

ゼットラップとその応用(その2)

Z-trap and its Application (Part 2)

野沢重喜* Shigeyoshi Nozawa · 藤岡一夫* Kazuo Fujioka

VI. ゼットラップの適用

電力系統における異常電圧は発生原因により、外雷と内雷とに分けられる。前者は雷の放電に伴う異常電圧で、送電線や発電所などの電気設備に直接放電する直撃雷と、送電線などが雷雲の反対極性の電荷が誘導され異常電圧となる誘導雷とがある。また後者は、系統内に発生する異常電圧で、地絡など故障時に発生する異常電圧や負荷しゃ断、電流しゃ断、ヒューズ溶断、再点弧など系統の開閉時に発生する異常電圧がある。

1. 適用に対する検討事項

ゼットラップの適用を考える場合、次の事項を検討し、これらを満足する形式を選定する。

1) 使用回路電圧

ゼットラップは、直流用素子と交流用素子とに分けて開発したが、その基本的な電気特性は両者とも変わらず、適用上直流回路、交流回路どちらでも使用できる。直流用素子の交流印加ならびに交流用素子の直流印加の最大許容回路電圧は、第2表(定格表)を参照願いたい。

直流回路電圧には、平滑な電圧のほかに単相全波整流、三相全波整流などリップルを含んだままの電圧で使用される機器は少なくない。単相全波で整流された回路にゼットラップを使用する場合、漏れ電流などを考慮し、ゼットラップの最大許容回路電圧を次式のように低減して適用する必要がある。

最大許容回路電圧(単相全波)

$$= \text{最大許容回路電圧(平滑)} \times 0.8$$

また、三相全波整流の場合には、リップルの波高値が小さいため、平滑電圧と同様に考えて適用してもさしつかえない。

2) 動作開始電圧

ゼットラップの動作開始電圧(V_{1mA})は、最大許容回路電圧により定めている。この値は通常の動作に対し悪影響を及ぼさず、かつ素子が発熱しないように選定されている。回路電圧が定格の最大許容回路電圧の値を超える場合や回路電圧波形のひずみが著しく、せん頭値が最大許容回路電圧の $\sqrt{2}$ 倍を超える場合には適用することはできない。

動作開始電圧と印加電圧の関係は、下式による。

交流電圧印加の場合

$$V_{IN}(AC) \leq \frac{V_{1mA} \times 0.85 \times 0.9}{\sqrt{2} \times 3} \quad (V)$$

※1: V_{1mA} のばらつき, ※2: 余裕度, ※3: ピーク換算

直流電圧印加の場合

直流用ゼットラップの場合

$$V_{IN}(DC) \leq \frac{V_{1mA}}{2} \quad (V)$$

交流用ゼットラップの場合

$$V_{IN}(DC) \leq V_{1mA} \times \frac{7}{22} \quad (V)$$

この関係は第2表を参照願いたい。

3) 放電電流

放電電流として誘導雷サージに対しては、第9図の衝撃放電耐量特性、第10, 11図の衝撃電流寿命特性、および第12図の衝撃放電耐量特性(放電1回時)により放電電流の大きさとその回数から検討する。開閉サージに対しては、第13図の2ms<形波電流耐量特性、第14図と第15図の2ms<形波電流寿命特性、そして第16図のパルス幅対放電耐量特性により放電電流の大きさ、形態またそのサージ発生ひん度から検討する。

4) 制限電圧

ゼットラップは、第23図の波頭長対制限電圧特性に示すように、急峻波サージに対する制限電圧の上昇がきわめて小さく、また放電の動作開始電圧や制限電圧が安定しているため、ゼットラップとしては、吸収すべき電流のピーク値に対する制限電圧を保護する機器の耐圧より小さくなるように選定しなければならない。

5) 開閉サージに対するエネルギーの吸収量

開閉サージへの適用として、ゼットラップは第2表のように、最大エネルギー耐量を保証している。ただし、この値は2ms<形波電流で1回放電したときの最大エネルギーを示している。<形波電流に対するエネルギー吸収量は次式のように与えられる。

エネルギー吸収量 = 放電電流 × 制限電圧 × パルス幅

この式において、放電電流とパルス幅との間には、第16図のように電流と時間の積がほぼ一定の関係があり、また制限電圧も第6図のように放電電流に対して大きな差異は見られない。このことから素子自体の吸収エネル

* 松本工場

ギーは、パルス幅、放電電流によらずほぼ一定として、開閉サージへの適用を検討する必要がある。

また、ひん度の激しい場合には、第17図の繰り返し最大許容電流特性を参照し、負荷の蓄積エネルギーおよび開閉ひん度から選定する。

2. 雷サージからの保護

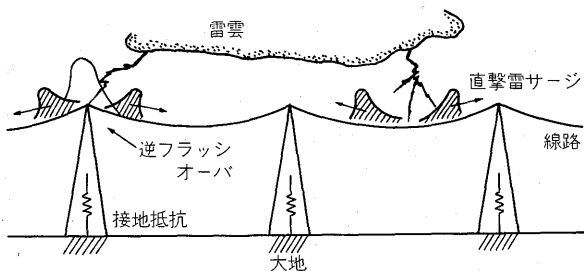
1) 雷サージ

一般に前線などにより上昇気流が発生すると、この上昇気流の中で電荷の分離・集積が起き雷雲が発生する。通常、雷雲の底部には負電荷が現れることが多く、この雷雲が発達すると正に帯電した大地や電線との間で絶縁が破れ、絶縁の一番弱い大気を通して放電する。雷サージはこの放電によって直接・間接的に発生する。雷サージによる異常電圧の大きさは、使用回路電圧に無関係で、過去の実測の統計データから推定するしかないが、その最大値はがいしや避雷器など系統機器の絶縁耐力で決まってくる。

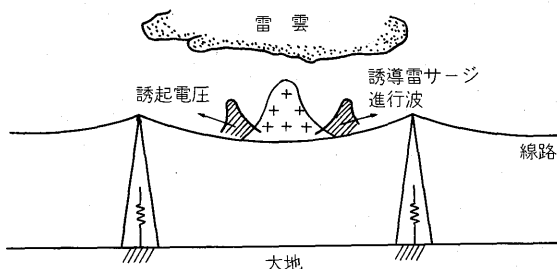
(1) 直撃雷

直撃雷は地上の電気設備に直接雷放電した場合をいい、その電圧・電流値は非常に大きく、一般に直撃雷から機器を保護することは難しい。線路に直撃した場合、雷サージ電流は線路上二分され、その電位上昇は放電電流の1/2の線路のサージインピーダンスとの積で決まる。鉄塔や建物に落雷すると、放電電流はそれぞれの接地抵抗を通して大地へ流れ込む。このとき接地抵抗によって鉄塔や建物自体の電位が著しく上昇し、このため電線との間に異常電圧が発生し、逆フラッシュオーバを起こすことがある。

第37図は、直撃雷の略図を示す。



第37図 直撃雷
Fig. 37. Thunder



第38図 誘導雷
Fig. 38. Thunder

(2) 誘導雷

線路に高い電圧が誘起される誘導雷としては、静電誘導によるものが考えられる。雷雲が近づくと電線や大地には雷雲と反対の極性をもつ電荷が誘起され、それらの電荷は雷雲の発生する雷界により拘束されている。もし、雷雲間または大地への落雷によって雷雲の電荷が消失すると、線路上の電荷は拘束から解かれ誘導雷サージとなって線路の両方向へ進行する。

第38図は、誘導雷の略図を示す。

2) 雷サージからの保護

第39図はゼットラップを適用した場合の一般的な回路図である。今、進行電圧 e_0 が進入したとすると、ゼットラップの接続点での電圧、電流、インピーダンスの関係は次式のように表される。

$$e_z = e_2 = e_0 + e_1$$

$$i_0 - i_1 = i_z + i_2$$

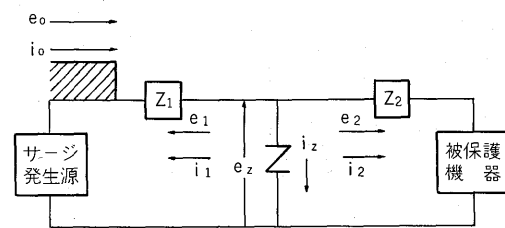
$$e_0 = z_1 i_0$$

$$e_1 = z_1 i_1$$

$$e_z = z_2 i_2$$

以上の関係式から i_z を求めると、式(1)のようになる。

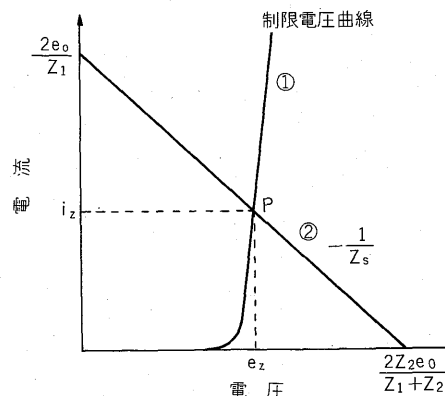
$$i_z = \frac{2 e_0 - e_z (1 + z_1 / z_2)}{z_1} \dots\dots\dots(1)$$



e_0 : サージ電圧 i_0 : サージ電流
 e_1 : 反射電圧 i_1 : 反射電流
 e_2 : 透過電圧 i_2 : 透過電流
 e_z : ゼットラップの制限電圧 i_z : ゼットラップの放電電流
 z_1, z_2 : 線路のサージインピーダンス

第39図 サージ保護回路の単線結線図

Fig. 39. Diagram of surge circuit



e_0 : サージ電圧 z_1, z_2 : 線路のサージインピーダンス
 e_z : ゼットラップの制限電圧 $z_s = \frac{z_1 z_2}{z_1 + z_2}$
 i_z : ゼットラップの放電電流

第40図 ゼットラップの動作説明図

Fig. 40. Dynamic characteristics of Z-trap

第40図に示すように、ゼットラップの電圧電流特性曲線①と線路インピーダンス特性曲線②〔式(1)の i_z と e_z との関係を表す〕との交点 P が、このときのゼットラップの放電電流と制限電圧となる。なお最悪のケース $z_2 = \infty$ において、低圧回路では $e_z \ll 2e_0$ と考えて差し支えないから、式(1)は實際上

$$i_z \doteq \frac{2e_0}{z_1} \dots\dots\dots(2)$$

で与えられる。

さて低圧回路系で発生するサージは 6 kV 以下が 90% 以上を占めるといわれており、 z_1 は架空線を考え 300 Ω とすれば、ゼットラップの放電電流 i_z は、

$$i_z = \frac{2 \times 6,000}{300} = 40 \text{ A}$$

となる。ケーブル系統ではサージインピーダンス z_s が数十～200 Ω となるが、ケーブルの透過波は浸入波に対し $z_2/(z_1 + z_2)$ となっているので、放電電流は架空線の場合と同等である。このことから低圧回路系では 40 A 程度の放電電流を基準に絶縁協調を考えれば大部分の雷サージから保護できる。第2表でゼットラップの制限電圧として放電電流 40 A のときの値を示した理由もここにある。

3. 開閉サージからの保護

1) 開閉サージ

継電器、接触器、ソレノイドなど誘導性負荷において、電流が強制的にしゃ断されると、負荷側、電源側の両端に過電圧が発生する。この過電圧は継電器や接触器などの開閉器の接点にアークを発生させ、接点寿命を短くさせたり、他の回路に侵入し半導体を破壊させたりする。

第41図は単相回路での電流しゃ断の回路図で、スイッチ S で誘導負荷を開路する。

このしゃ断時の電流を i 、電圧を V_2 とすると、負荷側に蓄積されているエネルギー E は、 L_2 の電磁エネルギーと C_2 の静電エネルギーとの和として示され次式のようになる。

$$E = \frac{1}{2} L_2 i^2 + \frac{1}{2} C_2 V_2^2$$

抵抗 R_2 による減衰を無視すれば、最大発生電圧 $V_{2\max}$ は、このエネルギーが全部静電エネルギーに変換したときで、その値は次式のように表される。

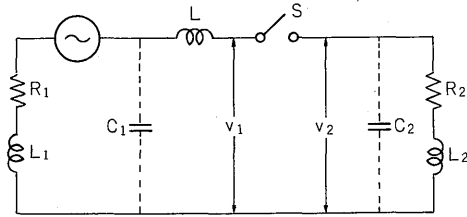
$$\frac{1}{2} C_2 V_{2\max}^2 = \frac{1}{2} L_2 i^2 + \frac{1}{2} C_2 V_2^2$$

$$V_{2\max} = \sqrt{V_2^2 + \frac{L_2}{C_2} i^2}$$

同様に、電源側端子の最大電圧 $V_{1\max}$ は

$$V_{1\max} = \sqrt{V_1^2 + \frac{L_1}{C_1} i^2}$$

となる。一般的には $V^2 \ll \frac{L}{C} i^2$ であるので、負荷側の過



第 41 図 電流しゃ断回路

Fig. 41. Switching circuit

電圧は、

$$V_{2\max} \doteq i \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}$$

で示される。この時の振動周波数 f_1 、 f_2 は次式で表される。

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}, \quad f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

2) 開閉サージへの適用

(1) 変圧器の無負荷しゃ断

無負荷で運転している変圧器をしゃ断すると過電圧が発生し、その大きさはしゃ断瞬時における変圧器の励磁電流の大きさに関係する。その電流によるエネルギーをゼットラップで吸収することによって過電圧はゼットラップの制限電圧に抑制される。また最悪のケースとして励磁電流が最大値になったときしゃ断が開始されたと考える。しかし、大電流をしゃ断器でしゃ断することはないので、適用するしゃ断器との見合いが必要である。なお、しゃ断器のしゃ断電流の最大値は真空開閉器で 5 A、真空しゃ断器で 10 A と考えればよい。二次側にゼットラップを設置した場合、一次側でしゃ断したときの電流を巻数比で二次側に換算した電流がゼットラップに流れると考える。

励磁電流は第42図のように正弦波でないため、その波高値は実効値の約 2.4 倍の大きさになる。その値は式(3)から計算される。

$$I_0 = 2.4 \cdot \frac{\epsilon}{100} \cdot I_N \dots\dots\dots(3)$$

I_0 : 励磁電流の波高値 (A)

ϵ : 定格電流に対する無負荷電流の割合 (%)

I_N : 変圧器定格電流 (A)

また、変圧器の励磁エネルギーは式(4)、(5)によって計算される。

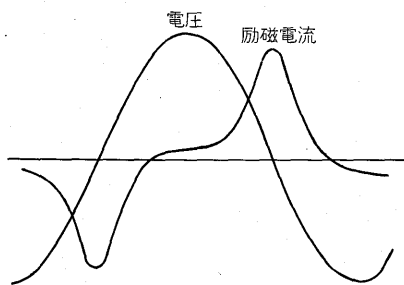
単相変圧器の場合：

$$W_{Tr} = \frac{10 P_\epsilon}{\omega} \dots\dots\dots(4)$$

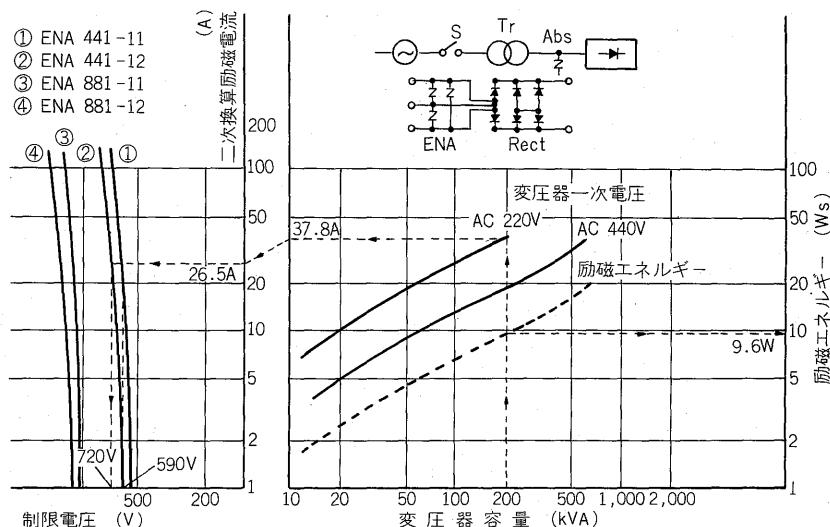
三相変圧器の場合：

$$W_{Tr} = \frac{5 P_\epsilon}{\omega} \dots\dots\dots(5)$$

W_{Tr} : 変圧器の励磁エネルギー (Ws)



第42図 電圧に対する励磁電流波形
Fig. 42. Oscillogram of voltage vs. exciting current for transformer



第43図 変圧器容量と制限電圧の関係
Fig. 43. Relation of transformer capacity and residual vantage

第5表 変圧器適用表
Table 5. Application of transformers

ゼットラップ	適用可能な変圧器容量
ENA 441-11, -12, -92, -94 ENA 521-11, -12	200kVA 以下
ENA 781-12 ENA 881-11, -12 ENA 981-12	600kVA 以下

ω : 角周波数 = $2\pi f$

P : 変圧器定格容量 (kVA)

一般にしゃ断に際して、このエネルギーは50%以上しゃ断時のアークによって消費される。したがって、アークが切られた時に回路がもっているエネルギーは電流の二乗に比例するから、その時の電流値は式(3)の70%となる。

これよりゼットラップはこの電流値〔式(3)の70%値〕における制限電圧が仕様を満足し、かつゼットラップのエネルギー吸収量が式(4)、(5)の50%以上あるものを選ぶ必要がある。

第43図右のグラフは、当社の変圧器に関する変圧器容量と励磁エネルギーおよび二次に換算した励磁電流の関係を示し、同図左のグラフにはゼットラップの制限電圧特性が示されている。

このグラフの適用は、変圧器容量に相当する電流の波高値を右グラフから読みとり、その電流の70%に相当する電流を左グラフに移し、その時の制限電圧が保護すべき機器の耐圧以内にあるかをチェックする。たとえば二次電圧 220 V, 3 ϕ , 200kVA の変圧器にゼットラップを使用した場合、制限電圧は鎖線矢印 (-----) のようにたどり、ENA 441-11 または、ENA 441-12 を適用し

た場合、それぞれ 590 V 以下または 720 V 以下になる。

変圧器の容量からゼットラップを選定しようとする場合には、変圧器の機種により励磁電流の割合が多少異なることがある。この点を考慮すると下記のような選定となる。この結果は第17図の繰り返し最大電流特性（デューティサイクル0.01%）から求めた吸収エネルギー量で適用している。

〈計算例〉 三相油入変圧器の二次側に接続する場合
変圧器

周波数： $f = 50\text{Hz}$

定格容量： $P = 200\text{kVA}$

二次電圧： $V_s = 220\text{Vrms}$

励磁電流： $\epsilon = 3\%$

二次側に換算した励磁電流波高値は式(3)から、

$$I_0 = 2.4 \frac{\epsilon}{100} I_N = 2.4 \times \frac{3}{100} \times \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} \div 37.8\text{A}$$

$$0.7 I_0 = 0.7 \times 37.8 = 26.5\text{A}$$

この電流値に対する制限電圧は第7図から ENA 441-11 では 590 V 以下、ENA 441-12 では 720 V 以下となる。

次に変圧器の励磁エネルギーは、式(5)から

$$W_{Tr} = \frac{5 P \epsilon}{\omega} = \frac{5 \times 200 \times 3}{2 \pi \times 50} = 9.6\text{Ws}$$

$$0.5 W_{Tr} = 0.5 \times 9.6 = 4.8\text{Ws}$$

また第17図の繰り返し最大電流特性より、ゼットラップ ENA 441-11, ENA 441-12 の吸収エネルギーを次の条件で計算してみる。

放電電流 = 10A

パルス幅 = 2ms

デューティサイクル = 0.01% (放電間隔 = 20秒)

ここで放電電流10A時の制限電圧を約 600 V とすると、
吸収エネルギー = $10(\text{A}) \times 600(\text{V}) \times 2(\text{ms}) = 12\text{Ws}$

ゆえに ENA 441-11 あるいは ENA 441-12 は使用ひん度、吸収エネルギーとも使用条件を満足できる素子である。

(2) 電磁継電器への適用

一般に継電器、接触器、電磁クラッチなどのインダクタンスを含む回路の電流を切断すると、過電圧として電源電圧の数十倍の電圧が発生し、その値は、数千Vにも達することがある。また、過電圧によって接点間にアーク放電や火花放電が発生し、接点を消耗させ電氣的寿命($10^6 \sim 10^7$ 回)を縮めている。そのほか他の電子機器へ雑音として伝わることもある。このような場合、ゼットラップを電磁コイルまたは接点に並列接続し、蓄積されたエネルギーを吸収することによって過電圧を抑制し、また接点を保護することができる。この場合、ゼットラップと被保護機器との寿命の協調が必要である。ゼットラップの寿命については、第13図の2ms<形波電流耐量特性から判断することができる。

ゼットラップの接続方法としては、

- コイルに並行に接続する方法(第44図)
- 接点に並列に接続する方法(第45図)

の二つの方法がある。

ゼットラップの適用においては、第6表の特質を考慮して決定する。

第6表 電磁継電器への適用

Table 6. Application of relays

	コイルに並列に接続する場合	接点に並列に接続する場合
接点間の異常電圧制限値	ゼットラップの制限電圧+電源電圧	ゼットラップの制限電圧
ゼットラップの吸収すべきエネルギー	コイルの蓄積エネルギー	1.2×コイルの蓄積エネルギー
接点間の絶縁	絶 縁	ゼットラップの漏れ電流により完全に絶縁されない

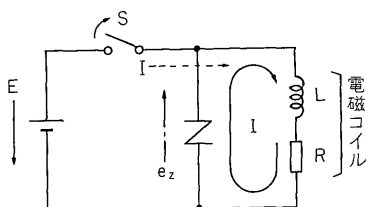
以下、参考のため第6表について説明する。

a) コイルに並列に接続する場合

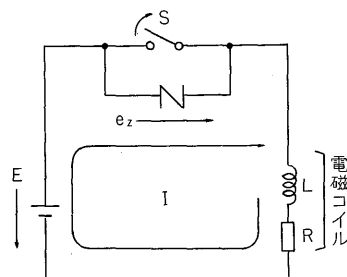
スイッチSが閉じている状態では、コイルの励磁電流($I = E/R$)が流れる。この場合、ゼットラップに流れる漏れ電流は無視する。スイッチSを開放すると、インダクタンスLの働きによりゼットラップに電流*i*が流れる。そして電流*i*は初期電流*I*より徐々に減衰していく。コイルの端子電圧は電流*i*に対するゼットラップの制限電圧 e_z に抑制され、またスイッチSの接点間の電圧は $E + e_z$ に抑えられる。

また、ゼットラップのエネルギー吸収量 W_z は、

$$W_z = \frac{1}{2} L I^2 - R \int_0^{t_0} i^2 dt$$



第44図 コイルに並列に接続する方法
Fig. 44. Parallel connection of Z-trap



第45図 接点に並列に接続する方法
Fig. 45. Series connection of Z-trap

t_0 : スイッチSが開かれ電流*i*が零になるまでのしや断時間

となる。ここで $\frac{1}{2} L I^2 = W_m$ とおくと、一般には、

$$W_z = (0.8 \sim 1) W_m$$

となる。適用上では余裕をみて、式(6)によって検討する。

$$W_z = W_m = \frac{1}{2} L I^2 \dots\dots\dots(6)$$

b) 接点に並列に接続する場合

スイッチSを開放すると、a)の場合と同様ゼットラップに電流*i*が流れる。スイッチSの接点間の電圧はゼットラップの制限電圧 e_z に抑制され、またコイルの端子電圧は $|E - e_z|$ となる。

この回路のエネルギー平衡を考えると次式のようなになる。

$$R \int_0^{t_0} i^2 dt + W_z - E \int_0^{t_0} i dt = \frac{1}{2} L I^2$$

ゼットラップのエネルギー吸収量 W_z は、 $\frac{1}{2} L I^2 = W_m$ とおくと、一般には、

$$W_z = (1 \sim 1.2) W_m$$

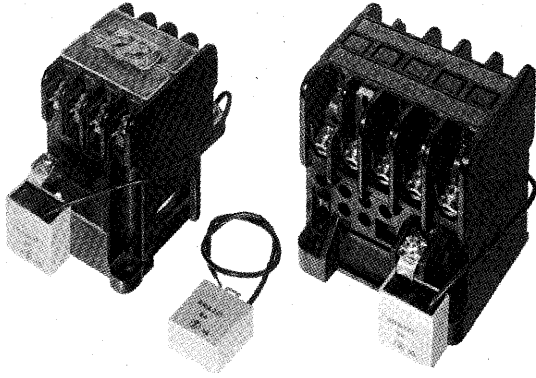
となる。適用上では余裕をみて、式(7)によって検討する。

$$W_z = 1.2 W_m \dots\dots\dots(7)$$

また、この場合の接続方法ではスイッチSを開放した定常状態においてもゼットラップによる漏れ電流が常時流れているため、完全に絶縁をとりたい場合は適用できないことになる。

ここで、一般的な使用ひん度に対する当社製品の適用を考えてみると、ゼットラップをコイルに並列に接続する場合も、コイルの接点に並列に接続する場合も、当社のミニコントロールリレー、コントロールリレー、補助継電器のすべてに適用できる。また電磁接触器(電磁開閉器)の場合は操作電圧により第7表のものに適用できる。特に ENA 000-94 形は、電磁継電器に適合するよう製作されている。

第46図は取付状態を示す。



第46図 リレーの保護

Fig. 46. Protection of relays

第7表 ゼットラップの電磁接触器適用表
Table 7. Application of relays

主回路	操作回路(V)	接 触 器 (開閉器)	適用ゼットラップ
A C	D C 24	SRCa3631-0/GS	E N A 650-11
		SR C 3631-5-1/GS	
		SR C 3631-2/GS	
		SR C 3631-2T/GS	
	D C 48	SRCa3631-0/GS	E N A 121-11
		SR C 3631-5-1/GS	
		SR C 3631-2/GS	
		SR C 3631-2T/GS	
	A C 24	SR C 3631-6/GS	E N A 650-11
		SR C 3631-8/GS	
D C	A C 100	SR C 3631-4T形	E N A 221-11, -12
	A C 110	(SR C 3931-4T形)以下	E N A 221-94 or E N A 281-11, -12
	A C 200	SR C 3631-10形	E N A 441-11, -12
	A C 220	(SR C 3931-10形)以下	E N A 441-94 or E N A 521-11, -12
	A C 24	K 916 II-2/W	E N A 650-11
	A C 100	K 916 II-2/W	E N A 221-11, -12
	A C 110		or E N A 281-11, -12
	A C 200	K 916 II-2/W	E N A 441-11, -12
	A C 220	K 916 II-4/W	or E N A 521-11, -12

〈計算例〉 直流電磁接触器のコイルに並列接続する場合

直流電磁接触器 SRC 3631-5-1 GS

電磁コイル

入力電圧: $V = DC 24 V$

定格容量: $P = 11 W$

時定数: $T = 5.5 ms$

使用電圧 DC 24Vより, E N A 850-11 (DC 24 V用)に

ついて検討する。

励磁電流 I は,

$$I = \frac{P}{V} = \frac{11}{24} \div 0.46 A$$

電磁コイルの抵抗 R およびインダクタンス L は,

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{24^2}{11} \div 52.3 \Omega$$

$$L = T \cdot R = 5.5 \times 10^{-3} \times 52.3 \div 0.288 H$$

ゼットラップのエネルギー吸収量 W_z は, 式(6)から,

$$W_z = W_m = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 0.288 \times (0.46)^2 = 0.0304 Ws$$

となる。

この場合の接点間の電圧は電源電圧 24 V と放電電流 0.46 A に対する E N A 650-11 の制限電圧 110 V (第6図参照) との和になり, 140 V 前後に制限される。

ここで制限電圧を 110 V とし, 放電電流をく形波電流に換算したときパルス幅 T_1 を求める。

$$T_1 = \frac{W_z}{I \times V} = \frac{0.0304}{0.46 \times 110} \div 0.0006 s$$

また, 第17図の繰り返し最大電流特性から放電電流 0.46 A 時のデューティサイクルを求めると約0.13%になる。

これより1秒間に対するサージの吸収ひん度 N は,

$$N = \frac{1}{T_2} = \frac{\text{デューティサイクル}}{T_1} = \frac{0.0013}{0.0006} \div 2.17 \text{回}$$

となる。ただし T_2 は繰り返し周期である。

ゆえに, ゼットラップ E N A 650-11 は平均的な開閉ひん度が2.2回/sまでの使用に適用することができる。

4. 半導体 (ダイオード, サイリスタ等) の保護

1) 半導体の保護

電子回路等で特に電源の整流制御用の半導体を雷および開閉サージから保護する場合は第47図のいずれかの方式を採用すればよい。

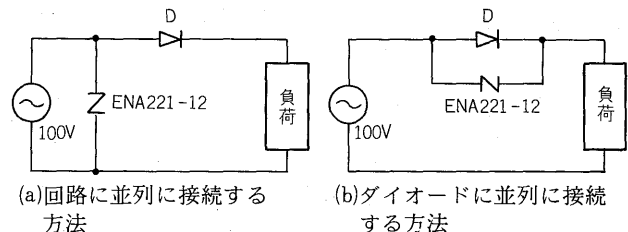
その場合半導体の特性とゼットラップの制限電圧については,

繰り返し逆電圧: $V_{RRM} > \text{ゼットラップ制限電圧} \dots (8)$

非繰り返し逆電圧: $V_{RSM} > \text{ゼットラップ制限電圧} \dots (9)$

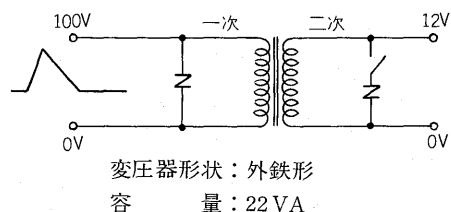
の関係ならばよい。

特に, 雷については式(9)の関係であればよい。



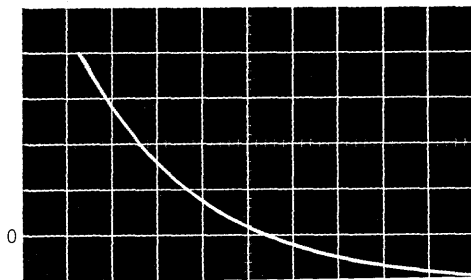
第47図 ダイオードの保護

Fig. 47. Protection diode



第48図 変圧器にゼットラップ適用

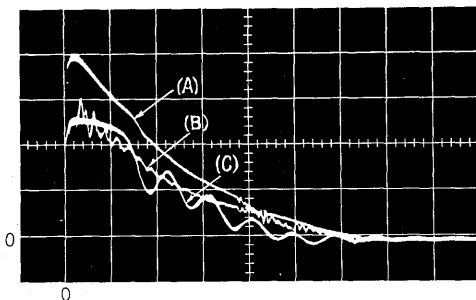
Fig. 48. Application for transformer



印加電圧原波形 $1 \times 40 \mu s$ 波
ピーク電圧 10kV
2,000 V/div 20 μs /div

第49図 印加波形

Fig. 49. Impulse waveform $1 \times 40 \mu s$



一次側 ENA221-12の接続による電圧抑制波形…(A)
100V/div 20 μs /div
二次側 保護素子なし ……………(B)
100V/div 20 μs /div
ENA400-11の接続による電圧抑制波形…(C)
20V/div 20 μs /div

第50図 出力波形

Fig. 50. Oscillogram of transformer

(2) トランスの二次側の半導体の保護

電子回路等で電源回路がトランスで降圧され、その比が特に大きい場合には、第48図の方式を採用すればよい。

第48図のトランスに、第49図のオシログラムの衝撃電圧を印加した時、トランスの二次側にゼットラップをそう入した場合としない場合の二次側出力を第50図に示す。

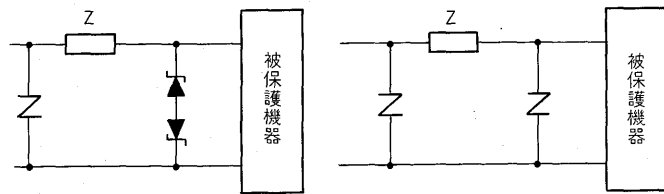
これはトランスの一次側と二次側の静電容量を通して結合されているため、一次側の電圧がそのまま二次側に出てしまう小形のトランスでは特に注意を要する。

5. その他の問題点

1) 特に低い制限電圧が要求されるとき保護

電子回路などでゼットラップをそう入した後もなおサージ電圧が高過ぎる場合、あるいはサージインピーダンスが低い場合には、第51図(a), (b)いずれかの方式を採用すればよい。付加インピーダンスをZとして、具体的にはRまたはLが考えられるが、許される範囲でRの方が望ましい。Lを使用する場合には、浮遊容量Cによる過渡振動電圧や開閉サージなどの緩波頭波の透過についての検討が必要となる。

サージ源に近い部分にそう入するゼットラップは、電流耐量の大きなものを使用し、被保護機器側のツェナダイオードまたは、ゼットラップは電源電圧に近いものを

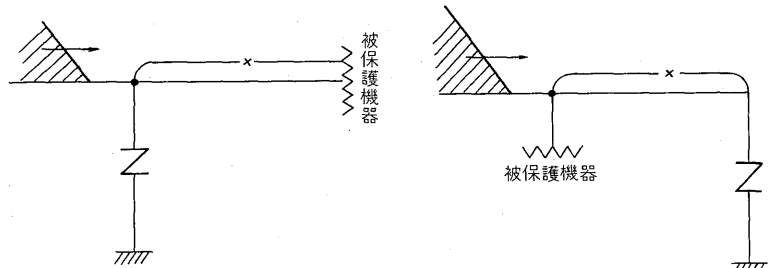


(a) 単相の場合

(b) 三相の場合

第51図 低制限電圧用回路

Fig. 51. Low-power circuit



(a) 単相の場合

(b) 三相の場合

第52図 ゼットラップを用いた基本保護回路

Fig. 52. Fundamental connection of Z-trap

使用する。さらに、直列インピーダンスZは、定常回路電流に影響を与えない値を選ばばよい。

2) 被保護機器との距離

ゼットラップと被保護機器との間に距離X(m)が存在すると被保護機器側では、ゼットラップの制限電圧 e_z に対し電圧上昇が発生する。第52図(a), (b)の場合、侵入波を三角波とすれば被保護機器にかかる電圧 e_t は式(10)で与えられる。ただし被保護機器の対地容量を無視し、侵入サージ電圧は無限遠から襲来したものと仮定する。

$$e_t = e_z + 2\mu \cdot \frac{X}{V} (\text{kV}) \leq 2e_z \quad (10)$$

V: サージの進行速度 (架空線の時 300m/s)

μ : 侵入波の波頭峻度 (kV/ μs)

低压回路を考えて $\mu = 10 \text{ kV}/\mu s$ とした場合67V/mの電圧上昇が存在する。低压回路では電圧裕度が少ないのでゼットラップと被保護機器とはできるだけ直結させることが望ましい。

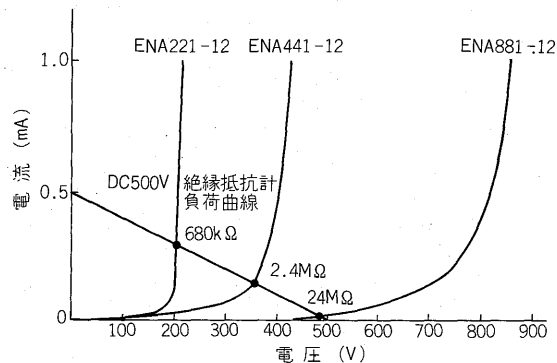
3) ゼットラップのリードの線長

急峻波電流がゼットラップに流れる時は、そのリード線がインダクタンスとして作動し、 $L \frac{di_z}{dt}$ の電圧が加算されるので、リード線長は極力短くする必要がある。低压回路では特にこのことに留意すべきである。

4) 対アース間への接続

雷サージ吸収用、つまり避雷器として使用する場合には、ゼットラップを対アース間に接続し適用する。この場合、接地抵抗はできるだけ小さくし、雷サージ電流による電位上昇を極力抑えることが必要である。

また通信機器などでは、回路の絶縁性をチェックする



第53図 メガテストにおける Z-trap の動作抵抗
Fig. 53. Relation of megger voltage and Z-trap dynamic characteristics

ためメガテスト（直流印加による絶縁抵抗試験）が行われる。この時、試験電圧が V_{1mA} より大きいとメガテストの際、絶縁劣化と間違われるので、絶縁抵抗試験のときは素子を取りはずすか、あるいは V_{1mA} を試験電圧より高い素子を適用しなければならない。たとえば 500 V メガテストが行われる回路には、ENA 881-11, 12 あるいは、ENA 981-12 を選定する必要がある。この場合の絶縁抵抗は 25MΩ 以上となる。

第53図は、メガ電圧と絶縁の状態を示す。

電気機器において数種の電源を使用する場合、アースの配線により対アース間に高い電圧が発生（混触）することがあるので注意を要する。

第8表 接地抵抗
Table 8. Earthing resistance

接地工事の種類	接地抵抗値
第1種接地工事	10Ω
第2種接地工事	変圧器の高圧側または特別高圧側の電路の1線地絡電流のアンペア数で150を除いた値に等しいオーム数。
第3種接地工事	
特別第3種接地工事	10Ω

第8表は、各種の接地抵抗を示す。

特に2種接地の場合、線間電圧が 100 V であっても、対アース間電圧として 150 V 程度の実効値電圧が出る可能性があるので、ENA 441-12 あるいは ENA 881-12 を選定する必要がある。

5) ゼットラップの直並列接続

適用上、使用回路電圧が標準品としてない場合には、ゼットラップの直列接続が考えられる。ゼットラップの直列接続は原理的には何素子接続しても問題ないが、個数が増えるとそれだけ信頼性が低下するので極力直列数を抑えるよう配慮する必要がある。この場合、接続数の最大許容回路電圧は直流電圧、交流電圧とも、それぞれの最大許容回路電圧の和となり、また衝撃放電耐量は接

続素子中の最小値となる。

サージ電流を非常に大きく想定した場合の適用としてゼットラップの並列接続が考えられる。この場合、ゼットラップに多少のばらつきがあるため素子中の電流分担が問題となり、並列数により合成電流を低減しなければならない。この時の合成電流は次式のように表される。

$$I_0 = [1 + \eta(N-1)]I$$

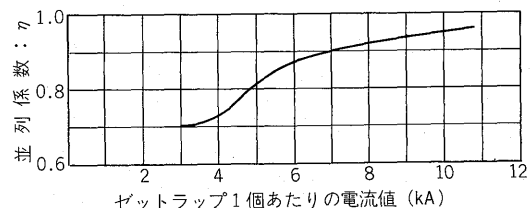
I_0 : 合成電流

I : ゼットラップ1個の電流

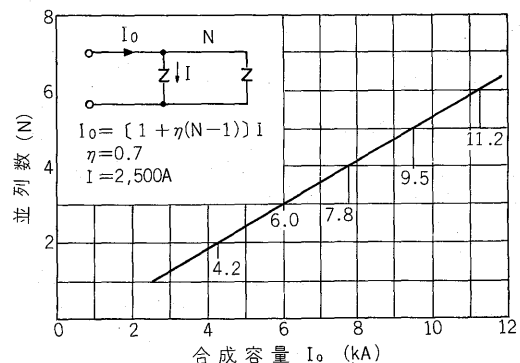
N : 並列数

η : 並列係数

ここで並列係数 η は、第54図のようにゼットラップ1個あたりの吸収電流に対して与えられている。並列数に対する電流耐量は、並列数 $\eta = 0.7$ として計算すると第55図のような値となる。



第54図 ゼットラップの並列係数
Fig. 54. Parallel coefficient



第55図 ゼットラップの合成容量 (AC用素子)
Fig. 55. Capacity of Z-trap

VII. 応用例

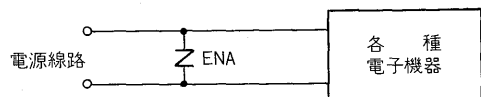
1. 基本回路

1) 雷サージ保護

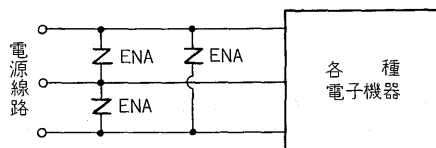
- (1) 電源線路間に誘起する場合 (第56図)
- (2) 電源線路ーアース間に誘起する場合 (第57図)
- (3) 電源線路間、対アース間に誘起する場合 (第58図)
- (4) 電源側および負荷側より誘起する場合 (第59図)

2) 開閉サージ保護

- (1) 直流電源側に誘起するサージの吸収 (第60図)
- (2) 三相誘導電動機の場合 (第61図)
- (3) リレー、接点、コイルの保護 (第62図)
- (4) 半導体の保護 (第63図)



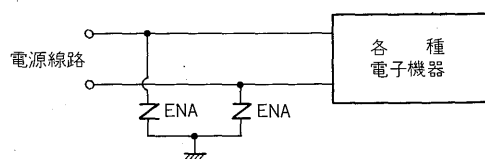
(a) 単相の場合



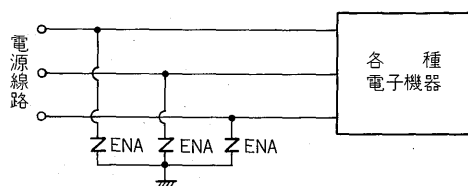
(b) 三相の場合

第56図 電源線路間に誘起する場合

Fig. 56. Absorption of surge between lines



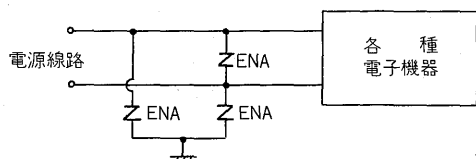
(a) 単相の場合



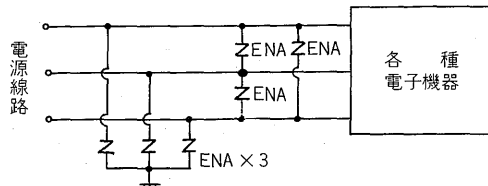
(b) 三相の場合

第57図 電源線路-アース間に誘起する場合

Fig. 57. Absorption of surge between line and earth



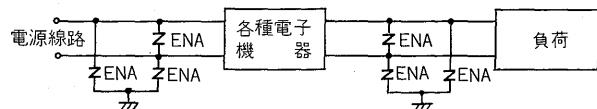
(a) 単相の場合



(b) 三相の場合

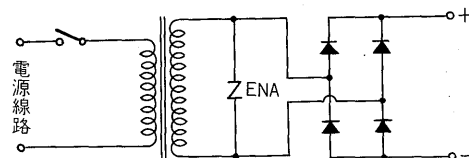
第58図 電源線路間, 対アース間に誘起する場合

Fig. 58. Absorption of surge between lines, and between line and earth

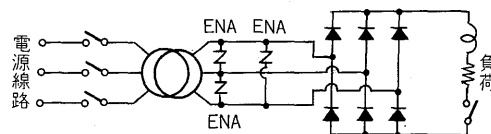


第59図 電源側および負荷側から誘起する場合

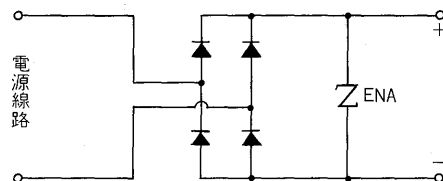
Fig. 59. Absorption of surge between source and load



(a) 単相ブリッジ整流回路の場合



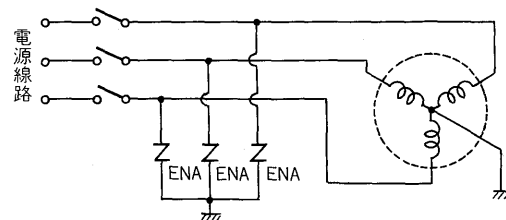
(b) 三相ブリッジ整流回路の場合



(c) 直流電源側に誘起するサージの吸収

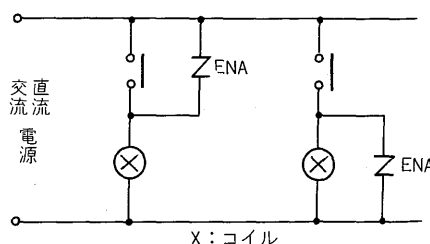
第60図 直流電源側に誘起するサージの吸収

Fig. 60. D C circuit



第61図 三相誘導電動機の場合

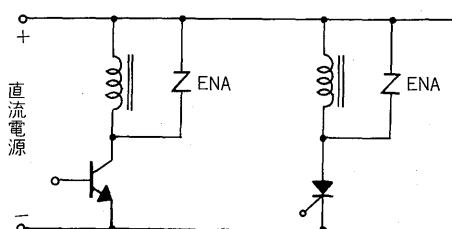
Fig. 61. Three-phase induction motor



X: コイル

第62図 リレーの接点, コイルの保護

Fig. 62. Protection of relays (contact, coil)

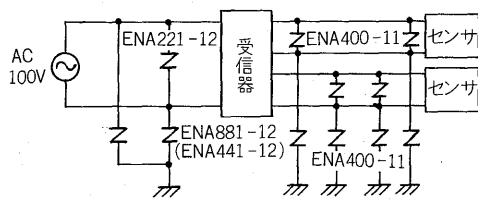


第63図 半導体素子の保護

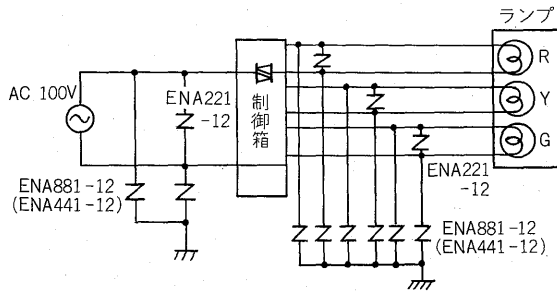
Fig. 63. Protection of semiconductors

2. 具体的な吸収例 (参考)

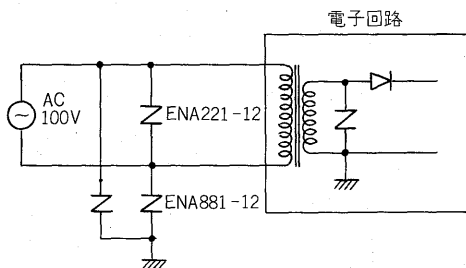
- (1) 火災報知システム (第64図)
- (2) 信号機 (第65図)
- (3) 石油ストーブ, バーナ, ボイラ (第66図)
- (4) リモートバルブ開閉制御装置 (第67図)
- (5) 漏電ブレーカ (第68図)
- (6) TV の共聴用ブースタ増幅器 (第69図)
- (7) 散水装置 (第70図)
- (8) 自動販売機 (第71図)



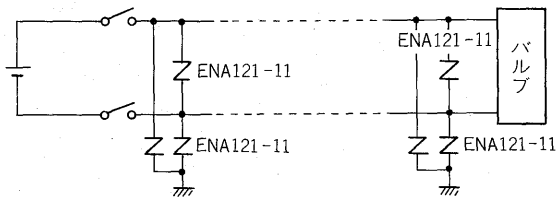
第64図 火災報知システム
Fig. 64. Fire alarm



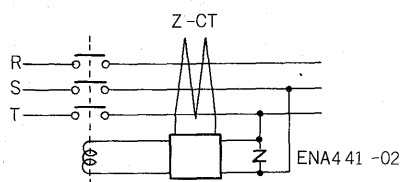
第65図 信号機
Fig. 65. Traffic signal equipment



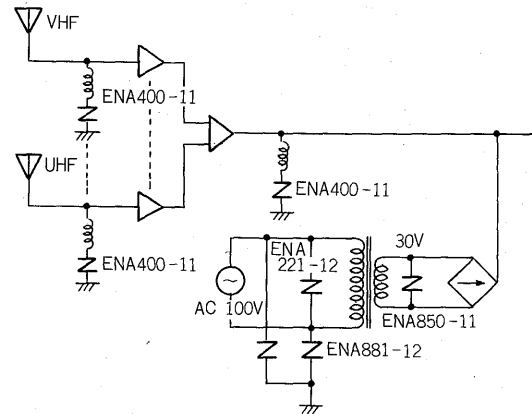
第66図 石油ストーブ、バーナ、ボイラ
Fig. 66. Burner controller



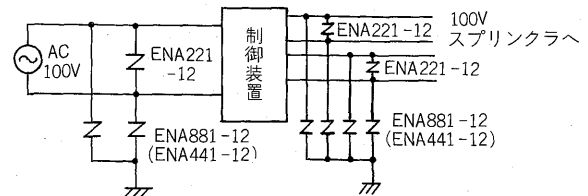
第67図 リモートバルブ開閉制御装置
Fig. 67. Magnetic valve control



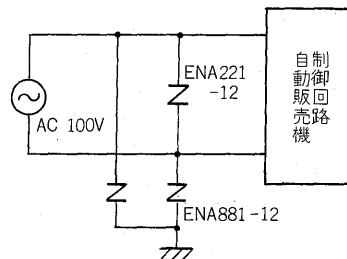
第68図 漏電ブレーカ
Fig. 68. Leakage current detector



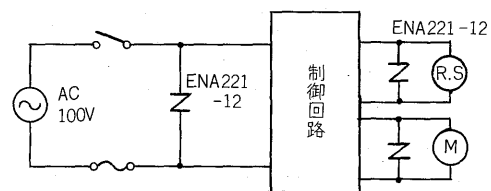
第69図 TVの共聴用ブースタ増幅器
Fig. 69. CATV amplifier



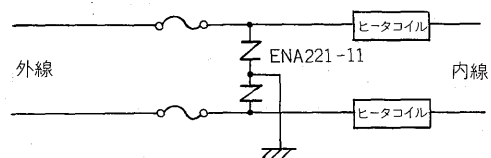
第70図 散水装置
Fig. 70. Sprinkler equipment



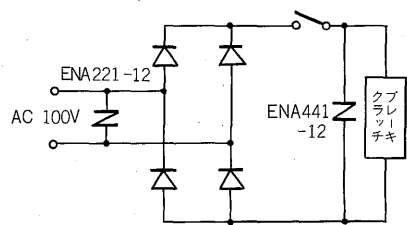
第71図 自動販売機
Fig. 71. Vending machine



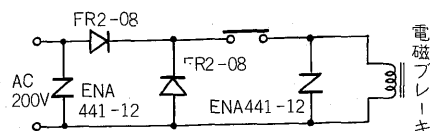
第72図 複写機
Fig. 72. Copier machine



第73図 有線放送
Fig. 73. Telephone line

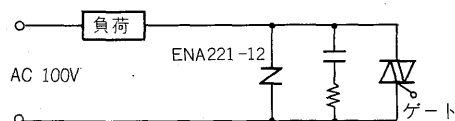


(a)

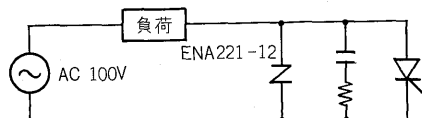


(b)

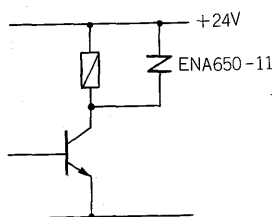
第74図 電磁ブレーキおよびクラッチ
Fig. 74. Magnetic brake and clutch



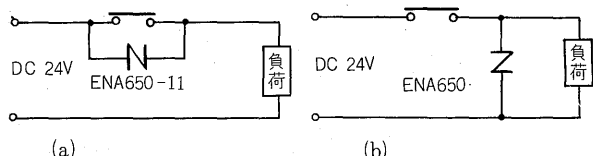
第75図 トライアック保護
Fig. 75. Triac



第76図 サイリスタ保護
Fig. 76. Thyristor



第77図 リレーサージ吸収
Fig. 77. Relay coil



第78図 リレー接点保護
Fig. 78. Contact point of relay

VIII. 使用上の注意

- (1) 最大許容回路電圧以上の電圧を絶対に印加しない。
- (2) 保護する機器の耐圧から制限電圧を選定する。

さらに制限電圧を低くする必要がある場合、たとえば、線路で発生するサージ電圧を吸収させるときは線路のサージインピーダンスにさらにインピーダンスを付加し、実質的に線路インピーダンスを大きくする必要がある。〔VI章4の1)と5の1)〕

- (3) 機器の絶縁抵抗試験では、メガテスト（直流印加による絶縁抵抗試験）電圧と素子の漏れ電流の関係に注意しないと絶縁抵抗の劣化と見間違えることがある。

〔VI章5の4)〕

- (4) サージ耐量を大幅に超える過大なサージが侵入した場合、短絡または破損することがある。その対策としてヒューズの直列接続があり、ENA221-12系列には当社ヒューズBLAO20または20Aのヒューズを使用する。またELA221-02系列には、BLAO10または10Aのヒューズを使用する。

- (5) サイリスタ、トライアックなどを併用する転流用コンデンサの代用としては使用できない場合がある。ただし、過電圧防止用として、コンデンサと並列にゼットラップを使用することは有効である。

- (6) ゼットラップは、周波数成分を低減させるノイズフィルタ用としては効果がないが、LCまたはRCなどと併用することによりフィルタ効果を高めることができる。

- (7) 使用温度範囲は厳守する。発熱体の近傍での使用は避ける

- (8) シンナ、アセトンなどの有機溶剤がかかったり、蒸気の出る所での使用は避ける。

- (9) 直接風雨にさらされる場所での使用は避ける。

- (10) 耐振性、耐衝撃性はすぐれているが、セラミックを使用しているため、十分注意する。

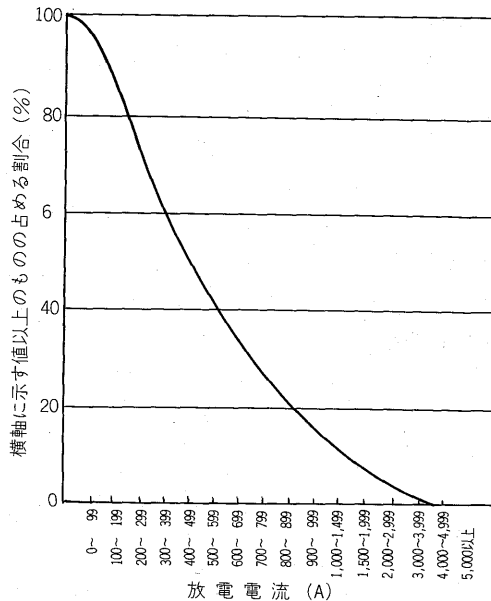
- (11) 保安素子であるので数年後には取替えを考慮する必要がある。

IX. 雷サージの大きさ

雷サージ吸収のためにゼットラップを用いる場合に、雷サージの大きさを知る必要がある。これに関して、電気学会雷害調査委員会でもとめた報告書「低圧制御回路の雷害事故調査報告」(全国の主要発電所を調査対象に、10年間にわたって低圧制御回路の雷害事故の実態について調査)から引用すると、次のようである。

雷サージ電流の大きさは、第79図から約80%が800A以内であることがわかる。また低圧回路の雷サージ電圧の大きさは、第9表からmax 5,750Vで第10表から99.9%は4,500V以下であることがわかる。

- (9) 複写器 (第72図)
- (10) 有線電話 (第73図)
- (11) 電磁ブレーキおよびクラッチ (第74図)
- (12) トライアック保護 (第75図)
- (13) サイリスタ保護 (第76図)
- (14) リレーサージ吸収 (第77図)
- (15) リレー接点保護 (第78図)



第79図 避雷器放電電流の累積百分率
Fig. 79. Values of lightning surge

1. 雷サージ電流

低圧回路に関する雷害事故の統計結果

対象期間：昭和30～39年……10か年

発電所：1,707 か所

・避雷器放電電流記録………7,085 件

・低圧回路事故件数………62 件

このうち 10 件だけ避雷器放電の記録がある (300 ～ 2,200 A)。

第79図は、10年間における発電所の避雷器放電電流記録 7,085 件の累積百分率である。

低圧回路ではこれらの電流値に対して著しく減少し、波形も緩慢となってくる。

2. 低圧制御回路の雷サージ電圧

低電圧制御回路の雷サージ波高値は、機器側 (屋外)、配電盤側 (屋内) のインパルス電位上昇 (V/A) とそのひん度から概略を知ることができる。その値を第9表に示す。

低圧サージの波形は多くの場合、数十kHzの振動性である。

第9表 低圧制御回路の最大級雷サージ想定値
Table 9. Forecast of sarge values

	機 器 側(V)	配電盤側(V)
シースなしケーブル回路 (一般に154kV系統以下)	5,750	4,400
シース付ケーブル回路 (超高压系統)	2,000	2,000

注) (1) 154kV以下は5,000A, 超高压は10,000Aを想定した。

(2) シース付ケーブル回路 (超高压系統) の事故は、昭和30～39年の間の低圧回路事故件数には含まれていない。

第10表 サージ電圧の発生数
Table 10. Number of surge

観測箇所	50～ 200V (回)	200～ 500V (回)	500～ 2,000V (回)	2,000～ 4,500V (回)	4,500V 以上 (回)	合 計 (回)
DC P-E N-E	1,501	68	37	0	0	1,606
DC P-N	234	1	0	0	0	235
CT 二次-E	821	84	13	1	0	919
PD 二次-E	1,461	167	13	1	0	1,665
PD 三次-E	1,111	95	10	0	0	1,216

注) 北海道・九州電力を除く7電力における観測開始～昭和46年3月末までの合計を示す。

なお観測データとして変電所侵入サージの現地調査結果を第10表に示す。

X. あとがき

ソリッドステートのサージアブソーバ、アレスタはユーザのご意向により、さらに使いやすいものとして行く所存である。ゼットラップ (セラミックサージアブソーバ) の応用の一部を述べたがユーザ各位の今後の保護に対する方向付けのご参考となれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 難波・永沢・宮川・石井・向江・津田：酸化亜鉛ギャップレスアレスタ (富士ゼットラップ), 富士時報47, No. 5 (昭49)



＊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。