

労働省産業安全研究所

研究所報 1954 年第 1 号別刷

密閉型ヒューズボックスの遮断性能

— 目 次 —

緒 言

I 実験室における短絡遮断試験

1. 試 料 の 概 要
2. 試 験 の 概 要
3. 試験結果とその考察

II 現場における短絡遮断試験

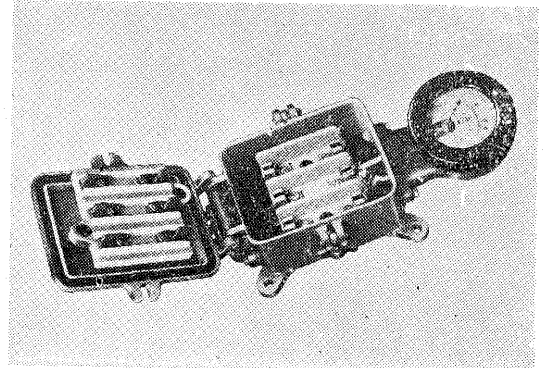
1. 試 験 の 概 要
2. 試験結果とその考察

結 語

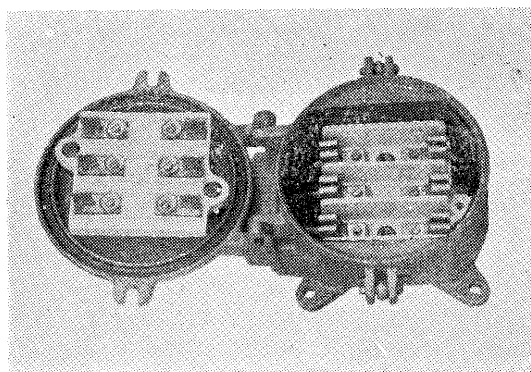
緒 言

ヒューズは電気回路に短絡電流が発生した場合にこれを瞬時に遮断して他の電気機器や回路の保護の役目を行う重要な安全器である。ヒューズに短絡電流を遮断する能力がないと唯に電気機器や配線を焼損させるばかりでなく、火災その他の重大な災害を招く基になる。ヒューズはそれ自体充分な遮断能力のあるものでなければならぬが、ヒューズの使用される状態によつて遮断性能に大きな影響を与える。即ちヒューズ取付け器具の形状と材料が遮断に障害を与えるものであつてはならない。遮断時はヒューズは熱によつて溶断され、ガスを発生し、アークを伴う場合が多い。従つてアークの持続を阻止しまたアークによる取付け器具のトラッキングやリード線その他の燃焼を防ぐ構造でなければならぬ。またヒューズを腐蝕性料品のある場所に取り付けて使用する場合には腐蝕を防止するために密閉型の容器を使用することが

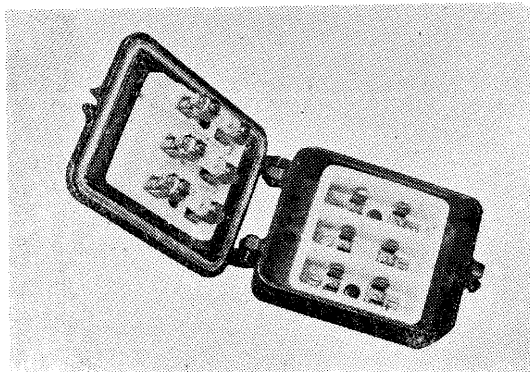
多い。この場合ヒューズ遮断時のガス圧によつて箱が破損したり、ふたが開いたりしてはならない。更に製粉工場や澱粉工場の如く粉塵の発生する場所を使用する場合には遮断時の高熱ガスやアークが周囲の可燃性粉塵に着火するようなことがあつてはならない。



(Ph-1)



(Ph-2)



(Ph-3)

そこで現在耐酸用の密閉型ヒューズボックスとして比較的多く用いられている某電機製作所のヒューズボックスについて、その安全性を確かめると共にその改善を図る方法を検討するために短絡遮断試験を行つた。またこれを実際に粉塵のある工場に取付けて使用した場合に果して安全であるかどうかを検討するためにA食品工場の澱粉工場において現場実験を行つた。

I 実験室における短絡遮断試験

(1) 試料の概要

供試ヒューズボックスは某電機製作所製の耐酸型、250V・30A(ツメ付ヒューズ Ph1) 250V・60A(ツメ付ヒューズ Ph2) 及び一般用 500V・30A(筒型ヒューズ Ph3)を用いその構造、寸法、材質等は第1表及び第2表に示す通りである。

第1表 供試ヒューズボックスの主要寸法表(mm)

| 寸法箇所 | 種 類 | (A) MK250V 3P30A(計器付) | (B) MK250V 3P60A | (C) MK500V 3P30A(筒型ヒューズ) |
|---------------|-----|--------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 蓋、蓋の厚さ | | 4 | 5 | 4 |
| 異極中心間距離 | | 35 | 35 | 35 |
| 刃の厚さ、刃の幅 | | 3・12 | 3・16 | — |
| 筒ホルダーの厚さ | | — | — | 1 |
| ヒューズ締付ネジ中心間距離 | | 45 | 45 | 45 |
| 隔壁受け溝の深さ | | 7 | 6 | 4 |
| 台の巾、長さ、厚さ | | 110・100・12 | 110・110・15 | 93・110・14 |
| 箱、箱の厚さ | | 5 | 5 | 5 |
| 刃受けの厚さ | | 1,5 | 1,5 | — |
| 筒受けの厚さ | | — | — | 1,5 |
| 隔壁の高さ、厚さ(先端) | | 30・6,5 | 30・5 | 40・7 |
| 箱の巾、長さ、深さ | | 127×164×103 | 170φ×100 | 127×165×70 |
| 蓋締付ネジの径、個数 | | 8・2個 | 8・2個 | 5・1個 |

第2表 ヒューズボックスの主要部材料表

| 項 目 | 種 類 | MK250V 3P30A(計器付) | MK250V 3P60A | MK250V 3P30A(筒型ヒューズ) |
|------------|------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|
| 刃 | 硬 銅 | 硬 銅 | 硬 銅 | 硬 銅 |
| 筒型ヒューズホルダー | 同 上 | 同 上 | 同 上 | 同 上 |
| 刃 受 | 同 上 | 同 上 | 同 上 | 同 上 |
| 筒型ヒューズ受 | 同 上 | 同 上 | 同 上 | 同 上 |
| 台 | 磁 器 | 磁 器 | 磁 器 | 磁 器 |
| 隔 壁 | 同 上 | 同 上 | 同 上 | 同 上 |
| 蓋 | 鉄 製 鋳 物 | 鉄 製 鋳 物 | 鉄 製 鋳 物 | 鉄 製 鋳 物 |
| 外 箱 | 同 上 | 同 上 | 同 上 | 同 上 |
| 蓋のバックン | 塩化ビニール、コルク | 塩化ビニール、コルク | 塩化ビニール、コルク | 織 維 |
| その他 | 外箱に防蝕塗料を施す。導線の貫通部分はバックニングを施す | | | |

導線の貫通部分は開放

遮断に使用したヒューズは次の通りである。

- (イ) 250V30A銅ツメ付平型鉛 (型式承認済)
- (ロ) 250V50A銅ツメ付平型鉛 (型式承認済)
- (ハ) 250V30A銅ツメ付糸型銀
- (ニ) 250V60A銅ツメ付糸型銀
- (ホ) 500V30A (筒型銀)

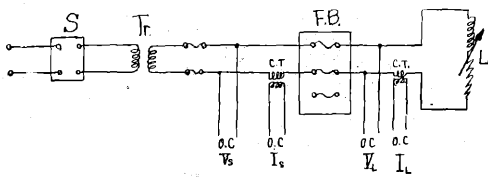
(2) 試験の概要

1. 試験設備

東京電力株式会社配電課の厚意により同課試験所の設備を借用して試験を行つた。

試験はすべて単相約 210V にて行い、その回路は第 1 図の通りである。

第 1 図



S ……油入遮断器 (投入用)

Tr ……変圧器 150KVA 3300V/210V (imp-V80)

L ……可変負荷

C.T ……変流器 1500A/5A

F.B ……供試ヒューズボックス

O.C ……横河製 3 素子電磁オシログラフ

短絡試験回路の電流を調整する可変インピーダンス L は負荷側に挿入して試験を行つた。これは実際に分電盤に取付けて使用する場合には分電盤よりも電動機の端子で短絡することが多く、その場合には後に示すように電源側のインピーダンスよりも負荷側のインピーダンスの方が大きい場合がある。

更に同じ短絡電流でも電源側よりも負荷側にインピーダンスのある場合の方が異極間アーク短絡を起す危険性が多い。このことは且て当所で実施した金属函開閉器についての比較試験の結果にも明らかに示されている。

(註 ※金属函開閉器における異極間隔壁の効果について※参照)

2. 規約短絡電流

ヒューズボックスの遮断容量は定められた条件のもとでヒューズが遮断できる回路の規約短絡電流の限度をいうこととし、回路の規約短絡電流とは金属函開閉器の JIS に従いヒューズをインピーダンスが殆んどない接続片におきかえて回路を短絡したときに流れる電流値をいい交流分の実効値で表はすこととした。

短絡試験に供した回路の規約短絡電流を測定した結果は第 3 表の通りである。

なお回路 B の測定には 100A のヒューズを挿入して約 3 サイクル流れた間の電流値を採用した。回路 C も同じく 100A のヒューズを挿入し約 1 サイクルで溶断しているが、2 回の試験の結果が一致し、且つ力率から考えて過度現象の影響が極めて少い (後述 II 参照) と考えられるのでこの値を採用した。

第 3 表 短絡試験回路の規約短絡電流値

| 回路番号 | 負荷 L のタップ | 規約短絡電流 | 力 率 |
|------|-----------|--------|-----|
| 1 | 250-1,500 | 1,330A | 70% |
| 2 | 250-2,500 | 2,210A | 81% |
| 3 | 250-5,000 | 2,950A | 86% |

3. 試験方法

供試ヒューズボックスは使用状態即ち垂直に取付け中央と右側の両極を使用した。短絡試験は高圧側の油入遮断器 S を投入して行い、次の事項を調査した。

なお周波数は約 50 Hz である。

(イ) 電磁オシログラフによりヒューズ溶断時間、電弧時間、遮断時間、短絡電流、を測定し異極間短絡の有無を調べた。

(ロ) 鉛ヒューズと銀ヒューズを使用した場合及び回路 2 と回路 3 との場合について (イ) の各条項を測定比較した。

(ハ) 各試験を通じて音響並びに火気及びガスの漏洩状況を観察し、更に爆圧による箱の破損状況を調査した。

(ニ) 各試験を通じてヒューズボックスの汚損状況を観察し 500V メガーにて絶縁部分の絶縁抵抗を測定した。

(3) 試験結果とその考察

実験 I ヒューズボックス A (MK250V 30A 電流計付) について。

1. 試験結果

試験結果は第 4 表の通りで電流計を取付けたまま試験を行つたが、通電時間が極めて短いため、電流計に異状は認められなかつた。(註 オシログラフ (Oc) 及び写真 (Ph) は印刷の都合によりその一部を掲載した。必要な方は研究所電気課へ照会されたい。)

2. 試験結果の考察

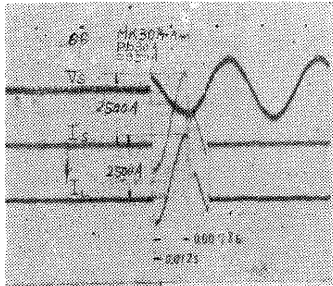
(イ) 遮断状況

同条件の短絡回路において鉛ヒューズを使用した場合と銀ヒューズを使用した場合を比較すると、短絡電流は鉛の方が銀の約 1.6 倍に達し、遮断時間は 1.4 乃至 1.7 倍を示している。遮断時間のうちヒューズの溶断時間は鉛の方が銀の約 3.5 倍であるにも拘らず、ヒューズ溶断後のアークの持続する時間は

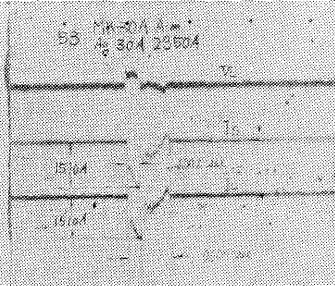
第4表

ヒューズボックスA (MK250V30A電流計付) の試験結果

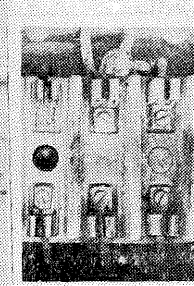
| 回数 | 実験番号 | 規約短絡電流 | 使用ヒューズ | ヒューズ溶断電流 | 遮断時間 | ヒューズ溶断時間 | 電弧時間 | 異極間短絡の有無 | 絶縁抵抗 ケーブル箱器台 | 音響 | ガス漏洩の状況 | 火気漏洩の状況 | 汚損状況 | 参照 |
|----|------|--------|--------------------|----------|---------|----------|---------|----------|-----------------|----------|------------|---------|-------------|---------------------------|
| 1 | 67 | 2210A | P ₁ 30A | 1950A | 0.0099秒 | 0.0069秒 | 0.0030秒 | なし | ∞ | ∞ | 中 上方より僅か出た | なし | 不使用側汚損せず | O.C 1 |
| 2 | 52 | 2210A | A _g 30A | 1200A | 0.0070秒 | 0.0020秒 | 0.0050秒 | なし | 150 M Ω | — | 小 同上 | なし | 同上 | O.C 2 |
| 3 | 66 | 2950A | P ₁ 30A | 2500A | 0.0120秒 | 0.0078秒 | 0.0042秒 | なし | ∞ | ∞ | — 上下より僅か出た | なし | 隔壁の不使用側微か汚損 | O.C 3 |
| 4 | 53 | 2950A | A _g 30A | 1510A | 0.0070秒 | 0.0020秒 | 0.0050秒 | なし | ∞ | ∞ | 小 上方より僅か出た | なし | 汚損せず | O.C 4 P _n 4 |



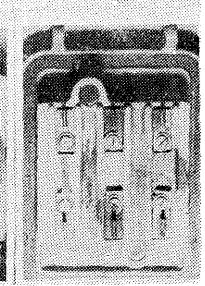
(Oc-3)



(Oc-4)



(Ph4-a)



(Ph4-p)

鉛よりも銀の方が長い。銀の方が急速に溶断してアークが持続し易くなるものと考えられる。しかしオシログラフによつて明らかなように異極間のアーク短絡を起した形跡はない。

4 回の実験でいずれも約 1/2 サイクル以内で完全に遮断されている。

(ロ) 破損状況

前に行つた金属隔閉器の遮断試験では蓋をインターロックし、しかも導線の貫通部分その他にガスの噴出孔があつたにも拘らず蓋が開いたり、ロック装置が破損したりした。実験 1 の試料は完全密閉型(導線貫通部分はコンパウンドしてある。)で外箱の左右で締付金具により蓋を締付けたものであるが、遮断時の爆圧に良く耐え箱、蓋、締付金具には何等の異状が認められなかつた。

(ハ) ガス及び火気の漏洩状況

蓋と箱の接する部分にガーゼを巻いてガス及び火気の漏洩状況を観察した。火気の漏洩した痕跡は全く認められなかつたがガスが極めてわずかであるが箱の上または下より漏洩した。漏洩ガスの熱エネルギーは測定しなかつたが漏洩によるガーゼの汚れが極めて少い点から判断して、その熱量は微少と考えられ、粉塵爆発の発火源には程遠いものと思われ。

締付金具が箱の左右に取付けてあるので、上下の締付圧力が左右に比して弱いため、ガスが上または下から漏洩したと思われる上下のパッキングにその痕跡を認めた。

(ニ) 異極間アーク短絡

遮断時にアークによつて異極間短絡を起すとヒューズボックスの負荷側の回路のインピーダンスを短絡することになるので電源側電流 I_s は負荷側電流 I_L に比し著しく大きくなる筈である。オシログラフ Oc1~Oc4 によれば I_s と I_L は全く同一で異極間アーク短絡は全然起つていない。

第 1 表及び第 2 表に示した異極間隔壁が有効に働いているものと思われる。

(ホ) 絶縁及び汚損状況

ヒューズが遮断するとヒューズの溶粒やガスで内部が汚損され、絶縁部ではために絶縁抵抗が低下するおそれがある。Ph4 a及びPh4 bは 4 回の実験後の箱及び蓋の汚損状況を示したものである。ヒューズメタルの甚しく溶着したのを取除いた外は清掃せずに実験を繰返えしたが、使用しなかつた左極は箱も蓋も全然汚損せず隔壁の効果を如実に示している。

一般に鉛を使用した場合は黄色または空色に汚損され、銀の場合は概して黒色に汚損された。また各試験後 500V メガーで夫々の極間の絶縁抵抗を測定した結果は第 4 表のとおりでいずれも抵抗は充分にあり、遮断後ヒューズを取替えて再使用に堪える。

実験 II ヒューズボックス B (MK250V60A) について

1. 試験結果 (第 5 表参照)

2. 試験結果の考察

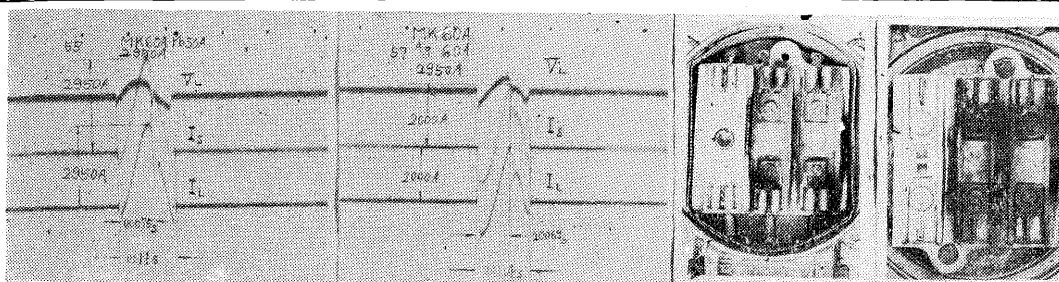
(イ) 遮断状況

第 1 回と第 2 回との実験では 50A の鉛ヒューズを使用したがいずれも約半サイクルで遮断してい

第5表

ヒューズボックス B (MK250V60A) の短絡試験

| 回数 | 実験番号 | 規約短絡電流 | 使用ヒューズ | ヒューズ 溶断電流 | 遮断時間 | ヒューズ 溶断時間 | 電弧時間 | 異極間短絡の有無 | 絶縁抵抗 カバー | 箱器内 音響 | ガス漏洩 の状況 | 火気漏洩 の状況 | 汚損状況 | 参照 |
|----|------|---------|----------------------|--------------|----------|--------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | 54 | 2950A | Pb50A | 2900A | 0.011秒 | 0.007秒 | 0.004秒 | なし | 1.5 M Ω | 100 M Ω | 上方より微か出た | なし | 隔壁の不使用側に微かな損 | O.C 5 |
| 2 | 55 | 2950 // | Pb50 // | 2950 // | 0.011 // | 0.007 // | 0.004 // | なし | 2.5 // | 0.3 // | 上方より出た | なし | 同上 | O.C 6 |
| 3 | 56 | 2950 // | A ₅ 60 // | 2170 // | 0.008 // | 0.003 // | 0.005 // | なし | 0.2 // | 0.2 // | 同上 | なし | 同上 | O.C 7 |
| 4 | 57 | 2950 // | A _b 60 // | 2000 // | 0.011 // | 0.006 // | 0.005 // | なし | 100 // | 100 // | 同上 | なし | 同上 | O.C 8 Ph5 |



る。第3回と第4回は 60A の銀ヒューズを使用した。

実験 I の場合と同様にヒューズ溶断電流と溶断時間は鉛の方が大きく電弧時間は銀の方が大きい。しかしその程度は実験 I の場合よりも小さい。これは規約短絡電流の定格電流に対する比率が I の場合より小さくなっていることまた都合で鉛ヒューズは 50A のものを使用したのによるのではないと思われる。いずれにしても異極間のアーク短絡を起した形跡は認められない。同じ条件の回路では鉛ヒューズよりも銀ヒューズを用いた方が短絡電流も小さく遮断時間も短いものと考えられる。

(ロ) 破損状況

供試ボックスは円型で実験 I の試料と同様に内部は完全に密閉され、蓋も箱に締付けられている。

蓋の厚さは前回より 1 mm 厚いが箱は前と同様である。短絡電流は前回の最高 2500A に比して大きく 2950A であったが、蓋、箱及び締付金具には何等の異状が認められなかった。

(ハ) ガス及び火気の漏洩状況

実験 I の場合と全く同様で上方より僅かに漏洩した。

(ニ) 異極間アーク短絡

隔壁の型状、材質は前回と等しくその効果はより異極間のアーク短絡現象は全然認められなかった。

(ホ) 絶縁及び汚損状況

汚損は実験 I の場合より多く Ph5 に示すように 4 回の実験後不使用側の隔壁の内側に僅かにガスによ

る汚損を認めた。しかし隔壁は有効に働いているものと考えられる。第2回及び第3回の実験では溶粒が蓋及び箱の器台に付着し絶縁抵抗が下つたがこの溶粒は簡単にとれて絶縁は回復した。第5表の絶縁抵抗は溶粒の付着した状態で測定したものでこのままでの再使用は不可である。第4回目は第3回目の実験の後溶粒を取り除いて行つたもので絶縁は蓋側及び箱側共に 100M Ω を保つた。4. 回の実験の中第4回目は短絡電流が最も小さくそのために溶粒の付着が少かつたものと思われる。

実験 III ヒューズボックス C (MK500V30A 筒型ヒューズ) について

1. 試験結果 (第6表参照)

2. 試験結果の考察

(イ) 遮断状況

同条件の短絡回路で試験を行つた実験 I の第4回目の結果に比較すると、ヒューズ溶断時間は等しいにも拘らず電弧時間は約 3/5 で従つて遮断時間は 5/7 になっている。同じ銀線ヒューズでも筒型ヒューズであるために開放ヒューズに比べてアークが持続し難いものと思われる。オシログラフでは、異極間アーク短絡を起した形跡は認められず、いずれも約 1/4 サイクルで遮断している。

(ロ) 破損状況、供試ボックスは上部に設けられた締付金具 1 個で蓋を締付けている。遮断の爆圧による蓋、箱及び締付金具の異状は認められなかった。

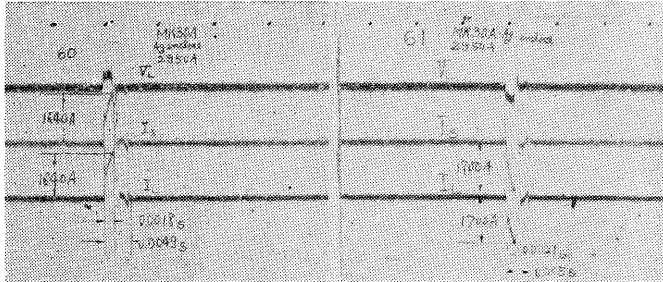
(ハ) ガス及び火気の漏洩状況

内部の磁器性の器台は隔壁により 3 個の函に区劃

第6表

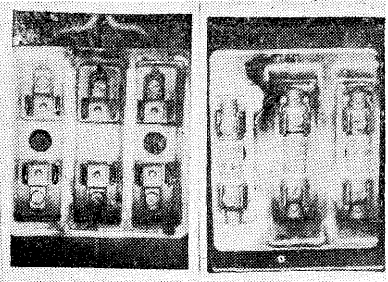
ヒューズボックスC (MK500V30A筒型ヒューズ) 試験結果

| 回数 | 試験番号 | 規約短絡電流 | 使用ヒューズ | ヒューズ 溶断電流 | 遮断時間 | ヒューズ 溶断時間 | 電弧時間 | 異極間短絡の有無 | 絶縁抵抗 | | 音響 | ガス漏洩状況 | 火花漏洩状況 | 汚損状況 | 損傷その他 | 参照 |
|----|------|---------|---------|--------------|-----------|--------------|-----------|----------|------|-----|----|--------|--------|-------|-------|--------------|
| | | | | | | | | | カバー | 箱器台 | | | | | | |
| 1 | 60 | 2950A | Ag30A筒型 | 1640A | 0.0049秒 | 0.0018秒 | 0.0031秒 | なし | ∞ | ∞ | 大 | 微か出た | なし | 微かに汚損 | | O.C 9 |
| 2 | 61 | 2950 // | // | 1700 // | 0.0050 // | 0.0021 // | 0.0029 // | // | // | // | // | // | // | // | | O.C10 Ph6 |



(Oc-9)

(Oc-10)



(Ph6-a)

(Ph6-b)

されこれに蓋が接合するようになっている。外側の蓋はパッキングにて外箱に完全に接合しているが電線孔は開いたままになっている。

遮断時の音響は前2回の試験より大きかったが、火気は全く認められずガスの発生及び漏洩もより少なかった。

(イ) 異極間アーク短絡

ヒューズの筒はベークライト製であるが遮断による影響がなくアークも筒中で消滅したものと考えられる。異極間にアークの飛んだ痕跡は全く認められず、隔壁は前2回の試料より約 10mm 高く厚さも 2mm 厚くその効果は充分である。

(ロ) 絶縁及び汚損状況

(イ)で記したようにガスの発生が少なかったので写真に認められるように汚損は少く絶縁抵抗は全く低下しなかった。ヒューズの溶粒は筒の先端のビスの頭に数粒認められたのみで、ベークの筒の内部にも認められない。銀ヒューズは短絡電流による熱のために蒸発してしまうことが多いものと思われる。

写真でも明らかなように汚損は内部の磁器製の箱及び蓋に留まりまた使用しない左の極は全然汚損していない。

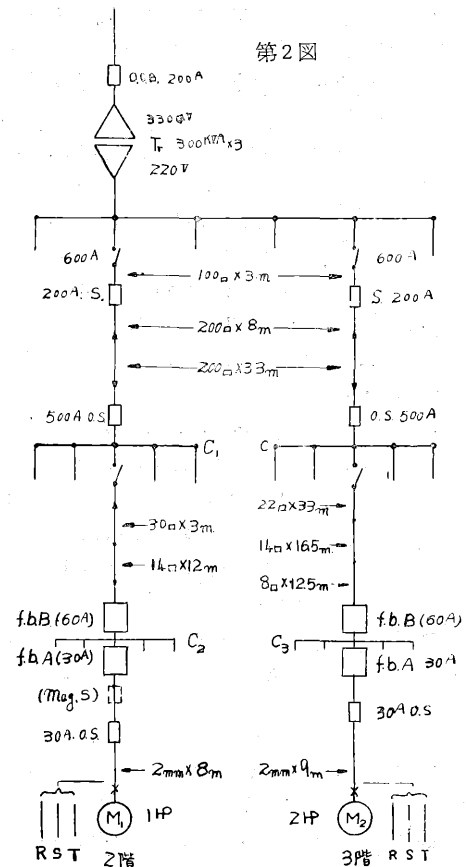
II 現場における短絡遮断試験

(1) 試験の概要

1. 試験の方法

A 食品工場澱粉工場に於て電動機用分電盤に前記ヒューズボックス A 及び B と同種の品を取付けて使用した場合に実際に起り得る短絡事故に際しヒューズが安全に遮断し周囲の粉塵に着火する危険がないかどうかを調べるのを目的とした。

従つて電動機のターミナルで短絡した場合に短絡電流が最も小さいと考えられる場所として3階分電盤 C₃ と最も大きいと考えられる場所として2階分電盤 C₂ とを選んで試験を行った。これらの供試回路は第2図に示す通りである。



試験としては短絡回路の抵抗測定と実際の短絡試験とを行った。

回路の抵抗測定には横河電機製ダブルブリッジを使用した。変圧器のインピーダンスは変圧器の試験成績書によることとした。

短絡試験は変圧器二次側に特に設置した油入遮断器 S を投入して行つた。試験は次の場合について行い、ヒューズボックスは試験毎に完全に清掃して使用した。

a. 3 階分電盤 C_3 のヒューズボックス A (30A メーター付) について 20A または 30A の鉛ヒューズを取付け電動機 M_2 のターミナルで単相また三相短絡。

b. 2 階分電盤 C_2 のヒューズボックス A (30A メーター付) について 20A または 30A の鉛ヒューズを取付け電動機 M_1 のターミナルで単相または三相単絡。

30A の鉛ヒューズを取付け A の負荷側で三相単絡。

c. 2 階分電盤 C_2 のヒューズボックス B (60A) について 40A または 60A の鉛または銀ヒューズを取付け負荷側で単相または三相短絡

各試験を通じて音響並びに火気及びガスの漏洩状況等を観察すると共に汚損状況を撮影し、また爆圧による損傷の有無を調査した。また変電所に電磁オシログラフを置き、変圧器二次側の各線間電圧及び R 及び T 相の線電流の変動を調べた。電流測定には 500/5A の CT を使用した。なおこの CT は校正試験により 3000A 迄正しく比例するかを確かめたものである。しかし電流測定に使用したパイプレーターの回路に接触抵抗があり実験中に変動した形跡が認められ振幅校正に不備があるので電流値は正確を期し難く残念乍ら公表を差控える。

2. 試験回路の定数の検討

(イ) 変圧器のインピーダンス

28年7月に実施した変圧器の試験成績書によれば 300KVA 3300/220V で $\text{impV}=4.22\%$ 負荷側 = 3,804W でこれよりインピーダンスを計算すれば第7表上欄の通りである。

(ロ) 回路のインピーダンス

配線はすべて3相3線式で3しんケーブルまたは金属管を用いているので、電線の太さ及び長さより電線のみの抵抗及びリアクタンスを計算すれば第7表の通りである。

しかしこの抵抗値には分電盤における配線の抵抗及び各部の接触抵抗が含まれていないのでダブルブリッジを用いて変圧器二次側よりの抵抗を実測したその結果は第7表の右欄の通りで前の計算値に比し

2~4割大きくなっている。

次に短絡試験時の変圧器二次側の線間電圧及び線電流のオシログラフにより推定した回路の力率は第7表の値に大体一致している。

第7表 回路定数の算定基礎

| | 計 算 値 | | | | 実測値 |
|---------------|--------|--------|--------|-------------|----------|
| | r | x | z | $\cos \phi$ | |
| (変圧器) | 0,0020 | 0,0065 | 0,0068 | 0,30 | (0,0020) |
| 100□mm×3m | 0,0005 | 0,0003 | | | |
| 200〃 ×43〃 | 0,0038 | 0,0046 | | | |
| 1階配電盤 C_1 迄 | 0,0063 | 0,0114 | 0,0130 | 0,48 | 0,0067 |
| 30□mm×3m | 0,0018 | 0,0004 | | | |
| 14〃 ×12〃 | 0,0153 | 0,0015 | | | |
| 2階分電盤 C_2 迄 | 0,0234 | 0,0133 | 0,0269 | 0,87 | 0,0311 |
| 2mm×8m | 0,0451 | 0 | | | |
| 2階電動機 M_1 迄 | 0,0685 | 0,0133 | 0,0698 | 0,98 | 0,101 |
| 22□mm×33m | 0,0265 | 0,0034 | | | |
| 14〃 ×16,5〃 | 0,0210 | 0,0020 | | | |
| 8〃 ×12,5〃 | 0,0282 | 0 | | | |
| 3階分電盤 C_3 迄 | 0,0820 | 0,0168 | 0,0841 | 0,98 | 0,104 |
| 2mm×9m | 0,0510 | 0 | | | 0,083 |
| 3階電動機 M_2 迄 | 0,1330 | 0,0168 | 0,1340 | 0,99 | 0,193 |

そこでこれらの抵抗 r' 及び力率 $\cos \phi$ の値を基礎として回路のインピーダンスを計算すれば第8表のとおりである。

第8表 回路のインピーダンス

| 回 路 の 種 類 | r | x | z | $\cos \phi$ |
|---------------|--------|--------|--------|-------------|
| (変圧器) | 0,0020 | 0,0065 | 0,0068 | 0,30 |
| 1階配電盤 C_1 迄 | 0,0067 | 0,0121 | 0,0138 | 0,48 |
| 2階分電盤 C_2 迄 | 0,0311 | 0,0176 | 0,0357 | 0,87 |
| 2階電動機 M_1 迄 | 0,101 | 0,0196 | 0,103 | 0,98 |
| 3階分電盤 C_3 迄 | 0,104 | 0,0210 | 0,106 | 0,98 |
| 3階電動機 M_2 迄 | 0,193 | 0,0244 | 0,195 | 0,99 |

3. 短絡電流の計算

(イ) 短絡電流の定常値

オシログラフによれば、短絡により変圧器二次側の線間電圧には大きな変動は認められない。従つて電源電圧は常に一定として第8表のインピーダンスを用いて短絡電流の定常値を求むれば9表のとおりである。

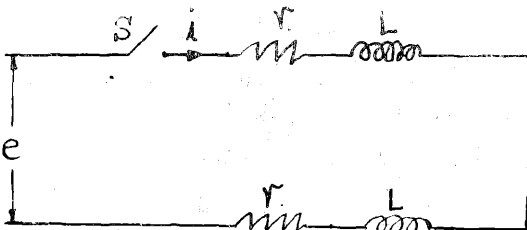
第9表 短絡電流定常値

(E=218V f=50~として実効値で表はす)

| 短 絡 個 所 | 単相短絡 | 三相短絡 | 力 率 |
|----------------------|---------|---------|------|
| 1階配電盤 C ₁ | 7,900 A | 9,130 A | 0,48 |
| 2階分電盤 C ₂ | 3,050 | 3,530 | 0,87 |
| 2階電動機 M ₁ | 1,060 | 1,220 | 0,98 |
| 3階分電盤 C ₃ | 1,030 | 1,190 | 0,98 |
| 3階電動機 M ₂ | 560 | 645 | 0,99 |

(ロ) 短絡時の過渡現象について

単相短絡の場合の回路は第3図の通りと考えられ、開閉器 S を閉じた瞬間から時間 t を数へ閉じた時の電圧 e の位相を θ とすれば



第3図

$$e = 2L \frac{di}{dt} + 2ri$$

$$e = \sqrt{2} E \sin(\omega t + \theta)$$

これを解いて $t=0$ のとき $i=0$ を代入すれば

$$i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \theta - \phi) - \sqrt{2} I \sin(\theta - \phi) e^{-\alpha t}$$

但し

$$I = \frac{E}{2\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{E}{2Z} \quad \phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{r}$$

$$\alpha = \frac{r}{L} = 2\pi f \frac{r}{x}$$

i の第1項は永久項であり、第2項は過渡項である。従つて $\theta = \phi$ のときに S を閉路すれば過渡現象は起らない。これに反し $\theta = \frac{\pi}{2} + \phi$ のときに過渡項は最大となる。過渡項が最初の値の K% に減衰するまでの時間を T_K とすれば、

$$T_K = -\frac{1}{\alpha} \log_e \left(\frac{K}{100} \right) = -\frac{2,303}{\alpha} \log_{10} \left(\frac{K}{100} \right)$$

故に10%になる迄の時間 $T_{K=10} = \frac{2,303}{\alpha}$

また1%になる迄の時間 $T_{K=1} = \frac{4,606}{\alpha}$

今第8表について電流の過渡項が10%または1%に減衰する迄の時間を計算すれば第10表の通りである。

第10表 短絡電流過渡項減衰時間

| 短 絡 個 所 | 減衰率 α | 10%になる時間 $T_{K=10}$ | 1%になる時間 $T_{K=1}$ |
|----------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| 1階配電盤 C ₁ | 96.5 | 0,0239 | 0,0478 |
| 2階分電盤 C ₂ | 554 | 0,0042 | 0,0083 |
| 2階電動機 M ₁ | 1620 | 0,0014 | 0,0028 |
| 3階分電盤 C ₃ | 1550 | 0,0015 | 0,0030 |
| 3階電動機 M ₂ | 2480 | 0,0009 | 0,0019 |

以上の結果よりみて2階または3階の電動機のターミナルで短絡した場合には最悪の場合でも過渡電流は僅か 1/13 サイクルで10%に減衰している。従つて過渡現象については殆んどが考慮する必要がない。2階分電盤で短絡した場合には 1/5 サイクルで10%に減衰するので $\theta = 120^\circ$ 附近で閉路した場合には短絡電流値に多少影響することがあると考えられる。

(2) 試験結果とその考察

実験Ⅳ 3階分電盤 C₃ のヒューズボックス A を M₂ にて短絡

1. 試験結果

3 階分電盤 C₃ にヒューズボックス A (MK 250V30A 電流計付) を取付け 20A または 30A 鉛ヒューズを取付け、電動機 M₂ のターミナルで単相または三相短絡しておいて油入遮断器 S を投入して短絡試験を実施した結果は第11表の通りである。

なお第7図に示すように最初電磁開閉器 M₂ S を挿入して実験したが第1回の実験 121 で Ph5 の如く R 相の熱コイルが溶断したらしく第2回の実験 124 では三相短絡したにも拘らず R 相には通電していない。

また第3回の実験 132 では三相短絡をしたにも拘らずヒューズは3本共溶断せず R 相は前と同じく通電せず T 相は約 1.5 サイクルでアークとなり 2.5 サイクルで遮断した。そして Ph7 の如く電磁開閉器の T 相の熱コイルが溶断した。

従つて以後電磁開閉器の熱コイル R 及び T 相を短絡して素通しとして (S 相は最初から素通し) 実験を行った。なお実験 132 の T 相の電流は実験 132-2 の T 相の約 1/2 であつた。(第11表参照)

2. 試験結果の考察

試験回路の規約短絡電流を実測した抵抗値を基にして計算した結果は単相短絡にて 560A、三相短絡にて 645A である。実際の短絡電流もそれ以下と考えられガスの発生も少く従つて Ph4-9 に示す如く汚損も少く 2.5~3 サイクルにて軽く遮断している。

実験Ⅴ 2階分電盤 C₂ のヒューズボックス A を M₁ にて短絡

1. 試験結果

第11表

C₂ のヒューズボックスAのM₂にての短絡試験結果

(計算による規約短絡電流 単相560A 3相645A)

| 実験 番号 | 使用ヒ ューズ | 短 絡 | 遮 断 時 間 | 音 響 | ガス 漏洩 の 状況 | 火気 漏洩 の 状況 | 電流計の振 れ (S相max 60A) | ガス の 発 生 状 況 | ヒューズ の 溶 融 状 況 | 汚損状況 | | 異極 間短 絡の有 無 | そ の 他 | 参 照 |
|-----------|------------|-------------|------------|--------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|------|----------------------|---------------------|--------|
| | | | | | | | | | | 全 般 | 不使用極 | | | |
| 121* | Pb20A | 単相 (R-S) | — | 小 | なし | なし | 振れる(?) | 少 | 爪残る | 少 | なし | なし | Mag. S. Rのコイル 溶断 | Ph 7.8 |
| 124* | " | 3相 | 0.0615秒 | " | " | " | 9A位 | " | R残る | " | — | " | ST短絡(Rは不通) | " 9 |
| 132* | Pb30A | " | 0.0492" | " | " | " | 振り切れる | なし | 溶断せず | なし | — | " | Tのコイル溶断 | " 10 |
| 132 -2 | " | " | 0.0631" | " | " | " | " | 少 | T一部残る | 少 | — | " | 以下MagS短絡して 実験 | " 11 |
| 131 | " | 単相 (R-T) | 0.055" | " | " | " | — | なし | R溶断せず | なし | なし | " | | " 12 |

2 階分電盤 C₂ にヒューズボックスA (MK250V 30A 電流計付) を取付け実験Ⅳと同様の短絡試験を行つた結果は第12表に示す通りである。

第12表 C₂ のヒューズボックスAの M₁ にての短絡試験結果

(計算による規約短絡電流 単相1,060A 3相1,220A)

| 実験 番号 | 使用ヒ ューズ | 短 絡 | 遮 断 時 間 | 音 響 | ガス 漏洩 の 状況 | 火気 漏洩 の 状況 | 電流計の振 れ (S相max 60A) | ガス の 発 生 状 況 | ヒューズ の 溶 融 状 況 | 汚損状況 | | 異極 間短 絡の有 無 | そ の 他 | 参 照 |
|-----------|------------|-------------|------------|---------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------------------|-------|
| | | | | | | | | | | 全 般 | 不使用極 | | | |
| 221 | Pb20A | 単相 (T-R) | 0,0124秒 | 小 | なし | なし | — | 少 | Tは壁に溶 着 | 少 | (Rのみ) | なし | なし | Ph 13 |
| 222 | " | 3相 | 0,0139" | " | " | " | 6A位 | 中 | Sは" | 中 | — | " | | " 14 |
| 222 -2 | " | " | 0,0138" | 大 | " | " | 15A位 | 多 | | R多し | — | " | | " 15 |
| 231 | Pb30A | 単相 (R-S) | 0,0309" | 中 | " | " | 9A位 | 中 | | 少 | なし | " | | " 16 |
| 232 | " | " (S-T) | 0,0234" | 小 | " | " | 6A位 | 殆ど なし | Sは漸く溶 断 | 殆どなし | なし | " | Sは漸く切れる | " 17 |
| 233 | " | " T-R) | 0,0255" | 小 | " | " | — | 中 | | 少 | なし | " | *0,0206秒で遮断 したが0,027秒で 再通電 | " 18 |
| 234 | " | 3相 | 0,0306" | *稍 大 | " | " | 9A位 | 中 | | 少 | — | " | | " 19 |

2. 試験結果の考察

規約短絡電流が単相にて 1060A, 三相にて 1220A であるが全体を通じて完全に軽く遮断している。

遮断時間は20Aヒューズでは平均0,0137秒であるのに対し30Aヒューズでは平均0,276秒で約2倍になっている。また実験234ではR. T相共0,0206秒にて一旦遮断しているにも拘らず0,027秒で僅かではあるが再び通電し、0,0309秒で完全に遮断している。R. T相にヒューズメタルの溶着が多いのでこれが再点弧することを助けたので

はないかと考えられる。

実験Ⅵ 2階分電盤 C₂ のヒューズボックスAを負荷側にて短絡

前記2階分電盤C₂に取付けたヒューズボックスA (MK250V 30A電流計付)をボックスのすぐ負荷側で単相短絡して試験を行つた結果は第13表の通りである。規約短絡電流を計算した結果は3,050A でガスの発生は多かつたが漏洩その他の異常なく遮断している。

第13表 C₂ のヒューズボックスAの負荷側での短絡試験結果

(計算による規約短絡電流 単相3,050A 3相3,530A)

| 実験 番号 | 使用ヒ ューズ | 短 絡 | 遮 断 時 間 | 音 響 | ガス 漏洩 の 状況 | 火気 漏洩 の 状況 | 電流計の振 れ | ガス の 発 生 状 況 | ヒューズ の 溶 融 状 況 | 汚損状況 | | 異極 間短 絡の有 無 | そ の 他 | 参 照 |
|----------|------------|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|------------|-----------------------------|-------------------------------|------|------|----------------------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | 全 般 | 不使用極 | | | |
| 331 | 30A | 単相(S-T) | 0,0115秒 | 小 | なし | なし | 不詳 | 多 | 溶粒飛散 | 中 | なし | なし | | Ph 20 |

実験Ⅶ 2階分電盤 C₂ のヒューズボックス Bを負荷側にて短絡

1. 試験結果

2階分電盤C₂にヒューズボックスB (MK250V 60A)

を取付けその負荷側にて短絡して試験した結果は第14表の通りである。

第14表

C₂ のヒューズボックスBの負荷側での短絡試験結果

(計算による規約短絡電流 単相3,050A 3相3,530A)

| 実験 番号 | 使用ヒ ューズ | 短 絡 | 遮 断 時 間 | 音 響 | ガスの 漏 出 | 火気の 漏 出 | ガスの 発生 状況 | ヒューズ の 溶融状況 | 汚損状況 | | そ の 他 | 参 照 |
|----------|------------|-------------|------------|-----|--------------|------------|-----------------|-------------------|-----------|------|----------------|-------|
| | | | | | | | | | 全般 | 不使用極 | | |
| 340 | Ag40A | 単相 (T-R) | 0,0117秒 | 小 | なし | なし | 中 | 溶粒焼付 爪一部溶損 | 多 (黒化) | なし | T右壁一部白く焼付 | Ph 21 |
| 341 | Pb40A | 〃 | 0,0074〃 | 小 | 〃 | 〃 | 少 | 溶着 | T多し | 〃 | T板両壁炭化多し | 22 ズ |
| 361 | Pb60A | 単相 (R-S) | 0,0274〃 | 中 | 〃 | 〃 | 中 | 溶粒飛散 | 多 | 微小 | 蓋 10MΩ | 〃 23 |
| 362 | 〃 | 〃(S-T) | 0,0298〃 | 中 | 〃 | 〃 | 多 | 〃 | 〃 | なし | 〃 | 〃 24 |
| 363 | 〃 | 〃(T-R) | 0,0325〃 | 稍大 | 〃 | 〃 | 多 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 25 |
| 364 | 〃 | 3相 | 0,0368〃 | 〃 | 右上に微 かに出る | 〃 | 多 | 〃 | 〃 | 一 | 蓋Rヒューズ下器台微かに剝離 | 〃 26 |

2. 試験結果の考察

規約短絡電流が大きいので概してガスの発生量も多く汚損も多い。しかし器台の破損その他の異常は認められずまた絶縁も低下していない。

実験 364 で 60A の鉛ヒューズで 3 相短絡した場合に右上方より微かにガスが漏れたが周囲の粉塵に着火するような恐れは認められない。

また実験 341 で 40A の鉛ヒューズを使用した場合には僅か0.0074秒で軽く遮断している。

結 語

以上の実験結果より次のことが考えられる。

1. MK250V 30A及び60Aの密閉型ヒューズボックスに鉛ヒューズを挿入し規約短絡電流約3,000Aでインピーダンスの大部分を負荷側に挿入した苛酷な試験回路で試験した結果、常に約1/2サイクルで異常なく遮断し異極間隔壁は有効に働いている。唯蓋の上部または下部より微かにガスが漏れたが外部の可燃性粉塵に着火する危険はないものと認められる。またこれは蓋のパッキングを改良することにより防ぎ得るものと考えられる。

2. 一般に鉛ヒューズよりは銀ヒューズの方がヒューズ溶断電流並びに遮断時間が短い。溶断後のアーク持続時間は却つて長い傾向があるが、全般としては銀ヒューズを使用することにより更に遮断性能を向上し得るのではないかと考えられる。

3. A工場の澱粉工場について回路抵抗を測定した結果は電線のみを計算した結果の2~4割増であつた。回路の力率は計算値と実測値が殆んど一致した。これらの結果に基いて分電盤のヒューズボックスにおける短絡電流を求めたところ電動機のターミナルで単相短絡した場合1,060A以下ボックスの負荷側で短絡した場合3,050A以下となる。

4. 現場実験の結果はすべて異常なく遮断している。唯60Aのヒューズボックスを負荷側で3相短絡した場合に上部より微かにガスが漏洩したが周囲の可燃性粉塵に着火する危険がないものと認められる。

5. 以上の結果よりA工場の澱粉工場の分電盤C₂と同程度以下の回路条件の場所に前記ヒューズボックスを使用した場合、保安全管理が完全に行はれるならば粉塵爆発の着火源になる危険はないものと認められる。

(電気課)