

# HI-VAC コンタクタとその応用

## HI-VAC Contactors and Their Applications

石田 真之助\*      高砂 常義\*\*  
Shinnosuke Ishida      Tsuneyoshi Takasuna

### 要 旨

消弧媒質として真空の利用は、開閉器具工学に一つの画期的な発展をもたらした。高真空の絶縁耐力は、現在一般に使用されているいかなる消弧媒質のそれよりも大きい。日立製作所は多年の基礎研究に基づき、このすぐれた真空の性質を高圧接触器に適用することに成功し、1年以上の過酷な実用試験を経て、その応用製品とともに、昭和40年より市販を開始した。これは電動力応用における近年のコンパクト化、高信頼性の要求と一致して、大きな反響を呼び、需要は増加の一途をたどり海外へも進出するところとなった。

本文は、HI-VAC コンタクタの基本的性能、構造、諸試験結果ならびにそれらの応用製品を紹介したものである。

### 1. 緒 言

近年、各種工業における電動力応用の規模の増大に伴い受配電設備はしだいに大容量化し、配電電圧の高圧化が推進されるとともに、高圧電動機および力率改善用蓄電器が広く使用されるようになった。一方、その制御方式も時を迫って高度化し、開閉保護装置には、ますます高度の性能と信頼性が要求されるようになった。一般に、各種電動力応用における高圧電動機の能率と信頼性は、それに用いられる高圧コンタクタの性能いかんによって左右される。

電動機や力率改善用蓄電器の開閉制御用開閉器としては

- (1) ひん繁な開閉に耐え、寿命が長いこと。
  - (2) 投入時のチャタリングや誤動作がなく、スイッチング時間が短いこと。
  - (3) 電流遮断時のアークエネルギーロスが少なく、異常過渡現象を生じないこと。
  - (4) 通電時の電圧降下、開放時の漏えい電流が小さいこと。
  - (5) 開閉器制御電力の小さいこと。
- などが必要で、これにさらに
- (6) 小形軽量で経済的であること。
  - (7) 扱いやすく、使用環境に性能が左右されないこと。

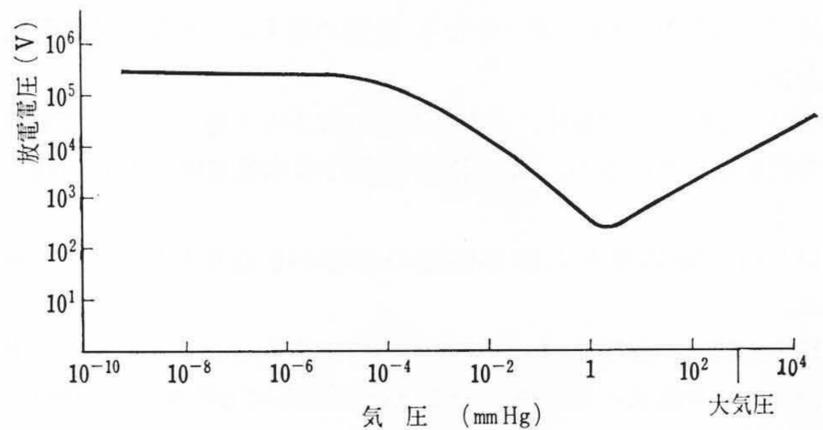
を付加すれば、これらの条件を完全に満たす開閉器を「理想開閉器」と呼ぶことができ、HI-VAC コンタクタは、この理想開閉器への至近距離にあるといえるであろう。

真空の高い絶縁耐力を、電流開閉に利用しようとする試みは、今世紀の初めより数多くなされてきたが、多くの技術的困難を伴い、高真空の維持、電流さい断、溶着などの困難を克服し、それが実用化されるまでには、数十年の歳月を必要としたわけである。

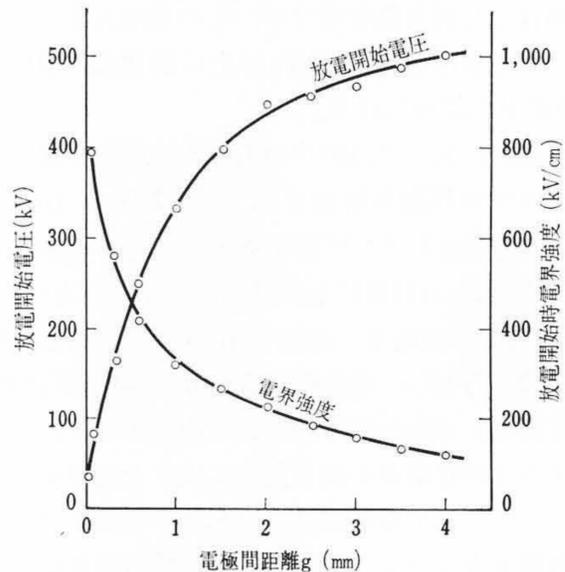
以下、この HI-VAC コンタクタの性能、構造、諸試験結果について報告し、あわせてその適用と応用製品などを紹介する。

### 2. 高真空中における電流遮断

空気中の放電電圧と気圧との関係は、ほぼ圧力に比例して増減するが、圧力がある限界値以下に低減すると、逆に放電電圧は増大するようになる。図1からもわかるように、真空度が $10^{-4}$  mmHg程度より高くなると、ほぼ一定の高い絶縁耐力をもつようになる。これは空間自由電子の平均自由行程 (mean free path) が、電極間距離よりも大となるために、電子が電極間で衝突電離する確率がきわめて小さくなり、いわゆる“電子なだれ”に基づく大気中の絶縁破壊現象とは別の新しい機構の絶縁破壊現象に移行するためであると



(ギャップ1mm, 平行板鋼電極)  
図1 真空度と放電電圧との関係



真空度  $10^{-5}$  mmHg, +鋼球, -平面鋼板  
図2 真空の絶縁耐力

考えられる。たとえば、 $0^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{-7}$  mmHg の場合、電子と中性分子との平均自由行程は約 2,600 m となり、数 mm の電極間距離に比較して、両者は衝突しないと考えていいことがわかる。

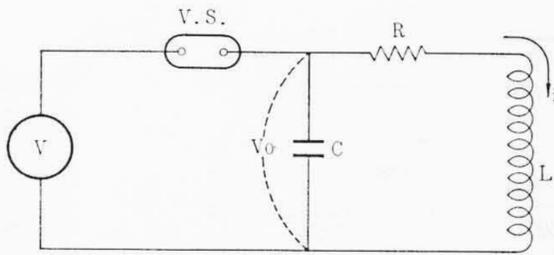
また、真空度を一定にして、電極間距離を変えた場合の例としては、H. W. Anderson 氏の測定結果<sup>(1)</sup>がよく知られている。これはわれわれの実験結果ともほぼ一致している。実験結果によれば、高真空中の放電開始電圧  $V_D$  と電極距離  $G$  との間には大略

$$V_D = K \cdot G^{\alpha} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $K$ : 電極材料および表面状態によって決まる定数  
 $\alpha$ : 定数  $\approx 0.45$

の関係がある。これは次のように説明することができる。すなわち電極表面にゆるく付着した金属塵 (またはイオン) が、電界によって電荷をもち、陽極から離脱加速されて陰極面に衝突し、これを局

\* 日立製作所日立工場  
\*\* 日立製作所日立研究所



①: 電源 V.S.: 真空スイッチ V<sub>0</sub>: Cの電位差 i: 電流  
C: 負荷回路の等価直列キャパシタンス R: 負荷回路の等価直列抵抗分  
L: 負荷回路のインダクタンス

図3 等価回路

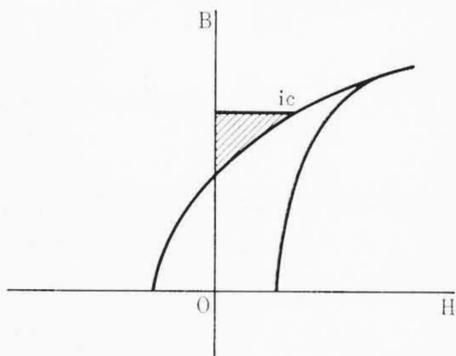


図4 鉄心のB-H曲線

部分的に加熱し、熱電子を放出する。このとき陽極に与えられた単位面積当たりのエネルギー $W$ がある値 $C$ を越えたときに放電が起こると考えられる<sup>(2)</sup>。 $W$ は電極間電圧 $V$ と金属塵の電荷密度 $Q$ との積であり、電荷密度 $Q$ は電界に比例するので、放電開始条件は

$$V \cdot E \geq C \dots\dots\dots (2)$$

また、 $E = V/G$  であるから

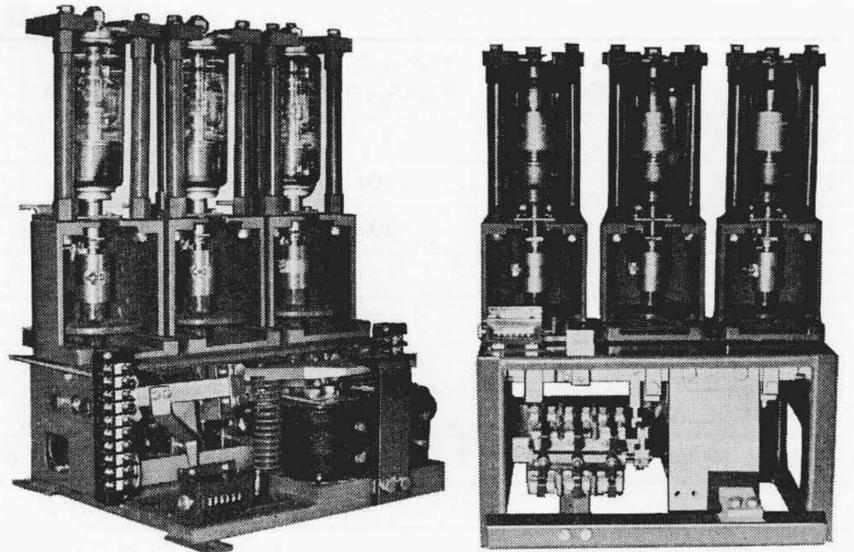
$$V \geq (C \cdot G)^{\frac{1}{2}} = K \cdot G^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $K = C^{\frac{1}{2}}$

となる。(3)式は実験(1)式によく一致している。しかし、この理論も電極材料の差異などを十分に説明することはむずかしく、もちろん完全な真空中の絶縁破壊理論とはいいがたい。最近では電界-熱電子放出理論<sup>(3)</sup>なども論議されているが、むしろ真空中の絶縁破壊理論は未だ十分に解明されていないというべきであろう。

消弧媒質としての真空のほかの一つの重要な特性は、絶縁回復のきわめて早いことである。換言すれば、拡散作用のきわめて強力なことである。電流遮断の成否は、極間にあらわれる再起電圧と、極間絶縁回復の差に依存すると考えられるが、高真空中の絶縁回復の早さは数 $\mu s$ ~数十 $\mu s$ と推定される。この早さは、商用周波交流電流の場合、電流がいったん零点に達すると、次の続流を生ぜしめないだけに十分な絶縁耐力を回復せしめる。

このように、交流の場合、接点の開離に伴い、接点金属表面からの金属イオン中にアークが交流波形の電流零点まで形成され、零点瞬時に高い絶縁耐力にとって変わられる。このため、アーク時間は0.5 c/s以下ときわめて短く、アーク損失は極小化される。しかし、もしその強力な消弧作用のために、商用周波交流零点への移行以前に、アークが強制的消弧されるならば、いかなる現象を生ずるであろうか。これを電流さい断現象といい、負荷回路が変圧器などの誘導負荷の場合は、その変圧器などのインダクタンスに蓄積された磁気エネルギーは変圧器巻線および配線などのキャパシタンスを介して、過電圧となって負荷側に現われる。すなわち、電流さい断による過電圧は本質的には、蓄積磁気エネルギーの静電エネルギーへの変換である。いま、図3の等価回路において、さい断電流値を $i_c$  [ $A_p$ ]とすれば、蓄積磁気エネルギーは $1/2 L i_c^2$ で表わされる。ただし、この場合の有効エネルギーは図4の斜線部に比例する。これに渦電流損と、直列抵抗分による損失を含めた損失係数を $\eta^2$ とし、負荷側に現われる電圧最大値を $V_p$ とすれば



(VGF<sub>50-3</sub>) (VGF<sub>75-3</sub>)

図5 HI-VAC コンタクタ

$$\frac{1}{2} C V_p^2 = \eta^2 \cdot \frac{1}{2} L i_c^2 + \frac{1}{2} C V_0^2 \dots\dots\dots (2)$$

ここで $\eta^2 \cdot L/C \cdot i_c^2 = V_c^2$ とおき、 $V_c$ が $V_0$ より大の場合に注目すると、 $V_p \approx V_c + \frac{1}{2} \cdot \frac{V_0^2}{V_c} \approx V_c$

すなわち

$$V_p = \eta \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot i_c \dots\dots\dots (5)$$

- ここに、 $V_p$ : 過電圧最大値 ( $V_p$ )
- $\eta$ : 損失係数 ( $0 < \eta < 1$ )
- $L$ : 負荷側インダクタンス
- $C$ : 負荷側並列キャパシタンス
- $i_c$ : さい断電流値 ( $A_p$ )

(5)式において、 $\sqrt{L/C}$ はいわゆる負荷回路のサージインピーダンスであるから、電流さい断によって生ずる過電圧は、損失係数と負荷回路のサージインピーダンスとさい断電流値の積であるといえる。すなわち負荷のインダクタンスが大で、並列キャパシタンスが小であるほど、過電圧は大となる。

使用される負荷のいかんにかかわらず、過電圧を低く押えるには、 $i_c$ を小さくしなければならない。

### 3. HI-VAC コンタクタ

#### 3.1 定格と性能

図5にHI-VACコンタクタ(略称V.コンタクタ)形式VGF<sub>50-3</sub>およびVGF<sub>75-3</sub>の製品の外観を、表1に本器シリーズの定格と性能を示す。HI-VACコンタクタは、規格JEM-1167「高圧交流電磁接触器」(1963)に準拠し、さらにJEC-145「交流遮断器」、NEMA. IC. PART 24, B. S. 775などの内外諸規格を参照して製作され、性能が確認されている<sup>(4)</sup>。

#### 3.2 特長

- (1) 遮断性能がすぐれ、開閉過電圧がきわめて小さい。  
遮断時間は開極時間を含めて2サイクル以下で、接点に特殊合金を使用し、操作機構にも独自のくふうがなされているため、開閉過電圧はきわめて小さく変圧器負荷へも適用可能で、遮断性能が安定している<sup>(5)</sup>。
- (2) 高ひん度使用に耐え、寿命が長い。  
操作電磁石および可動部分の合理的設計により、機械的寿命が長く、また投入時に接点のチャタリングがない。この事実は、接点消耗の小さいことと合わせて、真空バルブの電氣的寿命が長くかつ安定していることを意味している。
- (3) 画期的小形軽量

従来と同容量開閉器具に比べて、重量、容積とも1/3~1/5で、し

表1 HI-VAC コンタクターの定格性能一覧

形 式*	VGF <sub>15-3</sub>	VGF <sub>25-3</sub>	VGF <sub>35-3</sub>	VGF <sub>30-3</sub>	VGF <sub>50-3</sub>	VGF <sub>75-3</sub>	
	VGFS <sub>15-3</sub>	VGFS <sub>25-3</sub>	VGFS <sub>35-3</sub>	VGFS <sub>30-3</sub>	VGFS <sub>50-3</sub>	VGFS <sub>75-3</sub>	
定 格 電 圧 (kV)	3.3			6.6			
定 格 電 流 (A)	100	200	300	100	200	300	
わ く 番 (A)	100	200	300	200	200	300	
定 格 周 波 数 (c/s)	50/60						
定 格 遮 断 容 量 (MVA)	15	25	35	30	50	75	
定 格 短 時 間 電 流 (A)	5,300	8,800	8,800	5,300	8,800	8,800	
最 大 遮 断 電 流 (A)	5,300	8,800	8,800	5,300	8,800	8,800	
絶 縁 階 級**	3 号 A			6 号 A			
開 閉 容 量	A 級 (定格電流の10倍) 以上						
開閉ひん繁度	1 号 (1,200 回/時)						
寿 命***	1 種	2 種	3 種	1 種	2 種	3 種	
定 格 遮 断 時 間	2 サイクル 以下						
定 格 操 作 電 圧	D C 100/110 V						
規 格	JEM-1167 「高圧交流電磁接触器」						
最 大 適 用	電 動 機	375 kW	750 kW	1,100 kW	750 kW	1,500 kW	2,200 kW
	変 圧 器	500 kVA	1,000 kVA	1,500 kVA	1,000 kVA	2,000 kVA	3,000 kVA
	蓄 電 器	500 kVA	1,000 kVA	1,500 kVA	1,000 kVA	2,000 kVA	3,000 kVA

\* 形式記号の説明

- 形 [V]……真空式を示す。
- [G]……直流電磁操作を示す。
- [F]……フレーム据付構造であることを示す。
- [S]……機械的保持分路引はずしであることを示す。
- [足字]…定格遮断容量概数を示す。
- 式 [数字]…相数を示す。

\*\* JEC-145 「交流遮断器」による。

3号Aは商用周波 16 kV r.m.s. 以上, インパルス 45 kV 以上

6号Aは商用周波 22 kV r.m.s. 以上, インパルス 60 kV 以上

\*\*\* 1種は電氣的50万回, 機械的500万回, 2種は電氣的25万回, 機械的250万回, 3種は電氣的10万回, 機械的100万回以上 なお VGFS形の引はずし機構の寿命は10万回とする。

かもアークを外部に噴出しないのでアーク距離が不要であり, 応用装置もきわめて小形軽量化され, 集中制御に最適である。

(4) 保守が楽である。

主接点部が真空バルブ内に封入されているため, ゴミ, 湿度などの周囲のふん囲気に影響されず, 所定の寿命に達するまでは, 保守や手入れの必要がない。

(5) 耐電圧値が高い。

高真空の高い絶縁耐力のために, わずかの接点間距離で高い耐電圧値, 耐インパルス特性を有し, 接点間, 相間, 対地間のすべてに, 3 kV 級は3号A, 6 kV 級は6号Aの遮断器なみの絶縁階級を有している。

(6) 取り扱いが簡単

真空バルブ, 操作コイルなどの部品の点検, 交換も容易で, 多くの共通部品を使用しており, 取り扱いが簡単でわずかの人手で大きな設備の運転が可能である。

### 3.3 構 造

HI-VAC コンタクタは真空バルブを主とする高圧部分と操作コイル, 補助接点などの低圧操作部分を鋼板製フレーム上に絶縁成形材によって, 高低圧を分離して, コンパクトに構成されている。

#### 3.3.1 真 空 バ ル ブ

消耗, 耐溶着, さい断電流, 遮断性能, 耐電圧性などの必要なすべての要因を徹底的に検討して開発された特殊合金より成る一対の接点が, 強化ガラス製バルブ内に封入され, 伸縮自在の金属ベローズを介して外部より開閉される。接点部分を囲むシールド筒は, 電流開閉時に接点部より飛散する金属イオンがバルブ内面に付着して沿面耐圧を低下するのを有効に防止する。使用された各部品はガスを含まない高純度の材料より構成され, 内部圧力は

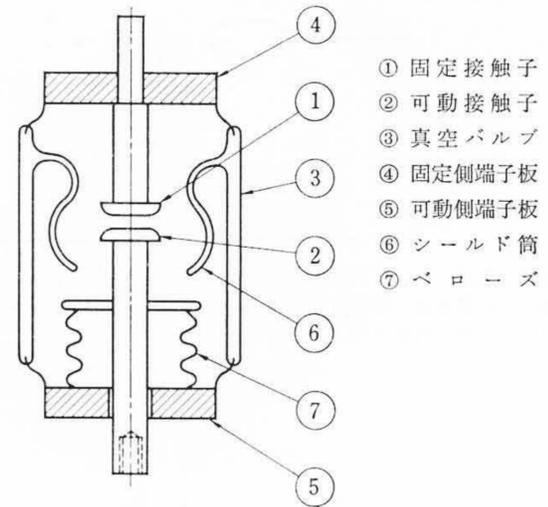


図6 真空バルブ構造説明図

$10^{-7}$  mmHg 以下に維持される。電流遮断時のアークによって生ずる金属イオンにはゲッター作用があり, 残留ガス分子を捕獲して, 往々にして, 内部真空度を向上させることが知られている。

真空バルブの寿命は接点消耗, 操作回数, 耐電圧の低下, 真空度の4点から決定されるが, その詳細については後述する。図6に真空バルブの構造説明図を示す。

#### 3.3.2 操 作 機 構

真空バルブ単独では, 内部真空と外気の大気圧との圧力差によって常時閉の性質を有するため, 絶縁成形支持ケースにより各相一極ずつ固定支持され, 一括して, 遮断バネにより規定の接点間距離を与えられ, 常時開の位置に保たれ, 衝撃の少ない直流電磁石により操作される。交流電磁石と直流電磁石とでは, 電源の得やすさなどでは交流式が便利であるが, 投入時の接点のチャタリング, 開閉時の衝撃, 振動の大きいことなどから, 真空式スイッチには直流操作方式が適しているようである。

運転状態保持の方法には, 電磁保持形と機械的保持分路引はずし形とがあり, とともに標準化されている。開閉ひん度が小で, 長時間の連続運転などには, 後者が適している。

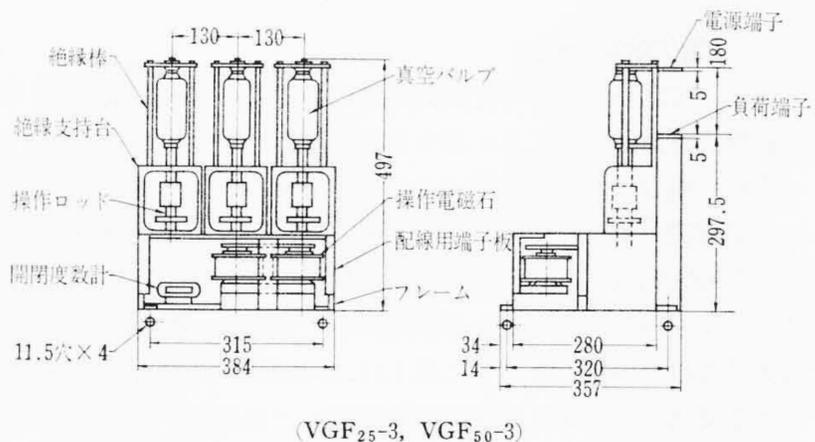
また, DC 100/110V 電源のない場合には, 整流器を介して AC 200/220V から得られる被整流直流値の DC 160/170V 操作方式も標準化されている。これは1.の条件(5)の要求に基づくものである。

図7に HI-VAC コンタクタ VGF<sub>25-3</sub> 形および VGF<sub>50-3</sub> 形の構造説明図を示す。なお本機シリーズは, 電氣的にも10万回~50万回以上ときわめて長寿命で, 一般使用においては数十年の使用に相当するため, 開閉度数計は不付を標準としている。

### 3.4 試 験 結 果

#### 3.4.1 動 作 試 験

JEM-1167 によれば, 定格操作電圧の85%で支障なく動作することが規定されているが, 本器シリーズは社内自主規定に基づき, 最低動作電圧を定格操作電圧の80%以下, 釈放電圧を定格保持電流の10%以上に収めている。操作電圧をあまり低くとると, 定格電圧操作時の投入時の衝撃が大きくなり, 機械的寿命を短縮する。これは過電圧操作についてもいえることで, 特性上好ましくない。釈放電圧は電磁石の残留吸引力を考慮したものであるが, 遠方操作などの場合, 制御回路がほかの系の誘導を拾い, 電流が完全にゼロにならないこともあるので, 釈放の下限値を規制



(VGF<sub>25</sub>-3, VGF<sub>50</sub>-3)

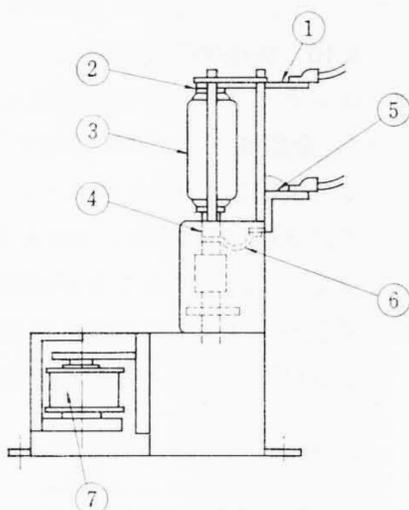
度数計 (カウンタ) は不付を標準とする。

図7 高圧真空接触器構造および寸法図

表2 温度上昇測定結果  
単位: deg

No.	測定部分	実測値
①	電源測端子部	11
②	真空バルブ締付部	11
③	真空バルブ表面	1
④	真空バルブ締付部	12
⑤	負荷端子部	12
⑥	可とうリード線	13
⑦	操作コイル*	61

\* 抵抗法による。



することは必要である。この関係は機械的保持分路引はずし形の引はずしコイルについてもいえることである。

### 3.4.2 温度上昇試験

主回路には定格電流を連続通電し、操作コイルにはその定格操作電圧を印加して、一定温度となったときの各部の温度上昇値を測定した結果、各器種の各部分とも規格値に対して十分に余裕のある値を得ている。詳細数値ははん雑をさけるために割愛するが、一例としてVGF<sub>25</sub>-3 (VGF<sub>50</sub>-3) の例を表2に示す。

### 3.4.3 絶縁階級

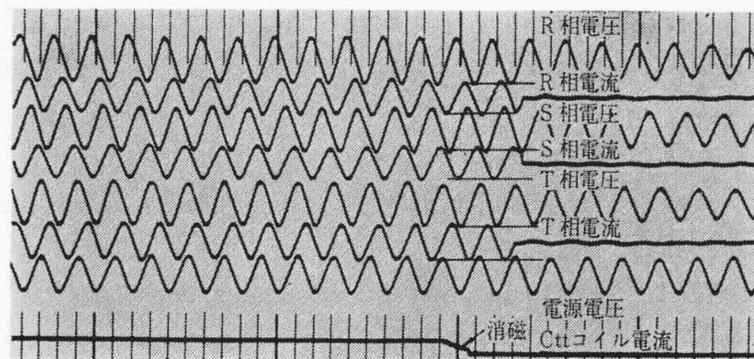
JEM-1167 には耐インパルスに対する規定がないため、遮断器規格の JEC-145 に基づき

- (1) 接点を開いた状態での同相極間
- (2) 主回路各相間
- (3) 各相主導電部と接地金属間

のそれぞれが、3 kV 級については3号A、6 kV 級については6号Aの絶縁階級に合格している。なお、絶縁抵抗は操作回路のそれを含めて、上記各部とも1,000 V 絶縁抵抗計で100 MΩ 以上である。

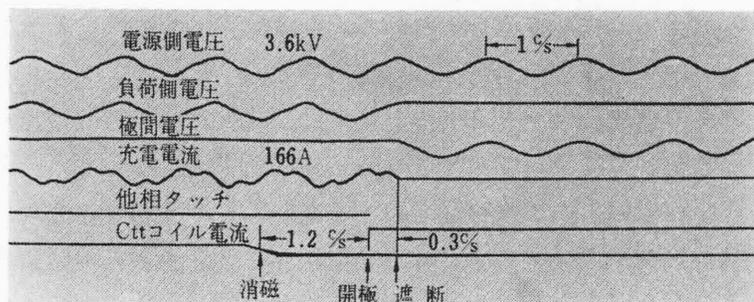
### 3.4.4 励磁電流遮断

真空式スイッチで誘導性回路を遮断した場合、真空アークにはさい断現象があるために異常電圧を生じ、機器の絶縁をおびやかすことがあることはよく知られており、その原因と発生電圧の大きさについては前述したとおりである。なお、電流さい断は大電流よりも小電流域で生じやすい。この点から最も過酷なものは変圧器励磁電流、巻線形誘導電動機無負荷電流などの誘導性負荷の励磁電流である。一般の容量性負荷または純抵抗負荷の場合はサージインピーダンス $\sqrt{L/C}$ は、ゼロかたかだか数オームにすぎないが、誘導電動機の場合は数百オーム、変圧器のそれは数千オームから数万オームに達するため、このような誘導負荷に対しても、大きな過電圧を発生しないためには、さい断電流値をきわめて小さく抑えなければならない。本器はこのような過酷条件下の電動機や変圧器へも適用し得るよう、多年の研究と改良によって開発



(供試接触器 VGF<sub>25</sub>-3)

図8 3.3 kV, 60 kW 巻線形誘導電動機  
無負荷状態遮断オシログラム



(供試接触器 VGF<sub>25</sub>-3)

図9 3.3 kV, 1,000 kVA (3φ 換算)  
コンデンサー遮断オシログラム

に成功したものである。社内における実用試験のほか、フィールドにおける現地実負荷試験の結果も多数測定されているが、フィールドテストの結果については稿を改めて報告することにする。

最も一般に使用される誘導電動機についていえば、かご形は巻線形に比較して過電圧はきわめて小さく、容量の大小を問わず定格相電圧の1.5倍を越えることはほとんどなく、問題にならない。小容量の巻線形誘導電動機が過電圧の点からは最も酷であるが、無負荷電流遮断などを考慮した場合でも、定格相電圧波高値の2倍を越えることはまれで、真空式スイッチとしては異例の小値であり、かつ安定している。

図8に3.3 kV, 60 kW 巻線形誘導電動機を無負荷状態で開閉した場合の遮断オシログラムを示す。

### 3.4.5 充電電流遮断

容量性負荷の代表的な例として、力率改善用蓄電器 (S.C.) がある。元来、コンデンサの開閉はHI-VAC コンタクタの最も得意とするところで、それは早い絶縁回復のために再点弧を生じがたいこと、過電圧の発生がないこと、ひん繁開閉に適することによる。コンデンサ回路を遮断した場合のさい断電流値は、平均すると励磁電流のそれに比べてむしろ大きくなるが、 $\sqrt{L/C}$  がゼロに近い場合、過電圧は発生しない。図9に3.3 kV, 1,000 kVA コンデンサをHI-VAC コンタクタ VGF<sub>25</sub>-3 で遮断した場合の単相オシログラムを示す。本器シリーズにあっては、表1に示したように、その定格電流容量までのコンデンサに連続適用可能である。

### 3.4.6 短絡遮断容量試験

コンタクタは遮断器とは異なり、故障電流などを遮断するのはごくまれで、電動機の回路やコンデンサ回路のひん繁な開閉を主たる目的とするが、ある程度の短絡遮断容量をそれ自身で持つことが望ましいことはいうまでもない。本器シリーズは3φ 15MVA から75 MVA までの、コンタクタとしては異例の大きな遮断容量を有することが厳密な短絡遮断試験によって確認されている。JEM-1167 に基づく標準動作責務

0-2分-CO

は JEC-145 の

0-1分-CO-3分-CO

に含まれるため、過酷な JEC-145 の責務で実施した。

各器種ごとの詳細データは繁雑をさけるために割愛するが、VGF<sub>50</sub>-3による7.2kV、59kVA遮断オシログラムを図10に示す。

3.4.7 短時間電流試験

コンタクタの短時間電流耐量には二通りの考え方があるように思われる。すなわち、

(その1)：遮断容量を有するコンタクタは、短絡時にリレーが動作してコンタクタを開路するまで、そのコンタクタの定格遮断電流に相当する過電流に耐えること。

(その2)：限流ヒューズ、短絡保護遮断器などの過電流保護器と組み合わせて大容量電路に使用される場合、その組合せ単位の保証する遮断電流をそれらの過電流保護器が遮断するまで、コンタクタはその過電流に耐えること。

第1の種類のコンタクタにおいては、その定格短時間電流は、定格遮断容量によって決定される定格遮断電流に等しく、その定格遮断容量以下の短絡容量を有する電路にしか使用できない。

第2の種類のコンタクタは、一般にコンタクタよりもはるかに大きな遮断容量を有する過電流保護器と協調をとることにより、たとえば3φ、150MVAまたは250MVAなどの大容量電路に使用することが可能である。

本器シリーズは、後者の考え方に基づいて定格短時間電流を定めており、表1に示すように定格遮断容量より定まる短時間電流値の大略2倍の短時間電流値を有しており、限流ヒューズや遮断器の組合せ協調を便ならしめている。図11はVGF<sub>50</sub>-3による8,800A 2秒間通電の短時間電流試験オシログラムである。

なお、本器は、8,800Aの短時間電流に耐えるのみでなく、これを遮断することも可能であり、第1の種類の拡大された要求をも満たすものである。

3.4.8 開閉容量および閉路電流容量

かご形誘導電動機のじか入れ起動電流や変圧器、コンデンサの突入電流などを考慮して定められた規定で、定格電流の10倍の電流を力率0.3で開閉容量試験においては“CO”-30秒5回繰り返し、閉路電流容量試験にあつては“C”のみ100回繰り返し、全く異常のないことを確認している。これはJEM-1167のA級に相当

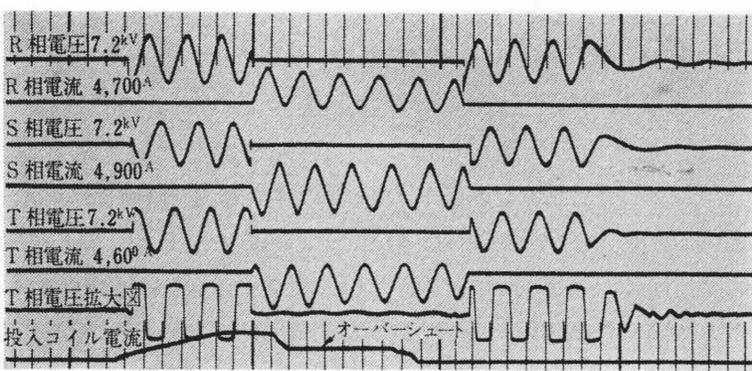


図10 7.2kV、59kVA遮断オシログラム

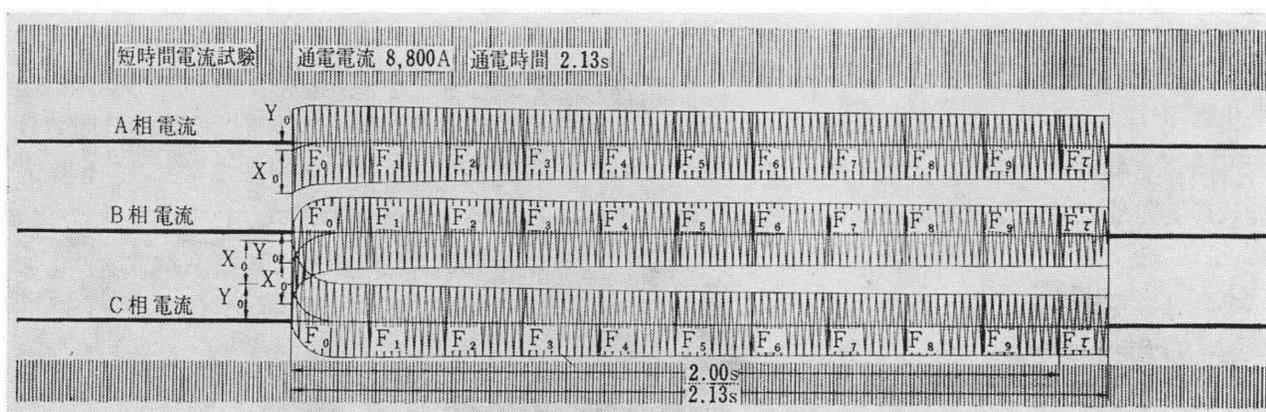


図11 短時間電流試験オシログラム

する。

3.4.9 電氣的寿命試験

主として真空バルブの電流開閉寿命を調べるための試験で、次の機械的寿命試験とともに最も重要な試験の一つである。

A級の場合は、力率0.3~0.4で定格電流の5倍を投入し、直ちに定格電流の1倍に低減し、力率0.6~0.7(実試験は力率0.3で実施)で開路し、本器の場合は1号であるので1,200回/時すなわち3秒に1回のひん度でこれを繰り返す。図12に本器シリーズの代表的な接点消耗性を、また図13に接触抵抗の変化特性を示す。また電氣的寿命試験には耐電圧の測定が上記測定と並行して実施された。またこれらとは別に、電流開閉に伴う真空度変化のチェックが真空バルブについて実施されたが、規定の寿命回数開閉したのちも、真空度の低下は認められなかった。

3.4.10 機械的寿命試験

コンタクタ各部の機械的耐久性を判定するための無負荷開閉試験で、全器種ともJEM-1167の1号すなわち1,200回/時の開閉ひん度で実施し、100A級については1種(500万回)、200A級については2種(250万回)、300A級については3種(100万回)を余裕をもって満足することが確認された。

真空バルブについては、規格がないので、自主的に電氣的寿命の2倍以上を目標としたが、各器種とも目標を大きく上まわり、

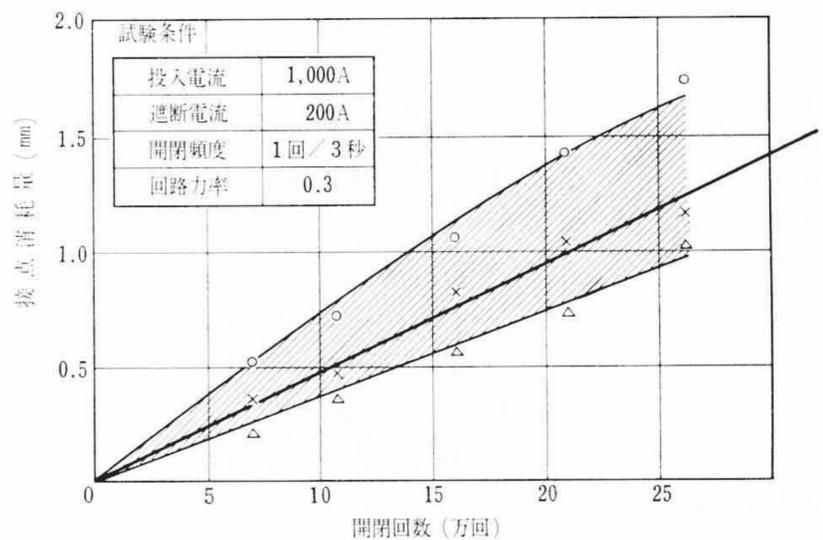


図12 接触子の消耗特性

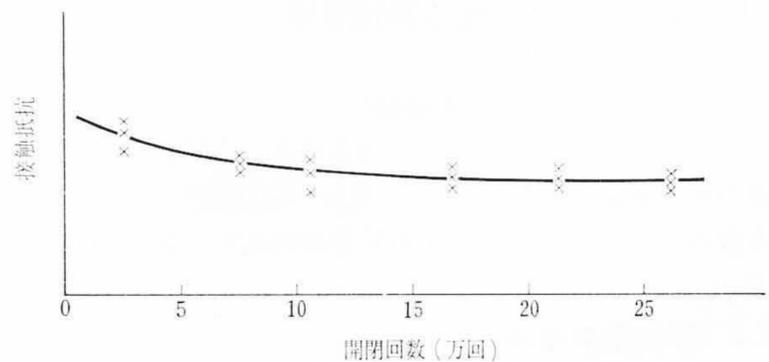


図13 接触抵抗の変化特性

いずれも 100 万回以上の無負荷開閉寿命を有することが確認された。

なお、機械的保持分路引はずし形の引はずし機構のつめの寿命は 25 万回以上であることが確認されているが、元来、機械的保持分路引はずし形は開閉間隔の長い用途に使用されるものであるから、10 万回以上で十分であろう。

### 3.5 特殊試験

#### 3.5.1 振動、衝撃試験

真空バルブ単体と、コンタクタの両方で耐振性および耐衝撃性がテストされた。コンタクタとしての振動試験結果では、主接点开状態および閉状態とも、振動数 1,500 rpm 振幅  $\pm 0.5$  mm (約 1 g) に対し前後、左右、上下方向とも異常なく、衝撃試験においては 3 軸各方向とも、主接点开および閉の状態でも 100 g をおのおの 3 回加えた。いずれも部品の損傷など異常を生じなかったが、電磁保持形では 85 g で異常なく、100 g でわずかな主接点の跳躍が見られた。据付けて運転中のコンタクタに 100 g を越える衝撃が加わることは、一般にはあり得ないことであるが、しいてそれが必要とする場合には機械的保持形を採用することが望ましい。

#### 3.5.2 輸送試験

トラックにて悪路を走行した場合および貨車などへの積入出し時のショックの製品への影響を調べるために、トラックに積んで悪路を走行する試験と、鉄道貨車による長距離輸送の両者が、製品に衝撃測定器を付けて実施され、輸送中にコンタクタが受けた衝撃の最大値は 50 g に達したが、試験後の精密検査の結果、外観、性能ともなんらの劣化も認められなかった。

#### 3.5.3 モールド部品試験

HI-VAC コンタクタには多くの絶縁モールド部品が使用されている。これらのモールド部品の耐久度を調べるための試験で、温水試験、煮沸試験、コロナ試験、高温多湿試験、温度サイクル試験、耐塵埃(じんあい)試験を実施した。一般構造モールド部品については、絶縁材料部品として十分な耐久性と余裕を有しており、真空バルブについては、耐電圧、真空度に劣化は全く見られず、過酷な環境にも十分耐えることが確認された。

#### 3.5.4 耐ガス試験

主接点部についていえば、真空バルブ内に気密封入されているためガスや湿気の影響を受けないが、湿度の高いあらゆる腐食性ガスに完全に耐える塗料や金属は実在しないことから考えても、無条件に真空式スイッチは腐食性ガスに強いと断定することは危険である。どのようなガスがどの部分にどのような影響をもたらすかを知るために(もともと、耐ガス、耐食性を考慮して設計、製作されているが)、ガスの種類、濃度、湿度を種々変えて模擬試験を行なった。また、顧客の好意により多くの現地調査を行なった。それらの一部は、試験に長期間を要し、現在も続行している。試験結果の詳細数値は割愛するが、これらの徹底した耐ガス試験、調査の結果は、腐食性ガスに対する最も有効な対策となって HI-VAC コンタクタを保護している。

#### 3.5.5 真空度不良バルブによる電流遮断

万一、なんらかの原因により、三相中の一相の真空バルブが不良となっているのを気づかずに電流を遮断した場合を想定した特殊試験である。ひとりで真空度が低下した真空バルブはないので、三相中の一相の健全な真空バルブに外部より穴をあけ、一相不良の状態を作った。この状態で定格電圧、定格電流の開閉を数回行ったが、なんら異常を生じなかった。それはほかの健全な二相の真空バルブで速かに電流を遮断するためである。次にこの状態で三相短絡電流遮断試験を実施した。定格電流より 2,000 A までではなんら異常を生じないが、2,000 A を越えると、不良バルブ

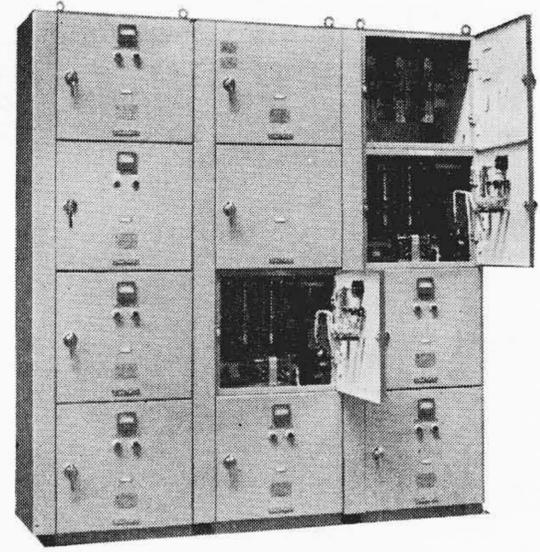


図 14 多段積集合形 V. マグス(高圧真空グループスタータ)

ブのシールド内面への蒸着がやや大きくなり、定格遮断容量 (VGF<sub>25</sub>-3 または VGF<sub>50</sub>-3) の 4,400 A 遮断ではこの蒸着が相当大となったが、三相短絡電流までアーク時間 0.6 c/s 以下で完全に遮断した。しかし、この状態は不安定な状態であるため、実使用に当たっては速かに健全なバルブと交換しておかなければならない。

## 4. HI-VAC コンタクタ応用製品

HI-VAC コンタクタは、それ自体が小形、高性能であることに加えて、アークや高温ガスを外部へ噴出しないので、アーク距離が不用であり、小形でユニークな各種の応用製品を生んでいる。以下にそれらのうちのおもな応用製品を紹介する。

### 4.1 HI-VAC マグス (略称 V. マグス)

JEM-1097「交流配電箱」に準拠して製作され、性能が確認され、さらに 3 kV 級は 3 号 B、6 kV 級は 6 号 B の絶縁耐力を有している。図 14 に多段積集合形の製品外観を、また、最も需要の多い 100 A および 200 A 定格 V. マグスの仕様を表 3 に示す。

### 4.2 HI-VAC リアクトルスタータ

かご形誘導電動機の起動運転用として活躍する HI-VAC 減電圧起動器の一種で、一つのキュービクルに主回路開閉用コンタクタまですべてを内蔵している。図 15 に HI-VAC リアクトルスタータの外観および内面観を示す。

### 4.3 HI-VAC コンビネーションスタータ (略称 V. コンビ)

HI-VAC コンタクタと高圧限流ヒューズとを組み合わせ、前者には起動運転と過負荷保護を、後者には短絡保護を行なわせることにより、短絡保護と過負荷保護を兼備した真空式スタータで、高圧配電盤としても使用され、集中制御化、保守維持費の低減に貢献している。図 16 に 3 段積引出形 HI-VAC コンビネーションスタータの製品外観およびユニット内面観を、図 17 に保護協調特性の一例を示す。図 17 において

$$I_R > I_A \dots \dots \dots (6)$$

$$I_R > I_C \dots \dots \dots (7)$$

$$I_B > I_L, I_{IN} \dots \dots \dots (8)$$

の条件が満たされることが必要である。なお、コンタクタの短時間電流値  $I_S$  と限流ヒューズの遮断特性との関係は前述したとおりである。

### 4.4 防爆形 HI-VAC コンタクタおよび HI-VAC マグス

防爆形 HI-VAC コンタクタは、おもに可逆形として炭坑、鉱山の巻上機用に使われる。HI-VAC コンタクタはアークを出さず防爆形に適していることに加えて、巻上機用としては 1 日に数百回というひん繁開閉をしいられるため、接点消耗が少なく保守の楽な HI-VAC が最も適しているといえよう。

防爆形 HI-VAC マグスは HI-VAC コンタクタを主体とし、保

表3 V. マグ ス 標準仕様

形式	定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	定格遮断容量 (MVA)	最大適用 (at 3/3.3 kV at 6/6.6 kV)			付属計器	外部引出インターロック接点
				電動機容量 (kW)	変圧器容量 (kVA)	静電蓄電器容量 (kVA)		
SD-GVP <sub>12</sub> SD-GVP <sub>22</sub> SD-GVP <sub>32</sub> SD-GVP <sub>42</sub>	3.3	100	25	375	500	500	Ⓐ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ	2a 2b
SD-GVP <sub>12</sub> SD-GVP <sub>22</sub> SD-GVP <sub>32</sub> SD-GVP <sub>42</sub>	3.3	200	25	750	1,000	1,000	Ⓐ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ	2a 2b
SD-GVP <sub>12</sub> SD-GVP <sub>22</sub> SD-GVP <sub>32</sub> SD-GVP <sub>42</sub>	6.6	100	30	750	1,000	1,000	Ⓐ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ	2a 2b
SD-GVP <sub>12</sub> SD-GVP <sub>22</sub> SD-GVP <sub>32</sub> SD-GVP <sub>42</sub>	6.6	200	50	1,500	2,000	2,000	Ⓐ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ Ⓐ Ⓜ	2a 2b

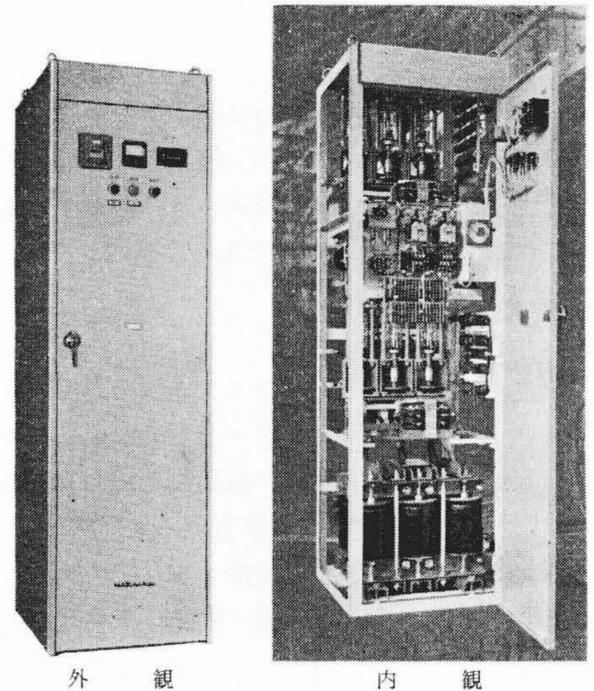


図15 HI-VACリアクトルスタータ (SD<sub>11</sub>-VGX<sub>12s</sub>)

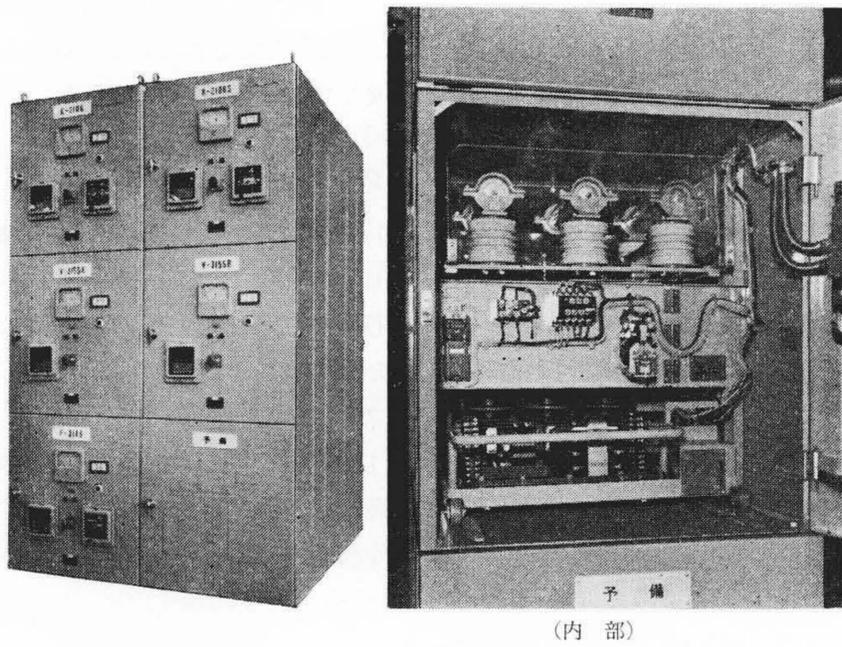


図16 3段横引出形 HI-VAC コンビネーションスタータ (SD<sub>3</sub>-VFG<sub>32</sub>)

護リレー類や付属計器類を収納した防爆構造の高圧配電箱で、ともに JIS C0905「電気機器の一般用防爆構造通則」に準拠して製作され、性能が確認されている。

いずれも従来防爆形接触器または配電箱に比べて、画期的に小形化され、無保守化されている。図18に防爆形可逆 HI-VAC コンタクタの製品内観を示す。

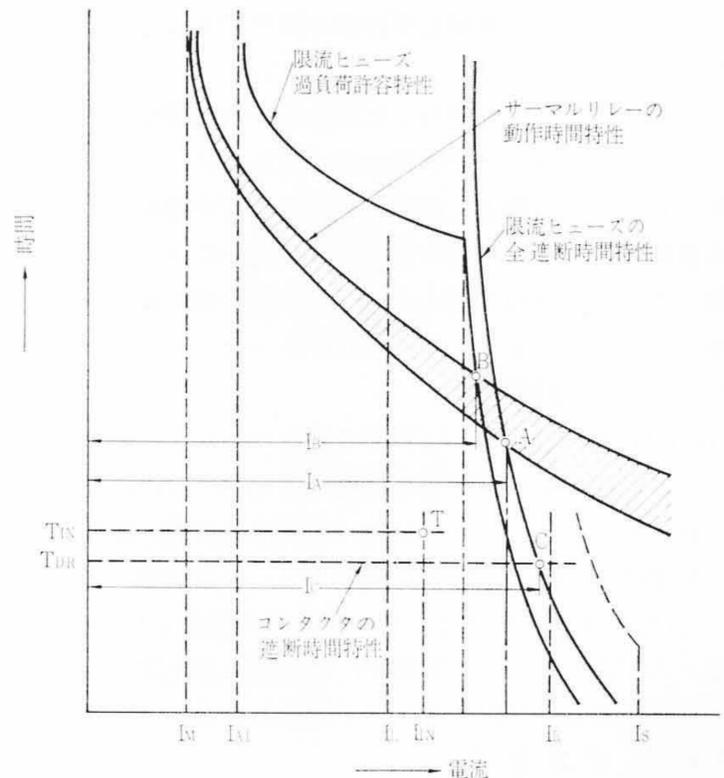
### 5. 結 言

高真空を消弧媒質とした新しいタイプの高圧 (3 kV 級および 6 kV 級) 真空接触器“HI-VAC コンタクタ”の原理、構造と主要な試験結果について報告し、あわせてそれらの応用製品を簡単に紹介した。これらの種々のすぐれた特長に加えて、画期的に長寿命であること、異例の小さい断電流値など、その真価が正しく認識されるにつれて、ますます広い需要と応用を開拓していきつつある。

終わりに本 HI-VAC コンタクタシリーズの開発、実用化にご協力いただいた日立製作所日立研究所、関係工場ならびに顧客各位に厚くお礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- (1) H. W. Anderson: E. E., 54, p. 1315 (1935)
- (2) L. Cranberg: J. Appl. Phys., 23, p. 518 (1952)
- (3) F. M. Charbonnier: J. Appl. Phys., 38, p. 627 (1967)
- (4) 松村, 石田, 高砂: 昭和41年電気学会東京支部大会 No. 340
- (5) 石田, 和田: 昭和41年電気学会東京支部大会 No. 155



- $I_M$ : 全負荷電流
- $I_{AL}$ : 限流ヒューズの過負荷許容値
- $I_L$ : 電動機拘束電流
- $I_{IN}, T_{IN}$ : 変圧器およびコンデンサ負荷の場合の突入電流値とその継続時間
- $I_R$ : コンタクタの定格遮断電流
- $T_{DR}$ : コンタクタの遮断時間
- $T$ :  $T_{IN}$  と  $T_{IN}$  との交点
- $A, I_A$ : 限流ヒューズの全遮断時間曲線とサーマルリレー動作時間曲線の下限との交点とその電流値
- $B, I_B$ : 限流ヒューズの全遮断時間曲線とサーマルリレー動作時間曲線の上限との交点とその電流値
- $C, I_C$ : コンタクタの遮断時間特性と限流ヒューズの全遮断時間曲線との交点とその電流値

図17 サーマルリレーと限流ヒューズの協調

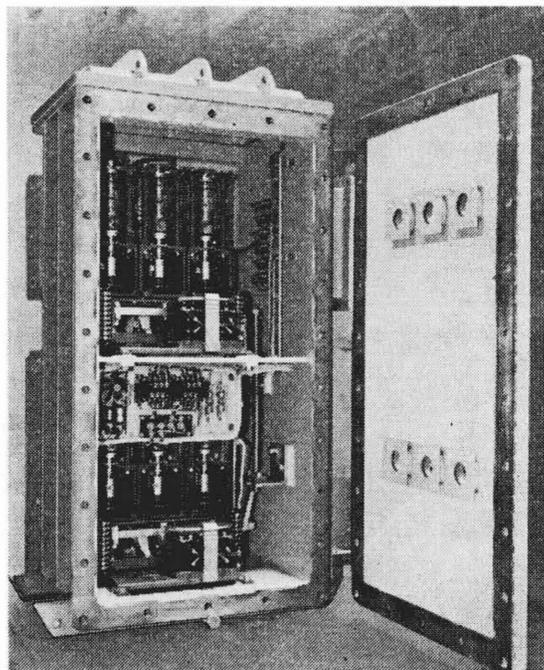


図18 防爆形可逆 HI-VAC コンタクタ (VGRXX<sub>1</sub>-3)