# 直流高速度遮断器の遮断性能

設計研究部器具課　小　幡　幸　郎

# Rupturing Performance of D.C. High Speed Circuit Breaker

By Yukio Obata
(Apparatus Div., Design & Research Dep't.)

**Synopsis**

Since a few years ago the required interrupting duty of d.c. high speed air circuit breakers, which are used in railway substations, electrochemical plants and other industrial purposes, becomes large as the plant capacity increases rapidly. In relation to this problem, recently we have carried out the high current interrupting tests on our standard high speed air circuit breaker in our Kawasaki Works. According to the results of this tests, it has been proved that our breaker is able to interrupt the actual current of 40 kA.

## I. 緒　　言

当社の直流高速度遮断器はここ十数年来，電気鉄道，電気化学および工業動力などの各分野における直流電源あるいは直流回路の保護用として，すでに多数納入されているが，この間使用者の要求その他にもとづいて現在まで絶えず改良につとめてきた．保守点検を簡易，単純化するための構造上の改善ももちろんであるが，最も力を注いできたのはやはり遮断器本来の目的である短絡電流の遮断性能の向上である．以下には，直流高速度遮断器について最近とりあげられるに至った問題およびこれに関連して当社製品を国鉄技研ならびに当社において試験した結果の概略を御報告したいと考える。

## II. 直流大容量系統における事故電流の増大とその対策

わが国の電気鉄道変電所（とくに国鉄の）においては，近年輸送力強化のため直流電源が増強せられ，そのため事故発生時の短絡電流が著しく大きくなっている．そしてここに使用せられる保安用の高速度遮断器の遮断容量が充分かどうかが問題となり，つぎにはこの遮断容量を決定するためには，先ずこの事故電流の性質を明らかにしなければならないことが関係者間でようやく認識せられるに至っている．その動きの一つのあらわれとして，国鉄日暮里変電所においては営業運転中，水銀整流器逆弧発生時の逆弧電流を磁鋼片によって実測中であって，その結果が一部発表されている[(1)]．これによると 1,500 V 3,000 kW の水銀整流器が 3 台以上並列運転している場合には，逆弧電流が 25 kA ないし 35 kA に達すると述べられている。

次に電気化学工場における直流系統は，戦前からも非常に大容量のものが存在している．この場合も同様に逆弧電流の大きさが問題である．これに関連して当社では，昨年末日本軽金属株式会社の御協力によって同社蒲原工場においてわが国最初の水銀整流器人工逆弧試験を実施することができ，この分野における研究に先鞭をつけた[(2),(3)]．この場合逆弧電流の最大値は 36 kA（直流電圧 645 V において）となっている。

電鉄用と電気化学用とを問わず，これら水銀整流器の逆弧電流は，一般に陰極側に挿入せられる逆方向高速度遮断器によって遮断せられる．しかしてこの逆弧電流の値はもちろん電源側のインピーダンス（変電所の位置，容量，並列器数等により決まる）によって決まるはずであるがこの値がこれまでほとんど明確にされていなかったというのも，もともと水銀整流器を含む回路における短絡現象の解明が甚だ困難であるため机上計算によるだけでは確信のもてる数値が中々得られないこと，さらに現地において人工逆弧試験を行なうにしても相当大規模な準備を要し，また営業運転を多少なりとも阻害するために事実上不可能であったことによるのである．したがって逆弧電流の値に関して目下のところわが国で一般に発表されている資料としては上記の二つの例があるにすぎない。

とはいえ，現実の問題としては尨大な電力をとりあつかっている以上，少くとも当面の保安対策だけでも確立する必要に迫られているため，電鉄変電所関係では一二年前から各関係者が協同して，前述のような実験結果や机上の推論にもとづいて，国鉄の主要変電所における水

銀整流器逆弧時の事故電流の特性を究明しつつある．この結論がまとまれば，逆弧時の電流の性質が明らかになり，したがって保護用高速度遮断器の責務もおのずからはっきりしてくると思われる。

このような情勢にあるとき，現用の標準型の逆方向高速度遮断器の遮断性能を調査するために，次にのべるような試験が行なわれたわけである。

## III. 国鉄における試験結果

昨年国鉄技術研究所電力保安研究室の二の宮分室において各メーカー製の現用高速度遮断器（定格 1,500 V 3,000 A）についての遮断試験が行なわれた．これは試験電圧直流 1,500 V において推定短絡電流 5～50 kA，回路全インダクタンス 0.5～8 mH の各種の回路について合計約 40 回の試験であったが，その結果，当社のものは次のような点においてその特色を充分に発揮し好成績を収めた。

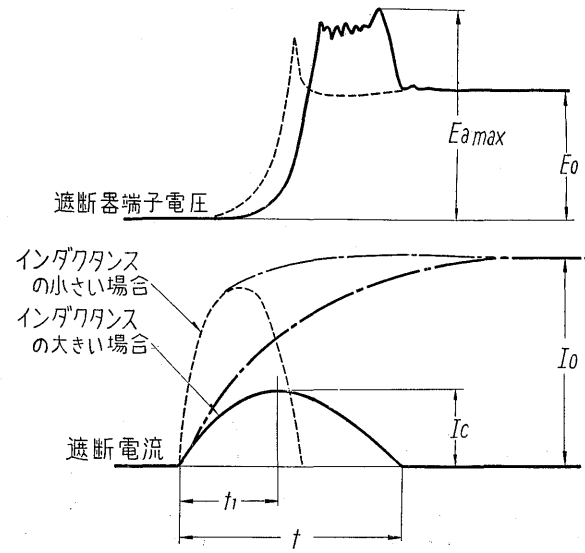
1) 限流作用がとくに著しい．一例をあげると推定短絡電流 50 kA，回路インダクタンス 0.5 mH の回路においては，実遮断電流はわずかに 19.1 kA にすぎなかった．第1図に直流高速度遮断器における遮断現象の一般的な形が図示されている（図中の記号の説明は下記を参照のこと）が，今の場合の試験成績は

| | |
|---|---|
| 試験電圧 | $E_o=1{,}500$ V |
| 推定短絡電流 | $I_o=50{,}000$ A |
| 実遮断電流 | $I_c=19{,}100$ A |
| 電流突進率 | $di/dt=3\times10^6$ A/s |
| 逆流引外目盛 | 400 A |
| 減流開始時間 | $t_1=9.3$ ms |
| 遮断時間 | $t=23.5$ ms |
| アーク電圧最大値 | $E_{max}=2{,}100$ V |

となっているが，これは限流作用が充分で保護性能の大きいことを示している．これは当社製品の最も大きい特長であるリアクションコイルの作用により開極時間がきわめて短かったことと，またアーク電圧の上昇速度が比較的大きかったこととによるものである。

2) アーク電圧が上昇しきってから以後において非常に安定している．すなわち，消弧作用が確実であって，電弧時間にも安定性がある．このことは，とくにインダクタンスの大きい回路を遮断する場合にとくに顕著であった。

3) 主接触子表面の損傷はほとんどなく，爾後の通電には全然影響がない．またアーク接触子も前後 40 回に亘る遮断を行ないながらなお充分使用に耐える状態であった。




第1図　直流高速度遮断器の遮断現象

Fig. 1. Phenomena occured on interrupting operation of D.C. high speed air circuit breaker

この試験の実施によって，それまでやや漠然としていた遮断性能が明らかになった．第1図に示すように推定短絡電流が等しく，回路インダクタンス $L$ が異る二つの短絡回路を遮断する場合を比較すると，$L$ の小さい場合は第1図の点線のように実遮断電流 $I_c$ は大きいが，減流開始時間 $t_1$ ならびに遮断時間 $t$ は短く，また $L$ の大きい場合は図の実線のように $I_c$ は小さいが，$t_1$ および $t$ は長いという傾向がきわめてはっきりわかったわけである。

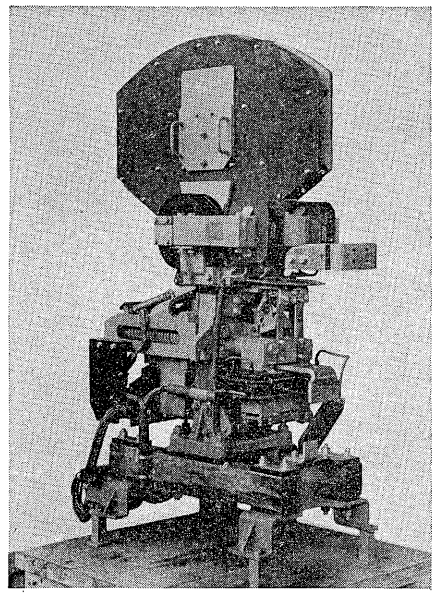
なおこの試験の全貌については別に公表されることと思うので，ここではこの程度の紹介にとどめておくことにする。

## IV. 当社における試験結果

さて上記の国鉄での試験における回路条件としては，回路全インダクタンス最小の場合 0.5 mH で，したがって電流突進率の最大値は

$$\left[\frac{di}{dt}\right]_{t=0}=\frac{E}{L}=\frac{1{,}500}{0.5\times10^{-3}}=3\times10^6\ \mathrm{A/s}$$

であった．そこでこれより大きい電流突進率をもつ回路に対しては限流作用がいかに変化するか，また接触子や消弧室の損傷がどのようになるかを調べるために，当社川崎工場において，現用標準型の高速度遮断器，定格 1,500 V 3,000 A のものについて，以下に述べるような試験を実施した（本遮断器の外観写真を第2図に示す）。



第2図　直流高速度遮断器 1,500 V 3,000 A
Fig. 2. D.C. high speed air circuit breaker

試験成績のうち主なものは別掲の第1表の分類Aに示す通りである．またこの表中の分類Bは逆流引外目盛調整値を変えた場合に限流作用がどのように変化するかを調べるために，参考的に行なった試験の結果である。

## 1. 試験 A について

この試験は20kV受電の4,000 kW水銀整流器設備1組を電源とし，直流電圧約 1,800 V で直流側を短絡したものである．整流器用変圧器としては，とくにインピーダンス小さく，また耐電流強度の大きいものを使用した。

第1表に明らかなように試験電流（実遮断電流）の最大値は40kAに達した．この値は前記の国鉄日暮里変電所における事故電流の値と併せ考えるとちょうどよくマッチしており，この試験結果からすれば，本遮断器ならば日暮里変電所においては支障なく使用できることがいえる。

遮断後の遮断器の状態は，その後の使用には全然支障ないものであった．主接触子の損傷は10～20kA程度の遮断の場合と比較して変化なく，きわめて軽微である．アーク接触子の損傷はかなり大きい．したがって消耗量も大きいわけであるが，ただ消耗する表面積が 10～20kA程度の場合より相当大きくなっている割合に，厚みの方向の消耗が少かった．そこでアーク接触子の寿命も大して変化しないものといえる。

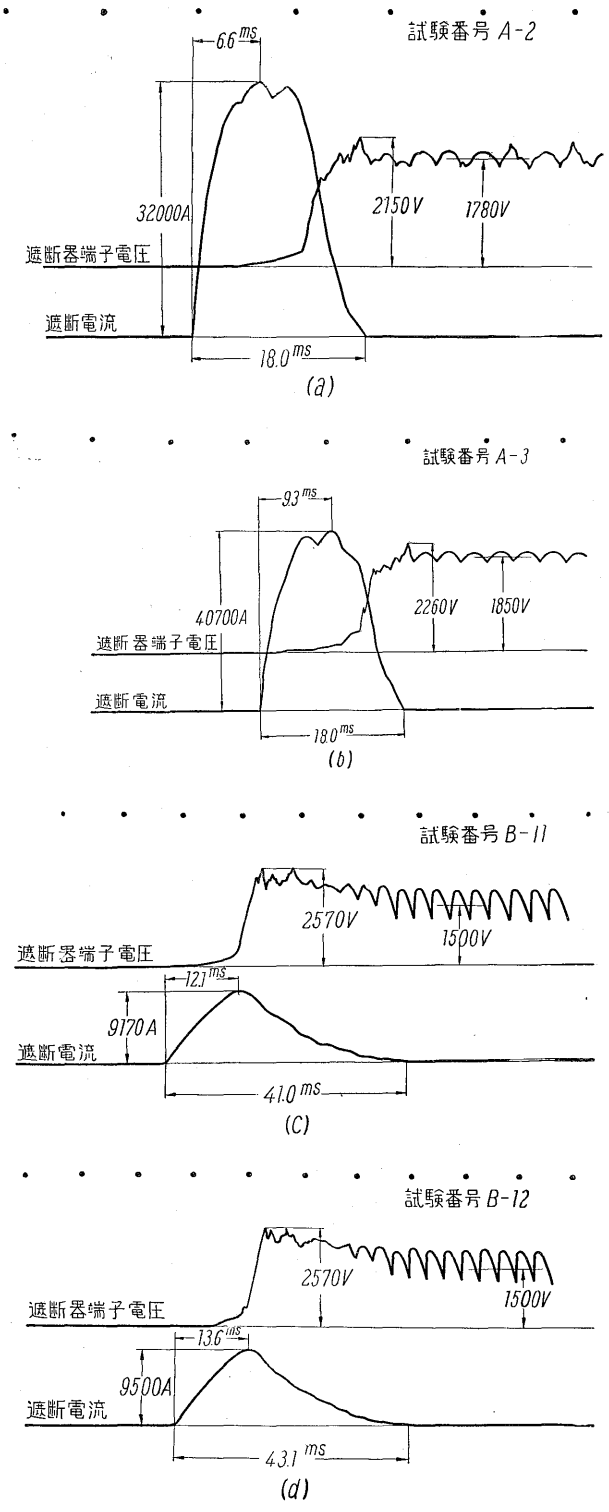
消弧室の汚損状況は10～20kA程度の場合に比して若干大きくなっている．しかし絶縁抵抗その他は試験前とほとんど変化ないので実用上なんら支障がない．その他機構部分も全然支障がなかった。

試験番号A—2（32kA 遮断）およびA—3（40kA 遮断）の場合のオシログラムをそれぞれ第3図（a）および（b）に示す．このように電流突進率が $17\times10^6$ A/s 以上というようなきわめて大きい場合には限流効果はきわめて小さい（この点は 10～20kA でも同様である）．また

第1表　直流高速度遮断器の遮断試験成績
Table 1. Test result of D.C. high speed air circuit breaker

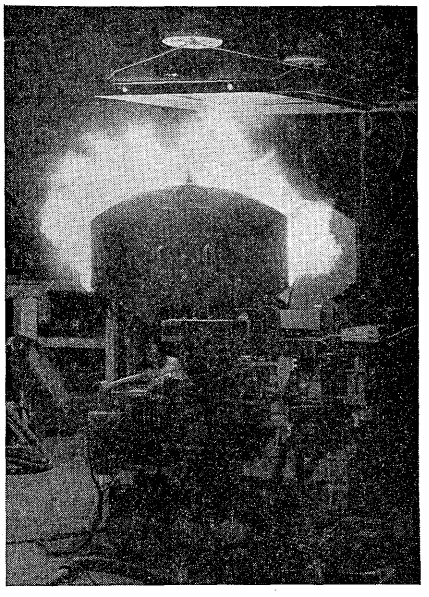
| 分類 | 試験番号 | 試験電圧 $E_o$ (V) | 推定短絡電流 $I_o$ (A) | 実遮断電流 $I_c$ (A) | 電流突進率 (A/s) | 逆流引外目盛 (A) | 減流開始時間 $t_1$ (ms) | 遮断時間 $t$ (ms) | アーク電圧最大値 $E_{max}$ (V) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | A—1 | 1,760 | 15,200 | 14,560 | 13.7 | 400 | 6.5 | 12.8 | 2,010 |
| | A—2 | 1,780 | 33,500 | 32,000 | 17.2 | 400 | 6.6 | 18.0 | 2,150 |
| | A—3 | 1,850 | 43,400 | 40,700 | 17.5 | 400 | 9.3 | 18.0 | 2,260 |
| B | B—1 | 1,500 | 25,000 | 24,900 | 5.8 | 400 | 8.7 | 15.7 | 2,410 |
| | B—2 | 1,500 | | 24,400 | | 800 | 8.2 | 15.6 | 2,260 |
| | B—3 | 1,500 | 25,000 | 16,100 | 3.0 | 400 | 9.3 | 17.1 | 2,560 |
| | B—4 | 1,500 | | 18,700 | | 800 | 10.0 | 19.0 | 2,390 |
| | B—5 | 1,500 | 25,000 | 14,600 | 2.7 | 400 | 10.1 | 21.9 | 2,540 |
| | B—6 | 1,500 | | 14,000 | | 800 | 10.1 | 20.1 | 2,720 |
| | B—7 | 1,500 | 25,000 | 11,600 | 1.54 | 400 | 11.3 | 25.6 | 2,680 |
| | B—8 | 1,500 | | 12,100 | | 800 | 12.2 | 29.5 | 2,700 |
| | B—9 | 1,500 | 25,000 | 9,950 | 1.16 | 400 | 12.2 | 33.8 | 2,570 |
| | B—10 | 1,500 | | 11,300 | | 800 | 13.4 | 38.8 | 2,570 |
| | B—11 | 1,500 | 25,000 | 9,170 | 0.91 | 400 | 12.1 | 41.0 | 2,570 |
| | B—12 | 1,500 | | 9,500 | | 800 | 13.6 | 43.1 | 2,570 |
| | B—13 | 1,500 | 25,000 | 8,150 | 0.8 | 400 | 12.7 | 42.7 | 2,500 |
| | B—14 | 1,500 | | 8,750 | | 800 | 13.6 | 53.0 | 2,520 |

遮断時間は10～20kAの場合より若干長くなっている．これは本遮断器はもともと10～20kAの実遮断電流において遮断時間が最も短くなるように消弧室の構造寸法（例えば内幅寸法，アーク伸長用バリヤの形状寸法あるいは配置，2次吹消マグネットの仕様や配置等）を決めてあるので，30kAをこえるような実遮断電流の場合にはこれが最適の条件ではなくなる．すなわちアークによって発生する導電性のガスの量が電流値のふえるにしたがって増大するので，これを磁気吹消作用によって処理し終えるのに若干多くの時間を要するに至ったものと考えられる．このことは本遮断器が30～40kAの遮断には不適当であることを意味するものではなく，逆に充分な裕度をもつものであることを示している．とにかく遮断の任務は充分確実に果しているのである．また電流突進率がきわめて大きいにもかかわらず，保持マグネット磁束反転による自己保持現象の恐れは全然ないことも明らかである．なおA—3（40kA遮断）の場合消弧室からアークの噴出する状況が第4図の写真に示されている．この場合アークの噴出した距離は上方に320mm，左右の側方にいずれも220mmとなっている。




第3図　直流高速度遮断器の遮断試験オシログラム

Fig. 3. Oscillogram of interrupting tests of D.C. high speed air circuit breaker



第4図　40,700 A を遮断したときのアーク噴出状況

Fig. 4. Arc of D.C. high speed breaker interrupting 40,700 A

## 2. 試験 B について

この試験は3kV受電の2,000kW水銀整流器設備1組を電源とし，直流電圧1,500Vで直流側を短絡したものである．この試験の目的は，逆流引外目盛の調整値を変えた場合に遮断器の限流特性がどの程度変化するかをみるために行なったものである．ただしこの場合使用した遮断器の消弧室は，現用の最新型のものではなかったので遮断時間，とくに電弧時間が，前記国鉄の試験の結果の値よりも若干長くなっている。

目盛調整値400Aの場合と800Aの場合とを比較する

と，800 A の場合の方が大むね限流効果が減少していることは確かであるが，この差異は意外に小さく，とくに回路インダクタンスの小さい場合にはほとんど変化がない．それよりもむしろ水銀整流器の電流波形や遮断器の動作状態のバラツキなどの誤差の方が大きく作用しているようである．そこで第1表に示した程度の限流効果の減少が許容されるならば，目盛調整値を 800 A 付近まで増加させても，遮断特性には実用上悪影響はなく，一方においては，このようにすると保持マグネットの励磁が強くなるので開閉操作の信頼度は非常に増すことになる．したがって逆方向高速度遮断器に関する限り無人用変電所において使用される場合には支障ない限り目盛調整値を多くとる方が保守上大変有利になると考えられる。

試験番号 B—11 および B—12 の場合のオシログラムをそれぞれ第3図（c）および（d）に示す。

## V. 結　　言

上述したように近時直流大容量系統の保護方式の問題の重要性がとり上げられつつあり，回路自体の特性の調査と遮断器ならびにその試験設備の検討とが現在並行して行なわれはじめている状態であるが，これについての一つの参考資料として，最近当社において実施した試験の結果の概略をここに御紹介した．これによって直流系統の保護方式検討の一助ともなれば，まことに幸甚と考える次第である。

### 参考文献

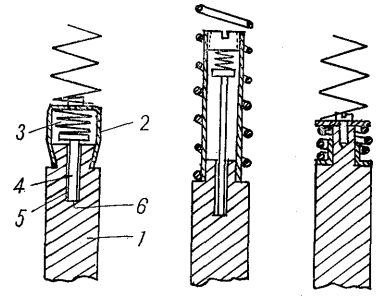

(1) 関　電気鉄道 第11巻第3号 昭和32年3月　2 頁
(2) 北村　富士時報 第30巻第4号 昭和32年6月　235 頁
(3) 小幡　富士時報 第30巻第4号 昭和32年6月　242 頁


# 電気機械器具における刷子装置

特 許 第 233021 号（シーメンス）

（この発明は 32—8—15 日，科学技術庁より注目発明として推奨公表されたものです）。

電動機の刷子装置においては刷子の取換時機は大切なものです．刷子が許容以上に摩耗した場合には例えば刷子の押し発条の金属部分が直接整流子上を摺動することとなり，火花の発生と共に整流子表面ないし巻線迄をも損傷してしまうことになります．このために今迄種々な装置が考えられ例えば刷子が限界長以上摩耗すると発条が作用しなくなるようにしたものが知られています．しかしこの構造では刷子が摩耗限界に達しても外部より窺知することはできずまたその間悪い整流作用の状態で電機は運転される欠点があります．この発明は上記のよう欠点を除いて刷子の取換時機の早期窺知を簡単に得られるようにしたものでありまして，刷子の押し主発条によって整流子面に押される刷子の摩耗がある限度に達すると整流子と刷子との間に絶縁棒を介して補助発条が主発条に抗して作用し，刷子を整流子面より釈放するものであります．すなわちこのことを図面で説明しますと炭素刷子の1の上部には蓋金具2が取付けられており，一方刷子の孔5の中に挿入されたピン4の頭と蓋2との間に補助発条3が圧入されています．ピンの先端6は刷子1の許容し得る限界に選んであります．電機運転中刷子が整流子面




第1図　　第2図　　第3図

との摺動により孔5の先端迄摩耗するとピン4はその先端6で刷子1を突破り補助発条3が作用するようになります．この発条は主発条の押力に抗して刷子1を整流子面より釈放し電気回路を遮断いたします．第1図の他にこの発明を使用して種々な構造のものが考えられます．一例を示せば第2，3図のごときであります。

以上のようにこの発明によれば刷子が危険限界迄摩耗すると危険運転に入らぬ前に電機を停止して刷子の交換時機を外部に窺知させることができます．さらに刷子摩耗による事故の発生も防止できる効果があります。

（特許課　池上）

e-Front runners

＊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。