

日立遮断筒

加藤清次*

On "Hitachi Shadanto"

By Seiji Kato

Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The "Hitachi Shadanto" is a commercial name given to the power fuses of the current-limiting type made by Hitachi, Ltd., and their specifications are as follows:

Rated Voltage:	AC 3450 V
Rated Current:	5—200 A
Rated Rupturing Capacity:	250 MVA

Conveniently small in form……its remarkable characteristic features a great interrupting capacity, quick interruption and limiting actions which prevent the short-circuit current from reaching the maximum values. Therefore, the mechanical and electrical shocks, caused by the fault current, are limited to a minimum degree, with an assurance of a silent and flameless operation.

The current-limiting action is entirely due to the quick absorption and cooling effect of the vapourized metal, derived from the meltings of the fuse line by means of the quartz sand filler.

The quartz sand is formed into a hard mass, which looks like a pumice stone, through the use of a special cohesive agent. This is one of the most important features of the Hitachi "Shadanto", and gives assurance of the simplicity and uniformity in the construction of this device. The interrupting capacity which is the vital point of the power fuse has been tested several hundred times in works and fields, and certified as to its prominent characteristic. For every 3,000 Volt circuit, the Hitachi "Shadanto" can be used with much reliability, because of the high interrupting capacity. Therefore, it is recommended that whenever the interrupting capacity of the oil circuit breaker does not meet the requirements, it be replaced with the Hitachi "Shadanto". This Hitachi "Shadanto" is also an economical setup if a new electrical installation is to be considered—to adopt a small switch to be used in combination with the Hitachi "Shadanto" instead of the traditional circuit breakers of large rupturing capacities.

The author describes in this report the construction, original principle, testing data, application, and other features of the Hitachi "Shadanto".

〔I〕 緒 言

日立遮断筒とは、日立密閉限流型ヒューズに對して與えた名稱であつて、その特長は小型で遮断容量大きく、電流遮断の過程が一般電力ヒューズと本質的な相違があることである。即ち現在一般の電力ヒューズは主として

放出型、引込型またはその混合型であつて、その電弧遮断は電弧自身のエネルギーによつて遮断媒質を氣化し、その分解ガスと金屬蒸氣の混合したものを吹付けて行うものであつて、故障電流の最大値を経過した後消弧し易い電流零値を待つて遮断されるのであるが、日立遮断筒に於ては故障電流の最大値に達する前にヒューズ線の熔断點を最高點として以後短い電弧時間で電流を低く制限しつゝ遮断完了するのである。即ち故障電流を回路固有

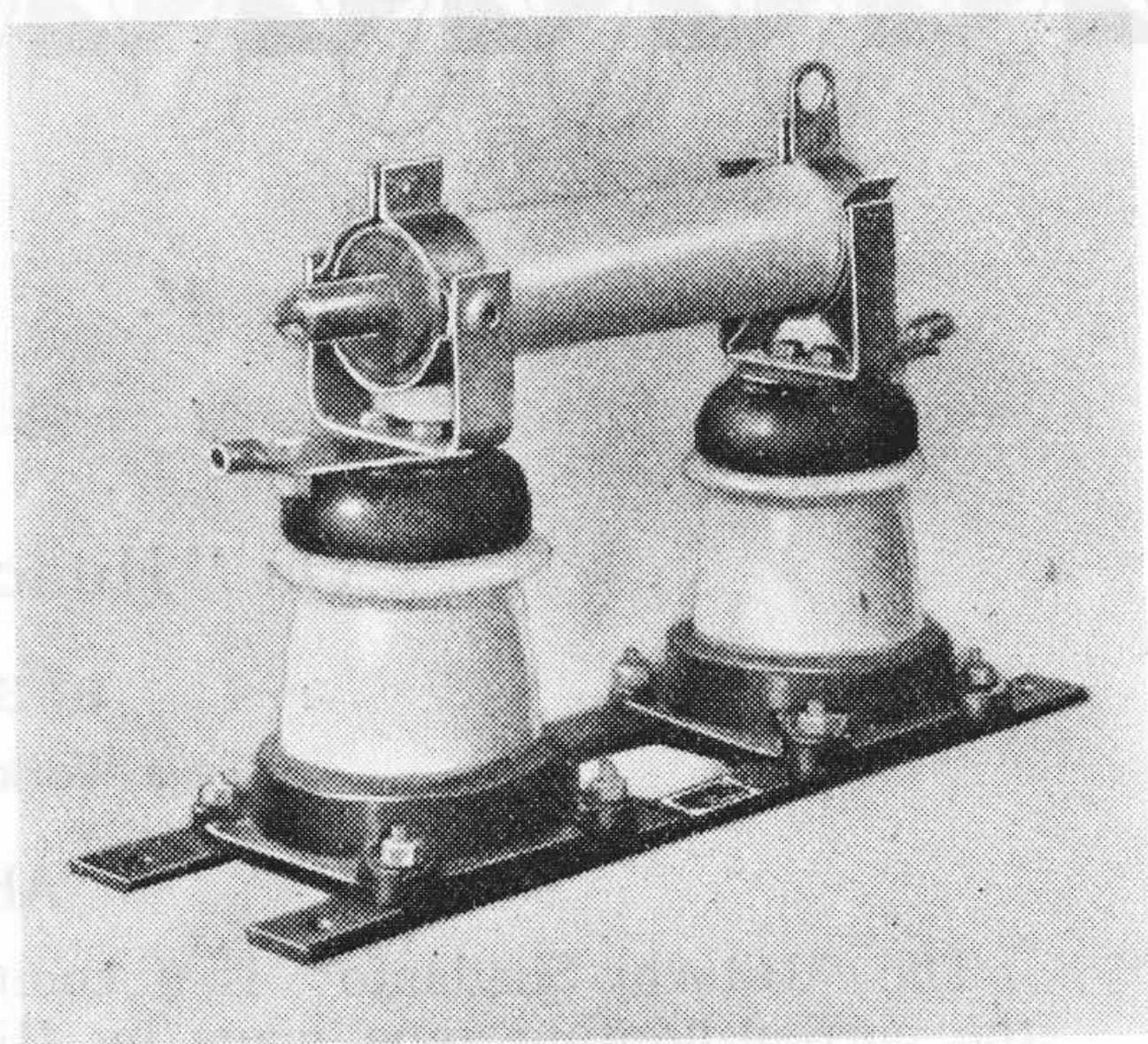
* 日立製作所多賀工場

の値より低く制限するのである。日立遮断筒は石英粒の如く電弧にふれても分解ガスを発生せず且熱傳導度の高いものを充填材として使用しているが、故障電流を低く制限する特性は、この充填材によりヒューズ線の氣化した金屬蒸氣を急冷することによつて生ずるのである。この點が從來の電力ヒューズと本質的に相違する重要な點であつて、電流制限によつて發生エネルギーが小となり内壓の上昇も過度にならぬので、小型で、しかも遮断容量の大きなものが得られるのである。

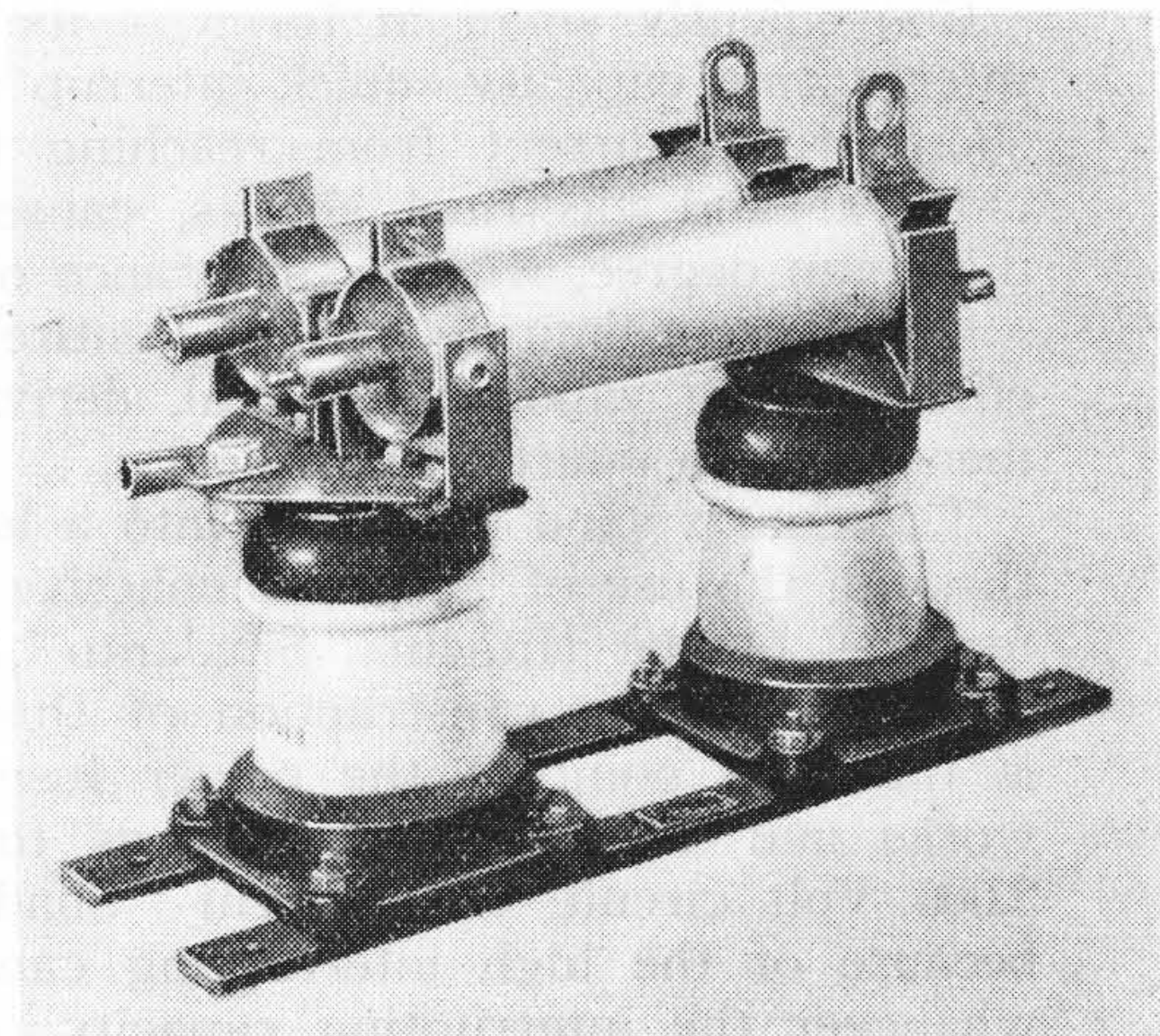
日立製作所に於ては從來定格電流 60A 以下のものを製作して廣く各方面に使用されて來たが、市場の要求が更に大電流のものに多くなつたので、100A 及び 200A のものを試作研究して製品化するに至つた。また、これも日立遮断筒の特長の一つであるが、動作に當つて發火、發煙等の現象もなく、音も出さず、動作後も外觀的には何の變化も示さぬため使用者としては外部より簡単に見分けられる表示装置があれば便利なので、この點かねて要望されていたが、この表示装置も遮断電流の大小に關係なく確實に表示するものを附加するに至つた。

〔II〕 構造及び動作原理

第 1 圖は定格電流 40~100A のもので第 2 圖は 200A のものである。定格電流 5~30A のものは第 1 圖と同様な構造であるが筒の細いものを使用している。圖の如く遮断筒部分と支持碍子とからなり、斷路器のようにフック棒で開閉するようになつている。200A のものは 100A ユニットの遮断筒を 2 本並列にした構造である。こゝで並列にされた遮断筒を流れる電流のバランスを考慮する必要があるので、數個の試料に就き電壓降下を測定した結果、遮断筒の電壓降下は同一であり、並列使用で差支えないことが示された。接觸部に就いても同様で、接觸抵抗による電壓降下が不同にならぬよう、また酸化に對しても強化されている。遮断筒は第 3 圖の如く、碍子の兩端に固定されたキャップ間にヒューズ線を張り石英粒を充填して密封したもので、極めて簡単なものである。充填材の石英粒は遮断性能に直接大きな影響があるので高品位のものを適當の粒子に撰別して使用し、充填には



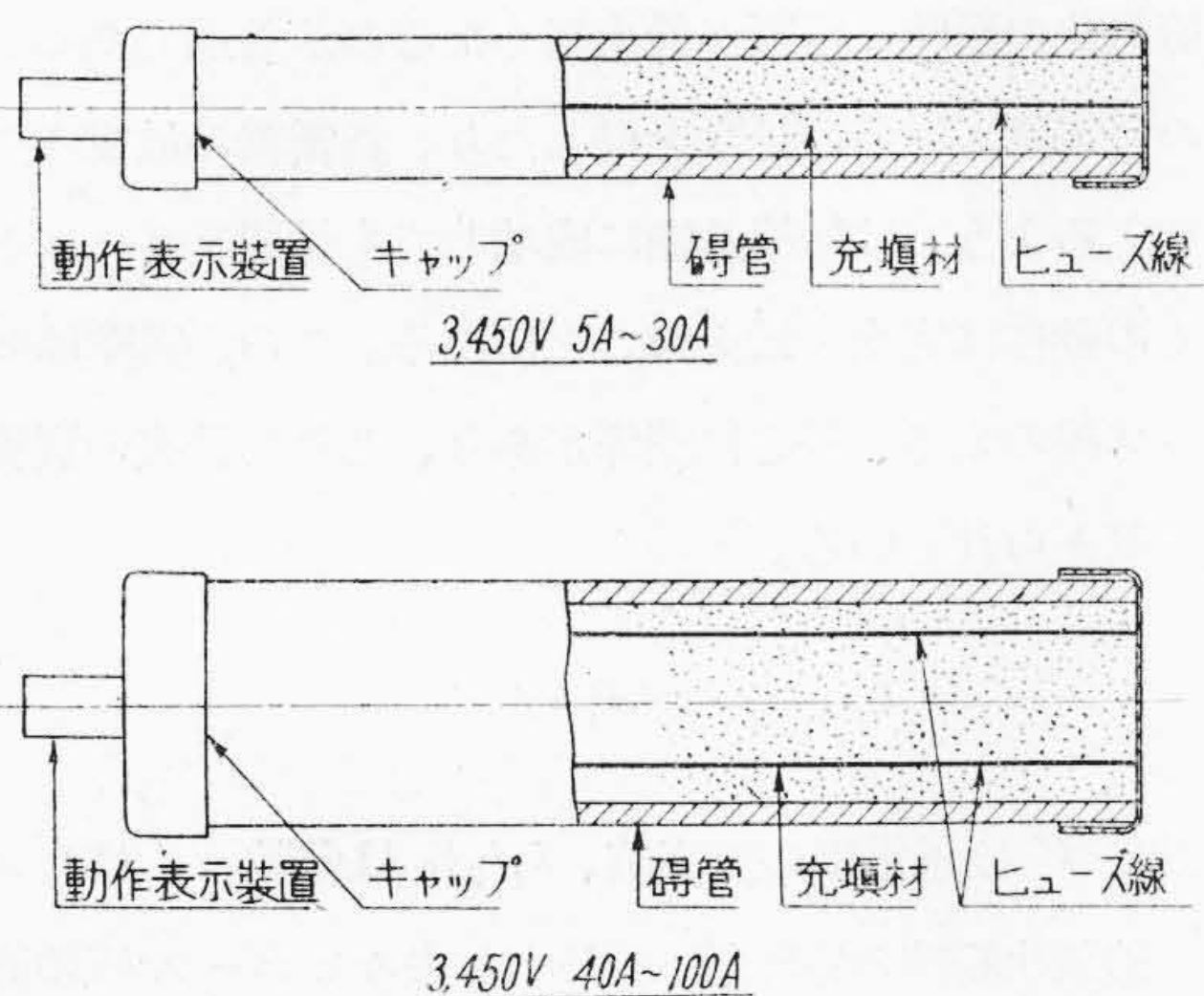
第 1 圖 3,450V 40~100A 日立遮断筒
Fig. 1 3,450V 40~100A Hitachi Shadanto



第 2 圖 3,450V 200A 日立遮断筒
Fig. 2 3,450V 200A Hitachi Shadanto

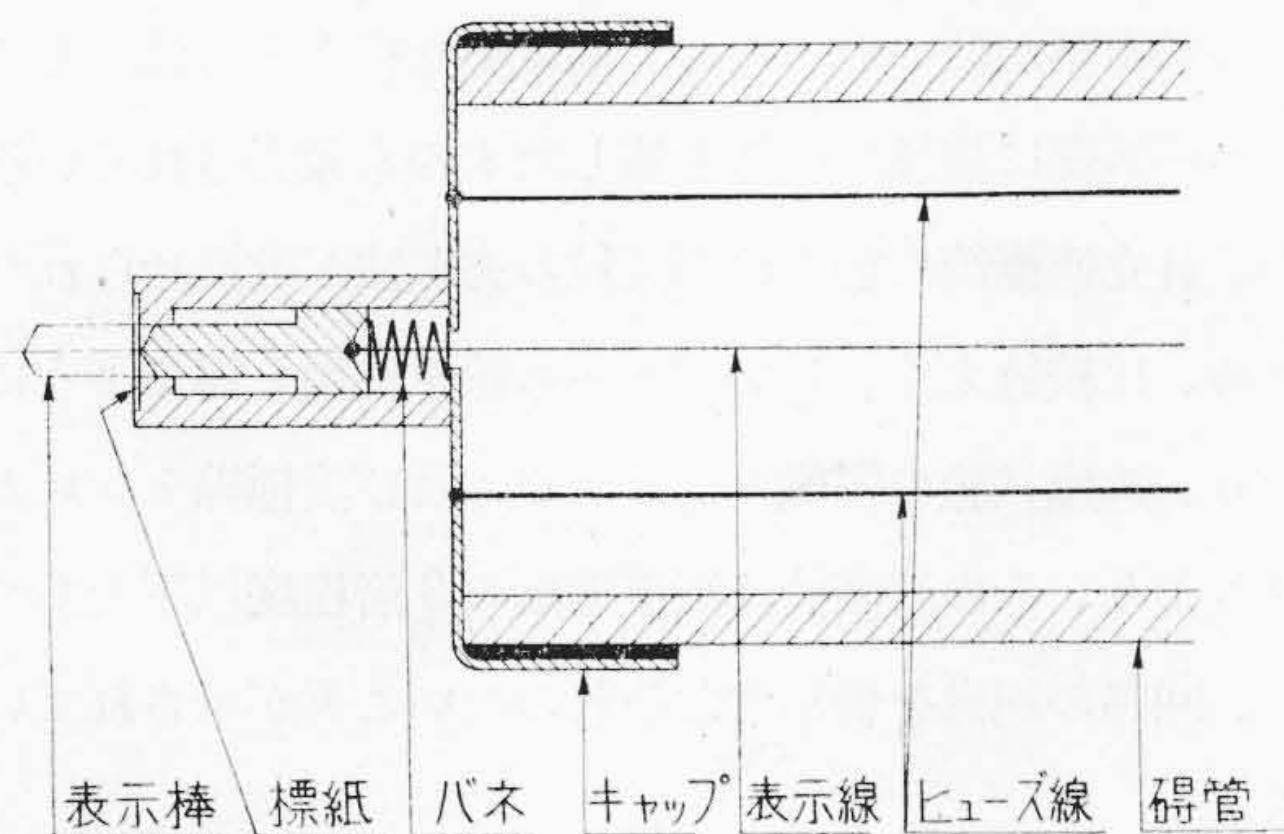
特殊の粘結劑を以て石英粒子を固め、多孔質の丁度輕石のような塊状にしている。

動作表示装置は第 4 圖に示す如くで、主ヒューズ線と並列に抵抗の高い細い線を表示線として置き、短絡電流によつて先づ主ヒューズ線が熔斷して電流が表示線に移るため、表示線は急速に且全面的に熔斷してバネを釋放するので、表示棒は標紙より飛び出して表示を行う。この構造は表示棒がバネによつて驅動されるため、遮断電流の大小に關係がなくなり、確實に表示が行われる。第



第3図 日立遮断筒の断面図

Fig. 3 Sectional View of Hitachi Shadanto.



第4図 動作表示装置

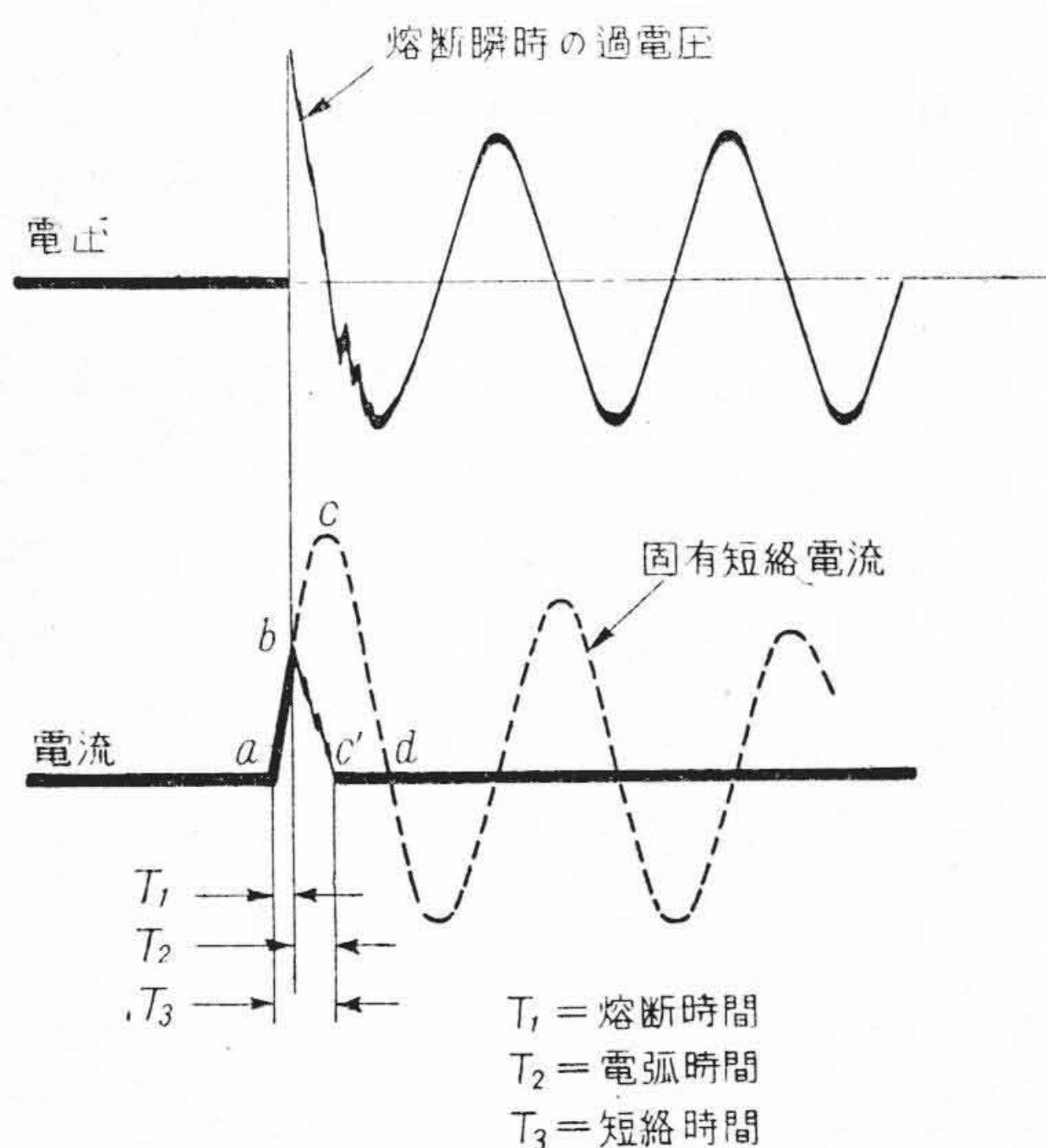
Fig. 4 Illustration of Operating Indicator.

1 圖及び第2 圖に、この表示装置の動作した状況が示されている。

ヒューズ線が熔断して金属蒸気となつた場合、大きな容積変化が急激に起る。遮断筒の筒内でも、種々の条件を綜合して容積変化は約 1,000 倍程度の値になると考えられている。このような大きな容積変化が起るが、ヒューズ線の存在していた細孔は石英粒子が塊状にかたく固められているため押し潰げられることなく、そのまゝの形で残される。金属蒸気は瞬間的に起る強い圧力のため多孔質の石英粒の細隙中に浸透し、その表面に於てこれと化学的に結合して固定され、石英粒の高熱傳導性によつて忽ち冷却され、著しく高い絶縁耐力を持つようになる。即ち短絡電流が流れるとヒューズ線は一旦金属蒸気

の状態を経て高絶縁性のものに急變する。このために、ヒューズ線熔断後の電流は電弧と云う形をとらないで、ヒューズ線が存在していた細孔を中心とする部分を抵抗體として流れ遮断完了に至ると考えられる。

日立遮断筒の如き密閉型ヒューズは最初歐州に於て開發され、その後米國にも普及し廣く使用されているが、前述の、遮断電流が發弧を見ずして遮断完了する所謂無發弧遮断は獨逸 AEG 社の説によるものである。多くの金属蒸気は、その氣化直後の $2,000^{\circ}\text{C}$ とか $3,000^{\circ}\text{C}$ 程度の温度では充分熱電離作用を受けるためには低くすぎてほとんど絶縁物であるために、ヒューズ線の氣化直後電路は一时无發弧的な遮断を受けるのであつて、これよりこの無發弧説は首肯出来るところである。併し、次の如き場合も考え得るところである。即ち短絡電流が定格電流に比べてあまり大きくない場合には、熔断に時間を要し氣化と云うより寧ろ燃焼の形をとつて熔断してゆくから、例えば電流零値で熔断が起つたような場合には一部分だけ熔断して他の部分は切れ残るが、これだけでは電壓を支えることが出来ないで放電が起り部分的に發弧して、時間経過とともに電流の増加によつて全面的な熔断となり以下は無發弧理論の如く遮断に至るような場合である。定格電流に對する倍率が大きくない電流を切つた場合のオシログラムには上記のように考えられる波形を示すものがある。上述の如く定格電流に對する倍率が大きくない場合には發弧することがあり得るけれど一般には無發弧遮断が行われると云うべきであらう。大電流遮断のオシログラムより見られる電壓波形は電弧電壓の形を一度も採らず前述の無發弧理論が首肯出来る形を示している。第5 圖は電磁オシログラムによるその電壓、電流の波形を示したものである。一般電力ヒューズのように電流を制限しないものゝ場合には短絡電流は $abcd$ と云う形をとり c の最大値を経過したる後電流零値、例えば d 點で遮断完了するのであるが、日立遮断筒の場合にはヒューズ線熔断點 b を最高點として bc の方向に増加せず bc' 如く抑制され遮断完了するのである。 bc' 間の時間 T_2 を電弧時間と呼ぶのは前述の無發弧理論に従えば適當でないが慣例上電弧時間と稱している。また圖中



第 5 圖 動作時の電圧及び電流波形

Fig. 5 Wave form of Rupturing Test.

点線は日立遮断筒を使用せぬ場合に流るべき固有短絡電流である。ヒューズ線の熔断点即ち最高点の電流値 i_m は次式で與えられる。

$$i_m = k_1 \sqrt{I_0}$$

これは簡単にするためヒューズ線の抵抗温度係数を一定とし計算したもので、 I_0 はヒューズが無かつた場合に到達すべき固有短絡電流の波高値である。上式より短絡電流の流れ得る限度 i_m は大略固有短絡電流の波高値 I_0 の $\frac{1}{3}$ 乗に比例するから、假りに I_0 が 5,000A から 8 倍の 40,000A に増しても i_m は 2 倍となるに過ぎず短絡電流は低い値に制限されることがわかる。従つて発生するエネルギーを小さく止めることが出来、且回路の導體、支持碍子等に対し短絡時に電磁力の無理がかゝらぬようになるのである。

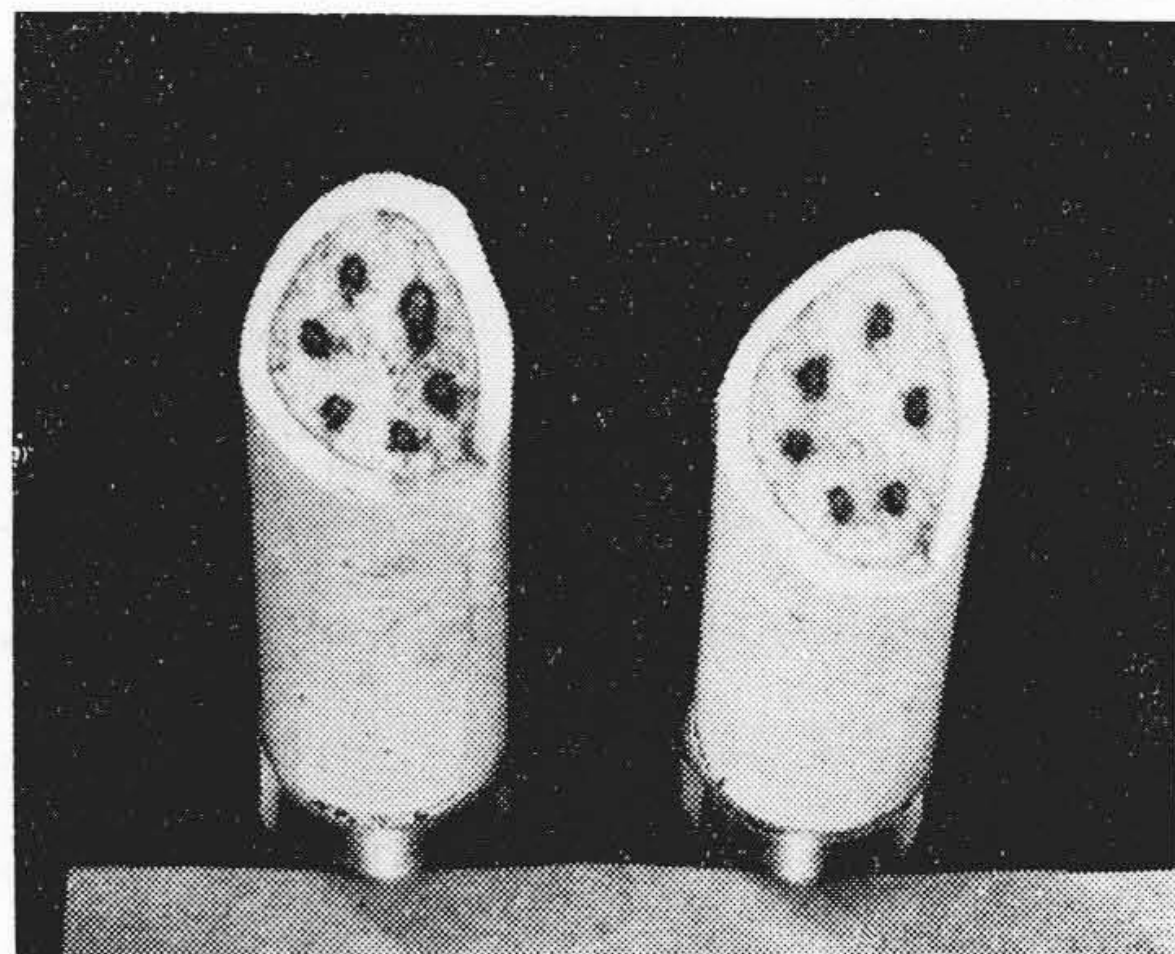
こゝではヒューズ線熔断瞬時に發生する過電壓に就いて考えてみる。一般に密閉型の電力ヒューズではヒューズ線の氣化と共に壓力、冷却等により電弧電壓が著しく高まり、これによつて短絡電流を強制遮断するような消弧方式をとるため、ヒューズ線の氣化に伴つて過電壓が生じ易い。普通の遮断器では端子電壓は消弧の瞬間に最も高くなるが、ヒューズに於てはこれと反對に、ヒューズ線氣化の瞬時に電壓が最も高くなるのが普通である。

この過電壓が機器の絶縁を侵したり、避雷器の放電々壓を超えるようでは短絡遮断に成功しても結局ヒューズとしての動作は完全と云えぬことになる。この過電壓はヒューズ線の太さ、長さに関係があり、これらは次の實驗式で與えられている。

$$V = i [k_1 - (k_2 + k_3 d^3) \sqrt{n}] \cdot l$$

茲に V は過電壓の波高値、 k_1, k_2, k_3 は常數、 i はヒューズ線氣化瞬時の電流値、 d は夫々ヒューズ線の直徑、全長及び並列數である。この式により $V \propto l$ でありまた $i \propto d^3$ なる關係より d が大きくなれば V が小さくなることがわかる。即ちヒューズ線は太くて短い方がこの過電壓が低いのである。過電壓を抑える方法としてヒューズ線に複雑な工作を施したものも發表されているが、日立遮断筒に於ては石英粒の充填法が改良せられたため、比較的太く、短いヒューズ線を使用し得るようになり、遮断試験の電磁オシログラム及び陰極線オシログラムより、その波高値は回復電壓の 2 倍程度以下であつて、回路の絶縁を脅かすおそれのないことが示されている。

短絡電流遮断後に遮断筒を割つて見ると、ヒューズ線の氣化の結果生じた金屬蒸氣と石英粒との結合物である灰青色の紐状のものがあるのみで、他に異状を認めない。この紐状のものに對し獨逸では Schmelzraupe と



第 6 圖 3,450V 100A 日立遮断筒遮断後の内部

Fig. 6 Sectional View of 3,450V 100A Hitachi Shadanto after Operation.

云う名称を與えたが、これはその形が「青虫」に似ているためと考えられる。この青虫の太さは発生したエネルギーと密接な関係があり、遮断の難易を判定する有力な資料となるものである。遮断後の内部を示す第6圖にこの青虫がよく見られる。

〔III〕 構造上の特長

ヒューズ線を筒内に入れてこれに石英粒子を充填する方法に、壓力充填法と日立遮断筒の如く粘結劑によつて固める方法がある。この兩者を比較してみよう。

ヒューズ線が熔断して発生する金屬蒸氣のために急激な壓力上昇が起り、ヒューズ線の存在していた細孔は押し擴げられようとする。こゝでゆるく詰められていたのでは押し擴げられて消弧作用が減少するので、壓力充填法では相當な壓力でかたく固める必要があるヒューズ線は細い且材質的に柔かなものを使用するので、強大な壓力のために線が傷けられ或は變形することは或る程度避け難い。従つて熔断特性に變化を起すことも避け難い。しかもこの變化はヒューズの性質上完成品に就いて確認する方法がない。これが壓力充填法による缺陷であつてこの方法では均一性ある多數の製品を作ることは望み得ないと云える。

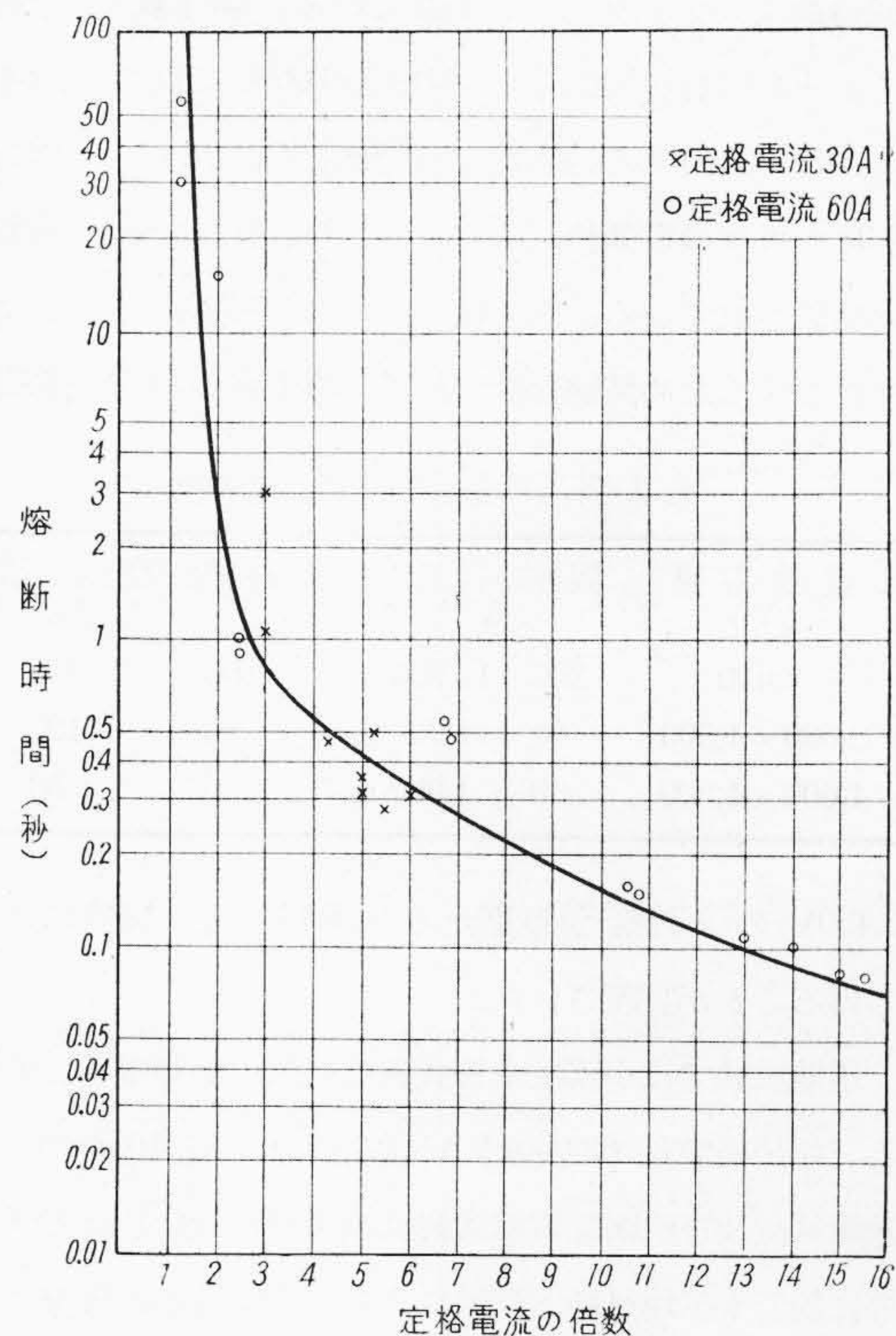
しかるに日立遮断筒の方法は、筒の中に豫め所要のヒューズ線を張つて置き、その中に精撰された石英粒を一定量さらさらと入れて、更に一定量の粘結劑を注入して石英粒子間の間隙を埋め、これを一定時間、所定溫度で加熱固化したものであるから、製品の均一性は充分期待し得る。これは從來行われた熔断試験や遮断試験によつて實證されたところである。

斯く比較すれば、この兩充填法の優劣は明らかで、これは日立遮断筒の大きな特長の一つである。この充填法の結果として從來の密閉型ヒューズに於ける技術上並びに構造を複雑化している諸問題を一舉に解決出來て、ヒューズ線も比較的太い短いものを使用し得るようになり構造も著しく簡單となつたのである。

〔IV〕 試験結果

1. 熔断特性

第7圖は日立遮断筒の 30A 及び 60A の熔断特性で



第7圖 熔断特性曲線

Fig. 7 Operating Characteristic Curve.

ある。これ以外の定格電流のものも概ね同様の特性である。

この熔断特性は遮断器に於ける引外繼電器の時限特性に該當するものであつて、電力ヒューズ撰擇上の重要な要素であるが、繼電器のように嚴密なものとすることは困難である。従つてヒューズの定格電流の撰定には、その設置場所及び負荷の特性等を考慮して過電流に對して適當な熔断特性を持つたものを撰定する必要がある。

2. 遮断試験

電力ヒューズの生命である遮断容量の判定は遮断試験によつて行われなければならない。大きな遮断容量を保證されているものであつても、その保證が遮断試験によつて裏付けられたものでなければ、かえつてそのために危険が起る場合も考えられる。

日立遮断筒は 50,000kVA 短絡実験用交流発電機及び工場内配電線を利用した短絡試験設備により、既に數百回の遮断試験が繰返し行われている。第 1 表に示す如く、その固有短絡電流も 300~17,000A に亘つて、何れも 0.5~ 以下の電弧時間で遮断完了している。中には 0.02~ 程度の電弧時間のものもあり、良好なる遮断性能が實證されている。尙定格電壓以上の電壓に對する余裕を検證するため試験を行つたが、第 1 表の如く定格電壓

第 1 表 日立遮断筒の試験結果

試験電壓 (V)	固有短絡電流 (A)	試験回数	遮断成功率 (%)
3,450	300~17,000	300	100
3,600~4,500	700~1,000	15	100
4,600~4,900	700~1,000	6	50

3,450V の 1.30% 過電壓たる 4,500V まで確實に遮断し得ることが實證された。

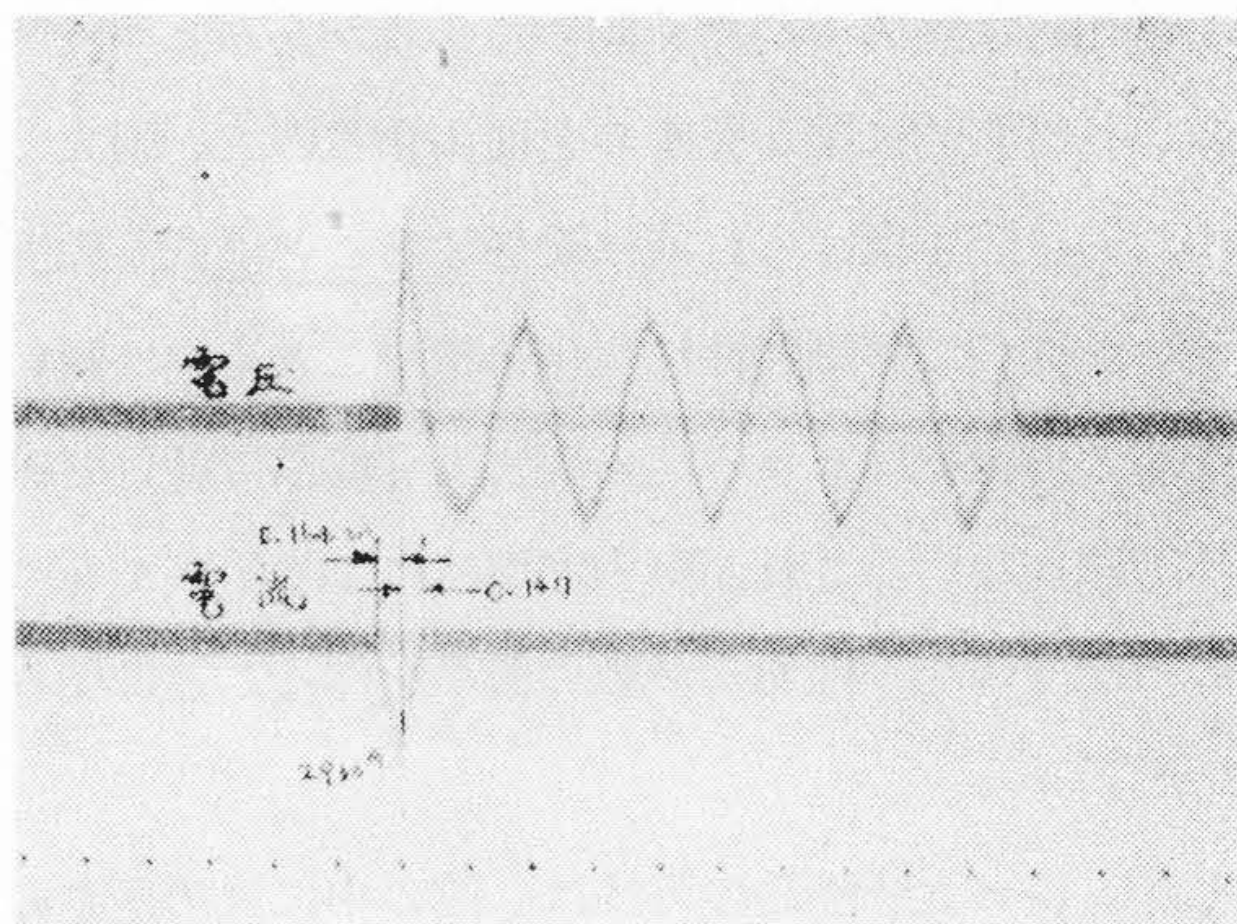
現地試験では中部配電株式會社の依佐美變電所に於ける三相短絡容量 62,000kVA (固有短絡電流 10,900A) の遮断試験及び四國配電株式會社朝美變電所に於ける試験等に於ても工場試験と同様に良好な遮断性能が實證されている。

最近開發された 100A, 200A のものに對する遮断試験は、5萬kVA 試験設備が戰災を受けたため、工場内配電線を利用した試験設備によつて行つた。電源は關東配電株式會社の多賀變電所 3,000kVA 變壓器×3 臺であるが試験場所が變電所より相當距離はなれているため、短絡電流は約 4,250A である。この値は三相で約 24,000 kVA となる。短絡以外はグリッド抵抗で電流を制限して行い、何れも單相試験を行つた。第 2 表はこの遮断試験結果の一部である。同表に見られる通り何れも電弧時間 0.4~ 以下で遮断されている。遮断筒の定格電流 100A 200A に對して短絡電流の倍率があまり大きくないため、熔断に時間を要し、100A 試料に對する短絡電流 1,550A 及び 200A 試料に對する短絡電流 4,250A, 即ち 15~20 倍程度の所では、ヒューズ線を熔断するための電流が固有短絡電流に近くなつていくことがわかる。換言すれば、短絡電流を固有値の數分の一に制限する日立

第 2 表 100A, 200A 日立遮断筒の試験結果

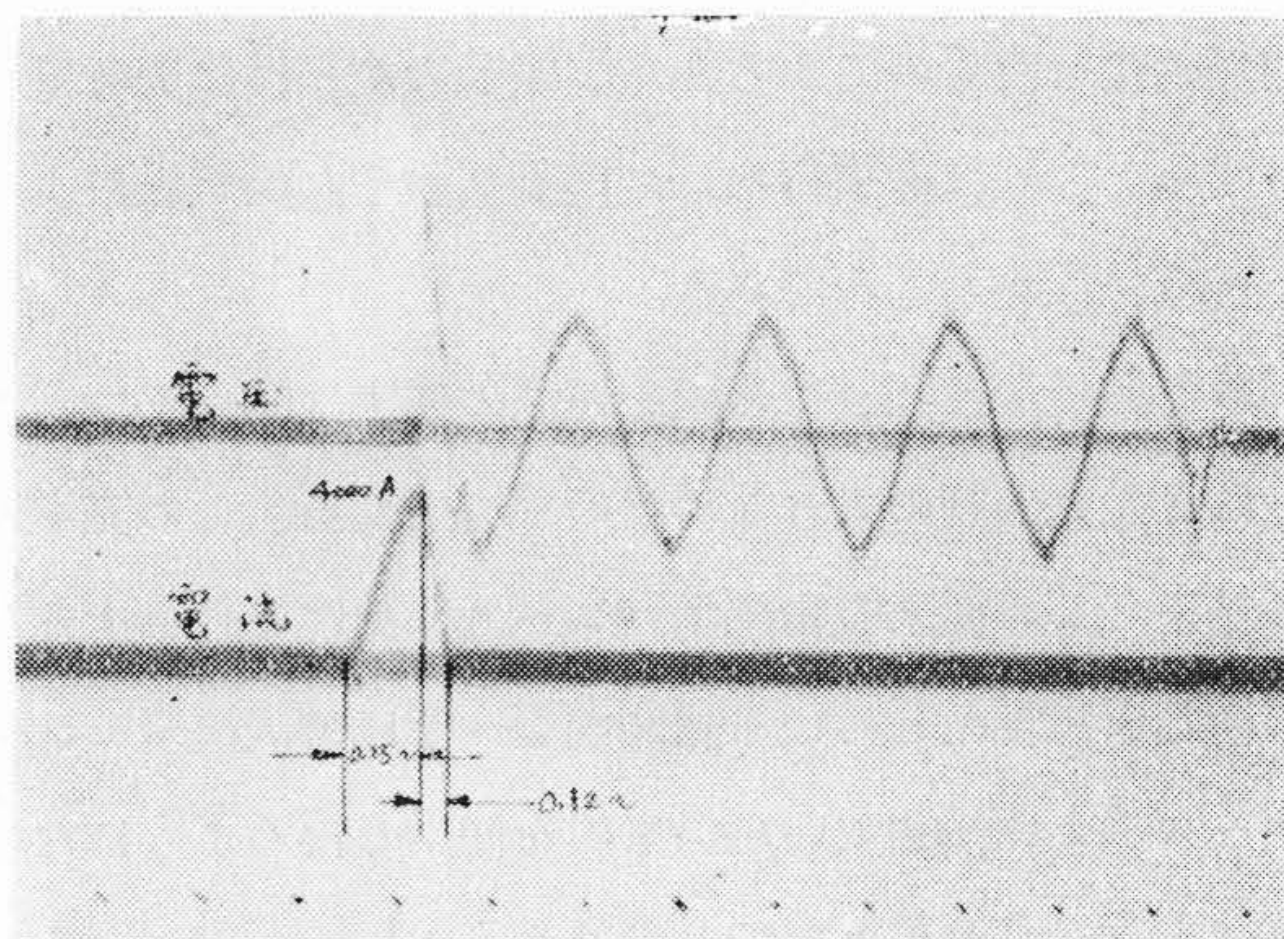
試料の 定格電流 (A)	固有短絡 電流 (A)	遮断時の 電流 (A)	熔断時間 (~)	電弧時間 (~)
100	935	600	2.4	0.06
100	935	535	1.92	0.154
100	1,080		2.3	0.11
100	1,080		2.2	0.32
100	1,550	1,460	0.6	0.133
100	1,550	1,550	0.74	0.11
100	4,250	2,930	0.164	0.147
100	4,250	935	0.26	0.19
200	4,250	3,980	0.47	0.136
200	4,250	4,000	0.35	0.12

遮断筒の本領を見せるには、あまりに短絡電流が小さ過ぎるのである。従つて、更に大電流の試験が必要であつて、これに就いては關東配電株式會社の御好意によつて



第 8 圖 遮断試験のオシログラム (定格電流 100A)

Fig. 8 Oscillogram of Rupturing Test of Short circuit Current. (Rated Current 100A)



第 9 圖 遮断試験のオシログラム (定格電流 200A)

Fig. 9 Oscillogram of Rupturing Test of Short circuit Current. (Rated Current 200A)

同社の等々力変電所に於て、本 100A, 200A 日立遮断筒の遮断試験が行われる計画があり期待されている。第 8 圖、第 9 圖に 100A, 200A のものゝ遮断試験オシログラムを示す。

〔V〕 用途及び使用による利益

日立遮断筒は遮断容量が大きいので 3,000V 系統の如何なる場所にも安心して使用することが出来る。配電線の容量が増加して、現在使用している遮断器の遮断容量が不足している場合に大きな遮断容量の新品と取換えるには資材的にも経済的にもまた据付場所の関係からも困難であると云うような時、日立遮断筒を使用すれば誠に好適である。このような場合には、現在使用中の遮断器から自働引外装置を外して、単に開閉器として使用し、通常の負荷電流の開閉のみ行い、故障電流の遮断は日立遮断筒によつて行うようにすればよいのである。また新たに 3,000V の配電、受電設備を設ける場合に、負荷開閉用の小型油入開閉器を併用して日立遮断筒を使用するならば、大型の遮断器を使用することなしに、大容量の母線から受電することが可能となる。

第 3 表 遮断器と油入開閉器併用日立遮断筒との比較

器 具 名	価格 (比)	所 要 資 料 (比)			總重量 油 付 (比)
		銅	鋼材	油	
150MVA O.C.B.	5.1	10.4	8.3	12	6.8
10MVA O.C.B. 日立遮断筒 3 相 豫備遮断筒 (3 相分)	1	1	1	1	1

第 3 表は一例として遮断容量 150MVA の遮断器を使用した場合と、開閉器、日立遮断筒併用の場合との費用及び資材を比較したものである。費用及び資材の単位は [油入開閉器 + 日立遮断筒 3 相 + 豫備遮断筒 × 3] を 1 とし、これに対する大型遮断器の費用、所要資材を倍率で示している。同表より明らかなる如く、開閉器、日立遮断筒併用の場合は 150MVA 遮断器使用の場合の、費用

では約 5 分の 1、資材では約 10 分の 1 で済むことがわかる。遮断器に使用する繼電器等を考慮すれば、この比率は更に増大するのである。

この他に直接の比較に現われてこないが、日立遮断筒を使用することによりその回路には、もはや龐大な故障電流が現われることがないから、使用機器の短時間電流容量も低いもので良いことになり、導體、支持碍子等に對し短絡時に電磁的衝撃を與えないようになる。これらを合せ考えれば日立遮断筒の使用による利益は極めて大である。

〔VI〕 結 言

以上日立遮断筒の構造、性能及び用途等に就いてその大要を述べたが、配電會社、電力需要家等關係者の方に些少なりとも參考となれば誠に幸甚である。

従來の 5~60A のものに加えて 100A, 200A のものが開發されたことは、これによつて更に使用面が廣範圍に亘り得るものと信じている。3,000V 回路の器具の數は全國的に非常に多數に上る筈であるから、本日立遮断筒が廣く使用されるに及んでは経済的及び資材的の利點は龐大なものになると思われる。

電力ヒューズの生命である遮断容量の檢證は、遮断試験によつて行われなければならないもので、繰返し試験を行うことにより更に性能の向上を圖ることが必要であると考えている。各配電會社に於て、進んで本日立遮断筒の遮断試験を実回路で行つて戴いている現況は製作者として誠に欣快の至りであつて、茲に厚く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 福田：電氣の友 昭和 16
- 小林：電機技報 2-4・5 昭和 20-4・5
- 福西，小林，鴨志田：日評 28-1 昭和 21-10
- 藪野：電氣日本 402 昭和 23-7
- 武藤：試報 1302-1101 昭和 24-1
- 福田：電弧
- 四國配電工務部：試報 昭和 23-8