は 10ms の連続する正弦半波電流を示します。

$0 \cdot V_{RRM}$: 逆電圧 0

$1/2 \cdot V_{RRM}$: ピーク繰り返し逆電圧定格の 1/2 の電圧を印加

$1 \cdot V_{RRM}$: ピーク繰り返し逆電圧定格の 100%の電圧を印加

絶縁耐圧試験

SEMPACK モジュールの絶縁耐圧は端子 - ベースプレート間絶縁耐圧の保証値です。定格 3.6kVrms、1 秒間の試験を 100%実施しています。

試験中、ゲートを含む全ての端子を相互に接続してください。最終製品の絶縁耐圧試験の電圧規格は IEC publication IEC 60146-1-1 に記載されています。

温度依存試験

外部接触はシリコンチップに比べかなり高い熱膨張係数を有しているため、温度サイクル試験がこの外部接触にストレスを与える事は明らかです。同様に、内部接触の負荷サイクルに対する耐性を確認するには適切な試験となります。熱サイクルによるエンキャップ中のリークを試験する場合、上述と同じ方法を使用します。試験後、接触がストレスに耐えたかどうかの判定は熱抵抗を測定して行います。さらに、順方向及び逆方向の特性を測定します。

パルス負荷一定の冷却条件に於ける熱サイクル負荷試験

供試素子が均一に加熱、冷却される限り素子を外部から加熱、冷却する試験は実動条件とは異なります。一方で、実際にはチップと外部の間に様々な温度勾配が生じます。従って、特に新製品の型式試験に対しては、追加試験が推奨されます。それは、実際の動作環境で発生するストレスに近いストレスを印加する多くのサイクル数を短時間で実現する事を可能にします。これを実現する為、供試素子を水冷ヒートシンクに密接させ、ケース温度を一定に保ち、短い大電流パルスを通し、チップが周期的に最大許容接合温度になる様に加熱します。パルス間隙で接合温度は急速に降下します。この試験方法に於いて、チップ取付け面間に高い温度勾配が生じます。

標準認証試験

試験項目の目的

1. 一般的な製品品質及び信頼性の確認
2. ストレス試験に於いて、条件を変える事による設計限界の評価
3. 製造プロセスの整合性及び予測可能性の確認
4. プロセス及び設計変更による信頼性に対する影響を評価

以下の表は標準認証試験項目です。

信頼性試験項目	標準試験条件	
	MOS/IGBT	ダイオード/サイリスタ
高温逆バイアス (HTRB) IEC 60747	1000h, 95% V_{DSmax}/V_{CEmax} 125 T _c 145	1000h, DC, 66%定格電圧 105 T _c 120
高温ゲートバイアス (HTGB) IEC 60747	1000h, $\pm V_{GSmax}/V_{GEmax}$ T _{jmax}	-
高温高湿逆バイアス (THB) IEC 60068-2-67	1000h, 85% RH, 85% RH $V_{DS}/V_{CE} = 80\%$ $V_{DSmax}/V_{CEmax}, \max 80V$ $V_{GE} = 0V$	1000h, 85% RH, 85% RH, $V_D/V_R = 80\% V_{Dmax}/V_{Rmax}$ max. 80V
高温保存 (HTS) IEC 60068-2-2	1000h, T _{stgmax}	1000h, T _{stgmax}
低温保存 (LTS) IEC 60068-2-1	1000h, T _{stgmin}	1000h, T _{stgmin}
温度サイクル (TC) IEC 60068-2-14 Test Na	100 サイクル T _{stgmax} - T _{stgmin}	25 サイクル, 100 サイクル (平型) T _{stgmax} - T _{stgmin}
パワーサイクル (PC) IEC 60749-34	20,000 サイクル T _j = 100K	10,000 サイクル, 20,000 サイクル (平型) T _j = 100K
振動 IEC60068-2-6 Test Fc	正弦波掃引、5g 3方向 (x, y, z) 各 2h	正弦波掃引、5g 3方向 (x, y, z) 各 2h
衝撃 IEC 60068-2-27 Test Ea	3方向 ($\pm x, \pm y, \pm z$) 各 3回	3方向 ($\pm x, \pm y, \pm z$) 各 3回

図 14 セミクロン標準製品認証試験

上記の品質試験や特定試験結果の詳細についてはお問合せ下さい。全体説明はお客様向けのプレゼンテーションがございます。SEMIKRON SEMIPACK Product Management にお問合せ下さい。

寿命計算

パワーモジュールの寿命はパッケージの機械的疲労により制限されます。この疲労は熱膨張率(CTE)の差で生じる機械的ストレスが要因です。これは、加熱(パワーオン)及び冷却(パワーオフ)の温度変化(パワーサイクル)に於いて、各材料はCTEが異なる為、別々に膨張することを意味します。しかし、各材料は結合している為に、自由に膨張する事は出来ず、前述の熱による機械的ストレスに繋がります。

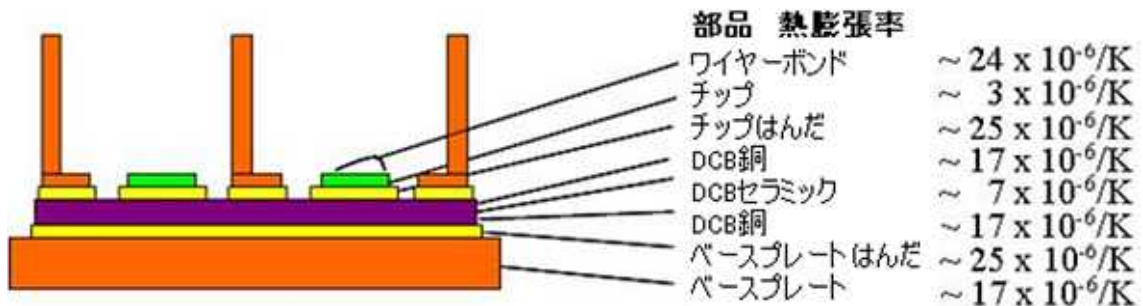


図 15 SEMIPACK パッケージ断面図と 20 に於ける熱膨張率

温度が変化すると、異なる材料層の内部に生じる機械的ストレスは材料の疲労に繋がります。温度差 (ΔT) が大きい程、ストレスは増大し、温度サイクル毎に経年変化します。特にワイヤーボンドとはんだ層がこの影響を受けます。経年変化により、エッジ部で微小クラックが生じ、パワーサイクル毎に材料の中心方向に増大します。中間温度 T_{jm} が高い程、活性エネルギーが高い為、クラックの成長は速くなります。市場から戻された代表的な不具合品はワイヤーボンドの剥離です。これはクラックが中心部に達し、接続部をオープンにし、ワイヤーボンドが緩んだ状態です。

寿命はモジュールが耐えられる温度サイクル数で決まります。1990年代、“LESIT study”として知られている調査プロジェクトを含む研究が集中的に行われました。この調査の主な成果は以下の(7-1)式で、サイクル数 N_f 、接合温度差 ΔT_j と中間温度 T_{jm} の関係を示しています。

SEWMIPACK モジュールは“LESIT study”において調査されたモジュールと同じ設計に基づいています。これにより LESIT の結果は寿命推定に適用可能です。パワーモジュールの信頼性は“LESIT study”が完了した以降、改善されました。その為、式(7-1)の結果は最悪の状態を想定しています。

$$N_f = A \times \Delta T_j^\alpha \times \exp\left(\frac{Q}{R \times T_{jm}}\right) \quad (3)$$

ここで、 $A = 640$ 、 $\alpha = -5$ 、 $Q = 7.8 \times 10^{-4} \text{ J/mol}$ 、 $R = 8.314 \text{ J/mol K}$ ； T_j 及び T_{jm} :[K]

図 16 は“LESIT study”の試験結果(黒点)と(3)式を直線で示しています。

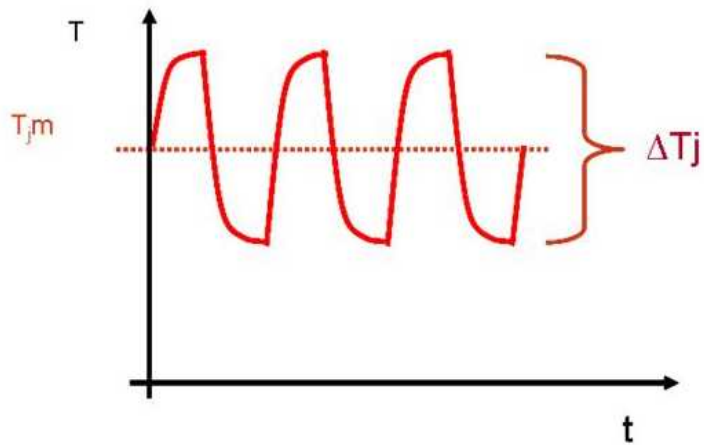


図 16 $T_{j,m}$ 及び T_j の例

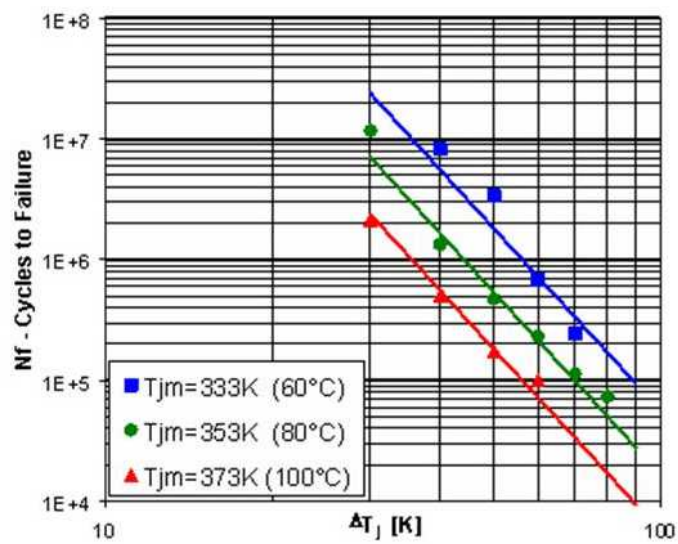


図 17 試験結果に基づいた“LESIT”曲線

パワーモジュールの寿命計算の詳細については、M. Held et al., “Fast Power Cycling Tests for IGBT Modules in Traction Application”; Proceedings PEDS, pp 425 - 430, 1997 を参照して下さい。

アプリケーション

[]内の項目はサイリスタにのみ適用されます。

電圧クラスの定格

下表は SEMIPACK モジュールの繰り返しピーク逆電圧 V_{RRM} [V_{DRM}] に対する推奨電圧クラス分けと定格 AC 入力電圧 V_{VN} を示しています。

定格 AC 入力電圧	推奨ピーク逆電圧
VDRM	V_{RRM} [V_{DRM}] / V
60	200
125	400
250	800
380	1200
400	1400
440	1400
460	1600
500	1600
575	1800
660	2200
690	2200

図 18 繰り返しピーク逆電圧 V_{RRM} [V_{DRM}] に対する推奨電圧クラス分け

アプリケーションマニュアルに詳述されている通り、ダイオード (V_R) [またはサイリスタ (V_D , V_R)] の定常動作に於ける DC 逆電圧 (連続印加) の最大許容値は $0.7V_{RRM}$ [$0.7V_{DRM}$] です。

過電圧保護

単結晶の半導体デバイスは過電圧に対し影響を受けやすい事は、よく知られています。その規定の逆電圧を一瞬でも超えた場合、破壊に繋がる可能性があります。したがって、ダイオード及びサイリスタを過電圧から保護する必要があります。過渡電圧は半導体デバイスの最大定格値以下に減少させなければなりません。

上記の電圧の抑制に対し、十分に試作、評価された様々な適合部品があります。

最重要部品：

- 抵抗及びコンデンサー (RC スナバー回路)
- バリスター
- アバランシェダイオード

RC 回路は現存するインダクタンスと直列共振回路を形成し、立ち上りが鋭い過渡電圧を低振幅の減衰正弦波に変えます。過渡電圧は幅が短く、ピーク値が高い波形から、幅が長くピーク値が低い波形

に変換されます。

上記の全ての部品は非線形の特性を活用します。その内部抵抗は印加電圧が増加すると減少する為、他の抵抗及びインダクタンスと共に非線形分圧器を形成します。これは非減衰定電圧通しませんが、規定のレベル以上の高電圧をカットします。過渡電圧エネルギーは再び長期間に拡がり、電圧抑制部品により、ほとんど完全に吸収されます。

電圧抑制部品はダイオードまたはサイリスタスタックの AC 側、DC 側または回路中の半導体デバイスの両端に配置されます。これらの様々な配置の有利及び不利は、電圧抑制部品のタイプ毎に考慮されます。

RC スナバー回路はダイオード(サイリスタ)に並列に接続されますが、バリスターが使用される場合もあります。RC 回路では転流期間中、電圧上昇率は制限され、回路のインダクタンスによるピーク電圧は低減されます。

過電流及び短絡保護

ダイオード、[サイリスタ]を短絡から保護する場合、(超高速)半導体ヒューズが使用されます。これらは順電流と i^2t が基になります。

大電流回路に於ける他の保護手段は、並列接続中の損傷ダイオード[サイリスタ]を切り離す為にヒューズを使用します。非許容大電流から素子を保護する為に、ヒートシンク上の温度センサーによる電磁又は熱開閉器の仕様が可能です。これは回路の過電流は検出しません。この為、ファンの故障時、ダイオード[サイリスタ]の損傷から保護する為に、温度センサーが主に強制空冷に使用されます。

許容過電流

短時間または間欠動作や周波数 40Hz 以下の許容電流は過渡熱抵抗、またはパルス条件に対する熱抵抗を基に計算されるので、接合温度 T_j はいかなる条件に於いても最大許容値を超える事はありません。

応用上、よくある質問

1. SKKT.../と SKKT...B の違い

質問: SEMIPACK サイリスタモジュールで、追加記号 B の有無の違いは

(例: SKKT57 及び SKKT57B)

回答: 違いは SEMIPACK1 の 4 個の補助端子、ゲート及び補助カソード端子の配置です。

SKKT20/ SKKT106/: G1/K1 G2/K2

SKKT20B/ - SKKT106B/: G1/K1 K2/G2

2 つのタイプがあるのは、競合製品のセカンドソース対応です。

2. 高周波動作に於ける電流デレーティング

質問: 高周波動作時、電流のデレーティングは必要ですか？

回答: 周波数 16.66Hz ~ 400Hz では、デレーティングなしでダイオード、サイリスタを整流用として使用可能です。この周波数以上では、通常、無視できるスイッチング損失を考慮してデレーティングが必要です。

3. MTBF

故障率はシステムや部品が故障する頻度で、例えば時間当たりの故障数で示されます。それは、しばしばギリシャ文字 λ (ラムダ) で示され、信頼性理論では重要です。

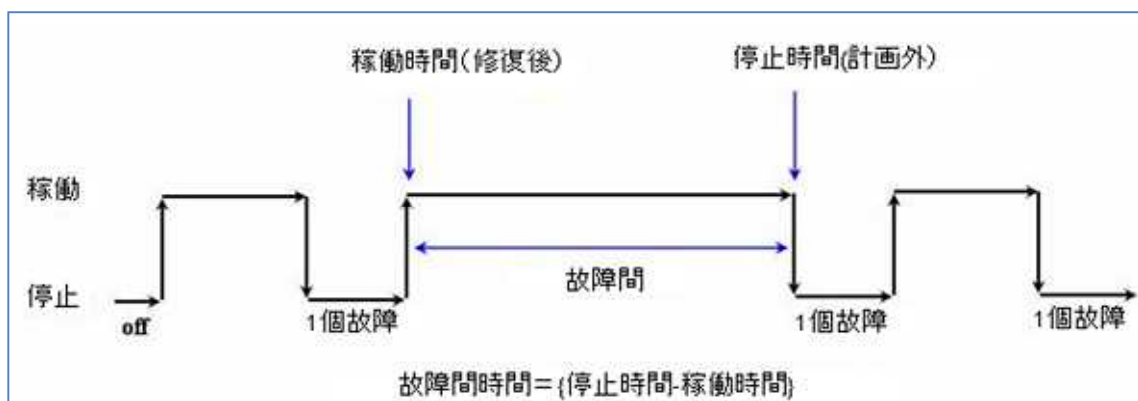


図 19 信頼性を計算する為の条件

一般的に、高品質部品やシステムには MTBF の逆数が用いられます。

MTBF はシステムの故障間平均時間で、素子が修理不能の場合、1 年以内の故障や寿命を含まない有効寿命として、しばしば扱われます。MTBF の計算は、故障の度に置き換え、直ちに復帰する事を想定しています。故障後、復帰するまでの平均時間は平均停止時間 (MDT) または平均修復時間 (MTTR) と称されます。

詳細: http://de.wikipedia.org/wiki/Mean_Time_Between_Failures

以下の MTBF 数値は顧客よりの返却数にしたがって評価され、それについての計測は実施しません。したがって、数値は単に参考値で保証する事は出来ません。

Product	Fit	MTBF (x 10 ⁸ h)
Semipack 1	70	0.14
Semipack 2	50	0.2
Semipack 3	50	0.2
Semipack 4	50	0.2
Semipack 5	50	0.2

図 20 SEMIPACK 製品の FIT および MTBF 数

4. 他メーカーでは max. V_{GT} 及び I_{GT} を規定していますが、SEMIKRON は何故 min. V_{GT} 及び I_{GT} を規定しているのですか？

以下の理由により SEMIKRON はデータシートに IGT 及び VGT の min. 値を規定しています。

“Modules-Explanations-SEMIPACK”の記述では、データシートに規定の I_{GT} 及び V_{GT} は 100 μ s 以上の方形波トリガパルスまたは DC の最小値です。これは、 $T_{Vj} = 25$ に於いてサイリスタを点弧する為に必要な値です。この為、当社は min. IGT 及び VGT をデータシートに規定しています。

インフィニオンのデータシートの max. IGT 及び VGT は最大ゲート電流/電圧と称される事があります。これはサイリスタの非点弧状態を維持する為に超えてはならない、即ちユーザーがサイリスタを点弧させない場合に於ける max. IGT および VGT です。

両方の定義は同じ意味で表現が異なるだけです。

5. 半導体の抵抗値

抵抗計を用いて半導体の抵抗値を測定する事は不可能です。

その理由は、半導体の漏れ電流の存在と非線形特性で、これらは数 10 年に亘り変化します。

ゲート - カソード端子間はマルチメーターの“ダイオード”機能でチェック出来ますが、抵抗器機能は使用出来ません。

アクセサリ

SEMIPACK 1、2、3、4 用キット

SEMIPACK 用部品	SEMIPACK1	SEMIPACK2	SEMIPACK3	SEMIPACK4
	a)SKKD/E26,,100 b)SKKT/H/L20,,106	SKKT/H 122,,162 SKKD/E 162, SKKD 212	SKKT/H /L213,,330 SKKD/E 162, SKKD 212	SKKT330,,400 SKKE 400,
ゲート雌プラグ	b:2pcs, 2.8X0.8mm ³⁾	4pcs, 2.8X0.8mm ⁴⁾	4pcs, 2.8X0.8	2pcs,2.8x2.8 mm ⁴⁾
絶縁スリーブ	b:4pcs	2 pcs.(右+左)	mm ⁴⁾	1pcs(右)
ダブルプラグキャップ	2 pcs. M5X18	2 pcs M5X18	2 pcs.(右+左)	4pcs,M5x18 ²⁾
ベースプレートネジ	ソケットヘッド	ソケットヘッド	2 pcs M5X18 ²⁾	ソケットヘッド
端子ネジ	3 pcs M5X10	3pcs, M6X12	ソケットヘッド	2pcs,M10x50 ¹⁾
ワッシャー	+ ネジ	ポジドライブヘッド	3pcs, M8X16	2 p c s,10.5mm
バネワッシャー		(3pcs, 6.4mm)	5 角ヘッド	
キット部品 No.	SEMIPACK 12 個入用 a: 33704200 b: 33403900	SEMIPACK 8 個入用 33404000	SEMIPACK 3 個入用 33404000	SEMIPACK 3 個入用 33404000

図 21 SEMIPACK モジュール用組付け部品

¹⁾スピンドル No. 30143660、M10 ナット×2

²⁾10mm 厚ベースプレート付き SEMIPACK 3 及びヒートシンク P3 取付け SEMIPACK 4 用

M5×20 (No. 30145490) については、お問合せ下さい。

アクセサリは全て個別にご注文頂けます。

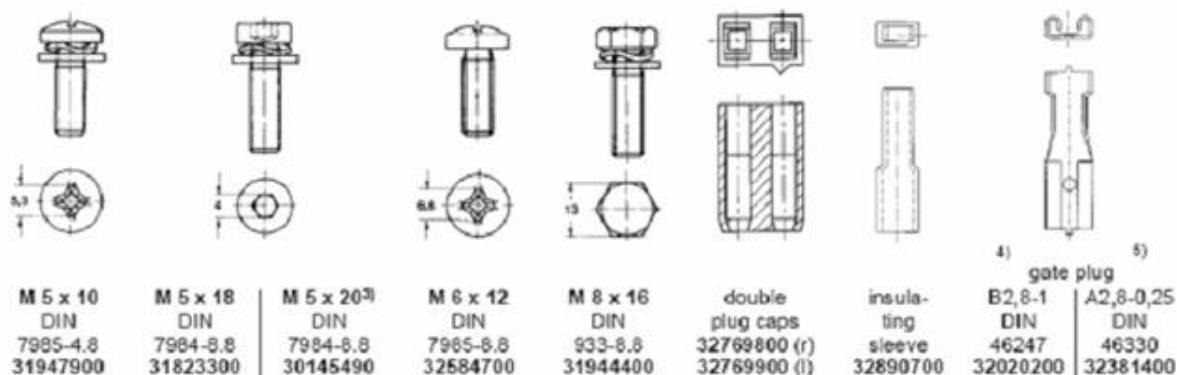


図 22 SEMIPACK モジュール組付け部品

2 つのダブルプラグキャップがあります。32769800 (r) は右側に突起が、32769900 (l) は左側に突起があるタイプです。32769800 (r) は SEMIPACK 2、3、4、5 の端子 4、5 用、32769900 (l) は SEMIPACK 2、3、5 及び SEMIPACK 6 の端子 6、7 用です。

現品表示

モジュールのレーザーマーキング

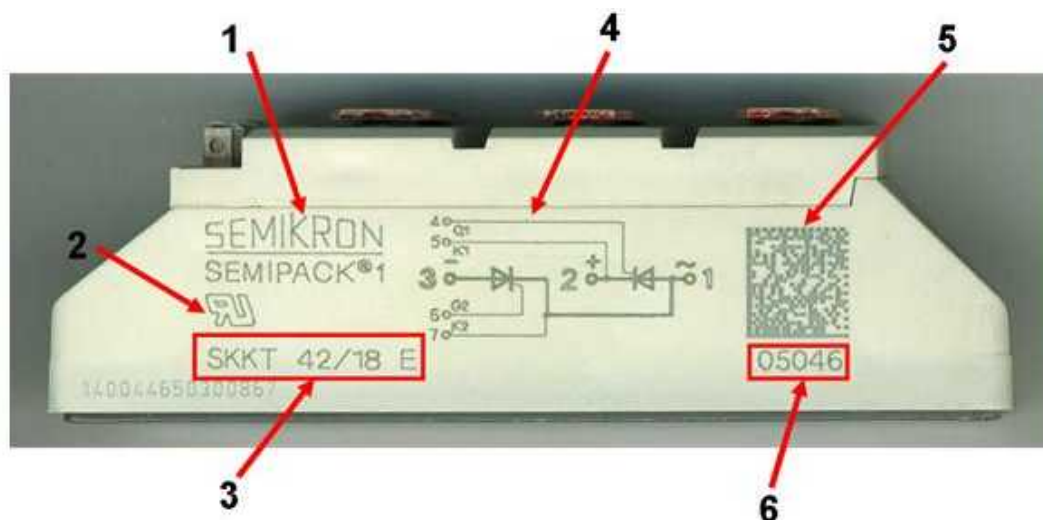


図 23 SEMIPACK モジュールの標準レーザーマーキング

- 1 SEMIKRON ロゴ、製品表示 “SEMIPACK”
- 2 UL ロゴ、SEMIPACK は UL 認定品です。ファイル番号 :E63532
- 3 型名
- 4 回路
- 5 データマトリクス
- 6 日付 - 5 文字 :YYMML (L = 週別ロット)

データマトリクス表示

データマトリクス表示は以下の内容を含んでいます。

- 型名
- 製品コード番号
- 試験ライン No.
- 製造トラッキング No.
- 日付
- 連番

包装箱



図 24 SEMIPACK モジュール標準包装箱

1 箱の数量

SEMIPACK 0: 21 個

SEMIPACK 1: 12 個

SEMIPACK 2: 8 個

SEMIPACK 3: 3 個

SEMIPACK 4: 2 個

SEMIPACK 6: 1 個

包装箱表示



図 25 SEMIPACK 包装箱ラベル

1 SEMIKRON ロゴ

2 型名

3 日付

4 SEMIKRON 製品コード番号、バーコード表示

5 数量-バーコードでも表示