

**MITSUBISHI DENKI**

三菱電機



わが国最大のシキ 400 形大物貨車による本名向け変圧器の輸送

6

**VOL33 1959**





MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

## 表紙説明

東北電力本名変電所用 120 MVA 超高压負荷時タップ切換変圧器 (輸送重量 180 トン) が、このほど完成し、当社所有わが国最大のシキ 400 形大物貨車により伊丹製作所から現地まで組立のまま輸送された。

この変圧器は前後に分割された台車の荷つりハリにつりかけられ、車体の一部を構成して輸送されるものである。

シキ 400 形大物貨車は最大積載重量 240 トンで、24 軸の車輪からなり積載時全長 43 m におよぶマンモス貨車であり、狭軌鉄道用としては世界最大の貨車である。この貨車の完成により三相 300 MVA 超高压変圧器まで組立輸送が可能となった。

## 三菱電機株式会社

本社 東京都千代田区丸の内 (東京ビル)  
(電) 和田倉 (20) 代表 1631・2331  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
静岡工場 静岡市小島 110  
中津川工場 岐阜県中津川市駒場  
和歌山工場 和歌山市岡町  
福岡工場 福岡市今宿青木  
福岡工場 福岡市沖野上町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市境橋町  
研究所 兵庫県尼崎市南清水  
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町  
東京工場 札幌修理工場 札幌市北二条東 12  
東京商品営業所 東京都千代田区丸の内 2—20  
(三菱商事ビル 2 階)  
(電) 東京 (211) 代表 2511  
大阪営業所 大阪府北区堂島北町 8 番地 1  
(電) 大阪 (34) 代表 5251  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電) 本局 (23) 代表 6231  
福岡営業所 福岡市渡辺通り 2 丁目 (電気ビル内) (電) 福岡 (2) 代表 6031  
札幌営業所 札幌市大通り西 1 丁目 (大通ビル) (電) 札幌 (2) 代表 7236  
仙台営業所 仙台市東一番丁 63  
(電) 仙台 (2) 代表 6101  
富山営業所 富山市安住町 23 の 2  
(電) 富山 4692・5273・2550  
広島営業所 広島市袋町 6 (富国生命ビル)  
(電) 中 (2) 2211  
高松営業所 高松市寿町 1 丁目 4 (第一生命ビル) (電) ビル代表 2-5021  
直通代表 2-4416  
小倉出張所 小倉市京町 10 丁目 (五十鈴ビル) (電) 小倉 (5) 8234  
静岡駐在員 静岡市呉服町 2 丁目 1 番地  
(電) 静岡 (2) 2595 (3) 2962  
岡山駐在員 岡山市浜田町 20 番地  
(電) 岡山 (3) 2098

昭和 34 年 第 33 卷 第 6 号

## 目次

3.6 kV 75 MVA 1,200 A 新形磁気シャ断器	2
……………五十嵐芳雄・富永正太郎・桜井武芳	
超高压用縦切 V 形断路器	8
……………小橋利雄	
最近の C 形空気シャ断器	14
……………五十嵐芳雄・簗田忠男・米沢克昌	
最近のパワーセンタ	20
……………横浜 博	
同期機の高周波リアクタンス	25
……………潮 恒郎	
CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式	36
……………森 健	
ダイヤパワー発動発電機	49
……………杉山昌司・町野康男	
ベクトル図による一線地絡時基本周波電圧の考察	57
……………岡田昌治	
IBM-650 形電子計算機による電力線事故時の通信線誘導電	
圧発生確率の計算 (I)	65
……………迎 久雄	
MI 形熱動過負荷継電器	79
……………井上 通・広石 寛	
無方向性 50% Ni-Fe 磁性合金の研究——高温焼鈍と磁性	
……………山森末男・野口英男・政木淑人・竹内守久・	
長谷川邦弘・小倉忠利	83

## 技術解説

火力発電シリーズ: 発電所全般 (4) 発電機・タービンの保護方式	89
-----------------------------------	----

## 原子力情報

加圧水型原子力発電所について (7)	101
……………前沢芳一・川口 修	

## W 社文献抄訳

最新の自動給電方式・浮遊燃料形原子炉・宇宙における太陽エネルギーの応用・	
ゲルマニウム光導電体・変圧器関係の進歩	111

## ニュースフラッシュ

電源開発田子倉発電所向け 105,000 kVA フランス式水車発電機すえ付完了試送電開始・田子倉発電所納め 300 kV ウォッチケースシャ断器現地すえ付完了・世界最初の 60 サイクル 150 kW 交流電車電動機完成・広帯域電波吸収壁材料・最近の照明施設・タービン発電機用大容量直結励磁機の試作研究完了・関東地建向け 7,000 Mc SS-FM 多重通信装置受注・すべての難問題を解決する低速形精密アナログ計算機完成	114
--	-----

## 特許と新案

(新) 交流発電機の界磁装置 (特) 放電間げき装置 (新) 噴流形洗たく機	48, 118
--	---------

最近登録された当社の特許および実用新案	24
---------------------	----

最近における当社の社外講演一覧	78, 88, 119
-----------------	-------------

最近における当社の社外寄稿一覧	119
-----------------	-----

次号予定	120
------	-----



## 3.6 kV 75 MVA 1,200 A 新形磁気シャ断器

伊丹製作所 五十嵐芳雄\*・富永正太郎\*\*・桜井武芳\*\*

## 3.6 kV 75 MVA 1,200 A New Magnetic Air Circuit Breakers

Itami Works Yoshio IGARASHI・Shotaro TOMINAGA・Takeyoshi SAKURAI

The recent development of magnetic air circuit breaker is outstanding and those built by Mitsubishi, amounting to some thousands, have been favorably accepted by our customers. On these many experiences and data, an entirely new design has been worked out lately and, what we call, a central blow-out system has been introduced to make the unit small size and high performance. This new magnetic air circuit breaker is provided with an H type blow-out magnet core and an interrupting chamber having a blow-out coil in the center. This increases the flux density, equalizes the flux distribution, improves the blow-out effect of the arc and gives an ample margin against the impulse level across the open contacts. The success in this type has proved feasibility of building units of much higher capacity and the plan is now on foot.

### 1. ま え が き

この数年間における磁気シャ断器の発達、普及ぶりは実にめざましく、当社もすでに数千台を送り出して各方面で好評を博しているが<sup>(1)(2)</sup>、今回従来の豊富な経験と資料に基づき、まったく新しい構造のセンタ・ブローアウト式小形高性能磁気シャ断器が開発された。

このシャ断器の吹消磁石鉄心はH形でその中心部に吹消コイルを備えたもので、これによりシャ断性能および極間衝撃電圧耐圧値が一段と向上するとともに小形軽量化された。つぎにこのシャ断器の構造と性能を紹介する。

### 2. 定 格

このシャ断器の定格は下記のとおりである。

定 格 電 圧	3.6 kV
定 格 電 流	600 A 1,200 A
定格シャ断容量	75 MVA
定格投入電流	33 kA
定格短時間電流	12 kA
定格シャ断時間	5 サイクル
定格開極時間	0.05 sec
絶 縁 階 級	6 号
定格再起電圧	20 kc
標準動作責務	甲号または乙号

定格投入操作電圧	DC 100 V
定格引はずし電圧	DC 100 V

### 3. 構 造

構造は図3.1に見られるように電氣的にも機械的にも思い切って簡単化されており、車輪付の基礎フレームの上に3個のU形のガラス・ポリエステルモールドの強靱なチャンネルが取付けられ、各相のブッシングおよび接触部はこのモールド中に別々に組込まれている。したが

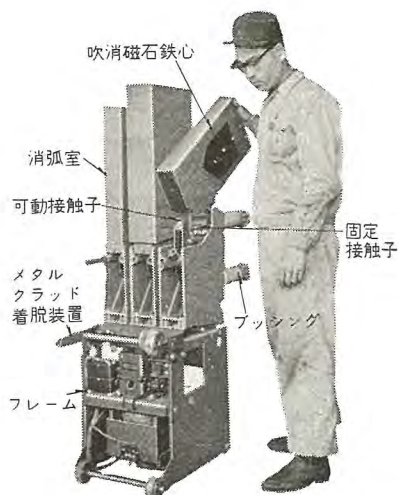


図 3.1 バリヤをはずし接触部点検中の 3.6 kV 75 MVA 1,200 A 磁気シャ断器

Fig. 3.1 3.6 kV 75 MVA 1,200 A magnetic air circuit breaker with the main barrier removed.



って他の2相の調整をかえることなく1相を独立に調整でき、また上部ブッシングには消弧室取付用のヒンジがあって消弧室をヒンジのまわりに図3.1のように回転すれば簡単に接触部を点検できる。

ソレノイド操作機構は基礎フレーム中に収められ絶縁操作棒により可動接触子は下部より操作される。

### 3.1 消弧室

このシャ断器の消弧室は最近米国 Westinghouse 社において開発されているいわゆるセンタ・ブローアウト方式でH形鉄心<sup>(4)(5)(6)</sup>を使用し、図3.2に示すように

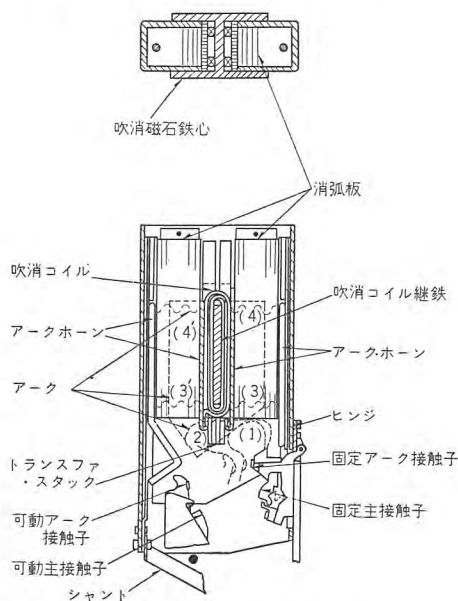


図 3.2 3.6 kV 75 MVA 磁気シャ断器消弧室説明図  
Fig. 3.2 Interrupting chamber of 3.6kV 75MVA magnetic air circuit breaker.

吹消コイルは消弧室の中心部に位置しその左右に消弧板が並べられている。この消弧板自体の材質および形状は従来の磁気シャ断器のもの<sup>(3)</sup>とほぼ同様でV形のみぞを有する特殊耐熱磁器板である。また吹消コイルの下部にはトランスファスタックと呼ぶ小形の消弧装置を備え、吹消コイルに並列にはいるアークを消弧し電流を迅速に吹消コイルに移す作用を行なわせる。このように消弧室は吹消コイルを中心としてだいたい左右対称であるから電位分布も他の形式の磁気シャ断器に比して非常に良好となり、短い間げきで容易に所定の極間絶縁耐力をうることができる。

### 3.2 接触部

可動接触子腕は間に主接触子用の銀メッキした銅接触子片をはさんで銅板を2枚合わせた簡単なもので強靱軽量で十分の電流容量があり、固定側も主接触子は精密鍛造の銅接触片を用い、アーク接触子は図3.3に見られる

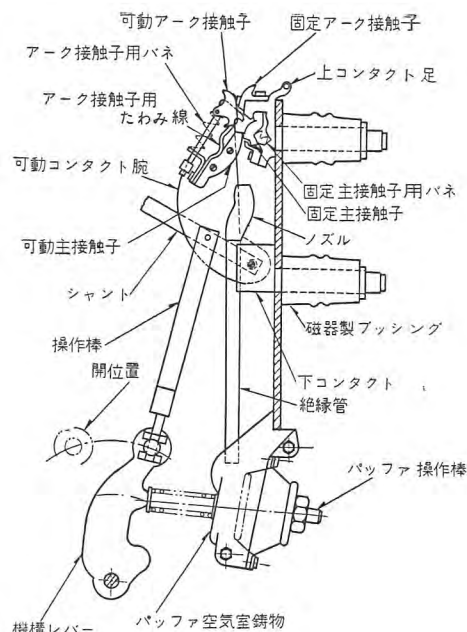


図 3.3 接触部およびパッファ説明図

Fig. 3.3 Figure showing contacts and puffer assembly.

ように固定可動とも銀タングステンチップを巧みにバネと組合わせたもので寿命が非常に長い。

### 3.3 空気吹付機構

磁気シャ断器のような自力消弧形のシャ断器ではその消弧原理より明らかなように小電流域ではアーク時間が伸びる傾向がある。このシャ断器ではこのような小電流域でも迅速なシャ断性能を確保するため従来のものに比してはるかに消弧能力の大きい新設計のパッファが開発された。すなわち図3.3に示すように操作機構に連動するパッファ操作棒で強靱な合成ゴムモールドの薄膜を駆動し3本の絶縁管およびノズルによって圧縮空気を各相の固定可動接触子間に送るようにしたもので、パッファ空気室は3相共通で容積をできるだけ大きくとり、従来のしゅう動ピストン式のものよりはるかに強力でしかも駆動力は少なくてすむ。

### 3.4 メタルクラッド着脱用レバー装置

従来の磁気シャ断器と同様にこのシャ断器にもメタルクラッド着脱装置がありシャ断器がシャ断しなければ着脱できないように確実な鎖錠装置が付けられている。すなわちメタルクラッドにシャ断器を挿入する場合は図3.4および図3.5に示すように操作棒を手動で反時計方向に回転させレバーを同方向に駆動してメタルクラッド側のみぞとローラをかみ合わせシャ断器をメタルクラッド内に移動し主回路および制御回路をメタルクラッド側母線に接続する。引出す場合には時計方向に操作棒を回転させればよい。この際、もしシャ断器が投入状態にあれば



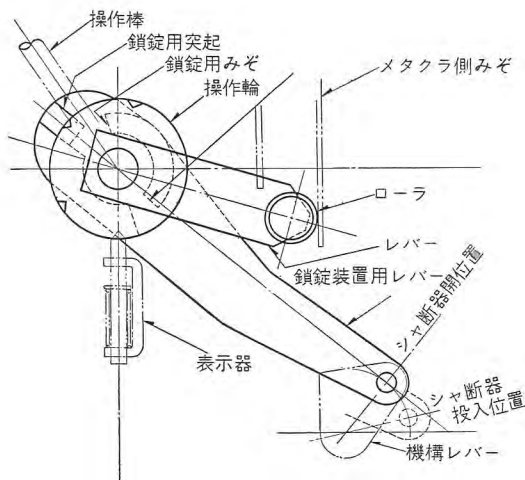


図 3.4 メタルクラッド着脱装置

Fig. 3.4 Levering-in device for metal clad switchgear.

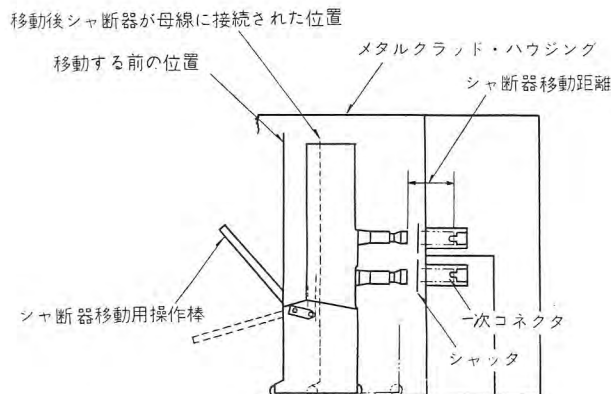


図 3.5 シャ断器とメタルクラッドとの関係説明図

Fig. 3.5 Figure showing the relation between breaker and metal-clad housing.

図 3.4 に見られる機構レバーと連動する鎖錠装置用レバーの突起が操作輪のみぞにはまり込んでいるため回転できずしたがってシャ断器は移動できない。なおシャ断器が完全に挿入されたこと、また完全に引出して断路されたことを確認するための表示器が前面に設けられている。

### 3.5 外形寸法

このシャ断器は以上に述べたように電氣的に新方式を採用したと同時に機械的にも斬新な設計が取入れられ、パッファ空気室鋳物は小電流シャ断に対する空気を供給する本来の目的他にフレーム構造の一部ともなりまた各単極組立の主要支持部ともなっており接触部ベースにはガラス・ポリエステル・モールドを使用したので絶縁距離もきわめて小さくてすんでいる。さらに操作機構、操作ソレノイドおよびその他補助装置を乗せるささえ板はフレームのクロスメンバも兼ね、車輪の心棒さえ二重の用途に供せられている。

このように二重の目的に供せられるような能率のよい設計によりこのシャ断器の寸法は旧形に比し格段に縮小された。図 3.6 に旧形 3.6 kV 50 MVA 1,200 A 磁気シャ断器との外形寸法の比較を示す。

### 4. 動作

引はずし動作において接触子間に発生したアークは図 3.2 に示すようにループ回路による電磁力や上昇気流によって (1)(2) と上昇しトランスファスタックによって吹消コイル

の下部のアークが消弧されるとちょうどアークは吹消コイルの両面に (3) (3') のように 2 部分に分れ吹消コイルが直列に挿入される。ここでアークはシャ断電流の磁界によりさらに上方へ駆動され、吹消コイルの両側の消弧板の V 形みぞの中に押しこまれ従来の磁気シャ断器と同じ原理<sup>(1)(2)</sup> で (4)(4') において消弧される。従来の U 形鉄心においては、磁場は吹消コイルの近くでは、もっとも強く吹消コイルより遠ざかるにしたがい弱くなる欠点があったが、このシャ断器のように消弧板を 2 群に分けると、より強力で均一な磁場が得られるのでこの消弧室は従来に比し 50% 以上もシャ断容量が増加しているにもかかわらず鉄心もきわめて小さく消弧室の外形、重量とも非常に軽減された。(図 3.6 参照)

小電流シャ断の場合には吹消コイルによる磁界が弱いので 3.2 節にのべた空気吹付パッファが磁気吹消作用を助けるよう可動接触子速度とノズルおよび接触子の形状を協調させてあり、図 5.2 のようにたとえ小電流でもアーク時間はあまり伸びないで小電流から大電流に至るまで動作が確実であるからコンデンサや変圧器励磁電流のひんばんな開閉にも最適である。

投入動作は引はずし自由操作機構を備えた電磁石によって行なわれる。

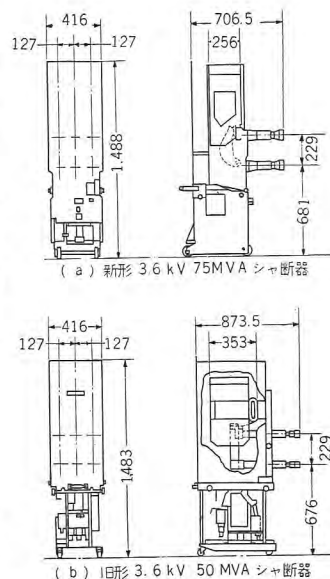


図 3.6 旧形 3.6 kV 50 MVA 磁気シャ断器と新形 3.6 kV 75 MVA 磁気シャ断器との外形寸法比較

Fig. 3.6 Outline dimensions of conventional 3.6 kV 50 MVA breaker and new 3.6 kV 75 MVA breaker.



## 5. 試験結果

### 5.1 温度上昇試験

温度上昇試験の結果は表 5.1 に示すとおり、最高温度上昇は主接触部 36.5℃ で規格の 55℃ に対し十分の余裕を示している。

表 5.1 1,200 A 温度上昇試験成績

測定箇所	温度上昇(℃)
ブッシング導体	33
可動接触子腕	36
主接触子	36.5
アーカ接触子	34.5
ブッシングささえ板	7.5

周囲温度 10℃

### 5.2 短絡電流シャ断試験

当社の HPL において数百回にわたる徹底的なシャ断性能の検証を行ない、短絡電流はもちろんのこと、負荷電流、変圧器励磁電流、コンデンサバンクなどのひんぱんな開閉にも最適であることが確認された。

#### (1) 三相シャ断試験

三相シャ断試験の結果の一部を表 5.2 に示す。定格 75MVA に対して 85.5MVA まで行ないシャ断電流 1,000 A 以上では全シャ断時間は 4 サイクル以内でシャ断容

表 5.2 三相短絡電流シャ断試験成績

試験番号	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	シャ断電流		シャ断時間			相別	シャ断容量
			AC 分 (A)	DC 分 (A)	開極 サイクル	アーカ サイクル	全 サイクル		
922-37*	3.6 ×1.035	94.5	3,050	61	1.15	3.00	U	17.9	
				38	1.15	3.00	V		
				19	0.95	2.80	W		
922-38	3.6 ×1.035	94.5	3,060	44	1.10	2.95	U	18.0	
				6	0.95	2.80	V		
				45	1.10	2.95	W		
922-39	3.6 ×1.035	94.5	3,060	49	0.95	2.80	U	18.0	
				12	1.15	3.00	V		
				32	1.15	3.00	W		
922-40	3.6 ×1.068	84	5,350	16	1.05	2.90	U	28.0	
				0	1.05	2.90	V		
				16	0.90	2.75	W		
922-41	3.6 ×1.068	86	5,540	20	0.95	2.80	U	29.8	
				0	1.15	3.00	V		
				22	1.15	3.00	W		
922-42	3.6 ×1.068	88	5,700	25	0.80	2.65	U	31.3	
				0	1.00	2.85	V		
				24	1.00	2.85	W		
922-43*	3.6 ×1.18	105	13,100	22	1.05	2.85	U	85.5	
				10	1.00	2.80	V		
				32	1.05	2.85	W		
922-44	3.6 ×1.18	105	13,100	21	1.00	2.75	U	85.5	
				10	1.25	3.00	V		
				32	1.25	3.00	W		
922-45	3.6 ×1.18	105	13,100	21	0.90	2.65	U	85.5	
				7	1.05	2.80	V		
				30	1.05	2.80	W		

\* これらのオシログラムを図 5.1 に示す。

3.6kV 75 MVA 1,200 A 新形磁気シャ断器・五十嵐・富永・桜井

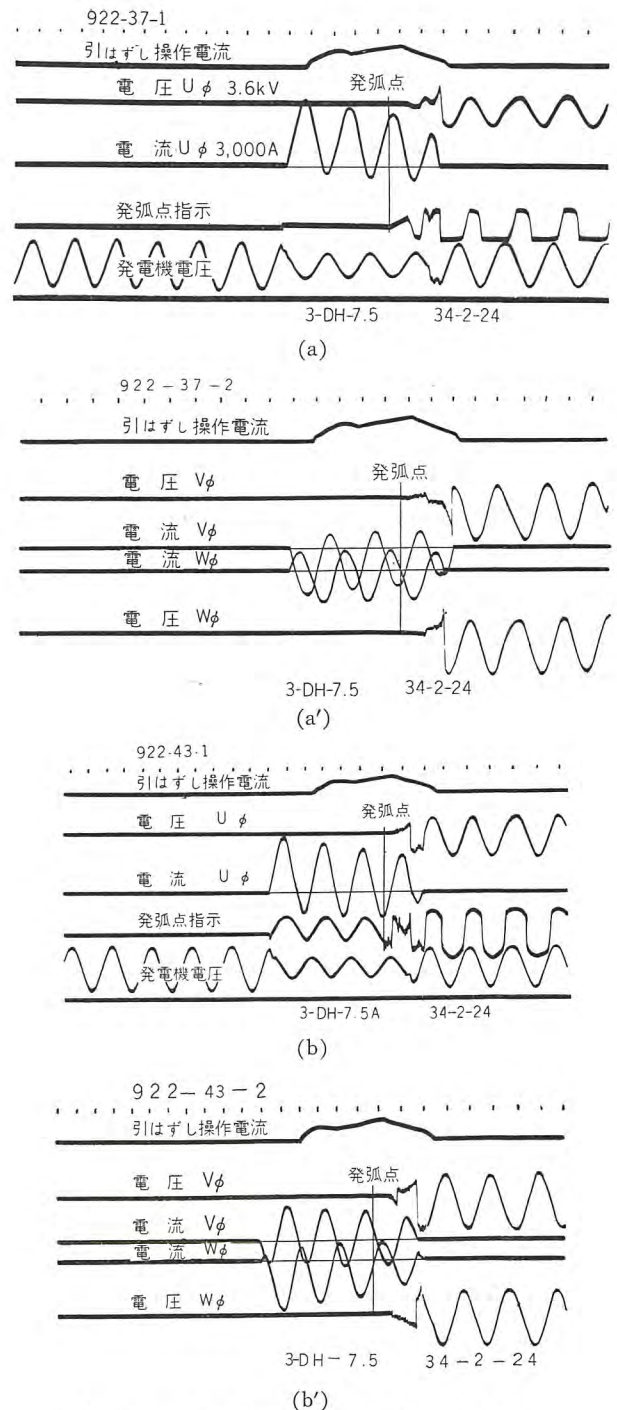


図 5.1 代表的な三相シャ断試験オシログラム  
(a)(a)' 3.6kV 3,050 A  
(b)(b)' 3.6kV 13,100 A

Fig. 5.1 Typical oscillograms showing three phase interrupting tests.

(a)(a)' 3.6kV 3,050 A  
(b)(b)' 3.6kV 13,100 A

量、投入容量ともに十分な余裕のあることを確認した。  
代表的なオシログラムを図 5.1 に示す。

#### (2) 単相 $\frac{1.5}{\sqrt{3}}$ × 定格電圧におけるシャ断試験

小電流より大電流に至るまでの特性を調べ三相試験の裏付けを行なうため単相  $\frac{1.5}{\sqrt{3}}$  × 定格電圧 = 3.12 kV において最大シャ断電流までシャ断試験を行ない図 5.2 のよ



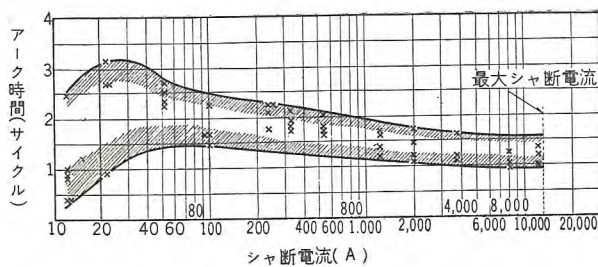


図 5.2 単相  $\frac{1.5}{\sqrt{3}} \times$  定格電圧=3.12 kV におけるアーク時間とシャ断電流の関係

Fig. 5.2 The relation between arcing time and interrupting current in 3.12 kV single phase interrupting tests.

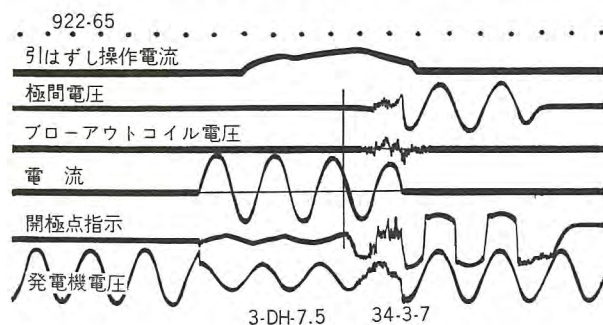


図 5.3 単相  $\frac{1.5}{\sqrt{3}} \times$  定格電圧=3.12 kV において定格シャ断電流 12,000 A をシャ断した時のオシログラム

Fig. 5.3 Oscillogram showing the interrupting of rated interrupting current 12,000 A at 3.12 kV single phase.

うなシャ断電流対アーク時間の特性を得た。この図より明らかなように最大アーク時間は 30 A において 3 c/s 程度で小電流域においてパフファの空気吹付効果が強力であることがわかる。図 5.3 に定格シャ断電流シャ断時のオシログラムを示す。

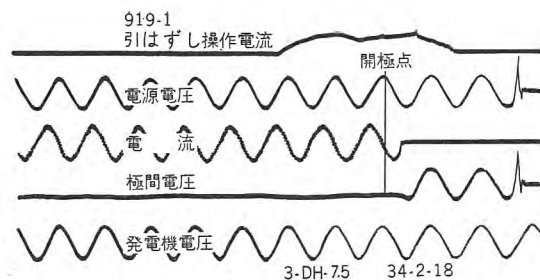
### 5.3 充電電流試験

三相回路充電電流シャ断時の第 1 シャ断相の電圧条件

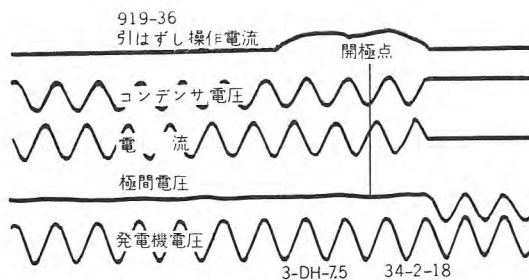
表 5.3 単相充電電流シャ断試験成績

試験番号	給与電圧 (kV)	シャ断電流 (A)	再点弧回数		シャ断時間			極間電圧 (%)	コンデンサ側電圧 (%)
			発弧	点弧	開極サイクル	アークサイクル	全サイクル		
919-1*~6	2.7 × 1.05	3	0	0	2.30	0.15 0.40	2.45 2.70	150 190	59 90
919-7~12	2.7 × 1.05	14	0	0	2.30	0.25 0.60	2.55 2.90	180 198	82 91
919-13~18	2.7 × 1.05	56	0	0	2.30	0.25 0.65	2.55 2.95	193 200	93 100
919-19~23	2.7 × 1.05	112	0	0	2.30	0.25 0.65	2.55 2.95	187 200	87 100
919-24~29	2.7 × 1.05	336	0	0	2.30	0.80 2.05	3.10 4.35	192 200	92 100
919-30~35	2.7 × 1.025	560	0	0	2.30	0.35 0.75	2.65 3.05	200	100
919-36*~41	2.7 × 1.045	815	0	0	2.30	0.20 1.40	2.50 3.70	200	100

\* これらの試験のオシロは図 5.4 に示す。



(a) 2.7 kV 3 A



(b) 2.7 kV 815 A

図 5.4 代表的な充電電流シャ断試験オシログラム

Fig. 5.4 Typical oscillograms showing charging current interruption.

(a) 2.7 kV 3 A  
(b) 2.7 kV 815 A

については種々の見解があるが、相電圧の 1.3 倍をとれば十分苛酷とみなされるから印加電圧を  $\frac{3.6}{\sqrt{3}} \times 1.3 = 2.7 \text{ kV}$  にとって単相試験を行なった。表 5.3 に示すように試験は設備の関係で 815 A までしか行なわなかったが再点弧は皆無でなお相当余裕があると推定される。代表的なオシログラムを図 5.4 に示す。

### 5.4 励磁電流シャ断試験

単相の励磁電流シャ断試験として電圧  $\frac{3.6}{\sqrt{3}} \times 1.5 = 3.12 \text{ kV}$  を印加して 9 A まで表 5.4 に示すような試験を行なった。もちろん磁気シャ断器の特長として電流さい断現象はなく、異常電圧は皆無であった。代表的な変圧器側電圧の陰極線オシログラムを図 5.5 に示す。

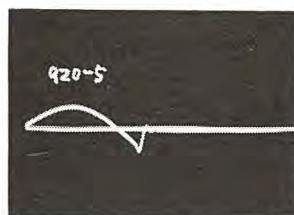
図 5.6 と図 5.7 にこれら数百回の試験を行なった後の接触部および消弧室の写真を示す。いずれも損傷はきわ

表 5.4 単相励磁電流シャ断試験成績

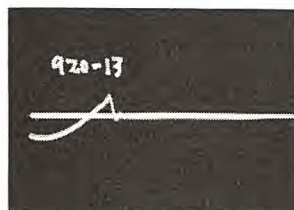
試験番号	給与電圧 (kV)	シャ断電流 (A)	シャ断時間			変圧器側電圧 (%)
			開極サイクル	アークサイクル	全サイクル	
920-1~6*	3.12 × 1.03	9	2.20	0.15 0.55	2.35 2.75	100 以下
920-7~12	3.12 × 1.03	6	2.20	0.15 0.45	2.35 2.65	110 以下
920-13~18*	3.12 × 1.03	3	2.20	0.05 0.45	2.25 2.65	114 以下
920-19~24	3.12 × 1.03	0.6	2.20	0.15 0.45	2.35 2.65	130 以下

\* 変圧器側電圧の陰極線オシログラムを図 5.5 に示す。





(a) 3.12 kV 9 A



(b) 3.12 kV 3 A

図 5.5 陰極線オシログラムによる励磁電流シャ断時の変圧器側電圧

Fig. 5.5 Wave-form of transformer side voltage when interrupting exciting current.

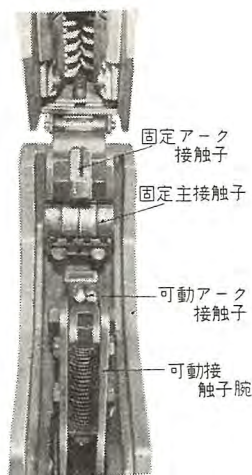


図 5.6 試験終了後の接触部  
Fig. 5.6 Contacts after series of interrupting tests.

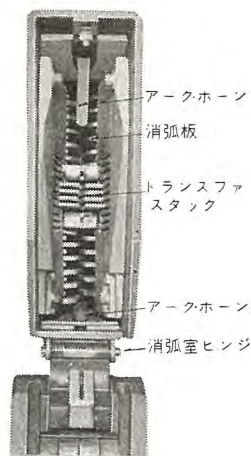


図 5.7 試験終了後の消弧室  
Fig. 5.7 Interrupting chamber after series of interrupting tests.

ある。

(5) 接触子が改良され動作が軽快で寿命が長くなった。

(6) 支持機構はバッファ空気室鋳物などを利用した能率のよい設計で消弧室の小形軽量化とあいまって小形高性能の磁気シャ断器となった。

このセンタ・ブローアウト式消弧室の詳細な検討によりさらに高圧大容量のものも従来よりはるかに容易に設計できることがわかったので当社で

はこの方式をもとにしてさらに高圧大容量磁気シャ断器の開発を計画中である。

最後にこのシャ断器の開発にあたり種々協力下さった新井技術部次長をはじめ各方面の方々に深く感謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 新井正元, 五十嵐芳雄, 富永正太郎: 3.45kV 磁気シャ断器 昭和 28 年三学会連合大会予稿 No. 250
- (2) 五十嵐芳雄, 志賀貞雄, 富永正太郎: 6.9kV 500MVA および 11.5kV 500MVA DH 形磁気シャ断器「三菱電機」28, (1954) 12 p. 609~612.
- (3) 新井正元, 富永正太郎, 瀬渡卓三: 磁気シャ断器耐熱磁器板の試験 昭和 32 年三学会連合大会予稿 No. 363.
- (4) R. Frink, J.M. Kozlovic: A new 5 kV 50,000 MVA de-ion air circuit breaker AIEE cp 55-721 (1955).
- (5) R. Frink, J.M. Kozlovic: A magnetic "De-ion" air circuit breaker for 750 MVA, 13.8 kV AIEE cp 57-225 (1957).
- (6) R.C. Dickinson, R.E. Frink: A 1,000 MVA, 13.8 kV magnetic "De-ion" air circuit breaker AIEE cp 58-294, (1958)
- (7) R. Frink, J.M. Kozlovic: A magnetic air circuit breaker for 350MVA, 3,000A and 4.16 kV AIEE cp 58-130, (1958).

## 6. む す び

以上のべたこの新形シャ断器の特長をまとめれば次のとおりである。

(1) 消弧室は H 形磁石鉄心をもついわゆるセンタ・ブローアウト式で、吹消コイルを消弧室の中心に置いたので磁束分布がより強力かつ均一になり、シャ断性能が向上し小形軽量化されシャ断器本体へはヒンジで取付けられているので点検保守に便利になった。

(2) H 形鉄心の使用により消弧室まわりの形状が対称的になったので開極極間の電位分布も良好になり従来磁気シャ断器でしばしば問題にされた極間の衝撃電圧レベルに対しても余裕ある設計が容易にできるようになった。

(3) きわめて能率のよい空気吹付パッファを備えており小電流でも迅速にシャ断できるので、負荷電流、変圧器励磁電流、コンデンサバンクなどのひんばんな開閉にも最適である。

(4) 接触子のベースに強靱なガラスポリエステル・モールドを使用しているので絶縁距離も従来に比して少なくよく各相が独立して調整、保守点検に便利で



# 超 高 圧 用 縦 切 V 形 断 路 器

伊丹製作所 小 橋 利 雄\*

## Type V Vertical Brake Disconnecting Switches for Ultra-High Voltage Use

Itami Works Toshio KOHASHI

With the rapid increase in the power demand of late, new main power lines are turned to ultra-high voltage and power plants and transmission lines interconnecting them under the plan are also demanded to be of high capacity and ultra-high voltage. To go with them disconnecting switches to be used for them have come to play an important part. The latest product of Mitsubishi's is a type V vertical break disconnecting switches in which the blade rotates inside the stationary contact to make high pressure contacting. The operation is positive and light and long life is assured of its contacts because of age-hardening copper alloy to withstand wear and damage.

### 1. ま え が き

最近は電力需要の急増に伴い、新幹線は超高压化されまた計画中の発電所連けい送電線もどうようになります大容量であり超高压である。断路器はこれら発電所のスイッチャードの構成には欠くべからざる重要な機器であり、送電線の連けい回線の切換えなどには長年にわたって変化しない操作の軽快性と、接触の確実性は電圧が高くなるにしたがって重要な問題となってくる。当社ではブレードを自転して高压接触させる、水平2点切のH形および縦切ではV形で161 kVまでの各種定格断路器を多数製作してきた。

操作上からみると水平切はブレードの惰性によってデットポイントをくずす自転接触であり、縦切形はブレードの状態の変位による連けいされた自転接触である。したがって操作速度に影響されずに確実な接触を得られ、すえ付面積を小さくできる縦切V形断路器によって超高压の断路器を開発し、小形の圧縮空気操作機構と組合わせて各種試験を行ない満足すべき結

果を得た。以下その定格、構造ならびに性能を紹介する。

### 2. 構 造

図 2.1 に断路器外観を示した。断路器は公称電圧 250 kV であるが直接接地方式を採って機器の絶縁レベルを 200 号として設計してある。

機器の諸元は下のようである。

定格電圧	287,500 V
定格電流	1,200 A
商用周波試験電圧	乾燥 550 kV
	注水 460 kV

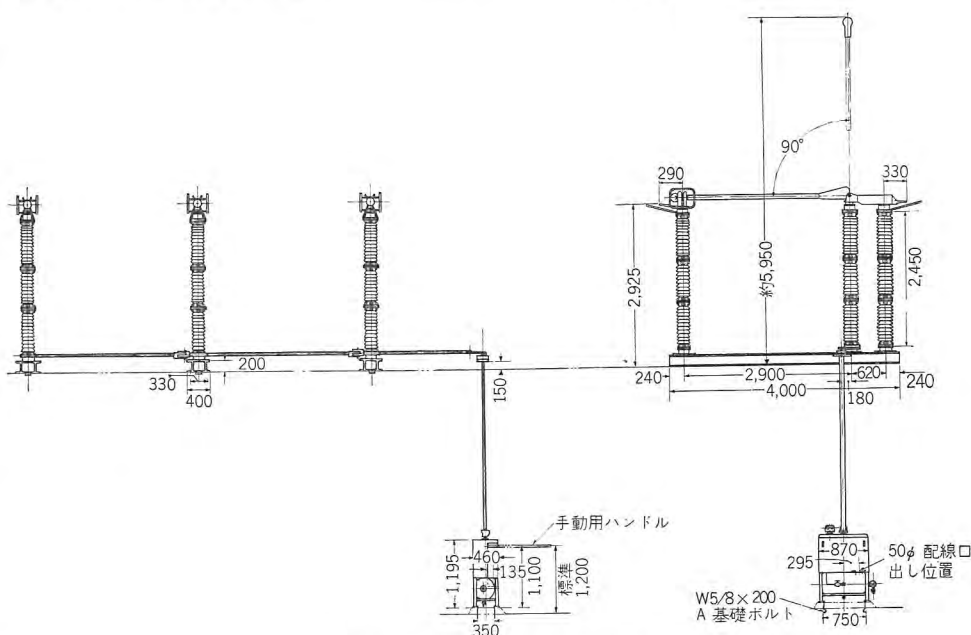


図 2.1 V 形断路器 3 極すえ付図

Fig. 2.1 Installation of 3 pole disconnecting switch, type V.



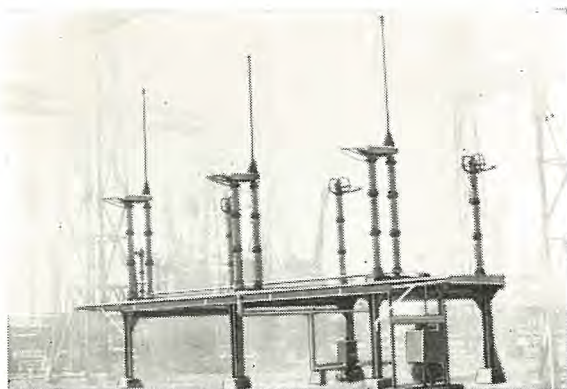


図 2.2 V 形断路器すえ付

Fig. 2.2 Installation of type V disconnecting switch.

衝撃波試験電圧 1,150 kV

温度上昇限度 銅接触 25°C

## 2.1 各 部

### (1) 支持ガイシ

ガイシは高精度細形ステーションポスト形を使用して寸法精度を高め耐汚損のためにも信頼度の高いものとした。これは普通形に比べてガイシ表面積の小さいことで明白である。また細形ガイシは従来のピンガイシと比較すると重量は約半分になり、すえ付にあたって架台の負担重量を軽減することができる。

### (2) 回転ガイシ支持部

回転ガイシ柱の下部ベアリングにはスチールボールを2段に使用して、操作の際の摩擦および開路の状態での導電部荷重に十分耐えるようにした。なおスチールボール部分には、上下よりシール板をかん入してあるため、油もれ、雨水のはいり込むことがないため、給油の必要なく保守は容易である。ヒンジ側にある固定と回転の2基のガイシ柱は上部で互に連結されているため単一ガイシ柱のばあいに心配される操作のときのガイシの横振れは縦切形では少なくなった。また導電部の各回転部にはオイルレスベアリングを使用しているため、長期間の給油点検がいらぬ構造とすることができた。

### (3) 接 触 部

V 形断路器のクリップ側接触は、平形の刃先を接触子の中で回転して、接触子を押して広げて高圧接触を行なう方式であって、ブレードの長さに関係なく操作が軽くなるわね線接触であるから清拭作用を伴って確実である。この接触部には図 2.3 に示すようにクリップ刃先ともに時効性銅合金で成形処理したものを使用している。これは銀あるいは銅のようなやわらかい材料では、かじりや損耗がはげしく、とくに銅は酸化被膜を形成しやすくこ

超高压用縦切 V 形断路器・小橋

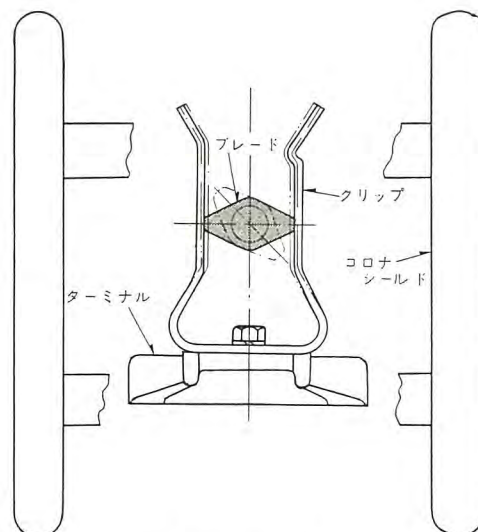


図 2.3 固定接触部

Fig. 2.3 Stationary contact.

れにより抵抗が増し温度が上げば、急激に酸化が進行し、短絡故障電流の流れた場合も瞬時的に数百度に達して焼鈍されやすい。とくに火力発電所の場合には煤煙のスラッジでワイピングによるかじりが多く、銀メッキなどは新品の間の気休めにしか過ぎない。また従来多く用いられてきたリン青銅板あるいは銅板は加工度の影響を受けるので、製造工場の違いや、製作ロットによって、一定の硬度その他の機械的性質のものを入手することが困難である。したがってコンタクトに与える圧力が一定で表面硬度も一定なクリップは製作しにくく、そのために従来はべつに背後からスプリングで押さなければならなかった。

これらの不具合を除くためにクリップには A 種銅合金を刃先には B 種銅合金を使用したがいずれも 1,000°C くらいで焼入し、500°C 近辺で焼もどしをすれば所要の機械的性質ならびに導電率が得られるもので、A 銅合金は導電率 40~50%、抗張力 70~80 kg/cm、硬度ショア 30~40、弾性係数 11,000~13,000 kg/mm<sup>2</sup> で、これでクリップを造れば補助バネが不要で、これを囲むケースがなくなり熱処理で自由に機械的性質が変更できるので一定圧力、硬度のものができる。

また B 銅合金でコンタクトを造れば硬度がブリネル 90 以上でしかも導電率 80% で、いずれも本質的に焼鈍あるいは腐食しにくい理想的な材料である。表 2.1 は銅、A 銅合金、B 銅合金の各板を 250°C で1時間空气中で焼鈍後の硬度の比較を示すもので、銅は焼鈍前ショア 20 くらいのもので半分の 10 くらいに減少し、A 銅合金、B 銅合金はなんら変化せず、熱処理にて自由に機械



性質を改善して、導電率高く焼鈍腐食されにくい特殊な銅合金材料である。接触面には予備あるいは補助的に銀メッキを施して接触部の構造を簡単にしてある。この接触子先端には内側への打出しがあって短絡電流により刃先が飛出ないようにしてある。

表 2.1 コンタクト材料の 250°C 1 時間焼鈍後硬度比較

材 質	焼 鈍 前	焼 鈍 後
銅	シ ョ ア 18~20	10~10.5
A 銅 合 金	シ ョ ア 32.5~36	31~34
B 銅 合 金	ブリネル 93~100	93

(4) ブレードおよびブレード支持部

ブレードは片持支持の状態で開放、投入の操作をされるものであるから、継目なし銅管を使用して構造的に十分の強度をもたせ、コロナの発生しにくい構造とした。このブレードにつりあうバネは、ヒンジ側フレームの内部につりあい力を調整できるようにして取付けてある。ヒンジ側は図 2.4 に示すように接触部を露出させずにハウジングの内部においてブレードの端面とは線接触にフレームより出て、ハウジングをささえているヒンジピンとは円すい面と線接触するようにブリッジを押しバネに



図 2.5 開路のときの機構部  
Fig. 2.5 Mechanism in open condition.

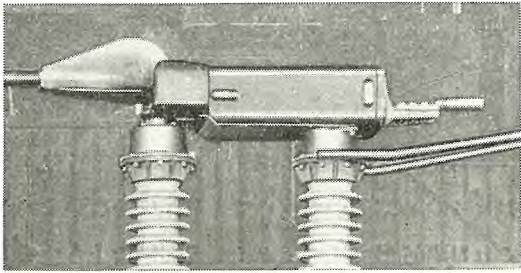


図 2.6 投入のときの機構部  
Fig. 2.6 Mechanism in closed condition.

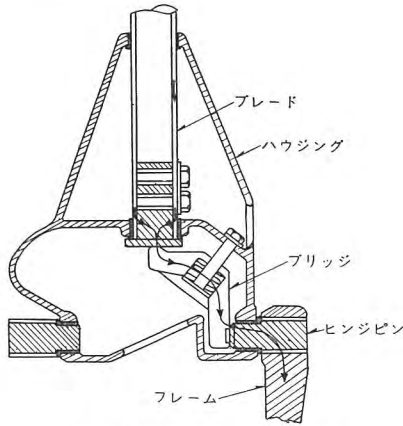


図 2.4 ヒンジ側通電部詳細  
Fig. 2.4 Current path through hinge end of switch.

よって押し付けられており、このブリッジは投入開放の操作に関係なくつねにしゅう動接触しているためにじんあいの進入とか劣化などの心配がない。図中の矢印は電流の通路を示した。これらの接触部は全部銀メッキを施してあるが、温度上昇は銅接触並みに低くおさえた。

2.2 機構の動作原理

図 2.5、2.6 は開放投入における機構部の外観を示し図 2.7 は機構の動作原理を示した。開放のばあい、回転ガイシ軸を回転すると、軸(Y)を中心とくしてくの字形のアームが(OA)から(OA')になる、アームの回転は

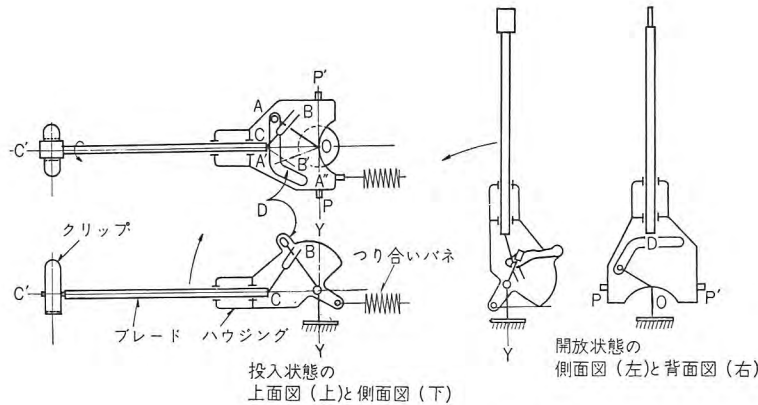


図 2.7 ブレード操作機構図  
Fig. 2.7 Blade operating mechanism.

これにかみ合うフォーク(CB)を(CB')の位置にまず動かす、このときブレードは(C—C')を軸として自転させられて接触圧力を解き、さらにアーム(OA')が(OA'')まで回転すると、アーム先端はハウジングにあるカムみぞ(D)にはまっているためにハウジングは(P—P')を軸として引き起されて、ブレードは直立開放するものである。このアーム(OA)とフォーク(DB)、アームの先端ローラとハウジングのみぞ(D)との係合は開放、投入の全行程を通じてたがいに連れいをもった動きを行なうようにしてあるから、操作を速くしたためにアームとみ



ぞ (D) の係合がはずれるとか、あるいはおそく操作したためにアームとフォークの掛りが悪くて投入が不完全となるようなことがない。投入の場合は、開放のときと反対にアームが (OA'') より (OA') に動くことにより、ブレードはハウジングとともにピン (P—P') を中心として倒されて投入位置となり、さらに (OA) まで動くときブレードは (C—C') を中心に自転して、高圧接触を行ない操作を完了するものである。

### 3. 接地ブレード機構

送受電端側になる断路器には接地装置をつけたほうが保守点検にあたって便利なことがある。図 3.1 はこの接地装置の外観を示した。接触方式は本体側とどのように刃先が接触子の内にはいつてから回転して高圧接触をす

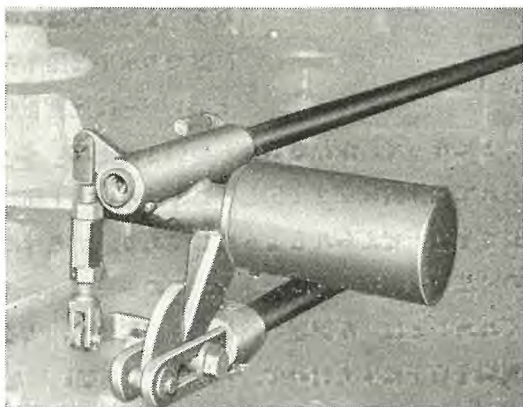


図 3.1 接地機構部

Fig. 3.1 Grounding condition.

るものであり、従来は高電圧となって支持ガイシ柱の高さが高くなったときは接地ブレードも長くなり、操作が困難なものであった。ブレードは接地側のガイシ支持ベースより出た軸にカムレバーをもった金具に自由に回転できる状態で保持されており、操作は片持ちとなるため巻バネで平衡させていかなる位置でも停止するようにしてある。各相の操作ロッドは、断路器ベースと平行に操作運動されるもので、この操作ロッドの先端は二つに分れて一つは接地ブレード保持金具より出たカムレバーと、他の一方は接地ブレード下端にある回転レバーに連結棒でもってそれぞれ係合しており、操作ロッドの単一運動はカムレバーによって接地ブレードの引きしと回転に変えられるものである。

#### 3.1 動作原理

図 3.2 に接地ブレードの機構の略図を示した。操作ロッドを引くとロッド先端はみぞ (M) とローラ (R) をつけたロッドエンドが右方に引かれる。ローラは (O) 点

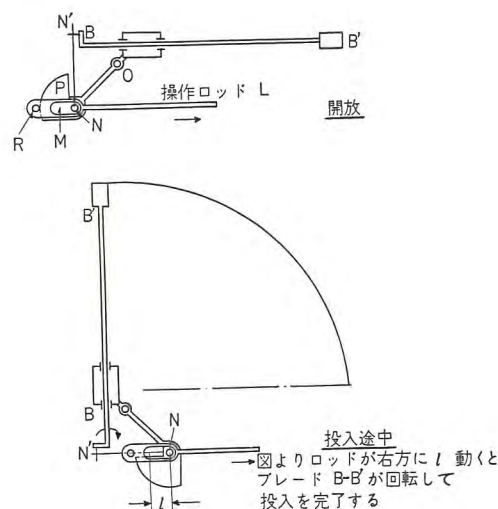


図 3.2 接地ブレード操作機構図

Fig. 3.2 Grounding blade operating mechanism.

を中心として、カムレバーをカムレバー (P) の側面を押しながら 90 度回転させる。これにより接地ブレード (B—B') は水平より引き起されて上図に示すように投入位置になる。上図の状態では、ローラ (R) がカムレバー側面をはずれるため、ロッドエンドにはみぞ (M) があるため右方に動き、ロッドエンドより背後に出したレバー (N) がユニバーサルジョイントで連結してある接地ブレード下端のレバー (N') を引き、軸 (B—B') を中心とする自転に変えられ刃先がクリップ内で高圧接触を行なうものである。

### 4. 圧縮空気操作

操作には単なる手動によるもの、電動によるもの、および圧縮空気によるものがあるが、シャ断器と圧縮空気発生装置を共用する場合には有利な圧縮空気操作器によった。操作圧力は 7 kg/cm<sup>2</sup> を標準とするが、10 kg/cm<sup>2</sup> または 13 kg/cm<sup>2</sup> とすることもできる。構造は図 4.1 に示すように複動の対称シリンダであり、圧縮空気は片側ずつ開放側と投入側にはいつてピストンに作用する。ピストンの往復の動きは歯車によって操作軸の 180 度回転に変え上部に取り出してある、投入・開放の終りの位置ではピストンロッドにピンを入れて機械的に鎖錠を行なうようにしてある、この鎖錠は圧縮空気によって小ピストンを動かして解除するもので、つぎの投入あるいは開放の信号により電磁弁が動作を行なわなければならず、外力による逆駆動をこのピンで止めてある。手動操作を行なうときは、手動ふたを開ければ操作回路が切れ同時に鎖錠ピンも引き上げられて、機構は自由な状態



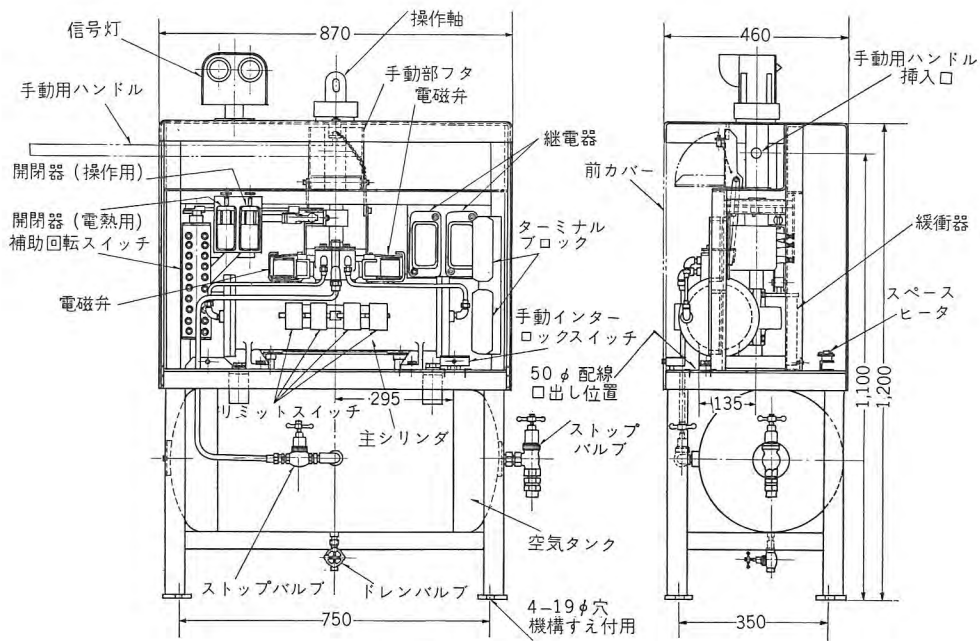


図 4.1 TA 形圧縮空気操作機構

Fig. 4.1 Compressed air operating mechanism, type V.

になるから手動ハンドルを差し込み 180 度水平に回すことによって簡単に行なわれる。操作機構はつねに屋外に暴露されているので、気象条件に左右されないものでなければならない。このため上部に操作軸が出ているが、特殊の密閉箱として雨雪に対して十分保護し、また点検が容易にできるように組立ててある。また冬期に動作が不円滑にならないよう電熱器を設備してある。この TA 形操作機構は操作が軽く、所要空気量がわずかであるが配管中のドレンを吸い上げないように空気タンクを付属している。このタンクの入口弁を閉じて 2 回の操作は可能である。

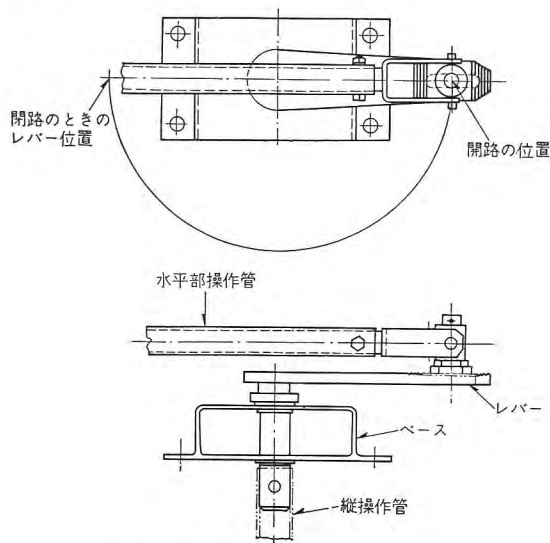


図 4.2 操作機構上部のレバー部

Fig. 4.2 Lever on top of the operating mechanism.

操作管、圧縮空気操作器よりの操作力は、トーシヨン式に上部レバーに伝えられ、上部レバーからさらに各相断路器の回転ガイシに操作が伝えられる。縦操作管をトーシヨン式にしたのは断路器が軽快であるためであり、上部レバーを 180 度回転することによって縦操作管が等速回転するとすれば初めと終りでは断路器側には減速されて伝わり、また断路器の最終位置での水平部操作管と上部レバーは死点を形づ

くることになって、断路器側からの動きは上部レバーで止められて操作機構部まで伝わることはない。上部レバーは長さを若干変えられるようにしてあり、すえ付に際しての寸法差は現地で調整できる。このトーシヨン式でのすぐれたことは、断路器の回転軸を直接に操作するように機構を真下にすえ付けて、すえ付面積を節約したり、あるいは断路器 3 相の接続線以上の任意の場所に機構をすえ付けて遠隔操作ができることである。図 4.2 に上部レバー部分を示した。

## 5. 試験結果

(1) 1 万回操作試験を行なって、各部の機構的変形、摩耗の有無などを検査したが図 5.1 に示したように各部ともに異状をみとめず、しゅう動部にて最大摩耗 1.5/100 mm があつた程度である。また衝撃が少ないために

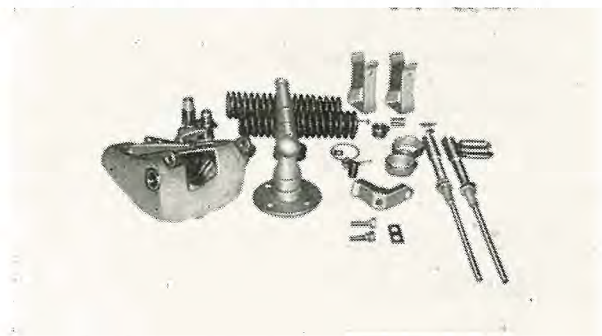


図 5.1 V 形断路器 1 万回操作試験後の部品

Fig. 5.1 Component parts after 10,000 operation tests of type V disconnecting switch.



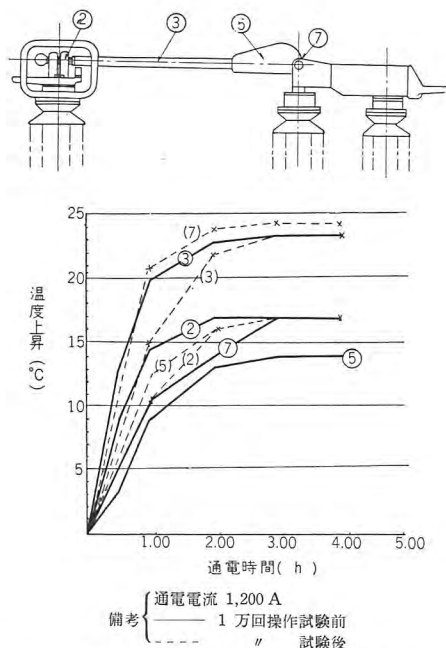


図 5.2 V 形断路器の 1 万回操作試験前後における温度上昇  
Fig. 5.2 Temperature rises before and after 10,000 operation tests of type V disconnecting switch.

(3) 図 5.3 は超高圧断路器 3 相と上記空気操作機構とを組合わせて試験したときの特性曲線の一例である。投入の場合のブレードの動きは、急激なものではなく平均された速度であるため、ガイシ頭部に加わる衝撃はほとんどなく固定接触子内にはいつてから躍動のため刃先が飛出すことなく、その位置で続いて 45 度の刃先回転をして 3 相ともに高圧接触を完了している。開放操作を初めから終りまで同一速度で操作して直立の位置で急激に止めることは、ブレードが片持ちの状態にあるため相当の衝撃力がブレード、ならびにガイシ柱に曲げ応力として作用するので直立する前に機構内の油緩衝器を有効に働かせ速度を下げて静かに開放を完了している。

## 6. む す び

以上で縦切 V 形断路器の構造および性能を紹介した。従来断路器は重要度が二次的であると思われていたがいが多かったが、通電各部に時効性銅合金材料を使用し

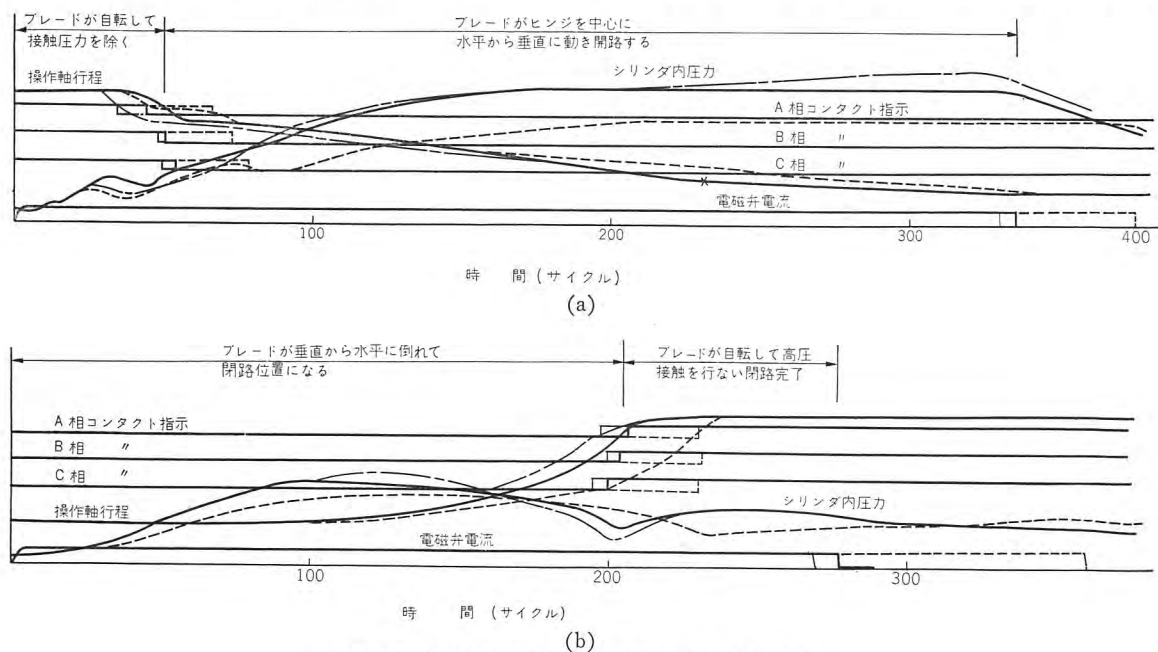


図 5.3 (a) V 形 287.5 kV 断路器開路特性曲線  
(b) V 形 287.5 kV 断路器閉路特性曲線  
(空気操作機構 TA 形 標準操作気圧 7 kg/cm²)  
— 7.0 kg/cm² のとき特性  
--- 7.7 kg/cm² " "  
... 5.25 kg/cm² "

Fig. 5.3 Closing characteristic curve of type V 287.5 kV disconnecting switch.

ボルトのゆるみなども全然みとめられなかった。

(2) 図 5.2 は 1 万回操作試験前後における温度上昇試験の結果であるが、各接触部はもちろん銀メッキを施してあるが銅—銅接触の場合の規格値である 25°C 以下であり、1 万回の操作によって面のなじみがよくなって操作試験前より上昇値の下った箇所もみうけられた。

超高圧用縦切 V 形断路器・小橋

て、長年月の間の使用に耐えるものとし、操作を軽快・確実にするために新しい機構を採用するとともにコロナ発生を少なくするためセン部をなくしたことによって洗練された外形となった。また縦切形のため相間寸法を狭くできて、敷地条件が有利になるなど今後の需要の伸展に伴いますますます好評を博する断路器であると信ずる。



# 最近の C 形 空 気 シ ャ 断 器

伊丹製作所 五十嵐芳雄\*・簗田忠男\*\*・米沢克昌\*\*

## Recent Development of Type C Air Blast Circuit Breakers

Itami Works Yoshio IGARASHI・Tadao MINODA・Katsumasa YONEZAWA

Type C cross-blast air circuit breakers with ratings of 12~24kV, 600~6,000 A and interrupting of 1,000~2,500 MVA have been developed by Mitsubishi. The original pattern was that installed in 1952 at Hibiya Substation of the Tokyo Electric Power Co., being rated at 23 kV and 1,000 MVA interruption. Improvements have been made on interrupters, contacts, blast valves and operating mechanisms one after another. As a result the type C has come into being with an ample capacity to interrupt a large short circuit current under a transient recovery voltage frequency. By adding contactors in parallel, the rated current capacity will be increased to 4,000~7,000 A, this being one of features.

### 1. ま え が き

当社は定格電圧 12~24 kV の横吹付形 C 形空気シャ断器を開発し、昭和 27 年 5 月には 23 kV 1,000 MVA のものが製品化され東京電力株式会社日比谷変電所に納入した<sup>(1)</sup>。さらに昭和 29 年には消弧室、接触子、吹付弁、操作機構など各部に大巾な改良が加えられた新形 C 形空気シャ断器<sup>(2)</sup>を東北電力株式会社上田発電所に納入した。その後現在まで多数の C 形空気シャ断器が発電機回路の保護、キャパシタバンクの開閉、都心の変電所など高ひん度操作が要求され、あるいは火災の危険が重要視される場所に使用されてきた。

元来横吹付形空気シャ断器は、1940年ころ米国において空気シャ断器の採用が問題となった際<sup>(3)(4)</sup>、当時の欧州のノズル形空気シャ断器の設計目標が回路電圧 15kV においてシャ断容量 750 MVA 程度であったのに対し、米国では発電機電圧で1,500MVA、近い将来には2,000~2,500 MVA のシャ断容量が要求されていたため、種々検討の結果、抵抗シャ断方式などを用いなくとも経済的な空気消費量で上記のような大シャ断容量を処理できること、容易に大きな定格電流の設計ができ、点検も簡単な構造であることなどが注目され実用化された空気シャ断器である。

最近わが国においても発電所容量の増加に伴い、大定格電流、大シャ断容量の空気シャ断器の需要が増大しており、すでに台湾電力株式会社竜潭発電所に 11 kV

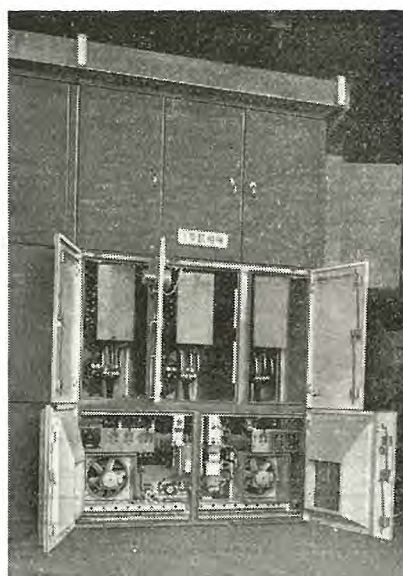


図 1.1 電源開発株式会社南川越変電所納 16.8 kV 2,500 MVA 6,000 A C 形空気シャ断器 (屋外用キュービクルに収納され冷却用ファンを有している)

Fig. 1.1 Type C air blast circuit breaker, 16.8kV 2,500 MVA 6,000 A, for Minamikawagoe Substation of the Electric Power Development Co.

1,500 MVA 4,000 A、電源開発株式会社南川越変電所に 16.8 kV 2,500 MVA 6,000 A および 3,000 A C 形空気シャ断器 (図 1.1 参照) を納入している。

以下項を追ってこのシャ断器の定格、構造、試験結果などの説明を行ないたい。

### 2. 定格その他

標準となっている C 形空気シャ断器の定格を表 2.1



表 2.1 標準 C 形空気シャ断器定格および主要数値

形 名	10-C-100	10-C-150	10-C-250	20-C-100	20-C-150	20-C-250
電 圧 (kV)	12	12	12	24	24	24
定 電 流 (A)	600	600		600	600	
	1,200	1,200		1,200	1,200	
	2,000	2,000		2,000	2,000	
周 波 数 (c/s)	50/60	50/60		50/60	50/60	
	50/60	50/60		50/60	50/60	
	50/60	50/60		50/60	50/60	
シャ断容量 (MVA)	1,000	1,500	2,500	1,000	1,500	2,500
投入電流 (kA)	131.3	196.8	328	65.5	98.5	164
短時間電流 (kA)	48.1	72.2	120	24.1	36.1	60
開極時間 (sec)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
シャ断時間 (サイクル)	5	5	5	5	5	5
再起電圧 (kc)	15	15	15	9	9	9
操作圧力 (kg/cm <sup>2</sup> -g)	10	10	10	10	10	10
引はずし電圧 (DC, V)	100	100	100	100	100	100
絶 縁 階 級 号	10A	10A	10A	20A	20A	20A
標準動作責務	甲号	甲号	甲号	甲号	甲号	甲号
投入制御電圧 (DC, V)	100	100	100	100	100	100
重 量 (kg)	2,000A 以下	2,000A 以下	2,500	2,000A 以下	2,000A 以下	2,700
	1,400	1,700		1,500	1,800	
	3,000A 1,600	4,000A 2,000		3,000A 1,700	4,000A 2,300	

に示す。表記以外の定格もすべて JEC-145 を満足するものである。なお各形とも最低操作気圧 8 kg/cm<sup>2</sup>-g において定格シャ断容量が保証されており、シャ断器空気タンクだけで CO<sub>2</sub> 回を行なうことができる。

### 3. 構 造

#### 3.1 一般構造

図 3.1 に示すように断路器、CT、PT などと組合せ電気的および機械的鎖錠回路の完備した屋内用または屋外用キュービクルと組合わせて使用するのが標準であるが図 3.2 のようにシャ断器単独で使用することもできる。図 3.3 の構造図から明らかなようにシャ断器の上半部は消弧室、接触子、空気吹付管、操作ロッドなどの回路電圧印加部分であり下半部は空気タンク、操作機構、吹付弁、駆動軸などの存在する大地電位の部分である。

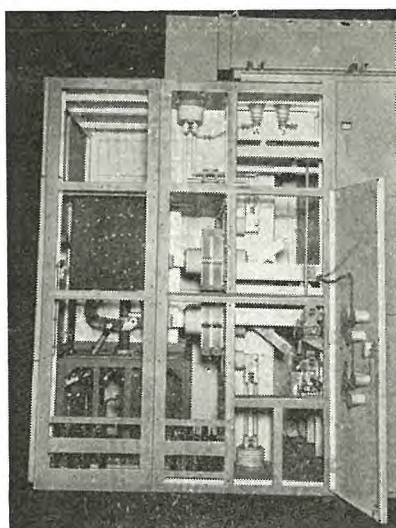


図 3.1 キュービクルと組合わされた 11 kV 1,500 MVA 4,000 A C 形空気シャ断器

Fig. 3.1 Type C air blast circuit breaker, 11 kV 1,500 MVA 4,000 A, installed in combination with an indoor cubicle.

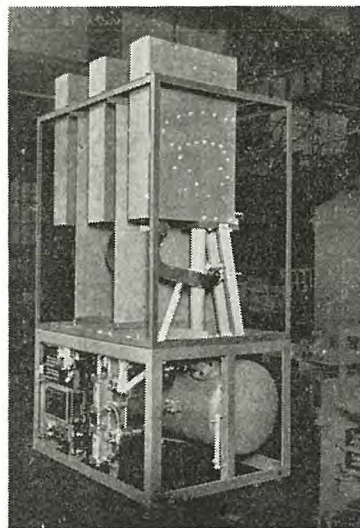


図 3.2 24 kV 1,000 MVA 2,000 A C 形空気シャ断器

Fig. 3.2 Type C air blast circuit breaker 24 kV 1,000 MVA 2,000 A.

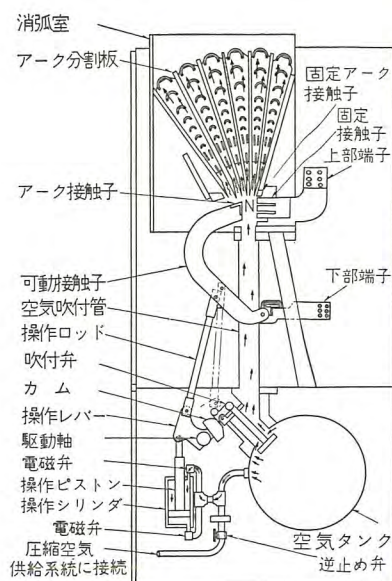


図 3.3 C 形空気シャ断器構造図  
Fig. 3.3 Constructional side view of the type C air blast circuit breaker.

これら上下 2 部分は接地鋼板によりしゃへいされているから操作機構の点検、非常時の操作などをきわめて安全に行なうことができる。

標準の C 形空気シャ断器の外形寸法を表 3.1 に示す 12 kV シャ断器は発電機回路等隔相母線を使用した回路に使用されることが多いため、金属接地バリヤを使用している。これを絶縁バリヤとし一部の部品を変更すれば表記の寸法を変更することなしに 20 号 B の絶縁を保つことができる。

定格電流 6,000 A のシャ断器は定格電流 5,000 A のシャ断器をファンにより冷却して使用するもので(図 1.1 参照) 現在のところこの方法で定格電流 7,000 A<sup>(5)</sup> までは容易に製作できる。

#### 3.2 動作および構造の詳細

図 3.3 において引はずし指令が与えられると操作機構の操作シリンダ上部に電磁弁を介して空気タンクから圧縮空気が送られ操作ピストンを下方に押し下げるとこれに連結した三相共通の駆動軸が反時計方向に回転し操作ロッドにより可動接触子が開離動作を行なう。一方駆動軸に取付けられたカムにより各相 1 個ずつ設けられた吹付弁が機械的に開かれ可動接触子先端のアーク接触子と固定アーク接触子との間に生じたアー



表 3.1 標準 C 形空気シャ断器外形寸法

形 式	電 圧 (kV)	電 流 (A)	シャ断容量 (MVA)	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	P	R	S	T	U	W	Y	Z
10-C-100	12	600, 1,200	1,000	1,580	1,180	2,484	524	368	308	920	332	568	1,280	670	15	120	100	40	76	52	26	78	830
	"	2,000	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25	"	"	"	"	"	"	"	"
	"	3,000	"	"	"	"	"	"	372	313	"	572	"	"	"	"	"	114	76	38	57	"	"
10-C-150	12	600, 1,200	1,500	"	"	"	"	"	368	308	"	568	"	"	15	"	"	"	76	52	26	78	"
	"	2,000	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25	"	"	"	"	"	"	"	"
	"	4,000	"	1,800	"	"	"	575	372	313	"	572	"	"	"	"	"	114	76	38	57	"	"
10-C-250	12	5,000, 6,000	2,500	2,100	"	2,566	676	378	319	1,000	"	1,360	"	"	"	"	"	146	108	54	"	"	"
	24	600, 1,200	1,000	1,580	1,400	2,633	524	368	308	920	440	608	1,390	"	15	"	"	"	76	52	26	78	"
	"	2,000	"	"	1,180	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25	"	"	"	"	"	"	"	"
20-C-100	"	3,000	"	"	"	"	"	372	313	"	611	"	"	"	"	"	"	114	76	38	57	"	"
	24	600, 1,200	1,500	"	"	"	"	368	308	"	"	"	"	"	15	"	"	"	76	52	26	78	"
	"	2,000	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	25	"	"	"	"	"	"	"	"
20-C-150	"	4,000	"	1,800	"	"	"	575	372	313	"	"	"	"	"	"	"	114	76	38	57	"	"
	24	5,000	2,500	2,400	1,400	2,713	800	378	319	1,000	"	1,470	"	25	"	"	"	146	108	54	57	"	"

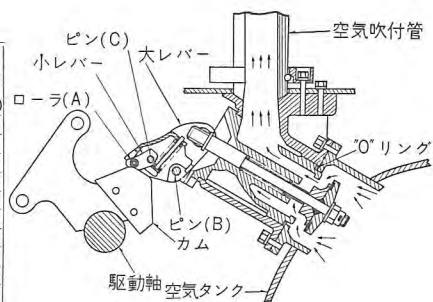
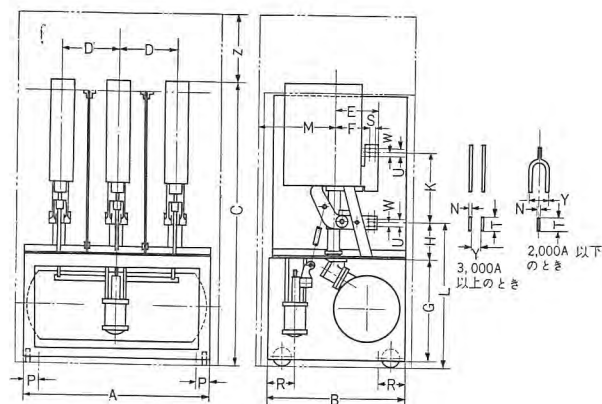


図 3.4 吹付弁断面図

Fig. 3.4 Sectional view of blast valve.

表 3.1 付図



クに横方向から圧縮空気が吹付けられる。このためアークは消弧室に設けられたアーク分割板に向かって押し上げられ冷却されて電流零点で消弧される。排気ガスは消弧室中に設けられた金属板および金鋼により完全に冷却され消イオンされてから上方に放出される。可動接触子はそのまま最終開離位置まで開きシャ断後の回路の絶縁を行なう。

横吹付形空気シャ断器ではシャ断時の可動接触子の開離距離がノズル形シャ断器ほど微妙ではないので、可動接触子に2段動作を行なわせたり<sup>(6)</sup>、シャ断用ノズルと断路器とを直列接続し後者をある時間遅れをもって動作させたり<sup>(7)</sup>する必要はなく、構造が簡単で信頼度の高い製品が得られる。

投入動作は上記の逆で操作シリンダ下部に圧縮空気が送られると可動接触子が時計方向に操作され投入が行なわれる。この際空気吹付は行なわれない。すなわち 図 3.4 に示すようにシャ断の時には駆動軸の反時計方向の回転によりカムがローラ (A) を押し上げると小レバーおよび大レバーが一体となってピン (B) を中心に時計方向に回転し吹付弁が開かれるが投入動作の時にはカムがローラ (A) に接触すると小レバーがピン (C) の周囲を反時計方向に回転するだけで吹付弁は開かない。

投入完了位置では操作ロッドと駆動軸のレバーがオーバセンタの関係にあり (図 3.3 点線参照) 100 kA に近い短時間電流の電磁力にも十分耐えることができる。

操作機構には図 3.5 に示すような排気弁が設けられており、上部排気弁の面積が下部排気弁のそれより十分大きく選定されているため、引はずし指令により圧縮空気がシリンダ上部に送られると排気弁は必ず下方に向かって動作し投入側の圧縮空気が排気される。すなわち空気の引はずし自由となっている。

可動接触子は図 3.6 に示すように定格電流 3,000 A 以下は1枚刃、4,000~7,000 A は3枚刃のものを使用する。可動接触子の先端には銀タングステン合金のアーク接触子が取り付けられている。固定接触子は銅クローム合金のブロックに切り込みを設け、これに可動接触子をくさび状に挿入して線接触させる構造で、接触圧力はブロックの弾性変形により供給されるので従来のような接触圧力供給用のバネや接続用のたわみ導体が不要であり簡素で信頼度の高いものとなった。また可動接触子のヒン

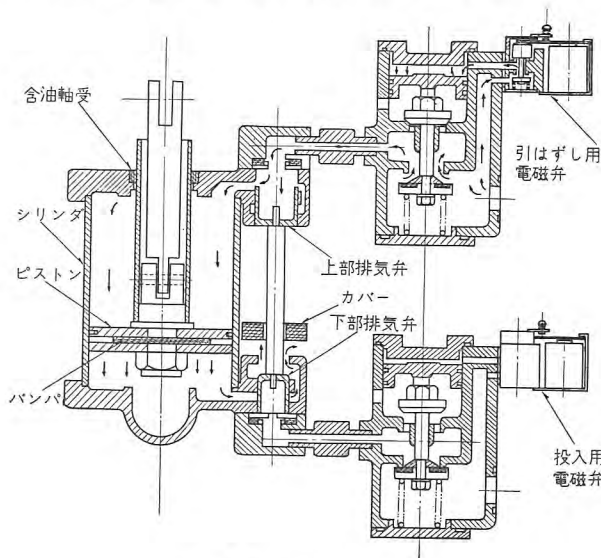
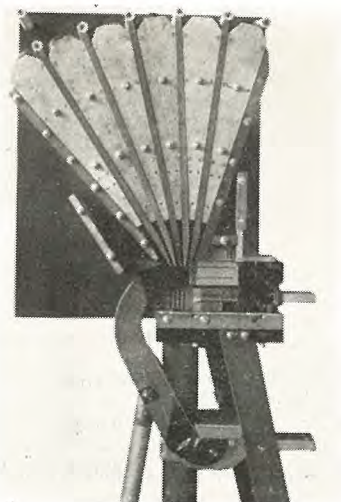


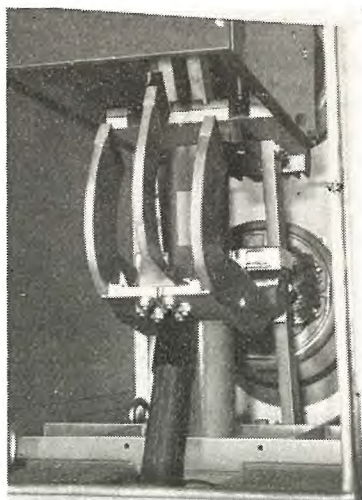
図 3.5 操作機構断面図

Fig. 3.5 Sectional view of pneumatic mechanism.

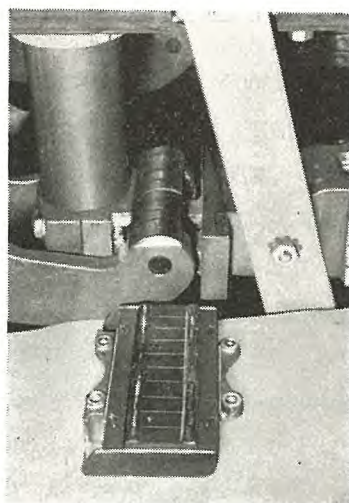




(a)



(b)



(c)

図 3.6 (a) 定格電流 3,000 A 以下の接触子

(b) 定格電流 4,000 A 以上の接触子

(c) 橋絡接触子

Fig. 3.6 (a) Typical single-member blade moving contact used for 3,000 A and below.

(b) Typical three-member blade moving contact used for 4,000 A and above.

(c) Bridging contact member.

ジ部分と下部端子との電気的接続には図 3.6 (c) のような橋絡接触子が用いられている。各接触子はバネの圧力で銀ニッケル合金対銀の線接触を形成し調整不要で可動接触子ヒンジ部との良好なすり接触が保たれる。定格電流が増加すれば接触子の並列数が追加される。

ノズル形空気シャ断器においては定格電流の増加に対してノズルを並列に設けてこれをわずかの時差をもって動作させるとか、シャ断部と並列に高速度操作の断路器を設けるなど<sup>(8)</sup>きわめて複雑な方法を採用しなければならないのに反し横吹付形空気シャ断器では上記のように接触子を並列に追加するだけできわめて簡潔に問題を解決できるのが一つの特長となっている。

駆動軸には管状の完全密閉形油緩衝器が可動部分の慣性質量に応じて 4~8 本並列に取付けられている。この緩衝器は特殊なオリフィスの形状を用いることにより操作速度に比例した緩衝力を発生するので投入時の電磁力などでシャ断器の速度が予定値より低下しようとした場

合には緩衝器の緩衝作用も小さくなって速度の低下が防止される。またこの形の緩衝器は製作時にその速度—緩衝力特性を試験しておけばこれを必要な本数だけシャ断器に取付ければ所要の緩衝作用が得られ、シャ断器に組込んで種々調整の必要もないし、1 本ずつ新品と交換することもできる。現在までの使用実績、試験結果からすれば操作回数 50,000 回は新品と交換する必要はない。

#### 4. 試験結果

11.5~23 kV 1,000~1,500 MVA シャ断器の試験についてはいささか旧聞に属するので本項では主として電源開発株式会社、南川越変電所向けとして最近開発された 16.8 kV 2,500 MVA 6,000 A C 形空気シャ断器の試験結果につき報告する。

##### 4.1 機械的寿命試験

近時シャ断器の実用性能が重要視されており、また上記シャ断器は変圧器三次回路に使用され開閉ひん度がきわめて高いものと予想されるの

で 10,000 回の連続開閉試験を実施した。1,000 回ごとに開閉操作特性を測定し、10,000 回後には全部品の分解、点検、寸法測定などを行なったがなんら異常は認められなかった。

##### 4.2 温度上昇試験

このシャ断器は 3.1 項でも述べたように、ファン冷却を行なわない場合は定格電流 5,000 A であるので、10,000 回操作試験後、通電電流 5,000 A の温度上昇試験を行なった。また工程の都合上別の同形シャ断器を冷却用ファ

表 4.1 16.8 kV 2,500 MVA 6,000 A C 形空気シャ断器温度上昇試験結果

試験条件	通電電流 (A)	測定位置	温度上昇 (°C)	注
10,000 回操作試験後 シャ断器単独	5,000	可動接触子	33	キュービクル外部の周囲温度を基準とする
		固定接触子	33	
		上部端子	33.5	
		下部端子	40	
冷却ファン 付屋外用 キュービクルに収納	ファン 2 台 運転	可動接触子	24	
		固定接触子	23.5	
	ファン 1 台 運転	可動接触子	32.5	
		固定接触子	33.5	
ファン全部* 停止乾燥用 電熱器入	6,000	可動接触子	34.5	
		固定接触子	37.0	

(\* この場合の温度上昇値は通電後 1 時間の値)



ン付キュービクルに収納して定格電流 6,000 A の場合の温度上昇試験を行なった。これらの結果を表 4.1 に示す。この結果からすれば定格電流 6,000 A において冷却ファンの 1 個が停止した場合でもキュービクル外部の周囲温度に対し JEC-145 に合格する温度上昇値を示している。

### 4.3 短時間電流試験

16.8 kV 2,500 MVA シャ断器の定格短時間電流は JEC-145 によれば 86 kA 2 秒間である。今回は試験条件が苛酷となる可動接触子が 1 枚刃の、定格電流 3,000 A の 16.8 kV 2,500 MVA シャ断器に対して試験を行なった。ただ試験設備の関係上、60 kA 2 秒間しか通電できなかったが試験後の接触部の状況や Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）における保証値が 72 kA 4 秒である点から考え 1 枚刃の接触子の場合でも十分要求を満たしうるものと思われる。

### 4.4 短絡電流シャ断試験

新規格によると 16.8 kV 2,500 MVA シャ断器は定格シャ断電流 86 kA を固有周波数 15 kc 振巾率 1.3 なる再起電圧の下でシャ断できなければならない。表 4.2 は操作気圧 7.5 kg/cm<sup>2</sup>-g（定格操作気圧の 75%）におけるシャ断試験結果の一例でシャ断器定格電圧の  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  倍の

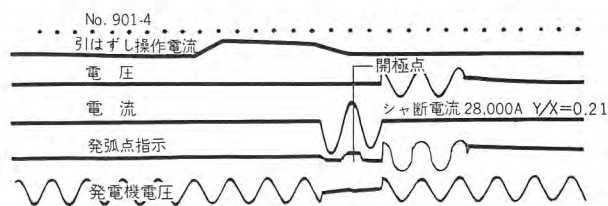


図 4.1 代表的な短絡シャ断オシログラム

Fig. 4.1 Typical oscillogram of short circuit current interruption.

表 4.2 16.8 kV 2,500 MVA 6,000 A C 形空気シャ断器短絡シャ断試験結果

試験番号	動作責務	給与電圧 (kV)	試験相	回復電圧 (%)	シャ断電流		固有再起電圧		シャ断時間			投入電流 (波高値 A)	操作気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
					AC分 (A)	DC分 (Y/X%)	周波数 (kc)	振巾率	開極 (サイクル)	アーク (サイクル)	全 (サイクル)		
901-1	O	14.6	A	98	8,100	38	4.5	1.5	4.20	0.80	5.00	—	7.5
-2	O			98	8,100	54			4.20	0.70	4.90		
901-3	O	14.6	A	95	28,000	21	10	1.5	4.20	0.80	5.00	—	7.5
-4	O			95	28,000	21			4.20	0.70	4.90		
901-5	O	14.6	A	94	28,000	20	10	1.5	3.80	0.55	4.35	—	10
-6	O			93	28,400	7			3.80	0.75	4.55		
901-7	CO	14.6	A	90	20,000	10	10	1.5	4.70	0.45	5.15	60,000	7.5
-8	CO			90	20,000	10			4.70	0.70	5.40	63,000	
901-9	O	14.6	A	93	26,000	67	15	1.5	4.20	0.80	5.00	—	7.5
			B		26,000	75				0.80	5.00		
			C		26,000	8				0.60	4.80		
901-10	CO	14.6	A	90	19,500	0	15	1.5	4.70	0.70	5.40	79,000	7.5
			B		19,500	0				0.70	5.40	55,000	
			C		19,500	0				0.55	5.25	61,500	
907-4	O	7.3	A	93	44,000	0	20	1.5	3.80	0.70	4.50	—	10
-5	1分			90	40,800	0			4.25	0.65	4.90	67,000	
-6	3分			90	40,000	0			4.25	0.65	4.90	79,000	

表 4.3 15 kV 2,500 MVA 4,000 A 空気シャ断器の W 社における単相シャ断試験結果の一例<sup>(9)</sup>

動作責務	給与電圧	シャ断電流 (A)	固有再起電圧		アーク時間 (サイクル)
			周波数 (kc)	上昇率 (kV/μsec)	
O	13.2	8,000	*200	13.6	0.5~0.8
O	10.0	39,000	25.3	1.47	0.3
O	10.0	52,000	27.4	1.59	0.4
O	12.0	82,000	27.4	1.91	0.7
O	12.0	94,000	27.4	1.91	0.5

(\*再起電圧周波数を高くするためシャ断器とリアクトルをきわめて接近させて配置し、試験を行なっている)

給与電圧 14.6 kV において単相および三相シャ断試験が行なわれ 8,000~28,000 A の短絡電流が 10~15 kc の再起電圧固有周波数の下でアーク時間 1 サイクル以下でシャ断されている。また給与電圧 7.3 kV で 40,000 A の単相シャ断試験も行なわれたこの場合再起電圧固有周波数は 20kc、振巾率 1.5 で新規格によれば、だいたい定格シャ断容量の 50% 付近のシャ断容量が検証されたことになる。

表 4.3 は当社の 16.8 kV、2,500 MVA C 形空気シャ断器とまったく同一の寸法、構造を有する W 社の 15kV 2,500 MVA 4,000 A 空気シャ断器に対して同社のシャ断試験設備を用いて行なわれた試験結果<sup>(9)</sup>のうち、とくに再起電圧固有周波数のいちじるしく高い回路で行なわれた単相シャ断試験の一例で、給与電圧 10~13.2 kV においてシャ断電流 8,000 A では 200 kc、39,000~94,000 A では 25~27 kc に達する高い再起電圧固有周波数の回路がアーク時間 1 c/s 以下でシャ断されている。8,000 A の試験に際しては限流リアクトルをシャ断器と同じ試験用隔壁内に配置し両者を数フィートのケーブルで接続することにより 13.6 kV/μsec という高い再起電圧上昇率が得られている。大電流シャ断の場合も試験回路の静電容量をできるかぎり小さくし、初期上昇率のき

わめて高い複周波数回路で試験が行なわれた。

これらの資料からしても、横吹付形空気シャ断器が二点切方式や抵抗シャ断方式など複雑な方法を用いずしてきわめて高い再起電圧固有周波数の下で大きな短絡電流をシャ断できることがわかる。

### 4.5 充電電流シャ断試験

表 4.4 にその結果を示す。試験は再点弧を生ずる確率のもっとも多いと考えられる最低操作圧力 8 kg/cm<sup>2</sup>-g（定格操作気圧の 80%）においてシャ断器定格電圧の  $\frac{1.2}{\sqrt{3}}$  倍に相当する給与電圧 11.7 kV で 12



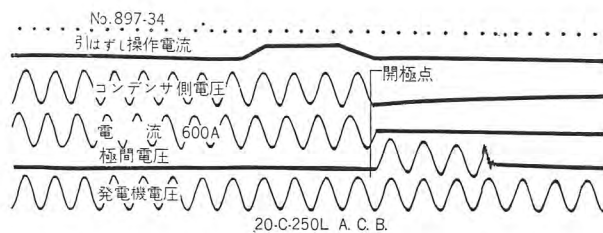


図 4.2 代表的な充電電流シャ断オシログラム

Fig. 4.2 Typical oscillogram of charging current interruption.

表 4.4 16.8 kV 2,500 MVA 6,000 A C 形空気シャ断器  
充電電流シャ断試験結果 (単相試験)

試験 番号	動作 責務	操 作 電 圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	給 与 電 圧 (kV) (60c/s)	シ ャ 断 電 流 (A)	回 再 点 数	回 再 発 弧 数	シャ断時間			過渡電圧	
							開極 (サイクル)	アーク (サイクル)	全 (サイクル)	極間	C側
897-1 897-7	O	8	11.7	12.5	0	0	4.0	0.15 0.25	4.15 4.25	1.31 1.98	0.31 0.98
897-8 897-14	O	8	11.7	48	0	0	4.0	0.20 0.45	4.20 4.45	1.44 1.97	0.44 0.97
897-15 897-21	O	8	11.7	120	0	0	4.0	0.10 0.40	4.10 4.40	1.54 1.98	0.54 0.98
897-22 897-28	O	8	11.7	240	0	0	4.0	0.10 0.45	4.10 4.45	1.84 1.95	0.84 0.95
897-29 897-35	O	8	11.7	600	0	0	4.0	0.10 0.50	4.10 4.50	1.93 2.00	0.93 1.00

表 4.5 16.8 kV 2,500 MVA 6,000 A C 形空気シャ断器  
励磁電流シャ断試験結果 (単相試験)

試験 番号	動作 責務	操 作 電 圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	給 与 電 圧 (kV) (60c/s)	シ ャ 断 電 流 (A)	シャ断時間			変圧器側 過渡電圧
					開極 (サイクル)	アーク (サイクル)	全 (サイクル)	
896-11 896-20	O	11	14.6	3.6	3.75	0.11 0.23	3.86 3.98	1.19 1.62
896-41 896-45	O	11	13.0	21	3.75	0.10 0.24	3.85 3.99	0.98 1.49
896-22 896-31	O	11	14.6	42	3.75	0.19 0.34	3.94 4.09	1.32 2.12
896-46 896-55	O	11	14.6	75	3.75	0.18 0.43	3.93 4.18	1.17 1.62

～600 A の充電電流の単相シャ断試験が行なわれたが、再点弧、再発弧はまったく生じなかった。充電電流の単相シャ断試験電圧を相電圧の何倍にするかについては種々討論されているが今回は普通用いられている 1.2 倍で試験を行なった。

#### 4.6 励磁電流シャ断試験

表 4.5 に結果を示す。試験は電流さい断による過電圧

発生がもっともいちじるしいと考えられる最高操作圧力 11 kg/cm<sup>2</sup>-g においてシャ断器定格電圧の  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  倍に相当する給与電圧 14.6 kV で 3.6～75 A の励磁電流を各 10 回以上シャ断したが異常電圧倍数は変圧器側で約 2.2 以下であった。

## 5. む す び

消弧方式に横吹付形を用いた C 形空気シャ断器は

(1) 二点切や抵抗シャ断方式を用いず高い再起電圧固有周波数の下で大きな短絡電流をシャ断することが可能である。

(2) 可動接触子はシャ断と断路作用を兼ね行ない構造が簡単なばかりでなく、シャ断器開位置においてシャ断器を分解することなく可動接触子、固定接触子などを容易に点検できる。

(3) 定格電流 4,000～7,000 A に対しても並列に接触子を追加するだけできわめて簡潔な構造が得られる。

などの特色を有し 12～24 kV 回路の大容量空気シャ断器に適している。

最後にこのシャ断器の開発、製作、試験にあたり種々ご指導ならびにご協力下さった電源開発株式会社始め関係各位に紙上を借りて深く謝意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 新井, 五十嵐, 志賀: 「三菱電機」 27 (1953) p. 232～237.
- (2) J. E. Schrameck: AIEE III 71 (1952) p. 719-725.
- (3) L. R. Ludwig, H. L. Rawlins, B. P. Baker: TAIEE 59 (1940) p. 528-533.
- (4) D. C. Prince, J. A. Henley, W. K. Rankin: TAIEE 59 (1940) p. 510-517.
- (5) H. H. Rugg, J. E. Schrameck: TAIEE III 73 (1954) p. 705-708.
- (6) K. Krause, H. Kock: AEG Mitt 44 (1954) p. 427-431
- (7) 岸本: 「電気公論」 (29) p. 737-746.
- (8) R. Petitpierre, W. Reuterer: B. B. Rev. 44 (1957) p. 539-557.
- (9) L. R. Ludwig, H. M. Wilcox, B. P. Baker: TAIEE 61 (1942) p. 235-241.



# 最近のパワーセンタ

神戸製作所      横      浜      博\*

## The Latest Power Center

Kobe Works    Hiroshi YOKOHAMA

A marked tendency in the latest steam power station is a rapid increase of the generator capacity accompanied by the increase of the capacity of low voltage auxiliary transformers, the latter reaching 1,500 kVA nowadays and further rise being anticipated. At the same time, capacity growth is also phenomenal in factories, which leads to the requirement of large interrupting capacity of low voltage air circuit breakers. A power center provided with breakers to suit the purpose and installed in the center of power is called for everywhere. Up to the present about 1,500 type DB circuit breakers have been built with success. Power centers with these breakers are of a three position draw-out type and those of metal enclosed switchgear assembly will soon be available.

### 1. ま え が き

火力発電所の発電機容量も年々上昇し、したがってその低圧補機回路の変圧器容量も増大し、1,500 kVA に達するものもあり、またさらに増加の傾向にある。一般工場にあっても低圧回路の変圧器容量も増加し、したがって大短絡電流をしゃ断しうるシャ断器を収納し負荷の中心近くに設置しうるパワーセンタの必要性が増大している。現在までに三菱 DB 形低圧気中シャ断器は約 1,500 台生産されており実績によれば、性能、信頼度はきわめて良好である。これら DB 形シャ断器のパワーセンタは引出形となっているが、35 年より閉鎖三段式のパワーセンタを製作する。

### 2. 特      長

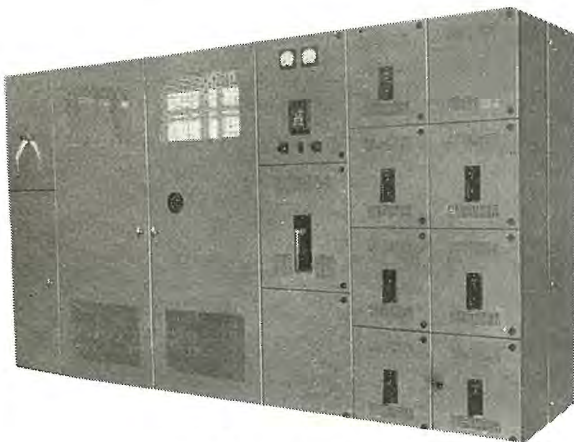


図 1.1 パワーセンタ  
Fig. 1.1 Power center.

パワーセンタはつねに改良を加え向上につとめているが特長とする点は次の諸点である。

(1) シャ断器、計器用変圧器、変流器、母線、接続導体など、すべてユニットとしてまとまっているので、増設の際便利であり、全体が小形であるので、床面積も少なくてすむ。

(2) デッドフロントであるので、充電部分は外部に露出せず、取扱いはきわめて安全であり、外部よりの接触による事故の憂いはない。

(3) DB 形シャ断器は引出形でパワーセンタに収納されているので、シャ断器には断路器の必要はなく、互換性があるので、予備シャ断器をおけば点検の際も停電時間を最小限にすることができる。

(4) シャ断器には開の状態であれば引き出せないようなインターロックが付いており、また試験位置まで引出して、主回路が断たれた状態で試験ができる。

(5) DB 形シャ断器は表 5.1 のように定格シャ断電流をこえる故障電流による電磁力に耐えうるがんじょうな構造であるので、カスケード方式が可能である。したがって給電を一時停止しても大きな損害を伴わない所には経済的なカスケード方式により設計されたパワーセンタを採用することができる。

(6) DB 形シャ断器は開閉を電磁操作できるので、パワーセンタは外部より操作が可能である。

(7) DB-25 には 8 回路、DB-50 には 12 回路の補助接点があるが、シャ断器の開閉に連動する補助接点 4 回路を 2 個取付けることができる。



(8) PT は引出形になっているので保守点検に便利である。

(9) 出荷の際には DB 形シャ断器を引出し別送するほかはユニットとして輸送できるので間違いが少なく、短時間のうちにすえ付けが可能である。

### 3. パワーセンタの設計

パワーセンタでは短絡時の短時間電流にシャ断器、母線、CT など、すべて協調が取れるように考慮を払って設計してある。母線には 600 A、1,200 A、2,000 A、3,000 A、4,000 A の 5 種類があり、温度上昇は箱外周囲温度を基準とするものとして次の値を設計値としている。

母線および接続導体 .....55°C (65°C)

端子および接続部 銅相互間.....40°C

スズハンダメッキ

相互間.....45°C

銀メッキ相互間...55°C (65°C)

構造部 .....70°C (ただし箱内機器の温度が最高許容値をこえるような影響を及ぼさないこと)

箱内空気温度 規定せず (ただし箱内機器の温度が最高許容値をこえるような影響を及ぼさないこと)

ただし箱外周囲温度の基準は 40°C とする。

### 4. 三菱 DB 形低圧気中シャ断器

現在、当社では、パワーセンタに収納する低圧気中シャ断器として、DB-25、DB-50、DB-75 の 3 種類を生産しているが、35 年より DB-100 を生産する予定である。つぎにこれらの定格を表 4.1 に示す。シャ断器が 1,000 m 以上の高度の所に設置される際には、表 4.1 の値に次の表 4.2 の値を乗じなければならない。

最近のパワーセンタ・横浜

表 4.1 DB 形低圧気中シャ断器定格

1. 本表は 50 サイクルおよび 60 サイクルに適用される。50 サイクル以下の周波数に対しては 600—481 V の範囲を適用する。
2. 定格シャ断容量は交流の場合非対称の平均実効値を示し、直流の場合はシャ断器のいずれの極でも満足にシャ断しうる最大値を示す。
3. トリップコイルの標準定格は AC、DC とともに次のとおりである。40—50—70—90—100—125—150—175—200—225—250—300—350—400—500—600—800—1,000—1,200—1,600—2,000—2,500—3,000—4,000
4. 完全密閉形のキュービクルに収納された時は DB-50 の定格電流の最大値は 1,200 A となる。
5. 短絡時引はずし装置を備えた直列過電流引はずし装置をもったシャ断器はシャ断器の短時間定格が故障電流に等しいか、または大きい時に限り適用することができる。

形	電圧 (V)		定格シャ断電流 (2)	定格短時間電流	定格電流の最大値	トリップコイル電流定格 (A)····(3)			
	AC (1)	DC				過電流引はずし装置がコイル定格の 1,500% 以上の電流値をもった短絡時引はずし装置と共存している時	過電流引はずし装置がコイル定格の 1,500% 以上の電流値をもった短絡時引はずし装置と共存している時	過電流引はずし装置がコイル定格の 1,500% 以上の電流値をもった短絡時引はずし装置と共存している時	過電流引はずし装置がコイル定格の 1,500% 以上の電流値をもった短絡時引はずし装置と共存している時
			A	A	A	0.1 秒 (6 サイクル)	0.233 秒 (14 サイクル)	0.5 秒 (30 サイクル)	
DB-25	600—481 480—241 240 以下	250 以下	25,000 35,000 50,000	25,000 25,000 25,000	600 600 600	40—600 100—600 150—600	175—600 175—600 175—600	200—600 200—600 200—600	250—600 250—600 250—600
DB-50	600—481 480—241 240 以下	250 以下	50,000 60,000 75,000	50,000 50,000 50,000	1,600 1,600 1,600	200—1,600 400—1,600 600—1,600	350—1,600 350—1,600 350—1,600	400—1,600 400—1,600 400—1,600	500—1,600 500—1,600 500—1,600
DB-75	600—481 480—241 240 以下	250 以下	75,000 75,000 100,000	75,000 75,000 75,000	3,000 3,000 3,000	2,000—3,000 2,000—3,000 2,000—3,000	2,000—3,000 2,000—3,000 2,000—3,000	2,000—3,000 2,000—3,000 2,000—3,000	2,000—3,000 2,000—3,000 2,000—3,000
DB-100	600—481 480—241 240 以下	250 以下	100,000 100,000 150,000	100,000 100,000 100,000	4,000 4,000 4,000	4,000 4,000 4,000	4,000 4,000 4,000	4,000 4,000 4,000	4,000 4,000 4,000

表 4.2 高度による修正値

高 度 (m)	修 正 値	
	電 圧	電 流
1,000	1.00	1.00
1,200		0.996
1,500	0.95	0.990
3,000	0.80	0.960

### 5. カスケード方式

(1) DB 形シャ断器は表 5.1 のように定格シャ断容量以上の短絡電流に瞬時耐えるようながんじょうな構造になっている。またパワーセンタは閉鎖配電盤 (Metal Enclosed Switchgear) であるので、事故は少なく、またケーブルの品質の向上により、この部分による事故はまれであるので連続通電を絶対必要とする発電所、工場、病院などのほかで、短時間の系統シャ断がたいして問題とならない所では経済性を考えてカスケード方式を採用することがある。カスケード方式では図 5.1 のように数個の DB が配電回路に直列に設置されていて、電源

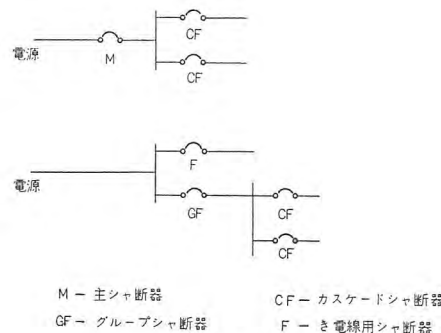


図 5.1 基本カスケード方式

Fig. 5.1 Basic cascade arrangement.



表 5.1 カスケード方式時の故障電流の限界

電 圧 (V)	形	定格シャ断電流 非対称平均実効値 (A)	カスケード方式の時 の最大短絡電流 (A)
600—481	DB—25	25,000	50,000
	DB—50	50,000	100,000
	DB—75	75,000	100,000
	DB—100	100,000	100,000
480—241	DB—25	35,000	70,000
	DB—50	60,000	100,000
	DB—75	75,000	100,000
	DB—100	100,000	100,000
240 以下	DB—25	50,000	100,000
	DB—50	75,000	120,000
	DB—75	100,000	150,000
	DB—100	150,000	150,000

にもっとも近い DB に連なる DB が次の条件である時、この配列はカスケード方式であるという。すなわち電源に近い DB (M, GF, F) は負荷に近い他の DB (CF) を通して流れる故障電流に対して瞬時トリップする。この場合 CF は表 5.1 のような瞬時短絡電流には耐えうるがこの回路の全短絡電流をシャ断する容量はない。また CF は過負荷または定格シャ断容量以内の事故に対しては、それぞれ長時限引はずしまたは短限時トリップを行なう。

(2) 電源側に近い DB は理論的に計算した故障電流に少なくとも等しいシャ断器をもたなければならない。1 段階目の DB は次の段階の DB にそのシャ断容量の 80% 以上の故障電流が通電したとき瞬時トリップするようにしなければならない。2 段階目の DB は、第 1 段階の故障電流に (Motor Contribution) を加えたものが表 5.1 に示された値をこえないように選択しなければならない。またこの DB は瞬時トリップの整定を負荷の起動電流以上にとらなければならない。

(3) シャ断容量をこえた DB の動作は 1 回に限り、その後検査、取換え、手入をしなければならない。

(4) シャ断容量をこえた故障電流が流れる DB は故障電流を閉じる場合の保守員の安全を考えて、電気的に操作されなければならない。

(5) カスケード方式を採用する場合は DB 間の協調を確実にするためメーカの承認を得なければならない。

(6) モールドケースのシャ断器と DB とのカスケード方式は推薦できない。

(7) 次式はカスケード方式における瞬時トリップの最大整定値を示す。

$$I. T. = \frac{F}{T} 0.8 \cdot (I. C.)$$

$I. T.$ —整定値

$F$ —第 1 段階目 DB の電源よりの故障電流

$T$ —第 2 段階目 DB の電源よりの故障電流および

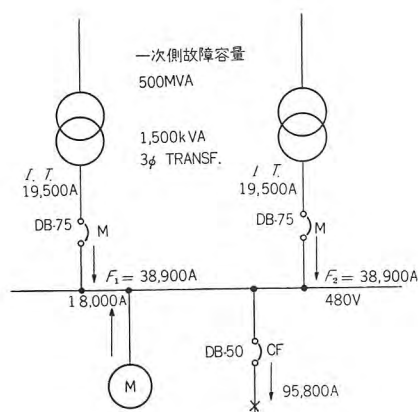


図 5.2 カスケード方式の一例

Fig. 5.2 Example of cascade arrangement.

Motor Contribution を加えた故障電流

$I. C.$ —CF (Cascade Feeder) の定格シャ断容量

図 5.2 により実例を示す。

DB—75 の直列瞬時トリップの整定値は次のように求められる。

$$I. T. = \frac{38,900}{95,800} 0.8 (60,000) = 19,500 \text{ A}$$

## 6. 閉鎖三段式パワーセンタ

今までのパワーセンタではシャ断器を主回路から切り離した位置では扉を閉めることができなかった。そこで 35 年より納入のパワーセンタには閉鎖三段式を採用する予定である。閉鎖三段式の意味は DB 形シャ断器は引出構造のパワーセンタに収納した時シャ断器の位置が“接”，“試験”，“断”の 3 位置において、シャ断器室扉がしめうるものである。したがって、従来のものに比

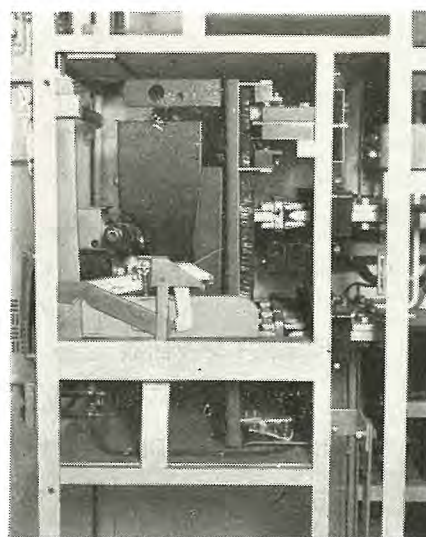


図 6.1 DB 形シャ断器“接”の位置

Fig. 6.1 Type DB circuit breaker in “connected” position.



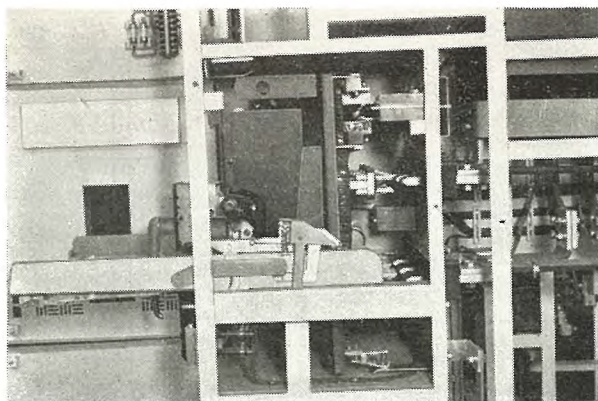


図 6.2 DB 形シャ断器“試験”の位置  
Fig. 6.2 Type DB circuit breaker in “test” position.

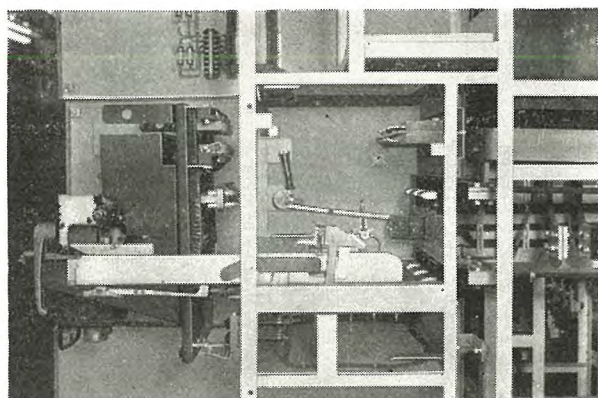


図 6.3 DB 形シャ断器“断”の位置  
Fig. 6.3 Type DB circuit breaker in “disconnected” position.

しさらに次のような便利さを加えることができる。

すなわち、

(1) いかなる状態においても扉を閉じることができる。

(2) シャ断器の位置にかかわらず通路の広さが変わらない。

(3) 負荷の機器を保守点検をしている際シャ断器を“断”の位置にしたまま扉をしめられる。

(4) シャ断器位置が容易に判定できるようになっている。“接”の位置とはシャ断器の一次および二次接触子が“接”の位置にあり、“試験”位置とは、二次接触子だけが“接”であり、“断”の位置とは一次、二次接触子とも接触していない位置のことをいう。

## 7. 界磁シャ断器

発電機の励磁回路のシャ断用として、DB 形シャ断器の S 相を除き、放電クリップを取付けたものに DBF-16, DBF-40 の 2 種類があり、シャ断容量は、DC 525 V において、それぞれ 16,000 A, 40,000 A である。DBF-

最近のパワーセンタ・横浜

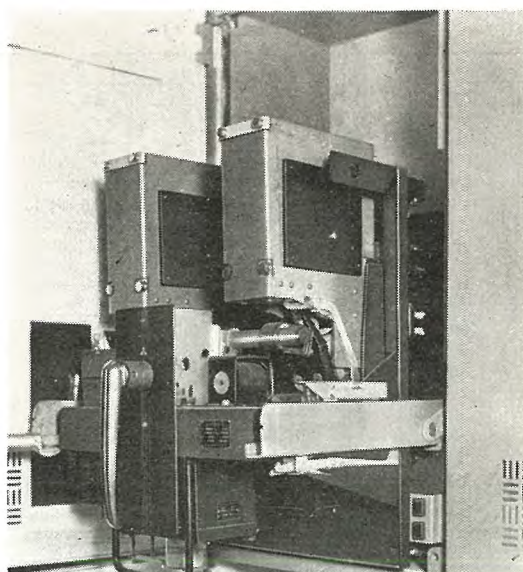


図 7.1 界磁シャ断器盤正面  
Fig. 7.1 Front view of metal-enclosed switchgear for field breaker.

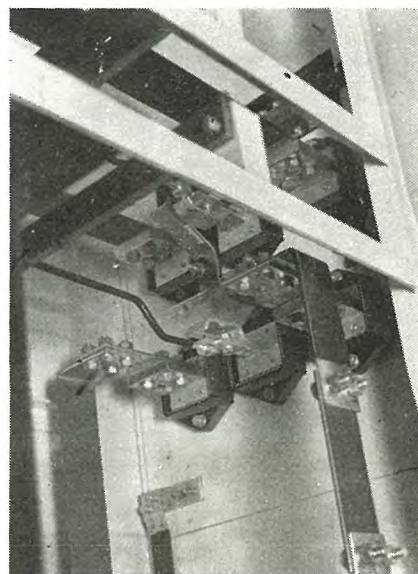


図 7.2 界磁シャ断器盤裏面  
Fig. 7.2 Rear view of metal-enclosed switchgear for field breaker.

16 は DB-50 と、DBF-40 は DB-100 と外形は同形であり、パワーセンタと同様な閉鎖配電盤に収納されている。

## 8. パワーセンタ用 CT

パワーセンタはすえ付面積の縮小を考慮し、小形に設計されており、また DB 形シャ断器の短絡電流に見合うだけの過電流強度をもたせる必要があるので、取付寸法の小さい 600 V 級の BS 形貫通形 CT を使用している。標準としては、DB-50, DB-25 用に次のものがある。



表 8.1 DB-25 用 BS 形 CT

CT 比	VA	級
800/5	15	1.0
600/5	"	"
400/5	"	"
300/5	"	"
200/5	"	3.0
100/5	"	3.0 (@ 15 VA)

表 8.2 DB-50 用 BS 形 CT

CT 比	VA	級
2,000/5	15	1.0
1,500/5	"	"
1,000/5	"	"
750/5	"	"
500/5	"	"
300/5	"	"
200/5	"	3.0
100/5	"	3.0 (@ 15 VA)

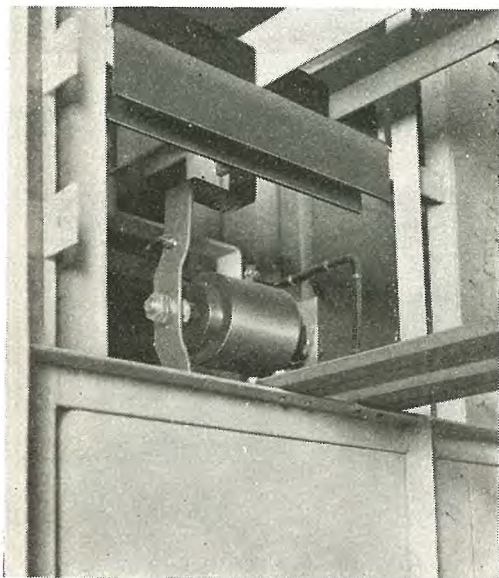


図 8.1 BS 形 CT  
Fig. 8.1 Type BS CT.

## 9. DB 釣り上げ運搬装置

DB 形シャ断器をパワーセンタより引出し、外部に取出すために図 9.1 のような釣り上げ運搬装置がある。こ

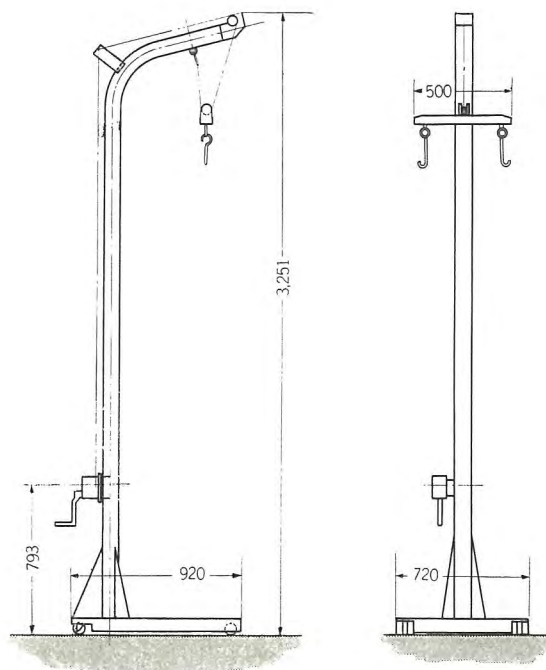


図 9.1 DB 釣り上げ運搬装置  
Fig. 9.1 Type DB breaker handling carriage.

れには一般用のものとくに床が傷つきやすいタイルなどである場合のために、ゴム車輪のついたものの2種類がある。

## 10. む す び

背後電力の大きな低圧配電系統に適するパワーセンタは諸種のトリップおよび操作要素をコンパクトに収納し、1,500 台に及ぶ DB の生産実績により信頼度は高まった。また DB-75, DB-100 形が開発され定格電流 4,000 A, シャ断電流 150,000 A (at 240 V) に及ぶ大容量のパワーセンタの設計も可能になった。

~~~~~ 最近登録された当社の特許および実用新案 ~~~~~

| 区 別 | 名 称              | 特許または<br>登 録 日 | 特許または<br>登 録 番 号 | 発 明 考 案 者 | 所 属 場 所     |
|-----|------------------|----------------|------------------|-----------|-------------|
| 特 許 | 空気シャ断器           | 33-10-27       | 246423           | 富永正太郎     | 伊 丹         |
| 新 案 | ユニバーサル制御装置       | 34- 1-28       | 486877           | 若杉延一      | 名古屋         |
| "   | 超音波探傷用探傷子        | 34- 1-16       | 486978           | 窪田道男      | 無線機         |
| "   | ブラシ保持装置          | "              | 486979           | 西山賢明      | 姫 路         |
| "   | 導線引出ガイ管の封塞装置     | "              | 486980           | 松井武男      | 名古屋         |
| "   | ヒステリシスモータ付時限電気機器 | "              | 486981           | 奥田文一・加藤義明 | 名古屋<br>(福岡) |
| "   | カーボンパイル抵抗器       | "              | 486982           | 品川朝一      | 姫 路         |
| "   | 端子盤              | "              | 486983           | 村田 豪      | "           |
| "   | 送風角度調整装置         | "              | 486948           | 新倉宗寿      | 中津川         |



# 同期機の高周波リアクタンス

研 究 所                      潮                      恒                      郎\*

## High Frequency Reactance of Synchronous Machines

Engineering Laboratory      Tsunero USHIO

When the characteristics of synchronous machines are considered as a circuit element in electric power systems, their consistent and logical treatment for diversified phenomena is considerably difficult because of their complicated nature. However, they may be observed in three stages of subtransient, transient and normal on the whole. Subtransient reactance applicable to the phenomena of the shortest duration will govern such transient phenomena as higher harmonics, whereas transient reactance is governable for comparatively easy phenomena related to power disturbances of apparatus and systems. In this article the writer accounts for study on characteristics situated between subtransient reactance and surge impedance so as to give consistency to the treatment of synchronous machines. Assuming the windings as distributed circuits and taking into consideration the frequency characteristic of winding inductance, he investigates them together with experimental results. High frequency reactance plays a vital role in the study of restriking voltage and recovery voltage which are coming into question recently.

### 1. ま え が き

電力系統内における回路素子としての同期機の特性を考える場合、特性自体がかなり複雑であるため各種の多岐にわたる現象に対して一貫した合理的取扱いが相当困難であるが、だいたい次過渡、過渡、定態の3段階において考察できるわけである。この中でもっとも時間的尺度の短い現象に対して適用される次過渡リアクタンスは逆相分あるいは高調波などの過渡現象を支配し、さらに機器および系統の電力動揺などを対象とする比較的ゆっくりした現象については過渡リアクタンスが支配的となり、定態運転状態の特性を扱うにはリアクタンスとしては定態リアクタンスが用いられる。そしてこれらの関連性は、各種の等価回路やあるいは  $x_d(p)$ ,  $x_q(p)$  という形で統一的に扱うことが可能である。

一方同期機の電氣的現象として極端に早い現象、すなわち雷その他のサージ、進行波に対する特性は、機器の保守設計の目的上からかなり良く研究されており卓越した幾多の報告もある。

ところがその中間にあると考えられるような諸現象、すなわち、運転周波数と機器単独の巻線固有周波数との間の周波数に相当するような現象に対しての同期機の特性に関しては現在なお明確でない点が多い。最近系統における開閉サージの問題や、とくに短絡故障シャ断時の再起電圧の問題が追求されるとともに、この同期機の高

周波特性がいかなるものであり、高周波リアクタンスはいかなる値をとるべきかということが、重要な問題となってきたように考えられる。この高周波特性を明らかにすることによって、サージインピーダンスより定態リアクタンスに至るまでの同期機の一貫した取扱いが可能となるのである。

現象の関与する空間的範囲という点から考えると、定態リアクタンスは同期機の電機子回路と界磁回路の広い磁気エネルギー蓄積回路よりの寄与によって定められ、過渡リアクタンスは制動巻線あるいは回転子周辺部分までの空間的磁束変化に限定され、次過渡リアクタンスは界磁はもちろん、制動巻線、回転子周辺などの二次回路にはすべて鎖交磁束不変の原則を適用しうる場合に限られる。

一方、サージインピーダンスは電機子巻線付近のごく狭い空間的範囲に限られた磁束変化だけが問題とされるわけで、鉄心構造中における磁束の変化はほとんど考慮されなくても良いような現象に関与する。

高周波リアクタンスは、次過渡リアクタンスとサージインピーダンスとの中間に位するもので、磁束の空間的範囲が或る程度電機子鉄心の内部に広がっている場合に相当する。すなわち、高周波リアクタンスの特長としては、

(1) 高周波においては、同期機を単なる集中する磁気エネルギー蓄積回路の組合わせと考えることはできず、



分布常数回路として取扱わなければならない。

- (2) 高周波においては局部的な時定数のきわめて短いエネルギー蓄積回路の存在を考慮しなければならない。すなわち、磁性体や導体中の局部的な二次回路の渦流や表皮効果について考察を与えることが必要となり、リアクタンスは周波数特性を有する。

以上の(1)に関しては、これを取扱い簡便にするために、 $LC$ の集中常数回路をもって置き換え、その際等価になるように、 $C$ に補正を与えて計算するという手段が取られている。この方法はひどく現実と違ったものとはならないので、十分許容できる場合もある。

しかるに(2)に関しては、従来よりのごく少数の経験にたよって、たとえばインダクタンスを次過渡リアクタンスの65%<sup>\*</sup>に取れば良いとか、ASEAの機械では45%が妥当であるとかいったようなあいまいな表現しかなされておらず、深い考察も行なわれていない。

筆者はこれらの問題の考察の糸口としてまず同期機巻線を理想的な分布常数回路とみなした場合の高周波インピーダンスを計算し、また巻線インダクタンスはいかように周波数によって変化すべきかを考察し、これを低周波リアクタンス、すなわち従来既知の次過渡リアクタンスと関係付けることを試みた。

高周波リアクタンスに関しての論議は、低周波リアクタンスと違って多分に実験的事実に依存しており、現象がかなり複雑であるため完全に詳細な数値的解析はむずかしい。その測定法ならびに測定結果に関しても簡単に述べようと思う。

理論的考察と実験の結果とから少なくとも明らかになったのは次の諸点である。

- (1) 同期機の高周波特性は、インダクタンスの周波数による変化を考慮に入れば、ほぼ、理想的な分布常数回路特性とみなすことができる。
- (2) いろいろな回路条件でのインダクタンスは、その高周波補正係数を確立できれば計算は容易である。
- (3) 従来よりいわれている45~65%とい

う補正係数はかなり妥当なものと思われる。

- (4) 制動巻線を有する機械では、界磁回路の状態はほとんど高周波特性に影響を及ぼさない。

## 2. 分布常数回路としての高周波リアクタンス

同期機巻線を理想的な分布常数回路とみなし、かつ、巻線相互間の相互誘導ならびに相互容量を無視した場合の各種の回路条件における高周波リアクタンスの計算式を表2.1の第1列に示す。この計算において採用されたきわめて単純化された仮定は、もちろん実際とはかなり異なるものであり、とくに巻線間の相互結合効果を無視したことの可否についてはなお、検討を要するが、後述の測定結果より考えても、近似的には十分であろうと思われる。計算の過程はかなり複雑となる場合もあるが、結果はいずれも簡単な表現になる。式中、

$$Z_k = \sqrt{L/C} \quad x = 2\pi f\sqrt{LC} \dots \dots \dots (2.1)$$

であり、 $f$ は周波数、 $L$ は巻線1相あたりのインダクタンス、 $C$ は1相あたりの対地容量である。

この巻線1相あたりのインダクタンス  $L$  は実際には

表 2.1 同期機高周波リアクタンス計算表

| 回 路 | 高周波リアクタンス $Z_x$                                                                    | 低周波インピーダンス $Z_i$                                                                                                                          | 近 似 等 価 常 数                          |                            |                 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------|
|     |                                                                                    |                                                                                                                                           | インダクタンス                              | $f \ll f_0$                | $f = f_0$       |
|     | $jZ_k \cdot 2 \tan \frac{x}{2}$                                                    | $p \frac{1}{3} (x_0 + 2\xi_1 + 2\xi_2 \cos 2\theta)^{***}$                                                                                |                                      | $\frac{1}{3} (x_0 + 2x_2)$ | $\frac{1}{3} C$ |
|     | $jZ_k \cdot \tan x$                                                                |                                                                                                                                           |                                      |                            |                 |
|     | $jZ_k \cdot \frac{2(1 + \tan x \sin x - \cos x)}{3 \sin x} \quad (L = Z_k)^{**}$   |                                                                                                                                           |                                      |                            |                 |
|     | $jZ_k \cdot \tan x \quad (L = Z_i)$                                                | $p(2\xi_1 - 2\xi_2 \cos 2\theta)$                                                                                                         | $2x_2$                               | $\frac{1}{6} C$            | $0.208C$        |
|     | $jZ_k \cdot 2 \tan x \quad (L = \frac{1}{2} Z_i)$                                  |                                                                                                                                           |                                      |                            |                 |
|     | $jZ_k \cdot \frac{\tan x(2 - \tan^2 x)}{1 - \tan^2 x} \quad (L = \frac{1}{2} Z_i)$ |                                                                                                                                           |                                      |                            |                 |
|     | $jZ_k \cdot \frac{3}{2} \tan x \quad (L = \frac{2}{3} Z_i)$                        | $p \frac{3(\xi_1^2 - \xi_2^2)}{2\xi_1 - 2\xi_2 \cos 2\theta}$                                                                             | $\frac{3}{2} x_2$                    | $\frac{2}{9} C$            | $0.271C$        |
|     | $jZ_k \cdot \frac{3}{2} \tan x \quad (L = \frac{2}{3} Z_i)$                        |                                                                                                                                           |                                      |                            |                 |
|     | $jZ_k \cdot \frac{3 \tan x}{2 - \tan^2 x} \quad (L = \frac{2}{3} Z_i)$             |                                                                                                                                           |                                      |                            |                 |
|     | $jZ_k \cdot \tan x \quad (L = Z_i)$                                                | $p \frac{\xi_1^2 - \xi_2^2 + 2x_2\xi_1 - 2x_2\xi_2 \cos(2\theta - \frac{2}{3}\pi)}{x_0 + 2\xi_1 + 2\xi_2 \cos(2\theta + \frac{2}{3}\pi)}$ | $\frac{x_2(2x_0 + x_2)}{x_0 + 2x_2}$ | $\frac{1}{3} C$            | $0.406C$        |
|     | $jZ_k \cdot \tan x \quad (L = Z_i)$                                                | $p \frac{3}{1 + 2\xi_1 - 2\xi_2 \cos 2\theta} \frac{\xi_1^2 - \xi_2^2}{\xi_1^2 - \xi_2^2}$                                                | $\frac{3}{1 + \frac{2}{x_2}}$        | $\frac{1}{3} C$            | $0.406C$        |

注 \*  $Z_k = \sqrt{L/C}$ ,  $x = \omega\sqrt{LC}$ ,  $C$  は 1 相あたり対地容量。

\*\* たとえば  $(L = Z_i)$  とは式中の  $L$  として  $\frac{1}{3}(x_0 + 2\xi_1 + 2\xi_2 \cos 2\theta)$  を用いるべきことを示す。

\*\*\*  $\xi_1 = \frac{x_0'' + x_2''}{2}$ ,  $\xi_2 = \frac{x_0'' - x_2''}{2}$

注 \* Hammarlund の実測値よりの結論である。45% という値については、O.S. Johansen が再起電圧計算法に関して簡単に述べているだけである。



巻線相互結合によって回路条件によりいろいろと違ってくると考えられる。したがって各回路に対していかなる  $L$  の値を用いるべきかは問題であるが、その点に関しては一応次のように考える。

$L$  の値は、なお、周波数によって変化してくるがこの  $L$  の周波数変化については次節で考察する。

申すまでもなく、同期機の低周波におけるインピーダンスはその巻線の対地容量を無視して考えているもので、同期機の各種の結線下における値は表 2.1 の第 2 列に示すとおりである。単にインダクタンスとしてはその  $k$  を取った形で考えればよい。これは結線によってはかなり複雑な表現を必要とするわけである。

そこで、高周波リアクタンスの計算式中の  $L$  の値としては、この低周波インピーダンス  $Z_l$  で表現されるインダクタンスの値を用いることが考えられる。 $Z_l$  のインダクタンスは巻線相互間の誘導が考慮にとられた上での計算であるから、このインダクタンスをただちに高周波リアクタンス計算式中の  $L$  に用いることは多分に問題があるが、実験結果より考えるとそれで妥当であるように思われる。

高周波リアクタンス計算式中の  $L$  は 1 相あたりのインダクタンスであるから、この  $L$  としては表第 1 列中のかつこ内に示したように、 $Z_l$  で表現されるリアクタンスの 1 相あたりの値を用いなければならない。

なお近似的にこれらのおおののリアクタンスを従来試みられているように、単純な図 2.1 のような集中常数回路

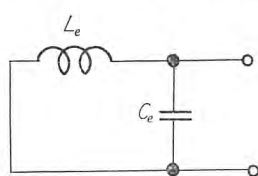


図 2.1 簡単な等価回路  
Fig. 2.1 Simple equivalent circuit.

のもは、周波数が同期機巻線の固有周波数よりも低いような場合、 $f=f_0$  の欄に示したものは、巻線固有周波数に近いような場合にとるべき値を示したものであって、前者は外部回路がつながれた場合の、後者は同期機単独の場合の再起電圧やその他の過渡現象などを扱う場合に用いられるべきものである。図 2.1 のような等価回路で置き換える場合、 $L_e$  を一定とすれば当然  $C_e$  は周波数の関数となってくるわけであって、それを二つの代表的な値で示したわけである。

同期機の高周波リアクタンス・潮

### 3. 高周波における巻線インダクタンスの変化

同期機巻線のインダクタンスが高周波になると見かけ上かなり変化するということは、回路固有再起電圧の研究

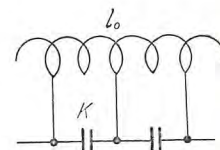


図 3.1 巻線の直流容量  
Fig. 3.1 Series capacitances of windings.

に伴って、次第に明らかにされた事がらであって、Hammarlund などはかなり突っ込んだ取扱いをしている。

巻線のインダクタンスが見かけ上変化する一つの原因はその巻線の直列容量  $K$  (図 3.1) の影響である。簡単な計算からわかるように、巻線の見かけ上のインダクタンスはその直列容量のインダクタンスに対する並列結合によって、

$$l_r = \frac{l_0}{1 - \omega^2 l_0 K l} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

なる変化をする。ここで  $l_0$  は単位長あたりのインダクタンス、 $K$  は同じく直列容量、 $\omega$  は周波数、 $l$  は巻線導線長である。

ところで同期機では、変圧器と異なり、 $K$  は非常に小さいので、その影響は一応無視することができ程度である。いい換えれば、巻線を通る進行波は、コイル導体自体を通して進むものがほとんどである。

そこで、インダクタンスの周波数による変化の原因の大部分としては、構造物中の磁束通路の変化によるものがもっとも大きなものと考えられる。

一般に電気機器は導体と磁性材料の組合わせであって、したがってそのインダクタンスは導体ならびに磁性体内部におけるかなり小時間定数の局部的な二次回路の形成、すなわち、磁束通路の変化が原因となって、周波数によりその値を変化する。回転機のように、導体がみぞ内に埋込まれたような構造のものでは、とくにその変化がいちじるしい。

インダクタンスの値は、構造物中の磁束、ならびに電流の分布を計算しさえすれば求めることができるのであって、それは、

$$(\nabla^2 + \kappa^2) \mathbf{J} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

$$(\nabla^2 + \kappa^2) \mathbf{H} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} + \frac{\kappa^2}{j\omega\mu\sigma} \mathbf{J} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\kappa^2 = \omega^2 \mu \varepsilon - j\omega\mu\sigma \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

なる偏微分方程式を与えられた構造物について解けばよいのであるが、同期機はその構造がきわめて複雑であっ



てとうてい詳細な計算をすることは不可能である。

そこで便宜上問題をきわめて単純化して考え、簡単な2, 3の模型例について計算した上、実状を類推することにする。

機器構造はこれを磁束通路を形成する部分として、大別して次の三つとすることができる。すなわち、

- (1) 磁性体部分
- (2) 導電体部分
- (3) 空気および絶縁物の部分

以下、これら各部分についてその特性を検討した後これを総合して考慮しよう。

### 3.1 磁性体内における磁束分布と、そのインダクタンスへの寄与

これについては一次元問題としての模型および円とう座標系における模型の両者について考察しよう。

(1) まず一次元問題として、厚さ  $2a$  なる磁性体が  $n$  枚重ねられた場合、(積層ケイ素鋼板に相当する) 起磁電流を  $I$ 、磁束通路の長さを  $l$  とすれば、磁性体内に通る磁束 (MKS 有理系使用) は、

$$\Phi = \frac{2n\mu I}{\kappa \cdot l} \tan(\kappa a) \dots\dots\dots (3.6)$$

となり、この磁束によるインダクタンスへの寄与は、

$$L_m = \frac{\mu}{l} A \frac{\sinh 2x + \sin 2x}{2x(\cosh 2x + \cos 2x)} = \frac{\mu A}{l} \cdot y \dots\dots (3.7)$$

ただし、 $x = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} \cdot a$ 、 $\mu = \mu_0\mu_s$  ( $\mu_0$  真空導磁率、 $\mu_s$  磁性体比導磁率)、 $\sigma$  = 磁性体導電率、 $A = 2na$  となる。ここで、

$$y = \frac{\sinh 2x + \sin 2x}{2x(\cosh x + \cos 2x)} \dots\dots\dots (3.8)$$

なる関数形は重要な意味を有するものと思われる。これは磁性体内の磁束分布変化に基づくインダクタンス減少の特性を示す代表的な一つの形式とみなすことができる。  $y$  の  $x$  による変化を図 3.2 に示す。周波数の増加

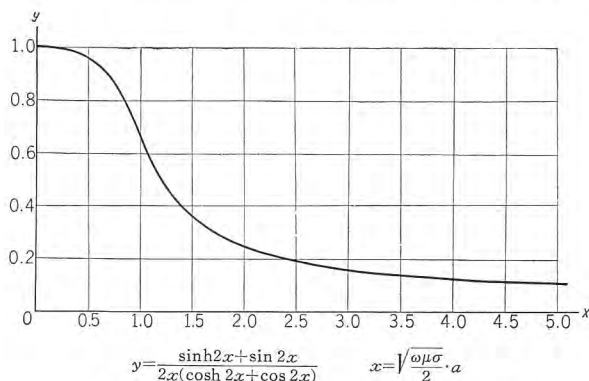


図 3.2 磁性体のインダクタンス変化係数

Fig. 3.2 Inductance coefficient of magnetic substances.

により、磁性体よりのインダクタンスへの寄与がいちじるしく減少することが明らかである。さらに  $\mu, \sigma$ 、ならびに厚さ  $2a$  が大きいほどそれがいちじるしいことは申すまでもない。厚さ 0.35 mm の普通の D 級ケイ素鋼板については、だいたい次のような値になる。

| 周波数 (サイクル) | $x$  | $y$  |
|------------|------|------|
| 60         | 0.12 | 1.0  |
| 1,000      | 0.49 | 0.97 |
| 5,000      | 1.09 | 0.58 |
| 10,000     | 1.55 | 0.35 |

10 kc 程度の周波数になると磁性体中の磁束はいちじるしく減少するわけである。

#### (2) つぎに円とう

座標系によって図 3.3 に示すような模型を考える。すなわち、中心に直径  $2r_0$  なる導体があってここに電流が流れ、これが内径  $b$ 、外

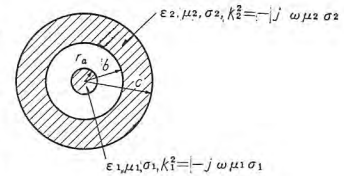


図 3.3 円とう座標模型

Fig. 3.3 Cylindrical model.

径  $c$  なる円とう状磁性体によって囲まれている場合の、磁性体中に生ずる磁束、ならびにその磁束による中心導体のインダクタンスへの寄与を考察する。これは成層されていない鉄部分の模型と考えることもでき、また磁性体中の導電率を等価的に十分小さく取れば、軸方向に成層されている鉄心の模型と考えることも可能である。

この場合、単位長あたり磁性体内にできる磁束の分布は中心導体を通る電流を  $I$  とすれば、

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{2jI}{\pi^2 \omega b c \sigma_2 \Delta} \\ & + \frac{\mu_2 I}{2\pi \kappa_2 \Delta} \left\{ \frac{1}{b} \left( Y_1(\kappa_2 c) \cdot J_0(\kappa_2 b) - Y_0(\kappa_2 b) \cdot J_1(\kappa_2 c) \right) \right. \\ & \left. + \frac{1}{c} \left( Y_1(\kappa_2 b) \cdot J_0(\kappa_2 c) - Y_0(\kappa_2 c) \cdot J_1(\kappa_2 b) \right) \right\} \dots\dots (3.9) \end{aligned}$$

ただし、

$$\Delta = J_1(\kappa_2 b) \cdot Y_1(\kappa_2 c) - Y_1(\kappa_2 b) \cdot J_1(\kappa_2 c) \dots\dots (3.10)$$

となる。この磁束による導体インダクタンスへの寄与は

$$L_m = \text{Real Part of } (\Phi/I) \dots\dots\dots (3.11)$$

で与えられる。漸近級数表示によって近似的に計算すると、

$$\begin{aligned} L_m = \text{Real Part of } & \frac{\mu_2(b+c)}{2\pi \kappa_2 b c} \\ & \cdot \left\{ 2\kappa_2^2 \frac{\sqrt{bc}}{b+c} + \left( \frac{9b^2 - 21bc + 9c^2}{128b^2c^2} - \kappa_2^2 \right) \cos \kappa_2 d + \frac{\kappa_2 d}{8bc} \sin \kappa_2 d \right\} \\ & \cdot \left\{ \left( \frac{15b^2 + 18bc + 15c^2}{128b^2c^2} + \kappa_2^2 \right) \sin \kappa_2 d - \frac{3\kappa_2 d}{8bc} \cos \kappa_2 d \right\} \dots\dots\dots (3.12) \end{aligned}$$



となる。ここで  $\kappa_2^2 = -j\omega\mu_2\sigma_2$   $d=c-b$  である。実際問題としてはさらに簡単化することができ、 $\kappa_2$  の低次の項を省略し、また、 $2\sqrt{bc} \doteq b+c$  と置けば、

$$L_m = \text{Real Part of } \frac{\mu_2(b+c)}{2\pi bc} \cdot \frac{1 - \cos \kappa_2 d}{\kappa_2 \sin \kappa_2 d} \\ = \frac{(c^2 - b^2)\mu_2}{4\pi bc} \cdot y \dots \dots \dots (3.13)$$

ただし、 $y$  は前述の関数式(3.8)であり、 $x = \sqrt{\frac{\omega\mu_2\sigma}{2}} \cdot \frac{d}{2}$  である。これは当然ともいえるが、前の一次元問題として解いた場合とまったく同じ形式で、したがっていろいろな場合に磁性体の磁束分布の変化に基づくインダクタンスの変化は、 $y(x)$  なる代表的形式をもっていると考えて近似的には妥当であるように思われる。

### 3.2 導体内における磁束分布とそのインダクタンスへの寄与

導体内における磁束分布の状態も周波数によって変化してくるので、そのインダクタンスへの寄与も変わってくる。この問題を考察するためには円とう導体の模型について考えるのが便利である。

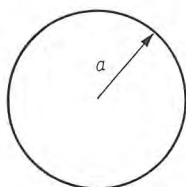


図 3.4 円とう導体模型  
Fig. 3.4 Cylindrical conductor.

図 3.4 のように直径  $2a$  なる無限円とう導体と考えるところに  $I$  なる電流が流れた場合、ここに生ずる磁束分布は、

$$H = \frac{I}{2\pi a} \frac{J_1(\kappa_1 r)}{J_1(\kappa_1 a)} \dots \dots (3.14)$$

したがって蓄積される磁気エネルギーは、

$$\frac{1}{2} \int B \bar{H} \cdot dv \\ = \frac{I^2}{8\pi a \kappa_1^3} \left[ \frac{J_0(\kappa_1 a)}{J_1(\kappa_1 a)} - K_1 \frac{J_0(\kappa_1 a)}{J_1(\kappa_1 a)} \right] \dots \dots (3.15)$$

となる。ただし、 $\kappa_1 = -j\omega\mu_1\sigma_1$ 、 $\bar{\kappa}_1$  は  $\kappa_1$  の共役数である。

したがってこれによる導体インダクタンスへの寄与は、

$$L_c = \frac{\mu_1}{2\pi} \frac{\text{ber } x \text{ber}' x + \text{bei } x \text{bei}' x}{x\{(\text{ber}' x)^2 + (\text{bei}' x)^2\}} \dots \dots (3.16)$$

ただし、 $x = \sqrt{\omega\mu_1\sigma_1} \cdot a$

ここに現われる

$$\eta = \frac{4\{\text{ber } x \text{ber}' x + \text{bei } x \text{bei}' x\}}{x\{(\text{ber}' x)^2 + (\text{bei}' x)^2\}} \dots \dots (3.17)$$

なる係数は、導体内の磁束分布変化に基づくインダクタンス減少の特性を示す代表的な一つの形式とみなすことができる。  $\eta$  の  $x$  による変化を図 3.5 に示す。  $\eta$  の変化は前に示した磁性体のインダクタンス変化係数  $y$  の変

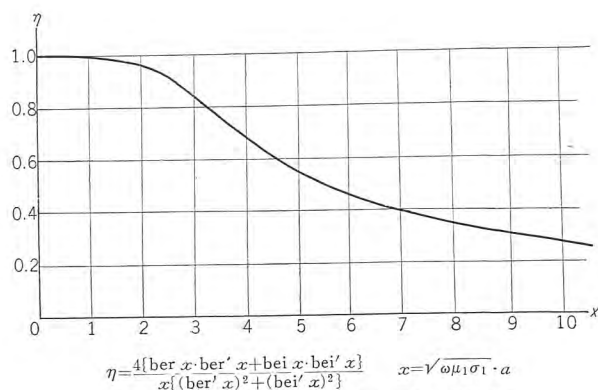


図 3.5 導体のインダクタンス変化係数  
Fig. 3.5 Inductance coefficient of conductors.

化によく似た形のものであって、同様な  $x$  に対する漸減関数である。たとえば、5 mm  $\phi$  の巻線素線を考えれば、だいたい次のようになる。

| 周波数 (サイクル) | $x$  | $\eta$ |
|------------|------|--------|
| 60         | 0.42 | 1.0    |
| 1,000      | 1.71 | 0.98   |
| 5,000      | 3.83 | 0.7    |
| 10,000     | 5.42 | 0.5    |

周波数の増加により導体によるインダクタンスへの寄与も相当に減少する。導体はいくつかの素線に分割されている場合、もちろん、各導体についてのそのインダクタンスへの寄与を  $L_c$  とすれば、

$$L_c \text{ total} = \frac{1}{n} L_c \dots \dots (3.18)$$

となることはいうまでもない。

実際の同期機導体は円とう状でなく平角状の場合が多いのであるが、等価半径  $a$  を適当に選べば上記の模型をあてはめることが可能であると思われる。

### 3.3 空気および絶縁物中の磁束分布とそのインダクタンスへの寄与

空気および絶縁物中においては磁束の分布は周波数によって変化はしないと考えられる。いうまでもなく、磁路の長さ  $l$ 、磁路断面積  $S$  なる磁束通路に対してその形成される磁束は

$$\Phi = \mu_0 I \int \frac{dS}{l} \dots \dots (3.19)$$

であり、このインダクタンスへの寄与は、

$$L_a = \mu_0 \int \frac{dS}{l} \dots \dots (3.20)$$

で一定であると考えることができる。

### 3.4 同期機巻線の合成インダクタンス

以上簡単な模型について、磁性体、導体、および絶縁物中における高周波磁束分布を考え、そのインダクタンスへの寄与を行なう特性を考察して見た。実際の同期機



はその構造が複雑で以上の諸特性がいろいろに重なり合った状態である。しかしごく簡単に定性的な考え方として次のように考えることが或る程度許されると思う。

すなわち、前述の計算はいずれも簡単なしかしはつきりした境界条件に対しての解であって、たとえば一つの磁束が磁性体と絶縁物の境界面を通して両者にまたがるような場合（実際問題としてはそのような場合が大部分である）。以上の計算結果をそのまま適用できないのであるが、その場合、境界面の影響があまり内部にまで及ばないと仮定すれば、磁性体、導体、絶縁物などのおおの磁束通路に対してその磁気抵抗として

$$1/L_m, 1/L_c, 1/L_a$$

をとることができる。ただし、 $L_m, L_c, L_a$  はそれぞれの構造部分単独のインダクタンスへの寄与であって、構造部分の  $l/S$  ( $S$  は断面積、 $l$  は長さ) に比例している。そこでたとえば、図 3.6 に示すような構造部分に対しては、図のように 1, 2, 3, 4 の磁路を代表的に考えると、図 3.7 のような磁気回路がつくられる。図 3.7 で添数字はその磁路を示すものである。図 3.7 の磁気回路は図 3.8 の電気回路に変換することができ、図 3.8 においては  $L_{c4}, L_{ma1}, L_{mb1}, L_{mb2}$  はそれぞれ導体中および磁性体中の磁束によるインダクタンスへの寄与を示すものであり、それぞれの磁気抵抗だけの場合のインダクタンスを表わす。

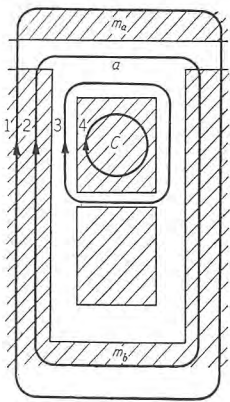


図 3.6 磁気回路の一例  
Fig. 3.6 An example of magnetic circuit.

$$L_{c4} = L_{c40} \cdot \eta$$

$$L_{ma1} = L_{ma10} \cdot y_a$$

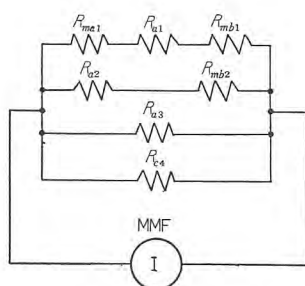


図 3.7 磁気回路  
Fig. 3.7 Magnetic circuit.

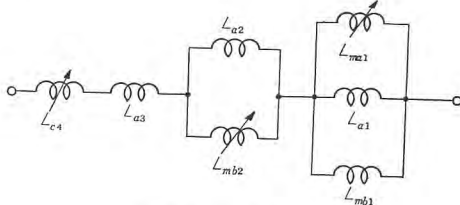


図 3.8 電気回路  
Fig. 3.8 Electric circuit.

$$L_{mb1} = L_{mb10} \cdot y_b$$

$$L_{mb2} = L_{mb20} \cdot y_b$$

ここで添字 0 を有するものは低周波における値で常数であり、また  $\eta, y$  は前出のインダクタンス変化係数である。 $L_{a2}, L_{a3}$  はもちろん常数である。

さらに複雑な構成に対しても、つぎのような手段によって等価回路を形成することができる。すなわち、

- (1) 構造を磁束通路に分割して磁気回路をつくる。
- (2) 各単独の磁気抵抗だけが存在する場合のインダクタンスを計算する。これはその磁気抵抗の低周波における値  $R_0$  を用い、

$$L_a = \frac{1}{R_{a0}}, \quad L_m = \frac{1}{R_{m0}} \cdot y, \quad L_c = \frac{1}{R_{c0}} \cdot \eta$$

で計算できる。

- (3) かくして得た  $L_a, L_m, L_c$  を用い、磁気回路を電気回路に変換する。これは、磁気回路における直列回路は並列回路に、並列回路は直列回路に変換しさえすればよい。

一般にインダクタンスは  $y$  および  $\eta$  の複雑な代数関数となるので、正確な計算は計算機などによらなければならない。

現段階では、このインダクタンスの周波数による変化を正確に計算するということは決して実用的でない。いずれにせよ、 $y$  および  $\eta$  とともに似たような形の漸減関数であるから複雑に合成された結果も必ずしも似たような漸減関数となるわけであって、たとえば、

$$L = L_0 - (L_0 - L_\infty) \cdot \gamma \quad \dots \dots \dots (3.21)$$

ただし、 $\gamma$  は  $0 < \gamma < 1$  なる周波数の関数。

なる形式の  $L_\infty$  および  $\gamma$  をいろいろな機械について資料を集めて検討するのが良いであろう。この式は

$$L = L_0 \{1 - (1 - k) \gamma\} \quad k = L_\infty / L_0 \quad \dots \dots \dots (3.22)$$

とも書けるわけで、この  $k$  が 0.45~0.65 といわれている値である。

実際問題としては、インダクタンス変化にもっとも大きな影響を与えるのは同期機においては磁性体内の磁束分布の変化であると考えられ、したがって上述の  $\gamma$  は

$$\gamma = 1 - y \quad \dots \dots \dots (3.23)$$

と置いても、だいたい近似は可能であると思われる。後述の実測結果もおおむねそのようになっている。すなわち、 $\gamma$  は 1,000 ないし 10,000 サイクルの間で大きく変化し、1,000 サイクル以下では 0、10,000 サイクル以上では  $\gamma = 1$  としてもだいたい実用できると思われる



が、これは  $y$  の特性とよく一致している。

### 3.5 高周波の演算子リアクタンス

今まで高周波における巻線インダクタンスの変化を一応損失分の項を度外視して、インダクタンスの周波数特性として考察してきたのであるが、この場合にも損失分を考慮に入れた上、インダクタンスを  $p$  関数として、すなわち演算子リアクタンスとして取扱うことが可能であり、またそれが便利な場合もある\*。

インダクタンスの周波数変化は主として鉄心中の磁束分布の変化に基因するものと考えて、一次元の磁性体模型を代表的に考えると、Maxwell の式において  $\frac{\partial}{\partial t} = p$  として導かれるもので、結果的には、式 (3.6) 中の  $\kappa$  中の  $j\omega$  を  $p$  と置いて得られる形であって、

$$y(p) = \frac{\tanh(\lambda\sqrt{p})}{\lambda\sqrt{p}} \quad \lambda = \sqrt{\mu\sigma} \cdot a \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

という形であり、結局、高周波の演算子リアクタンスとしては、

$$\begin{aligned} L(p) &= L_{\infty} + (L_0 - L_{\infty}) \frac{\tanh(\lambda\sqrt{p})}{\lambda\sqrt{p}} \\ &= L_0 \left\{ k + (1-k) \frac{\tanh(\lambda\sqrt{p})}{\lambda\sqrt{p}} \right\} \quad \dots\dots\dots(3.25) \end{aligned}$$

によって、ほぼ、代表的に表現することができる。この形式は再起電圧や瞬時回復電圧の計算などに使用する時便利である。

## 4. 高周波リアクタンスの測定

### 4.1 高周波リアクタンスの測定法

同期機巻線の高周波リアクタンスは前述のように分布常数回路である上インダクタンスが周波数特性を有するため、正確な測定は決して簡単でない。これの測定法は結局回路シャ断時の再起電圧の測定法と密接な関連性があるのであるが、主として以下にあげるような測定法が考えられる。

- (1) 単位電流または正弦波あるいは直線波電流の挿入またはシャ断による方法。
- (2) 小電流シャ断による方法。
- (3) 短絡シャ断による方法。
- (4) 可変周波数電源によるインピーダンスの直接測定。

以上はいずれも再起電圧の測定法としても用いられるものであるが、リアクタンスの測定を対象とする場合には扱い方がいくぶん異なる。測定の対象となる常数は巻

注 \* 次過渡、過渡、定態リアクタンスに対する演算子リアクタンス  $x_d(p)$ ,  $x_q(p)$  と同様の関係のものである。

線の  $L$  および  $C$  であるが、問題になるのは  $L$  であって、 $C$  は問題としている周波数範囲ではほぼ一定とみなすことができ、したがって測定も容易である。以上の(1)~(4)の測定方法と  $C$  の測定結果とを用いて、 $L$  の測定をすることができるのである。

#### (1) 巻線静電容量の測定

静電容量は巻線対地間および、巻線相互間の両種が考えられるが、同期機巻線では巻線対地間容量がはるかに大きく、主としてそれだけを考えればよい。静電容量の測定はブリッジなど通常の測定方法によってさしつかえないが、巻線は分布常数回路であるから、測定にインダクタンスの影響がはいってくるので、たとえ低周波で測定した場合でも次のような注意を要する。

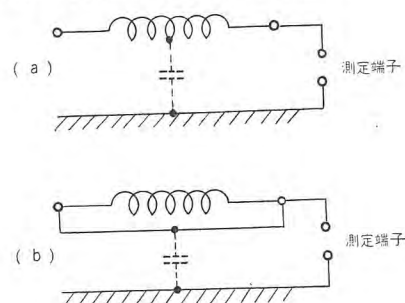


図 4.1 静電容量の測定

Fig. 4.1 Measurement of static capacity.

すなわち、図 4.1 (a) のような方法で測定した場合と、図 4.1 (b) のように巻線の両端一括で測定した場合とは、見かけ上の  $C$  が違ってくる。(a) の場合測定しているものは、リアクタンス

$$Z_1 = -jZ_k \cot x = -j \frac{1}{\omega C} x \cot x \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

であり、(b) の場合測定しているのは

$$Z_2 = -j \frac{1}{2} Z_k \cot \frac{x}{2} = -j \frac{1}{\omega C} \frac{x}{2} \cot \frac{x}{2} \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

である。ただし、 $Z_k = \sqrt{L/C}$ ,  $x = \omega\sqrt{LC}$  である。

すなわち、各場合の見かけ上の  $C$  は、

$$C_1^* = \frac{C}{1 - \frac{x^2}{3} - \frac{x^4}{45} - \dots} \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

$$C_2^* = \frac{C}{1 - \frac{x^2}{12} - \frac{x^4}{720} - \dots} \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

したがって容易に計算されるように、真の  $C$  の値は図 4.1 (a) で測った見かけ上の  $C$  の値  $C_1^*$  と (b) で測った  $C_2^*$  とを用いて、

$$C = \left\{ \frac{1}{C_1^*} + \frac{1}{3} \left( \frac{1}{C_2^*} - \frac{1}{C_1^*} \right) \right\}^{-1} \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

なる式を用いて算出すべきである。一括あるいは開放だ



けの測定は  $C$  値に誤差を伴うものであって、その両者から算出すれば上記のように比較的簡単に真の値を  $L$  のいかん、周波数のいかんに関せず求めることができる。同期機の  $C$  はかなり大きいので、通常の 50 c/s, 60 c/s での測定では (a), (b) いずれによるもあまり誤差にはならないが、上記補正を行なったほうがより正確である。

## (2) 再起電圧測定による巻線リアクタンスの測定

前述の (1)~(3) に述べた電流のシャ断または挿入による方法は再起電圧の測定を実施するのであって、その波形から逆にリアクタンスを正確に求めることはかなりやっかいである。これは表 2.1 の高周波リアクタンス  $Z_x$  において、 $j\omega = p$  と置いた  $p$  関数への  $t \rightarrow p$  変換を要するからである。しかしもちろん近似的には、表 2.1 の近似常数で十分であってそれは  $C$  の測定を行なった上、表 2.1 の等価容量を用いて単一周波数回路と考えて振動周波数から  $L$  の値を算出することができる。この近似常数表現は元来無理があるが、簡単で便利であるからしばしば用いられる。その場合、巻線単独では巻線固有振動の周波数における  $L$  の値が求められるだけであるので、さらに巻線端子に別に容量を付加して、振動周波数を下げることによって  $L$  の周波数特性をも測定することが可能である。事実、このようにして  $L$  の周波数による変化を測定した例もある。

しかしこれらの方法はオシログラフ測定というやっかいな方法を仲介とする上、正確な常数表現を得ようとするれば取扱いと計算が非常にやっかいであるし、また取扱いの簡単な近似表現にたよろうとすれば、一般的な満足すべき描写ができなくなってくる。したがってこれらの方法は再起電圧そのものの測定方法としてはともかく、常数測定の方法としては決してすぐれた方法ではないのでここには詳論しない。

## (3) 可変周波数電源によるインピーダンスの直接測定

もっとも簡単で直接的な方法である。これで適当な計算を行ないさえすれば、インダクタンスの周波数特性をもかなり確実に算出することができる。

測定は申すまでもなく可変周波数発振器と高周波電流計真空管電圧計により高周波リアクタンスの絶対値  $|Z_x|$  を周波数の関数として測定するというきわめて簡単なものであるが、これと  $C$  の測定値とから次のようにして、 $L$  およびその周波数特性を比較的簡単に算出できる。

すなわち、測定した回路条件について、表 2.1 の高周

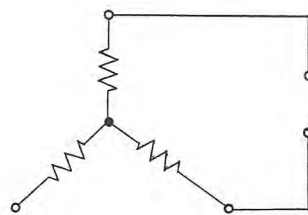


図 4.2 相間リアクタンスの測定  
Fig. 4.2 Measurement of phase-to-phase reactance.

波リアクタンス  $Z_x$  を用いて、

$$\left| \frac{Z_x}{Z_k} \right| \cdot x (= \omega C |Z_x|) \dots \dots \dots (4.6)$$

の曲線をつくって置く。たとえば、図 4.2 の回路条件の場合には、

$$\frac{2x(1 + \tan x \sin x - \cos x)}{3 \sin x} \dots \dots \dots (4.7)$$

の曲線をつくる。

$|Z_x|$  の実測値と別に測った  $C$  の値から  $\omega C |Z_x|$  の実測値を求め、上記曲線上からこれに対応する  $x$  をうる。しかる時は、

$$L = x^2 / \omega^2 C \dots \dots \dots (4.8)$$

によって、1 相あたりの  $L$  の値を算出することができる。曲線を一度つくって置けば、あらゆる場合に適用できるから便利である。計算に損失は無視しているが、共振点ははずれた所ではあまり大きな誤差にならない。

## 4.2 実 測 例

当所の試験用発電機について高周波リアクタンスを測定した結果を図 4.3 に示す。測定は図中に記入したような回路で行なったのであるが、発振器の周波数範囲が 10 kc までであったため、巻線固有周波数以上の点までは測定できていない。

これらの特性は表 2.1 の高周波リアクタンスの計算式を定性的にはかなり良く検証し、さらに 60 サイクルにおけるインピーダンスはもちろん表 2.1 の低周波インピーダンスの計算値とよく一致する。

測定は、正確には同期回転状態において行なうべきであるが供試機については制動巻線の効果が十分で、 $x_d'' = x_q''$ ,  $\xi_2 \doteq 0$  であり、また測定を界磁回路の開放ならびに短絡状態の両者について行なった結果にほとんど差異はなかったので、測定はすべて静止状態で行ない、界磁を短絡した場合の測定値を使用している。

このリアクタンスの測定結果より、前節に述べたような計算方法によって求めた高周波インダクタンスの値を図 4.3 に同時に示してある。

インダクタンスの値はいずれも、前述のような漸減変化を示し、表 2.1 に示される低周波インピーダンス  $Z_i$



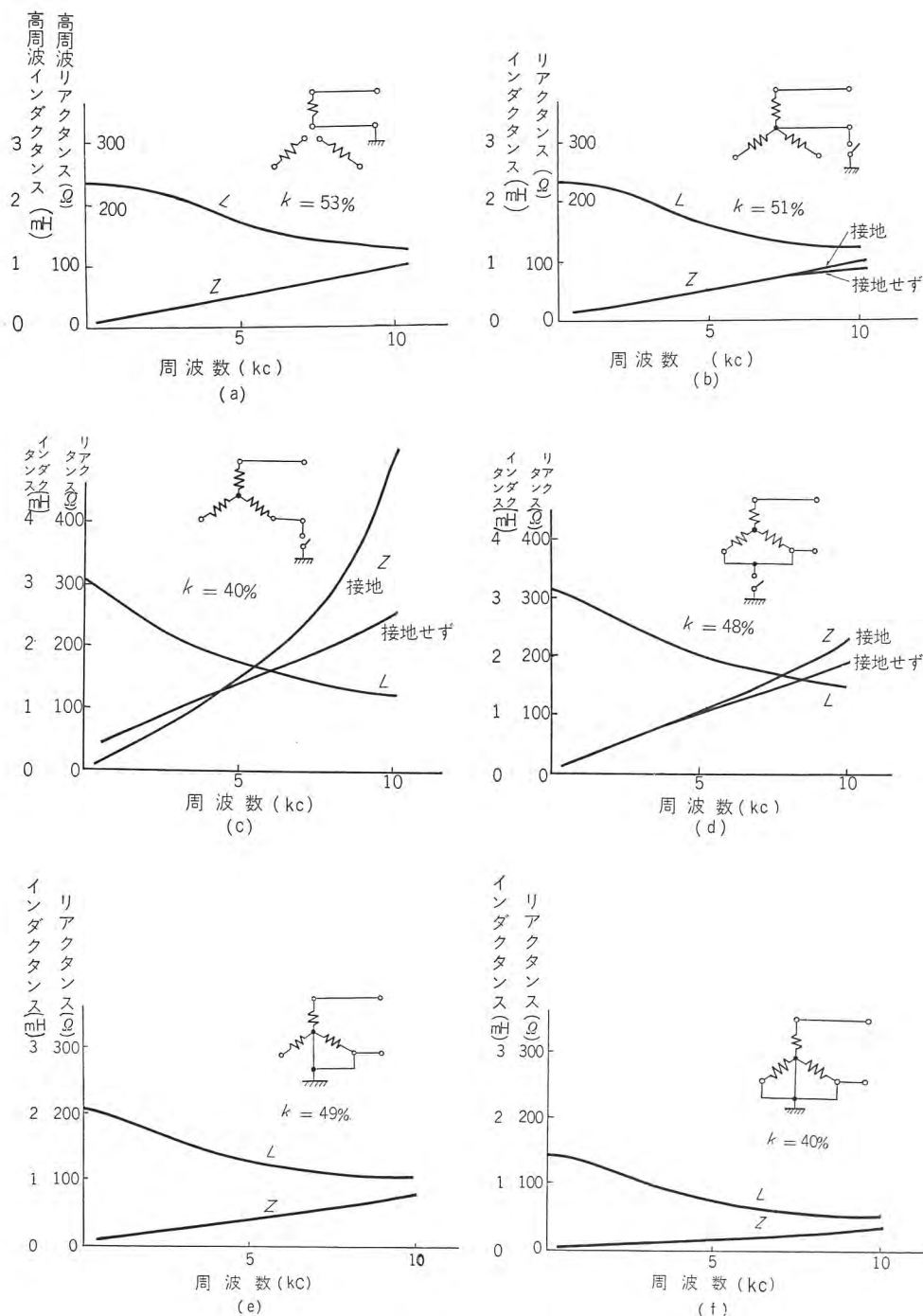


図 4.3 高周波リアクタンスの実測例 (2,000 kVA 試験用発電機)

Fig. 4.3 High frequency reactances of a testing generator.

に相当するインダクタンス値より周波数の増加とともに  
なめらかに減少し、或る値に漸近する傾向がある。詳細に  
見れば、各回路ごとにインダクタンス変化の形がいくぶ  
ん違っており、また  $k=L_{\infty}/L_0$  の値もかなり違っている。  
 $k$  の値も同時に図中に記入しているが、これらの違いは  
回路によっていろいろと磁束通路の相対的割合が量的に  
違ってくるためであると思われる。いずれにせよ、 $k$  の  
値はこの場合には 40~50% となる。またそのインダク  
タンスの周波数による変化の形は、磁性体内の磁束分布

同期機の高周波リアクタンス・潮

変化に基づくインダクタ  
ンス変化への寄与 “ $y$ ”  
の形をもってだいたいに  
近似できるようなのである。

図 4.3 の  $L$  の変化はい  
ずれも接地のある場合の  
回路より求めたものであ  
る。接地のない場合につ  
いては、測定器その他の  
漂遊容量の影響などもあ  
ると思われたので、 $L$  の  
計算には用いなかった。

## 5. む す び

高周波リアクタンスの  
正確な表現はかなり複雑  
である。対象となる問題  
の性質に応じて適当に考  
慮すべき要素だけを取り  
上げるべきである。その  
取扱い方をまとめれば以  
下のようである。

### (1) 同期機の各種結線

下における高周波リア  
クタンスは表 2.1 の  
 $Z_x$  により表現される。

(2)  $Z_x$  式中の  $C$  とし  
ては巻線 1 相分の対地  
容量、 $L$  としては、高  
周波インダクタンス式  
(3.22) または式 (3.  
25) を使用する。

(3) 式 (3.22) または

式 (3.25) 中の低周波インダクタンス  $L_0$  としては表  
2.1 の  $Z_l$  の 1 相分相当値を使用する。

(4) 式 (3.22) または式 (3.25) 中のインダクタンス  
低減率  $k$  あるいは  $\gamma$  は実測値によるのが現状では望  
ましいが、 $k$  はだいたい 50% 程度を仮定すればよく、  
また 1,000 サイクル以下では  $\gamma=0$ 、10,000 サイクル  
程度以上では  $\gamma=1$  としても実用上さしつかえない。

(5)  $Z_x$  を用いる代りに簡単には  $LC$  の並列回路で表  
現することもできるが、その場合  $C$  として表 2.1 の



最後の列に示したような値を用いるならば、 $L$ としては  $Z_L$  相当値またはその簡略値および、それから誘導される高周波インダクタンスをそのまま使用することができる。

- (6) 高周波リアクタンスに対して界磁回路の影響はあまりないのは当然である。とくにアモルト効果のいちじるしい機械では界磁の状態を考慮する必要はない。

#### 参 考 文 献

- (1) Hammarlund, P.: Transient recovery voltage sub-

sequent to short circuit interruption with special reference to Swedish power systems. Ing. Handlingar, Nr. 189, 246 pp. (1946).

- (2) Einschwing frequenzen in Netzen: Studiengesellschaft Höchstspannungsanlagen. C. V. Technischer Bericht Nr. 176 (Nov. 25, 1955).

- (3) 潮: 電力系統における回復電圧に関する諸問題(その2)「三菱電機」32 (1958) No. 2.

### 補遺 高周波リアクタンスの応用例

高周波リアクタンスの応用例を二つ簡単に示す。

#### 1. 発電機の再起電圧

同期機1機を単独に電源とする場合の再起電圧でも、これを詳細に考慮するとかなり複雑である。たとえばもっとも代表的に考察される三相非接地故障の第1相シャ断について本論に示した高周波リアクタンスに基づいて計算して見ると次のようになる。すなわち、図 a.1 の再

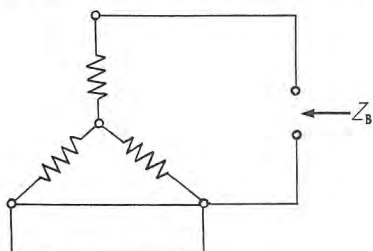


図 a.1 三相非接地故障の第1相シャ断  
Fig. a.1 First phase clear of a three phase ungrounded fault.

起電圧を与えるインディシャルインピーダンス  $Z_B$  は、

$$Z_B = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \tanh p \sqrt{LC} \quad \dots\dots\dots (a.1)$$

ただし、

$$L = \frac{\xi_1^2 - \xi_2^2}{\xi_1 - \xi_2 \cos 2\theta} \cdot \left\{ k + (1-k) \frac{\tanh \lambda \sqrt{p}}{\lambda \sqrt{p}} \right\} \quad \dots\dots\dots (a.2)$$

ここで、式 (a.2) の  $\theta$  はシャ断時の電源誘起電圧位相であるから、直流分のない、力率零の短絡電流がシャ断された場合には、

$$L = x_q'' \left\{ k + (1-k) \frac{\tanh \lambda \sqrt{p}}{\lambda \sqrt{p}} \right\} \quad \dots\dots\dots (a.3)$$

で与えられ、また  $C$  は巻線1相分の対地静電容量である。

かように一般に  $Z_B$  はかなりやっかいな  $p$  関数の形で与えられるので、進行波法によっても定在波法によっても固有再起電圧波形を正確に求めることはかなりめんどろである。そこで通常は定在波法による基本波分だけを

考慮するという考え方に基づいて同期機単独の場合これを単一周波数の  $LC$  回路によって表現することが行なわれている。

まず、 $L$  としてはその周波数による連続的变化を考えずに再起電圧周波数においては  $L$  が一率に低下するものとして取扱うのが第一次近似である。同期機単独の場合には固有周波数はかなり高いので、その近似で十分であろうと思われる。すなわち、

$$L = kx_q'' \quad \dots\dots\dots (a.4)$$

と置くのである。 $k$  の値は 0.5~0.65 である。

つぎに単一周波数回路に直すために、等価の  $C^*$  として本論表 2.1 のように 0.271  $C$  をとれば、図 a.2 のような等価回路が得られ、

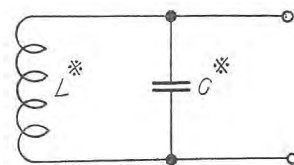


図 a.2 等価回路  
Fig. a.2 Equivalent circuit.

$$L^* = \frac{3}{2} kx_q''$$

$$C^* = 0.271C$$

$$f = 1/2\pi \sqrt{L^* C^*} = 1/2\pi \sqrt{0.406 kx_q'' C}$$

となるわけである。

このようにして、いろいろな結線についての同期機単独の場合の再起電圧等価回路を求めると表 a.1 のようになる。

ここで顕著なことは、まったく直流分のない短絡電流の理想的な零値シャ断が行なわれた場合、再起電圧を決定するインダクタンスは主として横軸リアクタンス  $x_q''$  が支配的であるということである。二相地絡の第1相シャ断の場合を除いては、 $L^*$  の表式中に  $x_d''$  は含まれてこない。

表の最後の欄は 10,000 kVA の代表的な水車発電機



表 a. 1 同期機単独の再起電圧計算表

| 回 路 | $L^*$                              | $C^*$  | $f$                                                | 数 値 例     |
|-----|------------------------------------|--------|----------------------------------------------------|-----------|
|     | $\frac{1}{3} k(x_0 + 2x_1'')$      | 0.406C | $1/2\pi\sqrt{0.135k(x_0 + 2x_1'')C}$               | 9,560 c/s |
|     | $2kx_2''$                          | 0.203C | $1/2\pi\sqrt{0.406kx_2''C}$                        | 7,970     |
|     | $2kx_2''$                          | 0.203C | $1/2\pi\sqrt{0.406kx_2''C}$                        | 7,970     |
|     | $2kx_2''$                          | 1.32C  | $1/2\pi\sqrt{2.64kx_2''C}$                         | 3,130     |
|     | $\frac{3}{2} kx_2''$               | 0.271C | $1/2\pi\sqrt{0.406kx_2''C}$                        | 7,970     |
|     | $\frac{3}{2} kx_2''$               | 0.271C | $1/2\pi\sqrt{0.406kx_2''C}$                        | 7,970     |
|     | $\frac{3}{2} kx_2''$               | 0.73C  | $1/2\pi\sqrt{1.1kx_2''C}$                          | 4,830     |
|     | $k \frac{3x_2x_2''}{x_2'' + 2x_2}$ | 0.406C | $1/2\pi\sqrt{\frac{1.22kx_2x_2''}{x_2'' + 2x_2}C}$ | 17,000    |
|     | $k \cdot Z_{01}$ (欄外参照*)           | 0.406C | $1/2\pi\sqrt{0.406kZ_{01}C}$                       | 10,630    |

$$* Z_{01} = \frac{2(x_2'x_2'' + x_2'x_2'' + x_2'x_2'' + x_2'x_2'')}{x_2''(2x_2'' + x_2) + x_2(2x_2'' + x_2)(x_2'' + 2x_2)}$$

(制動巻線なし) について、 $k=0.5$  としてその各周波数値を計算したものである。同一機械でも回路の接続、故障ならびにシャ断相の状況で周波数がかなり異なり、周波数だけについていえば三相非接地故障の第1相シャ断よりも高い場合がかなりありうる。

ところで、理論的には、上述のように  $x_d''$  よりもむしろ  $x_q''$  を採らなければならないわけであるが、実際問題としては高周波低減率  $k$  の値がなお十分明らかにされていないので、取扱いをわかりやすくする上から、 $L^*$  の表現として  $x_d''$  あるいは  $x_2$  を用いることが普通行なわれている。これは突極非対称性を無視したというよりもそれらをすべて  $k$  の中に包括させて、 $x_d''$  をベースとして表現させたと解するのが妥当である。そうすると、主として  $x_d''$  によって支配される短絡容量と比較的わかりやすい関連性が得られるため取扱いが便利になるのである。たとえば代表的な三相非接地故障第1相シャ断の場合には、周波数ならびに成分比だけを問題とする通常の考察においては、簡単に

$$L^* = kx_d'' \dots\dots\dots(a.5)$$

$$C^* = 0.406C \dots\dots\dots(a.6)$$

で代表させている。なおさらに簡単に、 $C^*$  としては単純な  $\pi$  回路に直した結果をそのまま使って

$$C^* = 1/2C \dots\dots\dots(a.7)$$

と置かれることが多い。このような非常に単純化した表現でも周波数に関してはかなり良い近似を与える。

## 2. 瞬時回復電圧に及ぼす高周波リアクタンスの影響

再起電圧を回路シャ断時の過渡現象の振動的部分として考える時、その振動の中心にあたる数値的ベースとなるのが瞬時回復電圧であるが、再起電圧周波数が非常に早い時には、この瞬時回復電圧にリアクタンスの高周波特性の影響があらわれる。

回復電圧は

$$e_r = pL(p) \cdot i_s(p) I \dots\dots\dots(a.8)$$

ただし、 $L(p)$  は電源インダクタンス、

$i_s(p)$  はシャ断電流

で与えられる。低周波インダクタンス  $L_0$  だけを考えた回復電圧

$$e_{r0} = pL_0 \cdot i_s(p) I \dots\dots\dots(a.9)$$

に対して、早い再起電圧過渡現象の初期には、回復電圧だけに注目した場合、

$$\frac{e_r}{e_{r0}} = \frac{L(p)}{L_0} I \dots\dots\dots(a.10)$$

なる変歪を受けることになる。ここで、 $L(p)$  に本論の式(3.25)を適用するとかなり良く実際と合うようである。すなわち、

$$\begin{aligned} \frac{e_r}{e_{r0}} &= \left\{ k + (1-k) \frac{\tanh(\lambda\sqrt{p})}{\lambda\sqrt{p}} \right\} I \\ &= k + (1-k) \cdot \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} (1 - e^{-\frac{(2n-1)^2\pi^2}{4\lambda^2}t}) \end{aligned} \dots\dots\dots(a.11)$$

となる。数値を適当に選んで計算すると、実際の実験結果ともよく一致する。その詳細については、回復電圧に関する報告(文献3)を参照されたい。



# CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式

神戸製作所

森

健\*

## Bus Protective Relay Scheme with Type CA-6 Ratio Differential Relays

Kobe Works

Takeshi MORI

When air core couplers are used for the protection of bus, they offer no problem of the saturation of core, enabling safe and positive protection. In practical cases, however, air core units are not applicable and the bus protection must often resort to the use of current transformers. There are a number of bus protective relay schemes using current transformers. Among them the one with type CA-6 ratio differential relays is employed in a wide range because of its facility in application. This is one of the achievements in which Mitsubishi has taken pains in development.

### 1. ま え が き

変流器の過渡特性の研究は遠く 1929 年 Marshall, Langguth の研究<sup>(1)</sup>にひとつの端緒を見出す。しかし継電器の変流器過渡特性誤差による誤動作問題が両者の密接な関連において注目されはじめたのは、米国のばあいでもそれから数年経過したのちのことのように思われる。すなわち系統の拡大と継電器の高速化は、変流器過渡特性誤差による継電器の誤動作問題を誘発した。とくにその動作確度が変流器の特性に直接影響を受ける母線保護継電器の進歩改良のあとはいちじるしいものがあり、この分野の進歩発達はいぜん継続している状態である。CA-6 形比率差動継電器もまたその成果のひとつ<sup>(2)</sup>であって、後述のように変流器過渡特性誤差の研究と継電器設計とがきわめてよく総合されている点は注目にあたいする。

CA-6 形比率差動継電器は一般に使用されている CT を用いて母線保護をおこなうばかりにはきわめて応用範囲のひろい継電器である。ただ残念なことに従来母線保護があまりおこなわれていなかったためにその特長や応用法はほとんど知られていない。また一方最近の母線保護で直面する問題として二重母線保護をどうするかとか、既設発電所の母線保護をどうするかというような実用上の疑問もあらうと思われる。本文はこのような観点から、CA-6 形比率差動継電器の概要を紹介し、参考に資するためにまとめたものである。

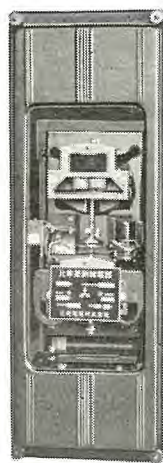


図 2.1 FT-CA-6 形比率差動継電器  
Fig. 2.1 Type FT-CA-6 ratio differential relay.

### 2. 構造および動作

CA-6 形比率差動継電器の構造は図 2.1 および図 2.2 のようなものである。まず構造と動作の概要を説明しておく。

CA-6 形継電器は同一軸に 2 枚の円板をつけ、このおのにおに 2 個ずつの電磁要素を配置した瞬時動作形誘導形継電器である。この合計四つの電磁要素のうち三つの要素は抑制要素で、それぞれ同一巻数、同一構造の抑制

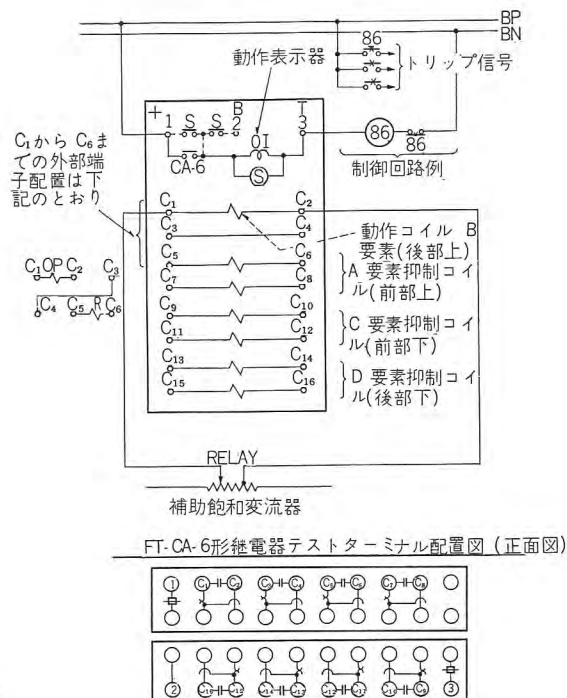


図 2.2 CA-6 形比率差動継電器接続図(裏面図)  
Fig. 2.2 Internal connection of type CA-6 ratio differential relay.



コイルを2個もっている。のこりの一つの電磁要素は動作要素である。

各抑制コイルは図2.2のようにそれぞれ別の端子に接続されており、この継電器の使用接続はほとんど外部接続に依存していることがわかる。もちろんこの抑制コイルには保護すべき母線端子 CT の二次電流が導入される。動作要素の回路には別に補助飽和変流器が付属しており、母線全端子 CT の二次差電流がこの補助飽和変流器を通じて動作要素を付勢することになる。それゆえ CA-6 形継電器は一種の比率差動継電器であり、補助飽和変流器のため故障電流が大きいばあいに自動的に感度が低下する飽和比率差動特性をもつ。

CA-6 形比率差動継電器の動作特性は補助飽和変流器のタップと抑制回路の接続によって決定される。補助飽和変流器には 12-19-25-38 の4タップがある。このタップ値は三つの抑制コイルにそれぞれ  $\frac{100}{3}$  A の電流が和動的に流れたときに発生する全抑制力とつりあい接点を閉じるに要する最小の動作電流の概略値をしめすものである。

CA-6 形継電器はその特性上動作特性をひとつの比率

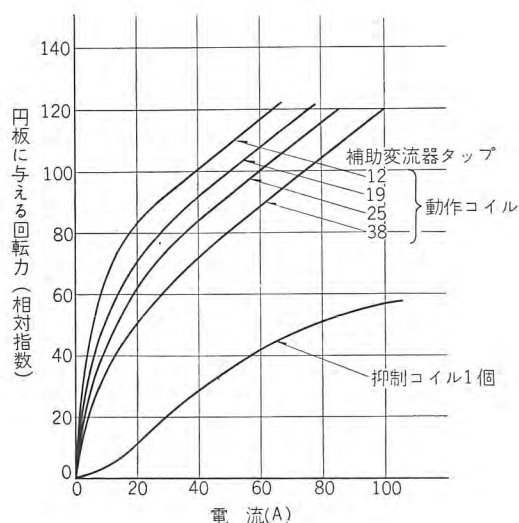


図 2.3 CA-6 形比率差動継電器  
大入力時の各コイルの円板に与える回転力特性の一例  
Fig. 2.3 Typical torque characteristics of type  
CA-6 ratio differential relay.

注意：動作コイルの曲線は補助変流器の入力電流で示したものである

差動特性としめすことができないので、各要素の動作力や抑制力は相対数字でしめされる。それを図2.3にしめす。これによれば、タップ値の動作電流による動作力は70で、これにバランスする抑制電流は、三つのコイルに割れば  $\frac{70}{3} = 23.3$  のトルクを出す電流つまり  $\frac{100}{3}$  A であることがわかる。

CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式・森

### 3. 特 長

#### 3.1 特長の要約

CA-6 形比率差動継電器の特長を要約すればつぎのようになる。

- (1) 差動回路のインピーダンスを大きくとり CT 誤差電流の制限効果をもたせている。しかも飽和変流器のおかげで大きな内部事故でも問題がない。
- (2) 故障電流の流れ方で動作比率がことなる可変比率差動特性をもつから、内部事故で動作力が大きく、外部事故では抑制力を大きくすることができる。
- (3) 飽和変流器をもちいているので、小さな故障電流では感度が高く、大きな故障電流では動作比率が低下する飽和比率差動特性をもつ。
- (4) 飽和変流器をもちいているため直流分に対し感度が低下する特性となっている。また誘導円板形要素であるから、この点からも直流分には安定である。
- (5) 抑制コイルの CT 負担が小さく、CT 特性の低下を防いでいる。
- (6) 抑制コイルがそれぞれ独立しているから、抑制に関するかぎり CT 変成比がことなるばあいでも適用可能である。
- (7) 内部事故に対しては 50~150 ms (平均 70 ms) で瞬時動作し、故障除去をおこなわせる。
- (8) 構造が堅牢で保守が容易である。

#### 3.2 差動回路インピーダンス

母線端子の CT 二次回路を差動接続して母線を保護するのに、差動回路インピーダンスを各 CT 二次回路(差動回路をのぞく)インピーダンスよりもずっと大きくすれば、差動継電器の CT 過渡誤差による誤動作を防止する上に有効なことはあきらかである<sup>(3)</sup>。CA-6 形比率差動継電器は、この原理をとり入れて、一般に使用されている CT をもちいるという前提のもとに、その許容範囲内で差動回路インピーダンスをできるだけ大きくするように考慮されている。

一方大きな内部事故のときのように差動回路電流が非常に大きいときに CT が過度に飽和してしまわないためには、電流が大きいときに差動回路インピーダンスを適宜小さくすることがのぞましい。このような考慮から CA-6 形比率差動継電器は図3.1のように小入力時には  $10 \Omega$ 、大入力時には  $1 \Omega$  程度に変化する特性がえられている。



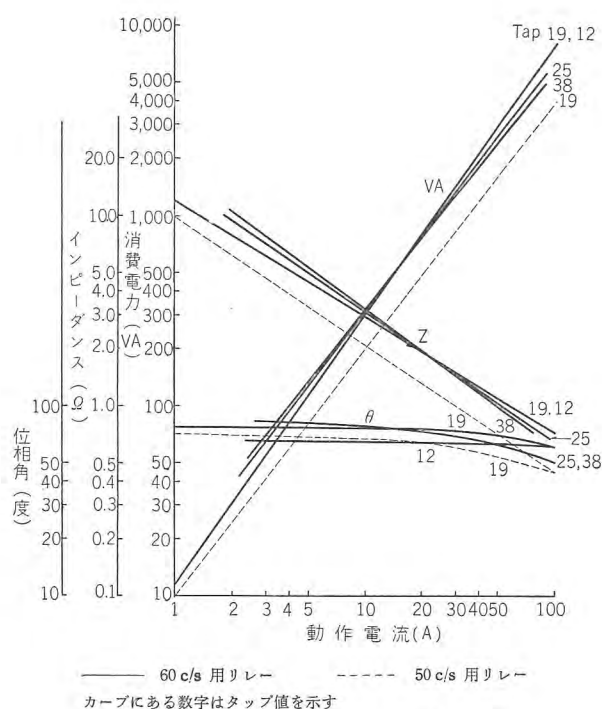


図 3.1 CA-6 形比率差動継電器差動回路インピーダンス特性

Fig. 3.1 Differential circuit current-impedance curves of type CA-6 ratio differential relay.

一方各 CT 二次回路インピーダンスは、小さいほど CT の動作をよくするから、極力小さくするように注意されなければならない。それには

CT 自体の二次コイル抵抗とインダクタンス

CT 二次導線抵抗

CA-6 形継電器以外のリレーとメータの負担

CA-6 形継電器の抑制コイルの負担

をそれぞれ最小にすることがのぞましい。CA-6 形継電器の抑制コイル自体は 5A で 3VA 以下であるから、その他の負担が過大とならないよう十分注意する必要がある。

### 3.3 可変比率差動特性

母線のある端子の CT の励磁特性があまり良くないときには内部事故で二次側に電流を流すことができず、他の CT から電流が逆流することがある。このような場合、一般比率差動継電器では差動回路を通過しない電流はすべて抑制力となることが多く、そのため逆流が大きいと抑制力のほうが動作力よりも大きくなって不動作となる心配がある。

これに対し CA-6 形継電器は三つの抑制要素をもち、そのおのおのに 2 個ずつ抑制コイルを巻いてあるが、この対になった抑制コイルに同極性の電流が流れるときには抑制力もその電流の和の関数として発生し、逆の方向

に流れるときには抑制力もその電流の差の関数として発生するようになっている。そして各抑制コイルは図 2.2 のようにおのおの別個に端子が出ているから、外部で自由に結線して条件の悪い外部故障ほど大きな抑制力がかかり、動作しにくい内部故障ほど小さな抑制力となるようにすることができる。これは母線保護の特異性に対してきわめて有効な機能である。

### 3.4 飽和比率差動特性

わが国のようにインピーダンス 接地系統が多いばあい、母線地絡保護にいつも苦慮するのであるが、その点 CA-6 形比率差動継電器は飽和比率差動特性をもっているのが有利である。もし高インピーダンス接地系統で地絡継電器を短絡継電器と別にして CT 残留回路に設置すると、たとえば三相短絡外部故障のとき 1 相だけの直流分が大きいのが普通であるから CT の飽和は三相平衡せず、どうしても大きな誤差電流が残留回路に流れやすいので、なんらかの地絡事故検出継電器と組み合わせることが必要になる。その点 CA-6 形継電器で地絡保護をかねることができるばあいは、地絡事故検出継電器が不要であり、装置も簡単になって母線保護が非常にらくになる。

CA-6 形比率差動継電器の最小動作は表 3.1 のように、高感度調整、中感度調整、低感度調整の 3 種類がある。変圧器保護のばあいを入れると 4 種類となる。これを仕様に応じて適当に選択して適用すればよい。

表 3.1 CA-6 形比率差動継電器最小動作調整範囲表

| 呼 称       | 最 小 動 作 値                         |
|-----------|-----------------------------------|
| 高 感 度 調 整 | タップ 38 で $I_{OP}=0.2$ A           |
| 中 感 度 調 整 | タップ 19 で $I_{OP}=0.3\sim 0.7$ A   |
| 低 感 度 調 整 | タップ 19 で $I_{OP}=0.75\sim 1.25$ A |
| 変 圧 器 保 護 | タップ 19 で $I_{OP}=1.5\sim 2.5$ A   |

(注)  $I_{OP}$  は補助飽和変流器入力電流

### 3.5 飽和変流器

差動回路に使用された飽和変流器の効果は、すでにのべてきたように

- (1) 差動回路インピーダンスの調整
  - (2) 飽和比率差動特性
  - (3) 直流分をふくむ故障電流に対する感度低下
- の三つである。

母線端子 CT の一部が直流飽和をしたばあい、差動回路には半波整流波形の電流が流れる<sup>(3)</sup>。このような電流では補助飽和変流器が直流的に飽和して感度を低下する。

CA-6 形継電器を図 3.2 のように接続し、60 c/s, 120 c/s, 180 c/s, 半波整流波、全波整流波を印加したばあいの比率差動特性を図 3.3 にしめす。なおこのときの最小



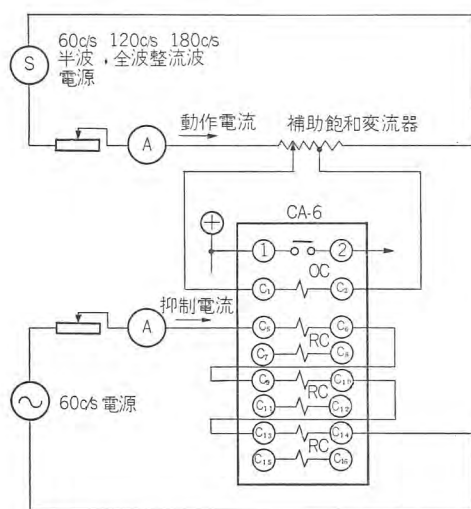


図 3.2 CA-6 形比率差動継電器動作特性試験回路例

Fig. 3.2 Testing circuit for Fig. 3.3.

動作整定は 0.7A である。このように整流波形に対しては動作値が下る。ただし図 3.3 で

もわかるように高調波に対しては動作値の低下はみられないから CT 飽和が定常化し異常に大きいようならば適用が困難である。

このようならば、すでに CT そのものが交流的にも過度に飽和しているのであるから、継電器とは結合できない性質のものである。その適用限界はつぎの章に記してある。

#### 4. 適用限界

##### 4.1 CT と事故電流からくる限界

CA-6 形継電器の適用限界のだいたいの目安はつぎのように要約できる。

- (1) 最大外部事故電流の交流分実効値が CT 二次で 100 A をこえないほうがよい。
- (2) 最大外部事故のとき、事故電流が直流分を含まないものとして、交流分 100 A に対する流出端 CT の二次励磁電流が 1 A をこえないこと。
- (3) 形式のちがう CT を用いるときは、おこりうるすべての外部事故についてよく吟味がなされていること。

以上に注意し、かつ CT についてさらに適当な注意をはらい、結線を誤らなければ必ず満足な結果が得られる。

なお CT の直流分による誤差は直流時定数によって異なるものであるから、故障電流の直流時定数の大きい発電所の母線保護のほうが問題が大きい。上記の適用基準は時定数 0.01 sec 以上の場合を対象としたものであ

CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式・森

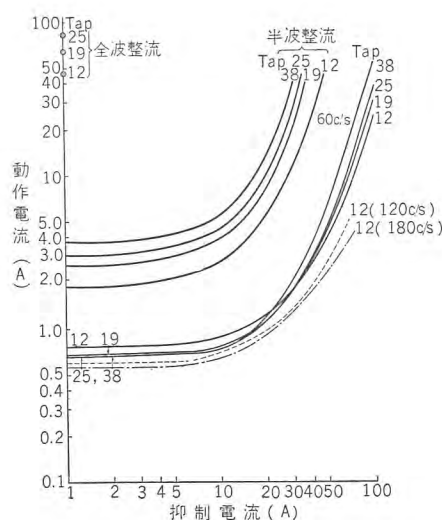


図 3.3 CA-6 形比率差動継電器の高調波および整流波電流に対する動作特性  
ただし 60 c/s 用リレー、最小動作 0.7 A 調整  
Fig. 3.3 Typical operating characteristics with sinusoidal wave form restraint and various kinds of differential current.

れを適用限界という立場から要約してみる。

限界をひとくちでいうには、まず端子束の概念をはっきりさせておかなければならない。

##### (1) 端子束の定義

端子束とは、つぎのような条件のとき、端子を束にして考えたものである。束とする仕方は実際に CT を並列に結合してしまうばあいと対となった抑制コイルをもちいるばあいと 2 種類の方法がある。それはつぎのような条件のとき可能である。

- a. 負荷やフィード端子の CT 二次側は束にして 1 端子とみなしてよい。すなわち抑制コイルの電流容量をこさないかぎり 1 端子束にまとめることができる。なお CA-6 形継電器の抑制コイルの連続電流容量は 10 A である。
- b. 電源のある端子でも、いつもどれかひとつしか使用されず、使用されないものは開路されるとき。
- c. どのようなばあいでも電流の差がゼロにならないような電源同志。
- d. 並行 2 回線で、その並行回線だけで運転されることなく、他にすくなくとももうひとつの電源のあるとき。

このようなとき、端子を束として割り切ることができれば、CA-6 形比率差動継電器が使用できないはずの 9 端子以上の母線の保護が可能となる。あるいは厳密な条件で 1 相あたり 2 個の継電器を要する端子数 5 以上の母線保護が、実際には 1 相あたり 1 個の継電器ですむこと

て、受電端変電所のよ

うに時定数が 0.01 sec 以下のときには上記 (2) の条件をもっとゆるめてよい。またその程度の時定数ならば直流分の存在を無視しても大過はない。

#### 4.2 端子数と端子の性格による限界

CA-6 形比率差動継電器の抑制コイルは、六つしかないから、これを適用できる母線の端子数にはおのずから一定の限界がある。そ



になる。実際に母線保護に直面すると、以上の条件に適合し束として考える端子がたくさんあって、1相あたり2個の継電器を使用することはほとんどないといえることがわかる。

## (2) 限界

### a. 端子束4以下のばあい

あい：— 1相あたり1個のCA-6形継電器で保護ができる。

なお端子束2のときは姉妹品であるCA-5形比率差動継電器をもちいれ

### b. 端子束5ないし8のばあい：— 1相あたり2個のCA-6形差動継電器で保護できる。

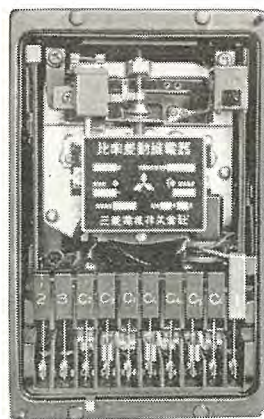


図 4.1 CA-5 形比率差動継電器

Fig. 4.1 Type CA-5 ratio differential relay for two terminal circuit differential protection.

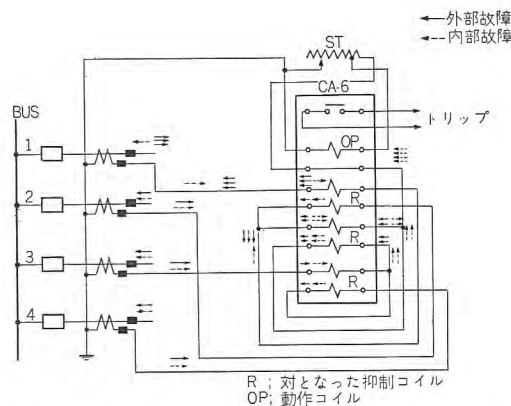


図 5.2 CA-6 形継電器 1 個によって 4 端子 (束) 母線の保護を行なうばあいの外部接続図 (裏面図, 1 相分)

Fig. 5.2 An example of one type CA-6 relay application for the protection of a four circuit bus.

このばあいも図 5.2 のような接続さえ知っておればよい。図 5.2 の原理を理解していただくために外部事故のばあいを実線の矢印、内部事故のばあいを破線でしめしてみる。

まず 1 号端子の外部事故のばあい、矢印ひとつを単位 1 とすると、いちばん上の抑制要素では合計 4、2 番目の抑制要素でも合計 4、いちばん下の抑制要素では対となったコイルの電流が逆極性のため差し引きゼロ、結局総計 8 の抑制電流に相当した抑制力がえられる。これはどの端子に外部事故がおこっても同じことである。

また 1 号端子と 2 号端子だけがあるとき、1 号端子に外部事故があり、単位電流が流れたとすると、いちばん上の抑制要素で 2、その他はゼロで、結局総計 2 の抑制電流が抑制力を出す計算である。このように図 5.2 の結線ではいかなる端子開閉でも、電源状態でも、いつも外部事故では抑制力がある。

一方図で破線の矢印でしめた内部事故時、いちばん上の抑制要素では抑制電流は差し引きゼロの抑制力、2

## 5. 結 線

母線端子を 4 項にのべたように束にして考えれば、保護ができるかできないか一応目安がつく。一応目安がついたところで具体的にどのように CA-6 形継電器を外部接続するか考えなければならない。ここでその考え方をあまりくわしく説明することはいたずらに煩雑にするだけとおもうので、適当な例を接続図でしめしてこれに簡単な説明を補足することによってだいたいを理解していただくとおもう。

### (1) 端子数 (束) 3 のばあい

このばあいは簡単明了であって図 5.1 のように接続すればよい。

### (2) 端子数 (束) 4 のばあい

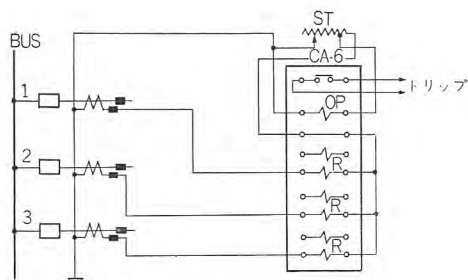


図 5.1 CA-6 形継電器 1 個によって 3 端子 (束) 母線の保護を行なうばあいの外部接続図 (裏面図, 1 相分)

Fig. 5.1 An example of one type CA-6 relay application for the protection of a three circuit bus.

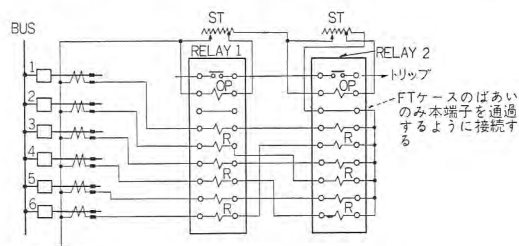


図 5.3 CA-6 形継電器 2 個によって 6 端子 (束) 母線の保護を行なうばあいの外部接続図 (裏面図, 1 相分)

Fig. 5.3 An example of two CA-6 relay application for the protection of a six circuit bus.



番目の抑制要素も同じくゼロ、3番目の抑制要素もゼロ、全体として抑制力はまったくない。ゆえに継電器は動作力だけを受け、最良の条件で動作することになる。

### (3) 端子数(束)6のばあい

図5.2は端子状態のあらゆる条件に対し適合する回路である。これと同等の条件を端子数(束)6のばあいにみたすには図5.3のように1相あたり2個のCA-6形継電器が必要である。

図5.3ではいかなる外部事故でも、どちらかの継電器が完全に抑制されて不動作となるようになっている。

しかしこの6端子(束)のうち、2組の端子を束にできれば、図5.2の結線を利用してよいことになり、1相あたり1個の継電器を省略できる。

また別の束の仕方でも図5.4や図5.5のような適用法もなりたつ。またこのほかにも接続はいくつも考えられる。

### (4) 端子数(束)8のばあい

図5.6は、図5.3と同様8端子(束)母線であらゆる

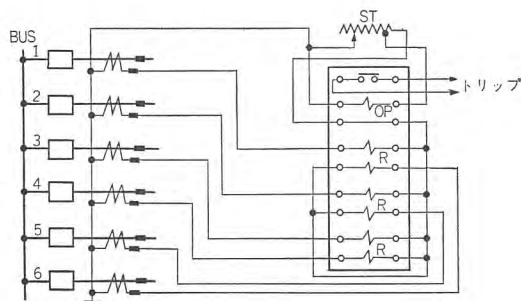


図 5.4 CA-6 形継電器 1 個によって 6 端子(束)母線の保護を行なうばあいの外部接続図例(裏面図, 1 相分)  
接続端子(束) 大きい電源の順に 1, 2, 3, 4, 純負荷……5, 6

Fig. 5.4 An example of one type CA-6 relay application for the protection of a six circuit bus.

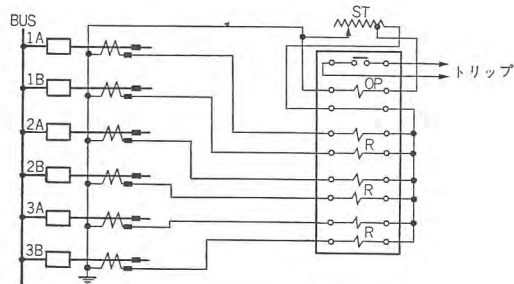
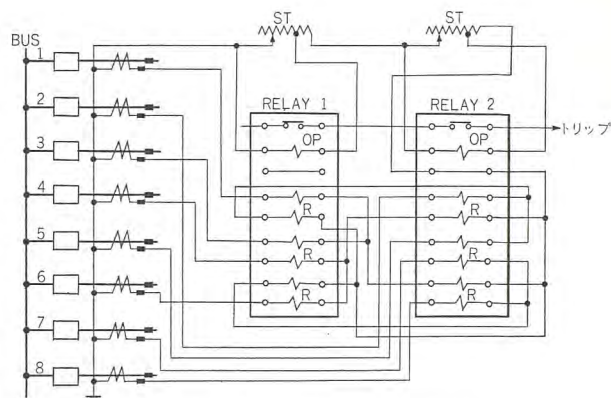


図 5.5 CA-6 形継電器 1 個によって電源をもつ 3 並行 2 回線を有する母線の保護を行なうばあいの外部接続図例(裏面図, 1 相分)

1A と 1B, 2A と 2B, 3A と 3B, が各並行回線条件; どれか 1 並行回線だけが残ることはないこと。  
OP: 動作コイル  
R: 対となった抑制コイル

Fig. 5.5 An example of one type CA-6 relay application for the protection of a three parallel transmission circuit bus.

CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式・森



R: 対となった抑制コイル OP: 動作コイル

ST: 補助飽和変流器

接続を支配する原則

1. 各母線接続端子(束)の CT 二次電流は必ず 2 個の抑制コイルを励磁する。
2. 各抑制要素は 2 個の抑制コイルを対にして有す。
3. 上の抑制コイルの対はどれをとっても同じ接続端子束の対で励磁されない。

図 5.6 CA-6 形継電器 2 個によって 8 端子(束)母線の保護を行なうばあいの外部接続図例(裏面図, 1 相分)

Fig. 5.6 An example of two type CA-6 relay application for the protection of a eight circuit bus.

条件で保護ができる結線である。この各端子の特殊性を分析すると、1 相あたり 1 個の継電器を省略できることは、図 5.4 や図 5.5 で例示したとおりであって、これは容易におわかりいただけるとおもう。

## 6. 二重母線保護

### 6.1 選択母線保護方式

二重母線で事故母線を選択シャ断する継電方式としては、選択母線保護方式と分割母線保護方式の 2 種類がある<sup>(3)</sup>。

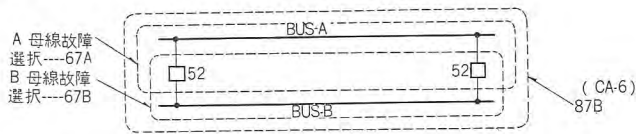
選択母線保護方式は、図 6.1 のように AB 2 母線があり、その間は母線分離用シャ断器(ブスタイシャ断器)により結合されているばあいに、母線の全端子の変成器出力によって動作する差動継電器 87B がまず母線内部事故を検出し、母線分離用シャ断器付設変成器出力を利用した A, B 母線を選択継電器 67A, 67B で事故母線を検出する方式である。

分割母線保護方式は、選択継電器を使用せず、A 母線保護用差動継電器と B 母線保護用差動継電器とを別におき、各端子の変成器二次回路を断路器操作とともに切換える方式である。

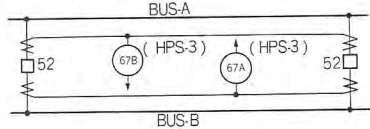
CA-6 形比率差動継電器は CT 二次電流によって直接駆動される継電器であるから、後者の分割母線保護方式では CT 二次回路を切換える装置が必要となるので不向きであるが、他方の選択母線保護方式は採用できる。普



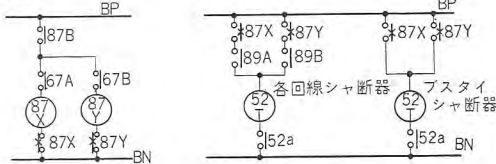
(a) 保護範囲図



(b) 選択継電器によるA B母線選択



(c) 制御回路



87B: 母線保護継電器 (CA-6) 87X, Y: 引はずし継電器  
67: 選択継電器 (HPS-3) 52: シャ断器  
89A: 各回線をA母線に接続する断路器の補助接点  
89B: 各回線をB母線に接続する断路器の補助接点

図 6.1 選択母線保護方式

Fig. 6.1 Selective double bus protective system.

通 CA-6 形継電器のばあい、A, B 母線選択用としては HPS-3 形電流方向継電器がもちいられる。

## 6.2 HPS-3 形電流方向継電器

HPS-3 形電流方向継電器は図 6.2 のように 3 個の誘導環形方向要素と補助変流器をひとつのリレーケースにおさめたものである。この各要素はそれぞれ R, S, T 相の母線選択用にもちいられる。HPS-3 形継電器は協調上調整を簡単にするために単方向接点形としているので、A 母線選択用と B 母線選択用と計 2 台の継電器で 1 組となる。

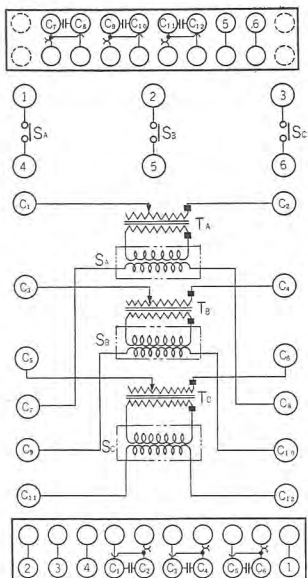


図 6.2 FT-HPS-3 形電流方向継電器内部接続図 (裏面図)

Fig. 6.2 Internal connection of type HPS-3 bus selective relay (rear view).

で、A 母線選択用と B 母線選択用と計 2 台の継電器で 1 組となる。

HPS-3 形電流方向継電器の原理は図 6.3 にしめしてある。HPS-3 形継電器要素のコイル 1 には、母線の全端子の CT 二次代数和電流  $I_D$  が導かれる。コイル 2 には、母線分離用シャ断器 52B に併設した CT から電流  $I'$  が導入される。コイル 1 とコイル 2 の電流が図のような極性で同相のとき要素には最大の動作力が発生し、これがバネによ

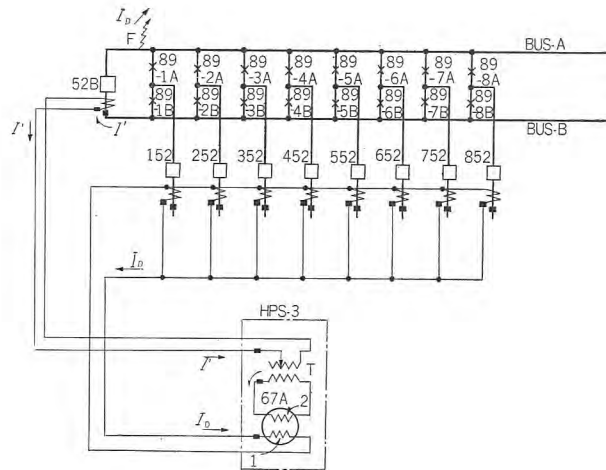


図 6.3 HPS-3 形電流方向継電器原理図 (矢印は A 母線内部事故時の電流をしめす)

Fig. 6.3 Principle of type HPS-3 bus selective relay.

る反抗回転力より大きいときは瞬時に動作する。一方逆相のときは抑制力となるから、完全に不動作である。

平常無故障時母線には負荷電流が流れている。母線分離用シャ断器 52B にも一方の母線から他方の母線に向かって電流が流れている。したがって電流  $I'$  はゼロではない。しかし母線内部に事故がないかぎり代数和電流  $I_D$  はゼロである。それゆえ HPS-3 形継電器は平常は動作していない。

外部事故が発生すると母線を大きな事故電流が通過する。そのため母線端子の CT 相互間に変成誤差ができて  $I_D$  がゼロでなくなるばあいがある。そのときたいい  $I'$  も流れているから、この誤差分としてでてきた  $I_D$  と同極性に  $I'$  が流入するほうの HPS-3 形継電器は動作する。しかし母線内部事故の有無を判別する主差動継電器 87B は、外部事故では動作しないので図 6.1 のように構成されている母線保護継電器トリップ回路は完成されず、全体としては問題なく不動作である。

母線内部事故のばあいはまず 87B が動作し、図 6.1 にもみられるように HPS-3 形継電器の接点回路を用意する。一方 HPS-3 形継電器には図 6.3 のように事故電流にひとしい代数和電流  $I_D$  と、事故母線へ流入する電流  $I'$  が流れるから、事故母線側を選択する HPS-3 形継電器は瞬時に動作し、自回路の引はずし継電器を動作させる。

HPS-3 形電流方向継電器は、このように基準電流として代数和電流  $I_D$  をもちいているため、電圧変成器が不要であり、電圧の要素をもちいてないため主差動継電器 87B との接点協調が容易であり、また電力方向継電



器のばあい必要である電圧記憶装置のような複雑な装置もいないなどの利点をもっているの、このような A, B 母線選択継電器としては最適のものといえる。

## 7. 変成比の異なる CT による母線保護

### 7.1 既設電気所の母線保護

母線保護では、かならず母線保護専用の変成器によって母線保護継電器を駆動することが原則である<sup>(3)</sup>。しかし新設の電気所ならともかく、既設の電気所で母線保護をするとすると、その電気所の規模や重要度によってはなんとか CT を新設しないで母線保護ができないものだろうかということになる。

既設の CT と CA-6 形比率差動継電器とを結合して保護ができるかできないかは、以下にのべるような条件がはっきりしておればだいたい推定はつく。

CT の形式

変成比

励磁特性

二次巻線抵抗

導線をふくむ二次負担の性質と大きさおよび接続

関係端子のフィードと電源の別

最大最小事故電流分布

もちろんこれに CT の鉄心断面積と巻数（巻線形のばあい）がわかればさらにはっきりするが、これはのぞむべくもあるまい。

このデータにもとづいて CA-6 形継電器適用の可否をしらべる方法はいくつかあるが、4.1 項の CT に関する適用限界が一応目安になろう。

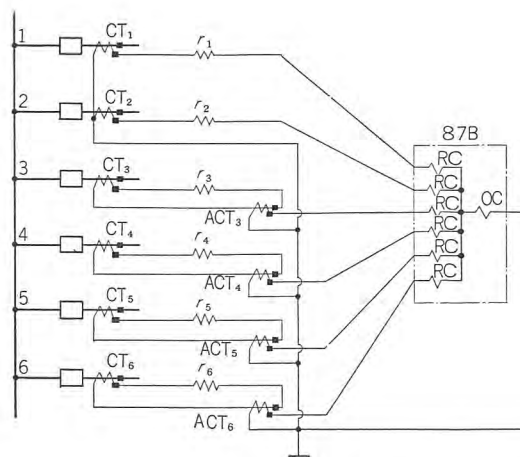
### 7.2 変成比の異なる CT による母線保護

既設の電気所で、既設の CT をもちいるばあい、CT の変成比が統一されていないばあいが多。変成比の異なる CT を差動継電器に結合するためには、ふつう図 7.1 のように補助 CT をもちいて変成比を統一して継電器にみちびくことがおこなわれる。

しかし、このように各 CT の二次回路に補助 CT を増設することは、つぎのような欠点がある。

- (1) 各 CT 二次回路負担を増大する。
- (2) 補助 CT として主 CT 負担をふやさず特性のよいものをつくることは非常にむずかしい。
- (3) したがって補助 CT の挿入により主 CT の変成誤差は大となり、さらに補助 CT の特性差も付加されるから、ますます外部事故時に継電器誤動作

CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式・森



87B: 差動継電器 RC: 同抑制コイル  
OC: 同動作コイル  $r_1 \dots r_6$ : 母線保護以外の CT 二次負担  
CT<sub>1</sub>...CT<sub>6</sub>: 主 CT (CT<sub>3</sub> 以下は変成比がちがう)  
ACT<sub>3</sub>...ACT<sub>6</sub>: 補助 CT

図 7.1 変成比の異なる既設 CT をもちいて母線を差動保護する方式 (例 1)

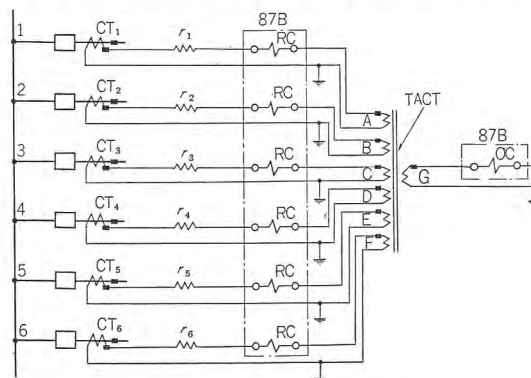
Fig. 7.1 Differential protection of bus with existing current transformers of different current ratio.

の可能性が増大する。

- (4) 変成比のちがう CT 回路に全部補助 CT を入れるとなると、補助 CT の数が多くなりコストが非常に高くなる。

CT の過渡特性相互誤差による差動電流は各 CT 二次インピーダンスが大きくかつ不均一なほど大きくなる。補助 CT は一般に平均数 VA の負担増加をあてるもので、とくに特性を向上するために鉄心を豊富に使い、サイズを大きくすれば、負担の軽減もそれだけ多くの努力をはらわなければならないことになる。良質の補助 CT とすればコストは非常に高価となる。

CA-6 形比率差動継電器で母線保護をおこなうばあい、



87B: 差動継電器 RC: 同抑制コイル  
OC: 同動作コイル  $r_1 \dots r_6$ : 母線保護以外の CT 二次負担  
CT<sub>1</sub>...CT<sub>6</sub>: 主 CT (変成比がちがう)  
TACT: 総合補助変流器

図 7.2 変成比の異なる既設 CT をもちいて母線を差動保護する方式 (例 2)

Fig. 7.2 Differential protection of bus with existing current transformers of different current ratio.



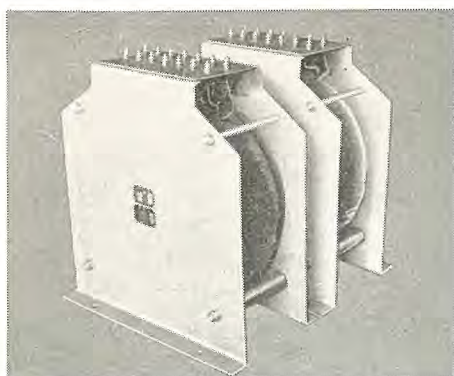


図 7.3 総合補助変流器の一例 (図 7.2 参照)  
(中国電力株式会社久田発電所納)

Fig. 7.3 Example of combined sub-current transformers.  
(TACT in Fig. 7.2)

図 7.2 の方式によれば図 7.1 の方式にみられるような欠陥は除くことができる。

すなわち CA-6 形継電器の抑制コイルは各個に独立しているので、図 7.2 のようにたがいに変成比のことなる CT 二次電流を直接導入してもなんらさしつかえがない。そして動作コイル回路だけのために総合補助変流器 TA CT をもちい変成比を統一すればよい。

総合補助変流器 TACT は、同一の鉄心に A, B, C, …… 以下全コイルを均等の分布で並列に巻いたもので、各コイルの巻数の比は主 CT 変成比の比に比例している。したがって常時負荷時や外部事故時には鉄心には磁束が発生せず、主 CT の負担にならない。一方内部事故のときには適当な電流を動作コイルに流す。動作コイル回路に接続する変流器のコイルは図 7.2 のばあい G コイルがいが当するが、このコイルと他のコイルの巻数比は継電器の動作比率が最適となるようにえらべばよい。図 7.3 はこの総合補助変流器の一例をしめすもので、これは中国電力株式会社久田発電所の母線保護に使用されている。

## 8. 久田発電所の母線保護方式

### 8.1 特 長

以上述べてきた CA-6 形比率差動継電器による母線保護のひとつの実施例として中国電力株式会社久田発電所のばあいを引用させていただくことにする。

本例はとくにつぎの 2 点に特長がある。

(1) CT の変成比のことなるばあいの例であること。  
(300/5, 150/5, 100/5 の 3 種類)

(2) わが国のように並行回線の多い系統での、CA-6 形継電器接続の好例であること。

### 8.2 保護条件

#### (1) 端子構成

この発電所は図 8.1 にしめすように、主変圧器 2 台と並行回線である久田送電線と羽出送電線各 2 本、合計 6 端子の単母線である。

#### (2) CT

CT は全部既設で、羽出送電線 CT は 150/5、久田送電線 CT は 300/5、主変側 CT は

100/5 となっている。励磁特性はたがいに相当な相違があった。

#### (3) 地絡保護

この系統は NGR 併用 PC 系統であるため、地絡保護は地絡電力方向継電器を別にもうけた。この部分はごくふつうの方式であるから説明は省略する。

### 8.3 抑制回路の接続

#### (1) 原 理

久田発電所のばあい、3 並行回線端子の母線とみなされるうえに、各並行回線に接続される電源の大きさが相当不平衡であることと CT 変成比がたがいにことなることが特別な条件となっているが、これは CA-6 形継電器の抑制コイルの接続からみるとむしろ有利な条件とみなされる。このような条件があれば、たとえば 6 端子母線でも 1 相あたり 1 個の継電器で保護ができると考えてよい。

そのばあい、CA-6 形継電器の抑制コイルの接続はかならずしも単一解ではなく、いくつか適当な解がありうる。とにかく原則としては、外部事故ではいつも抑制がかかるように、そして条件の悪い外部事故では抑制力もなるべく大となるように、また内部事故のときは抑制力もなるべく小となるように接続すればよい。

#### (2) 接続の組合わせ

図 8.1 のように各並行回線を A, B, C と名付ける。また CT 二次電流の極性は母線内部事故時を + とする。一方各抑制要素の二つあるコイルへの接続の極性は相対的なものであるから、一方のコイルはとにかく + とし、他方のコイルへの接続は前の接続に対し母線内部事故時にアンペアターンが和となるような極性としたときを +、逆のばあいを - とする。

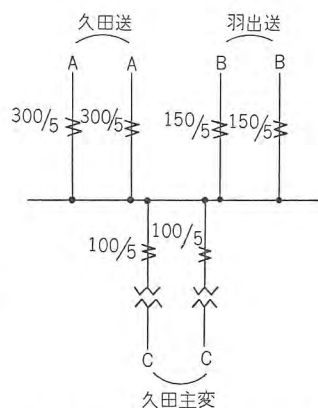


図 8.1 久田発電所 60 kV 母線端子構成

Fig. 8.1 60 kV bus terminal composition.



CA-6 形継電器の抑制コイルを図 8.2 のように端子記号の若い順

に左から右へならべてかく。図で〇〇のうち、〇はコイルを、〃は対となっていることをしめしている。

これに対し、まず A 回線の CT 二次電流の導入を考えると、図 8.2 のように三つの組合わせしかないはずである。同図の最初の配置  $\overset{\frown}{A}\overset{\frown}{O}$   $\overset{\frown}{A}\overset{\frown}{O}$   $\overset{\frown}{O}\overset{\frown}{O}$  は、ほかに  $\overset{\frown}{A}\overset{\frown}{O}$   $\overset{\frown}{O}\overset{\frown}{O}$   $\overset{\frown}{A}\overset{\frown}{O}$  などの配置もあるようにみえるが、これは単に抑制要素をかえただけのことで、抑制の効果はあらゆる電流分布に対して同等であるから考えないでよい。以下 B 回線、C 回線について配置の組合わせを考慮すれば、全部で 34 通りのたがいに同等でない接続がある。

このうち、CT 比がこととならなければ、すでに図 5.5 で例としてあげているように接続  $\overset{\frown}{A}\overset{\frown}{A}$   $\overset{\frown}{B}\overset{\frown}{B}$   $\overset{\frown}{C}\overset{\frown}{C}$  が、実用できることはわかっている。しかし、久田発電所のばあいは CT 比がことなるので、念のため各事故条件での抑制力を比較検討した結果を紹介する。

### (3) 等価抑制電流和

継電器の抑制コイルの電流を  $I_1, I_2, \dots, I_6$  としたとき、下式のような和をとったものを等価抑制電流和  $I_r$  と名付ける。

$$I_r = (I_1 \pm I_2) + (I_3 \pm I_4) + (I_5 \pm I_6) \quad \dots\dots\dots (8.1)$$

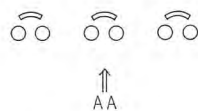
ただし ( ) の中は、それぞれ対になったコイルの電流で、 $I_2, I_4, I_6$  の極性は  $I_1, I_3, I_5$  のアンペアターンと和のアンペアターンをあたえるときを +、差のアンペアターンをあたえるときを - とする。

抑制電流と抑制力とには、実際は図 2.3 のようにだいたい直線的な関係がある。それゆえ  $T_r$  は下記のようにあらわすことができる。

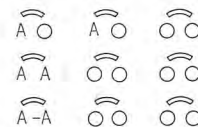
$$T_r = K_r I_r \quad \dots\dots\dots (8.2)$$

ただし  $K_r$  は常数

またこの  $T_r$  に平衡する動作力  $T_{op}$  をあたえるような電流  $I_{op}$  も図 2.3 から求めることができる。この  $I_{op}$  が継電器を誤動作させるに必要な最小誤差電流の概略予想値である。等価抑制電流和  $I_r$  が大きければ大きいほど、



(a) 二つの A を六つの抑制コイルに割り当てる (ただし各対同志は同等)



(b) 結果は上の 3 種類しかない

図 8.2 並行回線の CA-6 形継電器への接続法

Fig. 8.2 Connection to type CA-6 relay of a three parallel circuit bus.

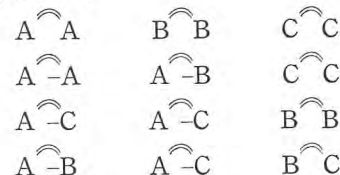
動作電流  $I_{op}$  は飽和変流器のおかげで直線的以上に大きくなる。継電器の安全度は、この  $I_r$  あるいは  $I_{op}$ 、およびこれらの比

$$\eta = \frac{I_{op}}{I_r} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (8.3)$$

によって比較できる。この  $\eta$  は等価動作比率とよぶ。

表 8.1 は (2) でしめした 34 とおりの抑制コイルの接続に対し、図 8.3 のような 6 種類の最大外部事故を想定して、これらの事故における等価抑制電流和を算出したものである。

表 8.1 からどの故障電流分布でも  $I_r \geq 40A$  以上となるものを選び出せば、



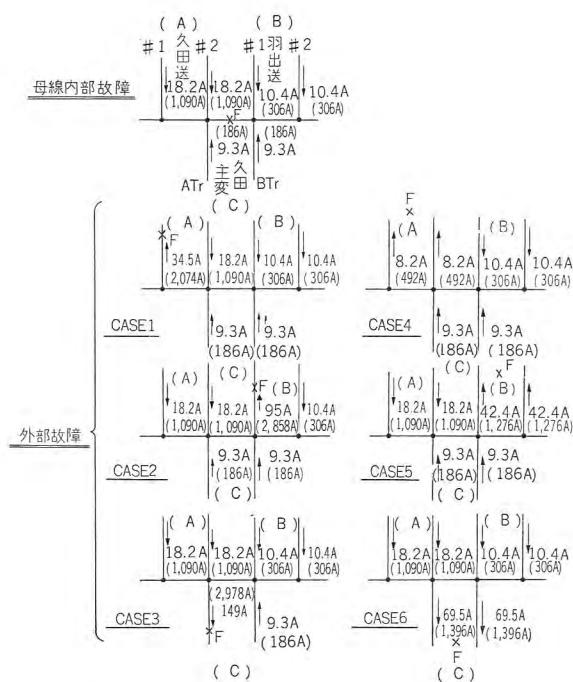
の四つの接続だけとなる。このなかから  $\overset{\frown}{A}\overset{\frown}{A}$   $\overset{\frown}{B}\overset{\frown}{B}$   $\overset{\frown}{C}\overset{\frown}{C}$  がもっとも単純な接続であり、いちばん電流の不平衡な CASE 3 と CASE 6 で  $I_r$  が大きく、その他の各種内外

表 8.1 CA-6 形継電器外部接続と等価抑制電流和の関係

| 番号 | 抑制コイル |    |   |    |   |    | 最大外部三相短絡時等価抑制電流和 $I_r$ (A) |        |        |        |        |        | 類別 |
|----|-------|----|---|----|---|----|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|    | ①     | ②  | ③ | ④  | ⑤ | ⑥  | CASE 1                     | CASE 2 | CASE 3 | CASE 4 | CASE 5 | CASE 6 |    |
| 1  | A     | A  | B | B  | C | C  | 55.7                       | 139.6  | 196.9  | 55.8   | 139.8  | 196.2  | ○  |
| 2  | A     | A  | B | B  | C | -C | 37.1                       | 121.0  | 215.5  | 37.2   | 121.2  | 57.2   | △  |
| 3  | A     | A  | B | -B | C | C  | 34.9                       | 160.4  | 176.1  | 35.0   | 55.0   | 175.4  | △  |
| 4  | A     | A  | B | -B | C | -C | 16.3                       | 141.8  | 194.7  | 16.4   | 36.4   | 36.4   | ×  |
| 5  | A     | -A | B | B  | C | C  | 92.1                       | 103.2  | 160.5  | 39.4   | 103.4  | 159.8  | △  |
| 6  | A     | -A | B | B  | C | -C | 73.5                       | 84.6   | 179.1  | 20.8   | 84.8   | 20.8   | ×  |
| 7  | A     | -A | B | -B | C | C  | 71.3                       | 124.0  | 139.7  | 18.3   | 18.3   | 139.0  | ×  |
| 8  | A     | -A | B | -B | C | -C | 52.7                       | 105.4  | 158.3  | 0      | 0      | 0      | ×  |
| 9  | A     | A  | B | C  | B | C  | 55.7                       | 141.8  | 194.7  | 55.8   | 102.6  | 154.6  | △  |
| 10 | A     | A  | B | C  | B | -C | 52.7                       | 123.2  | 176.1  | 37.2   | 121.2  | 175.4  | △  |
| 11 | A     | A  | B | -C | B | -C | 31.9                       | 141.8  | 196.9  | 18.6   | 139.8  | 196.2  | ×  |
| 12 | A     | -A | B | C  | B | C  | 109.9                      | 105.4  | 158.3  | 39.4   | 66.2   | 118.2  | △  |
| 13 | A     | -A | B | C  | B | -C | 89.1                       | 86.7   | 139.7  | 20.8   | 84.8   | 139.0  | ×  |
| 14 | A     | -A | B | -C | B | -C | 68.3                       | 105.4  | 160.5  | 2.2    | 103.4  | 159.8  | ×  |
| 15 | A     | B  | A | B  | C | C  | 71.3                       | 124.0  | 196.9  | 23.0   | 67.0   | 196.2  | ×  |
| 16 | A     | B  | A | B  | C | -C | 52.7                       | 105.4  | 215.5  | 4.4    | 48.4   | 57.2   | ×  |
| 17 | A     | B  | A | -B | C | C  | 50.5                       | 103.2  | 176.1  | 39.4   | 103.4  | 175.4  | △  |
| 18 | A     | B  | A | -B | C | -C | 31.9                       | 84.6   | 194.7  | 20.8   | 84.8   | 36.4   | ×  |
| 19 | A     | -B | A | -B | C | C  | 71.3                       | 139.6  | 155.3  | 55.8   | 139.8  | 154.6  | ○  |
| 20 | A     | -B | A | -B | C | -C | 52.7                       | 121.0  | 173.9  | 37.2   | 121.2  | 15.6   | △  |
| 21 | A     | C  | A | C  | B | B  | 73.1                       | 160.4  | 179.1  | 22.6   | 139.8  | 123.4  | ×  |
| 22 | A     | C  | A | C  | B | -B | 52.7                       | 129.6  | 158.3  | 1.8    | 55.0   | 102.6  | ×  |
| 23 | A     | C  | A | -C | B | B  | 55.5                       | 141.8  | 160.5  | 39.4   | 121.2  | 159.8  | △  |
| 24 | A     | C  | A | -C | B | -B | 35.1                       | 111.0  | 139.7  | 18.4   | 36.4   | 139.0  | ×  |
| 25 | A     | -C | A | -C | B | B  | 74.1                       | 123.2  | 196.9  | 55.8   | 102.6  | 196.2  | ○  |
| 26 | A     | -C | A | -C | B | -B | 53.7                       | 92.4   | 176.1  | 35.0   | 17.8   | 175.4  | ×  |
| 27 | A     | B  | A | C  | B | C  | 71.3                       | 124.0  | 179.1  | 23.0   | 84.8   | 139.2  | ×  |
| 28 | A     | B  | A | C  | B | -C | 52.7                       | 105.4  | 160.5  | 4.4    | 103.4  | 159.8  | ×  |
| 29 | A     | B  | A | -C | B | C  | 52.7                       | 105.4  | 215.5  | 39.4   | 66.2   | 175.6  | △  |
| 30 | A     | B  | A | -C | B | -C | 34.1                       | 86.8   | 196.9  | 20.8   | 84.8   | 196.2  | ×  |
| 31 | A     | -B | A | C  | B | C  | 92.7                       | 160.4  | 158.3  | 39.4   | 121.2  | 118.4  | △  |
| 32 | A     | -B | A | C  | B | -C | 73.5                       | 141.8  | 139.7  | 20.8   | 139.8  | 139.0  | ×  |
| 33 | A     | -B | A | -C | B | C  | 73.5                       | 140.7  | 194.7  | 55.8   | 102.6  | 154.8  | ○  |
| 34 | A     | -B | A | -C | B | -C | 54.9                       | 123.2  | 176.1  | 37.2   | 121.2  | 175.4  | ×  |

×  $I_r < 30$  のケースがあるもの。  
△  $I_r < 40$  のケースがあるもの。  
○ 全部  $I_r \geq 40$  のもの。





CASE 1, 2, 3 は CT のすぐ外側に故障ある場合  
CASE 4, 5, 6 は各並行回線区間の外側で最近端に故障がおこった場合  
( ) の中の電流値は CT 一次側の電流値である

図 8.3 最大三相短絡故障電流分布 (CT 二次側換算)

Fig. 8.3 Current distributions of max. 3 phase short-circuit faults.

部事故のばあいも動作または不動作条件がよいので、結局これを採用することとした。

なお、この  $\widehat{AA} \widehat{BB} \widehat{CC}$  の接続はある並行回線だけが母線に接続され、他の回線は全部オフのとき、接続されている回線の一方に外部事故がおこれば抑制はゼロとなり、CT 誤差で誤動作するおそれがあるが、このような条件はきわめてまれでありまた実害もないので無視している。

## 8.4 実施と結果

### (1) 方式

以上のような吟味により決定された実施接続を図 8.4 にしめす。

### (2) 総合補助変流器

外観はすでに図 7.3 にしめした。巻線は図 8.4 のように A, B, C, ..., G と名付けるとき、その順で

$$5 + 5 + 10 + 10 + 15 + 15 / 5 \text{ A}$$

となっている。

すなわち A 巻線に 5 A をながし、B, C, D, E, F 巻線を開放したとき、G 巻線に 5 A が流れる。B 巻線だけ 5 A のばあいも同じである。C 巻線に 5 A をながし、

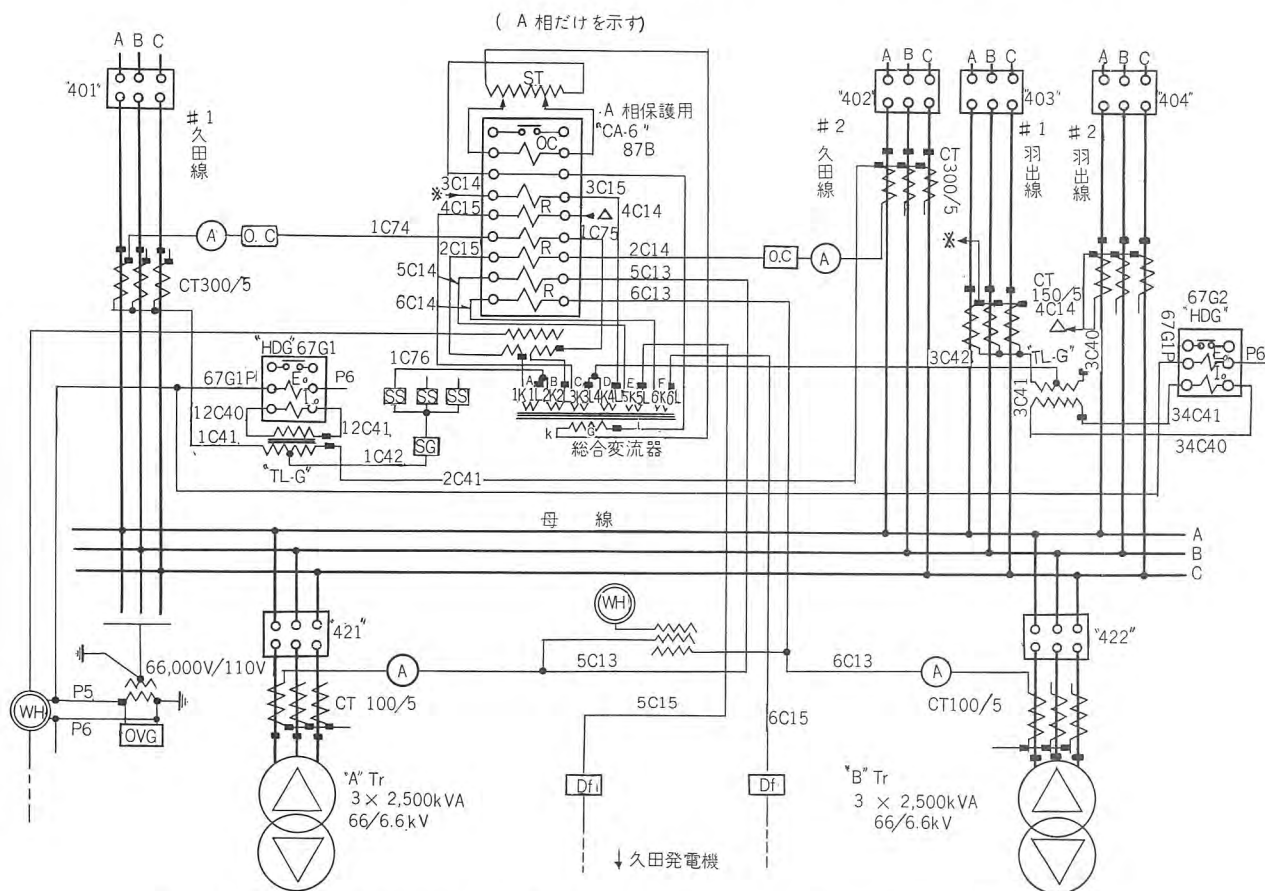


図 8.4 中国電力株式会社久田発電所 CA-6 形継電器および HDG 形継電器による母線保護方式

Fig. 8.4 Bus protection with type CA-6 relay and type HDG relay.



A, B, D, E, F 巻線を開放したとき, G巻線に 5/2 A が流れる. また D 巻線だけ 5 A のばあいも同じである. E 巻線に 5 A をながし, A, B, C, D, F 巻線を開放したとき, G 巻線に 5/3 A が流れる. また F 巻線だけ 5 A のばあいも同じである.

巻線インピーダンスはもちろん最小限とし, 直流抵抗も各巻線とも 0.04 Ω 以下となっている.

### (3) 最小内部事故と G 巻線

最小内部事故としては, 羽出送と久田送オフで久田発だけのときであるとさだめる. このときの最小 CT 一次電流は 93 A, 100/5 A, CT 二次換算, 4.65 A である. これを総合変流器の G 巻線側に換算すれば

$$4.65 \times \frac{1}{3} = 1.55 \text{ A} \dots\dots\dots(8.4)$$

である.

このときの G 巻線負担は約 8 Ω であるから, 負担電圧は G 巻線側で約 12 V となる. したがって A, B 巻線には約 12 V, C, D 巻線には約 6 V, E, F 巻線には約 4 V の電圧が発生する. これに対する各 CT の励磁電流分をいくら大きく見積っても 0.2 A 以下であるので, 少なくとも 1.36 A は継電器動作コイルに流れる. これなら最小動作値を 0.7 A とすれば十分保護は可能である.

図 8.5 は工場における模擬試験の結果で, CA-6 形継電器はタップ 12 のときで 7.6 c/s (60 c/c ベース) で動作している.

以上はまったく特殊条件であって全端子閉入時の最小電源状態での内部事故時の動作状況を図 8.6 にしめす. このばあい, CA-6 形継電器 3.0 c/s で動作している.

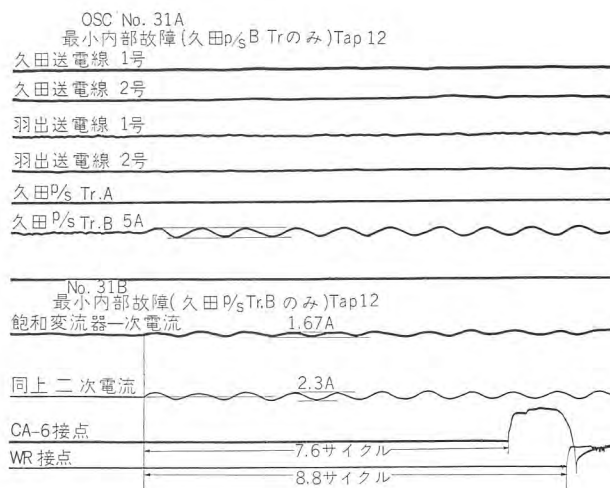


図 8.5 最小動作条件における CA-6 形比率差動継電器の動作状況例 (久田主変 1 台だけイン)

Fig. 8.5 Oscillogram of the operation of type CA-6 ratio differential relay in the minimum operating condition.

CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式・森

このほか各種の電流分布で厳密なる試験をおこなった結果, 内部事故ではつねに十分な速度で動作することが確認されている.

### (4) 外部事故

外部事故時の電流分布による模擬試験として, 各種の試験をおこなったが, その結果を一部参考までに掲げておく. 結果はもちろん不動作で問題にはならない. すなわち図 8.7 は図 8.3 の CASE 1, 図 8.8 は CASE 2, 図 8.9 は CASE 3 の試験である.

## 9. む す び

以上 CA-6 形比率差動継電器の概要を紹介した. 最近母線保護継電方式が各方面において次第に重要視されはじめ, CA-6 形比率差動継電器の応用される機会も次第

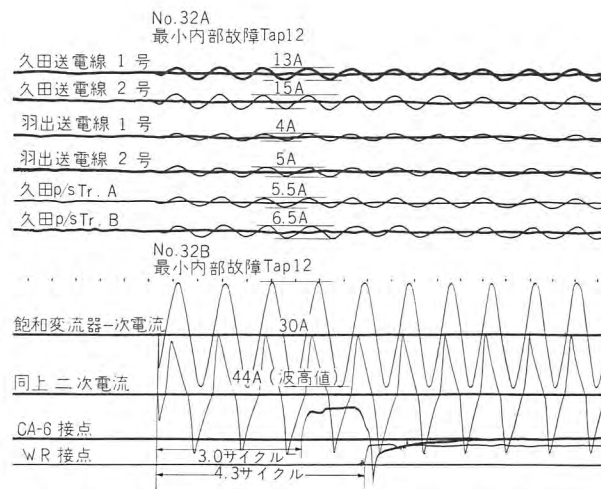


図 8.6 最小内部事故 (全系イン) の条件での CA-6 形比率差動継電器の動作状況例

Fig. 8.6 Oscillogram of the operation of type CA-6 ratio differential relay in the minimum operating condition.

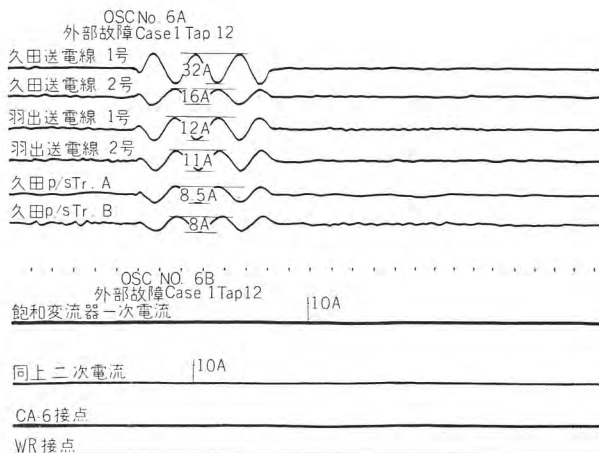


図 8.7 外部故障試験オシログラム例 (図 8.3 CASE 1)

Fig. 8.7 Oscillogram of external fault test.



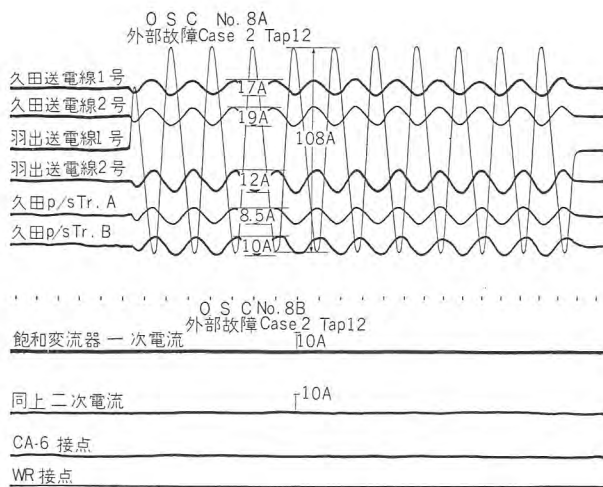


図 8.8 外部故障試験オシログラム例  
(図 8.3 CASE 2)

Fig. 8.8 Oscillogram of external fault test.

に増加しつつあることはまことによこばしい限りである。なお、本文においては、CA-6 形比率差動継電器の好応用例として、中国電力株式会社久田発電所の保護方式にもふれさせていただいたが、これの実施にあたってご指導ご協力をいただいた中国電力株式会社関係者各位に対し深甚なる感謝と敬意を表するものである。

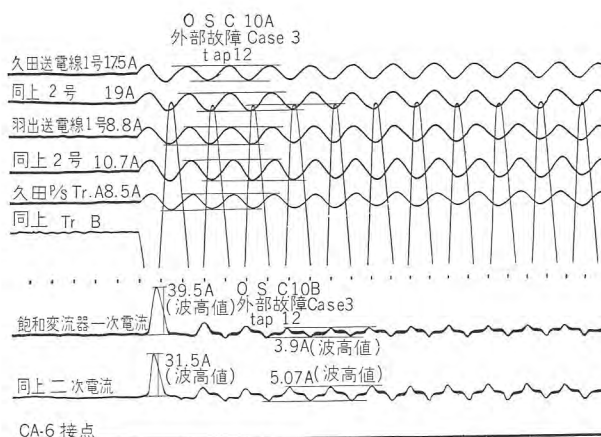


図 8.9 外部故障試験オシログラム例  
(図 8.3 CASE 3)

Fig. 8.9 Oscillogram of external fault test.

#### 参考文献

- (1) Current Transformer Excitation Under Transit Conditions, D.E. Marshall and P.O. Langguth, AIEE Trans. (1929), p. 1464
- (2) Consideration in Applying Ratio Differential Relays for Bus Protection, R.M. Smith, N.K. Sonnemann, G.B. Dodds, AIEE Trans. (1939), p. 243
- (3) 森:「三菱電機」32, No. 9 臨時増刊 技術解説「母線保護方式」



## 特許と新案

### 交流発電機の界磁装置

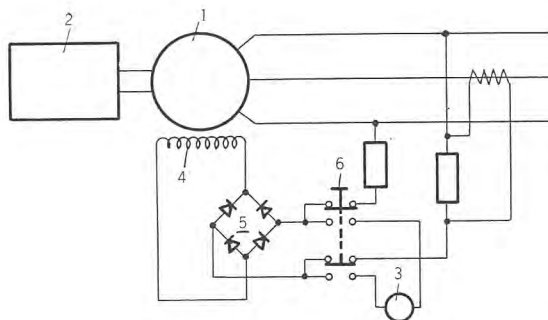
考案者 杉山昌司・町野康男

自励式交流発電機の初期励磁を行なうのに発電機残留磁気を使用することが広く行なわれているが、発電機を製作する場合残留磁気を大きくするには設計上の特別の考慮を要し、また製造価格が高くなりしかもこの残留磁気は経年により減衰するため、発電機の初期励磁を長期にわたって確保することが困難である。

そこでこの考案は発電機(1)を駆動する内燃機関(2)に付属する着火用磁石発電機(3)を利用し上記欠点を補ったものである。すなわち発電機(1)の端子電圧に比例する電流と負荷電流に比例する電流とを重畳し、発電機界磁巻線(4)を付勢する全波整流器(5)の入力側に切換開閉器(6)を介し内燃機関の着火用磁石発電機(3)を接続する。この磁石発電機(3)は発電機(1)の初期励磁を行なうときにだけ切換開閉器(6)の短時間閉成により界磁巻線(4)を付勢するもので、常時は界磁巻線(4)から切り離されている。

したがってこの案によれば発電機の製作を行なうのに残留磁気を大きくするための考慮は不要となり、また磁石発電機

は内燃機関の着火用のものを利用するので発電機初期励磁用としてなら特別に補助電源を設ける必要もなく、さらにこの磁石発電機は短時間だけ初期励磁に利用されるものであるから格別に出力量の大きいものを必要としないなどの利点を有する。(実用新案登録第 479630 号) (山田記)





# ダイヤパワー発動発電機

名古屋製作所 杉山昌司\*・町野康男\*

## Diapower Gasoline-Engine Generators

Nagoya Works Masashi SUGIYAMA・Yasuo MACHINO

It has been a public desire to have small, portable engine-driven generators of good voltage characteristic. In answering to it, new products with a trade name of "Diapower" have been completed by the cooperation of the Mitsubishi Heavy Industry Co. Reorganized and introduced to the market. They are small sized and light, yet deliver high power. The alternating current voltage thus generated is automatically regulated without on voltage regulator through a self-excited compound winding having high speed response. Their extensive applications are promised in the fields of regular and portable use.

### 1. ま え が き

ガソリンエンジンと交流発電機とを組合わせた小形発動発電機は、従来より独立した発電設備または予備電源用として広く製作されてきたが、ガソリンエンジンの小形軽量で高出力の得られるものができ、かつ交流発電機は自動電圧調整器をもたないで自動電圧調整ができ、速応性の高い自励複巻式の出現とあいまって、ここに小形高性能な発動発電機ユニットが完成されるにいたった。当社では新三菱重工業株式会社と協力し、ダイヤパワーなる商品名のもとに優秀なる発電ユニットを標準化することができたので、本文にてその概要ならびに性能について紹介する。

### 2. 概 要

#### 2.1 構 成

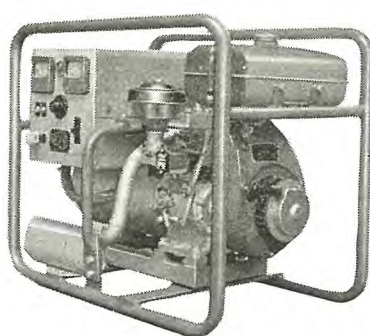


図 2.1 (a) DP-1形 1kW ダイヤパワー発動発電機

Fig. 2.1 (a) DIAPOWER gasoline engine generator



図 2.1 (b) DP-2形 2kW ダイヤパワー発動発電機

Fig. 2.1 (b) DIAPOWER gasoline engine generator.

ダイヤパワー発動発電機はガソリンエンジン駆動の交流発電機であって、図2.1に示されるとおり、いっさいの装置をパイプフレーム内に配置した可搬式発動発電機である。

エンジンは新三菱重工業株式会社製の三菱メイキガソリンエンジンで、これに交流発電機を共通台上に直結し、防振装置を介してパイプフレームに取付けられている。

発電機は自励複巻方式を採用した回転電機子形突極同期発電機であり、パイプフレームに直結された発電機盤内に、他の必要な計器器具とともに静止励磁器を収納している。

#### 2.2 回路方式

本機のような小形交流発電機の場合の電圧調整は、普通励磁機界磁抵抗の調整によるもので、特別の仕様によるほかは外形、重量あるいは価額などの点から自動電圧調整器を取付けることはない。そのため急激な負荷の

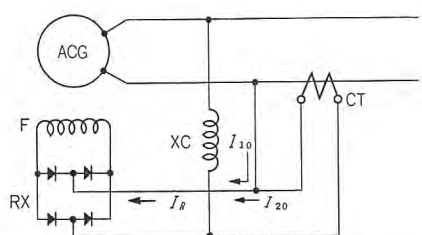
変動による端子電圧の変動は、同時に接続されている他の機器に悪影響を与えた。かかる難点に対し、自励複巻方式を採用した交流発電機は非常に好適で、瞬時の電圧変動はもちろんのこと、整定時の電圧変動も非常に少なく、小形交流発電機はもちろんのこと大容量のものまでもこの方式が採用され、船用、非常用、可搬式など多方面に利用されるようになった。

自励交流発電機の回路方式について



てはすでに本誌第 32 巻第 12 号,あるいは内外の各種文献に紹介されているので本稿においてはその詳細な説明は省略するが,図 2.2 に示されるとおり無負荷のとき,端子電圧を維持するに必要な励磁電流  $I_R$  は発電機の端子電圧より  $I_{10}$  として供給され,負荷時に同期リアクタンス降下を補償するに必要な励磁電流は変流器より  $I_{20}$  として供給されるものを標準回路方式としている。

ダイヤパワー発動発電機においてはさらにつぎの仕様を満足させるため種々の装置を付加している。



CT: 変流器 XC: リアクトル RX: 整流器

図 2.2 自励交流発電機説明図

Fig. 2.2 Schematic drawing of self-excited AC generator.

### (1) 起動時の電圧発生

自励交流発電機の電圧発生条件は自励直流発電機の場合と同様に,図 2.2 に示すとおり,リアクトル,変流器二次回路,整流器を含めた全体の界磁抵抗線の無負荷飽和曲線との関係において決定される。それゆえ磁極に炭素の多い鉄心材料を使用して残留磁気を大きくし,残留電圧を高くすれば Build up は非常に容易となり,エンジンの回転確立とほとんど同時に端子電圧も所定の値になる。しかしながら残留磁気を大きくすることは端子電圧の外部特性に必ずしも好結果を及ぼさず,外部特性の点からはなるべく残留電圧の少ないほうが好ましい。それゆえ本機の磁極の材料と加工には後述するようにとくに注意して設計製作されている。以上のため常時使用されている場合は回転確立とともに電圧はおのずから Build up して定格値になるが,長期間休止する場合は残留磁気が消滅して Build up が困難になるので,別に初期励磁装置を付加して起動時の電圧発生を確実にしめている。図 2.3 の総合接続図に示される M はフライホイール式のマグネットで,エンジンの着火用以外に初期励磁用として約 25 W の出力を有し,発電用スイッチ  $ST_2$  を経て界磁回路に接続される。 $ST_2$  はスプリングリタン式のスイッチで,常時はリアクトル XC 側につながれ,投入時だけ初期励磁回路に接続されるものである。

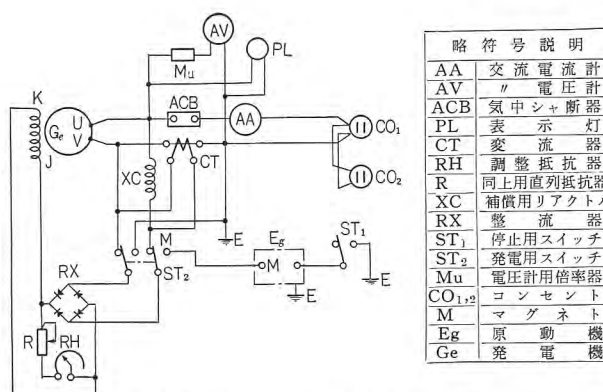


図 2.3 ダイヤパワー発動発電機接続図

Fig. 2.3 Connection diagram of DIAPOWER gasoline engine generator.

### (2) 定格電圧の設定

自励交流発電機はその回路方式や,発電機容量により種々の電圧調整方式が試みられているが,ダイヤパワーにおいては図 2.3 に示されるとおり,界磁巻線と並列に調整抵抗器 RH を接続する方式をとっている。すなわちあらかじめ設定されたリアクトル XC により無負荷励磁電流  $I_{10}$  は決定されるのであるが,その一部の微小電流は R, RH 回路に分流する。調整抵抗器は発電機の界磁抵抗値に合わせて適当な値に設計された可変抵抗器であるゆえ,抵抗値の増大とともに分流電流は減少し,したがって界磁電流を増加させることができる。

かくて自動電圧調整器の電圧設定のための調整器と同様に,一度所定の値に設定された発電機は,任意の負荷に対して良好な電圧特性を維持することになる。

### 2.3 標準仕様

ダイヤパワー発動発電機は 1 kW を DP-1 形, 1.5 kW を DP-1.5 形, 2 kW を DP-2 形と称し,表 2.1 に示される仕様を標準として量産されている。すなわち単相

表 2.1 DP 形ダイヤパワー発動発電機標準仕様

|                                 |               | DP-1                | DP-1.5      | DP-2        |
|---------------------------------|---------------|---------------------|-------------|-------------|
| 自<br>励<br>交<br>流<br>発<br>電<br>機 | 形 式           | 単相自励交流発電機           |             |             |
|                                 | 出 力 (kW)      | 1                   | 1.5         | 2           |
|                                 | 電 圧 (V)       | 100                 | 100         | 100         |
|                                 | 電 流 (A)       | 10                  | 15          | 20          |
|                                 | 周 波 数 (c/s)   | 50/60               | 50/60       | 50/60       |
|                                 | 回 転 数 (rpm)   | 3,000/3,600         | 3,000/3,600 | 3,000/3,600 |
|                                 | 極 数           | 2                   | 2           | 2           |
|                                 | 力 率           | 1.0                 | 1.0         | 1.0         |
|                                 | 電 圧 変 動 率 (%) | ±3                  | ±3          | ±3          |
|                                 | 形 式           | 空冷立形 4 サイクル 1 気筒開弁式 |             |             |
| エ<br>ン<br>ジ<br>ン                | 形 名           | メイキ G3P             | メイキ A5M     | メイキ A5M     |
|                                 | 出 力 (Ps)      | 2.5/3.0             | 4.0/4.5     | 4.0/4.5     |
|                                 | 回 転 数 (rpm)   | 3,000/3,600         | 3,000/3,600 | 3,000/3,600 |
|                                 | 行 程 容 積 (cc)  | 174                 | 246         | 246         |
|                                 | 圧 縮 比         | 5.9                 | 4.3         | 4.3         |
|                                 | 始 動 方 法       | リコイルスタータ式           | ローブ式        | ローブ式        |
|                                 | 使 用 燃 料       | ガ ソ リ ン             |             |             |
|                                 | 潤 滑 方 式       | 飛 ま つ 式             |             |             |
|                                 | 潤 滑 油 量 (L)   | 0.7                 | 1.0         | 1.0         |
|                                 | 燃料タンク容量 (L)   | 5.2                 | 7.5         | 7.5         |
| 製品寸法 巾×長×高 (mm)                 |               | 430×695×585         | 476×754×680 |             |



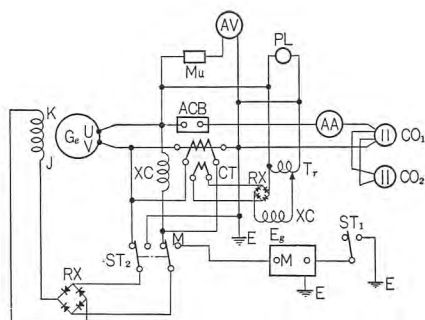


図 2.4 ダイアパワー発動発電機接続図

Fig. 2.4 Connection diagram of DIAPOWER gasoline engine generator.

100 V 1.0 PF 50/60 c/s の出力を出すことができるが、さらに特殊仕様として 110 V 0.8 PF のもの、あるいは盤関係の特殊仕様にも応ぜられるようになっている。図 2.4 は電圧特性をとくに良好に保つため変流器を可飽和とし、別に電圧検出装置を追加して自動電圧調整方式としたものである。

### 3. 特 長

ダイアパワー発動発電機は構造ならびに形式上いろいろな特長をもっている。すなわち

(1) 発電機が自励復巻式であるため負荷が変動しても端子電圧の変動が少なく、負荷急変時の電圧回復時間が非常に短い。すなわち速応性がよい。全負荷より無負荷あるいは無負荷から全負荷へ突発的な負荷の変化を与えてもその電圧変動は  $\pm 3\%$  をこすことがないように調整されている。

(2) 小形軽量で運搬に便利である。

各機器付属品をきわめてコンパクトに配置し小形軽量に設計されているため、可搬式として適している。とくにパイプ製の保護わくは可搬式として便利である。

(3) 取扱保守が容易である。

エンジンの始動はきわめて容易で(とくに DP-1 形はリコイルスタータを採用している)モビル油は一定量を入れておけば長時間交換の必要がなく、かつ発電機の軸受も最高質のリチウム系のグリースを封入したシールドボールベアリングを使用しており、長時間無給油で使用できる。とくに気化器は自動切換形をつけてあるため燃料などの調整の必要がなく、運転操作が簡単である。

(4) 保護が完全である。

エンジン各部は密閉式構造であるため防じんに対し完全であり、かつオイルは自動給油であるため内部の油が外部にとびちることはない。また発電機は閉鎖自己通風

ダイアパワー発動発電機・杉山・町野

式であり、外被保護が完全である。

発電機の過負荷および短絡事故にはノーヒューズブレーカにより確実に保護し、さらに短絡に際しては短絡電流を小さく抑制し、その解除とともに電圧が自動的に常態にもどるような構造となっている。

(5) 通信電波障害が少ない。

発電機にラジオノイズ発生源となる整流子がなく、エンジンにシールドプラグ、シールドワイヤを使用しているため通信障害が少ない。

上記特長を生かした用途としては

電力ほか諸会社、官庁などの無線通信の予備電源  
警察、消防などの緊急時非常電源

鉄道、道路、土木、建築関係の補修工事用電源

町村役場、商店などの小規模予備電源

僻地学校、開拓地、山間部無灯地の電灯、ラジオ、

小動力用電源

農業用諸機械電源

船用ラジオ、テレビなどの電源

その他各種可搬電源

などで、すでに多方面に納入され好評を得ている。

### 4. 構 造

#### 4.1 機 関

原動機たる三菱メイキエンジンは図 4.1 に示される機関性能をもった空冷式のガソリンエンジンで、その概略

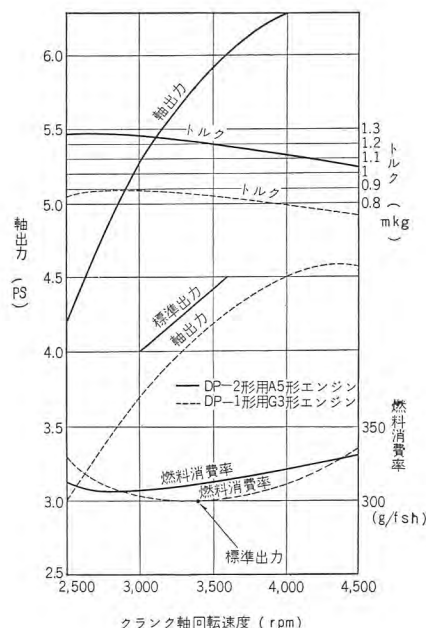


図 4.1 ダイアパワー用エンジン性能曲線

Fig. 4.1 Characteristics of gasoline engine for DIAPOWER.



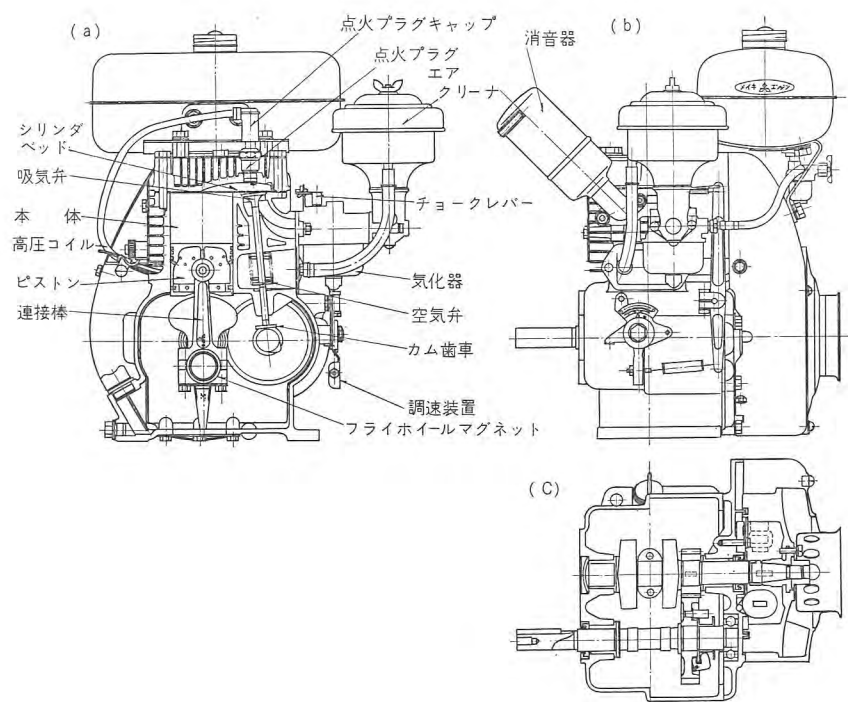


図 4.2 DP-1 形ダイヤパワー用 G3P 形エンジン構造説明図

Fig. 4.2 Construction of type G3-P engine for type DP-1 DIAPOWER.

の構造を図 4.2 に示す。DP-1, 1.5 および 2 形ともそのエンジンは空冷立形 1 気筒側弁式 4 サイクルエンジンであって、概略下記のような構造となっている。

#### (1) 始動装置

DP-2 形は従来からこの種のエンジンに使用される手動ロープ引張り方式であるが、DP-1 形はリコイルスターター（自動巻始動装置）方式で、つねに始動用ワイヤが自動的にまきこまれるもので、従来より使用しているロープ引張り方式に比較して使用上便利な装置である。

#### (2) 調速装置（ガバナ）

この装置は遠心重錘式で負荷の急激なる変化に対して自動的に回転を保持できる機能を有し、かつ運転中にも容易に手動により微細調整のできる構造を有している。

エンジンの速度は発電機の周波数ならびに出力電圧に影響するので、とくにその構造を吟味して製作する必要があるが、本機はすべて調速性能をつねに一定に保持できるように調速装置の摩擦部分をあらゆる回転数において変化のないように設計製作されている。

#### (3) 冷却装置

冷却装置は強制空冷式であって本体に付属するフライホイールマグネットのロータにつけられた冷却扇によって、導風板を通じてシリンダケースの冷却フィンで冷却

するものである。この空冷式は水冷式と比較して冷却水の有無に関係せず、またすえ付位置、水平などに無関係に運転できる便利さがある。

(4) 潤滑装置は飛まつ給油方式で、潤滑油槽はクランクケースを併用している。2 サイクルエンジンの混合油による潤滑方式に比べて、給油が確実に運転が安心に行なえる特長をもっている。

#### (5) 燃料装置

燃料はすべてガソリンを使用し、燃料タンクより落下して気化器に塩化ビニール製透明パイプにて接続させているが、じんあいなどの不純物をろ過するため、燃料タンク出口にコック付ストレーナを付属させている。また燃料タンクには燃料ゲージを付し、油量の点検に便ならしめて

ある。

#### (6) 空気清浄器

空気清浄器は油槽式で透明プラスチック製であり、油はエンジンの潤滑油と同じものを使用する。

#### (7) 電波障害シャヘイ装置

ガソリンエンジンのラジオノイズは点火系統に基因しているので、シールド式の点火せんおよび断続器との接続にシールドワイヤを使用してシールドを厳重にしている。

#### (8) 電気系統

本機の電気系統は 1 個のフライホイールマグネットによって下記のように電力を供給する方式としている。

- 点火用断続器を通じて点火せんへ供給する
- 初期励磁用 交流発電機の界磁に Build up に必要な電流を供給する。（実用新案 479630）

#### (9) 周波計（回転数）

エンジンの回転数すなわち発電機の周波数を指示する回転計を周波数にて目盛り、周波計としてエンジンに装備し、周波数調整を便利にしている。

この周波計はエンジンピストンの振動によって動作する共振形のもので、周波数を検出するとき回転計の押しボタンをおすことによって、容易に動作するようになっている。



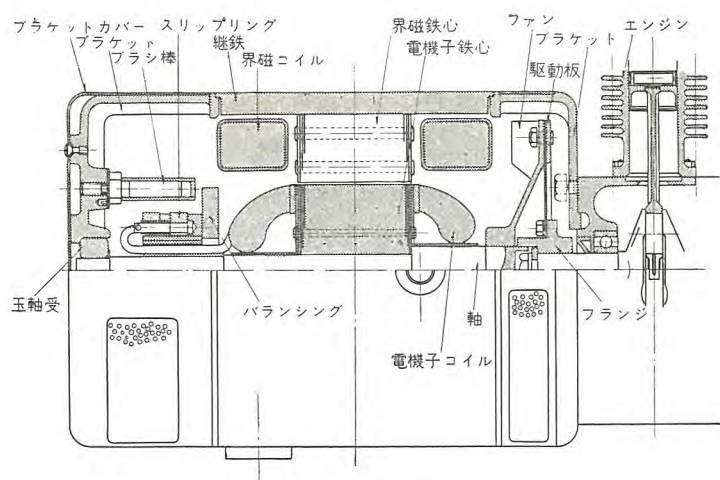


図 4.3 ダイヤパワー用交流発電機構造説明図

Fig. 4.3 Construction of AC generator.

## 4.2 発電機

交流発電機は突極回転電機子形の同期発電機であって、可搬式に最適のように製作されている。図 4.3 はその概略構造図を示す。従来の発動発電機はエンジンと発電機の単体を直結させたものであったが、本機はエンジンと発電機とを一体とした小形でコンパクトな構造のものである。

### (1) 固定子 (界磁)

構造的には普通の直流機と同じくヨークは厚鋼板、ポールは薄鋼板を使用するなどまったく変らないが、直流機のような補極が不要なため内径に比較して外径が比較的小さい。本機は自動電圧調整器をもたない自励式で、リアクトルや変流器で電圧調整をするため、電圧変動範囲を小さくするにはとくに磁気ヒステリシスを少なくするよう考慮し、ヨークの厚鋼板は完全なる焼鈍をなし、ポールは薄鋼板を使用している。

ブラシの点検ならびに取換えにはとくに便利なよう、図 4.4 のようにブラケットはスケルトン形式とし、鉄板製カバーを用いて閉鎖形としている。このような構造に

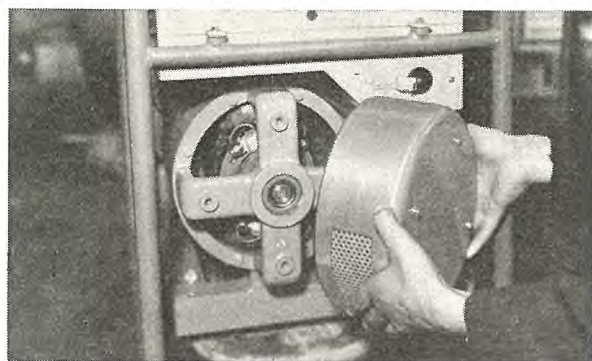


図 4.4 交流発電機のブラシホルダおよびブラケット

Fig. 4.4 Brush holder and bracket of AC generator.

するとブラシやスリップリングなどの点検や調整は容易にかつ確実にすることができる。

### (2) 回転子 (電機子)

構造的には普通の直流機の整流子のかわりにスリップリングをおいた形式であり、高速機であるため十分な動的平衡を保つようにスリップリング付近にバランスウェイトをつけてある。

主軸は S35C を使用し、平衡を完全にすることにより主軸のわん曲、主軸に対する回転部分の偏心、磁力中心のかたよりなどによる振動の生ずることのないようにバランスウェイトにより静的ならびに動的平衡を十分うる

ようにしてある。電機子鉄心は B 級ケイ素鋼板を使用して電圧波形をよくするため 1 スロットピッチのスキューをなし、かつ鉄心びょうの漏洩横流磁束による損失をなくするため鉄心びょうの絶縁を完全にしている。電機子コイルは PVF 線を使用し、みぞ絶縁にはマイラコンビンーションを、かつワニスにはサーモセットのベークライト系ワニスを使用するなど絶縁耐力の増加、絶縁抵抗の低下防止など従来の小形発電機には見られない E 級相当の絶縁としてある。カップリング側軸受はエンジンの軸受に依存しているが、スリップリング側の軸受には当社独特のフォアウエイシールドボールベアリングを使用しているため、長期無給油運転が可能である。

エンジンと発電機との直結は、いわゆる可とう継手第 3 軸受方式と称するもので、図 4.3 のような要領にて直結させているため分解組立が容易で、かつ小形コンパクトな形式となる。従来から使用されていたフランジカップリングによる方法と比較するとすこぶる小形、軽量化されたものとなる。

## 4.3 発電機盤

発電機盤は前記したようにパイプフレームに直結された箱形式のもので、図 4.5 に示されるように表面に計器類のほか必要な器具を装備している。外部機器への接続は盤面あるいは盤側面のコンセント、プラグを利用でき、いずれも BH 形シャ断器により開閉される。内部器具の点検には側面ネジをゆるめることにより容易にカバーを取はずして行なうことができる。

静止励磁器として使用される空げきリアクトルは発電機およびエンジンの製作上のばらつきのため、かなり広範囲な可調整形のものでなければならない。そのため巻





図 4.5 DP-2 形ダイヤパワー発電機盤  
Fig. 4.5 Type DP-2 DIAPOWER generator panel.

線に中間タップをもうけるほか、さらに空げき可調整形として最良の特性をうるよう試みられている。

付加電流  $I_{20}$  を供給する変流器も同様に可調整形であることが必要で、二次巻線を切換えて付加電流値を調整しているが、さらに励磁リアクタンスの値と整流器保護のための鉄心の飽和特性を十分考慮して必要な容量を定められている。

整流器はセレン整流器を使用しているが、出力電圧電流については箱内の温度上昇を含め定格連続負荷はもちろんのこと、短時間の過負荷あるいは短絡に際しても十分耐えうる性能を有している。

#### 4.4 共通台およびフレーム

本機はエンジンと発電機との結合されたものを等辺山形鋼製の共通台にのせ、防振ゴムを介してパイプフレームにとりつけ、発電機盤、燃料タンク、消音器などがコンパクトに配置されている。

##### 防振装置

発電機盤の振動は往復部分の往復質量による慣性力、不平衡回転質量による慣性力およびエンジンのガス圧の三つがあげられる。これらによって発生する振動を絶縁し、かつセットの振巾を最少とするために、防振材として防振ゴムを使用している。防振ゴムは金属バネと比較して弾性率や内部摩擦などの物理的性質や、取扱い、保守などの便利さから多く使用されているが、日光の直射、油、熱などに弱いためとくに保護する必要がある。本機は等辺山形鋼の内部に防振ゴムをおき保護を与えている。これに使用する防振ゴムは

振動の非連成

適当なる固有振動数

を満足させるように動的バネ常数を決定する必要があるが、外力の振動数の高い本機のごときは、非連成の要求を無視して取付位置を選ぶことが多いので、この場合防

振ゴムによる機械の固有振動数  $f$  を固有振動数を誘起するに主要な加振力の振動数  $n$  に対して  $1/3$  以下に選ぶようにしてある。

$$f \leq 1/3n$$

すなわち発電機盤の回転数が 3,000 または 3,600 rpm であるので、前後、左右、上下、ローリング、ピッチングおよびヨーイング各方向の固有振動数を 1,000 rpm 以下におさえてある。共振をする固有振動数を十分低くとることにより防振効果も十分達せられ、パイプフレーム上各部の振動は両振巾にて 0.2 mm 以下となっている。上記の防振ゴムには圧縮形、せん断形、複合形など各種のものがあるが、機械的にも強度も強く、かつ防振効果のよい円筒形状の圧縮形を使用している。

保護わくは全体の保護ならびにすえ付をかねて鋼パイプにて製作されている。

なお防振ゴムには始動時ロープの引張りによりかなり大きなせん断力がかかるため、その最大応力に耐えるようストッパをパイプフレームにつけ、防振ゴムの保護を行なっている。

## 5. 特 性

### 5.1 速度特性

ダイヤパワー発電機盤において採用されている自励回路の標準方式においては、発電機の負荷変動による回転数変動は発電機の飽和曲線を変化させる。それゆえ定電圧を維持するに必要な励磁電流も回転数とともに変化するから、励磁電流  $I_{10}$ 、 $I_{20}$  を回転数変動に合わせ最適値に調整して好電圧特性をうるためには、つねに駆動原動機は速度変動率について考慮をはらわなければならない。本機のように原動機がガソリンエンジンの場合はその一般的な用途から考えて、とくに好性能の速度変動率を要求されることはないのであるが、ダイヤパワー用メイキエンジンについては、さきに述べたようにとくにこの点に考慮がはられ、非常に好性能をもった調速機が装備されている。図 5.1 は G3P 形エンジンの調速機性能を示す一例である。図 (a) は負荷率に対する回転数変動特性であり、図 (b) は定格出力の運転時間に対する特性である。図 5.2 は調速機バネ圧に対する速度変動率と突入負荷時の回転数整定時間を示す特性曲線である。この曲線によれば、定格負荷においては瞬時速度変動率 6~8%、整定 1~3%、整定時間 8~13 秒の好性能を示している。



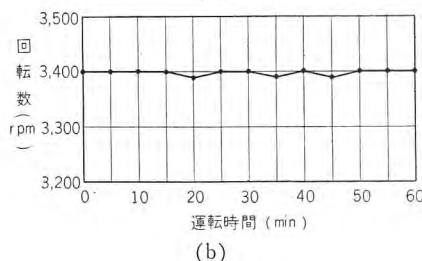
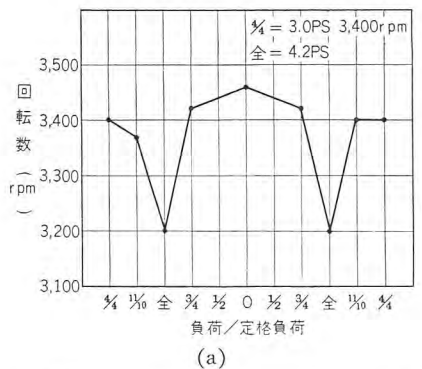


図 5.1 G3P 形エンジン調速機特性

Fig. 5.1 Type G3P engine governor characteristics.

## 5.2 電圧特性

前記したように好性能をもった機関に直結された発電機は、回転数変動を含め図 5.3 に示されるような電圧特性となる。エンジンならびに発電機にはわずかに負荷の増減によるヒステリシス現象が表われている。発電機の電圧特性上のヒステリシスは前記したように磁気回路の特性によるものであって、残留磁気を極力小さくして電圧特性上のヒステリシスを少なくするよう試みられているが、実際の状態においては負荷の変動がほとんど不連続的であるため、回転数、電圧ともにそのヒステリシスループの中間値をとり、その影響はほとんど問題にならない。

図 5.3 の発動発電機においては定格力率のもとで速度

|                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 発電機製造 No. 713012 機関 No. 04655 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| 負荷電流 (A)                      | 20    | 15    | 10    | 5     | 0     | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    |  |
| 出力電圧 (V)                      | 100   | 101   | 100   | 100   | 102   | 99    | 99    | 100   | 100   | 99    |  |
| 周波数 (c/s)                     | 50.0  | 50.9  | 50.9  | 51.0  | 51.5  | 50.6  | 50.5  | 50.3  | 50.0  | 49.2  |  |
| 回転数 (rpm)                     | 3,000 | 3,050 | 3,050 | 3,060 | 3,090 | 3,040 | 3,030 | 3,020 | 3,000 | 2,950 |  |

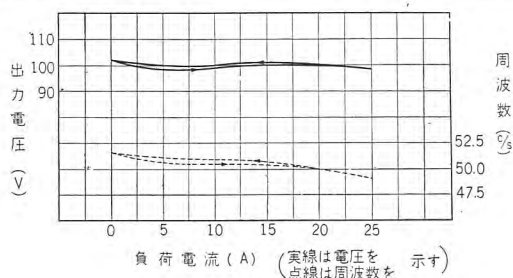


図 5.3 DP-1 形ダイヤパワー外部特性

Fig. 5.3 External characteristics of type DP-1 DIAPOWER.

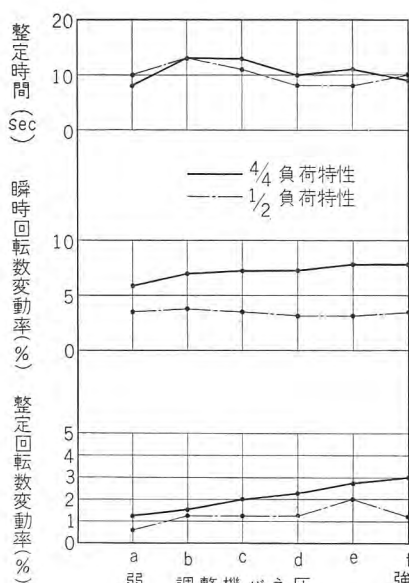


図 5.2 G3P 形エンジン調速機特性

Fig. 5.2 Type G3P engine governor characteristics.

変動率 3%，電圧変動率 2% の好特性をもっている。この方式の場合にはもちろん力率の変動による励磁電流の増減も合わせて補償するものであるが、実際には発電機が突極機であることや、飽和を有することなどによりすべての力率に対して端子電圧を一定に保つことは困難であるが、特殊の仕様に対しては図 2.4 の自励交流発電機として製作している。

## 5.3 過渡特性

発電機に負荷が突然投入されたとき、端子電圧の降下は突入負荷の発電機容量に対する割合と発電機の諸定数によりきまるが、回転励磁機付発電機に比べかなり改善

された値となる。また電圧の回復時間も同様に界磁回路時定数の減少から非常に減少し、0.1~0.4 sec となるが、エンジンを直結して発電機の回転数変動も含めて論ずるときは、整定時の場合と同様にエンジンの調速機の性能の影響を無視できず、図 5.2 の特性と合わせ考えなければならない。図 5.4 は DP-1 形の場合の定格負荷投入およびシャ断時の過渡特性を示すものであるが、瞬時速度変動率 6~8% で瞬時電圧変動率 10~11%，電圧の回復時間も約 1.8 秒で常態に復している。

なお特殊仕様ではあるが 2kW 定格負荷 0.8 PF の場合の特性を図 5.5 に示す。この場合には瞬時速度変動率、瞬時電圧変動率ともに約 11~13% となり、電圧の回復時間も約 2 秒で整定時の電圧変動はほとんどなくきわめて好特性である。

## 5.4 短絡特性

この方式で相間短絡があった場合、端子電圧は瞬時にして零になるのでリアクトルを通じて流れる電流  $I_{10}$  は消失するが、過渡リアクタンスに対する初期短絡電流が流れるため変流器を通じて大きな励磁電流  $I_{20}$  が供給される。この場合励磁電流の値は変流器の飽和により制限されるから、持続短絡電流も同様に押えられ 3~4 倍程度の値となる。短絡が開放されるとただちに発電機電圧は回復し、0.5~0.7 秒以内に定格電圧に復帰する。図 5.6 は DP-1 形の場合の短絡および開放特性を示すものである。実際には短絡時回路に接続された気中シャ断器が



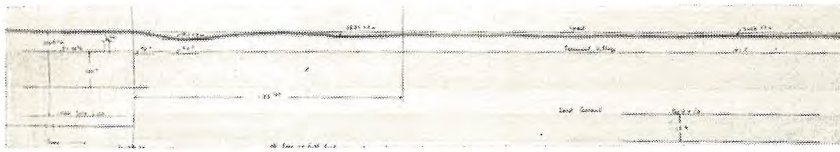


図 5.4 (a) DP-1 形全負荷投入試験

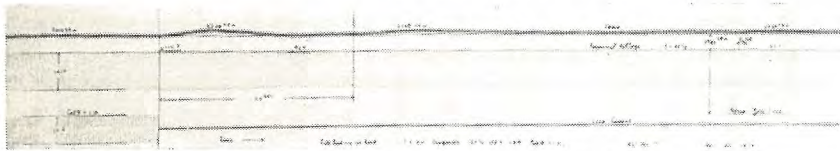


図 5.4 (b) DP-1 形全負荷シャ断試験

Fig. 5.4 Full load test of type DP-1.

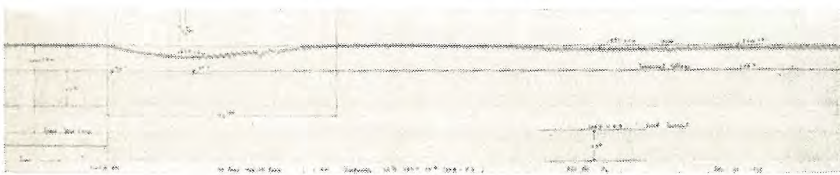


図 5.5 (a) DP-2 形 0.8 PF 全負荷投入試験



図 5.5 (b) DP-2 形 0.8 PF 全負荷シャ断試験

Fig. 5.5 Full load test of type DP-2.

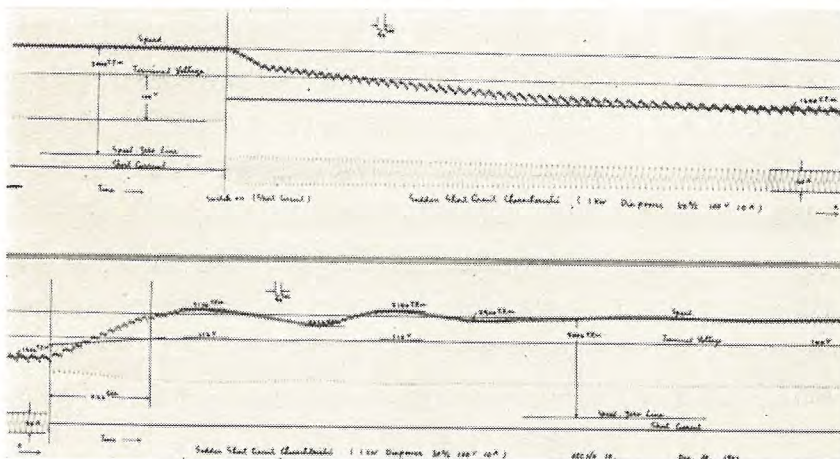


図 5.6 DP-1 形短絡特性試験

Fig. 5.6 Short circuit test of type DP-1.

トリップして短絡回路を開放するため短絡電流が持続することもなく、したがって変流器、整流器の焼損する心配もない。

## 6. む す び

以上現在標準品として生産中のダイヤパワー発動発電機について概略記述したが、形式、外形寸法、重量などについてはエンジンと発電機とが相互に現在以上に発動発電機としての協調した機能を十分発揮できるよう研究を進めたい。

そのためにはたとえば冷却用ファン1個で発電機とエンジンとをそれぞれ冷却するとか、ガソリンタンクは燃料ポンプを取付けて発電機の下側のスペースのある所におくとかして軽量小形化かつ高性能とすることを研究中である。とくに外国のこの種の発動発電機の生産はかなり多く、輸出とくに東南アジア、南米などにはかなり多く販売されている現状であるので、今後の発展が期待される。



## ベクトル図による一線地絡時基本周波電圧の考察

伊丹製作所 岡 田 昌 治\*

## Vector Diagram of Overvoltages during Single Line-to-ground Fault

Itami Works Masaji OKADA

A fundamental frequency overvoltage which results from a single line-to-ground fault is one of the most important abnormal voltages on a power system. Voltage rating of lightning arresters must be selected higher than these overvoltages. The ratio of line-to-ground voltage on phase C for a fault on phase A to the normal line-to-line voltage is obtained on complex plane as a ratio  $PQ/\bar{P}C$ , where P, Q and C are the vertexes of vectors  $\dot{Z}_0/\dot{Z}_2$ ,  $-(1+\dot{Z}_1\dot{Z}_2)$  and  $1 \angle 120^\circ$  respectively. Further, the zero-sequence voltage, the overvoltages at the point other than the fault and circle diagrams of constant voltages for various impedance ratios are easily obtained.

As the ratio of zero-sequence voltage to phase voltage is given by  $P\bar{O}/PC$  and not affected by positive sequence impedance, this method is suitable to select the voltage rating of neutral lightning arresters which coordinate with that of line side. Simple chart to calculate parallel impedances is also presented.

## 1. ま え が き

送配電系統の一線地絡に伴う中性点および健全相基本周波持続電圧は、避雷器適用の基本、したがってまた、系統の絶縁設計の基本となるもので、古くから多くの研究が行なわれている。個々の電圧は、もちろん故障点から見た対称分インピーダンスがわかれば、対称座標法で簡単に求まるが、インピーダンスがことなる場合の変化を全般的に見渡せる図表としては、

(1)  $R_0/X_1$  をパラメータとし、横軸に  $X_0/X_1$ 、縦軸に電圧倍数をとったインピーダンス—電圧図<sup>(1)</sup>

(2)  $g_0/b_1$  をパラメータとし、横軸に  $b_0/b_1$ 、縦軸に電圧倍数をとったアドミッタンス—電圧図<sup>(2)</sup>

(3) 電圧倍数をパラメータとし、横軸に  $X_0/X_1$ 、縦軸に  $R_0/X_1$  をとった円線図形式のもの<sup>(3)(4)</sup>

(4)  $R_0/X_1$ ,  $X_0/X_1$  をパラメータとした円線図上で電圧ベクトルを直視できるようにしたもの<sup>(5)</sup>

などがあるが、いずれも正相リアクタンス分を基準にとっているから、抵抗分の影響や逆相インピーダンスの相違を別々に考慮しなければならない。しかるに回転機があれば、正相インピーダンスは故障後時間的に変り、かつ零相電圧と健全相電圧との比、あるいは、健全相電圧相互間の比は、正相インピーダンスには関係しないから、これらを見るには、逆相インピーダンスを基準にするの

が便利である。

筆者は、横軸に実数、縦軸に虚数をとった数平面上に故障点から見た対称分インピーダンスの逆相インピーダンスに対する比をそのまま用いることにより、きわめて簡単で、しかも、抵抗分、正相インピーダンス変化の影響、地絡点外での電圧関係を示す一般的なベクトル図、円線図を得たのでその結果を報告する。

## 2. 基礎関係式

三相1回線送電線でA相が接地した時の地絡点での各電圧は、故障前のA相相電圧を  $\dot{E}_a$ 、その点から見た対称分インピーダンスを  $\dot{Z}_1$ ,  $\dot{Z}_2$ ,  $\dot{Z}_0$  とすれば、

$$V_0 = -\frac{\dot{Z}_0}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_a \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\dot{V}_b = \frac{(a^2-1)\dot{Z}_0 + (a^2-a)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_a \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\dot{V}_c = \frac{(a-1)\dot{Z}_0 + (a-a^2)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_a \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\dot{V}_{bc} = j\sqrt{3} \frac{\dot{Z}_0 + 2\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_a \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

また地絡点以外での電圧は、その地点での各対称分電圧の地絡点における値に対する倍数を便宜上  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_0$  とし、この点での各電圧を ' を付して示せば、

$$\dot{V}'_0 = \delta_0 \dot{V}_0 = -\frac{\dot{Z}_0/\dot{Z}_2}{1 + \dot{Z}_1/\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0/\dot{Z}_2} \delta_0 \dot{E}_a \quad \dots\dots\dots (2.5)$$











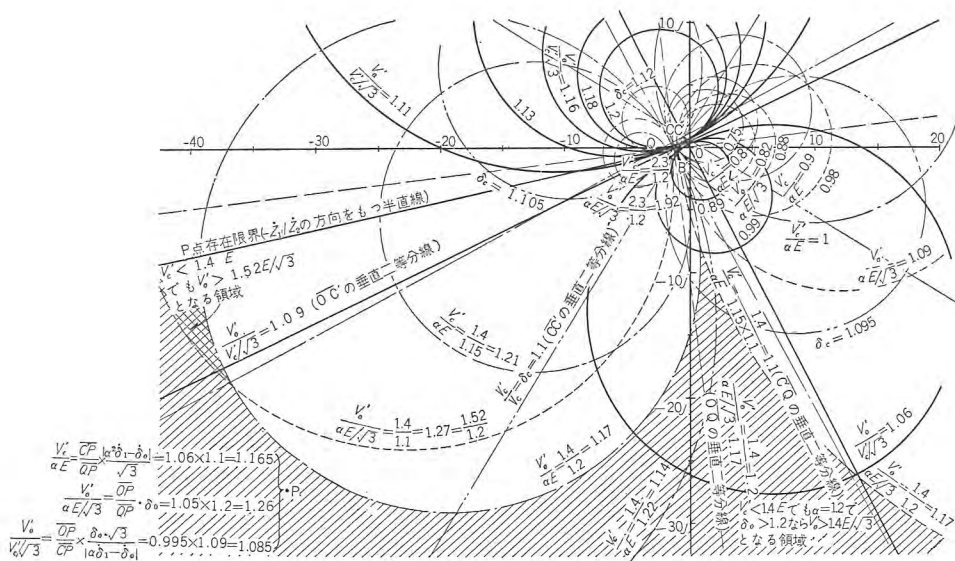


図 3.1 一線地絡時  $\dot{Z}_0/\dot{Z}_2$  ベクトル円線図

$\dot{Z}_1/\dot{Z}_2 = 1.5 \angle 11.4^\circ$  で正相、逆相電圧不変、零相電圧だけ 20% 上昇した地点における電圧比一定の軌跡を示す。

$$\vec{OC}' = -\frac{a\delta_1 - a^2\delta_2}{a\delta_1 - \delta_0} = 0.909 \angle 117^\circ, \quad \vec{OC} = 1 \angle 120^\circ, \quad \vec{OQ} = -1 - \dot{Z}_1/\dot{Z}_2 = 2.49 \angle 186.8^\circ$$

$$\vec{OC}' = 0.105, \quad \vec{C'Q} = 2.34, \quad \vec{CQ} = 2.29$$

Fig. 3.1 Circle diagram of  $\dot{Z}_0/\dot{Z}_2$  for single line-to-ground fault for  $\dot{Z}_1/\dot{Z}_2 = 1.5 \angle 11.4^\circ$ .

(Circles are the loci of constant voltage ratio at the point so distant from the fault that the zero-sequence voltage rises about 20%.)

えてもよく、P 点からこれらの点および、Q 点までの距離を求めて  $\delta$  倍すれば、地絡点外の各電圧が求まる。

そして表 3.1 の (2), (4), (5) 行の各式の値が一定なる場合の円線図は Q 点に関係しない。すなわち故障点から見た正相インピーダンスには関係せず、故障点から見た零相インピーダンスと逆相インピーダンスの比  $\dot{Z}_0/\dot{Z}_2$  ベクトルの頂点 P によって決定され、正相インピーダンスは距離による電圧変動率の値に影響を及ぼしてくるだけである。

また C 相電圧と B 相電圧とを比べると、普通 P 点の実軸より下にあるから  $\vec{CP} > \vec{BP}$  で、C 相電圧が大きく、B 相電圧が C 相より大となるのは零相インピーダンスの位相角が逆相インピーダンスの位相角より大のときだけである。

ところで公称電圧との比一定なるばあい、すなわち表 3.1 の (1), (3) 行のばあいの円線図は、 $\dot{Z}_1/\dot{Z}_2$  が変れば、Q 点が移動するから、異なった円となる。時間的にたとえ、 $\dot{Z}_2$  一定で  $\dot{Z}_1$  のリアクタンス分だけがふえるとすれば、Q 点は図 2.1, 2.2 で  $(3\pi/2 - \psi_2)$  の方向に移動することになるが、故障点から見た  $\dot{Z}_1$  は等価的に抵抗分も変るから、個々のばあい異なる。ただし P 点を与えられれば、Q 点が P 点に近づくか遠ざかるかに応

じ、電圧比は同じ割合だけ増減するから  $\dot{Z}_1/\dot{Z}_2$  の影響は一見してわかり、 $r = \vec{PQ} = |\sin(\psi_0 - \psi_2)|$  となった時電圧は最大となる。

#### 4. 故障点から見たインピーダンス

線路の特性インピーダンスを

$$\dot{Z}_K = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}} = \sqrt{\frac{\dot{z}}{\dot{y}}}$$

伝播定数を

$$\dot{\xi} = \sqrt{(r + j\omega L)(g + j\omega C)}$$

$$= \sqrt{\dot{z}\dot{y}}, \text{ 線路端インピー}$$

ダンス  $\dot{Z}'_S, \dot{Z}'_R$  の位置

角を  $\theta'_S, \theta'_R$ 、故障点 F

の接地インピーダンスを

$\dot{Z}_F$ 、F 点と線路端間の距離を  $l_S, l_R$  とすれば、F 点から見た左右のインピーダンス  $\dot{Z}_S, \dot{Z}_R$  は図 4.1 あるいは図 4.2 のような等価 T 回路あるいは等価  $\pi$  回路の直列インピーダンス、並列アドミタンスを順次計算するか、あるいは

$$\dot{Z}_S = \dot{Z}_K \tanh h(\dot{\xi}l_S + \theta'_S) \quad (4.1)$$

$$\dot{Z}_R = \dot{Z}_K \tanh h(\dot{\xi}l_R + \theta'_R) \quad (4.2)$$

で表わされ、故障点から見た全インピーダンスは

$$\dot{Z} = \frac{\dot{Z}_S \cdot \dot{Z}_R + \dot{Z}_F}{\dot{Z}_S + \dot{Z}_R} \quad (4.3)$$

となる。前節までの  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_0$  はそれぞれ正相、逆相、零相回路に対する値を図 4.1, 4.2 あるいは式 (4.1), (4.2) に入れて計算したものを用いるのであるが、ここで並列インピーダンスの計算が必要となる。これには種

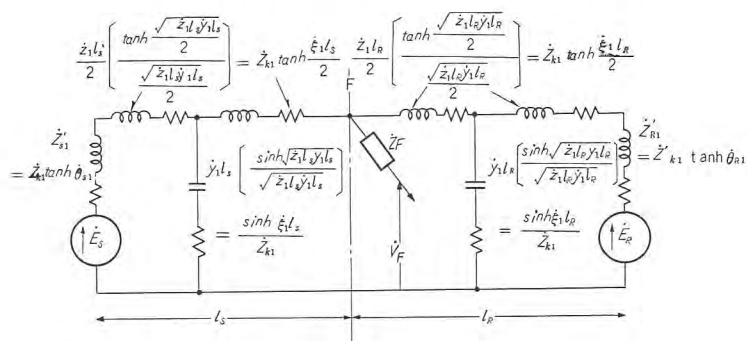


図 4.1 等価 T 回路で表わした正相回路 (逆相、零相回路に対しては  $\dot{E}_S = \dot{E}_R = 0$  で添字 1 の代りに 2, 0 を用いる)

Fig. 4.1 Equivalent T circuit.



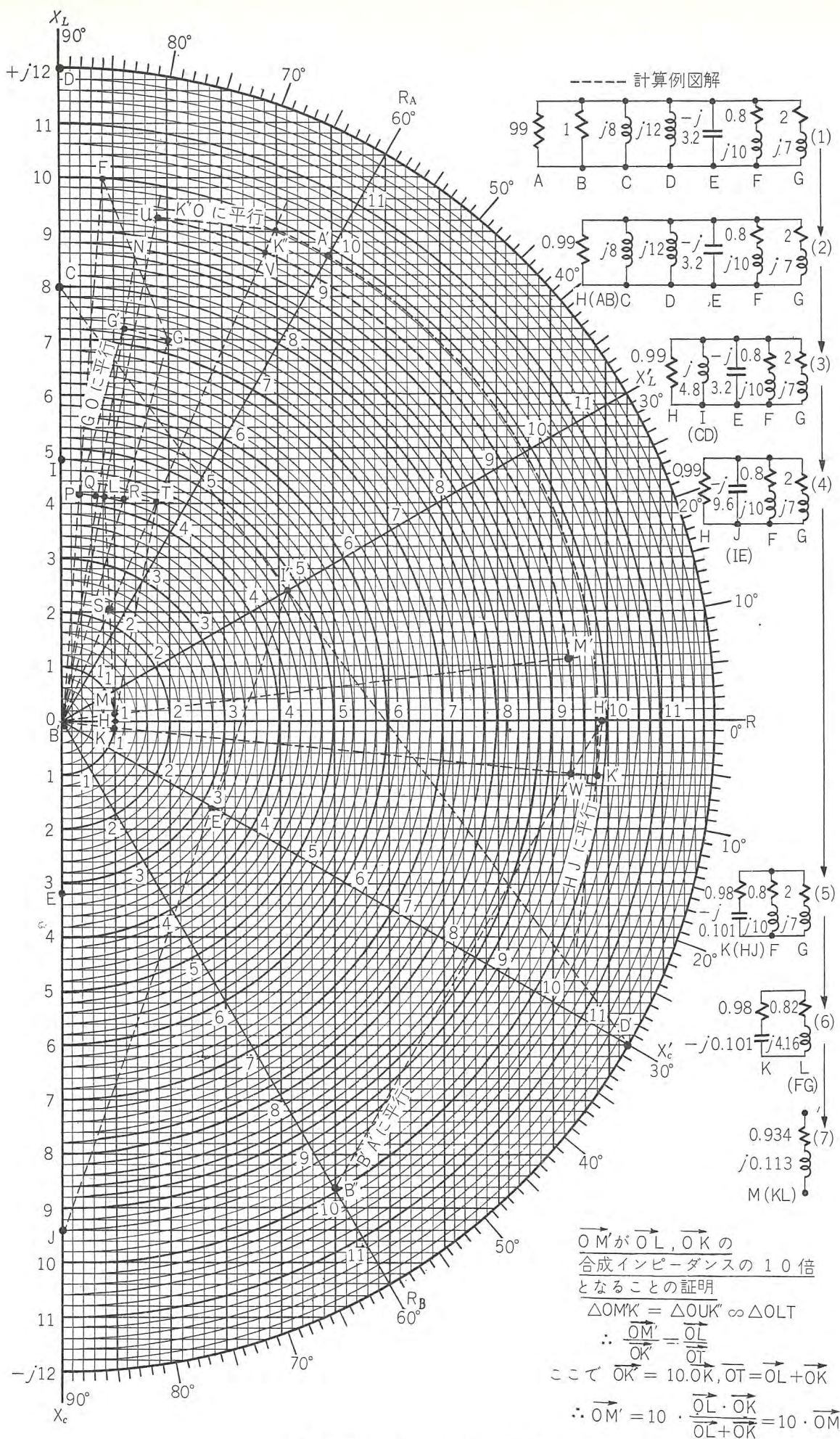


図 4.3 並列インピーダンス計算図表

Fig. 4.3 Graphical solution of parallel impedances.

この表で 0.24 mm まで読めるとすれば、いかなる値の並列インピーダンスでも 0.2~2% の誤差以内で合成値を求めることができる。一例として右図 (1) より順次 (7) までを求める方法を点線で示す。

ベクトル図による一線地絡時基本周波電圧の考察・岡田

・位相角が等しく大きさがはなはだしく異なるインピーダンス  $\vec{OA}$ ,  $\vec{OB}$  の合成値  $\vec{OH}$  を求めるには  $\vec{OA}$ ,  $\vec{OB}$  のたとえば  $1/10$  を  $\vec{ORA}$ ,  $\vec{ORB}$  上にとり、 $A'B'$  とし、小さいほうのたとえば 10 倍の位置  $B''$  より  $B'A'$  に平行線を引き  $\vec{OR}$  との交点  $H'$  を求めれば  $\vec{OH'} = 10 \cdot \vec{OH}$  である。

・ $\vec{OC}$ ,  $\vec{OD}$  のように大きさが似ている時は直接  $\vec{OD}$  に等しく  $\vec{OX'c}$  上に  $\vec{OD'}$  をとり  $\vec{CD'}$  と  $\vec{OX'L}$  の交点を  $I'$  とすれば  $\vec{OI'} = \vec{OI}$  である。

・位相角が 180 度ことなるインピーダンス  $\vec{OI}$  と  $\vec{OE}$  の合成値を求めるには  $\vec{OX'L}$  上に  $\vec{OI}$  に等しく  $\vec{OI'}$ ,  $\vec{OX'c}$  上に  $\vec{OE}$  に等しく  $\vec{DE'}$  をとり  $\vec{I'E'}$  と縦軸の交点を  $J$  とすればよい、絶対値がはなはだしく異なるときは (1) と同様な方法を用いる。

・位相角の差が 90 度で大きさはなはだしくことなるインピーダンス  $\vec{OH}$  と  $\vec{OJ}$  の合成値  $\vec{OK}$  を求めるには、小さいほうのたとえば 10 倍の点  $H'$  より  $HJ$  に平行線を引き  $O$  より垂線を下ろして足を  $K'$  とすれば  $\vec{OK'} = 10 \cdot \vec{OK}$  である。

・任意のインピーダンス  $\vec{OF}$ ,  $\vec{OG}$  の合成値  $\vec{OL}$  を求めるには  $\vec{FG}$  の中点  $N$  と  $O$  を結ぶ線上に  $\vec{OG}$  に等しく  $\vec{OG'}$  をとり  $G'$  より  $\vec{GO}$  に平行な線と  $\vec{OF}$  との交点を  $P$  とし  $\vec{OP}$  を半径とする円弧と  $\vec{ON}$ ,  $\vec{OG}$  との交点を  $Q$ ,  $R$  としこの円弧上に  $\vec{PQ}$  に等しく  $\vec{RL}$  をとればよい。

・任意の位相角で大きさはなはだしくことなるインピーダンス  $\vec{OL}$ ,  $\vec{OK}$  の合成値  $\vec{OM}$  を求める時は  $\vec{OL}$ ,  $\vec{OK}$  のなす平行四辺形の頂点  $T$  あるいは  $\vec{LK}$  の中点  $S$  と  $O$  を結ぶ線上にたとえば  $\vec{OK}$  の 10 倍に等しく  $\vec{OK'}$  をとり上と同様にして  $M'$  を求めれば  $\vec{OM'} = 10 \cdot \vec{OM}$  となる。



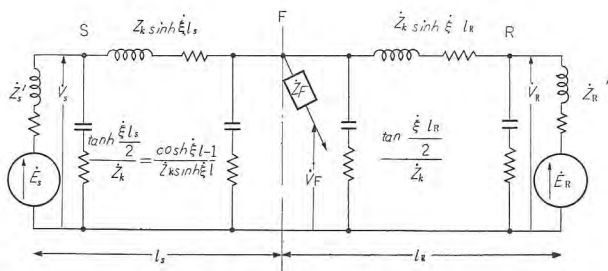


図 4.2 等価  $\pi$  回路  
Fig. 4.2 Equivalent  $\pi$  circuit.

々の図式解法<sup>(5)~(15)</sup>が発表されているが、もっとも一般的に適用できるものとして、筆者は 図 4.3 を提案したい。この図で 0.24 mm まで読めるとすれば、いかなるインピーダンスに対しても 0.2~2% の誤差以内で並列インピーダンス合成値を求めることができる。  $Z_0/Z_2$ ,  $Z_1/Z_2$  などを求めるばあいもこの図を用いれば、便利であろう。

## 5. 線路端における電圧

今まで地絡点外の対称分電圧は地絡点電圧の  $\delta_1, \delta_2, \delta_0$  倍として取扱ったが、これがどの程度のものになるかを検討して見る。

地絡点の電圧を  $\dot{V}_f$  とすれば、図 4.2 S 点, R 点の電圧は  $\dot{Z}_f$  を無視すれば

$$\begin{aligned}\dot{V}_s &= \dot{E}_s - \dot{Z}'_s \left\{ \dot{V}_s \times \frac{\cosh \xi l_s - 1}{\dot{Z}_K \sinh \xi l_s} + \frac{\dot{V}_s - \dot{V}_f}{\dot{Z}_K \sinh \xi l_s} \right\} \\ &= \dot{V}_f \frac{\sinh \theta_s}{\sinh (\xi l_s + \theta_s)} + \dot{E}_s \frac{\sinh \xi l_s \cosh \theta_s}{\sinh (\xi l_s + \theta_s)} \\ &= \frac{\dot{V}_f}{\cosh \xi l_s + \frac{\dot{Z}_K}{\dot{Z}'_s} \sinh \xi l_s} + \frac{\dot{E}_s}{1 + \frac{\dot{Z}'_s}{\dot{Z}_K \tanh \xi l_s}} \quad \dots (5.1)\end{aligned}$$

同様に

$$\dot{V}_R = \frac{\dot{V}_f}{\cosh \xi l_R + \frac{\dot{Z}_K}{\dot{Z}'_R} \sinh \xi l_R} + \frac{\dot{E}_R}{1 + \frac{\dot{Z}'_R}{\dot{Z}_K \tanh \xi l_R}} \quad \dots (5.2)$$

となり、線路の特性インピーダンスと線路端インピーダンスの比、伝播定数、距離により、 $\dot{V}_f$  とは異なってくる。ここで、 $\dot{E}_s, \dot{E}_R$  は S 側, R 側の内部誘起電圧で、零相、逆相回路に対しては普通零で、正相回路では、前述の故障点の故障前相電圧とは次の関係がある。

$$\begin{aligned}\dot{E}_a &= \\ \frac{\dot{E}_s \cosh \theta_s \sinh (\xi l_R + \theta_R) + \dot{E}_R \cosh \theta_R \sinh (\xi l_s + \theta_s)}{\sinh (\xi l_s + \xi l_R + \theta_s + \theta_R)} \quad \dots (5.3)\end{aligned}$$

ただし、ここで添字 1 は正相回路に対する値であることを示す。

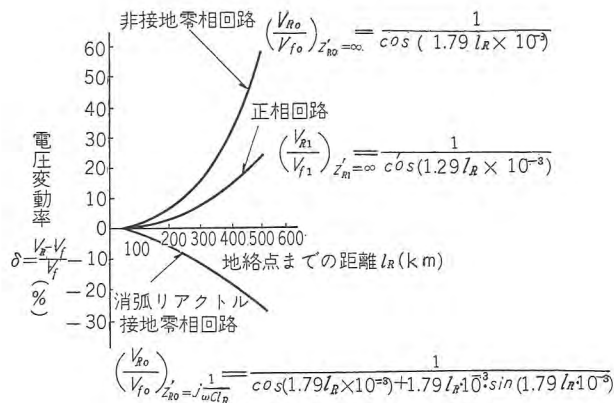


図 5.1 線路長による電圧変動率  
Fig. 5.1 Voltage deviation from the point of fault.

一般に異常電圧を問題とする場合は、系統の最高運転電圧を基にして考えるから、最悪の電圧上昇は、いわゆるフェランティ効果として無負荷受電端に起る。それで R を無負荷受電端側と考え  $\dot{E}_R=0, \dot{Z}'_R=\infty$  として電圧変動率を求めると

$$\delta = \frac{\dot{V}_R}{\dot{V}_f} = \frac{1}{\cosh \xi l_R} \quad \dots (5.4)$$

ここで、正相、逆相回路と零相回路とでは  $\xi$  がことなるため、通常零相回路に対する  $\delta$  のほうが大となり、損失を無視して  $C_1=0.009 \mu\text{F/km}$ ,  $L_1=1.3 \text{ mH/km}$ ,  $C_0=0.005 \mu\text{F/km}$ ,  $L_0=4.5 \text{ mH/km}$  とした場合は 60 c/s 系統に対して 図 5.1 のようになる。すなわち、正相、逆相回路では線路長による電圧上昇はあまり問題とならないが、零相回路では注意を要するので、以下に線路の損失分を無視した場合の零相回路の電圧変動率  $\delta_0$  をしらべてみる。式 (5.2) より

$$\begin{aligned}\delta_0 &= \frac{\dot{V}_{R0}}{\dot{V}_{f0}} \\ &= \frac{1}{\cos(\omega \sqrt{L_0 C_0} l_R) + j \frac{\sqrt{L_0/C_0}}{\dot{Z}'_{R0}} \sin(\omega \sqrt{L_0 C_0} l_R)} \quad \dots (5.5)\end{aligned}$$

(1) 中性点非接地の場合 ( $\dot{Z}'_{R0}=\infty$ )

$$(\delta_0)_{\dot{Z}'_{R0}=\infty} = \frac{1}{\cos(\omega \sqrt{L_0 C_0} l_R)} \quad \dots (5.6)$$

(2) 抵抗接地の場合

中性点の接地抵抗を  $R_0$  とし、変圧器のインピーダンスを無視すれば、

$$\dot{Z}'_{R0} = 3R_0 \quad \dots (5.7)$$

であるから、線路の特性インピーダンスが接地抵抗の 3 倍に等しい。すなわち  $Z_K = \sqrt{L_0/C_0} = 3R_0 = \dot{Z}'_{R0}$  のときは  $\delta_0$  は 1 となり、接地抵抗が特性インピーダン



スの 1/3 より大きい小さいかで、線路端中性点電圧は地絡点零相電圧より小さくなるか大きくなるかがきまる。ただし中性点非接地の場合より大きくなることはない。

### (3) 消弧リアクトル接地の場合

接地変圧器のインピーダンスも含めて、消弧リアクトルの補償線路長を  $l$  とすれば、

$$\dot{Z}'_{RO} = 3j\omega L_{PC} = j\frac{1}{\omega C_0 l} \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

$$(\delta^0)\dot{Z}'_{RO} = j\frac{1}{\omega C_0 l}$$

$$= \frac{1}{\cos(\omega\sqrt{L_0 C_0} l_R) + \omega\sqrt{L_0 C_0} l \sin(\omega\sqrt{L_0 C_0} l_R)} \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

となり

$$\tan \frac{\omega\sqrt{L_0 C_0} l_R}{2} \cong \omega\sqrt{L_0 C_0} l \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

に応じて  $\delta_0 \cong 1$  となる。すなわち補償線路長が大きいほど、換言すれば、リアクタンスが小さいほど  $\delta_0$  は小となる。図 5.1 には補償線路長が  $l_R$  に等しいばあいの  $\delta_0$  を参考のために示した。

### (4) リアクトル接地の場合

この時は式 (5.8), (5.9) で  $l$  が大きいばあいと考えればよく一般には  $\delta_0 < 1$  となる。

以上の考察から、正相回路は無負荷でなくても、中性点非接地ないしは高抵抗接地の長距離系統では、中性点電圧が一線接地故障点の零相電圧よりかなり上昇することがわかる。もちろん相対地電圧もこれに伴っていくぶん上昇する訳であるが、零相電圧の上昇率に比べると一般には少ない。またこの変動率は系統の周波数によって異なり、周波数が増大すると、線路長がそれだけ延びたことと等価となる。

## 6. 避雷器許容端子電圧選定への応用

避雷器の許容端子電圧は、普通避雷器が、系統の一線地絡事故時に動作しても、続流をシャ断しうることを目標として選定されるから、これを求めるには、系統のこう長より予想される  $\delta_1, \delta_2, \delta_0$  より図 2.1 の  $C'$  点を (B 相対地電圧は P 点が第 1 象限にある時以外はだいたい C 相対地電圧より小で、かつ相間電圧は考えなくてよいから、 $B', D'$  点は避雷器適用上は考えなくてよい。) 系統の各点より見た  $\dot{Z}_0/\dot{Z}_2, \dot{Z}_1/\dot{Z}_2$  より P, Q 点を求め次式によればよい。

$$\text{線路側避雷器所要許容端子電圧} = \left( \frac{\overline{CP}}{\overline{QP}} \right)_{\max} \times \alpha \times |\alpha \delta_1|$$

ベクトル図による一線地絡時基本周波電圧の考察・岡田

$$-\delta_0| \times \frac{E}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

$$\text{中性点用} \quad " \quad = \left( \frac{\overline{OP}}{\overline{QP}} \right)_{\max} \times \alpha \times \delta_0 \times \frac{E}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

ただし、今までは  $\alpha$  を地絡前の相対地電圧の  $E/\sqrt{3}$  に対する比と考えてきたが、上式では、最高許容運転電圧の公称電圧に対する倍率に、発電機の世界上昇に基づく電圧上昇率および裕度を含めたものとする必要があり少なくとも 1.2 以上にとる必要がある。

一例として、図 3.1 について考えると、P 点が、 $\frac{V'_c}{\alpha E} = 1.17$  の円外にあれば、 $\delta_1 = \delta_2 = 1, \delta_0 = 1.2$  すなわち約 300 km 以下の系統の場合、 $\alpha = 1.2$  として線路側は  $1.4E$  避雷器が適用しうるが、この範囲でも  $\frac{V'_0}{\alpha E/\sqrt{3}} = 1.17$  の円外 (////// の範囲) は零相電圧が、 $1.4E/\sqrt{3}$  以上となるから、非接地端変圧器の中性点用避雷器としては  $1.4E/\sqrt{3}$  以上の許容端子電圧のものが必要で、今  $1.53E/\sqrt{3}$  のものを用いるとすれば、 $\frac{V'_0}{\alpha E/\sqrt{3}} = 1.27$  の円と  $\frac{V'_c}{\alpha E} = 1.17$  の円とには含まれた範囲以外は、線路側避雷器より安全となり、ほぼ妥当な関係が得られる。

また  $\frac{V'_c}{\alpha E} = 0.8$  の円内に P 点がある時は、いわゆる 80% 避雷器が使える訳である。

なお、 $\delta$  が変わっても、 $C'$  点の変化はわずかであるから式 (6.1) で  $C'$  は C と同じと考えて  $|\alpha \delta_1 - \delta_0|$  の変化だけを考えれば、だいたい  $\delta$  の影響を考慮に入れることができる。たとえば図 3.1 のばあいは  $\overrightarrow{OC'} = 0.909/117^\circ, |\alpha \delta_1 - \delta_0| = 1.1 \times \sqrt{3}$  であるが、 $\delta_1 = \delta_2 = 1.1, \delta_0 = 1.2$  になれば、 $\overrightarrow{OC'} = 0.95/118.5^\circ, |\alpha \delta_1 - \delta_0| = 1.155 \times \sqrt{3}$  となり図 3.1 の  $V'_c$  より約 5% 増えることになる。

## 7. 線路側と協調せる中性点用避雷器の許容端子電圧

線路側にたとえば、 $1.4E$  避雷器がある場合、これと協調する中性点用避雷器の許容端子電圧は、 $C'$  点、P 点が求まれば、Q 点に関係なしに、

$$\left( \frac{\overline{OP}}{\overline{CP}} \right)_{\max} \times \left| \frac{\delta_0}{\alpha \delta_1 - \delta_0} \right| \times 1.4E \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

として求められる。

$$\text{図 3.1 は } \left| \frac{\delta_0}{\alpha \delta_1 - \delta_0} \right| = \frac{1.2}{|1.1 - 1.2|} = 1.09/\sqrt{3} \text{ のばあい}$$

であるが、だいたい  $\frac{V'_0}{V'_c/\sqrt{3}} = 1$  の円外は中性点には線



路側の  $1/\sqrt{3}$  以上の許容端子電圧の避雷器を用いなければならない訳である。なお上述の  $\delta_1=\delta_2=1.1$ ,  $\delta_0=1.2$  のばあいには  $\left| \frac{\delta_0}{\alpha\delta_1-\delta_0} \right| = 1.04/\sqrt{3}$  となるから P 点が C' 点より十分遠ければ、図 3.1 の  $\frac{V_0'}{V_c'/\sqrt{3}}$  の円上の数字に  $\frac{1.04}{1.09}$  を掛けたものが、だいたいこのばあいの円線図と見てよい。

なお、ここで中性点機器の商用周波耐圧について言及すれば、一線地絡時には、地絡点から見た  $\dot{Z}_0/\dot{Z}_2$  が図 3.1 の  $V_0'/V_c'/\sqrt{3}=1$  の円外にある時は、線路側の  $1/\sqrt{3}$  以上の持続電圧が、中性点に出る訳であるが、現行規格で定められた耐圧値  $2.3E$  以上になる領域は、 $\alpha=1.2$  と考えても図 3.1 の  $\frac{2.3}{1.2}$  なる数字で示される円内となりきわめてわずかであるから、実際上は中性点耐圧は線路側の  $1/\sqrt{3}$  でよいと考えられる。ただしこれは、一線地絡時の持続異常電圧だけについて考えた場合で、過渡的異常電圧や、断線事故時の電圧、あるいはサージに対する耐圧については別に考察しなければならないであろう。

## 8. む す び

数平面上に図 2.1 のような点を求めておけば、一線地絡時の電圧は表 2.1 あるいは表 3.1 のように、きわめてわかりやすい形で求められることをのべ、本法を用いて、避雷器の許容端子電圧とくに、中性点用避雷器のそれを選定する方法をのべたが、その結果をまとめると次のようになる。

(1) 一線地絡時の零相電圧と健全相対地電圧との比、および健全相電圧間の比は、正相インピーダンスには関係しない。

(2) したがって、一線地絡時の電圧をしらべるには、逆相インピーダンスを基準にするのが便利である。

(3) 数平面上に直接  $\dot{Z}_0/\dot{Z}_2$  ベクトルを描けば、一線地絡時の電圧は表 2.1、図 2.1 のように、このベクトルの頂点から定められた点までのベクトルの比として、大きき位相ともに簡単に求められ、表 3.1 より 2 定点からの距離の比一定なる点の軌跡として、各種円線図を描くこともできる。

(4) 図 2.1 はインピーダンスを直接用いているから抵抗分の影響が連続的にわかり、これによって異常電圧が、どの程度押えられるかが、直観的に理解できる。(図

2.2~2.6 参照)

(5) 各対称分回路中の電圧分布は式 (5.1), (5.2) のようになり、この倍数が求まると、地絡点外での異常電圧および、これと地絡点での電圧との比も図 2.1 のインピーダンスベクトルから求まる。(表 2.1, 3.1 参照)

(6) 零相回路では Ferranti 効果が大であるので、零相電圧と健全相対地電圧との比は、線路端において地絡点より数 % 大となる場合が多く、非接地あるいは、高抵抗接地長距離系統の中性点電圧は、線路側の  $1/\sqrt{3}$  以上となる。

(7) 地絡点では零相電圧と健全相電圧の比の最大値は抵抗分を無視すれば  $2/3 \div 1.153/\sqrt{3}$ 、地絡点外では  $1.2/\sqrt{3}$  程度にまでなりうるが、実際には抵抗分があるから中性点に  $1.53E/\sqrt{3}$  程度の許容端子電圧の避雷器を用いれば、線路側の  $1.4E$  避雷器と十分協調させる。

(8) ただし変圧器の中性点電圧が、線路側耐圧値の  $1/\sqrt{3}$  すなわち  $2.3E/\sqrt{3}$  をこす領域というのは特殊な共振状態だけで普通はないから、一線地絡だけを対称として考えれば、変圧器の中性点耐圧値は線路側の  $1/\sqrt{3}$  でだいたい十分である。

(9) 本文にのべたインピーダンス法において隘路と考えられる並列インピーダンスの計算には、図 4.1 を用いるときわめて簡単である。

擧げするにあたり、絶えずご鞭撻を承った技術部新井次長、大木副課長に謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) E. Clarke, S. B. Crary, H. A. Perterson: Overvoltages during power system faults, T. A. I. E. E. 58 377 (1939)
- (2) 泥堂多積, 乗松立木: 一線地絡時のアドミタンス—電圧図表, 昭和 32 年 4 月電気四学会連合大会 396
- (3) 山田大三郎: 送電系統一線接地時の電圧電流円線図, 24 連大 No. B. 2. 7. (昭 25-4)
- (4) R. W. Ferguson: Overvoltages during power system faults, W. H. Eng. 92 (1951-5)
- (5) R. W. Johnston: Transmission-system voltages under single and double line-to-ground fault conditions, T. A. I. E. E. 77 Pt. III, 99 (1958)
- (6) E. C. Goodale: E. E. 56 p. 1327 (1937)
- (7) John L. Clarke: E. E. 57 p. 41 (1938)
- (8) C. R. G. Reed: W. Eng. p. 32 (1951)
- (9) L. Batchelder: W. Eng. p. 128 (1951)
- (10) M. O. Deighton: W. Eng. p. 226 (1951)
- (11) W. Boesh: R. G. E. 64 p. 517 (1955)
- (12) F. R. Belot: R. G. E. 65 p. 675 (1956)
- (13) G. Darrieus: R. G. E. 66 p. 2 (1957)
- (14) J. Deignan: Electronic & Radio Eng. p. 70 (1957)
- (15) A. Fruhling, E. Gudefin: R. G. E. 66 p. 235 (1957)



# IBM-650 形電子計算機による電力線事故時の通信線 誘導電圧発生確率の計算 (I)

(湯瀬系電力線の場合)

本 社 迎 久 雄\*

## Calculation with Type IBM-650 Electronic Computer on Probability of Inductive Voltage Generation on Communication Lines during Power Line Faults

Head Office Hisao MUKAE

When a ground fault occurs on a power line, zero phase sequence current flows to cause inductive disturbances on nearby communication lines. Some thirty years ago the operating time of relays and circuit breakers ranged from one to several seconds, thus the limit of inductive voltage of 300 V being determined. The operating time, nowadays, has been reduced to such a flash of moment as three cycles, and on the other hand no casualty by the induced voltage has been reported up to now. The revision of this limit is considered necessary, but the problem involves difficulties because of lack of dependable information. Under the circumstances, the writer worked out a method to obtain a probability of induced voltage generation through a new concept.

### 1. ま え が き

送電線が地絡事故を起した場合には、流れる零相電流によってその付近の通信線に誘導電圧を発生し、通信線にいろいろな障害を与えるはずであることは事実であるが、今から 30 年ばかり前、当時は事故をシャ断するための継電器およびシャ断器の動作時間が 1 秒以上ないしは数秒を要するものとしたことと、人体に対する危険度の点から、この誘導電圧の大きさは 300 V と制限され、今日に及んでいる。

しかるに、今日では継電器およびシャ断器の動作時間も 3 サイクルという瞬時となり、また過去 30 年間誘導電圧による人体の感電事故例もほとんどないことから、300 V という制限電圧を、現状に即したより合理的な値に改訂することを目標として、数年前より誘導調整委員会が開かれてきたが、確然とした成果も期待できないまま問題を将来に残すことになりそうな状態となっている。

これは、一つにはある送電系統に地絡事故が発生した場合、障害を受ける通信線に果してどれくらいの誘導電圧が、どの程度の確率で発生するだろうか、いにかえるならばその送電系統に起りうるあらゆる事故をとりあげた時に、通信線のほうに生ずる誘導電圧は、650 V をこすものが果して何年に 1 回ありうるのか、また 430 V 以

上になるのは、果して全体の何 % になるのか、というような具体的なデータが全然なかったことにもよるのではなかろうかと思われるのである。

たまたま東北電力湯瀬系と獅子沢変電所で連けいする三菱金属鉱業小又川系が直接接地により昇圧されたループ送電系となり、小又川系および湯瀬系は獅子沢変電所のオートトランスによって 52 kV 直接接地系と 30 kV 非接地系とが連けいするという興味ある系統となったため、このような系統としての小又川系および湯瀬系に地絡事故が起った場合の通信線への誘導電圧が問題となり、誘導電圧を計算して通産省公益事業局へ報告書を提出することが必要となったので、この機会に、小又川系および湯瀬系の地絡事故による通信線への誘導電圧の問題を、できるだけ詳細に解析して、この系統の誘導電圧の発生確率を求めることを考えた。とくに電力系統の接地方式の差異によって誘導電圧の発生がどのように変わるかを比較検討するため、湯瀬系を現在の系統状態である湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系直接接地の連けいの場合(特殊な系統状態)、湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 30 kV 非接地の連けいの場合(非接地系)および湯瀬系 52 kV 直接接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けいの場合(直接接地系)の 3 ケースについて、電電公社通信線および国鉄通信線を対象に計算を行なった。

\* 重電技術部



ある一つの送電系統に起る事故を考える場合、事故の起り方がその系統内で一様であるとすれば、誘導電圧の問題を確率的に解析するためには、その送電系統内に一様に分布する多数の故障点を取り、そのすべての故障点における一線地絡 (LE) およびすべての故障点の組合わせによる二線地絡 (LLE) の場合の零相電流分布を求めなければならない。しかし、これはなかなか大変な労働力を要することであって、簡単に計算することができない状態であったのである。今回の目的として誘導電圧を確率的に求めうる最小単位として、系統を 10 区間に分け、系統の両端を含む 11 カ所の故障点を考え、一線地絡 11 個、11 カ所の故障点のすべての組合わせによる異相地絡 121 個、合計 132 個の場合に対して誘導電圧を計算し、発生確率分布を求めることとした。

系統内に 11 カ所の故障点をとって計算することすら、容易ではなく、零相電流分布の計算も、誘導電圧の計算もすべてベクトル計算であって、上に述べたような膨大な計算を筆算で行なうことはとうてい不可能であったので、地絡時の零相電流分布の計算も誘導電圧発生確率の計算もすべて IBM 計算センタにある IBM-650 形電子計算機を使用してこれを行なった。

今回の計算によって電力線地絡事故時の通信線誘導電圧を IBM-650 によって計算する方式が確立され、系統の正相、逆相および零相インピーダンスと通信線の 1 A あたりの誘導電圧 (V/A) をインプット・データとして入れてやれば計算結果として 132 の地絡状態に対する零相の起誘導電流と誘導電圧が得られるようになったので、ここにその計算手順および計算結果を検討して報告する次第である。

## 2. 小又川系昇圧時の湯瀬系の誘導電圧計算

### 2.1 小又川系直接接地と誘導障害

三菱金属鉱業小又川系と東北電力湯瀬系とは、獅子沢変電所において連けいする 30 kV の非接地系であったが、このたび小又川系だけは直接接地により 52 kV に昇圧されたループ送電系となった。したがって、小又川系および湯瀬系は獅子沢変電所のオートトランスにより 52 kV 直接接地系と 30 kV 非接地系とが連けいするという興味ある系統となり、このような系統としての小又川系および湯瀬系に地絡事故が起った場合の誘導電圧が問題となった。

そこで、仙台通産局大島部長および熊谷技官ご指導の

下に、三菱電機研究所馬場技師が、同所にある交流計算盤によって湯瀬系の一線地絡事故時の零相電流分布を計算して誘導電圧を求め、さらにその計算結果を東北電力松沢次長が再検討されて、通産省公益事業局に届出がなされた。

つぎに届出書となった湯瀬系の誘導電圧計算書の内容を示す。

### 2.2 誘導電圧計算結果

小又川系の誘導電圧の計算は、図 2.1 および図 2.2 のインピーダンス図を用いて、対称座標法により一線地絡 (LE) 時の零相電流  $I_0$  を計算し、誘導電圧  $V_i$  は、

$$V_i = \left( K \cdot f \cdot \sum \frac{l}{b} \right) \cdot 3I_0 \dots\dots\dots (2.1)$$

によって計算した。

$K$  としては、小又川系実測値よりしゃへい係数を算出して、毛馬内一花輪間では  $K=1.6 \times 10^{-4}$  を、また花輪一湯瀬間では  $K=2.0 \times 10^{-4}$  を採用した。

( $K$  の値の実測結果よりの算出方法については、5 に詳述する。)

表 2.1 湯瀬系電力線一線地絡事故による  
市内線誘導電圧計算結果

| 電力線     | 通 信 線 |             | 誘導電圧<br>(V) | 通信線<br>$\Sigma l/b$ | 備 考 |
|---------|-------|-------------|-------------|---------------------|-----|
|         | 局 名   | 区 間         |             |                     |     |
| 花 輪—毛馬内 | 毛馬内   | 毛馬内—毛馬内 S/S | 40.3        | 2.235               |     |
| "       | 紫 平   | 紫 平—寺 坂     | 58.2        | 3.21                |     |
| "       | "     | " 一高 市      | 1.5         | 0.824               |     |
| "       | "     | " 一紫 内      | 39.5        | 2.17                |     |
| "       | "     | " 一高 尾      | 24.6        | 1.361               |     |
| "       | "     | " 一孤 平      | 30.3        | 1.657               |     |
| 毛馬内—花 輪 | 花 輪   | 花 輪—毛馬内方面   | 124.0       | 6.761               |     |
| 花 輪—湯 瀬 | "     | " 一湯瀬方面     | 7.3         | 0.516               |     |
| "       | "     | " 一曙        | 86.0        | 6.063               |     |
| "       | "     | " 一宮川役場     | 114.0       | 8.1055              |     |
| 花 輪—獅子沢 | "     | " 一尾去沢郵便局   | 127.0       | 4.828               |     |
| "       | "     | " 一鯉 山      | 159.0       | 6.03                |     |

表 2.2 湯瀬系電力線一線地絡事故による  
市外回線誘導電圧計算結果

| 電力線    | 通信線回線名            | 誘導電圧<br>(V) | 通 信 線<br>$\Sigma l/b$ |
|--------|-------------------|-------------|-----------------------|
| 花 輪—湯瀬 | 花輪—田山 外話          | 261         | 27.4235               |
| "      | " 一湯瀬             | 261         | "                     |
| "      | " 一湯瀬(重)          | 261         | "                     |
| "      | 大館—田山             | 261         | "                     |
| 毛馬内—花輪 | " "               | 321         | 33.196                |
| 花 輪—湯瀬 | 盛岡—青森             | 261         | 27.4235               |
| 毛馬内—花輪 | " "               | 321         | 33.196                |
| 花 輪—湯瀬 | 花輪—宮川             | 6.7         | 6.9555                |
| "      | " 一曙—長谷川          | 58          | 6.063                 |
| "      | " 一湯瀬(警電)         | 261         | 27.4235               |
| "      | " 一曙—長谷川(警電)      | 58.0        | 6.063                 |
| 毛馬内—花輪 | " 一大館 外話          | 321         | 33.196                |
| "      | " 一大湯             | 321         | "                     |
| "      | " 一秋田(第1, #2, #3) | 321         | "                     |
| "      | " 一小坂(重)          | 321         | "                     |
| "      | " 一紫平             | 186         | 19.279                |
| "      | " 一木広—毛馬内         | 321         | 33.196                |
| "      | " 一秋田(単信)         | 321         | "                     |
| "      | " 一高市—毛馬内—大湯(単信)  | 321         | "                     |
| "      | " 一鈴木—毛馬内—大滝—小坂   | 321         | "                     |
| "      | " 一大館—秋田          | 321         | "                     |
| "      | " "               | 321         | "                     |
| 花 輪—湯瀬 | 扇田—荒屋 Cable       | 131         | 23.735                |
| 毛馬内—花輪 | "                 | 11.4        | 1.58                  |



図 2.3 は、湯瀬系における一線地絡の場合の零相電流分布である。これより毛馬内—湯瀬間の通信線への誘導電圧を計算すれば、表 2.1 および表 2.2 のようになる。

表 2.1 および表 2.2 より、湯瀬系電力線に一線地絡事故が起った場合の通信線の最大誘導電圧は、市外回線に生ずる 321 V であるが、これは実測値の最大をとったものであり、現規程をわずかに超過しているが、実用上の問題になることはないと考えられる。

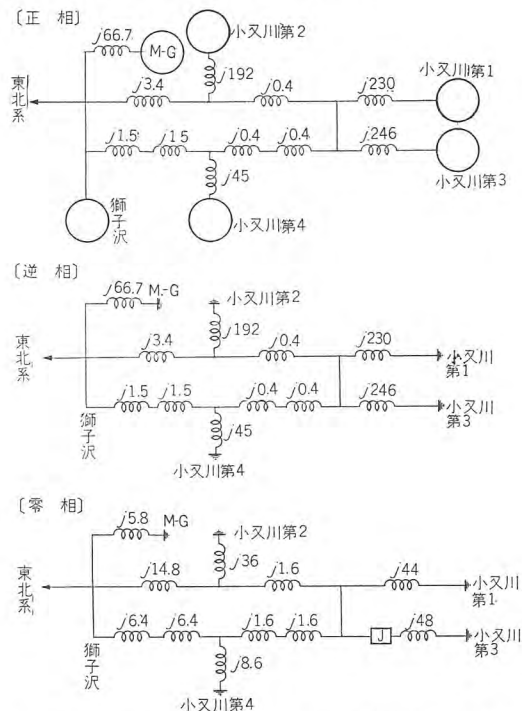


図 2.1 小又川系のインピーダンス図 (52 kV, 直接接地) 10,000 kW ベース  
Fig. 2.1 Impedance diagram of Komatagawa system.

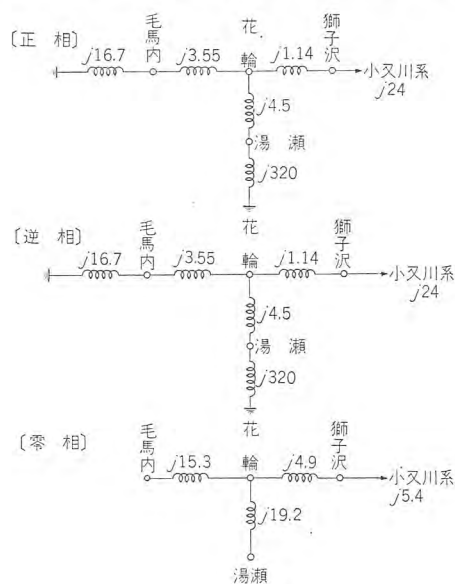


図 2.2 湯瀬系のインピーダンス図 (30 kV 非接地) 10,000 kVA ベース  
Fig. 2.2 Impedance diagram of Yuze system.

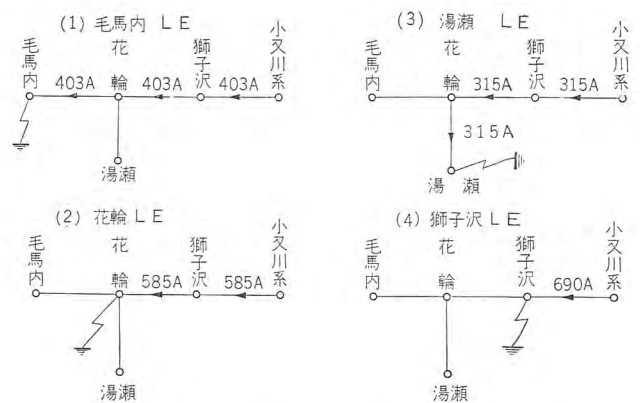


図 2.3 湯瀬系における一線地絡の場合の零相電流分布  
Fig. 2.3 Zero phase sequence current distribution in case of a single line-to-ground in Yuze system.

### 3. 確率を求めるための 10 分割と、地絡確率の計算

以上が届出書となった湯瀬系の誘導電圧計算書の内容の一部であるが、図 2.3 よりわかるように、ここでは故障点を毛馬内、花輪、湯瀬および獅子沢の 4 カ所だけとして零相電流を計算している。さらに、現在通産局では誘導電圧を問題とする場合は一線地絡だけを考慮しているため、この中では二線地絡および異相地絡による誘導電圧ははいっていない。

しかし、実際に湯瀬系に地絡事故が起った場合の誘導電圧の発生を詳細に解析しようとするれば、これだけの資料では十分であるとはいいがたく、少なくとも、誘導電圧の発生確率が論ぜられる程度、すなわち、一線地絡だけでなく、二線地絡および異相地絡まで含めて、それぞれの事故様相の発生確率までも考慮に入れて、最高何 V が何年に 1 回発生する可能性があるか、また何回に 1 回 300 V をこえるであろうか、あるいは、この通信線には、何 V くらいの誘導電圧がいちばん出やすいかなどを確率分布として求められる程度まで解析する必要があると考えられる。

そこで、これを実現するため、すべてのデータは届出に使用された計算書のものをそのまま使用して、毛馬内、花輪、湯瀬を含んで毛馬内—湯瀬間に 11 カ所の故障点を取り、各点における一線地路 11 個、すべての故障点の組合わせによる二線地絡および異相地絡 121 個、合計 132 個の事故に対して零相電流分布を計算し、誘導電圧を計算することとした。

この場合、事故発生の分布は毛馬内—湯瀬間に一様であるとし、毛馬内—湯瀬間を 10 等分することを考えた



が、途中花輪より獅子沢を経て小又川系が分岐しているため、花輪を故障点の一つに選ぶ必要があり、毛馬内—湯瀬間を 10 等分することができない。湯瀬系では花輪は毛馬内—湯瀬間のほぼ中間にあり、毛馬内—花輪間、花輪—湯瀬間の距離がほとんど同じであるので、毛馬内—花輪間を 5 等分、花輪—湯瀬間を 5 等分し、結局、毛馬内—湯瀬間を、花輪を故障点の一つとして 10 分割することとした。こうしても、湯瀬系の事故発生の分布は毛馬内—湯瀬間に一様であると考えて実際上さしつかえない。このようにして事故発生の分布まで考慮して送電線に故障点を選定する場合、その送電系統が長くなると多雷地域を通ることがあり、地域的に雷による事故の発生ひん度が高くなる場合が考えられる。同様に送電線が長い場合には一部分海岸線を通り、地域的に塩害による事故の発生ひん度が高くなることがありうる。

このような場合には、その送電線を 10 等分することはまったく意味がなく、事故発生ひん度の高低によって故障点の密度を変え、故障点間の距離を伸縮させる必要がある。すなわち、図 3.1 のように送電線の事故発生の分布の割合によって故障点を分布させれば、その系統に生ずる事故の確率は全区間にわたって一様とみなした場合と同一と考えてよい。

さらに、誘導電圧の発生確率を論ずるためには、一線地絡 (LE) と二線地絡 (LLE) の発生確率も考慮する必要がある。

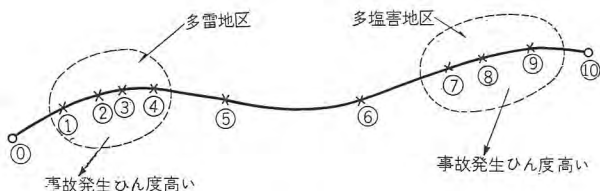


図 3.1 事故発生ひん度の割合による故障の選定法

Fig. 3.1 Selection of fault points in proportion to the frequency of fault-occurrence.

わが国の最近の資料によれば<sup>(1)</sup>、9 電力会社の、30 年 10 月より 31 年 9 月に至る 1 カ年間の 50~140 kV 系の事故統計から、全事故件数 1,222 件中明らかな一線地絡は 629 件で 51.5% を占めていることがわかるが、この統計は 50~70 kV 系および 100~140 kV 系を対象としているから、このデータは高インピーダンス系および非接地系の一線地絡発生確率である。この中で、とくに系統の大きい C 社、F 社、I 社の一線地絡発生確率をしらべてみると、C 社は 79%、F 社は 70%、I 社は 59%

となる。

したがって全国の全非接地系の一線地絡事故は、平均して全体の 60% ないし 80%、平均として 70% 発生すると考えることができよう。

一方、米国では直接接地系が発達しており、その統計から直接接地の場合には二線地絡が 3% 程度という報告が多いが、この場合は若干安全側にとることとし、地絡事故の 95% は一線地絡であり、残り 5% が二線地絡事故であるとした。

よって、この計算では、高インピーダンス接地系を含めて非接地系は地絡事故の 70% が一線地絡、残り 30% が二線地絡であるとし、直接接地系では、地絡事故の 95% が一線地絡、残り 5% が二線地絡であると考えて計算することにした。

このような統計に基づく直接接地系と非接地系の場合のそれぞれの一線地絡と二線地絡の発生確率を同一尺度で論ずるためには、つぎのように考えればよい。

すなわち、直接接地系と非接地系に共通した地絡事故の総数を  $N$  とすれば、直接接地系に対しては、

$$\left. \begin{aligned} \text{LE} &= 11 \text{ ケース} \times A \text{ 回} = N \times 0.95 \\ \text{LLE} &= 121 \text{ ケース} \times B \text{ 回} = N \times 0.05 \\ \text{非接地系に対しては、} \\ \text{LE} &= 11 \text{ ケース} \times C \text{ 回} = N \times 0.70 \\ \text{LLE} &= 121 \text{ ケース} \times D \text{ 回} = N \times 0.30 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{よって、} A &= \frac{0.95}{11} N \\ B &= \frac{0.05}{121} N \\ C &= \frac{0.70}{11} N \\ D &= \frac{0.30}{121} N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.2)$$

式 (3.2) より、 $B$  がもっとも小さいから、 $B$  を基準にとり、 $B$  が 1 回起るのに対して  $A$ 、 $C$ 、 $D$  がそれぞれ何回となるかを考えることにすれば、

$$B = \frac{0.05}{121} N = 1 \quad \therefore N = \frac{121}{0.05} = 2420 \dots\dots (3.3)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{よって、} A &= \frac{0.95}{11} \times 2420 = 209 \\ B &= \frac{0.05}{121} \times 2420 = 001 \\ C &= \frac{0.70}{11} \times 2420 = 154 \\ D &= \frac{0.30}{121} \times 2420 = 006 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.4)$$

すなわち、事故の総数を 2,420 回とすれば、直接接地系の場合も非接地系の場合も同一尺度で一線地絡と二線



地絡の発生確率を論ずることができ、直接接地系では二線地絡が1回起る間に一線地絡が209回、非接地系では、二線地絡が6回起る間に一線地絡が154回起るものと考えればよい。

#### 4. 誘導電圧 (V/A) の算出のための $\Sigma l/b$ の計算

電力線地絡事故時の通信線誘導電圧を求めるには、その通信線に関して、地帰回路電流 1 A あたりの電磁誘導電圧 [V/A] を求めておかなければならない。

電磁誘導電圧の計算式は、誘導防止研究委員会によって示された下記計算式に従った。

$$V_0 = K \cdot f \cdot \Sigma l/b \text{ [V/A]} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\text{ただし } \Sigma l/b = \Sigma \frac{l_1}{b_1 + b_2} + \Sigma \frac{l_a}{100}$$

$K$ ; 地質係数

$f$ ; 地絡電流の周波数

$b_1, b_2$ ; 送電線と通信線の水平距離

$l_1$ ;  $b_1, b_2$  間の送電線のこう長

$l_a$ ; 送電線と通信線の水平距離が 100 m

以下における送電線のこう長

ここで、 $K, f, \Sigma l/b$  はすべて定数であるが、 $\Sigma l/b$  については、送電線と通信線の地図の上から、送電線を 10 区分した各区分に対してその値を計算する必要がある。

図 4.1 および図 4.2 に湯瀬系電力線と電電公社通信線、湯瀬系電力線と国鉄通信線の離隔図を示す。また、この離隔図より算出された  $\Sigma l/b$  をそれぞれ表 4.1 および表 4.2 に示す。

#### 5. 誘導電圧算出のための $K$ の値の算出

通信線の誘導電圧  $V_0$  (V/A) が定まっている時、送電線に地絡事故が起って  $I_e$  [A] の地絡電流が流れたならば、そのとき通信線に発生する誘導電圧  $V$  は、

表 4.1 湯瀬系電電公社通信線に対する 10 区分別  $\Sigma l/b$  の値

| 電力線          | 毛馬内   | ①     | ②     | ③     | ④     | ⑤     | ⑥     | ⑦     | ⑧     | ⑨     | 湯瀬 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 区間           | ①     | ②     | ③     | ④     | ⑤     | ⑥     | ⑦     | ⑧     | ⑨     | ⑩     |    |
| $l$ [m]      | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,496 | 2,496 | 2,496 | 2,496 | 2,496 |    |
| $\Sigma l/b$ | 3.94  | 4.98  | 9.21  | 6.91  | 8.15  | 6.55  | 2.20  | 2.52  | 6.55  | 9.60  |    |

表 4.2 湯瀬系国鉄通信線に対する 10 区分、区分別  $\Sigma l/b$  の値

| 電力線          | 毛馬内   | ①     | ②      | ③     | ④     | ⑤     | ⑥     | ⑦     | ⑧     | ⑨     | 湯瀬 |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 区間           | ①     | ②     | ③      | ④     | ⑤     | ⑥     | ⑦     | ⑧     | ⑨     | ⑩     |    |
| $l$ [m]      | 2,500 | 2,500 | 2,500  | 2,500 | 2,500 | 2,496 | 2,496 | 2,496 | 2,496 | 2,496 |    |
| $\Sigma l/b$ | 1.226 | 7.590 | 1.1190 | 7.400 | 3.621 | 2.380 | 2.120 | 2.417 | 9.671 | 8.009 |    |

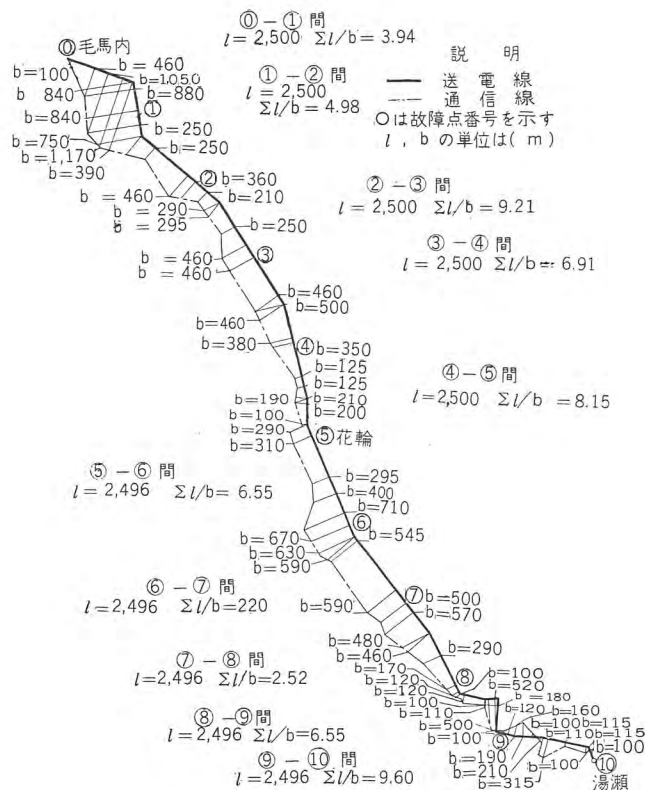


図 4.1 湯瀬系電力線・電電公社通信線離隔地図  
Fig. 4.1 Map showing the separation of T.T. co's communication line from Yuze system power line.

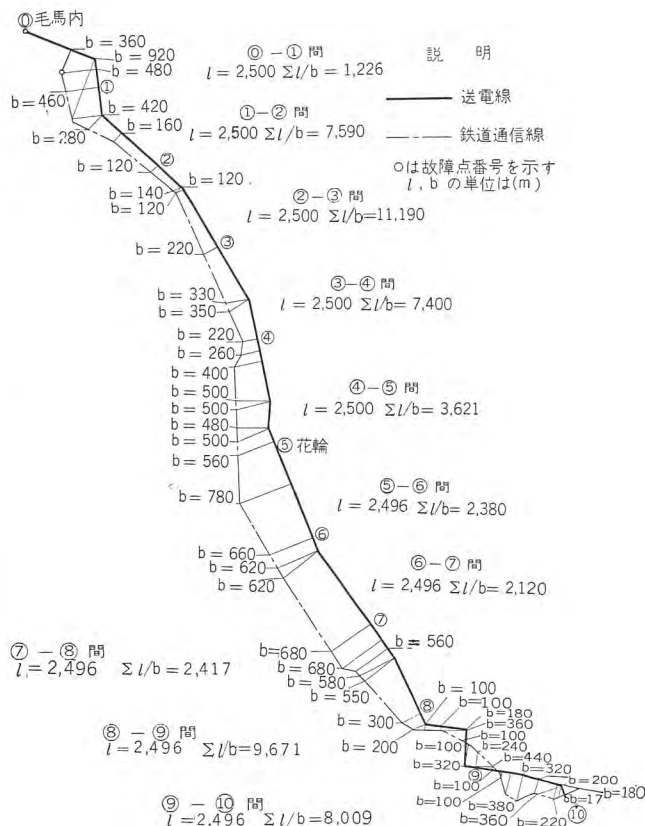


図 4.2 湯瀬系電力線・国鉄通信線離隔図  
Fig. 4.2 Map showing the separation of National Railway communication line and Yuze system power line.



$$V=V_0 \cdot I_e[A] \dots\dots\dots(5.1)$$

で与えられる。

しかるに、式(4.1)より  $V_0=K \cdot f \cdot \sum l/b$

$$\text{また } I_e = \frac{3E}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = 3I_0$$

$I_0$ ; 零相電流

$$\therefore V=K \cdot f \cdot \sum l/b \cdot 3I_0[A] \dots\dots\dots(5.2)$$

[式(2.1)と同一]

小又川系および湯瀬系に対しては、昭和27年10月、通信線誘導電圧測定の目的で地絡故障試験が行なわれ、昭和28年6月、小又川実測報告が出されている<sup>(2)</sup>。

この実測報告の中の実測結果より、湯瀬系の  $K$  の値が逆算によって求められる。

#### (1) 花輪—湯瀬間

花輪—湯瀬間市外回線に対しては、起誘導電流 12.9 A (実測報告 p. 312, VI—4,  $I_N=12.9$  A) に対し、誘導電圧は 3.6 V (同上 p. 330 VI—4, 7.3—3.6 V) であるから、これより式(5.1)から、

$$V_0 = \frac{V}{I_e} = \frac{3.6}{12.9} [V/A] = 0.279 [V/A]$$

$$\text{すなわち } K \cdot f \cdot \sum l/b = 0.279$$

ここで、 $f=50$ ,  $\sum l/b$  は4で計算したとおり、送電線と通信線の離隔距離より定まる定数であって、花輪—湯瀬間では

$$\sum l/b = 6.55 + 2.20 + 2.52 + 6.55 + 9.60 = 27.42$$

であるから、

$$K \times 50 \times 27.42 = 0.279$$

$$\therefore K = 2.0 \times 10^{-4}$$

として求められた。この値は実測値中最大のものであり、この係数を用いてもなお安全側にあるものと考えられる。

#### (2) 毛馬内—花輪間

毛馬内—花輪間の市外通信線に対する誘導電圧実測結果はないが、この市外通信線と並行する扇田—荒屋間ケーブル回線に対する誘導電圧実測が行なわれ、その結果が実測報告にのせられている。

すなわち、扇田—荒屋間ケーブル回線に対しては、(1) 同様起誘導電流 12.9 A に対して、誘導電圧は 1.8 V (p. 332 VI—4, 2.4—0.6=1.8 V) であり、したがって

$$K \cdot f \cdot \sum l/b = \frac{1.8}{12.9} [V/A] = 0.140 [V/A]$$

ここで、 $f=50$ ,  $\sum l/b$  は扇田—荒屋間ケーブルに対する計算結果 (実測報告 p. 28 第 3. 4. 3 表) より

$$\sum l/b = 23.735$$

$$\therefore K \times 50 \times 23.735 = 0.140$$

$$\therefore K = 1.2 \times 10^{-4}$$

この値も、(1) 同様波高値の最大のものであり、この係数を用いてもなお安全側にあるといえる。

よって、実測値のない通信線に対しては、上の二つの  $K$  の値の平均値を採用しても、誘導電圧は前述のとおり実測値の最大をとったものであり、実用上の問題になることはないと考えられる。

また、花輪—湯瀬間は山地であるが、毛馬内—花輪間は平地となっているから、毛馬内—花輪間の  $K$  は、花輪—湯瀬間の  $K$  の値よりも小さくとってもさしつかえはないと考えられる。

よって、毛馬内—花輪間の  $K$  の値としては、花輪—湯瀬間の  $K$  の値と扇田—荒屋間ケーブルに対する  $K$  の値の平均値をとっても問題はない。

$\therefore$  毛馬内—花輪間では、

$$K = \frac{2.0 \times 10^{-4} + 1.2 \times 10^{-4}}{2} = 1.6 \times 10^{-4}$$

を採用した。

## 6. 誘導電圧 [V/A] の算出

表 4.1 および表 4.2 に誘導電圧発生確率を求めるために系統を 10 分割した各区分ごとの  $\sum l/b$  の値が求められており、また、5(1), (2) で、毛馬内—花輪間、花輪—湯瀬間のそれぞれの  $K$  の値が求められたので、10 分割の各区分ごとの誘導電圧 [V/A] が求められる。

表 6.1 および表 6.2 に、電電公社通信線および国鉄通信線に対する各区分ごとの誘導電圧を示す。

表 6.1 湯瀬系電電公社通信線に対する 10 区分、区分別誘導電圧 [V/A] の値

$$V_0 = K \cdot f \cdot \sum l/b [V/A]$$

$$\text{毛馬内—花輪間 } K = 1.6 \times 10^{-4}$$

$$\text{花輪—湯瀬間 } K = 2.0 \times 10^{-4}$$

$$f = 50$$

| 電力線<br>区間      | 花 輪                   |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       | 湯<br>瀬 |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
|                | ①                     | ②                     | ③                     | ④                     | ⑤                     | ⑥                     | ⑦                     | ⑧                     | ⑨                     | ⑩                     |        |
| $l[m]$         | 2,500                 | 2,500                 | 2,500                 | 2,500                 | 2,500                 | 2,495                 | 2,496                 | 2,496                 | 2,496                 | 2,496                 |        |
| $\sum l/b$     | 3.94                  | 4.98                  | 9.21                  | 6.91                  | 8.15                  | 6.55                  | 2.20                  | 2.52                  | 6.55                  | 9.60                  |        |
| $V_0$<br>[V/A] | $3.15 \times 10^{-2}$ | $3.97 \times 10^{-2}$ | $7.35 \times 10^{-2}$ | $5.52 \times 10^{-2}$ | $6.51 \times 10^{-2}$ | $6.55 \times 10^{-2}$ | $2.20 \times 10^{-2}$ | $2.52 \times 10^{-2}$ | $6.55 \times 10^{-2}$ | $9.60 \times 10^{-2}$ |        |

## 7. 誘導電圧計算と IBM-650 形電子計算機の利用

電力線地絡事故時の通信線誘導電圧は、式(5.2)によって求められる。ところが毛馬内—湯瀬間を 10 区分して 11 カ所の故障をとると、地絡事故は、一線地絡 11 個、二線地絡を含む異相地絡 121 個、合計 132 個の場合が生



表 6.2 毛馬内一花輪一湯瀬間国鉄通信線に対する 10 区分  
区分別誘導電圧 [V/A] の値

毛馬内一花輪間  $K=1.6 \times 10^{-4}$   
花輪一湯瀬間  $K=2.0 \times 10^{-4}$   
 $f=50$

| 電力線            | 毛馬内                   | 花輪                    |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |  | 湯瀬 |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|----|
| 区分             | ①                     | ②                     | ③                     | ④                     | ⑤                     | ⑥                     | ⑦                     | ⑧                     | ⑨                     | ⑩                     |  |    |
| $l[m]$         | 2,500                 | 2,500                 | 2,500                 | 2,500                 | 2,500                 | 2,496                 | 2,496                 | 2,496                 | 2,496                 | 2,496                 |  |    |
| $\Sigma l/b$   | 1.226                 | 7.590                 | 11.190                | 7.400                 | 3.621                 | 2.380                 | 2.120                 | 2.417                 | 9.671                 | 8.009                 |  |    |
| $V_0$<br>[V/A] | $0.98 \times 10^{-2}$ | $6.06 \times 10^{-2}$ | $8.96 \times 10^{-2}$ | $5.92 \times 10^{-2}$ | $2.90 \times 10^{-2}$ | $2.38 \times 10^{-2}$ | $2.12 \times 10^{-2}$ | $2.12 \times 10^{-2}$ | $9.67 \times 10^{-2}$ | $8.01 \times 10^{-2}$ |  |    |

じ、かつ一つ一つの場合についてすべて各区分ごとに流れる電流がベクトル的に異なるため、誘導電圧の計算は非常にめんどろなことになるので、筆算で計算を行なうことは、とうてい不可能である。

そこで、これを計算機を利用して計算することが必要となるが、ベクトル計算となって、かつ処理すべきデータの数が多いため、IBM 計算センタにある、650 形電子計算機を利用して計算することとした。

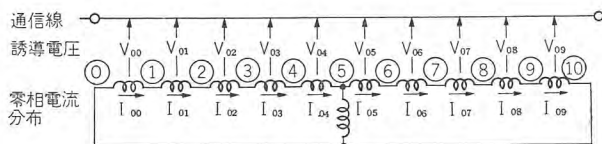


図 7.1 誘導電圧計算の基本説明図

Fig. 7.1 Basic descriptive diagram of inductive voltage calculation.

この場合の誘導電圧計算の基本概念は、図 7.1 および式 (5.2) より、式 (7.1) のように表わされる。

誘 導 電 圧

$$\begin{aligned} \dot{V} = & V_{00} \cdot 3\dot{I}_{00} + V_{01} \cdot 3\dot{I}_{01} + V_{02} \cdot 3\dot{I}_{02} + V_{03} \cdot 3\dot{I}_{03} \\ & + V_{04} \cdot 3\dot{I}_{04} + V_{05} \cdot 3\dot{I}_{05} + V_{06} \cdot 3\dot{I}_{06} + V_{07} \cdot 3\dot{I}_{07} \\ & + V_{08} \cdot 3\dot{I}_{08} + V_{09} \cdot 3\dot{I}_{09} = 3 \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n} \cdot \dot{I}_{0n} \quad \dots (7.1) \end{aligned}$$

ここで、 $\dot{I}_{0n}$  は、 $\dot{I}_{0n} = I_{0n} \angle \theta_n$  で表わされている。

すなわち、 $\dot{I}_{0n} = I_{0n} (\cos \theta_n + j \sin \theta_n)$

$$\begin{aligned} \therefore \dot{V} = & 3 \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n} \cdot I_{0n} (\cos \theta_n + j \sin \theta_n) \\ = & 3 \left\{ \sum_{n=0}^9 V_{0n} \cdot I_{0n} \cdot \cos \theta_n + j \sum_{n=0}^9 V_{0n} \cdot I_{0n} \cdot \sin \theta_n \right\} \end{aligned}$$

よって、

$$V = 3 \sqrt{\left( \sum_{n=0}^9 V_{0n} \cdot I_{0n} \cdot \cos \theta_n \right)^2 + \left( \sum_{n=0}^9 V_{0n} \cdot I_{0n} \cdot \sin \theta_n \right)^2} \quad \dots (7.2)$$

各ケースに対して、式 (7.2) で表わされる  $V$  を計算

させるわけである。

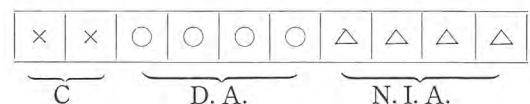
## 8. IBM-650 のプログラミング

7 で述べたように、式 (7.2) を IBM-650 で計算することになる。ここで、この計算に使用した IBM-650 形電子計算機について、概略説明し、この計算のプログラミングの説明を加えることとする。

IBM-650 は、磁気ドラム記憶装置を内蔵する中形電子計算機であって、入力・出力はパンチ・カードベースとなっている。計算命令も、計算データもパンチ・カードで表わされ、このパンチ・カードから命令もデータも内蔵する磁気ドラム上に移されて記憶される。計算は、記憶した命令によって、自動的に同じドラム上のデータを処理して行く。

磁気ドラム上は、0000~1999 までの 2,000 個のアドレスに分れ、1 語は 10 けたの数値と符号で表わされる。命令もデータも 10 けたである。

命令は 10 けたの数値を 2—4—4 に分け、つぎのように作られている。



C (2 けた)……遂行すべき命令を示す数値

D. A. (4 けた)……処理すべきデータのはいつている  
アドレス番号

N. I. A. (4 けた)……この命令の処理が終わった後、つぎ  
に進むべき命令のはいつているアドレス番号

すなわち、命令のはいつているアドレスが指定されると、そのアドレスにはいつている 10 けたの上 2 けたの数値によって遂行すべき命令が定まり、D. A. にある 4 けたの数値で表わされているアドレスにはいつている 10 けたの数値がデータとしてとり出され、命令通り処理される。計算が始められると、ただちに並行して、N. I. A. で示される下 4 けたの数値で表わされているアドレスにはいつている 10 けたの数値が「次の命令」としてとり出され、2—4—4 に分けられて待機する。計算が終わるとただちにこの「つぎの命令」が遂行される。計算処理が早ければ N. I. A. が探し出されるとすぐに次の命令が行なわれる。計算が完了すれば、結果はアウト・プット・カード上にパンチされて出てくる。



IBM-650 は、さらに、数表を引き出すことができる。すなわち、 $y=f(x)$  として与えられた時、 $x$  の変化に対する  $y$  の値を、数表として記憶させておけば、ある  $x$  が与えられた時の  $y$  の値を、自動的に探し出す。たとえば  $\sin \theta$ ,  $\cos \theta$  の値を記憶しておくことによって、計算途中で  $\theta_n$  がわかれば、自動的に  $\sin \theta_n$ ,  $\cos \theta_n$  が求まり、計算が進行する。このほかに、ここで使用した IBM-650 には高速度磁気コア記憶装置、浮動小数点演算装置および自動索引装置が付属している。

このような、IBM-650 によって、つぎのようなステップで式 (7.2) の計算が行なわれる。

① Data Card として、一つのケースに対して 1 枚の Card に  $I_{00}$ ,  $\angle \theta_0 \cdot I_{01}$ ,  $\angle \theta_1 \cdots I_{08}$ ,  $\angle \theta_8$ ,  $I_{09}$ ,  $\angle \theta_9$  を Data として打込み、132 ケースに対して 132 枚の Data Card を作る。

② Const. Data として、 $V_{00}$ ,  $V_{01}$ ,  $V_{02}$ ,  $\cdots V_{08}$ ,  $V_{09}$  を打込んだ Data Card を 1 枚作る。

③  $\sin \theta$ ,  $\cos \theta$  の三角関数表を記憶させる。(  $\theta=0 \sim 360$  度 )

④ Input Data より  $V_{00}$ ,  $V_{01}$ ,  $\cdots V_{09}$  を 10 個の const として読み込み、記憶させる。

⑤ 1 枚目の Input Data Card より  $I_{00}$ ,  $\angle \theta_0$ ,  $I_{01}$ ,  $\angle \theta_1 \cdots I_{09}$ ,  $\angle \theta_9$  を読み込む。

⑥  $\angle \theta_0$ ,  $\angle \theta_1 \cdots \angle \theta_9$  よりそれぞれ  $\sin \theta_0$ ,  $\cos \theta_0$ ,  $\sin \theta_1$ ,  $\cos \theta_1 \cdots \sin \theta_9$ ,  $\cos \theta_9$  を呼び出し、それぞれ ( $I_{00} \sin \theta_0$ ,  $I_{00} \cos \theta_0$ ,  $I_{01} \sin \theta_1$ ,  $I_{01} \cos \theta_1 \cdots I_{09} \sin \theta_9$ ,  $I_{09} \cos \theta_9$ ) を作って記憶させる。

⑦ Data Card の  $I_{0n}$  は、ある係数により変換された値であるので、これを真の電流値に変換させるために、この係数をそれぞれ  $I_{0n} \sin \theta_n$ ,  $I_{0n} \cos \theta_n$  に乗ずる。

$$(KI_{0n} \sin \theta_n, KI_{0n} \cos \theta_n)$$

Input Data の  $I_{0n}$  が真値ならば、 $K=1$  とする。

$$\begin{aligned} \textcircled{8} \quad & V_{00}KI_{00} \sin \theta_0 + V_{01}KI_{01} \sin \theta_1 + \cdots \\ & + V_{09}KI_{09} \sin \theta_9 = K \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n}I_{0n} \sin \theta_n \end{aligned}$$

を作り、記憶させる。(  $j$  部分 )

$$\begin{aligned} \textcircled{9} \quad & V_{00}KI_{00} \cos \theta_0 + V_{01}KI_{01} \cos \theta_1 + \cdots \\ & + V_{09}KI_{09} \cos \theta_9 = K \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n}I_{0n} \cos \theta_n \end{aligned}$$

を作り記憶させる。(実数部分)

$$\textcircled{10} \quad \left( K \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n}I_{0n} \cos \theta_n \right) \times \left( K \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n}I_{0n} \sin \theta_n \right)$$

$$\begin{aligned} & + \left( K \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n}I_{0n} \sin \theta_n \right) \times \left( K \cdot \sum_{n=0}^9 V_{0n}I_{0n} \cos \theta_n \right) \\ & = (V_r)^2 + (V_i)^2 \end{aligned}$$

を作る。

⑪  $\sqrt{(V_r)^2 + (V_i)^2}$  を作り、3 を乗ずる。

⑫ ⑪ の結果を Output Card に Punch させる。

⑬ 2 枚目の Input Card Cycle に移る。

## 9. IBM-650 による零相電流分布の計算

誘導電圧計算のための、インプット・データとなる電力線地絡事故時の零相電流分布も、IBM-650 によって計算するのであるが、この計算のためのプログラムは非常に長く、複雑であって、簡単に説明することができないので、ここでは説明を省略するが、基本式としては、一線地絡および二線地絡の場合は対称座標法により、異相地絡の場合は、 $\alpha-\beta-0$  法により解いている。

すなわち、系統の正相、逆相および零相の各インピーダンスをそれぞれ  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_0$  で表わせば

一線地絡に対しては、

$$I_0 = \frac{-E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \cdots \cdots (9.1)$$

二線地絡に対しては、

$$I_0 = \frac{Z_2 E_a}{Z_0(Z_1 + Z_2) + Z_1 Z_2} \cdots \cdots (9.2)$$

より零相電流分布を計算し、異相地絡に対しては、

条件式として、

b 相地絡点に対しては、

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{2}V_{ab} + \frac{\sqrt{3}}{2}V_{\beta b} + V_{0b} &= -V_b = -E\epsilon^{-j120^\circ} \\ I_a &= I_{ab} + I_{0b} = 0 \\ I_c &= -\frac{1}{2}I_{ab} - \frac{\sqrt{3}}{2}I_{\beta b} + I_{0b} = 0 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (9.3)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} -V_{ab} + \sqrt{3}V_{\beta b} + 2V_{0b} &= -2V_b = -2E\epsilon^{-j120^\circ} \\ I_{ab} &= -I_{0b} \\ I_{\beta b} &= \sqrt{3}I_{0b} \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (9.4)$$

c 相地絡点に対しては、

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{2}V_{ac} - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{\beta c} + V_{0c} &= -V_c = -E\epsilon^{j120^\circ} \\ I_a &= I_{ac} + I_{0c} = 0 \\ I_b &= -\frac{1}{2}I_{ac} + \frac{\sqrt{3}}{2}I_{\beta c} + I_{0c} = 0 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (9.5)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} -V_{ac} - \sqrt{3}V_{\beta c} + 2V_{0c} &= -2V_c = -2E\epsilon^{j120^\circ} \\ I_{ac} &= -I_{0c} \\ I_{\beta c} &= -\sqrt{3}I_{0c} \end{aligned} \right\} (9.6)$$



これより、 $V_{0b}$ 、 $V_{0c}$  を求め、零相インピーダンスより、零相電流分布が計算される。零相電流分布を計算するに必要な系統の正相、逆相および零相インピーダンスは、系統状態 (I) として、湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けい（現在の系統）、系統状態 (II) として、湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 30 kV 非接地の連けい（非接地系）および系統状態 (III) として、湯瀬系 52 kV 直接接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けい（直接接地系）の三つの系統状態について、それぞれ 10,000 kVA ベースで計算すると、それぞれ図 9.1、9.2 および図 9.3 に示すように表わされる。

これらのインピーダンスをインプット・データとしてカードにせん孔し、IBM-650 に入れてやれば、計算結果として 132 の地絡状態に対して零相電流分布が求められる。

IBM-650 により求められた湯瀬系電力線地絡事故時の電流分布計算結果を表 9.1~9.3 に示す。地絡番号と地絡点との関係は表 9.4 に示すとおりである。

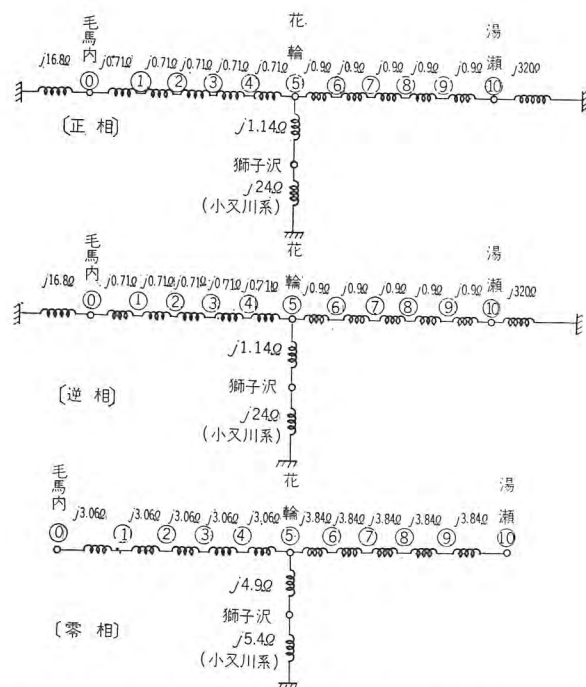


図 9.1 系統状態 (I) 湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けいの場合の 10,000 kVA ベースで表わされた湯瀬系インピーダンス図

Fig. 9.1 System condition (I) Yuze system impedance diagram represented based on 10,000 kVA in case of Yuze 30 kV ungrounded and Komatagawa 52 kV directly grounded.

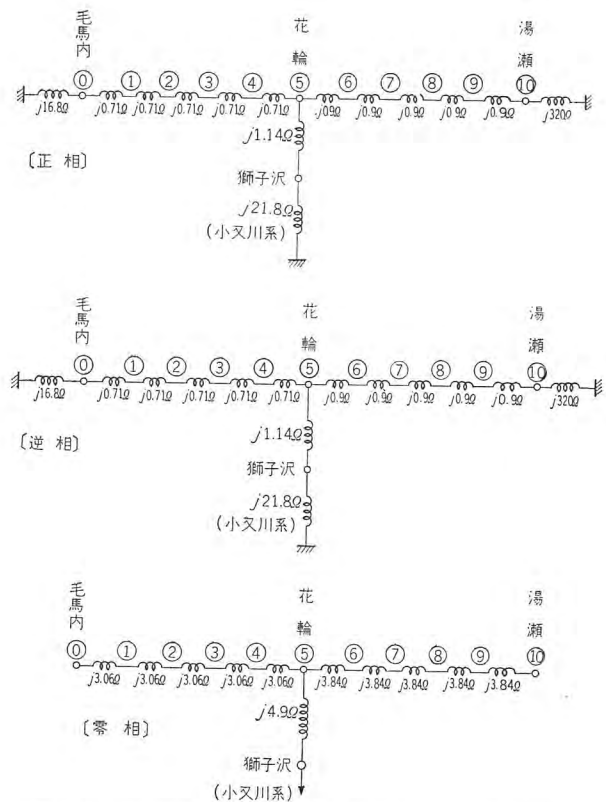


図 9.2 系統状態 (II) 湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 30 kV 非接地の連けいの場合の 10,000 kVA ベースで表わされた湯瀬系インピーダンス図

Fig. 9.2 System condition (II) impedance diagram represent based on 10,000 kVA in case of Yuze 30 kV ungrounded and Komatagawa 30 kV ungrounded.

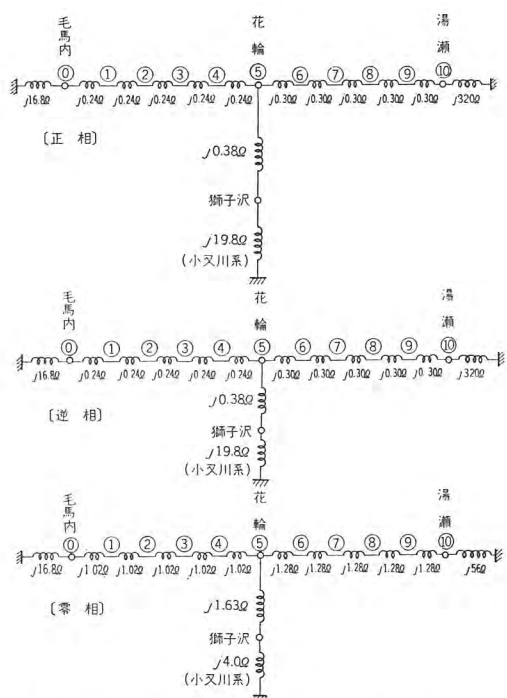


図 9.3 系統状態 (III) 湯瀬系 52 kV 直接接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けいの場合の 10,000 kVA ベースで表わされた湯瀬系インピーダンス図

Fig. 9.3 System condition (III) impedance diagram represented based on 10,000 kVA in case of Yuze 52 kV directly grounded and Komatagawa 52 kV directly grounded.



表 9.1 湯瀬系電力線地絡事故時の零相電流分布計算結果  
 [系統状態 (I) 湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けいの場合]

| 系 統<br>状 態 | 地絡番号 | 地絡確率 | 区間 0-1              | 区間 1-2              | 区間 2-3              | 区間 3-4              | 区間 4-5              | 区間 5-6              | 区間 6-7              | 区間 7-8              | 区間 8-9              | 区間 9-10             |
|------------|------|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|            |      |      | $I_{00}$ $\theta_0$ | $I_{01}$ $\theta_1$ | $I_{02}$ $\theta_2$ | $I_{03}$ $\theta_3$ | $I_{04}$ $\theta_4$ | $I_{05}$ $\theta_5$ | $I_{06}$ $\theta_6$ | $I_{07}$ $\theta_7$ | $I_{08}$ $\theta_8$ | $I_{09}$ $\theta_9$ |
| 1          | 001  | 209  | 403 000             | 403 000             | 403 000             | 403 000             | 403 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 002  | 209  | 000 000             | 432 000             | 432 000             | 432 000             | 432 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 003  | 209  | 000 000             | 000 000             | 460 000             | 460 000             | 460 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 004  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 500 000             | 500 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 005  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 538 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 006  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 007  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 500 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 008  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 432 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 009  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 388 000             | 388 000             | 388 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 010  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 346 000             | 346 000             | 346 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 011  | 209  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 313 000             | 313 000             | 313 000             | 313 000             | 313 000             |
| 1          | 012  | 001  | 308 000             | 308 000             | 308 000             | 308 000             | 308 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 013  | 001  | 000 000             | 338 000             | 338 000             | 338 000             | 338 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 014  | 001  | 000 000             | 000 000             | 382 000             | 382 000             | 382 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 015  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 432 000             | 432 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 016  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 500 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 017  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 018  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 470 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 019  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 384 000             | 384 000             | 384 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 020  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 328 000             | 328 000             | 328 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 021  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 286 000             | 286 000             | 286 000             | 286 000             | 286 000             |
| 1          | 022  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 252 000             | 252 000             | 252 000             | 252 000             | 252 000             |
| 1          | 023  | 001  | 496 168             | 319 090             | 319 090             | 319 090             | 319 090             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 024  | 001  | 490 167             | 490 167             | 346 086             | 346 086             | 346 086             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 025  | 001  | 461 163             | 461 163             | 461 163             | 384 081             | 384 081             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 026  | 001  | 432 160             | 432 160             | 432 160             | 413 078             | 413 078             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 027  | 001  | 413 157             | 413 157             | 413 157             | 413 157             | 413 157             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 005             |
| 1          | 028  | 001  | 413 156             | 413 156             | 413 156             | 413 156             | 413 156             | 511 031             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 029  | 001  | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 446 030             | 446 030             | 446 030             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 030  | 001  | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 446 030             | 446 030             | 446 030             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 031  | 001  | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 409 155             | 353 030             | 353 030             | 353 030             | 353 030             | 000 000             |
| 1          | 032  | 001  | 409 154             | 409 154             | 409 154             | 409 154             | 409 154             | 322 029             | 322 029             | 322 029             | 322 029             | 322 029             |
| 1          | 033  | 001  | 526 022             | 319 099             | 319 099             | 319 099             | 319 099             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 034  | 001  | 000 000             | 515 167             | 353 091             | 353 091             | 353 091             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 035  | 001  | 000 000             | 490 162             | 490 162             | 394 084             | 394 084             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 036  | 001  | 000 000             | 461 160             | 461 160             | 461 160             | 442 081             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 037  | 001  | 000 000             | 436 157             | 436 157             | 436 157             | 436 157             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 038  | 001  | 000 000             | 434 157             | 434 157             | 434 157             | 434 157             | 509 032             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 039  | 001  | 000 000             | 434 157             | 434 157             | 434 157             | 434 157             | 444 031             | 444 031             | 444 031             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 040  | 001  | 000 000             | 434 157             | 434 157             | 434 157             | 434 157             | 394 031             | 394 031             | 394 031             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 041  | 001  | 000 000             | 434 156             | 434 156             | 434 156             | 434 156             | 352 031             | 352 031             | 352 031             | 352 031             | 352 031             |
| 1          | 042  | 001  | 000 000             | 434 156             | 434 156             | 434 156             | 434 156             | 321 031             | 321 031             | 321 031             | 321 031             | 321 031             |
| 1          | 043  | 001  | 499 022             | 499 022             | 346 102             | 346 102             | 346 102             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 044  | 001  | 000 000             | 525 022             | 353 097             | 353 097             | 353 097             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 045  | 001  | 000 000             | 000 000             | 515 163             | 403 089             | 403 089             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 046  | 001  | 000 000             | 000 000             | 490 160             | 490 160             | 451 085             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 047  | 001  | 000 000             | 000 000             | 463 157             | 463 157             | 463 157             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 048  | 001  | 000 000             | 000 000             | 461 157             | 461 157             | 461 157             | 509 033             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 049  | 001  | 000 000             | 000 000             | 461 157             | 461 157             | 461 157             | 446 032             | 446 032             | 446 032             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 050  | 001  | 000 000             | 000 000             | 461 157             | 461 157             | 461 157             | 394 032             | 394 032             | 394 032             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 051  | 001  | 000 000             | 000 000             | 461 157             | 461 157             | 461 157             | 353 032             | 353 032             | 353 032             | 353 032             | 000 000             |
| 1          | 052  | 001  | 000 000             | 000 000             | 461 157             | 461 157             | 461 157             | 323 032             | 323 032             | 323 032             | 323 032             | 323 032             |
| 1          | 053  | 001  | 467 025             | 467 025             | 382 107             | 382 107             | 382 107             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 054  | 001  | 000 000             | 498 026             | 498 026             | 390 103             | 390 103             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 055  | 001  | 000 000             | 000 000             | 524 027             | 403 089             | 403 089             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 056  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 519 160             | 465 088             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 057  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 499 155             | 499 155             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 058  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 499 156             | 499 156             | 509 034             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 059  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 496 156             | 496 156             | 442 034             | 442 034             | 442 034             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 060  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 496 156             | 496 156             | 390 033             | 390 033             | 390 033             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 061  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 496 156             | 496 156             | 350 033             | 350 033             | 350 033             | 350 033             | 350 033             |
| 1          | 062  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 496 156             | 496 156             | 321 033             | 321 033             | 321 033             | 321 033             | 321 033             |
| 1          | 063  | 001  | 442 029             | 442 029             | 442 029             | 442 029             | 424 110             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 064  | 001  | 000 000             | 467 029             | 467 029             | 467 029             | 432 107             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 065  | 001  | 000 000             | 000 000             | 499 029             | 499 029             | 451 102             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 066  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 528 029             | 463 099             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 067  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 528 157             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 068  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 530 157             | 507 034             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 069  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 530 157             | 442 034             | 442 034             | 442 034             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 070  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 530 157             | 394 034             | 394 034             | 394 034             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 071  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 584 157             | 350 034             | 350 034             | 350 034             | 350 034             | 000 000             |
| 1          | 072  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 584 157             | 319 034             | 319 034             | 319 034             | 319 034             | 319 034             |
| 1          | 073  | 001  | 422 031             | 422 031             | 422 031             | 422 031             | 422 031             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 074  | 001  | 000 000             | 442 031             | 442 031             | 442 031             | 442 031             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 075  | 001  | 000 000             | 000 000             | 471 031             | 471 031             | 471 031             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 076  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 509 031             | 509 031             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 077  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 548 031             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 078  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 509 032             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 079  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 442 032             | 442 032             | 442 032             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 080  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 394 032             | 394 032             | 394 032             | 000 000             | 000 000             |
| 1          | 081  | 001  | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 000             | 000 00              |                     |                     |                     |                     |                     |



| 系<br>統<br>状<br>態 | 地<br>格<br>番<br>号 | 地<br>格<br>確<br>率 | 区間 0—1   |            | 区間 1—2   |            | 区間 2—3   |            | 区間 3—4   |            | 区間 4—5   |            | 区間 5—6   |            | 区間 6—7   |            | 区間 7—8   |            | 区間 8—9   |            | 区間 9—10  |            |
|------------------|------------------|------------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
|                  |                  |                  | $I_{00}$ | $\theta_0$ | $I_{01}$ | $\theta_1$ | $I_{02}$ | $\theta_2$ | $I_{03}$ | $\theta_3$ | $I_{04}$ | $\theta_4$ | $I_{05}$ | $\theta_5$ | $I_{06}$ | $\theta_6$ | $I_{07}$ | $\theta_7$ | $I_{08}$ | $\theta_8$ | $I_{09}$ | $\theta_9$ |
| 1                | 101              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 348      | 106        | 348      | 106        | 388      | 027        | 388      | 027        | 000      | 000        |
| 1                | 102              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 344      | 111        | 344      | 111        | 349      | 027        | 349      | 027        | 000      | 000        |
| 1                | 103              | 001              | 413      | 031        | 413      | 031        | 413      | 031        | 413      | 031        | 413      | 031        | 390      | 156        | 390      | 156        | 390      | 156        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 104              | 001              | 000      | 000        | 442      | 031        | 442      | 031        | 442      | 031        | 442      | 031        | 390      | 156        | 390      | 156        | 390      | 156        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 105              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 470      | 031        | 470      | 031        | 470      | 031        | 390      | 156        | 390      | 156        | 390      | 156        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 106              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 505      | 032        | 505      | 032        | 384      | 156        | 384      | 156        | 384      | 156        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 107              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 547      | 033        | 384      | 156        | 384      | 156        | 384      | 156        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 108              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 378      | 156        | 378      | 156        | 378      | 156        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 109              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 422      | 080        | 403      | 159        | 403      | 159        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 110              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 359      | 086        | 359      | 086        | 422      | 162        | 000      | 000        | 000      | 000        |
| 1                | 111              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 307      | 101        | 307      | 101        | 307      | 101        | 407      | 026        | 000      | 000        |
| 1                | 112              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 301      | 106        | 301      | 106        | 301      | 106        | 366      | 026        | 366      | 026        |
| 1                | 113              | 001              | 417      | 031        | 417      | 031        | 417      | 031        | 417      | 031        | 417      | 031        | 350      | 156        | 350      | 156        | 350      | 156        | 350      | 156        | 000      | 000        |
| 1                | 114              | 001              | 000      | 000        | 442      | 031        | 442      | 031        | 442      | 031        | 442      | 031        | 348      | 156        | 348      | 156        | 348      | 156        | 348      | 156        | 000      | 000        |
| 1                | 115              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 471      | 031        | 471      | 031        | 471      | 031        | 346      | 156        | 346      | 156        | 346      | 156        | 346      | 156        | 000      | 000        |
| 1                | 116              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 505      | 032        | 505      | 032        | 346      | 156        | 346      | 156        | 346      | 156        | 346      | 156        | 000      | 000        |
| 1                | 117              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 545      | 032        | 344      | 156        | 344      | 156        | 344      | 156        | 344      | 156        | 000      | 000        |
| 1                | 118              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 342      | 156        | 342      | 156        | 342      | 156        | 342      | 156        | 000      | 000        |
| 1                | 119              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 415      | 075        | 361      | 159        | 361      | 159        | 361      | 159        | 000      | 000        |
| 1                | 120              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 352      | 080        | 352      | 080        | 376      | 161        | 376      | 161        | 000      | 000        |
| 1                | 121              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 309      | 086        | 309      | 086        | 309      | 086        | 396      | 163        | 000      | 000        |
| 1                | 122              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 269      | 099        | 269      | 099        | 269      | 099        | 269      | 099        | 384      | 024        |
| 1                | 123              | 001              | 416      | 032        | 416      | 032        | 416      | 032        | 416      | 032        | 416      | 032        | 320      | 157        | 320      | 157        | 320      | 157        | 320      | 157        | 320      | 157        |
| 1                | 124              | 001              | 000      | 000        | 445      | 032        | 445      | 032        | 445      | 032        | 445      | 032        | 318      | 157        | 318      | 157        | 318      | 157        | 318      | 157        | 318      | 157        |
| 1                | 125              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 472      | 032        | 472      | 032        | 472      | 032        | 317      | 157        | 317      | 157        | 317      | 157        | 317      | 157        | 317      | 157        |
| 1                | 126              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 509      | 032        | 509      | 032        | 315      | 157        | 315      | 157        | 318      | 157        | 315      | 157        | 315      | 157        |
| 1                | 127              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 547      | 032        | 315      | 155        | 315      | 155        | 315      | 155        | 315      | 155        | 315      | 155        |
| 1                | 128              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 311      | 154        | 311      | 154        | 311      | 154        | 311      | 154        | 311      | 154        |
| 1                | 129              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 413      | 070        | 326      | 158        | 326      | 158        | 326      | 158        | 326      | 158        |
| 1                | 130              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 345      | 075        | 345      | 075        | 342      | 162        | 342      | 162        | 342      | 162        |
| 1                | 131              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 303      | 081        | 303      | 081        | 303      | 081        | 357      | 164        | 357      | 164        |
| 1                | 132              | 001              | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 000      | 000        | 268      | 087        | 268      | 087        | 268      | 087        | 268      | 087        | 370      | 167        |

表 9.2 湯瀬系電力線地絡事故時の零相電流分布計算結果  
[系統状態 (II) 小又川系 30 kV 非接地と湯瀬系 30 kV 非接地の連けの場合]

| 地<br>格<br>番<br>号 | 地<br>格<br>確<br>率 | 区間 0—1   |            | 区間 1—2   |            | 区間 2—3   |            | 区間 3—4   |            | 区間 4—5   |            | 区間 5—6   |            | 区間 6—7   |            | 区間 7—8   |            | 区間 8—9   |            | 区間 9—10  |            | 系<br>統<br>状<br>態 |     |   |
|------------------|------------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|------------------|-----|---|
|                  |                  | $I_{00}$ | $\theta_0$ | $I_{01}$ | $\theta_1$ | $I_{02}$ | $\theta_2$ | $I_{03}$ | $\theta_3$ | $I_{04}$ | $\theta_4$ | $I_{05}$ | $\theta_5$ | $I_{06}$ | $\theta_6$ | $I_{07}$ | $\theta_7$ | $I_{08}$ | $\theta_8$ | $I_{09}$ | $\theta_9$ |                  |     |   |
| 1                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 2                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 3                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 4                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 5                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 6                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 7                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 8                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 9                | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 10               | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 11               | 154              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 12               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 13               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 14               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 15               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 16               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 17               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 18               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 19               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 20               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 21               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 22               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 23               | 006              | 00538    | 003        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 24               | 006              | 00509    | 002        | 00509    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 25               | 006              | 00489    | 002        | 00489    | 002        | 00489    | 002        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 26               | 006              | 00470    | 002        | 00470    | 002        | 00470    | 002        | 00470    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 27               | 006              | 00451    | 002        | 00451    | 002        | 00451    | 002        | 00451    | 002        | 00451    | 002        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 28               | 006              | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 29               | 006              | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00393    | 000        | 00393    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 30               | 006              | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | 0                | 2   |   |
| 31               | 006              | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00000    | 000        | 0                | 2   |   |
| 32               | 006              | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326    | 001        | 00326            | 001 | 2 |
| 33               | 006              | 00529    | 184        | 00000    | 000        | 00.....  | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 34               | 006              | 00000    | 000        | 00519    | 003        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 35               | 006              | 00000    | 000        | 00500    | 003        | 00500    | 003        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 36               | 006              | 00000    | 000        | 00480    | 003        | 00480    | 003        | 00480    | 003        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 37               | 006              | 00000    | 000        | 00461    | 003        | 00461    | 003        | 00461    | 003        | 00461    | 003        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 38               | 006              | 00000    | 000        | 00432    | 002        | 00432    | 002        | 00432    | 002        | 00432    | 002        | 00432    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 39               | 006              | 00000    | 000        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 40               | 006              | 00000    | 000        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000            | 000 | 2 |
| 41               | 006              | 00000    | 000        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00000            | 000 | 2 |
| 42               | 006              | 00000    | 000        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336    | 003        | 00336            | 003 | 2 |
| 43               | 006              | 00500    | 183        | 00500    | 183        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 44               | 006              | 00000    | 000        | 00519    | 183        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 45               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00518    | 002        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 46               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00499    | 002        | 00499    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 47               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00480    | 002        | 00480    | 002        | 00480    | 002        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 48               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00442    | 002        | 00442    | 002        | 00442    | 002        | 00442    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 49               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00413    | 002        | 00413    | 002        | 00413    | 002        | 00413    | 002        | 00413    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 50               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | 0                | 2   |   |
| 51               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00000            | 000 | 2 |
| 52               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346    | 003        | 00346            | 003 | 2 |
| 53               | 006              | 00480    | 183        | 00480    | 183        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 54               | 006              | 00000    | 000        | 00500    | 183        | 00500    | 183        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 55               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00519    | 184        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 56               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 00519    | 003        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 57               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 00500    | 003        | 00500    | 003        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 59               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 00461    | 002        | 00461    | 002        | 00461    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 59               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 60               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00000    | 000        | 0        | .....      | 0                | 2   |   |
| 61               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00000            | 000 | 2 |
| 62               | 006              | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355    | 003        | 00355            | 003 | 2 |
| 63               | 006              | 00471    | 183        | 00471    | 183        | 00471    | 183        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 64               | 006              | 00000    | 000        | 00480    | 183        | 00480    | 183        | 00480    | 183        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |
| 65               | 006              | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00500    | 183        | 00500    | 183        | 00000    | 000        | 0        | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | .....    | .....      | 0                | 2   |   |



| 地格<br>番号 | 地格<br>確率 | 区間 0-1   |            | 区間 1-2   |            | 区間 2-3   |            | 区間 3-4   |            | 区間 4-5   |            | 区間 5-6   |            | 区間 6-7   |            | 区間 7-8   |            | 区間 8-9   |            | 区間 9-10  |            | 系 統<br>状 態 |
|----------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|------------|
|          |          | $I_{00}$ | $\theta_0$ | $I_{01}$ | $\theta_1$ | $I_{02}$ | $\theta_2$ | $I_{03}$ | $\theta_3$ | $I_{04}$ | $\theta_4$ | $I_{05}$ | $\theta_5$ | $I_{06}$ | $\theta_6$ | $I_{07}$ | $\theta_7$ | $I_{08}$ | $\theta_8$ | $I_{09}$ | $\theta_9$ |            |
| 66       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00519    | 184        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 67       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00519    | 004        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 68       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00480    | 003        | 00480    | 003        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 69       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00432    | 002        | 00432    | 002        | 00432    | 002        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 70       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00403    | 002        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 71       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00384    | 002        | 00000    | ...        | 2          |
| 72       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | 003        | 00365    | ...        | 2          |
| 73       | 006      | 00451    | 182        | 00451    | 182        | 00451    | 182        | 00451    | 182        | 00451    | 182        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 74       | 006      | 00000    | 000        | 00461    | 182        | 00461    | 182        | 00461    | 182        | 00461    | 182        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 75       | 006      | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00480    | 183        | 00480    | 183        | 00480    | 183        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 76       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00500    | 183        | 00500    | 183        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 77       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00519    | 183        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 78       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00490    | 003        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 79       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00452    | 003        | 00452    | 003        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 80       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00422    | 002        | 00000    | 000        | 0        | ...        | 2          |
| 81       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00394    | 002        | 00000    | ...        | 2          |
| 82       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | ...        | 2          |
| 83       | 006      | 00423    | 183        | 00423    | 183        | 00423    | 183        | 00423    | 183        | 00423    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 84       | 006      | 00000    | 000        | 00432    | 183        | 00432    | 183        | 00432    | 183        | 00432    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 85       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00442    | 183        | 00442    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 86       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00461    | 183        | 00461    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 87       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00471    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 88       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00491    | 184        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 89       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00461    | 003        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 90       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00432    | 003        | 00432    | 003        | 00000    | 000        | 0        | ...        | 2          |
| 91       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00404    | 004        | 00404    | 004        | 00404    | 004        | 00000    | ...        | 2          |
| 92       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | ...        | 2          |
| 93       | 006      | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 94       | 006      | 00000    | 000        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 95       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00413    | 183        | 00413    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 96       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00423    | 183        | 00423    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 97       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00442    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 98       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00452    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 99       | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00461    | 183        | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 2          |
| 100      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00423    | 003        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 101      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00404    | 004        | 00404    | 004        | 00000    | ...        | 2          |
| 102      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00374    | 002        | 00374    | 002        | 00374    | ...        | 2          |
| 103      | 006      | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 104      | 006      | 00000    | 000        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 105      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 106      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 107      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 108      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00422    | 182        | 00422    | 182        | 00000    | 000        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 109      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00423    | 183        | 00423    | 183        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 110      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00432    | 183        | 00000    | 000        | 00000    | ...        | 2          |
| 111      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00403    | 002        | 00000    | ...        | 2          |
| 112      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00384    | 002        | 00384    | ...        | 2          |
| 113      | 006      | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00000    | ...        | 2          |
| 114      | 006      | 00000    | 000        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00000    | ...        | 2          |
| 115      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00000    | ...        | 2          |
| 116      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00000    | ...        | 2          |
| 117      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00000    | ...        | 2          |
| 118      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00000    | ...        | 2          |
| 119      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00000    | ...        | 2          |
| 120      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00403    | 182        | 00403    | 182        | 00000    | ...        | 2          |
| 121      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00403    | 182        | 00000    | ...        | 2          |
| 122      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00384    | ...        | 2          |
| 123      | 006      | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 183        | 00326    | 182        | 2          |
| 124      | 009      | 00000    | 000        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 00336    | 183        | 2          |
| 125      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 00346    | 183        | 2          |
| 126      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 00355    | 183        | 2          |
| 127      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 00365    | 183        | 2          |
| 128      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 2          |
| 129      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 00374    | 182        | 2          |
| 130      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 2          |
| 131      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00384    | 182        | 00384    | 182        | 2          |
| 132      | 006      | 00000    | 000        | 0        | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | ...      | ...        | 00384    | 182        | 2          |

表 9.3 湯瀬系電力線地絡事故時の零相電流分布計算結果  
〔系統状態 (III)、小又川系 52 kV 直接接地と湯瀬系 52 kV 直接接地の連けいの場合〕

| 地 格<br>番 号 | 地格<br>確率 | 区間 0-1 |  | 区間 1-2 |  | 区間 2-3 |  | 区間 3-4 |  | 区間 4-5 |  | 区間 5-6 |  | 区間 6-7 |  | 区間 7-8 |  | 区間 8-9 |  |
|------------|----------|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|
|------------|----------|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|



| 地 域 | 地 格 | 区間 0—1 |     | 区間 1—2   |            | 区間 2—3   |            | 区間 3—4   |            | 区間 4—5   |            | 区間 5—6   |            | 区間 6—7   |            | 区間 7—8   |            | 区間 8—9   |            | 区間 9—10  |            | 系統       |            |   |
|-----|-----|--------|-----|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|---|
|     |     | 番号     | 離率  | $I_{00}$ | $\theta_0$ | $I_{01}$ | $\theta_1$ | $I_{02}$ | $\theta_2$ | $I_{03}$ | $\theta_3$ | $I_{04}$ | $\theta_4$ | $I_{05}$ | $\theta_5$ | $I_{06}$ | $\theta_6$ | $I_{07}$ | $\theta_7$ | $I_{08}$ | $\theta_8$ | $I_{09}$ | $\theta_9$ |   |
| 33  | 001 | 00301  | 193 | 00285    | 284        | 00285    | 284        | 00285    | 284        | 00285    | 284        | 00327    | 284        | 00027    | 284        | 00027    | 284        | 00027    | 284        | 00027    | 284        | 00027    | 284        | 3 |
| 34  | 001 | 00214  | 101 | 00326    | 358        | 00315    | 277        | 00315    | 277        | 00315    | 277        | 00030    | 276        | 00030    | 276        | 00030    | 276        | 00030    | 276        | 00030    | 276        | 00030    | 276        | 3 |
| 35  | 001 | 00211  | 106 | 00307    | 355        | 00307    | 355        | 00340    | 274        | 00340    | 274        | 00029    | 270        | 00029    | 270        | 00029    | 270        | 00029    | 270        | 00029    | 270        | 00029    | 270        | 3 |
| 36  | 001 | 00208  | 109 | 00289    | 351        | 00289    | 351        | 00289    | 351        | 00369    | 268        | 00009    | 270        | 00009    | 270        | 00009    | 270        | 00009    | 270        | 00009    | 270        | 00009    | 270        | 3 |
| 37  | 001 | 00207  | 113 | 00273    | 347        | 00273    | 347        | 00273    | 347        | 00273    | 347        | 00036    | 264        | 00036    | 264        | 00036    | 264        | 00036    | 264        | 00036    | 264        | 00036    | 264        | 3 |
| 38  | 001 | 00201  | 116 | 00270    | 346        | 00270    | 346        | 00270    | 346        | 00270    | 346        | 00369    | 046        | 00043    | 261        | 00043    | 261        | 00043    | 261        | 00043    | 261        | 00043    | 261        | 3 |
| 39  | 001 | 00199  | 119 | 00268    | 344        | 00268    | 344        | 00268    | 344        | 00268    | 344        | 00336    | 047        | 00336    | 047        | 00048    | 254        | 00048    | 254        | 00048    | 254        | 00048    | 254        | 3 |
| 40  | 001 | 00197  | 122 | 00268    | 344        | 00268    | 344        | 00268    | 344        | 00268    | 344        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 3 |
| 41  | 001 | 00195  | 125 | 00266    | 344        | 00266    | 344        | 00266    | 344        | 00266    | 344        | 00287    | 047        | 00287    | 047        | 00287    | 047        | 00287    | 047        | 00287    | 047        | 00287    | 047        | 3 |
| 42  | 001 | 00195  | 126 | 00261    | 342        | 00261    | 342        | 00261    | 342        | 00261    | 342        | 00285    | 042        | 00285    | 042        | 00285    | 042        | 00285    | 042        | 00285    | 042        | 00285    | 042        | 3 |
| 43  | 001 | 00289  | 199 | 00289    | 199        | 00324    | 287        | 00324    | 287        | 00324    | 287        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 3 |
| 44  | 001 | 00193  | 094 | 00311    | 201        | 00330    | 284        | 00330    | 284        | 00330    | 284        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 00030    | 282        | 3 |
| 45  | 001 | 00178  | 104 | 00178    | 104        | 00335    | 352        | 00363    | 278        | 00363    | 278        | 00033    | 275        | 00033    | 275        | 00033    | 275        | 00033    | 275        | 00033    | 275        | 00033    | 275        | 3 |
| 46  | 001 | 00177  | 106 | 00177    | 106        | 00318    | 349        | 00318    | 349        | 00390    | 274        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 3 |
| 47  | 001 | 00175  | 111 | 00175    | 111        | 00304    | 344        | 00304    | 344        | 00304    | 344        | 00039    | 270        | 00039    | 270        | 00039    | 270        | 00039    | 270        | 00039    | 270        | 00039    | 270        | 3 |
| 48  | 001 | 00169  | 115 | 00169    | 115        | 00299    | 016        | 00299    | 016        | 00299    | 016        | 00372    | 047        | 00043    | 265        | 00043    | 265        | 00043    | 265        | 00043    | 265        | 00043    | 265        | 3 |
| 49  | 001 | 00166  | 118 | 00166    | 118        | 00299    | 343        | 00299    | 343        | 00299    | 343        | 00337    | 047        | 00337    | 047        | 00047    | 261        | 00047    | 261        | 00047    | 261        | 00047    | 261        | 3 |
| 50  | 001 | 00164  | 121 | 00164    | 121        | 00296    | 342        | 00296    | 342        | 00296    | 342        | 00308    | 048        | 00308    | 048        | 00308    | 048        | 00308    | 048        | 00308    | 048        | 00308    | 048        | 3 |
| 51  | 001 | 00162  | 124 | 00162    | 124        | 00291    | 341        | 00291    | 341        | 00291    | 341        | 00285    | 048        | 00285    | 048        | 00285    | 048        | 00285    | 048        | 00285    | 048        | 00285    | 048        | 3 |
| 52  | 001 | 00162  | 124 | 00162    | 124        | 00291    | 341        | 00291    | 341        | 00291    | 341        | 00264    | 048        | 00264    | 048        | 00264    | 048        | 00264    | 048        | 00264    | 048        | 00264    | 048        | 3 |
| 53  | 001 | 00273  | 202 | 00273    | 202        | 00348    | 288        | 00348    | 288        | 00348    | 288        | 00031    | 288        | 00031    | 288        | 00031    | 288        | 00031    | 288        | 00031    | 288        | 00031    | 288        | 3 |
| 54  | 001 | 00186  | 088 | 00295    | 203        | 00295    | 203        | 00360    | 286        | 00360    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 3 |
| 55  | 001 | 00173  | 094 | 00173    | 094        | 00315    | 204        | 00363    | 283        | 00363    | 283        | 00033    | 281        | 00033    | 281        | 00033    | 281        | 00033    | 281        | 00033    | 281        | 00033    | 281        | 3 |
| 56  | 001 | 00160  | 103 | 00160    | 103        | 00160    | 103        | 00340    | 345        | 00401    | 276        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 00036    | 275        | 3 |
| 57  | 001 | 00157  | 108 | 00157    | 108        | 00157    | 108        | 00324    | 342        | 00324    | 342        | 00040    | 274        | 00040    | 274        | 00040    | 274        | 00040    | 274        | 00040    | 274        | 00040    | 274        | 3 |
| 58  | 001 | 00155  | 112 | 00155    | 112        | 00155    | 112        | 00322    | 341        | 00322    | 341        | 00369    | 046        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 3 |
| 59  | 001 | 00148  | 116 | 00148    | 116        | 00148    | 116        | 00318    | 342        | 00318    | 342        | 00334    | 047        | 00334    | 047        | 00050    | 262        | 00050    | 262        | 00050    | 262        | 00050    | 262        | 3 |
| 60  | 001 | 00147  | 118 | 00147    | 118        | 00147    | 118        | 00315    | 341        | 00315    | 341        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 00308    | 047        | 3 |
| 61  | 001 | 00142  | 117 | 00142    | 117        | 00142    | 117        | 00314    | 338        | 00314    | 338        | 00287    | 046        | 00287    | 046        | 00287    | 046        | 00287    | 046        | 00287    | 046        | 00287    | 046        | 3 |
| 62  | 001 | 00144  | 123 | 00144    | 123        | 00144    | 123        | 00316    | 339        | 00316    | 339        | 00263    | 047        | 00263    | 047        | 00263    | 047        | 00263    | 047        | 00263    | 047        | 00263    | 047        | 3 |
| 63  | 001 | 00265  | 206 | 00265    | 206        | 00265    | 206        | 00265    | 206        | 00265    | 206        | 00035    | 291        | 00035    | 291        | 00035    | 291        | 00035    | 291        | 00035    | 291        | 00035    | 291        | 3 |
| 64  | 001 | 00183  | 085 | 00285    | 207        | 00285    | 207        | 00285    | 207        | 00392    | 288        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 00034    | 286        | 3 |
| 65  | 001 | 00166  | 090 | 00166    | 090        | 00304    | 208        | 00304    | 208        | 00398    | 286        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 3 |
| 66  | 001 | 00157  | 094 | 00157    | 094        | 00157    | 094        | 00326    | 209        | 00164    | 305        | 00037    | 280        | 00037    | 280        | 00037    | 280        | 00037    | 280        | 00037    | 280        | 00037    | 280        | 3 |
| 67  | 001 | 00145  | 105 | 00145    | 105        | 00145    | 105        | 00348    | 341        | 00043    | 274        | 00043    | 274        | 00043    | 274        | 00043    | 274        | 00043    | 274        | 00043    | 274        | 00043    | 274        | 3 |
| 68  | 001 | 00140  | 108 | 00140    | 108        | 00140    | 108        | 00140    | 108        | 00350    | 340        | 00372    | 315        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 00046    | 265        | 3 |
| 69  | 001 | 00136  | 111 | 00136    | 111        | 00136    | 111        | 00346    | 340        | 00346    | 340        | 00336    | 045        | 00336    | 045        | 00050    | 266        | 00050    | 266        | 00050    | 266        | 00050    | 266        | 3 |
| 70  | 001 | 00132  | 115 | 00132    | 115        | 00132    | 115        | 00343    | 340        | 00310    | 046        | 00310    | 046        | 00310    | 046        | 00310    | 046        | 00310    | 046        | 00310    | 046        | 00310    | 046        | 3 |
| 71  | 001 | 00132  | 118 | 00132    | 118        | 00132    | 118        | 00346    | 338        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 3 |
| 72  | 001 | 00128  | 121 | 00128    | 121        | 00128    | 121        | 00341    | 339        | 00266    | 047        | 00266    | 047        | 00266    | 047        | 00266    | 047        | 00266    | 047        | 00266    | 047        | 00266    | 047        | 3 |
| 73  | 001 | 00245  | 208 | 00245    | 208        | 00245    | 208        | 00245    | 208        | 00245    | 208        | 00042    | 288        | 00042    | 288        | 00042    | 288        | 00042    | 288        | 00042    | 288        | 00042    | 288        | 3 |
| 74  | 001 | 00192  | 081 | 00270    | 210        | 00270    | 210        | 00270    | 210        | 00270    | 210        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 3 |
| 75  | 001 | 00176  | 085 | 00176    | 085        | 00288    | 211        | 00288    | 211        | 00288    | 211        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 00037    | 285        | 3 |
| 76  | 001 | 00163  | 088 | 00163    | 088        | 00163    | 088        | 00308    | 147        | 00308    | 147        | 00041    | 284        | 00041    | 284        | 00041    | 284        | 00041    | 284        | 00041    | 284        | 00041    | 284        | 3 |
| 77  | 001 | 00150  | 095 | 00150    | 095        | 00150    | 095        | 00338    | 213        | 00040    | 279        | 00040    | 279        | 00040    | 279        | 00040    | 279        | 00040    | 279        | 00040    | 279        | 00040    | 279        | 3 |
| 78  | 001 | 00134  | 104 | 00134    | 104        | 00134    | 104        | 00134    | 104        | 00134    | 104        | 00372    | 045        | 00046    | 270        | 00046    | 270        | 00046    | 270        | 00046    | 270        | 00046    | 270        | 3 |
| 79  | 001 | 00126  | 108 | 00126    | 108        | 00126    | 108        | 00126    | 108        | 00126    | 108        | 00339    | 045        | 00339    | 045        | 00050    | 266        | 00050    | 266        | 00050    | 266        | 00050    | 266        | 3 |
| 80  | 001 | 00125  | 111 | 00125    | 111        | 00125    | 111        | 00125    | 111        | 00125    | 111        | 00308    | 046        | 00308    | 046        | 00308    | 046        | 00308    | 046        | 00308    | 046        | 00308    | 046        | 3 |
| 81  | 001 | 00123  | 113 | 00123    | 113        | 00123    | 113        | 00123    | 113        | 00123    | 113        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 00287    | 045        | 3 |
| 82  | 001 | 00120  | 117 | 00120    | 117        | 00120    | 117        | 00120    | 117        | 00120    | 117        | 00263    | 046        | 00263    | 046        | 00263    | 046        | 00263    | 046        | 00263    | 046        | 00263    | 046        | 3 |
| 83  | 001 | 00244  | 209 | 00244    | 209        | 00244    | 209        | 00244    | 209        | 00244    | 209        | 00391    | 148        | 00044    | 296        | 00044    | 296        | 00044    | 296        | 00044    | 296        | 00044    | 296        | 3 |
| 84  | 001 | 00187  | 077 | 00266    | 211        | 00266    | 211        | 00266    | 211        | 00266    | 211        | 00394    | 149        | 00043    | 292        | 00043    | 292        | 00043    | 292        | 00043    | 292        | 00043    | 292        | 3 |
| 85  | 001 | 00171  | 081 | 00171    | 081        | 00287    | 212        | 00       |            |          |            |          |            |          |            |          |            |          |            |          |            |          |            |   |



表 9.4 地 絡 番 号 と 地 絡 点 と の 関 係

| 地絡番号 | L | b 相 | c 相 |  | 地絡番号 | L | b 相 | c 相 |  | 地絡番号 | L | b 相 | c 相 |
|------|---|-----|-----|--|------|---|-----|-----|--|------|---|-----|-----|
| 001  | 1 | —   | 00  |  | 045  | 2 | 02  | 03  |  | 089  | 2 | 06  | 07  |
| 002  | 1 | —   | 01  |  | 046  | 2 | 02  | 04  |  | 090  | 2 | 06  | 08  |
| 003  | 1 | —   | 02  |  | 047  | 2 | 02  | 05  |  | 091  | 2 | 06  | 09  |
| 004  | 1 | —   | 03  |  | 048  | 2 | 02  | 06  |  | 092  | 2 | 06  | 10  |
| 005  | 1 | —   | 04  |  | 049  | 2 | 02  | 07  |  | 093  | 2 | 07  | 00  |
| 006  | 1 | —   | 05  |  | 050  | 2 | 02  | 08  |  | 094  | 2 | 07  | 01  |
| 007  | 1 | —   | 06  |  | 051  | 2 | 02  | 09  |  | 095  | 2 | 07  | 02  |
| 008  | 1 | —   | 07  |  | 052  | 2 | 02  | 10  |  | 096  | 2 | 07  | 03  |
| 009  | 1 | —   | 08  |  | 053  | 2 | 03  | 00  |  | 097  | 2 | 07  | 04  |
| 010  | 1 | —   | 09  |  | 054  | 2 | 03  | 01  |  | 098  | 2 | 07  | 05  |
| 011  | 1 | —   | 10  |  | 055  | 2 | 03  | 02  |  | 099  | 2 | 07  | 06  |
| 012  | 2 | 00  | 00  |  | 056  | 2 | 03  | 04  |  | 100  | 2 | 07  | 08  |
| 013  | 2 | 01  | 01  |  | 057  | 2 | 03  | 05  |  | 101  | 2 | 07  | 09  |
| 014  | 2 | 02  | 02  |  | 058  | 2 | 03  | 06  |  | 102  | 2 | 07  | 10  |
| 015  | 2 | 03  | 03  |  | 059  | 2 | 03  | 07  |  | 103  | 2 | 08  | 00  |
| 016  | 2 | 04  | 04  |  | 060  | 2 | 03  | 08  |  | 104  | 2 | 08  | 01  |
| 017  | 2 | 05  | 05  |  | 061  | 2 | 03  | 09  |  | 105  | 2 | 08  | 02  |
| 018  | 2 | 06  | 06  |  | 062  | 2 | 03  | 10  |  | 106  | 2 | 08  | 03  |
| 019  | 2 | 07  | 07  |  | 063  | 2 | 04  | 00  |  | 107  | 2 | 08  | 04  |
| 020  | 2 | 08  | 08  |  | 064  | 2 | 04  | 01  |  | 108  | 2 | 08  | 05  |
| 021  | 2 | 09  | 09  |  | 065  | 2 | 04  | 02  |  | 109  | 2 | 08  | 06  |
| 022  | 2 | 10  | 10  |  | 066  | 2 | 04  | 03  |  | 110  | 2 | 08  | 07  |
| 023  | 2 | 00  | 01  |  | 067  | 2 | 04  | 05  |  | 111  | 2 | 08  | 09  |
| 024  | 2 | 00  | 02  |  | 068  | 2 | 04  | 06  |  | 112  | 2 | 08  | 10  |
| 025  | 2 | 00  | 03  |  | 069  | 2 | 04  | 07  |  | 113  | 2 | 09  | 00  |
| 026  | 2 | 00  | 04  |  | 070  | 2 | 04  | 08  |  | 114  | 2 | 09  | 01  |
| 027  | 2 | 00  | 05  |  | 071  | 2 | 04  | 09  |  | 115  | 2 | 09  | 02  |
| 028  | 2 | 00  | 06  |  | 072  | 2 | 04  | 10  |  | 116  | 2 | 09  | 03  |
| 029  | 2 | 00  | 07  |  | 073  | 2 | 05  | 00  |  | 117  | 2 | 09  | 04  |
| 030  | 2 | 00  | 08  |  | 074  | 2 | 05  | 01  |  | 118  | 2 | 09  | 05  |
| 031  | 2 | 00  | 09  |  | 075  | 2 | 05  | 02  |  | 119  | 2 | 09  | 06  |
| 032  | 2 | 00  | 10  |  | 076  | 2 | 05  | 03  |  | 120  | 2 | 09  | 07  |
| 033  | 2 | 01  | 00  |  | 077  | 2 | 05  | 04  |  | 121  | 2 | 09  | 08  |
| 034  | 2 | 01  | 02  |  | 078  | 2 | 05  | 06  |  | 122  | 2 | 09  | 10  |
| 035  | 2 | 01  | 03  |  | 079  | 2 | 05  | 07  |  | 123  | 2 | 10  | 00  |
| 036  | 2 | 01  | 04  |  | 080  | 2 | 05  | 08  |  | 124  | 2 | 10  | 01  |
| 037  | 2 | 01  | 05  |  | 081  | 2 | 05  | 09  |  | 125  | 2 | 10  | 02  |
| 038  | 2 | 01  | 06  |  | 082  | 2 | 05  | 10  |  | 126  | 2 | 10  | 03  |
| 039  | 2 | 01  | 07  |  | 083  | 2 | 06  | 00  |  | 127  | 2 | 10  | 04  |
| 040  | 2 | 01  | 08  |  | 084  | 2 | 06  | 01  |  | 128  | 2 | 10  | 05  |
| 041  | 2 | 01  | 09  |  | 085  | 2 | 06  | 02  |  | 129  | 2 | 10  | 06  |
| 042  | 2 | 01  | 10  |  | 086  | 2 | 06  | 03  |  | 130  | 2 | 10  | 07  |
| 043  | 2 | 02  | 00  |  | 087  | 2 | 06  | 04  |  | 131  | 2 | 10  | 08  |
| 044  | 2 | 02  | 01  |  | 088  | 2 | 06  | 05  |  | 132  | 2 | 10  | 09  |

最近における当社の社外講演一覧

| 講演<br>年月日          | 主催または開催地             | 題 名                              | 講 演 者               | 所 属<br>場 所 |
|--------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------|------------|
| 33-11-7            | 電気三学会関西支部            | 直流送電                             | 己斐 健三郎              | 伊 丹        |
| "-11-10,<br>12, 14 | 東北七県電力使用合理化<br>協議会   | 制御器の選定と保守について                    | 篠 崎 善 助             | 名古屋        |
| "-11-10<br>12, 14  | "                    | 電動機の選定と保守について                    | 小 野 勝 啓             | "          |
| "-11-20            | 日刊工業新聞社              | 注文生産工場における仕掛品低減の方法               | 福 中 希 生             | 伊 丹        |
| 33-12-3            | 日刊工業新聞社              | 硬質フェライトの活用法について                  | 中 村 弘               | 大 船        |
| "-12-8             | 大阪府立産業能率研究所          | モータルの故障と診断                       | 白 田 長 一             | 名古屋        |
| 34-1-7             | 全国中小企業団体中央会          | 管理図の作り方の実際                       | 今 泉 喜 平             | "          |
| "-1-23             | マイクロ波真空管研究専<br>門委員会  | 集束電子銃を使用せる電子ビームの直流位界集束           | 戸 田 哲 雄             | 研究所        |
| "-1-23             | 非直線磁気応用研究専門<br>委員会   | 磁気論理要素                           | 大 野 栄 一             | "          |
| "-1-24             | 大阪中央電気クラブ            | 光導電性材料の諸性質とその応用                  | 山 下 博 典             | "          |
| "-1-27             | 日刊工業新聞社（名古屋<br>支社）   | 新しいプレス技術講習会“技型の設計と製作について”        | 杉 山 道 治             | 名古屋        |
| "-1-31             | 日本原子力産業会議原子<br>動力講習会 | 原子炉制御の実際                         | 八 島 英 之             | 研究所        |
| 34-2-10            | 化学工業協会関西支部           | アナログコンピュータについて                   | 馬場準一・真鍋舜治           | "          |
| "-2-10             | 兵庫県電気協会技術部会          | 光導電体の進歩とその応用                     | 山 下 博 典             | "          |
| "-2-10             | 中国電力火力部              | 変圧器の保守と最近の話題                     | 南 角 英 男             | 伊 丹        |
| "-2-12             | 日本化学会                | 第3回原子力シンポジウム（ヘキソンによるジルコニウムの抽出分離） | 立原芳彦・石橋 勝<br>〔今村 元〕 | 研究所        |
| "-2-13             | 原子力シンポジウム            | 原子力プラントの動特性解析に対する計数形電子計算機の<br>応用 | 八 島 英 之             | "          |



# MI 形 熱 動 過 負 荷 継 電 器

長崎製作所 井 上 通\*・広 石 寛\*\*

## Type MI Thermal Overload Relays

Nagasaki Works Tōru INOUE・Hiroshi HIROISHI

A variety of devices have been used for the overload protection of motors; of them those thermal overload relays operating on the bimetal function stand out in the advantages of small size, simplicity and economy. However, they are subject to the effect of the change of ambient temperature in their operating current and time characteristic, and demand for the compensation against the temperature variation has become conspicuous. On the other hand resistance to mechanical shock in the marine application is another requisite called for. Type MI thermal overload relays developed by Mitsubishi, being specially designed to satisfy the requirements, are recommended for use with controllers and motor starters both in land and marine application.

### 1. ま え が き

電動機の過負荷保護装置として従来より種々の形式のものが製作されているが中でもバイメタルの温度変化によるタワミ曲りを利用した熱動過負荷継電器は小形・簡便で経済的であることのほかにその動作特性が電動機とくにカゴ形誘導電動機の熱特性に比較的類似したものが得られるのでこの種電動機に対して一般に広く用いられている。

バイメタル式熱動過負荷継電器により電動機を保護する場合周囲温度の変化によって継電器の動作電流・時間特性が変化するため最適の過負荷保護を行なわせるためには電動機の周囲温度、継電器の周囲温度、開閉器の形式・種類・寸法その他加熱冷却の原因となるものについて考慮し適切なヒータを選定するように注意しなければならない。そこでもし周囲温度の変化に対する温度補償機構を有し動作特性が周囲温度の変化によって影響されない熱動過負荷継電器が得られるならばヒータ選定の煩わしさが省けるのはもちろん、より適正な過負荷保護が可能となる。ことに航海地点によって周囲温度変化のはなはだしい船舶補機電動機用の熱動過負荷継電器に対しては近來周囲温度変化に対する温度補償装置付であることを要求される例がかなり多い。

さらに防衛庁艦艇用の場合には高度の耐衝撃特性を有することが要求される。

当社ではこれらの諸要求を完全に満足する継電器として数年前より MI 形熱動過負荷継電器を新規開発し多

数納入して好実績を納めているので、以下にその構造、特性などにつき紹介する。

### 2. 定 格

MI 形熱動過負荷継電器は周囲温度に対する補償装置をもつ単極の過負荷継電器であって定格電圧は 500 V、交流または直流いずれの回路にも使用できる。接点の電流定格は交流回路の場合 6 A、直流回路の場合は 2 A、200 VA の通電ならびにシャ断容量を有している。

この継電器のヒータとしては、表 2.1 ヒータ選定表に示すように、0.36 A から 205 A の範囲にわたりこの間に 58 種の定格のものが段階的に定められており、適用

表 2.1 ヒータ選定表

| 電 動 機<br>全負荷電流 (A) | ヒータ称呼<br>(刻印値) | 電 動 機<br>全負荷電流 (A) | ヒータ称呼<br>(刻印値) |
|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| 0.28 ~ 0.30        | 0.36           | 11.8 ~ 13.0        | 14.8           |
| 0.31 ~ 0.34        | 0.40           | 13.1 ~ 14.0        | 16.0           |
| 0.35 ~ 0.39        | 0.45           | 14.1 ~ 16.0        | 18.0           |
| 0.40 ~ 0.44        | 0.51           | 16.1 ~ 18.0        | 20.5           |
| 0.45 ~ 0.50        | 0.58           | 18.1 ~ 20.3        | 23.0           |
| 0.51 ~ 0.56        | 0.65           | 20.4 ~ 22.9        | 26             |
| 0.57 ~ 0.64        | 0.73           | 23.0 ~ 25.4        | 29.5           |
| 0.65 ~ 0.73        | 0.83           | 25.5 ~ 27.0        | 32             |
| 0.74 ~ 0.81        | 0.94           | 28 ~ 31            | 35             |
| 0.82 ~ 0.92        | 1.06           | 32 ~ 35            | 41             |
| 0.93 ~ 1.05        | 1.20           | 36 ~ 38            | 44             |
| 1.06 ~ 1.19        | 1.36           | 39 ~ 42            | 49             |
| 1.20 ~ 1.35        | 1.54           | 43 ~ 45            | 53             |
| 1.36 ~ 1.53        | 1.74           | 46 ~ 48            | 58             |
| 1.54 ~ 1.73        | 1.95           | 49 ~ 52            | 62             |
| 1.74 ~ 1.94        | 2.21           | 53 ~ 57            | 67             |
| 1.95 ~ 2.1         | 2.50           | 58 ~ 63            | 73             |
| 2.2 ~ 2.5          | 2.83           | 64 ~ 71            | 81             |
| 2.6 ~ 2.8          | 3.20           | 72 ~ 80            | 91             |
| 2.9 ~ 3.2          | 3.65           | 81 ~ 89            | 102            |
| 3.3 ~ 3.6          | 4.15           | 90 ~ 98            | 113            |
| 3.7 ~ 4.0          | 4.65           | 99 ~ 108           | 123            |
| 4.1 ~ 4.5          | 5.25           | 109 ~ 118          | 137            |
| 4.6 ~ 5.3          | 5.95           | 119 ~ 125          | 149            |
| 5.4 ~ 6.0          | 6.75           | 126 ~ 136          | 157            |
| 6.1 ~ 6.7          | 7.70           | 137 ~ 151          | 173            |
| 6.8 ~ 7.7          | 8.70           | 152 ~ 163          | 190            |
| 7.8 ~ 9.0          | 10.2           | 164 ~ 180          | 205            |
| 9.1 ~ 10.3         | 11.7           |                    |                |
| 10.4 ~ 11.7        | 13.2           |                    |                |



電動機の全負荷電流に従ってそれぞれ選定使用する。ヒータの目盛方式としては JEM 1096 により引はずし電流目盛と定格電流目盛の二通りの目盛方式があるが当社では引はずし電流目盛方式を採用している。したがって表 2.1 においてヒータ称呼値とはその目盛電流値で継電器が動作するが、90% の電流では動作しない値をさす。なお調整レバーの位置をかえることによってその引はずし電流値をヒータ定格の上下 10% に調整できる。

### 3. 構 造

図 3.1 および図 3.2 に MI 形熱動過負荷継電器の外観を、また図 3.3 にその外形寸法、図 3.4 にその内部構造断面を示す。構成要素は図 3.4 で主バイメタル(15)、補償バイメタル(2)、補償軸(10)、クイル軸(13)、クラッチスプリング(14)、可動接触子(6)、固定接触子(5)、

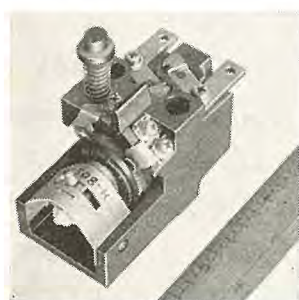


図 3.1 MI 形熱動過負荷継電器 (ヒータを取付けた状態)  
Fig. 3.1 Type MI thermal overload relay with heater

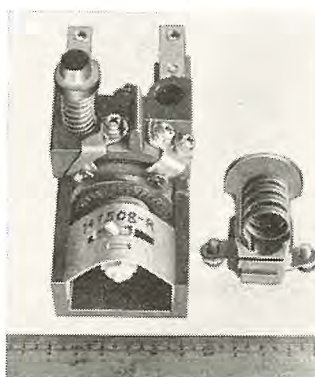


図 3.2 MI 形熱動過負荷継電器 (ヒータを外した状態)  
Fig. 3.2 Type MI thermal overload relay and heater.

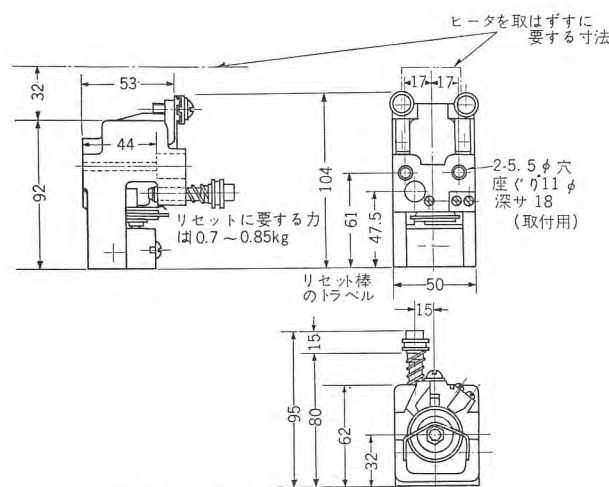


図 3.3 MI 形熱動過負荷継電器外形図  
Fig. 3.3 Outline of type MI relay.

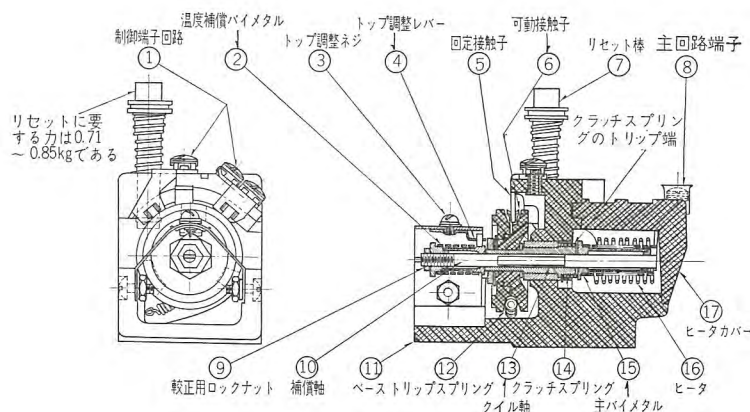


図 3.4 MI 形継電器断面図  
Fig. 3.4 Sectional view of type MI relay.

リセット棒 (7)、ヒータ部 (16, 17)、およびベース (11) から成っている。ベースはマイカを基材とする合成樹脂成形品でつくられ高度の耐衝撃性と耐熱性をもっており、焼損による炭化のような絶縁劣化のおそれはまったくない。

ヒータ素子(16)は 58 A 以下の小電流定格用と 62A 以上の大電流定格用の 2 種に大別されるが、小電流定格のものはすべてラ旋状に巻かれたニッケルクロム抵抗線よりなり、耐熱性のカバー (17) に取付けられている。大電流定格のヒータは、U 字形の銅ニッケル抵抗帯からなりカバーはつけない。ヒータ端子にその称呼値を刻印している。図 3.5 にヒータの一例を示す。

制御回路用接点は標準のものは常時閉接触のものであるが、必要に応じ常時開接触のものも製作することができる。

この継電器取付は直接鋼板上、あるいは絶縁板上のいずれでも良く主回路端子(ヒータ端子)および制御回路端子はいずれも表面接続に適した構造に配置されている。またこの継電器は水平取付、垂直取付ともに可能であるが、垂直に取付ける際には主バイメタルとヒータが上部になるようにしなければヒータの熱が補償用バイメタルに影響をあたえることになるから注意を要する。補償用

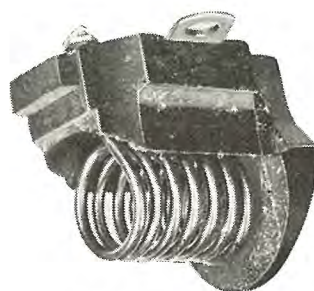


図 3.5 ヒータ  
Fig. 3.5 Heater.

バイメタルは周囲温度の影響を補正する目的に使用されるものであるからこの継電器取付に際しては、他の継電器類によって直接熱せられたり、あるいは他の集中熱源により熱せられることのないよう



にしなければならない。

## 4. 動作

### 4.1 スプリングクラッチの原理

この継電器の動作原理を理解するためにはまずスプリングクラッチの原理を知る必要がある。

クラッチスプリングは電動機全負荷電流ではクイル軸を把持し、過負荷電流になればこれを釈放しようとするものである。図4.1においてクイル軸は時計方向（リセット方向）には自由に回転することができるが、反時計方向に回わそうとしてもクラッチスプリングがいつそうかたくクイル軸に巻きつけられるだけでクイル軸を回転させることはできない。図4.2はクラッチスプリングの釈放原理を示すものである。いま外力によってクラッチスプリングのトリップ端を時計方向（すなわちスプリ

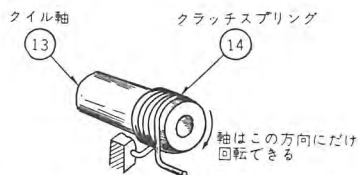


図 4.1 スプリングクラッチの原理  
Fig. 4.1 Spring clutch principle.

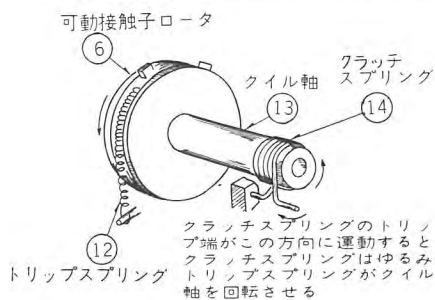


図 4.2 スプリングクラッチの釈放原理  
Fig. 4.2 Principle of spring clutch release.

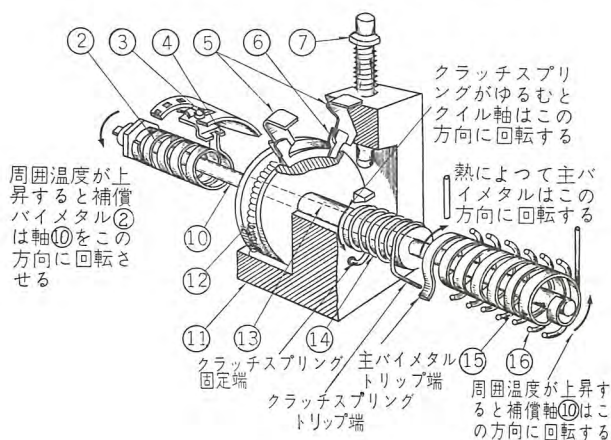


図 4.3 MI 形継電器動作原理  
Fig. 4.3 Operation principle of type MI relay.

グをクイル軸から巻きもどす方向)にまわせばクイル軸を把持する力は失われ、クイル軸はいずれの方向にも自由に回転しうようになり、トリップスプリングの力により可動接触子のロータは回転させられ、接点が開く。(あるいは閉じる)。

### 4.2 動作原理

この継電器の構成要素と動作原理を図4.3に示す。

主バイメタル (15) を取りまいてあるヒータ素子 (16) には、それを流れる電動機電流の2乗に比例した熱を発生する。この熱により主バイメタルは膨張しそのトリップ端はヒータ側からみて時計方向に回転するようになっている。電流が全負荷あるいはそれ以下では主バイメタルのトリップ端の回転はクラッチスプリングのトリップ端にまでは達しないが、持続過負荷電流ではヒータ素子によって発生する熱による主バイメタルのトリップ端の膨張、回転は十分大となり、クラッチスプリングのトリップ端を時計方向に押すことになる。クラッチスプリングのトリップ端が時計方向に動けば、クラッチスプリングはゆるめられクイル軸を解放するにいたる。クイル軸に固定された可動接触子はこの時トリップスプリングの力により、常時閉 (あるいは開) から開 (あるいは閉) となる。

### 4.3 リセット

過負荷となって継電器が動作した後、主バイメタルが十分冷却してそのトリップ端がクラッチスプリングのトリップ端から離れると、リセットすることができる。リセット棒を押下げればクイル軸は原位置に復帰し、制御回路接点も常態に復帰する。

### 4.4 温度補償

同一補償軸上で主バイメタルとは反対側に補償用バイメタルを取付けて周囲温度変化による主バイメタルのトリップ端の動きに補正を加えようとするものである。温度補償のない場合を考えると、たとえば周囲温度が継電器較正時よりも高くなれば主バイメタルのトリップ端は時計方向に回転し、それだけトリップするまでの距離が短くなるため、継電器は電動機の規定電流値以下でトリップするようになる。また逆に周囲温度が低くなれば規定電流値以上にならないと、継電器がトリップしないようになる。

この継電器の周囲温度に対する補償は次のようにして行なわれる。周囲温度が上昇すると補償バイメタルの左端は反時計方向に回転し、この運動は補償軸 (10) を通



じて主バイメタル (15) の右端に伝えられる。この場合補償軸はつねに周囲温度の変化によって生ずる主バイメタルのトリップ端の回転を打消す方向に回転させられる。このようにして主バイメタル (15) の右端の位置を自動的に調整することにより周囲温度変化の広い範囲にわたって、主バイメタルとクラッチスプリングのトリップ端間の距離を一定に保ち、つねに規定電流値で継電器を動作させるのである。

#### 4.5 トリップ調整

それぞれのヒータによる継電器の動作範囲はトリップ調整レバー (4) を移動することにより、ヒータ定格の  $\pm 10\%$  の間で変えることができる。このレバーの移動は補償バイメタル (2) および補償軸 (10) を通じて主バイメタルに伝えられ、そのトリップ距離を増加あるいは減少させるのである。トリップ距離を長くすればより大きなトリップ電流が要求され、逆にトリップ距離を短くすればトリップ電流は小さくなる。この調整によっても所要の動作が十分行なえない場合にはヒータを他の定格のものと取換えなければならない。

#### 4.6 耐衝撃構造

この継電器はそのすべての部分が軸に関して対称な構造となっているので、いかなる方向から衝撃が加わってもその力はすべて平衡し、クラッチスプリングは軸に対する回転阻止作用を失わず、どの部分も回転しないから接点も動作せず、耐衝撃形継電器として使用できるわけである。

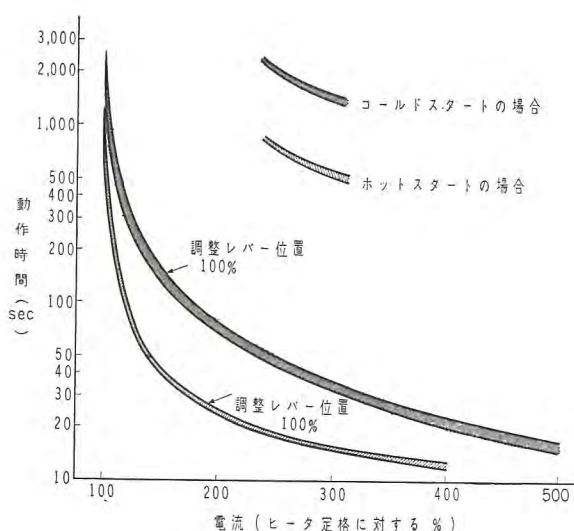


図 5.1 動作時間特性曲線

Fig. 5.1 Operating time characteristic curve.

## 5. 特 性

### 5.1 動作時間特性

図 5.1 に MI 形継電器の動作時間特性曲線を示す。前述のようにヒータ定格として引はずし電流目盛を採用しているので横軸の電流値が電動機電流ではなくヒータ定格に対する  $\%$  となっていることに注意されたい。それぞれの電動機全負荷電流に対して表 2.1 によりヒータを選定使用すれば、JISC 8325 に規定されている特性を満足し、適切な保護ができる。

### 5.2 温度補償特性

この継電器を周囲温度  $50^{\circ}\text{C}$  において調整レバー位置を  $100\%$  にセットしたまま、周囲温度を上下に変化させ

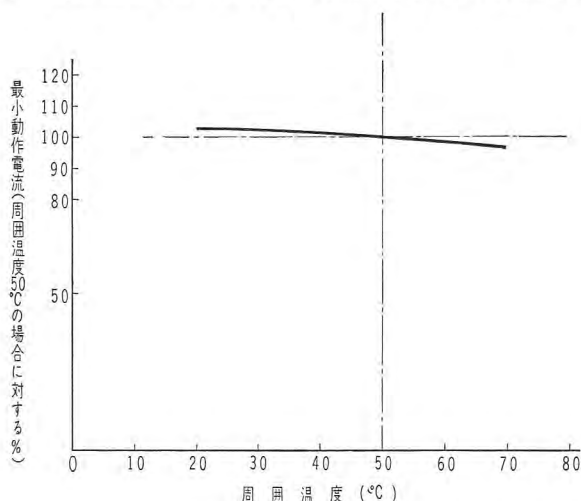


図 5.2 周囲温度補正曲線

Fig. 5.2 Correction curve of ambient temperature.

た場合、動作電流の変化は図 5.2 のように周囲温度  $20\sim 70^{\circ}\text{C}$  の範囲で温度  $1^{\circ}\text{C}$  の変化に対し  $\pm 0.3\%$  以下であり、実用上十分な温度補償特性を有している。

## 6. む す び

以上 MI 形熱動過負荷継電器について、概略の製品紹介を行なった。従来の熱動過負荷継電器でしばしば欠点とされる周囲温度の影響、熱履歴による性能変化の問題などが、この継電器を使用することによって解消し、さらに高度の耐衝撃特性を有することは、陸上用はいうにおよばず、とくに船舶用電動機あるいは艦艇用電動機に使用するのに最適である。

現在さらに諸種の試験を実施中であるから、これらは次の機会に発表したいと考える。

終りにこの継電器の開発にあたり、種々ご尽力下さった関係者の方々に、深く感謝する次第である。



# 無方向性 50% Ni-Fe 磁性合金の研究——高温焼鈍と磁性

研 究 所 山森末男\*・野口英男\*\*・政木淑人\*\*  
竹内守久\*\*・長谷川邦弘\*\*  
世田谷工場 小 倉 忠 利\*\*\*

## Study on Non-oriented 50% Ni-Fe Magnetic Alloy Relation between Magnetic Properties and Annealing at High Temperature

Engineering Laboratory Sueo YAMAMORI・Hideo NOGUCHI・Yoshito MASAKI  
Setagaya Factory Morihisa TAKEUCHI・Kunihiro HASEGAWA  
Tadatoshi OGURA

A number of researches have reported on the permeability of magnetic alloys which shows higher values with the increase of the annealing temperature in hydrogen stream and also of annealing time. Nevertheless, not very conclusive information has been made public on the process of changes with the elapse of time. To give light on the phenomena exhaustive experiments have been conducted on the magnetic properties of non-oriented 50% Ni-Fe magnetic alloys. The specimens used are cold-rolled pieces subjected to high reduction of more than 85% in rate. The investigation has disclosed that those with high reduction show complicated variations in their magnetic properties at the early stage of annealing when annealed repeatedly in the hydrogen atmosphere of 1,200°C in temperature for a short period of time.

### 1. ま え が き

当社では 50% Ni-Fe 磁性合金（ハイパロイ-A…無方向性、高透磁率；ハイパロイ-O…異方性、角形ヒステレシス；ハイパロイ-C…恒透磁率）を製造・使用し、その一部を市販している。この報告は、そのうちハイパロイ-A についての磁性と熱処理との関係を述べたものである。

さて T.D. Yensen, P.P. Cioffi, H.J. Williams などによって、水素気流中焼鈍を高温ですればするほどまた時間が長ければ長いほど、透磁率のより高いものが得られることが報告されている。

このように純水素気流中で、より高温・長時間焼鈍を行えば、不純物の除去・結晶粒成長などが進み、当然より高透磁率・低保磁力のものを得られることが期待される。しかし、高温で焼鈍を行なった場合、50% Ni-Fe 合金の磁気特性が、時間の経過に対してどのような

変化をするかについての明細な発表はなされていない。

われわれはこの材料の製造研究の段階で、とくに最終圧延率 85% 以上の板を用いて、ごく短時間がわから累加焼鈍を行なって、磁気特性の変化をしらべ、2・3 の検討を行なったので、これらをまとめて報告する。

### 2. 実 験 試 料

この実験には大気中および真空中溶解の 2 種類の試料を用いた。まず大気中溶解試料としては、高周波溶解（電解鉄 50 kg, 電解ニッケル 50 kg）した 1 本のインゴットから、最終圧延率 85% と 95%（それぞれ #1—85, #1—95 とする）の帯をつくり、それぞれから圧延方向に巾 30 mm×長 280 mm の短ざく片をとって、16 枚を 1 組として磁気測定用とした。他は真空中で高周波溶解（電解鉄 50 kg, 電解ニッケル 50 kg）した 1 本のインゴットから、最終圧延率 95% と 99%（それぞれ #2—95, #2—99 とする）の帯をつくって、それぞれから高 10 mm



表 2.1 焼鈍前の試料の分析結果

| 試料番号  | 分 析 値 (%) |       |      |       |       |
|-------|-----------|-------|------|-------|-------|
|       | C         | Si    | Mn   | P     | S     |
| #1-85 | 0.010     | 0.050 | 0.39 | tr    | 0.003 |
| #1-95 | 0.025     | 0.075 | 0.45 | tr    | 0.006 |
| #2-95 | 0.01      | 0.01  | 0.13 | 0.004 | 0.002 |
| #2-99 | 0.01      | 0.01  | 0.10 | 0.007 | 0.002 |

×内径 60 mm×外径 75 mm の巻鉄心をつくり磁気測定用試料とした。

またこれら試料の焼鈍前の分析結果は表 2.1 のとおりである。

### 3. 実験方法

実験は焼鈍による変化を主として磁気測定・顕微鏡ならびに X 線とによって調査した。

#### 3.1 焼 鈍

試料は管状電気炉を用い、水素気流中で 1,200°C で焼鈍した。

ふんい気ガスとして用いた水素はいずれも脱水・脱酸素系を通し、その露点は -70°C 以下である。

磁気測定用試料は、まず焼鈍前の特性を測定後焼鈍したが、その焼鈍条件の差をなくするために、#1, #2 のそれぞれについて、加工度を異にする 2 種類の試料を同時に同一電気炉内に挿入するようにした。長い時間の焼鈍は、同一試料を累加焼鈍する方法によった。

なお #1 試料の焼鈍の際は、いずれも徐熱・徐冷 (200°C ~ 300°C/h) したが、#2 試料では、まず 800°C・1 時間焼鈍 (徐熱徐冷) したものを、その後 1,200°C で焼鈍 (急熱急冷) したことを付記する。

#### 3.2 磁気測定

#1 についての実験では、25 cm エプスタイン試験わくを用い、実効磁路長を 100 cm として、また #2 では、環状試料試験わく (一次 12 ターン、二次 24 ターン) を用い、実効磁路長を幾何学的平均周として、いずれも弾道検流計法 (零位法) で測定した。

### 4. 実験結果

#### 4.1 焼鈍時間と磁性との関係

#1-85, #1-95 を各時間焼鈍した後測定した処女磁化特性曲線の一例を図 4.1, 4.2 に、またその減磁曲線を図 4.3, 4.4 に示した。

すなわち、焼鈍時間の増加に伴う磁化特性の変化の状況は、試料の最終仕上圧延率によって異なるが、だいたいいずれも、短時間焼鈍を累加してゆくと、最初の 0.5~1 h 焼鈍時の特性よりいったん劣化 ( $\mu_m$  減少,  $H_c$  増大)

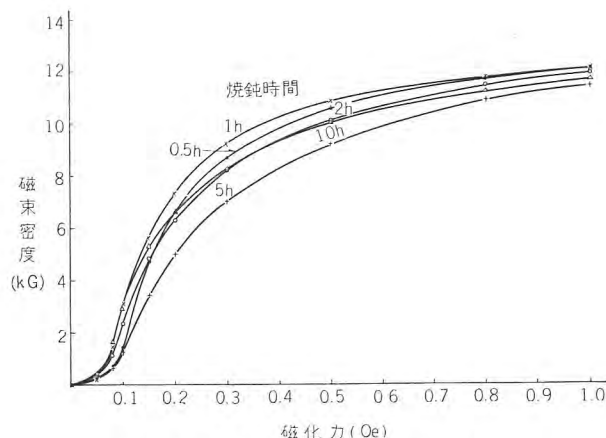


図 4.1 処女磁化特性曲線 (#1-85)  
Fig. 4.1 Virgin magnetization curves. (#1-85)

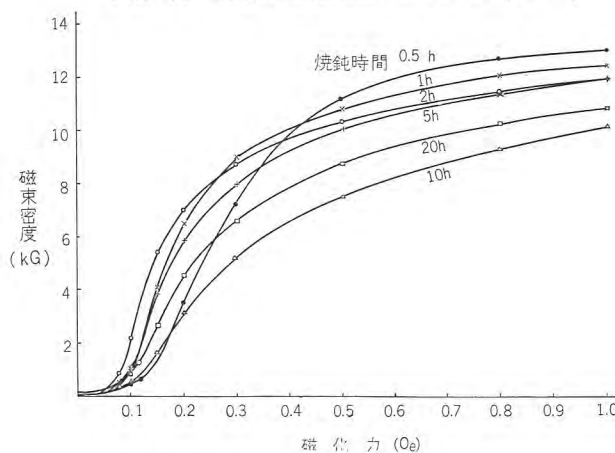


図 4.2 処女磁化特性曲線 (#1-95)  
Fig. 4.2 Virgin magnetization curves. (#1-95)

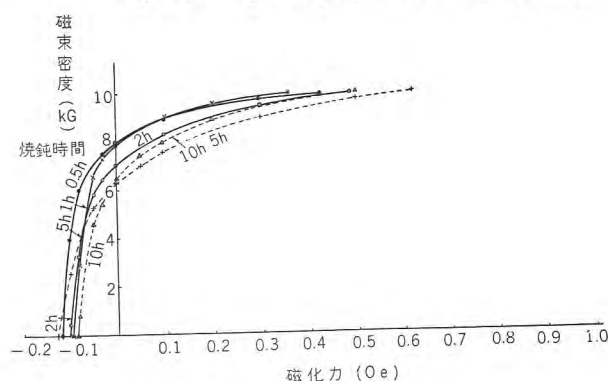


図 4.3 減磁曲線 (#1-85)  
Fig. 4.3 Demagnetization curves. (#1-85)

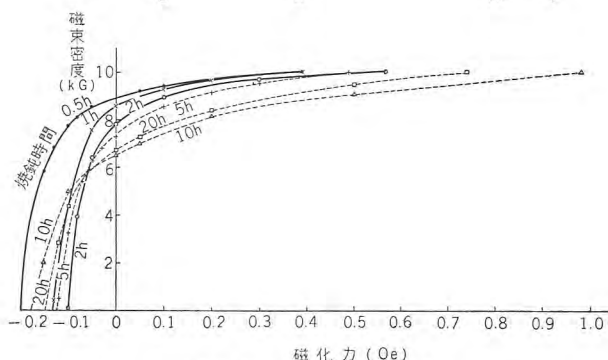


図 4.4 減磁曲線 (#1-95)  
Fig. 4.4 Demagnetization curves. (#1-95)



し、この段階を経てはじめて、焼鈍時間の増加につれて良好な特性にまで改善されてゆく傾向が認められた。

つぎに、これらの磁気特性を  $\mu_0$ ,  $\mu_m$ ,  $H_{10}$ ,  $H_{c10}$ ,  $B_{r10}$  で代表し、焼鈍時間による変化を示すと図 4.5 のようになる。これら記号の意味はつぎのとおりである。

$\mu_0$  は 0.01 Oe の時の透磁率

$\mu_m$  は最大透磁率

$H_{10}$  は 10,000 G に達せしめるに要する磁化力 (Oe)

$H_{c10}$  は 10,000 G から減磁した時の保磁力 (Oe)

$B_{r10}$  は 10,000 G から減磁した時の残留磁束密度 (G)

さて、この焼鈍時間の累加による変化の傾向を以下に要約する。

(1)  $\mu_0$  は焼鈍により急激に増大し、だいたい 3 時間以上の焼鈍でほぼ一定値を示す。

(2)  $\mu_m$  は焼鈍により最初急激に増大し、1~2 時間の焼鈍で極大値を示すが、以後時間の増加とともに減少し、極小値を経てからふたたび漸増する。

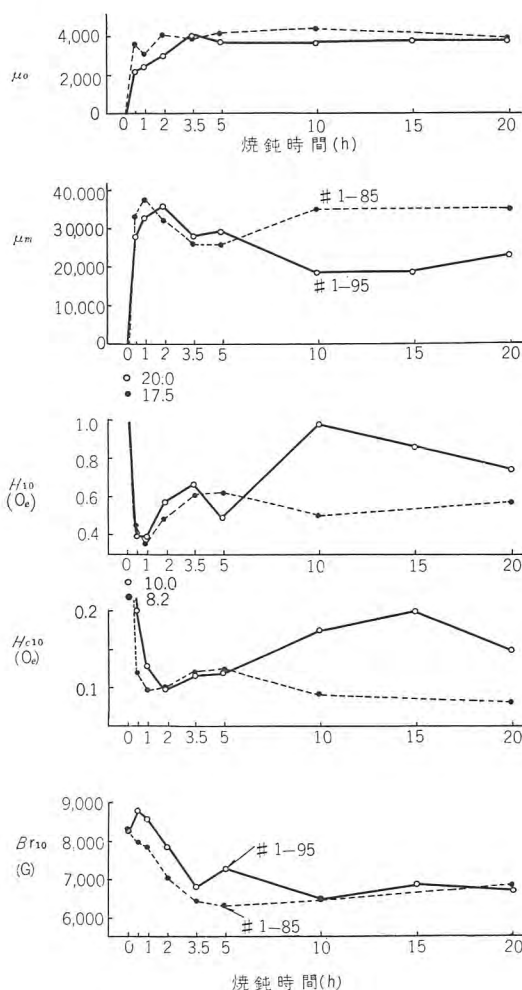


図 4.5 累加焼鈍による諸特性値の変化

Fig. 4.5 Variation of properties during the repeated annealings.

(3)  $H_{10}$  および  $H_{c10}$  は焼鈍により最初急激に減少し、0.5~2 時間の焼鈍で極小値\*を与え、その後時間の増加とともに増大に転じ、さらに極大値を経てからふたたび漸減する。

(4)  $B_{r10}$  は焼鈍により最初わずかに増加し、ごく短時間の焼鈍で最大値\*\*を与え、以後時間の増加とともに漸減しほぼ一定値に近づく。

(5) 以上種々特性値の時間に対する曲線の形は、試料の最終圧延率によって異なり、極大値あるいは極小値を与える時間が、圧延率の大なるものでは小なるものよりもやや長時間側に移行している。

## 4.2 とくに短時間焼鈍の場合の磁性

この実験では、4.1 の実験とは溶解方法の異なるインゴットから、圧延率のより大きいほうのものを試料とし、

\* 極小値を与える時間は、 $H_{10}$  と  $H_{c10}$  とでは多少異なる。

\*\* 85 % 圧延のものは、この実験では最大値を与えなかったが、これは加工度による影響があるのかも知れない。

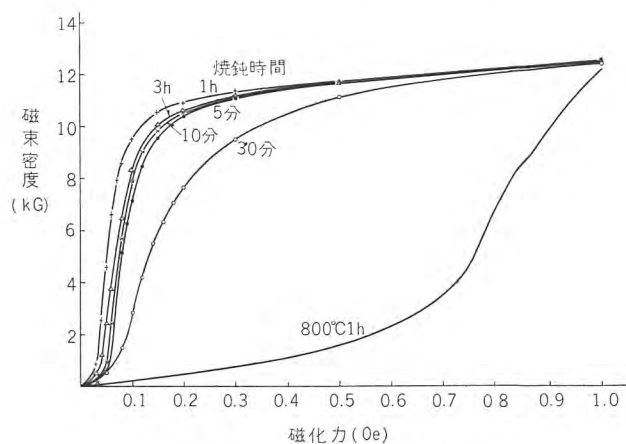


図 4.6 処女磁化特性曲線 (#2-95)

Fig. 4.6 Virgin magnetization curves. (#2-95)

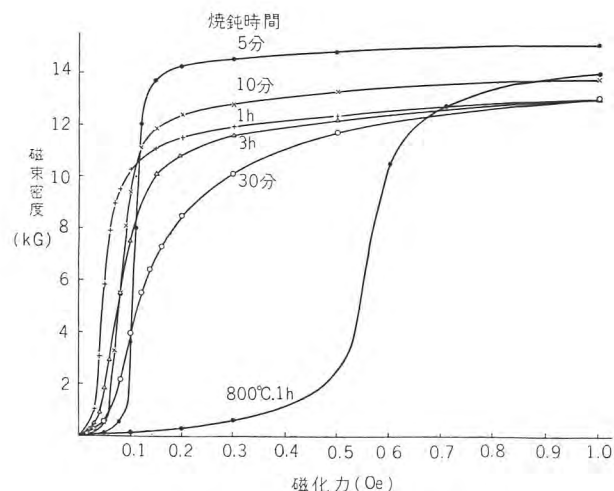


図 4.7 処女磁化特性曲線 (#2-99)

Fig. 4.7 Virgin magnetization curves. (#2-99)



さらに 4.1 では行なわなかった焼鈍時間 30 分未満の部分を主として調査した。

#2-95, #2-99 を各時間焼鈍した後、測定した処女磁化特性曲線の一例を図 4.6, 4.7 に示した。累加焼鈍時間が 3 時間をこえたものについては、多少時間的なずれはあるが、4.1 の実験と同様の傾向を示したので省いた。

この図にみられるように、焼鈍時間増加に伴う磁化特性の変化状況は、試料の仕上圧延率によって、4.1 と同様異なるが、4.1 の実験におけるよりもさらに短時間側にもう一つの極大点の存在が認められた。

つぎに、これらの磁気特性を  $\mu_0$ ,  $\mu_m$ ,  $H_{10}$ ,  $H_{c10}$ ,  $B_{r10}$ ,  $B_{0.05}$ ,  $B_{0.1}$ ,  $B_{0.3}$ ,  $B_2$  で代表し、その焼鈍時間による変化を示すと図 4.8 のようになる。これら記号中未説明のものの意味は次のとおりである。

$B_{0.05}$  は 0.05 Oe の時の誘導磁束密度 (G)

$B_{0.1}$  は 0.1 Oe の時の誘導磁束密度 (G)

$B_{0.3}$  は 0.3 Oe の時の誘導磁束密度 (G)

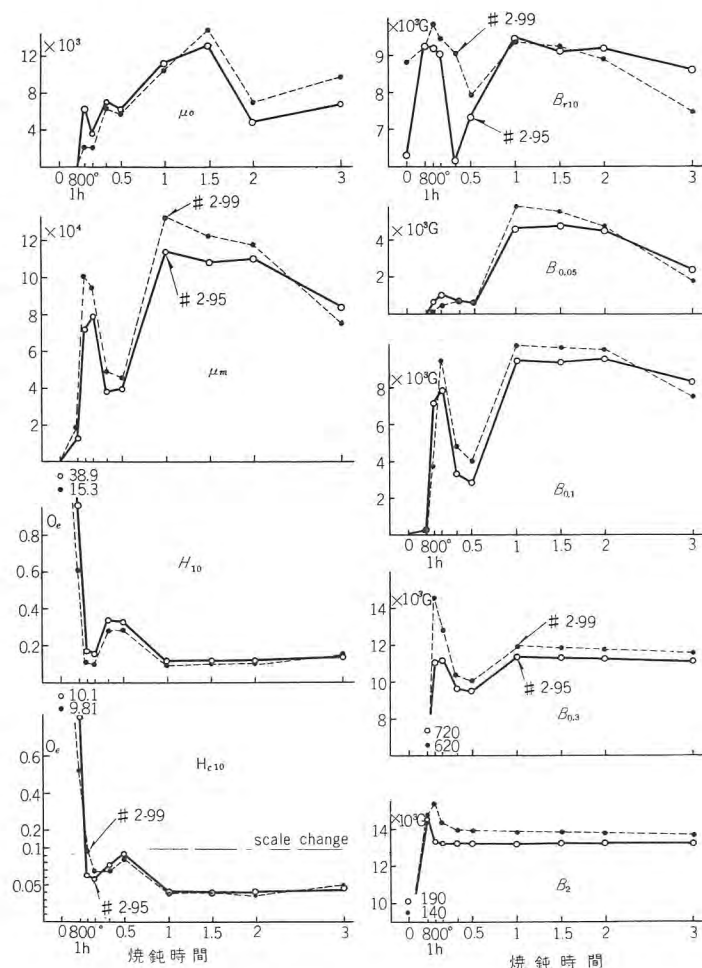


図 4.8 短時間累加焼鈍による諸特性値の変化

Fig. 4.8 Variation of properties during the repeated short time annealing.

$B_2$  は 2 Oe の時の誘導磁束密度 (G)

さて、この焼鈍時間の累加による変化の傾向を以下に要約する。

(1)  $\mu_0$  は焼鈍により最初増大するが、極大点を経て 2~3 時間焼鈍で一度低下し極小値を与えた後漸増する。

この極小値を与えることについては、4.1 の実験では明確でなかった。

(2)  $\mu_m$  は焼鈍により最初急激に増大し、ごく短時間 (この実験では 5~10 分) 焼鈍で最初の極大値を示し、その後急激に低下し、4.1 実験での最小焼鈍時間—30 分—付近で最初の極小値を与える。

その後、焼鈍時間の増加とともに 4.1 の結果と同様、ふたたび急激に増加し、1~2 時間の焼鈍で第 2 の極大値を与えた後、減少して第 2 の極小値を与えた後増大に転ずる。

(3)  $H_{10}$  および  $H_{c10}$  は焼鈍より最初急激に減少し、5~10 分の焼鈍で最初の極小値\*を与え、その後漸増して約 30 分焼鈍付近で最初の極大値\*を示す。

その後漸減して 1~2 時間の焼鈍で第 2 の極小値を与え、以後 4.1 の結果と同じ傾向\*\*を示す。

(4)  $B_{r10}$  は、 $\mu_m$ ,  $H_{c10}$  などと同様、きわめて短時間焼鈍のところで、最初の極大値を与えた後減少して、30 分焼鈍付近で極小値を与え、その後、ふたたび増加し第 2 の極大値を示す。

その後は焼鈍時間の増加とともに 4.1 の結果と同様に漸減する。

(5)  $B_{0.05}$ ,  $B_{0.1}$  および  $B_{0.3}$  は増大・減少の数値的な差はあるが、ほぼ  $B_{r10}$  と同様の傾向を示す。

(6)  $B_2$  は  $B_{r10}$  が最初の極大値を与える点で最大値を示した後減少し、以後徐々に一定値に近づく。

### 4.3 結晶組織

つぎに、4.2 の実験における磁気特性の変化に対応した結晶組織についてのべる。

組織をしらべるための試料として、巾 10 mm の帯状のものをを用い、これを磁気測定用

\* いずれも  $H_{10}$  のほうが  $H_{c10}$  よりも短時間側にある。

\*\* 圧延率、焼鈍方法が異なるので、時間的には多少ずれている。



試料といっしょに累加焼鈍し、一焼鈍工程の終わごとに1枚ずつ取り出した。これら試料のマクロ組織を図4.9に示した。

すなわち、1,200°C 5分の焼鈍をしたもので、すでに巨大な2次再結晶の成長が認められる。しかし、#2-99においては、微細な1次再結晶が多く残存しており、この点で、 $B_{r10}$  および  $\mu_m$  の大きな極大値を示すのはこのためである。

また1,200°C 10分以上の焼鈍では、すべて2次再結晶の成長組織であり、マクロ的には焼鈍時間による差異は認めにくい。

なおX線による結果は、方向性の変化が複雑なので、ここでは省略した。

#### 4.4 焼鈍による分析値の変化

水素気流中で1,200°Cで焼鈍された試料の分析値の変化についてのべる。

その一例として、4.1の実験で、磁気測定用試料といっしょに累加焼鈍した試験片の分析結果を表4.1に示した。

表 4.1 焼鈍後の試料の分析結果

| 試料番号  | 焼 鈍 時 間     | 分 析 値 (%) |       |      |    |       |
|-------|-------------|-----------|-------|------|----|-------|
|       |             | C         | Si    | Mn   | P  | S     |
| #1-85 | 1,200°C×5h  | 0.008     | 0.052 | 0.39 | tr | 0.007 |
| "     | 1,200°C×20h | 0.013     | 0.042 | 0.39 | tr | tr    |
| #1-95 | 1,200°C×5h  | 0.023     | 0.065 | 0.36 | tr | tr    |
| "     | 1,200°C×20h | 0.005     | 0.061 | 0.22 | tr | 0.006 |

この結果を前記表2.1の結果と比較すれば、炭素とイオウはかなり減少し、またシリコンとマンガンも減っていることがわかる。

このことから、長時間焼鈍によって、不純物の悪影響は相当に緩和されるものと考えられる。

#### 5. 実験結果の検討

以上の実験結果のうち、おもな磁気特性値の焼鈍時間による変化を総合して、その一般的傾向を図5.1に示した。

もちろん、この図の極大値あるいは極小値を与える焼鈍時間は、試料の最終仕上圧延率によって異なり、また試料の圧延率によっては図中の極大あるいは極小値の出現の仕方も異なり、さらにまた数値の大小も試料の純度

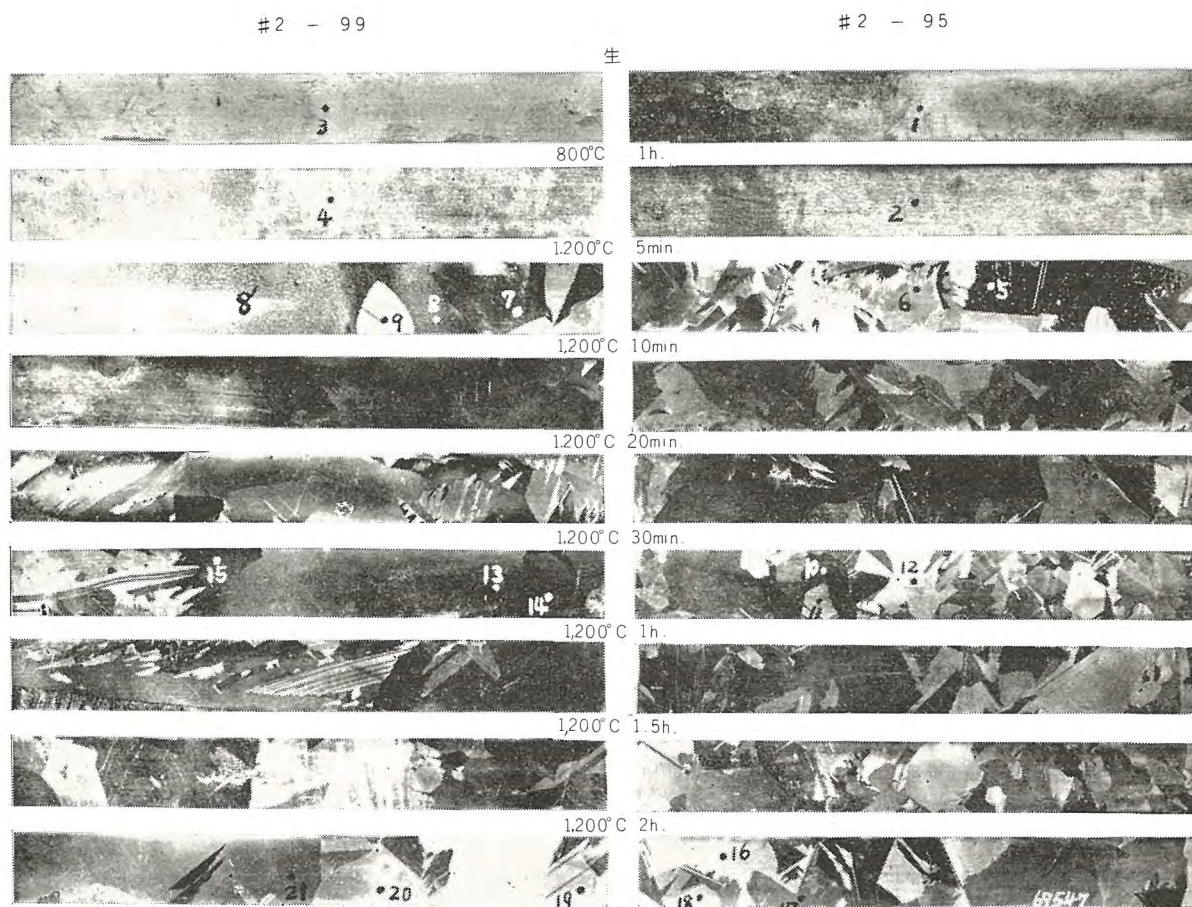


図 4.9 各時間焼鈍後のマクロ組織 (×1)

Fig. 4.9 Macro structure of various time annealed sample (×1).



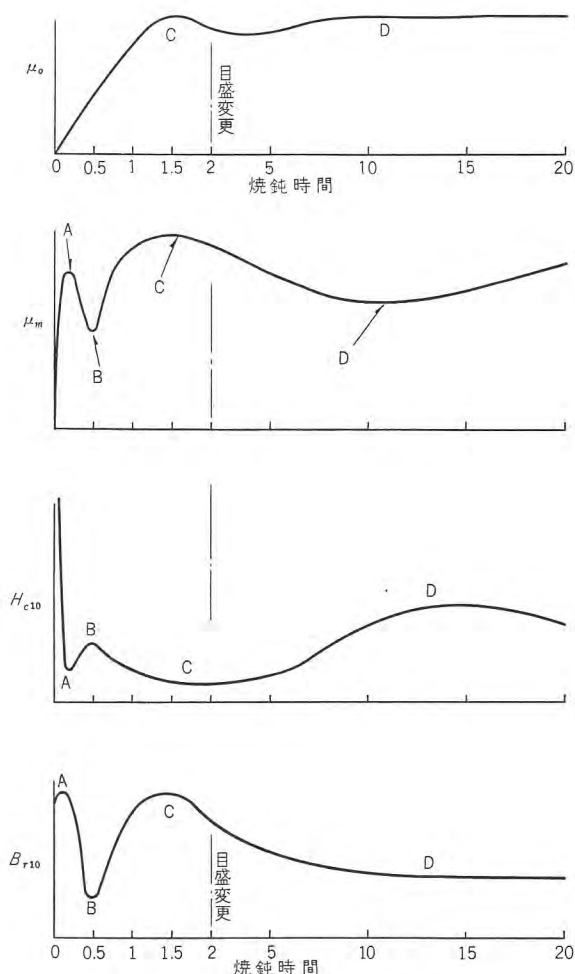


図 5.1 累加焼鈍による特性変化の一般的傾向

Fig. 5.1 General tendency for variation of properties during of the repeated annealing.

圧延率などによって異なるが、ここでは、数値を無視し、変化の一般的な傾向を、最終仕上圧延率 95% のものによって代表させて示した。

いま図 5.1 に記した記号で、最初から C 点までを第 1 領域、つぎの C 点から D 点までを第 2 領域、最後の D 点以降を第 3 領域として検討してみる。

まず、第 1 領域では、1 次再結晶ならびに 2 次再結晶の方向性に関連した特性変化があるとみなして良いと考える。2 次再結晶の方向性については今後の検討にゆずる。

第 2 領域では、上記方向性が消失してゆくものと考えられる。

つぎの第 3 領域では方向性の消失した試料のひずみ (不純物によるものなど) が除去されてゆくものと考えられる。

また圧延率が異なれば、A, B, C, D 点の出現時間は異なり、低圧延率のものほど短時間側に移行し、85% 以下のものでは A 点, B 点は出現しないようである

## 6. む す び

以上、85% 以上の仕上圧延を行なった、無方向性 50% Ni-Fe 磁性合金を 1,200°C で累加焼鈍した時の、焼鈍時間に伴う磁性の変化に関する実験結果を報告したが、この結果を要約すれば次のとおりである。

すなわち、仕上圧延率の高いものでは、たとえ 1,200°C という高温で焼鈍しても、その特性はごく初期に 1 次ならびに 2 次再結晶の方向性に関連して複雑な変化をし、ついで方向性がなくなるとともに劣化の傾向を示し、その後、種々な意味での内部ひずみが除去されることによってゆっくりではあるが向上する。

## 最近における当社の社外講演一覧

| 講演<br>年月日 | 主催または開催地           | 題 名                      | 講 演 者                  | 所 場 所 |
|-----------|--------------------|--------------------------|------------------------|-------|
| 34- 2-21  | 真空協会               | マタウホ形二重収れん質量分析器の試作とその応用  | 後藤正之・甲斐潤二郎             | 研究所   |
| "- 2-24   | 電気学会東京支部           | 最近の変圧器                   | 村 上 有                  | 伊 丹   |
| "- 2-25   | 関西技術能率協会           | 工程研究                     | 久保博司                   | "     |
| "- 2-27   | "                  | MH および Plant layout      | "                      | "     |
| "- 2-27   | 学振・EL 委員会          | EL 発光板の輝度測定における 2, 3 の問題 | 山下博典                   | 研究所   |
| 34- 3- 2  | 中小企業連盟             | 型の放電加工法について              | 斎藤長男                   | "     |
| "- 3- 7   | 電気 3 学会関西支部合同講演会   | フェライトのマイクロ波への応用          | 喜連川 隆                  | "     |
| "- 3-10   | 電気学会関西支部           | 交流計算盤の原理                 | 馬場 準一                  | "     |
| "- 3-12   | 京都府立機械工業指導所        | 最近の放電加工について              | 斎藤長男                   | "     |
| "- 3-14   | 放射科学研究会第 2, 第 3 部会 | 広帯域電波吸収壁材料               | { 喜連川隆・大久保利<br>美・有田不二男 | "     |





## 発電所全般 (4)

## ——発電機・タービンの保護方式——

## 1. ま え が き

確実な保護装置による安全の保証がなくて電力機器を運転することはできない。最近火力発電はわが国の電力エネルギー供給源として非常に重要な部分をしめてきた。それだけに火力発電所各部の保護方式もよく吟味してもっともよく安全なる運転を保証するものとしなければならない。

火力発電所の主要な保護方式を総括すればつぎのようになる。

- (1) 発電機・タービン……………発電機・タービン保護方式
- (2) 主変圧器 } ……………変圧器保護方式
- 所内変圧器
- 起動変圧器
- (3) 送電母線 } ……………母線保護方式
- (4) フィーダ母線
- (5) 補機……………電動機保護方式

以下発電機・タービン保護方式を中心に火力発電所の保護を解説したい。

## 2. 保護方式の選択

発電機の製作技術は年々進歩し、発電機故障の可能性は非常に小さいものとなってきている。しかしいったん故障が発生したとき機械の損傷と系統におよぼす影響を極限するためにある程度の保護装置を設備することはぜひとも必要なことである。

発電機で発生しそうな故障の種類は考えてみるといろいろ沢山ある。しかしそれぞれ発生確率と保護の難易に相当な差がある。そこで発電機が万一ある保障をおこしたときのあらゆる面からみた損害額、あるいはそれに対する保護装置を省略していた場合そのために起こる損害の増加といったものと、その保護装置の原価、収容設備費、運用保守のための費用などすべてを総合した価格といったものをはかりにかけてみる必要がある。これによってある故障は無視され、またある故障に対してはたとえ前記のような総合的な価格であらわして非常に高くつくような保護装置でも採用するといった技術的判断がなされなければならない。

現在発電機およびタービンの保護で考慮の対象となる故障としてつぎのものがあげられる。

- a. 電機子巻線短絡および接地
- b. 過電流保護（単相過電流、逆相過電流）
- c. 界磁喪失
- d. 界磁保護（電圧調整器、界磁接地、界磁過熱）
- e. 過負荷
- f. 電機子過熱、軸受過熱
- g. 発電機の電動機化

h. 過速度

i. 軸受油圧低下

j. 推力軸受摩耗

k. 真空低下

l. 水素冷却その他冷却媒体をもちいたときに考えられる故障

m. その他

これらのうちある故障はほとんどすべての発電機において保護されており、また一部は無視されている。またトリップとするか、警報とするかは場合によってことなるものがある。

## 3. 電機子巻線短絡保護

発電機巻線故障の大部分は接地故障であるが、この接地故障がすぐ相間の短絡故障に発展する場合がある。また人為的な原因などによって思わぬときに相間短絡故障をひきおこした例もある。いずれにしても短絡故障は事故のなかでも大きなもので、できるだけ早く故障を検出して保護しなければならない性質のものである。このような相間短絡故障を保護するのにもっとも効果的な方式としては今のところ差動保護方式以外には考えられない。

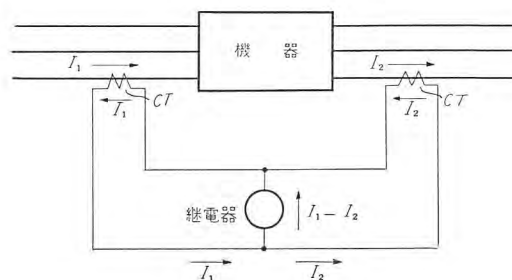


図 3.1 差動継電方式

図 3.1 は差動保護方式の原理を示す。同図のように差動保護方式とは保護機器コイルの両端に CT を設置し、その CT 二次電流の差で継電器を動作させるようにした方式である。無故障状態では機器に流入出する電流  $I_1$  と  $I_2$  はひとしい大きさをもつので、その差  $I_1 - I_2$  は当然零となり、継電器は動作しない。ところがこの対となった CT より内部に故障が発生すれば、 $I_1$  は増大し、 $I_2$  は減少するか逆位相つまり流入方向となるから、 $I_1 - I_2$  は瞬時に大きくなり継電器を動作させることになる。

図 3.1 の方式は差動保護方式のなかでもっとも単純なもので、外部故障のときに問題がある。対となった CT はたとえまったく同じときに同じ設計で製作されたとしても若干の製作誤差がある。また各 CT に対する負担としては導線長の不平衡、計器などが別に接続された場合それらによる不平衡が当然考えられ、外部故障で大きな電流が一次回路を通過すると大きな差電流が



流れて継電器を誤動作させる。そのため図 3.1 に使用する継電器としては誘導円板形過電流継電器をもちい、外部故障で誤動作しないような動作値と時限をあてることが必要である。この用途には CO-2 形短限時過電流継電器が適する。

図 3.1 の差動保護方式は継電器の整定に対する制限が大きいので通常 1,000 kVA 以上の発電機には適しない。図 3.1 の方式を改良する方法は図 3.2 のように抑制コイルを付すことである。外部故障電流が大きくなればなるほど CT 不平衡誤差による差電流が大きくなる。ゆえに通過電流  $I_1$  または  $I_2$  によって可動部を抑制すれば、 $I_1$  または  $I_2$  が小さいときには小さな  $I_1 - I_2$  で動作し、 $I_1$  または  $I_2$  が大きいときには大きな  $I_1 - I_2$  でなければ動作できないようになる。こうすれば内部故障では高感度性を維持し外部故障では誤動作しないものがえられる。この原理にもとづいた方式を比率差動保護方式と呼ぶ。

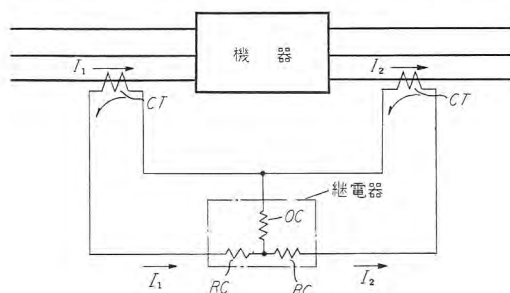


図 3.2 比率差動継電方式

図 3.3 に典型的な比率差動特性を示す。 $I_1$ ,  $I_2$  は図 3.2 と同じものである。CT 不平衡誤差のない理想的な外部故障では  $I_1 = I_2$  であるから線 OP 上に必ずくる。これに対し継電器は曲線 ABC よりも OP 側では不動作で、それ以外の電流条件では動作する。点 A は継電器の最小動作値で通過電流のないときに OA だけの  $I_1$  または  $I_2$  があれば動作する。この値は可動部の摩擦などでバラツキがないことが保証でき、かつ無故障時の CT 不平衡誤差による誤動作や外部故障時の過渡現象による誤動作を防止できるような値でなければならない。以後継電器の動作は直線 OC に漸近する。この直線の傾きを通常動作比率という。動作比率は  $I_1$  が  $I_2$  より大きいものとすれば

$$\text{動作比率} = \frac{I_1 - I_2}{I_2} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

で示している。一般に比率差動継電器の保護能力を動作比率だけで比較するむきがあるが、これは適当な方法ではない。それは現在動作比率そのものの定義がまちまちであること、最小動作値によって非常に動作が影響を受けること、また同じ動作比率でも点 A から B にいたる漸近の仕方によって実際の動作は皆こととなり、継電器の構造によっても過渡現象に対する応動がちがうからである。

故障電流が大きくなると CT 誤差が増すことは当然である。ゆえに電流が小さいときには小さな動作比率で動作し、電流が大きときには大きな動作比率で動作するのがもっとも合理的である。この方式を飽和比率差動保護方式とよぶ。これを具体化する方法はふたつある。ひとつは図 3.2 の動作コイル回路に

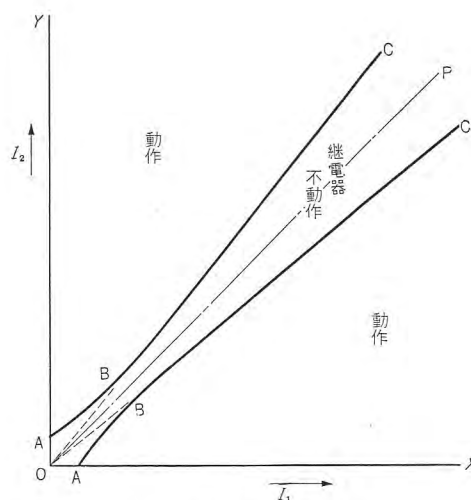


図 3.3 比率差動特性例

飽和変成器を挿入する方法である。この場合は飽和特性をたくみに利用して CT 不平衡誤差を小さくするように動作コイル回路をハイインピーダンスにすること、過渡電流中にふくまれる直流分の影響を除去することができる。もうひとつの方法は抑制力を電流  $I_1$ ,  $I_2$  の積に比例させ飽和変成器の設計が前者とことなるものであるが、この両者はたがいに特殊な条件では一長一短がある。なお当社の CA-5 形比率差動継電器は前者に属する。

当社の有する発電機保護用比率差動継電器は以下の 3 種類である。

- CAG ……誘導円板形比率差動継電器
- CA-5 ……誘導円板形飽和比率差動継電器
- HAG-2 ……高速度比率差動継電器

## CAG と CA-5

CAG 形誘導円板形比率差動継電器はもっとも古くから実用されている発電機保護用継電器で 2.5—5—10—20% の動作比率タップをもっている。一方 CA-5 形誘導円板形飽和比率差動継電器は前述のような飽和比率特性をもち、付属飽和変成器にはやはりタップがあって比率特性を変更できる。CAG の最小動作値は 10% タップで 0.4 A で他のタップではタップ値に比例する。CA-5 の最小動作値は 0.14 A を標準としている。

CAG のタップの整定はカットアンドトライによる方法がいちばんよいがふつうはそう簡単にはできないので、10% タップが多くもちいられている。CAG と CA-5 と比較した場合、動作能力において大差はない。動作速度も最高約 6—10 c/s である。ただ CT の定常誤差の影響に対しては比率特性からみてははっきりした特性差がある。過渡現象に対してはまだはっきりした結論はない。図 3.4, 3.5 に CA-5 形継電器と付属飽和変成器の外観を示す。

## HAG-2

HAG-2 形高速度比率差動継電器は高速度平衡桿形継電要素を主要素とする継電器で、その動作原理を図 3.6 に示す。この要素は HA 要素とも呼ばれている。

同図のように対となった CT の二次電流は抑制コイル  $RC_1$ ,  $RC_2$  を通って抑制力をあたえ、差電流は小形変成器を通じて動作コイル OC に印加される。動作コイルに電流が流れると磁束



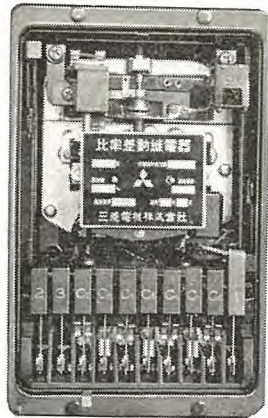


図 3.4 CA-5 形飽和比率差動継電器 (FT 形でカバーをはずしたところ)



図 3.5 CA-5 形継電器付属飽和変流器

が平衡桿を接点が閉じる方向に引きつける。これが平衡桿後部の重錘 W と抑制コイルによる抑制力にうち勝てばただちに接点を閉じることになる。つまり HAG-2 形継電器は比率動作特性をもつわけである。比率タップは 5—10—20% となっている。

HAG-2 形継電器の小形変成器と蓄電器は大きな過渡電流が CT 一次側に流れたとき、差動回路にもあらわれる直流分や高調波に対する不感動性を付与するためにもうけられている。したがって HAG-2 形継電器は高速度継電器でありながら過渡現象に対しても非常に安定である<sup>(1)</sup>。

HAG-2 形継電器により発電機の相間短絡を保護した場合の例を図 3.7 に示す。

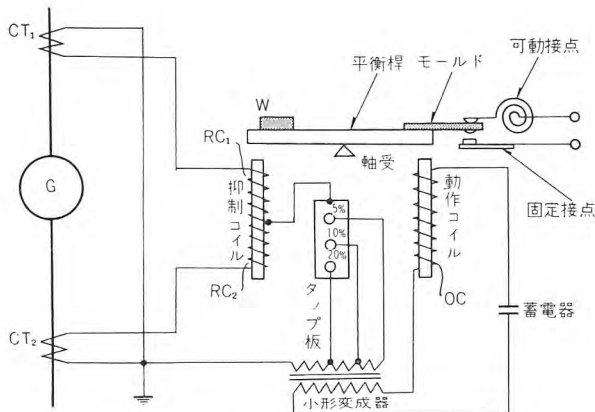


図 3.6 HAG-2 形高速度比率差動継電器

#### 高速度と低速度

HAG-2 形高速度比率差動継電器と CAG, CA-5 の誘導円板形比率差動継電器のいずれをえらぶかはむずかしい問題である。比較する項目としては、系統の安定度、価格、損害の極限能力、保守運用の難易、過渡特性、耐震性などが考えられる。

ある発電機の故障が系統の安定度に非常に大きく影響する場合はやはり高速度継電器を採用することがほんとうであろう。保護速度はトリップロックアウト継電器 86 の動作が 40 ms, シャ断器のシャ断時間が 100 ms として, HAG-2 の場合 160 ms であり, CAG の場合約 300 ms ないし 400 ms である。

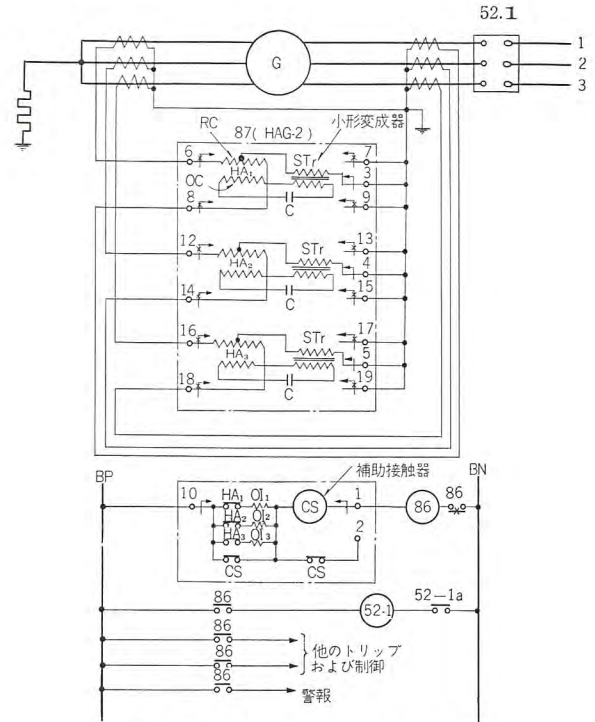


図 3.7 HAG-2 形高速度比率差動継電器による発電機相間短絡保護

しかし発電機に対する損害という観点にたつと、検出感度はまったく同等であり、保護速度で上記の程度の差異は問題にならない。もちろん故障点の焼損の程度は  $I^2t$  に関係するであろうが高速度継電器としたためにとくに発電機の修理費を軽減できるとは思われない。

価格で HAG-2 形継電器 1 台と CAG 形継電器 3 台を比較したとき差はほとんどない。盤面占有面積は前者のほうが小さい。ゆえに価格や大きさの点では両者は甲乙がないと考えられる。

保守運用の面では低速度継電器のほうがまさる。過渡特性の面でも速度の相違によって多少低速度継電器がよい。耐震性では, HAG-2 形継電器でもふつう問題がおこらないだけの強度が付与されている<sup>(1)</sup>, 低速度継電器はもっと強い。ゆえにこれらの面では低速度継電器のほうがこのましい。

昭和 30 年以後現在建設中のものまでふくめて 60 MW 以上の発電機ではほぼ半数が高速度比率差動継電器である。あとのこりと 60 MW 以下の発電機の大部分は誘導円板形比率差動継電器となっている。

## 4. 電機子巻線接地保護

### 4.1 配電用変圧器接地と抵抗接地

発電機中性点の接地方式は配電用変圧器をもうけその二次側に抵抗をおいた接地方式と抵抗器を直接発電機中性点におく接地方式がある。一部の発電機では非接地となっているが、その数は多くはない。直接または有効接地は接地故障時の発電機にあたる損害が大きいのでちいられない。

接地方式の選択の第 1 の基準は発電機が変圧器とユニットになっているか否かにある。ユニットとなっていれば発電機側



は系統接地と分離され、発電機中性点に接地電流があることは圧器より内部の接地故障であることを示す。この場合通常変 5 ないし 15 A の最大接地電流を流す配電用変圧器接地か最大 100 A の接地電流を流す抵抗接地が採用される。

この両者の選択はつぎの 2 点にかかっている。

- (1) 主変より発電機側の故障中電機子巻線接地故障とほかの接地とを判別する必要があるかどうか。
  - (2) 接地故障検出後瞬時トリップをせず適当な処置を講じてからトリップする必要があるかどうか。
- (1) でその必要があればどうしても 100 A 以上の接地でないと信頼性ある継電器動作を期待できない。これは電機子巻線接地時に CO<sub>2</sub> による消火をするなどの要求があった場合に必要となる。しかし水素冷却機では通常このようなことはおこなわない。(2) でその必要があればある時間接地故障があるままで運転を継続しなければならない。そのためにはどうしても配電用変圧器接地とし、接地電流を最小限度にとどめなければならない。これは系統容量に対し発電機容量が非常に大きい場合やむをえずおこなわれることがある。

以上のように 100 A 抵抗接地と配電用変圧器接地との根本的な相違点は最大接地電流の大きさにある。100 A という値は発電機接地比率差動継電器の確実な動作を保証する最小限度の電流であって、また同時に発電機中性点に直接接続される抵抗器が経済的にできる最小限度の電流でもある。電流がひとけた小さくなった場合はたとえ配電用変圧器を新製したとしても配電用変圧器接地が抵抗接地よりも経済的になるとされている<sup>(2)</sup>。

ユニット発電機を消弧リアクトル接地する方式が海外で一部報ぜられているが<sup>(3)</sup>、わが国では採用されそうな気配はない。

昭和 31 年以降現在に至るまでの 60 MW 以上の火力発電機では全部ユニット方式となっており、80% 以上は配電用変圧器接地方式を採用している。

それよりも小形の発電機では種々の理由からユニット方式を採用されていないものがある。この場合発電機接地故障と他の部分の接地故障を選択保護するためには抵抗接地方式でなければならない。しかし同じ抵抗接地でも接地電流の大きさはよく研究したうえで決定しなければならない。これを決定するときには考慮する必要のある事項としては、つぎのようなものが考えられる。

- (1) 系統に過大な異常電圧を発生しないこと。
- (2) 各接地継電器が短絡、接地外部故障で誤動作せず、内部接地故障で確実に動作できること。また所要の動作速度をあたえることができること。
- (3) 中性点抵抗器が経済的に作れること。
- (4) 発電機接地のとき故障をあまりに拡大しない程度の電流とすること。

非常に小形の発電機の場合、高压配電線と直接接続される場合がある。このときは工作物規程<sup>(4)</sup>によって接地電流に制限を受けてしまい、結局非接地と考えるとよい状態におかれることがある。これは発電機接地保護の見地からみるとこのまじいこと

ではない。

## 4.2 配電用変圧器接地方式

配電用変圧器接地方式とは図 4.1 のように発電機中性点を変圧器を通じて接地し、変圧器低圧巻線に抵抗器を接続した方式である。接地故障の検出は過電圧継電器 64N によっておこなわれる。

配電用変圧器接地方式の特長は接地故障電流を非接地の場合の  $\sqrt{2}$  倍程度に制限し損傷の極限をはかりつつ健全相電位上昇を適当な値に制限できる点にある。つまりこの方式で抵抗器の値  $R$  を接地故障時の全充電電流と同等以上の有効分電流が流れるようにえらべば、健全相電位は相電圧の 260% 程度に

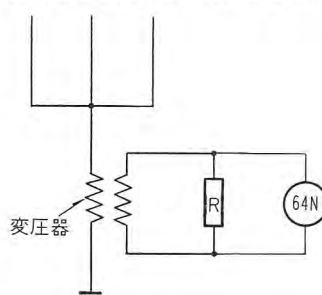


図 4.1 配電用変圧器接地方式

おさえることができる<sup>(2)</sup>。

いま発電機回路の 1 線対大地間全静電容量を  $C$ 、周波数を  $f$ 、接地用変圧器の巻線比を  $N$  とすれば

$$R = \frac{1}{6\pi f N^2 C} \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

であればよい。 $R$  が式

(4.1) より小さくなくても電位上昇をおさえる効果はほとんど同じである。ただし配電用変圧器接地でもっとも注意しなければならないことに、主変高压側からの静電容量結合による接地電圧移行の問題がある。 $R$  をあまり大きくすると主変高压側の接地故障によって 64N が誤動作しやすくなってくるのでこの点も考慮して適当な  $R$  の値をきめなければならない。またもうひとつは  $\pi$ - $\pi$  結線をした PT 低圧側短絡故障時の 64N の誤動作の問題がある。これに対しては PT ヒューズのシャ断時間特性と 64N の動作時間特性と  $R$  の値とが相互に関係する。それゆえ有効分電流を最初から 15 A にきめて、あとの部分に必要な決定をあたえたほうがよいという考えもある。その場合の  $R$  の値は、発電機定格電圧を  $E_G$  とすれば

$$R = \frac{10^3 E_G}{15\sqrt{3} N^2} \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

である。

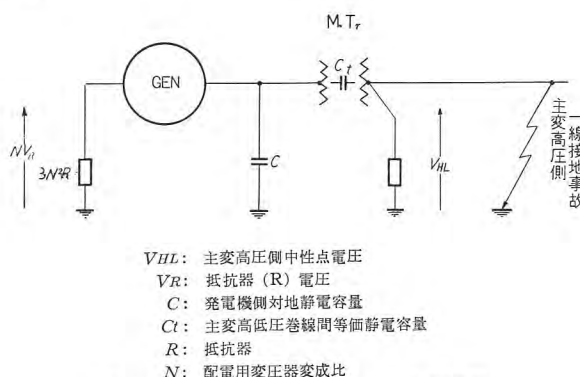


図 4.2 主変静電容量結合による高压側接地時中性点電位移行



変圧器の一次定格電圧は接地故障発生時の過渡励磁電流が十分小さくなるようにまず考慮する必要がある、そのためには発電機端子—中性点間電圧の 1.5 倍 ( $E_G$  の 87%) 以上にとる必要がある。また変圧器の絶縁は発電機の絶縁と同等程度の強度をもつことも必要である。この二つの条件から多少ぜいたくな場合もあるけれども発電機定格電圧と同じ値に変圧器一次定格電圧をえらぶことが多い。

もし 64N 動作により警報だけとするならば、変圧器も抵抗器も式 (4.1) または式 (4.2) で定まる電流に連続に耐えなければならない。64N 動作によってトリップとするときは 1 分ないし 10 分間耐えるものでなければならない。とくに変圧器は抵抗器に対する直列リアクタンスがあまり大きくならないように 1 分定格よりは 10 分定格のほうをもちいたほうがよい。なお抵抗器にはこのような制限はなく過熱しない定格でありさえすればよい。

配電用変圧器接地方式にもちいられる接地過電圧継電器としてはつぎの 2 種類がある。

CV-8………誘導円板形接地電圧継電器

HPV………高速度接地電圧継電器

#### CV-8

配電用変圧器接地方式でもっとも一般的な保護方式は高感度誘導円板形過電圧継電器をもちいる方式であって、その主継電器が CV-8 形電圧継電器である。

CV-8 形電圧継電器は 67V 連続定格のものと 199V 連続定格のものがある。おのおの動作値は連続定格値の 8% となっている。たとえば 67V 継電器では 5.4V、199V 継電器では 16V となっている。CV-8 形電圧継電器には直列蓄電器が付属し、これとコイルインダクタンスとによって第 3 高調波阻止回路が構成されている。通常発電機中性点には定格相電圧の 10% ないし 15% の第 3 高調波電圧があらわれることがあるので、このような第 3 高調波阻止の特性がなければ十分高感度にはできない。この回路特性によって CV-8 形電圧継電器は 60 c/s では定格値の 8% の電圧で動作するのに、180 c/s では定格値の 60% の電圧を印加しないと動作しない。

67V 定格の CV-8 形継電器は 140V で約 2 分間耐えることができるが、もっと高い電圧まで連続に使用したいときには図 4.3 のように SV 形電圧継電器を付加する。この回路でたとえば SV 形電圧継電器を 70V で動作させ CV-8 形継電器入力回路に抵抗  $R_s$  を挿入すれば 150V 程度まで連続に耐えることができる。この SV 形電圧継電器併用方式は CV-8 形継電器の動作時限をある一定時間以上にたもちたいときにも応用される。

CV-8 形電圧継電器には時限整定用ダイヤルがあり、非常に短時間の動作から長い時限の動作まで自由に整定を変更することができる。たとえば #11 のダ

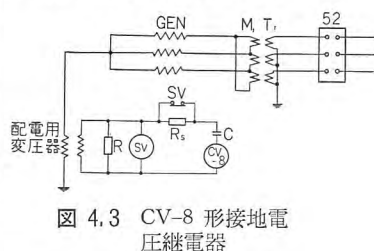


図 4.3 CV-8 形接地電圧継電器

イヤルでは最小時限が 4 秒であるが、#1/2 のダイヤル位置に整定すれば約 15 c/s の時限で動作する。以上の整定範囲があれば主変高圧側接地継電器や PT ヒューズとの時限協調は容易にできる。

#### HPV

HPV 形接地電圧継電器は配電用変圧器接地方式で高速度接地保護をおこなうためとくに考案された継電器である。HPV 形継電器は図 4.4 および図 4.5 にしめすように平衡桿形高速度要素をもち、発電機中性点接地変圧器二次電圧によって動作力、主変高圧側接地電圧によって抑制力を得ている。したがってもし主変高圧側に接地故障が発生しても、継電要素には抑制力がはたらくので誤動作する心配がなく、自発電機接地故障に対しては十分な高感度保護をおこなうことができる。

HPV 形接地電圧継電器には 5—10—15—20V の 4 タップがあって、動作値を適宜変更することができる。また動作コイルは誘導性のつよいインピーダンスをもち第 3 高調波に対して感度ができるだけ低下するように考慮されている。

#### CV-8 と HPV

誘導円板形の CV-8 形継電器と高速度形の HPV 形継電器のいずれをえらぶかもむずかしい問題である。比較する項目としては、発電機における損傷の程度、主変静電容

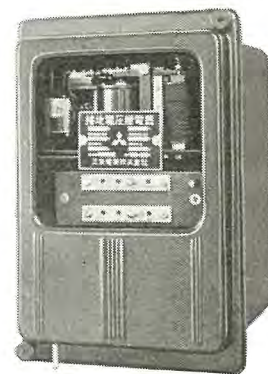


図 4.4 HPV 形接地電圧継電器

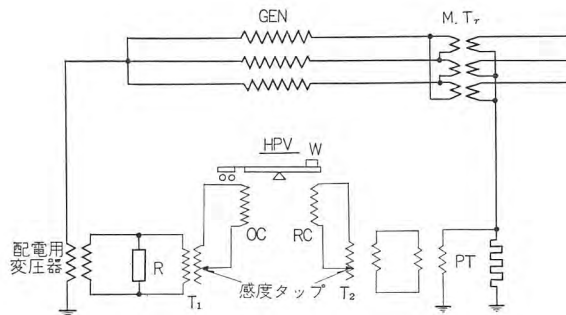


図 4.5 HPV 形接地電圧継電器

量結合効果による誤動作の防止、その他の動作特性、保守運用の難易、耐震性などが考えられる。

元来配電用変圧器接地方式は発電機の接地事故による損傷を極小にしようということをひとつの目標として考案された方式である。しかしこの方式を採用したとしても 7 ないし 21A の電流がながれる可能性がある。実際はこの程度の電流でも故障点の鉄心が一部損傷することは当然ありうる。また接地したままで放置すれば相间短絡故障に発展する可能性もなくはない。その上 64N が動作したときに 1 相が 2 点で接地していることが万一あれば問題である。このような見地からすると、た



とえ配電用変圧器接地方式でもなるべく接地故障を検出してトリップしてしまうことがのぞましい。

しかし配電用変圧器接地をおこなった場合は通常中性点シャ断器を設置していないので、たとえ継電器動作によってただちに主変シャ断器や界磁シャ断器をトリップしたとしても故障電流は相当時間持続する。それゆえ CV-8 形継電器と HPV 形継電器とで鉄心損傷の極限能力についての差異はたいしてないものと考えられる。

HPV 形継電器と CV-8 形継電器とで原理上もっとも相違する点は、主変静電容量結合効果による誤動作防止方式にみられる。HPV 形継電器は主変高压側の接地電圧による抑制力を付加することによっているのに対して、CV-8 形継電器は主変高压側接地継電器との時限協調によっている。それゆえ HPV 形継電器は主変高压側に GPT があるときはよいが、なければ適用できない。なお主変高压側が直接接地の場合現在の形のままでは適応しない。一方 CV-8 形継電器では主変高压側接地継電器との時限協調を考慮する必要がある。ただしこの時限協調は主変高压側から誘導される電圧が割合ひくいので、CV-8 形継電器の反限時時性を利用すれば、むずかしいものではない。また主変高压側が直接接地ならば時限協調の問題はなくなり、容易に適用することができる。また  $\pi$ - $\pi$  接続の PT 二次接地故障の問題は CV-8 形継電器の場合にだけ考慮できる。

HPV 形継電器は高速度継電器としては非常に簡単な継電器であるから CV-8 形継電器にくらべて保守・運用の面で大きな相違はない。耐震性は CV-8 形継電器にくらべると多少劣る。

## 4.3 100 A 抵抗接地方式

100 A 抵抗接地時には通常 CWR 形接地継電器を使用する。CWR 形接地継電器は誘導円板形の高感度比率差動継電器で、図 4.6 にその概要をしめす。図のように機器両端に設置された CT の三次巻線に接続された 2 個のコイルが外部事故のときに和動的にあい加わったアンペアターンによって抑制力を出すようになっている抑制要素と、零相差電流と中性点電圧のスカラ積によって動作力を出す動作要素とが同一円板の前後に取付けられている。

外部故障のときには抑制要素の抑制力が強大で多少の差電流

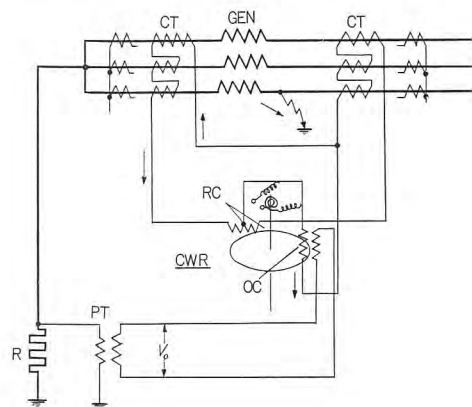


図 4.6 CWR 形接地継電器

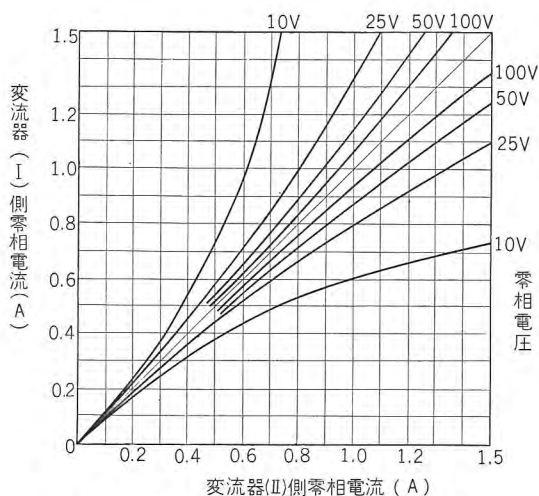


図 4.7 CWR 形接地継電器比率差動特性

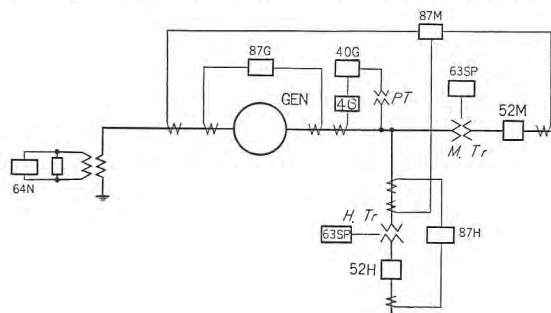
が流れても誤動作のおそれはない。内部事故のときには抑制要素に流れる電流は片側の CT からだけとなり抑制力は外部事故のときより小さくなると同時に動作要素に流れる零相電流は増加して動作力を増大させる。CWR 形接地継電器はこのような原理によって図 4.6 のような比率差動特性をもつ。また CWR 形継電器は電圧の要素を導入しているので、CT 負担を非常に軽減することになっている。

## 5. 発電機保護のアレンジ

発電機の巻線短絡保護と接地保護についてはすでに前項で述べたのであるが、発電機主回路保護のアレンジについて若干の補足をしておく。

### 5.1 CT の設置

図 5.1 は最近の大形火力発電機保護の一例をしめす。図のように発電機の巻線短絡保護は 87G のほかに、主変保護用差動継電器 87M によって後備保護することがある。87M は 87G より通常最小動作値が大きくかつ動作比率も大なので、発電機内部事故で 87G が動作する前に 87M が動作することはまず考えられない。ゆえに 87M の役目は 87G がなんらかの事故で不動作のときにかぎり後備保護するものである。それゆえ



- 87M: 主変圧器差動継電器
- 87H: 所内変圧器差動継電器
- 87G: 発電機差動継電器
- 64N: 中性点接地過電圧継電器
- 63SP: 瞬時ガス圧継電器
- 46: 逆相過電流継電器
- 40G: 界磁喪失継電器

図 5.1 大形ユニット発電機保護例



87M の保護域を発電機中性点側までひろげても単に発電機端子部で 87G の保護域と CT の部分だけオーバーラップさせても、実際問題としては大きな違いはない。これは発電機の後備過電流保護が困難な場合の 1 対策として考えだされたものである。87M で発電機中性点までを保護して 51 を省略する例もある。この方式は 87M 用 CT の発電機中性点側設置が可能な場合には採用されるが、設置が不可能なときもあるのでいつもおこなうことができるわけではない。

40G, 46 についても同様なことがいえる。40G は短絡故障と界磁喪失との分析能力をまず意味では CT を発電機中性点側にもうけることが好ましく、46 は発電機の後備保護継電器であるからやはり発電機中性点側のほうがよい。しかしこれも CT の設置が無理でない場合にかぎる。

### 5.2 変圧器の保護

最近の変圧器保護には差動継電器のほかに SP 形ガス圧力継電器をもちいることが推奨されている。SP 形継電器は変圧器頭部の気体部分の圧力変化を検出するもので相当小さな故障でもみつかることができ、また大故障には 1~2 c/s の高速度で動作できる。

### 5.3 継電器動作時の処置

図 5.1 で 87G, 87M, 87H, 40G, 46 および 64N の動作時には通常以下の処置をおこなわせることになっている。

発電機並列用シャ断器シャ断  
直結変圧器シャ断器シャ断  
界磁閉閉器シャ断（予備励磁機、副励磁機閉閉器シャ断）  
自動電圧調整装置除外  
自動負荷調整装置除外  
タービン危急停止弁閉止  
所内高圧母線連絡シャ断器投入

しかしこまかい処置については動作継電器によって多少相違することができる。

## 6. 過電流保護

発電機回路の過電流保護としては、単相過電流保護と逆相過電流保護のふたつがある。前者は発電機ならびに母線側事故に対する後備保護として適用されている。後者は原理上発電機に対しては一次保護と解されるが、動作時限からすれば後備保護の領域にあるものとも解される。

### 6.1 単相過電流保護

単相過電流保護にはつぎの 2 種類の継電器がもちいられる。

CO（または COS）………過電流継電器

COV ……………不足電圧起動過電流継電器

CO（または COS）

CO 形過電流継電器は反限時性の電流対動作時間特性で動作する誘導形過電流継電器であって、発電機後備保護には CO-6（または COS-4）、CO-7（または COS-5）、CO-8（または COS-1）のいずれかがもちいられる。CO-6（または COS-4）

形継電器は定限時反限時特性をもつから送電線後備保護継電器と協調の必要上えられることがある。CO-8（または COS-1）形継電器は反限時特性をもつから変圧器などの過電流耐量や事故電流の大きさによる選択性を重視するときにもちいられる。CO-7（または COS-5）形継電器は弱反限時特性つまり CO-6 形継電器と CO-8 形継電器の中間の特性をもっている。

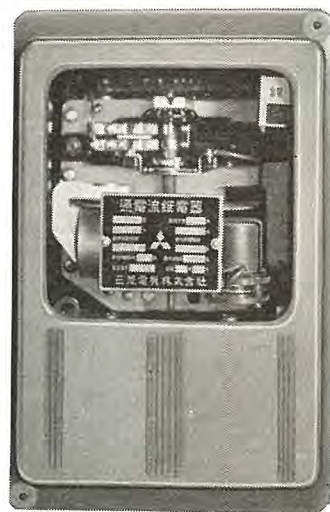


図 6.1 COS-1 形過電流継電器

る。図 6.1 にこれら後備保護継電器のひとつである COS-1 形過電流継電器の外観をしめす。他もほとんど構造に変化はない。

単相過電流継電器の整定は発電機脱調時の過電流による誤動作をどうしても避ける必要があるかどうか、動作電流電源を自発電機とするかしないかによってことなる。一般に脱調が継続すれば円板の回転角が積分されて誤動作するおそれがあるので、時限整定を相当長くする必要がある。発電機そのものは JEC-114<sup>(6)</sup> に「同期機は運転中その端子において突然短絡を生ずるものなら異常なきことを要する。本項に対する試験は定格周波数にて無負荷運転し、その電圧を定格電圧の 1.05 倍に保ち、中性点を除く全端子を突然短絡し、巻線の変形その他異常の有無を検するものとする。（以下略）」と規定されているだけで、許容時間についての規定はないが、三相短絡で相当長時間運転は可能ならばと規定されている<sup>(7)</sup>。また変圧器についてみると JEC-120 に規定がある<sup>(8)</sup>。しかし一方では動作値整定を発電機定格電流の 120% より小さくすることはむずかしいのに、同期インピーダンスは通常 100% 以上であるから、あまり長限時整定をおこなうと電圧調整器のない発電機では軽負荷運転中の短絡事故のときに自発電機よりの電流では動作できない。この点時限整定は界磁喪失継電器の有無によっても左右されることになる。動作値整定をあげて他の電源よりの電流によってだけ動作するようにすることは通常特殊な場合だけである。

単相過電流継電器は主変高圧側 CT か、発電機端子部 CT かあるいは発電機中性点側 CT の回路に接続される。

### COV

COV 形不足電圧起動過電流継電器は系統電圧が一定値以上のとき動作せず、電圧が一定値以下になったとき規定値以上の電流が流れておればその電流値に応じた時限をもって動作することが必要な場合にもちいられる。これは故障電流が最大負荷電流より小さい場合とくに有効な保護手段となる。

同期機では同期インピーダンスが大きいため故障時に後備保護継電器の受ける入力電流と動作値との差が非常に小さくなる



可能性がある。COV 形不足電圧起動過電流継電器は不足電圧要素と誘導形過電流要素各 1 個を同一ケースにおさめたもので、常時は電圧要素の接点で過電流要素にトルクができないようにし、故障が発生して電圧がさがれば過電流要素にトルクができるようになっているから、過電流要素としては負荷電流に関係なく整定できる。それゆえ COV 形継電器をもちいれば単なる過電流継電器をもちいたときに要する整定上のこまかい配慮は軽減されることになる。

COV 形不足電圧起動過電流継電器では低電圧要素と過電流要素とが別の継電器であり、整定もおたがいの特性に影響をおよぼしあうことなく整定できるので適用と整定が非常に容易な特長がある。同期機過電流後備保護には COR 形電圧抑制付過電流継電器をもちいても類似の保護はできるが、この種の継電器は母線電圧によって限時が変動するので、他の後備保護継電器との協調をとりにくい点が難点とされている。また瞬時動作距離継電器に時限継電器を付加して後備保護にもちいることもある。この方式は送電線側にも距離継電器がもちいられているときには協調がとりやすい利点がある。

COV 形不足電圧起動過電流継電器を後備保護にもちいる場合の短所は、電圧が故障以外のときになくなると誤動作することである。ゆえに電圧回路は十分注意して設計しなければならない。また電圧低下をともしなわれない過電流には応動しないが、この場合に対する保護は通常電機子温度上昇を別の装置で監視しているのでそれによることとなる。脱調に対する誤動作の問題は単なる過電流継電器の場合と大差はない。

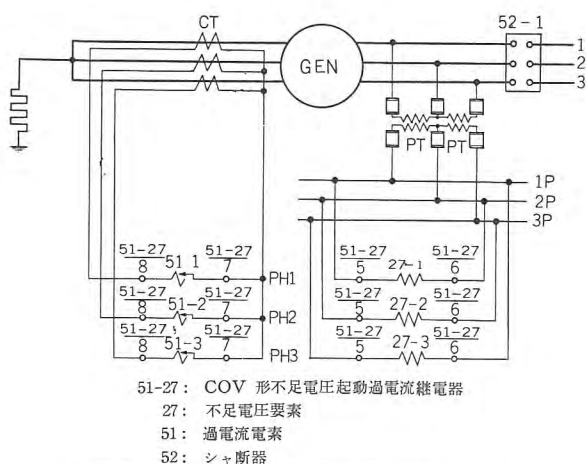


図 6.2 COV 形低電圧起動過電流継電器用法例

COV 形継電器には、過電流要素の時限特性の相違によって COV-6, COV-7, COV-8, COV-9 の 4 種類がある。これら番号による分類は CO 形継電器の場合と同じである。COV-9 形継電器は COV-8 形継電器よりさらに強反限時特性をもつ。

つぎにのべる COQ 形逆相過電流継電器がもちいられるときは、COV 形継電器は三相短絡事故だけを保護すればよいから整定も容易となり、また発電機 1 台に対して COV 形継電器 1 個を設置すれば十分である。

## 6.2 逆相過電流保護

発電機が接続されている系統に 2 線短絡、2 線接地あるいは 1 線接地などの不平衡故障が発生すれば発電機には逆相分をふくむ故障電流が流れる。このように逆相分をふくんだ電流に対して発電機は三相短絡故障電流に対するほど強くはない。それはこの逆相電流が発電機の内部で回転子と逆方向に回転する磁界をつくり回転子表面に渦流を誘起して部分的に温度を上昇させるからである。この温度上昇は逆相電流の大きさの自乗を継続時間で積分したものにほぼ比例していて、正相電流に無関係である。一般に逆相電流の許容限界は次式であらわされる。

$$\int_0^t i_2^2 dt = I_2^2 \cdot t = K \quad (6.1)$$

$i_2, I_2$ : 逆相電流 (per unit)

ただし  $i_2$  は各瞬時の実効値、

$$I_2 \text{ は等価逆相電流 } \left( I_2 = \sqrt{\frac{\int_0^t i_2^2 dt}{t}} \right)$$

$t$ : 時間 (sec)

$K$ : 逆相電流の許容限界をしめす常数

$K$  の値は ASA ではつぎのように定めており<sup>(7)</sup>、現在のところわれわれもこれを整定の目安としている。

| 同期機の種類   | 許容される $K=I_2^2 \cdot t$ (per unit-sec) |
|----------|----------------------------------------|
| タービン発電機  | 30                                     |
| 水車発電機    | 40                                     |
| ディーゼル発電機 | 40                                     |
| 同期調相機    | 30                                     |
| 周波数変換機   | 30                                     |

$I_2^2 \cdot t$  が上表の  $K$  より大きくなれば発電機はなんらかの損傷を受ける可能性があり、かならず事後点検を要し、さらにこの限界の 200% をこすような場合は相当重大な損傷を受けるとされている。

COQ 形逆相過電流継電器は  $I_2$  が 0.6 per unit 以下で始動し、 $I_2$  が 1 から 5 per unit の範囲で  $K$  が 30 から 90 までの間にあれば、図 6.5 のように上記  $I_2^2 \cdot t = K$  の曲線に非常に適合した動作特性をもつように設計されている。実際に発電機



図 6.3 COQ 形逆相過電流継電器



図 6.4 付属逆相分ろは器 (COQ 形逆相過電流継電器用)



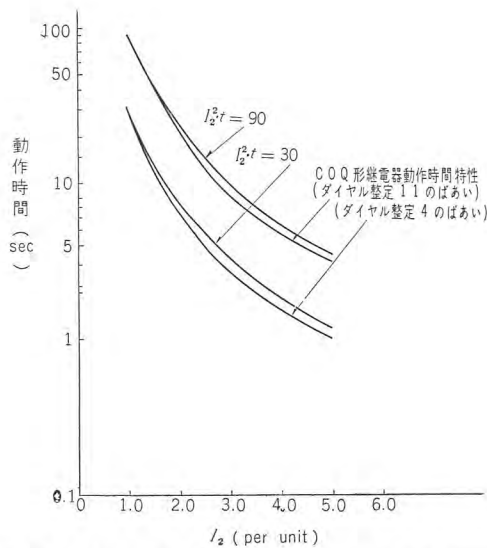


図 6.5  $I_2^2 \cdot t = 30$  および  $I_2^2 \cdot t = 90$  の曲線と COQ 形継電器の動作時間特性の比較

で発生する逆相過電流とその許容限界はすべてこの動作域内にふくまれるはずである。図 6.3 に COQ 形継電器、図 6.4 は付属逆相分ろは器をしめす。

## 7. 界磁喪失保護

一般に同期機の界磁が異常に低下したり、喪失したりすれば、電機子巻線には過大電流が流れ、回転子が過熱し、同期化力を失って脱調し、また系統の電圧を低下して系統を混乱させるおそれがある。それゆえできるだけ早く界磁の異常低下あるいは喪失を検出し適当な処置をとることが必要である。この目的のためには HLF 形界磁喪失継電器をもちいる。

発電機の界磁異常低下または喪失の原因としては界磁短絡、界磁開放の二つに大別できる。前者としては励磁回路の各種短絡故障、励磁系の不正動作、不注意による励磁の誤整定、副励磁機回路の断線あるいは接触器開放など多数の原因が考えられるし、後者としては励磁機や界磁回路の断線、スリップリング故障、主励磁機回路シャ断器開放などが考えられる。HLF 形界磁喪失継電器はこれらの事故を発電機端子電圧と電機子電流によって検出するものである。事故の原因の前者と後者とでは結果としてあらわれる現象が相当ちがっており、とくに後者で回転子の事故の場合比較的簡単な発電機模型による研究から案出されたこの種の継電器でどの程度まで正しい動作を期待できるかは保証のかぎりではない。しかし大部分の前者および後者の原因による界磁の異常状態はこの種の継電器で保護できるであろうとかんがえられる。

図 7.1 は電機子回路を単純化したものであるが、同図で HLF

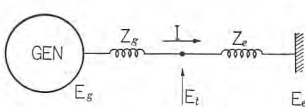


図 7.1 発電機等価回路

形界磁喪失継電器に導入される現象量は発電機端子電圧  $E_t$  と電機子電流  $I$  である。この  $E_t$  と  $I$  との関係は、そのどちら

かをパラメータとすればリレーインピーダンスベクトル  $Z$  であらわすことができる。

$$\frac{E_t}{I} = Z = R + jX \quad (7.1)$$

計算機によって界磁喪失時の  $Z$  の変化状況を計算した例を図 7.2 にしめす。同図で  $a$  は 100% で 90% 遅れ力率の負荷で運転中の発電機が界磁短絡した場合の状況をしめしている。この場合  $Z$  の変化は比較的緩慢で、端子電圧は界磁短絡後数秒のうちに急激にさがり、同期機は脱調状態に到達する。また図 7.2 の  $b$  は同じ状態の発電機が界磁開放した場合の状況をしめしている。この場合同期機はただちに制動回路を回転子回路とする誘導機となるから  $Z$  の変化も急速である。同図  $c$  は低負荷時に界磁が短絡した場合の軌跡の例である。

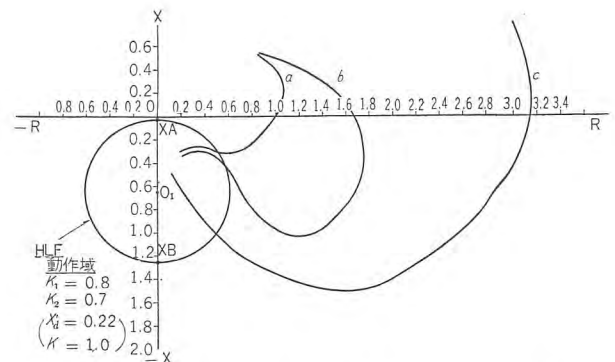


図 7.2 発電機界磁喪失時の端子インピーダンス軌跡と HLF 形界磁喪失継電器整定例

このような現象下で発電機回転子は平常より温度上昇するが、界磁短絡時の許容継続時間はすくなくとも 2 分以上といわれ、実際に界磁喪失で大事にいった例はきかない。回転子そのものの事故によってひきおこされたものは論外として、界磁開放時についても計算すれば、許容時間はもっとみじかく数十秒のオーダーとなる。それゆえこの種の開放事故はいちばんこのましくないもので、できるだけ発生しないようにあらかじめ特別の注意がはらわれることが先決である。

一般に回転子以外の事故で発生する界磁喪失の最大の問題は、同発電機の過渡動揺が系統の安定度に波及することである。図 7.2 でもわかるように、界磁喪失時には発電機にむかって無効電力が流入するので系統の電圧が低下する。これに対して系統の安定度は系統の同期機がうける影響と電圧調整器の動作によって定まる。この系統の安定度維持のため継電器として必要な動作は、系統の安定極限となる適当値以下の電圧となれば早急に界磁喪失機を系統からきりはなすことである。

HLF 形界磁喪失継電器は界磁喪失要素と不足電圧要素とからなり、界磁喪失要素の動作によって界磁喪失を検出警報し、さらに不足電圧要素の動作によって瞬時トリップするようになっている。これは HLF 形継電器が系統安定度維持を第 1 保護目的としたものであるからであるが、もちろん接点の使用法はかならずしも一定不変のものではない。



発電機の界磁喪失をいつもあらゆる条件について計算機でとき、その結果にもとづいて整定することは理想であるが、実際問題としてはなかなか実現しがたいことである。それゆえ HLF 形継電器は

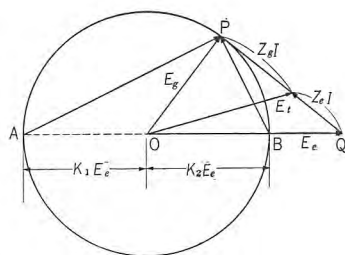


図 7.3 発電機電圧・電流ベクトルの関係

基本的な常数がわかれば容易に整定値を算出できるように一種の変形電圧比較継電器として考案されている。図 7.1 のように無限母線電圧を  $E_g$ 、それまでのインピーダンスを  $Z_g$ 、発電機等価内部インピーダンスを  $Z_g$ 、等価内部電圧を  $E_g$  とすれば、

$$\left. \begin{aligned} E_g &= \epsilon E + Z_g I \\ E_t &= E_e + Z_s I \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7.2)$$

である。その関係を保トル図にしなければ図 7.3 のようになる。界磁喪失継電器の動作限界を一応界磁異常低下におくものとする。無限母線の不変電圧  $E_i$  を基準として  $E_g$  がある範囲以下に低下したときに動作するようにすればよいことになる。その  $E_g$  の動作範囲を  $\square$  APB とする。 $\overline{AO} = K_1 E_i$  とすれば  $K_1$  は 0.8 以下にする必要があり、 $\overline{OB} = K_2 E_i$  とすれば、 $K_2$  は低励磁運転で動作域にはいらないように定めればやはり 0.6 から 0.8 程度となる。ただし  $Z_g$  は界磁異常低下時の現象の本質上  $\omega L$  を採るものとする。 $\square$  APB を動作域とすることは、継電器内部でベクトルの相差角  $\angle$ APB が鈍角となったときに動作するようにすればよい。図 7.4 は HLF 形継電器界磁喪失要素の原理図で補償器  $MT_A$  で PT 二次電圧を補償しベクトル  $\overline{AP}$  に比例した電圧を得、補償器  $MT_B$  でベクトル  $\overline{BP}$  に比例した電圧を得ている。補償器  $MT_A$  の二次回路のインピーダンス角は  $MT_B$  の二次回路のインピーダンス角よりも 90 度進みとなるようにしてある。それゆえ  $\overline{AP}$  が、 $\overline{BP}$  より 90 度おくれのとき両回路の電流は同相となって継電要素内部では回転磁界がなく、トルクは零である。そして  $\angle$ APB が鈍角のときは両回路電流の位相が継電要素内部で動作方向に回転磁界をつく

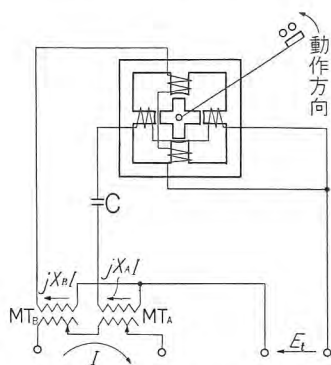


圖 7.4 HLF 形界磁喪失繼電器原理圖

り要素を接点させ、鋭角のときは継電要素内部で抑制方向に回転磁界をつくり要素は抑制される関係となっている。

補償器の相互インピーダンスの整定は、AはOより左にあり、BはOより右にあるものとすれば

$$\begin{aligned} & \text{MT}_A \text{ の整定値 } jX_A \\ &= \frac{1-K_1K}{1+K_1} Z_\theta \\ & \dots\dots\dots (7.3) \end{aligned}$$

$$\text{MT}_B \text{ の整定値 } jX_B = \frac{1+K_2K}{1-K_9} Z_g \dots\dots\dots (7.4)$$

ただし  $K = \frac{Z_e}{Z_g} \dots\dots\dots (7.5)$

とすればよい。このようにすれば  $MT_A$  二次回路電圧は  $E_t + jX_A I$  となり、これはベクトル  $\overline{AP}$  に比例する。すなわち

$$\overline{AP} = (1 + K_1)E_e + (Z_g + Z_e)I \dots\dots\dots (7.6)$$

で,  $E_p = E_t - Z_e I$  であるから

$$\begin{aligned}\overline{AP} &= (1+K_1) \left\{ E_t + \frac{1-K_1K}{1+K_1} Z_\theta I \right\} \\ &= (1+K_1) (E_t + jX_A I) \dots\dots\dots (7.7)\end{aligned}$$

また  $MT_B$  二次回路電圧は  $E_t + \frac{1+K_2K}{1-K_2}Z_g I$  となり、ベクトル  $\overline{BP}$  に比例する。

$$\overline{\text{BP}} = (1 - K_s)E_s + (Z_g + Z_s)I \dots\dots\dots(7.8)$$

$$\therefore \overline{\text{BP}} = (1 - K_2) \left\{ E_t + \frac{1 + K_2 K}{1 - K_2} Z_g I \right\} \\ = (1 - K_2) (E_t + j X_B I) \dots\dots\dots (7.9)$$

HLF 形継電器の整定タップ値は PT 二次 110V, CT 二次 5A を 100% とし, MT<sub>A</sub> は 0-3-6-9-12-15-18%, MT<sub>B</sub> には 0-7-14-21-28-35-42% の 2.2 倍 (×2.2 副タップ) と 5.5 倍 (×5.5 副タップ) の値に整定することができるようになっている。

この HLF 形継電器の動作特性を図 7.2 の R—X 面であらわせば、円  $O_1$  のような特性となり、距離継電器の一種であることがわかる。その原点にいちばん近い点は、 $E_L$  最小で  $I$  最大である図 7.3 の点 A に対応し、 $Z = -jX_A$  となる。すなわち点 A では

$$\overline{AP} = (1 + K_1)(E_t + jX_A I) = 0$$

$$\therefore Z = \frac{E_t}{I} = -jX_A \dots\dots\dots (7.10)$$

図 7.2 で原点にいちばん遠い点は  $E_L$  最小で  $I$  最大である図 7.4 の点 B に対応し、 $Z = -jX_B$  である。すなわち点 B では

$$\overline{\text{BP}} = (1 - K_2)(E_t + jX_B I) = 0$$

$$\therefore Z = -jX_B \quad \dots\dots\dots (7.11)$$

たとえば  $x_d' = 0.22$ ,  $K = 1.0$ , 発電機定格電流 1,350 A, CT 比 1,500/5 で,  $K_1 = 0.8$ ,  $K_2 = 0.7$  と動作特性をさだめれば

$$X_A = \frac{1 - 0.8 \times 1.0}{1 + 0.8} \times 0.22 = 0.0245 \text{ (per unit)} \dots (7.12)$$

$$X_B = \frac{1 + 0.7 \times 1.0}{1 - 0.7} \times 0.22 = 1.25 \text{ (per unit) } \dots\dots (7.13)$$

で図 7.2 の円  $O_1$  のようになる. これは図 7.2 の界磁喪失時のインピーダンス軌跡からみて種々の原因による界磁喪失を検出できることはうたがいない.

なお整定タップは CT 二次側（タップの単位）に換算し

$$X_A = 0.0245 \times 100 \times \frac{1500}{1350} = 2.72 \text{ (\%)} \dots\dots\dots (7.14)$$

(→ MT<sub>A</sub> の整定)

$$X_B = 1.25 \times 100 \times \frac{1500}{1350} = 139 \text{ (\%)} \quad \cdots \cdots \cdots (7.15)$$

(→ MT<sub>B</sub> の整定)



にもっとも近くなるようにえらべばよい。

図 7.5 に HLF 形界磁喪失継電器をしめす。同図で上部が界磁喪失要素、下部が不足電圧要素で、下部側面に不足電圧要素整定タップがある。



図 7.5 HLF 形界磁喪失継電器

## 8. 界磁保護

### 8.1 電圧調整器保護

磁気増巾式電圧調整器の場合には入力制御や電源保護装置が必要であるが、それ以外には一般に電圧調整器自体の保護装置として特記すべきものはない。

調整器の異常動作で界磁の異常動作となれば界磁喪失継電器で警報できることは前項でのべたとおりである。その他に PT ヒューズ断線検出の問題がある。これは従来 CP 形三相低電圧継電器、または他の形の単相低電圧継電器の組合わせによっておこなっているが、PT 負担によって検出不能の場合もあるので取扱いに注意する必要がある。また発電機端子に 2 組の PT を設置し、その電圧差によってヒューズ断線を検出する方法も最近もちいられている。

### 8.2 界磁接地保護

同期機の界磁回路は励磁機、界磁シャ断器、界磁抵抗、スリップリング、界磁巻線など重要部分を網らしているが、これがもし 2 箇所の異なった部分で接地すると、過電流によって事故は拡大され、一部の界磁巻線の短絡であれば回転子に磁気的不平衡や振動を発生し、さらに大きな事故となる可能性をもっている。ところがこの 2 線接地を検出する適当な方法がなく（振動がおこれば振動計が動作する可能性はあるが）、結局は未然に防止するほかはない。そのためには界磁回路のどこか 1 箇所で接地故障が発生したときにこれを検出し、重大事故となる前に対策をたてることが望ましい。この同期機界磁回路の接地故障を検出するためには DGF 形界磁接地継電器をもちいるとよい。

同期機の界磁接地検出をおこなうにあたっては、つぎのことを考慮する必要がある。

- (1) 軸受は微小な電流が流れても永年の間には表面を破損しひいては重大な事故を発生するおそれがある。
- (2) 界磁巻線の分布容量は相当大きい。
- (3) 界磁回路の絶縁耐力はあまり高くはなく、常時必要以上に高い電圧をかけておくことは好ましくない。
- (4) 保守員が界磁回路の一部にふれた時感電しないことが必要である。これはたとえ生命に関係しなくても実用上は相当大的な考慮条件となる。

この (1)、(2) のことから交流電源を利用することはのぞみが

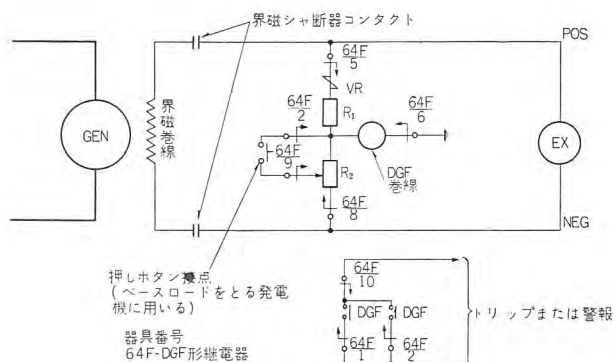


図 8.1 DGF 形界磁接地継電器原理図

なく、(3)、(4) のことと、回路がそれだけ複雑にもなることから別に直流電源をもちいることも理想的とはいえない。一方励磁機の電圧をそのままもちいることは上記のような問題がなく、もっとも安全でまた簡易でもあるが、いまだおこなわれている方法では界磁巻線の一部に接地故障検出不能の部分ができる欠点がある。これを非線抵抗を応用することによって解決し、同期機の界磁を接地保護するのに最適となるようにまとめたのがこの DGF 形界磁接地保護継電器である。

DGF 形界磁接地継電器は D-4 形可動コイル形直流過電流継電要素と抵抗ならびに非線抵抗から成り立っており、図 8.1 のように設置される。この図 8.1 で界磁回路に接地故障が発生するとその地点と DGF 形継電器の巻線間の電位差によって電流が流れその電流の極性によって左右いずれかの方向に接点する。ところがたとえば  $R_2$  の抵抗値と、 $R_1$  とバリスタの合成抵抗値とがひとしとき界磁巻線の中央部に接地故障が発生しても、この部分と DGF 形継電器の巻線との間には電位差がないため継電器は動作できない。これに対し図の VR は電圧によって抵抗値の変化する対称形非線抵抗となっているが、界磁電圧はふつう刻々変化していくものであるから、当然 VR の抵抗値もそれにつれて変化している。それゆえ DGF 形継電器の巻線の電位も一定ではなく界磁巻線で接地したとき同電位となる部分も変ってゆくはずである。ゆえに接地故障が発生した瞬間にはたまたま DGF 形継電器の巻線と同電位にあり故障が検出できなかったとしても、つぎの時期の界磁電圧が変化すれば検出できることになる。

ベースロードをとる発電機のように界磁電圧が変化しないものでは別に押しボタンを設け、それを押せば  $R_2$  の一部を短絡し、DGF 形継電器巻線の電位、ひいては接地故障不感動帯の位置を変更するようにし、定期的にそれを押して点検する方法を併用する必要がある。

### 8.3 界磁過熱

回転子の過熱はつぎの三つの原因によってひきおこされる。

- (1) 逆相過電流
- (2) 冷却装置故障
- (3) 界磁電流過大

(1) の原因に対する保護は COQ 形逆相過電流継電器によっ



て保護できる。(2)の原因に対しては固定子巻線温度上昇検出装置と冷却装置監視装置とで大体保護ができる。(3)の原因は電圧調整器や抵抗器の事故、あるいは長時間の系統不安定などによって発生するが、これに対する完全な保護手段はない。一般には警報接点付の温度記録計にたよっているのが実状である。

## 9. 発電機に対するその他の保護

### 9.1 過負荷保護

発電機の過負荷は後備保護用過電流継電器で効果的に保護することはできない。長時間の過負荷は電機子巻線の温度上昇をまねくから、一般に電機子巻線の温度記録計を設置して監視する方法がとられる。この温度計の動作は過負荷以外の事故による過電流や冷却装置の故障に対しても電機子巻線を保護することができる。

### 9.2 軸受過熱保護

軸受過熱は軸受メタルまたは軸受油出口に測温体を挿入した温度計によって保護し、一定温度に達すれば警報するようにしている。

### 9.3 過速度保護

過速度保護装置は一般にタービンのほうに設置される。その方法はタービン軸端にバネによって取付けられた偏心輪が、定格速度の  $110 \pm 1\%$  に達するとび出し、機械装置によってタービンを停止させる。なおこの過速度保護用に周波数継電器を併置することもないわけではない。

タービン過速度保護装置が動作すれば、それを警報すると同時に

スロットル弁他各蒸気弁閉  
主シャ断器シャ断  
界磁シャ断器シャ断  
直結所内変圧器シャ断器シャ断  
ボイラ供炭停止  
所内電源切換え

などの処置をおこなう。

### 9.4 電動機化保護

発電機の電動機化保護は主としてタービンや系統に対して必要な保護であって、発電機自体に対するものではない。蒸気タービンの場合、蒸気の流れのすくない状態で運転されると摩擦によってタービンの翼端が過熱する。これに対する一次保護装置としてはやはり蒸気温度の監視装置である。ガスタービンの場合には流量計によっている。それ以外電機子回路の逆流によって電動機化を検出する方法も一種の後備保護としてもちいられる。

この電動機化保護用逆電力継電器は常時負荷に連続して耐え、しかも微小な電動機運転電力を検出しなければならない点に問題があり、いまのところ十分満足できるような感度のものはな

い。なおこの種の電力継電器は電力動揺や内部事故で接点する可能性があるので通常数秒以上の時限を置いて警報および全停処置をおこなう。電動機化してからタービン過熱が危険状態に達するまでには大体 30 秒ないし 30 分の時間が必要とされているので、その程度の時限は十分許容できる。

### 9.5 脱調保護

一般にある発電機単独の脱調保護はおこなわない。もし必要がある場合には HFS-2 形脱調および界磁喪失継電器がもちいられている。HFS-2 形継電器は HLF 形界磁喪失継電器に脱調要素を付加したものである。脱調時の電氣的中心は発電機端子付近にあることが多いので、脱調要素にはふつう主変圧器高圧側の PT から電圧を供給するようになっている。

## 10. タービンの保護

タービン自体の主要保護装置としては 9.3 にのべた過速度保護のほか、軸受油圧低下、推力軸受摩耗などの保護がある。

### 10.1 軸受油圧低下

軸受の油圧が異常に低下すれば、軸受の焼損事故をおこす。これは重大事故である。それゆえ軸受油圧低下を検出し、9.3 と同じ処置をとる必要がある。なおその際補助油ポンプにいったん切換え、この切換えができないか切換え後も油圧低下した場合に停止とするのがふつうである。

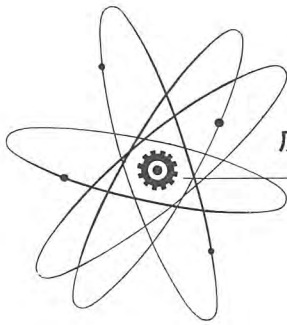
### 10.2 推力軸受摩耗

推力軸受が摩耗すればそれだけ回転子が軸方向に移動し、最後にはタービン翼がすれて大きな事故となる。それゆえタービンの軸方向移動量を監視し、許容限界をこえればすぐ 9.3 と同じ処置をとるようにしている。この軸方向移動量の検出は通常この機械的変位をインピーダンス変化に変換して検出する方法によっている。(神戸製作所 森 健)

### 参 考 文 献

- (1) 伊藤, 古谷: 高速度比率差動継電器の同期機層間短絡保護能力と外部振動に対する安定性, 「三菱電機」31 (1957) 10, p. 28~44.
- (2) Application Guide for the Grounding of Synchronous Generator Systems. AIEE Committee, AIEE Trans., 72, Part III (1953), p. 517-526, Disc. p. 526-530.
- (3) H. R. Tomlinson: Ground-Fault Neutralizer Grounding of Unit Connected Generators. AIEE Trans., 72, Part III (1953), p. 953-960, Disc. p. 960-961.
- (4) 電気工作物規程, 昭和 30 年 12 月改訂版, 第 38 条.
- (5) Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse, (1953), Chapt. 14, 19.
- (6) JEC-114 同期機, p. 18.
- (7) ASA C50. 1-1955 Synchronous Generators, Synchronous Motors, and Synchronous Machines in General, p. 16.
- (8) JEC-120 静止誘導機器, p. 14.





## 加圧水型原子力発電所について (7)

(Yankee 型 134 MP-PWR)

三菱原子力工業株式会社

前沢 芳一\*・川口 修\*\*

### 第7章 その後の改良と追加 (II)

#### 第1節 反応度の温度係数

〔第6章 第1節, 第3節の訂正〕

図6.2, 6.3 を図7.1, 7.2 で置きかえる。これらの相違は炉停止に必要なホウ素濃度が少なくなっていることである。

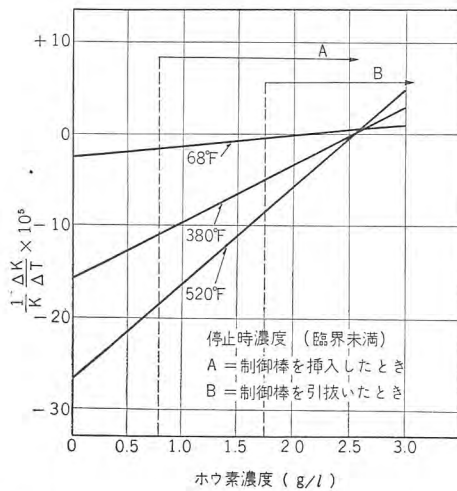


図 7.1 ホウ素濃度と反応度の温度係数との関係

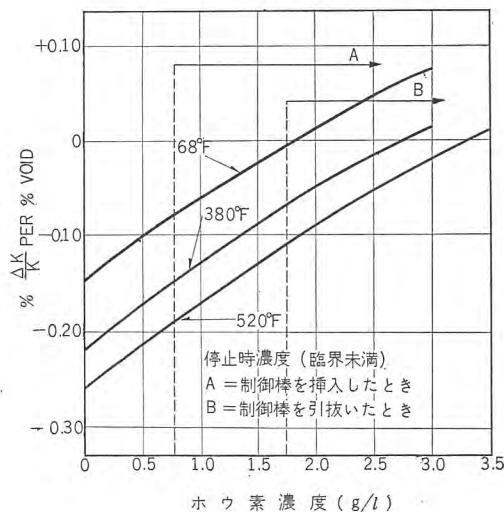


図 7.2 ホウ素濃度と一様なボイド分布のときのボイド係数との関係

#### 第2節 臨界に関する考察

〔第1章, 第3節, 3.1 炉心寿命の初期の低温状態の原子炉の訂正〕

図 1.11 を図 7.3 で置きかえる。内側2本の曲線が高温で図 1.11 と少し変った。

また 1.6 g ホウ素/l 入れた高温の場合、制御棒を挿入したと

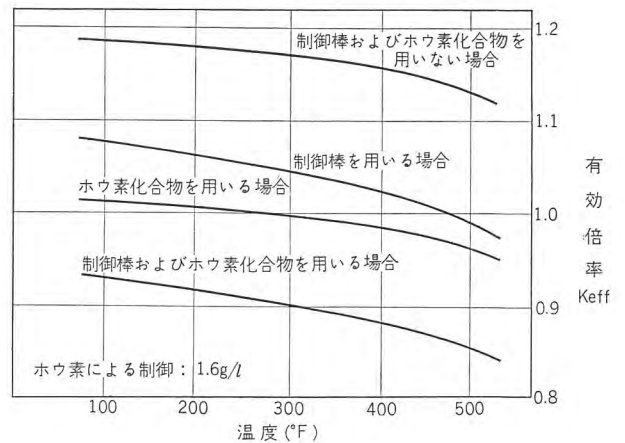


図 7.3 有効倍率と温度との関係

きの keff が 0.855 とあったのを 0.835 に訂正する。

#### 第3節 制御について

〔第6章 第6節 制御についての訂正〕

中心の制御棒の等価反応度は約2%とあるのを約1%に訂正する。

#### 第4節 化学制御について

〔第6章 第7節 化学制御についての訂正〕

225°F 以上ですべての制御棒を引抜いた状態で keff を 1 より小さくするには天然ホウ素 1.6 g/l で十分であるとあるうち 225°F を 250°F と訂正する。

#### 第5節 原子炉圧力容器について

〔第6章, 第8節 原子炉圧力容器についての追加〕

オークリッジの実験によれば  $2 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$  の中性子に照射された鋼の性質は測定しうる変化を示しているとあるうち“室温で”  $2 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$  というように“室温で”を追加する。



## 第 6 節 計装および制御について

〔第 2 章 第 4 節 4.2 計装および制御概要の訂正〕

3 台以上の主冷却系ポンプが止まると、スクラム信号が発せられるの 3 台以上を 2 台以上に訂正する。

## 第 7 節 蒸気タービン発電機施設について

〔第 6 章 第 12 節 蒸気タービン発電機施設についての訂正〕

2 台の一次系ポンプは主発電機から、他の 2 台はそれぞれハリマンおよびミルベリからとっている。このように一次系ポンプは 5,000/6,250 kVA、OA/FA 形の所内変圧器を通して三つの母線に分配された。これにともなう 1,000 kVA 2,400 V/480 V 乾式変圧器の台数も 2 台から 3 台に増された。

また主変圧器の容量は 165,000 kVA から 155,000 kVA に訂正された。

## 第 8 節 保守について

〔第 4 章 第 9 節 9.1 保守作業と蒸気コンテナへの出入、概要〕

2 の輻射熱損失のためにとあるのを単に熱損失のためにと訂正する。

## 第 9 節 燃料の平均温度について

〔第 5 章 第 1 節 想定された事故と対策、概説の訂正〕

燃料の平均温度は 3,000°F の正常温度から約 4,000°F に上昇するとある 3,000°F、4,000°F をそれぞれ 1,000°F、2,000°F に訂正する。

## 第 10 節 反応度事故について

〔第 5 章 第 2 節 2.1 起動時の事故の訂正〕

起動時の反応度事故のうち反応度の階段状変化に関する全文および図 5.2 を削除する。

## 第 11 節 出力運転時の制御棒連続引抜き

〔第 5 章 2.4 の訂正〕

$1.03 \times 10^{-4} \Delta R/K/sec$  の反応度増加率で温度係数を  $-1.6 \times 10^{-4} \Delta R/K/^\circ F$  とした場合の温度上昇率は  $0.38^\circ F$  とあるのを  $0.64^\circ F$  と訂正する。

沸騰について——強制循環の場合体沸騰は約 58 秒（訂正前 100 秒）後に始まる。ゆるやかな沸騰は制御棒連続引抜き開始後 100 秒あるいは 160 秒（訂正前は 200 秒）までは続くと思われる——と訂正する。

## 第 12 節 冷却材流量喪失事故について

〔第 5 章 第 4 節 4.1、第 6 章 第 16 節 全部を次のように置換える〕

炉心の熱的損傷は可能な限りもっともありそうもない事故の条件のもとでも防止することが望ましい、炉心の熱的損傷を生ずる可能性ある事故の一つは一次冷却材の流量喪失事故である。発電所の設計が炉心の完全さと継続的な使用可能性とを保証す

ることを確かめるために、冷却材流量の急速な減少に関する種々な形の事故が解析された。ここに述べられる冷却材流量喪失事故では一次系のすべてのポンプの電源の完全な喪失を仮定している。4 台のポンプの電動機の電源は主発電機からの一つの変圧器とそれぞれ別の 115 kV の外からの送電線に連結された二つの変圧器とを通して三つの電源の間に 1、1.2 とに分けられているため、上のような 4 台のポンプの電動機電源の完全な喪失ということはきわめてありそうもないことである。これらは本質的に独立な電源と考えられる。しかし以下ではすべての電源が同時に喪失したと仮定して解析を行なった。

冷却材流量喪失事故の研究にあたって、事故中炉心の最高温度流路の出口で体沸騰が起らないならば炉心に熱的損傷は生じないと仮定した。体沸騰が生じた場合の炉心内の流れの再分布に関して詳細な資料がえられない現状を考慮してこのような保守的な仮定がなされた。このような知識なしでは炉心内のある点で焼損が起るような流れの再分布が生ずると仮定しなければならない。

ポンプの電源が喪失したとき流量の時間的減少は初期条件、止まったポンプの台数、系の運動エネルギー、冷却ループ内の摩擦によるエネルギーの損失率により決定される。図 7.4 は惰性が増えられない場合および約 8 MW・sec の運動エネルギーをもつ惰性が増えられた場合にたいする 4 台全部のポンプの電源喪失時の流量減少曲線を示す。惰性はたとえば M-G をポンプの電動機に連結することにより加えることができる。

事故の物理的経過およびそれに関連した炉心の熱的および核的な動特性を次に述べる。

冷却材流量が減少するにしたがって炉心の冷却材出口温度は上昇し、膜熱伝達係数は減少する。冷却材平均温度の上昇は反応度の減少をきたし、原子炉周期は負になり出力レベルは減少する。

UO<sub>2</sub> 燃料は比較的熱伝導度が低く、熱容量は大きい、炉の比出力と燃料棒の直径の現設計では全出力あるいはそれに近い定

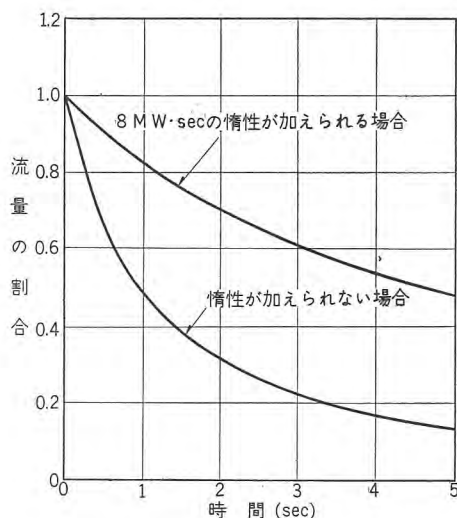


図 7.4 4 台のポンプの電源喪失後の一次冷却材の流量変化



常状態で燃料の温度こう配は大きい。したがって燃料の平均温度は冷却材の平均温度よりもかなり高い。流量減少の過渡的状態では炉心に蓄積された大量のエネルギーは熱流束を持続し、一方膜伝達係数は減少してゆく。これら二つの効果の結果炉心の最大比出力、最高熱流束の点で焼損の条件に近づく。

図 7.5 および図 7.6 にアナログ計算機による研究の結果を示す。研究に際しもちいられた一連の方程式は以下の仮定にもとづいている。

1. スクラム以前の原子炉出力は 100% で、スクラムの瞬間出力は 0 になる。
2. 流量減少は図 7.4 を近似する指数関数であらわされる。
3. 燃料きせ金は燃料および冷却材と熱平衡にある。
4. 燃料の熱伝導度以外の炉心材料のすべての物理的性質は一定で炉心の平均温度における性質を仮定する。燃料の熱伝導度の値は最高燃料温度におけるものとする。

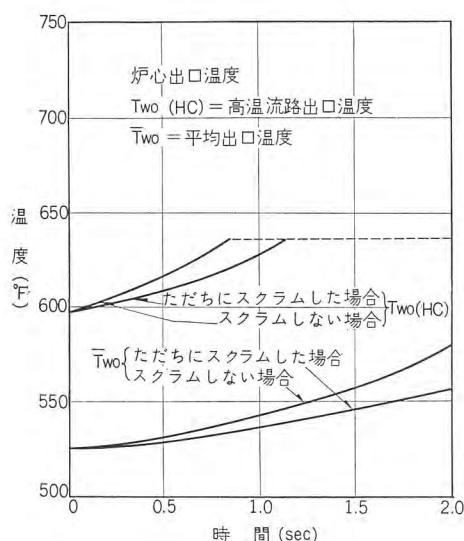


図 7.5 4 台のポンプが止まった場合炉心冷却材出口温度の時間的変化——惰性が加えられない場合

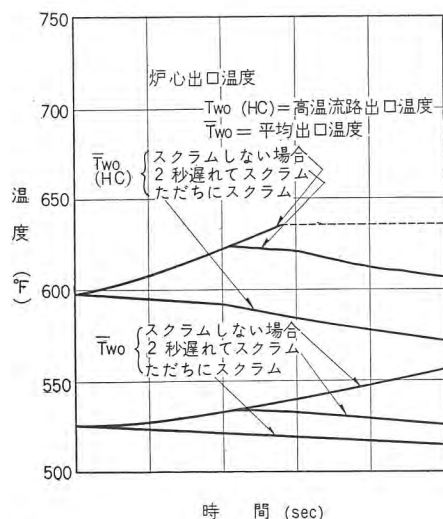


図 7.6 4 台のポンプが止まった場合炉心冷却材出口温度の時間的変化——8 MW・sec の惰性が加えられる場合

5. 冷却材圧力は一定で初期の値を保つ。

図 7.5 は惰性を加えない場合であって、高温流路においてはスクラムをしない場合にたいしてもただちにスクラムをする場合にたいしても約 1 秒で体沸騰のはじまる。

図 7.6 は約 8 MW・sec の惰性を加えられた場合で、スクラムしない場合にはポンプの電源喪失後 3 秒で高温流路に体沸騰が生ずる。しかしポンプの電源喪失後 2~3 秒以内にスクラムすれば体沸騰は防がれるであろう。

スクラム後ただちに出力が 0 になるという仮定を考えると 1 秒という時間はスクラムに要する時間としてはあまりに短すぎるように思われる。他方ポンプの電源喪失後 2 秒以内に制御系がスクラム動作を開始するようにすることは実行可能であろう。

現在の設計では一次系に惰性を付け加える方法はとられていない。しかし図 7.6 によれば合理的なスクラムの遅れを仮定した場合炉心の出口での体沸騰を妨げるためには惰性をさらに加えてやらなければならないように思われる。

しかしこの解析に用いられた系の常数にはかなりの不確定さがある。一次冷却ポンプの流量減少特性の資料を現在うることはむづかしく、また燃料の熱伝導度の正確な値も同様である。すでに指摘したように体沸騰、焼損、炉心の損傷の間の関係についても知られていない。冷却材流量喪失事故、その炉心の性能に及ぼす影響、このような事故の結果生ずる炉心の損傷をなくするために必要な設計変更は、ヤンキー研究、開発計画で詳細に解析を行なうべき問題である。

## 第 13 節 炉心の溶融後に起る臨界の考察

〔第 5 章 5.4 の訂正〕

原子炉容器の底に全燃料のペレットが積み重ねられたとすれば、最大の  $k_{eff}$  は 300°F で 1.16 とあるのを 1.06 と訂正する。またこの計算にあたり前は“分裂生成物のうちセノンは燃料から逃げ出してしまったと仮定した”とあるのを“分裂生成物はまったく存在しないと仮定する”と訂正する。

“臨界になるためには 300°F で少なくとも 40% の燃料が落下する必要がある、380°F では、少なくとも 62% 必要である”とある 40%、62% をそれぞれ 65%、75% に訂正する。

以下全文削除し次の文章を入れる。

それゆえ臨界に達するに十分な燃料ペレットが原子炉容器の底に落下するに必要な時間は約 20 分である。(図 5.12 参照) この時間はかなり長く、また臨界の解析に使用された保守的な仮定を考えると、訂正動作に(安全注入)必要な時間は十分にある。しかし原子炉容器の底におけるペレットの臨界が問題になることが詳細な計算で明白になれば中性子吸収材の格子が用いられるであろう。

## 第 8 章 その後の改良と追加 (II)

### 第 1 節 プルトニウムの蓄積効果

〔第 1 章、第 2 節 炉心の設計、第 6 章、第 4 節 プルトニウムの蓄積効果の追加〕



### 1.1 炉心の特性に及ぼすプルトニウムの蓄積効果

炉心寿命の終りには全核分裂の約  $\frac{1}{3}$  が U-238 の中性子吸収の結果蓄積した Pu-239 によると考えられるこの時期では平均のプルトニウムの濃縮度は約 0.5% である (ちなみにヤンキーの炉心の初期の U-235 の濃縮度は 2.6% である). 遅発中性子の親の核の半減期およびその生成の割合は Pu-239 と U-235 とでかなり違っている. プルトニウムは炉心中重要な領域に蓄積するため, 炉心の特性に及ぼすプルトニウムの効果が少し詳しく解析された.

この報告書を書く時には, 軽水減速低濃縮の動力炉の過渡的な特性にたいするプルトニウムの効果についての実験的な情報は得られなかった. 実験的な情報の大部分はハンフォードから得られたものであり, したがってグラファイト減速炉に適用される. グラファイト減速炉は軽水減速炉と中性子スペクトルの形がことなるため, この情報をヤンキーの炉心に外挿して, 適用することはむづかしい. しかしハンフォードの情報によれば, 減速材温度係数に及ぼすプルトニウムの効果は軽水減速炉の水の密度変化による温度係数にくらべて小さい. アルゴンヌの高速増殖炉計画に関連して Pu-239 のドブラ係数の測定が行なわれた. この情報もまた中性子スペクトルがちがうため, ヤンキー炉にたいしてはせいぜい定性的に適用されるだけである.

実験的および運転にもとづく情報によるこの特別な現象の確認はまだ十分でないが, 実験によりかなりよく確かめられているように見える計算によれば, プルトニウムの蓄積はヤンキー炉心の動特性にほとんど影響を及ぼさないものと思われる.

### 1.2 定常状態で反応度および中性子束分布に及ぼす効果

図 8.1 にプルトニウム蓄積, U-235 および U-238 の減損, U-236 の蓄積, 分裂生成物の蓄積の効果を考慮した際の炉心運転時間と  $k_{eff}$  との関係を示す. これは燃料の燃焼を計算するための CANDLE の 4 グループ, 格子点に分割した方法をも

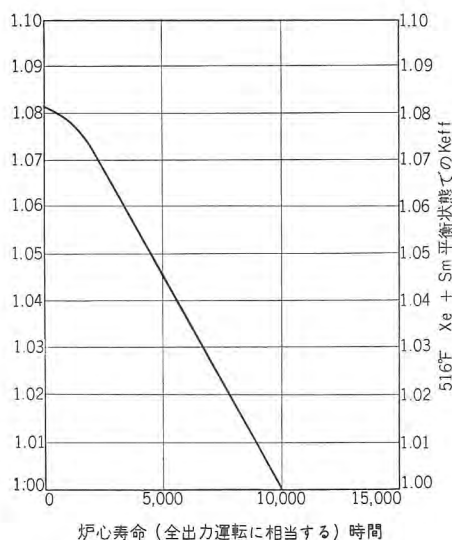


図 8.1 炉心寿命と超過反応度との関係

ちいる燃焼率計算のコードにより得られたものである. (WAPD-TM-53 "CANDLE-A One Dimensional Few-Group Depletion Code for the IBM-704" May, 1957) 制御の方法は炉心全体に一樣に中性子吸収材を入れたものと仮定した. 計算によれば炉心寿命の初期には反応度減少率は小さいけれども, 利用しうる反応度は炉心寿命中つねに減少する. かくして有害な反応度変化がプルトニウム蓄積の結果おこることは考えられない.

図 8.2 は炉心寿命の始めおよび終りにおける熱中性子束の半径方向の分布 (軸方向にはならしてある) を示す. これも同じ CANDLE の計算により得られたもので, 制御方法は上と同様一樣な中性子吸収材分布を仮定した. 実際の場合制御棒の効果

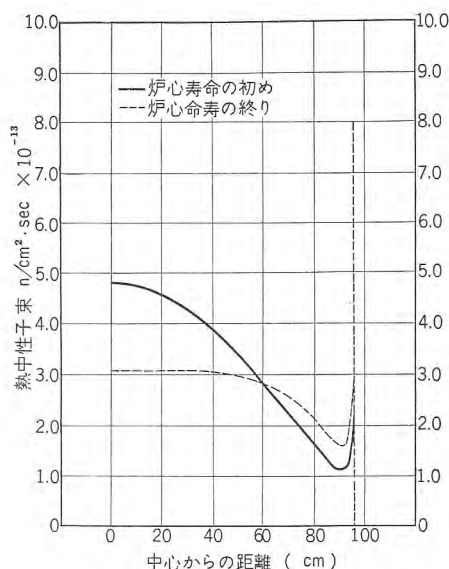


図 8.2 炉心寿命の始めおよび終りにおける熱中性子束の半径方向の分布

は炉心寿命の初期には中性子束分布をいくぶん平たんにし, 終りでは中央の山を少し高くする方向に働く. (もちろんこれは制御棒のプログラムにより決まる)

### 1.3 減速材温度係数

プルトニウムは減速材温度係数 (遅い温度係数) に影響を与える. これは減速材の温度上昇により中性子スペクトルが高いエネルギーのほうに移動するからである. Pu-239 は 0.3 ev のところに大きい共鳴をもつから, このスペクトルの移動によりこの核による捕獲の百分率が増加することが期待される. しかしながらプルトニウムによる中性子吸収の増加は,  $(n, \gamma)$  と分裂との比  $\alpha$  がまた共鳴領域では温度とともに増加するため, 必ずしも反応度の増加に大きな効果を与えるとは限らない, しかしこの効果による反応度変化は圧倒的に大きい減速材の温度係数をもたない炉心では, 減速材の温度変化に際し重大な影響をもつ, それゆえにグラファイトまたはベリリウム減速の原子炉ではプルトニウムが大きい効果をもつことが期待される. これに反し加圧水型原子炉では減速材の温度上昇は小さく (一次系のリリーフ弁は圧力上昇を制限し, したがってまた温度上昇も



制限する) また運転温度では減速材の密度変化による大きな負の温度係数をもつためプルトニウムの効果はこれに比較するとまったく小さい。計算によれば炉心寿命の終りころプルトニウムの蓄積によりその濃度が 0.55% になったとき、516°F における減速材の温度係数の変化は絶対値の 3% の減少をきたすに過ぎない。

低温では水の密度変化が小さいためプルトニウムの効果は高温の場合よりも顕著である。しかしこのことはその起動手順により 250°F 以下では臨界にしないよう決められているヤンキー発電所では重大な問題ではない。250°F では炉心寿命期間中負の温度係数の絶対値は約 14% 減少するが、これは安全性の観点から見て大したことはない。

燃焼率の関数として原子炉の温度係数の変化を決めるさいの問題を以下に簡単に概説する。ヤンキー原子炉の温度係数に及ぼすプルトニウム蓄積の効果については別に NDA によっても行なわれた。この結果は NDA 2072-1 "Effects of Plutonium Buildup on Temperature Coefficient" W.L. Brooks, H. Soodak, April 1, 1958 に報告されており、許可申請書の Part B の Appendix I にも掲載される。計算および情報調査の両方よりなるこの研究によりここにその概要が述べられてある結果および結論が確認されている。ただ一つ注意しておきたいことは、ここにとりあげられている炉心は最近訂正された炉心設計によるもので、この報告書の他の部分で考案されているものとはほんの少し異なっている点である。かくして計算結果はこの報告書の他の場所で報告されているものとは細かくいうとちがった答えを与える。

有効倍率  $k$  は次式で与えられる。

$$k = \frac{\eta f \epsilon p}{(1 + \tau B^2)(1 + L^2 B^2)}$$

温度係数は

$$\frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial T} = \frac{1}{\eta f} \frac{\partial(\eta f)}{\partial T} + \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial T} + \frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial T} - \frac{1}{1 + L^2 B^2} \frac{\partial(1 + L^2 B^2)}{\partial T} - \frac{1}{(1 + \tau B^2)} \frac{\partial(1 + \tau B^2)}{\partial T}$$

計算は常温で新しい場合、高温で新しい場合、寿命の終りにおいて常温の場合、高温の場合の 4 通りにたいして行なわれた。その結果を簡単に表 8.1 に示す。これらの計算の詳細は 1958 年 7 月出されるウエスティングハウス・リポート YAEC-73 に述べられてあり、許可申請書の Part B. Appendix II に掲載する。

表 8.1 寿命の始めおよび終りにおけるヤンキー炉心の温度係数

| 偏微分係数                                                     | 常温, 新<br>50-86°F       | 高温, 新<br>498-534°F     | 常温,<br>寿命の終り<br>50-86°F | 高温,<br>寿命の終り<br>498-534°F |
|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| $\frac{1}{\eta f} \frac{\partial \eta f}{\partial T}$     | $+0.34 \times 10^{-5}$ | $+3.76 \times 10^{-5}$ | $+3.42 \times 10^{-5}$  | $+4.18 \times 10^{-5}$    |
| $\frac{1}{\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial T}$ | $+0.19 \times 10^{-5}$ | $+2.40 \times 10^{-5}$ | $+0.19 \times 10^{-5}$  | $+2.40 \times 10^{-5}$    |
| $\frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial T}$               | $-2.64 \times 10^{-5}$ | $-32.0 \times 10^{-5}$ | $-2.64 \times 10^{-5}$  | $-31.7 \times 10^{-5}$    |
| 漏 洩                                                       | $-0.43 \times 10^{-5}$ | $-7.03 \times 10^{-5}$ | $-0.49 \times 10^{-5}$  | $-6.92 \times 10^{-5}$    |
| $\frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial T}$               | $-2.5 \times 10^{-5}$  | $-33 \times 10^{-5}$   | $+0.5 \times 10^{-5}$   | $-32 \times 10^{-5}$      |

この表からいくつかの重要な結論が得られる。まず高温の新しい炉心は明らかに強い負の温度係数を有する。これは水の膨張の共鳴をのがれる確率、 $P$ にたいする効果によるものである。第 2 に常温の新しい炉心は絶対値は小さいが、しかし負の温度係数をもつ。常温で新しい炉心の温度係数を負にする最大の唯一の項は共鳴をのがれる確率の効果である。第 3 に常温、炉心寿命の終りには温度係数の絶対値いや符号さえ不確実になる。このおもな原因は  $\eta f$  の項が正で大きくなることである。この  $\eta f$  の項の増加は蓄積されるプルトニウムによる  $\frac{1}{v}$  からのずれによるものである。ここで重要なことは最後の数値  $0.5 \times 10^{-5}$  はいくつかの正および負の項の和であり、その中でも  $P$  および  $\eta f$  の項の絶対値は最後の数値の 5-6 倍であることである。現在のところ常温で炉心寿命の終りにおける温度係数の値を意味がある程度まで正確に計算することは不可能である。

#### 1.4 ドブブラ温度係数

プルトニウムはドブブラ係数にきいてくる多くの共鳴構造をもっている。U-235 の分裂共鳴断面積も同様な効果をもっている。高速炉計画の情報によれば U-235 および Pu-239 はともにドブブラ係数に正の寄与を与えるが、Pu-239 のほうが U-235 よりも小さい。U-238 も中性子の共鳴吸収によるがドブブラ係数をもっている。そしてこれが負の効果をもつことは十分確認されている。また U-238 と U-235 との混合物のドブブラ係数は U-238 と U-235 との比が 2:1 ないし 1:1 になるまでは 0 にならない。かくして U-235 および Pu-239 の濃度変化のドブブラ係数に及ぼす影響は、その合計の濃縮度が U-238 にたいして 4% 以内であるヤンキー原子炉では小さいであろう。それゆえ炉心寿命期間中を通じてつねにプルトニウム蓄積によるドブブラ係数の変化はきわめて小さい、プルトニウムのさらに高い同位元素の影響もこの結論を変えるほどの効果はない。それは分裂性の Pu-241 の正の効果は Pu-240 の純粋な吸収の共鳴により打消されるからである。

#### 1.5 ボイド係数

プルトニウムのボイド係数への寄与は温度係数へのそれにくらべてはるかに小さいことが期待される。プルトニウムは中性子温度の変化およびそれにともなう有効吸収断面積の変化を通じて減速材の温度係数にきいてくる。しかし温度一定の条件のもとでのボイドの発生は中性子スペクトルをほとんど変化させない。計算によれば炉心寿命中負のボイド係数の絶対値は炉心寿命の初期にくらべて 12% 増加する。

#### 1.6 遅発中性子の割合と中性子寿命

キーピンの遅発中性子の割合に関する最近のデータによれば (G.R. Keepin, T.F. Wimett, and R.K. Zeigler, "Delayed Neutrons from Fissionable Isotopes of Uranium, Plutonium and Thorium," Journal of Nuclear Energy 6, (1957) p. 1) Pu-239 の熱中性子による分裂からの遅発中性子の割合  $\beta$  は 0.0021 である。これにたいし U-235 の  $\beta$  は 0.0064 であり、U-238 の高速中性子による分裂からの  $\beta$  は 0.0157 である。かくしてプルトニウムの蓄積により全体での遅発中性子の割合  $\beta$  は小さくなる。したがってプルトニウムが蓄積する前にくらべて後では超過反応度の比較的小さい値で即発臨界に達する。



炉心寿命の初期、中期、末期における有効遅発中性子の割合は各同位元素の $\beta$ に各時期の同位元素の重みを掛けて加えることにより計算される。その結果を表 8.2 に示す。初期の 0.00699 から末期の 0.0056 への減少は、もっとも悪い条件のもとでも現在規定されている制御棒引抜速度を安全でなくするほど大きなものではない。

即発中性子の寿命は即発臨界に達した場合に起る過渡状態の速度の決定に重要である。もし原子炉が即発臨界未満ならば原子炉周期はもちろんはるかに長い遅発中性子の寿命に関係してくる。即発中性子の寿命にきいてくるもっとも大きいものは熱中性子の拡散時間であって、これは大体  $\frac{1}{v_s \Sigma_a}$  で与えられる。

表 8.2 炉心寿命期間中における遅発中性子の割合の変化および即発中性子の寿命

| 時 期           | 期                      | 中 期      | 末 期                    |
|---------------|------------------------|----------|------------------------|
|               |                        | 5,000 時間 | 10,000 時間              |
| 遅発中性子の割合      | 0.00699                | 0.00609  | 0.00556                |
| 即発中性子の寿命 68°F | $2.4 \times 10^{-5}$ 秒 | —        | $2.1 \times 10^{-5}$ 秒 |
| 同 上 516°F     | $2.5 \times 10^{-5}$ 秒 | —        | $2.1 \times 10^{-5}$ 秒 |

プルトニウムはその置換ったもとの核にくらべて大きい断面積をもつからこれにきいてくる。このため  $\Sigma_a$  は増加し、またスペクトルがかたくなるため  $v_s$  も増加し、したがって拡散時間は短くなるが、しかし即発中性子の寿命の変化は表 8.2 からわかるように大きいものではない。この表の変化した量のかんりの部分は分裂生成物の蓄積による  $\Sigma_a$  および  $v_s$  の増加によるもので、プルトニウムの蓄積とは無関係である。

### 1.7 一様でないプルトニウム分布の効果

燃焼が進むにつれて炉心中にどのような変化が起るとしても、それは中性子束が平均よりも高い中央においてもっとも顕著であろう。かくして炉心の中心部は周辺部よりもプルトニウム蓄積は大きい、中心部の統計的重みは平均よりも高いから、プルトニウムの効果は炉心中一様なプルトニウム生成を仮定して計算した結果よりも大きいであろう。炉心の中心部のプルトニウムの最大濃度は燃料の 0.82 % で、平均値 0.55 % の 1.5 倍である。

系の安全性を確かめるために、温度係数、ボイド係数、遅発中性子の割合、即発中性子の寿命を炉心寿命末期に期待される平均プルトニウム濃度の 3 倍の濃度で計算し直した。このような極端な仮定のもとでえられた結果を表 8.3 に示す。表では比

表 8.3 炉心末期期待される平均プルトニウム濃度の 3 倍を仮定したときの諸常数

|                                                                | 新しい炉心                | 寿命末期 (期待される平均の Pu 濃度の 3 倍) |
|----------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| $\frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial T}, 300^\circ\text{F}$ | $-13 \times 10^{-5}$ | $-15 \times 10^{-5}$       |
| $\frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial T}, 516^\circ\text{F}$ | $-33 \times 10^{-5}$ | $-36 \times 10^{-5}$       |
| $\frac{k-1}{k}$ Per % void, 516°F                              | -0.3%                | -0.4%                      |
| 遅発中性子の割合                                                       | 0.0070               | 0.0047                     |
| 即発中性子の寿命, 秒, 516°F                                             | $2.5 \times 10^{-5}$ | $1.4 \times 10^{-5}$       |

較のために新しい炉心にたいする値もあげておいた。これを見るとそれほどやっかいな結果は見られない。温度係数、ボイド係数は実際改良されているが、遅発中性子の割合および即発中性子の寿命はよくないほうに変わっている。しかしこの変化も重大な効果をもたらすほどではない。

### 1.8 む す び

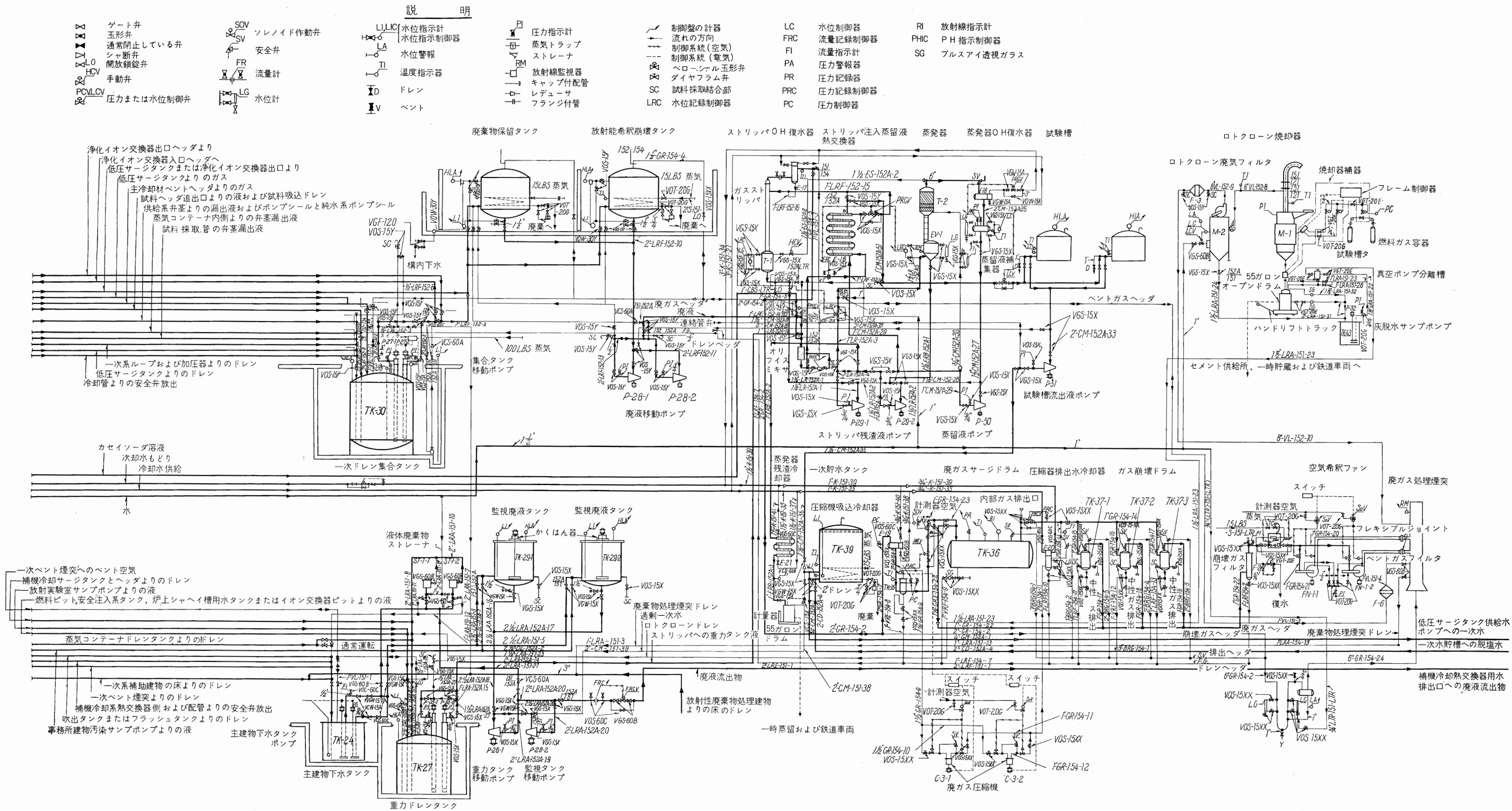
上に述べた解析の結果、ヤンキー原子炉における過渡的問題は低温たとえば 150°F 以下でおこるにすぎない。減速材の温度係数の大きさおよび符号は常温では計算値は疑わしい、それはプルトニウムの蓄積がない場合でも疑問である。250°F で温度係数は  $-10 \times 10^{-5}/^\circ\text{F}$  である。そこで炉の起動は少なくとも 250°F までは炉の外部から非核分裂的な加熱 (加圧器の電熱器、ポンプによる一次冷却水の循環) により温度を上げ、この温度までは炉を臨界未満にしておく方法がとられるであろう。それゆえ水の膨張による減速材温度係数の負の部分の効果はプルトニウム蓄積によるどの効果よりもつねに大きい。

プルトニウムの炉の動特性に及ぼす効果を知るに役立つ実験的情報がないため、ヤンキーの部分的炉心による臨界実験と関連して WREC において実験を行なうことが考えられた。しかしこの計画を詳細に考えるとき、ヤンキー原子炉の運転に関する情報をうることはできないであろうということがわかった。炉心にプルトニウムの試料をもちいても、たとえば危険係数測定にプルトニウムをもちいても必要な情報は得られないであろう。これは試料の入れられる場所の中性子スペクトルは、かなりの量のプルトニウムを含む高温実規模の炉心中のスペクトルと同じではないからである。その理由は多量のプルトニウムの存在はその共鳴構造により中性子スペクトルにいちじるしい影響を与えるからである。このことはウエスチングハウス・ベティス・プラントで行なわれた実験、すなわち制御棒材料の小さい試料の測定値から得られた制御棒の効果は実規模の制御棒効果の測定による値と非常に違っていた。たとえプルトニウムを含む燃料棒を沢山つくって臨界実験に入れたとしても、原子炉の大きさよりかなり小さいため中性子の空間分布と漏洩の効果は実規模のものと相似ではありえない。臨界実験ではほぼ 5,000 lb の  $\text{UO}_2$  を使用するが、ヤンキーの第一の炉心の装荷量は 50,000 lb 以上である。

原子炉の動特性にたいするプルトニウム蓄積効果を決定するもっとも実際的な計画は運転中の原子炉自身について測定を行なうことであろう。炉心寿命の初期には炉心中にプルトニウムは存在せずまた燃料の分布は一様であるから、部分炉心の臨界実験から得られる実験結果と解析的な情報とを合わせれば、プルトニウム蓄積前の実規模の原子炉の動特性を十分予知することができる。この結果は現場における炉心の最初の試験中に確かめられる。原子炉中に少量のプルトニウムが蓄積してから、原子炉運転に影響を与える温度係数その他の値の測定が実際の原子炉について行なわれる。

このようにして炉心寿命の各時期において興味あるいろいろな量の測定値が集められる。このような計画から得られる情報は明らかに直接利用され、原子炉運転にさいして外挿する必要はない。







炉心寿命の初期および、2,000 時間後に測定が行なわれるであろう。それ以後の測定の計画は最初の測定結果によって定められるのである。このようにして炉心の動特性に不利な変化が起れば、それは原子炉の運転に認めうる程度の影響を与える前に発見されるであろう。この種の実験計画は原子炉運転の安全性を確保するだけでなく、他の加圧水型原子炉の設計、運転にも使用される貴重な情報を提供するであろう。

## 第 2 節 廃棄物処理

### 2.1 機能

廃棄物処理系は濃縮された液状廃棄物およびコンクリートで固めた灰の形にするように、すべての放射性廃棄物を受け入れ、貯蔵し、適当に取扱ひ、安全に処理する。放射能の低い液状廃棄物はタービン復水器の冷却水で薄めて後、外部に排出される。ガス状廃棄物は少量しか出ないと思われるが、空気で適当に希釈してから、好ましい気象条件のときに大気に放散される。

廃棄物処理系で処理される液状およびガス状の放射性廃棄物の考えられる源は次のようである。

主冷却系  
 注入および体積調節系  
 純水系  
 試料採取系  
 化学的停止系  
 ベント・ドレン系  
 停止時冷却系  
 蒸気コンテナのドレン  
 安全注入系  
 放射能研究室、除染槽および除染パッドのドレン  
 汚染洗浄室のドレン  
 汚染地域の床よりのドレン  
 蒸気発生器のドレン

定常運転時の原子力発電所から出る放射性廃棄物は懸濁物、溶解物、溶存ガスおよび溶液から出るガスの形をとる。燃料棒きせ金の破損が起ってないときは放射能をもつ腐食生成物および放射線で分解したガスだけが安全処理のため廃棄物処理系に送られる。しかし原子炉は燃料棒きせ金の破損が多少起っても、一次系のしゃへいが適当であり、廃棄物処理系の能力が許す限り、運転を継続して行なう。

放射性物質を含む他の液体廃棄物がときどきの系で扱われる。これらの中には放射能研究室、除染槽やパッド、管理建物の洗浄室から出る液体、通常は放射能はないが、或る条件のときには放射性を帯びる一次系の補助系統からのドレン、めったに生じないが、炉上しゃへい槽と使用済燃料ビットよりのドレン、プラントの完全停止と起動時に比較的大量の液を含む放射能希釈液とボロン希釈液を含んでいる。プラントが燃料棒きせ金をいくつか破損したまま運転されるときは、一次系の放射能レベルは炉の停止期間中に抽出注入希釈の方法によって減じなければならない。これは炉上しゃへい槽の水の放射能が、シャ断された炉の中に残存する薄められた主冷却材と混合した後、燃料取換作業ができる程度に減ずるために必要である。この次

の起動には、炉の常温停止に使用したボロン水が放射性であるため、これを安全に処理しなければならない。

安全運転、貯留、ドラム缶詰、および外部または許された廃棄地点への放射能の放出を確実にこなうために廃棄物処理系の監視設備がある。液体廃棄物は処理して一次系で再使用するか、薄めて外部へ放出するかをきめる前に適当な分析ができるようにタンクの容量を十分とってある。

### 2.2 概要

廃棄物処理系は図 8.3 に示すように液体およびガス貯蔵タンク、ガストリッパ、蒸発器、焼却器、湿ガスクラツバ、ポンプ、圧縮機、熱交換器、送風機、フィルタ、計器、配管および弁よりなる。

### 2.3 設計の基礎

この系は年間 330 日運転、年 2 回の完全停止、各停止期間には 15 日の検査保守を行なうものとして一次系、二次系および管理建物に発生するすべての放射性液体、ガス、固体廃棄物を取扱うよう設計されている。この系にはいる放射能全量は、全燃料棒の 1% のきせ金破損により生ずる主冷却材 ml あたり 37.64  $\mu\text{C}$  の分裂生成物および主冷却材 ml あたり 0.830  $\mu\text{C}$  の腐食生成物の放射能に基づくものである。

ここに示した同位元素および放射能は現在利用できる最善のデータで、今後、よい報告が得られれば改訂される。つぎの表 8.4、8.5、8.6 は放射能レベルが主冷却材 ml あたり 0.01  $\mu\text{C}$  以上の放射性同位元素の全部を示す。

表 8.4 不揮発性分裂生成物

| 同 位 元 素 | 放射能 ml あたり ( $\mu\text{C}$ ) | 同 位 元 素 | 放射能 ml あたり ( $\mu\text{C}$ ) |
|---------|------------------------------|---------|------------------------------|
| Rb-88   | 0.25                         | I-133   | 2.1                          |
| Rb-89   | 0.032                        | Te-134  | 0.15                         |
| Sr-89   | 0.036                        | I-134   | 0.31                         |
| Mo-99   | 0.029                        | I-135   | 0.94                         |
| Te-101  | 0.033                        | Cs-137  | 0.088                        |
| I-131   | 1.6                          | Cs-138  | 0.14                         |
| Te-132  | 2.2                          | Cs-139  | 0.026                        |
| I-132   | 2.1                          | Ba-159  | 0.025                        |

表 8.5 揮発性分裂生成物

| 同 位 元 素        | 放射能 ml あたり ( $\mu\text{C}$ ) |
|----------------|------------------------------|
| Kr-85 (4.4 時間) | 0.096                        |
| Kr-85 (10.3 年) | 1.5                          |
| Kr-87          | 0.19                         |
| Kr-88          | 0.024                        |
| Xe-133         | 24.2                         |
| Xe-135         | 1.5                          |
| Xe-138         | 0.046                        |

表 8.6 腐食生成物

| ア イ ソ ト ー プ   | 放射能 ml あたり ( $\mu\text{C}$ ) |
|---------------|------------------------------|
| Mn-56         | 0.52                         |
| Co-60 (5.3 年) | 0.062                        |
| Fe-59         | 0.071                        |
| Na-24         | 0.15                         |
| Cr-51         | 0.24                         |



この設計は回収される液体廃棄物の放射能を一次系補給水として再使用できる程度まで低減できるようになっている。これには発電所から廃棄する水量、したがって放出する液体廃棄物の全放射能を最小とすることである。外部に放出される液体の全放射能は年間約 0.007 c で、これは現在の AEC 設備で許されている量より何倍も小さい。

放射能レベルと無関係に、廃棄液は次の 2 種類に区別される。すなわち解離水素ガスと分裂生成ガスを含む放射性液体と定義される原子炉プラントの流出物および溶存空気を含む放射性液体である。気体廃棄物は放射性分裂ガスを含む水素と検出できない程度の放射能をもつ空気に分類できる。固体廃棄物は可燃性および不燃性に分類する。

廃棄物の種類と形によってそれぞれいくぶん異なった処理を必要とする。この系に用いられる基本的処理方法は次のようである。すなわち (1) 放射性同位元素の自然崩壊、(2) 揮発性分裂生成物を除去するための液体廃棄物の蒸気洗浄、(3) 液体廃棄物の量を減じ放射性包含物を濃縮して、コンクリートの中に固めるための蒸発、(4) 固体廃棄物の量を減じて放射能を濃縮するための焼却。

#### 2.4 液体廃棄物

系に流入し、つねに処理を必要とする液体廃棄物の量と放射能は、全燃料の 1% のきせ金破損という仮定に基づく結果を表 8.7 に示す。

表 8.7

|                |                                   | 6 カ月あたり<br>平均量<br>(ft <sup>3</sup> ) | 平均全放射能<br>ml あたり<br>( $\mu$ c) |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 原子炉よりの<br>流出物  | 主冷却材 (ボロンなき場合) { 正常運転             | 1,320                                | 30.1                           |
|                | { 停止時 (放射能希釈の場合)                  | 9,210                                | 10.77*                         |
|                | 主冷却材 (ボロンある場合) { 停止時 (ドレン回路と装置より) | 2,165                                | 0.580                          |
|                | { 起動時 (ボロン希釈と冷却材膨張により)            | 8,733                                | 0.002                          |
| 空気および<br>放射性液体 | 焼却器ロトクロンのドレン                      | 120                                  | 0.03                           |
|                | 放射性の研究室下水、管理建物よりの除染槽および除染パッドのドレン  | 4,140                                | 0.029                          |
| 全 量            |                                   | 25,688<br>(1カ月平均 4,288)              | 5.45                           |

備考 \* 印 放射能希釈液は浄化用イオン交換器の一つを通過する。これは不揮発性分裂生成物と腐食生成物に対し、除染係数 10 を仮定している。

廃棄物処理にはいる原子炉プラントの流出物の主要なものは、(1) 低圧サージタンクより放射能希釈崩壊タンクに送られる放射能希釈液、(2) 低圧サージタンクより廃棄物保留タンクに送られるボロン希釈液、(3) 一次系の弁茎の漏洩を集めた液と重力で一次系ドレンタンクに流れる主冷却材ループのドレンである。これらの液体は廃棄物保留タンクにバッチ式に送られる。浄化用イオン交換系の部分と関連をもって、低圧サージタンクまたは一次系ドレンタンクよりイオン交換床を通り不揮発性の分裂および腐食生成物を樹脂で除去するため廃棄物処理に放出されるボロンを含まない廃棄液を通過させる設備がある。この運転方法は廃棄物処理系に放射能希釈液を送る時、特別な除染係数を必要とする場合、あるいはそれが蒸発およびドラム缶詰より経済的であると証明される場合に、不揮発性の放射性部分

を除去するために用いられるであろう。

廃棄物保留タンクはサージタンクの役割をし、蒸発器 1 基分の量が蓄積されると、ガストリップと蒸発器を通してバッチ式に処理が始まる。廃棄物処理に送られる不揮発性全放射能の 70% 以上を放射能希釈液が保有するので、これは他の原子炉よりの流出物と分離して貯蔵し、不揮発性分裂生成物の放射能をより高い濃縮率で蒸発器を運転するその後の処理に先だって、31 分の 1 に減ずるために合計 30 日間崩壊させる。

廃棄物保留タンクから放射能希釈崩壊タンクのいずれかよりくる液体は、ガストリップの上部に連続的に 5 gpm の流量で供給される。この液は大気圧よりわずかに上で運転する 20 個のバブルトレイの上で蒸気の向流によって、すべての分裂生成ガスと不活性ガスを完全に分離される。この分離器は揮発性の放射性同位元素に対して  $10^7$  の除染係数を与えるように設計されている。

ガストリップの底から出る分離液は運転圧力 10 psig、電解質を流れる電流を熱発生に利用する電極形蒸発器に給水される。この形式の蒸発器はカナダと欧州で大型蒸気発生器、米国で小形蒸気発生器に永年用いられたと同じ原理を利用している。電極形蒸発器をこのプラントに選んだのは放射性廃棄物の蒸発に使用する場合、多くの在来の蒸気加熱または直接燃焼形蒸発器で熱伝達面の腐食およびスケール付着について経験された困難を除くためであった。

電極形蒸発器は廃棄液の導電率が広い領域にわたって変化すると考えられるので、導電率の高い液体に対して運転する設計となっている。蒸発させる液体の導電率が十分高くない場合は適当な薬品注入が行なわれる。試作電極形蒸発器の製作者による試運転が、合成除染液と他の予想される溶液を用いて行なわれたが薬品注入は不必要であり、飽和ホウ酸溶液の場合でさえ電極のスケール付着があっても困難は生じないであろうことを示している。鋳鉄電極の腐食は非常に遅いが電極先端の取換えが容易にできる設計となっている。

蒸発器を出る蒸気は蒸発器蒸留液の流れに対向して一列のバブルトレイを通り、ついで不銹鋼網目とガラスウールを詰めた深いベッドフィルタを通り、保有する放射性エロゾルのキャリアーを減じ、蒸留除染係数約  $10^7$  に達する残さい液をうる。蒸気の一部はもどってガス分離のために用いられる。残余の蒸気は凝縮し、生ずる蒸発器蒸留液は冷却器を通り試験槽に送られ、そこで実験室分析のため試料採取が行なわれる。蒸留液の全不揮発性放射能は非制限地域に対する AEC 規則の最高許容濃度の 10 分の 1 より少ない。この液は一次系補給水としての次の利用および抽出注入希釈運転用として一次系貯水槽に移される。試験槽および一次系貯水槽は酸素含有量を 0.2 ppm 以下に保つため貯蔵液中に酸素の拡散を最少とするようにタンク壁の所に漏れ止めをもつ浮遊屋根の設備がある。過剰の一次系補給水は AEC 規則 (10 CFR, Part 20) に要するものより何倍も大きい希釈率となるように、タービン復水器冷却水出口管に制御された流量で放出される。

蒸発器濃縮率は次にのべる程度の残さい液を生ずるように蒸発器の底部を監視することにより調節される。蒸発器残さい液



はセメントと混合し、55 ガロンの鋼製ドラム缶の中に固化し、ついで 60 日の崩壊期間を与えるため貯蔵したとき、AEC と ICC (Interstate Commerce Commitee) 規則の放射性物質普通貨物輸送に適合するものであること、これらのドラム缶は陸上または海上いずれかで認可された方法によってしゃへいを追加することなく最終処理のため、輸送される。放射性液体廃棄物の処理に必要とする残さい液を固めたドラム缶の総数は年間 524 個である。

管理建物より出る洗浄廃液や汚染地域の床のドレンのような、不揮発性物ないし通常わずかに放射性である溶存空気を含む液は試料採取や分析のために被監視廃棄物タンクに保留される。被監視液が主復水器冷却水で希釈されて後、公共機関の標準に適合すれば、復水器出口管に制御された流量で排出される。被監視液や他の空気を含む廃液で、復水器の水で希釈できないほど高い放射線レベルの不揮発性物質をもつと予想される場合は重力ドレンタンクに移される。重力ドレンタンクに送られる液またはドレンは原子炉の流出液と同じ処理を受ける。しかし爆発性の水素空気混合気を形成する可能性のある分裂生成ガスおよび水素と空気との混合を防止するために別のパッチで行なわれる。

回収された一次系補給水とプラントから排出される液体廃棄物の量、放射線レベルおよび全不揮発性放射能を表 8.8, 8.9 に示す。

表 8.8 回収される一次系補給水

|                                                |                       |
|------------------------------------------------|-----------------------|
| 一次系にもどる量 6 カ月あたり (ft <sup>3</sup> )            | 21,140                |
| プラントから排水する過剰量 (廃棄量) 6 カ月あたり (ft <sup>3</sup> ) | 3,600                 |
| 総放射能 ml あたり (μc)                               | 1.44×10 <sup>-7</sup> |
| プラントより廃棄する水の総放射能 年あたり (C)                      | 3.0×10 <sup>-5</sup>  |

表 8.9 無処理で放出される液体廃棄物

|                                                                          |                       |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| プラントより放出される量 6 カ月あたり (ft <sup>3</sup> )                                  | 7,150                 |
| 汚染洗浄ドレン液中の全放射能 年あたり (C)<br>(床よりのドレンおよびその他の全量が未定のため、<br>汚染洗浄室の液体廃棄物だけを含む) | 7.13×10 <sup>-3</sup> |

## 2.5 気体廃棄物

気体廃棄物はほとんど全部水素および放射性分裂生成ガスより成る。これらは廃棄物処理系に排出される液中に溶解しているか、または連続的に漏洩もしくは低圧サージタンクの圧力制御弁により一次系ドレンタンクへ間接的に放出されるものである。分裂ガスと水素は、ストリップ復水器からおよび完全閉止ガスヘッダ系の原子炉流出液ドレンと保留タンクのスペースから集められる。これは廃ガスヘッダに一定圧を維持するため圧縮機吸込側にひきもどされ、タンクを満たしたりからにすることできるようにクッションとなるガスサージドラムに圧縮される。最初この系は窒素で充填されると思われるが、このふんい気は運転職員の選択によるので一定ではない。

このガスは廃ガスサージドラムに漸次集まり、圧縮機出口管から 1 カ月に 1 度除去され、放射能を減ずるため約 60 日間 3 基のガス崩壊ドラムのうち 1 基に圧力を加えて貯蔵される。ドラムから排出される崩壊ガスは深床微粒子フィルタを通り、つ

いで 2 個の空気希釈ファンの一つの吸込側へ注意深く制御された流量で放出される。ファンが止まるとガスの流れを自動的にシャ断するインタロックがついている。崩壊ガスと希釈空気はファンを通る流路の間で完全に混合し、この混合ガスは廃棄物処理系からの廃棄物だけに用いられる短い煙突を通り外気に放出される。この煙突のガスは連続的に監視される。ガス廃棄装置は 30 日運転ごとに 20 日間の大気への崩壊ガスの連続放出を行なうように設計されている。これは温度逆転が延びた場合にガス放出を行なわない 10 日の余裕を与えている。60 日間の崩壊後は半減期 5.3 日の Xe<sup>133</sup> の放射能は非常に小さいから、煙突から排出される空中の放射能のほとんど大部分は半減期 10.3 年の Kr<sup>85</sup> によって生ずる。Handbook 52 も AEC 規則も空中の Kr<sup>85</sup> の最高許容濃度を与えていない。Kr<sup>85</sup> は希ガスであるからこれの空中の MPC (最大許容濃度) は Xe 同位元素の MPC を設定したと同じ方法で決定されるべきである。

Handbook 52 に示される資料と式は、希ガスの MPC は放射性ガスで完全に包まれて連続照射により受ける放射線量に基づくことを示している。これらの式を用いて Kr<sup>85</sup> に対する Handbook 52 の MPC が決定され、Xe との相似性によって制限地域および非制限地域における同位元素に対して AEC 規則による MPC が得られた。表 8.10 に Kr<sup>85</sup> と Xe<sup>133</sup> の濃度を示す。

表 8.10 Kr<sup>85</sup> と Xe<sup>133</sup> の放射能 (ml あたり μc)

|              | Kr <sup>85</sup>      | Xe <sup>133</sup>    |
|--------------|-----------------------|----------------------|
| Handbook 52  | 3.36×10 <sup>-6</sup> | 4×10 <sup>-6</sup>   |
| AEC 規則 制限地域  | 1.0×10 <sup>-5</sup>  | 1.3×10 <sup>-5</sup> |
| AEC 規則 非制限地域 | 3.36×10 <sup>-7</sup> | 4×10 <sup>-7</sup>   |

1 月間または 1 年間にわたる濃度を平均すると、非制限地域における連続照射の MPC 計算値は放射性空気について 30 日運転につき 20 日間だけの放出であるから 1.5 倍に増加している。そのため煙突より放出される空中の MPC 補正値は ml あたり μc として Kr<sup>85</sup> は 5.0×10<sup>-6</sup>、Xe<sup>133</sup> は 6×10<sup>-6</sup> となる。

全燃料棒させ金の 1% 破損を仮定し、放射能 ml あたり μc 2.5×10<sup>-6</sup> の空気・Kr<sup>85</sup>・Xe<sup>133</sup> の混合ガスを間接的に放出するとすると、ガス廃棄物の量と全放射能は表 8.11 となる。

20 日間煙突から放出された空気は、制限地域について同じ混合同位元素に対して AEC 規則の許容する全放射能レベルの 1/4 を有している。非制限地域において全時間の 2/3 の放出に対して AEC 規則の MPC, ml あたり 5.0×10<sup>-7</sup> μc を満足する

表 8.11

|                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| ガス廃棄物平均量 1 カ月あたり (scf)           | 206                  |
| ガス廃棄物の平均放射能 ml あたり (μc) { 崩壊期間 0 | 79.1                 |
| " " 60 日                         | 4.26                 |
| 崩壊ガス廃棄物の放出率* 毎時間 (scf)           | 0.43                 |
| 空気希釈量 毎分 (cf)                    | 12,200               |
| 煙突から排出する空気の平均全放射能 ml あたり (μc)    | 2.5×10 <sup>-6</sup> |
| 大気へ放出する全放射能 月あたり (C)             | 25.5                 |
| 放出される Kr-85 の全量 月あたり (ml)        | 16                   |

備考 \* 崩壊ガスを 30 日運転して 20 日間放出に基づく。



ためにはさらに5倍の希釈率が必要である。崩壊ガスは温度逆転の期間は放出されないから、これより何倍も大きい希釈率が点源より最短敷地境界までの距離を600フィートとし、Sounttの式を基として大気希釈によって得られる。

空気を含む液のガス分離の場合、ストリップ復水器からの空気は通常放射能を検知できないので、微粒子フィルタを通過し、廃棄物処理煙突に排出される。これは予想しない揮発性の放射能を制限し、放出するときはこの空気の監視を行なえるようになってい

## 2.6 可燃性固体廃棄物

取り除ける床の敷物、除染用布、靴カバーや汚染した紙のような可燃性固体廃棄物は可燃性ファイバのドラム缶に入れて廃棄物処理建物に輸送される。ドラム缶は汚染するまで再使用される。この廃棄物は特別設計の焼却器で燃焼される。これは火床の上で燃焼空気の自由渦流を用いるもので米国鉱山局の勧告に基づくものである。

びん詰めのがスが燃焼を始め、完結させるための燃料として用いられる。

焼却器からの煙道ガスは冷たい空気と混合し、ついで湿ガスクラップと誘導ドラフトファンの結合機を通過する。この中で5ミクロン以上のすべての微粒子と1ミクロン以上の粒子の70%以上が除去され、ガスはさらに冷却される。それからガスは最終清浄用のガラスウール詰深床フィルタでろ過さ

れ、煙突に排出される。

焼却器はバッチあたり約80lbを燃焼するように設計される。装入量が完全に燃焼した後、残さい灰は約半分水のはいた先端開口の55ガロン鋼製ドラムの中に、円すいの底を通して落ちる。ドラム缶は円すいの底についている特別なヘッドにしっかりと結合しているから、灰から出るじんあいはドラムから室の中に逃れることはできない。ドラムが灰の約15バッチを入れると特別なヘッドの内側の2個のスプレーが作動し灰を完全に湿す。液は沈静した灰から滴下し、ドラムは特別ヘッドから下ろされ、標準のつかみヘッドが取付けられる。灰のバッチの数とドラムに残る液の量はセメントと混合して後固化するように調節される。固化した混合物を含むドラムは輸送と埋没処理の準備がなされる。ドラムの沈静灰に残る部分以上の液は湿ガスクラップからドレンとなり、つぎの処理のため重力ドレンタンクに送られる。

## 2.7 不燃性固体廃棄物

不燃性固体廃棄物は小フィルタからの容器、大フィルタからのガラスウールおよび汚染した装置の種々のものから成る。フィルタやプラントの装置の小さいものは最終埋没処理のため55ガロンドラムの中にコンクリートで固化ししゃへいされる。装置の大部はコンクリートで固化し、プラントの場所に埋められる。

# 新刊紹介

## 工場における簡略製図法

三菱電機株式会社 本社標準化技術課長

松尾準一 著

A5判 236ページ 上製600円(〒30円) 1959年5月 丸善出版

製図の計画と実施とを最新の管理方式において行ない、生産を向上させることは現下の急務であるが、この本はGeneral Electric社が研究のうえ実施した結果を邦訳したものである。原著名は“Simplified DRAFTING PRACTICE”。

これを忠実に実施すれば、図面の製作期間と費用とを20~30%節約することは容易であるから、個人・会社ともにただちに採りあげることのできる書である。

- |           |              |                |              |
|-----------|--------------|----------------|--------------|
| 1. 製図の簡略化 | 2. 不必要な記入の削除 | 3. フリーハンド製図    | 4. 符号の使用     |
| 5. 製図補助器具 | 6. 略語        | 7. 矢印のない寸法     | 8. 簡略法の例     |
| 9. 明瞭な文字  | 10. 公差の書き方   | 11. 指導票の使用     | 12. 製図の様式と手順 |
| 13. 複写方法  | 14. 簡略図実例集   | 15. コノ本ヲ読マレル方ニ | 付録 (日本工業規格)  |







る。これはやはりサーボ増巾器であって、信号の要求にしたがい、モータ・シャフトをベース負荷増加または減少の方向に回転する。

発電機制御装置——受信信号から取り出されたスイング要素は上述のサーボ出力と結合されて、各発電機発生電力を決定する。所要コスト曲線はセレクタで選択される。また最小および最大出力限界が整定されている。

発電機負荷監視装置——あらゆる負荷変化に適応できる発電機容量を知るために、各発電機がいかなる負荷変化を要求されているかを正確に知る必要がある。この装置は一つの記憶回路であって、発電機に関するデータを記憶している。

負荷補正装置——指定された負荷と実際の発電機負荷とを比較すれば、補正すべき負荷変化量が得られる。この装置はこれに比例した大きさと極性をもった出力を発生し、調速機モータを制御する。

W 社自動給電方式は以上のほか、たとえば手動コスト制御装置や、種々の指示装置などを備えており、また伝送チャネル故障や、操作誤りに対しても支障のないよう考慮されている。

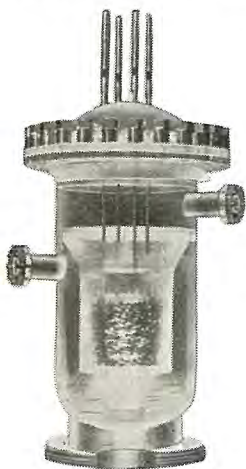
(無線機製作所 竜田直紀訳)

## 浮遊燃料形原子炉

Reactor Design Uses "Floating" Fuel (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 5)

今日までに建設された動力用原子炉の多くは可動制御棒をもち燃料要素を固定した形式のものであるが、W 社ではまったく異なった着想の原子炉を研究している。これは小さな燃料ペレットをリアクタ内に固定させない方法で、少なくとも在来の意味の制御棒を必要としない有機減速浮遊形原子炉とも呼ぶものである。燃料ペレットは大きい円筒状容器内にはいついて、冷却減速材となる流体——ハイドロカーボン——が容器の上部よりはいる、環状部を流下し、容器の下から上方へ流れていく。始動前には燃料ペレットは底に沈んで密集しているが、燃料の濃縮度やペレットの形状を適当に考えればペレットの間の減速材の量では十分な減速作用が行なわれないので、連鎖反応

が起ることはない。反応を起すには流体に流動を与え、その流れによって粒子を浮かせると、ペレットは一様に分散して、その間の減速流体の量が適当になり、高速中性子が熱中性子まで減速されて連鎖反応が持続する。流量を大きくするとさらに反応が大きくなるが、ある点以上になると流体中の水素が中性子を吸収して減速効果が減って反応度は減少してくる。また事故のために冷却材の流れが突然停止した場合でも、浮遊燃料は臨界以下の状態にもどるのできわめ



浮遊燃料形原子炉

て安全である。熱出力 120 MW の設計では有機冷却材の温度は入口で 300°C、出口で 360°C である。

このリアクタの特長の一つとして、炉心全体にわたって燃料の燃焼度が本質的に一様であるため、初期転換比が高く、核的燃焼率は極端に長くなることである。このことは燃料の寿命を制限するものは、核的設計よりもむしろ機械的、物理的考慮によるものであることを意味している。この原子炉の設計は現在開発の段階であるが、将来の経済的な動力炉を約束するものとして注目にあたいする。

(研究所 木野 茂訳)

## 宇宙における太陽エネルギーの応用

—宇宙飛行における太陽帆船および月における発電—

Solar Power in Space (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 33)

宇宙飛行に対してもっとも安価、簡単かつ軽量な方式が提案された。それは帆走である。これは風力によらず、太陽エネルギーを利用したものである。

この太陽帆船ともいふべきものは普通のロケットで地上から打上げられ、約 1,000 マイルの高度で衛星軌道上を地球のまわりに運行する。このとき、ロケットは捨てられ、巨大なパラシュート形の帆が揚げられ、これにつらあひ負荷や乗員をのせたゴンドラがつながれる。帆は 1/1,000 インチ以下の厚さのアルミ箔またはもっとも軽いプラスチックで作られる。太陽エネルギーを受けると船の軌道は次第に大きくなり地球の重力圏を去って太陽のまわりを運行する太陽衛星となる。

太陽帆は帆船が地上を出発する際に根本的な利点をもっている。化学ロケットで 1 トンの荷を火星へ送るのに 9 トンのつらあひ負荷と燃料を人工衛星ステーションに打上げなければならないが、太陽帆は燃料を運ぶ必要がないから約 1 トンですむ。

主帆を転回、または補助帆をあげることにより一定の推進エネルギーを受けている場合でも容易に方向を変えられる。ロケット推進体で所定の地点で所期の時間に方向制御するのは実に困難な問題で、高価な燃料を消費してしまうが太陽帆船では一度方向制御を誤っても、いつでもやり直すことができる。このような太陽帆の実現が計画されている。

つぎに月飛行であるが、Westinghouse 宇宙飛行協会は月世界での滞在を快適にする方法を解決すべく研究を急いでいる。大気のないことは月における行動に支障となる点が多いが若干の利点もある。光電式高出力発電の可能性もその一つである。

光電子の発生には真空を必要とするが、月では真空が自由に得られるので太陽エネルギーを直接電気エネルギーに変換する高出力発電が容易に実現される。金属表面に照射された放射はその量子エネルギーが面の仕事関数より大きいならばその面より電子を射出する。これが古くより知られた光電効果である。

実際の発電所の主要な部分は針金の網と、厚さ 1 ミクロン程度に感光材料を塗布したプラスチックシートである。この巨大なシートを月表面にひろげ、これとわずかの間隔を保って細線



の網を絶縁して平行に配置する。太陽放射がシートに当たるとこれより光電子が放出され金網が集電子となって電流を発生する。

この種の発電機で問題となるのはその内部抵抗である。普通の光電管ではこれが1メガオーム以上もあり実用に適しないが Westinghouse 宇宙飛行協会と電子管技術者の協力研究により0.1オーム程度の低い内部抵抗の光電管の実現可能の見込みができ、また光電変換効率も当初0.1%程度にすぎなかったが、研究の結果、25%にも達する期待が生じた。月表面に投射される天頂にある太陽からのエネルギーは1エーカーあたり6,000kWであるから、得られる電力は実に1エーカーあたり約1,500kWにも達する可能性が生れたことになる。(研究所 山下博典訳)

## ゲルマニウム光導電体

Semiconductors and Electronics (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 21)

ゲルマニウムはトランジスタや整流器の材料としてよく知られているが、Auを不純物としてゲルマニウムの中に入れてやると赤外線を感じる光導電体になる。すなわちこれに電極をつけて電気抵抗として使用するとき、赤外線を照射すると電気抵抗が減少し流れる電流が増大する。

したがってこの性質を利用すれば、赤外線の検出ができる。しかもわずかな赤外エネルギーの入射に対して抵抗の変化が大きく、 $10^{-13}$  W という小さなエネルギーも探知できる。だから誘導装置(赤外線を放射する目標に向かって誘導する)、天文学上の研究、温度測定、その他いろいろの制御に使用できる。

通常このようなP形のAuをドーブしたゲルマニウム光電導体は $10\mu$ という長い赤外部にまで感度をもっており、室温で約 $10\mu$ の近辺に最高感度の山がある。またエネルギーを検出する際にその応答時間が問題になるが、その時定数も非常に小さく $2 \times 10^{-7}$  sec程度で、普通のこのような形の光導電体より10倍も速いという特長をもっている。

しかし液体窒素で冷却すれば感度もまし、時定数も小さくなるから一般に冷却して使用するものである。

(研究所 伊吹順章訳)

## 変圧器関係の進歩

Transformers (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 8)

Insuldur—変圧器の分野で新しく開発されたものに Insuldur

がある。これはアミン化合物の一種で、油劣化防止剤であると同時に、セルローズ系絶縁物に作用して、その熱的劣化をおさくするので、変圧器の過負荷耐量をいちじるしく増大する。たとえば、これを用いたCSP形配電用変圧器では、保護ブレーカのセッティングを1954年製のものより25%上げることができ、また電力用変圧器にもこれを用いると、10%過負荷しても寿命損失が増加しない。もちろん Insuldur を用いても、名板の定格出力を大きくするわけにはいかないが、このように過負荷できるので、実質的には出力が増大することになる。

内部冷却変圧器—この方式では、冷却のための油は、コイル内部の、電位の等しい導体の間を通り、電位傾度の高い部分の絶縁は、絶縁耐力の大きい固体絶縁物で完全に充填してしまう。その結果、変圧器を小形軽量安価に製作できる。この方式を用いた第1号は30/40/50 MVA変圧器でBIL 550 kVのものであり、1958年中に、他に3台の内部冷却変圧器が完成されたが、そのなかには125 MVA単巻変圧器が含まれている。

蒸気冷却変圧器—1957年の中ごろに製作された最初の蒸気冷却500 kVA変圧器の運転成績が非常に良好であったので、1958年7月に2番目の蒸気冷却変圧器が製作された。これは、自冷7,500 kVA、風冷10,000 kVA、高圧側34.5 kV、200 kV-BILのもので、その冷却作用は、最初のものと同様沸化炭素系冷却液の蒸発によって行なわれ、絶縁は、冷却液の蒸発が始まるまではSF<sub>6</sub>にたより、それから後は冷却液蒸気にたよることになる。この方式の最大の利点は安全という点である。7,500 kVA蒸気冷却変圧器の外形寸法は、同定格の油入変圧器と同じくらいである。

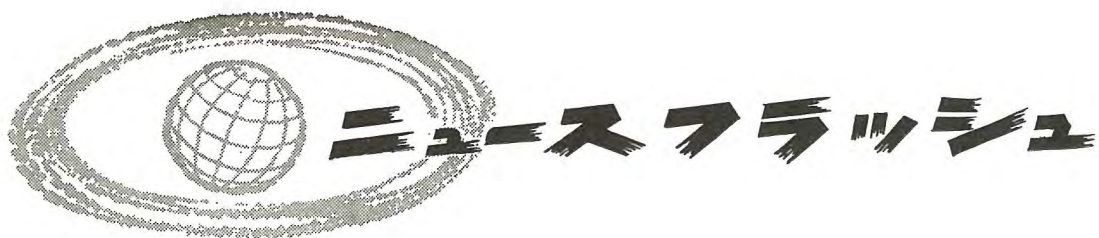
Progressive Winding—従来の配電用変圧器では、高圧コイルと低圧コイルを別々に巻き、あとでこれを組合わせる方法がとられていたが、Progressive Winding法の開発により、高低圧コイルを連続的に、しかも5~6個を一度に同一巻心形上に巻くことができるようになり、工作の簡単化、インピーダンスの低減(従来2.7%程度であったが、この方法では2%前後に減少したという)機械的強度の向上に役だった。

保守の便利な変圧器—10,000 kVA 69 kV以下の変圧器では、従来分散して取付けられていた計器類を1箇所にとりまとめ、保守の簡便化をはかっている。(伊丹製作所 菅 寿郎訳)



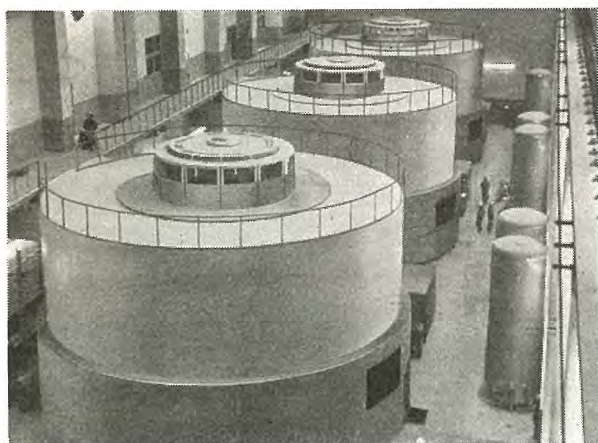
7,500 kVA 蒸気冷却変圧器





## ■ 電源開発田子倉発電所向け 105,000 kVA フランス水車発電機すえ付完了, 試送電開始

記録的な水車、発電機として斯界の注目の的となっていた電源開発田子倉発電所向け  $3 \times 108,000$  kW フランス水車、 $3 \times 105,000$  kVA 水車発電機の現地すえ付が完了し、このほど電発斎藤副総裁以下関係者立会のもとにガバナーテストが行なわれ引続き  $50,000$  kW (1 台につき) の試送電にはいった。試験の結果は予期以上の好成績で、電発からおほめの言葉をいただき関係者一同大いに面目をほどこした。なおこれは昭和 31 年 11 月各社の激烈な競争によく打ち勝ち一括受注したもので、なにごぶん当時としては水車、発電機とも単機容量として東洋最大のものであり、とくに発電機はカサ形構造で世界でも有数なものであったため、以来 2 カ年有余設計、工作の面にまた現地へのカツ大品輸送、冬期間を含めた現地でのすえ付工事など今までにないかすかすの困難な面もあったが、すべてこつ然一体となつてあい路を克服しよく最後まで一貫作業として貫ぬいた努力が今日の輝かしい成果となつて実を結んだのである。



田子倉発電所向 105,000 kVA 水車発電機

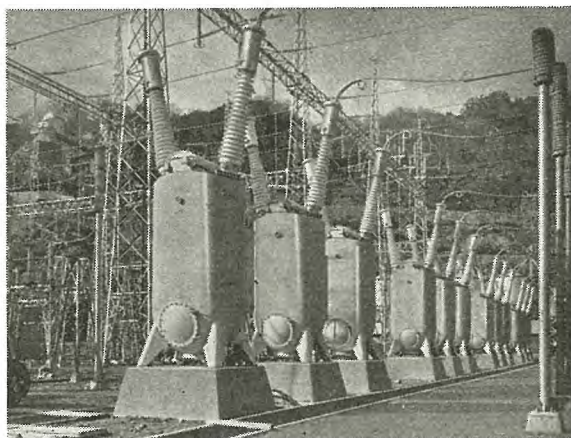
## ■ 田子倉発電所納め 300 kV ウォッチケース シャ断器現地すえ付完了

さきに工場組立が完了し、立会試験を終えた 7 台の 300 kV ウォッチケースシャ断器は、去る 3 月現地調整を終った。写真は現地すえ付後の同シャ断器である。

この 7 台中 3 台は送電線用として単相および三相再閉路をおこなう 3 サイクルシャ断器であり、1 台は母線連絡用、3 台は

変圧器用で 5 サイクルシャ断器であるが、両者の相違は操作機構だけであつて、本体はまったく同一である。シャ断器はブッシング変流器のほかに空心変流器を内蔵し、当社独特の高性能の母線保護装置に組合わされている。また納入地が積雪地であるので、タンク上部の積雪が対地絶縁を低下させないように、特殊の電熱器を備えるとともに、油温の冷却を防ぐための電熱器もタンク底部に備えられている。

これら詳細の特性については、近く本誌 (9 号) 田子倉発電所特集号の一部として発表される予定である。



田子倉発電所納 300 kV ウォッチケースシャ断器

## ■ 世界最初の 60 サイクル 150 kW 交流電車 電動機完成

(単相交流直接形電車用)

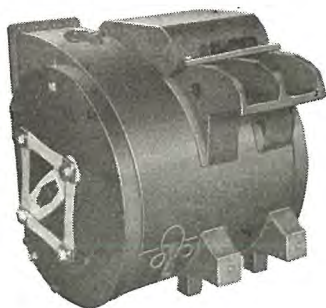
国鉄北九州 60 サイクル交流電化線区向けとして国鉄試作に参加したもので、方式は 150 kW 交流整流子電動機 4 台を永久直列接続とし、速度制御は主変圧器の二次側制御により行なうもので、電気ブレーキは直流補助励磁式による発電制動を常用とするなど、交流車としての特性を遺憾なく発揮している。当社は 150 kW 交流整流子電動機の製作を担当し、鋭意設計製作を行なつて 3 月に納入の運びとなつた。電動機には近代高速度電車電動機の技術を十二分にとり入れ、強大な整流子と余裕ある通風方式とあいまって今後のサービスが期待される。

### 性能要目

|      |                   |
|------|-------------------|
| 電気方式 | 単相交流 60 c/s 20 kV |
| 電車編成 | $M_D + T + T$     |



|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| 加 速 度   | 1.5 km/h/s                                                             |
| 減 速 度   | 3.0 km/h/s                                                             |
| 最大運転速度  | 95 km/h                                                                |
| 主 電 動 機 | 交流整流子式 MB-5001-A 形 8 極<br>150 kW AC 200 V 1,030 A 2,280 rpm<br>(設 計 値) |
| 駆動方式    | 中空軸式平行カルダン (MT 46 式)                                                   |
| 制御方式    | 主変圧器二次側制御                                                              |



150 kW 単相交流  
電車電動機  
(本体部分)

## ■ 広帯域電波吸収壁材料

音響諸装置の実験を行なうのに防音室を用いて外来音波の影響、室内での反響などを防止するのとまったく同様の目的で、超高周波アンテナ輻射特性の測定などを行なうには電波無響室が使われる。かかる無響室は電波の出入を防止するため金属板しゃへいを行なうとともに、この室の内部反響防止のため室の内壁に電波吸収壁材料をはり付ける。電波無響室用としてだけでなく一般に妨害反射、または妨害電波発射の可能性のあるものはこの電波吸収壁材料でおおえば簡単にその妨害効果をおさえ得てしごく便利である。

米国ではかかる電波吸収壁材料がすでに市販されているがわが国の国産市販品はまだない。

当社では研究所、世田谷工場共同で電波吸収壁材料の試作研究を重ねてきたが最近すぐれた性能を有するものを試作することができたので簡単にその大要を紹介する。

これは獣毛ヘアーロックにカーボンブラック入りゴム液の適量を含浸固定したもので電波透過を十分抑制するとともに自身の表面反射を少なくした種層形に作られている。この吸収材の外観を図1に、またその構成を図2に示す。性能大要はつぎのとおりである：

試料厚さ 約 70 mm 4 層構成

見掛比重 約 0.06

電気性能 ほぼ 2,500 Mc 以上の周波数で試料背後の金属板の位置のいかんに関せず電力反射率が 2% 以下

なお比較のため米国某社製品の一例を述べると、厚さ約 50 mm の試料につき、2,500 Mc 以上で電力反射率 <2% が公称性能となっている。しかしこれは特定使用条件、すなわち背後に金属板を密着して使うという条件が満たされたときだけであり、そうでなければ非常に反射が増えることに注意が必要で、

たとえば上記の吸収材で金属板位置を連続的にかえる時の最大電力反射率は 2,500 Mc でほぼ 14%、これが <2% となるのは周波数 >5,000 Mc の範囲である。その意味で米国製品に比し当社試作品の性能はむしろすぐれている。

当社製品の電気性能をより向上し、またより薄く軽量なものとしていっそう便利に使用しうるものとするための研究を現在続行中であるが、市販品としての生産に移りうる日は遠くない。

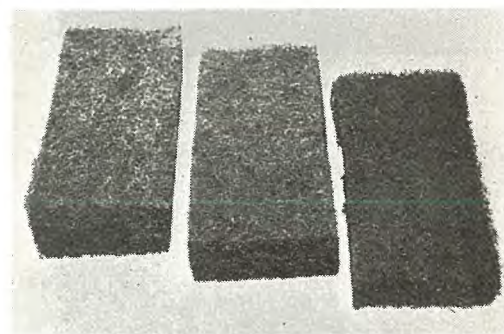


図 1 電波吸収壁材料の外観

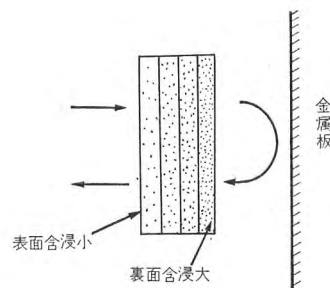


図 2 電波吸収壁材料の構成

## ■ 最近の照明施設

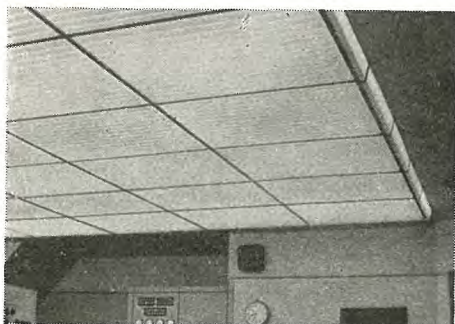
最近の照明手法として光り天井照明方式が新設発電所やビルディング、デパート、銀行などに見かけられるようになったが、高照度で影のない快適な照明ふんい気を作り出すには、光り天井照明方式がもっとも適したものといえるので今後なおいっそう普及するものと思われる。

写真は当社が中部電力株式会社新名古屋火力発電所の中央制御室に光り天井照明方式を実施した一例で、拡散板は波形アクリライト 3t を 49 枚使用し、平均照度 930 lx を得ている。

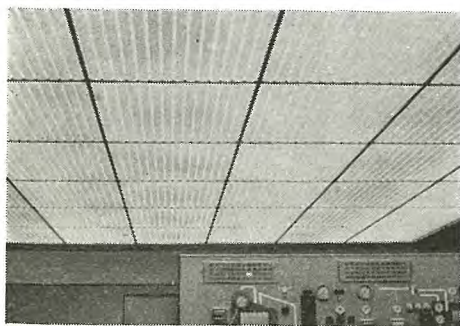
灯具は FLR-40W×1、じか付ストリップ (KLR-45 形) を 126 灯配列し、ランプは演色性の良い三菱デラックス冷白色 (FLR-40-DL) を使用している。

なお天井うらにはほこりがたまるのを防ぐため、換気扇を配置して通風、換気を図っている。また中央制御室全般にわたって温湿度調節も施工している。





光り天井の側面



中央制御室の光り天井

## ■ タービン発電機用大容量直結励磁機の試作研究完了

今般、長崎製作所において、400 kW 375 V 3,600 rpm のタービン発電機用直結励磁機の試作を完成した。図 1 はその外観を示す。

従来、二極タービン発電機用直結励磁機は、60 c/s 機に対しては 350 kW を、50 c/s 機に対しては 400 kW を、一応限度と考えていた。しかるころ、今回の試作研究の結果、十分の余裕をもって、400 kW、および、500 kW のものを、それぞれのサイクルに対する直結励磁機として採りうることを確認した。

この試作機では、ブラシの寿命を永くするため、整流子の周

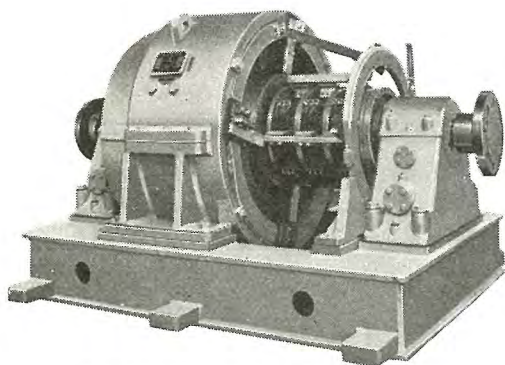


図 1 400 kW 375 V 3,600 rpm 励磁機

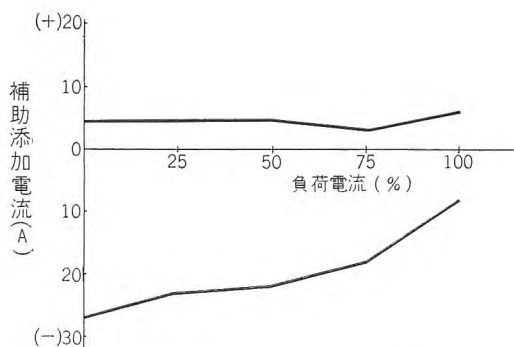


図 2 400 kW 375 V 3,600 rpm 励磁機の整流帯

速を極力低くおさえている。また、運転中のブラシ取換えが容易な構造とし、長期連続運転の場合運転者の負担が軽減するように考慮している。なお、ブラシの寿命試験は現在施工中である。

公称速応比は 1.7 で、整流は過負荷まで良好であった。図 2 は、本機の整流帯を示す。

この試作機は、500 kW 3,600 rpm 電動機としての試験、および 600 kW 電動機としての参考試験においても、優秀な性能を発揮した。この機は現在工場試験用電動機、あるいは発電機として、活躍中である。

## ■ 関東地建向け 7,000 Mc SS-FM 多重通信装置受注

建設省関東地方建設局向け 7,000 Mc 帯 SS-FM 多重通信装置 1 式を受注した。この装置は、東京および相模を両端末局、野田および赤城（無人局）を中継局とするマイクロ波幹線ルートで、引続き赤城を中心として施設されるローカル分岐回線とともに各工事事務所間の業務連絡あるいは各地ダム管理運用に使用されるものである。

この機種はさきに国鉄九州、防衛庁陸幕に納入したものとほぼ同一方式で、7,000 Mc 帯 FM 無線機、60 CH SSB 端局

装置、空中線およびその他の付属装置から構成される。とくに、端局装置は SS-60 CH 用としてはじめて全トランジスタ方式が実用化され、24 CH 端局装置のすべてが標準架 1 架に収容されている。これによって装置の小形化、占有床面積の縮小、信頼度および安定度の向上、消費電力の節減などに大巾な進歩がえられた。

図はその回線系統を示す。





## ■ すべての難問題を解決する低速形精密アナログ計算機完成

当社では先年来、EA—1形低速度アナログ計算機を製作してきたが、近年とくに航空機、誘導飛翔体の解析、模擬など、工学上の問題も、複雑多岐にわたるとともにアナログ計算機も高い精度と大きな規模が要求される風潮にかんがみ、鋭意研究開発の結果、このほどあらゆる点で、これらの要望を満たすにたる低速形精密アナログ計算機を完成した。

この装置は、多くの特色をもっているが、そのおもなものは次のようである。

### (1) 全電子管式であり、計算速度が早い

非線形要素とくに関数乗算器、関数発生器は、従来サーボモータを使用したいわゆるサーボ式のものが多く用いられていたが、追尾速度の点で、計算速度を阻害することが多かった。この装置では、これらをいずれも時分割方式による全電子管式にしたため、計算速度がいちじるしく向上し、GMなどの実時間模擬も可能である。

### (2) 高精度である

回路設計、使用部品に十分の検討を行ない、誤差の低減に最善の努力が尽されている。

### (3) 信頼度が高い

演算インピーダンスは、最高級の部品を使用するとともに、とくに安定性、信頼性に十分の注意が払われている。

### (4) 汎用、専用の組み合わせ式ブレパッチボード

ブレパッチボードは汎用盤と専用盤の組み合わせ方式であるから、問題を処理するにあたりひん繁に現われる共通演算回路は、この専用盤を使用し、変化分だけを汎用盤上に組上げればよく、接続コードの数をいちじるしく減らすことができ、取扱い簡便で誤接続のチャンスも少なく、操作員の負担を大巾に軽減している。

### (5) 画期的な演算制御機構を持ち、取扱いはきわめて容易

電源の投入、出力電圧計の範囲切換、過負荷保護、設定電圧に対するホールド操作などがすべて自動的に行われる。演算制御盤に超精密抵抗ブリッジを内蔵しており、ポテンショメータの負荷効果の較正が容易であるなど多くの特色を有するため、取扱いが容易で、計算能力を大いに向上することができる。

### (6) 演出機能を倍加するジャック盤

従来のブレパッチ方式のアナログ計算機では、演算増巾器は積分器、係数器として使用するだけに限定されており、使用上不便のそりをまねがれなかった。この装置では固定および可変の演算蓄電器、演算抵抗器、および汎用二極管リミッタなどの端子が演算増巾器の端子とともに、ジャック盤の上にまとめられているので、演算増巾器は汎用として使用することや、任意の伝達関数を模擬することができ、演算機能は大いに増大される。

### (7) 多くの特色ある演算要素

ポテンショメータは設定係数値を $\times 1$ 、 $\times \frac{1}{10}$ 、 $\times \frac{1}{100}$ の3段に切換え可能で、航空機などの運動解析に現われる微小係数の設定を高精度に行なうことができる。

電圧比較器は、任意の出力点の電圧瞬時およびあらかじめ設定した演算時間瞬時に外力の印加ないしは演算回路切換えなどを行なうことができる。

任意関数発生器は時分割方式による直線補間形の独特なもの

で独立に発生すべき関数形上の点のX座標、Y座標を設定すれば目的が達せられるので非常に取扱いが簡便である。

簡易関数発生器は、近似度を犠牲にする代りに、1変数に対し同時に多数の関数形を設定することができるので、非常に経済的である。

正弦波発生器は、自動制御系やその他の系の周波数特性の測定や、過渡応答の解析に便利である。

三角関数発生器、自乗、平方根発生器、関数割算器は非線形系の解析の手間の節約と精度の向上に役立つ。

むだ時間発生器は、プロセス制御など広範囲な問題の解析を可能にする。

### (8) 保守点検が容易

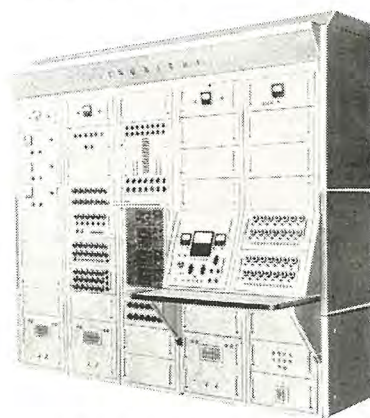
各パネルは前面よりプラグイン方式で簡単に前方へ引出せるロッカ式引出装置に収容されるか、または前面板を前方へ倒せる構造かのいずれかであって、内部の点検がきわめて容易である。また、各要素に共通な補助演算増巾器その他は、ユニット化された完全プラグイン式サブシャーシで、メインシャーシから簡単に取はずせるので、互換性があり、点検、調整にきわめて便利である。

### (9) 増設および、他種計算機、各種変換器、入、出力装置などとの連結がきわめて容易である。

写真はこの装置の外観である。演算制御盤、ポテンショメータ盤などの前には、制御用テーブルがあり、天井には排気扇および排気ダクトを実装している。

この装置は、つぎの要素によって構成されている。

|             |       |         |      |
|-------------|-------|---------|------|
| 加算積分器       | 12 台  | 加算係数器   | 12 台 |
| 汎用演算増巾器     | 6 台   |         |      |
| 係数ポテンショメータ  | 56    |         |      |
| リミッタ        | 14 要素 | 電圧比較器   | 6 要素 |
| 関数乗算器       | 3 台   | 関数乗除算器  | 1 台  |
| 任意関数発生器     | 1 台   | 簡易関数発生器 | 1 台  |
| 三角関数発生器     | 1 台   |         |      |
| 自乗・平方根発生器   | 2 台   |         |      |
| むだ時間発生器     | 2 台   | 正弦波発生器  | 1 台  |
| 演算抵抗器盤      | 1 台   | 演算蓄電器盤  | 1 台  |
| ジャック盤       | 1 台   | ブレパッチ盤  | 1 台  |
| 演算制御盤       | 1 台   | 連結盤     | 1 台  |
| 固定演算インピーダンス | 1 式   |         |      |
| 計算用補助リレー    | 1 式   | 電源盤     | 1 式  |
| ブレパッチボード    | 10 面  |         |      |



低速形精密アナログ計算機





## 特許と新案

### 放電間げき装置

発明者 佐藤五郎

この発明は避雷器の放電間げき装置を図示のように構成することにより発生アークの冷却消弧作用ならびに電力続流のシャ断能力を十分にしたものである。

この放電間げき装置は截頭円すい形の電極(1)(1)を互に頭部において対向配置するとともに一対の磁石(2)(2)を同極性に対向配置して電極間にほぼ水平な放射状磁界を生成させ

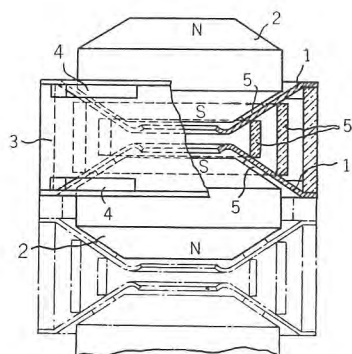


図 1

る。上記構成により電極間げきの最小部分すなわち電極頭部においてアークは発生し、このアークは電磁力によってうず巻状に外方に向けて巡回駆動され電極傾斜部で次第にアーク長を伸ばされるとともにその間に十分な冷却作用を受け、その結果間げきの大なる電極傾斜部で消弧される。

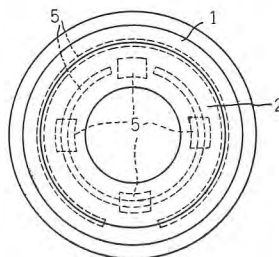


図 2

上述のようにこの発明によると電極間に発生したアークは巡回駆動されて電極傾斜部で消弧されるので電極が局部的に過熱することがなく、またアーク発生に伴うイオン化気体の排出を円滑に行なうことができ、したがってアーク消滅後の再点弧電圧を低下させることができ、なお図中の(3)はガイシ(4)はガイシに設けた排気口(5)はスベサである。

(特許第 241524 号) (山田記)

### 噴流形洗たく機

考案者 東邦弘・武井久夫

周知のように噴流形洗たく機の欠点は洗たく物が互にからみ合ったり、よじれたりするため一様な洗たく作用ができずまた回転翼車の突起により洗たく物が痛められることである。

この欠点を除くため回転翼車(1)を図のように多数の貫通孔(5)を有する円盤状の内外の平行側壁(2)(3)と、この側壁に定着され適当な傾度を有する翼片(4)で構成する。翼車

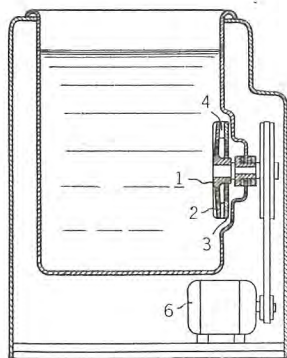


図 1

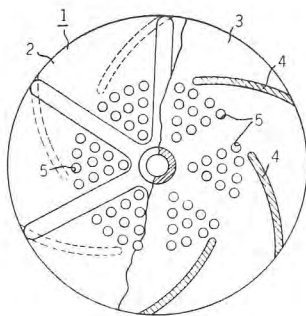


図 2

は電動機(6)により駆動回転され遠心ポンプのように作用して貫通孔(5)から側壁(2)(3)の間に洗たく液を吸入し、これを翼片(4)から外周方向に放出して洗たく液に噴流を与える。洗たく中に洗たく物が翼車に吸着し貫通孔を封さいする場合には洗たく液は外側壁(3)のほうの貫通孔からだけ吸入され負圧となっている内側壁(2)のほうに向かって正圧として流入するので洗たく物は自動的に翼車(1)から離脱し洗たく槽内に浮揚する。

この回転翼車による洗たく液の吸入放出作用と洗たく物の吸着離脱作用とは洗たく液に複雑な流れを与え、洗たく物の反転吸着浮揚を不規則に連続させるので洗たく物にからみ合いとかよじれを生じさせることなく十分に洗たく作用を行なわせる。また回転翼車の内側壁表面は平滑面により洗たく物がこれに接触しても痛めることのないようにすることができる。

(実用新案登録第 476973 号) (山田記)



最近における当社の社外寄稿一覧

| 原稿送付<br>年 月 日 | 寄 稿 先                  | 題 名                                      | 執 筆 者              | 所属場所                      |
|---------------|------------------------|------------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 34- 1- 6      | 電気学会誌時報                | 連続運転系についての制御装置の最近の発達                     | 加藤又彦               | 伊 丹                       |
| "- 1- 8       | "                      | 充電装置の半導体ダイオードによる制御方式                     | "                  | "                         |
| "- 1-23       | 昭和 34 年電気 4 学会連<br>合大会 | 312,000 kVA 275 kV 変圧器                   | 村 上 有              | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 油中断路器付エレファントブッシング                        | 南角英男               | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 電力ケーブル試験用 1,050 kV 交流発生装置                | 嶋 裕 史              | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 120 V, 14 kA 電気化学用風冷式シリコン整流器             | 加藤又彦               | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 水冷式密封形イグナイトロンの等価試験                       | 塚本昭三               | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 水銀整流器の速応性広角度制御回路                         | 細 野 勇              | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 交直両用電車用シリコン整流器                           | 横 畠 洋 志            | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 避雷器の爆発防止装置とその実験結果                        | 大木正路               | "                         |
| "- 1-23       | "                      | トロリ・バス用新形式電機品                            | 宮内圭次               | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 避雷器用非直線特性要素の抵抗体放電体量                      | 鎌田隆好               | "                         |
| "- 1-23       | "                      | 変圧器さい断波試験におけるさい断時間の制御方式                  | 岩崎晴光               | "                         |
| "- 1-24       | 日本電気技術者協会              | 電力用シリコン整流器とその応用                          | 加藤又彦               | "                         |
| 34- 2-10      | 配電盤ハンドブック              | 開閉器ヒューズ                                  | 岡本孝治               | 神 戸                       |
| "- 2-10       | 新 機 械                  | 三菱放電加工機 "DIAX" の機械構成と特色について              | 斎藤長男・東田孝彦<br>中原重夫  | 研 究 所<br>無 線 機<br>三 菱 造 船 |
| "- 2-13       | 東京電気試験所                | 三菱電機製避雷器                                 | 大木正路               | 伊 丹                       |
| "- 2-19       | 電気学会                   | 高圧シャ断器の再起電圧荷酷度に関する新しい考察                  | 潮 恒 郎              | 研 究 所                     |
| "- 2-22       | 原子力シンポジウム報文            | 原子炉プラントの動特性解析に対する計数形電子計算機の<br>応用         | {八島英之・首藤 勝<br>犬伏恭平 | "                         |
| "- 2-26       | 配電盤ハンドブック              | 自動制御                                     | 尾畑喜行               | 神 戸                       |
| "- 2-26       | "                      | 配電用シャ断器                                  | 松 尾 潔              | "                         |
| 34- 3- 2      | 電気学会誌                  | 計数形計算機による過渡安定度の計算                        | 馬場準一・芝滝寿宏          | 研 究 所                     |
| "- 3- 5       | 公益時報                   | わが社の新製品とその応用                             | 加賀貞広               | 長 崎                       |
| "- 3- 6       | 変圧器設計製作法               | 配電用変圧器工場試験                               | 森光幸次               | 名 古 屋                     |
| "- 3- 6       | 配電盤ハンドブック              | 機械的設計                                    | 清水良夫               | 神 戸                       |
| "- 3-26       | 変圧器設計製作法               | 「変圧器設計製作法」12.3 今後の傾向から 12.3.2 配電用<br>変圧器 | 吉野敏夫               | 名 古 屋                     |
| 34- 4- 8      | 建築界 5 月号               | 最近のビルに使用されるエスカレータについて                    | 河合武彦               | 本 社                       |
| "- 4-11       | 電気学会誌                  | 内部放電を起している絶縁物中の自然ボイドおよび人工ボ<br>イドの挙動      | 原 仁 吾              | 研 究 所                     |

最近における当社の社外講演一覧

| 講 演<br>年 月 日 | 主催または開催地    | 題 名                                   | 講 演 者                    | 所属場所 |
|--------------|-------------|---------------------------------------|--------------------------|------|
| 34- 3-19     | 日本電機工業会関西支部 | ケイ素鋼板類の新 JEM 規格について                   | 野口英男                     | 研究所  |
| "- 3-31      | NHK-TV      | 基礎技術講座 "製図編"                          | 松尾準一                     | 本 社  |
| "- 3-31      | 応用物理学会      | Mattauch 二重収れん質量分析器の試作                | 後藤正之                     | 研究所  |
| "- 3-31      | "           | 金属蒸気噴射ポンプの研究                          | 藤 永 敦                    | "    |
| "- 3-31      | "           | 真空速動バルブの研究                            | 高 部 俊 夫                  | "    |
| "- 3-31      | "           | Mattauch 形二重収れん質量分析器による化学分析           | 甲斐潤二郎                    | "    |
| 34- 4- 2     | 日本化学会       | P-Trimanthylsilylene ならびに関連化合物の共重合    | 西崎俊一郎                    | "    |
| "- 4- 2      | "           | スチレニルシロキサンによるシリコーンゴムの架橋               | 草川英昭                     | "    |
| "- 4- 2      | "           | Mattauch 形二重収れん質量分析器による 固体試料の<br>質量分析 | 甲斐潤二郎                    | "    |
| "- 4- 3      | 電気 4 学会連合大会 | 電力経済配分計算機                             | 豊田準三                     | "    |
| "- 4- 3      | "           | 偏波共用パラボラアンテナの特性                       | {喜連川 隆<br>立川清兵衛<br>森川 允弘 | "    |
| "- 4- 3      | "           | 電波吸収壁材料                               | 有田不二男                    | "    |



# 正 誤 表

Vol. 33・No. 3 40 ページ “距離継電器と将来の動向” のうち誤りを下記のように訂正いたします。

| ページ | 行目           | 誤                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 正                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 42  | 左 1          | $\dot{V}_1 = \dot{K}_1 \dot{E} + \dot{Z}_{R1} I = K_1 \varepsilon^{j\phi_1} I Z \varepsilon^{j\varphi} + I Z_{R1} \varepsilon^{j\theta_1} \left\{ \dots\dots\dots (2.5) \right.$                                                                                                                                                                                                   | $\dot{V}_1 = \dot{K}_1 \dot{E} + \dot{Z}_{R1} I = K_1 \varepsilon^{j\phi_1} I Z \varepsilon^{j\varphi} + I Z_{R1} \varepsilon^{j\theta_1} \left\{ \dots\dots\dots (2.5) \right.$                                                                                                                                                                                                 |
|     | 左 2          | $\dot{V}_2 = \dot{K}_2 \dot{E} + \dot{Z}_{R2} I = K_2 \varepsilon^{j\phi_2} I Z \varepsilon^{j\varphi} + I Z_{R2} \varepsilon^{j\theta_2} \left\{ \dots\dots\dots (2.5) \right.$                                                                                                                                                                                                   | $\dot{V}_2 = \dot{K}_2 \dot{E} + \dot{Z}_{R2} I = K_2 \varepsilon^{j\phi_2} I Z \varepsilon^{j\varphi} + I Z_{R2} \varepsilon^{j\theta_2} \left\{ \dots\dots\dots (2.5) \right.$                                                                                                                                                                                                 |
|     | 左 3          | $\dot{K} = \frac{K_1 Z \varepsilon^{j(\phi_1 + \varphi)} + Z_{R1} \varepsilon^{j\theta_1}}{K_2 Z \varepsilon^{j(\phi_2 + \varphi)} + Z_{R2} \varepsilon^{j\theta_2}}$                                                                                                                                                                                                              | $\dot{K} = \frac{K_1 Z \varepsilon^{j(\phi_1 + \varphi)} + Z_{R1} \varepsilon^{j\theta_1}}{K_2 Z \varepsilon^{j(\phi_2 + \varphi)} + Z_{R2} \varepsilon^{j\theta_2}}$                                                                                                                                                                                                            |
|     | 左 4          | $= \frac{K_1 K_2 Z^2 \varepsilon^{j(\phi_1 - \phi_2)} + Z_{R1} Z_{R2} \varepsilon^{j(\theta_1 - \theta_2)}}{(K_2 Z)^2}$                                                                                                                                                                                                                                                            | $= \frac{K_1 K_2 Z^2 \varepsilon^{j(\phi_1 - \phi_2)} + Z_{R1} Z_{R2} \varepsilon^{j(\theta_1 - \theta_2)}}{(K_2 Z)^2 + (Z_{R2})^2}$                                                                                                                                                                                                                                             |
|     | 左 5          | $\frac{+ (K_2 Z Z_{R1} \varepsilon^{j(\theta_1 - \varphi - \phi_2)} + K_1 Z Z_{R2} \varepsilon^{-j(\theta_2 - \varphi - \phi_1)})}{+ (Z_{R2})^2} \dots (2.6)$                                                                                                                                                                                                                      | $\frac{+ K_2 Z Z_{R1} \varepsilon^{j(\theta_1 - \varphi - \phi_2)} + K_1 Z Z_{R2} \varepsilon^{-j(\theta_2 - \varphi - \phi_1)}}{+ 2 K_2 Z Z_{R2} \cos (\theta_2 - \varphi - \phi_2)} \dots (2.6)$                                                                                                                                                                               |
|     | 左 6          | $\phi_1 = \phi_2 = 0$ の時は<br>$\dot{K} = \frac{K_1 K_2 Z^2 + Z_{R1} Z_{R2} \varepsilon^{j(\alpha_1 - \theta_2)}}{(K_2 Z)^2}$                                                                                                                                                                                                                                                        | $\phi_1 = \phi_2 = 0$ の時は<br>$\dot{K} = \frac{K_1 K_2 Z^2 + Z_{R1} Z_{R2} \varepsilon^{j(\theta_1 - \theta_2)}}{(K_2 Z)^2 + (Z_{R2})^2}$                                                                                                                                                                                                                                         |
|     | 左 7          | $\frac{+ K_2 Z Z_{R1} \varepsilon^{j(\theta_1 - \varphi)} + K_1 Z Z_{R2} \varepsilon^{-j(\theta_2 - \varphi)}}{+ (Z_{R2})^2} \dots (2.6')$                                                                                                                                                                                                                                         | $\frac{+ K_2 Z Z_{R1} \varepsilon^{j(\theta_1 - \varphi)} + K_1 Z Z_{R2} \varepsilon^{-j(\theta_2 - \varphi)}}{+ 2 K_2 Z Z_{R2} \cos (\theta_2 - \varphi)} \dots (2.6')$                                                                                                                                                                                                         |
|     | 左 8          | $\text{Real} [\dot{K}] = \frac{K_1 K_2 Z^2 + Z_{R1} Z_{R2} \cos (\theta_1 - \theta_2)}{(K_2 Z)^2}$<br>$\frac{+ K_2 Z Z_{R1} \cos (\theta_1 - \varphi) + K_1 Z Z_{R2} \cos (\theta_2 - \varphi)}{+ (Z_{R2})^2} \dots (2.7)$                                                                                                                                                         | $\text{Real} [\dot{K}] = \frac{K_1 K_2 Z^2 + Z_{R1} Z_{R2} \cos (\theta_1 - \theta_2)}{(K_2 Z)^2 + (Z_{R2})^2}$<br>$\frac{+ K_2 Z Z_{R1} \cos (\theta_1 - \varphi) + K_1 Z Z_{R2} \cos (\theta_2 - \varphi)}{+ 2 K_2 Z Z_{R2} \cos (\theta_2 - \varphi)} \dots (2.7)$                                                                                                            |
|     | 表 2・1<br>(5) | $\left\{ \begin{array}{l} K_1 = K \\ K_2 = -K \quad \theta_1 = \theta_2 = \theta \end{array} \right\}$<br>$-K^2 Z^2 + K Z \cos (\theta - \varphi) (Z_{R2} - Z_{R1}) + Z_{R1} Z_{R2} > 0$<br>$\left\{ R - \frac{Z_{R2} - Z_{R1}}{2K} \cos \theta \right\}^2 + \left\{ X_L - \frac{Z_{R2} - Z_{R1}}{2K} \sin \theta \right\}^2$<br>$< \left\{ \frac{Z_{R1} + Z_{R2}}{2K} \right\}^2$ | $\left\{ \begin{array}{l} K_1 = K \\ K_2 = -K \quad \theta_1 = \theta_2 = \theta \end{array} \right\}$<br>$-K^2 Z^2 + K Z \cos (\theta - \varphi) (Z_{R2} - Z_{R1}) + Z_{R1} Z_{R2} > 0$<br>$\left\{ R - \frac{Z_{R2} - Z_{R1}}{2K} \cos \theta \right\}^2 + \left\{ X - \frac{Z_{R2} - Z_{R1}}{2K} \sin \theta \right\}^2$<br>$< \left\{ \frac{Z_{R1} + Z_{R2}}{2K} \right\}^2$ |
|     | 右 1          | $\dots + \cos (\beta + 90^\circ - b) \} - T_0 \dots\dots\dots (2.8)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $\dots\dots + \cos (\beta + 90^\circ + b) \} - T_0 \dots\dots\dots (2.8)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|     | 右 4          | $\tau = \dots\dots\dots$<br>$= k \Phi_A \Phi_B \sin \theta \sin \beta - T_0 \dots\dots\dots (2.8')$                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\tau = \dots\dots\dots$<br>$= k \Phi_A \Phi_B \cos \theta \sin \beta - T_0 \dots\dots\dots (2.8')$                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 43  | 左 1          | $\tau = k k_{V1} k_{V2} \sin \theta V_1 V_2 \sin (90^\circ - \alpha) - T_0$                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\tau = k k_{V1} k_{V2} \cos \theta \cdot V_1 V_2 \sin (90^\circ - \alpha) - T_0$                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|     | 左 2          | $= K \cos \alpha - T_0 > 0 \dots\dots\dots (2.9)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $= K \cos \alpha - T_0 > 0 \dots\dots\dots (2.9)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|     | 左 3          | ただし $K \equiv k_{V1} k_{V2} \sin \theta V_1 V_2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ただし $K \equiv k k_{V1} k_{V2} \cos \theta \cdot V_1 V_2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 46  | 右 14         | 電流補償方式…… $Z_1 = \frac{V_a}{I_a + \frac{Z_0 - Z_1}{I_1} I_0 + \frac{Z_m}{Z_1} I_0'} \dots\dots\dots (3.2)$                                                                                                                                                                                                                                                                          | 電流補償方式…… $Z_1 = \frac{V_a}{I_a + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0 + \frac{Z_m}{Z_1} I_0'} \dots\dots\dots (3.2)$                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## 次 号 予 定

三菱電機 Vol. 33 No. 7 (計測と制御特筆)

- |                          |                                              |
|--------------------------|----------------------------------------------|
| ○タービン監視計器                | ○加速度および減速度制御装置                               |
| ○プロセス制御用高感度・赤外線分析計       | ○交流電源による小容量直流電動機のリアクトル制御                     |
| ○中性子モノクロメータ              | ○ED 7019 形交流電気機関車補機性能試験                      |
| ○機械量の電氣的計測               | ○312,000 kVA 特別三相式超高圧変圧器                     |
| ○最近の記録積算計器               | ○発電機絶縁の直流試験                                  |
| ○サーミスタ温度調節器のトランジスタ化      | ○IBM-650 形電子計算機による電力線事故時の通信線誘導電圧発生確立の計算 (II) |
| ○サイバック無接点継電方式            | ○技術解説：火力発電シリーズ 所内動力用変圧器                      |
| ○三菱鋅業高島鉱業所納選炭場の自動制御と総括制御 |                                              |



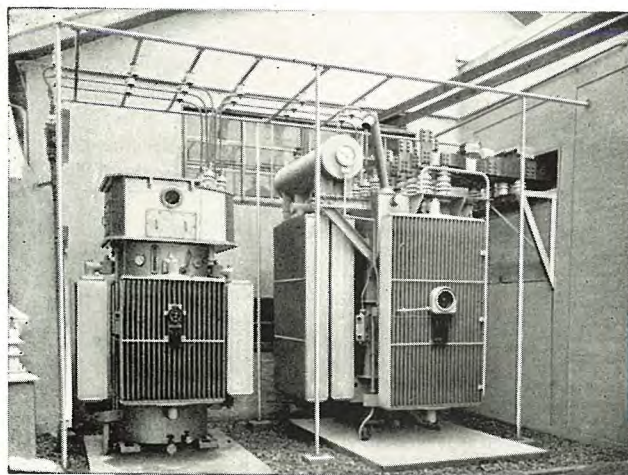
# 化学工業用シリコン整流器納入

(住友化学岡山工場へ)

さきに化学工業用整流器としてシリコン整流器を三菱化成黒崎工場へ納め斯界の先端をきったが、今回、住友化学岡山工場へ直流 120 V 14,000 A シリコン整流器を納入し、好成績で運転中である。



シリコン整流器



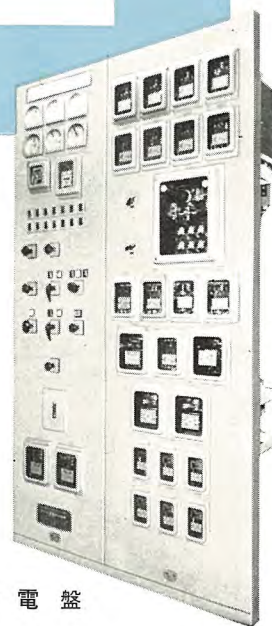
誘導電圧調整器および変圧器

## 特 長

- ① 三相全波整流回路で直列シリコンダイオード1個より構成された風冷式シリコン整流器である。
- ② 速応ヒューズ付、自動警報方式とした。
- ③ シリコンダイオード8個を1群として、ひきだし形箱(トレー)に納め、負荷状況のまま取換える方式にした。
- ④ 自動定電流制御方式とした。

## シリコン整流器製作経歴

| 注文元(設備場)    | 容量(kW) | 台数 | 電圧(V) | 電流(A)  | 冷却方式           | 電圧調整         | 運転開始         | 用 途   |
|-------------|--------|----|-------|--------|----------------|--------------|--------------|-------|
| 三菱化成(黒崎工場)  | 262.5  | 1  | 125   | 2,100  | 水 冷<br>(間接風冷)  | IVR          | 33-1         | 水溶液電解 |
| 住友化学(岡山工場)  | 1,680  | 1  | 120   | 14,000 | 密閉風冷<br>(冷凍機)  | IVR          | 34-2         | 塩水電解  |
| 味の素(川崎工場)   | 1,500  | 1  | 250   | 6,000  | 密閉風冷<br>(間接水冷) | IVR          | 34-8<br>(予定) | 塩水電解  |
| 江戸川化学(山北工場) | 1,120  | 3  | 140   | 8,000  | 風 冷            | URS<br>リアクトル | 製作中          | 水溶液電解 |
| 旭硝子(淀川工場)   | 2,040  | 1  | 170   | 12,000 | 風 冷            | IVR          | 製作中          | 塩水電解  |
| 江戸川化学(浪速工場) | 1,500  | 1  | 230   | 6,500  | 水 冷<br>(間接風冷)  | URS<br>リアクトル | 製作中          | 塩水電解  |



配 電 盤

昭和 34 年 6 月 18 日 印刷

昭和 34 年 6 月 20 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

## 雑誌「三菱電機」編集委員会

|      |        |      |        |
|------|--------|------|--------|
| 委員長  | 吉村 誠一郎 | 常任委員 | 松田 新市  |
| 常任委員 | 浅井 徳次郎 | 常任委員 | 山田 栄一  |
|      | 荒井 潔   | 委員   | 新井 正元  |
|      | 安藤 安二  |      | 岡屋 精二  |
|      | 市村 宗明  |      | 進 藤 貞一 |
|      | 木村 武雄  |      | 竹内 真一  |
|      | 小堀 富次雄 |      | 津 村 準三 |
|      | 高井 得一郎 |      | 豊田 又一  |
|      | 中野 光雄  |      | 松尾 八郎  |
|      | 馬場 文夫  | 幹事   | 井上 八郎  |
|      | 船橋 正信  |      |        |

(以上 50 音順)

## 編集兼 発行責任者

|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| 東京都千代田区丸の内2丁目3番地  | 吉村 誠一郎           |
| 東京都新宿区市谷加賀町1丁目    | 大日本印刷株式会社        |
| 東京都新宿区市谷加賀町1丁目    | 高橋 武夫            |
| 三菱電機株式会社内         | 「三菱電機」編集部        |
|                   | 電話 和田倉 (20) 1631 |
| 日本出版協会会員番号 213013 |                  |
| 東京都千代田区神田錦町 3の1   | 株式会社オーム社書店       |

電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018