

第 40 表

Table with 13 columns: 温度 (Temperature), 飽和蒸気圧 (Saturation Vapor Pressure), 比容積 (Specific Volume), 比熱積 (Specific Heat), 焓 (Enthalpy), 熵 (Entropy), 比熱積 (Specific Heat), 焓 (Enthalpy), 熵 (Entropy). Rows range from 0 to 100.

第 41 表

Table with 13 columns: 温度 (Temperature), 飽和蒸気圧 (Saturation Vapor Pressure), 比容積 (Specific Volume), 比熱積 (Specific Heat), 焓 (Enthalpy), 熵 (Entropy), 比熱積 (Specific Heat), 焓 (Enthalpy), 熵 (Entropy). Rows range from 105 to 374.

第 42 表  $C_{pm}$

$\phi$	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$F = 0.5 \text{ at}$	99.1	119.6	142.9	158.1	169.6	179.0	187.1	194.1	200.4	206.2	211.4	216.2	220.8	225.0	229.0	232.8
$\phi = 80.9^\circ \text{C}$																
120°	0.479	0.486	0.499	0.525	0.551	0.578	0.605	0.633	0.663	0.726	0.759	0.794	0.829	0.865	0.902	0.940
140	0.471	0.481	0.494	0.517	0.548	0.569	0.584	0.615	0.653	0.692	0.713	0.779	0.758	0.799	0.844	0.893
160	0.469	0.478	0.490	0.512	0.538	0.566	0.570	0.596	0.623	0.659	0.689	0.722	0.712	0.712	0.772	0.806
180	0.468	0.476	0.487	0.507	0.530	0.546	0.570	0.584	0.605	0.631	0.658	0.684	0.680	0.703	0.727	0.751
200	0.467	0.474	0.485	0.503	0.524	0.546	0.559	0.581	0.603	0.611	0.636	0.658	0.656	0.675	0.695	0.714
220	0.467	0.473	0.483	0.500	0.519	0.539	0.551	0.570	0.590	0.597	0.619	0.638	0.638	0.654	0.670	0.686
240	0.467	0.472	0.482	0.500	0.518	0.537	0.544	0.562	0.579	0.585	0.607	0.622	0.618	0.637	0.651	0.665
260	0.467	0.472	0.481	0.497	0.512	0.527	0.531	0.548	0.563	0.577	0.597	0.610	0.621	0.637	0.651	0.665
280	0.468	0.472	0.480	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
300	0.469	0.473	0.480	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
320	0.470	0.473	0.480	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
340	0.470	0.473	0.480	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
360	0.471	0.474	0.481	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
380	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
400	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
420	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
440	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
460	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
480	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
500	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
520	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
540	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
560	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
580	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648
600	0.472	0.475	0.482	0.495	0.510	0.524	0.528	0.544	0.557	0.570	0.588	0.600	0.612	0.624	0.635	0.648

過熱蒸気の比熱  $C_{pm}$  を與へる表

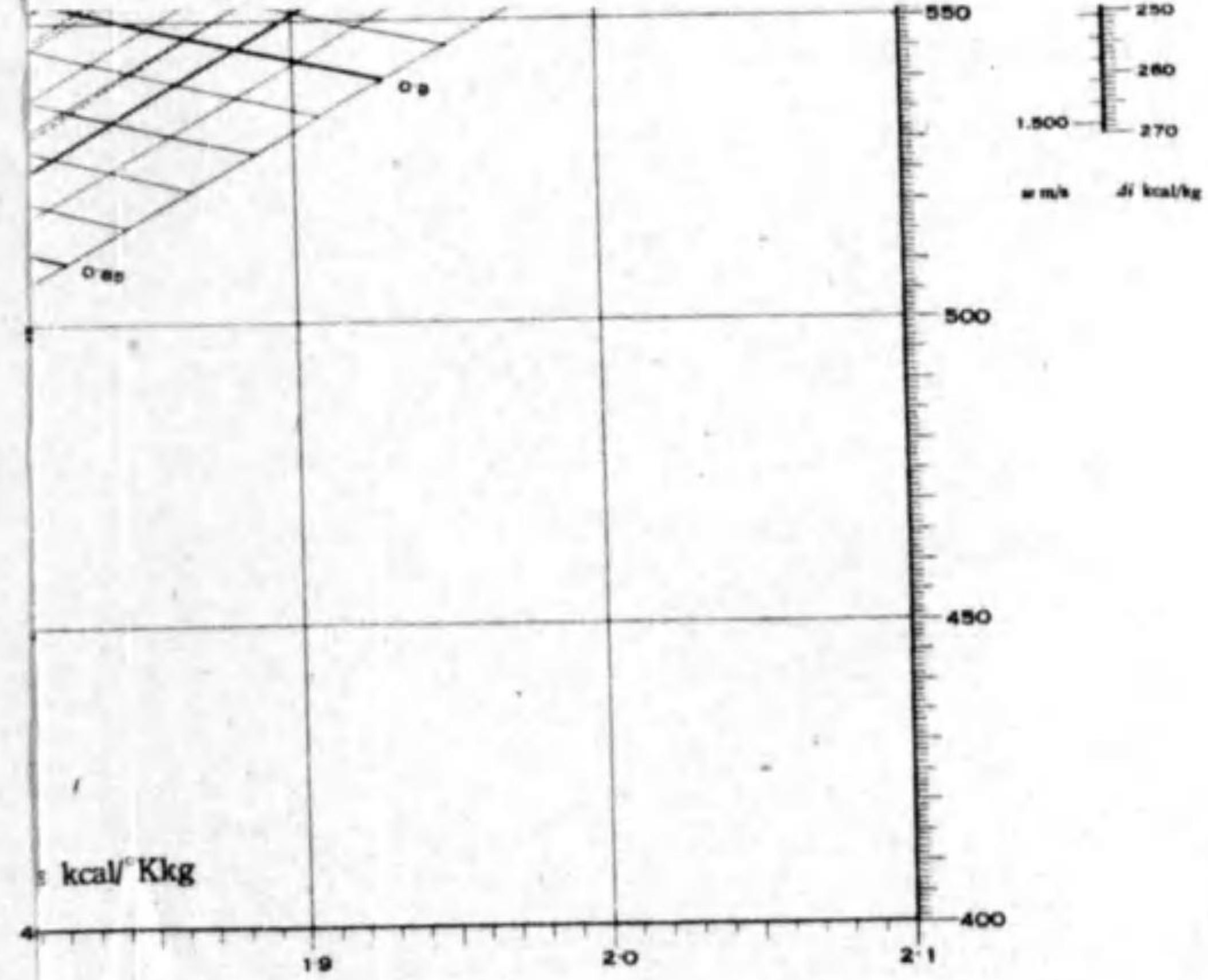
$i_g$  = 飽和蒸気の總熱量

$t_g$  = 飽和蒸気の溫度

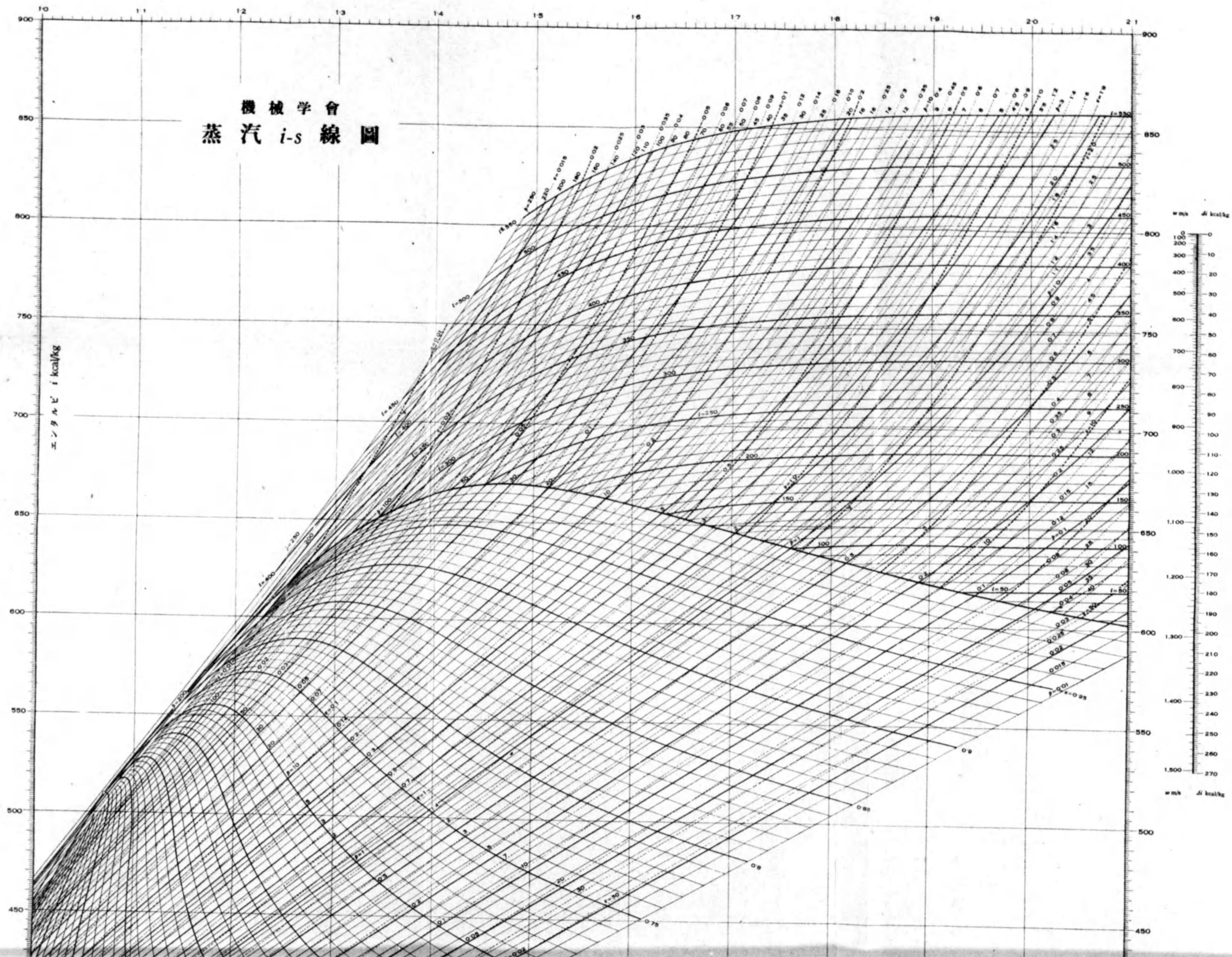
$i$  = 過熱蒸気の溫度

$i$  = 過熱蒸気の組熱量

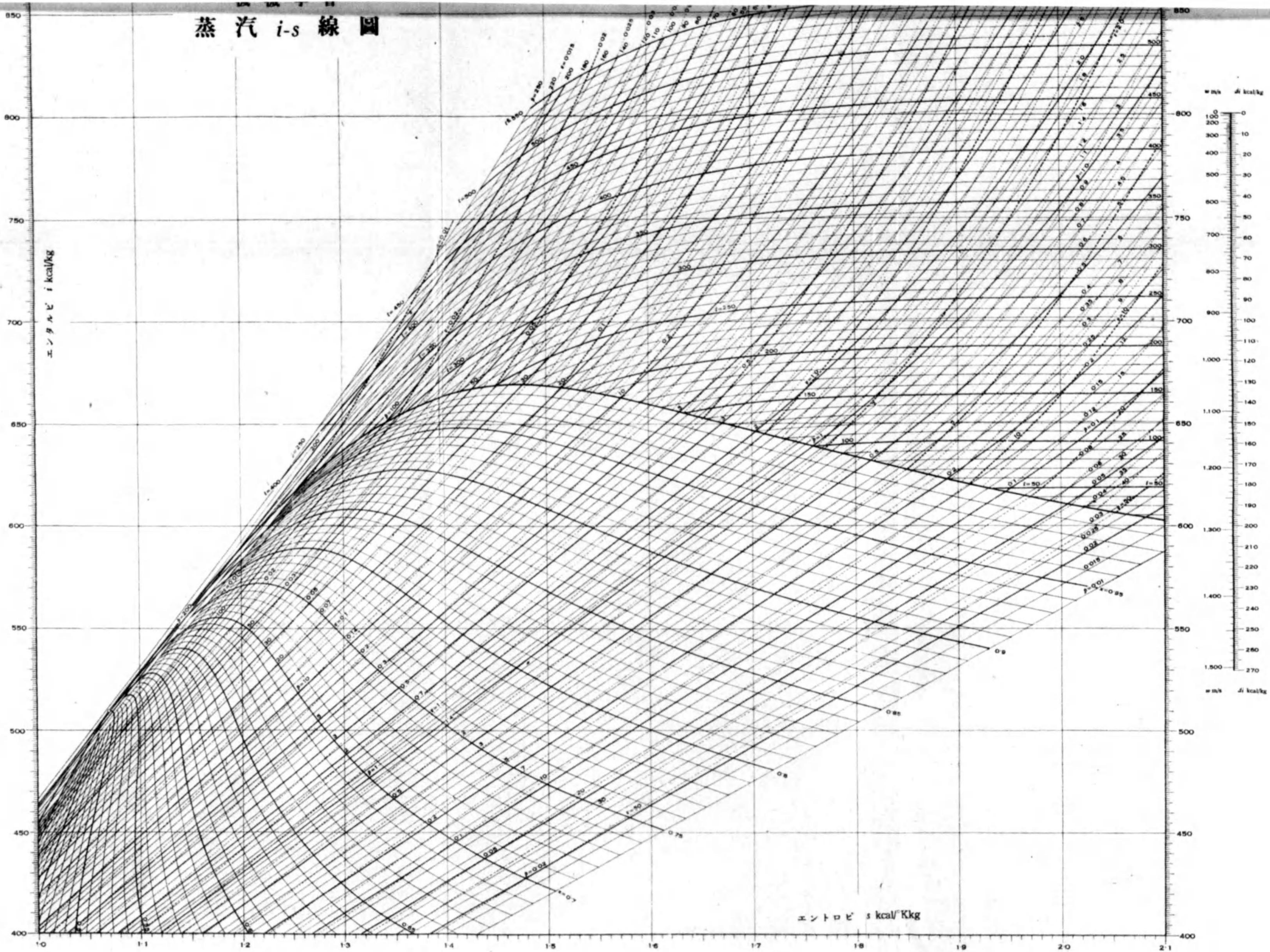
$$i = i_g + C_{pm}(t - t_g)$$



機械學會  
蒸汽  $i-s$  線圖



# 蒸汽 $i-s$ 線圖



## 第4章 練習問題

- (1) 発電所に用ひられる原動機の種類を挙げよ。
- (2) 熱力学の法則を説明せよ。
- (3) エントロピーとは何か。
- (4)  $T$ - $\phi$  線圖に付きて述べよ。
- (5) 蒸気の等温變化及断熱變化を説明せよ。
- (6) 可逆及非可逆サイクルを説明せよ。
- (7) ランキン・サイクルを説明せよ。
- (8) モリエル線圖とは何か。
- (9) ランキン・サイクルの効率を高むべき方法を述べよ。
- (10) 再熱サイクルとは何か。
- (11) 再生サイクルと効率に就きて。
- (12) 再熱再生サイクルと効率に就きて。
- (13) 往復機關の種類を挙げよ。
- (14) 機關馬力とインヂケータ圖表との關係を示せ。
- (15) 蒸気機關内の熱損失を説明せよ。
- (16) 蒸気機關の速度調整は何によりて行ふか。
- (17) 機關容量の選定法に付き述べよ。
- (18) 出力 200 馬力の蒸気機關あり。其の蒸気壓力  $10 \text{ kg/cm}^2$  (絶對)にして排汽壓を  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  とすれば機關能率 54% の時次ぎの事項を計算せよ。但し、使用蒸気は飽和蒸気とす。
  - (a) 1 時間の使用蒸気量
  - (b) 1 馬力時に要する蒸気量
  - (c) 排汽の所有する總熱量、但し輻射損失はなきものとす。
    - \* モリエル圖表より、 $10 \text{ kg/cm}^2$  飽和蒸気の熱量は  $660 \text{ kcal/kg}$ 、

570 kcal/kg まで断熱膨脹すると  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  となる事を知る。

$$\phi = 1.58$$

(19) 前例に於て此の蒸気を  $100^\circ\text{C}$  過熱する時は如何になるか。

\* モリエル圖表より  $h_1 = 720 \text{ kcal/kg}$ ,  $h_2 = 600 \text{ kcal/kg}$

(20) 前例に於て復水器を用ひ排汽壓を  $66 \text{ cm.Hg}$  の眞空に保つ時は如何になるか。

\* モリエル圖表より  $660 \text{ mmHg}$  の眞空では  $540 \text{ kcal/kg}$  の總熱量を所有す。

## 第5章 蒸気タービン

(Steam Turbine)

### 5.1. 蒸気タービンの原理 (Principle of Steam Turbine)

蒸気タービンは、蒸気の保有する熱の静的勢力をノズルを通して動的勢力となし、之を回轉羽根に當てて機械的勢力とするものである。

蒸気はノズルの内で断熱膨脹をなし、熱勢力は蒸気を加速する。蒸気の終期速度はノズル前後の熱量降下の平方根に比例する。ノズルの能率は、多段式衝動タービン用開きノズルに於ては、蒸気速度毎秒  $300 \text{ m}$  にて  $96\%$ 、毎秒  $900 \text{ m}$  にて  $94\%$  となる。此れは蒸気の過熱度及び乾燥度と共に増減す。其の程度は最大にて  $2\%$  位である。限られた壓力以上の壓力に用ふるノズルは毎秒  $450 \text{ m}$  の蒸気速度にて其の能率  $90\sim 94\%$ 、毎秒  $900 \text{ m}$  にて  $85\%$  程度である。

蒸気の通過量はノズル前後の壓力の差と、其の斷面積によつて異なるが、與へられた最小部の斷面積を一定とすると、蒸気通過量はノズル前後の壓力比が  $0.58$  の場合が最大となるものであつて、此のノズル入口壓力  $\times 0.58$  をノズルの限界壓力と云つて居る。

此の場合の速度は蒸気内の音の傳播速度に等しいもので、毎秒約  $400\sim 450 \text{ m}$  である。若しも、限界壓力以下に背壓が減少すると、蒸気の通過量は不變であつて、ノズル内の限界壓力を生ずる場所以後で蒸気速度は次第に増加する。

動羽根の能率は蒸気速度が毎秒  $300 \text{ m}$  程度の時、反動羽根に於て  $95\sim 98\%$ 、毎秒  $750 \text{ m}$  程度の衝動羽根の時は  $84\sim 86\%$  位である。尙ほ動羽根にて毎秒  $450 \text{ m}$  では能率低下して  $80\%$  にもなる。

### 5.2. 蒸気タービンの發達 (Development of Steam Turbine)

タービンは  $1870$  年に De Laval が製作したのが最初で、此の時は小容

量で回転数が高く、50,000 r.p.m. と云う様なすばらしい速度であつた。従つて、此れで直接他の回転機を回転する事は困難であつた。ギヤーに依つて其の速度を落して使用した。最初は壓力及温度の高いものを使つた。3,420 (lbs./inch<sup>2</sup>), 750° F (242 kg/cm<sup>2</sup>, 400°C) が用ひられた。其の後 1883 年に Parson 氏によりて反動式タービンが製作された。1900 年頃から發電用のものが製作され、第 43 表の如き發達をなした。

第 43 表

年 代	場 所	容 量
1903	Chicago	5,000 kW 始まり
1906		8,000 "
1908		14,000 "
1911		20,000 "
1915		35,000 "
1917		45,000 "
1924		60,000 "
1926		77,000 "
1927		91,000 " (Steam 600 lb. (42.2 kg) 750° F) (400°C)
1928		94,000 " "
1929		208,000 " Unit "

我國に於ては明治 37 年に 500 kW Curtis turbine 2 臺をアメリカ G. E. 會社より輸入して、東京市街鐵道深川發電所に設置して發電したのが最初である。翌 38 年には 1,000 kW Parson turbine を東京電燈千住發電所に据付けた。爾來、研究改良されて今日の發展をなし、芝浦、三菱、日立に於ては 50,000 kW 以上の大容量のものが國産品として立派に製作されて居る。

5.3. 蒸気タービンの種類 (Kinds of Steam Turbines)

此れを大別すれば、衝動式と反動式となる。

(1) 衝動式タービン (Impulse Turbine)

蒸気がノズルにて壓力を降下すると共に、熱勢力の一部が運動勢力に

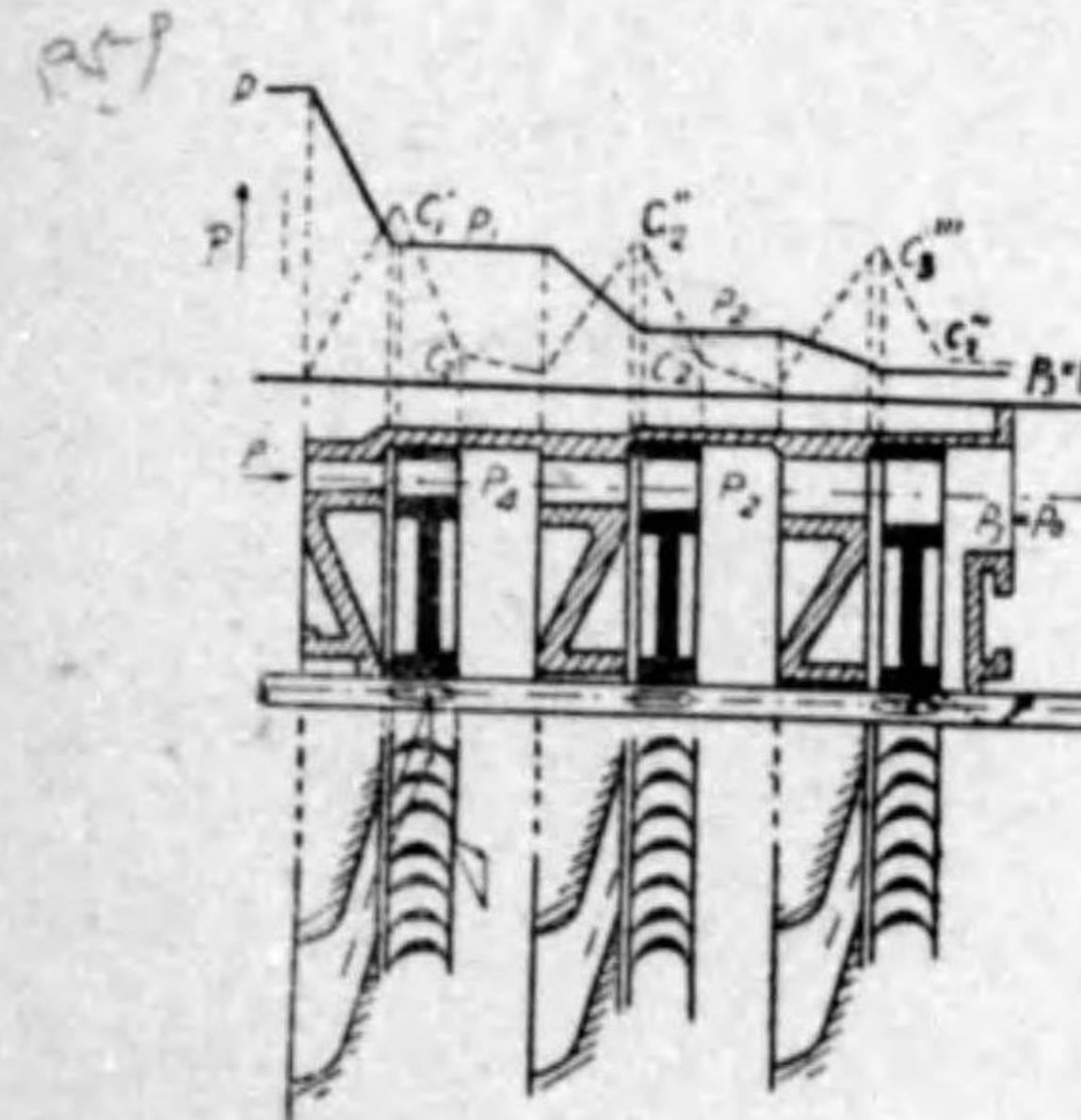
變り、速力を生じ、羽根に衝突して此れに衝動を與へると共に速度が降下し、其の反動に依つて回転子を回転する。故に動羽根列前後に於ける壓力が同一である。

此れに屬するものに

- (イ) 複壓衝動式 (Pressure Compound Impulse)
- (ロ) 複速衝動式 (Velocity Compound Impulse)
- (ハ) 複壓複速衝動式 (Pressure & Velocity Compound Impulse)

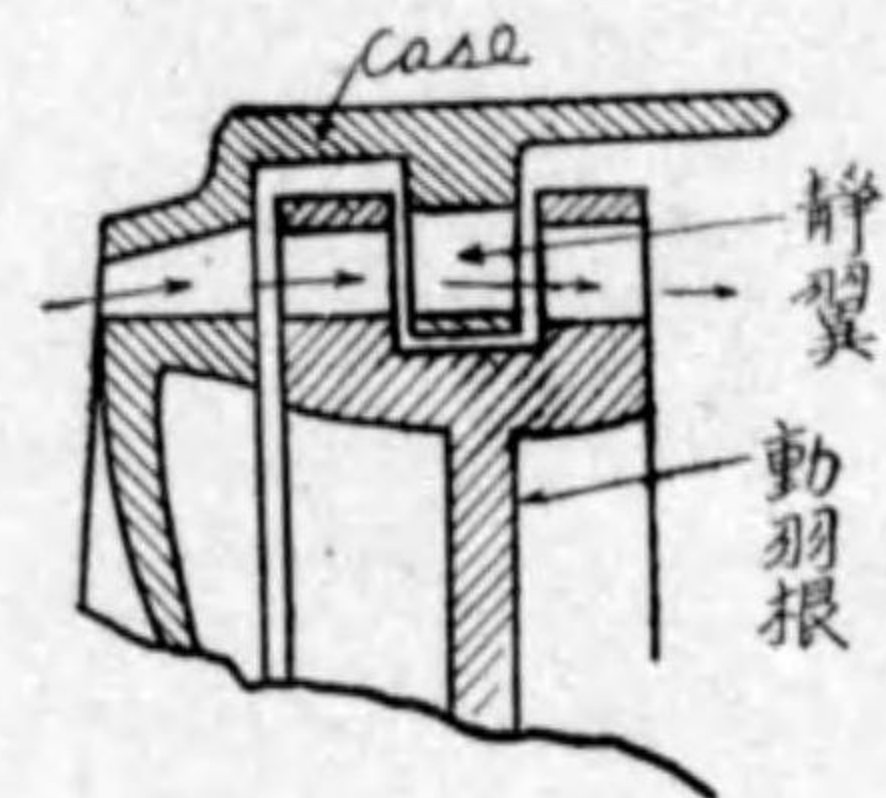
がある。

(イ) は一列の羽根を出たものが次ぎの列の羽根を通るもので、例としては Rateau Wheel があり、能率がよい。(第 136 圖参照)



P = 蒸気壓力  
 C<sub>1</sub> = 蒸気壓力 (動羽根入口に於ける)  
 C<sub>2</sub> = " (動羽根出口に於ける)

第 136 圖



第 137 圖

(ロ) ノズルより出たる蒸気を動羽根に作用せしめ、一旦静翼にて方向を轉換したる後次ぎの動羽根に作用させるもの。故に一段落に二列以上の動羽根を有するもの

である。此式のもの前者に比して能率は低いが低い速度に於て却つて効率がよく、噴口に於ける壓力を多く降下する事が出來タービンの形態を小にする事が出来る。

故に小型タービン、高壓タービンの第一段落又は船用タービンに多く用

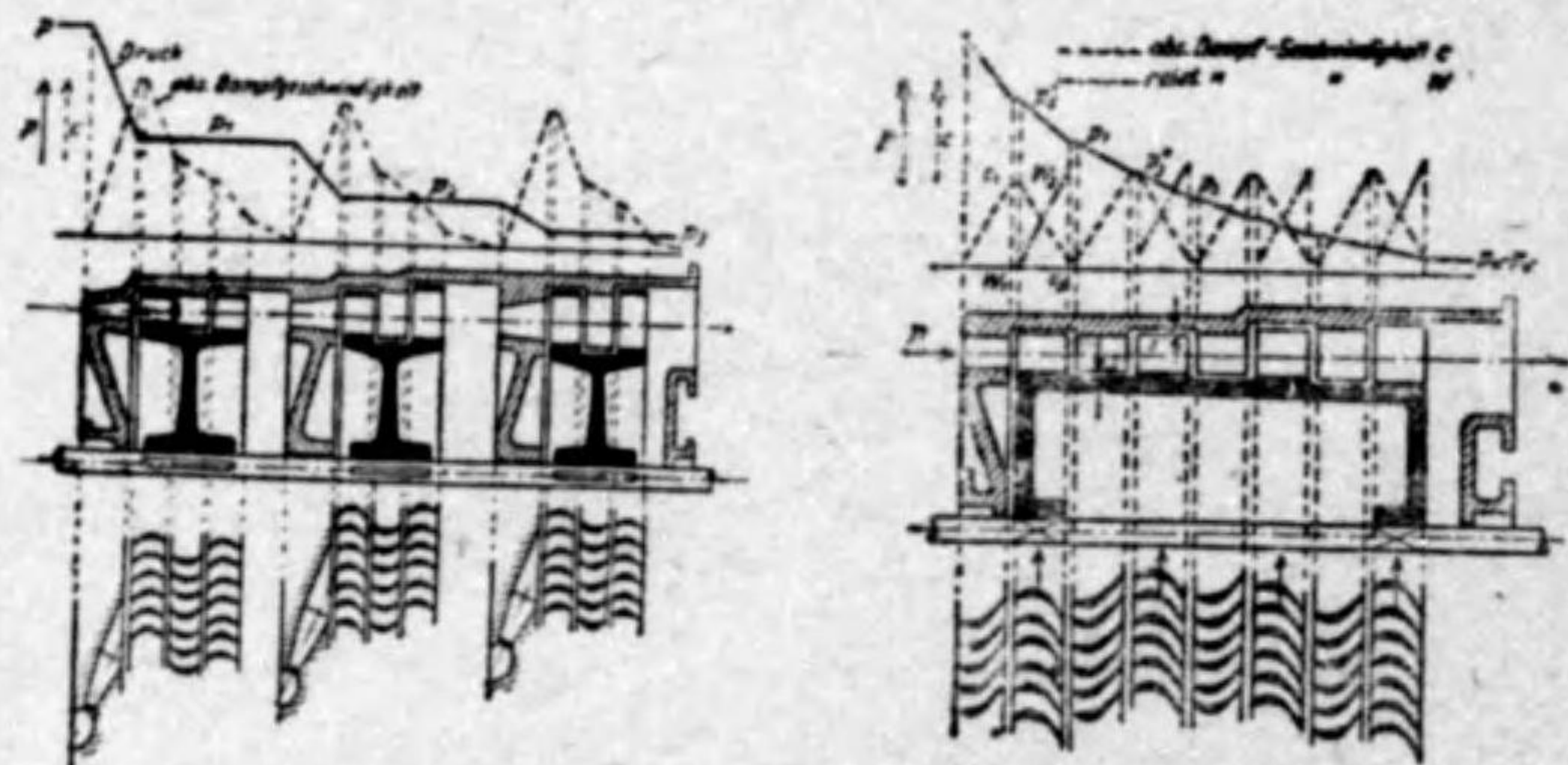
ひられる Curtis Wheel が此れに属す。(第 137 圖参照)

(ハ) 前二者を組合はせたもの。(第 138 圖参照)

### (2) 反動式タービン (Reaction Turbine)

動羽根内で蒸気圧力が降下し、速度を與へ蒸気速度の反動によつて回轉子を回轉するものである。此れが純反動式であるが實際には静羽根列間で圧力が降下し、此の時生じたる蒸気速度にて動羽根に衝動し、又動羽根列間にて壓力降下を生ずると共に速力を生じ、其の反動にて回轉子を回轉するもので嚴格に云へば衝動及反動式である。

此れに屬するものは Parson Turbine である。(第 139 圖参照)



$P$  = 蒸気の壓力  
 $C$  = 蒸気の絶対速度  
 複壓複速式衝動段落タービンの  
 蒸気壓力及速度分布

第 138 圖

$P$  = 蒸気壓力  
 $C$  = 蒸気の絶対速度  
 $W$  = 羽根に於ける蒸気の相對速度

第 139 圖

羽根の中で壓力が  $P_1'$  から  $P_1$  に下り、速度は  $W_1$  より  $W_2$  に上り、羽根を出る時此れに反動を與へる。

#### 反動式タービンの有利な點

- (1) 蒸気を徐々に作用させるから摩擦損失渦流損失が少なく、熱效率が高い。
- (2) 蒸気速度が低いから、羽根面の摩擦が少なく壽命が長い。

(3) 段数が多いから、タービンの速度の加減が自由である。

#### 反動式タービンの不利な點

- (1) 段数が多く羽根が多いから、製作の手数がかかる。
- (2) 長さが長い。殊に單流式はスラストを平衡させるためにダンミーピストンを設備するから尙長くなる。
- (3) 汽箭の温度差に基く障害の危険が多い。
- (4) 壓力が高いから高壓部汽箭を丈夫に作らねばならぬ。且つ接手等の汽箭に對して充分の注意を必要とす。
- (5) 高熱のため障害多し。

此の兩者の性質を保有するものに Sulzer Turbine がある。Curtis, Zoelly, Rateau は Impulse Turbine に屬す。

#### 蒸気の流出する方向より分類すれば

- (1) 輻流タービン (Radial Flow Turbine)
- (2) 軸流タービン (Axial Flow Turbine)
- (3) 複流タービン (Mixed Flow Turbine)
- (4) 正切流タービン (Tangential Flow Turbine)

#### 蒸気壓力による分類

- (1) 高壓タービン (High-pressure Turbine)
  - (2) 低壓タービン (Low-pressure Turbine)
  - (3) 混壓タービン (Mixed-pressure Turbine)
- (2) は 16 lb. (1.125 kg/cm<sup>2</sup>) 内外の蒸気を用ゆる場合。

#### 各種熱サイクルよりの分類

- (1) 不凝汽タービン (Non Condensing Turbine)
- (2) 凝汽タービン (Condensing Turbine)
- (3) 抽汽タービン (Bleeder, Extraction or Regeneration Turbine)
- (4) 排壓タービン (Back Pressure Turbine)
- (5) 混壓タービン (Mixed Pressure Turbine)



- (6) 再熱タービン (Reheating Turbine)
- (7) 排汽タービン (Exhaust Turbine)
- (8) 二流体タービン (Binary Fluid Turbine)
- (4) の排汽タービンは高圧の蒸気を用ひゲージ汽圧 20lb. (1.41kg/cm<sup>2</sup>) にて排汽するものを云ふ。

#### 5.4. 蒸気タービンの利点と改良されし点 (Advantage and Improvement of Steam Turbine)

- (1) 回轉力が均等なる事。
- (2) 震動の少ない事。
- (3) 蒸気消費量の小なる事。
- (4) 汽笛内に油を入れる必要なし。
- (5) 容量が大となれば其の單位出力當りの値段が非常に減する事。
- (6) 床据附面積が小である。

以上の如き有利な點が擧げられる。改良された點は

- (1) 容量及回轉數の増加。
- (2) 高壓及高温度蒸気の使用。
- (3) 高真空の使用。
- (4) タービン効率の向上。
- (5) 再熱サイクルの採用。
- (6) 再生サイクルの採用。
- (7) 抽汽排汽を工場用として利用する事。
- (8) 混流タービン及排汽タービンの發達。
- (9) 二流体タービンの實際化。

此の様な問題が解決されて其の能率は次第によくなつて來た。

#### 5.5. 蒸気タービンの主要部分 (Main Part of Turbine)

蒸気タービンの主要部分としては、蒸気を導く**靜羽根** (Guide Vane) と蒸気を受けて回轉する**動羽根** (Moving Vane) とから成る。此の羽根が

唯だ一列から成る場合には**單段落單速タービン** (Single-Stage, Single-Velocity, Turbine) と云ひ、一つの圓板に數列の羽根を取附けたものを**單段多速タービン** (Single-Stage, Multi-Velocity, turbine) と云ふ。一列の羽根を出た蒸気が、靜羽根にて其の速度をかへ、同一段落の次ぎの列の動羽根にあたる故この様な名をつける。(第 137 圖)。

軸上に圓板を幾つも取付け各圓板に羽根を一列づつ附けると段落の數が増す故、此れを**多段落單速タービン** (Multi-Stage, Single-Velocity Turbine) と云ふ。此の各圓板に二列以上羽根を取附ける時は**多段落多速タービン** (Multi-Stage, Multi-Velocity Turbine) となる。靜羽根は**外蓋** (Casing) に取附ける。(第 138 圖)

羽根の材料は今日是不銹鋼を用ゆる事が一般的になつた様であるが、數年前迄は白銅鋼を主として用ひた。最初に用ひられたのは眞鍮である。次いで磷青銅と滿俺銅となり、羽根の速度の増加と蒸気温度の上昇と共に一層強力な材料を要求し、白銅鋼又はモネルメタルが採用された。白銅鋼は腐蝕の恐れがありモネルメタルは高價である。研究の結果飯高メタル (Cu, Ni, Al 合金) や N.M ブロンズ (Ni, Mn, ブロンズ) が發明されたが大正 12 年頃より海軍で此の不銹鋼を用ひ成功した。尙ほ腐蝕及浸蝕を防ぐため羽根の一部に數十耗入口の所をタングステン、タンタラム、ステライトの如き薄板を銀鐵等で取附けたものがある。ステライトが最も成績よろしく、蒸気速度 300 m/sec にて不銹鐵の 8 倍、360 m/sec で約 2.6 倍の抵抗力を有して居る。各種のメタルの許容温度は

種類	許容温度
(1) Phosphor Bronze	232°C
(2) Manganese Copper	232°C
(3) Low Carbn Nickel Steel	260°
(4) Pure Nickel	371°C
(5) Stainless Steel (Cromium Alloy)	371°C 以上

(1) 汽室及蓋蓋。一般に 250°C 以下では鑄鐵，此れ以上は鑄鋼を用ゆ，450°C 以上はニッケル・クローム，モリブデナムを含む鐵鋼を用ゆ。

(2) 噴口及隔板。250°C 以上は鑄鋼，400°C 迄はパーライト鑄鋼，噴口板には一般に 5% 白銅鋼及不銹鋼を用ゆ。

(3) 車軸及羽根車。高炭素鋼 400°C 以上にはクローム，ニッケル，モリブデナムを含む特殊鋼及びニッケル・クローム鋼を用ゆ。

此の羽根はタービン中最も大切な部分であつて，此れによつて數萬キロの動力を出す事になる。故に十分試験して其の強さを検査せねばならぬ。其れは靜的試験だけでは不十分で實際使用せられる状態，即ち動的試験をなす事が必要である。又タービンが運轉して居る状態にて外部的變調 (Vibration の聽音機) によりて試験する。羽根の能率に付き次ぎの如き表はし方をなす。

$$\text{Blade Efficiency} = \frac{\text{Blade によりて現はす機械的動力}}{\text{Blade に與へられた蒸汽の保有する勢力}} \approx 80\%$$

前述の如く相當高きものもある。

羽根に次いで問題となる部分は回轉部と固定部との間に蒸汽の洩れない様にパッキング (Packing) を行う事である。此れに通常用ひられるものは

- (1) Water Packing
- (2) Steam Packing
- (3) Carbon Packing
- (4) Rabyrinth Packing

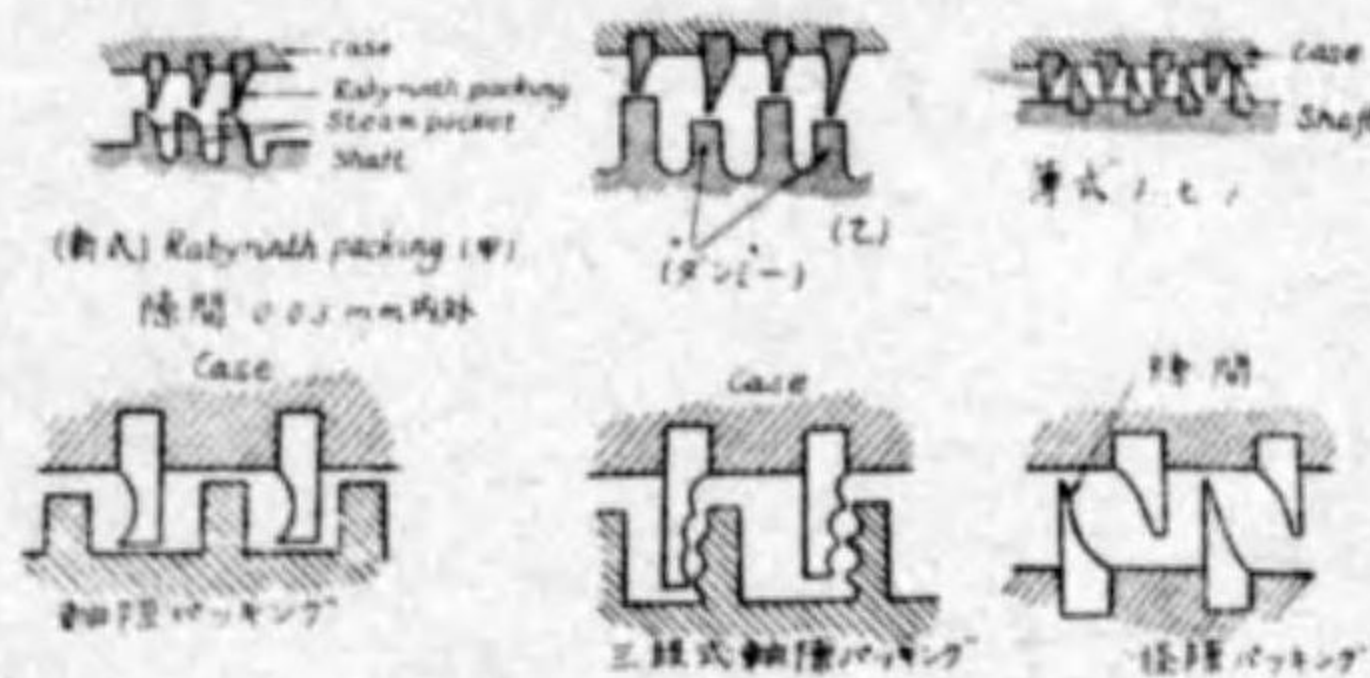
がある。

(1) Water grand, 此れはアメリカで用ひた方法で，軸に遠心ポンプの如きものを作り水を通して，高壓を與へて Packing の役目をなさせる。氣密 (air tight) となる。Grand と云うたのはタービンの軸が汽室から出る所を云う。高壓側は蒸汽が内側から外側に洩れ，低壓の方は外側の空氣

が内側に這入る。此の Water Packing は低壓側に用ゆ。高壓側には (4) が用ひらる。此の Water grand は遠心力を利用したものであるから，速度の低い場合には役に立たぬ。この様な時は Steam を通して Packing をなす。(4) の Rabyrinth Packing は小さな隙間から廣い所に蒸汽が噴出する時は此處に高壓力を生じ，更らに蒸汽の漏洩するのを防ぐ。此の原理を應用したもので，高壓側に用ひられる。此れは Parson 氏が發明したものである。一般に Bronze 製である。(第 140 圖参照)

軸承速度が早く，重量も大であるから軸承に十分注意をせねばならぬ。

スラスト軸承を用う。キングスブリースラスト軸承が用ひらる。壓力 25 ~ 35kg/cm<sup>2</sup> に耐ゆ。油



第 140 圖

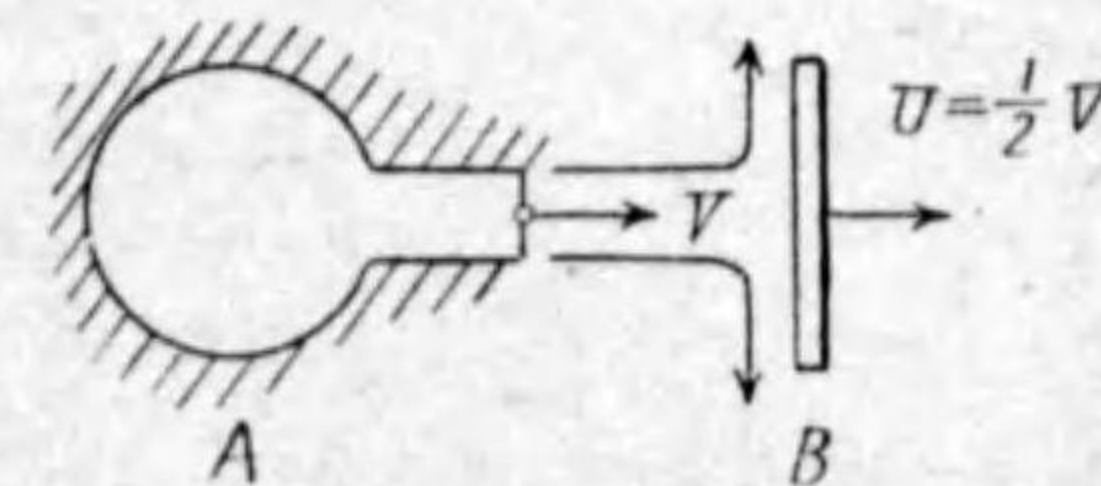
をよく循環させる。其の溫度は攝氏 70 度を越えない事。油を冷却するため水を流すものと油の方を循環して冷却するものとある。油の引火點は 170°C 位である。

ダンミー 反動式タービンの時は動羽根の兩面の壓力の差が甚だしい爲め動羽根が高壓側から低壓側に押されるので此れに平衡を保つために高壓側に設置したものである。

5.6. 蒸汽タービンの水力學的考察 (Hydraulic Treatment of Steam Turbine)

(イ) 衝擊作用 (Impulsive Effect)

A より蒸汽が噴出して，B 平面上に直角にあたる場合。



① 此の面の受ける壓力 P kg

第 141 圖

は板が静止する時

$$P = \frac{W}{g} V \text{ kg}$$

$W$  = 噴出蒸気の毎秒の重量 kg/sec.

$V$  = 噴出蒸気の絶対速度 m/sec.

② 板が  $U$  m/sec. で噴出蒸気の方に動く場合

$$P = \frac{W}{g} (V - U) \text{ kg}$$

③, ② の時, 板の上になされる仕事は

$$L = \frac{W}{g} (V - U) U \text{ kg-m}$$

然るに噴流のエネルギーは  $\frac{WV^2}{2g}$  なる故

$$\text{効率 } \eta = \frac{L}{\frac{WV^2}{2g}} = \frac{2(V-U)U}{V^2}$$

故に, 最大効率を與へる速度  $U$  は

$$\frac{d\eta}{dU} = 0 \text{ 即ち } U = \frac{1}{2}V$$

故に  $\eta_{\max} = \frac{1}{2}$

即ち衝撃による場合は,  $\frac{1}{2}$  より大なる効率は得られない。

(□) 反働作用 (Reactive Effect)

蒸気が噴出したため, 容器の方が動く場合, 此の時の壓力は (イ) の場合と同様である。

$R$  = 反働力 (Reactive Force), kg とすれば

$$P = R = \frac{W}{g} V \text{ kg}$$

① 容器が噴流と反対の方向に動く速度を  $U$  とすれば

$V$  = 噴流の絶対速度 m/sec.

$v$  = 噴流の容器に対する相対速

$$\text{度} = V - U \text{ m/sec.}$$

従つて

$$R = \frac{W}{g} (v + U) = \frac{W}{g} V \text{ kg}$$

② 若し, 容器が噴流により単位時間に, 距離  $U$  だけ動けば其の間に爲される仕事は

$$L = \frac{W}{g} V U \text{ kg-m}$$

前同様にして

$$\text{効率 } \eta = \frac{L}{\frac{WV^2}{2g}} = \frac{2VU}{V^2} = \frac{2U}{V}$$

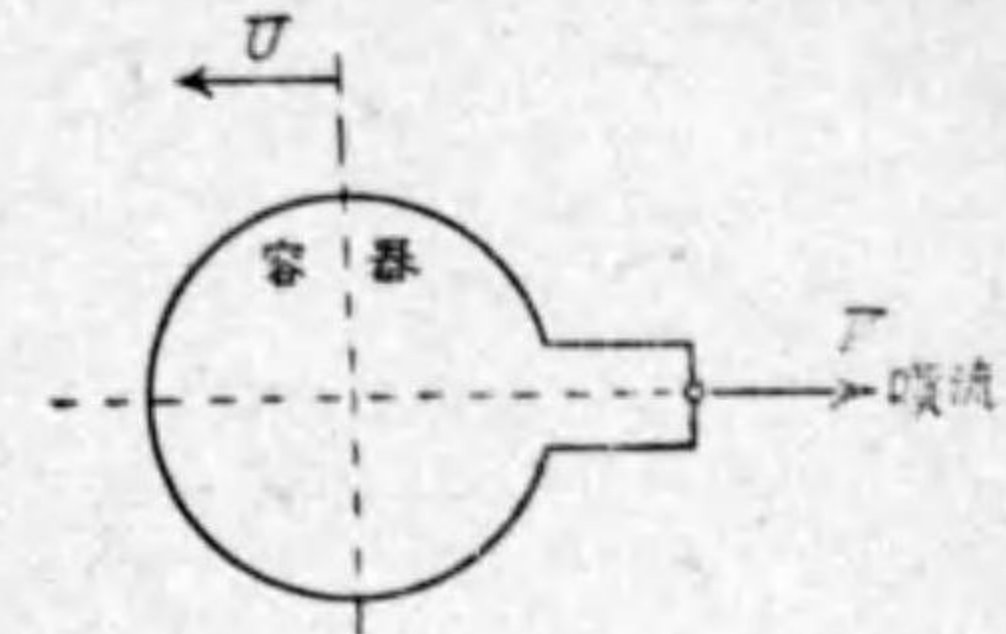
此の効率が最大となるためには  $U = \frac{V}{2}$  であつて, 此の時の

$$v = V - \frac{V}{2} = \frac{V}{2} \quad \eta = 1$$

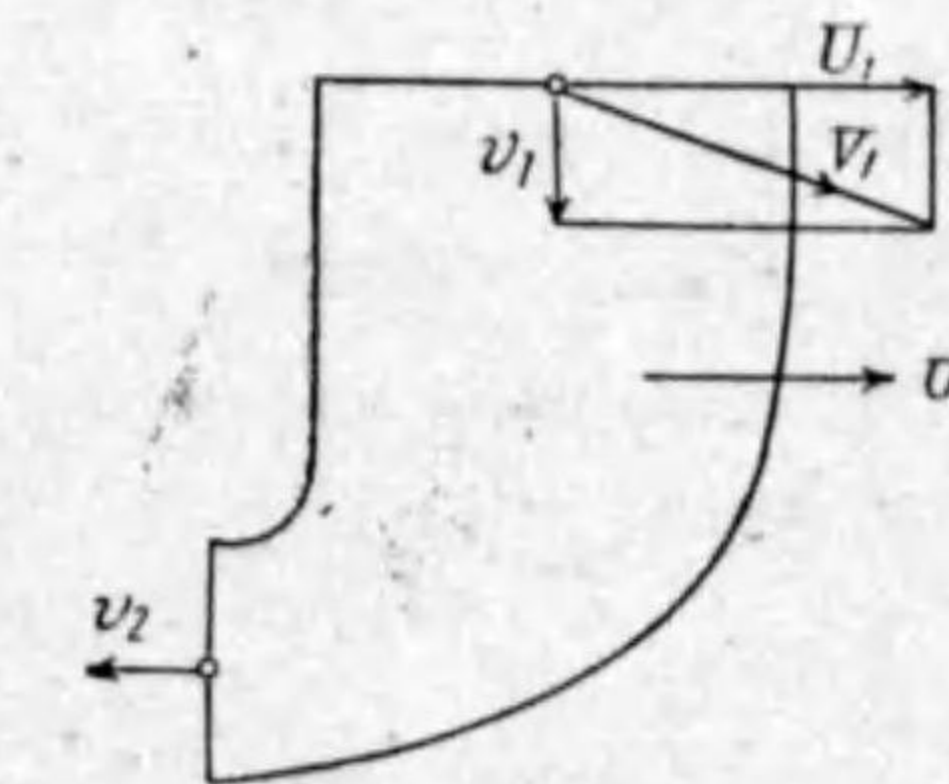
此の場合は, 噴流エネルギーは, 總て機械の仕事にかへられる。實際には, 斯くの如き容器は出来ない。しかし, 動羽根内にて蒸気を膨脹せしめて得られる。動羽根の入口で衝撃を與へず蒸気が  $v_1$  なる速度で流入する。動羽根内にて膨脹して  $v_2$  にて噴出するとする。此の反働は

$$R = \frac{W}{g} v_2 \text{ kg}$$

此のために汽翼が  $U$  の速度で動くものとすれば, 爲される仕事は



第 142 圖



第 143 圖

此の場合流入蒸気速度  $v_1$  に対する流入蒸気の絶対速度と其の方向とは

$$L = \frac{W}{g} v_1 U \quad \text{kg-m}$$

第 143 圖に於ける  $V_1$  となり又  $v_2$  の絶対速度は  $V_2 = v_2 - U$  となる。

$$\text{動羽根入口に於ける蒸気の運動のエネルギー} - \frac{V_1^2}{2g} = L_1$$

$$\text{動羽根内蒸気膨脹による運動のエネルギー} - \frac{v_2^2}{2g} = L_2$$

$$\text{全エネルギー} \quad L_0 = L_1 + L_2$$

然るに動羽根出口に於ける蒸気の運動エネルギー  $L_3 = \frac{V_2^2}{2g}$  となる。故に動羽根に實際なされる仕事  $L$  は

$$L = L_0 - L_3 = \frac{V_1^2 + v_2^2 - V_2^2}{2g} = L_0 - \frac{V_2^2}{2g}$$

此の時最大仕事は  $V_2^2 = 0$  の時に得られる。即ち  $v_2 = U$  の時である。故に

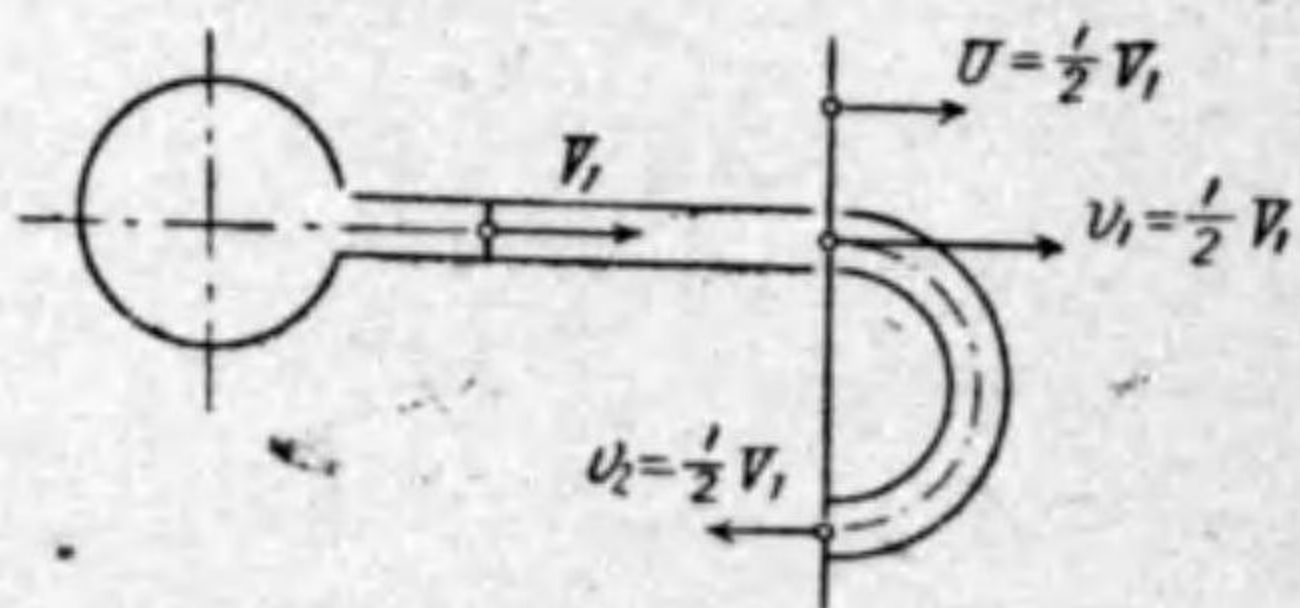
$$\eta = \frac{L}{L_0} = 1, \quad L_{\max} = \frac{V_1^2 + v_2^2}{2g}$$

(ハ) 衝撃及び反働作用 (Impulse and Reactive Effect)

平面に蒸気を吹きつける代りに、半圓筒形の動羽根を用ゆる時は、蒸気の流れる方向は出口に於て丁度逆になる。

① 羽根が静止し、損失なく、入口と出口の速さ等しき時 (第 144 圖参照)

$$P + R = \frac{2WV_1}{g} \text{ kg}$$



第 144 圖

② 羽根が蒸気の方に  $U$  の速度にて動けば

$$P + R = 2 \frac{W(V_1 - U)}{g} \quad \text{kg}$$

③ 羽根が単位時間に  $U_m$  の距離動けば爲される仕事は

$$L = (P + R)U = 2 \frac{W(V_1 - U)U}{g} \quad \text{kg-m}$$

従つて前同様效率は

$$\eta = L / \frac{WV_1^2}{2g} = \frac{4(V_1 - U)U}{V_1^2}$$

最大效率を與ふべき  $U$  の値は

$$U = \frac{1}{2} V_1 \quad \therefore \eta = 1$$

(ニ) 反働率 (Reaction Degree)

$\rho$  を以て反働率を表はすときは、此れを次ぎの如く表はす事が出来る。

$h_n$  = 噴口内又は静羽根内で運動のエネルギーに變化した熱勢力

$h_b$  = 動羽根で運動に變じた熱勢力

$$\rho = \frac{h_b}{h_n + h_b}$$

にて表はさる。

衝撃式に於ては  $\rho = 0$

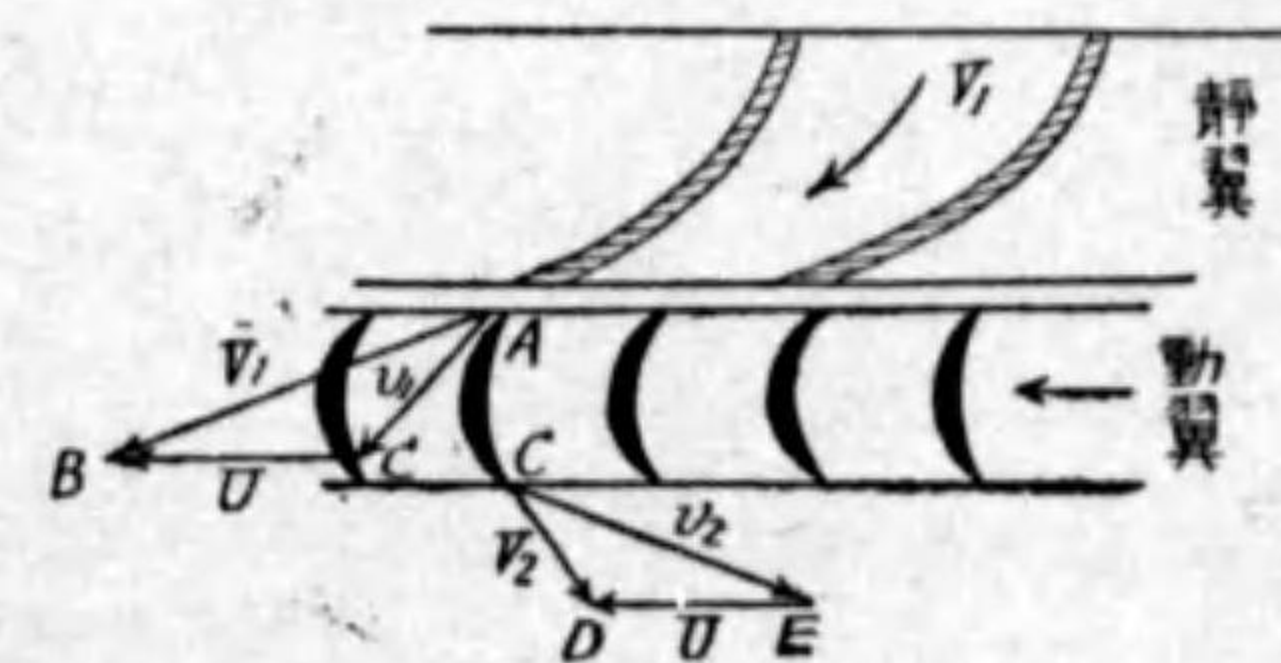
反働式に於ては  $\rho \neq 0$  約  $\approx 0.5$

となる。

5.7. 動羽根になされる

仕事的一般式 (General Formula for Blade Efforts)

蒸気タービン内の蒸気の摩擦、衝撃及渦流其他の原因に歸因する損失を無いものとす



第 145 圖

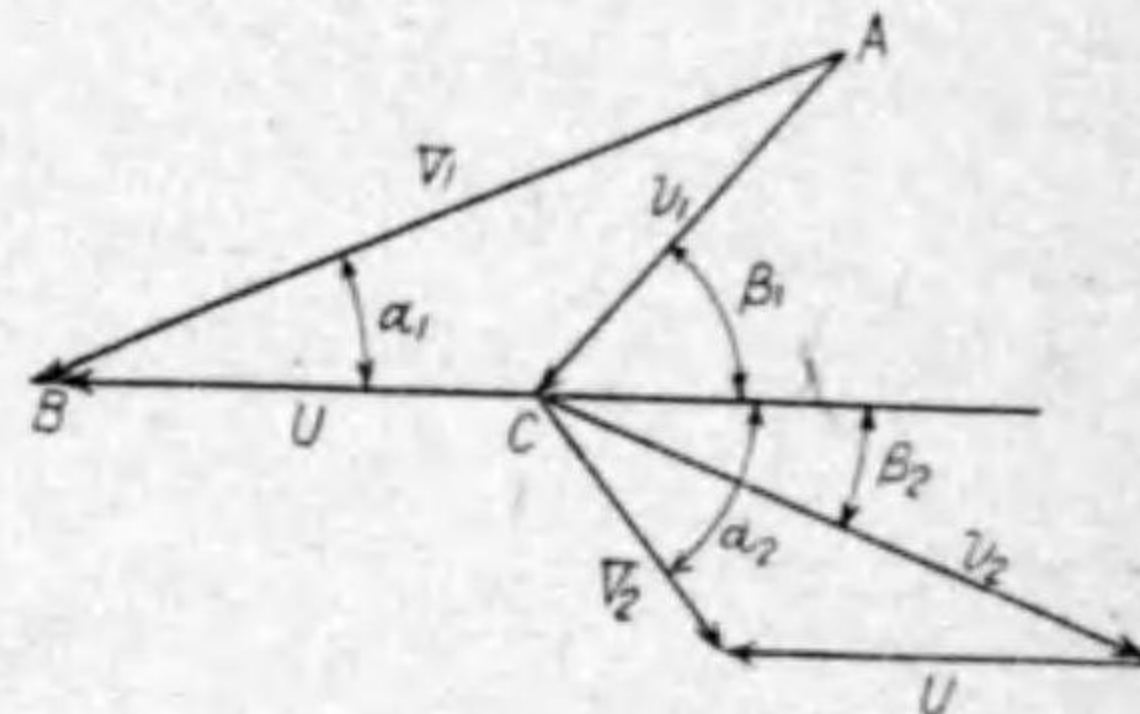
れば、これに加へられた熱エネルギーが機械的エネルギーに変化する状態を蒸気の質量及び速度より水力学的に計算することが出来る。

第145圖に於て動羽根の入口に於ける蒸気の絶対速度  $V_1$ 、動羽根の速度  $U$  をとすれば  $v_1$  が此の動羽根

に対する相対速度となる。同様に羽根の出口に於ても  $V_2$  が蒸気の絶対速度で  $v_2$  が相対速度となる。

**軸方向の流れ (Axial Flowing)**

此の時羽根に働く力は衝撃力と反働力との和となり、単位重量の蒸気に対する力は



第146圖

$$F = P + R = \frac{1}{g}(v_1 \cos \beta_1 + v_2 \cos \beta_2)$$

又此の時の車軸に対する回轉力 (Torque) は

$$T = rF = \frac{r}{g}(v_1 \cos \beta_1 + v_2 \cos \beta_2)$$

但し  $r$  = 動羽根輪平均半径  $m$

此の時の角速度 (Angular Velocity)  $\omega$  を知れば、単位重量の蒸気のなす仕事は

$$L_b = T\omega = \frac{\omega r}{g}(v_1 \cos \beta_1 + v_2 \cos \beta_2)$$

しかるに  $\omega r = U$  なる故

$$L_b = \frac{U}{g}(v_1 \cos \beta_1 + v_2 \cos \beta_2)$$

(衝撃)      (反働)

此れは又運動のエネルギーの減少  $\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$  に等しくなるべきである。

$v_2$  が  $v_1$  より大なる時は  $\rho > 0$  にして  $v_2 = v_1$  の時は  $\rho = 0$  となる。

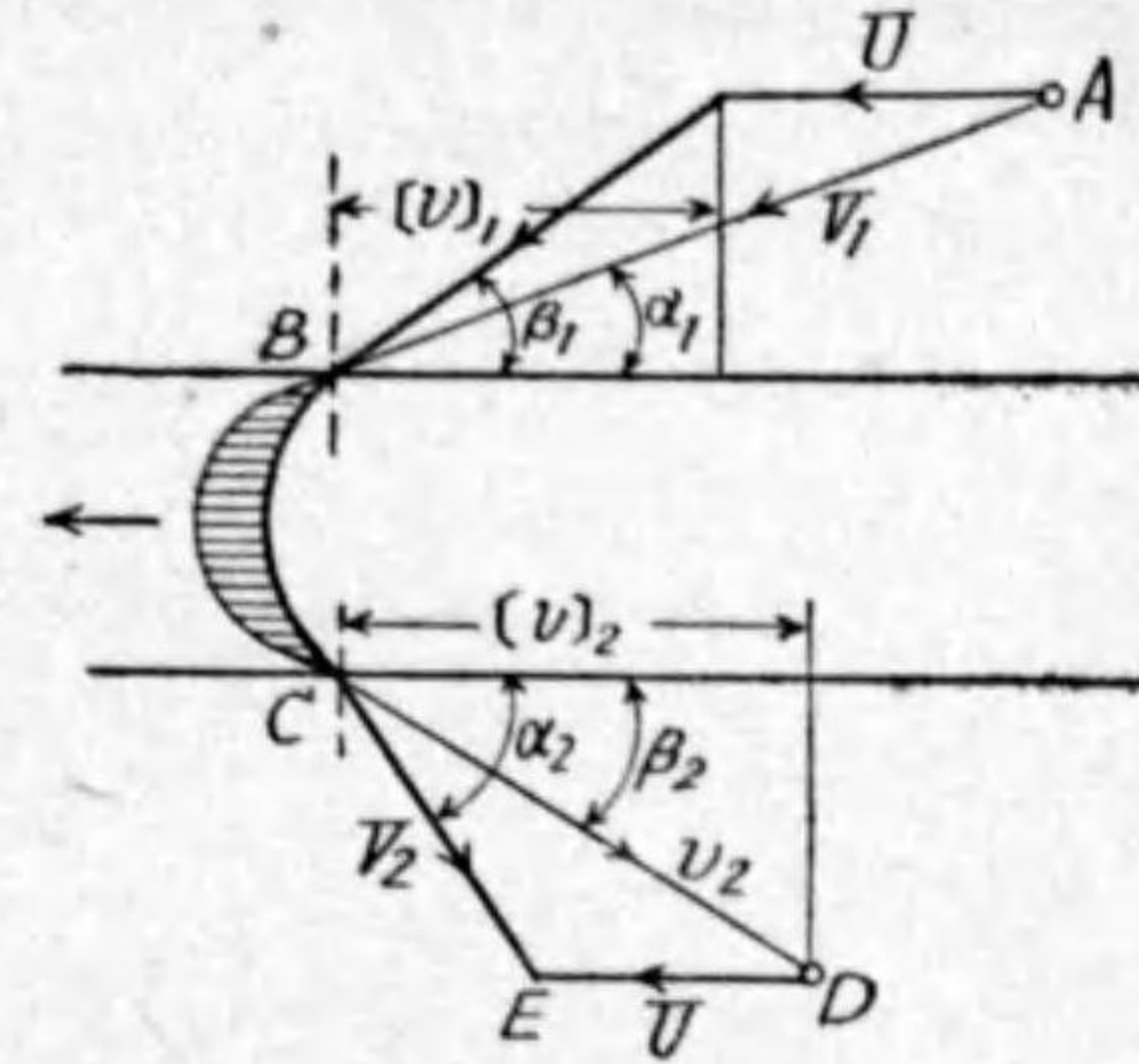
又  $h_a = \frac{V_1^2 W}{2g}$ ,  $h_b = \frac{W}{2g}(v_2^2 - v_1^2)$

故に  $v_2^2 - v_1^2 = \frac{\rho}{1-\rho} V_1^2$

5.8. 蒸気タービンの効率

(I) 衝撃タービンの動羽根速度係數及動羽根線圖効率

第147, 148圖に於て單位量の蒸気により汽翼になされる仕事は、衝撃タービンに於ては、蒸気は動羽根内通過中壓力降下を伴はざる爲、動羽根内に於て速度の増加をなさず、其れ故摩擦其他の損失を伴へば流出速度



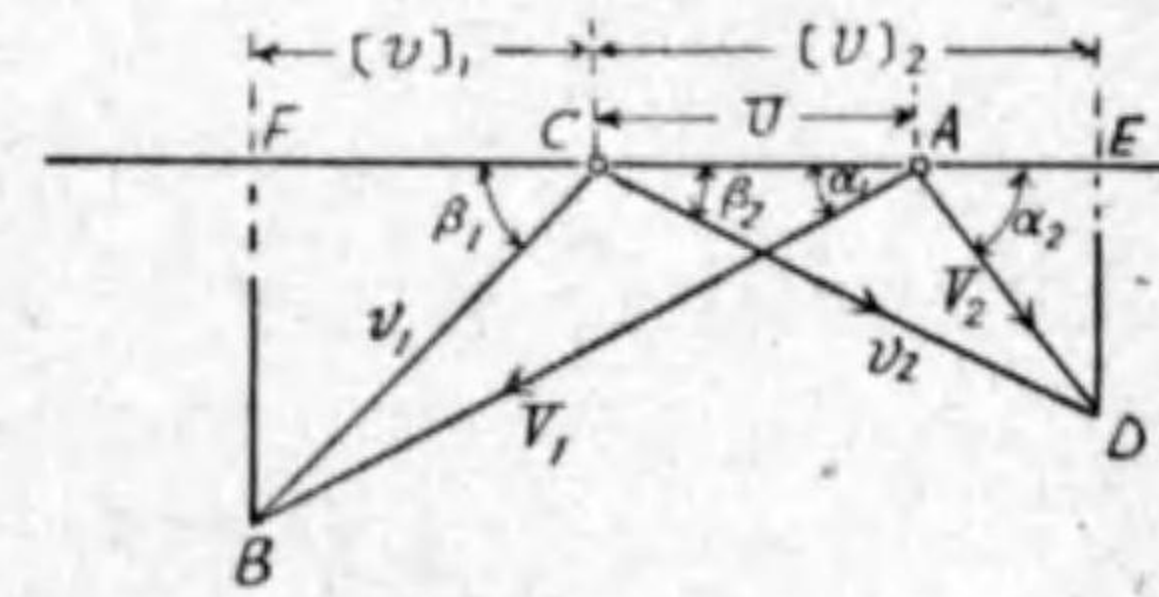
第147圖

$v_2$  は常に流入速度  $v_1$  より減すべきである。即ち

$$v_2 < v_1 \quad v_2 = \phi v_1$$

此の  $\phi$  を動羽根速度係數

(Blade Velocity Coefficient) と名付ける。



第148圖

動羽根入口に於ける蒸気の運動のエネルギー  $\frac{V_1^2}{2g}$

動羽根出口に於ける蒸気の運動エネルギー  $\frac{V_2^2}{2g}$

實際動羽根内で消費されるエネルギーは

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} = \text{動羽根内損失} + \text{有效仕事}$$

$$= \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{(v_1 \cos \beta_1 + v_2 \cos \beta_2) U}{g}$$

Blade Efficiency =  $\frac{\text{有效仕事に變更されるエネルギー}}{\text{入口に於て蒸気を持つ全エネルギー}}$

これは又線圖動羽根効率 (Diagram Blade Efficiency) とも云ふ。

$$\text{即ち } \eta_d = \frac{(v_1 \cos \beta_1 + v_2 \cos \beta_2) U / g}{V_1^2 / 2g} = \frac{2U(v_1 \cos \beta_1 + v_2 \cos \beta_2)}{V_1^2}$$

$$= \frac{2U([v]_1 + [v]_2)}{V_1^2} = 2U \frac{EF}{AB^2}$$

$$[v]_1 = v_1 \cos \beta_1 = V_1 \cos \alpha_1 - U, \quad v_1 = \frac{V_1 \cos \alpha_1 - U}{\cos \beta_1}$$

$$v_2 = \psi v_1$$

此れを前式に代入すると

$$\eta_d = 2 \left[ 1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right] \frac{U}{V_1} \left[ \cos \alpha_1 - \frac{U}{V_1} \right]$$

$$= 2\tau \frac{U}{V_1} \left[ \cos \alpha_1 - \frac{U}{V_1} \right], \quad \tau = \left[ 1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right]$$

Blade の断面積が與へられ速度係数が與へられる時は  $\beta_1, \beta_2, \psi$  は一定となる故  $\tau$  は恒數となり、ノズルの噴出角度  $\alpha_1$  が一定ならば動羽根効率は唯  $\frac{U}{V_1}$  のみの函數となる。此の比を速度比 (Velocity Ratio) と呼び、タービン効率考究上最も重要な意味を持つ。

$$\text{今 } \xi = \frac{U}{V_1} \text{ とすれば}$$

$$\eta_d' = 2\tau\xi[\cos \alpha_1 - \xi]$$

此の時の最大効率は  $\xi$  に対して

$$\frac{d[\xi(\cos \alpha_1 - \xi)]}{d\xi} = 0$$

$$\therefore \cos \alpha_1 - 2\xi = 0, \quad \xi = \frac{\cos \alpha_1}{2}, \quad U = \frac{V_1 \cos \alpha_1}{2}$$

$$\eta_d'(\max) = 2\tau \frac{\cos \alpha_1}{2} \left( \cos \alpha_1 - \frac{\cos \alpha_1}{2} \right) = \frac{\tau \cos^2 \alpha_1}{2}$$

若し  $\beta_1 = \beta_2$  の時は

$$\eta_d'(\max) = (1 + \psi) \frac{\cos^2 \alpha_1}{2}$$

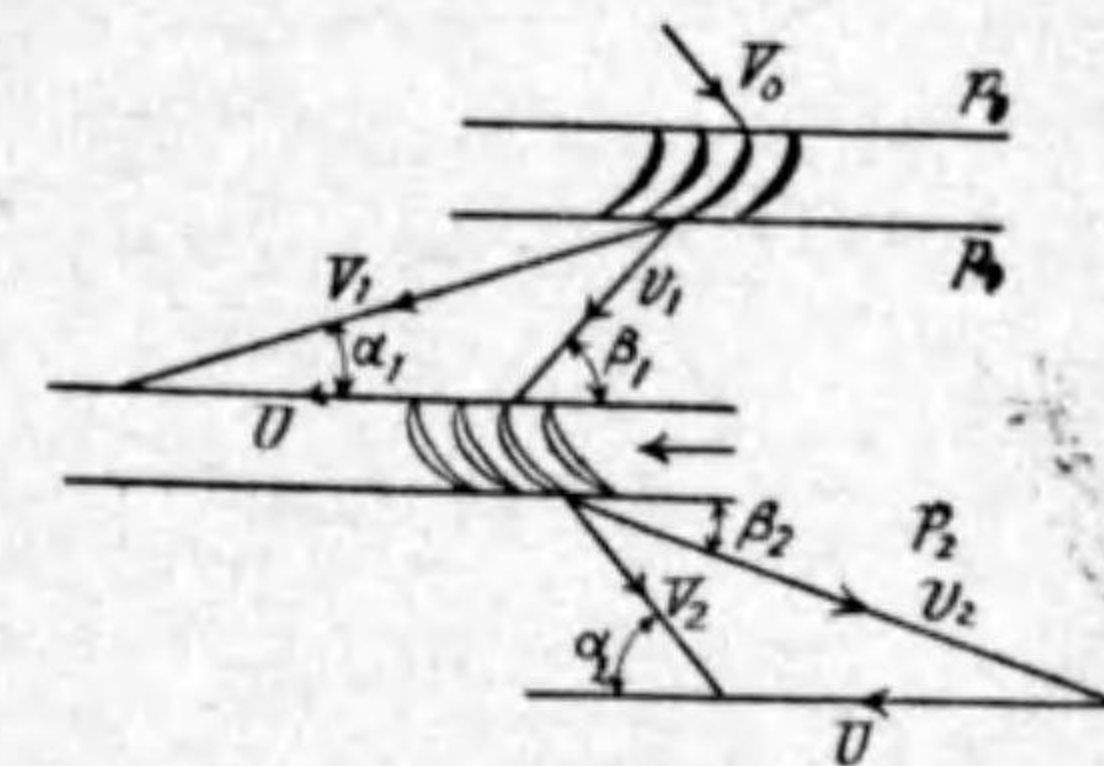
動羽根内の損失がなき時は  $\psi = 1$

$$\therefore \eta_d'(\max) = \cos^2 \alpha_1$$

ノズルノ噴出角  $\alpha_1$  のみの函數となる。

### (II) 反動タービン動羽根の形と段落効率

此の場合は静動兩羽根内にて蒸気を膨脹させるから衝撃タービン羽根の如く断面を對稱的に作る事が出来ない。第149圖の如く回轉方向に對する動羽根入口角  $\beta_1$  は出口角  $\beta_2$  に比べて非常に大である。反動率=0.5 とすると次ぎの如き關係が必要である。



第 149 圖

$$\beta_1 = \alpha_2, \quad \alpha_1 = \beta_2, \quad V_1 = v_2, \quad V_2 = v_1$$

となる。全然損失を伴はざる場合、單位蒸気量によりてなされる仕事は

$$L_b = \frac{U}{g} (2V_1 \cos \alpha_1 - U) = \frac{V_1^2}{g} (2\xi \cos \alpha_1 - \xi^2)$$

$$\text{但 } \xi = \frac{U}{V_1}$$

前段落よりの排出速度  $V_2$  を全然利用しないものとすれば、一段落に消費されるエネルギーの全量

$$= 2 \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_1^2}{g}$$

故に段落 (静動羽根一對) 線圖効率

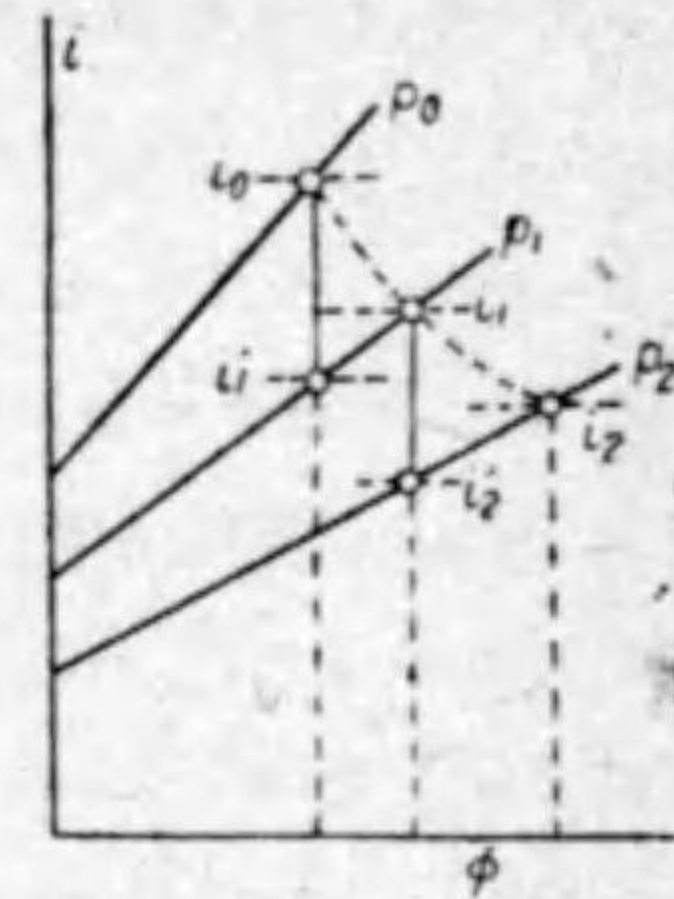
$$\eta_d = \frac{L_b}{V_1^2/g} = 2\xi \cos \alpha_1 - \xi^2$$

$$\text{効率最大の條件 } \frac{d\eta_d}{d\xi} = 0 \text{ より}$$

$$2 \cos \alpha_1 - 2\xi = 0 \quad \therefore \xi = \cos \alpha_1$$

$$\text{従つて } \eta_d(\max) = \cos^2 \alpha_1$$

$\xi$  は衝撃タービンの場合の2倍となる。効率と同様となり  $\alpha_1=0$  の時効率は1となる。実際の場合は  $\alpha_1=\beta_2=19^\circ$  位となる。尚段落を出た蒸気は次ぎの段落で利用されたり、蒸気が羽根を通るとき生ずる損失などを考へねばならぬ。静動兩汽翼に於ける壓力降下及熱降下を示せば第150圖の如し。



第150圖

	壓力範圍	斷熱降下	有效熱降下
靜羽根	$p_0 \rightarrow p_1$	$i_0 - i_1'$	$i_0 - i_1$
動羽根	$p_1 - p_2$	$i_1 - i_2'$	$i_1 - i_2$

反働率 0.5 に對して  $i_0 - i_1 = i_1 - i_2$

自然流入側と流出側に對する速度係數を區別して考へ

$\sigma$  = 流入速度  $V_1$  又は  $v_2$  に對する速度係數 ( $v_2 = V_1$ )

$\psi$  = 排出速度  $V_2$  又は  $v_1$  に對する速度係數 ( $v_1 = V_2$ )

とすれば

靜羽根内斷熱降下

$$i_0 - i_1' = \frac{W}{2g} \left[ \left( \frac{V_1}{\sigma} \right)^2 - (\psi V_0)^2 \right]$$

動羽根内斷熱降下

$$i_1 - i_2' = \frac{W}{2g} \left[ \left( \frac{v_2}{\sigma} \right)^2 - (\psi v_1)^2 \right]$$

故に靜動兩羽根内の斷熱降下

$$Q = (i_0 - i_1') + (i_1 - i_2') = \frac{W}{2g} \left[ \left( \frac{V_1}{\sigma} \right)^2 - (\psi V_0)^2 + \left( \frac{v_2}{\sigma} \right)^2 - (\psi v_1)^2 \right]$$

$$\therefore V_1 \approx v_2, \quad V_0 \approx v_1 \approx V_2$$

線圖より  $v_1^2 = V_1^2 + U^2 - 2V_1U \cos \alpha_1$

$$\therefore Q = \frac{W}{g} \left[ \left( \frac{V_1}{\sigma} \right)^2 - \psi^2 (V_1^2 + U^2 - 2V_1U \cos \alpha_1) \right]$$

$$\text{從つて } Q = \frac{WV_1^2}{g} \left[ \left( \frac{1}{\sigma} \right)^2 + \psi^2 (2\xi \cos \alpha_1 - \xi^2 - 1) \right]$$

然るに實際の仕事は

$$L_0 = \frac{V_1^2}{g} (2\xi \cos \alpha_1 - \xi^2)$$

故に線圖效率は

$$\eta_a = \frac{AL}{Q} = \frac{2\xi \cos \alpha_1 - \xi^2}{\left( \frac{1}{\sigma} \right)^2 + \psi^2 (2\xi \cos \alpha_1 - \xi^2 - 1)}$$

即ち  $\eta_a$  は  $\alpha_1$  と  $\xi$  との函數となる。

出口角を一定とするときは

$$\eta_a = \frac{a\xi - \xi^2}{b\xi - \xi^2 + d}$$

とかく事が出来  $a, b$  及  $d$  は常數であつて Martin は Parson 標準形羽根に對して次ぎの如き式を與へた。

$$\eta_a = \frac{1.879\xi - \xi^2}{1.085\xi - 0.578\xi^2 + 0.532}$$

此れは排出残留速度を全部次の羽根で利用されるものとし又羽根尖端漏洩損失も考慮してないので實際のものは此れより低く  $\eta_s = \nu\eta_a$  として與へらる。

例 蒸汽タービンに絶對壓力  $14.05 \text{ kg/cm}^2$ 、溫度  $249^\circ\text{C}$  の飽和蒸汽を速度  $30.5 \text{ m/sec}$  にて入れる。此の時  $1 \text{ kg}$  の蒸汽の現はすエネルギーを求む。廢汽口の高さを水準位とし、 $1.5 \text{ m}$  とす。

解 此の時エネルギーの總量を表はす式は

$$\text{全エネルギー} = h + \frac{1}{2} \frac{v^2}{g} + AZ$$

$$h = \text{蒸冷の全熱力} = 698.5 \text{ kcal/kg}$$

$$v = 30.5 \text{ m/s}, g = 9.8 \text{ m/s}^2.$$

$$Z = 1.5 \text{ m}, A = \frac{1}{427}$$

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kg-m}, AZ = \frac{1.5}{427} = 0.00352$$

$$\text{故に } \frac{1}{2} \frac{130.51^2}{9.8} = 474 \text{ kg-m/kg} = 1.112 \text{ kcal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{全エネルギー} &= 698.5 + 1.112 + 0.00352 \\ &= 699.62 \text{ kgal/kg.} \end{aligned}$$

### 5.9. 蒸気消費量と効率 (Steam Consumption and Turbine Efficiency)

蒸気タービンは最初回転数が高いため大容量のものが出来なかつた。以前のものは第44表の如し。

第 44 表

馬力	速度 (r.p.m.)
1,000	8,000
2,000	5,700
3,000	5,160
4,000	4,030
5,000	3,600
7,000	3,040
10,000	2,550
12,000	2,330
15,000	2,090
18,000	1,900
20,000	1,800

其後技術の進歩と共に 50,000 kW にて 3,600 r.p.m. の如き高速大容量が出来た。過熱蒸気を用ゆる時は蒸気消費量は少なくて済む。6.8°C 毎に 1% 位の割合で減少す。

排汽圧を減ずる事も有効 0.46 lb./inch<sup>2</sup> (0.0324 kg/cm<sup>2</sup>) から 0.25 lb./inch<sup>2</sup> (0.0176 kg/cm<sup>2</sup>) (絶対) に減じたため消費量が 8.95% 減じた例も

ある。更に 0.22 lb./inch<sup>2</sup> (0.0155 kg/cm<sup>2</sup>) と減ずる時は 4.65% 蒸気消費量が減す。

タービンの単位出力 (kW-hr 又は hp-hr) に対する蒸気の消費量は次第に減少して来た。蒸気タービンの能率を考へる場合には其の損失を考へねばならぬ。タービンの諸損失は便宜上此れを内部損失と外部損失とに大別する。

#### 内 部 損 失

- (1) ノズル損失。ノズル内に於ける蒸気の摩擦、渦流等に依つて生ずる損失。6~28% 位
- (2) 羽根の損失。静羽根、及動羽根に於ける蒸気の摩擦、渦流等に依つて生ずるもの。6~30%
- (3) 残留蒸気の熱及速度損失。3~5%
- (4) 回転摩擦損失。所謂風損 2~5%
- (5) 羽根のポンプ作用による損失。3~15%
- (6) ダンミー漏洩損失及グラウンド漏洩損失。1~2%

#### 外 部 損 失

- (1) 軸承損失、油ポンプ及调速機用動力。1~2%
- (2) 熱の放散損失

普通に用ゆる能率

$$\text{ランキンサイクル効率} = \frac{\text{利用熱量}}{\text{送入熱量}} = \frac{H_1 - H_2}{H_1 - h_2}$$

但し  $H_1$  = 送入蒸気の保有熱量

$H_2$  = 排汽の保有熱量

$h_2$  = 排汽温度に於ける復水保有熱量

$$\text{ランキン・サイクル効率比} = \frac{\text{熱量換算出力}}{H_1 - H_2}$$

此の効率比がタービンの設計及工作の良否を示し、同時にノズル、羽根、或は軸承の損失の程度を示す。



熱効率 (Thermal Efficiency) = (ランキン・サイクル効率)

$$\times (\text{ランキン・サイクル効率比}) = \frac{\text{熱量換算出力}}{H_1 - h_2}$$

ランキン・サイクル効率 65~70% (小容量)

30~50% (補助機用)

75~78% (5,000~10,000 kW)

78~80% (20,000~30,000 kW)

全負荷以下に於て最高効率を現はす様に設計する時其の時の出力を**經濟出力**と云ふ。輕負荷の時は蒸気消費量が増加する。

例へば

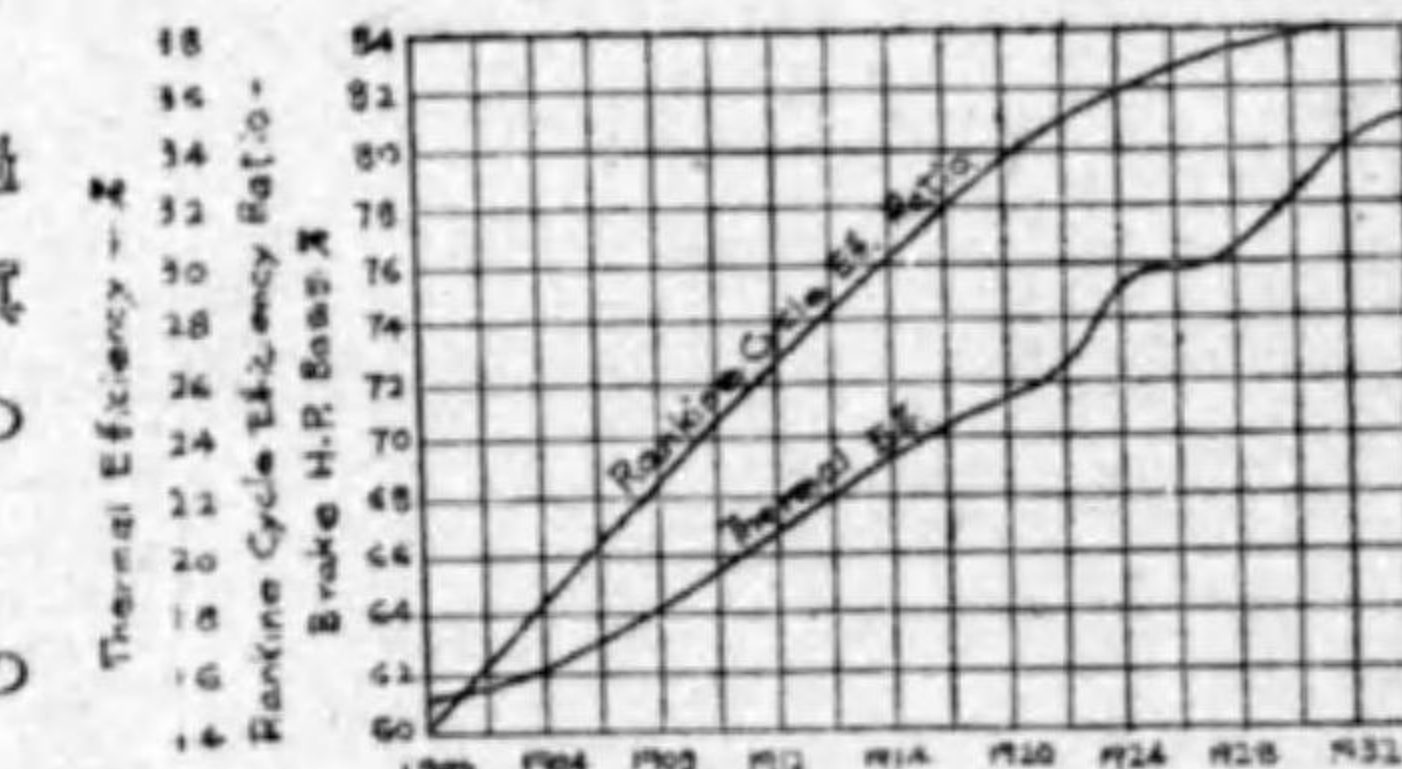
負荷 (%)	蒸気消費量/kWh
100	100
75	103~105
50	108~112

其他

壓力 1 kg に付 ±2% 過熱溫度 1°C に付 ±0.2% 眞空度 1% に付き ±2% の増減があると云つて居る。

第151圖は 1933 年迄の Turbine の効率を示す。

これは Generator の方の損失は入らない。故にタービンの出力に對する効力である。



第 151 圖

Thermal Efficiency

年代 1900 1904 1908 1912 1916 1920 1924 1928 1932 1933

η 15 16.5 18.5 21.0 23.5 25.5 29.0 30.2 24.0 35.0

1900~1921 年はタービン入汽の溫度及壓力を高くしたための効率の上昇、1921 年以後は Regenerative feed water heating cycle が加はり急

によくなり 1929 年よりは Reheating によつて再び増加した。

蒸気タービンの蒸気消費量は既に述べた如く色々の條件によつて變化する。實例を示せば

第 4 5 表

蒸気壓力 lb/sq in. (kg/cm <sup>2</sup> )	蒸気溫度 °F	蒸気消費量 lb/kWh (kg)	發電機容量 kW
375 (26.4)	642	9.85 (4.5)	31,000
300 (21.0)	672	9.95 (4.52)	—
275 (19.3)	650	10.25 (4.63)	22,500
275 (19.3)	650	10.24 (4.64)	—
350 (24.6)	700	9.55 (4.32)	28,000
415 (29.1)	707	9.40 (4.25)	40,000
265 (18.6)	611	10.40 (4.67)	—

但し 1 kg/cm<sup>2</sup> = 14.2 lb/□ (氣壓)

第 4 6 表

絶対壓力 11 kg/cm <sup>2</sup> 眞空 71 cm		絶対壓力 15 kg/cm <sup>2</sup> 過熱溫度 80°C 眞空 73 cm		絶対壓力 11 kg/cm <sup>2</sup> 復水器なし	
出力 (kW)	蒸気消費量 (kg/kWh)	出力 (kW)	蒸気消費量 (kg/kWh)	出力 (kW)	蒸気消費量 (kg/kWh)
1,000~3,500	6.4~8.0	5,000 ~10,000	4.7~6.0	100~500	14.0~22.0
		20,000 ~75,000	4.3~5.0	1,000~3,000	11.5~16.5

第 47 表 負荷の變化と蒸気消費量との關係

出力	負荷率			
	100%	80%	60%	40%
20,000	(kg/kWh) 5.05	5.00	5.30	5.50
5,000	5.8	5.7	5.95	6.40

復水器の無いタービンは蒸気消費量は大であるが機械の値段が安き故此の方から利益となる。

これを公式で表はすときは次の如し。

$$G_t = \text{完全タービンの蒸気必要量} = \frac{632}{H_t} \text{ kg/HP} = \frac{860}{H_t} \text{ kg/kWh}$$

$$G_a = \text{実際タービンの蒸気必要量} = \frac{632}{H_a'} = \frac{632}{\eta_t H_t} \text{ kg/HP}$$

$$= \frac{860}{H_a'} = \frac{860}{\eta_t H_t} \text{ kg/kWh}$$

$H_t$  = 断熱全熱降下

$H_a' = H_a - H_0$

$H_a$  = タービン内全有効仕事の熱當量

$H_0$  = 外部損失

例 出力 3,000 kW (配電盤に於て) の蒸気タービンに於て

蒸気初状態  $p_1 = 16.5 \text{ at}$  (絶対)

$t_1 = 390^\circ\text{C}$

凝結器壓力  $p_2 = 0.06 \text{ at}$  (絶対)

タービン効率比  $\eta_t = 0.76$

発電機効率  $\eta_g = 0.94$

なる時蒸気必要量を求めよ。

初状態に於ける蒸気全熱量  $H_1 = 734.0 \text{ kcal/kg}$

$p_2$  迄断熱膨脹後の蒸気全熱量  $H_2 = 510.0$

断熱膨脹による熱降下  $H_t = H_1 - H_2 = 224.0$

完全タービン蒸気必要量  $G_t = \frac{860}{224} = 3.85 \text{ kg/kWh}$

實際蒸気必要量(タービン軸端)  $G_a = \frac{3.85}{\eta_t} = \frac{3.85}{0.76} = 5.06 \text{ kg/kWh}$

同 (配電盤にて)  $G_a' = \frac{5.06}{\eta_g} = \frac{5.06}{0.94} = 5.38 \text{ kg/kWh}$

故に全蒸気必要量  $= 5.38 \times 3,000 = 16,140 \text{ kg/hr} = 4.48 \text{ kg/sec.}$

尙熱効率  $\eta_e$  の値は使用燃料の量に反比例する故、例へば火力発電所装

置全体の熱効率  $\eta_e$  を求めんとすれば熱効率  $\eta_t$  に発電機効率  $\eta_g$ 、汽罐の効率  $\eta_c$ 、並に補機のエネルギー消費に対する係数  $\eta_a$  を乗じなければならぬ。即ち

$$\eta_e = \eta_t \times \eta_g \times \eta_c \times \eta_a$$

### 5.10. 反動, 衝撃兩タービンの比較

反動タービンの優利な點:—

- (1) 蒸気を徐々に作用させるから、摩擦損失や、渦流損失が少なく熱効率が高い。
- (2) 蒸気速度が低いから羽根面の磨滅が少なく寿命が長い。
- (3) 段数が多いからタービンの速度の加減が自由である。

反動タービンの不利な點:—

- (1) 段数が多く羽根が多い。
- (2) 長さが長い。特に單流式はスラストを平衡させるためにダンミー・ピストンを設備するから、尙ほ長くなる。
- (3) 汽箭の溫度差に基く障害の危険が多い。
- (4) 壓力が高いから高壓部汽箭を丈夫に作らねばならぬし、且つ接手等の汽密に對して充分の注意を必要とす。
- (5) 高熱のため障害多し。

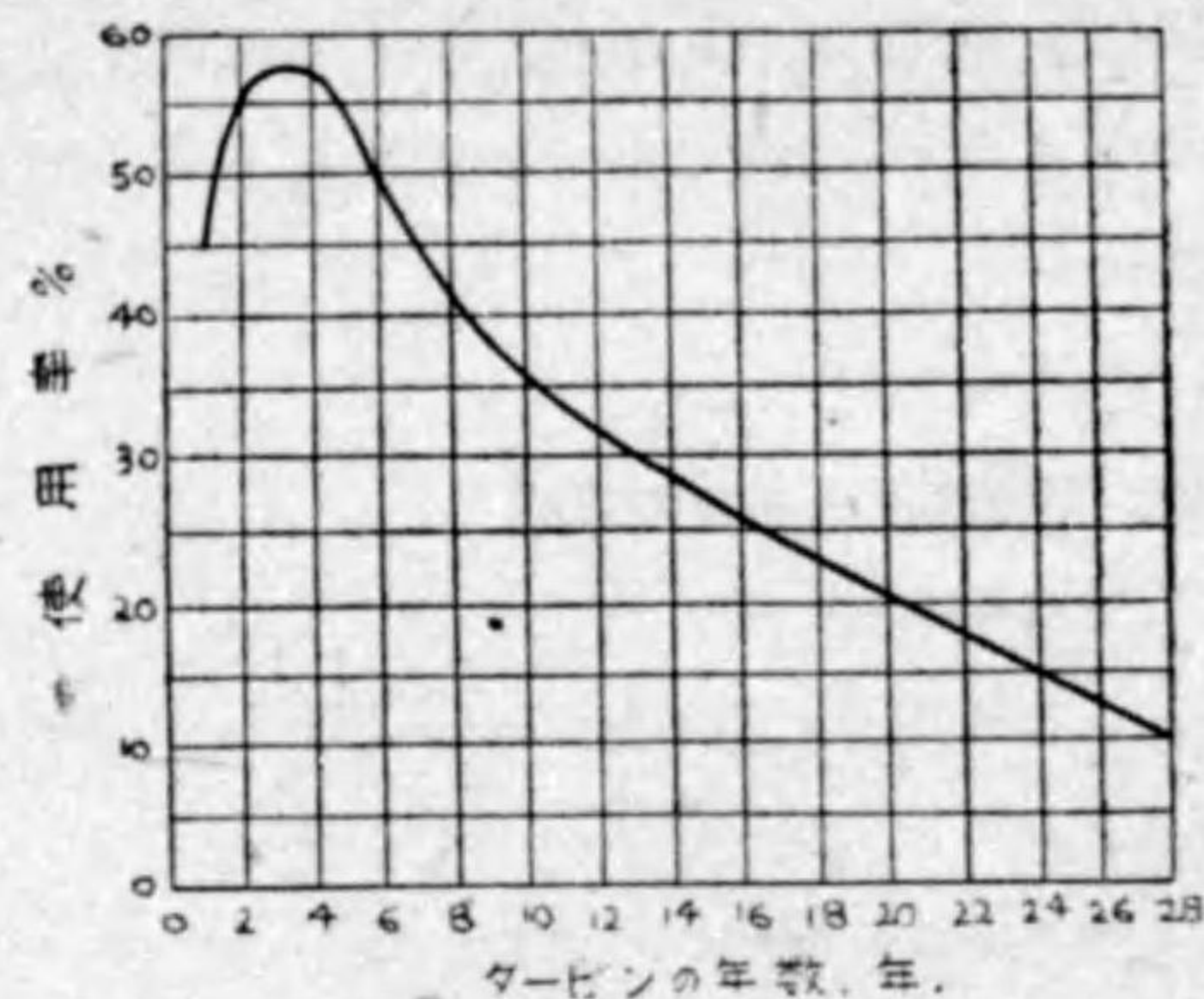
### 5.11. タービンの壽命

蒸気タービンは此を据附けて、4年目位が最も多く使用される。其れからは次第に古くなるに従ひ、其の使用率が減少する。第152圖の如し。

使用率 (Use Factor) とは、1年間に其のタービンの發生した總電力量 (kWh) を其の發電機の定格出力 (kW) に 8,760 を掛けた數で割つたものを云ふ。此れを 100 倍して % にて表はす。

蒸気タービンの壽命は大體 15 年位で、其の破損の原因は

- (1) 磨滅によるもの。 約 3%
- (2) 蒸気タービンの設計の進歩によるもの 6.5%



第 152 圖

(3) 使用状態の改善によるもの。 40%

### 5.12. 蒸気タービン発電機の大さ (Size of Steam Turbo-Generator)

Lamme 氏は 1924 年に、単軸最大容量は次ぎの如きものと云つて居る。

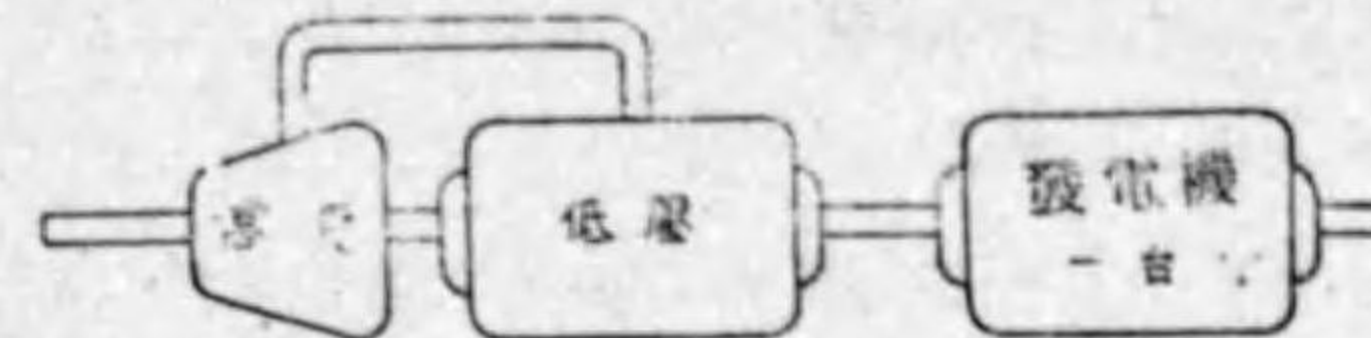
容量 kVA	回轉數 r. p. m.	周波數 ~
60,000	1,500	25
45,000	1,800	60
62,000	1,200	60

所が実際には 1929 年迄に

單軸 62,500→94,000 kW→160,000 kVA→200,000 kVA となり、  
複軸 70,000→235,000 kVA (200,000 kW) となつて居る。

此の 160,000 kW はタービンは串型であるが発電機は單軸となる。(第 153 圖)

此れに水素冷却法を行ひ、アルミニウム導線を用ひ、同期電動機を結合する時は、最大 375,000 kVA が出来ると製作会社では云つて居る。



第 153 圖

1940 年には此の水素冷却法により 3,600 r.p.m. のものが 50,000 kW から 60,000 kW のものが製作運轉されて居る。此の方法は 1937 年 10 月に最初のもので出来て居る。G.E. 社製、3,600 r.p.m. 25,000 kW であつた。此れは 100,000 kW まで作る事が出来る。

此の 3,600 r.p.m. 大容量に成功した理由は

- (1) 扯断力大なる鋼を回轉磁界軸に使用出来た事。
- (2) 水素冷却を用ひた事。
  - (イ) 冷却の良き事
  - (ロ) 風損等の少なき事
  - (ハ) コロナ発生なき事
- (3) 設計の進歩による。

我國に於ては 3,000 r.p.m. に 50,000, 53,000 kW がある。尙 3,600 r.p.m. には昭和 3 年撫順に 12,500 kW を取付け、昭和 15 年に大牟田に 35,000 kW の据附けに成功して居る。

### 5.13. 特殊タービン (Special Kind of Turbine)

特殊タービンとして、は抽汽タービン、再熱タービンも挙げられるが、此の問題に付いては既に一度述べたので此處では其の他のものに付き説明する。

#### (A) 排汽タービン (Exhaust Turbine)

此れは絶対壓力 16 封度内外の蒸気を受けて運轉するものである。不凝汽機關から出る排汽を利用して、タービンを運轉するものである。例へば飽和蒸気の絶対壓力が 100 封度 (7.04 kg/cm<sup>2</sup>) の時、此れを使用するに、其の溫度は 164°C で、其の排汽の壓力を 0.845 (kg/cm<sup>2</sup>) とすれば溫度

は  $102.2^{\circ}\text{C}$  であるから、此の機関では

$$164 - 102.2 = 61.8^{\circ}\text{C}$$

だけの熱を利用したことになる。これを更らに排汽タービンに入れて、28 吋 (71 cm) の真空即ち絶対壓力 1 封度 ( $0.0704 \text{ kg/cm}^2$ ) までに膨脹する時は、其の温度は  $39^{\circ}\text{C}$  になる故

$$102 - 39 = 63^{\circ}\text{C}$$

だけ熱を利用せられる事になるから、復水器を直ちに高壓タービンに用ゆるよりも有益で、発電所の擴張をなさねばならぬ様な時に、此の低壓タービンを据付る事は甚だ有利である。又製鐵所の如き、壓延機に蒸気機関を多く使用する所では多量の排汽があるので、之れを利用する時は利益である。しかし、其の排汽の量が一定でない所では、此れを一定に保つため、**再生器 (Regenerator)** を用ゆ。これは、圓筒形の容器で、此の内に  $100^{\circ}\text{C}$  の温水を入れ、其の内に多くの蒸気管を入れ、此の管から排汽を容器の中に入れる。上部の管より、温水の中を潜つた蒸気を取り、低壓タービンに導く。排汽の量の少ない時は温水が蒸發して補給する。

此のタービンの蒸気消費量は  $22.1 \text{ lb./h.p.}$  ( $10 \text{ kg/h.p.}$ ) 位である。利用される場所は主に、紡績工場、礦山、製紙工場等である。

#### (B) 水銀蒸気タービン (Emmet Mercury Vapour Process)

( $T_1 - T_2$ ) を大とするため、2 種の蒸気を使用する方法である。1913 年に Emmet 氏が Mercury Boiler の能率のよい事を唱へ、其後十年間試験時代を経て、1923 年に此れを實用化した。アメリカの Hartford にて行つた。1923 年に Dutch Point に据ゑ附けたものは  $10,000 \text{ kW}$  で壓力は僅かに  $35 \text{ lb./inch}^2$  ( $2.46 \text{ kg/cm}^2$ ) であつた。

ドイツでも 1899 年に Josse 氏が蒸気と Sulphur Dioxide とを組合せて實驗して居る。又 1926 年に H.H.Dow 氏は Diphenyle Oxide を High Temperature Vapour として用ひた。勿論、水蒸気を此のつゞきに結合したのである。1922 年に Hartford に始めて据附けたものは、容量 2,000

$\text{kW}$  で試験的に作つたのであつた。1923 年に  $10,000 \text{ kW}$  を据附け 1925 年より運轉し、1926 年 4 月より 8 月末まで實際運轉をし晝間負荷をかけた。夜間は休止して居る。此の時は 3 Stage の Mercury Turbine であつた。

此の利益とする點は

- (1) 高温度に於て其の蒸気壓力が低い事。
- (2) 溶液が重量が大であるから、蒸気が凝結して液體になつた時、汽罐に送るためポンプが不必要である。
- (3) 水銀蒸気の比重が大であるため、噴出速度が適度であり、タービンの設計が簡單になる。排汽の通路が小にして、水銀蒸気の復水器の容量が小さくなる。
- (4) 蒸気罐の様に悪質の給水による水管の事故がない事。給水淨化などの如き事必要なし。

又缺點とする點は

- (1) 顯熱が増し、潜熱が減じ、臨界壓力で零となる。 $T-\phi$  線圖で示す如く、熱サイクル効果が或限度以上は減少する。
- (2) 構造上種々の不便を生ず。
- (3) 高壓蒸気は斷熱膨脹の時、凝結する量が多くなる。タービンの効率を悪くする。
- (4) 羽根の浸蝕が大となる。
- (5) 蒸気が有毒である事。

水銀蒸気は温度に對して壓力が甚だ低い事は、既に述べた通りである。水蒸気は臨界壓力及温度が 225 氣壓  $374^{\circ}\text{C}$  であるが水銀蒸気は同温度の時、僅かに 8 氣壓で低壓側は  $235^{\circ}\text{C}$  にて壓力  $0.07 \text{ kg/cm}^2$  となる。

第 154 圖は  $10,000 \text{ kW}$  水銀蒸気タービンの  $T-\phi$  線圖である。水銀だけで 31.5% の熱効率を得。水蒸気に於て 27.3% 故に此の兩者を組はすときは 58.8% 更らにアンモニア・サイクルを利用すれば 41.2% が得

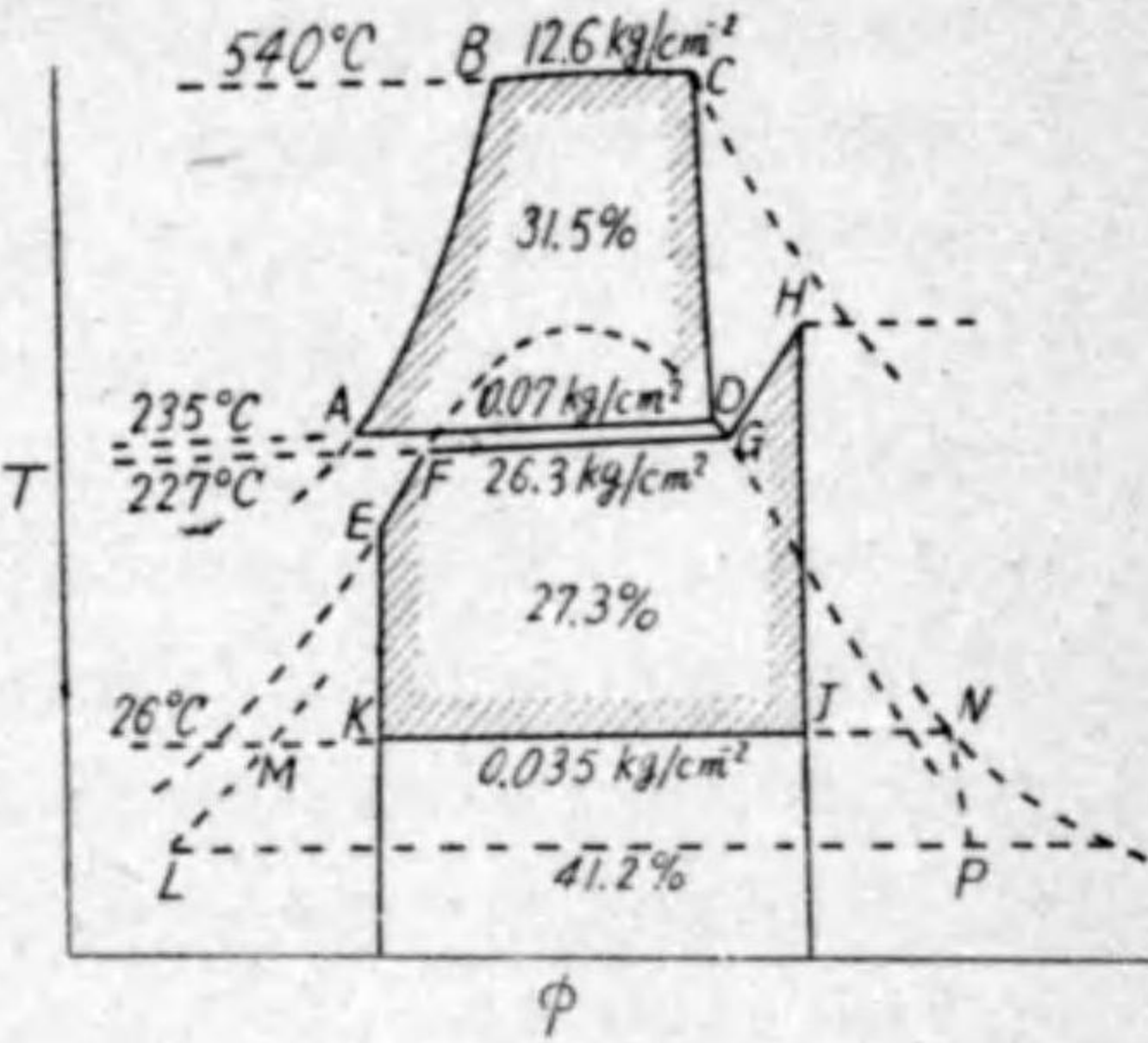
られる。1930年 G.E. 会社に於て 20,000 kW を製作し 1933 年完成した。これでは水銀蒸気を凝結するため、240,000 封度の蒸気を得て居る。此の総合した熱効果は 2,220 (kcal/kWh) の割合となる。平均 2,582 kcal/kWh となる。故に発電所の熱サイクル効率 は 33.3% になる。

Kearny 発電所では 20,000 kW の水銀タービン 2 臺に蒸気タービンを結合して 53,000 kW を発電して居る。水銀の代りに其の化合物 Dowtherm が用ひられる。此れは Phenolic Derivatives である Diphenyle and Diphenyloxide であつて 0~7 kg/cm<sup>2</sup> の壓力にて 260°C より 370°C の溫度にて蒸發する。有毒でない故、此れを用ゆると便利である。大體の配列を示せば第 155 圖の如くである。

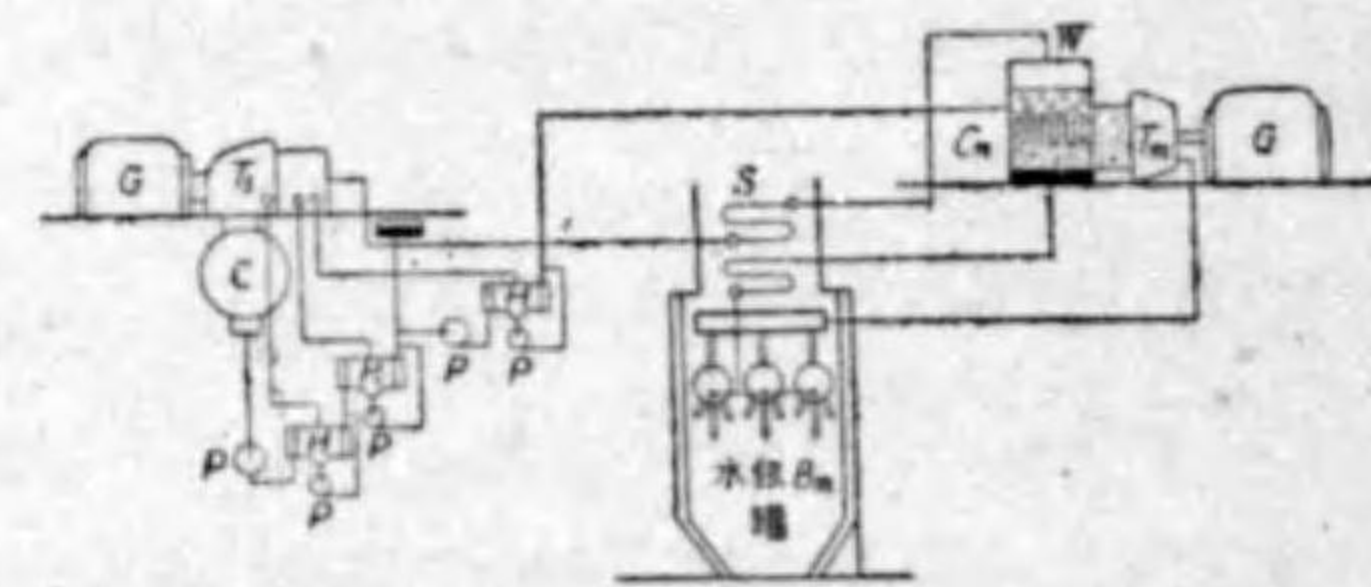
B<sub>m</sub> が水銀罐、此處で蒸發した水銀蒸気は T<sub>m</sub> なる水銀タービンに入る。C<sub>m</sub> は凝汽器にして水銀蒸気は水を蒸發して自分は凝結して液體となり罐に歸る。水は蒸發して S なる過熱器に入り T<sub>v</sub> なる蒸気タービンに入る。C は復水器、P はポンプ、H は温水器である。

(C) スタールタービン (Stal Turbine)

上述のタービンは静羽根と動羽根とから出来て居るが、兩羽根とも回轉

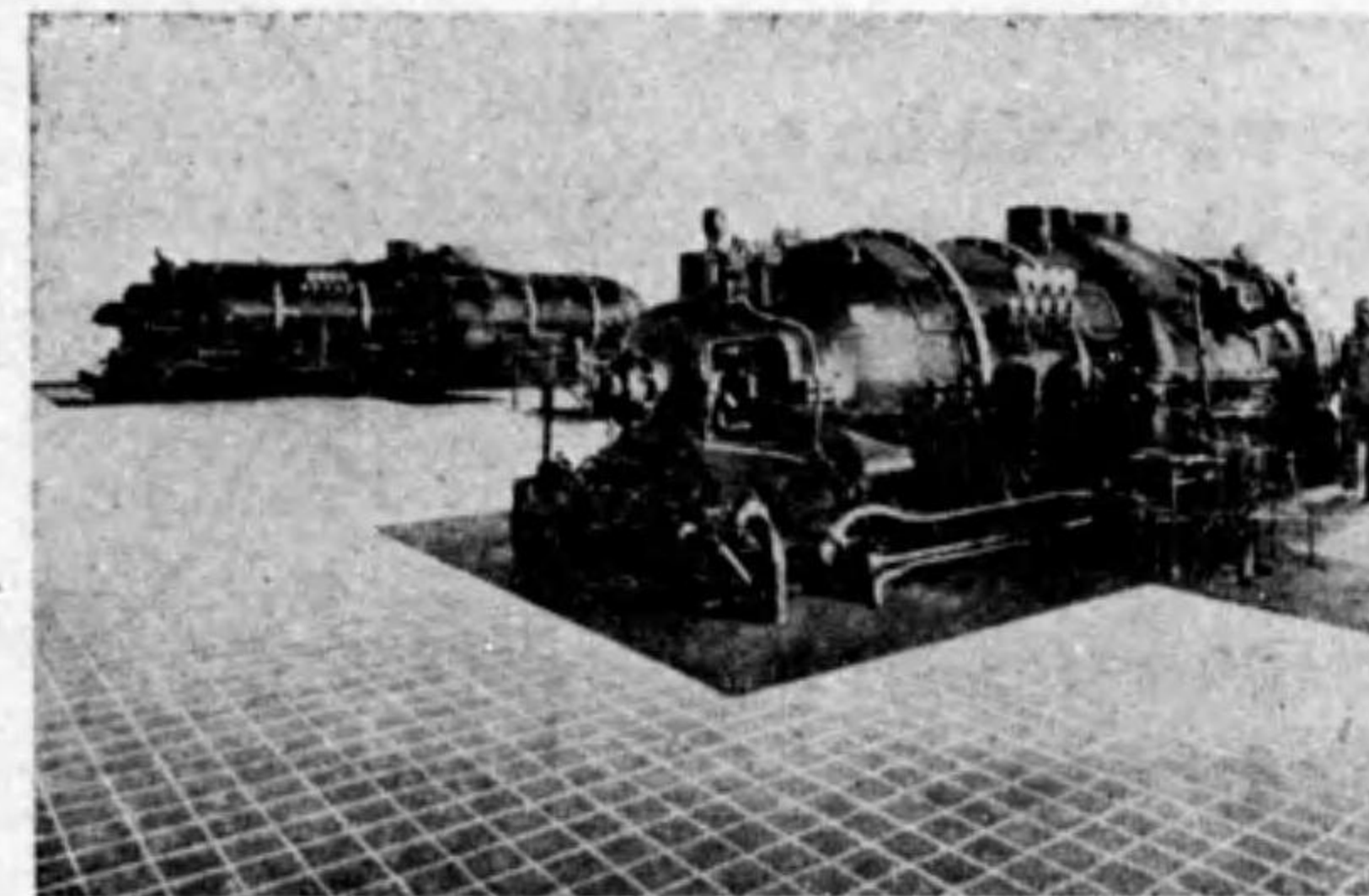


第 154 圖



第 155 圖

するものがある。此れをスタール・タービンと云う。ユングストローム (Ljungstrom) が發明したので其の名前を取つて、ユングストローム・タービンとも云う。蒸気の流れる方向が軸に直角である故輻流反動タービンである。タービン・ケースの兩方に軸が出て、此の各々に交流發電機を取りつける。容量は 5,000 kW 位のものが最も多く製作された。發電所の所内用電源として用ひらる。5,000 kW にて熱効率 は 1/2 負荷にて 14%、全負荷にて 15.2% 位である。羽根はクロム・ニッケル鋼を用う。第 156 圖は 10,000 kW 三菱ユングストローム・タービン發電機を示す。



第 156 圖

5.14. 蒸気タービン及ターボ發電機の試験 (Testing of Steam Turbines and Turbo-Generator)

多くの發電所では蒸気設備に對しては、其の蒸気消費量を測定する事が必要である。一般に試験は、其の機械の特性が設計通りに行つて居るかどうかを調べるものである。タービンの場合には其の試験の結果から出力 HPh 又は kWh に對して要する蒸気消費量を決定する。

試験の方法としては下記の如きものを測定する。

- (1) タービンに供給する蒸気の壓力
- (2) タービン軸の回轉數

- (3) タービン軸に於ける出力 (Prony Brake 又は Dynamometer による) 又は発電機に直結される時は此の電氣的出力。
- (4) Condenser に放出された蒸気量
- (5) タービンに入る蒸気温度
- (6) タービンの排汽の壓力, 即ち真空度

此等の測定をなす時は, 數時間一定状態に於て運轉して行ふ事が必要である。

此の外に大切な試験としては出力と速度の變化との關係を見る事である。即ち速度調整の試験ともなる。

第 157 圖よりタービンの最大出力の時の速度がわかる。

排汽壓及負荷を一定にして入汽壓をかへた場合の試験も行はれる。尙ほ總括的に試験の種類を分類すれば

- (1) 消費量計測試験
- (2) 調速機構の試験
- (3) 過速防止装置の試験

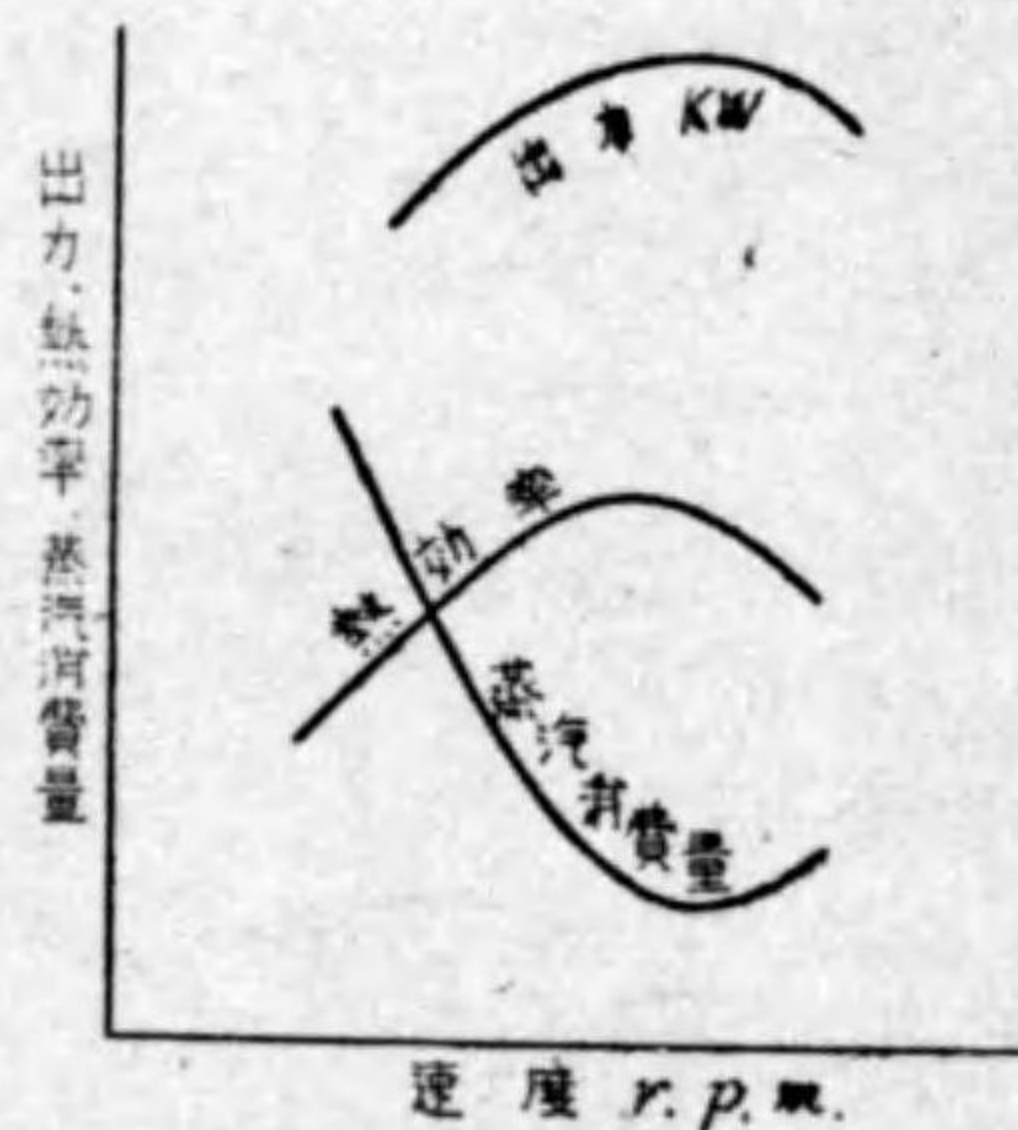
となる。

- (1) 此に付きては既に述べた所である。(2) (3) はガバナー試験になる。

#### 5.15. タービンの故障と検査 (Turbine Troubles)

- (i) Erosion: Steam より生ずる水分による水蝕作用
- (ii) Corrosion: Steam 中にある酸素による腐蝕作用

此の二つの故障に対しては, (i) は過熱蒸気及再熱方式によりて除かれる。(ii) は脱氣器によりて給水中にある空気を抜き取る事によりて防がれる。タービンは此の外に修理箇所を早期発見, 故障の未然防止等により圓滑なる運轉を行ひ, 良質の電氣を供給し発電所能率の向上維持及機器の壽



第 157 圖

命年限を延長するため検査を行ふ事が必要である。此の検査法には, 次の如きものがある。

1. 毎時間検査 毎時間油の温度と壓力, 循環水と復水の温度, 真空度, 供給蒸気の壓力と温度, 膨脹段の蒸気壓力, タービンの負荷, 其他必要なる記録並特異の音響其他を記録す。之等の記録に異變が生じた場合その障害を豫知する事が出来る。
2. 毎月検査 タービンの過速試験を行ひ, 其動作速度を記録す。不動作の場合には, 不完全な設備を調整してやる。又蒸気管の除塵網の検査を行ひ, 掃除, 手入をなす。尙据附中心の検査, 基礎沈下の検査, スラスト軸承の調整等も併せ行ふ。
3. 毎年検査 分解, 掃除, 損耗の検査, 羽根其他の浸蝕の検査, バルブノズル, 羽根の検査をなし, 場合によりては取換を行ふ。組立後は軸承の調整をなし, 各部の間隙を検査して, 調整又は必要の場合は修理をなす。

#### 5.16. タービンの仕様書及検査 (Specification and Test)

タービンの仕様書には次の如き事項を記載すべし。

- (1) タービンの臺數
- (2) 場所及建物
- (3) 用途, 軸接手或は調帶
- (4) 速度, 蒸気壓力, 過熱温度, 真空度
- (5) 容量, 過負荷耐量, 電氣方式
- (6) 速度變動率, 負荷變動と速度變動
- (7) 音響震動
- (8) 試験及検査
- (9) 発電機との接続關係
- (10) 型式, 高壓, 低壓, 抽汽, 混壓及蒸気抽出量
- (11) 材料, 外枠, 回轉子, ノズル, 羽根, 軸

- (12) 蒸気管の接続  
 (13) 軸承  
 (14) 基礎  
 (15) 給油  
 (16) 補助機器  
 (17) 油ポンプ  
 (18) 仕上塗

#### 附 属 計 器

- (イ) 蒸気圧力計  
 (ロ) 油用圧力計  
 (ハ) 寒暖計  
 (ニ) 真空計  
 (ホ) タコメーター  
 (ヘ) 蒸気流量計  
 (ト) 復水流量計  
 (チ) 蒸気温度計  
 (リ) 水銀バロメーター

#### 検 査

前節に述べた様に、毎時、毎月、毎年の検査を行う。

## 第6章 復水器

(Condenser)

### 6.1. 概説 (General Description)

発電所の容量が小さい時、又は負荷率の低い時は、復水器を使用しない方がよい場合があるが、これは極めて稀にして、一般の場合には復水器を使用する。復水器は排汽を冷却し凝結して水にし、背圧及温度を低下して機関の熱効率を高めるものである。これを往復機関に用ゆる時は 20~25% 位蒸気の経済となる。然し、これは復水器の設備費、運轉及び修理費等を考慮して、定めねばならぬ問題である。タービンは其の排汽側の真空度が効率に非常な影響を與へるものであるから、復水器は重要な役割をなす。復水器には冷却水ポンプ、抽汽装置及ポンプが附屬して居る。其の目的としては前述の如く

- (1) 高真空を作つて蒸気タービンの熱サイクル効率を増す事。
- (2) 一度使用した蒸気を凝結して真水を得る事。

である。復水器の真空は其の設計及空氣抽出装置の進歩と共に段々高められて、歐米では 736 mm 以上の真空を設計の基礎として居る。我國では冷却水の温度の関係にて 725 mm 程度である。

空氣を完全に抜き取る時は、此の中に水銀柱を置けば 760 mm 上る。此れを真空と云う。

● 故に真空度 710 mm と云う事は

- (i) 760 mm が 1.033 kg/cm<sup>2</sup> の絶対氣壓に相當する故

$$\text{真空 } 710 \text{ mm} = 1.033 \times \frac{760 - 710}{760} = 0.068 \text{ kg/cm}^2$$

即ち 真空 710 mm = 絶対壓力 50 mm = 絶対壓力 0.068 kg/cm<sup>2</sup>

- (ii) 大氣壓との差を標準とし、真空計の指示によりで水銀柱何耗 (又

は何吋)と呼ぶ方法。

此の方法にて表はす時は % にて表はす。

760 mm の真空を 100% とす。

故に 90% の真空は  $1.033 \times \frac{100-90}{100} = 0.1033 \text{ kg/cm}^2$  の壓力となる。

$\frac{684}{760} \times 100 = 90\%$  即ち 684 mm の真空である。

例 復水器の真空ゲージの読みを 55 cm.Hg とし、其の時の晴雨計の読みを 710 mm とすれば此の時の復水器の真空は何程なりや。

解 復水器内の絶対壓力 =  $710 - 550 = 160$  mm.Hg

故に  $p = \frac{160}{735.6} = 0.218 \text{ kg/cm}^2$

水銀柱 735.6 mm が  $1 \text{ kg/cm}^2$  に相當する。

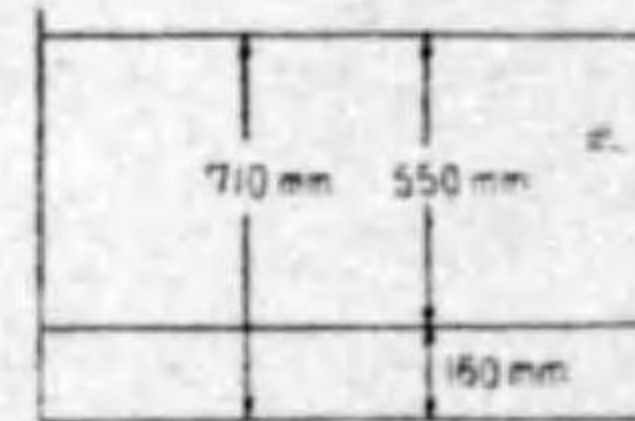
## 6.2. 復水器の種類 (Kinds of Condensers)

復水器には次の如き種類がある。

- (1) 表面復水器 (Surface Condenser)
- (2) 噴射復水器 (Jet Condenser)
- (3) 放射復水器 (Ejector Condenser)
- (4) サイフォン復水器 (Siphon Condenser)
- (5) 氣壓計式復水器 (Barometric Condenser)

(1) が最も廣く用ひらる。此れは冷却水と蒸気とが管壁を距て、接觸して居るから、能率はよくないが冷却水の不純物が凝結水に入る事がない。しかし、排汽の中に含まるゝ空氣やガスを抜き取るために、別々に空氣ポンプが必要である。空氣ポンプを用ゆる時は高い真空が得られる。真空度は

普通往復動汽機	80~90%
單流汽機タービン	95~97.5%



第 18 圖

冷却塔を用ゆる時 92.5~95%

冷却面積はタービン出力 1 kW に付き

小容量のもの 0.25 m<sup>2</sup>

普通容量のもの 0.1~0.16 m<sup>2</sup>

冷却水量の計算は後に述べるが、大體蒸氣量の 50~80 倍、多きものは 100 倍となる。水速は毎秒 1~3.5 m、排汽溫度と冷却水の復水器出口の溫度との差 4.5~6.5°C となる。冷却水の復水器内を流るゝ状態により、

(1) 單流型 冷却水が一方から入り他方に出るもの。冷却面は小、冷却水多量を要す。

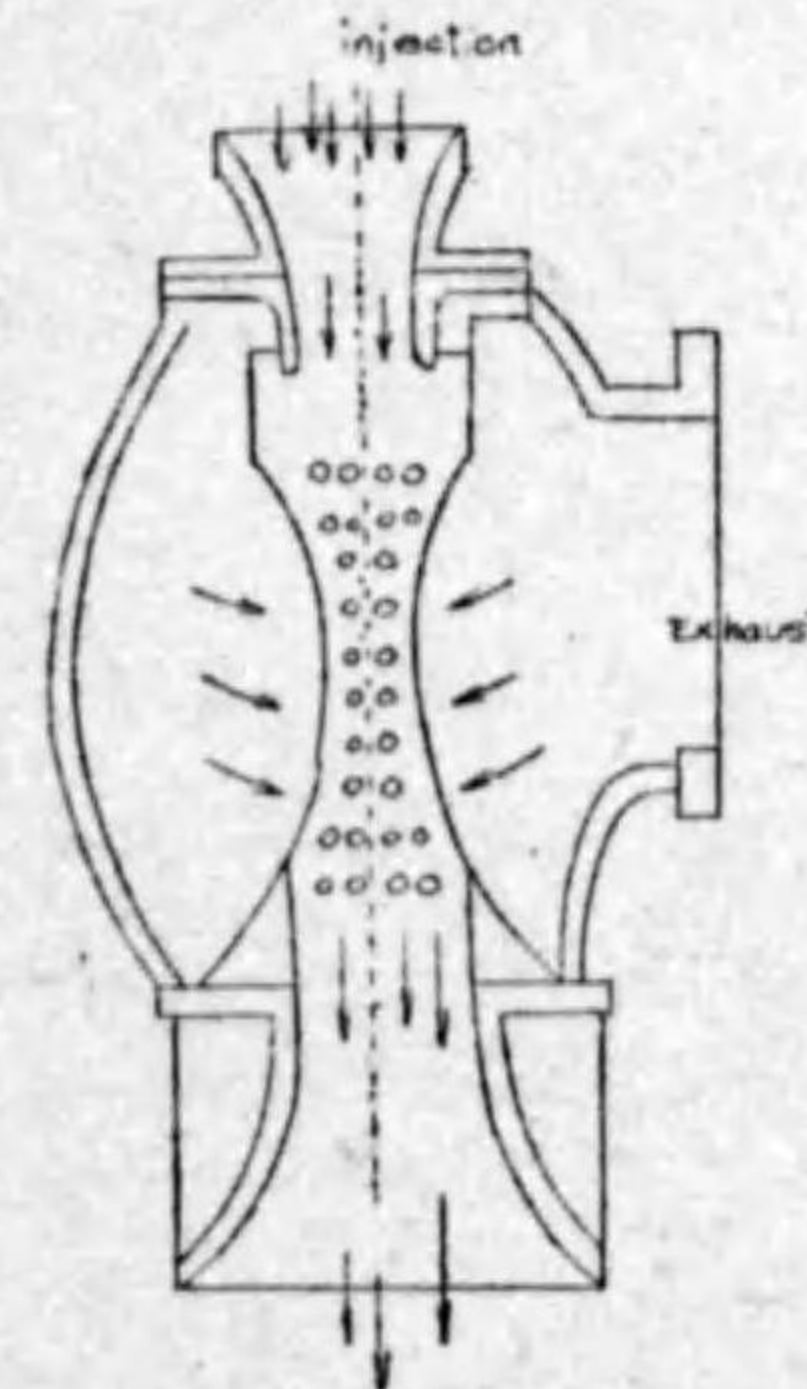
(2) 復流型 一旦冷却管を出た後に再び他の冷却管に這入つて前とは反對の方向に流れて冷却管を出るもの。

此れは冷却面大にして冷却水は少なくてすむ。又

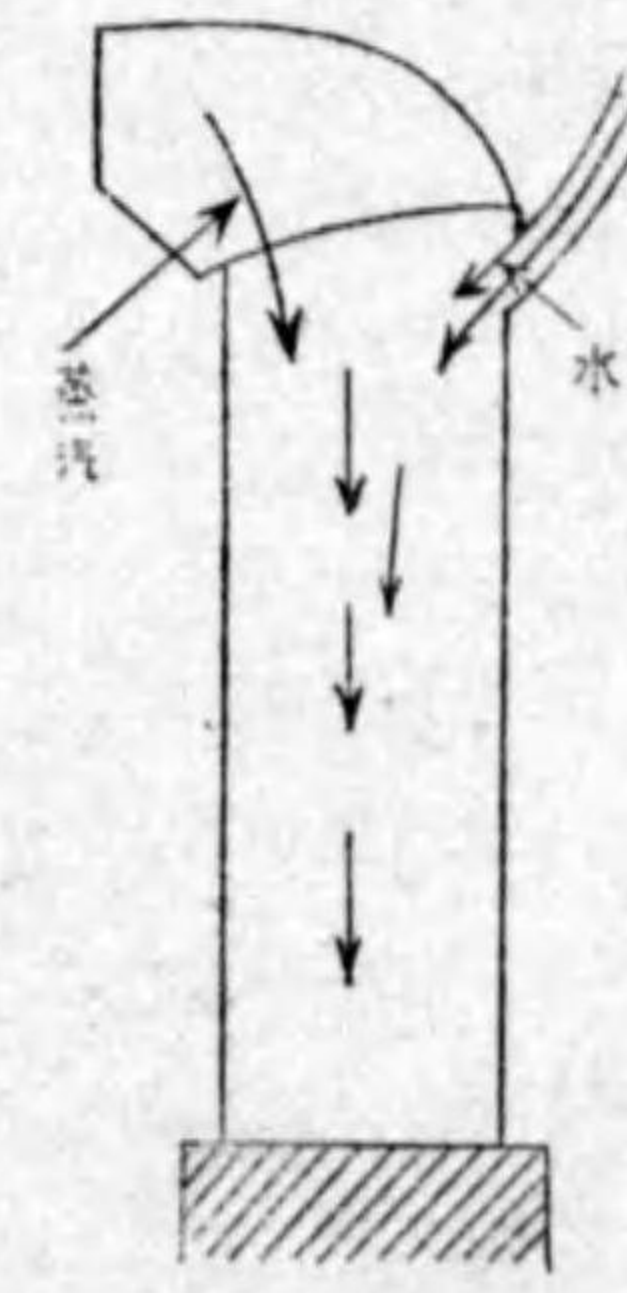
(イ) 併流型復水器 蒸気と冷却水とが同方向に流るゝ場合。

(ロ) 逆流型復水器 蒸気と冷却水とが反對の方向に流るゝ場合。

とに分つ事が出来る。



第 159 圖



第 160 圖



(2) の噴射復水器は多数の噴口から冷却水が噴射して排汽と冷却水とを混流させるので能率は非常によく排汽と冷却水出口の温度差を僅かに 1~2.5°C 位にする事が出来る。冷却水の量は蒸気量の 25~50 倍となる。

(第 159 圖)

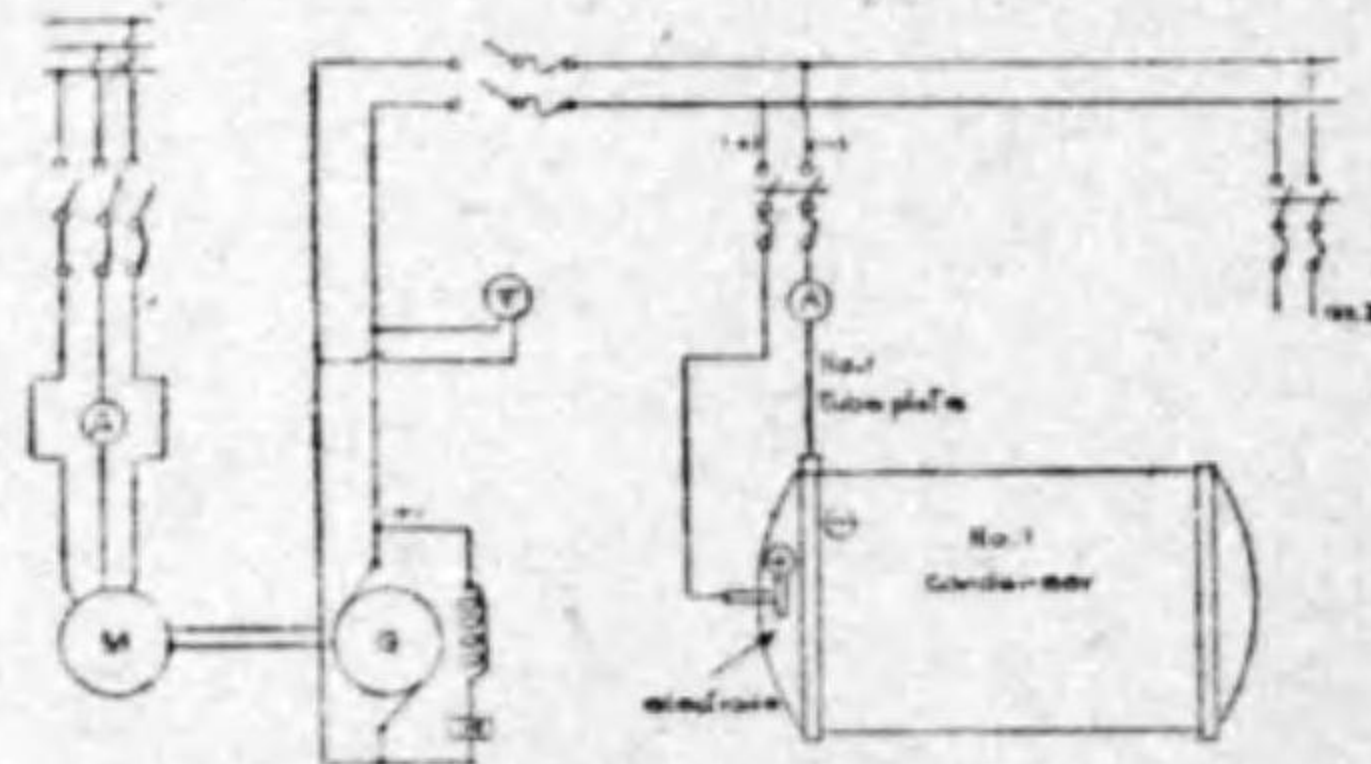
(3) の放射復水器は冷却水の放射により抽汽作用をしながら凝結するものである。復水器と抽汽ポンプとを兼用する。真空度 50~64 mm が得られる。

(4) はサイフソンの原理により (5) は水を高き所より落下せしめて低気圧を生じ真空を得る方法である。第 160 圖の如くである。表面復水器が最も多く用ひられるが、其の缺點としては

- (1) 建設費を増す事。
- (2) 蒸気と冷却水とが管壁を以て接觸するため能率が低い。
- (3) 掃除及修繕費を多く要す。管に良質のものを撰び、冷却水に対して特別の注意をなす時は此の費用を減少する事が出来る。

### 6.3. 水管の保護装置 (Protection of Corrosion of Tube)

復水器の冷却水としては井戸水、河水又は海水を使用す。海水を用うるものが相当多い。此の時管の腐蝕を防ぐ事が必要である。此のため一般に Camberland Method と云う方法が用ひられる。日本發送電株式會社の宇ノ島発電所に於て使用したものは次の如くである。(第 161 圖)



(M=誘導電動機  
G=D.C. 分巻発電機 10V25A  
出力=0.75kW, 1,500r.p.m.)

第 161 圖

復水器の端板の内側に別に陽極を設け、復水器の管の方を負極に接続し此の間に直流 3 amp./1,000 sq. ft. の割合にて絶えず電流を流す。しかる

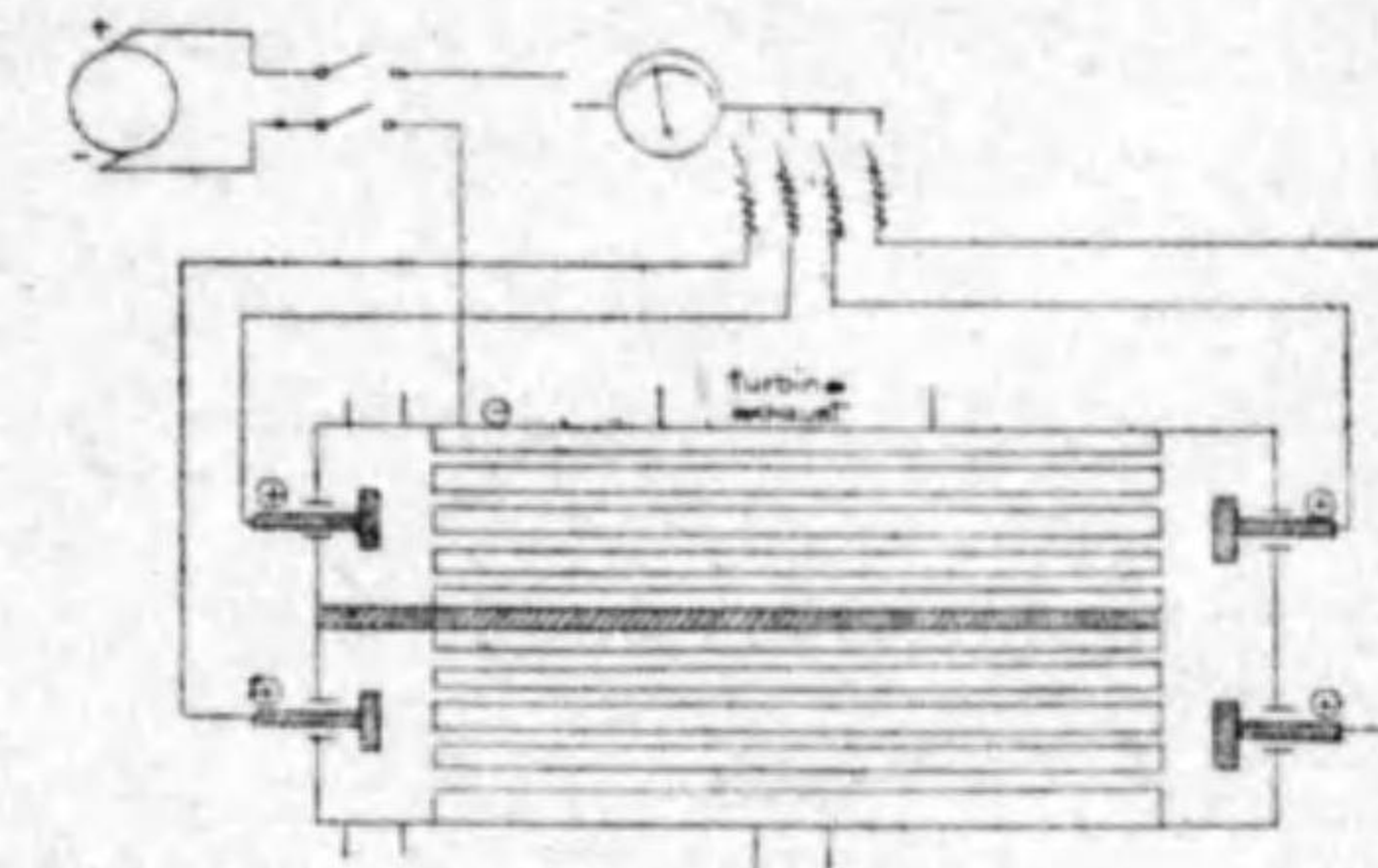
時は鹽分があつても其の酸性イオンは正極につき負極なる管には陽性を帯びたイオンなる金属が沈澱する故腐蝕を起さない。此の例では復水器の表面積が 8,400 平方呎であるから

$$\begin{aligned} \text{全電流} &= 3 \times \frac{8,400}{1,000} \\ &= 25.2 \text{ amp.} \end{aligned}$$

となる。

復水器 2 臺に對し 50 amp. を通し、電壓は 6~10V である。

日發小倉の發電所で用ひた方法は第 162 圖の如き接続である。



第 162 圖

### 6.4. 冷却面積と其の水量 (Cooling Surface and Quantity of Circulating Water)

復水器の冷却面積及冷却水量は、冷却水の温度及此れに適應すべき真空度を基準として、決定すべきで夫々次の式で與へられる。

$$Q = \frac{W(x_i + t_{s1} - t_c)}{t_{w2} - t_{w1}}$$

$$S = \frac{Q(t_{w2} - t_{w1})}{K t_m}$$

但し  $Q$  = 冷却水量 (kg/h)

$W$  = 排汽量 (kg/h)

$x$  = 排汽の乾燥度

$i$  = 與へられた真空に相當する蒸發熱 (kcal/kg)

$t_{s1}$  = 復水器入口に於ける蒸汽温度 (°C)

$t_c$  = 復水の温度

$t_{w2}$  = 冷却水の出口温度

$t_{w1}$  = 冷却水の入口温度

$S$  = 冷却面積 (m<sup>2</sup>)

$K$  = 傳熱係數 (kcal/m<sup>2</sup>/h/°C) 普通最高 3,000

$t_m$  = 復水器内に於ける蒸気と冷却水との平均溫度差

$$t_m(^{\circ}\text{C}) = \frac{\{(t_{w2} - t_{w1}) - (t_{s1} - t_c)\}}{\log \frac{t_c - t_{w1}}{t_{s1} - t_{w2}}}$$

$K$  の値は次の事項によりて變化する。

- (1) 排汽中の空氣量
- (2) 冷却水管中の水速
- (3) 冷却水管汚損の程度
- (4) 排汽と冷却水の平均溫度差
- (5) 冷却水管の直徑
- (6) 冷却水管の材質
- (7) 冷却水管の配置

冷却水の水速を増加する時は冷却水管中の亂流が激しくなり、管面のガス膜や水の膜を破壊する作用が多くなり  $K$  の値が大きくなる。水速の平方根に比例する。故に水溫と管の大きさにより水速には限度がある。最近の特殊のものは 2.44~3.00 m/s に達するものがある。水速により腐蝕を大ならしむ。材料としては Cupero-nickel; Aluminium Brass; Monel Metal 等を用ゆ。

#### 6.5. 復水ポンプ (Wet Air Pump)

復水器の中にある不凝結性瓦斯及空氣は眞空度を低めタービンの能率を悪くするから、此れを抜き取る事が必要である。此のため使用されるポンプを**空氣ポンプ**と云ふ。以前は凝結水と一諸に取り出したが、高眞空を得るためには、別々のポンプを備へた方が有効である。復水のみを取り出すポンプを**復水ポンプ** (Wet Air Pump) と云ふ。此れに用ひられるものには次の如きものがある。

- (1) Worthington Wet Air Pump.
- (2) Edwards Wet Air Pump.
- (3) Steam Jet Wet Air Pump.

此れは 1916 年始めて使用され、現今は可なり多く用ひらる。

此のポンプの動力としては、大體蒸氣量毎時 1,000 疋に付き 0.15~0.3 kW 位となる。主要機械の容量の 0.1~0.55% 位となつて居る。

#### 6.6. 空氣ポンプ又は空氣抽出器 (Dry Air Pump)

- (1) **濕式空氣ポンプ** 凝結水と共に空氣を抽出す。眞空度高きものには用ひず。
- (2) **復式ポンプ** 濕式空氣ポンプを乾式空氣ポンプに併用す。
- (3) **水噴射式空氣ポンプ** 水の噴射又は運動する水の力にて空氣を抽出する。
- (4) **蒸気噴射式空氣ポンプ** ノズルより高壓蒸氣を噴射せしめて空氣を吸出せしむるもの。

此れは第一の噴射蒸氣にて復水器中より空氣及瓦斯を吸出し、之れを中間冷却器に依りて冷却すると共に蒸氣を凝結し、更らに第二の噴射蒸氣にて、中間冷却器より空氣及瓦斯を抜き出し、第二の中間冷却器で冷却したる上大氣中に放散すると共に蒸氣を凝結する。730 mm 以上の高眞空に對しては更らに第三の噴射蒸氣及冷却器を設ける必要がある。

#### (5) 蒸氣及水噴射式空氣ポンプ

例 小倉發電所に用ゆる段蒸氣噴口式は此の實例であつて所要蒸氣量 2495 kg/毎時となつて居る。

空氣の含有量は普通重量にて  $\frac{1}{4,000}$  位、容積にて (0.75~5%) 程度である。現今のポンプを用ゆる時は 1 時間に 10,000 封度 (4,550 kg) の蒸氣より 5~6 封度 (2.3~2.72 kg) の空氣を取り出す事が出来る。此れ以上は蒸氣の量が 10,000 封度 (4,550 kg) 増す毎に 4 封度 (1.82 kg) の空氣を抽出す。空氣ポンプは蒸氣タービンで運轉するものと電動機によるものがある。前者の方が信頼度高し、後者の場合は豫備を設けて停止せぬ様にする事が必要である。

#### 6.7. 冷却塔及び却冷池 (Cooling Towers and Ponds)

復水器の冷却水が海水又は河川の如き多量に得る事が出来る場合は極めて便利であるが、然らざる場合には温まつた水を冷却して、再度使用する事になる。此の水の冷却に用ひられる塔、又は池を**冷却塔**又は**冷却池**と云ふ。

冷却塔には

- (1) 自然通風開放型 (Natural Draught Open Type)
- (2) 自然通風煙突型 (Natural Draught Chimney Type)
- (3) 押込通風煙突型 (Forced Draught Chimney Type)

がある。其の容積は蒸汽の温度によつて異なるが、大體蒸汽量毎時約 1.5 kg に対して、冷却面は一平方米とす。逆ポンプ用動力は、ノズルを用ゆるもので、主要機械の 0.7~2%、通風用動力は 0.3~0.5% 位である。

冷却池は機關 1 馬力に対して、300 立方呎 (85 立方米) 位の容積とす。中に回轉ノズルを用ひ噴水を起す時は冷却能率は増進する。1 kW に付 15 平方米とする例もある。

## 第 7 章 熱 勘 定

(Heat Balance)

### 7.1. 概 論 (General Description)

発電所の熱勘定と云うのは、燃料の燃焼から発電又は送電に至る迄の熱の發生、吸收、損失等の過程を分析して、熱の分布を勘定する事である。これが判ると其の熱損失を回収して、発電所全體の能率を高める事が出来る。此れは又発電所の設計上にも運轉上にも大切なものである。従つて、給水ポンプの排汽で給水を温めたり、所内タービンの排汽を復水器の復水で冷却したり、煙道内に節炭器を取付けて其の排瓦斯の所有する熱を給水に回収する等は皆此の目的である。此等の事柄が意外に熱の經濟になる事が判り、此の方面の研究は相當盛んに行はれた。

給水に熱を回収する時の熱源としては

- (1) 所内タービンの排汽 (Condensate for House Turbine)
- (2) 高、低壓の抽汽 (Low and High Pressure Bled Steam)
- (3) 補助機の排汽 (Exhaust from Auxiliary Driven Turbine)
- (4) 蒸汽噴射器の冷却水 (Inter and Outer Cooler for All Steam Air Ejector)
- (5) 節炭器 (Economizer)

である。

石炭を汽罐に燃焼して其の熱の發生、吸收、及損失の状態を示せば第 163 圖 (イ) の如し。(A) は給水を加熱した場合、(B) はしからざる場合を示す。(A) に於ては発電所効率 23.45% となり。(B) は 22.1% となる。

此れを表にて示す時は第 48 表の如し。

設備個々を圖示したのものもある。(第 163 圖 (ロ) 参照)

アメリカ、ヘルゲート発電所の熱勘定を示せば次の如し。

石炭の所有熱量を 100% とすれば、汽罐には此の外に空気豫熱器より 15% 給水加熱により 40.5% 供給される。故に總計 155.5% となる。

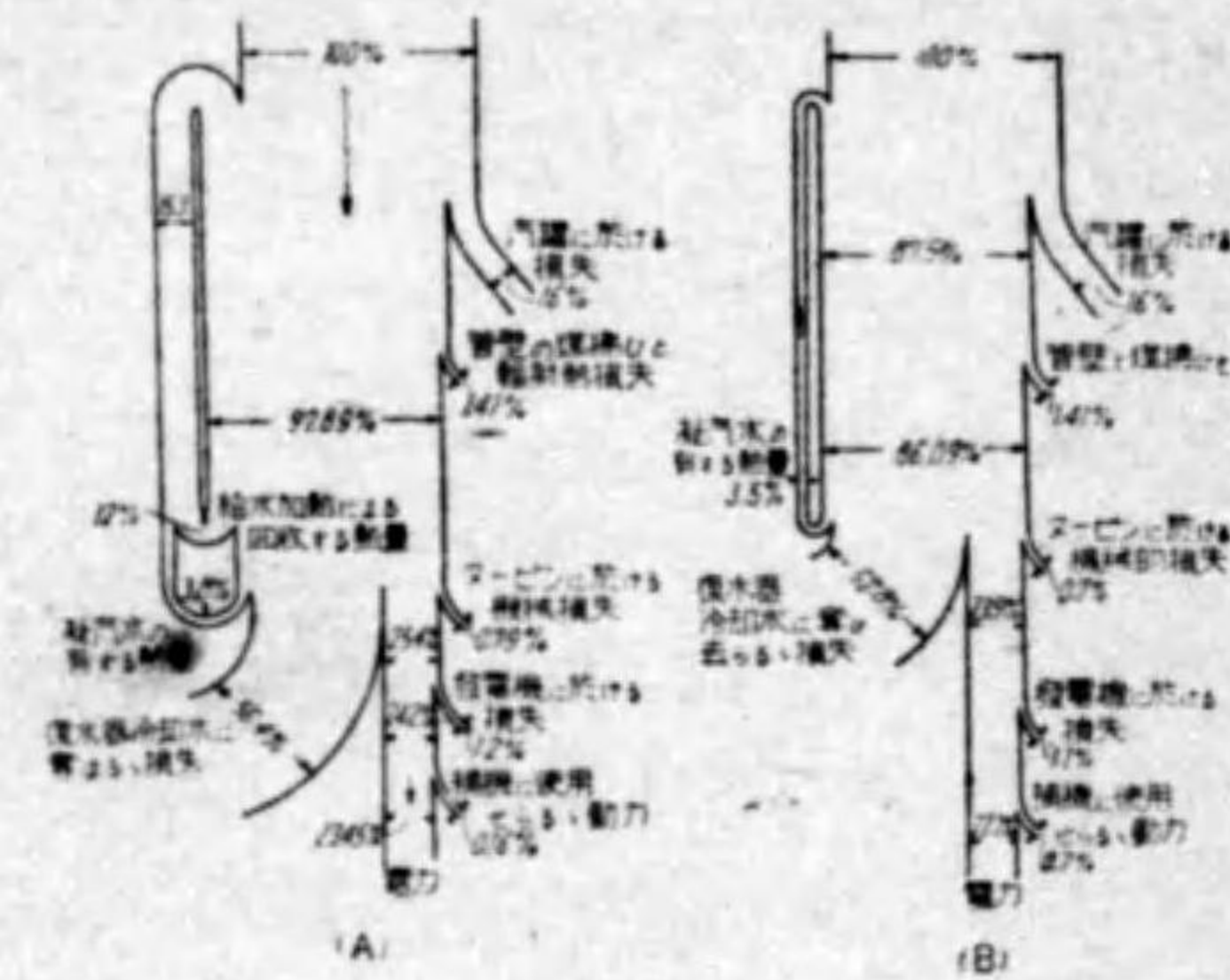
此の中汽罐の損失 25.1% 煙突の損失 17.7%、パイプの損失 0.5%、合計 18.2% を差引き高壓タービンに

112.2% 供給せらる。此のタービンより給水加熱のため三回抽汽するため、24.6%、排汽に 77% を差引くと 10.6% が高壓タービンに利用せられ、其の損失を 0.5% とすれば発電機入力は 10.1% 此れより発電機損失を 0.6% とすれば 9.5% となる。

此の排汽 77% は再熱して 10.1% が加はり 87.1% となる。此れよりパイプ損失 0.6%、給水ポンプに 0.8%、一回抽汽 7.6%、排汽 55.7% を差引く時は 25.9%、がタービンに作用する熱量となる。故にこれよりタービンの損失 0.6% 発電機損失 0.8% を引く時は 19.5%、高壓側と合計すると 29% 此の外に微粉炭燃焼装置に 0.26%、短炭運搬に 0.18% ポンプ運轉に 0.2% を要するを以て 28.36% が電氣としての出力となる。

7.2. 発電原價 (Cost of Electric Power)

発電原價と云うのは、固定費 (Cost of Installation) と運轉費 (Running Cost) とから決定せらる。固定費は、発電所の發電状況に直接影響のない経費で、発電所工事費に対する利子及利潤償却等の諸経費である。従つて、利用率の高い発電所では、發電 1kWh 當りの固定費は僅少となる。此の設備の中主要原動力設備は、(1) 蒸汽タービン (2) 汽罐 (過熱装置を含む) (3) 石炭及除灰設備(揚炭機、運炭機、石炭車、運灰車、灰車



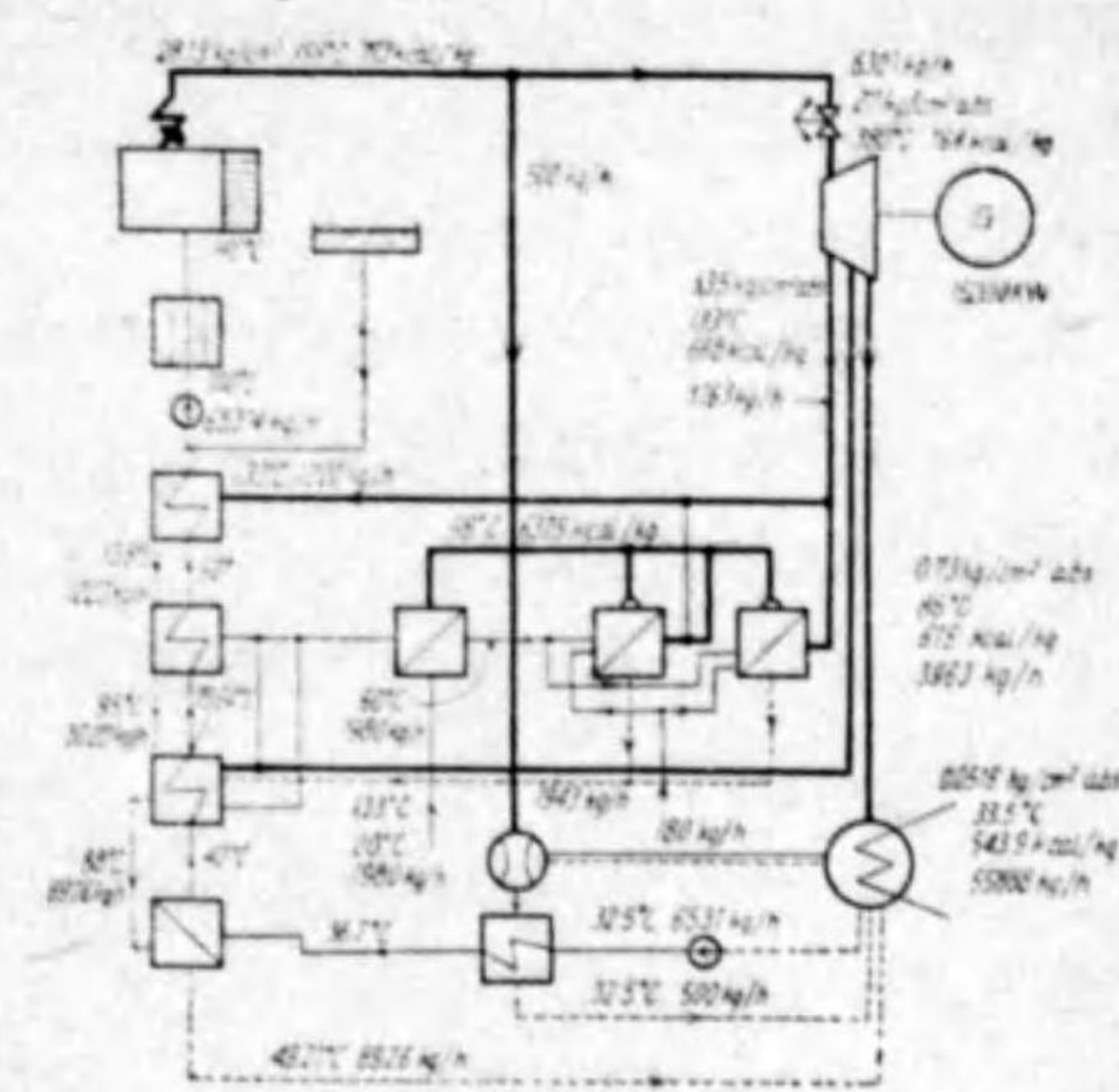
第 163 圖 (イ)

第 48 表 汽力発電所熱勘定

機 器	供 給		消 費				機 器 能 率 %
	項 目	%	有 效	損 失	項 目	%	
汽 罐	石 炭	100.00	管の過熱蒸汽	79.97	水 素	4.53	75.1
	主要發電機冷却空氣	0.48	管の飽和蒸汽	4.69	空 中 水 分	0.20	
	補助發電機冷却空氣	0.02			一酸化炭素	0.53	
	汽 罐 給 水	9.55			灰 中 可 燃 物	3.00	
	管 放 熱	0.27			煙 突 瓦 斯	15.65	
	給水ポンプの仕事	0.06			放 熱	1.82	
		110.38		84.66		25.73	
蒸 汽 管	汽罐よりの蒸汽	84.66	タービンの蒸汽	79.72	暖 房	0.28	94.9
			蒸溜器への蒸汽	0.66	煙道掃除器	0.49	
			管の放熱	0.27	水管掃除器	0.97	
			高圧復水	0.04	諸 漏 洩	2.15	
			暖房復水	0.08			
				80.77		3.89	
タービン	汽 罐 よ り	74.18	軸 へ	17.86	軸 摩 擦	0.32	25.4
			パッキン損失	1.59	放 熱	0.08	
			凝 汽 器 へ	54.33			
		74.18		73.78		0.41	
凝 汽 管	タービンより	54.33	凝 汽 器 へ	3.92	循環ポンプへ	52.00	
	タービンパッキンより	1.59					
		55.92		3.92		52.00	
主要發電機	軸 よ り	17.86	配電盤へ	17.04	軸 摩 擦	0.24	95.5
			冷却空氣へ	0.48	勵磁器損失	0.08	
		17.86		17.52		0.32	
補助機關タービン	管 よ り	4.60	軸 へ	0.41	軸 摩 擦	0.04	
			凝 汽 器 へ	4.11	放 熱	0.01	
					パッキン損失	0.03	
		4.60		4.52		0.08	

補助機用 発電機	軸より	0.41	配電盤へ 冷却空気	0.35	軸摩擦 動機	0.04	84.3
		0.41		0.02		0.01	
温水槽	補助タービン 汽罐給水ポンプ 復水 蒸溜水 温水槽	4.11	給水	9.60	放熱	0.04	
		0.86					
		3.92					
		0.63					
		0.12					
	9.64	9.60	0.04				
汽罐給水 ポンプ用	管より	0.93	温水器 給水への仕事	0.86	放熱	0.01	
		0.93		0.06		0.01	
タービン 蒸溜器	管より	0.66	温水器へ 温水槽へ	0.63			
		0.01		0.04			
		0.67		0.67			
給水槽	給水より 高圧復水	9.60	汽罐へ	9.55	放熱	0.08	
		0.04				0.08	
	9.64	9.55	0.08				
高熱蒸気 弁	管より 暖房より	0.04	給水槽へ 温水槽へ	0.04			
		0.08		0.08			
		0.12		0.12			
温水器	暖房より 蒸溜器より	0.08	温水器へ	0.12			
		0.04					
		0.12		0.12			
配電盤	使用発電機より 補助機用発電機 より	17.04	送出電力	16.95	給炭機電動機へ 循環ポンプへ 運炭機へ 通風機へ 空気圧縮機へ 配電へ 其他へ 雑用ポンプへ	0.45 = 2.68	補助用 電力 送出電力
		0.35		0.45		0.45	
	17.39	16.95	0.45				
合計		386.52		303.50		83.05	

等) (4) 給炭設備(コール・バンガー, 給炭函, 給炭機等) (5) 通風設備(煙道, 煙突, 通風機等) (6) 給水設備(水槽, 給水ポンプ, 給水管等) (7) 温水設備(節炭器, 温水器等) (8) 復水設備(復水器及其附屬の器具一式) (9) 蒸気罐輸送設備(蒸気管, 排汽管等) (10) 給油設備(給油器, 油槽, 淨油器, 油冷却器, 油ポンプ等)である。



第 163 圖 (ロ)

運轉費は主として発電状況即ち負荷によつて變化するもので、燃料費、維持費、修繕費、人件費、潤滑油費、襪襪費、補給水費、灰の處分費等である。其の中で燃料費が主要部分を占め、其の消費量の多少が発電費に著しい影響を與へる。此の燃料消費は既に述べ來つた如く発電所の運轉方法

記 號	名 稱	記 號	名 稱	記 號	名 稱	記 號	名 稱
—	蒸 汽 管	⚡	煙道ガスによる過熱器	⊙	表面復水器	⊙	蒸気噴射空気ポンプ
—	復水管	⊙	蒸気による再熱器	⊙	汽罐給水加熱器	⊙	復水ポンプ
—	水管	⊙	節炭器	⊙	表面加熱器	⊙	給水ポンプ
—	空 氣 管	⊙	空氣豫熱器を具へる汽罐	⊙	蒸化器	⊙	速度調整弁
⊙	汽 罐	⊙	抽汽タービン	⊙	水冷表面過熱低減器	⊙	開放水 ●
⊙	過熱器付汽罐	⊙		⊙		⊙	遮 断 弁
						⊙	逆 止 弁
						⊙	ドレーン・トラップ

第 163 圖 (ハ) 出力 15,000 kW 発電所熱勘定圖

や、負荷状態によつて甚だしい影響を受けるものである。同じ発電所でも利用率や負荷率の高い時は燃料消費量が減少する。年利用率の低い起動休止の頻繁な場合は著しく増大する。

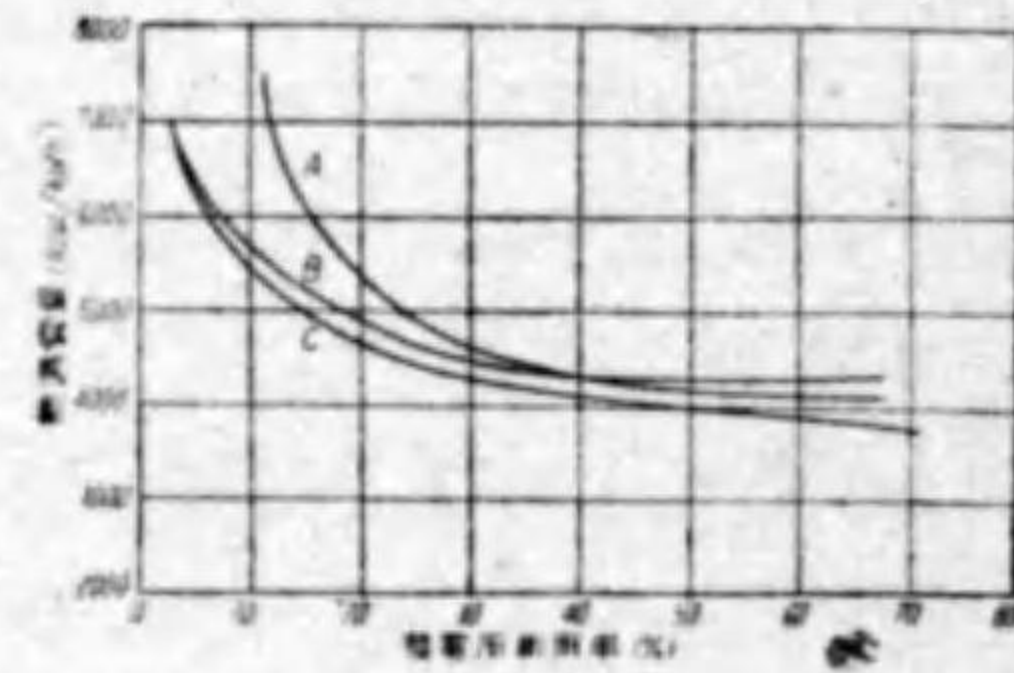
発電所の利用率と云うのは平均発電力を発電所の認可最大出力で除したもので、1年間の使用電力量を kWh とすれば  $[kWh \div (\text{発電所出力} \times 8,760)]$  で表はす事も出来る。

発電所の負荷率と燃料(又は熱)消費量との関係は大略次の式によつて表はされる。

$$1 \text{ kWh 當り燃料 (又は熱) 消費量 (kg (又は kcal))} = A + \frac{B}{\text{発電所負荷率}}$$

但し A B は発電所の設計上から定まる定數にしてキログラム・(又はキログラムカロリー) で表はされる。

第 164 圖はドイツの A, B, C 発電所の熱消費量と利用率との関係を示すものである。



第 164 圖

## 第 8 章 補 助 機

(Auxiliary Apparatus)

### 8.1. 補 助 機 (Auxiliary Apparatus)

発電所には主機關 (Main Apparatus) の外に此れを助けて、運轉を完全ならしむるための機關がある。此れを補助機關と云ふ。此れを運轉する動力として蒸汽を用ゆるものと、電氣によるものがある。前者は信頼度は高きも設備費が大である。後者は停電の時運轉を休止する缺點があるが設備費も安く、運轉も容易で現在は主として此れが用ひらる。

電動機運轉の優れた點

- (1) 設備が簡單である事
- (2) 取扱ひに便利な事
- (3) 運轉費が經濟的なる事

汽力運轉の優る點は

- (1) 排汽が給水加熱に用ひらる
- (2) 停電しても汽罐の蒸汽がある間は停止せず

使用方面

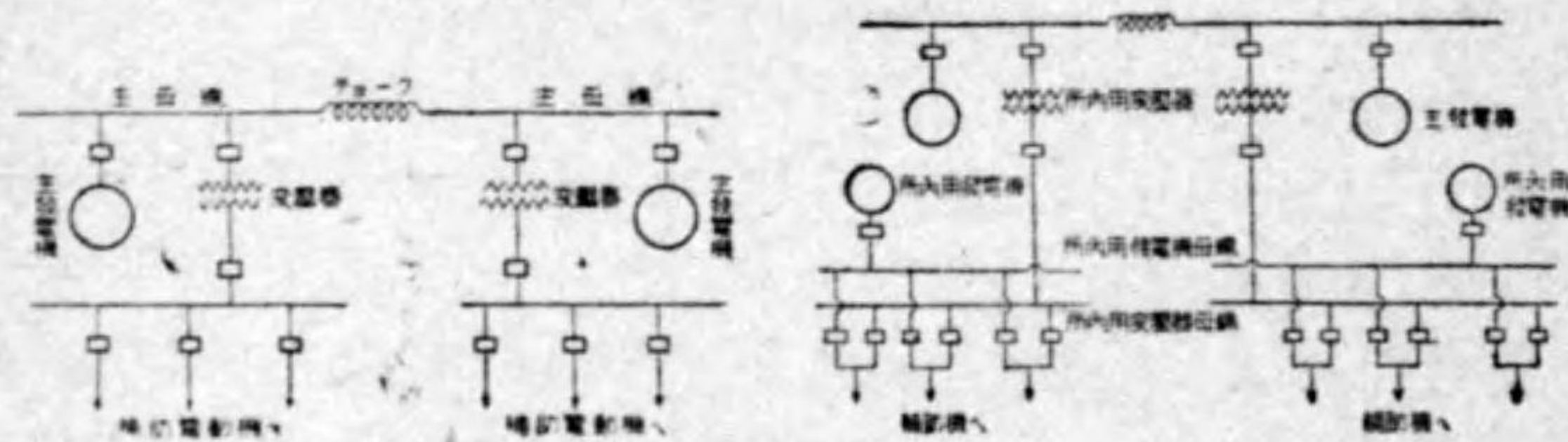
- (1) 機械通風装置 (Draught Fan)
- (2) 表面復水器の循環水装置 (Circulating Pump)
- (3) 石炭運搬装置 (Coal Conveyer)
- (4) 勵磁機用原動機 (Exciter)
- (5) 給水ポンプ (Feed Pump)
- (6) 表面復水器凝結水抽出装置 (Wet Air Pump)
- (7) 表面復水器空氣抽出装置 (Dry Air Pump)
- (8) 給水補給用井戸水汲上装置
- (9) 灰燼處理装置 (Ash Handling Apparatus)

- (10) 給炭機運轉裝置 (Stoker Operating Machine)
- (11) 配電盤に於ける各制御及動作用動力
- (12) 發電機通風裝置
- (13) 軸承油循環裝置

8.2. 供給電源

- (1) 變壓器を経て主母線より供給を受けるもの。

設備費, 維持費, 及び運轉費等低廉であるが主回路の事故のため停電す。此れは Circulating Pump や Feed Pump の如き重要補助機には不適當なるも Fan 等の如き非重要補助機には適當である。(第 165 圖)



第 165 圖

- (2) 所内用タービン發電機から供給。

利益, 補助機用電力は主發電機のため影響されず。

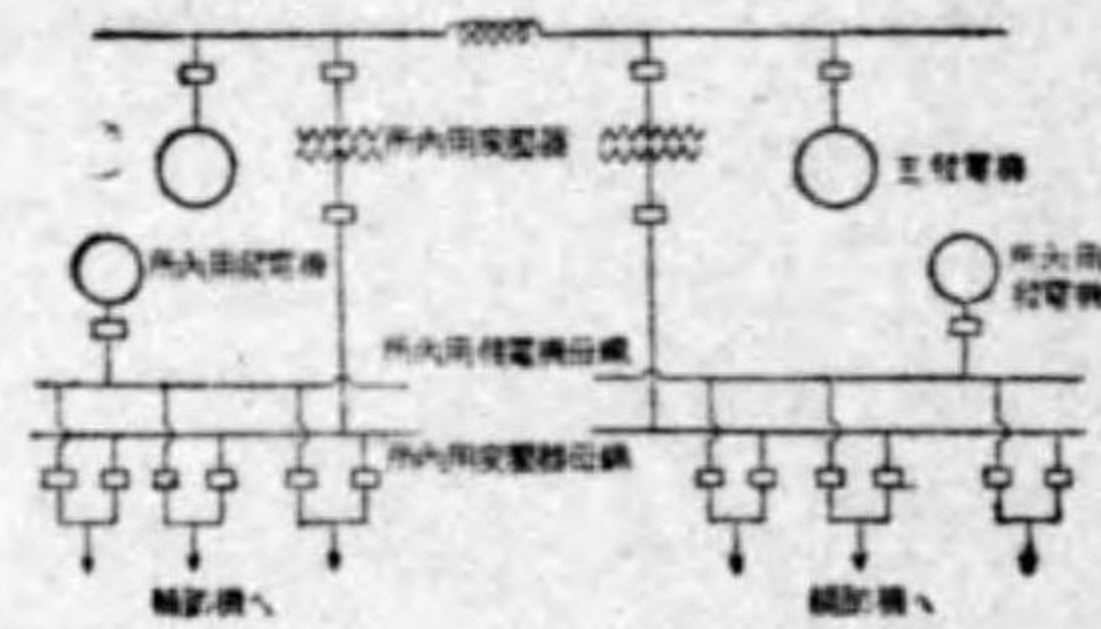
不利益, 電力は主發電機の様經濟的に發生出來ない。少しく複雑, 大容量電動機起動の時電壓降下が大となる。(第 166 圖)

經費は相當大である。容量は常用出力の約 2~5% となす。

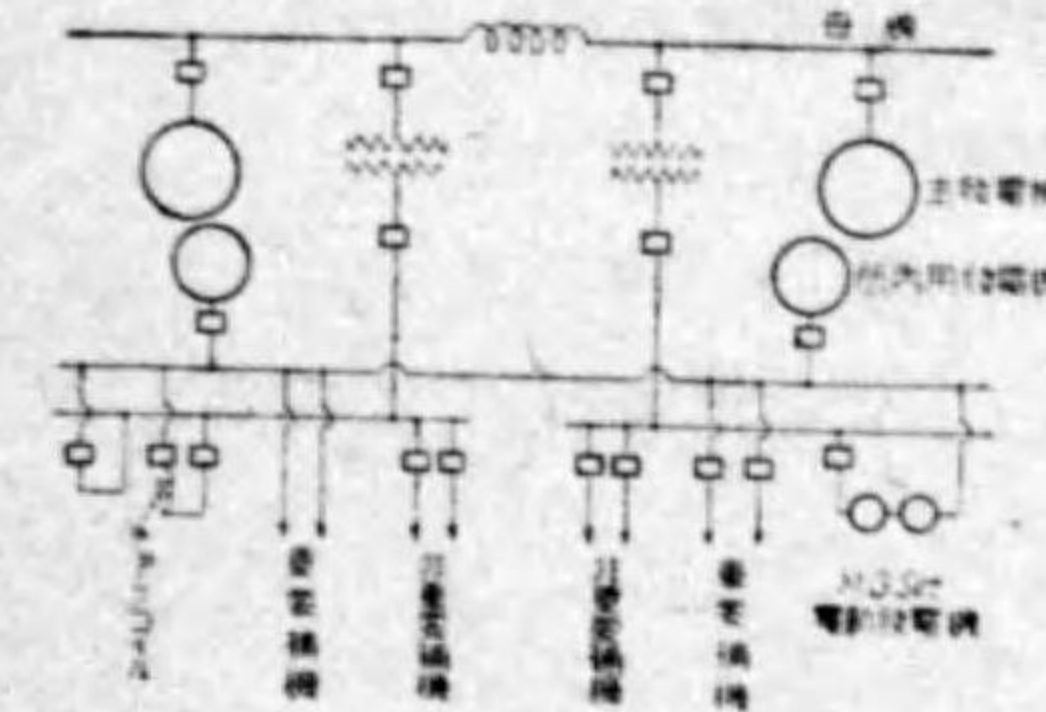
此の所内發電機の用法には尙ほ次の如きものがある。

(a) House Turbine の排汽を給水の加熱に用ゆ。此の時は主發電機の負荷に應じ, 時々其の負荷を変更する必要がある。此のためには電動機を所内用發電機母線と主母線との間に切換へる。此の兩母線を並列にして調速機で負荷のやり取りを行ふ事が出来る。

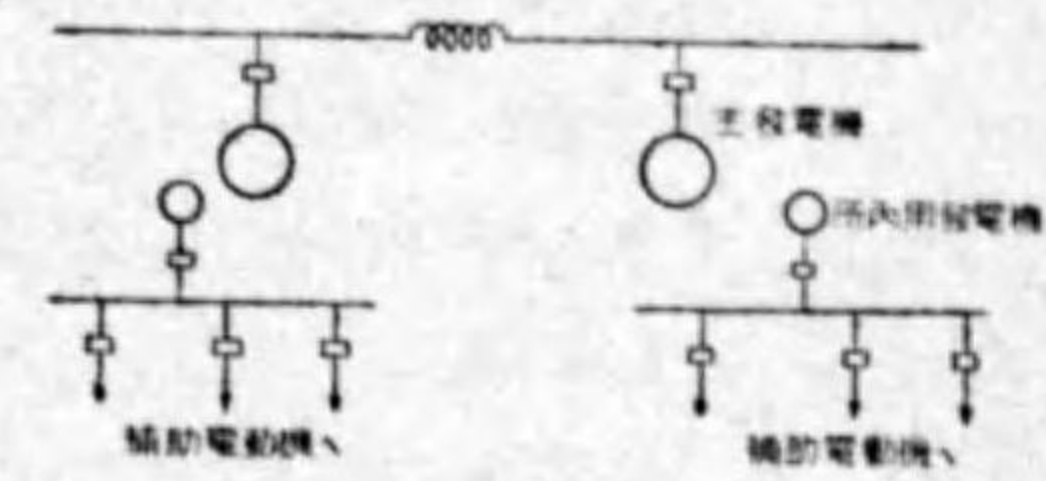
(b) 重要補助機は所内用發電機母線に非重要補助機は變壓器母線に接続し兩母線を油入遮斷器で連續する。(第 167 圖)



第 166 圖



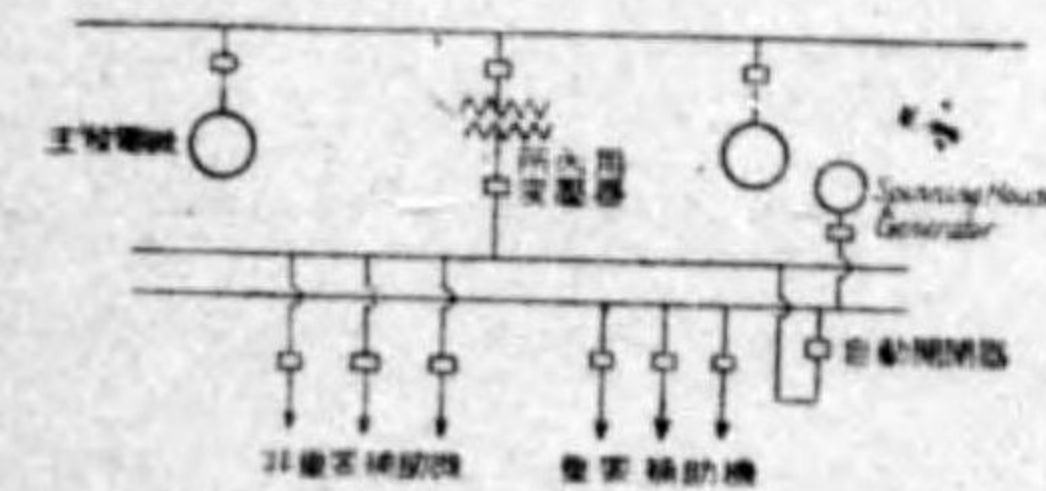
第 167 圖



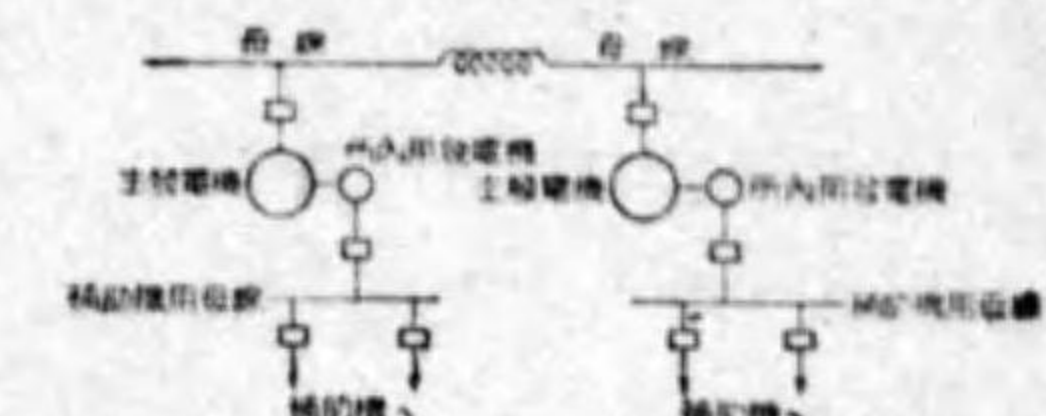
第 168 圖

(c) 所内用タービンを凝汽器に使用し, 單獨に運轉するもの。信頼度はよいが經濟ならず。(第 168 圖)

(d) 所内用發電機を空廻りさせて置き故障のあつた時働くやうにする。此れを Spinning House Generator と云ふ。平常は重要補助電動機は所内用發電機母線につながり, 自動器を通して變壓器母線に接続され, 主母線が停電する時は自動開閉器が働きて此れを遮斷すると共に所内用發電機に荷がかかる。或は此の時此の開閉器は其のまゝとなり非重要補助機にも所内用發電機から電力を供給してもよい。(第 169 圖)



第 169 圖



第 170 圖

- (3) 主軸直結發電機 (Shaft Generator)

主發電機の主軸に直結した發電機によるもの。(第 170 圖)

利益: 補助機用電力は主發電機系統の事故により障碍を蒙る事なし。

電力低廉, 信頼度高し。

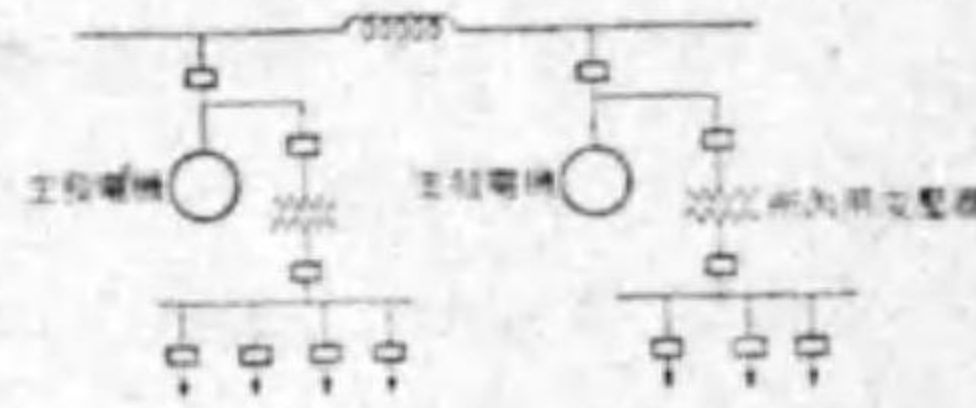
不利益: 機械的に大に複雑を來し, 非常に長い機械となる。其の結果多少信頼度を減少す。自動電壓調整器を必要とする。軸發電機同志又主

発電機と並列運転の場合負荷の調整全く不可能である。

(4) 主発電機引出線に接続された変圧器より

利 点：設備費，維持費，運転費は低廉，補助機用電力費は最低にして，  
簡単，亂暴な使用に耐ゆ。信頼度高し。大電動機を全電壓起動しても  
大なる電壓降下なし。

不利点：主発電機の事故の影響を受ける。主発電機の負荷の激減により  
Emergency trip が働作して主蒸気弁が閉まれば補助機の電力も停  
止す。(第 171 圖)



第 171 圖

(5) 主母線に接続されてない送  
電線に依る他発電所の電力から  
供給されたもの。豫備電源とし  
てはよいが常用としてはよくな  
い。

(6) 蓄電池を豫備とする直流式  
此れは交流電動機が主として用ひられるので適當でない。

### 8.3. 火力発電所の能率の變遷

(Improvement of Steam Power Plant Efficiency)

火力発電所は以上説述せる如く，設計，運転方法の改善により其の能率  
は次第に高上して來た。其の變遷の有様を表によりて示せば第 49, 50 表  
の如し。

発電所の能率を計算するには其の發生電力量より補助機を運転するに要  
する量を差いたものを kcal. にて表はし此を發生するために使用したる石  
炭の量に其の含有熱量を乘じた數で割ればよい。

1936 年，ベルギー・ランセルベルグ発電所に於て 28.5% を得て居る。

小倉発電所に於て 1 kWh に 3,950 kcal. を要した。即ち 21.8%。補助  
機に供給する電力も入れ，總出力を取れば 3,450 kcal. となる。故に 24.9  
%。送電線の損失は 17% とす。

東邦名島発電所 1 kWh に付 5,060 疋カロリーを要した。

朝鮮瓦斯電氣會社 1 kWh に對し撫順炭 0.94 kg 燃料價格 8 厘 (昭和  
8 年)

kg. Calorie per kg. を B.T.U./lb にするには

$$1.8 \times (\text{kg. Calorie per kg}) \text{ in B.T.U./lb.}$$

第 49 表 タービン発電機の熱 kilowatt 能率の變遷

year	Approximate Size of unit kilowatts	Gauge Pressure Pound per Sq. inch.	Steam Temp. at Throttle degree F	B.T.U. per kilowatts hours	Thermal efficiency	Bleeding and reheating	Gauge pressure Kgs. per Sq. cm.	Kg cal per kilowatts hours.
1903	5,000	175	375	23,500	14.5		12.3	5,920
1915	20,000	200	560	14,500	23.5		14.1	3,955
1922	30,000	230	625	13,400	25.5		16.2	3,375
1923	30,000-45,000	250	650	12,500	27.2		17.5	3,150
1924	30,000-50,000	375	700	11,200	30.5	Bleeding only	26.2	2,822
1924	35,000-60,000	550	725	10,500	33.1	Bleeding and Reheating	38.6	2,595
1925	60,000-150,000	550	725	10,000	33.3	"	38.6	2,520
1926	60,000-200,000	1,200	725	9,000	38.0	Bleeding and two Reheating	84.5	2,268

kilowatts hours=Out put of turbine.

B.T.U. は Steam の有する Heat Energy.

Thermal efficiency=turbine だけの値で Boiler も入れる時は非常に低下する。

第 50 表 發電所の能率

year	Size of Units kilowatts.	Gauge pressure pound per Sq. inch.	Steam temp. at throttle degree Fahrenheit	B.T.U.S. per kilowatts hour	Equivalent pound of Coal per k.W.h.	Thermal Efficiency of Station	Kcal. per kilowatt hour	kg. per k.W.h.
1903	5,000	175	375	37,000	2.64	9.2	9,329	1.2
1915	20,000	200	590	22,000	1.56	15.6	5,540	0.7
1923	35,000	230	625	20,000	1.43	17.1	5,040	0.65
1924	50,000	375	700	15,800	1.13	21.7	3,920	0.515
1926	50,000-160,000	550	725	14,500	1.04	23.6	3,655	0.472
1926	100,000-200,000	550	725	14,200	1.01	24.1	3,578	0.460
1926	100,000-200,000	1,200	725	12,800	0.91	26.6	3,226	0.41



## 第5章 練習問題

- 5.1. 蒸気タービンとは如何なるものか。
- 5.2. 蒸気タービンの種類を挙げよ。
- 5.3. 蒸気タービンの利点と改良されし点。
- 5.4. 蒸気タービンの主要部分 Blade Efficiency とは何か。
- 5.5. 衝撃タービンの能率を求む。
- 5.6. 反動タービンの能率を求む。
- 5.7. 汽翼になされる仕事の一般式を表はせ。
- 5.8. 一般の蒸気タービンの翼効率を求める方法をのべよ。
- 5.9. 蒸気消費量は何程なりや。
- 5.10. 経済出力とは何か。
- 5.11. タービンの効率増進の變遷に就いて。
- 5.12. 反動、衝撃兩タービンの比較。
- 5.13. タービンの壽命。
- 5.14. 蒸気タービンの發電機の大きさ。
- 5.15. 特殊タービンに付述べよ。
- 5.16. タービン發電機の試験法。
- 5.17. タービンの故障。

## 第6章 練習問題

- 6.1. 復水器とは如何なるものか。
- 6.2. 復水器の種類。
- 6.3. 水管の保護装置。
- 6.4. 冷却面と其の水量の決定法。

- 6.5. 復水及空気ポンプに付き。
- 6.6. 冷却塔及冷却池に付き。

## 第7章 練習問題

- 7.1. 熱勘定とは如何なる事か。
- 7.2. 發電原價は如何にして定めるか。

## 第8章 練習問題

- 8.1. 補助機に付きて述べよ。
- 8.2. 補助機の電源は如何にして設計すべきや。

## 第9章 内燃機関及び其附属品

(Internal Combustion Engine and Equipment)

### 9.1. 種類 (Classification)

発電所に原動機として、内燃機関 (Internal Combustion Engine) を使用する時は、燃料を経済的に使用する事が出来る。又蒸気罐を要せず、燃料貯蔵場所も狭少にて足る。内燃機関とは燃料が機関内にて燃焼し其の発生ガスの壓力によりて働く機関である。此れを分類する時は

- (1) **ガス機関 (Gas Driven)**: 使用燃料——石炭ガス、発生爐ガス、コークス爐ガス、熔鑛爐ガス。
- (2) **油機関 (Oil Driven)**: 油を燃料とするもの。此の内重油を用ゆるものは空気を 30 気壓内外に壓縮する時は溫度が 500 C~550°C 位に高まる故此れに重油を噴出して發火爆發する事になる。

ガス機関は瓦斯を汽筒の内部にて燃焼し、其の熱エネルギーを利用する機関である。ピストンに瓦斯の働く有様より單働と複働とに區分する。此の機関の缺點は回轉力が時間に對して均等でない。故に發電機を回轉する

第 51 表 Gas Engine に使用せらるゝ gas は (A. I. E. E. vol. 22)

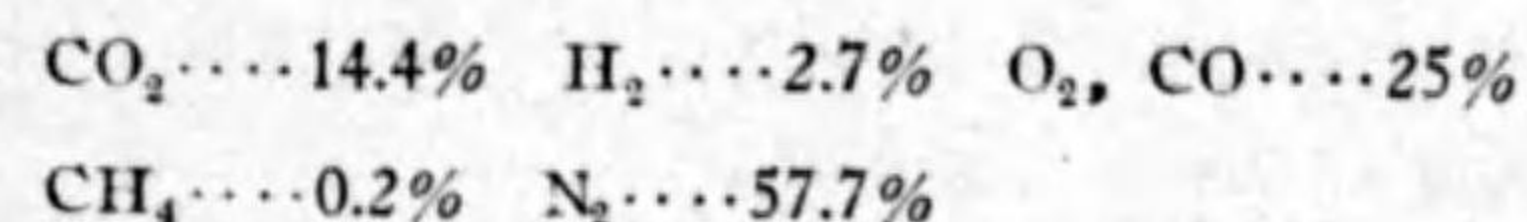
Kind of gas	Approximate Calorific Value of Gas. B.T.U./cub.ft.	B.T.U. per cubic foot of mixture	Kcal. per cub. meter.
1. Natural Gas.	1,000	91.0	398
2. Coal Gas.	650	91.7	400
3. Water Gas.	300~400	88.0	382
4. Carburetted water Gas.	600	92.0	400
5. Producer Gas.	120~145	60~68	260~295
6. Coke Oven Gas.	600	90.0	390
7. Blast furnace Gas.	90~100	53.0	230

1. Natural gas は天然に産出するガスである。2. Coal gas は石炭を蒸しやきして生ずるガス。3. 水を熱して得たガス。

様な時は汽筒の數を増すか、Fly wheel をつけるかが必要である。汽筒の位置より分類すれば

- (A) **縦軸型 (Vertical Type)**
- (B) **横軸串型 (Horizontal Type with Tandem Acting Cylinder)**

尙ほガス機関の不利な點は過負荷を十分にかける事が出来ない事、10%以上は掛けられない。故に此れを考慮して設計せねばならぬ。信頼度は蒸気機関に劣らぬ。機関だけの値段を比較する時は蒸気機関よりも遙かに高いが、附属品全部を入れて考へると差は少ない。熔鑛爐ガスの如きものを使用する時は燃料費の方の經濟は大である。此の熔鑛爐瓦斯の成分は大體



である。

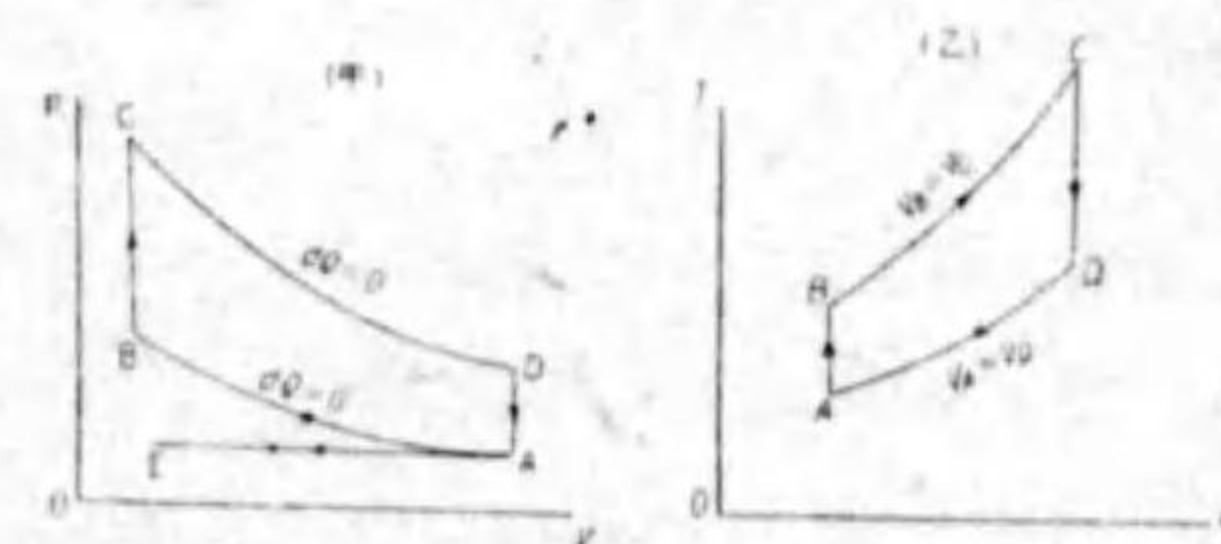
ガス機関は熱效率が高く、30%位は得られる。燃料の値が安く、負荷率の低い時は蒸気の方が經濟となり、此れと反對の場合にはガス機関の方がよい。

此等の機関の動作状態をサイクルにて示す時は多少諒解し易し。

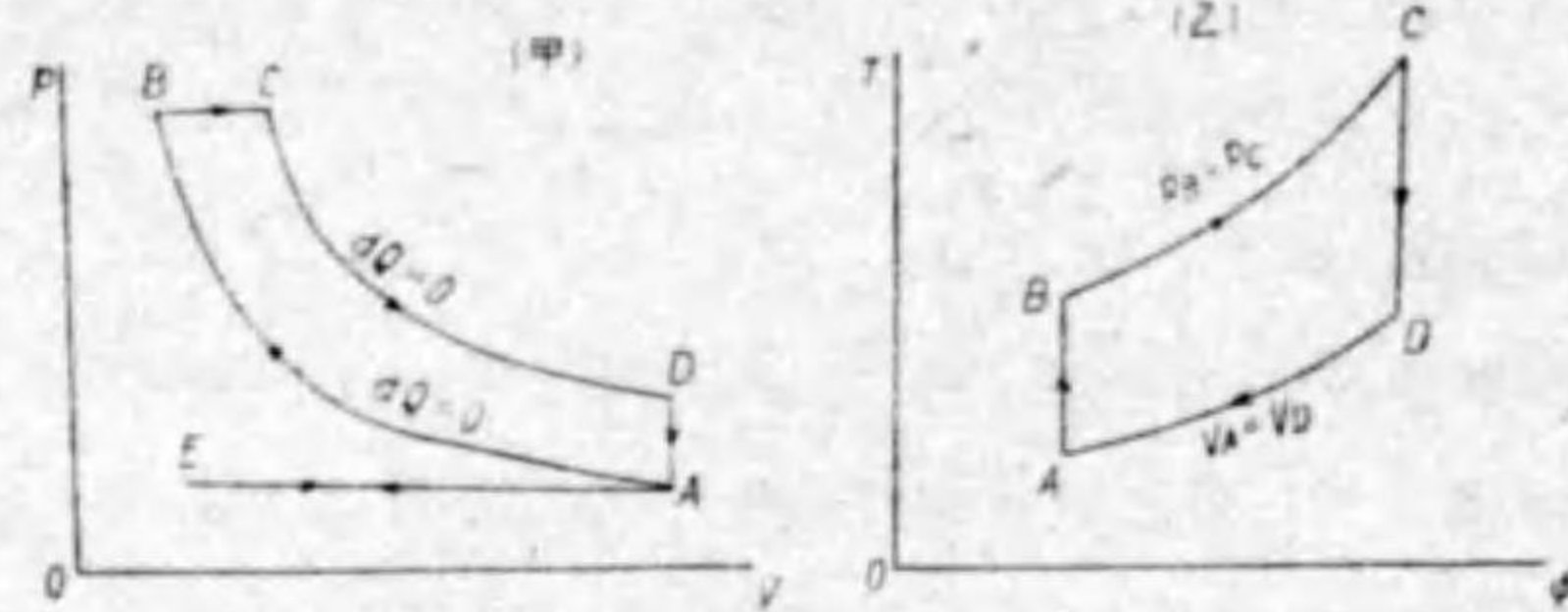
#### (i) Otto サイクル

E よりガスと空氣とを (ディーゼル機関の時は空氣だけ) 吸

入 A より壓縮する。溫度及壓力が上る。斷熱壓縮 B にて着火ガス燃焼し、體積一定にて壓力上り、溫度及  $\phi$  増加す。(ディーゼル機関の時は此處で燃料を入れ燃焼す) C より斷熱膨脹して D に至る、此の中に仕事をなす D より A までに放熱して壓力下る AE で排氣 (此のサイクルはガス機関及ディーゼル機関兩者に用ひらる。



第 172 圖



第 173 圖

(ii) Diesel サイクル。

E より空気を入れ A より断熱圧縮をなす。B にて燃料を入れ、燃焼して B より等圧膨脹、此の時 T 及 φ を増す。CD は断熱膨脹 D から先きは Otto サイクルと同様である。これはガス機関には用ひられず。

9.2. 起動装置 (Starting Compressor)

ガス機関の著しき缺點の一つは自己起動の出来ない事である。従つて容量が大なる場合には起動が面倒になる。壓縮機を用ひて起動するか、他の電源より電氣を得て電動機を回轉して起動する。Fly Wheel を回轉して、此れで起動する方法もある。

9.3. ガス發生爐 (Gas Producer)

石炭の不完全燃焼をなして、瓦斯を發生する装置であつて使用石炭には無煙炭、瀝青炭の如き灰分の少ないものをよしとす。此の瓦斯は壓縮により自然發火をなす。(第 52 表)

第 52 表 Coal の Composition

Class of coal	Fixed carbon	Volatile matter	Calorific value per lb. of coal in B.T.U.	Kg.-Calorie per kg.
Anthracite	97.0~92.5 %	3~7.5 %	14,600~14,800	8,030~8,120
Semi-anthracite	92.5~87.5	7.5~12.5	14,700~15,550	8,070~8,500
Semi-bituminous	87.5~75.0	12.5~25	15,500~16,000	8,500~8,800
Bituminous	75~60	25~50	14,800~15,200	8,120~8,350
Lignite	under 50	over 50	11,000~13,500	6,050~7,430

骸炭の發熱量

$$W = 8,137(100 - \text{灰分}\%) + 100 \text{ kcal/kg} \quad (\text{Brame})$$

油の發熱量

$$W = (7,500 C + 33,830 H) + 100 \text{ kcal/kg} \quad (\text{Inchley})$$

ガスの發熱量

$$W = (3,055 CO + 2,561 H + 8,577 CH_4 + 14,216 C_2H_6) + 100$$

溫度 0°C 氣壓 76 cm の時一立方メートルの瓦斯の發熱量を示す。各元素は容積の百分率とす。

$$W = (2,442 CO + 28,776 H + 11,983 CH_4 + 11,364 C_2H_6) + 100 \text{ kcal/kg}$$

各元素は重量の百分率を示す。

石炭の 1 kg より出るガス内の不純物は (第 53 表参照)

第 53 表

	Ammonia		Tar		Sulphur comp.
	lb.	kg.	lbs.	kg.	
Anthracite	1	~ 2	5	~ 10	traces
Bituminous	4	~ 5	10	~ 12	Slight to 5%

ガス發生爐には 2 種類ある。Pressure Type と Suction Type とである。此れは爐になつて居て、其の底部に於て石炭が燃え CO<sub>2</sub> (Carbon Dioxide) を作る。蒸發器から出た水蒸氣が此の燃料の間を通つて行く中分離して H と O に分け、空氣と共に火床の下より上に昇つて行く。

其の上層の白熱となつた燃料に働き CO<sub>2</sub> が CO になる。尙ほ水蒸氣の中にあつた O が炭素と結合して CO を作る。溫度は火格子の附近から次第に高くなり CO の出来る所で最大となる。980°C 位、此れより次第に下り 870°C 位でガスは發生爐から出て行く、其の瓦斯の成分は第 54 表の如し。

爐の大きさは 1 馬力に付き

第 54 表

			By volume	By weight
Combustible gases	Hydrogen	H	14.5	1.2
	Carbon monoxide	CO	20.8	23.5
	Methan	CH <sub>4</sub>	1.2	0.7
Icombustible gases	Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	6.5	11.5
	Nitrogen	N <sub>2</sub>	55.5	67.0
	Oxygen	O <sub>2</sub>	0.5	0.6

60.5~69.8 cm<sup>3</sup>, 又は 33.40~29.85 cm<sup>3</sup>

として設計する。内塗は Clinker のつかない様に十分注意し、石炭を入れる入口は空気の入らぬ様にする。機関の方に入れる空気は発生ガスの時は 1 倍から 1 倍半、市場に於けるガスの時は 1.9 倍である。**モンドガス発生爐** (Mond Gas Producer) と云うのは此れと同じものであるが、唯其の途中で Ammonia を取り、Sulphate を製造する装置を有するものである。

瓦斯の消費量は 1,500 kW ガス機関発電機の場合に大體第 55 表の如し。

第 55 表

	Rated	¾ load	½ load	¼ load
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Blast furnace	4	4.4	5.8	8.9
Coke Oven	0.76	0.85	1.1	1.7
Producer Gas	2.7	3.06	4.0	6.1

9.4. 油 機 関 (Oil Engine)

此れは主として小容量の発電所に使用する。主として Diesel Engine を用ゆ。壓縮により燃料が自然に發火する。

原油 (Crude Petroleum) は 18,500 B.t.u./lb (10,200 kcal/kg)

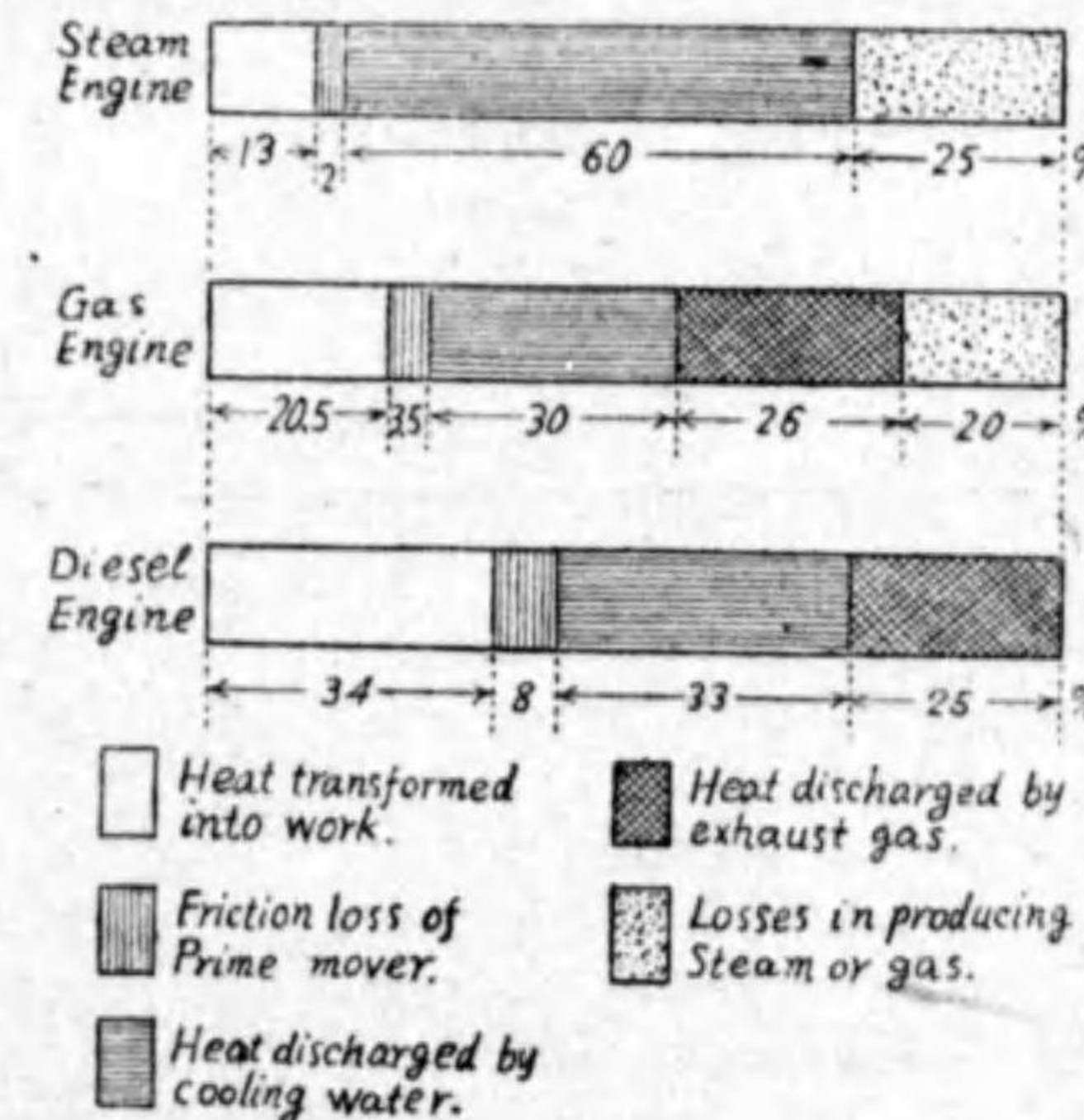
燃料消費量は大體 600 B.H.P. 18,500 B.t.u. (4,625 kcal) に於て第 56 表の如し。

第 56 表

Engine load	Fuel Consumption in lbs/h.		Fuel Cost in pence		Eff. of generator
	B.H.P.	kW	B.H.P.	kW	
125% (過負荷)	0.40	0.58	0.080	0.112	93.0%
full load	0.40	0.58	0.080	0.112	93.0
¾ "	0.42	0.61	0.084	0.112	92.5
½ "	0.47	0.69	0.098	0.132	92.0
¼ "	0.66	1.01	0.132	0.202	88.0

元來 Oil Engine と云へば油を燃料として用ゆるもので此れを氣化型と噴射型とに分ける事が出来る。氣化型は小型にして諸原動力に用ひらる。其の燃料より此の中を更らにガソリン機関と石油機関に分類せらる。噴射型とは重油を用ゆるもので Diesel Engine である。此れは發電機関としては、500~1,000 kW 位の容量である。船舶用としては 10,000 kW のものもある。故に現今では Oil Engine と云へば、直ちに Diesel Engine であると考へてもよい。

1894 年初めて Messers Maschinfabrik Augsburg Nürnberg の試験臺で試験された。1897 年市場に出る。精製油でなく重油でよい所がすぐれて居る。熱効率も 34% である。(第 174 圖)



第 174 圖 100% Heat introduced through Fuel

Steam Turbine の場合に Turbine だけに付いて云へば最近は熱效率が 28~35% と云ふものがある。罐の能率を 90% とすれば全體にて 31.4% と云ふものがある。

Gas Engine 自身にて 30%

Diesel Engine 自身にて 35%

となつて居る。

油 燃 料

原油を分溜する時は Crude Petroleum から Gasoline; Kerosine; Naphtha などが得られる。尚ほ細別すれば第 57 表の如し。

第 57 表

No.	Temp. °C	Distillate	%	specific gravity	Flashing point (引火點) °C
1	45°	Phigolene	Traces	0.59~0.625	
2	45°~60°	Chymogene	"	"	
3	60°~71.7°	Gasoline	1.5	0.636~0.657	
4	71.2°~121.2°	Benzine, Naphtha B	10.0	0.680~0.700	~10°
5	120°~175°	Benzine, Naphtha A	4.5	0.715~0.737	0°
6	177°	Kerosen	50.0	0.780~0.820	38.8°~51.6°
7	250°	Lubricating Oil	15.0	0.850~0.915	110°
8		Paraffin Wax	2.0		
9		Residuum and Loss	16.0		

第 58 表

Crude Oil	American Oil %	Russian Oil %	Scotch Shale Oil %
Volatile Oils	14	4	6
Kerosene Oil	54	27	38
Lubricating Oil	15	44	14.5
Vaseline	-	1	-
Paraffin Wax	2	-	11
Residuum and loss	15 (Resi. Loss)	14	30.5
	100	100	100

又産地により其の成分が異なる (第 58 表)

點 火 (Ignition)

ガス機関も油機関も點火と云ふ問題が相當重要である。此の方法には

- (1) 電気點火法 (Electric Ignition)
- (2) 外部加熱管點火法 (Fot Tube Heated Externally)
- (3) 加熱面と壓縮熱による點火法 (Ignition due to Hot Surface Aided by the Heat of Compression)
- (4) 高壓壓縮法 (High Compression)

がある。此の第 4 法が Diesel Engine に用ひられる。Diesel Engine に於ては 9,900 kcal/kg の重油を使用する時は 1 馬力に付此の燃料の 0.18 kg を要す。此の重油は爆發性でないから危険でない。運搬、貯藏に極めて便利である。

1927 年にはドイツに於て 15,000 kW, 9 cylinder 回轉數毎分 94 の大容量のものを製造し、1934 年には丁抹 Copenhagen にて 22,500 H.P. のもので、19,000 kVA の三相交流發電機を運轉して居る。我國に於ては昭和 7 年福山電氣會社にて 750 H.P. 4 臺を据置けて發電機を運轉した。

冷却水は蒸汽關の時 H.P.h に對して 44~66 gallon (200~300 liter) を要するの對して、此れは僅かに 2.2 gallon (10 liter) にて足る。尚ほ

第 59 表 熱機關の消費熱量と熱效率

機 關 の 種 類	消費熱量 kg-cal (毎時毎軸馬力)	熱效率 (毎軸馬力)
蒸 汽 機 關 (不 凝 式)	10,000~7,000	6.3~9.1
蒸 汽 機 關 (凝 縮, 過 熱 式)	7,000~4,100	9.1~15.4
ロ コ モ ビ ル 機 關 (凝 縮, 再 熱 過 熱 式)	4,300~3,800	14.9~16.7
蒸 汽 ター ビ ン (過 熱 式 200~2,000 H.P.)	6,000~3,900	10.6~16.2
蒸 汽 ター ビ ン (過 熱 式 2,000~10,000 H.P.)	3,900~3,500	16.2~18.1
ガ ス 機 關 (兀 斯 發 生 機 な し)	2,600~2,300	24.4~27.5
吸 入 ガ ス 機 關	3,500~2,800	18.1~22.7
デ ィ ー ゼ ル 機 關	2,000~1,800	32.0~35.3

附 第 60 表 Fuel of Desel Engine

Fuel	Ignition temp. in O <sub>2</sub> (C)	Heat values S.T.U. per lb Fuel	kg-cal per kg	Specific gravity	Remarks
Mexican Naphta	245	17,300	9,550	0.95	Naphta
Crude Naphta of the west Coast of America	234	17,530	9,660	0.94	(Earth Oils)
California Naphta	259	17,650	9,720	0.96	
Galician Gas Oil	244	18,730	10,280	0.86	Gar+Oils (Extracted from Earth Oils)
German Gas Oil	247	18,900	10,380	0.86	
Percian Oil	257	17,920	9,860	0.94	
Naphthalene	251	18,550	10,200	0.91	
Solar Oil	258	18,150	9,900	0.83	Gas Oils (Extracted from Liq-uite Tar)
Lignite Tar Oil	295	17,100	9,420	0.92	
Lignite Tar Oil	257	17,750	9,770	0.93	
Light Oil Extracted from Prime Tar	319	16,350	9,000	1.04	Light Oils
"		236	16,350	9,000	
Coal Tar Oil	471	10,000	8,800	1.03	Tar Oils (Extracted from Coal Tar)
Anthracene Oil	425	16,200	8,920	1.08	
Naphthalene Oil	574	16,000	8,800	1.02	
Wood Tar Oil	400	13,350	7,350	0.99	
Vertical Furnace Tar	465	15,450	8,500	1.10	Tars
Chamber Furnace Tar	468	16,300	8,980	1.12	
Coal Tar	477	15,620	8,600	1.10	
Water Gas Tar	497	14,900	8,200	1.06	
Jurpentine Oil	275	-	-	0.84	Vegetable
Palm Oil	-	16,000	8,800	0.91	Mineral Oils
Whale Oil	273	-	-	0.92	
Japanese Fish Oil	277	15,950	8,770	0.92	

液體燃料は負荷の急變化に應じ得る事と残滓がない利點がある。

### 温 度

華氏 (Celsius)  $t_1 = 0^\circ\text{C}$   $t_2 = 100^\circ\text{C}$

華氏 (Fahrenheit)  $t_1 = 32^\circ\text{F}$   $t_2 = 212^\circ\text{F}$

大氣壓 (水銀柱 760 耗) に於ける純水の氷點溫度  $t_1$  …… 沸騰點溫度  $t_2$

$$C = (F - 32) \cdot 5/9$$

$$F = C(9/5) + 32$$

絶對溫度 (Absolute Temperature)

$$T = C + 273.1$$

$$T = F + 459.6$$

氣壓は大氣壓を標準としてあらはす Gauge Pressure である。大氣壓は 760 mm で此れは 1.033 kg/cm<sup>2</sup> に相當す。故に Gauge Pressure を絶對氣壓で表はす時は 1.033 を加へる。例へば壓力計壓氣 10 kg/cm<sup>2</sup> なる時は絶對氣壓では 11.033 kg/cm<sup>2</sup> となる。

$$1 \text{ B.t.u./lb} = 0.555 \text{ kcal/kg}$$

故に石炭 1 lb が 12,000 B.t.u. を有する場合, kcal にするには 0.555 × 12,000 = 6,600 kg-Calorie/kg となる。

$$1 \text{ B.t.u.} = \text{Pond-degree-Fahrenheit}$$

即ち 1 lb の水を 1°F 高めるための熱量である。

第 61 表 エネルギー及び仕事換算表

キロワット時	B.t.u.	kcal.	呎 封 度	瓩 米	ジュール又 ワット時
1	3,415	860.5	2.655 × 10 <sup>6</sup>	3.671 × 10 <sup>5</sup>	3.6 × 10 <sup>6</sup>
0.7457	2,547	641.7	1.98 × 10 <sup>6</sup>	2.737 × 10 <sup>5</sup>	2.684 × 10 <sup>6</sup>
2.928 × 10 <sup>-4</sup>	1	0.252	777.5	107.5	1,054.0
1.162 × 10 <sup>-3</sup>	3.968	1	3,086	426.6	4,183.0
3.766 × 10 <sup>-7</sup>	1.286 × 10 <sup>-3</sup>	3.241 × 10 <sup>-4</sup>	1	0.1383	1.356
2.724 × 10 <sup>-6</sup>	9.302 × 10 <sup>-3</sup>	2.344 × 10 <sup>-3</sup>	7.233	1	9.807
2.778 × 10 <sup>-7</sup>	9.486 × 10 <sup>-4</sup>	2.390 × 10 <sup>-4</sup>	0.7376	0.1020	1

## 第9章 練習問題

- 9.1. 内燃機関の優れた点を挙げよ。
- 9.2. 内燃機関の種類。
- 9.3. 内燃機関の動作を説明せる熱サイクルに付きて述べよ。
- 9.4. 起動装置を述べよ。
- 9.5. 内燃機関に用ゆる燃料に付。
- 9.6. 油機関とは如何なるものか。
- 9.7. 内燃機関の能率。
- 9.8. 点火作用に付き。

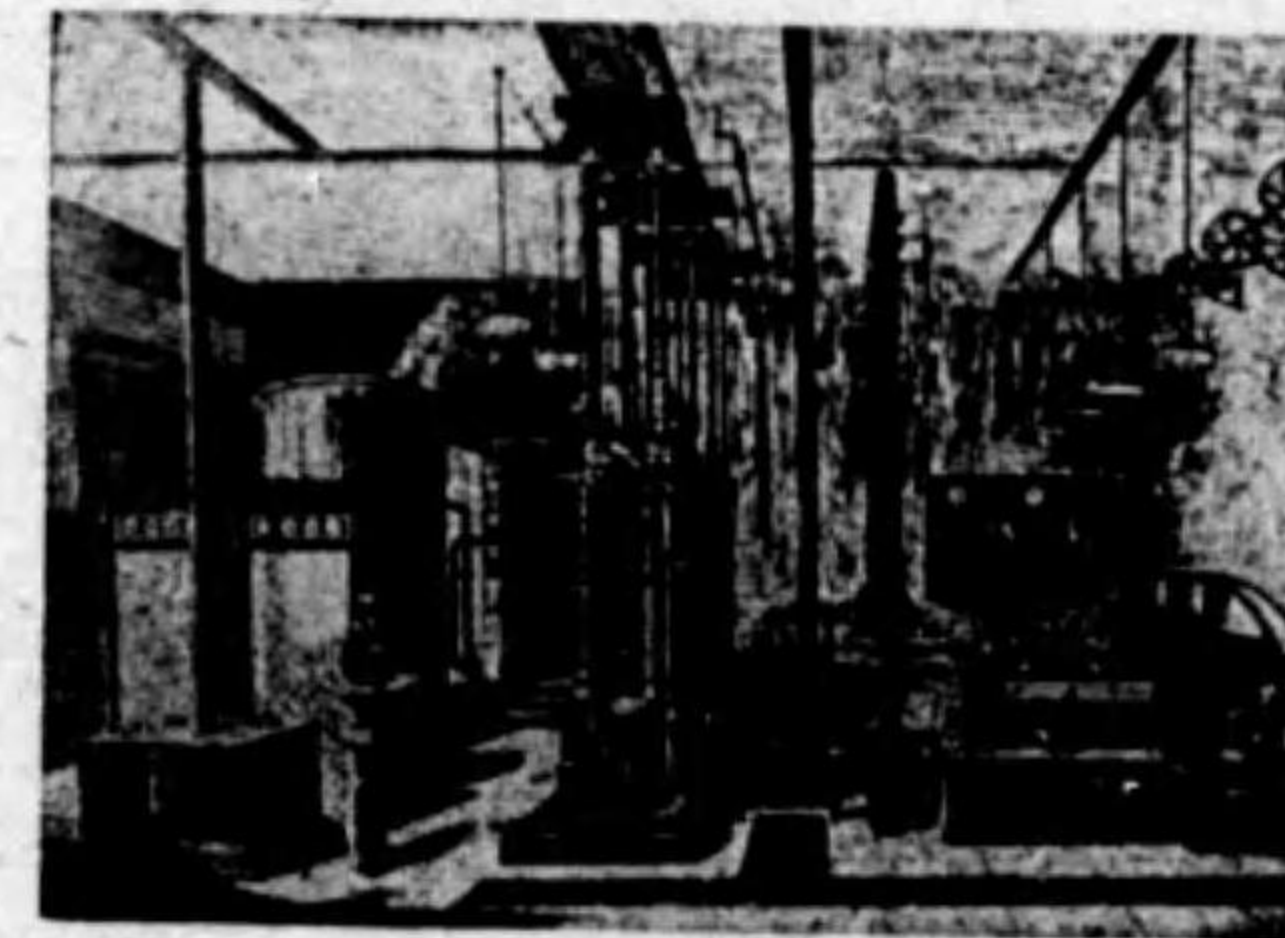
## 第10章 電気設備

(Electrical Equipment)

### 10.1. 発電機 (Generator)

三相交流発電機が一般に用ひられる。回轉磁界型であるが速度が早いから凸極子は禁物である。極数は二極又は四極であつて、直徑を小さくして軸の方向に長く造る。最初の発電機は 1882 年に Thomas A. Edison によつて製作せられ Pearl Street Station に据附けられた。此れは直流発電機であつて點燈用として使用された。此の時用ひられた白熱電燈は、消費電力 1 燭火に付 6.5 ワットと云う能率の悪いものであつた。其の後 1888 年にはアメリカに 410 ケ所の発電所が出来た。其の時の負荷は 70% は電燈であつた。昔、電気會社を電燈會社と云つたのは此の爲めである。歐洲では 1884 年に獨逸に発電所が出来て居る。此れは German Edison Co. と云う A.E.G. 會社の前身である會社がやつたので、Berlin の Friedrich-Strasse に建設さ

れ、4 臺の横軸往復機關を用ひ、16 燭光の電燈を 450 個點するものと、アーク燈 6 個を點火する発電機を回轉した。加熱面各 93 m<sup>2</sup> の汽罐 3 罐を使用して居る。此の時用ひた電流計は電解型であつた。



第 175 圖

(第 175 圖参照)

1886 年に交流発電機が用ひられ Pennsylvania 州の Greensburg に据付けられ變壓器も用ひて居る。以來次第に發明、改良されて大容量のものが出現して來た。此等の発電機の中にて往復機關やガス機關によつて運轉

せられるものは速度が小である故、直径の大なる極数の多きなものが用ひられるが、タービンによりて回轉するものは前述の如く回轉數が大であるから極數が少ない。

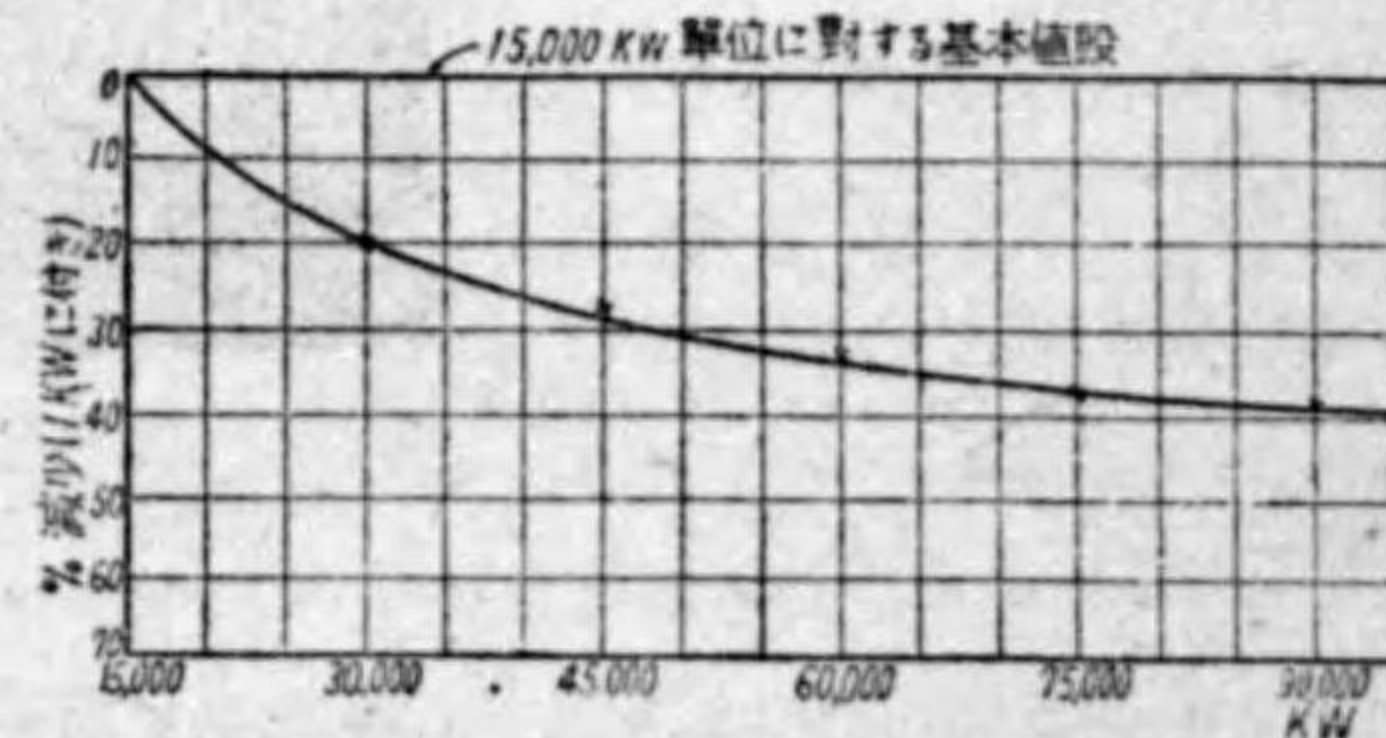
発電所に於ける発電機の單位の數は、成る可く少くする傾向がある。其の容量は、非常に大きなものになると1臺にて、80,000 kW, 160,000 kW の如きものがある。我國に於ても 15,000 kVA, 20,000 kVA, 35,000 kVA の如きものが据付けられた。尙ほ 40,000 : 50,000 kW から 75,000 kW のものも出來た。回轉數は 50~ にて 1,500 及 3,000 回轉, 60~ には 1,800 及 3,600 回轉が用ひられる。

発電機の電壓は送電線の方から定められるので、最近は可なり高い電壓 22,000 V を直接發生するものがある。電壓が高くなるときは、発電機の値段が高くなるが其の送電距離によりて、變壓器を用ひなくても済む故經濟になる。然し容量の小なるものは數千ボルトが用ひらる。(第 62 表参照)

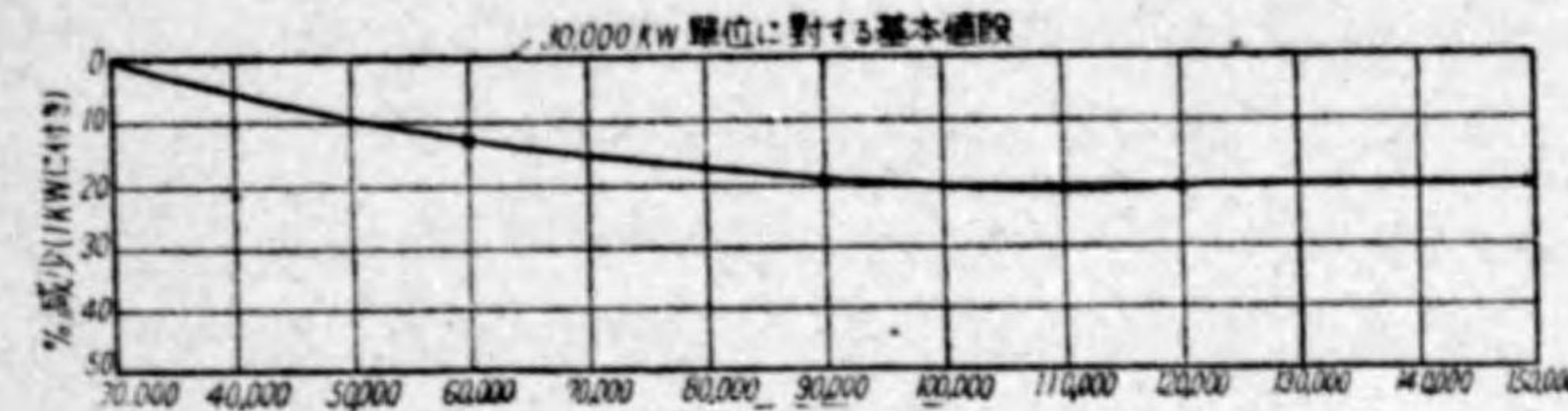
第 62 表

発電機の容量 (kW)	電 壓 (V)
750 以上	2,300~3,500V
2,000 以上	6,600
5,000 以上	11,000~22,000

一般に大容量を用ひて発電機の數を少くするとよいが、負荷曲線と所要機械豫備の関係から小容量のものを用ひねばならぬ場合が起る。設備を單純化する時は、信頼度は高くなるが、個々の場合に付尙ほ考慮せねばならぬ問題がある。大容量の発電機を用ひた場合の經



第 176 圖 單位交流發電機の容量



第 177 圖 單位交流發電機の容量

費の節減を示す時は第 176 圖の如し。此れは 15,000 kW の單位を用ひた場合を基礎として此の何倍かの單位を用ひた時の經費の節約が示される。第 177 圖は 30,000 kW を單位とした場合である。世界に於けるタービン発電機の個數を示せば第 63 表の如し。

第 63 表 世界に於けるタービン発電機の個數 (1932 年)

kW 範 圍	個 數
50,000~60,000	31
60,000~70,000	15
70,000~80,000	6
80,000~90,000	9
90,000~100,000	2
100,000~150,000	9
150,000~200,000	8
計	80

10.2. 交流發電機の電壓 (Voltage of Alternator)

アメリカでは交流發電機の電壓として 22,000 V 以上は用ひて居ない。Belgium に於て 36,000 V を用ひた (1932)。イギリスでは Lancashire Electric Power Co. の Kearsley Station にて 51,600 kW 及び Country Corporation の Longford Power Station の 30,750 kW に 33,000 V の發電機電壓を採用した。(1937 年)



## 送電距離に対する発電機電圧

距離 (哩)	電 圧 (V)
1~2	1,000~ 2,300
2~3	2,300~ 6,600
3~10	6,600~13,600

変圧器によりて選昇する時は 3,300 又は 6,600V 位の値が用ひられた。然し、大容量のものになつてから 11,000:22,000V を用う。遠距離送電の時は変圧器により此の電圧より更らに選昇する。

発電機の容量を決定するには其の温度上昇を定めねばならぬ。連続使用の時は室内温度を  $40^{\circ}\text{C}$  として  $40^{\circ}\text{C}$  の温度上昇を許す。25% の過負荷の時は  $50^{\circ}\text{C}$ 、50% の過負荷で全負荷より 2 時間運轉する時、温度上昇  $60^{\circ}\text{C}$  となる。其の許し得べき最高温度は絶縁物の種類によりて異なる。例へば含浸した絹糸、綿糸、紙は最大許容温度が  $105^{\circ}\text{C}$  にして、含浸しないものは  $95^{\circ}\text{C}$  としてある。マイカ、アスベスト等は、 $125^{\circ}\text{C}$ ~ $150^{\circ}\text{C}$  位となる。

大正 14 年電気協会の規定に於て室内温度は、寒暖計を以て測定し、 $40^{\circ}\text{C}$  を以て標準とす。

温度上昇は (寒暖計測定による)

第 64 表

発 電 機	線 輪 及 鐵 心	$55^{\circ}\text{C}$
		整 流 子 及 聚 電 環
電 動 機	軸 承 及 其 他 の 部 分	$40^{\circ}\text{C}$
		鐵 心 及 線 輪
變 壓 器	油 外 面 及 端 子	$40^{\circ}\text{C}$

## 10.3. 電圧調整 (Voltage Regulation)

電圧調整器を使用する時は、自由に発電機の端子電圧を調整する事が出来るから、発電機自身の電圧調整率を厳しく取りて、値段の高い発電機を購入する事は不利益である。調整器を用ひて低き電圧調整率のものを採用

する方が、全體として値段も安くなる。全負荷にて 100% 力率の時、急に無負荷になつた時 8~10% 位なればよい。

一般の電気供給事業に於ては其の供給電圧を常に負荷の変動に拘らず、一定に保つ事が必要である。此のため各発電所に於ては自動電圧調整器を設置して居る。此の調整器の具備すべき條件は

- (1) 感度の鋭敏な事
- (2) 調整速度の大なる事
- (3) 調整の行きすぎを生ぜぬ事

此の (2)(3) により亂調 (Hunting) を生じ易き故、特に注意せねばならぬ。

此の目的を達するためには、次ぎの如き二つの方法が考へられる。

- (イ) 発電機自身の電圧を調整する方法。
- (ロ) 負荷電流の調整によりて、電圧を一定に保つ方法。此れは調相機によるものである。

(イ) に付いて考へるに、界磁電流の調整には (1) 界磁抵抗器を動かすものと (2) 勵磁機の電圧を變化するものがある。

此れを動作機構より分類すれば

## (1) 振 動 型

チリル式 勵磁機の界磁抵抗を開閉するもの。

## (2) 抵 抗 器 型

B.B.C 扇型式 発電機又は勵磁機の界磁抵抗を高速度電動機で自動的に動かす。

## (3) 振 子 型

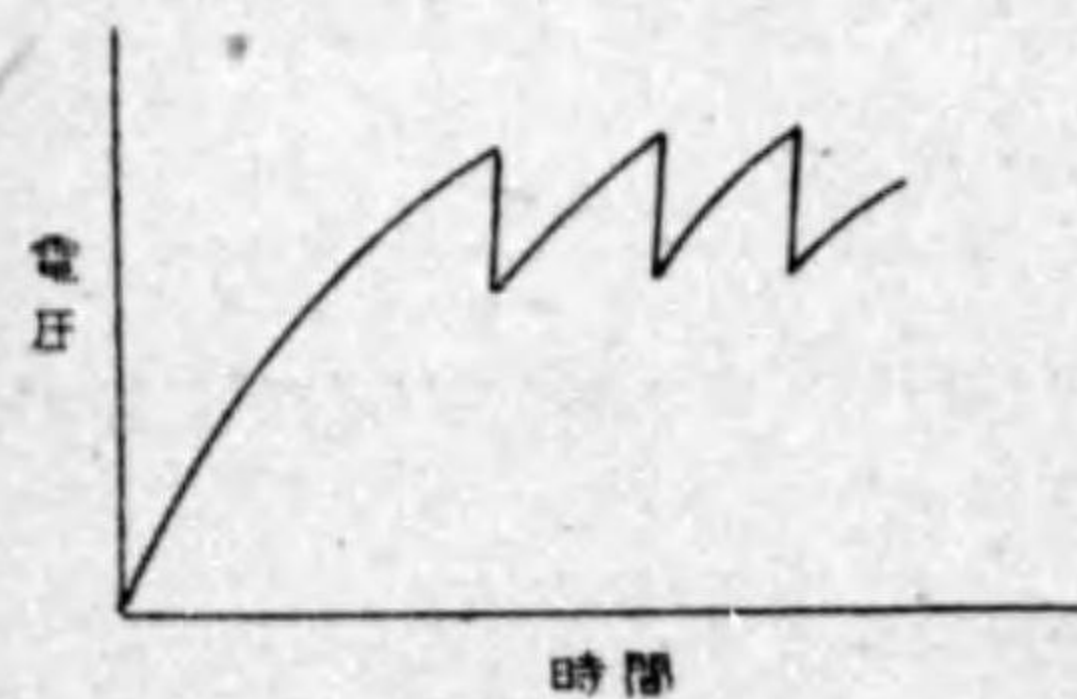
振子の原理を應用し、一定の周期の下に振子が左右に振動し勵磁器界磁抵抗器の抵抗を短絡及挿入す。

一般に多く使用せられるものに付き簡単に説明する。

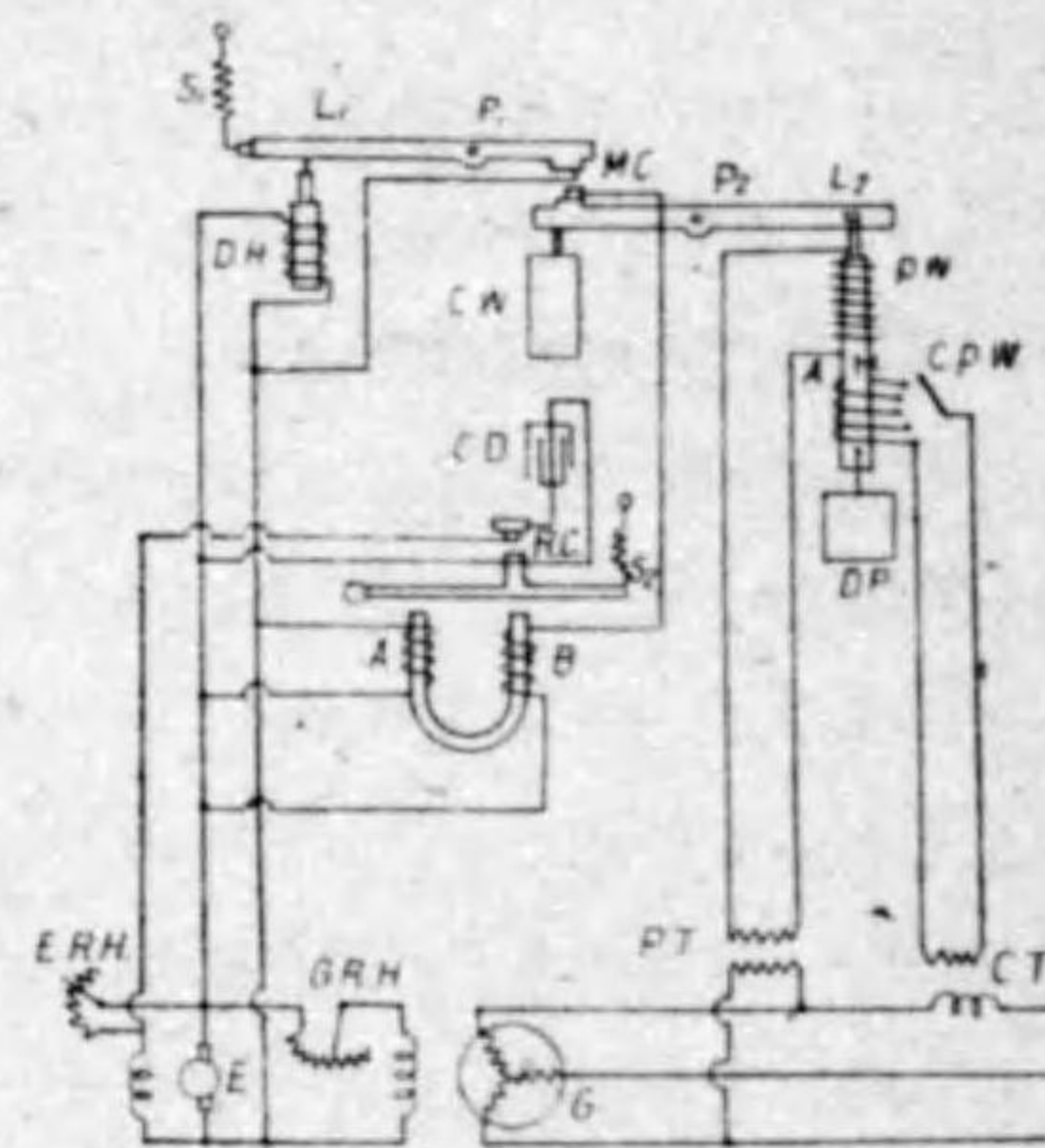
## (1) チリル調整器

第 178 圖に於て  $G$ =發電機,  $E$ =勵磁機  $L_1$  は槓桿で  $P_1$  が支點をなす。 $D.H$  は直流勵磁マグネットにして、此れによりて  $L_1$  を引き下げ主接觸點  $M.C$  を開く。 $E$  電壓が高いと此の開きが大きとなる。 $L_2$  は槓桿にして發電機の電壓及電流によりて働く。始め  $E$  の電壓が零の時は  $D.H$  が働かないから  $S_1$  により  $L_1$  は引き上げられて  $M.C$  が接觸して居る。従つて  $AB$  なる繼電器コイルに電流が流れず其の前のアマチュアは  $S_2$  に引かれて  $R.C$  リレー・コンタクトが接觸する故  $E.R.H.$  勵磁器の抵抗は  $R.C$  で短絡されて居る。今  $E$  の電壓が上り或る値になると  $D.H$  が働き  $M.C$  を切る。故に  $B$  コイルの電流が零となる。

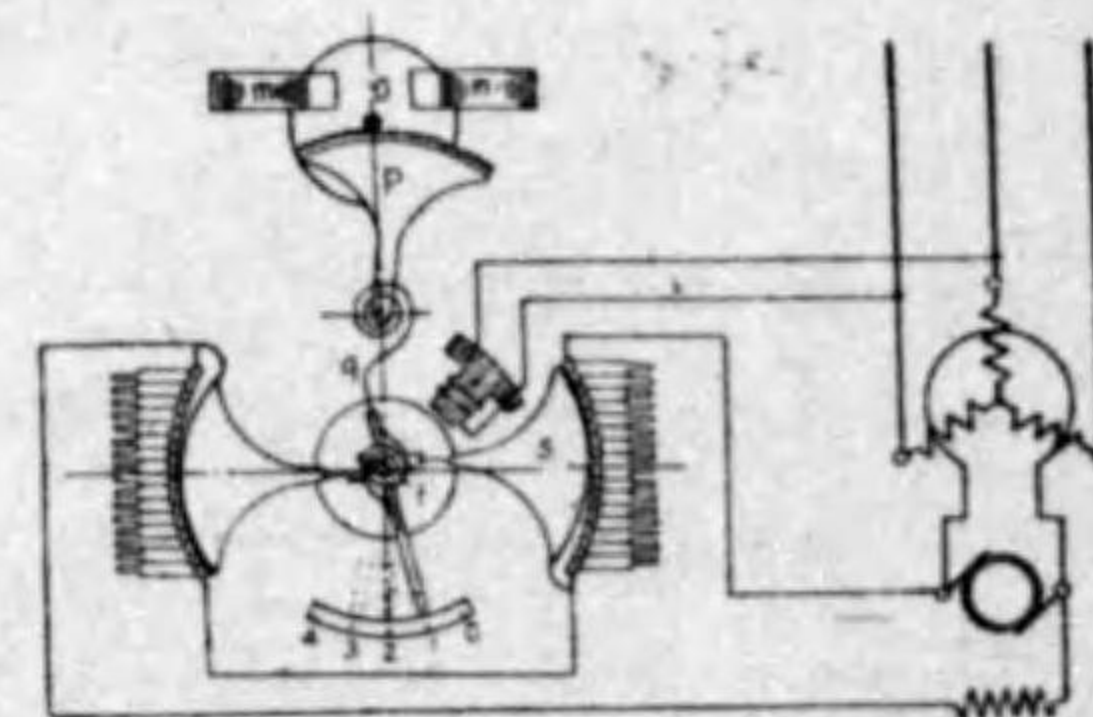
$A$  と  $B$  とは互に相反する磁束を作るから  $B$  の磁束が零となると  $A$  の磁束により  $R.C$  を開く故に  $E.R.H$  が入り  $E$  の電壓を下げる故に  $D.H$  の力が減じ  $M.C$  を閉じ,  $AB$  が弱り  $R.C$  が閉じ,  $E.R.H$  を短絡す。



第 179 圖



第 178 圖



第 180 圖

故に時間に対して,  $E$  が圖の如く變化す。 $P.W$  は交流發電の電壓  $C.P.W$  は電流に比例する電流が流れ其の出来る磁束は相反す。 $P.W$  は  $L$  を引き上げ  $C.P.W$  は引き上げる。

$C.W$  は鉛の細粒を入れ電壓の程度を加減す。軽くすると高くなる。

(2) B.B.C 扇型式

これも (1) と同様勵磁機の界磁抵抗を調整するものであるが、其の操作は高速度電動機又は電磁石によるものである。(第 180 圖)

發電機の基礎は振動の少なき事を必要とす。回轉するものは其の重量が比較的軽いから下を空洞にして此處より端子を出す様にしてある。

10.4. ターボ發電機の容量の限度 (Limit of Turbo-generator Size)

ターボ發電機に於て、其の製作上最も苦心するところのものは、ローターである。此のローターに付き二つの異なつた構造がある。

(1) 單一鍛鋼式 (芝浦製)

一つの塊鋼を鍛錬して仕上げたものであるから製作簡單なれど、材質上の不安を取り除く事が出来ない。熱處理の時、外部は内部よりも早く冷却するため、種々悪い應力が内部に集中して所謂殘溜應力となる。一例として材料にはニッケルクローム鋼を用ゆ。(第 65 表参照)

第 65 表 化 學 成 分

含有材料	Ni	Cr	Mn	C	Si	其 他
%	3.15	0.85	0.48	0.27	0.24	—

物 理 的 性 質

	弾性界限 (kg/mm <sup>2</sup> )	最大抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延 伸 率 (%)	断面收縮率 (%)
切線方向	58.1	76.4	21.1	57.7
放射方向	57.5	75.3	19.6	36.7

(2) 組立式 (三菱製)

三個又は四個の塊鋼を繼合せて製作す。嵌合せ面の仕上げ、ボルト孔の工作、ボルト製作締付け作業等餘分な製作費を要すけれど不定な部分を取除かれる。タービン発電機の容量はロートルの長さにより制限され、50~に於てロートルと軸とを單鋼式にてなす時は毎秒 148.5 m (毎時 202 km) 位が遠心力の限度となるから第 66 表の如き關係が得られる。

第 66 表

No of pole	r.p.m.	rotor length	limit of capacity, kVA
2	3,000	3 meter	40,000
2	1,500	4.2	100,000
4	"	6.2	135,000
4	"	7.5	170,000
4 (Hydrogen Cooling)	"	8.1	225,000

3,000 r.p.m. 80,000 kVA  
3,600 " 31,250 " } 回転數と大き

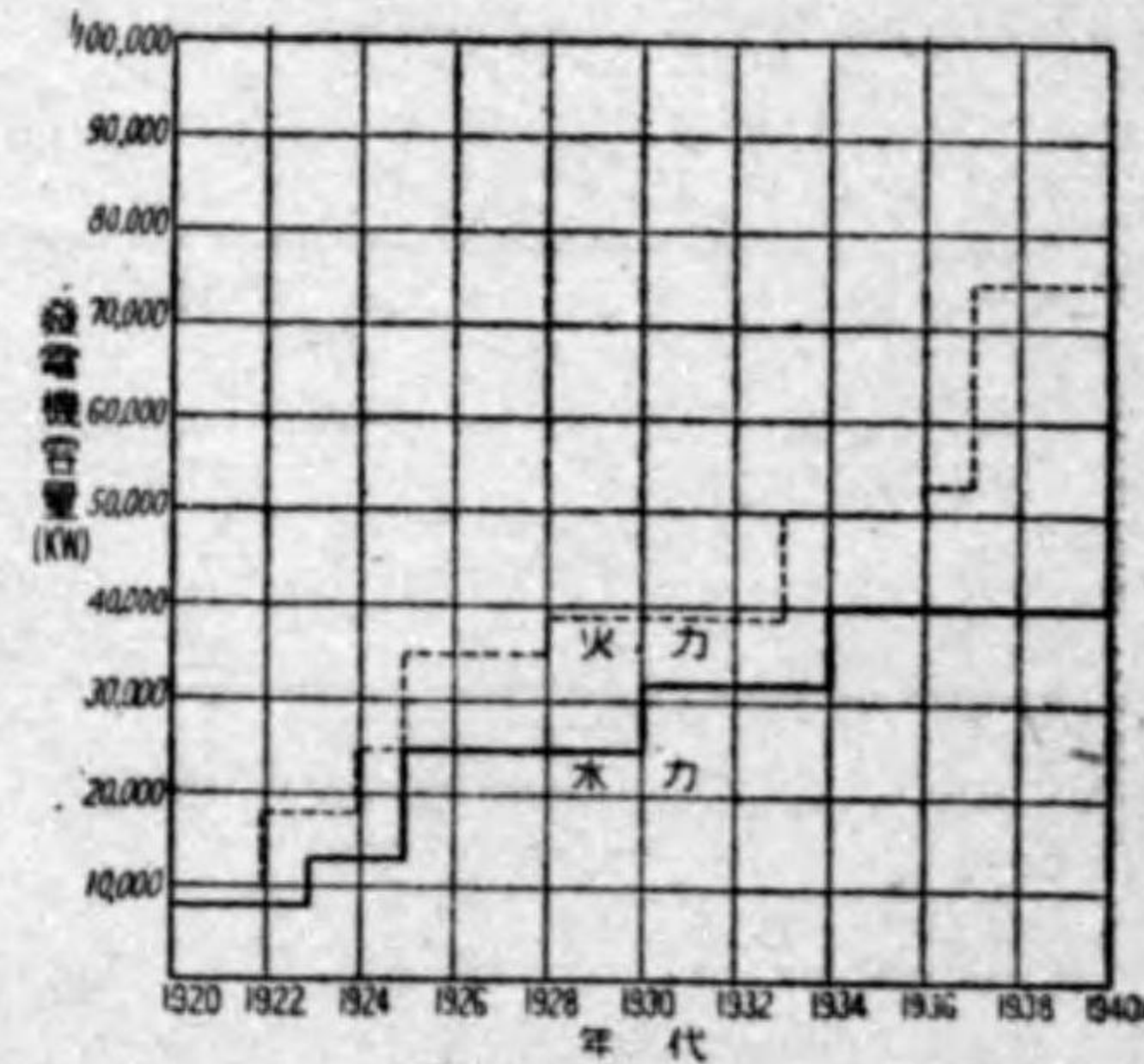
我國に於ける発電機容量の増進の有様を示せば第 181 圖の如し。

最大容量のターボ発電機は日本發送電尼崎発電所のものにして、93,750 kVA-13,200 V-1,800 r.p.m. 60~ 力率 80% にて 75,000 kW である。

(第 182 圖参照)

尙ほ最近は回転數を 3,000 r.p.m. より 3,600 r.p.m. に増大した。此れには次ぎの如き改良が加へられたためである。

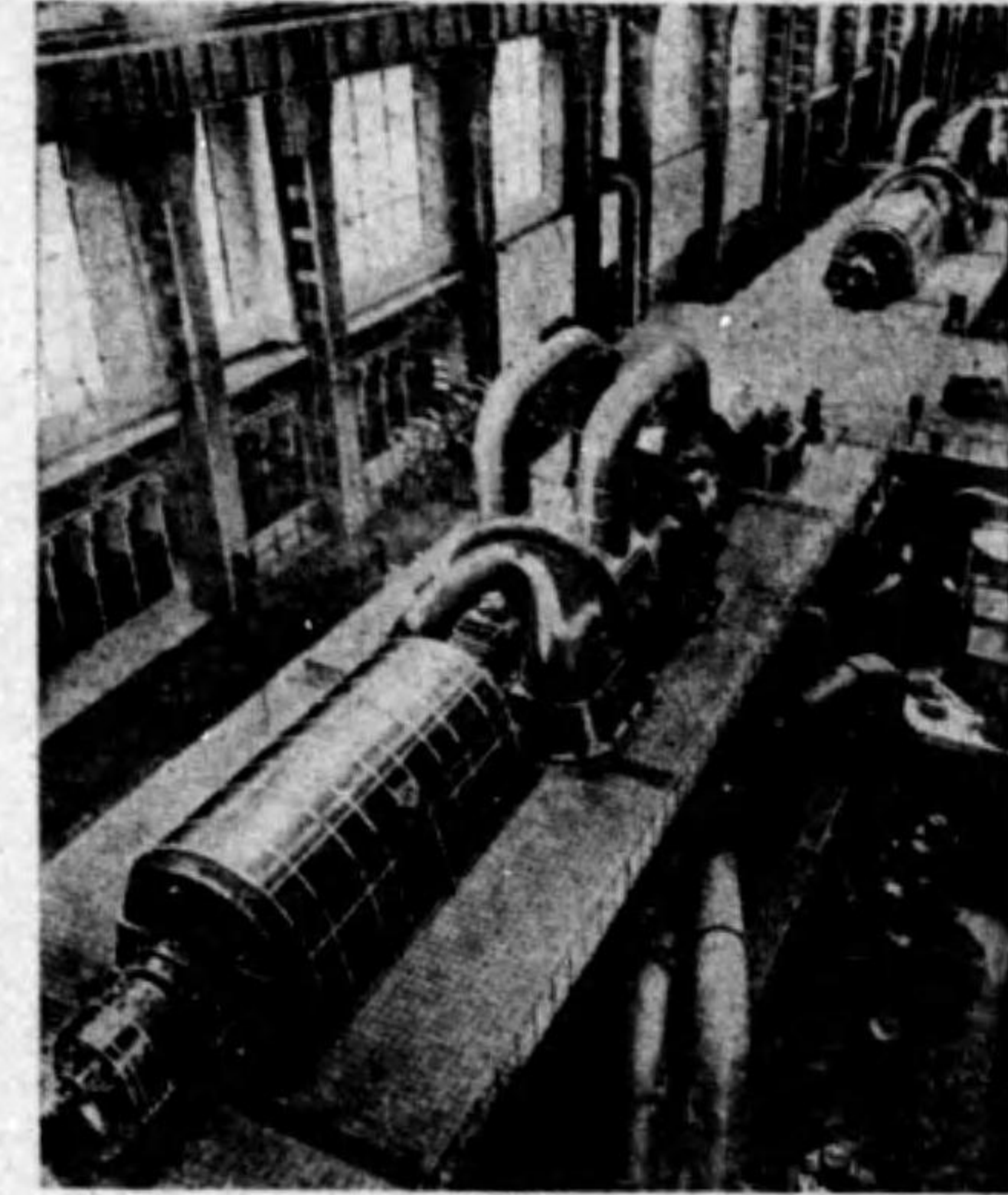
- (1) ローターに抗張力の大なる特種鋼を使用する事が出来た事
- (2) 水素冷却法の使用
- (3) 設計の進歩改善



第 181 圖

此の中の水素冷却の利點を擧げると

- (1) 風損を減ずる事。空氣の場合の 1/10 となる。音が減る。風損は発電機的全損失の 40~50% であるから此れが減ずる事は能率を非常に良くする。1,800 r.p.m. の時全負荷に於て能率を 0.65%, 3,600 r.p.m. の時 0.85% 良くする。
- (2) 熱の傳道が良いから冷却がよく出来る。空氣の約 7 倍の傳導率を有す。



第 182 圖

第 67 表の 1 復水タービン(大容量タービン発電機の標準)

発電機端出力 (kW)	回転數 (r.p.m.)	汽 壓 kg/cm <sup>2</sup>	蒸汽溫度 °C	抽汽 段數	抽汽溫度 °C	タービン出力發電機端に對する割合 %	力率	発電機冷却法
10,000	3,600	45.5	440	3	77/103/143	125	0.8	空氣冷却
12,500	"	"	"	"	"	"	"	"
15,000	"	"	"	"	"	"	"	"
20,000	"	59.5	480	"	"	"	"	"
25,000	"	"	"	"	"	"	"	空氣又は水素冷却
35,000	"	95.5, 87.5	"	4	77/107/143/177	"	"	水素冷却
50,000	"	"	"	"	"	"	"	"
75,000	"	"	"	"	"	"	"	"
100,000	"	"	"	"	"	"	"	"

タービン背壓、水銀柱 25.4 mm 又は 38 mm 發電機短絡比 0.9 發電機電壓 13,800V 勵磁電壓 250V

第 67 表の 2 前置タービン

発電機端出力 (kW)	タービン出力発電 機出力に対し %	力 率	発電機冷却法
10,000	111	0.8	空気冷却
12,500	"	"	"
15,000	"	"	"
20,000	"	"	"
25,000	"	"	空気又は水素
35,000	"	"	水素冷却
50,000	"	"	"
60,000	"	"	"

回転数 3,600 r.p.m. 汽圧 87.5 kg/cm<sup>2</sup> 汽温 500°C  
背圧 14~21 kg/cm<sup>2</sup>

- (3) 前の理由により同じ大きさの機械で水素冷却にする時は、温度上昇を等しくすれば出力を増加する。約 20% 増加する。
- (4) 塵埃や湿気がなきため絶縁物の寿命を長くする。
- (5) 電圧を高くしても Corona を生じ難い。

此等の利点を持つ故、1937 年 10 月に最初 25,000 kW に試みられたのが最近では 40,000, 50,000 kW のものに用ひられ、尙ほ 100,000 kW のものを製作された。第 67 表は此の標準的のものを示す。我國に於て 3,600 r.p.m. の用ひられた最初のもは昭和 3 年 1 月三菱ツェリータービンとシーメンス製発電機と組合せたもので容量 12,500 kW で撫順の大官屯発電所に据付けたものである。

#### 10.5. 発電機の冷却法 (Ventilation of Alternators)

発電機に負荷をかけると電気損失を生じ、熱を発生する故其の温度が高くなるから、これを冷却する事は重要な事柄である。一般の方法としては空気を鐵心及間隙内に通じて、其の発生した熱を外部に運び出す。尙最近では空気の代りに水素瓦斯を用ゆ。冷却法がよく行く時は、同じ大きさの機械に於て其の出力を増す事が出来る。冷却方法には 2 種ある。

- (1) 密閉式 (Enclosed Type) 空気を密閉し一度使用して高温度にな

つたものを、水で冷却して再び使用するものである。故に空気冷却洗滌器を備う。

- (2) 開放式 (Open Type)。一度使用した空気を外氣中に放出するものである。空気吸入口の所に空気洗滌器 (Air Washer) を設備して居る。交流発電機が局部的に熱せられる時、其の最高温度を 125°C 以下に保つ爲、強制通風 (Forced Ventilation) を行ふ。此の場合に考慮すべき事柄は

- (1) 空気の量と通風速度 (Quantity and Velocity of Air)
- (2) 冷却用空気の入氣と廢氣との温度差 (Temperature Difference in Cooling Air)
- (3) 冷却作用にあづかる表面積 (Surface Exposed for Cooling)
- (4) 發生する總損失 (Losses to be Dissipated)

空気を送る方法から考へる時は

- (イ) 内部送風機。ローターに羽根を取付ける場合、此れは多くの電力を消費する故に、低負荷の時は能率を非常に悪くする事になる。
- (ロ) 外部送風機。(イ) の場合は負荷の大小によりて、通風の量を加減する事が出来ないから、輕負荷にて空氣量の少なくてよい場合にも、全負荷の場合と同じ量の空氣を送る事になるので、此れを加減するために発電機の外部に電動扇風機を別に設置し、此れによりて適當量の送風を行う。此の時、ローターにも小さき羽根を取付け、輕負荷の時此れだけにて送風する。

熱の傳はる部分が鐵心、銅、空氣及絶縁物であるから、其の傳導率が各部に於て異なる。空氣の代りに水素を用ふる事は、前述の如く 1928 年初めて行はれたが、此れは空氣よりも熱の傳導が 7 倍もよい。空氣と混すると爆發する恐れがあるが、30% 以上の空氣が入らねば爆發は起らないので調製をよくすれば危険でなくなる。普通水素の量を 80% 以上に保つ。水素が 10% 以下の場合も爆發は起さない。

空気冷却の場合の空気の量は普通密閉式で  $990 \text{ m}^3/\text{min}$  を洗滌使用する。開放式の時は使用して温度の高くなつた空気を汽罐に使用する所もある。

### 空気量の計算法

30,000 kVA, 1,800 r.p.m. 13,000 V のターボ発電機に付いて考察する。100% 全負荷の時の温度上昇を  $100^\circ\text{C}$  とする。冷却空気の温度は  $25^\circ\text{C}$  の温度上昇とする。鐵心の外面が  $40^\circ\text{C}$  上昇するとせば空気より  $15^\circ\text{C}$  だけ高くなつて居る。電機子の銅線の温度が  $100^\circ\text{C}$  上昇する。此の絶縁物の中で  $45^\circ\text{C}$  の温度降下がある。其の熱傳導率が  $0.00118 \text{ W}/\text{cm}^2$  ならば絶縁物の厚さが  $0.635 \text{ cm}$  の時、コイルの中に發生する熱を  $0.093 \text{ W}/\text{cm}^2$  とすれば此の絶縁物の中の温度降下は

$$T = \frac{0.093 \times 0.635}{0.00118} = 50^\circ\text{C}$$

となる。

此の熱の傳り方に二通りある。

- (1) コイルに沿うて兩端に傳はつて行くもの。
- (2) コイルに直角に絶縁物を通つて鐵心の方に傳はつて行くもの。

機械が大きくなる時は其の損失も増大する。今 30,000 kVA に付き 97% を能率とする時は、其の損失は全負荷の時 900 kW となる。故に空気を十分通じて、冷却してやらねばならぬ。これには、通風渠 (Ventilating duct) を要す。15~25% 位を全發電機の容積に對して必要とする。乾燥空気の 1 立方メートルは  $21.1^\circ\text{C}$  に於て 1.2 kg の重量である。此の  $21.1^\circ\text{C}$  にて 1 度温度が違ふ毎に 0.292 kcal の熱を吸収する。これは乾燥した空気が 3.42 立方メートルが  $21.1^\circ\text{C}$  に於て 1 kcal の熱を吸収する時、温度が 1 度昇る事を表はす。

しかるに

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

故に任意の發電機に於て

$$1 \text{ 分間に要する空気量 (m}^3) = \frac{3.42 \times \text{kWh 損失} \times 860}{\text{冷却空気の温度差} \times 60}$$

これを前例に入れるときは  $22^\circ\text{C}$  が空気の許容温度上昇と取れば 30,000 kVA に付 900 kW の損失であるから、必要な空気量は

$$\frac{3.42 \times 900 \times 860}{22 \times 60} = 2,000 \text{ m}^3$$

普通空気の速度を毎分 610~915 m と取るが 1,830 m とすれば、

$$\text{總通風溝の斷面積} = \frac{2,000}{1,830} = 1.09 \text{ m}^2$$

空気が兩方から入る時は面積は此の半分でよい。

これを送る送風電動機の容量は

$$\begin{aligned} \text{H.P.} &= \frac{7.24 \times (\text{m.m. of water}) \times (\text{m}^3 \text{ of air}) / \text{min.}}{3,300 \times \text{fan eff} \times \text{motor eff}} \\ &= \frac{7.24 \times 12.7 \times 2,000}{3,300 \times 0.6 \times 0.8} = 11.5 \text{ H.P.} \end{aligned}$$

空気を通すのに二通りある。

- (1) Axial (軸方向)
- (2) Radial (放射状)

(1) の軸方向はステーター・コアに別に溝を設け此の中に空気を通す。結果はよい。

(2) 兩端から空気を通してステーターの溝を通つて軸に直角の方向に空気が傳はる。故にロートルは此の場合よく冷却されるがステーターの方は悪い (1) と (2) とを混合したものが用ひられる。

### 10.6. 勵磁機 (Exciter)

交流發電機には、磁界を作るため直流發電機を勵磁機として必ず備へねばならぬ。これには従來平複捲發電機 (Flat Compound Dynamo) を使用した。電壓は普通 125 V であつたが最近では 250 V を採用して居る。發電所の容量が大きくなる時は、勵磁機の容量が大きくなるので、電壓が低いと電流が大きすぎ電線が餘計要るので電壓を高くして電流を低く取る事に

なる。

励磁機の容量は発電機の種類及其の容量によりて異なる。低速のものは極数が多い故多くの容量を必要とす。発電機の容量が大となる時は、此れに附属する励磁機の容量は割合に小さくなる。

励磁機の容量

タービン発電機	励磁機の容量
交流発電機の容量	(%)
1,000~5,000 kVA	0.5~0.3
7,500~35,000 kVA	0.4~0.3
40,000 kVA (3,600 r.p.m)	0.576

水車発電機

交流発電機の容量 (kVA)	励磁機の容量 (%)
1,000~5,000 kVA (低速)	1.5~0.8
1,000~5,000 (高速)	1~0.5
7,500~20,000 (低速)	0.7~0.5
7,500~20,000 (高速)	0.5~0.4

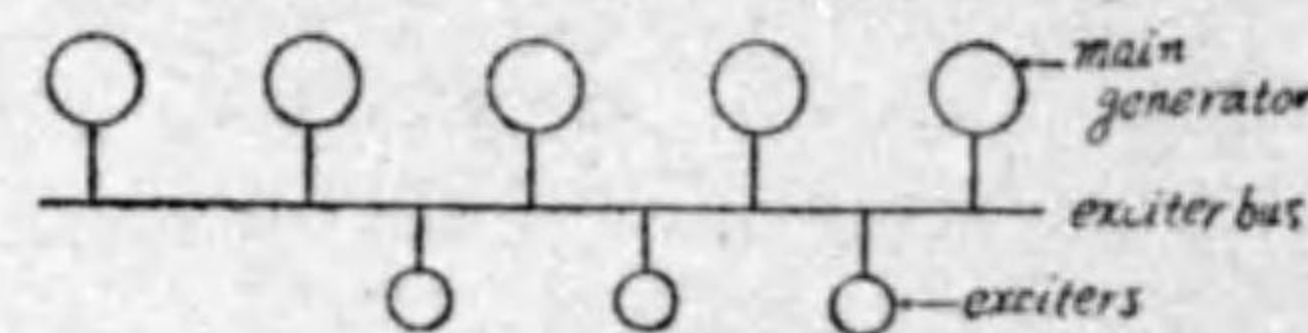
電動発電機

1,000~5,000	1~0.5%
-------------	--------

負荷の變化に對して、電壓の調整を迅速に行う目的にて、主励磁機に更に励磁機が用ひられる。此の第二の励磁機は磁界に永久磁石を用ふ。従つて其の電壓が迅速に誘起せられる故、第一の励磁機の励磁及起電が頗る迅速に行はる。此の第二の励磁機は界磁が負荷により

て變化せぬから電壓上昇が急速である。此れを速應励磁 (Quick Response Excitation) と云ふ。勵

(A) Central System Separately driven exciter



第 183 圖

磁機の接続方法として、次ぎの如き方法が用ひらる。

励磁機を別個に置き他のタービンで運轉し、母線を通じて交流発電機を励磁す。信頼度は高きも経費は増す。(第 183 圖参照)

励磁機は主タービンに直結され、此れによりて回轉せらる。一度励磁機の母線に電流を集めて、更に發電機に配電する。

(第 184 圖)

第 185 圖は各交流發

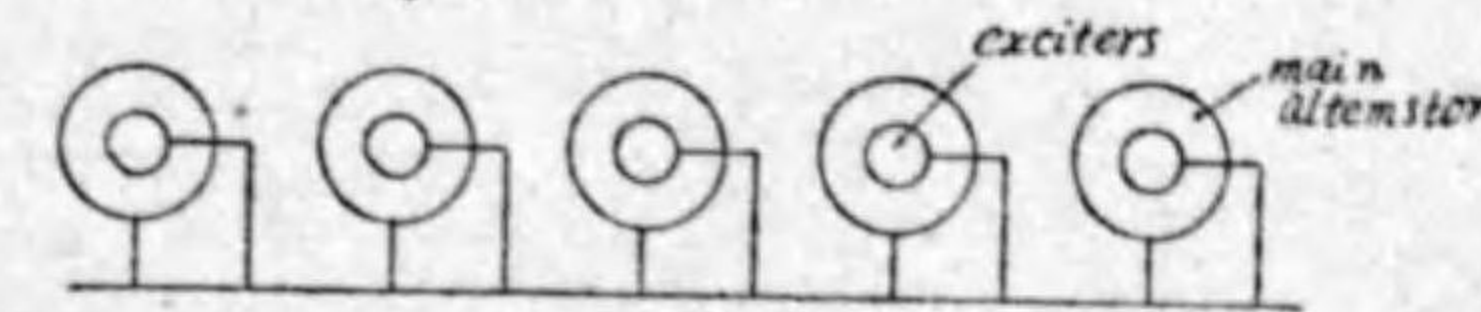
電機毎に励磁機を取付け、此れより直接励磁電流を供給す。従つて、各機獨立に運轉する事になる。励磁機の信頼度が高い時は此の方法は配線も簡單で運轉も容易である。

第 186 圖は別に交流發電機を設け、此れより交流の電動機を回轉し、電動發電機として励磁機を運轉す。此の電動發電機は各主發電機毎に取付けられて居る。

10.7. 變 壓 器 (Transformer)

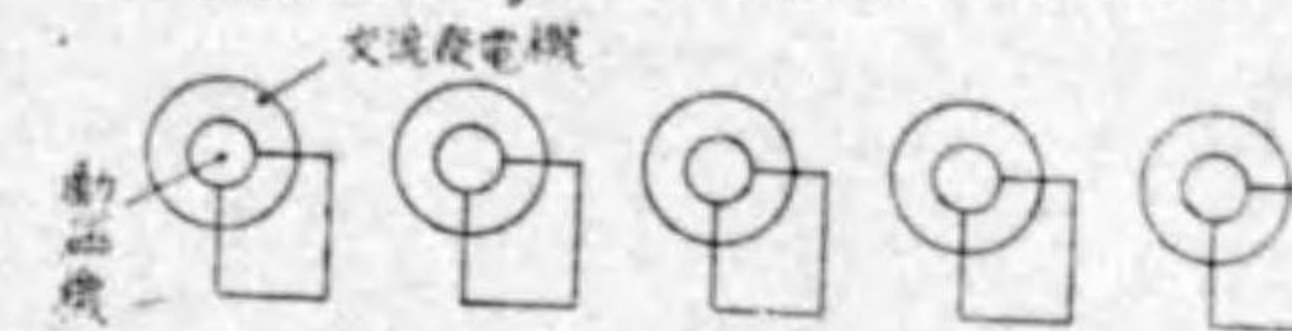
發電所にて發生した電力を遠隔の地に送るためには其の電壓を上げる事が必要である。此の目的のために變壓器を使用する。送電には一般に三相式を用ふ。従つて變壓器は三相變壓器を用ゆる場合と單相變壓器を三個用

(B) Central System Direct Exciters



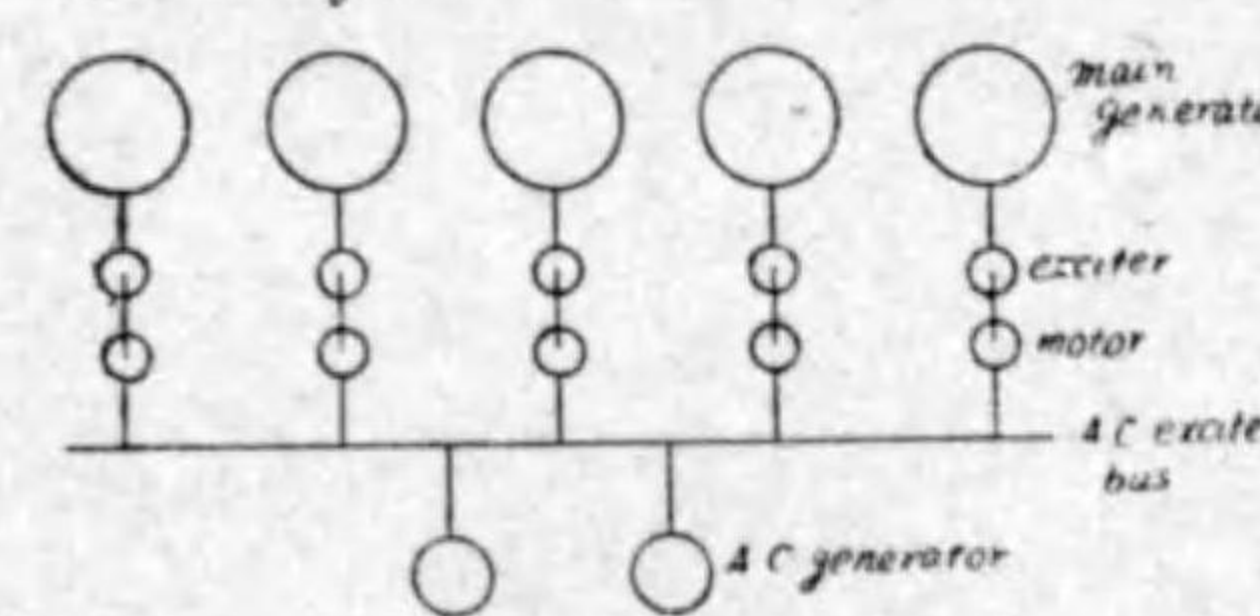
第 184 圖

(C) Individual System Direct Connected Exciter



第 185 圖

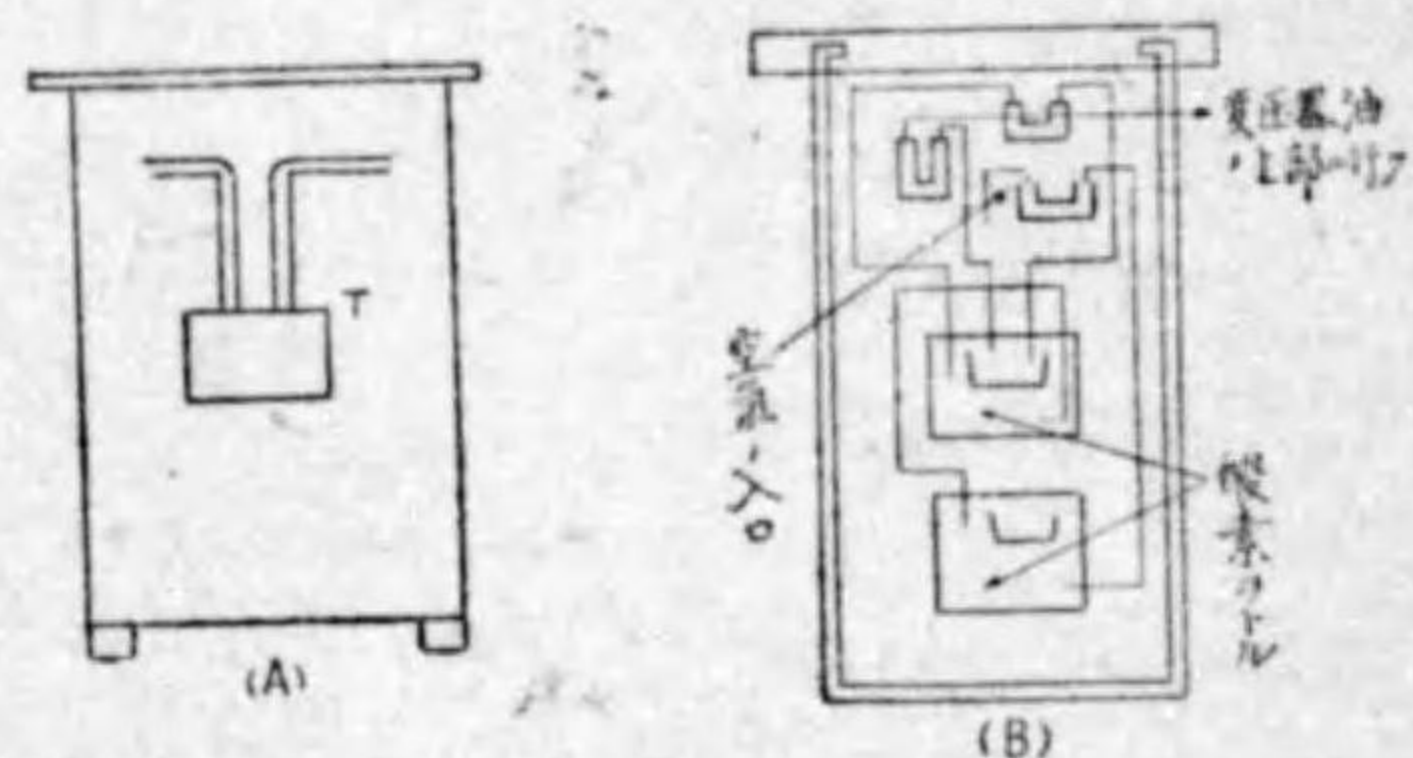
(D) Motor-generator System



第 186 圖

する場合がある。単相変圧器を三個用ゆるよりも、三相変圧器を一個用ゆる方が安価であるが、修繕の時は不便である。又豫備の問題を考へる時は単相なれば、唯一個増加するだけでよいが、三相変圧器なれば此れと同容量のものを豫備として置かねばならぬ事になる故却つて値段が高くなる。故に從來單相變壓器、四個を設置し其の一個を豫備とする方法が用ひられた。

變壓器は負荷がかゝる時は温度が上り油が膨脹する故、其の鐵箱が膨脹する。負荷がなくなる時は、温度が下り油が收縮するが其の鐵箱は元の状態にかへらず。従つて外氣が浸入して來る事になる。



第 187 圖

空氣が出入する故、此れを變壓器が呼吸 (Breathing) をすると云ふ。此のため空氣が油の表面に接觸するので、自然に油が酸化し軟泥 (Sludge) を作り、油の質を悪くする。故に此れを防ぐため酸素を取り除いた窒素だけが出入する様に設計したものが用ひられる。此れを

第 68 表 油入變壓器の絶縁と冷却とを目的とする礦油。

第一種變壓器油、第二種變壓器油とある。

(電氣工学ポケットブック p.1740)

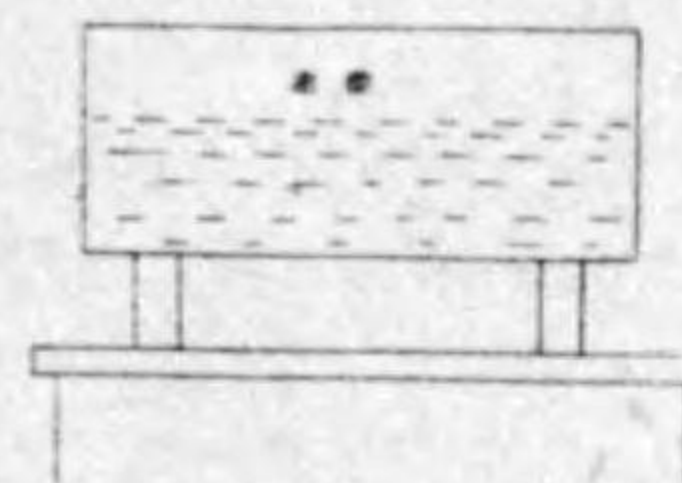
種別	比重 (15°C)	粘度 (レッドウット粘度計にて)			凝固點	引火點 (ペンスキー・マルテンス試験にて)
		20°C	50°C	75°C		
第一種變壓器油	0.91以下	140秒以下	50秒以下	38秒以下	-10°C以下	130°C以上
第二種 "	0.93以下	220秒以下	70秒以下	45秒以下	-5°C以下	145°C以上

Sludge のたまるはよくない。

耐壓試験直徑 12.5 mm の Sphere にて gap 2.5 mm に於て 25 kV (50~60~) に耐へること。

イナーテヤー變壓器 (Inertair Transformer) と云ふ。水分及酸素を空氣より取除いたものが這入る様に出來て居る。第 187 圖の (B) は (A) の T の部分を示す。

此の外に油の空氣に接觸する面を少なくするため、コンサーベーター (Conservator Tank) と云つて、變壓器の蓋の上から管を出し其れを小さ



第 188 圖 (イ) 變壓器

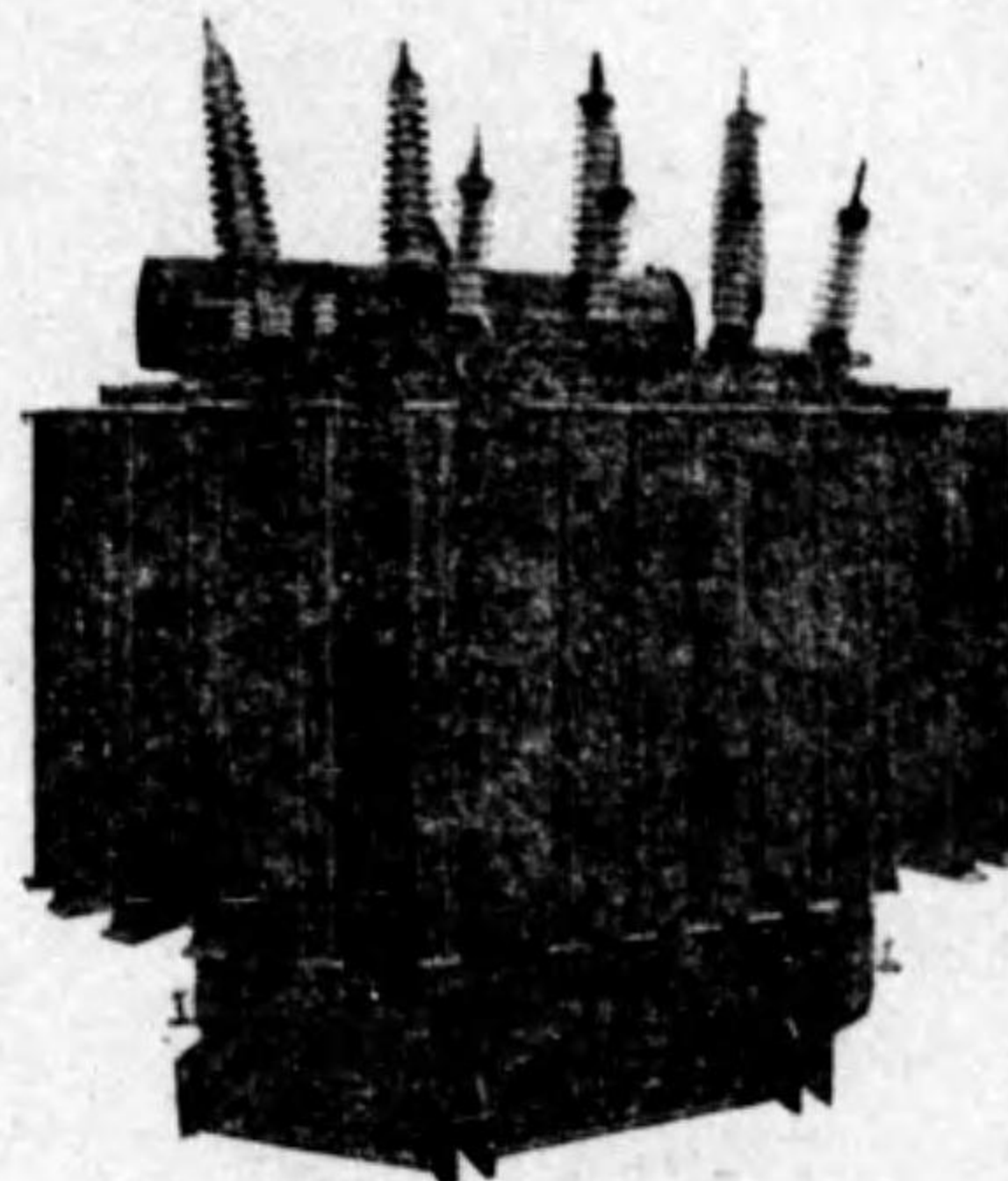
な油槽につないだものがある。此の場合油は油槽の油の表面だけにて空氣に接觸する故、油の酸化する量が減少する。

第 188 圖 (イ) (ロ) (ハ) に此れを示す。

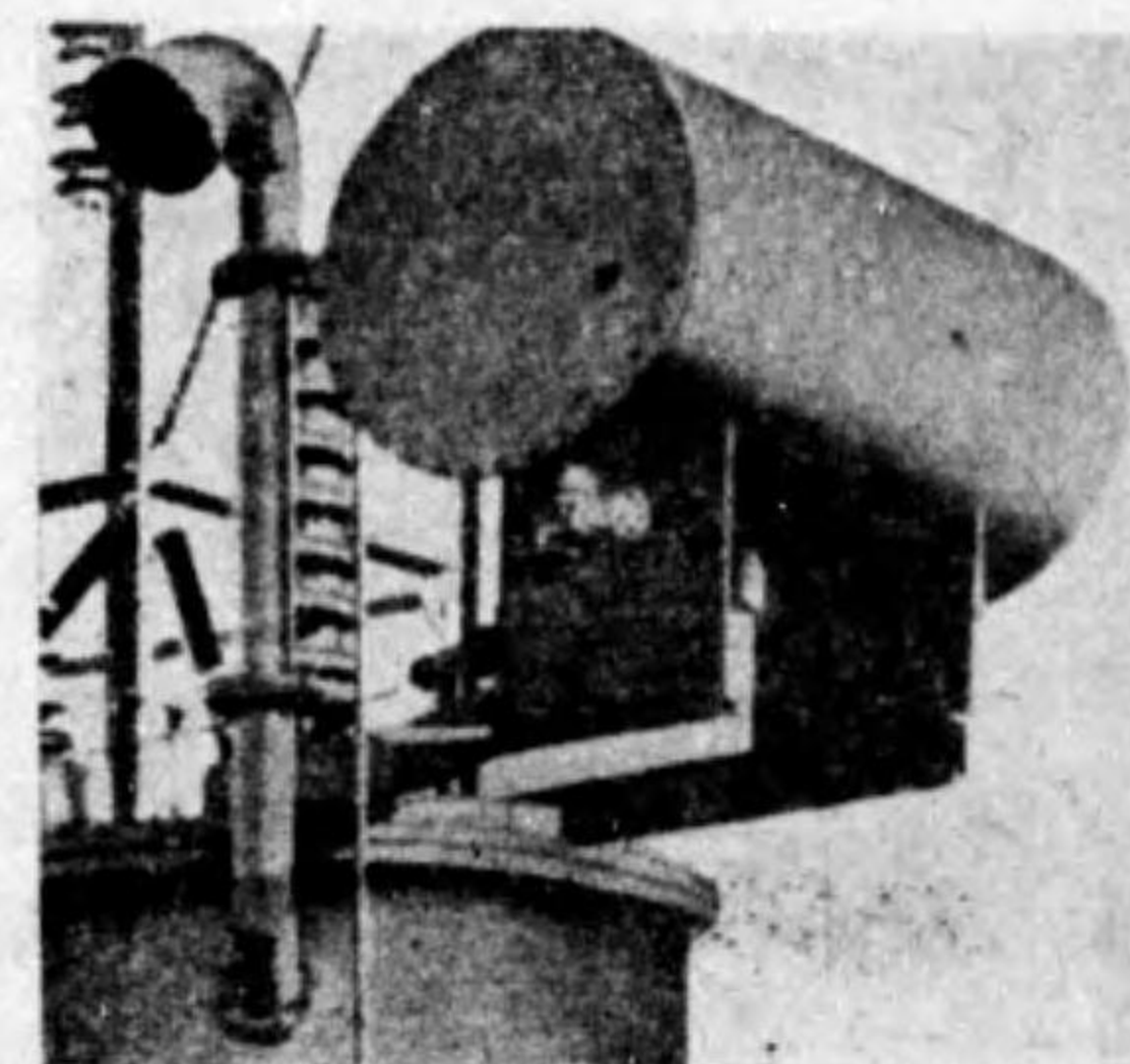
變壓器の冷却装置としては、次ぎの如き方法が用ひらる。

- (1) 油入自冷式
- (2) 補助送風機付油入自冷式
- (3) 強制油循環式又は油入送油式
- (4) 油入水冷式
- (5) 氣冷式及送風式

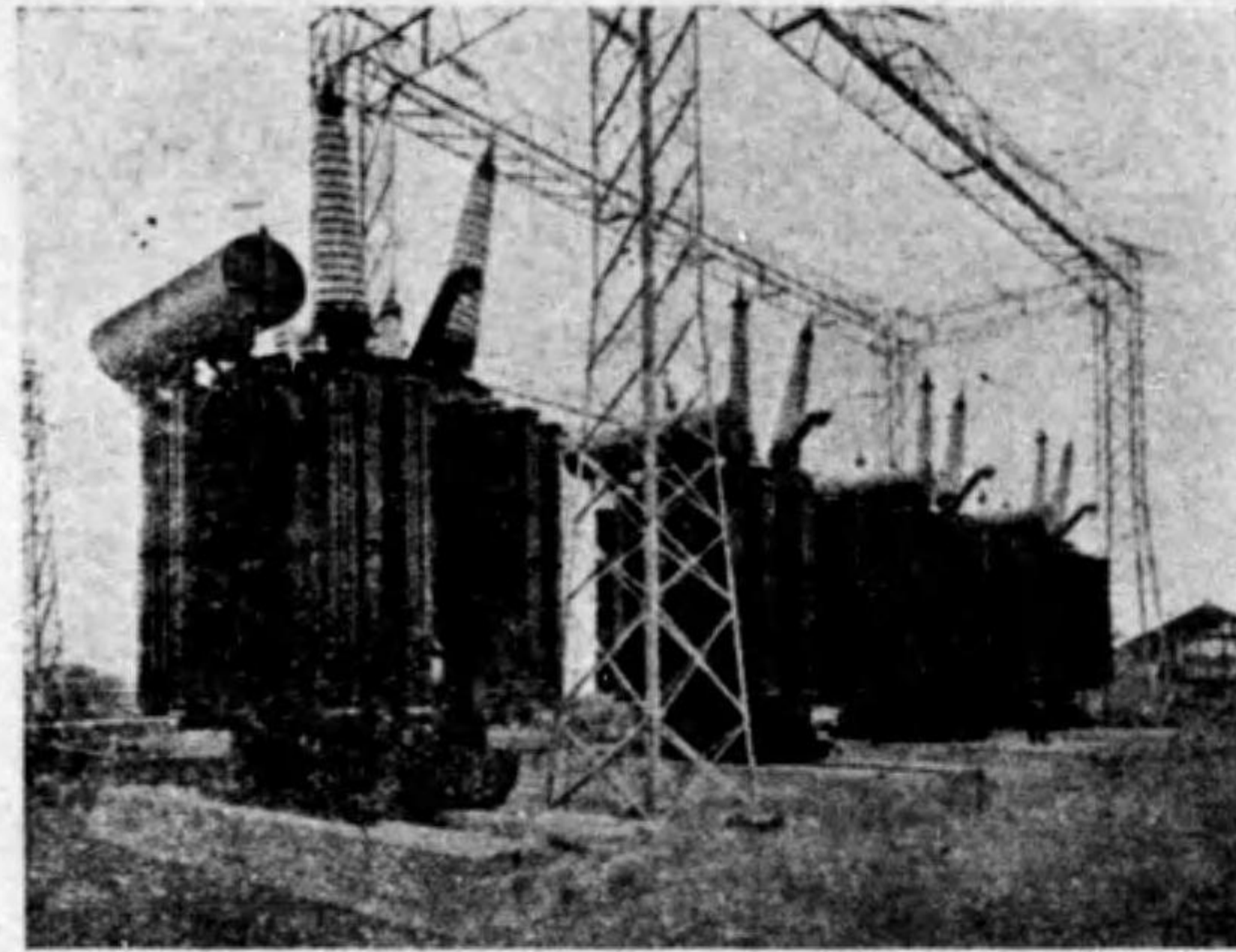
(1) は一般に從來用ひられた方法である。(2) によるときは、容



第 188 圖 (ロ)



第 188 圖 (ハ)



第 188 圖 (ニ)

積が小さくなる故 20% 位安値になる。送風装置を停止して使用する時は、其の出力の減ずる事は當然であつて、外氣溫度 40°C の時は 45%、外氣溫度 0°C の時は 65% の出力となる。(4) の油入水冷式には二種類ある。

(イ) 冷却管中に水を循環するもの(主として本邦に於て採用)第 190 圖

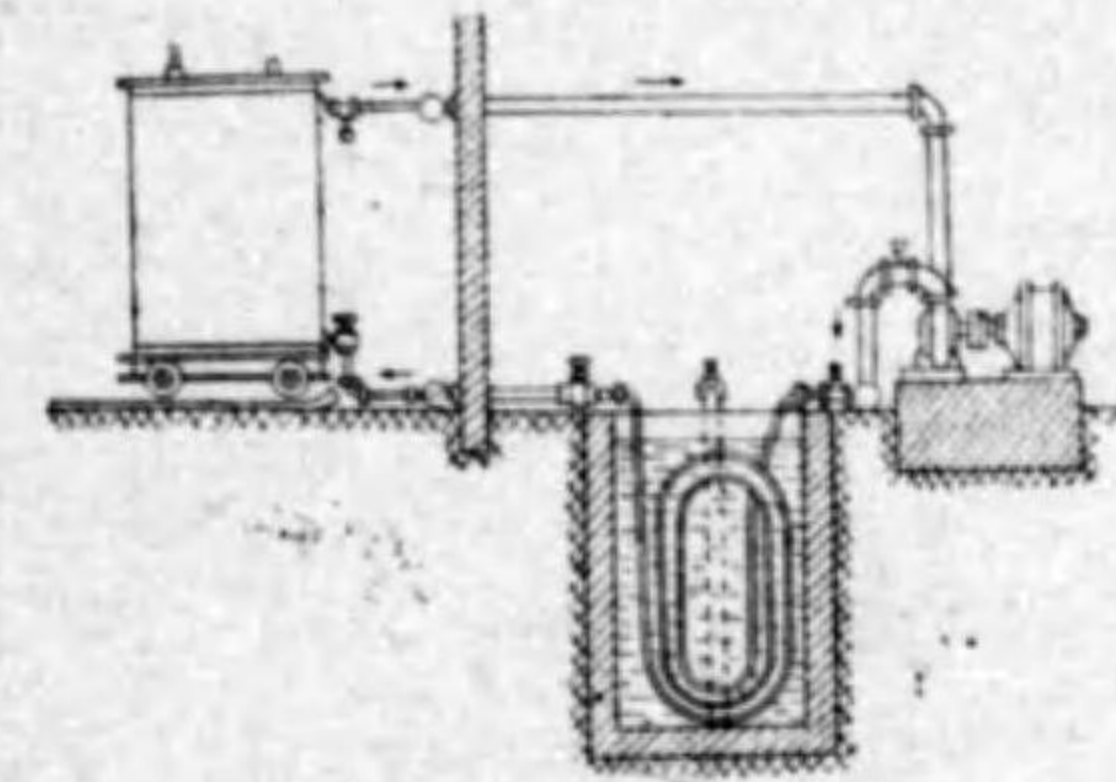
(ロ) 冷却水中に油を循環するもの(ドイツにて行はる)第 189 圖

(ロ) の利益とする點は

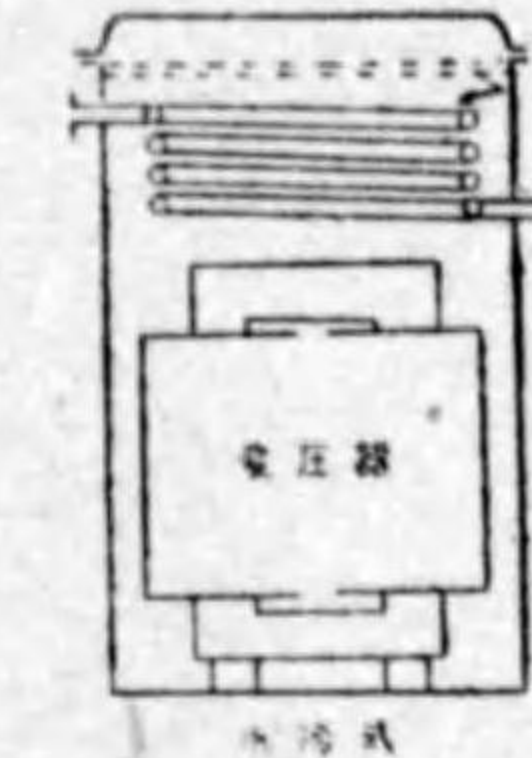
- (1) 清淨でない冷却水の外利用出来ない場合
- (2) 冷却水の量が少ない場合又は高價な場合
- (3) 寒冷甚だしく、冷却管の凍破の虞れある時
- (4) 設置場所の位置が高い時、又は市内の如く地價の高い場合
- (5) 使用中の自冷式變壓器の容量を其のまゝ増加させる場合

等に於て著しく、價格は (I) よりも約 10% 位安い。

(イ) の場合に冷却水の溫度は出口と入口とで 10°C の差にする。故に 20°C が入水の溫度とすれば、35°C 位が出口の水の溫度となる。冷却水の壓力は 1.75 (kg/cm<sup>2</sup>) 以上にしない。油入水冷式變壓器の所要冷却水量を決定する理論公式は



第 189 圖



第 190 圖

$$Q = \frac{14.34 \times W}{T}$$

但し  $Q$  = 冷却水量 (リットル毎分)

$W$  = 變壓器の全損失 (kW)

$T$  = 入水、出水の溫度差 (°C)

係數 14.34 は理論的の場合であつて實際の場合は普通 2,000~2,500 キロに對しては 10~13.5 として計算す。

大體冷却水量は 1 キロワットに付き 1.3~1.5 リットル、毎分位となる。

**變壓器の溫度上昇** 自冷式變壓器は、周圍の空氣の溫度を攝氏 40°C 水冷式變壓器は冷却水の溫度を攝氏 25°C とし、全負荷を繼續してかけたときの溫度上昇を 55°C まで許す。

故に、自冷式では 95°C 水冷式は 80°C 寒暖計測定法

自冷式 105°C 水冷式 90°C 抵抗測定法

油の溫度は兩者とも 90°C を超えざる事

此等變壓器の中に用ふる油は冷却と共に絶縁の役目をなすものであつて此れを變壓器油と云う。(JES-23, JES-93) に其の性質が規定されて居る。(第 68 表)

絶縁物の最高溫度 105°C とす。絶縁油は 90°C となつて居る。

耐壓試験を行ひ、油が悪くなつて居る事が分つた時は、此を濾過器



(Filter) にて幾度も濾して、其の質が善くなつたものを使用する様にせねばならぬ。此の變壓器は發電所建物内にをさめたものと、全く別に變電所を設けて其處に据附けるものとある。

後者の場合は主として屋外變電所 (Out-door Substation) として其の發電所の傍に設置するものが多い様である。

我國で變壓器の始めて出來たのは、明治 26 年頃で此の時は點燈用の小變壓器であつた。明治 39 年に 22,000 V が出來、其後次第に發達して昭和 15 年には 210,000 V 100,000 kVA の三相變壓器が出來る様になつた。

明治 26 年 (前後) 點燈用小變壓器

39 年	22,000 V	
41 年	44,000 V	
42 年	.....	1,500 キロ水冷式
44 年	66,000 V	2,500 キロ水冷式
大正 7 年	66,000 V	6,000
8 年	110,000 V	4,000
震災後	6,000 キロ	多數製作せらる。更に容量 10,000 キロ 15,000 キロにて電壓 110,000 V より 150,000 V となる
昭和 9 年		日立製作所にて自冷式單相變壓器 20,000 kVA を製作した製作日數 5 ヶ月

昭和 10 年末 第 55 表

容量	製作所	据付會社	電壓 (kV)	相式	能率	周波數
63,000 kVA	芝浦	東電、鶴見火力	69~10.5	三相送油式	99.45	50~
50,000 "	"	長津江	115~10.5	三相自冷	-	60~
65,000 "	アメリカ	ホルダーダム	287~13.2	單相油入送風	-	-
23,100 "	三菱	大井川電力	161~80.5	單相自冷	-	50~

特殊型として日立製作所に於ても 5,000 kVA 油入送風式を製作

電壓 一次 11,600 V-22,000 V

二次 161,000-154,000-147,000-140,000

-133,000-77,000 V

周波數 50~

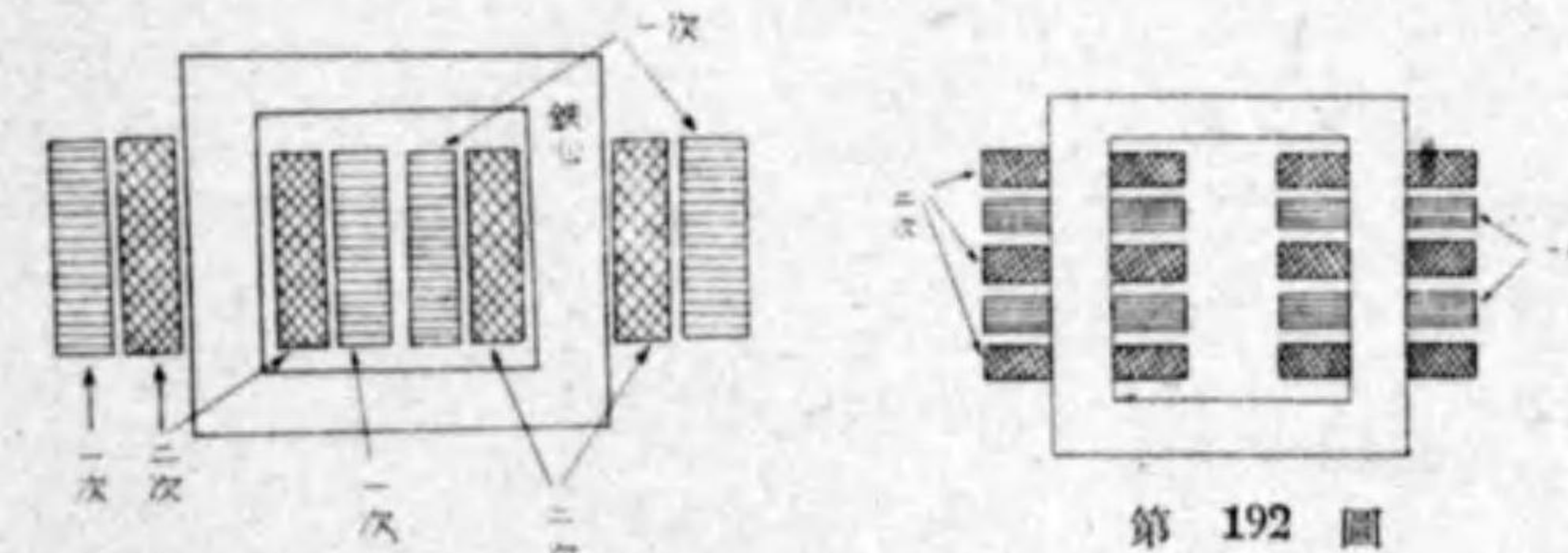
三相、50 サイクルにて 60,000 kVA をドイツで製作した。1929 年には自冷式にて 33,330 kVA, 43,333 kVA 單相をアメリカで作つて居る。昭和 15 年三菱電機に於て單相 50,000 kVA, 220 kV を製作した。3 臺にて 150,000 kVA の送電に用う。此れは自冷送風式である。變壓器の容量は運搬の方から制限をうける。

昭和 16 年には單相、一臺にて 100,000 kVA, 230,000 V と云ふ大容量のものを完成した。

變壓器のコイルの捲き方

(1) 同心圓捲線型變壓器

一次、二次コイルを鐵心に同心圓をなす様に捲く場合。(第 191 圖)



第 191 圖

(2) サンドウイツチ捲線型變壓器。

一次と二次を交互に重ねたものである。(第 192 圖)

コイルの絶縁にコンパウンドでかためるものと、單に紙絶縁だけのものがある。後者は形が小さく出来る。

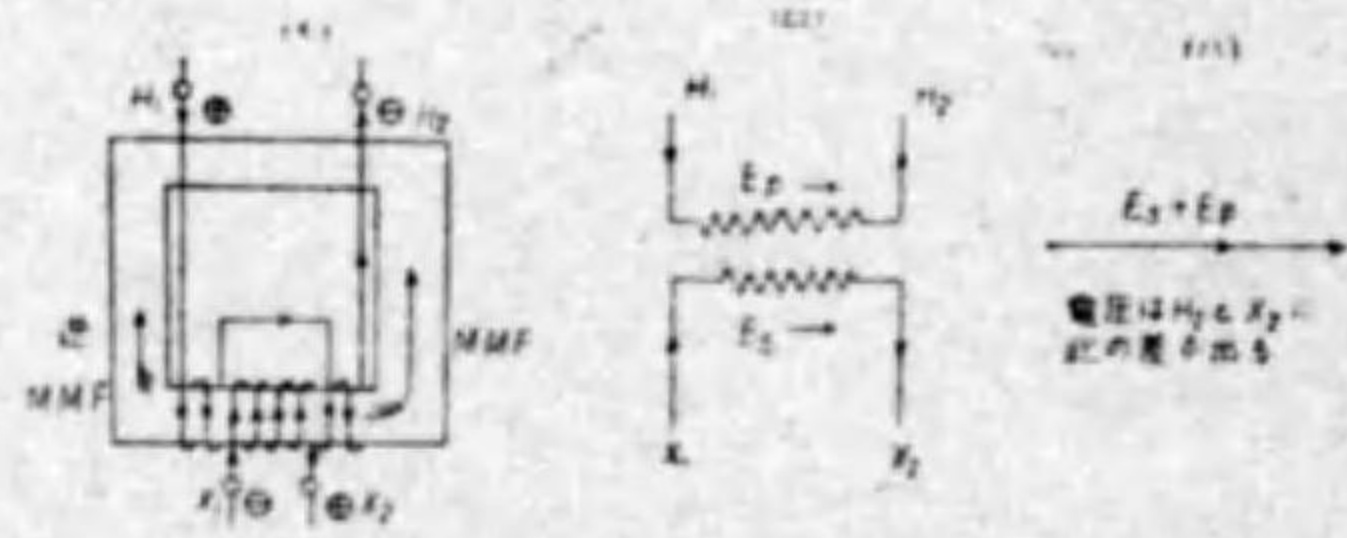
極性

端子の取出方により減極性と加極性となる。

単相の場合

(イ) 減極性

二次捲線の引出し方により、二次端子の極性が第193圖の如く、左端より一次が⊕⊖となる時、二次は⊖⊕となるものを減極性と云ふ。電圧は端子  $H_2$  と  $X_2$  には両電圧の差をあらはす。

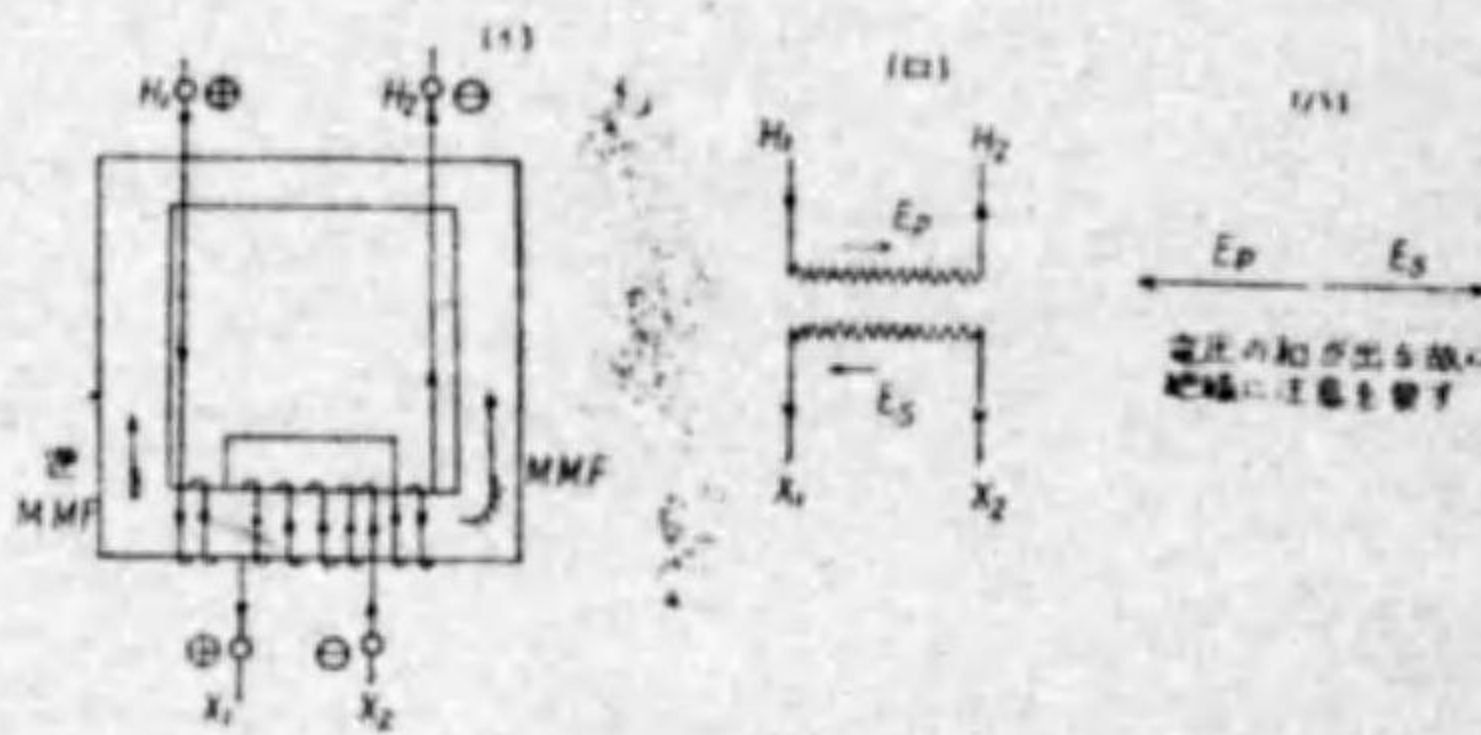


第 193 圖

を減極性と云ふ。電圧は端子  $H_2$  と  $X_2$  には両電圧の差をあらはす。

(ロ) 加極性

(イ) の場合と反対に、二次端子は左より⊕⊖となる。従つて  $H_2$ 、 $X_2$  一次二次端子には電圧の和が出る、故に此處の絶縁に注意せねばならぬ。



第 194 圖

用途としては、

減極性の場合

- (1) 電力用變壓器
- (2) 計器用變壓器

加極性の場合

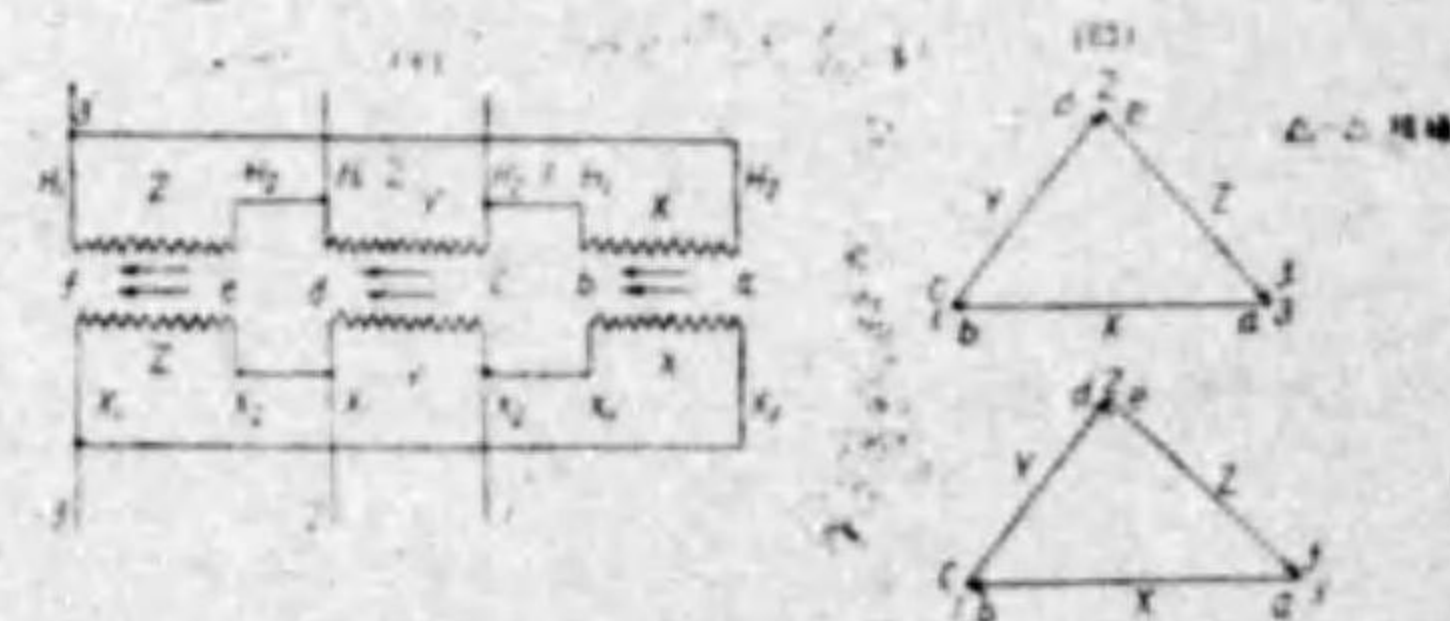
配電用變壓器

三相の場合の結線。

△△-結線

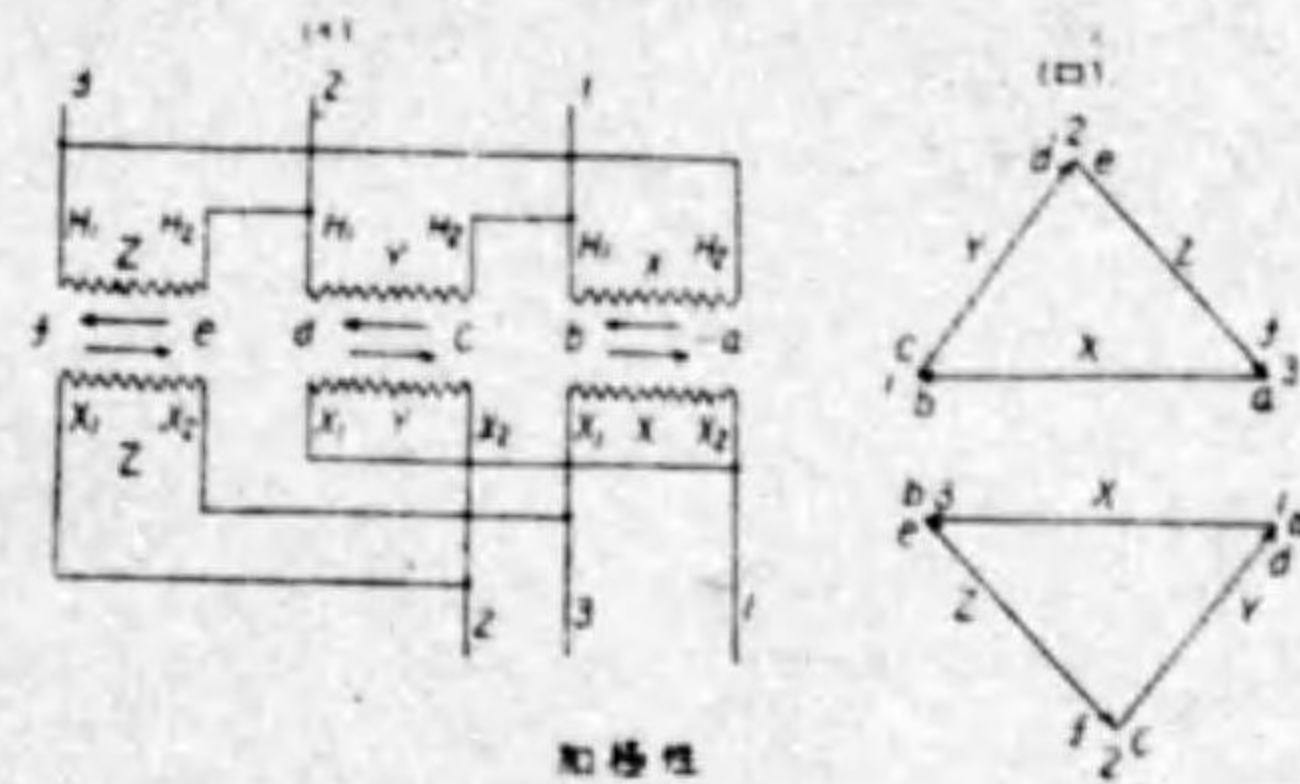
減極性

前の單相の(イ)の場合に相當す。三相となるだけの相違である。



第 195 圖

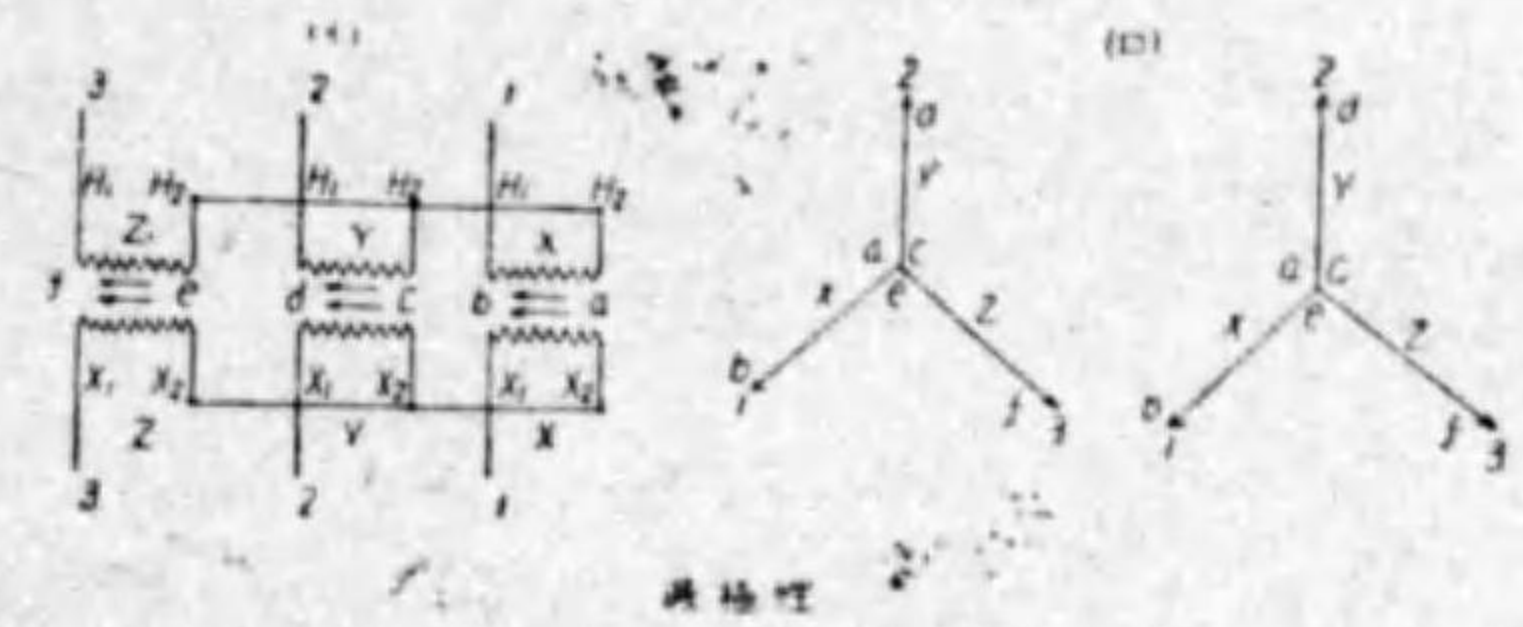
加極性  
單相の(ロ)  
の場合の捲線  
を三個△に結  
線して三相を  
送るものであ  
る。



第 196 圖

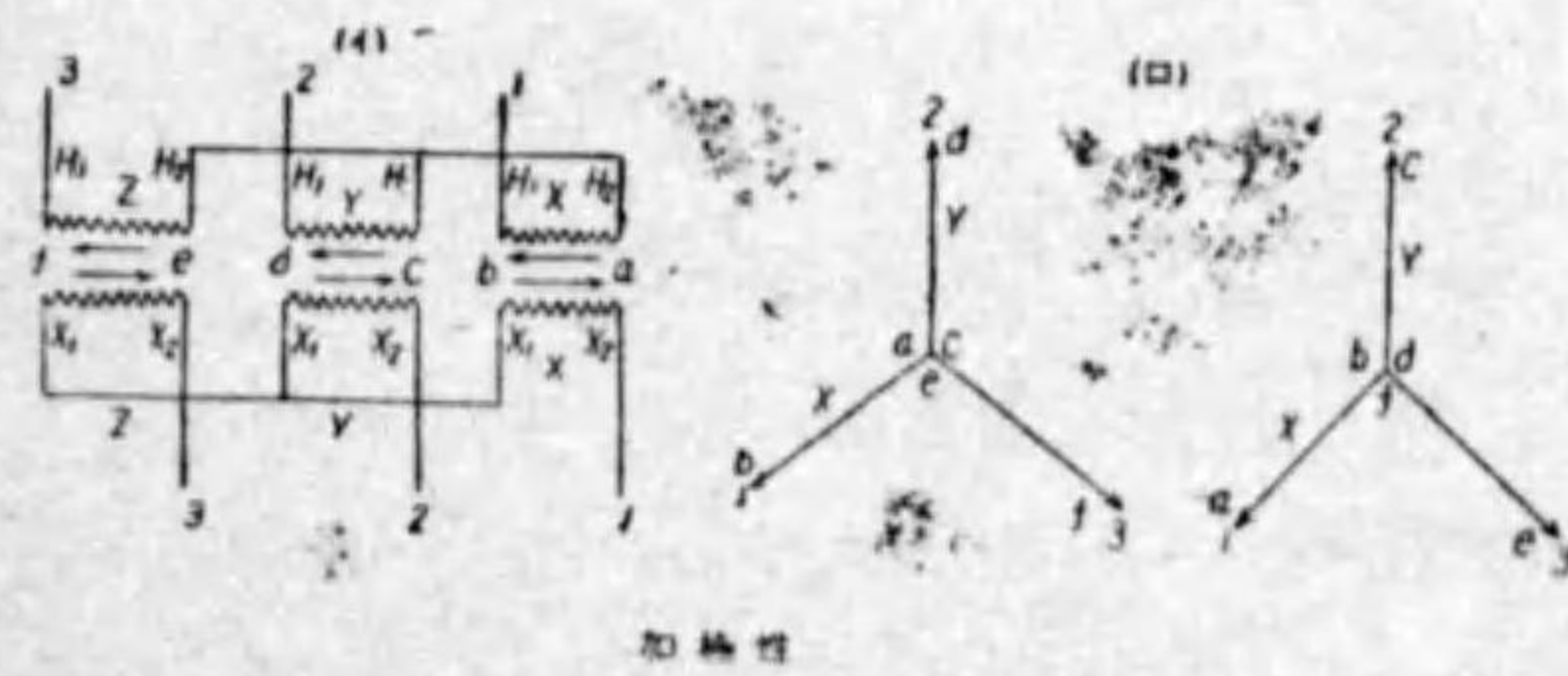
YY 接線

減極性



第 197 圖

加極性

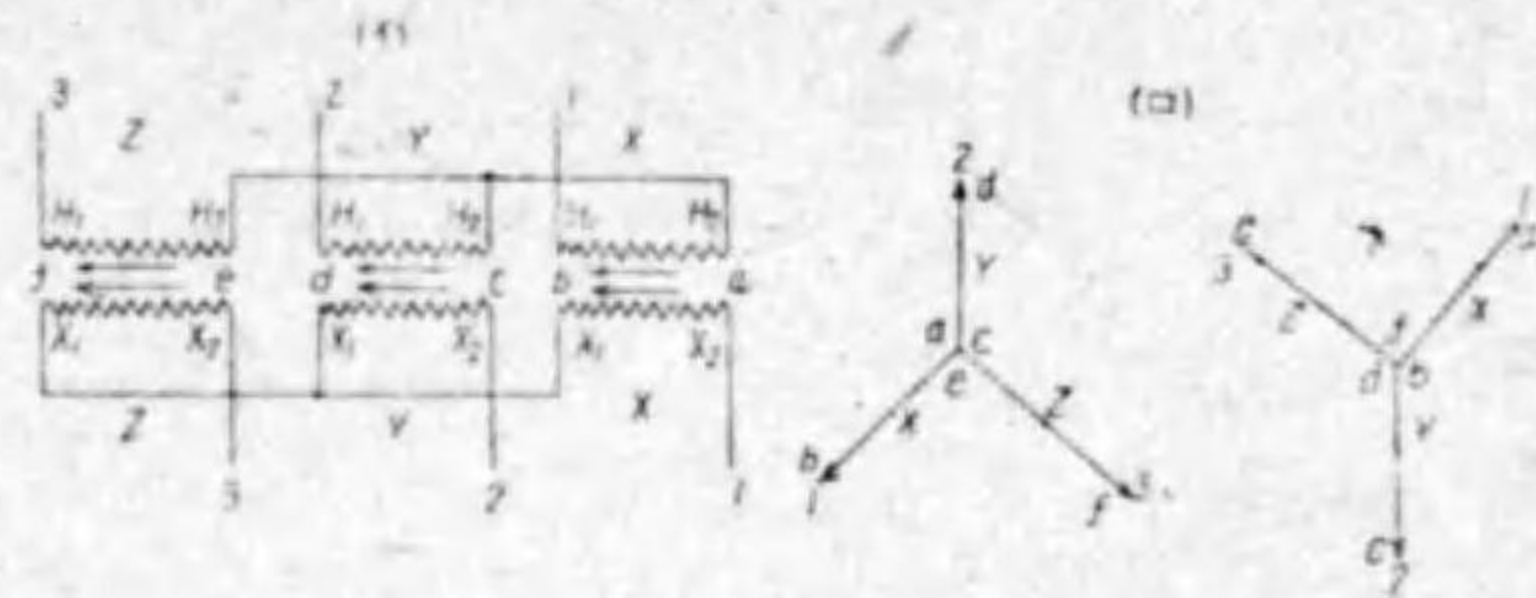


第 198 圖

Y△ 接線

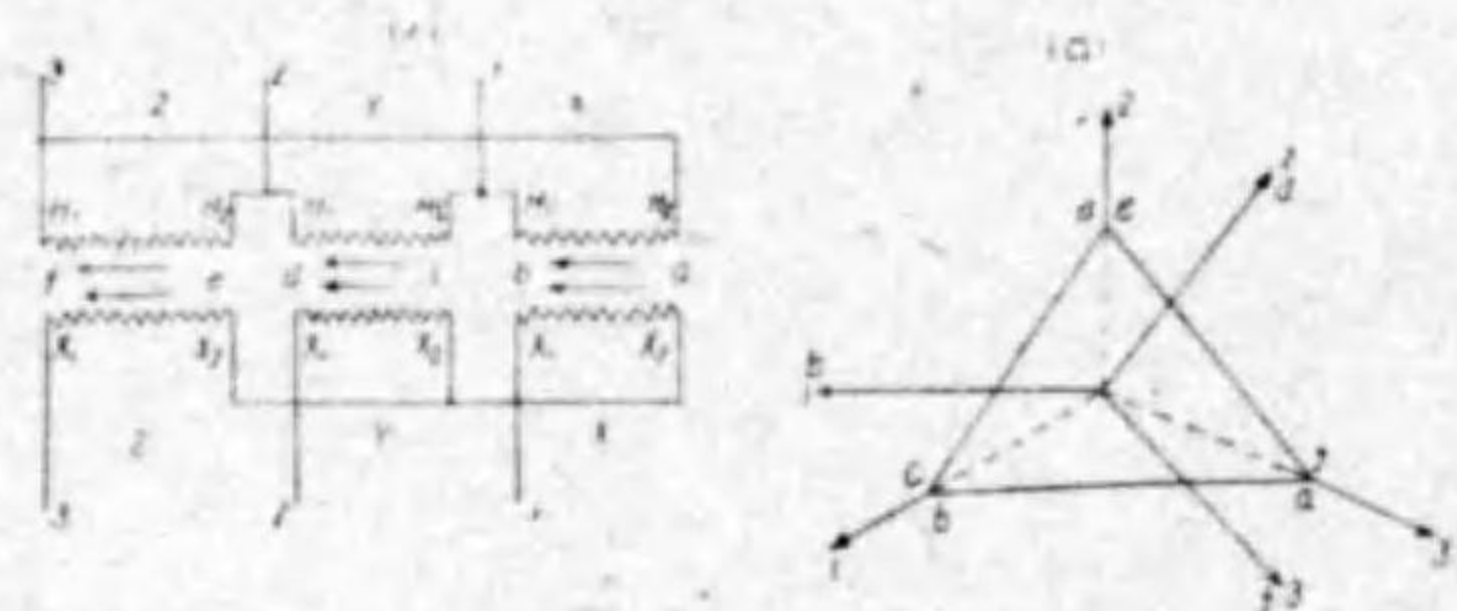
減極性

第198圖の結線に於て二次側を  $X_2$  より引出す時は減極性となる。

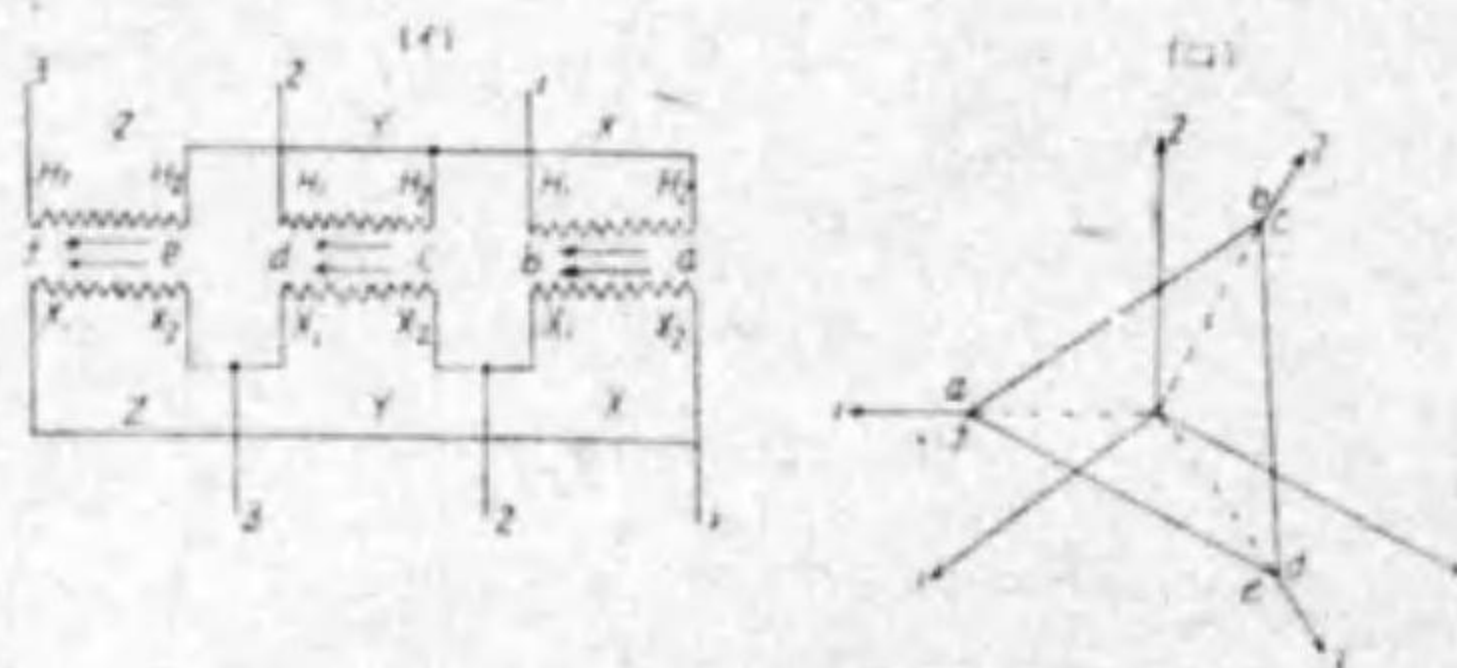


第 199 圖

**ΔY 接 續**



第 200 圖



第 201 圖

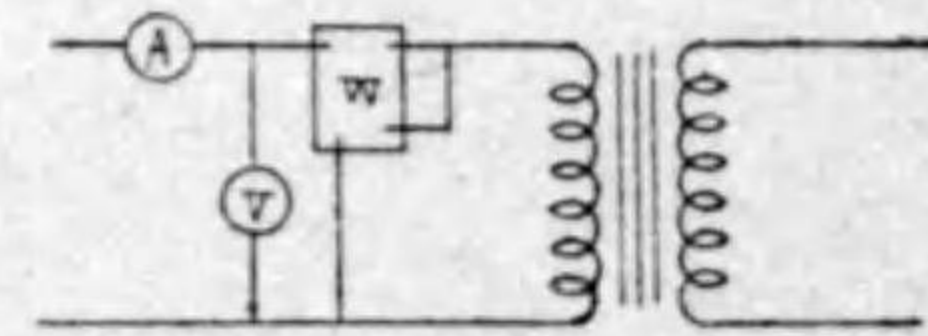
此の外に V-V 及 T-T 接続がある。

**變 壓 器 の 試 験 法**

變壓器に付き普通に行はれる試験は

(1) 無負荷試験

此れは無負荷状態に於て試験を行うものであつて、圖の如き結線により、無負荷損失及無負荷電流を求めらる。



第 202 圖

(2) 短絡試験

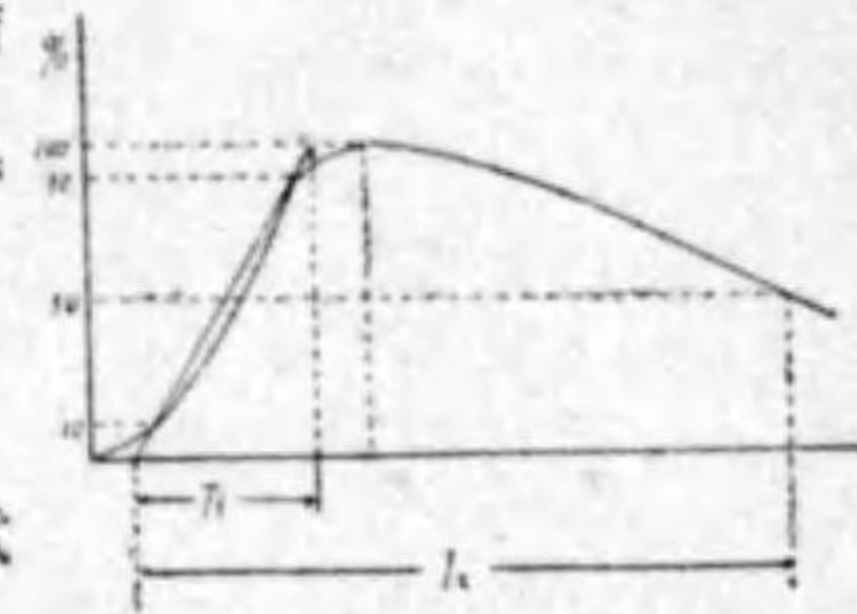
二次側を短絡し、一次に低い電圧を加へて、負荷損失(インピーダンス・

ワット) 及インピーダンス電壓降下を求めらる。

此の二つの實驗より、變壓器の能率及び電壓變動率を計算する事が出来る。

- (3) 温度上昇試験
- (4) 絶縁耐力試験
- (5) 極性及變壓比試験
- (6) 衝擊電壓に依る耐壓試験

變壓器の衝擊電壓試験には標準波形として波頭 1.5 μs, 波尾長 40 μs のものを用ゆ。波頭の長さは、波頭に於て電壓の最大値の 10% と 90% との間の時間を 0.8 にて除したる時間 (T<sub>1</sub>) を以て表はし、波尾の長さは波頭に於て電壓の最大値の 90% と 10% とを結ぶ直線が時間軸と交はる點より、電壓が波尾に於て最大値の 50% に下る迄の時間 (T<sub>2</sub>) を以て表はすものとす。



第 203 圖

衝擊電壓に耐える様に設計する時は商用試験に耐へるものより形が 60% 大きくなる。

變壓器の能率は非常によく、20,000 kVA にて 99.52% となつて居る。此れは薄鐵板に特別のものを用ひて、其の鐵損を少なくしたからである。1904 年には 4% の硅素を入れる事を奨勵し、硅素薄鐵板を用ひた。

此れは磁束密度 10,000 ガウスに對して、1.5~1.8 W/kg の鐵損であつた。其れが現今では厚さ 0.35 mm にして 50~ の時 1.2 W/kg 磁束密度 10,000 ガウスとなつて居る。尚ほ 15,000 ガウス、25 アンペアターン/cm で 2.65~2.85 W/kg 厚さ 0.35 mm、50~ と云ふのもある。

T.D.Yensea 氏は Hypersil と稱し、最大誘磁率が、起磁力 50,000 H, 10 エルステッドの時 1,700 にして 60~ に對して 0.75:1.2:2.4 W/kg の損失、此の時の磁電密度は 10,000:14,000:16,000 ガウスと云ふ優秀なものを用ひて居る。薄板の絶縁にヴァニッシュを燒き附ける方法と、薄紙を

間に挟む方法とある。

試験変圧器の電圧は

Voltage Used for Testing Transformer.

1913	200,000V	1923	1,400,000
1914	300,000	1923	2,000,000
1916	600,000	1927	2,400,000
1922	1,000,000	1928	3,900,000

American Practice

Self-cooled type. (kVA)	Artificial cooled type. (kVA)	Year.
200	5,500	1906
400	10,000	1907
1,000	—	1908
1,600	14,000	1910
2,000	"	1912
3,000	"	1913
8,000	25,000	1916
10,000	"	1920
12,000	"	1922
15,000	"	1923
15,000	29,000	1924
20,000	34,000	1925
20,000	"	1926

### 変圧器仕様書

1. 購入数量
2. 納入場所
3. 納入期日
4. 相数
5. 周波数
6. 冷却方法
7. 据附場所
8. 電圧: 一次, 二次及三次の使用電圧を

示し若し、タップを有するならば、タップ毎の電圧を列記し、尙ほタップ・チェンジャーの有無を記す可し。

9. 容量: 使用電圧に於ける一次, 二次及び三次捲線の容量を示す。
10. 結線方法: 一次, 二次及び三次捲線の結線方法を示し、星状結線ならばその中性点の接地方法を示す。
11. 温度上昇: 自冷式変圧器では外氣の温度を攝氏 40 度とし、水冷式変圧器に於ては冷却水温度を攝氏 25 度にとり、繼續して定格容量の負荷をかけたとき温度上昇を攝氏 55 度に限定する。
12. 絶縁耐力試験: 捲線の試験電圧は次の如くアメリカ A.I.E.E. 標準規則に依り定められてゐる。  
一次捲線と二次捲線、或は鐵心間  $2 \times$  一次電壓 (線間電壓) + 1,000V 一分間
13. 能率: 普通の電力用變圧器に於ては、四分の三負荷に於て最高能率を示す様に設計せられる。
14. 電壓變動率
15. 捲線の機械的強度: 二次捲線を短絡して一次側に規定電圧を加へ 2 秒間を経ても何等捲線に損傷を生ぜぬものでなければならぬ。

### 例題 1.

能率 (全日能率)

500 kVA の變圧器の銅損が 4.68 kW (全負荷), 鐵損 3.2 kW とす。6 時間 450 kW (力率 90%), 5 時間 200 kW (力率 75%) にて残りの 13 時間に無負荷状態にある時は其の變圧器の全日能率を求む。

解 6 時間は  $450/0.9 = 500$  kVA  
5 時間は  $200/0.75 = 266$  kVA

銅損は (kVA)<sup>2</sup> に比例する故

$$4.68 \times \left(\frac{500}{500}\right)^2 = 4.68 \text{ kW} \quad 6 \text{ 時間}$$

$$4.68 \times \left(\frac{266}{500}\right)^2 = 1.33 \text{ kW} \quad 5 \text{ 時間}$$

$$6 \text{ 時間の損失} = 6(3.2 + 4.68) = 47.3 \text{ kWh}$$

$$5 \quad \times \quad = 5(3.2 + 1.33) = 22.8 \quad \times$$

$$13 \quad \times \quad = 13(3.2 + 0) = 41.6 \quad \times$$

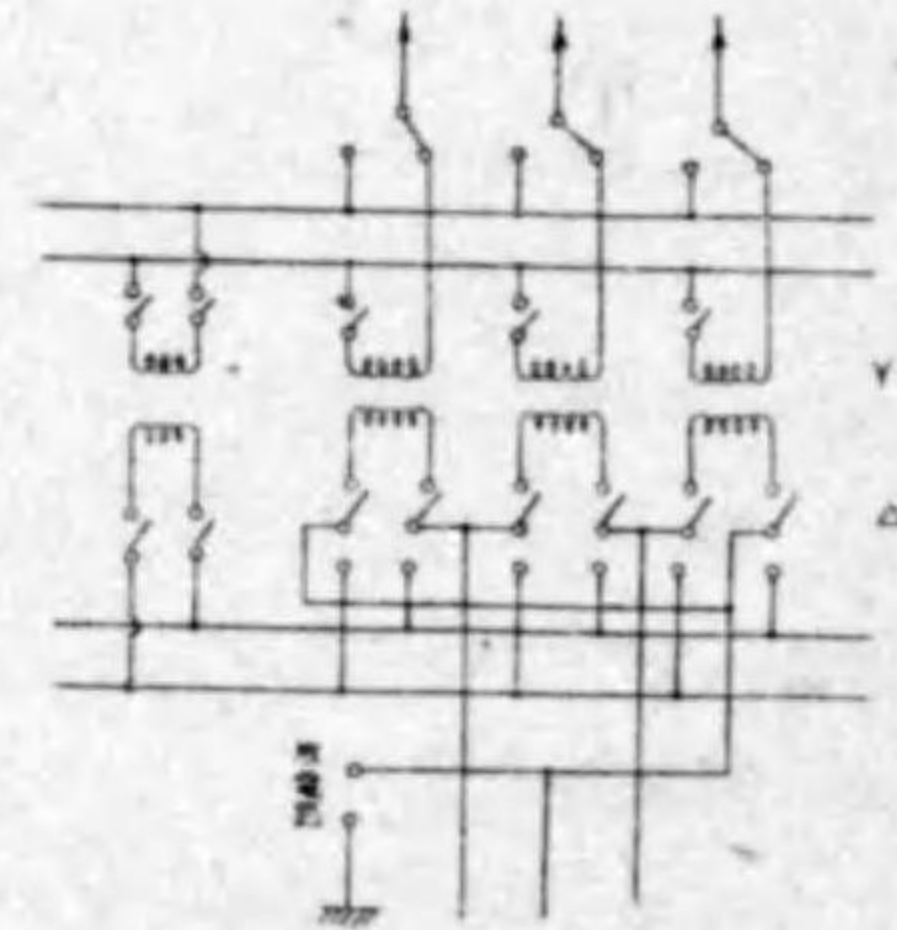
$$24 \quad \times \quad = \quad \quad \quad 111.7$$

$$\text{出力} = 450 \times 6 + 5 \times 200 = 3,700 \text{ kWh}$$

$$\therefore \text{全日能率 } \eta = \frac{3,700}{3,700 + 111.7} \times 100 = 97\%$$

### 例題 2.

使用電圧一次側 3,300 V, 二次側 22,000 V の変圧器集団 (Bank) あり。該バンクは単相変圧器 3 個より成り、其の結線一次側  $\Delta$  二次側 Y とす。之に一臺の豫備変圧器を設備し一臺故障の際、断路器の開閉により直ちに豫備変圧器と切換へ得る最も簡単な接続を圖示せよ。



解

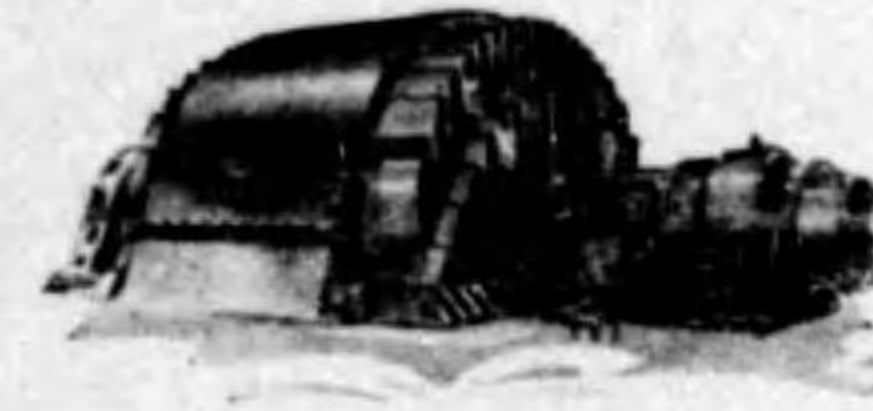
### 10.8. 調相機として発電機の利用 (A.C. Generator Used as Phase Modifier)

火力発電所内の主発電機が幾臺もあり軽負荷の場合に其の中の孰れかを同期電動機として回轉し、其の回路の力率の改善及電圧の調整を行ふ事がある。此れは交流発電機が調相機として働くのである。此の場合に注意せねばならぬ事柄は

(i) 起動 (ii) 安定 (iii) 勵磁及保護装置である。

第 204 圖 (イ) (ロ) は同期調相機を示す。(ロ) は屋外用である。

(i) 起 動



第 204 圖 (イ)



第 204 圖 (ロ)

#### (a) 直結タービンを利用する法

此の方法は特別に起動装置を必要としないが實際は起動したあとでタービンを切り離した方がよい。このために電磁的連結子等を使用する。タービンを附けたまま同期機として用ふる時はタービンの中に蒸気を入れない時は此の中の風損を生じ、タービンが熱する。故障の時再起動するためにはタービンを温めて置かねばならぬ。

#### (b) 他のタービン発電機による方法。

他のタービン発電機より電圧を固定子に加へ、主発電機は其のタービンの接続子を取除きてタービンと切りはなして低速にて次第に起動する。発電機の軸承には高壓油を入れこれにて浮かして其の摩擦損を少なくする。

#### (c) 起動用電動発電機法。

別に電動発電機を置き、此れによりて起動す。常時は此れを同期調相機として使用する。

(ii) 安定をよくするために制動捲線を設ける事。短絡比の大なるものがよい。

(iii) 勵磁は調整器機に用ふるから普通の発電機の場合よりも其の範囲を広く取る事が必要である。逆流繼電器は用ひられない。故障の時急停止をするために制動用抵抗及開閉装置があると便利である。

### 10.9. 油入遮断器 (Oil Circuit Breaker)

大電力回路の電流を遮断するために用ひらる。油の中に接觸子を置き、此處で電流を遮断する故、此際出来る電弧は此の油によりて消される。故に油は消弧及絶縁の作用をなす。最近用ひられるものは鐵槽の代りに碍子管を用ひて此れに絶縁の役目をなさせる故油の量は非常に節約せらる。又消弧作用にも油壓によるもの、油の衝撃を利用するもの、膨脹を利用するもの等がある。其の遮断容量も著しく増大して居る。169kV:2,000,000kVA, 187kV:20,000,000kVA の如き又長津江発電所のものは 230kV:8,800A:3,500,000kVA と云ふ大容量のものが用ひられて居る。

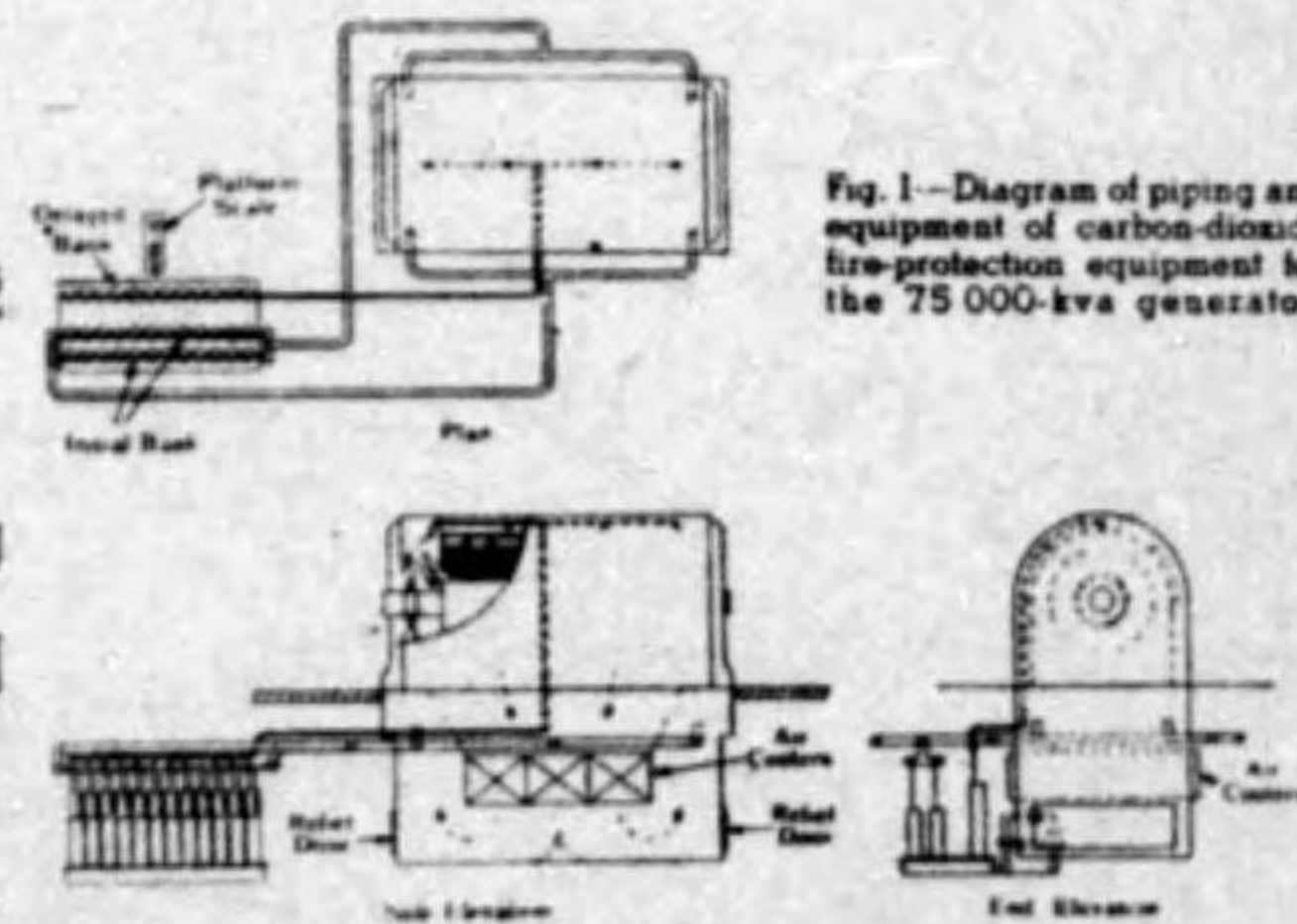
アメリカのボールドー・ダム 発電所の油入遮断器は 287kV:5,000A:2,500,000kVA である。

#### 10.10. 防火壁 (Fire-proof Brick Work)

變壓器はコイルが加熱せられ、又は燃焼して自然發火を起す恐れがあるから、此れを防ぐために防火壁を作り其の内に入れて置く。其の方法に一つの壁の内に置く場合と、各變壓器を別々に仕切つておく場合とがある。高壓の場合には一個一個離して壁内に置く方が危険が少ないのである。

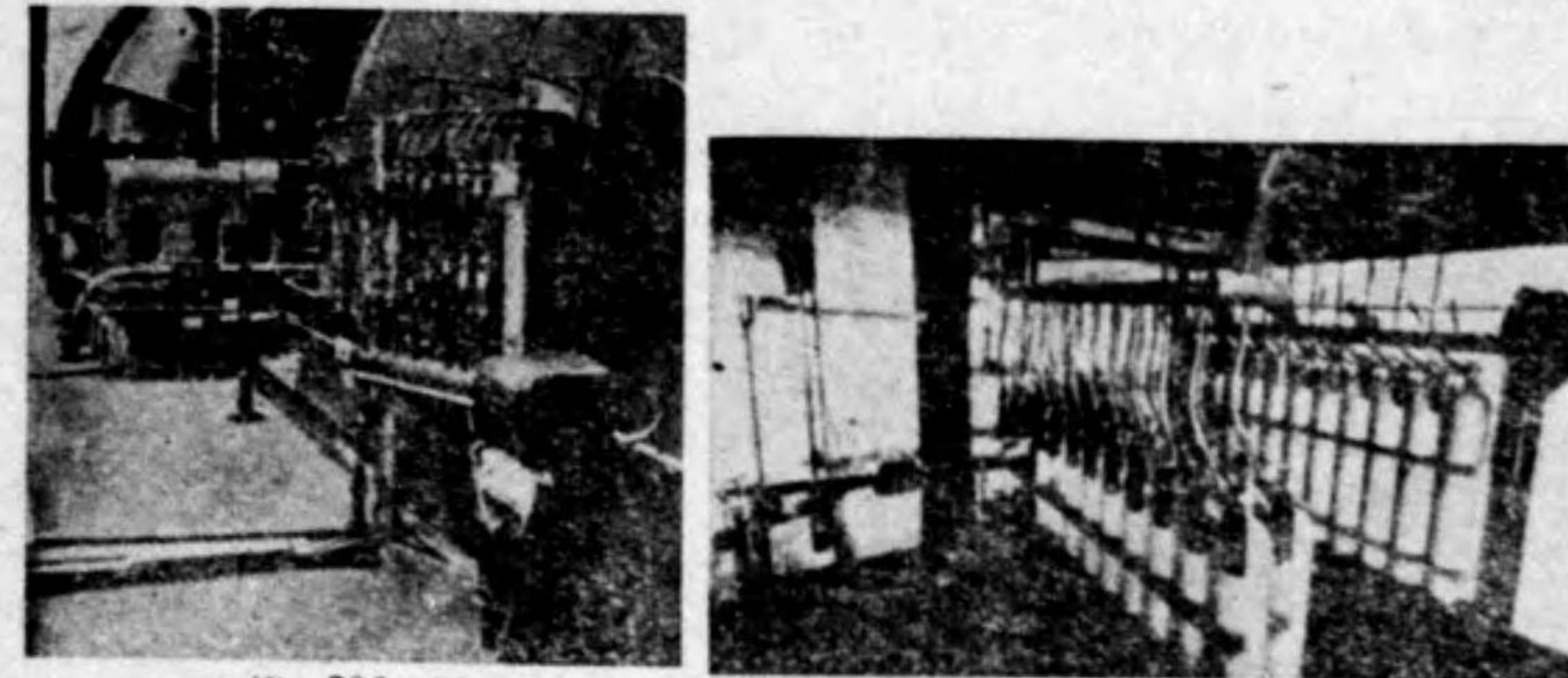
#### 10.11. 發電機の火災防止 (Fire Protection of Generator)

交流發電機の内部に火災を起した場合に此れを消し止める装置が必要である。無水炭酸瓦斯を吸込むのが最もすぐれた方法である。此の装置は  $60 \text{ kg/cm}^2$  の液化無水炭酸を入れた容器を備へ、此れより高壓パイプによりて發電機の冷却通風装置に連絡して置く。發電機の差働繼電器の動作によりて電氣的に瓣を開き、無水炭酸の自然膨脹による強風壓瓦斯で空気を稀薄ならしめるのと、火を吹き飛ばす



第 205 圖

Fig. 1—Diagram of piping and equipment of carbon-dioxide fire-protection equipment for the 75 000-kva generator.



第 206 圖

第 207 圖

兩作用によつて速かに消火せしめる。此の瓦斯は完全な電氣絶縁性を有す。残滓を止めず且つ洩れない事、冷却作用が大、如何なる間隙にも潜入する事、膨脹率が 500 倍もあるから容器が小さくてよい。變質の恐れがなく填め換へ等の手数がなく維持費が要らず人體や機械に對して無害等の特徴がある。其の設備の一例を示せば第 205, 206, 207 圖の如し。

#### 10.12. 配電盤 (Switch-board)

配電盤は發電室の運轉状態を知り、發生した電力を直接送電せず、一度此れに集め、多數の計器によりて、測定、調整を行ひ、送配電をなすものである。此れが爲めには一目の下に全部が見得る様に、簡單明瞭なる配列を行う事が必要であるが、其れと同時に信頼度も高い事が望ましい。又操從者が心地よく執務し、且つ安心して機器を取扱ひ得るために盤には高壓の來ない事、照明を適當にし且つ通風をよくする事が必要である。普通、配電盤は石盤、大理石、エポニー・アスベストと稱する人造絶縁混和物、又は鋼板にて製作され、其の表面に計器類、信號装置及び繼電器等を取付け表面に制御用の配線を施す。此の配線の出来ばえが配電盤の優劣を定めるほど大事なものである。小型のものは低壓用にして、大型のものが供給事業發電所用として用ひらる。

此れが設計に必要な事項は

- (1) 操從者に、線路や機器の破損による事故のため、危険を與へぬ事

- (2) 機械の最高能率で運轉する様に配列する事
- (3) 配列は簡單にして、しかも信頼度の高き事
- (4) 電力集散の融通性のある事である。

配電盤に取付けられる測定計器には

- (1) 電流計 (Ammeter)
- (2) 電圧計 (Voltmeter)
- (3) 電力計 (Wattmeter)
- (4) 積算電力計 (Watthour meter)
- (5) 力率計 (Power Factor Meter)
- (6) 周波數計 (Frequency Meter)
- (7) キロヴォルト・アンペア計 (kVA Meter)
- (8) 同期檢定器 (Synchronoscope)
- (9) 檢漏器 (Ground Detector)
- (10) 指示溫度計 (Thermometer)
- (11) 記録用計器 (Recording Instrument)

等がある。

尙ほ此の外に抵抗器 (Rheostats), 電壓調整器 (Voltage Regulator), 開閉器 (Switch), 繼電器 (Relays) をも取付ける。

三相回路に於て、一個の電流計或は電圧計を以て各相の値を読み取るためには、電流計切替開閉器、電圧計切替開閉器を使用す。600V 以上の電路には、必ず計器用變壓器及び變流器を用ゆ。此れに使用する電線には被鉛線及び、絶縁のよき電線を用ひ、電流の大きさは使用場所の溫度によりて異なるが、大體 (125~155) A/cm<sup>2</sup> 位として其の斷面積を決定する。

使用電流より分類すれば

- (イ) 直流配電盤 (D.C. Switch Board)
- (ロ) 交流配電盤 (A.C. Switch Board)

となり、使用目的より分類すれば

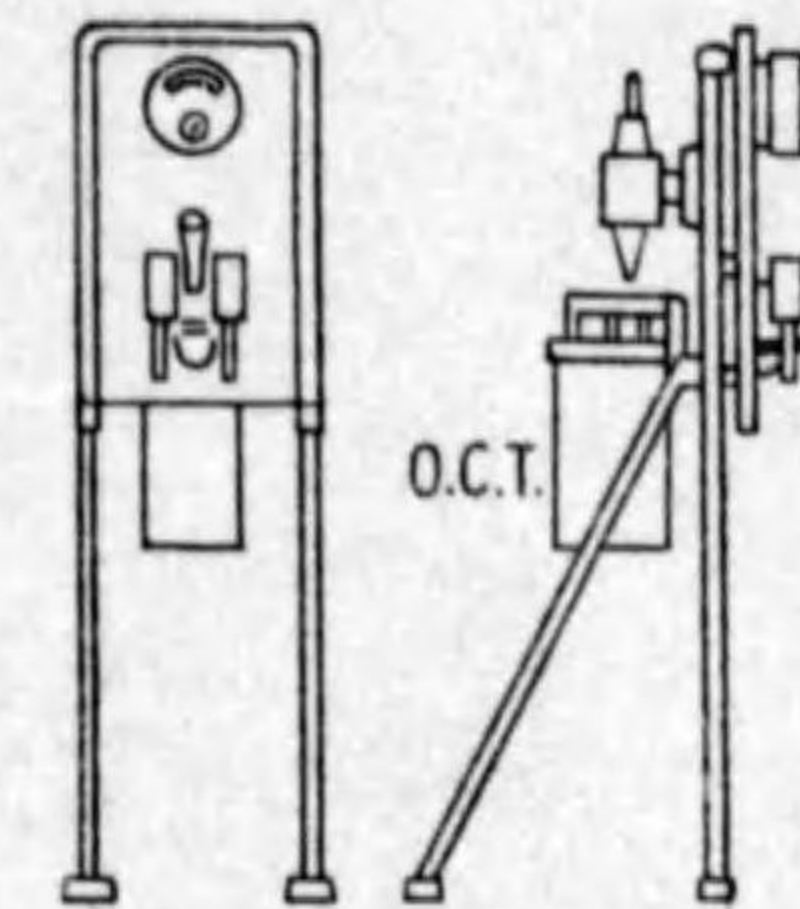
- (イ) 主發電機盤 (Main Generator Panel) 主發電機を制御するもの
- (ロ) 勵磁機盤 (Exciter Panel) 勵磁機の制御に用ひらる
- (ハ) 送電線用盤 (Transmission Panel) 送電線に用ひるもの
- (ニ) 配電線用盤 (Distribution or Feeder Panel) 配電線に用ゆるものとなる。

又型式より分類すれば

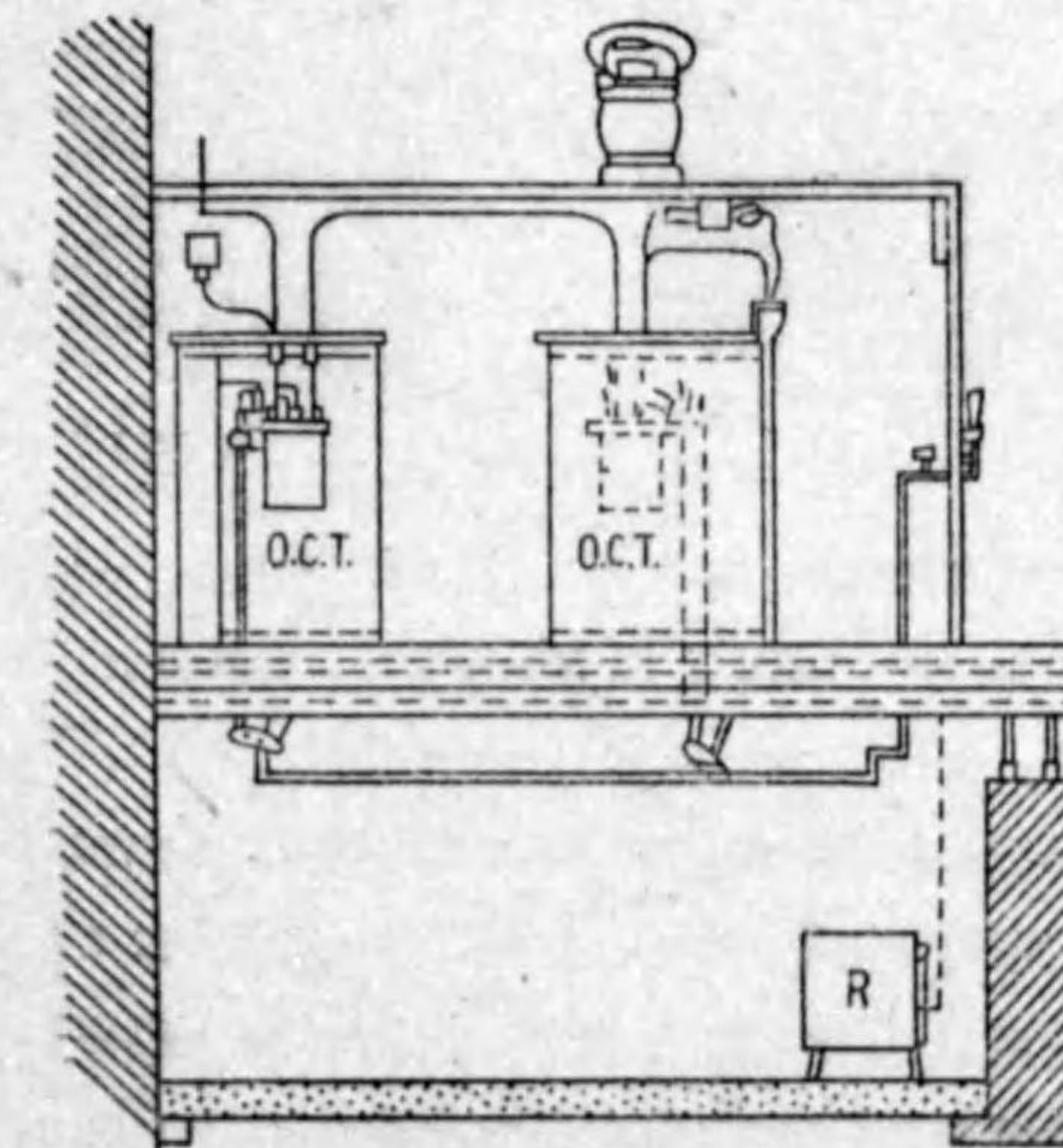
- (イ) 直立式 (208 圖)
- (ロ) ベンチボード式 (210 圖)
- (ハ) 直柱式 (211 圖)
- (ニ) 旋回式

制御方式より區分すれば

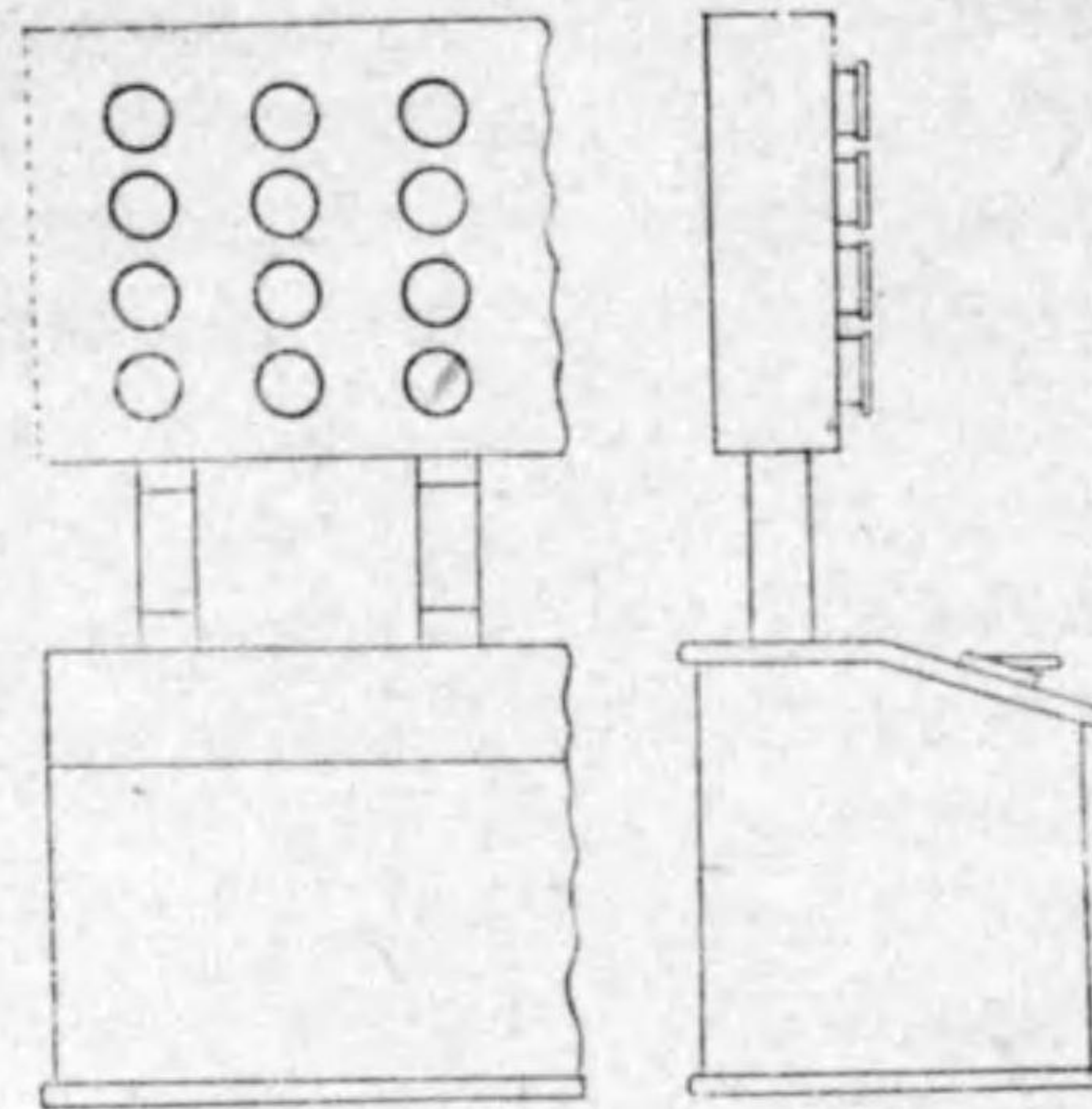
- (イ) 直接制御式 (208 圖)
- (ロ) 機械的遠方制御式 (209 圖)



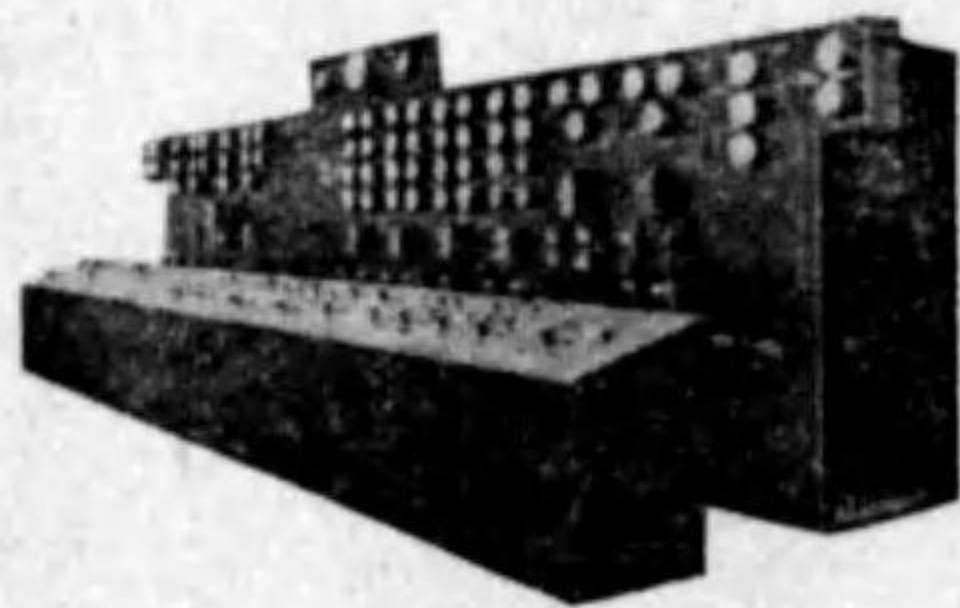
第 208 圖 直接制御式



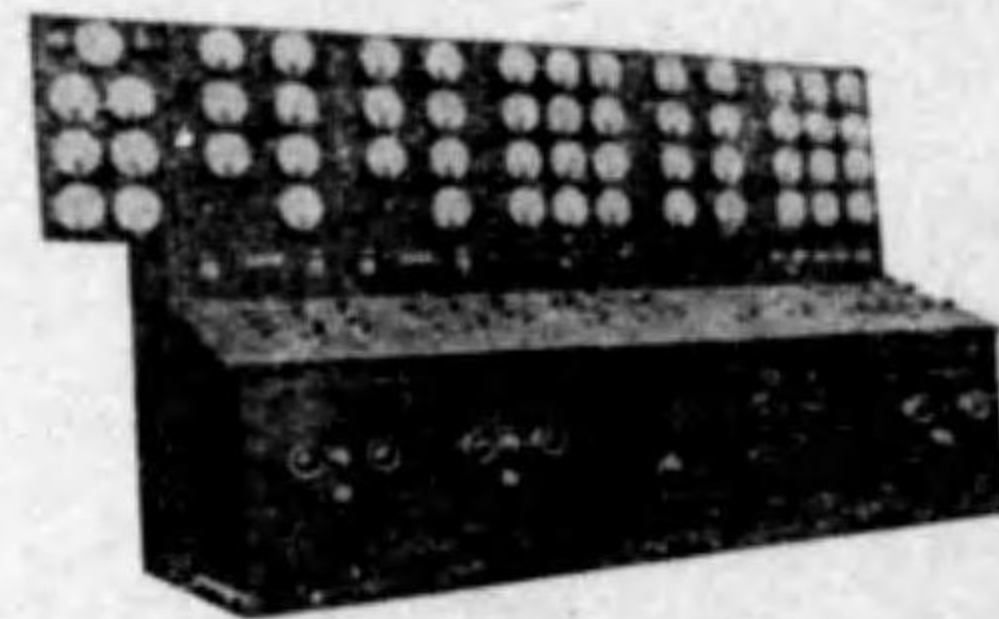
第 209 圖 機械的遠方制御式配電盤



第 210 圖 (イ)



第 210 圖 (ロ)



第 210 圖 (ハ)

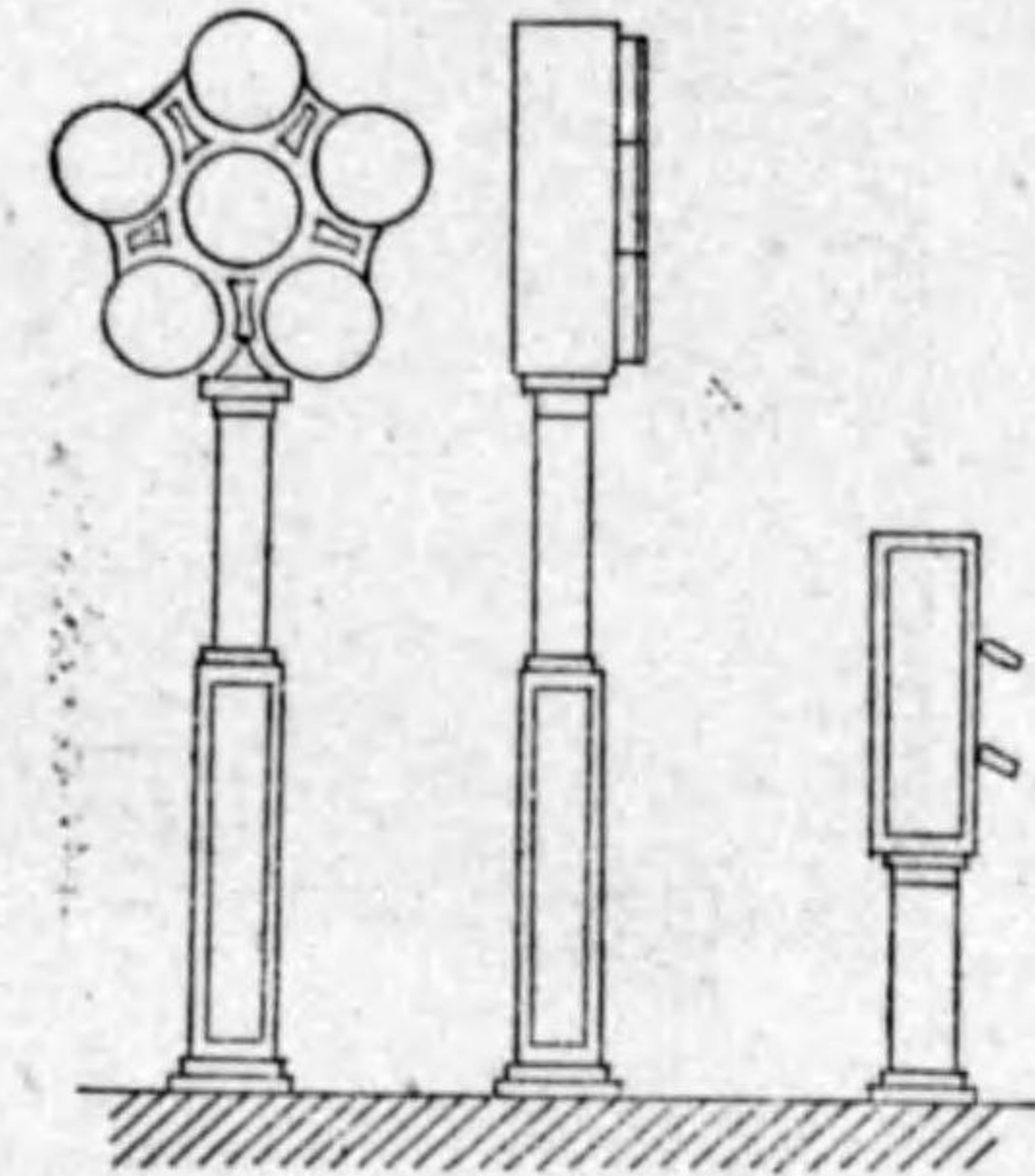
(ハ) 電氣的遠方制御式となる。(第 210 圖)

石盤を用ゆるものは 1,200 V 以下のもので、此れ以上 3,500 V 位までは大理石を用ゆ。

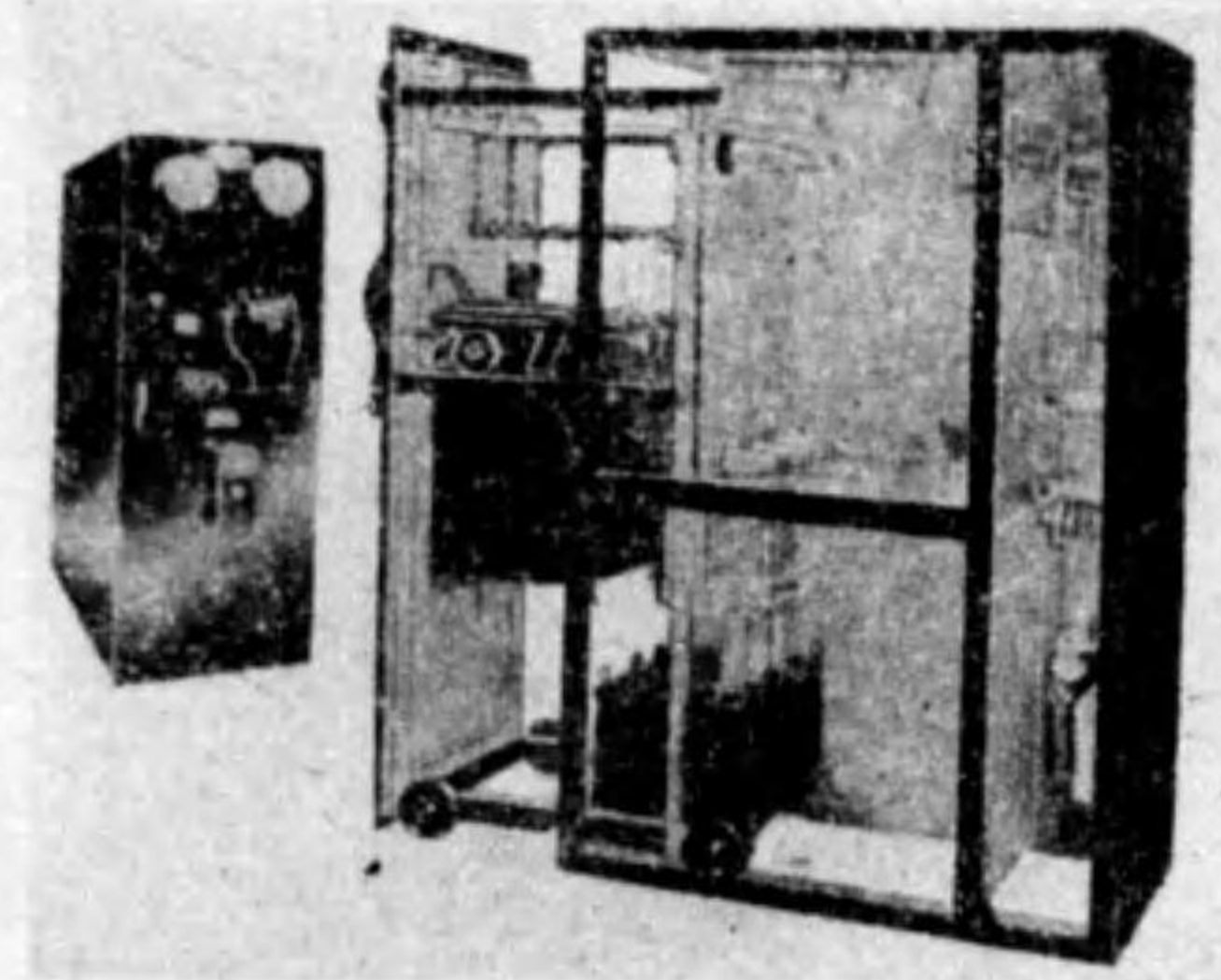
最近は金屬の箱を用ひた**メタルクラド型**と稱するものが用ひられる。母線、計器用變流器等を絶縁混和物にて絶縁し、鋼鐵板にて包んだもので開閉装置の容積を減少し、外物と接觸する危険少なく、操作の誤りがない。此の式では油入遮断器を開かねば断路器を開く事のない様に出来て居るから此の點、最も良好である。据付面積も小、据附けも簡單で維持費も少な

い。(第 212 圖参照) 此の外に**トラック型配電盤**がある。此れは油入遮断器其の他の器具の點檢修理の時所要部分を引出す事が出来る。(第 211 圖 (イ) (ロ) 参照)

**直接制御式**は主として直立式であつて、油入遮断器は直接其の裏面に取付ける。**機械的遠方制御式**も直立であるが此れは油入開閉器及母線は盤より隔れた處に置かれ、盤の表面のハンドルを動かして機械的に操作す。**電氣的遠方制御式**は孰れにも用ひられ、油入開閉器及母線は任意の場所におかれる。ソレノイド又は電動機操作によりて此れを開閉す。



第 211 圖



第 211 圖 (イ)

**ベンチボード型**は幅の割合に盤面積が廣く、垂直盤に計

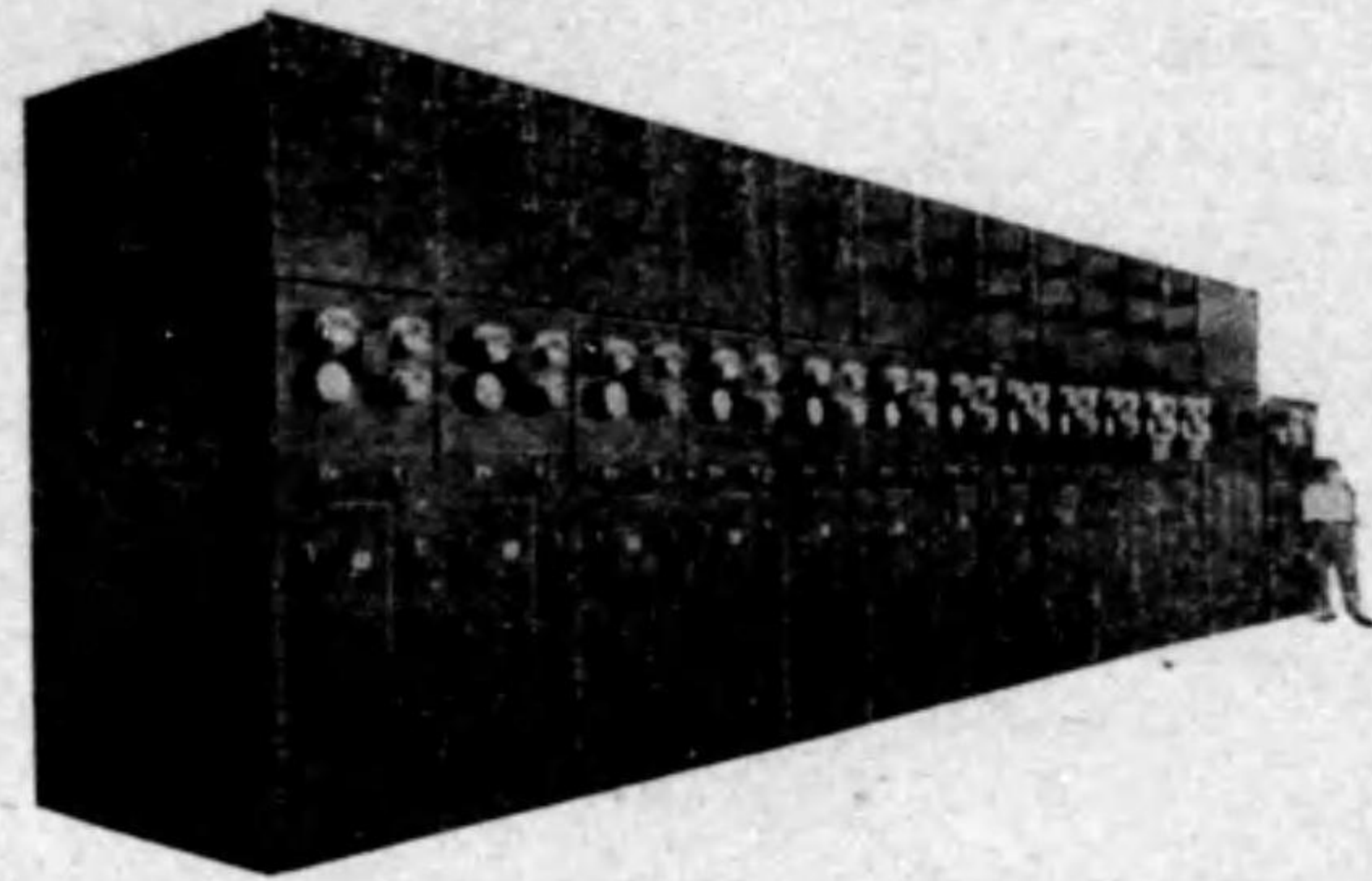
器を取付け水平部分には制御器具と**模擬母線 (Mimic Bus)**があるので發電所の結線状態も明り、操作が容易である。

### 10.13. 測定計器の取附法 (Connection of Measuring Instrument on Switch Board)

#### (A) 電 壓 計 (Voltmeter)

此の文字盤には 150, 300, 750 V の目盛をなすのが普通である。第 214

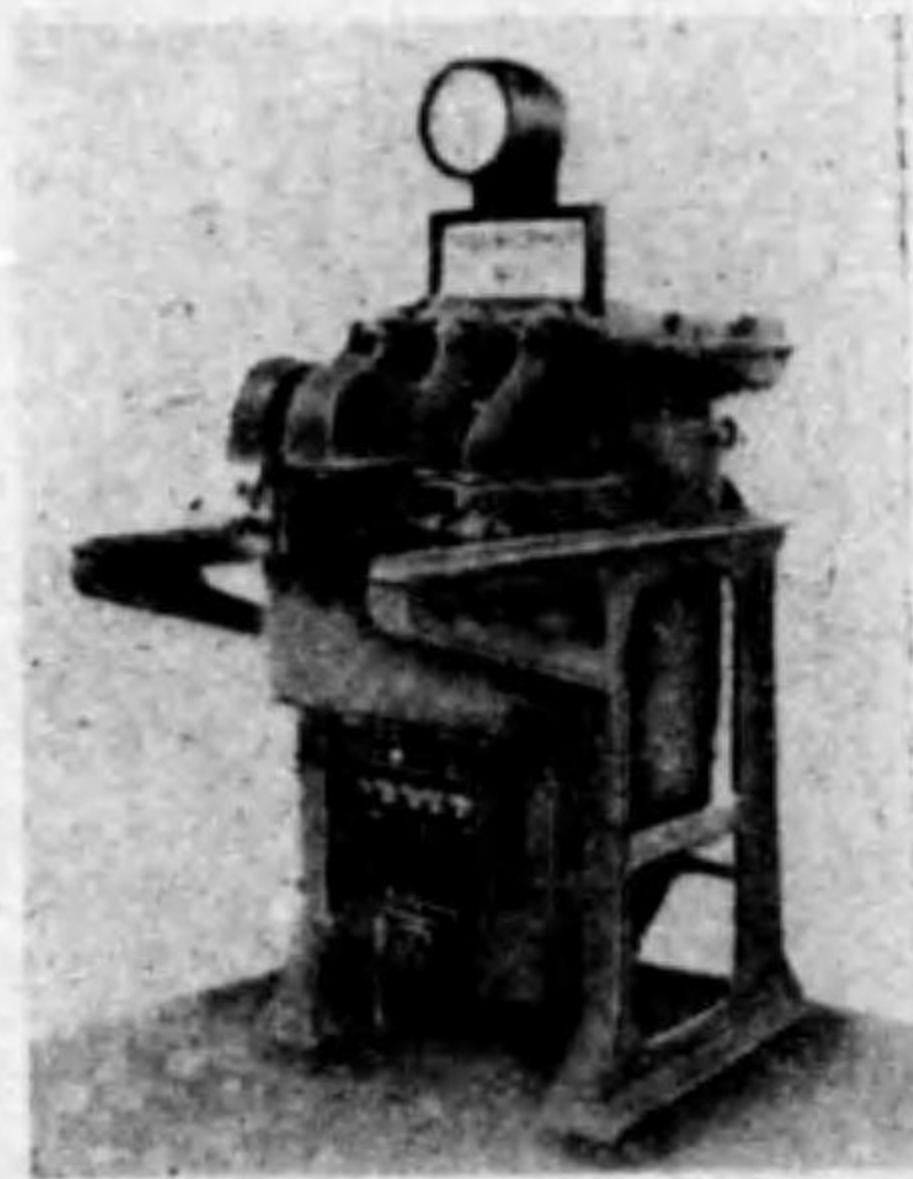




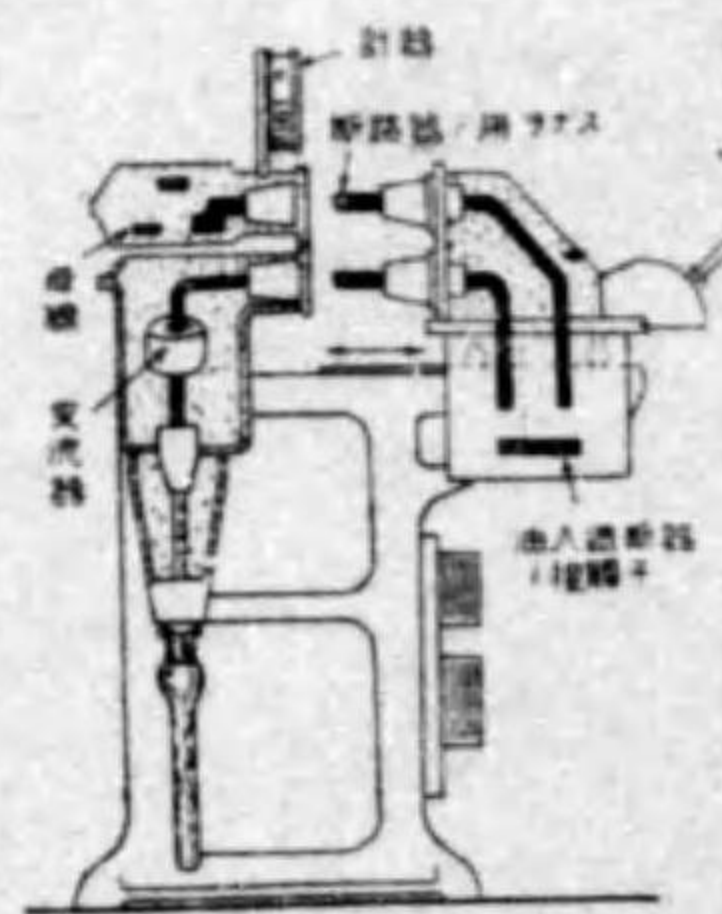
第 211 圖 (ロ)

圖は一個の電圧計にて、二臺以上の發電機の電壓を測定する場合の結線を示すものである。

O は氣中開閉器を示す。



第 212 圖 (イ)



第 212 圖 (ロ)

第 215 圖は三相の場合、直接線間電壓を測る場合の結線を示す。

電圧が高い場合には三相交流の場合は二個の計器用變壓器 (Potential Transformer: *P.T.*) を用ひ、此れを *V* 結線にして測定す。

*a, b, c* に低壓の電圧計を接続する。

*F* は可熔片である。

(B) 電流計

(Ammeter)

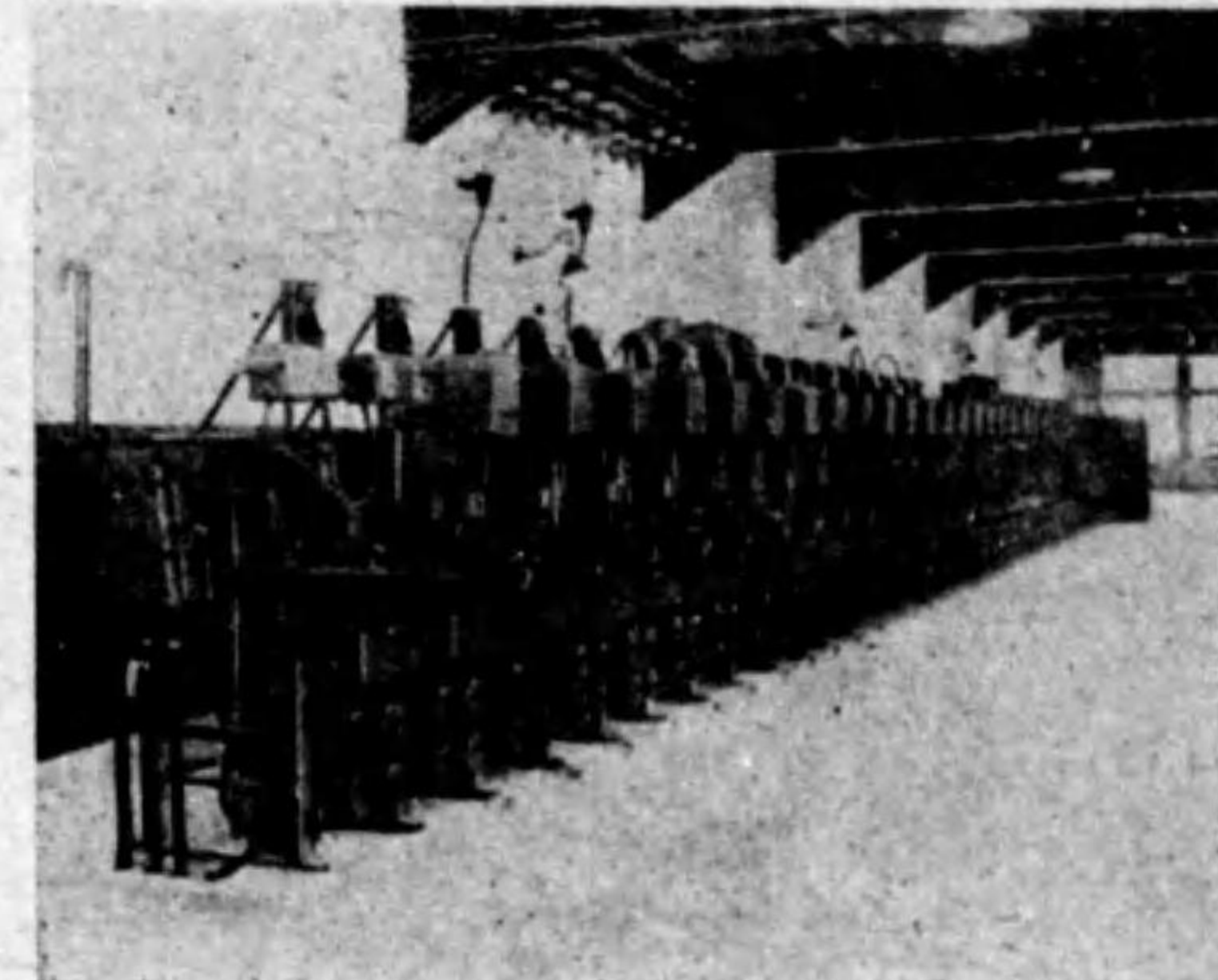
直流の場合には電流が大きくなる時はシャント (Shunt) を用ひて測定す。交流の時は變流器により二次電流を直接計器に通して測定す。此の變流器 (Current Transformer: *C.T.*) を三相交流の場合には三個用うるが、

(第 218 圖) 二個用ゆる場合は *V* 結線として使用する。第 219 圖の如くす。

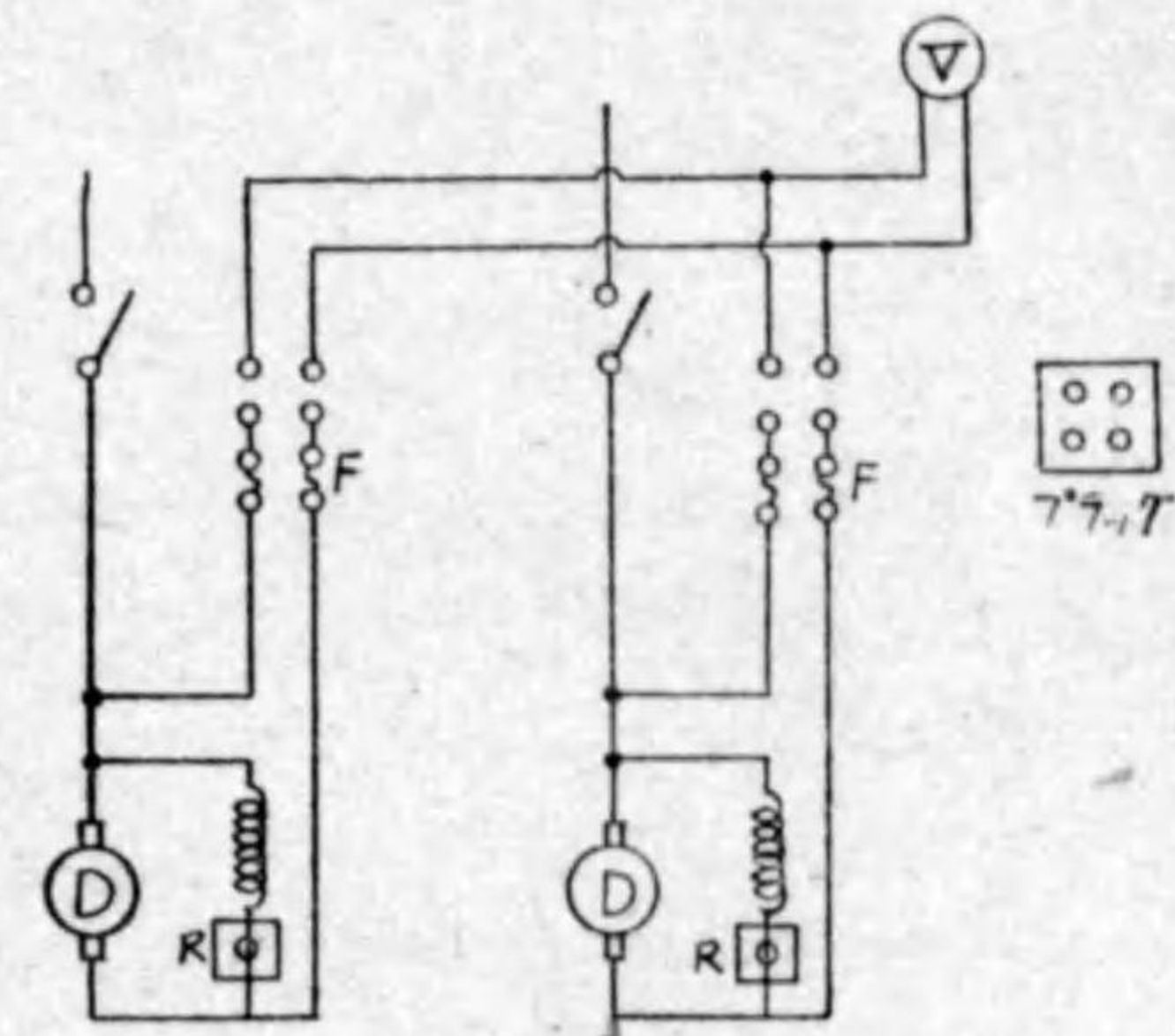
普通二次線には 5 A の電流を流した時、メーターの針の振れが最大となる様にしてある。變流器の二次線はメーターを取除く時は必ず短絡して置かねばならぬ。しからざれば鐵心が加熱してコイルを焼く恐れがある。

(C) 指示電力計 (Indicating Wattmeter)

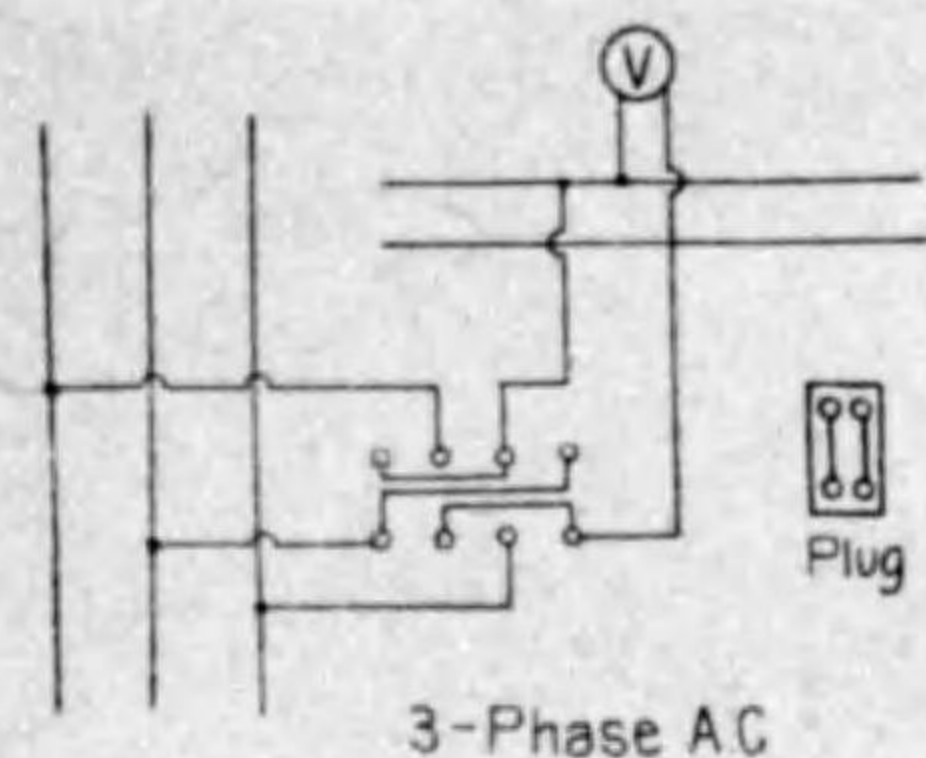
電力を指示するもので、電壓線及電流線が接続される。高壓の時は *P.T.* 及 *C.T.* を用ひて電壓及電流を下げ、其の二次側にメーターを接続す。



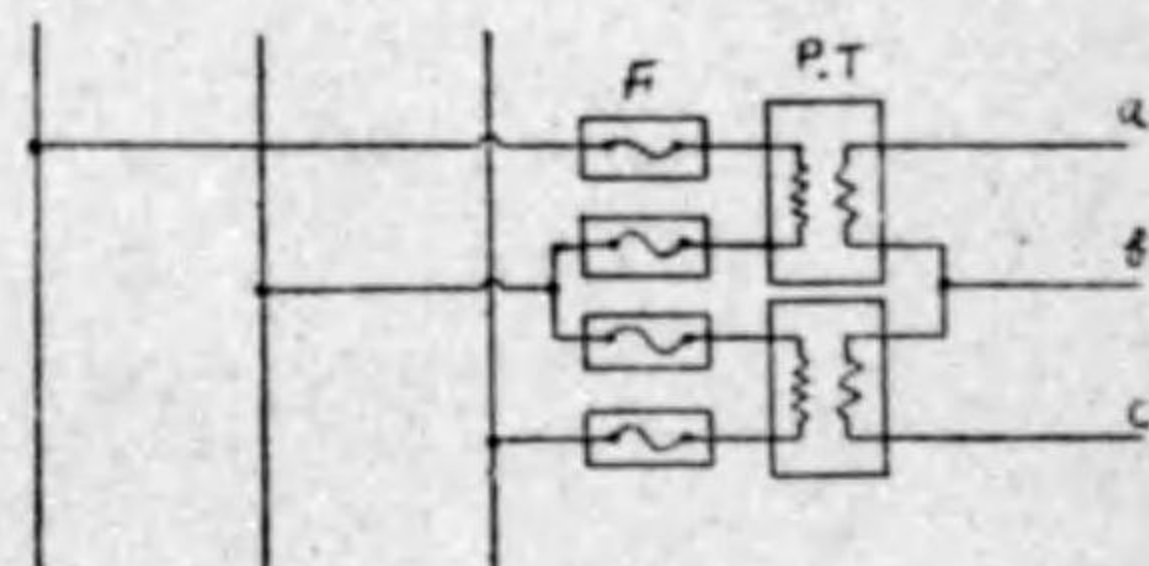
第 112 圖 (ハ)



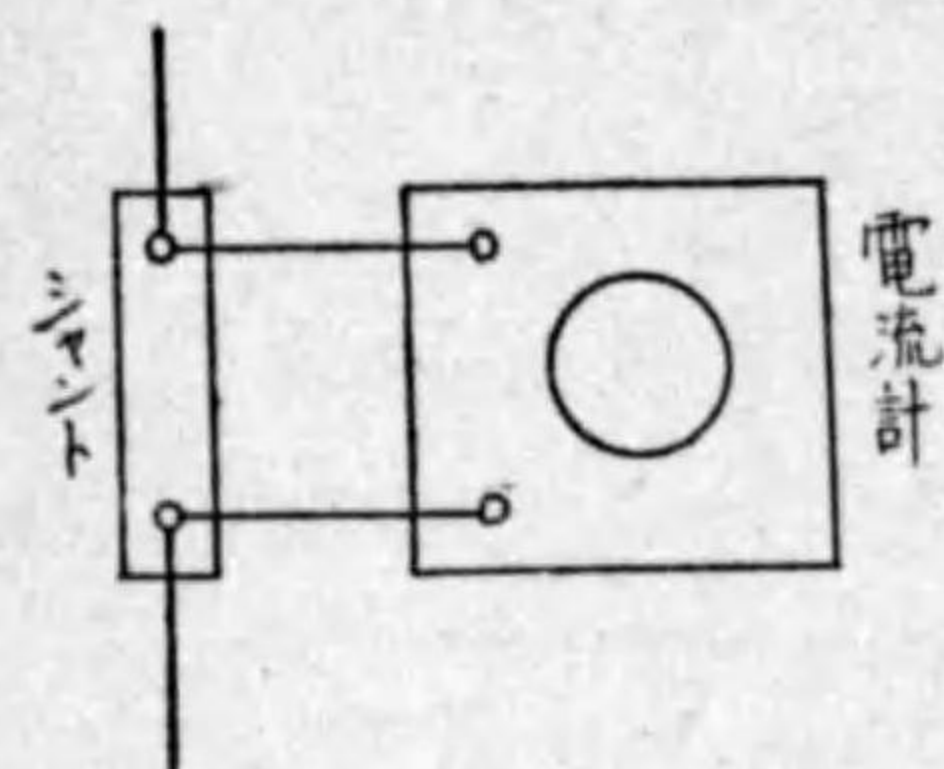
第 214 圖



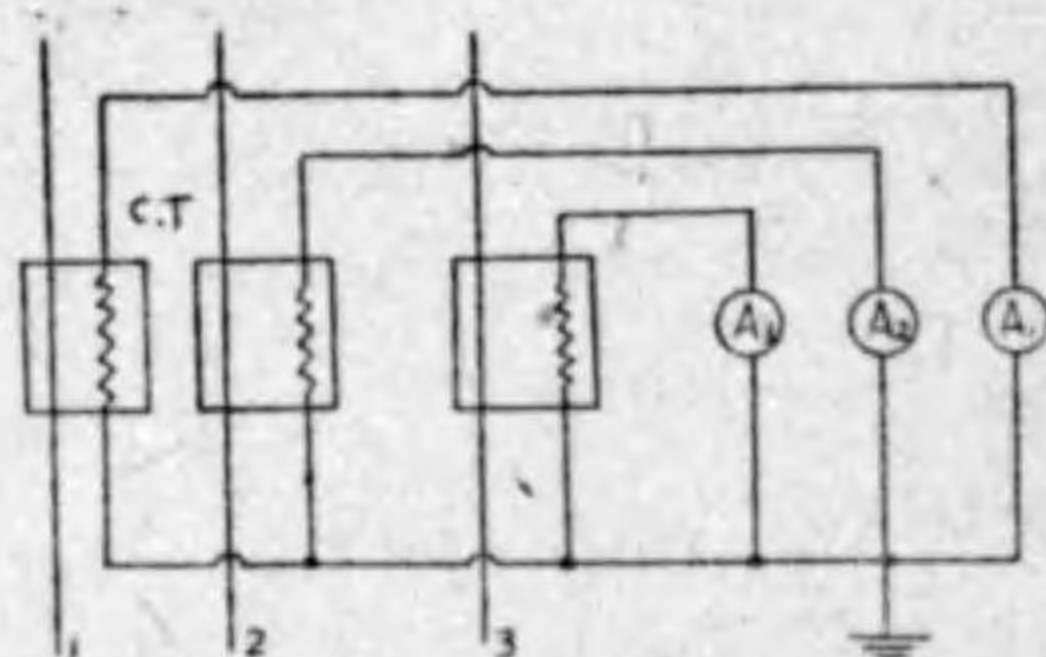
第 115 圖



第 216 圖



第 217 圖



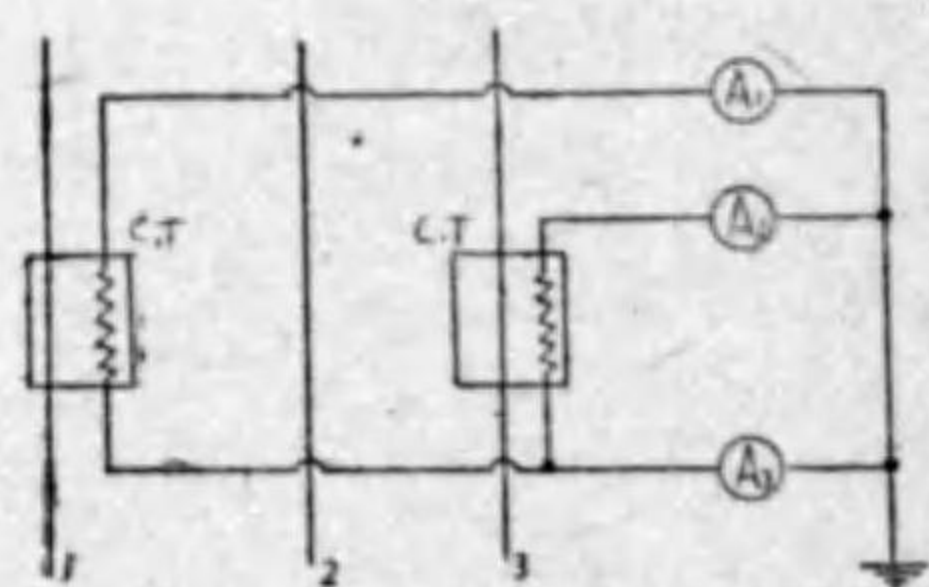
第 218 圖

**(D) 積算電力計 (Integrating Wattmeter or Watthour Meter)**

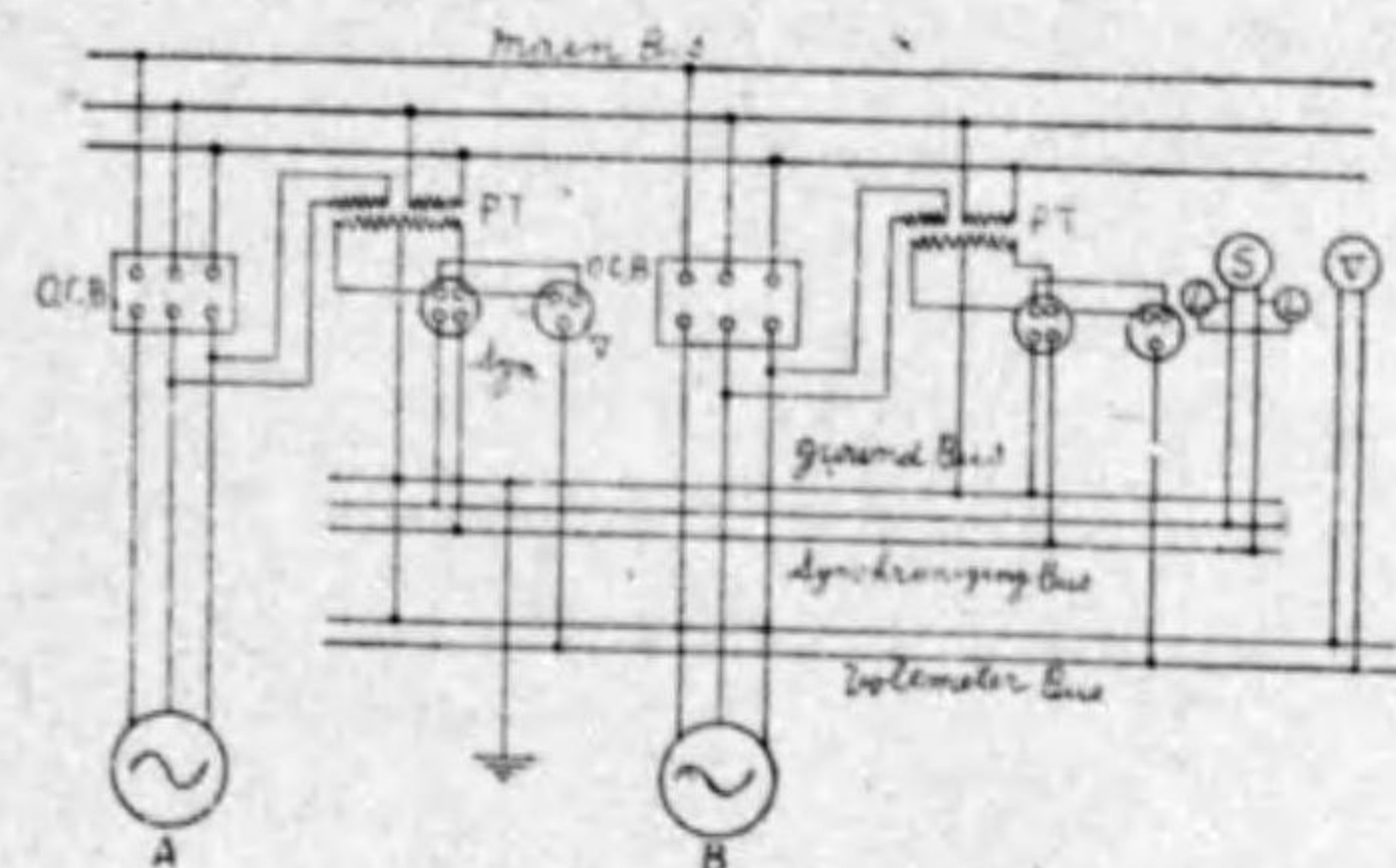
電力量計である。此れも高圧の場合には P.T 及び C.T の二次側にメーターを接続す。

**(E) 同期検定器 (Synchroscope)**

発電機を起動して、此れを主回線 (Main Line) に接続する時、之を同期させる事が必要である。此の目的に用ゆる機器を同期検定器と云う。第 220 圖に於て S が同期検定器である。A, B 発電機が母線の電圧及位相と同一になると、各々の同期検定期のプラグを入れた時、同期を示すから油入開閉器を閉じて並列運轉を行う事が出来る。



第 219 圖



第 220 圖

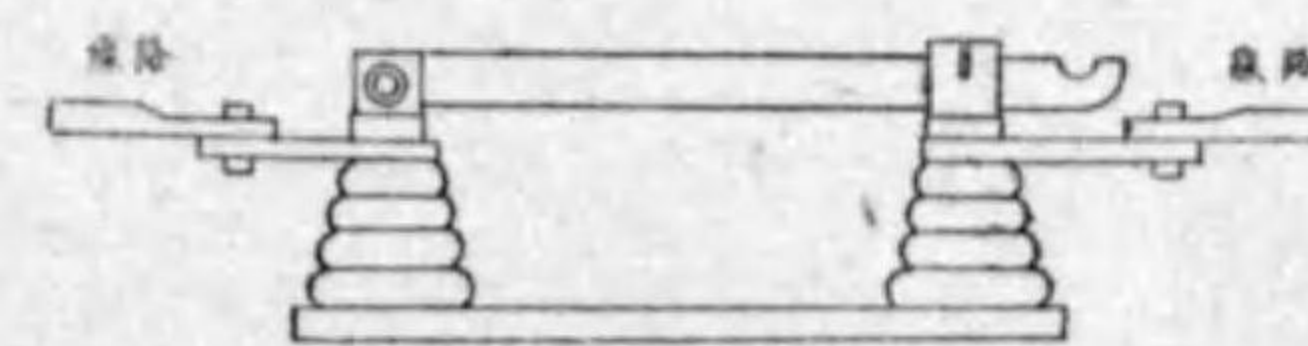
**10.14. 開閉器及び遮断器 (Switch and Circuit Breaker)**

電路を開閉するものを開閉器と云う。低圧には双型開閉器 (Knife Switch) を用ゆ。電流が大である時、電圧が高い時は迅速遮断双型開閉器 (Quick Break Knife Switch) 又は油入開閉器 (Oil Switch) を用ゆ。電流開閉能力より分類すれば次の如し。

**(A) 断路器 (Disconnecting Switch)**

此れは俗にチスコンと稱し、電流を開閉する能力はなく、單に電氣機械の點檢、修理のため電線を切り離すために用ゆ。故に區分開閉器とも云う。次の如く分類せらる。

- (イ) 使用場所より, 屋外式, 屋内式
- (ロ) 極數より, 單極式, 雙極式, 三極式
- (ハ) 開閉の方法より, 單投型, 雙投型, 或は水平開放型, 垂直開閉型



第 221 圖

- (ニ) 操作方式より, 手働操作, 電磁石操作, 電動機操作

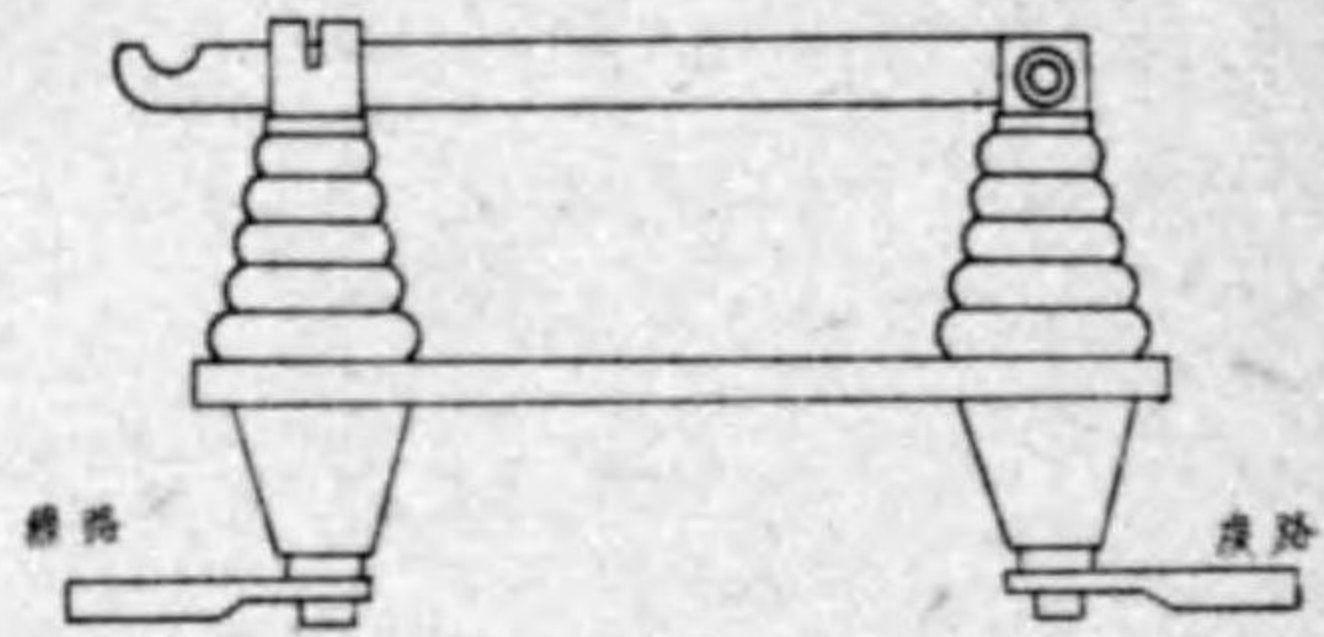
(i) 全前面接続

又此れを線路との接続方法より分類する時は(第 221 圖-第 224 圖)に

示す如くなる。

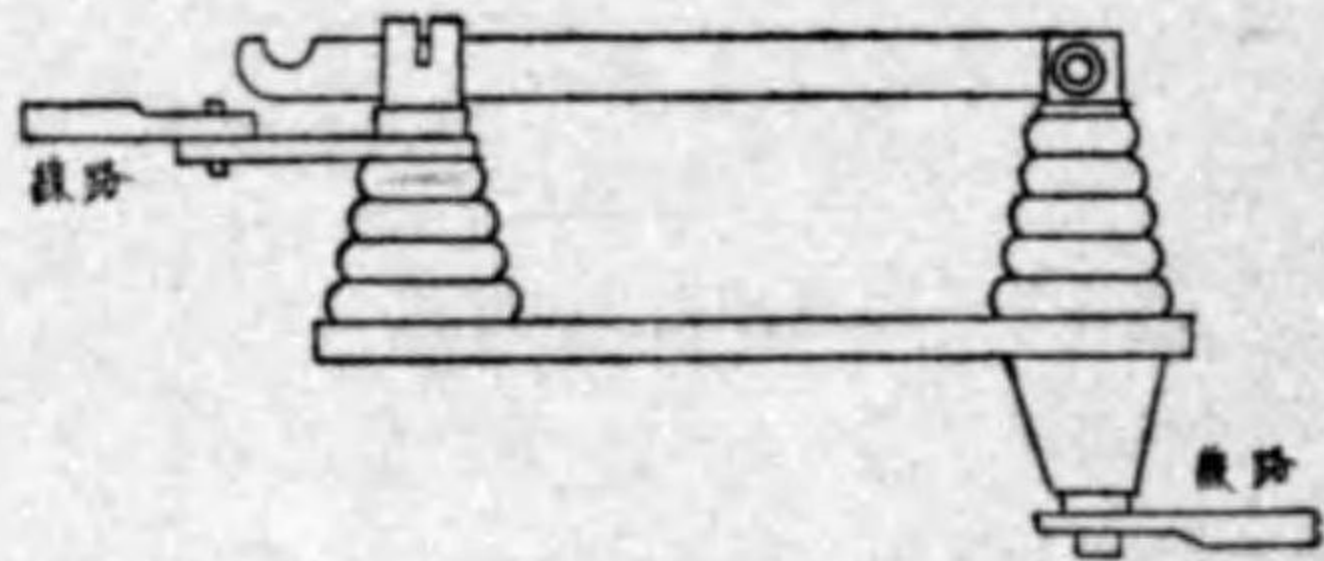
此等のものは構造簡單にして、價格も低廉である。又閉閉状態も一見して知る事が出来る。尙ほ第 225、226 圖の如く此れに消弧角 (Arcing Horn) を取付ける時は、變壓器の勵磁電流、送電線の充電々流位は切る事が出来る。此の斷路器は送電中には決して開いてはならぬ。誤つて此れを切り甚大なる災害を惹起した事がある。油入遮斷器を開いた後に開き、投入するには、先きに之れを閉じて其後に油入遮斷器を閉ぢる様にせねばならぬ。屋外のものには雨露、寒冷、暑熱に耐へる事が必要である。双 (Blade) が長いたため双承 (Jaw) から、はなれ易いから自然開路防止のため鉤が取付けてある。

短絡の時に双に



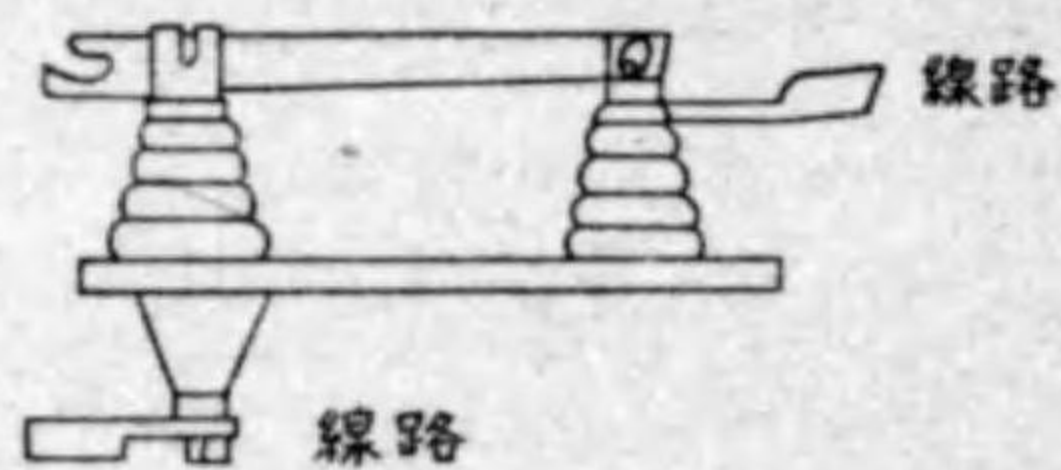
第 222 圖

(ii) 全背面接續



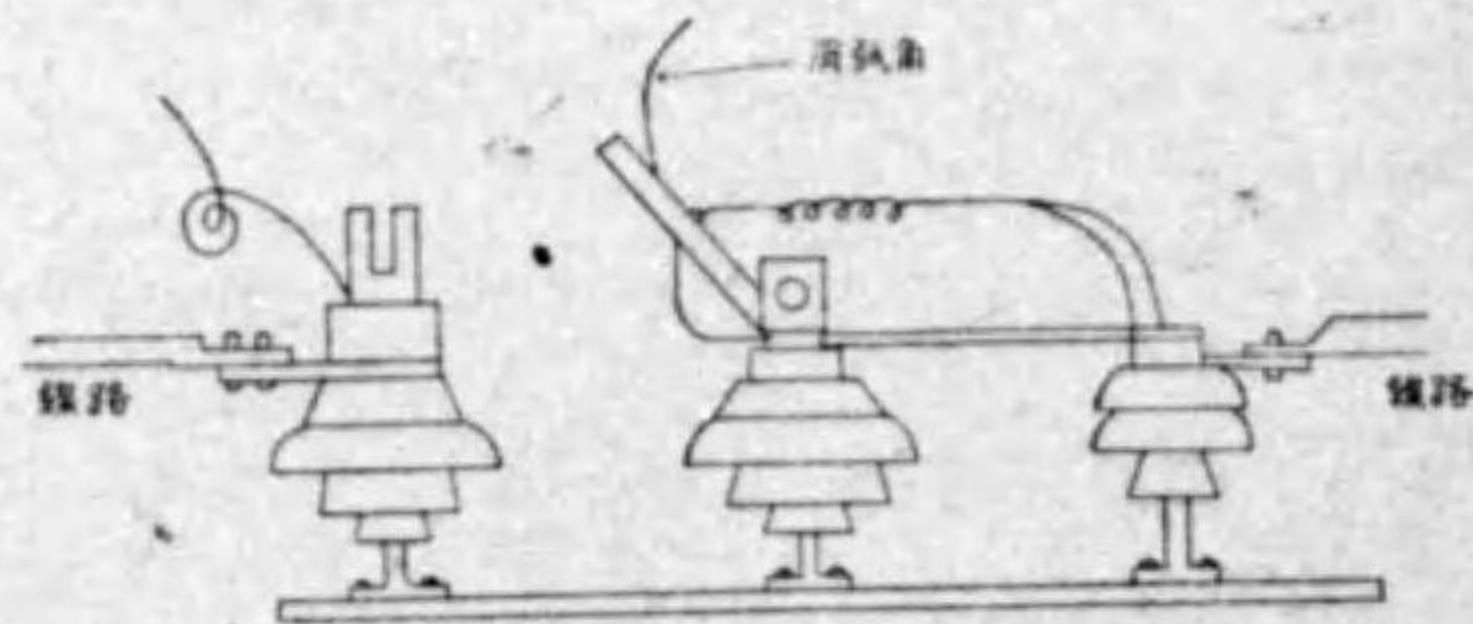
第 223 圖

(iii) 前面背面接續第圖



第 224 圖

(iv) 背面前面接續



第 225 圖

働く電磁力が相當大きな値になる。此れを押し開かんとする力  $F(\text{kg})$  は次の式によりて求められる。(第 227 圖) に於て、

$X = \infty$  の場合

$$F = 4.6 I^2 \left\{ \log \frac{D(L + \sqrt{r^2 + L^2})}{r(L + \sqrt{D^2 + L^2})} - \frac{D}{L} + \frac{\sqrt{D^2 - L^2}}{L} - 1 \right\}$$

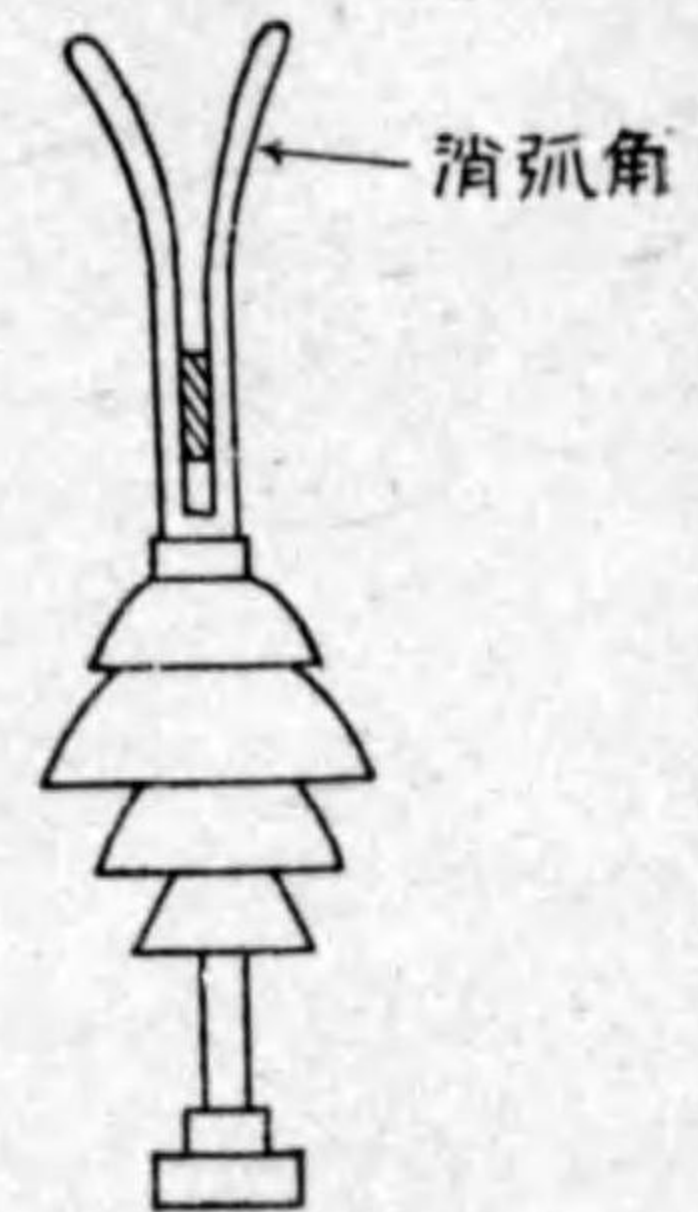
$\times 10^{-8} \quad (\text{kg})$

$X = 0$  の場合

$$F = 4.6 I^2 \left\{ \log \frac{D(L + \sqrt{r^2 + L^2})}{r(L + \sqrt{D^2 + L^2})} \right\} \times 10^{-8} \quad (\text{kg})$$

$L = \infty$  の場合

$$F = 4.6 I^2 \left\{ \log \frac{D}{r} \right\} \times 10^{-8} \quad (\text{kg})$$



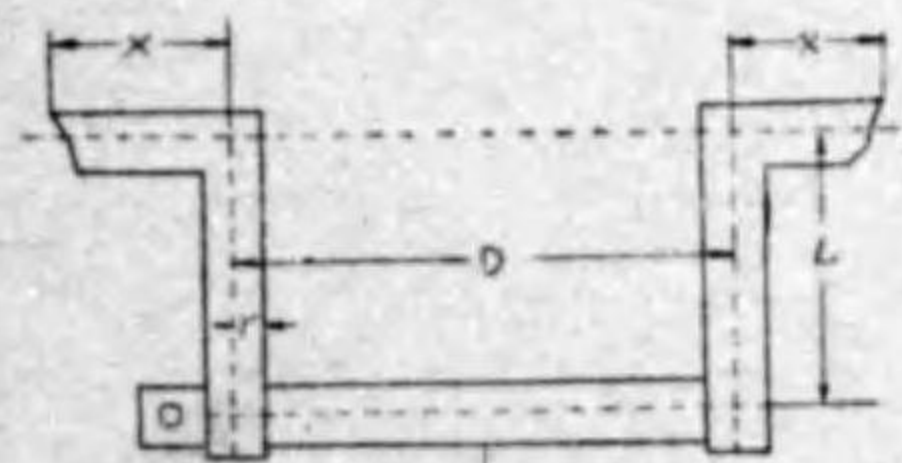
第 226 圖

(B) 開閉器 (Switch)

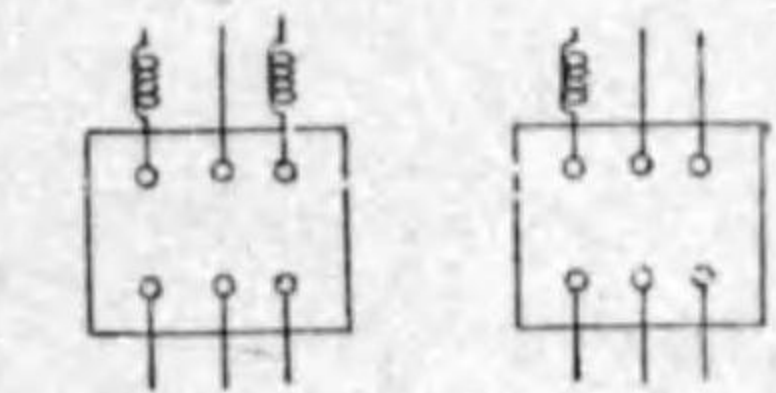
定格電流の程度を開閉するものであるが、定格電流の二三倍或は數倍の起動電流を相當頻繁に開閉し得るものもある。特に此れを接觸器とも云ふ。

(C) 遮斷器 (Circuit Breaker)

定格電流の程度は勿論、異常電流の開閉を行う能力のあるものを遮斷器と云う。此れを



第 227 圖



トリブコイル 一個の場合 (甲)      トリブコイル 二個の場合 (乙)

第 228 圖

操作方式より分類すれば次の如し。

- (イ) 使用場所より,  
屋内式, 屋外式
- (ロ) 動作方式より,  
自働々作 (Automatic), 非自働々作 (Non Automatic)
- (ハ) 操作方式より,  
手働操作, 電磁線輪操作, 電動機操作, 壓搾空気操作
- (ニ) 取附方式より,  
壁掛型, 鐵構組立型, 隔室内取附型, 床面据置型となつて居る。

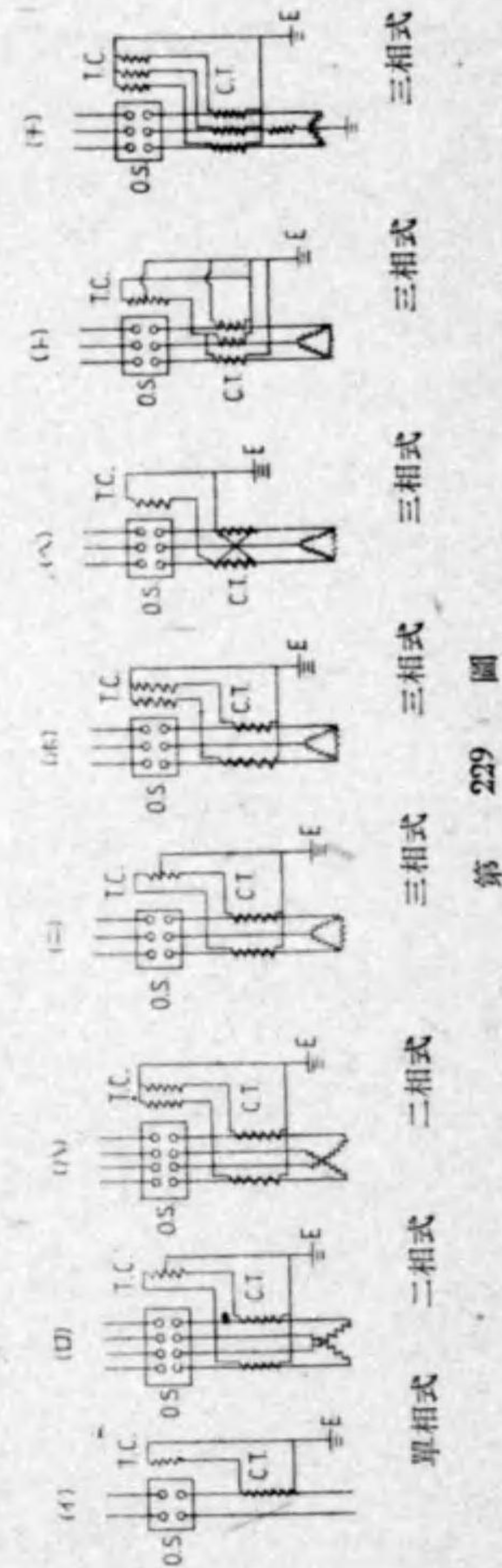
定格を云へば

- (i) 定格電壓, (ii) 定格電流,
  - (iii) 定格周波數, (iv) 定格遮断容量 (v) 定格最大電流 である。
- 大別すると氣中遮断器と油入遮断器ともなる。

標準型として電壓, 電流は第69表, 第70表の如し。

此の遮断器を自動的に開閉するに3通りの方法がある。

- (1) 直接線電流にて働くもの。線電流がトリブコイルの中を流れ此れ



第 229 圖

にてハンドルを働かすもの (第 228 圖参照)

- O.S. 油入開閉器 C.T. 變流器 T.C. トリップコイル
- (2) 變流器にて間接に働くもの。變流器の二次側の電流をトリブコイルに通し之に依つて開放するもの。(第 229 圖)
- (3) 繼電器により, トリップコイルを働かせて遮断を行うもの。此れには繼電器の事を一應説明せねばならぬが後節にゆづり茲には唯開閉器との結線を擧げるだけにとゞめる。(第 230 圖)

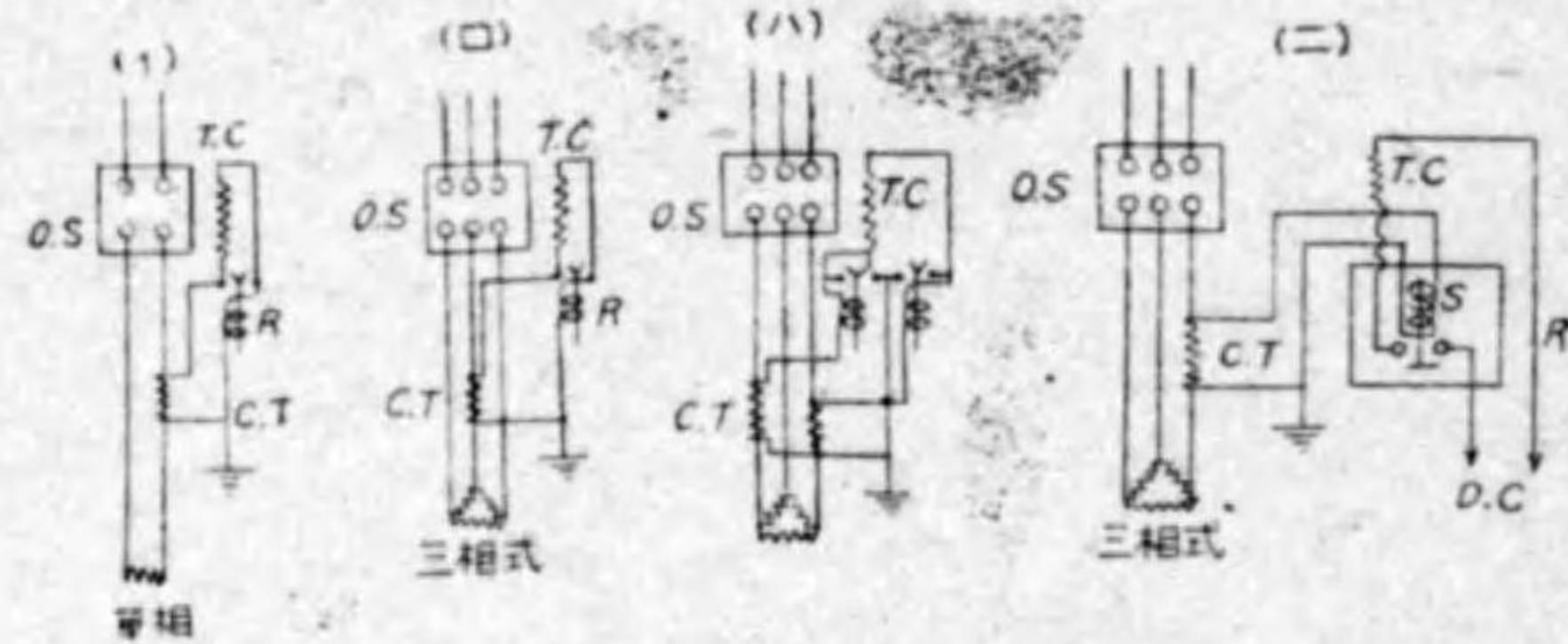
第 69 表

電 壓 (V)		電 流 (A)					
750	7,500	37,000	88,000	200	800	2,000	4,000
2,500	15,000	50,000	110,000	400	1,200	2,400	5,000
4,500	25,000	73,000	132,000	500	1,600	3,000	—

第 70 表 油入遮断器 (最近のもの)

使用場所	定 格 最 大		構 造 大 要
	電 壓 (V)	遮 断 耐 量 (kVA)	
屋 内	11,500	35,000	單槽角型開放
		100,000	" 密閉
	23,000	125,000	三槽小判型開放
		500,000	單相丸型密閉
		500,000	三槽丸型 "
屋 外	46,000	500,000	單槽丸型密閉
		200,000	三槽小判型半密閉
	80,500	600,000	"
		500,000	三槽丸型密閉
	92,000	2,500,000	"
		750,000	"
230,000	2,500,000	"	

此の開閉器は電力の少ない時は問題でないが、電力が大きくなると、電弧を発生するので六ヶ敷くなつて来る。1890年以前は電力は殆んど夜間電燈に使用され電圧電流共僅少であつたため遮断器としては問題にされなかつたのである。しかるに Niagara Power Co. が5,000 H.P. の発電機を建設し、送電する様になつて果然當時の開閉設備及双形開閉器、可熔片に替るべき安全確實なる装置の出現を要求され、1893年遂に 2,300V 4極



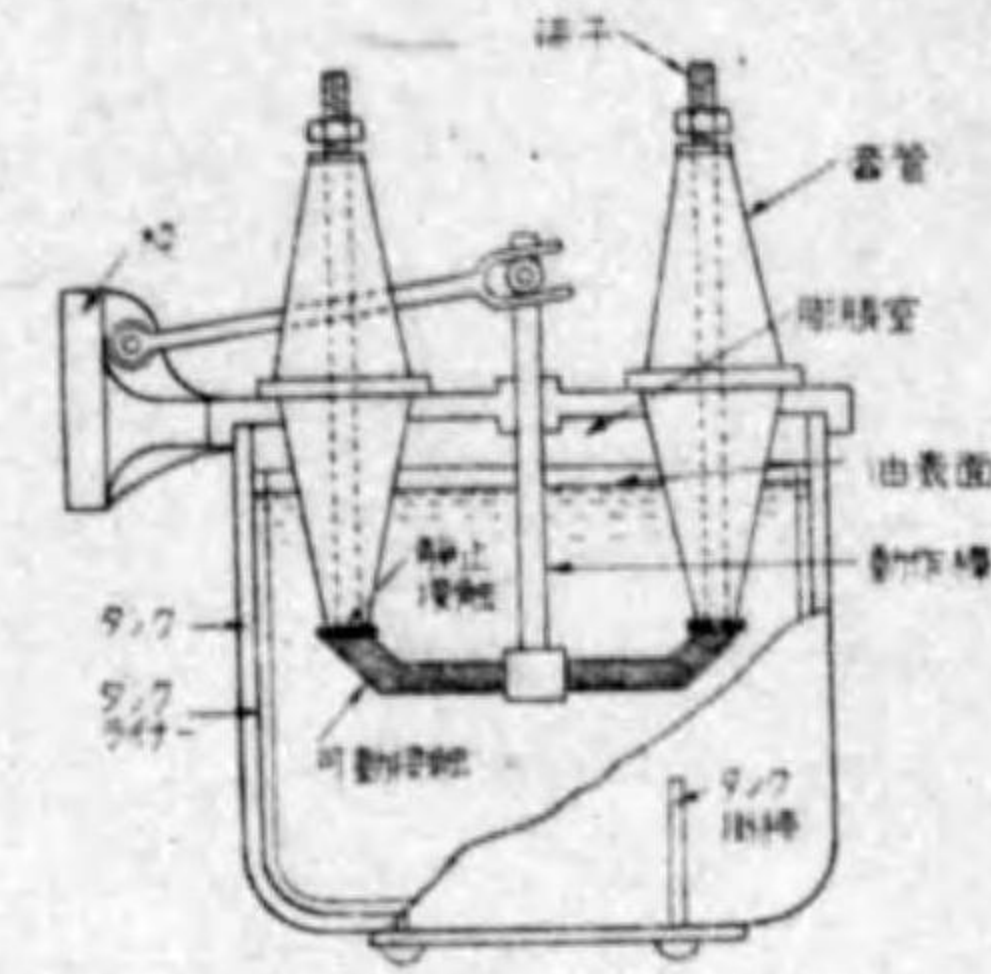
第 230 圖

O.S	油入開閉器	R	繼電器
C.T	變流器	S	電磁石
T.C	トリックコイル	D.C	直流電源

此れには 12, 24, 110, 220V の直流電源又は110, 220, 440V 交流回路を必要とす。

搾空氣操作 5,000 H.P. 用氣中遮断器が製作されたのであるが實用に適せず不成功に終つた。1894年に Stanley Electric Co. が此れを改良して實用的のものを作り市場に出すに至つた。1895年に工業動力が増加して油入遮断器が出現した。創始者は不明である。英國でも同年 Ferranti が製作して居る。最初は油中で接觸を開き、電弧を発生する事は餘程危険な事の様には思はれて居た。次いで C.E.L. Brown 氏が發明して居る。1879年 G.E 會社の E.W. Rice が H 型なる小油量型の前身を製作し最高電壓は 12,000V であつた。1901年にはアメリカ西海岸に於て送電電壓が次第に高まつたため、此の研究が益々盛んになり、J.N. Kelmann 氏が開放型油入遮断器を試作し 40 kV, 10,000 kW の電源遮断に成功して居る。更らに 1902

年に R.H. Sterling 氏が 60,000 V を密閉型油入遮断器により操作した。1904年に G.E. 會社の Rice 氏が H 型を 60,000V に、1906年に W 社に G 型が出来、1908年に G.E 社に 100 kV 用 T 型が製作された。1910年には屋外用油入遮断器が現はれ、今日では米國に於ては 287 kV 歐洲では 220 kV の高速遮断のものが出現して居る。動作時間は 15 秒位である。遮断容量も増大し 2,000,000 kVA より 3,500,000 kVA の大容量のものとなつて居る。本邦に於ける最近のものは朝鮮の虛川江及水豊に於ける 220 kV 送電線用のものが最大である。膨脹遮断器にて電壓 230 kV 電流 600~800A 遮断容量 3,000 MVA 周波數 60/50~ 最大電流 (1 秒間): 50,000 A である。



第 231 圖

第 231 圖は普通の油入遮断器の原理を示す。

油入遮断器の種類

(1) 高速度遮断油入遮断器

主接觸部の外に補助接觸部を設け、前者が切れたあとで壓縮スプリングの力で急速に此の補助接觸部を開き電弧を消す。合成最高速度は 6~7 米/秒に達す。

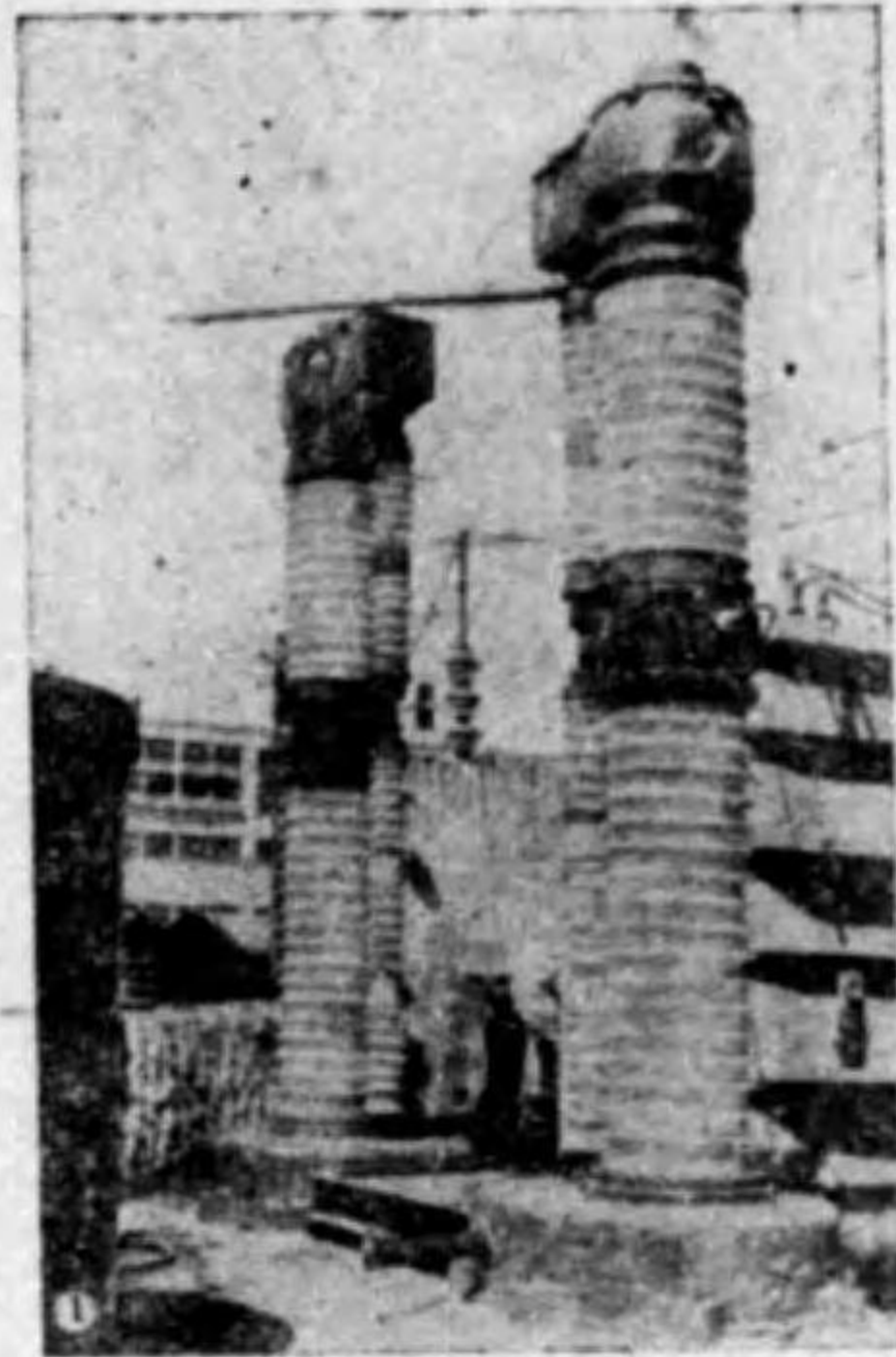
(2) 多重遮断點型油入遮断器

接觸點を多數直列に設けたものである。

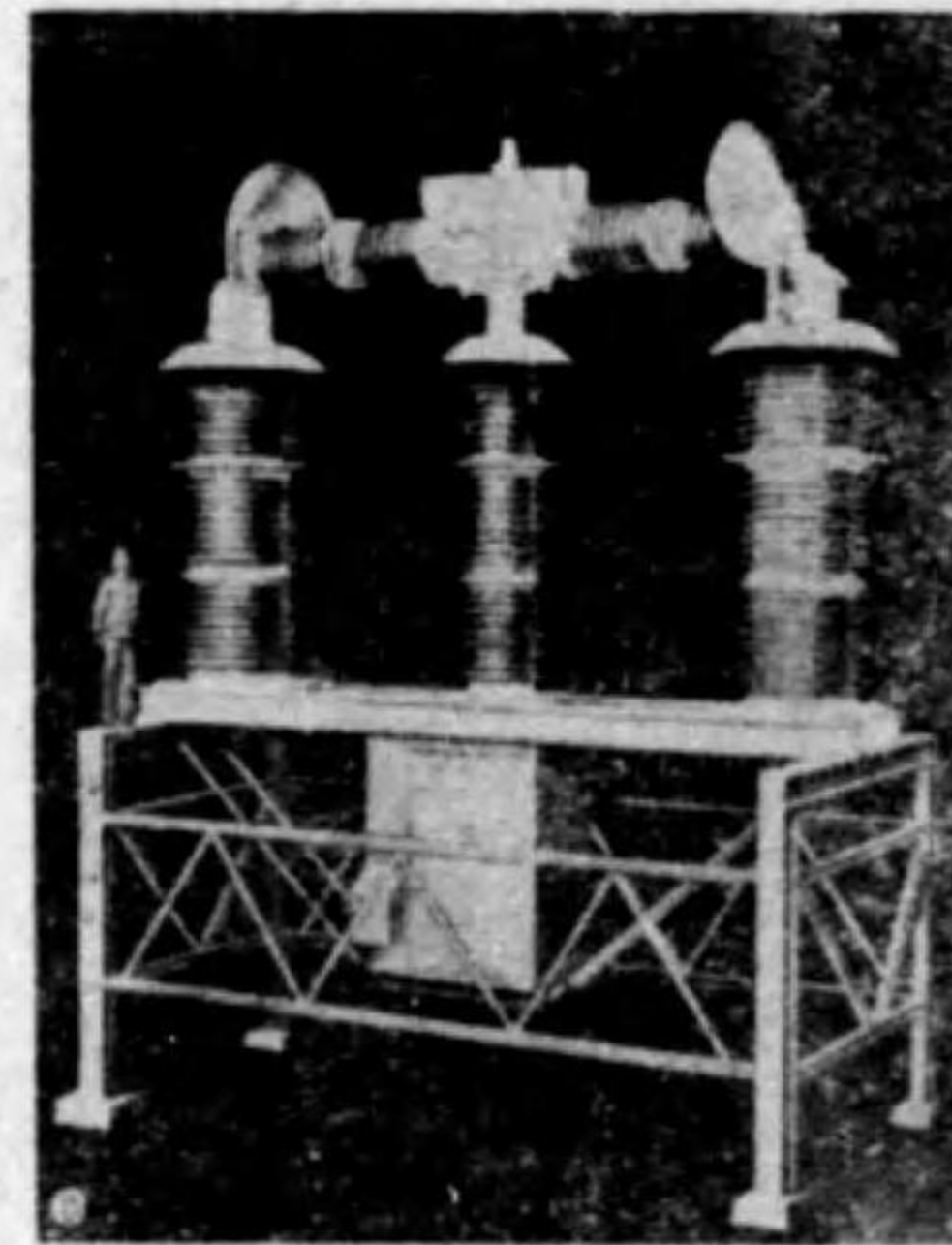
(3) 遮断函付油入遮断器

遮断函を設け、此の中に固定接觸子を置き、棒状の可動接觸子が切れる時電弧による函内の油の分解酸化により生ずる壓力で、速かに消弧する考へである。日立製作所の制弧型遮断器は此れに屬す。(第 232 圖)

(4) 油衝型油入遮断器



第 232 圖



第 233 圖

油の衝撃を與へて電弧を消すもの。電弧により生じた瓦斯で油を噴きつける自働式のもの、別にポンプを設けて油を噴出するものとある。此等は碍子套管を用ゆるから使用油量が普通の油入遮断器に比べると非常に少なくなる。10% 位である。此れを節油型遮断器とも云う。此油は絶縁の目的でなく、主として消弧作用のみに用ひられるからである。アメリカの G.E 社製 Boulder Dam 発電所用は 287 kV, 2,500,000 kVA (単相の分) である。此のものは油量は従來のもの 1/23 遮断時間は 2 サイクル程度である。G.E 及び芝浦支社製品は此の式である。(第 233 圖)

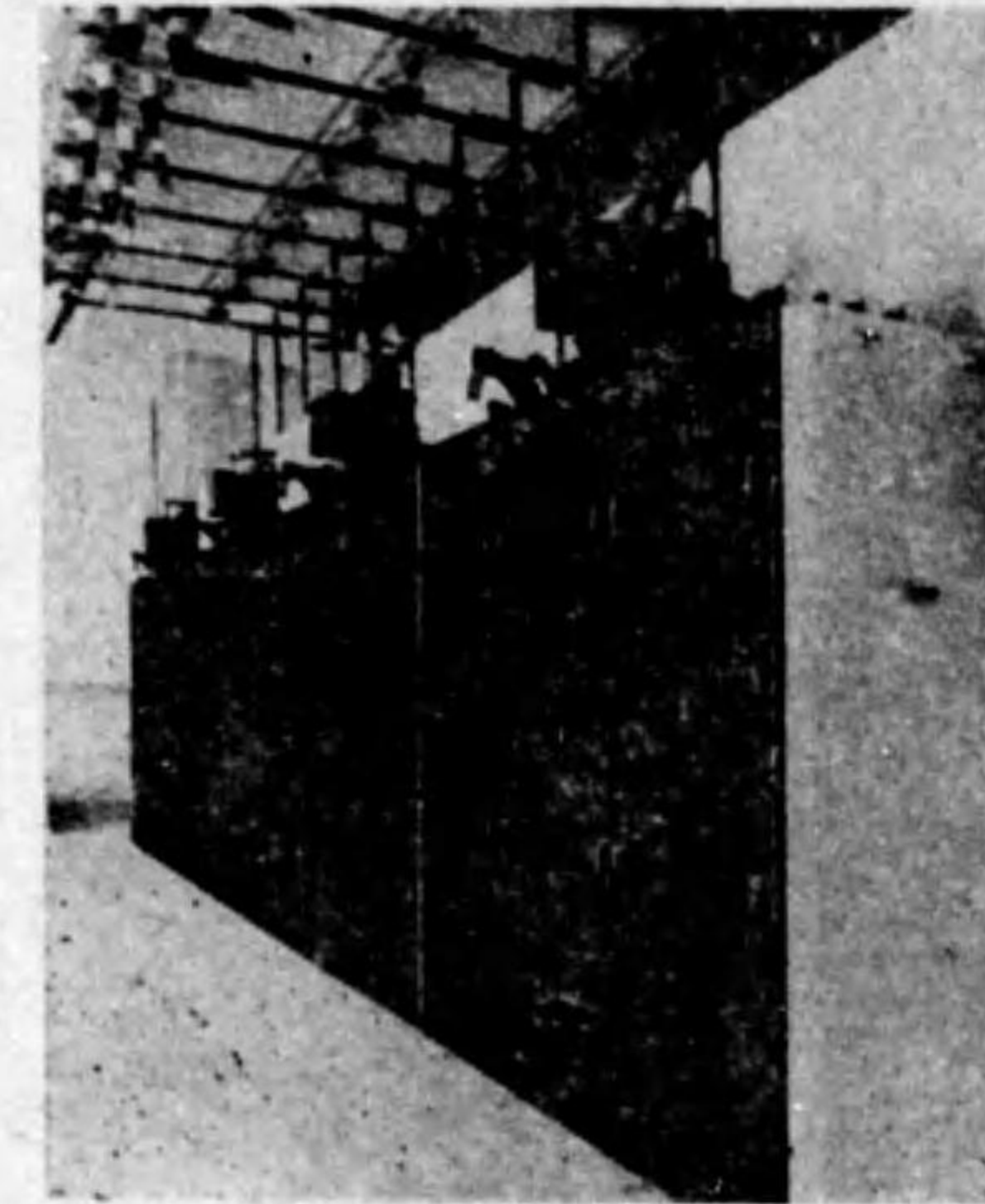
#### (5) デアイオン・グリッド付油入遮断器

油中にデアインの原理を應用したもので、電極の周圍を U 字形の絶縁物と馬蹄形の鐵板を交互に積み重ねたもので包み、此の内で接觸を切る時は電弧は自己の發生した電磁力によりグリッドの溝の奥の方に吹き付けられ、其の部分にある油は此れがため蒸發、氣化され電弧を横切つて外部へ、又左右の壁からは其の中に含まれて居る油の分解ガスが噴出して消弧を迅速に行う。(第 234 圖)



第 234 圖 (イ)

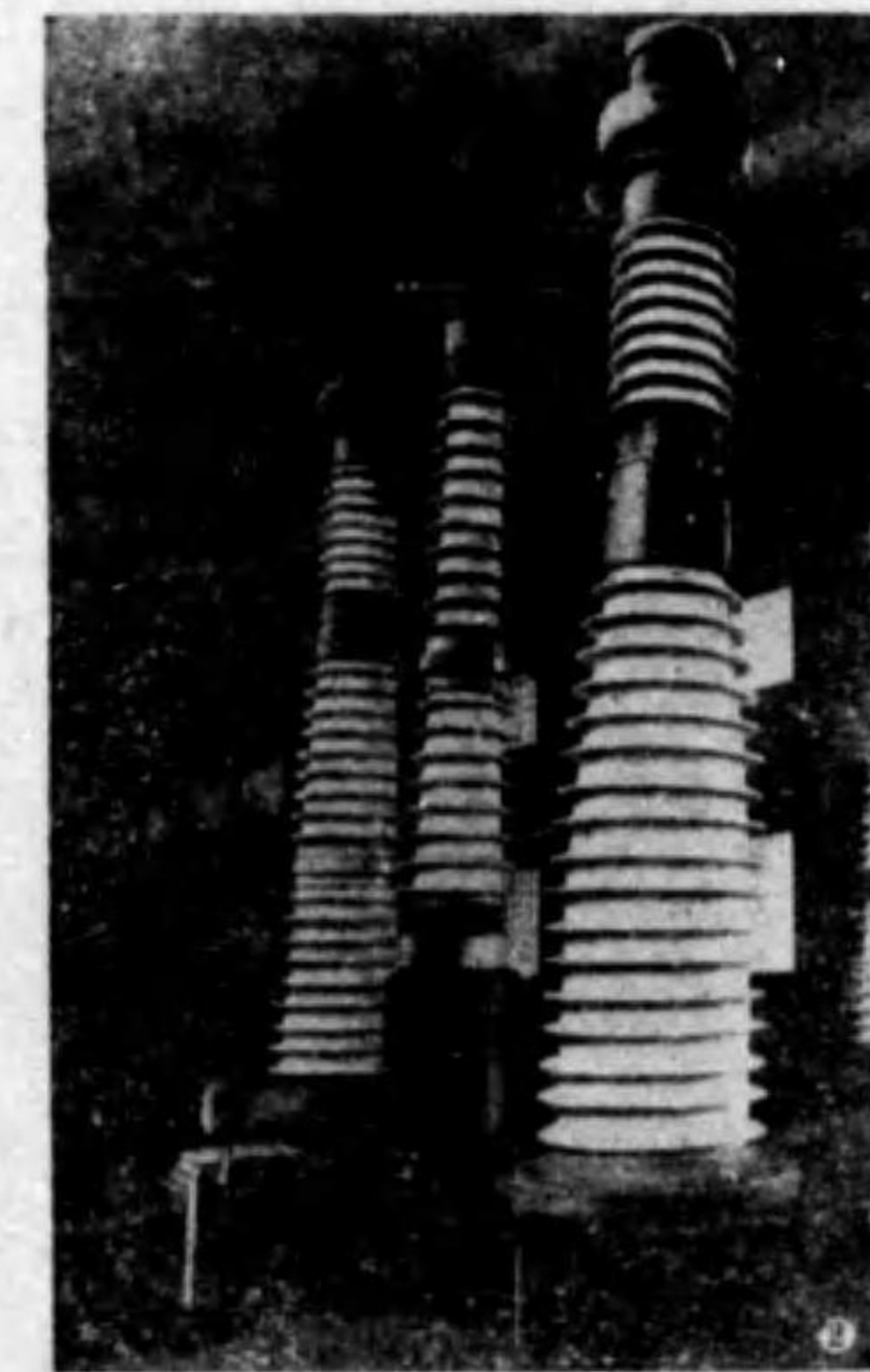
電壓 15~230 kV 2,500 MVA の範圍に用ひらる。W 社及三菱電機は此の型を用ゆ。



第 234 圖 (ロ)

#### (6) 膨脹遮断器、水遮断器

(3) の油の代りに水を用ひたもので電弧のために加熱膨脹して、噴出するとき断熱膨脹をなし電弧の熱を奪ひ、又 Wilson 効果 (電子及イオンは膨脹する飽和蒸汽中に於て水の凝結の核となつて霧状の水滴を作る) も作用して電弧を消滅するものである。シーメンス會社にて製作す。本邦では富士電機は此の式を用う。230 kV, 3,000 MVA のものがある。(第 235 圖)



第 235 圖

#### (7) 交叉噴出型油入遮断器

油衝型の一変形である。

(8) 壓縮空気型遮断器

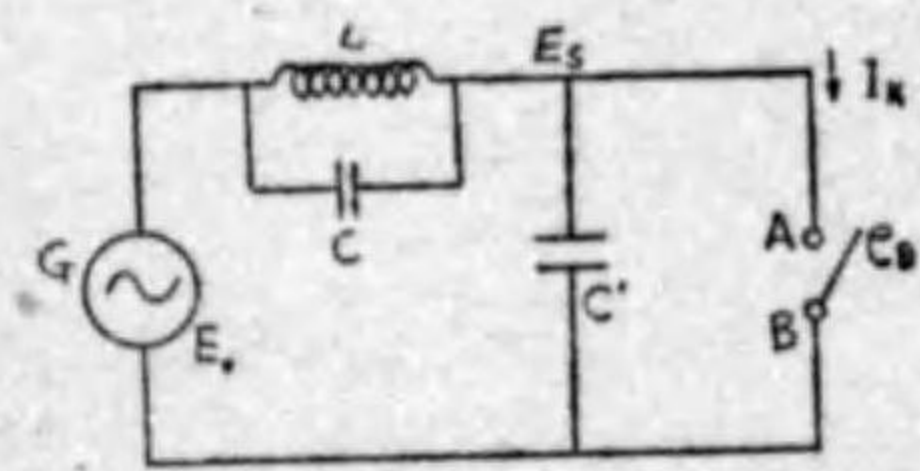
壓縮空気を非常な速度で電弧に吹きつけて消弧する方法である。220kV, 2,500 MVA に成效す。

(9) デイオン氣中遮断器

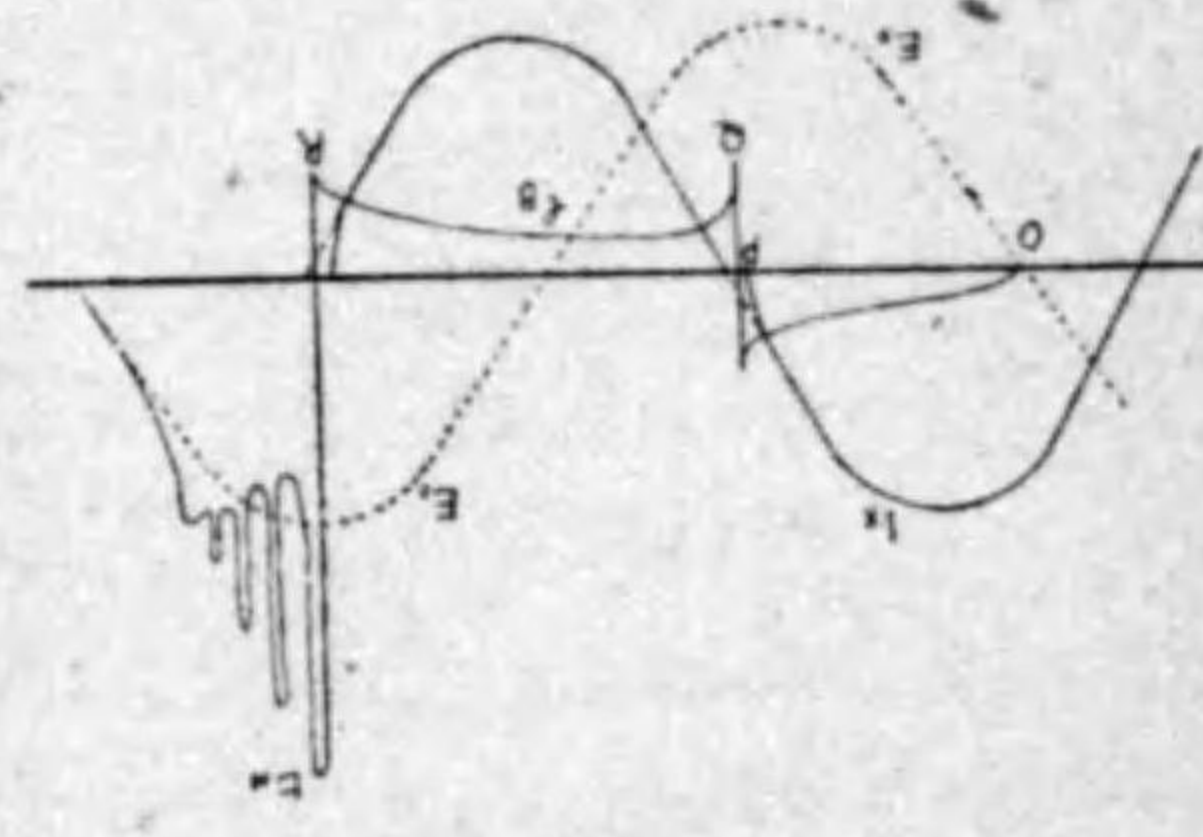
冷陰極面に於てはイオンの中和作用により電位傾度約 250 V の絶縁耐力を生ず。故に薄板を僅かの間隙を隔てて積重ね、その細隙中に電弧を追込む時は電流が零になつた瞬間此の間に約 250 V の絶縁力を生ずる故、此れにて電弧の再出現を防ぐ事が出来る。此の原理による遮断器である。25 kV までのものが製作せらる。

遮断器の定格遮断容量

二分間を隔て引續き二回遮断し得る定格電壓に於ける電流實効値を求め、此れと電壓との積に  $\sqrt{3}$  を掛けたものを以て表はす。此を O-C-O、で表はす。O は開放、C は投入を意味する。従つて此れを書きかへれば O-2 分間-0 となる。油入遮断器が回路遮断をなす時、何等の支障なく遮断し得るか否かは、その際發生する電弧勢力の發生割合及び



第 236 圖



第 237 圖

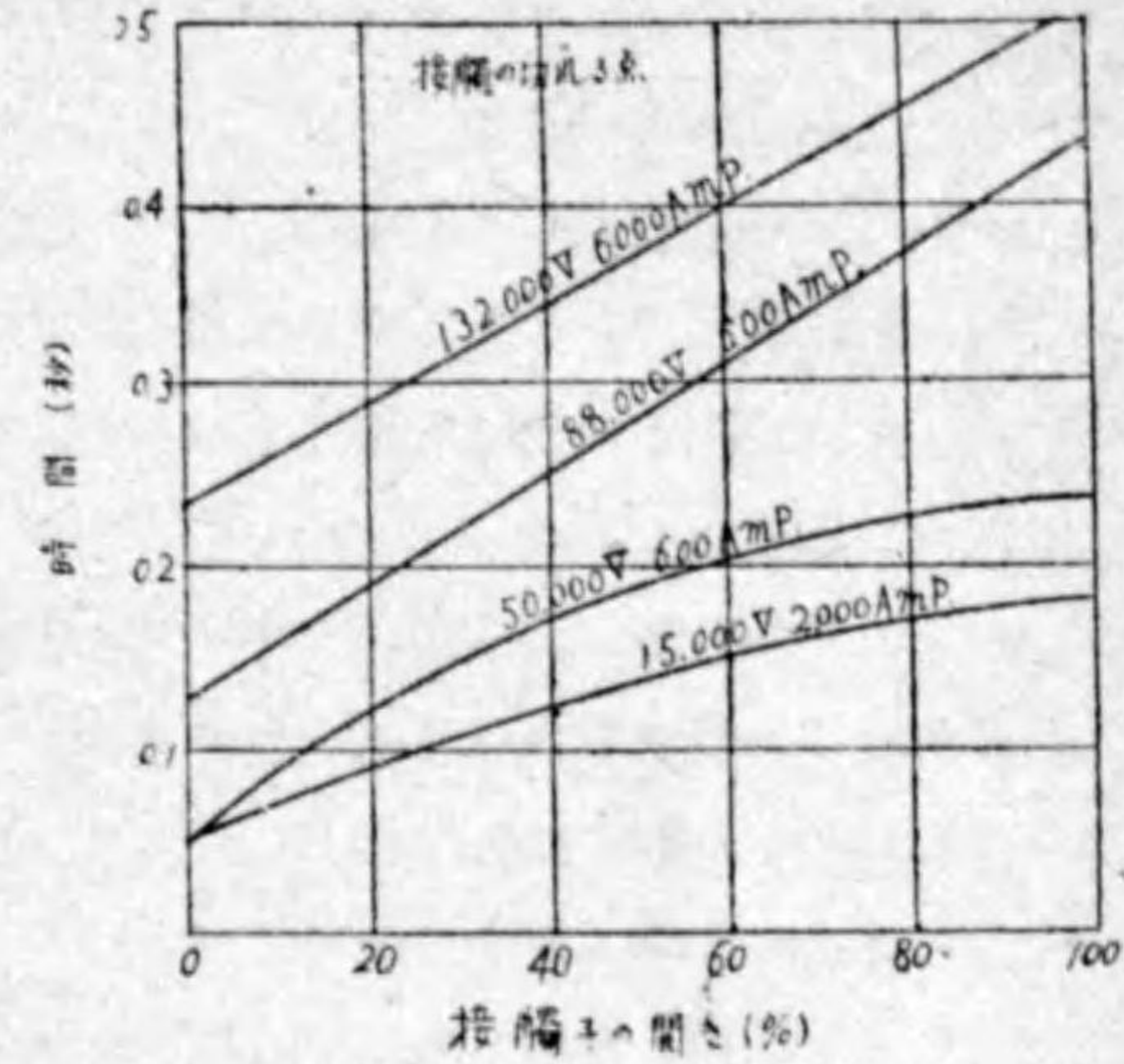
其の總量等が或度内に止るか否かによつて定まる。回路状態及遮断動作状態が全く同じ場合でも此の電弧勢力にはかなりの差違を生ず。

交流遮断現象

簡単な回路に付き此の遮断現象を説明すれば次ぎの如し。第 236 圖は此

の回路を示す。

回路を AB にて開放する時は其の電流、電壓の變化は第 237 圖の如し。即ち  $E_0$  が零の時、接觸が開き、電弧が發生し其の電壓は  $e_B$  の如く變化す。電流は P 點に於て一度零となるが、再び Q 點にて逆方向に發生し、R に至りて零となり。電弧は消滅する。電壓は  $E_M$  に上昇し、此れより、



第 238 圖

回路常數による振動電壓となり、終に回路に復歸する。 $E_M$  を回復電壓と云ふ。 $E_0$  の約 2 倍となる此の電壓の上昇する速さよりも電極にあるイオンの消滅する速度の方が早い時は電弧は消滅する。

振動電壓の周波數は

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{L(C+C')}}$$

である。故に電壓の上昇する時は

$$t = \frac{1}{2f_0}$$

となる。發電機端子に近き所で 10  $\mu$ s, 變壓器の端子では 20  $\mu$ s 送電線の受電端近くでは數百マイクロ秒程度となる。

接觸子が移動するには相當の時間を要す。第 238 圖の如し。大容量のものほど時間が長くなる。

(C) 可熔片 (Fuse)

過電流を遮断する最も簡単な装置である。過電流が豫定時間以上流れた時此れを熔斷させ回路を遮断する目的に使用す。熔斷部としては鉛、錫、

亜鉛、アルミニウム、銀、カドミウム、蒼鉛、他の合金、銅、及時としては抵抗材料等の線又は條片を用う。此の缺點とする所は熔斷される毎に新しく取りかへねばならぬ點である。其の種類は

- (イ) **露出型** 可熔片を空氣中に露出したもの 250V 以下に用ふ。
- (ロ) **包装栓型** 栓内に可熔片を取付け、承け中に捻ぢ込むものである。600V 迄使用する。
- (ハ) **包装薬莢型** (筒型) ファイバー筒中に可熔片を納め、大理石、石灰石等の粉末を入れて耐火性を與へたものである。此れに N.E.C 型スパイラル型、彈條型、H-H 型等がある。
- (ニ) **液入可熔器** 可熔片は補助線と並列に張られ絶縁性液の内に納められる。一方の電極に彈條がついて居るので熔斷すると、此の電極が吹付案内管の中を急に移動して噴出する溶液を電弧に吹き付けて電弧を迅速に消す作用をなす。7.5~138 kV, 0.5~400 A 或は 44 kV 回路で三相 450 MVA を遮斷する事も出来た。
- (ホ) **放出型可熔器** ファイバー筒の一端に爆發室を設け密閉し他端を開放す。可熔片が熔斷する時生ずる高壓ガスが他端から吹き出す力で消弧作用をなさせる。60 kV, 200 A に用ひらる。消イオン可熔器も此れに屬す。
- (ヘ) **可熔カツトサウト** 磁器熔器の蓋内面に露出包装或は放出型可熔器を取付け蓋の開閉によりて、可熔器を回路に斷續するもの。

### 10.15. 繼電器 (Relay)

微小なる動作を擴大して、有力なる作用を起さしむるものである。一般に保護繼電器として事故の發生した部分を他の部分より迅速に切り離すため、自動遮斷器と共に用ひらる。構造は大體二回路よりなる。

- (1) 働作線輪 (Current or Potential Transformer)
- (2) 引外回路 (Trip Circuit)

遮斷作用に付いはて三通の場合がある。

- (1) **瞬時作働** (Instantaneous) 瞬時的に動作する。
- (2) **定時作働** (Definite Time) 一定時間を置いて動作する。
- (3) **逆時作働** (Inverse Time) 故障電流の大きさに時間が逆比例して作働する。

働作方法より分類すれば

- (1) **誘導型** (Induction Type)
- (2) **可動線輪型** (Movable-coil Type)
- (3) **電磁巻鐵心型或は唧子型** (Plunger Type)
- (4) **熱作用型** (Thermal Type)

作働原因に付きては

- (イ) 過負荷の場合 **過負荷繼電器** (Over Current Relay)
- (ロ) 輕負荷の場合 **輕負荷繼電器** (Under Current Relay)
- (ハ) 過電壓の場合 **過電壓繼電器** (Over Voltage Relay)
- (ニ) 低電壓の場合 **低電壓繼電器** (Under Voltage Relay)
- (ホ) 電流の不平衡の場合 **差働繼電器** (Differential Relay)
- (ヘ) 位相が逆になる場合 **逆相繼電器** (Reverse Phase Relay)
- (ト) 電力の逆流の場合 **逆電力繼電器** (Reverse Power Relay)
- (チ) 電壓降下による **インピーダンス (或は距離) 繼電器** (Impedance or Distance Relay)
- (リ) 線路に接地の起つた場合 **接地繼電器** (Ground Relay)
- (ヌ) 位相不平衡を生じた場合 **相平衡電流繼電器** (Phase Balance Current Relay)
- (ル) 溫度上昇によるもの **溫度繼電器** (Temperature Relay)
- (ヲ) 壓力の變化によるもの **壓力繼電器** (Pressure Relay)
- (ワ) 周波數の變化によるもの **周波數繼電器** (Frequency Relay)

等がある。此の外に自動發變電所には此れを操作するために特種のものが用ひられる。又以上のものを二つ或は三つを組合せて、選擇性、方向性を



與へたもの等があり、各製造会社に於て特種の名稱の下に販賣されて居る。

(A) 交流發電機の保護装置としては下記の如きものが用ひらる。

(第 239 圖参照)

(1) 差働電流保護

可動鐵片型瞬時動作過電流繼電器 (RA-2) に限時繼電器 (RS-2) を使用して、電機子線輪兩端に於ける電流の差によりて動作させ、主回路遮断器及界磁遮断器を開路す。此れは發電機の内部故障の生じた場合の保護装置である。

(2) 過電流保護

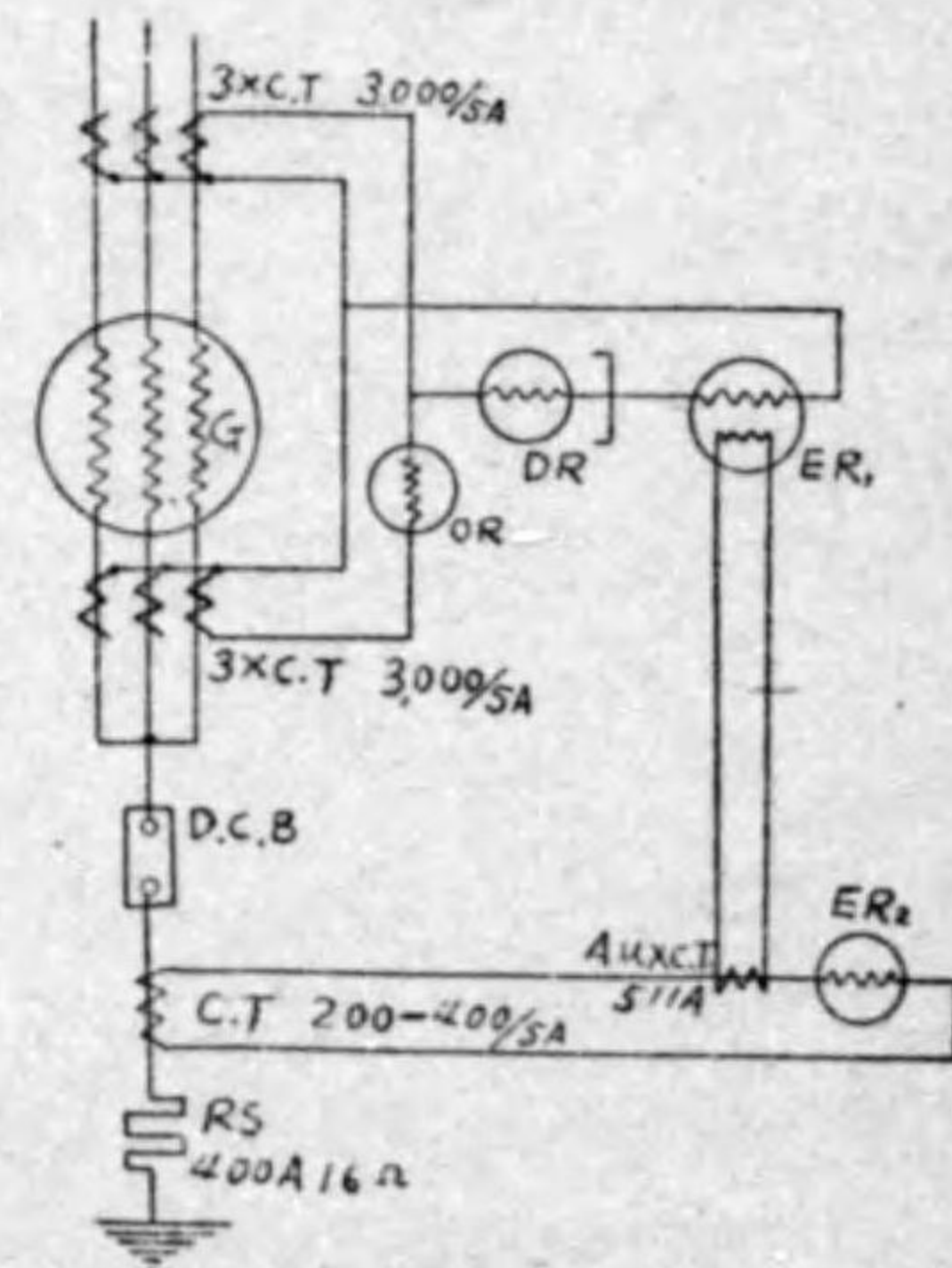
此れは過負荷及短絡の起つた場合の保護装置であつて、可動鐵片型瞬時動作過電流繼電器 (RA-2) (調整範圍 4~10 A) と限時繼電器 (RS-2) 調整範圍 0.5~5 秒) を使用して外部短絡を保護せしめて居る。

(3) 接地保護

接地の起つた場合に働く。電流計型接地繼電器 RW-2 (2 A 線輪 2 個付き) を使用し、感度は 10 mA × 100 mA としてある。

(B) 進相機の保護方式

外部の線路に故障を生じた場合進相機は自己の慣性によつて回轉し、交流發電機となりて短絡電流を外部に供給する事になるから、進相機出口に過負荷繼電器を設備して油入遮断器を切ればよい。内部故障に對しては逆電力繼電器を使用して、電力の逆流を利用して



第 239 圖

ER: 接地繼電器  
DR: 差働電流繼電器 (0.8-2 A)  
OR: 過電流繼電器 (4-10 A)

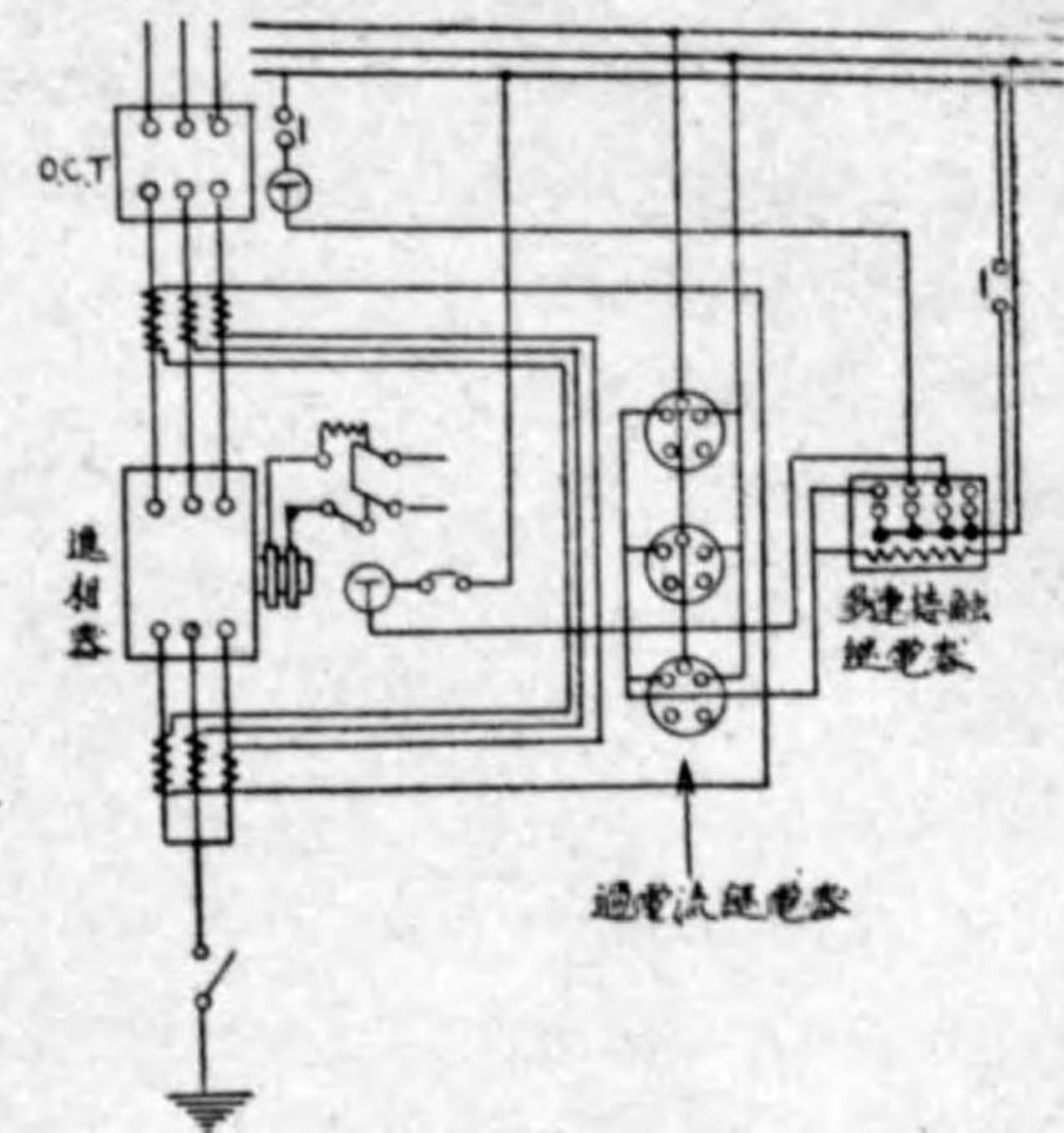
確に動作する故一般に用ひらる。

C.T の二次を逆に接続して、此れに過負荷繼電器を接続すれば故障のない時は電壓は平衡して、繼電器には電流は流れないが、内部に故障を生じ、不平衡が起れば、直ちに繼電器が動作する。

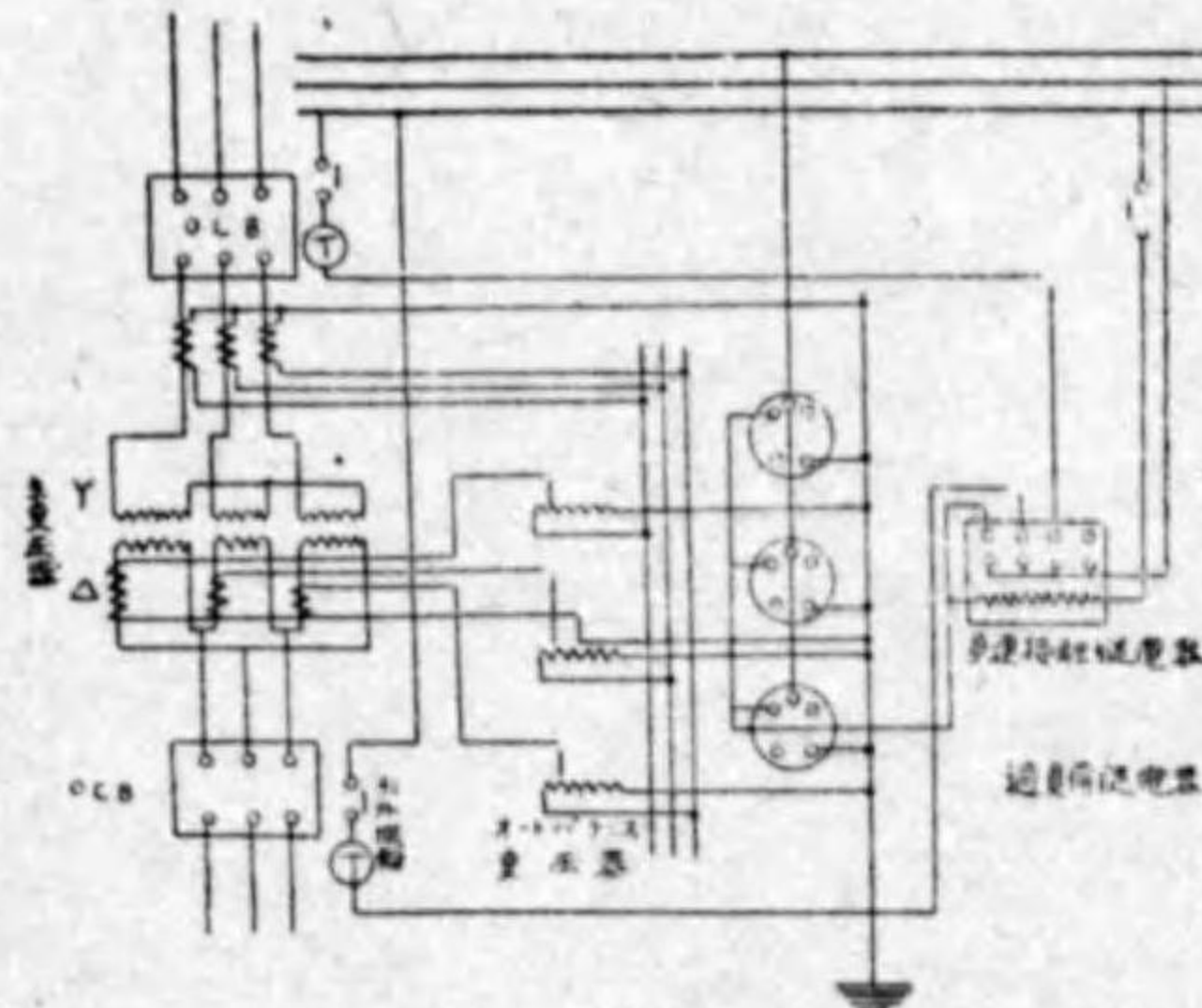
(C) 變壓機の保護方式

變壓器の保護方式としては、過負荷繼電器、差働電流繼電器及接地繼電器を用ゆればよい。差働保護方式に於ては變壓器の一次と二次と電壓が異なり、其の變動率も異なる故此れを考慮に入れなければならぬ。又 Δ-Y 接続の時は其の位相の違ひも考へねばならぬ。第 241 圖はオートバランスを用ひた差働保護方式を示す。

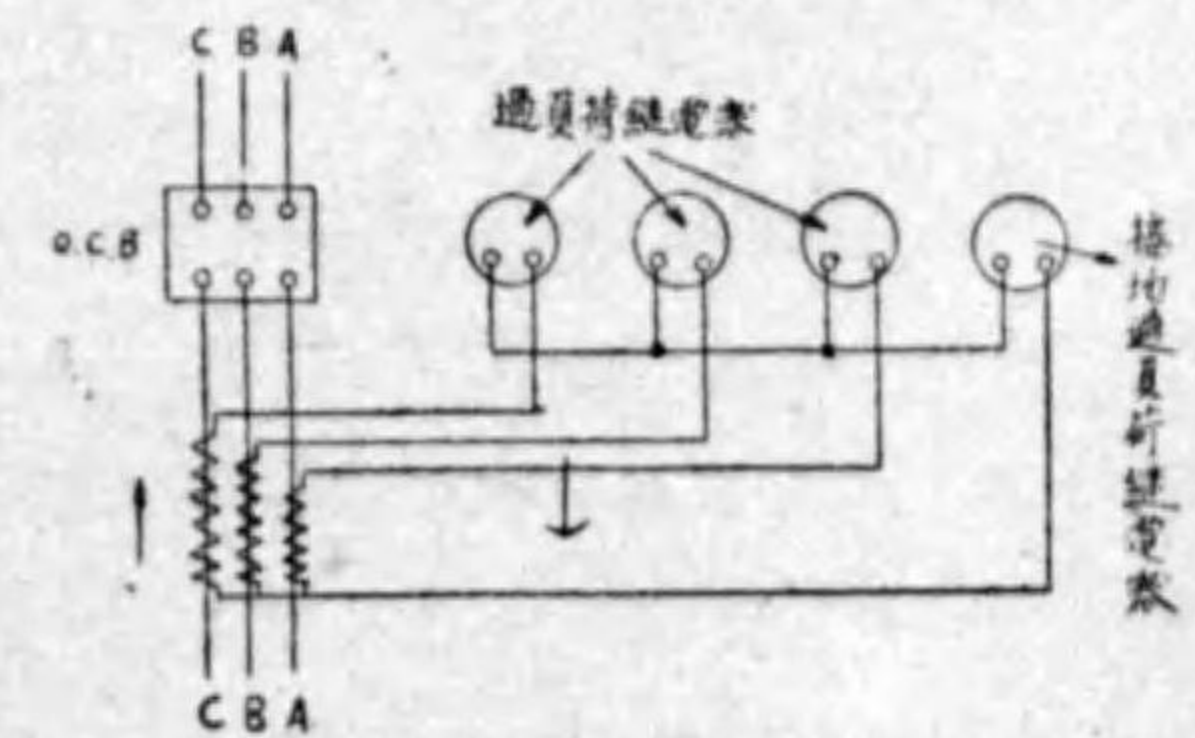
(D) 放射狀送電線の保護方式



第 240 圖



第 241 圖



第 242 圖

線間短絡には過負荷繼電器，中性點接地式には接地過電流繼電器を取付ける。時限は末端を瞬時とし 0.5 秒宛の時限差を以て順送設置す。

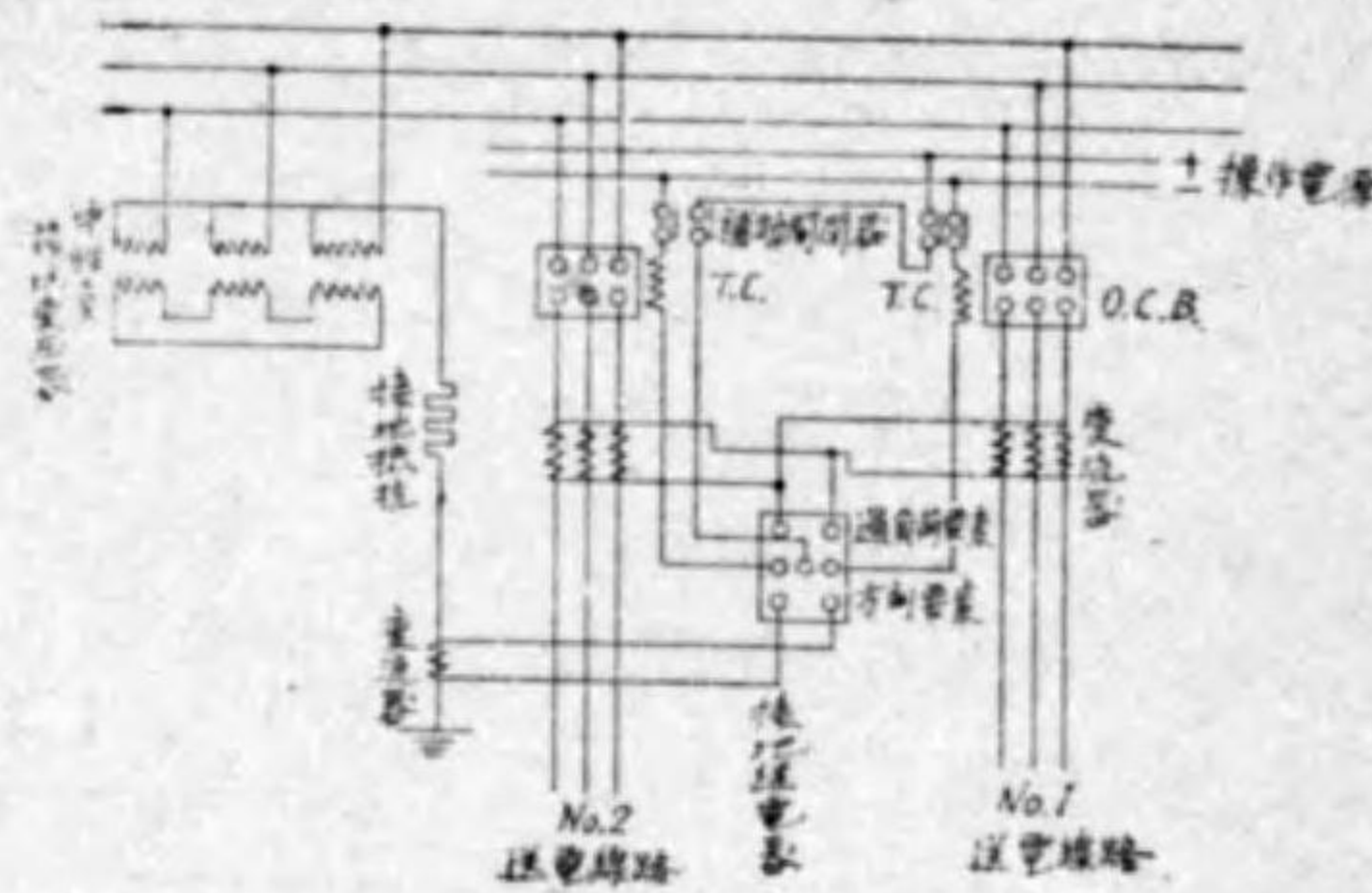
(E) 並行送電線の保護方式

送電端では電力が必ず一定方向にのみ流出するから短絡保護用として，各線に過負荷繼電器を設置し，選擇保護用として差働繼電器を取付ける。接地故障に対しては各線に小勢力の接地過電流繼電器を用ひ選擇遮断をなさせるには接地差働繼電器を設置する。接地保護選擇遮断方式としては第 243 圖の如き方式が用ひらる。

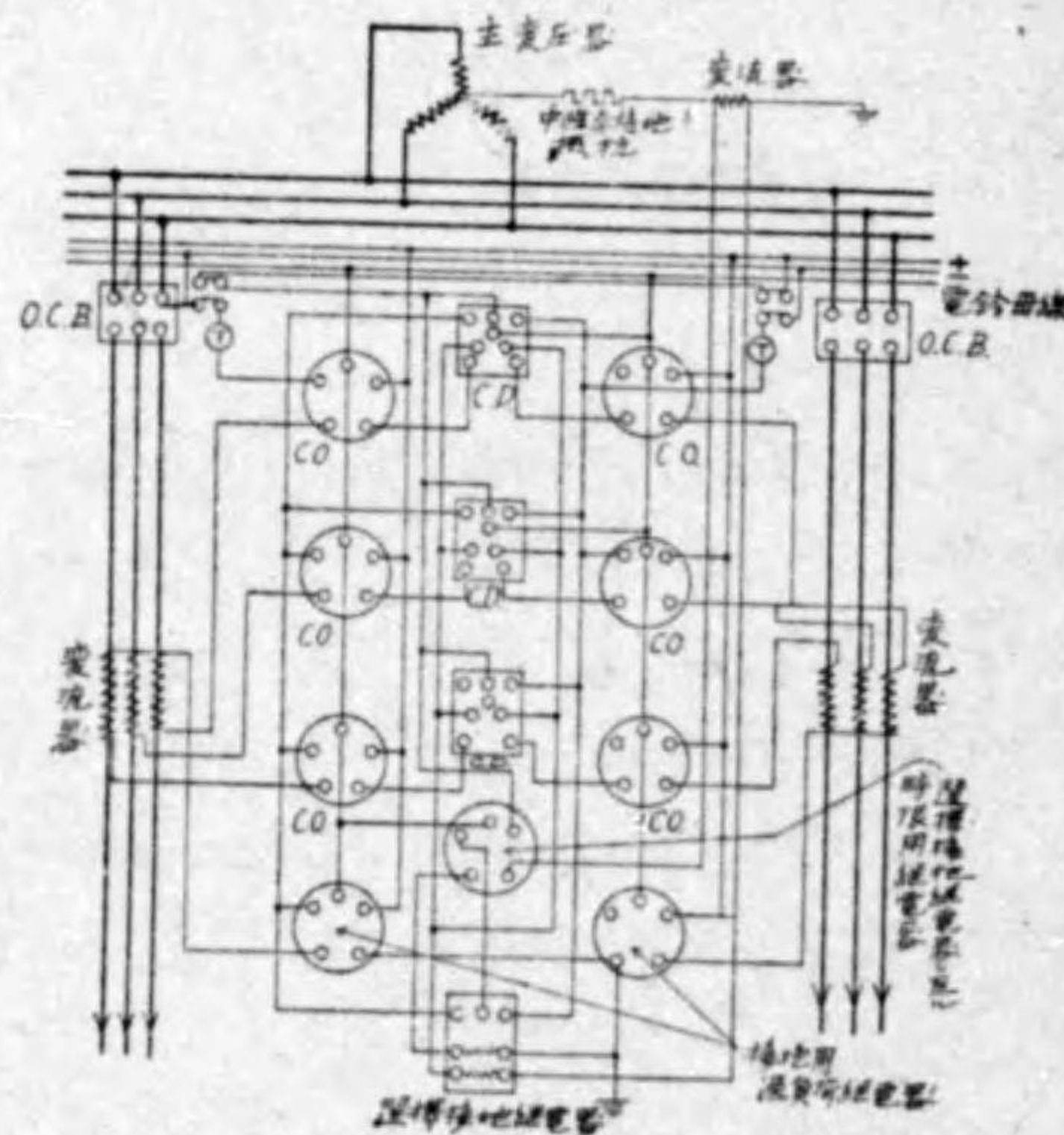
第 244 圖は送電端に於ける保護繼電方式の一例を示す。

受電端に於ては差働繼電器の代りに逆電力繼電器を各線に用ゆるか或は變流器を交叉接続して其の中間に逆電力繼電器を用ゆるかすればよい。第 245 圖は其の一例を示す。

10.16. 豫備装置 (Spare)



第 243 圖

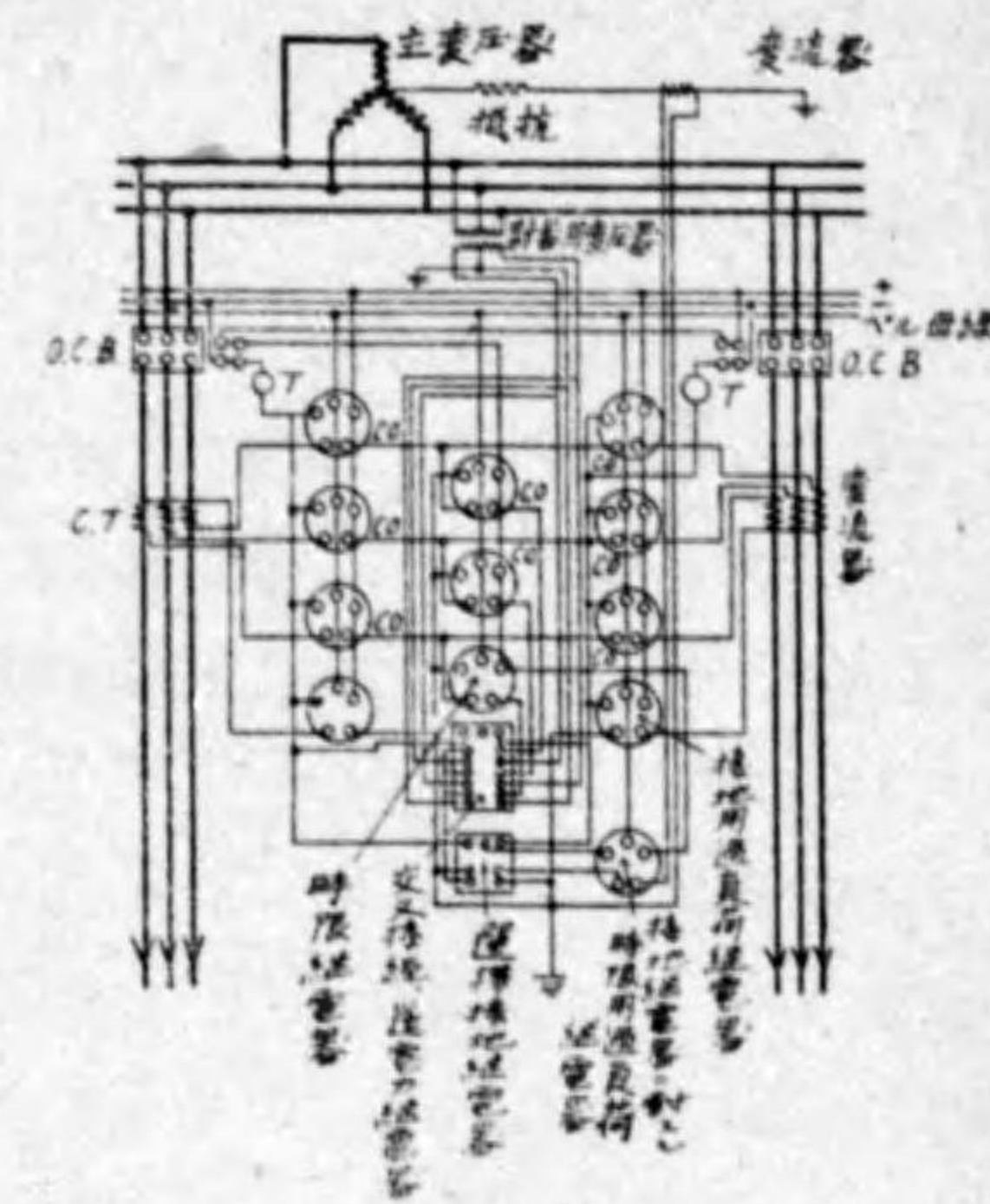


第 244 圖

豫備機械は常用機械の故障，點檢，手入れ，休止等に際し用ゆるものであつて，他と連繫なき發電所に於ては其の容量を發電所出力の 1/3~1/6 位とし，箇数は其の常用機の數及び其の他の條件によつて違ふ。

(1) 臺數を少くすれば單位發電機の容量が大きくなるから各 kW 當りの容積が小さくなり建築其他も經濟となるが豫備機の容量が大となる。

(2) 臺數が多き時は前の缺點を補ふが全體の費用は高くなる。逓信省の規則によれば 1/5 の豫備を置き其最大容量の發電機と同容量のものである事になつて居る。故に同容量のものを 5 臺置き其の 4 臺を常用とし，1 臺を豫備とすれば丁度よい事なる。水力，火力並用の如き場合には火力を豫備とすれば水力發電所には豫



第 245 圖

第 71 表 單獨發電所の豫備装置の大きさ

發電所總出力 (キロワット)	機械一基の容量 (キロワット)	機械の箇數	
		常 用	豫 備
400	200	2	1
600	300	2	1
1,000	500	2	1
2,000	750	3	1
3,000	1,000	3	1
5,000	1,700	3	1
10,000	3,500	3	1
20,000	5,000	4	1
30,000	7,500	4	1

備を置かずともよい事になる。即ち臺数を少なくして、大容量のものを設置する事になる。

### 10.17. 監視制御式 (Supervisory Control)

送電線の回路網が複雑になり、各所に発電所及変電所がつながる時は、負荷に対して、各発電所が單獨に運轉する事は出来ない。故に中央に監視所を設けて、電話により、全系統に命令を發して、其の負荷の變化に應じて電力の配給を行ふ。此れを監視制御式と云ひ此の操作を行ふ人を Load Dispatcher と云ふ。

自動變電所 (Automatic Substation) が澤山ある様な場合には、此れを並列に連結して中央發電所を設け、此處より此れを制御する時は正確に操作する事が出来る。二本の制御線により數ヶ所の變電所を操作する事も出来る。線路に故障を生じた場合も直ちに此れを中央に知らせる様に出来る。

### 10.18. 發電所の配線 (Wiring of Power Station)

發電所内の配線を適當に行ふ事は最も重要な事柄であつて、此の不適當な事が故障の重なるものに數へられて居る。配線を分類すると

#### (1) 電線 (Wires) (2) 母線 (Bus)

となる。孰れも、簡單にして信頼度高く、美觀を與へる様に設計すべきである。

(1) 電線: 所内に使用する電線は主としてゴム絶縁線であつて 550V 以下に使用す。ゴム絶縁の上を木綿にて捲いた所謂東京線、第三種及第四種類が用ひられる。13,200V 以上になると裸電線を用ゆ。ゴム絶縁線のゴムの被覆の厚さは第 72 表の如し。此れは時にて表はし 1/64 吋を單位とするものである。

Varnish Cambric Wire の時は電壓に対して捲く層の數を増さねばならぬ。第 73 表の如し。

Cambric Tape の厚さは 0.01~0.02 吋、此れを捲いた上に木綿テープ

第 72 表

電線の太さ A.W.G. 或は C.M.	使用電壓					
	600V 以下	1,500V 以下	2,500V 以下	3,500V 以下	5,000V 以下	7,000V 以下
14 より 8 迄	3	6	8	10	12	16
7 より 2 迄	4	7	9	10	12	16
1 より 4/0 迄	5	8	10	10	12	16
225,000~500,000	6	9	10	11	12	16
525,000~1,000,000	7	10	10	12	12	16
1,000,000 以上	8	10	10	12	14	18

を捲き其の上に不燃焼塗料を塗る。

發電機端子、發變電所引出線其他高壓及大電流の場合にはケーブルが用ひられる。

(2) 母線 (Bus) 此れは發電所の全電力の集中及分配を行ふものであるから其の設計には周到なる注意を拂はねばならぬ。配列の便利、弧光、閃絡、短絡、接地の起らぬ様にせねばならぬ。此れがため煉瓦又はコンクリートにて隔壁を設け、隔壁の内に母線を納め碍子を以て之れを保持するか各相別々の隔壁に設置する。母線は一般に裸線を用ゆ母線の接続には

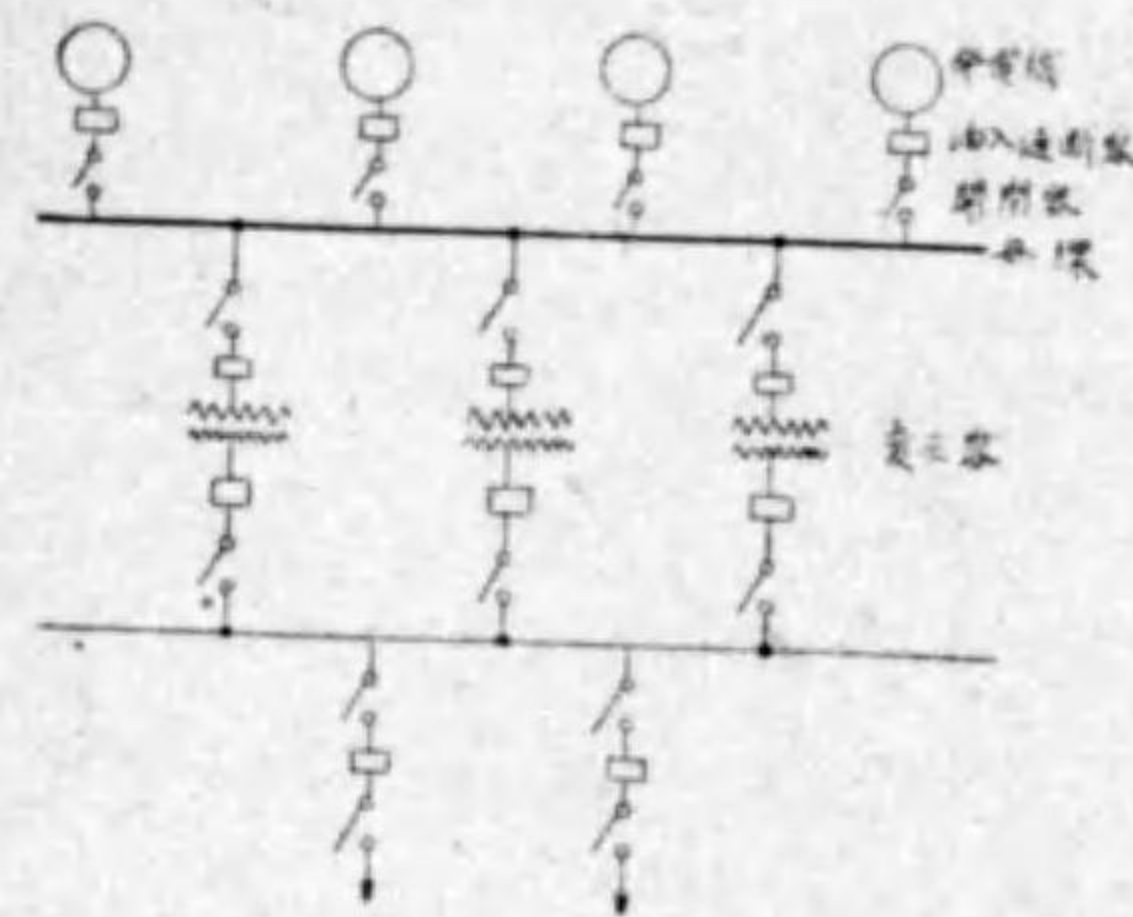
第 73 表

Voltage Range	Number of layer
0~1,000	3
1,001~2,000	4
2,001~3,000	4
3,001~4,000	5
4,001~5,000	6
5,001~6,200	7
6,201~7,600	8
7,601~8,880	9
8,881~10,000	10
10,001~11,000	11
11,001~13,400	12
13,401~15,400	13

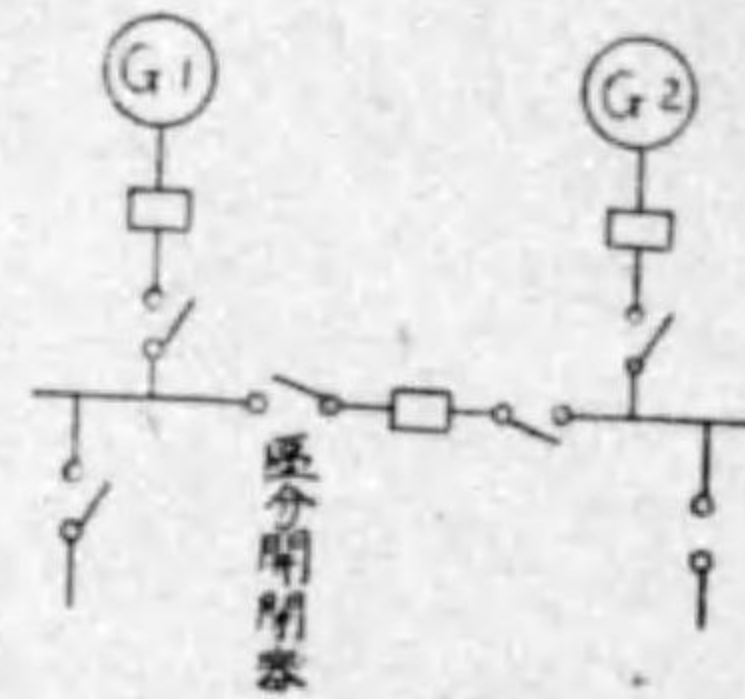
(1) 単一母線式 (高壓低壓共に) Single Bus System.

此の方式は簡単ではあるが、母線に故障が起れば全停電となり、又開閉器の検査、油の取替等には、送電を停止せねばならぬ不便がある。(第246 圖参照)

母線を区分して、其の間に開閉器及油入遮断器を挿入したものがある。(第247 圖参照)



第 246 圖



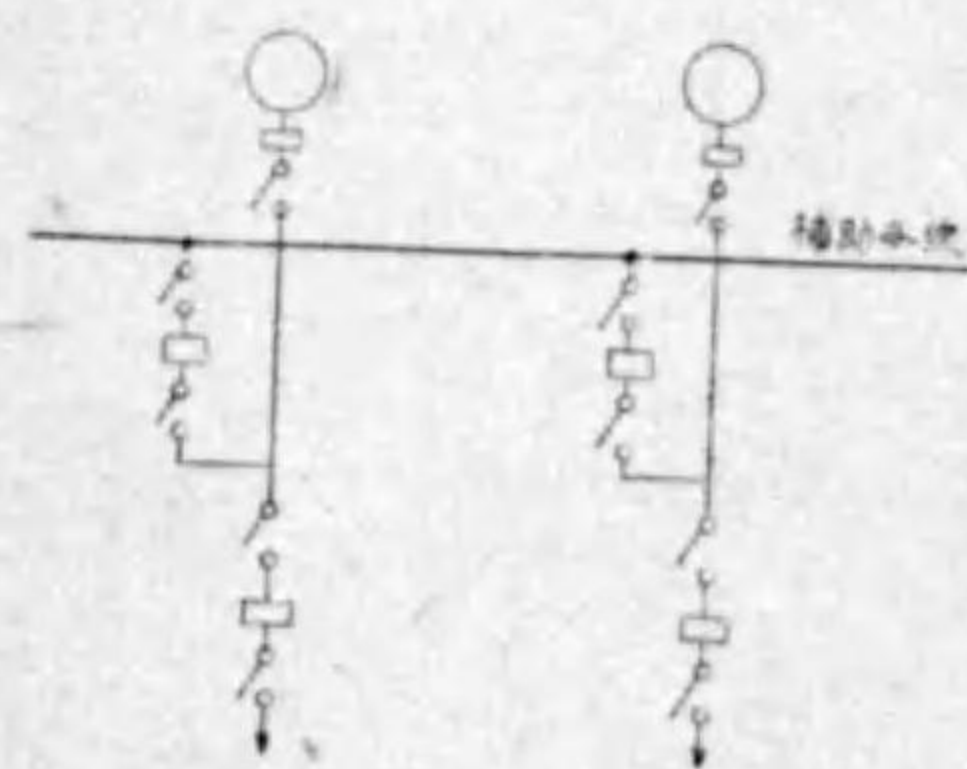
第 247 圖

此の開閉器を区分別開器と云ふ。此れを用ゆる時は負荷を遮断する事なく、或る部分だけを切離して母線の掃除或は修理をする事が出来る。

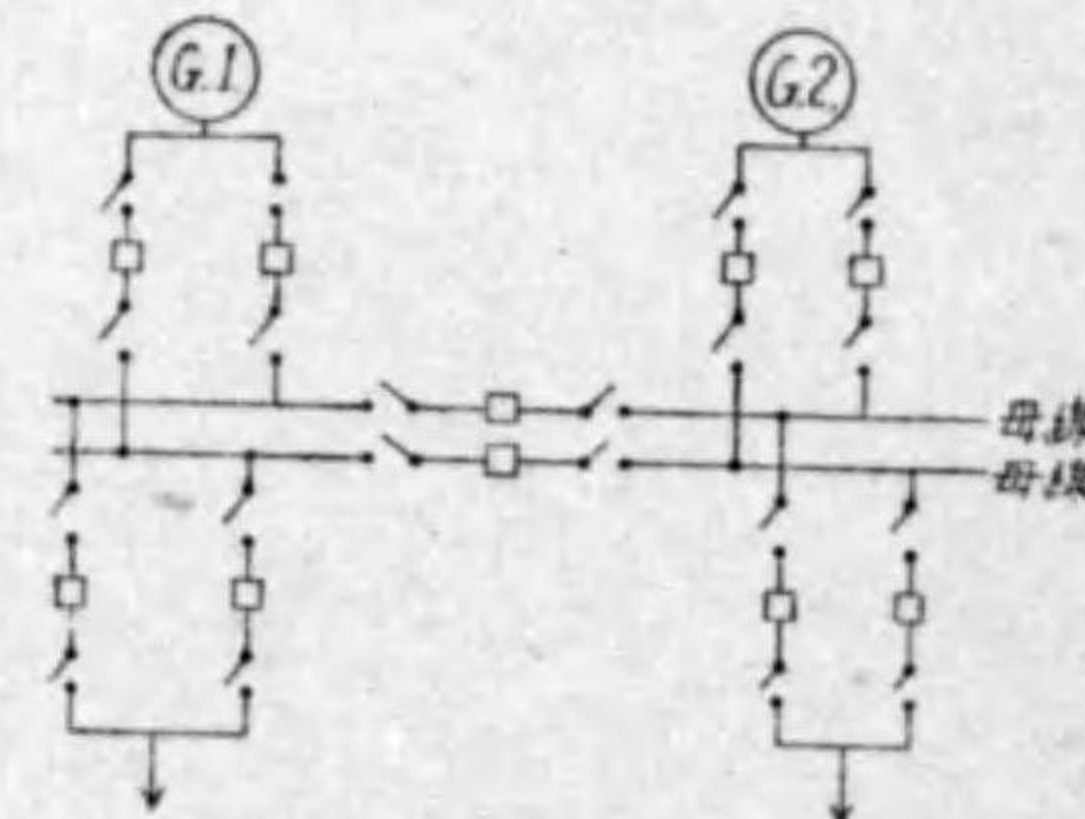
(2) 補助母線式

所屬發電機以外の任意の發電機に連結する事が出来る。(第248 圖参照)

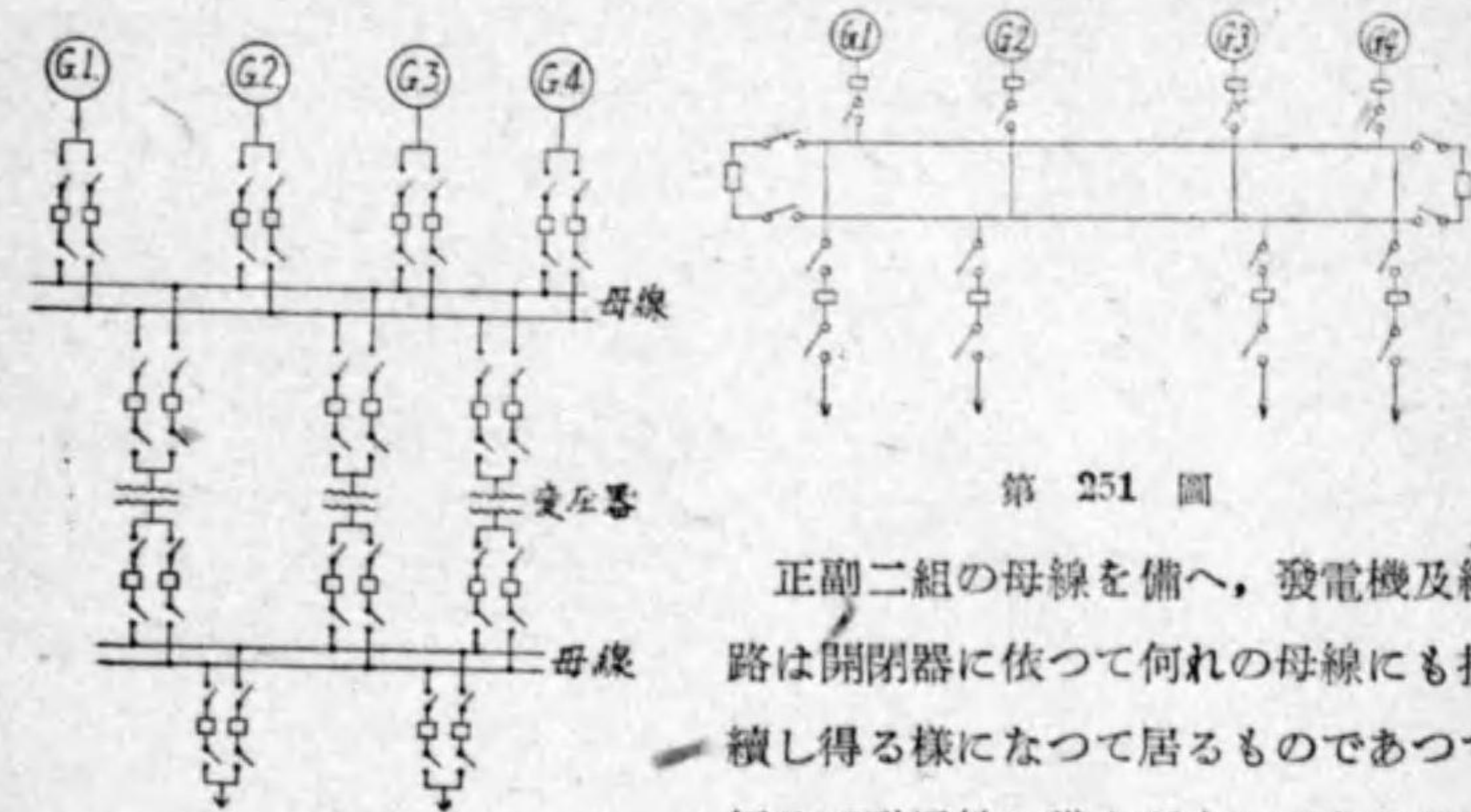
(3) 二重母線式 (高壓、低壓共に) Double Bus System



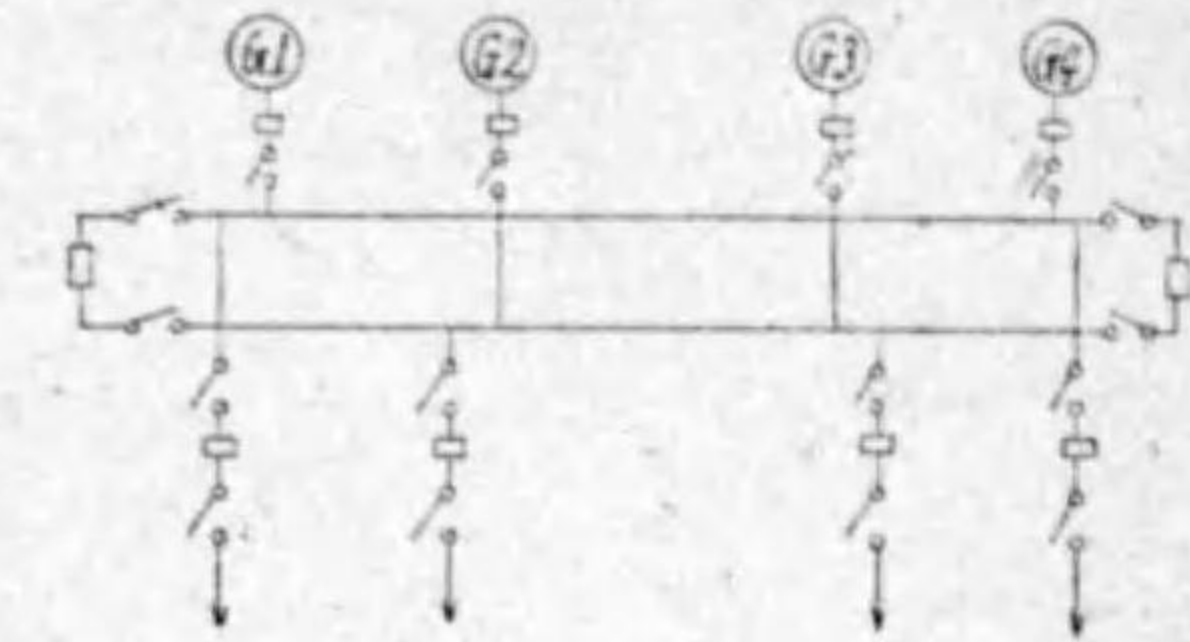
第 248 圖



第 249 圖



第 250 圖



第 251 圖

正副二組の母線を備へ、發電機及線路は開閉器に依つて何れの母線にも接続し得る様になつて居るものであつて極めて融通性に當んだものであるが、母線及び開閉器の数が倍になるから多額の設備費を要す。大容量發電所に用ひられる。(第249、第250 圖参照)

額

(4) 環状母線 (Ring Bus)

第 74 表 水平に置かれた裸銅棒の安全電流

直 徑 mm	大氣溫度 25°C 及び溫度上昇 30°C に對する電流 (A)					
	最大溫度上昇 30°C に對する最大電流 *			電流密度 155 A/平方吋 及最大溫度上昇 30°C に對する最大電流		
	直 流	25~	50~	直 流	25~	50~
12.7	350	350	350	196	196	196
15.9	475	475	475	307	307	307
19.0	620	620	620	442	442	442
22.2	750	750	735	601	601	601
25.4	880	875	850	785	785	785
31.8	1,210	1,190	1,120	1,120	1,120	1,120
38.1	1,570	1,500	1,300	1,570	1,500	1,300
44.5	1,930	1,780	1,600	1,930	1,780	1,600
50.8	2,320	2,580	-	2,320	2,080	-
57.1	3,160	-	-	2,160	-	-

\* 垂直に置かれた場合には 40% 小さくなる。

此の方法は最も信頼度高く各区分に発電機が接続されて居るので任意に切り離す事も出来る。故障を小部分に止める事が出来るが建設費はかさむ。(第 251 圖参照)

母線に用ゆる電線及銅帯の太さと電流との関係を第 74 表より第 81 表までに示す。

第 75 表 水平にして端の方向を垂直に置いて裸銅母線の安全電流

板の數	最大電流密度 155 A/平方寸, 大氣温度 25°C 及最大温度上昇 30°C に対する電流 (A)					
	板の大き 10.15 × 0.635 cm 間隔 0.635 cm		板の大き 15.25 × 0.635 cm 間隔 0.635 cm		板の大き 15.25 × 0.95 cm 間隔 0.95 cm	
	電流	密度	電流	密度	電流	密度
1	1,000	155	1,500	155	—	—
2	2,000	155	3,000	155	—	—
3	3,000	155	4,400	152	5,600*	128
4	4,000	155	5,500	142	7,100*	122.5
5	5,000	155	6,500	134	8,700*	120.0
6	5,850	151	7,500	129	10,200*	117.0
7	6,700	148	8,500	126	11,700*	115.5
8	7,550	146	9,500*	123	13,300*	114.6
9	—	—	—	—	14,800*	113.0
10	—	—	—	—	16,300*	112.2

注意: 最大電流密度 124A/平方寸に対する安全電流を求める場合には\*

第 76 表 裸銅母線の安全電流

板の數	交流 25~ 厚さ 0.635 cm の板を 0.635 cm の間隔に置く				10.15 × 0.635 cm の板 を 2 枚間隔 50.8 cm に置く	
	10.15 × 0.635 cm		15.25 × 0.635 cm		電流 密度	
	電流	密度	電流	密度	電流	密度
1	1,000	155.0	2,000	155.0	2,000	155.0
2	2,000	155.0	4,000	155.0	4,000	155.0
3	3,000	141.0	5,500	142.0	5,500	142.0
4	3,800	129.0	6,600	128.0	6,600	128.0
5	4,600	120.0	7,500	116.2	7,500	116.2
6	5,000	107.3	8,000	103.0	8,000	103.0

注意: 25~ に於ては、5 枚以上の板を用ふることは稀である。

第 77 表 裸銅母線安全電流

板の數	交流 50~ 厚さ 0.635 cm の板を 0.635 cm 間隔に置く				10.15 × 0.635 cm の板を 2 枚間隔 50.8 cm に置く	
	10.15 × 0.635 cm		15.25 × 0.635 cm		電流 密度	
	電流	密度	電流	密度	電流	密度
1	1,000	155	1,500	155.0	2,000	155.0
2	2,000	155	3,000	155.0	4,000	155.0
3	2,800	144	3,700	127.2	5,000	129.0
4	3,200	124	4,400	113.5	5,800	112.2

注意: 5 枚以上の板を用ふる場合には電流の分布を均一にするため板を交叉して用ふるが通例である

第 78 表 水平に置かれた裸アルミニウム棒の安全電流

直徑 mm	温度上昇 30°C に対する最大電流*						最大温度上昇 30°C 及最大電 流密度 93A/cm <sup>2</sup> に対する電流		
	直流	密度	25~	密度	50~	密度	直流	25~	50~
12.7	240	225.0	240	225.0	240	225.0	118	118	118
15.9	330	167.5	330	167.5	330	167.5	184	184	184
19.0	430	151.0	430	151.0	430	151.0	265	265	265
22.0	520	134.0	520	134.0	578	133.5	361	361	361
25.4	610	120.5	610	125.5	600	118.6	471	471	471
31.8	840	102.3	836	102.0	810	98.2	762	762	762
38.1	1,090	96.0	1,070	94.1	1,020	89.8	1,060	1,052	1,020
44.5	1,340	86.5	1,300	84.1	1,215	78.5	1,340	1,300	1,215
50.8	1,610	79.6	1,530	75.6	1,390	68.6	1,610	1,530	1,390
57.1	2,190	69.2	1,980	62.5	1,730	54.7	2,190	1,980	1,730

\* 垂直に置かれた場合には 10% 小さく採る。

第 79 表 裸アルミニウム母線の安全電流

板の数	最大電流密度 93 A/平方cm, 最大温度上昇 30°C 直流, 0.635 cm の板を 0.635 cm 間隔, 0.95 cm の板は 0.95 cm の間隔					
	10.15 × 0.635 cm		15.25 × 0.635 cm		15.25 × 0.95 cm	
	電流	密度	電流	密度	電流	密度
1	600	93	900	93	1,830	93
2	1,200	93	1,800	93	2,700	93
3	1,800	93	2,700	93	4,550	93
4	2,400	93	3,600	93	5,250	90.6
5	3,000	93	4,500	93	6,004	88.5
6	3,600	93	5,400	93	7,500	86.0
7	4,200	93	6,300	93	8,600	84.5

注意: 表より明かなる如く, 電流密度 93 としての 0.635 cm のアルミニウムは電流密度 155 として銅と比較して, 電流密度としての条件が寛大になつて居る。116 と取るのが適當であるが普通は 93 と採られて居る。

第 80 表 裸アルミニウム母線の安全電流

板の数	交流 25~0.635 cm の板は 0.635 cm の間隔, 0.95 cm の板は 0.95 cm の間隔					
	10.15 × 0.635 cm		15.25 × 0.635 cm		15.25 × 0.95 cm	
	電流	密度	電流	密度	電流	密度
1	600	93	900	93.0	1,350	93.0
2	1,200	93	1,800	93.0	2,700	93.0
3	1,800	93	2,700	93.0	3,920	89.9
4	2,400	93	3,600	93.0	4,950	85.2
5	3,000	93	4,430	91.4	5,630	77.5
6	3,600	93	5,200	89.5	5,800	66.7

10.19. 限流リアクター (Current Limiting Reactor)

交流発電機と母線との間, 母線相互間, 又は母線より送配電線の引出口に設け, 短絡故障の時其の過大電流を制限して, 油入遮断器, 発電機或は變壓器其の他の器械を電氣的及機械的に保護するものである。定格電流が流れて居る時は, 出來得る限り電壓降下を少なくし, 短絡電流に対しては機械的強度を十分に持たせる事が肝要である。其のため第 252 圖に示す様

第 81 表 裸アルミニウム母線の安全電流

板の数	交流 50~0.635 cm の板は 0.635 cm の間隔, 0.95 cm の板は 0.95 cm の間隔					
	0.635 × 10.5 cm		15.25 × 0.635 cm		15.25 × 0.95 cm	
	電流	密度	電流	密度	電流	密度
1	650	93	900	93.0	1,350	93.0
2	1,200	93	1,800	93.0	2,640	91.4
3	1,800	93	2,700	93.0	3,710	85.3
4	2,400	93	3,450	91.5	4,320	74.4
5	3,000	93	4,270	88.2	-	-
6	3,600	93	4,500	77.5	-	-

にコンクリートの枠を作りて電線を捲くか又は周圍に煉瓦積をなす。此のリアクターは鐵心は用ひない。鐵心を用ゆる時は電流が増大したとき磁氣飽和を起し, レアクタンスが減少する缺點があるからである。

第 252 圖 (ハ) は特別のもので油入りとしたもので大容量の場合である。

例題 1.

圖に於て X 點に短絡を生じた時, 短絡電



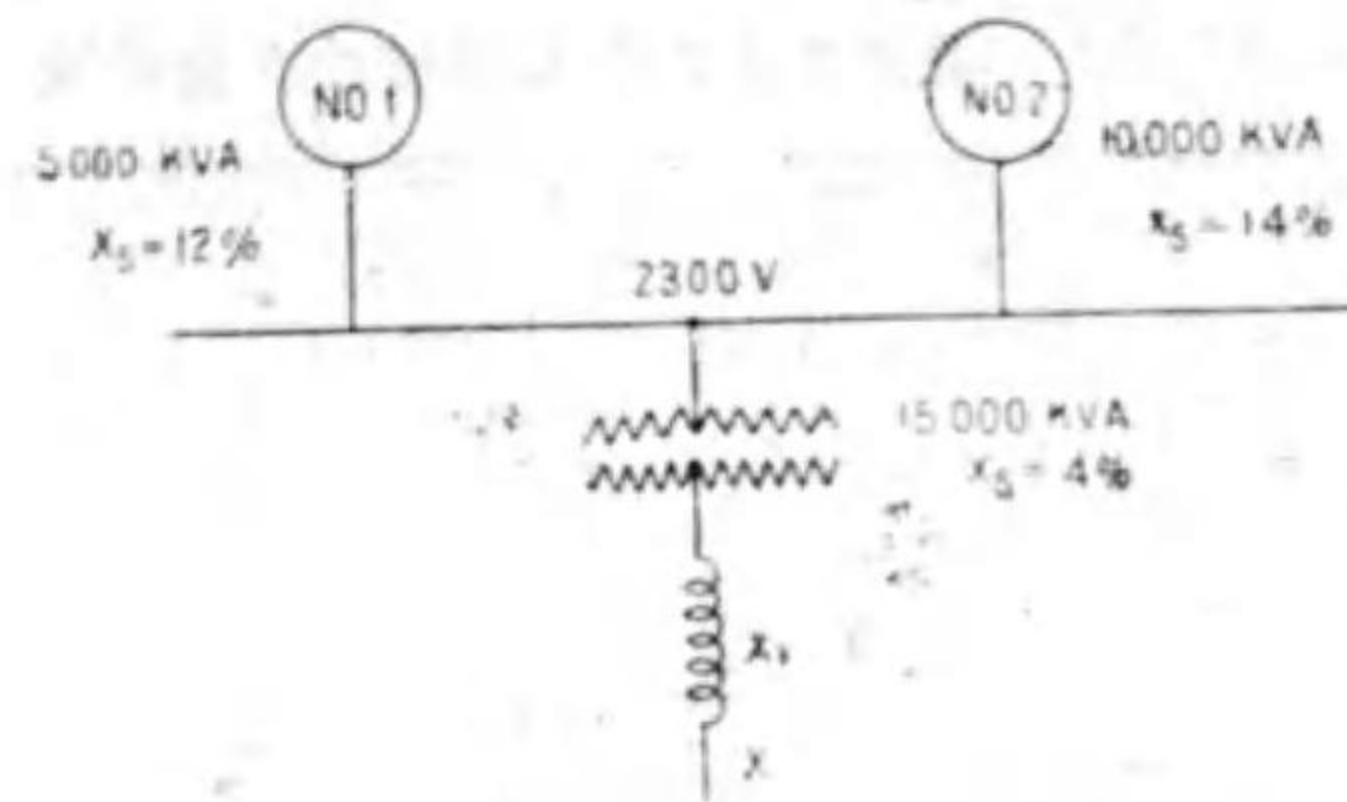
第 252 圖 (イ)

第 252 圖 (ロ)

第 252 圖 (ハ)

流を定格電流の 5 倍に制限するためには何 % のリアクターを用ゆればよいか。

解 15,000 kVA を基礎容量とすれば此れに換算するため



No.1 の等価リアクタンス =  $12 \times \frac{15,000}{5,000} = 36\%$

No.2 の等価リアクタンス =  $14 \times \frac{15,000}{10,000} = 21\%$

此れが並列に接続されて居るので、合成リアクタンスは

$$\frac{1}{\frac{1}{36} + \frac{1}{21}} = 13.3\%$$

故に全体のリアクタンスは

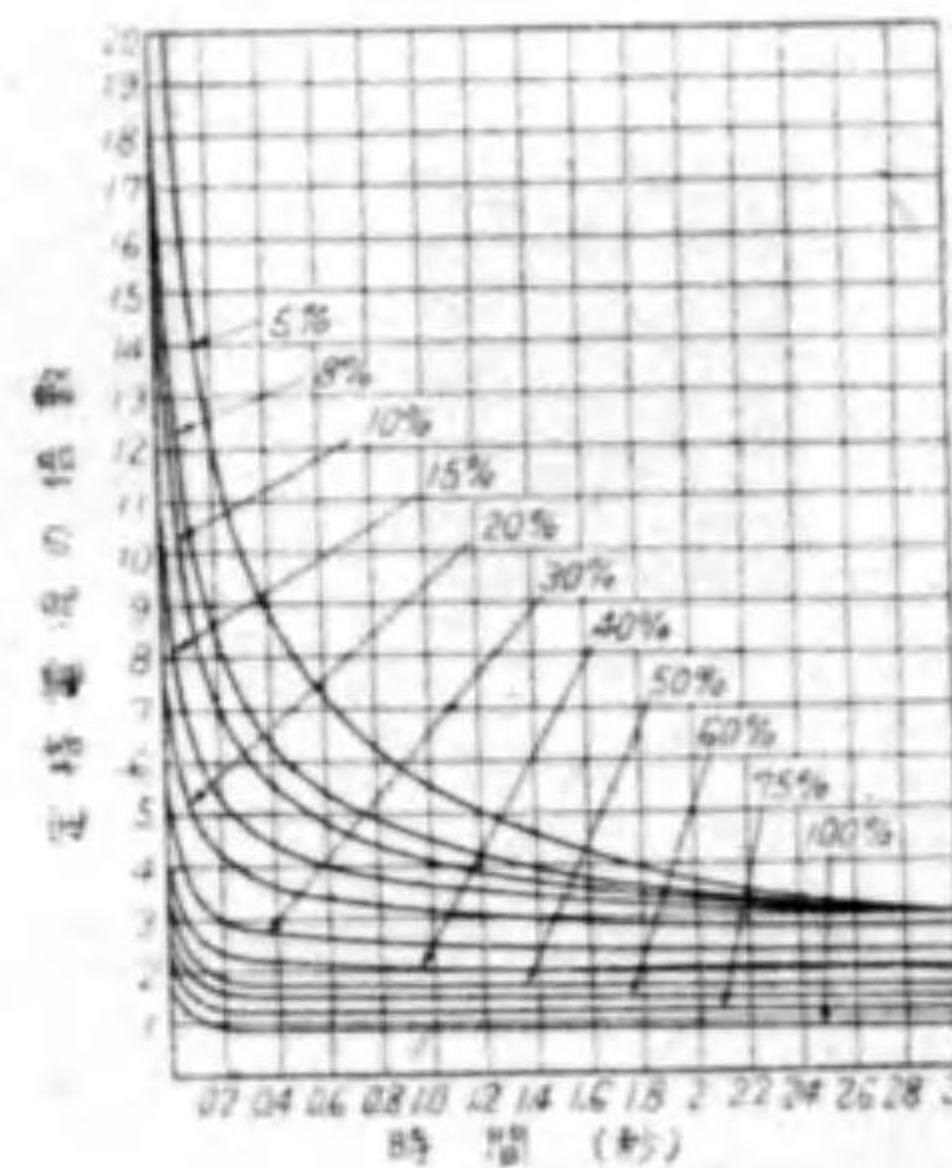
$$13.3 + 4 + X_1 = 17.3\% + X_1$$

$$I_s = \frac{100}{17.3 + X_1} \times I_n = 5 I_n$$

$$\therefore X_1 = 2.7\%$$

例題 2.

10,000 kVA, 2,300 V の交流発電機が 3% リアクタンスのリアクターを通して母線に接続せらる。此の O.C.B は短絡より 0.25 秒にて開路する。発電機のリアクタンス 12% とす。O.C.B の 5 秒定格及遮断容量を単相短絡を開放するに付き決定せよ。



但し三相回路の線間短絡の時の時間に対する減衰曲線は圖の如し。

解 故障点までの全リアクタンス =  $12 + 3 = 15\%$ 。圖によりて 0.25 秒に於ては単相短絡電流は 5 倍になる。

$$\text{故に } I_n = \frac{10,000 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 2,300} = 2,500 \text{ A}$$

従つて遮断電流は  $5 \times 2,500 = 12,500 \text{ A}$  圖により短絡瞬間は 11 倍となる故、5 秒定格に於ては  $11 \times 2,500 = 27,500 \text{ A}$

故に此の O.C.B の定格は

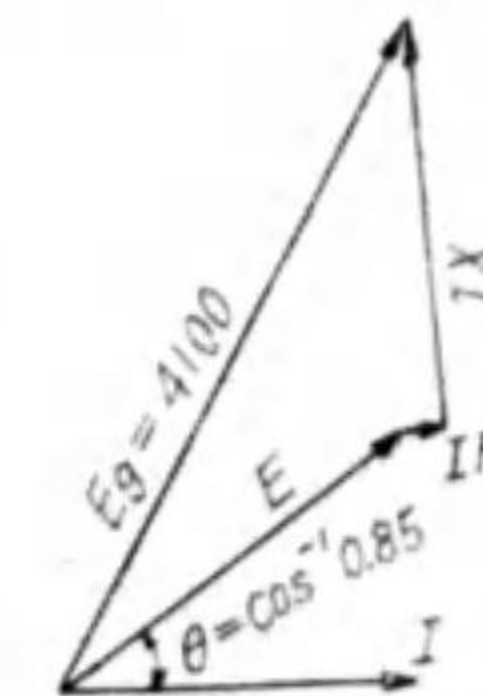
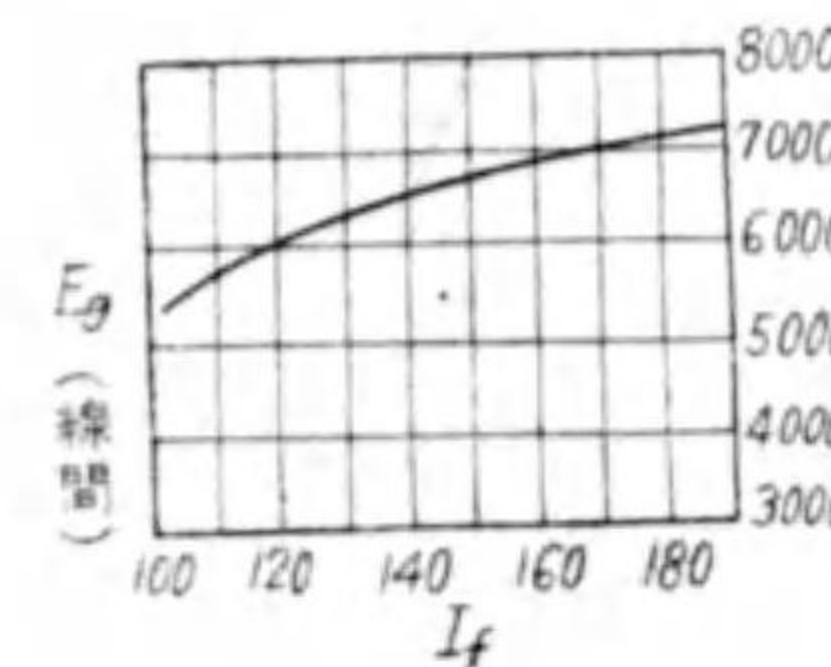
定格電流	2,500 A
電圧	2,300 V
遮断容量	12,500 A
5 秒定格	27,500 A
周波数	60~

第10章 練習問題

10.1. 三相 60~Y 結線の交流発電機あり。容量 1,000 kVA, 4,150 V, 抵抗 0.6 Ω/相, リアクタンス 16.2 Ω/相, 勵磁回路の抵抗 0.95 Ω, 摩擦及風損 7.5 kW, 鐵心損, 25 kW

無負荷特性次圖の如し。

全負荷にして力率 85% (遅れ) の時の発電機の能率を求む。



- 10.2. 交流発電機の最近の傾向。
- 10.3. タービン発電機の回転数に就きて。
- 10.4. タービン発電機の電圧。
- 10.5. 交流発電機の温度上昇。
- 10.6. 発電機の電圧調整法を述べよ。
- 10.7. ターボ発電機の容量は何によりて制限を受けるか。
- 10.8. 水素冷却法と容量、回転数の関係。
- 10.9. 発電機の冷却の重要性を述べ、其の各方法に付きて説明せよ。
- 10.10. 50,000 kW の容量にて能率 98% 回転数 1,800 r.p.m 電圧 13,000 V のターボ発電機の冷却空気量を (10.5) の例にならひて計算せよ。
- 10.11. 勵磁機には如何なるものを用ゆるか。其の容量及接続法を述べよ。
- 10.12. 變壓器に付き
  - (1) 呼吸作用と此の對策
  - (2) Conservator Tank
  - (3) 冷却法に付き、其の温度上昇、變壓器の容量 10,000 kW, 能率 99% の時冷却水の量を求む。但し入水と出水との温度差を  $10^{\circ}\text{C}$  とす。
  - (4) 變壓器油の處理法
  - (5) 變壓器の結線法に付き
  - (6) 變壓器の試験
  - (7) 變壓器の仕様書
- 10.13. 1 調相機としての発電機の利用に付き。
- 10.14. 発電機の火災防止装置に付きて述べよ。
- 10.15. 配電盤の役目と此れに必要な條件。
- 10.16. 配電盤に取附ける計器。

- 10.17. 配電盤の種類。
- 10.18. 配電盤に測定計器の取附け法。
- 10.19. 開閉器の種類を挙げよ。
- 10.20. 斷路器の種類と其の作用。
- 10.21. 遮斷器の分類及各種に付き其の作用を説明せよ。
- 10.22. 遮斷器の遮斷容量と其の試験法。
- 10.23. 繼電器とは如何なるものか、其の種類と作用
- 10.24. 豫備装置に付き。
- 10.25. 監視制御法とは如何なるものか。
- 10.26. 發電所母線の方式と其の母線の大きさの決定法。
- 10.27. 限流リアクターとは何か。
- 10.28. 短流電流の計算法を述べよ。



## 索引

## ア

- アッシュ・ホッパー (灰容器) … 21  
 圧力 … 137  
 圧力計 … 110  
 泡立 … 36  
 安全瓣 … 110  
 油入遮断器 … 279  
 油入遮断器の種類 … 295

## イ

- インゼクター … 104  
 移床給炭機 … 78

## ウ

- ウイラッソ線 … 12  
 上込給炭機 … 78  
 運炭機 … 20  
   鎖状バケツト運炭機 … 20  
   ベルト運炭機 … 20

## エ

- 煙突 … 69  
 煙道 … 74  
 エンタルピ … 32  
 エコノマイザー (節炭器) … 96  
 エントロピー … 150  
 液體熱 … 32

## オ

- 押込通風 … 80  
 溫水器 … 94  
 溫水溜 … 108  
 溫度計 … 110  
 往復機關 … 170  
 オットー・サイクル … 241  
 オイル・エンジン … 244  
 溫度 … 29

## カ

- 感熱 (顯熱) … 32  
 罐 … 36  
   水管型 … 36  
   煙管型 … 36  
   圓筒型 … 36  
 罐の容量及能率 … 39, 42  
 加熱面積 … 39  
 火爐, 燃燒爐 … 58  
 下方給炭機 … 78  
 火堰 … 58  
 カーチス・タービン … 186, 188  
 ガルベ罐 … 37  
 過剰空氣 … 85  
 ガス拔器 … 93  
 可熔栓 … 112  
 管の種類 … 135

管の接続 ..... 137  
 可逆サイクル ..... 154  
 ガス発生爐 ..... 242  
 カレント・トランスフォーマー ..... 287  
 開閉器及遮断器 ..... 289  
 可熔片 ..... 299  
 監視制御式 ..... 306  
 完全燃焼 ..... 85  
 乾燥蒸気 ..... 33  
 環状母線 ..... 309  
 過熱蒸気管 ..... 107, 143  
 過熱低減器 ..... 144

## キ

機械負荷率(Machine Factor) ..... 2  
 汽 罐 ..... 36  
   給水, 凝結水 ..... 26  
   効 率 ..... 38  
 汽罐故 障 ..... 37  
   掃 除 ..... 37  
   通風力 ..... 72  
   熱損失 ..... 44  
   馬 力 ..... 39  
   附屬品 ..... 58  
 汽水分離器 ..... 110  
 氣化分離器 ..... 32  
   潜 熱 ..... 32  
 機械通風 ..... 79  
 基礎工事 ..... 27  
 給炭機 ..... 74  
 給水浄化器 ..... 91

給水ポンプ ..... 104  
 給水調整器 ..... 113  
 給水管 ..... 140  
   加熱器 ..... 94  
 給油管 ..... 146  
 逆止弁 ..... 141  
 曲管罐 ..... 37  
 凝汽タービン ..... 189

## ク

クリンカーリング ..... 77  
 グラブ・チッガー ..... 22  
 グランド ..... 192  
 空氣體積 ..... 81  
 空氣抽出器 ..... 225  
 空氣豫熱器 ..... 102  
 組立式 ..... 257

## ケ

ケーキングコール(粘結炭) ..... 25  
 ゲージ壓力 ..... 137  
 經濟特性 ..... 12  
 檢水計 ..... 113  
 繼電器 ..... 300

## コ

コーキング ..... 77  
 コーキング・ストーカー ..... 75  
 コットレル收塵法 ..... 73

高温高壓罐 ..... 45  
 積杆安全弁 ..... 111  
 硬 水 ..... 87

## サ

雜閘時 ..... 1  
 再生法 ..... 49  
 サイクロン收塵法 ..... 73  
 再熱サイクルと熱効率 ..... 162  
 再生サイクルト効率 ..... 165

## シ

需要率 ..... 10  
   最大需要率 ..... 10  
 自然發火 ..... 26  
 蒸 汽 ..... 29, 31  
 蒸發係數 ..... 42  
 蒸化器 ..... 91  
 蒸気過熱器 ..... 106  
 自働燃焼制御装置 ..... 120  
 シーメンス式自働燃焼制御  
   装置 ..... 122  
 伸縮接手 ..... 139  
 除水器 ..... 140  
 除塵器 ..... 141  
 蒸気消費量 ..... 174  
 蒸気タービン ..... 185  
 衝動式タービン ..... 186  
 使用率 ..... 209  
 蒸気タービンの仕様書及  
   檢査 ..... 217  
 眞 空 ..... 219

濕蒸気 ..... 32  
 自働給炭機 ..... 75  
 循環ポンプ(冷却水ポンプ) ..... 219  
 CO<sub>2</sub>メーター ..... 85  
 爐 滓 ..... 77  
 仕事換算表 ..... 249

## ス

スート・ブローワー・スク  
   レーパー ..... 98  
 スターリング罐 ..... 37  
 スタール・タービン ..... 214  
 水洗滌收塵法 ..... 73  
 スプリングリング・ストー  
   カー ..... 75  
 錘重安全弁 ..... 112  
 スムート式自働燃焼制御  
   装置 ..... 126  
 水銀蒸気タービン ..... 212  
 水面計 ..... 109  
   吹出コック ..... 113  
 水冷壁 ..... 120

## セ

積算負荷曲線(Load Duration  
 Curve) ..... 3  
 セクショナル罐 ..... 37  
 靜羽根 ..... 191  
 石炭槽 ..... 20  
 石炭の種類 ..... 25  
 潜 熱 ..... 32  
 石炭の蒸發力 ..... 41

扇風機……………83  
 清浄剤……………89  
 ゼオライト……………90  
 節炭器(エコノマイザー)……96  
 線圖動羽根効率……………200  
 絶對壓力……………137  
 絶對溫度……………29  
 全日能率……………45  
 全熱量……………32

## ソ

相當蒸發量……………41  
 測定器……………108  
 測定器の取附法……………285  
 送電線の保護装置……………303

## タ

對流……………62  
 脱氣器……………93  
 斷熱變化……………153  
 ダンミー……………193  
 多段落單速タービン……………191  
 單段落單速タービン……………191  
 單段落複速タービン……………191  
 多段落複速タービン……………191  
 段落効率……………201  
 タービンの壽命……………209  
 タービン發電機の大きさ……………210

## チ

抽汽……………96  
 加熱器……………95

タービン……………165  
 貯炭場, 貯炭槽……………20  
 調相機としての發電機……………278  
 調相機の保護装置……………302

## ツ

通風……………79  
 鈎合ピストン……………193

## テ

デイ・アクチベーター……………93  
 傳導……………62  
 デュエレター(脱氣器)……93  
 低水警報器……………113  
 抵抗溫度計……………282  
 定壓比熱……………30  
 定積比熱……………30  
 デイゼル・サイクル……………242  
 點火……………247  
 電氣收塵法……………73

## ト

等價蒸發量……………41  
 特殊罐……………53  
 止瓣……………138  
 等溫變化……………153  
 動羽根速度係數……………199  
 トカップ・コイル……………292  
 トップ・タービン……………5

## ナ

波形管……………139

内燃機關……………240  
 軟水……………87

## ニ

二重母管式……………133  
 二流體並用サイクルト効率……………167

## ネ

熱の單位……………29  
 燃料特性……………12  
 熱の仕事當量……………30  
 燃燒率……………69  
 熱力學の基礎……………148  
 熱勘定……………227  
 粘結性炭……………75, 77  
 燃燒と空氣量……………80  
 燃燒率……………69

## ハ

バームチツト軟化器……………90  
 發電電力量……………8  
 バケツト・スクレーパー……………20  
 配給管……………20  
 灰容器……………21  
 灰道……………21  
 煤煙の除去法……………73  
 發條安全瓣……………112  
 配管……………133  
 反動式タービン……………188  
 羽根の能率……………192  
 パツキング……………192  
 排汽タービン……………211  
 發電原價……………228

發電機……………251  
 發電機の電壓……………253  
 發電機の電壓調整……………254  
 チリル調整器……………255  
 B.B.C 扇型式……………257  
 發電機の冷却法……………260  
 發電機の火災防止法……………280  
 發電機の保護装置……………302  
 配電盤……………281  
 配線……………306  
 背壓タービン……………189  
 發熱量……………26  
 排汽タービン……………211

## ヒ

火床……………58  
 比熱……………30  
 微粉炭燃燒法……………113  
 非可逆サイクル……………154  
 表面復水器……………220  
 微粉機(粉碎機)……………119

## フ

ブリーダー・タービン……………189  
 不粘結性炭……………25  
 吹出管……………113  
 負荷率, %負荷率……………1  
 機械負荷率……………2  
 發電所負荷率……………2  
 利用率……………2  
 不等率……………11  
 沸水作用(ブライミング)……………36

- |                       |     |             |     |
|-----------------------|-----|-------------|-----|
| 幅射                    | 60  | 母管          | 138 |
| 幅射恒数                  | 63  |             |     |
| フィルムタイプ・エバポレー<br>ター   | 92  | <b>モ</b>    |     |
| フッシユタイプ・エバポレー<br>ター   | 92  | モリエル・ダイヤグラム | 50  |
| 粉碎機                   | 119 | モンドガス発生爐    | 244 |
| 復水器                   | 219 |             |     |
| 復水器の種類                | 220 | <b>ヤ</b>    |     |
| 復水ポンプ                 | 224 | 矢野式ストーカー    | 79  |
| 噴射式復水器                | 220 |             |     |
|                       |     | <b>ユ</b>    |     |
| <b>へ</b>              |     | 湯垢          | 88  |
| ヘッダー(寄匣)              | 107 |             |     |
| ベンチュリー・メーター           | 109 | <b>ヨ</b>    |     |
| ペーレー壁                 | 120 | 熔滓          | 77  |
| ペーレー壁ペーレー自働燃焼<br>制御装置 | 124 | 熔灰          | 77  |
| 變壓器                   | 265 | 豫備装置        | 304 |
| イナーター変壓器              | 267 |             |     |
| 變壓器の冷却法               | 267 | <b>ラ</b>    |     |
| 變壓器の温度上昇              | 269 | ラビリンス・パツキング | 192 |
| 變壓器のコイルの捲き方           | 271 | ランキン・サイクル   | 157 |
| 變壓器の試験法               | 274 |             |     |
| 變壓器の保護装置              | 303 | <b>リ</b>    |     |
| 平衡通風                  | 80  | 流量計         | 109 |
|                       |     | 臨界温度及臨界壓力   | 169 |
| <b>ホ</b>              |     |             |     |
| 飽和蒸汽                  | 31  | <b>レ</b>    |     |
| 補助機                   | 233 | 冷却水         | 223 |
| 防火壁                   | 280 | 冷却池及冷却塔     | 225 |
| ポテンシアル・トランスホー<br>マー   | 286 | 勵磁機         | 263 |
| 母線                    | 307 | 速應勵磁        | 264 |
|                       |     | レアクター       | 312 |
|                       |     |             |     |
|                       |     | <b>ロ</b>    |     |
|                       |     | 爐過器         | 91  |
|                       |     | ローネー・ストーカー  | 78  |

昭和17年6月30日第1版印刷

昭和17年8月15日第1版發行

出文協承認

ア120371號

(1,000部)

## 火力發電所

不許  
複製著者  
檢

定價金2圓80錢

著者	室住熊三
發行者	合資會社 電氣之友社 東京市京橋區 銀座八ノ一
	代表者 加藤木貞次 會員番號 第119512號
印刷者	東京市京橋區(東車1000) 渡邊正雄 西八丁堀四ノ八
印刷所	東京市京橋區 昭文社印刷所 西八丁堀四ノ八
配給元	日本出版配給株式會社 神田區淡路町 二丁目九番地

發行所 合資會社 電氣之友社

東京市京橋區銀座八丁目一番地  
(電話銀座2525・振替東京2203)

## 最新刊圖書案内

工学博士 尾本義一 工学士 本城 巖 共著	電氣工學術語解説	¥1.80 送料.25
東京工業大学教授 理学博士 山本 勇著	改訂 最新電氣磁氣學 増補	¥3.50 送料.25
東京工業大学教授 理学博士 山本 勇著	直流 電氣機械實驗法(改訂) 交流	¥2.50 送料.25
元濱松高等工業学校教授 中 島 友 正著	増補 新編實用電氣磁氣	¥1.80 送料.25
同	新編 實用電氣機械(前) (後)	¥2.00 送料.25
同	電氣機器 磁路の計算法 設計原論	¥1.20 送料.25
安田工業学校教授 佐々木 竹 松著	最新 電氣及磁氣測定 實用	¥2.00 送料.25
東京工業大学教授 理学博士 武井 武著	電氣化學工業	¥1.70 送料.25
北海道帝國大学教授 工学博士 島山 四男著	高壓電氣工學原論	¥1.30 送料.25
理学博士 山本 勇 共著 工学士 關 英男	最新 無線工學	¥2.00 送料.25
電氣之友社編纂	電氣工事人便覽	¥.35 送料.10
九州帝國大学教授 工学博士 森 兵吾著	交流理論	¥2.50 送料.25
電氣之友社編纂	昭和 電氣年鑑 十六年	¥8.00 送料.21

東京市京橋區銀座八丁目一番地(銀座大通り電友ビル)

發行所 合資會社 電氣之友社 御申越次第  
目録進呈

振替東京二二〇三番・電話銀座二五二五番

## 好評噴々 新刊

# 電氣工學術語解説

規格判A列五番 二五〇頁(和文及英文索引付)  
定價 金壹圓八拾錢 郵税二十五錢

東京工業大学教授 工学博士 尾本義一  
東京芝浦電氣株式会社 工学士 本城 巖 共著 (内容見本  
マツダ支社器材課長 贈呈)

最近に於ける電氣工學の異常なる發達とその廣汎なる應用とにより幾多の電氣用語を生むに至り、次ぎ次に細部に亘る新語が現はれて來て、初學者は素より老練の技術家にとりてもその日常の不便と困難とは蓋し想像の外である。  
術語に對する正確なる定義なるものは、有ゆる方面に於て必要缺くべからざるは今更事新しく云ふ迄もないことである。  
本書は國際電氣工學委員會が數十年の日子を費して電氣工學術語の定義を完成せるものを正確に解説したものに於て、本邦電氣用術語辭典の白眉と稱せらるゝ又宜なる故である。最近の好著として電氣技術者は勿論、其他工業技術家、研究者、學生に廣く御勧めする所以である。

### 目次

第一章基本定義 第二章機械及び變壓器 第三章配電盤及び接續並に制御裝置 第四章測定器 第五章發電、送電及び配電 第六章電氣鐵道 第七章電動力應用 第八章電熱應用 第九章照明 第十章電氣化學 第十一章電信及び電話 第十二章無線通信 第十三章 放射線學 第十四章電氣生理學

## 發行所 電氣之友社

東京・銀座・新橋  
電話 銀座二五二五番  
東京二二〇三番

☆清新潑刺の大電氣雜誌☆

# 電氣之友

電氣之友は明治二十四年創刊雜誌界の白眉

「電氣之友」は時勢に匙けて電氣界萬般の事象を映出し創刊五十一年  
躍進の一途を辿つて全誌精練されたる記事を以て滿され、修學者絶好の  
師友、學界業界の指針としてなくてはならぬ雜誌である。  
故に「電氣之友」を見ないと時勢に遅れるとの絶賛なりであり、大方  
の愛護深く、内外の信望最も厚し。

内容は

- 電氣に關する新學說と新事業、逸早く掲載
- 内外權威ある電氣家の寄稿滿載
- 電氣界の實況、電友時報欄に、正確報道
- 連載講義、電氣工學術語對譯は修學者の指針
- 電氣資料と海外ニュースは好參考
- 時の人に、電界人事に、今昔に、電界の動き洩すなし。電氣之友さへ  
見れば何でも分ると高評噴々
- 社説、評論、各種視察記、特許と新案、商工界等、スケ役に立つ實用  
記事滿載
- 電氣之友寫眞班の各種寫眞は本文に、又口繪に趣味津々
- 電氣之友印刷は鮮明、用紙は良質、定價は一冊僅に四十錢

毎號新裝して出づ鮮明精進の好讀物

合資社 電氣之友社

本東京市京橋區銀座八丁目一番地 支大阪市北區堂島中二丁目四〇  
社電話銀座 2525・振替東京 2203 局電話北 1906・振替大阪 10695

電氣之友定價		電氣之友定價	
冊數	定價	冊數	定價
1ヶ月(1冊) 前金	40錢	6ヶ月(6冊) 前金	2圓28錢
1ヶ月(1冊)	送料 3錢	1ヶ月(外國)	送料共 5圓50錢
1ヶ月(12冊)	4圓56錢		

543.4

M 77

9

543.4-Mu77ウ



1200500746172

×

複写

終