

6.9kV 200A 高圧気中電磁接触器

6.9 kV 200A High Voltage Air-Break Electromagnetic Contactor

松 村 睦 夫*
Mutsuo Matsumura

内 容 梗 概

配電系統の6kV化に即応して6kV級高圧気中電磁接触器が開発された。この接触器は定格電圧6.9kV、定格電流200Aであって

(i) 特殊構造の消弧室の採用により、大きな遮断容量、すなわち三相6.9kVにおいて50MVAの遮断容量を有する。

(ii) 機械的衝撃を軽減した交流電磁石によって操作されるので、その機械的寿命すなわち機械的開閉動作の可能回数は250万回以上も保証できる。

(iii) 可動接触子の跳躍がきん少なため、接点の電氣的寿命が25万回以上にも及ぶ。

(iv) この種製品としては小形軽量で、かつ保守・点検が容易である。

(v) アメリカのNEMA規格を参考として製作されている。

などの特長をもつ。

本器は6kV級電動機または変圧器の一次開閉器として広範囲に使用されており、特にひん繁な高圧電動機の起動停止運転用として好適のものであって、6kV級乾式交流配電箱または6kV級コンビネーションスタータの形で最も多く適用される。

1. 結 言

近年、各種産業の大規模化に伴う配電系統電力の増加により、普通高圧配電線の配電容量の不足が表面化し、各電力会社においてはこの対策として配電電圧を3kVから6kVへ昇圧する計画が着々と進行実施されており、このためたとえば都市の新築ビルなどでは6kV配電が採用され、その冷凍機用電動機などには6kV級誘導電動機が用いられるようになってきた。一般工場内動力についてはいまだ傾向は顕著ではないが、6kV級電動機および変圧器の需要はますます増加しつつある現状である。

このう勢を考慮して、日立製作所ではさきに開発して多くの需要家各位より好評をもって迎えられている3kV級気中電磁接触器に引き続いて、6kV級気中電磁接触器の試作研究を行ってきたが、最近高性能の製品を完成してすでに100台以上納入されている。本器は6kV級電動機の運転用接触器として、また6kV級動力用変圧器の一次開閉器として使用されるものである。本稿ではこの新形接触器の構造と特長、各種性能試験結果、またこれを用いた二、三の製品について述べて需要家各位のご参考に供する。

2. 定 格 と 特 性

定格と特性の要点は第1表に示すとおりである。

わが国における高圧電磁接触器の規格は未制定であるため、アメリカNEMA Standards for Industrial Control Part 24に記載の条項を主とし、JEM-1097「交流配電箱」、JEC-145「交流遮断器」、JEM-1038「交流電磁接触器」およびドイツVDE 0660/12.52などを参考として各種性能試験を施行し、第1表の定格と特性を得たものである。

第1図にこの電磁接触器の外観を示す。

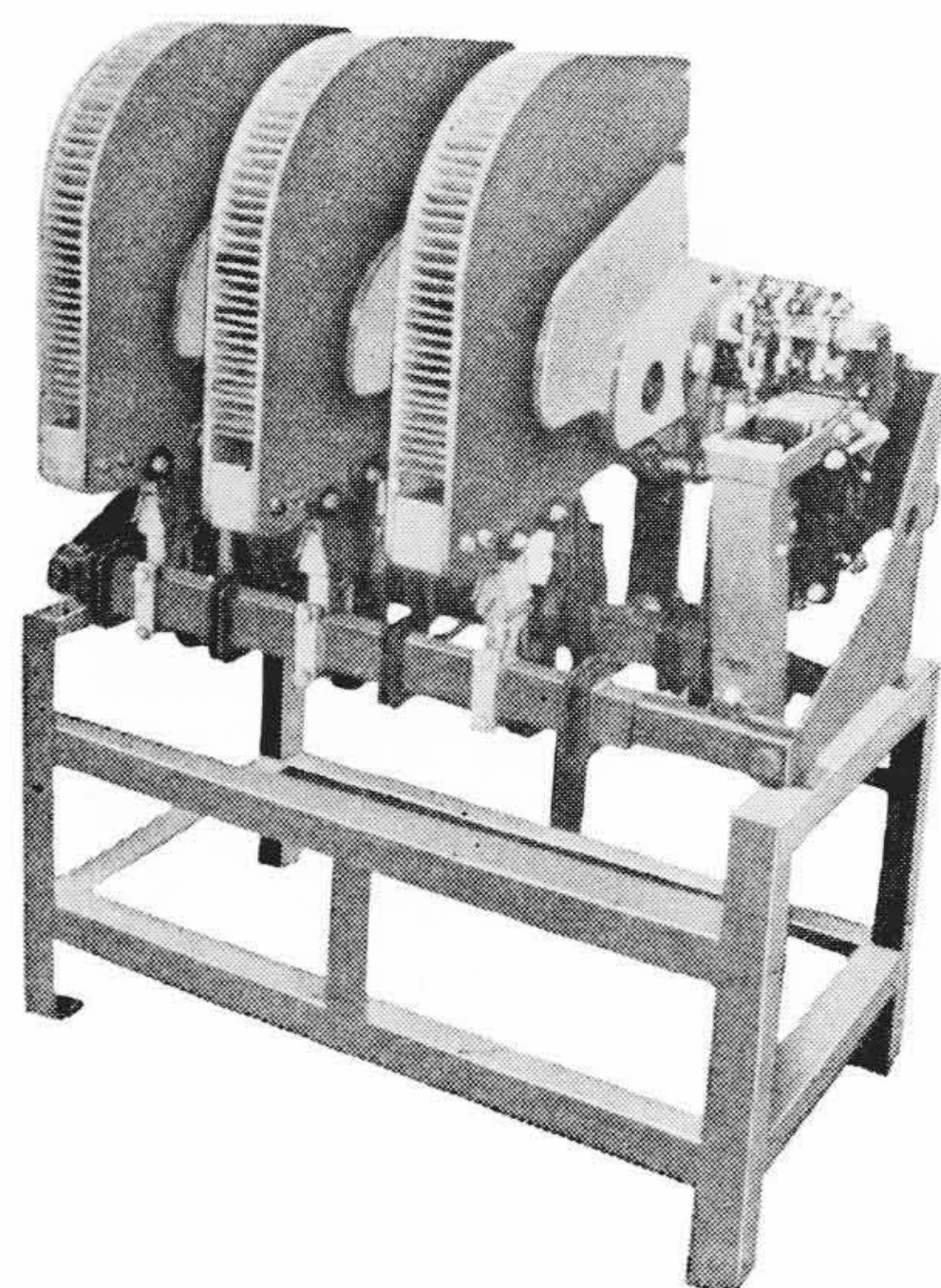
3. 構 造

構造全体については、さきに発表した⁽⁷⁾3kV級電磁接触器と外観がよく似ている。第1図にみられるように、操作用交流電磁石は向かって右側に、主接触部（三極）は左側に配置されており、また補助接触部は操作回路の配線につごうのよいよう操作用電磁石の上

* 日立製作所日立工場

第1表 6.9kV 200A気中電磁接触器の定格特性表

形 式	WFH-3S
定 格 電 圧	6.9kV (3φ, 50/60~)
定 格 電 流	200A
定 格 遮 断 容 量	50MVA (3φ, 6.9kVにおいて)
標 準 動 作 責 務	CO-2分-CO-2分-CO (NEMAによる)
定 格 短 時 間 電 流	4,800A 1秒 (JEC-145による)
開 閉 容 量	A級 (定格電流の10倍, JEM-1097による)
開 閉 ひ ん 度	2号 (600回/h, JEM-1097による)
機 械 的 寿 命	250万回以上 (2種, JEM-1038による)
電 氣 的 寿 命	25万回以上 (2種, JEM-1038による)
操 作 方 式	交流電磁操作
最大適用電動機容量	1,500 kW (6/6.6kV)
最大適用変圧器容量	2,000 kVA (6/6.6kV)



第1図 6.9kV 200A気中電磁接触器

方に置かれ、こうして高圧主回路を形成する主接触部と低圧操作回路を形成する電磁石および補助接触部とは空間的に完全に分離された構造である。

電磁石および主接触部の固定部分は2本の絶縁された固定フレーム上に、またそれらの可動部分は1本の絶縁された可動軸上に配置されている。なおほかの1本の絶縁された固定フレームはアークシ

ュートを支持し、これら3本の固定フレームは左右両端にある2つの三角状支持わくに強固に取り付けられ、1本の可動軸はこの三角状支持わく内の軸受にはめ込まれて回転できるようになっている。

可動軸の軸受にはニッケロイ（含油合金）を使用して注油の不便をなくしてある。機械的寿命試験によって軸受にはほとんど摩耗が起らないことが確認された。

本器は、上記の主要構成部分が前面から点検保守できる構造となっており、特に接触子はアークシュートを取りはずさなくても、これを持ち上げるだけで露出され、点検交換が容易にできるようになっている。

3.1 操作用電磁石

操作用交流電磁石については、すでに長年の実績を有する三脚形を採用して電磁石の小形化、余剰吸引力の減少および電磁石寿命の永続化をはかった。

なお可動鉄心が前後左右に若干回転するいわゆるフルフローティング機構を採用し、固定および可動鉄心相互の磁極面が完全に密着して長期間の使用に際しても騒音を発生しないようにしている。また磁極面に装着されるシェーディングコイルについては、別に理論的および実験的検討を行なって、電磁石の騒音防止の目的に対して最適の形状および抵抗値のものとしている。

電磁石コイルはPVF線（日立電線製）にサーモセットワニス（W-2800）を真空含浸して完全防湿処理をさらに防かび処理を施し、また最新の絶縁技術を適用して、層間短絡、断線などの故障の絶無を期している。工場における機械的寿命試験においては6秒に1回のひん度で開閉動作を行なっているが、異常はまったく認められていない。

3.2 補助接触部

補助接触部についても、長年の実績を有する二重切り接点機構のものをそのまま採用し、常時開接点（a接点）3個、常時閉接点（b接点）3個、計6個を備えている。定格は交流600V 10Aで、接点材質には銀を使用し、接触時の接点角度を適当ならしめて接触不良をなくしている。また二重切りのためたわみリード線の切断などの事故がなく信頼性が大きい。各接点間バリヤとして耐弧および耐熱性にすぐれているプリミックス板を用いている。

3.3 主接触部

主接触子とアーク接触子の両者を備えるいわゆる二段切り機構は、従来から電力用遮断器などに採用されており、器具全体の幅に比して通電容量が大きいという利点はあるが、構造的に複雑となり、保守、調整ならびに器具の機械的寿命が短縮される欠点があり、開閉動作のひん繁な用途に使用される接触器には不向きであるから、本器ではアーク接触子を廃して主接触子のみとし、これにアーク接触子の役目をも兼ねさせるいわゆる一段切り構造としている。

一般に電磁接触器において、その閉合時に可動接触子が固定接触子に衝突したとき、および操作用電磁石が閉合した瞬間に働く機械的な衝撃力のために可動接触子が反発し、過渡的な接点の開閉すな

わち接点の躍動が起こることは周知である。かご形誘導電動機の直入起動に使用される場合の多い電磁接触器では、接点の躍動により電動機の起動電流を開閉することになり、接点の消耗を増加せしめ、あるいは接点を溶着せしめる原因となる。したがって接点の躍動を極力少なく押さえる必要がある。この問題に関してはすでに以前に行なった理論的および実験的研究によって得られた結果によって躍動の最も少ない形状のフィンガー形可動接触子を採用している。

3.4 消弧装置

磁気吹消装置については、遮断器において採用されている、主回路通電中はその電流が吹消コイルを通らず、遮断時にアークが招弧角あるいはアーク接触子に移動してのち吹消コイルに電流を通じて吹消磁束を発生する方法は、開閉ひん度のはげしい用途に適用される電磁接触器では、ひん繁な回路遮断によって吹消コイルが過熱しやすく、また自己反発力によってアークが招弧角に移動するまでは吹消磁束が生じないから、アークが接触子間にとどまる期間、したがってアーク時間が長くなり、接触子やアークシュートの損傷を増し、その電気的寿命に悪影響を及ぼす。さらに誘導電動機の無負荷電流や変圧器の励磁電流のような遅れの小電流を遮断するときには自己反発力がきわめて小さくなってアークは接触子間にながくとどまり、アーク時間がながくなり、電動機運転上の支障を生じ、またときには遮断不能の現象を生ずる可能性がある。そこで本器では主回路通電中はその電流を吹消コイルに通すことによって開路時にはアーク発生と同時に強力な吹消磁束をアークに作用せしめて瞬時に招弧角に移動せしめるようにしている。

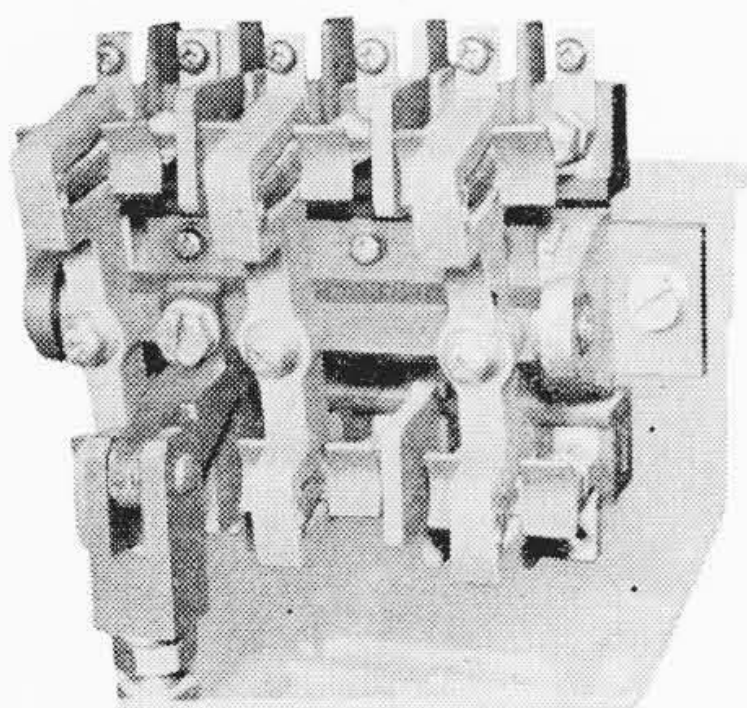
アークシュートの材質としては新しい耐弧耐熱性特殊絶縁材料を使用し、第1図にみられるように多数の内部バリヤが左右両側壁から交互にくし形に突き出して曲細隙（げき）構造を形成しており、アークは強力な吹消磁束による力を受けてこの曲細げき中に強制駆動して急速に引き延ばされ、かつ冷却されて消弧するが、とくに冷却作用を強化しているのでアークの急速な消滅に効果がある。

アークの足の部分については第3図に示すように、固定側招弧角と可動側招弧角の上を吹消磁束の力によって矢印のように移動し、最後に両招弧角の背後に設けられている曲細げき内に閉じ込められ、冷却されて消弧作用が促進される。

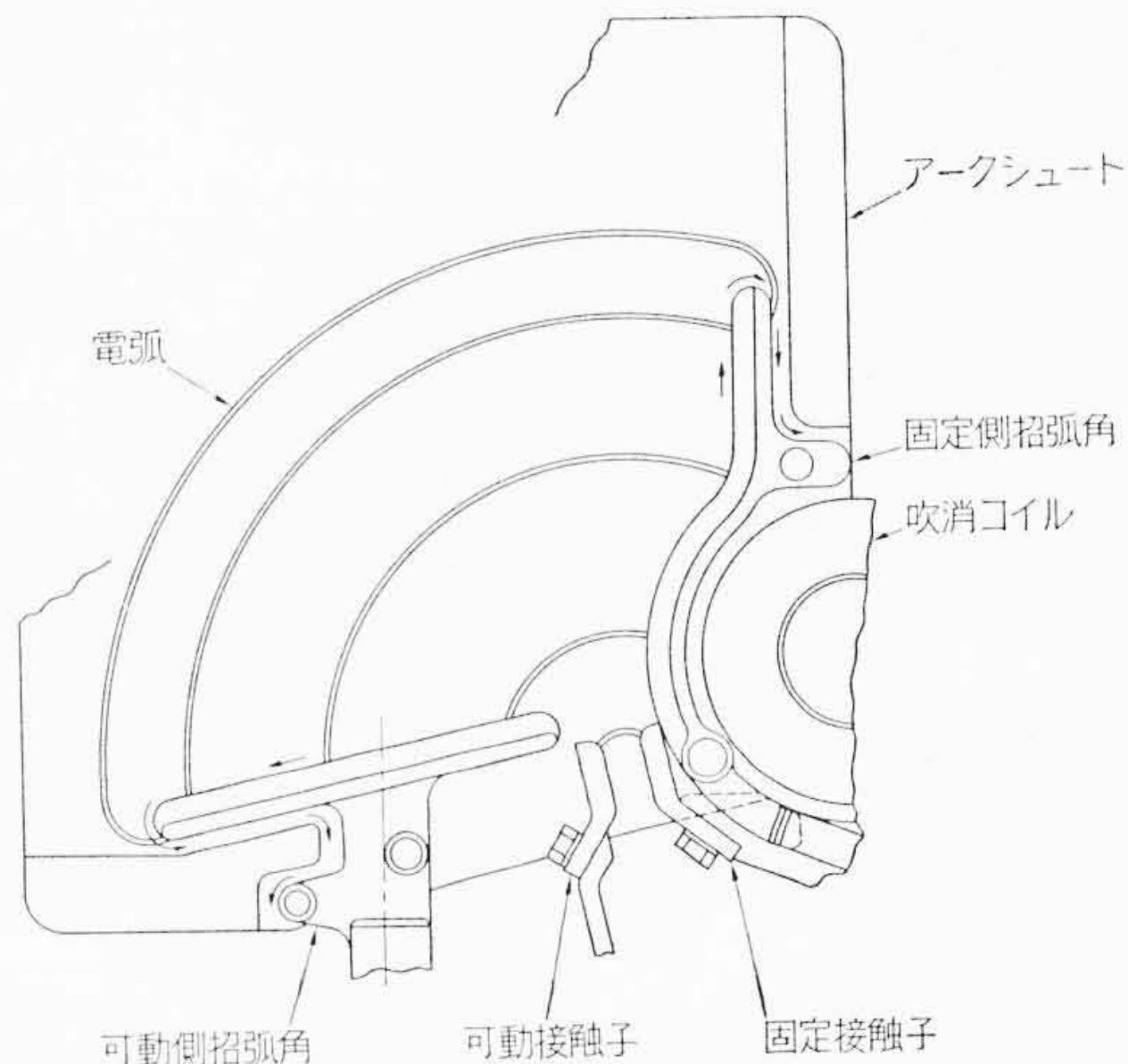
上述の新しい耐弧耐熱性絶縁材料およびこれを用いた消弧方式は、後述の試験結果でその性能が十分に確められている。

4. 試験結果

2で述べたように NEMA 規格に記載の条項を主とし、これにない条項は JEC, JEM などを参考として性能試験を行なったが、次に



第2図 補助接触部（常時開接点3個、常時閉接点3個）



第3図 アークシュートの内部構造

第2表 動作試験結果

操作電磁コイルの定格電圧	220V 60～	200V 59～
最低動作電圧 (V)	177 ～185(80.5～84%)	158 ～168 (79～84%)
釈放電圧 (V)	125 ～140(57～63.5%)	112 ～130 (56～65%)
起動電流 (A)	50 ～ 53	47 ～ 51
常用電流 (A)	3.5～4.05	3.2～ 3.9
励磁電力 (W)	152	125

この試験の主なる項目について述べる。

4.1 動作試験

動作試験の結果を第2表に示す。表中、最低動作電圧は操作回路電圧が低下したときでも確実に動作しうる電圧の最低値で、NEMA (および JEM-1038) では定格電圧の 85% 以下と規定されている。この電圧をあまり低くすると定格電圧時の電磁石閉路時の衝撃が大きくなり、その機械的寿命が短縮されるので好ましくない。釈放電圧は操作回路電圧を徐々に下げて開路するときの電圧である。

起動時には電磁石可動鉄心が開いており、励磁コイルのリアクタンスが非常に小さいので、起動電流は常用電流（電磁石閉合時の電流）に比して 10 倍程度の大きさとなる。電磁石のコイルはこの起動電流のくり返しにも十分耐えるように考慮されている。

4.2 温度試験

主回路には定格電流を通じ、操作回路には定格電圧を印加して温度試験を行なった結果、NEMA (および JEM-1029) の規定する温度上昇値に対して十分の余裕ある値を得たが、それらの数値は煩わしさをさけて省略する。なお本器をキュービクルなどの容器にほかの付属器具とともに収納した場合の温度試験結果も NEMA の規定値に対して十分余裕ある値を得ている。

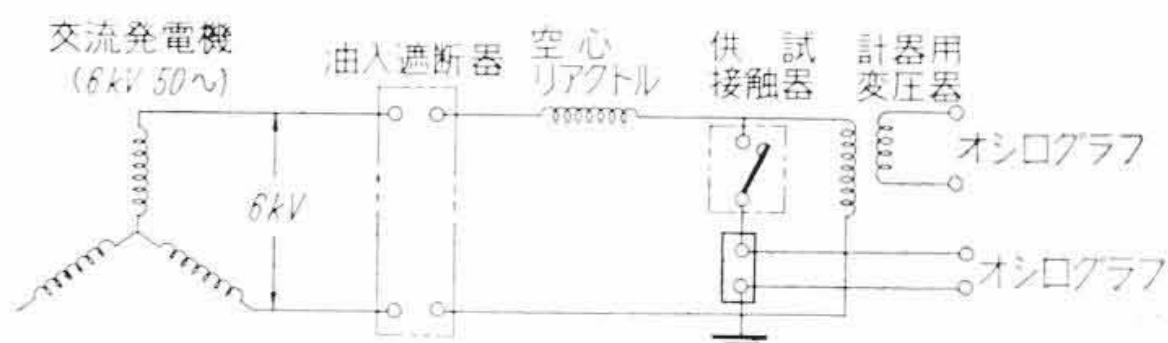
4.3 絶縁耐力試験

主回路の各相間、各導電部と接地金属間、および接触を開いた状態での各極間のそれぞれの絶縁耐力は NEMA (および JEM-1021) の規定に合格する。すなわち交流 17.5 kV (実効値) を 1 分間印加してもこれに耐える。

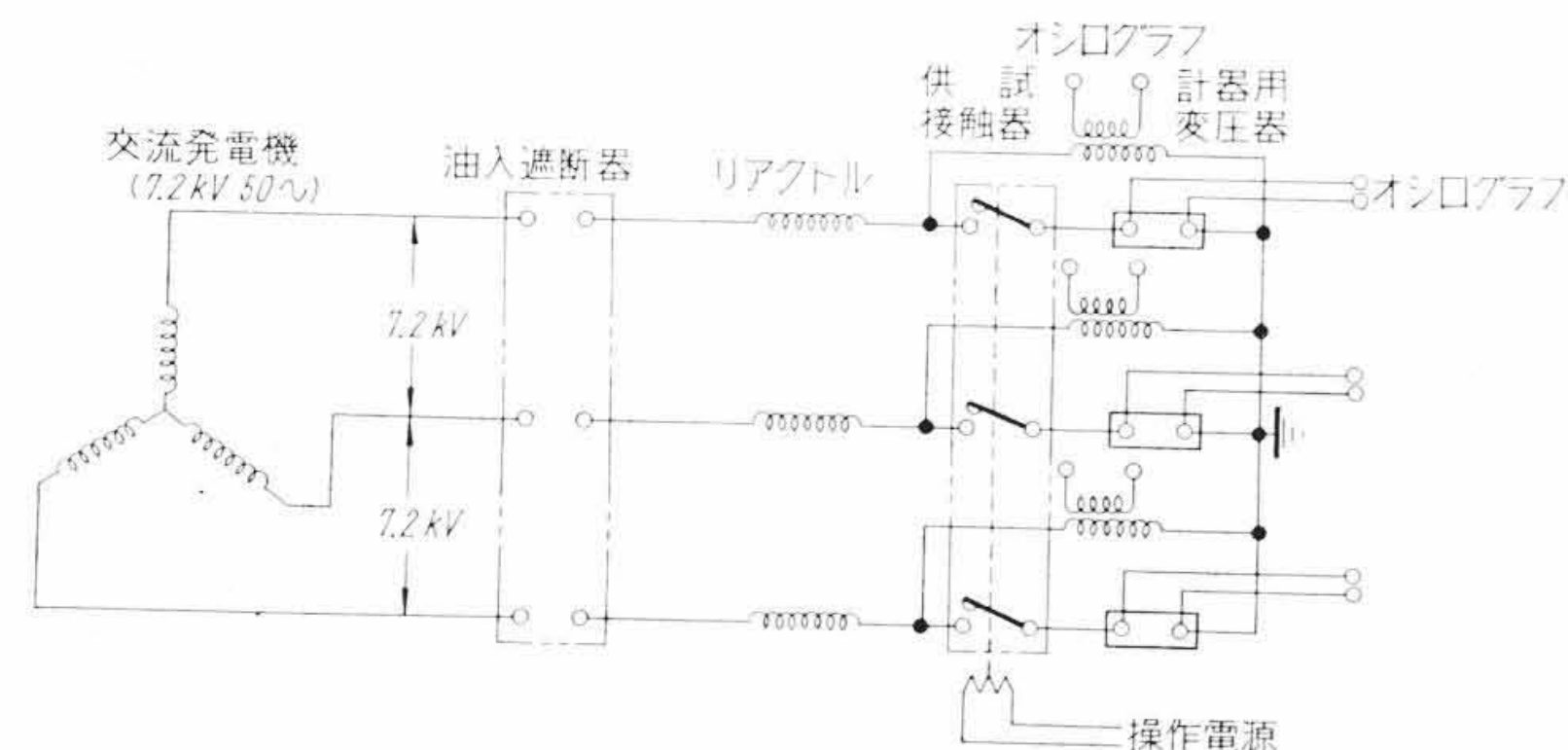
また、主回路の各相間、および各導電部と接地金属間に NEMA 規格による $(1.5 \times 40) \mu s$ 全波衝撃電圧 60 kV を印加して、異常はまったく認められない。

4.4 遮断試験

遮断器の場合と同様に、もっとも重要な性能試験である。单相遮断試験は第4図の回路で、三相遮断試験は第5図の回路によって行なわれた。单相遮断試験の場合の試験電圧は $\frac{\sqrt{3}}{2} \times 6.9 \text{ kV} = 6 \text{ kV}$



第4図 单相遮断試験回路（短絡力率 0.03）



第5図 三相遮断試験回路（短絡力率 0.03）

第3表 三相遮断試験結果

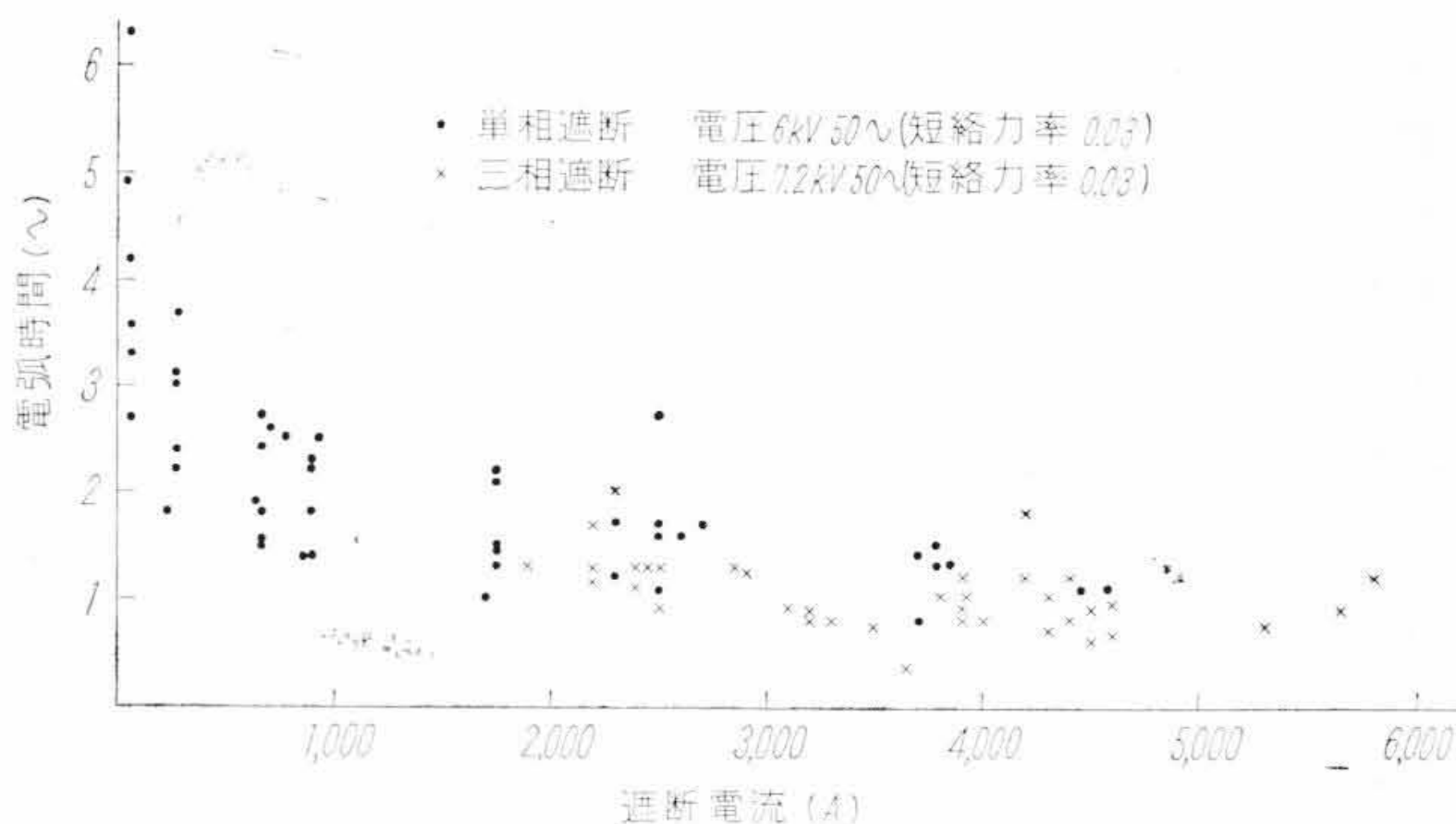
No.	電 圧 (V)	全電流 (A)	交流分 (A)	直流分 (%)	電弧時間(～)
1	6,600	2,990	2,280	60	1.5
		2,570	2,270	37	1.7
		2,390	2,290	21	1.7
2	7,200	3,900	3,800	22	1.0
		4,100	4,000	18	1.0
		3,800	3,800	7	0.77
3*	7,200	4,400	4,400	10	0.81
		4,540	4,540	7	0.62
		4,550	4,550	0	0.81
4	7,200	4,600	4,500	9	0.67
		4,700	4,700	3	0.45
		4,700	4,600	11	0.67
5	7,200	5,610	5,500	11	1.0
		6,310	5,600	37	1.0
		6,870	5,900	44	0.7

* オシログラムは第8図参照。

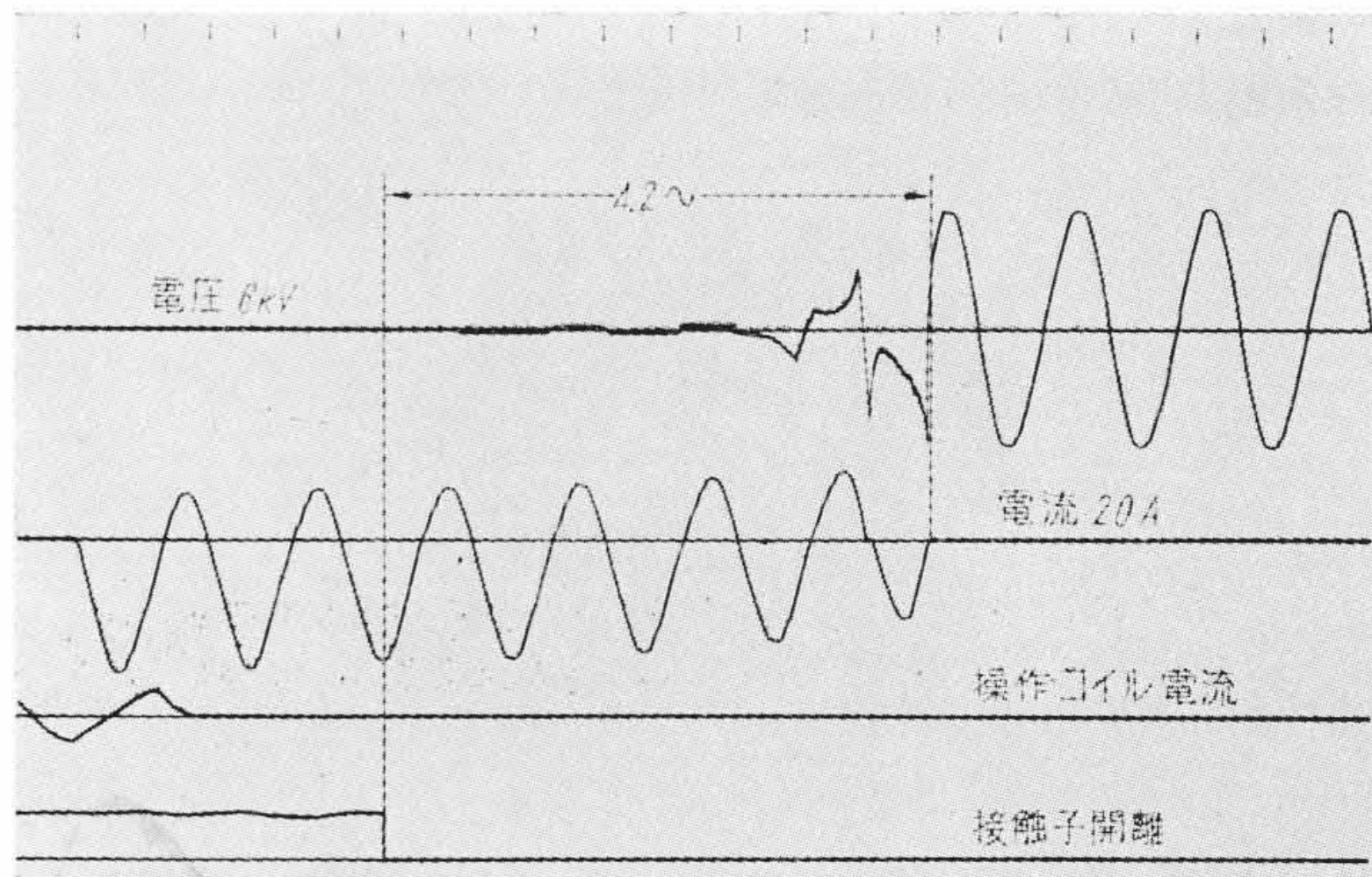
となり、三相遮断試験の場合の試験電圧は JEC-145 を参考して 7.2kV の過電圧で行なわれた。第6図にこれらの遮断試験の結果得られた遮断特性を示し、第3表には簡単のため三相遮断試験の結果の一部のみを示してある。標準動作責務は NEMA 規格により、CO-2 分-CO-2 分-CO である（第1表参照）。

第6図と第3表から、本器は三相 7.2 kV において交流分 5,660 A を遮断できること、すなわち対称遮断容量 70 MVA を有することが判明した。

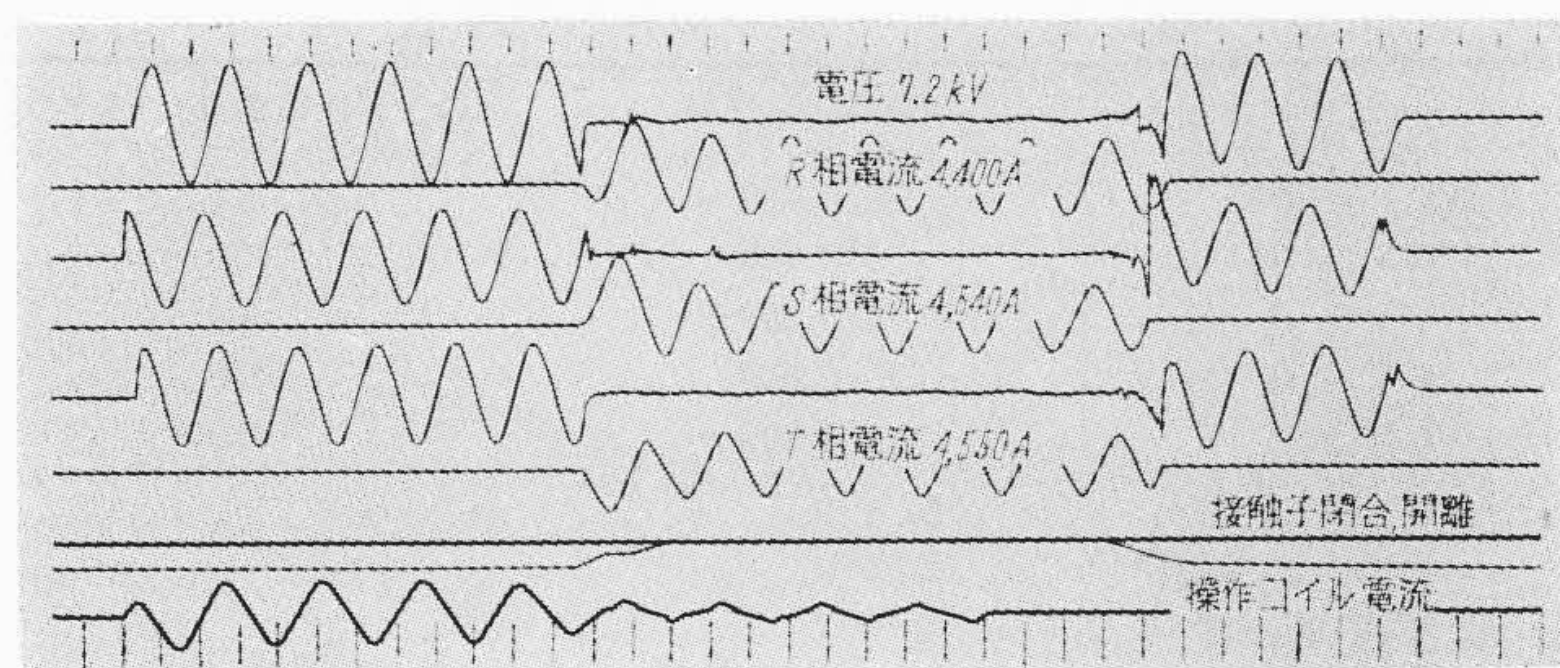
第6図にみるように、1,000 A 以上の大電流遮断の場合、アーク時間はほぼ 2 ～ 以下で、平坦な遮断特性を示す。これは 3.4 で述べた磁気吹消装置および消弧機構の有効な作用を実証している。定格電流の 1/10 以下の小電流を遮断する場合にはアーク時間が数 ～ ないし十 ～ 程度になるが、自力消弧であるためある程度はやむを得ないし、実際の適用上ならんら実害あるわけではない。かつ本器はいかなる小電流（たとえば変圧器の励磁電流）をも確実に遮断できる。



第6図 遮断特性



第7図 单相 6 kV 20 A 遮断オシログラム



第8図 三相 7.2 kV 4,500 A CO 試験オシログラム



第9図 三相 7.2 kV 4,500 A 遮断状況

第7図は单相 6 kV 20 A 遮断オシログラムを示すが、この場合のアーク時間は 4.2 秒である。また第8図には 3 相 7.2 kV 4,500 A CO 試験オシログラムを、第9図にはこの場合の遮断状況を示す。遮断時に急しゅんなアーク電圧の立ち上がりが見られ、きわめて迅速な遮断が行なわれている。このような大電流遮断時でも、アークがアークシュートの外へ逸出する距離はきわめて小さい。またアークシュートについては、このような大電流を多数回遮断したあとでも、アークによる損傷はきん少であった。

4.5 開閉容量試験

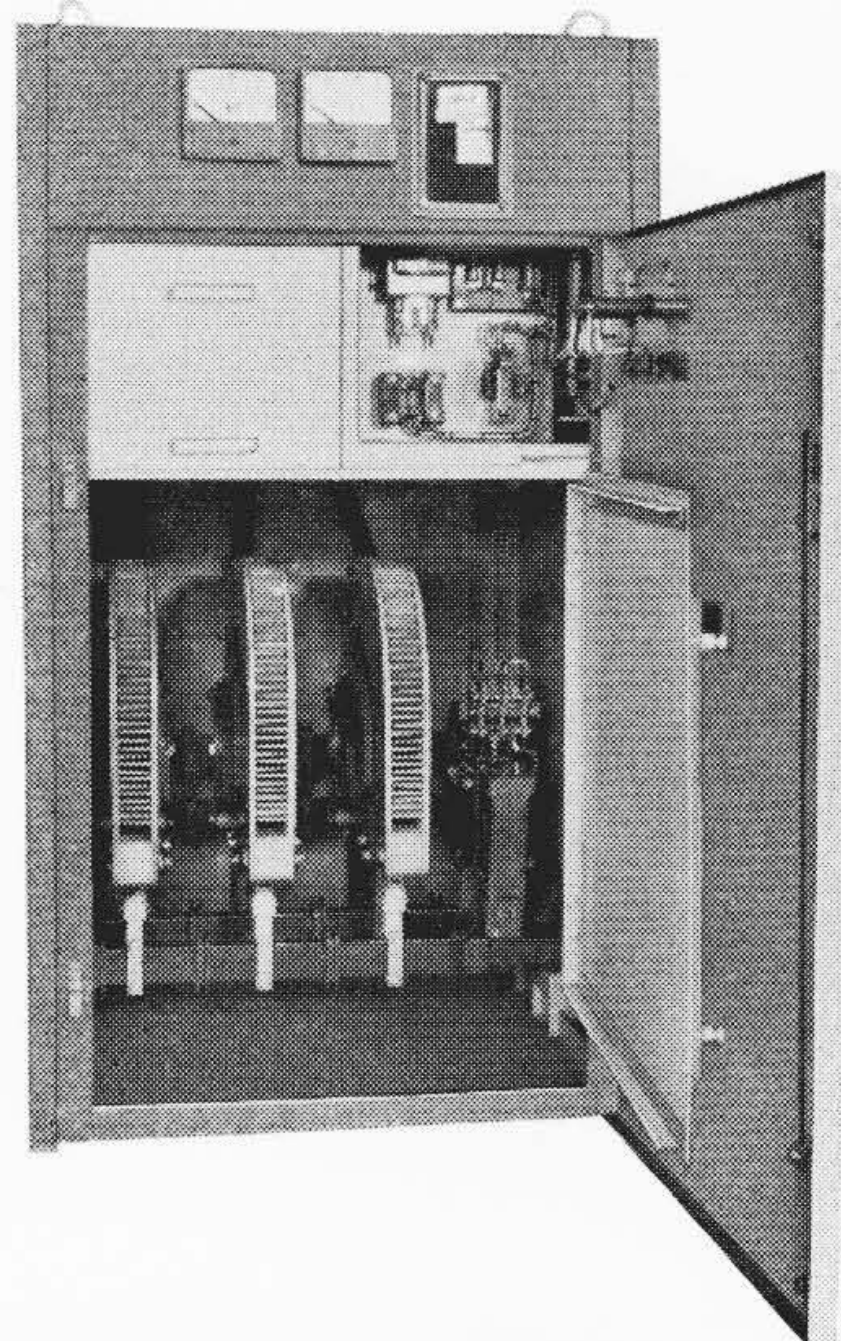
この試験は NEMA には規定されていないが、接触器が特にひん繁な電動機回路の開閉に使用されることを考慮して JEM-1097, JEM-1038 などでは規定されている。第5図の試験回路を用いて定格電流の 10 倍 2,000 A を CO-15 秒-CO-15 秒-CO-15 秒-CO-15 秒-CO の動作責務にて開閉し、異常ないことが確認された。これは JEM-1097 の A 級に相当する。

4.6 電氣的寿命試験

主として接触子の寿命を調べるための試験で NEMA には規定されていない。JEM-1038 には A 級の接触器は定格電流の 5 倍を閉路、1 倍を開路する寿命試験を行なうことを規定しているが、電源設備の関係でこの試験は実施困難のため、第5図の回路により定格電流 200 A の閉路および開路、開閉動作は 6 秒に 1 回、すなわち 600 回/h の寿命試験を行なった。接触子の消耗は接点投入時の躍動により大きく左右されることは周知であるが、本器の程度の躍動ではこの試験条件でも接点寿命には大差ないことが、別に低圧用接触器で確かめられているからである。接触子の消耗量は三相ともほぼ等量でかつ開閉回数に対してほぼ直線的に増加し、25 万回以上の寿命を保証できることが判明した。

4.7 機械的寿命試験

接触器の機械的耐久性を判定するための開閉動作試験で、これも NEMA に規定がなく、JEM-1038 に基いて 6 秒に 1 回、すなわち

第10図 SD形 WHP₄₂式 6.9 kV 200 A 乾式交流配電箱(Hマグス)

第4表 6.9 kV H マグス標準品仕様

形 式	定格電圧 (V)	定格電流 (A)	遮断容量 (MVA)	最大電動機 容量(kW) (6/6.6 kV)	付 属 計 器
SD-WHP12	6,900	200	50	1,500	Ⓐ
SD-WHP22	6,900	200	50	1,500	Ⓐ ⑤
SD-WHP32	6,900	200	50	1,500	Ⓐ (WH)
SD-WHP42	6,900	200	50	1,500	Ⓐ ⑤ (WH)

Ⓐ 電流計 ⑤ 電圧計 (WH) 積算電力計

600 回/時の開閉動作ひん度で続行中であるが、JEM 2 種(250 万回以上)の目標は達成している。

5. 応 用 製 品

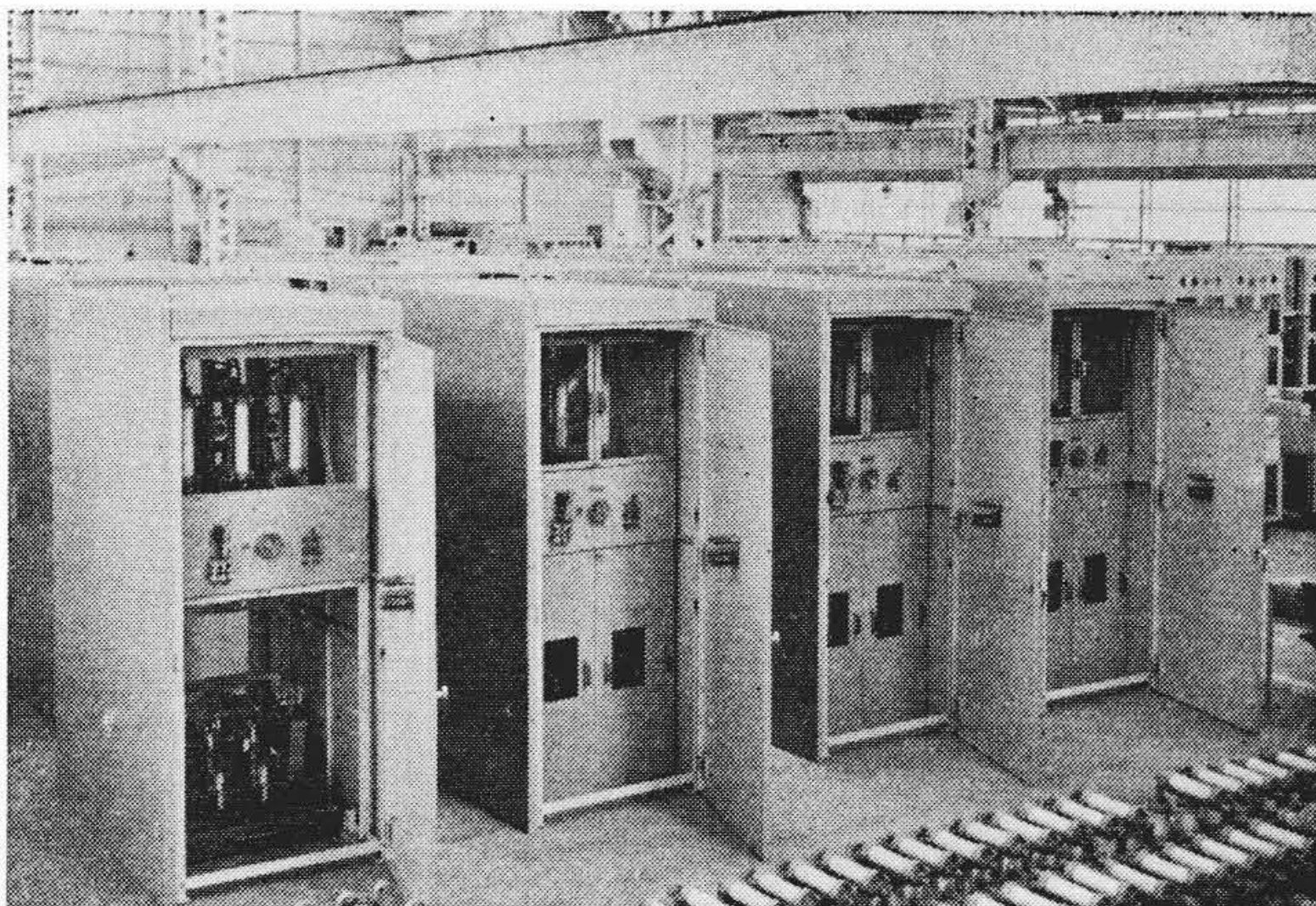
本器を主体とした製品については、現在開発中のものも数多くあるが、現在までに完成して量産中のもの二、三について概説する。

5.1 乾式交流配電箱(H マグス)

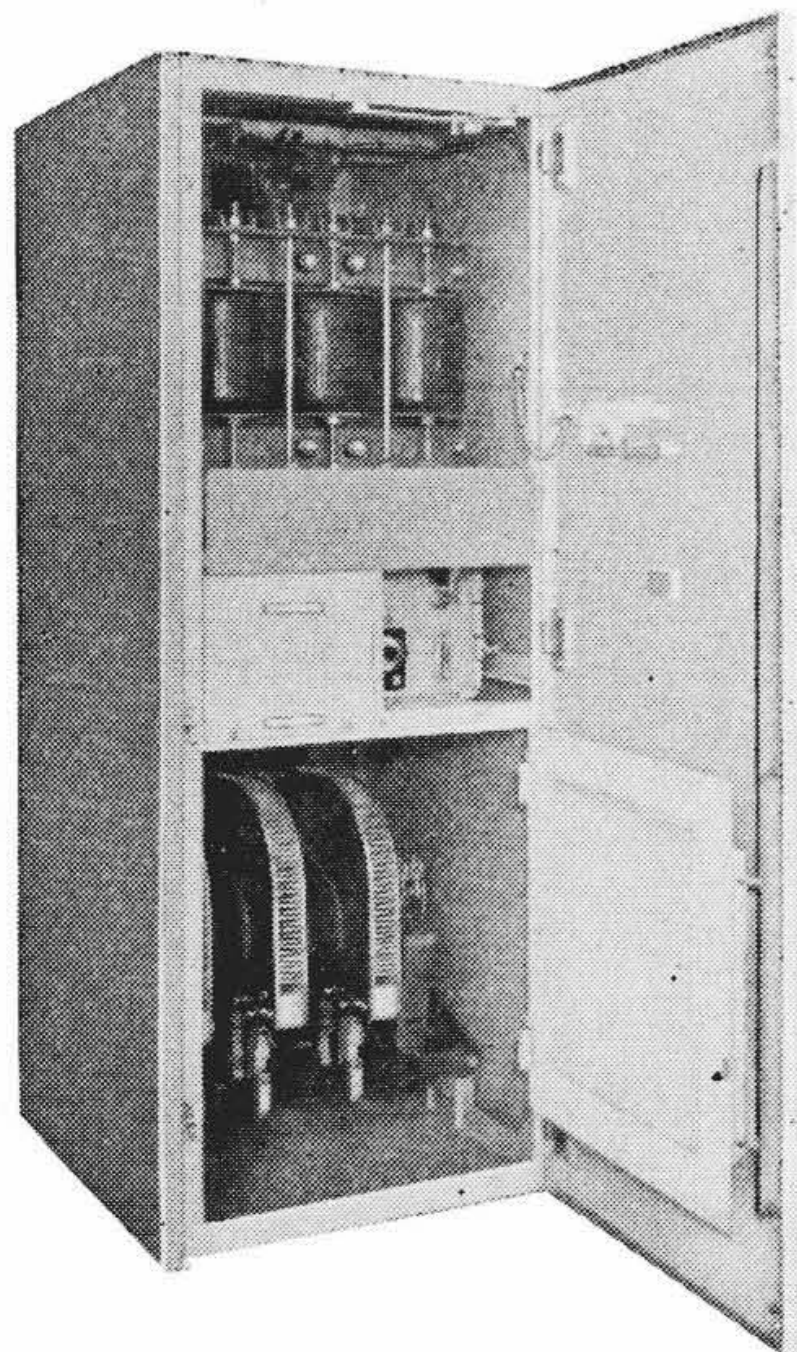
電磁接触器のみで短絡保護および過負荷保護を行なうもので、そのための短絡保護リレーおよびサーマルリレーや付属計器類などの付属器具を電磁接触器とともに第10図のように金属箱に収納したもので、付属計器の種類によって第4表のような標準製品が量産されている。この配電箱の特長としては、(i)表面ドアの内側に内ドアを設けて完全なデッドフロント形としている。(ii)接触器室、その他の高圧器具を入れる高圧室、低圧器具を入れる低圧室をおのこの分離した高低圧分離室形としている。(iii)高圧ヒューズには限流ヒューズを用いてヒューズ箱に収め、これを引出形としてヒューズ筒交換の便をはかるとともに、筒の引き出しによって操作回路用変圧器や計器用変成器を完全に高圧回路から切り離すようにしてある。(iv)直接および遠方操作が、付属の押ボタンスイッチまたは外部設置の操作開閉器によって可能である。などがあげられる。本器の主用途は 6 kV 級電動機の起動運転用であるが、また 6 kV 級動力用変圧器の一次開閉器としても使用できる。

5.2 コンビネーションスタータ

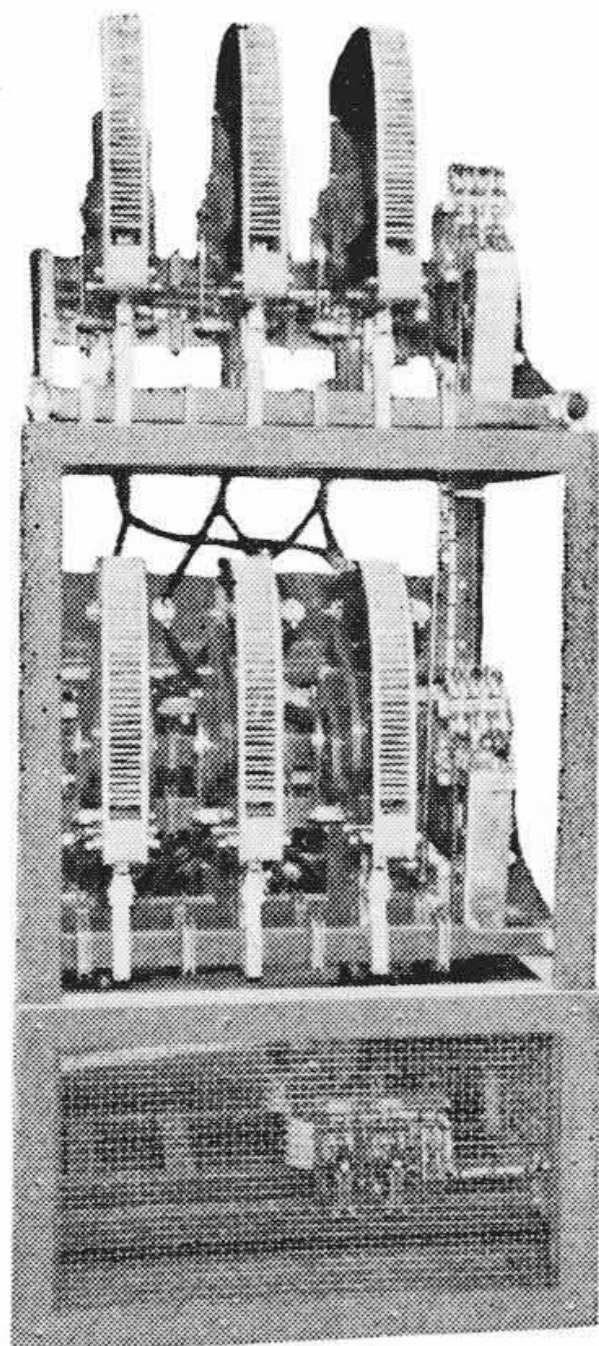
電磁接触器と限流ヒューズとを組み合わせて、前者には起動および過負荷保護を、後者には短絡保護を行なわせるスタータで、遮断容量 250 MVA を必要とする配電系統の 6 kV 級電動機または変圧器用として広く用いられ、JEM-1114「単位閉鎖配電盤の形」E 形に準じた構造としている(第11図)。すなわち、接触器は引出形で主回路は自動プラグイン式、操作回路は手動プラグイン式であって、



第11図 SD形FW式6.9kV 100A 250MVA
コンビネーションスタータ



第12図 LV₁₃形A式6kV
225kW 誘導電動機用乾
式リアクトル起動器



第13図 WFHR形3S式6.9kV
200A 可逆電磁接触器

そのほか安全な二重ドア閉鎖構造である、限流ヒューズの開閉操作はハンドルを回転することにより簡単にできる、安全インタロックを各種設けている、などの特長をもっている。なお限流ヒューズの定格は6.9kV 100Aおよび200Aの2種あり、遮断容量はいずれも三相6.9kVにおいて250MVAである。

5.3 リアクトル起動器

6kV級かご形誘導電動機の限流起動用で、起動リアクトルを上部に、短絡用電磁接触器を下部に配置してキュービクルに収納した構造のもので(第12図)、起動時限は電動式タイマーによってきざ

第5表 リアクトル起動器標準表

形 式	定格電圧 (V)	最大適用電動機 (kW)
LV ₁₁ -A	6,900	75
LV ₁₂ -A	6,900	150
LV ₁₃ -A	6,900	300
LV ₁₄ -A	6,900	450
LV ₁₅ -A	6,900	750

む。第5表の標準製品がある。

5.4 可逆電磁接触器

鉱山巻上機用などの可逆運転を必要とする6kV級誘導電動機の運転用のもので、2台の接触器を一つのわく組上に積み重ねた構造である(第13図)。両接触器の間には両者が同時に閉路しないように機械的および電氣的インタロック装置を備えている。

6. 結 言

配電系統の6kV化に即応して今回開発された6.9kV 200A電磁接触器は、特殊構造の消弧室と新しい耐弧耐熱材料の採用により大きい遮断容量(三相6.9kVにおいて50MVAの容量)をもつほか、接触子の電氣的寿命および器具の機械的寿命が非常にながいという特長をもっている。これらの性能はアメリカのNEMA規格および国内の関係諸規格を参考とした厳密な試験の結果確認された。

この電磁接触器の主要用途は6kV級電動機の起動運転用で、とくにひん繁な開閉用途に適し、また6kV級動力用変圧器の一次開閉器あるいは6kV級所内配電線の電源開閉器として交流配电箱またはコンビネーションスタータの形で最も多く使用されており、すでに納入台数は百数十台にも及んでいる。この種製品の需要は今後ますます増加するものと考えられるので、現在さらに各種応用製品を開発中であるが、これらに関しては別の機会にゆずることとする。

終わりに本器の完成に関して終始ご指導をいただいた日立製作所日立工場泉副工場長、平川部長、松垣部長、橋本課長、田尻課長および日立研究所山崎主任研究員、鷺谷主任に、また遮断試験を直接担当してご尽力いただいた日立製作所日立研究所富原氏そのほかの方々に厚くお礼申しあげる次第である。

参 考 文 献

- (1) R. C. Dickinson: ETZ., 60, 629 (1939)
- (2) E. W. Boehne & L. J. Linde: T. A. I. E. E. (III)., 59, 202 (1940)
- (3) E. W. Boehne & L. J. Linde: ETZ., 62, 731 (1941)
- (4) C. A. Lister: T. A. I. E. E., 72, Part II, 145 (1953)
- (5) G. Büchner: ETZ-A., 80, 71 (1959)
- (6) A. Erk: ETZ-B., 14, 169 (1962)
- (7) 泉, 松村: 日立評論, 38, 769 (昭31-6)