

富士中容量ダイオードおよびサイリスタ

Fuji Middle Power Rectifier Diodes and Thyristors

田原 真人* 齋藤 安正*
Makoto Tawara Yasumasa Saito

I. ま え が き

当社では、従来の DS, Si 系列ダイオードおよび GSi 系列のサイリスタに代わるものとして、半導体素子の系列を用意した(第1図, 第2図)。これら新系列素子は、耐圧の向上, 信頼性の向上, 加圧接触機構の採用など素子接合設計の見直しをはかり, 新しいケース封入技術を導入すると同時に, 外形寸法は, IEC 規格を採用し, 国外他社製品との互換性をもたせるべく考慮している。一方半導体素子の定格特性曲線などの決定に対しては, 使用者が任意に計算を行ないうるようにその基本諸定数をできるだけ明確にし, 電算機を用いて諸特性計算が可能になるよう考慮してある。本稿では, これら新系列ダイオードサイリスタの特徴および諸特性の算出に対し基本的考え方を述べると同時に, 中容量素子の保護および信頼性に関して, 概要を述べたいと考える。

II. 素子の系列

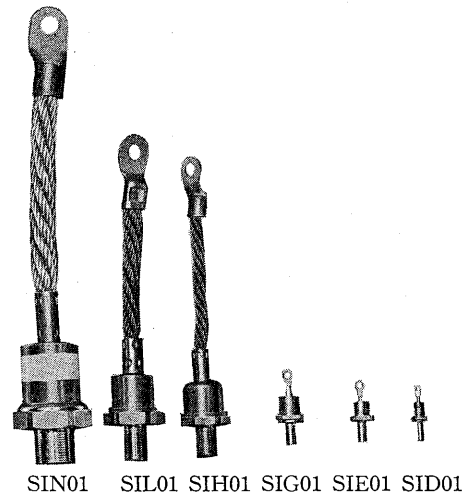
新系列ダイオード, サイリスタの主要特性を第1表に示す。なお, この系列の他に, 小容量素子, 大電力, 高耐圧平形ダイオード, サイリスタの系列および高速サイリスタ系列などがあるが, 本稿では, ふれないこととする。

III. 新系列ダイオード, サイリスタの特徴

当社では, 10 数年前シリコン整流ダイオード, Si 系列を合金接合形ダイオードとして発表以来, ダイオードでは, 逆耐圧 1,000V の整流素子の実用化の契機を作るとともに, 大量の実績を積み重ねてきた。その間サイリスタも拡散合金法により 600V 耐圧系列を完成し実用に供してきたが, 半導体素子の製造技術および生産管理技術の進歩に伴い特性の向上, 素子構造の改良などが, 可能となる一方, 素子外形寸法の標準化および一般中電力電源設備の交流 440V の採用化の動き, ダイオードとサイリスタとの組み合わせ使用における協調の問題など応用分野におけるすう勢を考慮してダイオード, サイリスタの系列の見直しをはかった。

1. 素子製造技術

* 松本工場



第1図 中容量ダイオード系列
Fig.1. Middle power rectifier diode series



第2図 中容量サイリスタ系列
Fig.2. Middle power thyristor series

新系列ダイオード, サイリスタの接合構造は, いずれも拡散合金形であるが, ダイオードの構造工程を例示すると概略次のようになる。

n 形結晶切断 (ラップ) → III 族元素拡散 (pnp) → 片面ラップ (pn) → 合金化 → 表面ベベル形成 → エッチング, 表面処理 → 組立 → 封入。

これら工程のうち, 特に次の諸項目が問題となる。

1) 結晶性

第1表 富士新系列ダイオード, サイリスタ
Table 1. Fuji diode and thyristor series

1. 富士ダイオードシリーズ

| 項目 \ 形式 | S I D 01 | S I E 01 | S I G 01 | S I H 01 | S I L 01 | S I N 01 |
|-------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 最大繰り返し逆電圧 | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V |
| 順電圧降下 25℃ | 1.5V/30A | 1.5V/50A | 1.5V/100A | 1.5V/200A | 1.5V/600A | 1.35V/900A |
| 平均順電流 | 9.0A | 16A | 30A | 90A | 200A | 300A |
| サージ電流 (負荷状態から) | 220A | 350A | 800A | 1,800A | 3,200A | 7,500A |
| $T_j \text{ max}$ | 150℃ | 150℃ | 150℃ | 150℃ | 150℃ | 160℃ |

2. 富士サイリスタシリーズ

| 項目 \ 形式 | G T D 02 | G T E 02 | G T G 02 | G T H 02 | G T L 01 | G T N 02 |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 最大せん頭 順逆耐電圧 | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,600V |
| 順電圧降下 25℃ | 1.55V/15A | 1.55V/30A | 1.55V/60A | 1.55V/120A | 1.50V/300A | 1.50V/600A |
| 平均順電流 | 8.0A | 15A | 25A | 75A | 150A | 300A |
| dv/dt | 20 V/ μ s | 20 V/ μ s | 20 V/ μ s | 20 V/ μ s | 20 V/ μ s | 100 V/ μ s |
| di/dt | 20 A/ μ s | 20 A/ μ s | 20 A/ μ s | 20 A/ μ s | 20 A/ μ s | 20 A/ μ s |
| サージ電流 (負荷状態から) | 150A | 300A | 600A | 1,200A | 2,500A | 6,300A |
| $T_j \text{ max}$ | 125℃ | 125℃ | 125℃ | 125℃ | 125℃ | 125℃ |
| I_G/V_G | 20mA/2V | 80mA/3V | 100mA/3V | 120mA/3V | 300mA/3V | 300mA/2V |

- 2) 拡散 (拡散深さ, ライフタイムの低下防止, 接合の均一性)
- 3) 合金化 (接合の平坦度)
- 4) 表面処理技術 (耐圧などを中心とする特性の安定性)
- 5) ケース封入技術 (熱サイクルに対する検討)

シリコン単結晶の結晶性は, シリコンの径が大きくなるにつれて低下する傾向があるが, 接合の均一性を保持し良好な特性をうるには, 単結晶の結晶性に充分な考慮を払う必要がある. 現在は, シリコン単結晶の結晶精製技術も進歩し 40 ϕ 程度の結晶性のよいシリコンが得られるようになった. 拡散工程では, 拡散深さ, 拡散濃度によって順方向通電特性が影響を受けるために⁽¹⁾, 特に厳密な温度管理の下に拡散をコントロールする必要がある. また拡散工程におけるライフタイムキラーの拡散は, 順方向通電特性に非常に悪い影響を及ぼすので, 特に重金属などのライフタイムキラーの拡散防止策が必要となる. ダイオードの順方向通電特性は, Herlet によれば, 式(1)のように表わすことができる.

$$U_a = \frac{kT}{e} \cdot \ln\left(\frac{\bar{n}}{n_i}\right)^2 + 2 \frac{kT}{e} \cdot f\left(\frac{d}{L}\right) \dots \dots \dots (1)$$

耐圧に関しては, 単結晶の比抵抗 ρ とアバランシェ電圧の関係が,

$$V_B = \alpha \rho^{\beta} \dots \dots \dots (2)$$

という関係を有するから耐圧を高くするために比抵抗を高くする必要があるが, その場合空乏層の広がりが大き

くなる. このとき空乏層の広がりに対しベース幅が狭いと, いわゆるパンチスルー現象を起こす. このようなことをさけるために, ベース幅は, 普通空乏層の拡がりの幅よりも広くするが, このようにすると順方向特性は, 増大する. 当社では, これらの問題に対して高度の拡散技術を用いて, 1,800V 耐圧素子でも順電圧降下約 1.5 以下という実用上まったく問題にならない値を保証することができた. 逆方向耐圧は, 内部におけるブレイクオーバーと同時に表面状態によっても影響を受ける. 表面におけるブレイクオーバーは, 素子の永久破壊を起こすことがあるので, 表面の安定化を行なう必要がある. このためには, 普通アングルラップ形成が行なわれるが, 当社ではさらに独特の表面処理剤を用いて保護を行ない耐圧の信頼性向上をはかっている. 素子封入技術⁽³⁾に関しては, 中大容量ダイオード, サイリスタ系列では, H形以上の素子に対して加圧接触機構⁽³⁾を採用している. 溶接機, 電気車両, 電動機制御などの負荷変動およびそのひん度がきわめて大きい用途に対して素子を用いる場合には, 構造材料の熱膨張係数の差に起因する問題が生じ, 寿命, 信頼度に重要な影響を与える. シリコン単結晶板は, 曲げ応力に対して比較的弱く, 簡単にクラックを生じたり割れたりするので製造工程中の熱処理, 接着作業中に曲げ応力が加わらぬようにするため, 一般にモリブデン, タングステンなどのシリコン単結晶板と比較的熱膨張係数の近い金属を張り合わせて一体としてある. 従来のタイ

プでは、これらモリブデン、タングステンなどと銅ベース間を軟ろうで接触していたが、銅との熱膨張係数に差があるため負荷変動が大きい場合には、ろう部分に繰り返し剪断応力が加わり熱疲労現象がさけられないので数千回、数万回の負荷変動で特性劣化がみられることがあった。当社新系列半導体素子では、軟ろうによる接着をまったく廃止し、数 10~100kg の加圧力にて接触させている。接触面の加工を適当に行ない、中間金属板と銅ベースとを特殊加工すると、接触部の電気抵抗、熱抵抗は、ほとんど問題とならなくなり、接合ベース間の熱抵抗は、加工効果により充分小さくかつ均一にすることができる。熱歪に対しては、上下方向は、加圧ばねにより吸収し、横方向の力は、ベースとシリコン部がすべることにより吸収できるので上述のような間欠使用に対しても、熱疲労の問題は、さけられるのである。このようにして当社半導体素子は実質的に“半永久的”寿命が保証されるようになった。

2. 定 格 特 性

新系列素子では、ダイオードとサイリスタの協調をとり、かつライン電圧の 440V 化の動きを考慮し、耐圧 1,200V とした。電流定格に対しては、最大定格としてケース温度基準の出力電流を表示するとともに、過負荷による接合部の過渡温度上昇の影響などを考慮した定格表示を行なっている。素子の限界特性である過電流耐量は拡散技術の高度化により接合が均一化したために非常にすぐれている。特に熱抵抗に関しては、従来と異なり波形による熱抵抗の差を表示し、設計者がいたずらに安全率をとるといふ愚をさけ、合理的に設計計算が行ないうるよう考慮されている。したがって当社半導体素子を使用する場合、これら定格特性表を充分理解して適用すれば、さらに余裕をみる必要はまったくない。

3. 外形寸法の標準化

外形寸法としては、適用上の便を考慮してダイオード

第 2 表 富士ダイオード、サイリスタと IEC ガイダンス寸法

Table 2. IEC guidance and dimensions of Fuji diodes and thyristors

| 富士電機 適合素子 | | IEC ガイダンス寸法* | | | | |
|--------------|----------|--------------|--------|------------------|------------------|--|
| ダイオード | サイリスタ | ねじ径 | 六角対辺距離 | ねじ長さ (長系列) | ねじ長さ (短系列) | リード線長さ |
| S I D 01 | G T D 02 | M 5 | 11 | 11 ⁺¹ | — | — |
| S I E 01 | G T E 02 | M 6 | 14 | 12 ⁺¹ | — | — |
| S I G 01 | G T G 02 | M 8 | 17 | 14 ⁺¹ | — | — |
| S I H 01 | G T H 02 | M 12 | 27 | 18 ⁺¹ | — | 150 ⁺¹⁵ |
| S I L 01 | G T L 01 | M 16 | 32 | 20 ⁺¹ | — | S I L 01 150 ⁺¹⁵ G T L 01 200 ⁺²⁰ |
| S I N 01 | G T N 02 | M 24 | 41 | — | 19 ⁺¹ | 250 ⁺²⁵ |

* IEC TC47 (CO) 157, 47 (CO) 122

・サイリスタの外形を協調させることはもちろん、国内外各社との協調をとるため IEC において外形寸法を統一する機運が高まった機会にその標準寸法を採用した。

IV. 新系列半導体素子の定格特性表示

一般電力用ダイオード、サイリスタの定格特性計算の基本となる事項と適用方法について解説する。第 3 表は、新系列素子の基本諸定数である。

第 3 表 基本定数表

Table 3. Fundamental constants

1. ダイオード

| 形式 | S I D 01 | S I E 01 | S I G 01 | S I H 01 | S I L 01 | S I N 01 |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| V_{R0} | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V |
| U_d (150°C) | $0.85+18 \times 10^{-8} ip$ | $0.85+11 \times 10^{-8} ip$ | $0.85+6 \times 10^{-8} ip$ | $0.85+2.7 \times 10^{-8} ip$ | $0.85+0.87 \times 10^{-8} ip$ | $0.75+0.50 \times 10^{-8} ip$ |
| T_{jmax} | 150°C | 150°C | 150°C | 150°C | 150°C | 160°C |
| R_{thDC} | 2.10 deg/W | 1.20 | 0.80 | 0.40 | 0.20 | 0.15 |
| $R_{th}^{120^\circ el}$ | 3.08 deg/W | 1.76 | 1.08 | 0.50 | 0.26 | 0.17 |
| $R_{th}^{180^\circ el}$ | 2.61 deg/W | 1.50 | 0.96 | 0.48 | 0.24 | 0.16 |
| R_{cf} (接触) | 0.30 deg/W | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |

2. サイリスタ

| 形式 | G T D 02 | G T E 02 | G T G 02 | G T H 02 | G T L 01 | G T N 02 |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| V_{R0} V_{F0} | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,200V | 1,600V |
| U_d (115°C) | $0.95+30 \times 10^{-8} ip$ | $1.01+15 \times 10^{-8} ip$ | $0.92+8.3 \times 10^{-8} ip$ | $0.95+4 \times 10^{-8} ip$ | $1.01+1.3 \times 10^{-8} ip$ | $0.90+0.76 \times 10^{-8} ip$ |
| T_{jmax} | 125°C | 125°C | 125°C | 125°C | 125°C | 125°C |
| R_{thDC} | 2.10 deg/W | 1.30 | 0.90 | 0.50 | 0.22 | 0.15 |
| $R_{th}^{120^\circ el}$ | 2.80 deg/W | 1.70 | 1.13 | 0.63 | 0.27 | 0.17 |
| $R_{th}^{180^\circ el}$ | 2.50 deg/W | 1.60 | 1.03 | 0.508 | 0.25 | 0.16 |
| R_{cf} (接触) | 0.30 deg/W | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 |

1. 耐圧特性の基本定数

ダイオードの場合、最大繰り返し逆電圧 V_{R0} がサイリスタの場合、最大尖頭順(逆)耐電圧 V_{F0} (V_{R0}) が基本定数となる。抵抗負荷に対する交流回路に適用する場合交流入力電圧 (V_{in}) eff は

$$V_{in} = \frac{V_{R0}, (V_{F0})}{\sqrt{2} \times 1.1 \times \alpha} \dots\dots\dots(3)$$

より決定される。ただし α は、サージ保護回路により決定し普通 1.5~2.5 の間の値をとる。詳細は V 項参照。

2. 出力電流特性

1) 順電圧降下

$$v_F = e_b + r_P \cdot i_P \dots\dots\dots(4)$$

適用にあたっては、高温の限界特性を用い、常温の特性は、素子受けわたしの際の規格値としている。高温順電圧降下の基本定数 e_b , r_P は、それぞれえんそう電圧、微分抵抗といわれるが、これらの定数は第 3 表に示され

ている。

2) 発生損失

平均電流に対する損失計算は、普通平均損失で行なわれるので平均損失の関係を求めておく必要がある。平均損失は波形によってことなるため波形率 (f_i) を求める必要がある。損失は、式(5)による(α は通流角)。

$$W = e_0 \cdot I_D + (f_i)^2 \times r_D \cdot I_D^2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$(f_i)^2 = \pi(\pi - \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha) / (\cos \alpha + 1)^2$$

正弦波.....(6)

$$(f_i)^2 = 2\pi / (\pi - \alpha) \quad \text{方形波.....(7)}$$

3) 熱抵抗

素子の定格電流計算のためには、損失と同時に素子の接合部ケース間の熱抵抗を知る必要がある。この熱抵抗は、実験値を理論的に修正して式(8)のように求められる。

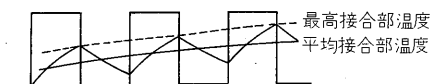
$$r_{th} = r_1(1 - e^{-\alpha_1 t}) + r_2 + (1 - e^{-\alpha_2 t}) + \dots\dots\dots + \alpha_n(1 - e^{-\alpha_n t}) \quad \dots\dots\dots(8)$$

これらの計算結果は、すでに発表されている。また式(8)の詳細については別の機会に発表する予定である。

式(8)において $t \rightarrow \infty$ とした場合の r_{th} は、直流過渡熱抵抗 R_{thDC} として表示されている。

第4表 波形率
Table 4. Form factor

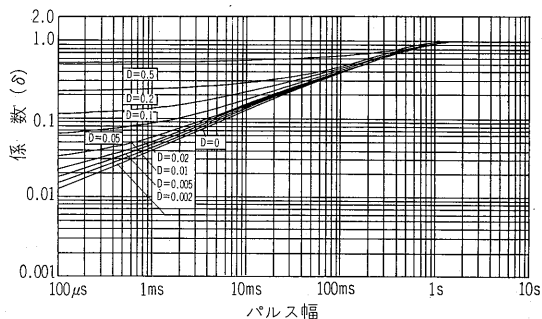
| | | | | | | |
|------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 通流角 | 180°el | 150 | 120 | 90 | 60 | 30 |
| 半波制御 | $\frac{\pi}{2}$ 1.57 | 1.66 | 1.88 | 2.22 | 2.81 | 4.01 |
| 矩形波 | $\sqrt{2}$ 1.41 | $\sqrt{2.4}$ 1.55 | $\sqrt{3}$ 1.73 | $\sqrt{4}$ 2.00 | $\sqrt{6}$ 2.45 | $\sqrt{12}$ 3.47 |



第3図 方形波電力による接合部温度の脈動
Fig.3. Heat pulses and temperature rise

4) 波形による過渡熱抵抗の補正 (ρ)

最大接合部温度は、デューティサイクルまたは、波形により異なることは、第3図より明らかであるが、これ



第4図 過渡熱抵抗係数 (GTN02)

Fig.4. Normalized transient thermal impedance of GTN02

を一般的に表示するために式(8)をもとにして過渡熱抵抗係数曲線を作成した。第4図は、サイリスタ GTN02 に対する過渡熱抵抗係数である。

時間 t_1 ms, Duty $D\%$ における δ から $1/D \times R_{thDC} \times \delta$ を計算すれば電流通電時間 t_1 , Duty D の場合の平均損失に対する最大接合部温度計算のための熱抵抗が求められる。この特性は、ダイオード、サイリスタが 50Hz 以外の周波数で適用される場合の定格計算に使用される。方形波 120°el, 正弦波 180°el 導通の場合の実効熱抵抗は、 $(R_{thDC} + \rho)$ である。

5) 冷却体の熱抵抗 (R_{fa})

冷却体の熱抵抗に関する諸データは、すでに記述がなされているので参照されたい。

6) 接触熱抵抗 (r_{cf})

接触熱抵抗は、表面状態、締付状態により影響を受けるが、標準締付状態における当社半導体素子と冷却体の接触熱抵抗が表示されている。

7) 定格電流決定

(1) ケース温度基準の最大定格表示

$$W_F = (T_{jmax} - T_c) / (R_{thDC} + \rho) \quad \dots\dots\dots(9)$$

式(5)と式(9)から I_D を計算する。 T_c としては、標準冷却体を付けた場合の出力電流にみあう T_c を採用する。 $R_{thDC} + \rho$ は、波形による。

(2) 標準冷却体付の場合の推奨定格

$$W_{F0} = (T_{jmax} - 10 - T_a) / (R_{thDC} + \rho + r_{cf} + R_{fa}) \quad \dots\dots\dots(10)$$

式(5)と式(10)から I_D を計算する。 T_a は、周囲温度。これらの特性は、定格特性曲線としてすでに示されている。この式において $T_{jmax} - 10$ としているのは、サイリスタの場合には特にゲートシャ断による過負荷電流の保護を考慮して当社の場合 0%, 50%, 100% 負荷耐量曲線を表示しているためである。設計者は、過負荷の状況に応じて定常電流を低減すべきである。

8) 過負荷耐量曲線

過負荷耐量曲線は、最大許容接合部温度まで許容できる時間に対する過負荷電流として、その損失は

$$W_{over} = \frac{T_{jmax} - T_a}{r} - P_0 \left(\frac{R_{thsum}}{r} - 1 \right) \quad \dots\dots(11)$$

r : 各時間に対する波形の差を考慮した過渡熱抵抗 (冷却体を含む)

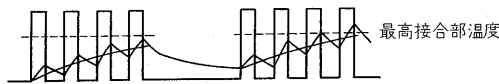
R_{thsum} : $R_{thDC} + \rho + r_{cf} + R_{fa}$ (ただし $t \rightarrow \infty$ において $r = R_{thsum}$)

P_0 : 初期電流による損失 (平均)

(11)として計算されるからやはり式(5)から、 I_D transient を計算する。

9) 間欠負荷特性曲線

間欠負荷の特性を考える場合には、波形および Duty



第 5 図 間欠負荷時の接合部温度上昇

Fig.5. Temperature rise of intermittent load.

を考慮して第 4 図を応用して計算しようが、この問題に(4)対しては、すでに考え方が述べられているので、ここでは省略する。

10) その他の特性

一般ダイオード、サイリスタのこれまで述べた特性以外の項目については、定格特性を統計的手法に基づいて決定している。これらの項目については、すでに広く解説され周知であると思われるので、これらの資料を参照(5)されたい。

V. ダイオード、サイリスタの保護に(6)対する考え方

半導体素子の保護に関しては、すでに技術資料として発表されているが、ここでは素子の耐圧とサージアブソーバ用コンデンサとの関連について述べて次にヒューズとの過電流協調との関連について基本的考え方を述べる。

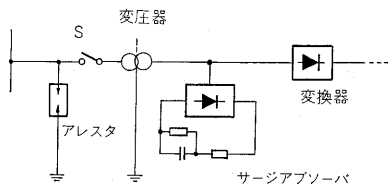
1. 異常電圧の保護

1) サージ電圧の分類

サージ電圧は、大別すれば、外部要因に基づくサージ電圧と、内部要因に基づくサージとに分類することができる。外部要因に基づくサージとしては、直撃雷、誘導雷などの雷サージが考えられ、内部要因にもとづくものとしては、送電系統の間欠的なアーク地絡、送電系統の開閉によるサージ、転流振動、キャリヤ蓄積効果による異常電圧などが主として考えられる。

2) 外来サージを対象としたサージアブソーバの決定

交流側より変圧器を介して、サージ電圧が伝播される場合には、変圧器巻線間の漂遊キャパシタンスの分圧により伝播するいわゆる静電移行と、変圧器作用による電磁移行とが考えられるが、静電移行に対しては、変圧器に静電しゃへいを施すか、二次巻線と大地間に巻線間漂遊容量に対して充分大きなコンデンサをそう入すればよい。電磁移行によるサージに対しては、交流系統の避雷



第 6 図 過電圧保護回路系統

Fig.6. Overvoltage protecting system

器を基準にして、サージ電圧を想定し、それが、許容値以内に減衰するよう式(12)によりコンデンサ容量を決定する。

$$C \geq 1/20(k-1)^2 L \mu F \dots\dots\dots(12)$$

L: ラインインダクタンスと、変圧器漏れインダクタンスの二次換算値の和。

k: 最大尖頭順(逆)耐電圧 (V_{F0}, V_{R0}) を交流定格電圧波高値で除したもの。

$$k = V_{F0}, (V_{R0}) / \sqrt{2} \times V_{in} \times 0.9 \geq \alpha$$

α : 1.5~2.5 の値をとるのが普通である。

このようにして決定されたサージアブソーバに対して、式(3)の α が決定されるわけである。

3) 開閉サージを中心としたサージアブソーバの決定

変圧器の無負荷時に開閉器をしゃ断する場合励磁電流がしゃ断される結果、変圧器のインダクタンスに蓄えられたエネルギーが変換器を構成する素子に加わる可能性がある。この場合変圧器の全エネルギーをコンデンサが吸収したのち、その端子電圧が素子の許容電圧以内にあればよいから、式(13)が成立する。

$$\frac{1}{2} L_e I_e^2 = \frac{1}{2} C V_{R0}^2 - \frac{1}{2} C V_0^2 \dots\dots\dots(13)$$

L_e : 変圧器励磁インダクタンス

I_e : 変圧器励磁電流

C: サージアブソーバ用コンデンサ

V_{R0} : 素子の許容逆電圧

V_0 : コンデンサ端子電圧 $V_{in} \times \sqrt{2} \times 1.1$

励磁インダクタンスにたくわえられたエネルギーは開閉時のアークによっても消費されるので、コンデンサを全エネルギーの約 50% に対して決定すればよいことがわかっている。

$$\text{単相結線 } C = \epsilon \cdot P_T \cdot 10^9 / 100 \omega (V_{R0}^2 - V_0^2) \mu F \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{三相結線 } C = \epsilon \cdot P_T \cdot 10^9 / 200 \omega (V_{R0}^2 - V_0^2) \mu F \text{ (直流側)} \dots\dots\dots(15)$$

ϵ : 変圧器パーセント励磁電流

P_T : 変圧器定格容量 kVA

制動抵抗は、サージアブソーバ用コンデンサと、変圧器の漏れインダクタンスとの共振が起こらぬように決定する。この値は普通波動抵抗の 2 倍としている。

$$\text{単相結線 } R = 2 \sqrt{L_S / C}, \quad L_S = V_2^2 \cdot V_S / 100 \cdot \omega \cdot P_T$$

$$\text{三相結線 } R = 2 \sqrt{2 L_{SP} / C}, \quad L_{SP} = V_2^2 \cdot V_S / 100 \cdot \omega \cdot P_T$$

V_2 : 変圧器二次電圧

第 5 表 変圧器容量と励磁電流の関係

Table 5. Relation between transformer capacity and exciting current

| | | | | | | | |
|----------------|-----|---|----|-----|-----|-----|-------|
| ϵ (%) | 10 | 5 | 3 | 2.7 | 2.5 | 1.6 | 2 |
| P_T (kVA) | 0.1 | 3 | 10 | 100 | 200 | 500 | 1,000 |

L_s, L_{SP} : 変圧器の1相分の漏れインダクタンス

V_s : 変圧器の定格電圧に対する漂遊電圧の%

2) 項で計算されたコンデンサ容量は, 3) 項で計算されたコンデンサ容量よりも大きいことが普通である. したがって外雷サージのない回路では, 3) 項によって求められたサージアブソーバを用いてよい. そのさい交流入力電圧の尖頭値と素子耐圧との比率を α とすると, 式(14),(15)は,

$$C = k/V_0^2(\alpha^2 - 1) \dots\dots\dots(16)$$

k : 定数

であるから, この関係から式(3)の α を決定すべきである.

4) そ の 他

直流回路しゃ断時にも, 電源リアクタンス, 直流リアクトル, あるいは電動機巻線リアクタンスなどに高い電圧が発生する. 電源リアクタンスに発生した電圧は, 交流側サージアブソーバで吸収できるが, 電動機がフラッシュオーバーした場合などは高い異常電圧が電源リアクタンスに発生するので, サージアブソーバだけでは吸収しきれないので, 交流側サージアブソーバの容量を大きくするか, 直流側にコンデンサと抵抗の直列回路を付加する必要がある. いずれにしても, 2), 3) 項で述べたことは, 一般的考え方であるので, 異常電圧の状況に応じて, 適切な保護対策が必要である.

2. 過電流保護

半導体素子を過電流から保護する場合いろいろな保護方式が考えられるが, ここでは, ヒューズを用いて短絡保護を行なう場合に考慮する項目を列挙するとどめたい.

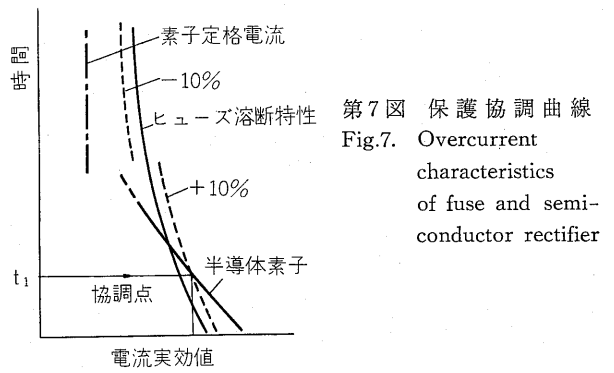
1) 定常電流

ヒューズの接続は, 半導体素子に直列に入れるエレメントヒューズと, 交流ラインに入れるラインヒューズがあるが, ヒューズの定格電流は, エレメントヒューズの方が小さくなる. 過負荷または, 短絡保護の目的では, ラインヒューズで充分である. 適用する場合には, 回路に応じてエレメント電流または, ライン電流を計算し, ヒューズの定格電流が大ききようなものを選定する. この場合ヒューズの定格電流の0.9倍と比較することが望ましい.

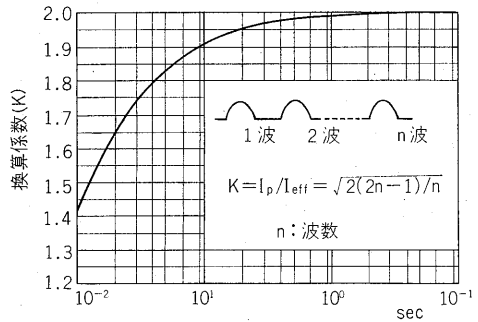
2) 過負荷領域における協調

ヒューズの過負荷領域のカーブは, 実効値で表示されているが, 一方素子のほうは, 半波尖頭値で表示されているので, 協調曲線を作る場合素子の半波尖頭値を実効値に換算する必要がある. この換算係数を第8図に示す. この場合ヒューズの溶断特性曲線を1.1倍して協調を考慮することが望ましい.

3) 短絡保護



第7図 保護協調曲線
Fig.7. Overcurrent characteristics of fuse and semiconductor rectifier



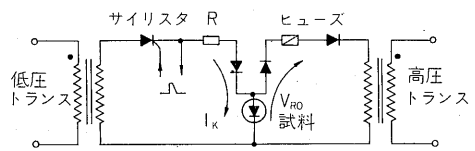
第8図 半波尖頭値実効値換算係数

Fig.8. Conversion coefficient (sine half wave to effective value)

短絡保護に対しては, ヒューズ, 半導体素子の cold 状態における I^2t を比較して, ヒューズの方が小さいことが要求される. ヒューズの I^2t は電圧依存性を有しているので, 厳密に適用する場合には, そのことを考慮する必要がある. ヒューズの I^2t は, ほぼ電圧に比例して小さくなる.

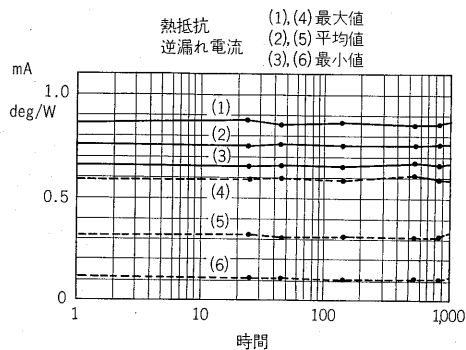
VI. 新系列素子の信頼性

ダイオード, サイリスタの信頼度試験に対しては, 高温放置, 電圧印加, 通電試験などが考えられるが, 今回は実用状態に近い状態を再現するため等価負荷試験を SIE01 に対して行なった結果について述べる. 第9図の回路において, 素子に定格平均順電流に等しい電流を通電し, 接合部温度を許容接合部温度として, 逆阻止期間中には, 繰り返し尖頭逆電圧に等しい電圧を, 別電源から印加した. 試料 50 個について, 1,000 時間試験し, 逆特性 (1,200V 1.5mA 150°C), 熱抵抗を測定した結果, 重欠点不良の発生が, 皆無であったことはもちろん



第9図 等価負荷試験回路

Fig.9. Equivalent load test circuit



第 10 図 寿命試験結果 (SIE01)
Fig.10. Equivalent load test result

ん、諸特性の変動もきわめてわずかであった。これらの試験結果から寿命を予測することは、困難であるが、われわれのこの種の半導体素子に対する市場実績から判断しても $10^{-8} h^{-1}$ 程度以下の信頼性は、充分保証できるものと考えられる。

IV. む す び

新系列ダイオード、サイリスタの一般の問題についてふれたが、紙面の都合で詳細に論じられないために充分理解されない点がある、あろうかと危惧している。本稿が当社中容量素子を用いる場合に多少なりとも参考になればと願うと同時にこれら半導体素子に対する諸賢の忌憚のないご意見を受け製品に反映させ、ますます使いやすいものとして行きたいと考えている。

参考文献

- (1) A. Herlet : Solid-State Electronics. 8, (1965)
- (1) 春木・横山：サイリスタの電流電圧特性
富士時報 40, No.9 (昭 42)
- (2) 角野・梅村：高耐圧シリコン素子の表面電界強度
富士時報 42, No.2 (昭 44)
- (3) 森・加藤：加圧接触形シリコン整流素子
富士時報 38, No.3 (昭 40)
- (4) 島田：抵抗溶接機用のサイリスタ
富士時報 40, No.8 (昭 42)
- (5) 電子機械工業会：サイリスタ試験法委員会編 S D-21
- (6) 鈴木・沢・星：富士時報 42, No.7 (1969)
- (6) Konrad Tome : Schütz von Siliziumgleichrichtern gegen Überspannungen.

技術論文社外公表一覽

| 題 目 | 所 属 | 氏 名 | 発 表 機 関 |
|--|------------------------------------|-------------------------|---|
| 機械工業における高分子材料利用の現状と将来 | 中央研究所 | 佐倉 武久 | 機械技術者のための高分子材料 (講演) 4月23日 機械学会 |
| 船用タービン遠隔操縦装置 | 二 工・ 技 術 部 制 技・ 系 統 技 術 部 | 小林 慎治 渡会 裕一 | 船用電気機器特集号 5月16日 日本船用機関学会 |
| サイリスタ教室 (電力技術者のための) | 開 発 部 開 発 部 開 発 部 | 山 川 靖 菅 野 英 沢 臣 彦 | 電気計算誌 5, 6, 7月号 電気書院 |
| 自家用発電設備の保護継電器の整定と試験 | 制 技・ 系 統 技 術 部 | 横川 純男 | 電気計算誌 5月号 電気書院 |
| 接着物の疲労特性 | 中央研究所 | 元 起 巖 | 高分子誌 最近の接着技術特集 5月号 高分子学会 |
| 接着物のクリープ特性 | 中央研究所 | 元 起 巖 時 光 富士雄 | 日本接着協会年会(講演) 6月4~5日 日本接着協会 |
| 接着物の熱劣化特性 | 中央研究所 | 元 起 巖 時 光 富士雄 | 日本接着協会年会(講演) 6月4~5日 日本接着協会 |
| 最近のアーク炉の電圧電流調整装置と適用 | 二 工・ 技 術 部 | 久保田 勉 | 電気計算誌 6月号 電気書院 |
| 日本万国博会場内給水制御装置 | 大阪営業所 | 村上 和照 | データ通信誌 6月号 情報研究出版会 |
| Analysis of neutron inelastic scattering by U^{238} | 電力・原子 力 技 術 部 | 中 村 久 | Second International Conference on Nuclear Data, Helsinki, Finland 6月15~19日 I A E A |
| Fast neutron capture cross sections of Cr, Fe, Ni and Mo | 電力・原子 力 技 術 部 | 中 村 久 | Second International Conference on Nuclear Data, Helsinki, Finland 6月15~19日 I A E A |



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。