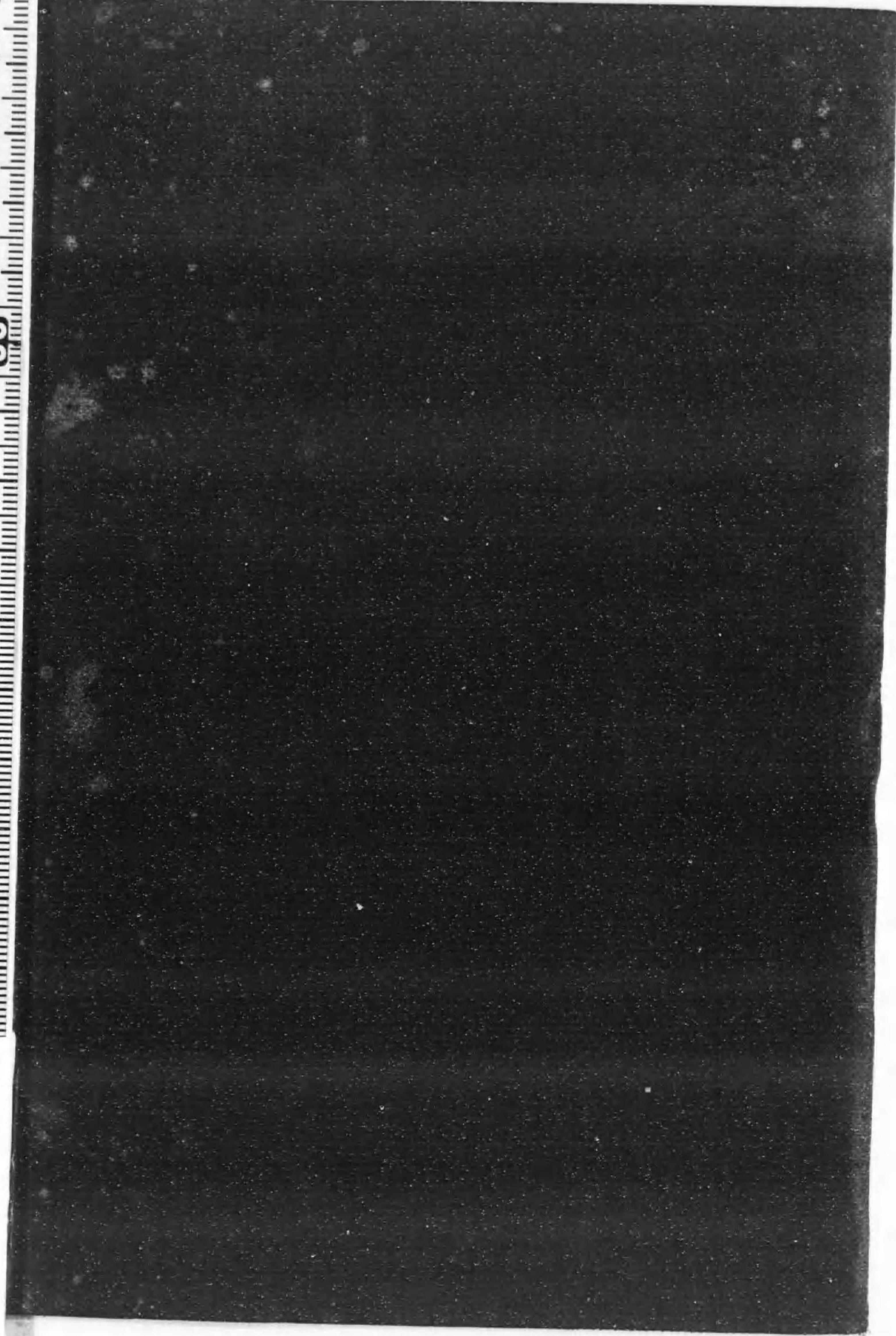




始



369
250

特 220  
676



續 電氣學 質 疑 應 答 集

才一ム社編輯部編

株式會社 才一ム社



## は し が き

「選試は難しくなつた」といふ嘆聲はよく聞く所である。それは昔の様に単に教科書や参考書に出てゐる問題を少し改めた程度の問題ではなくなつたからである。試験勉強のみやつた一夜漬けの者には中々苦手である。眞に理解した人でなければパスせぬ様だ。

萬卷の参考書をかゝへて、實によく勉強してゐる人がある。それにも拘らず中々選試に合格し得ない人がある。試に何か聞いてみたり、問題を提出したりすると、直ぐ参考書を出して「こゝにある」といつてその博學を誇る。これではどうかと思ふ。試験場には参考書は持込めない。かつ實地に遭遇しても一々参考書を見る暇のないこともあらうし、又参考書にない事件が起つて來ることもあらう。かゝる時には、常日頃から「考へる」練習を積んでおくに越した事はない。自分でよく考へた後参考書を読む、人に聞く、そこで又考へる。かくする事に依り始めて「自分のもの」になる。底力が出來て來る。

「オームの質疑は難しい」といふ嘆聲を聞く。それは普通の参考書にありふれた問題を取扱はぬからである。少なくとも考へさせられる問題を取り上げて解答するからである。従つて解答の或るものには牽強附會の説が無いとは保し難い。然し解答は少なくとも二人以上の討論と合議とに依つたもので、しかく無責任では斷じてない。勉學に餘念のない諸氏に、「考へる問題」の種本として本書をお奨めしたい。必ずや會心の問題をその中から發見されることと信ずる。

只かくの如きものを一書に纏める段になると、何分その時々寄せ集めものとして、符號が彼是異つたり、説明が詳し過ぎたり、或は簡に失したり、要するに書物の體裁をなさない。従つて種々の物足りなさを感じる節が無いとは云へない。然しこれも考へ様によつては寧ろ宜いのかも知れない。

結論は「考へることの訓練」である。朝に一間、夕に一間、電車の中で一間、かくして會得して貰ひたい。どの頁を開かれ、どの一間を採られても、一つの纏つた問題と、それに對する纏つた解答とである。オーム 10 年間、質疑應答係の苦心の結晶をどうぞ買つてやつて戴きたい。[10. 8. 21 Y. T. 生]

## 續電氣學質疑應答集

### 目次

#### 電氣理論

微分方程式の積分定數	1
微分方程式の一例	4
重疊の理	6
極大及び極小	7
對稱座標法の一例	9
對稱座標法に依る地絡電流の計算	12
合成抵抗の求め方	17
合成抵抗圖式求め方	20
靜電誘導電壓の計算	22
靜電容量の計算	24
波形率の計算	26
整流回路二つ	32
三相不平衡回路の例	36
相互誘導回路のベクトル圖	40
合成インピーダンスの特殊例	45
放電抵抗と端子電壓	47
電氣抵抗と電氣容量との關係	50
調帯に起る靜電電壓	52

#### 計器、測定及び試験

積算電力計檢定試験	54
電流磁束に依るクリーピング	55

100 V の積算電力計を 110 V へ .....	57
皮相積算電力計 .....	59
盗用と積算電力計の指示 .....	61
三相無効電力計 .....	64
力率計の振れ .....	66
移 相 器 .....	71
補償電圧計 .....	72
サイクル・カウンタ .....	74
油試験器 .....	76
直流に依る耐圧試験 .....	77
絶縁電線耐圧試験 .....	78
摺動線ブリッジ .....	82
ウィーヘルト氏接地抵抗測定法 .....	83
Frequency Bridge .....	85
シェリング・ブリッジ .....	87
放電記録装置 .....	88
検漏器の取替 .....	91
検漏器に蓄電器 .....	92
抵抗温度計 .....	93

## 電 氣 機 械

交流発電機の自己勵磁 .....	97
交流機とリアクタンス .....	101
同期発電機の並行運転 .....	102
同期-同期周波数変換機の並列運転 .....	104
同期進相機の容量 .....	108
電気機器の耐圧試験 .....	108
銲接機用三刷子発電機 .....	110
非同期発電機 .....	113

界磁磁極の曲線 .....	115
同期ワット .....	117
捲線型誘導電動機の短絡不良 .....	118
ゲルゲス現象 .....	119
誘導電動機の等価回路 .....	122
捲揚電動機の馬力計算 .....	125
三相誘導電圧調整器 .....	127
Y $\Delta$ 切換の結線法 .....	130
差働縦續法 .....	132
水銀整流器と廻轉變流機の並列運転 .....	135
ワグナー・モーター .....	137
$\Delta$ Y集團の並列結合 .....	142
$\Delta\Delta$ 接續の電流 .....	144
Y $\Delta$ 結線の故障 .....	148
三角六線式の異例 .....	150
三角結線二電圧變壓器法の負荷 .....	157
單捲三相變壓器出力 .....	159
V接續の容量 .....	160
絶縁耐力試験と變壓器電流 .....	163
$\Delta$ 結線より單相負荷 .....	164
定電壓變壓器 .....	165
ネオン管用變壓器 .....	166
モノサイクリック装置 .....	168
變壓器層間耐圧試験 .....	169
變壓器拾數箇の返還負荷法 .....	171
トランスバーター .....	172
水銀整流器の異常電壓 .....	175
冷却槽のスケール除去 .....	177

## 電力輸送及配電

送電線の接地と漏電計の振れ	181
母線の電磁力	182
定電圧送電の同期調相機容量計算法	184
単相短絡電流の計算	187
充電電流の計算	189
送電線の最大電力	192
配電線リアクタンスの計算	194
電線地表上の平均高さ	196
単心地中電纜と接地	198
第一種地線工事	198
接地電流	199
線間短絡電流の計算	200
引込開閉器の位置	202
油入開閉器と直流回路	203
三相三線式の抵抗損	204
遞試三種3番に就いて	206
アルミニウム避雷器の休止	208
オキサイド・フィルム避雷器	211
移動繼電器	212
引込線の疑義二件	214
送電線の能率	216

## 發電所

隧道流量の計算	218
流速計	220
水車發電機を進相機に	222

壓力計と取付位置	223
50 ~ 60 ~ 變換裝置	225
汽罐用蒸氣管の太さ	226
冷却水の硬質處理法	227

## 電氣鐵道

電車電氣制動の一例	229
電車の一計算例	230
軌道曲線の緩急其他	232
電氣鐵道漏洩電流の測定	234

## 雜

コロイド蓄電池	237
油層用流動パラフィン	237
アルミニウム製造法	238
抵抗線の性質	240
排流線輪	241
鉛蓄電池のカドミウム試験	241
電鈴と電池の接続	243
償却算の一例	244
架空共同地線の材料に就いて	245
共同地線電氣抵抗の平衡度	246
電氣收塵裝置と主任技術者	247
感電致死と人體の抵抗	247
工作物規程疑義數件	249
水冷式電球	250
マツダ全光電球	251
電球ベースの極印	251

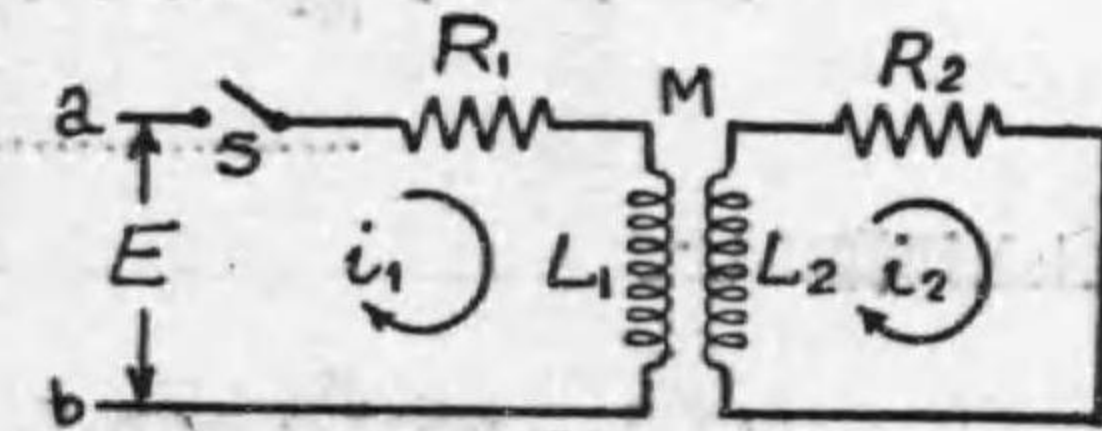
# 續 電 氣 工 學 質 疑 應 答 集

オーム社編輯部編

## 電 氣 理 論

### 微分方程式の積分定數

【問】 圖示の回路に於て一定不變電壓  $E$  を  $ab$  端子に加へ開閉器  $S$  を急激に閉づる時此の瞬時より  $t$  秒後に於ける各回路を流るゝ電流の瞬時値  $i_1$  及び  $i_2$  を求む。



但し  $R_1 R_2 \dots$  無誘導抵抗

$L_1 L_2 \dots$  自己誘導係數

$M \dots$  相互誘導係數

にして  $L_1 L_2 = M^2$  なる關係を有するものとす。

上記問題に於て、ヘビサイド展開定理を用ひざる解法にて、積分定數の決定方法不明で困つてゐます。御説明を願ひます。

【解】 先づ方程式を解いてゆくと、

$$L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 + M \frac{di_2}{dt} = E \dots \dots \dots (1)$$



$$L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 + M \frac{di_1}{dt} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

上式を  $t$  にて今一度微分すれば

$$L_1 \frac{d^2 i_1}{dt^2} + R_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{d^2 i_2}{dt^2} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$L_2 \frac{d^2 i_2}{dt^2} + R_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{d^2 i_1}{dt^2} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

(1) 及び (3) 式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_2}{dt} &= \frac{1}{M} \left( E - L_1 \frac{di_1}{dt} - R_1 i_1 \right) \\ \frac{d^2 i_2}{dt^2} &= -\frac{1}{M} \left( L_1 \frac{d^2 i_1}{dt^2} + R_1 \frac{di_1}{dt} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

(5) を (4) に代入し整理すれば

$$(L_1 L_2 - M^2) \frac{d^2 i_1}{dt^2} + (R_1 L_2 + R_2 L_1) \frac{di_1}{dt} + i_1 R_1 R_2 = R_2 E \dots\dots\dots(6)$$

上と同様にして

$$(L_1 L_2 - M^2) \frac{d^2 i_2}{dt^2} + (R_1 L_2 + R_2 L_1) \frac{di_2}{dt} + i_2 R_1 R_2 = 0 \dots\dots\dots(7)$$

然るに題意に依れば  $L_1 L_2 = M^2$  なるが故に、 $(L_1 L_2 - M^2) = 0$  となる。故に (6), (7) なる二次微分方程式は次の如く一次微分方程式となる。

即ち

$$(R_1 L_2 + R_2 L_1) \frac{di_1}{dt} + i_1 R_1 R_2 = R_2 E \dots\dots\dots(8)$$

$$(R_1 L_2 + R_2 L_1) \frac{di_2}{dt} + i_2 R_1 R_2 = 0 \dots\dots\dots(9)$$

(8) (9) の解  $i_1, i_2$  は

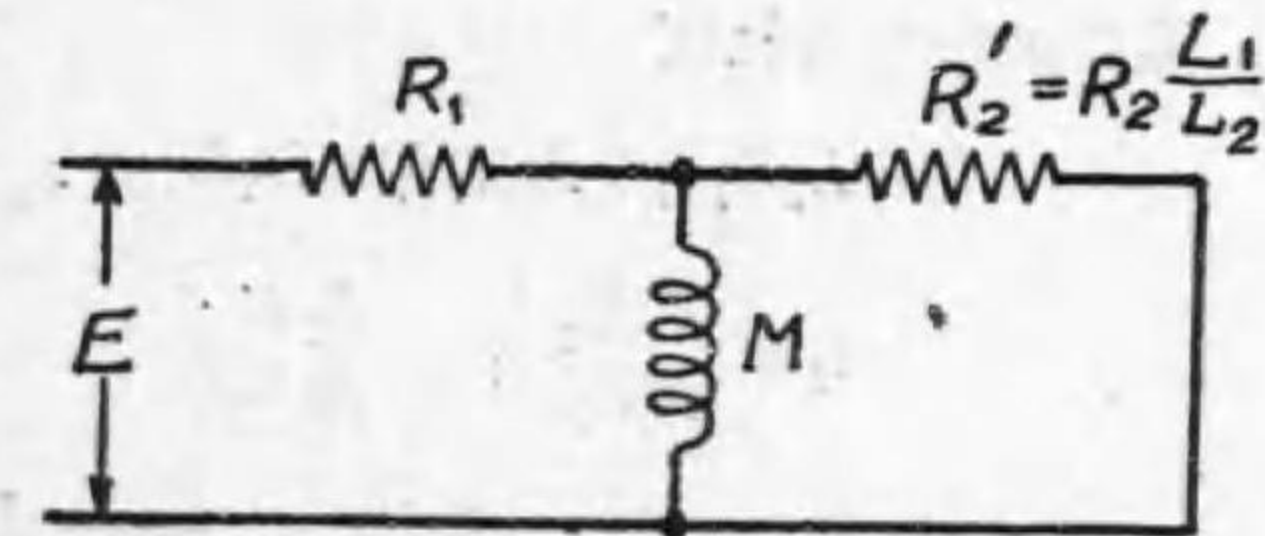
$$i_1 = \frac{E}{R_1} + A_1 \epsilon^{-\frac{R_1 R_2}{R_1 L_2 + R_2 L_1} t} \dots\dots\dots(10)$$

$$i_2 = A_2 \epsilon^{-\frac{R_1 R_2}{R_1 L_2 + R_2 L_1} t} \dots\dots\dots(11)$$

然して此の積分定数  $A_1 A_2$  の決定方法は、 $L_1 L_2 > M^2$  なる場合、即漏洩インダクタンス存在する場合に於ては、 $t=0$  に於て  $i_1=0, i_2=0$  となる事は明である。然るに題意の如く  $L_1 L_2 = M^2$  即ち緊密結合にして漏洩インダクタンスなき時は、 $t=0$  に於て  $i_1=0, i_2=0$  と置いては  $A_1 A_2$  なる定数は決定されぬ。如何にしてこの定数を定めるかが質問の要點である。

先づ此の回路に就いて考ふべきは漏洩インダクタンスなきもの故圖の如き等價回路にて

表し得る事に留意せねばならぬ。 $R_2' = R_2 \times \frac{L_1}{L_2}$  とせるは二次抵抗を一次に換算せるもので、 $L_1 L_2$  は共に  $n_1^2$



$n_2^2$  ( $n_1 n_2$  は一次二次の捲數) の函数であるから、 $R_2$  を一次に換算するに  $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$  の代りに  $\frac{L_1}{L_2}$  を乗じたのである。

圖の如き回路に於ては、 $t=0$  に於て  $i=0$  とはならぬ。インダクタンスなき回路なる故、電流は  $t=0$  の瞬時に

$$i_0 = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 L_1}{L_2}} = \frac{L_2 E}{R_1 L_2 + R_2 L_1}$$

となる。故にこの関係を (10) 式に入れば

$$\frac{L_2 E}{R_1 L_2 + R_2 L_1} = \frac{E}{R_1} + A_1$$

$$\therefore A_1 = \frac{L_2 E}{R_1 L_2 + R_2 L_1} - \frac{E}{R_1} = \left\{ \frac{-R_2 L_1}{R_1 L_2 + R_2 L_1} \right\} \cdot \frac{E}{R_1}$$

$$\begin{aligned} \therefore i_1 &= \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_1} \left( -\frac{R_2 L_1}{R_1 L_2 + R_2 L_1} \right) \varepsilon^{-\frac{R_1 R_2}{R_1 L_2 + L_2 R_1} t} \\ &= \frac{E}{R_1} \left( 1 - \frac{R_2 L_1}{R_1 L_2 + R_2 L_1} \varepsilon^{-\frac{R_1 R_2}{R_1 L_2 + L_2 R_1} t} \right) \end{aligned}$$

これが求むる  $i_1$  である。次に  $i_2$  を求むるには  $i_1$  から導来せねばならぬ。

(1)(2) 兩式より微係数の項を消却すれば、

$$L_1 L_2 \frac{di_1}{dt} + L_2 R_1 i_1 + L_2 M \frac{di_2}{dt} = L_2 E$$

$$L_2 M \frac{di_2}{dt} + M R_2 i_2 + M^2 \frac{di_1}{dt} = 0$$

兩式の差をとれば

$$L_2 R_1 i_1 - M R_2 i_2 = L_2 E$$

$$i_2 = \frac{L_2 R_1}{M R_2} i_1 - \frac{L_2 E}{M R_2}$$

$$\therefore i_2 = \frac{E}{R_1} \times \frac{L_2 R_1}{M R_2} + \frac{E}{R_1} \times \frac{L_2 R_1}{M R_2}$$

$$\cdot \left( \frac{-R_2 L_1}{R_1 L_2 + R_2 L_1} \right) \varepsilon^{-\frac{R_1 R_2}{R_1 L_2 + L_1 R_2} t} - \frac{L_2 E}{M R_2}$$

$$= \frac{-R_2 L_1 L_2}{R_1 L_2 + R_2 L_1} \times \frac{E}{M R_2} \varepsilon^{-\frac{R_1 R_2}{R_1 L_2 + L_1 R_2} t}$$

$$= -\frac{M}{R_1 L_2 + R_2 L_1} E \varepsilon^{-\frac{R_1 R_2}{R_1 L_2 + L_1 R_2} t}$$

要するに微分方程式に於ける積分定数の決定には電氣的常識 (physical meaning) が極めて重大である事を知る一つの適例である。

### 微分方程式の一例

【問】 圖の如き回路に於て開閉器 S を急に開きたる場合、抵抗

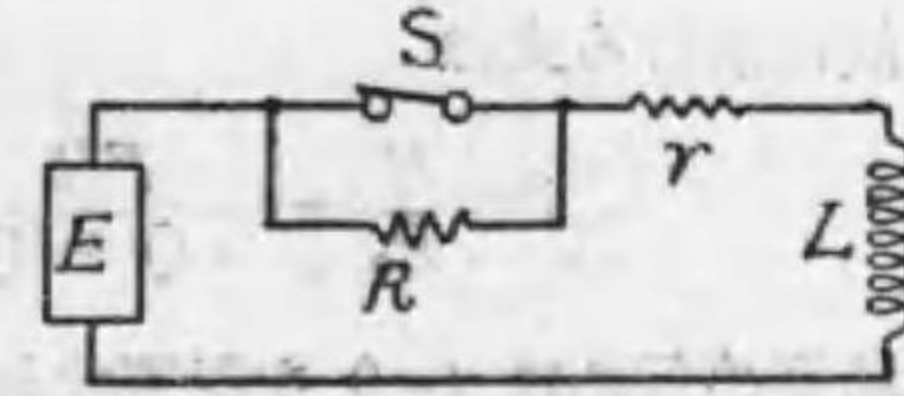
R に通ずる過渡電流の算式を御教

示下され度願上候

E = 直流電壓

R, r = 抵抗

L = インダクタンス



【解】 此の問題の要點は、積分定数の定め方にあると言つてよい。  $t=0$  に於ては S は閉ざされてをり  $I = \frac{E}{r}$  であり、S を開き  $t=\infty$  後に於ては  $I = \frac{E}{r+R}$  となればよい。

今  $r+R=R_0$  とすれば次式が成立する。

$$E = L \frac{di}{dt} + i R_0$$

$$\frac{E}{R_0} = \frac{L}{R_0} \frac{di}{dt} + i$$

$$i - \frac{E}{R_0} = -\frac{L}{R_0} \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{i - \frac{E}{R_0}} = -\frac{R_0}{L} dt$$

兩邊を積分して

$$\log \left( i - \frac{E}{R_0} \right) = -\frac{R_0}{L} t + C$$

$$i - \frac{E}{R_0} = A \varepsilon^{-\frac{R_0}{L} t}$$

$$\therefore i = \frac{E}{R_0} + A \varepsilon^{-\frac{R_0}{L} t}$$

この式に  $t=0, i = \frac{E}{r}$  を代入すれば

$$\frac{E}{r} = \frac{E}{R_0} + A$$

$$\therefore A = \frac{E}{r} - \frac{E}{R_0} = \frac{E}{r R_0} (R_0 - r) = \frac{ER}{r(r+R)}$$

故に求むる式は

$$i = \frac{E}{R_0} + \frac{ER}{r(r+R)} e^{-\frac{R_0}{L}t}$$

検算の爲めに  $t=0$  を計算すれば

$$\begin{aligned} i &= \frac{E}{R_0} + \frac{ER}{r(r+R)} \\ &= \frac{E}{R_0} + \frac{E}{r} - \frac{E}{R_0} = \frac{E}{r} \end{aligned}$$

$t=\infty$  を計算すれば第二項は 0 となり

$$i = \frac{E}{R_0} = \frac{E}{r+R}$$

となり、求めた式が真なる事を知ることが出来る。

### 重 疊 の 理

【問】 重疊の理を應用する場合に、其の導體網の電位分布が各々獨立せる場合の電位分布と、其の各を重疊した場合の電位分布とが全く相等しいことを必要とする。

而してホイートストーン・ブリッジに於ては檢流計に流れる電流が零なる時のみ重疊の理が應用出来ると承りましたが、小生には解し難く重疊の理を應用する事が出来ません。何卒御教示願上ます。

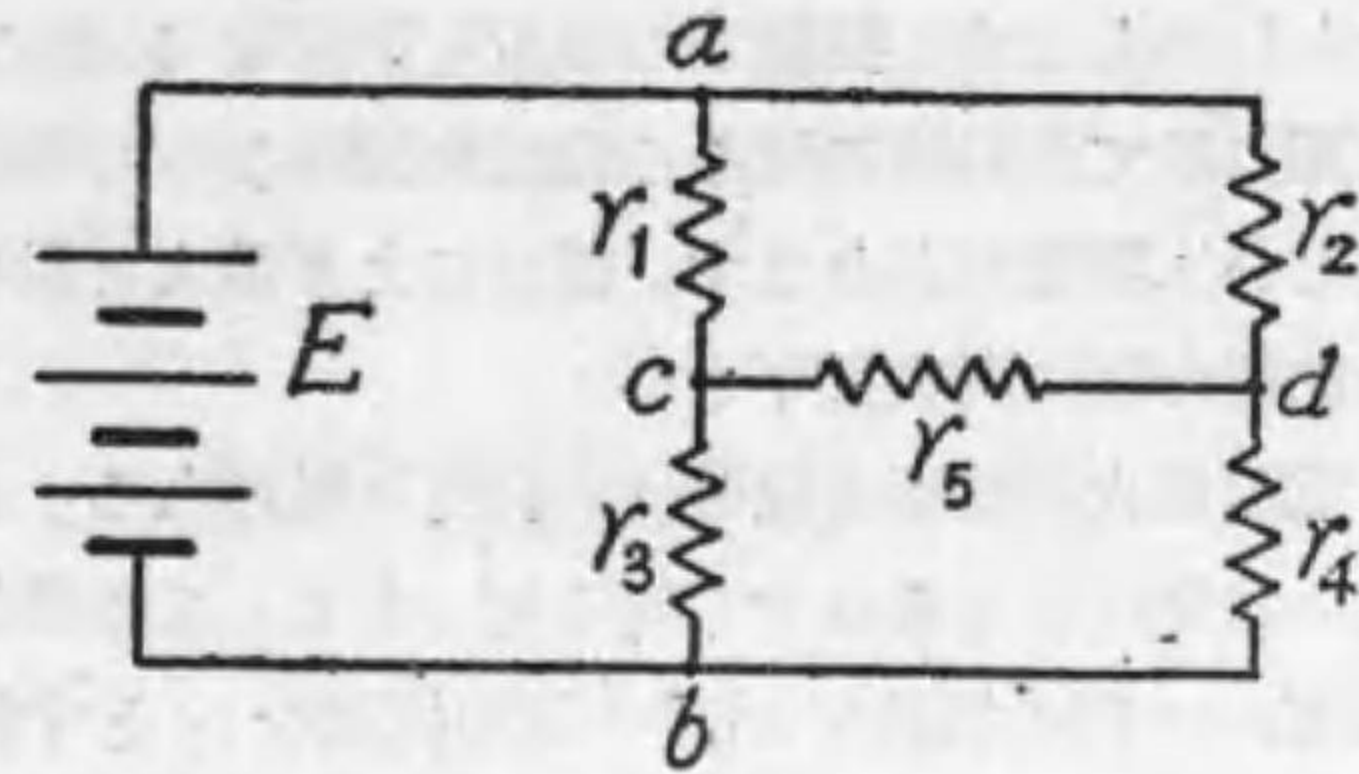
【解】 圖の如きホイートストーン・ブリッジに於て、檢流計即  $r_5$  に流るる電流は、 $r_1 r_3 r_4$  なる回路に  $E$  を加へた時の電流  $I_1$

$$I_1 = \frac{E}{r_1 + r_5 + r_4} \dots\dots\dots(1)$$

と、 $r_2 r_5 r_3$  なる回路に  $E$  を加へた場合の電流  $I_2$

$$I_2 = \frac{E}{r_2 + r_5 + r_3} \dots\dots\dots(2)$$

とを重疊せるもので、 $r_5$  に於ける電流なりと言ひ得るのは  $c, d$  間の電位が同電位即ブリッジとしての平衡條件  $r_1 r_4 = r_2 r_3$  を満足し、



更に  $r_1 + r_4 = r_2 + r_3$  なる特別の條件を満足する場合のみに限られるもので、この際は  $I_1 - I_2 = 0$  となる。此の以外は絶対にかゝる事即重疊の理は應用出来ない。

(1) 及 (2) 式に  $r_1 + r_4 = r_2 + r_3 = K$  を代入すれば、

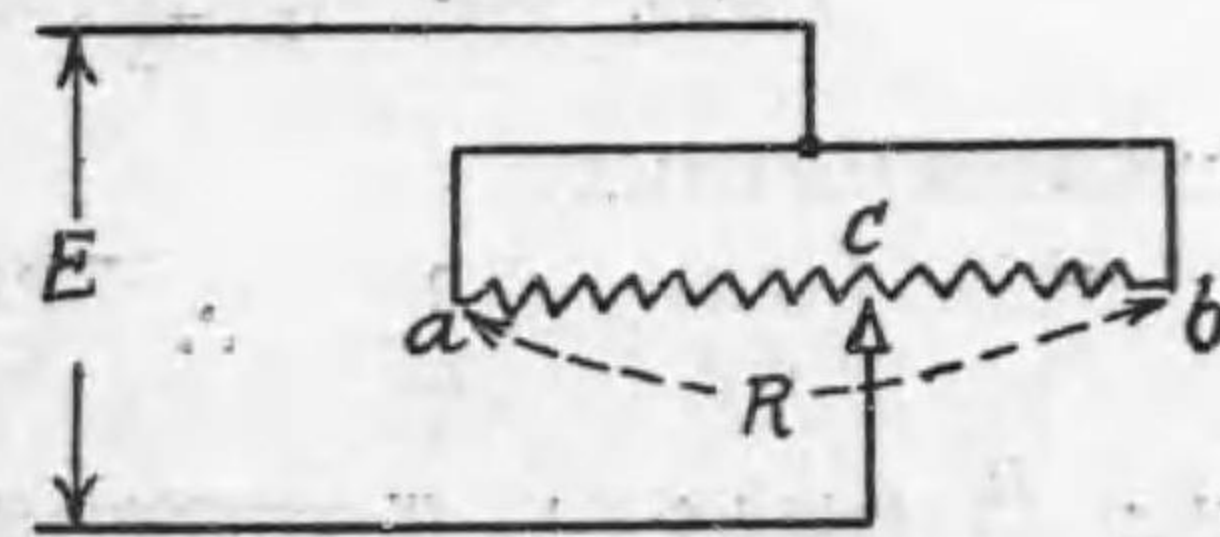
$$I_1 = \frac{E}{K + r_5} \quad I_2 = \frac{E}{K + r_5}$$

となり相等しく、且明らかに各電流の方向は逆であるから  $I_1 - I_2 = 0$  となる。

問の場合はブリッジとしての條件のみを満足すればよいと思はれてゐたものと考へられる。この條件以外に前記  $r_1 + r_4 = r_2 + r_3$  なる條件を必要とするのである。これで御了解を得た事と思ふ。要するに重疊の理は非常に面白い重要なものであるが、よく知らずに用ふると飛んだ事になるものであるから徹底的に了解して後に善用されん事を希望する。

### 極 大 及 び 極 小

【問】 圖の如く接続せられたる  $ab$  なる抵抗線あり、今  $R$  なる接觸子の位置を移動して全回路に流るゝ電



流を最大ならしめんとす。接觸子の位置を如何なる點に置く可きか。次に同圖に於て全回路に流るる電流を最小ならしむべき接觸子の位置如何といふ問題があります。微分により最大と最小との求め方の區別を初學の私に御教授下さい。

【解】 電流最大の接觸子位置は、a 及 b 點である。こゝでは回路は無抵抗の状態になる事はすぐ解る筈である。又數學的説明を望まれるならば、ac 間の抵抗を  $r_1$ , bc 間の抵抗を  $r_2$  とすれば、合成抵抗  $R_0$  は、

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad R_0 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

$R_0$  が零ならば電流は最大である。 $R_0$  が零なる爲めには、 $r_1$  或は  $r_2$  の何れかが零であればよい。 $r_1$  の零は a 點、 $r_2$  の零は b 點を意味してゐる。

次に第二の電流最小の點を求めんに、

$$R = r_1 + r_2 \quad \therefore r_2 = R - r_1$$

$$R_0 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \frac{r_1 (R - r_1)}{R}$$

$$= \frac{R r_1 - r_1^2}{R} = r_1 - \frac{r_1^2}{R}$$

この  $R_0$  が最大なる時電流は最小である。故にこれの微係数を零と置けば最大の點が求まる。

$$\frac{dR_0}{dr_1} = 1 - \frac{2r_1}{R} = 0$$

$$R = 2r_1 \quad \therefore r_1 = \frac{R}{2}$$

二次微係数を求めれば

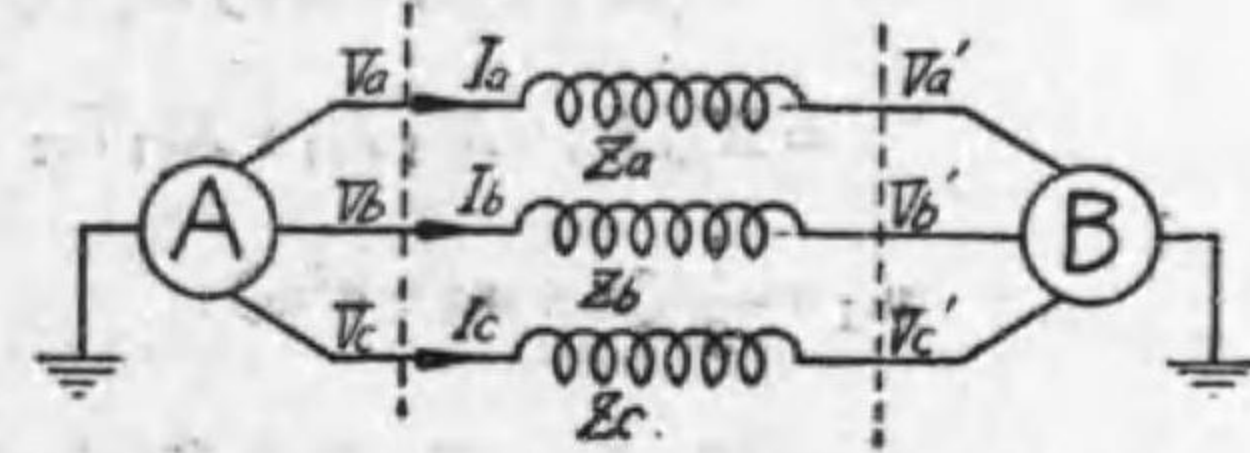
$$\frac{d^2 R_0}{dr_1^2} = -\frac{2}{R} \quad \therefore \frac{d^2 R_0}{dr_1^2} < 0$$

故に  $\frac{R}{2}$  は最大を示し、従つて電流は最小となる。但しかゝる間

題に於ては a 點及 b 點がそれぞれ合成抵抗最小の點であるから  $\frac{R}{2}$  の點が合成抵抗最大の點であることは視察からすぐ斷じてよいものである。

### 對稱座標法の一例

【問】 AB なる 2 臺の發電機あり。その零、正、逆相インピーダンスを夫々  $Z_{a0}, Z_{a1}, Z_{a2}, Z_{b0}, Z_{b1}, Z_{b2}$  なりとす。圖の如く結線したる場合の各線の電流を決定せよ。但し起電力は  $\dot{E}_a = e_a + je_1', \dot{E}_b = e_b + je_2'$  とす。上記問題御解答願上候。



【解】 電流の方向を與へられたる如く A より B に向ふものを正とし、端子電壓の關係を求めれば次の如くなる。但し電壓電流は凡て複素量を以て表したものである。

$$\left. \begin{aligned} V_a - V_d' &= Z_a I_a = v_a \\ V_b - V_d' &= Z_b I_b = v_b \\ V_c - V_d' &= Z_c I_c = v_c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

然して  $V_a, V_b, V_c$  及び  $V_d', V_d', V_d'$  は A 及 B 發電機の端子電壓なるが故に、之れを對稱座標法に依る發電機の基本式で表せば（別宮博士著對稱座標法解説 42 頁參照）A 發電機に對して

$$\left. \begin{aligned} V_{a0} &= -Z_{a0} I_{a0} \\ V_{a1} &= E_A - Z_{a1} I_{a1} \\ V_{a2} &= -Z_{a2} I_{a2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

B 發電機に對しては

$$\left. \begin{aligned} V_{a0}' &= -Z_{b0} I_{a0}' = Z_{b0} I_{a0} \\ V_{a1}' &= E_B - Z_{c1} I_{a1}' = E_B + Z_{b1} I_{a1} \\ V_{a2}' &= -Z_{b2} I_{a2}' = Z_{c2} I_{a2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

次に  $v_a, v_b, v_c$  を対稱分にて表せば次の如し。

$$\left. \begin{aligned} v_{a0} &= \frac{1}{3}(v_a + v_b + v_c) = \frac{1}{3} \{ (Z_a + Z_b + Z_c) I_{a0} \\ &\quad + (Z_a + a^2 Z_b + a Z_c) I_{a1} + (Z_a + a Z_b + a^2 Z_c) I_{a2} \} \\ &= X_{a0} I_{a0} + X_{a2} I_{a1} + X_{a1} I_{a2} \\ v_{a1} &= \frac{1}{3}(v_a + a v_b + a^2 v_c) \\ &= X_{a1} I_{a0} + X_{a0} I_{a1} + X_{a2} I_{a2} \\ v_{a2} &= \frac{1}{3}(v_a + a^2 v_b + a v_c) \\ &= X_{a2} I_{a0} + X_{a1} I_{a1} + X_{a0} I_{a2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

但し  $X_{a0} = \frac{1}{3}(Z_a + Z_b + Z_c), X_{a1} = \frac{1}{3}(Z_b + a Z_c + a^2 Z_c)$   
 $X_{a2} = \frac{1}{3}(Z_c + a^2 Z_b + a Z_c)$

然るに (1) 式より明なる如く

$$\begin{aligned} V_a - V_a' - v_a &= 0, & V_b - V_b' - v_b &= 0 \\ V_c - V_c' - v_c &= 0 \end{aligned}$$

なる關係あり、従つて次の關係式も亦成立する。

$$\left. \begin{aligned} V_{a0} - V_{a0}' - v_{a0} &= 0 \\ V_{a1} - V_{a1}' - v_{a1} &= 0 \\ V_{a2} - V_{a2}' - v_{a2} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式に、(2)(3)(4) の關係を代入すれば次の如くなる。

$$\begin{aligned} V_{a0} - V_{a0}' - v_{a0} &= -Z_{a0} I_{a0} - Z_{b0} I_{a0} - (X_{c0} I_{a0} \\ &\quad + X_{a2} I_{a1} + X_{a1} I_{a2}) \\ &= -\{ (Z_{a0} + Z_{b0} + X_{a0}) I_{a0} + X_{c2} I_{a1} + X_{a1} I_{a2} \} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{a1} - V_{a1}' - v_{a1} &= E_a - Z_{a1} I_{a1} - (E_b + Z_{b1} I_{a1}) \\ &\quad - (X_{a1} I_{a0} + X_{a0} I_{a1} + X_{a2} I_{a2}) \\ &= (E_a - E_b) - \{ X_{a1} I_{a0} + (Z_{a1} + Z_{b1} + X_{a0}) \\ &\quad I_{a1} + X_{a2} I_{a2} \} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{a2} - V_{a2}' - v_{a2} &= -Z_{a2} I_{a2} - Z_{b2} I_{a2} \\ &\quad - (X_{a2} I_{a0} + X_{a1} I_{a1} + X_{a0} I_{a0}) \\ &= -\{ X_{a2} I_{a0} + X_{a1} I_{a1} + (Z_{a2} + Z_{b2} + X_{a0}) I_{a2} \} \\ &= 0 \end{aligned}$$

以上の3式を  $I_{a0} I_{a1} I_{a2}$  の順序に書き改むれば

$$\left. \begin{aligned} 0 &= (Z_{a0} + Z_{b0} + X_{a0}) I_{a0} + X_{a2} I_{a1} + X_{a1} I_{a2} \\ E_a - E_b &= X_{a1} I_{a0} + (Z_{a1} + Z_{b1} + X_{a0}) I_{a1} + X_{a2} I_{a2} \\ 0 &= X_{a2} I_{a0} + X_{a1} I_{a1} + (Z_{a2} + Z_{b2} + X_{a0}) I_{a2} \end{aligned} \right\} (6)$$

(6) 式より行列法を用ひて  $I_{a0}, I_{a1}, I_{a2}$  を求むれば、

$$\left. \begin{aligned} I_{a0} &= \{ X_{a1}^2 - X_{a2}(Z_{a2} + Z_{b2} + X_{a0}) \} (E_a - E_b) / \Delta \\ I_{a1} &= \{ (Z_{a0} + Z_{b0} + X_{a0})(Z_{a2} + Z_{b2} + X_{a0}) \\ &\quad - X_{a1} X_{a2} \} (E_a - E_b) / \Delta \\ I_{a2} &= \{ X_{a2}^2 - X_{a1}(Z_{a0} + Z_{b0} + X_{a0}) \} (E_a - E_b) / \Delta \end{aligned} \right\}$$

但し  $\Delta = X_{a1} \{ X_{a1}^2 - X_{a2}(Z_{a2} + Z_{b2} + X_{a0}) \}$   
 $+ (Z_{a1} + Z_{b1} + X_{a0}) \{ (Z_{a0} + Z_{b0} + X_{a0}) (Z_{a2} + Z_{b2} + X_{a0}) \}$   
 $= X_{a1} X_{a2} + X_{c2} \{ X_{a2}^2 - X_{a1}(Z_{a0} + Z_{b0} + X_{a0}) \}$

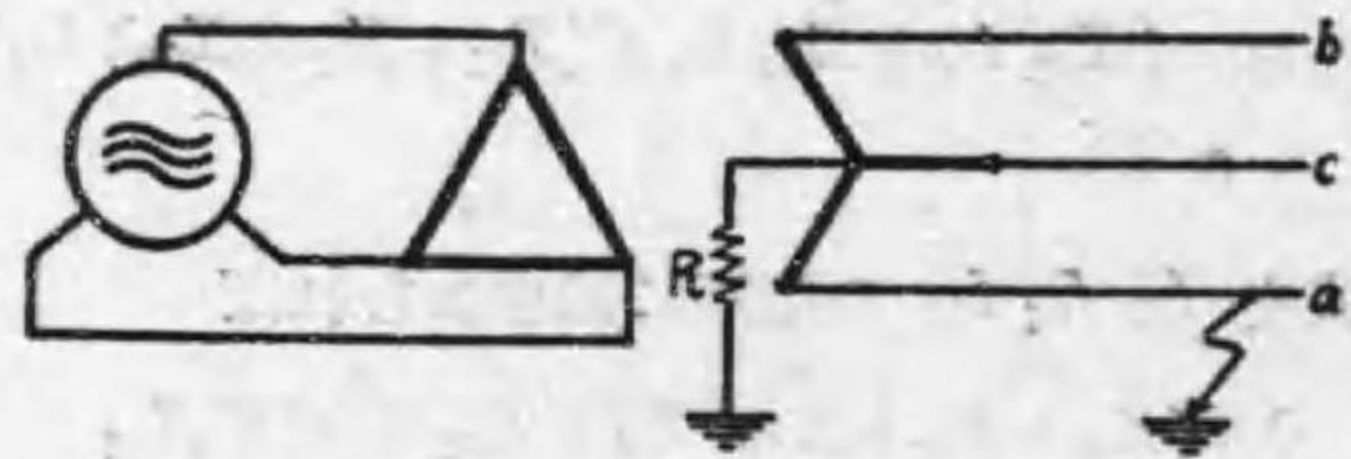
..... (7)

(7) 式より線電流  $I_a I_b I_c$  を求めれば,

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \\ I_b &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \\ I_c &= I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

**對稱座標法に依る地絡電流の計算**

【問】 下圖の如く中性点を抵抗  $R$  にて接地せる時、 $a$  線に於て完全接地を起したる場合の  $I_a$  及  $b, c$  端子の大地に對する電壓  $V_b, V_c$  を對稱座標法に依る解法にて御教示被下度候

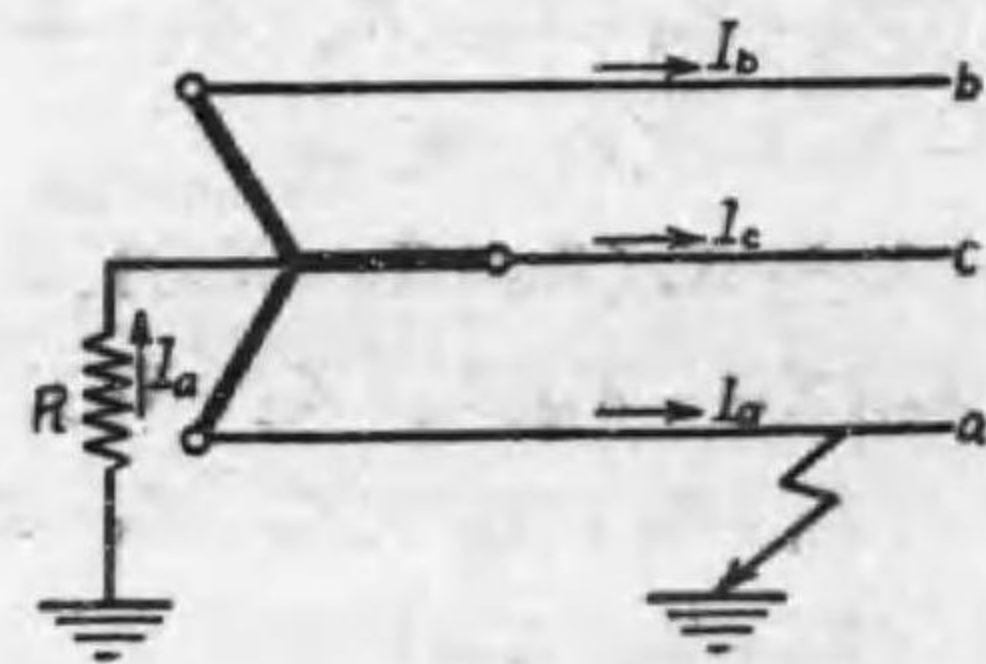


【解】  $a$  線は完全接地である。

$\therefore I_b = I_c = 0 \dots\dots\dots(1)$

$V_a = 0 \dots\dots\dots(2)$

なる條件が成立する。但し  $V_a$  は  $a$  の電位である。



第 1 圖

次に  $I_a I_b I_c$  及  $V_a V_b V_c$  を對稱分に書換へれば

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_0 + I_1 + I_2 \\ I_b &= I_0 + a^2 I_1 + a I_2 \\ I_c &= I_0 + a I_1 + a^2 I_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

$$\left. \begin{aligned} V_a &= V_0 + V_1 + V_2 \\ V_b &= V_0 + a^2 V_1 + a V_2 \\ V_c &= V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

$I_0, V_0$  は零相分  $I_1, V_1$  は正相分  $I_2, V_2$  は逆相分の電流電壓を表し、 $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ ,  $a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$  を表す。

(1) 式に (3) の關係を代入すれば

$$I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 0$$

上式を満足する爲めには  $I_1 = I_2$  又

$$I_0 + a^2 I_1 + a I_1 = I_0 + I_1(a^2 + a) = I_0 + I_1(-1) = 0$$

$$\therefore I_0 = I_1 = I_2 \dots\dots\dots(5)$$

次に各線の電位  $V_a V_b V_c$  を求めんに、今  $E_a E_b E_c$  を無負荷に於ける變壓器二次側相電壓即誘導起電力、 $v_a v_b v_c$  をその點より見たる負荷電流による各相のインピーダンス降下、換言すれば變壓器發電機等のインピーダンス降下を換算せるものとせば

$$\left. \begin{aligned} V_a &= E_a - (v_a + I_a R) \\ V_b &= E_b - (v_b + I_b R) \\ V_c &= E_c - (v_c + I_c R) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

$v_a v_b v_c$  を對稱分に表すには、この各は正相、逆相及零相電流に依る電壓降下を重疊したものであるから次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} v_a &= Z_0 I_0 + Z_1 I_1 + Z_2 I_2 \\ v_b &= Z_0 I_0 + a^2 Z_1 I_1 + a Z_2 I_2 \\ v_c &= Z_0 I_0 + a Z_1 I_1 + a^2 Z_2 I_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

(6) 式より

$$V_0 = \frac{1}{3} [(E_a + E_b + E_c) - (v_a + v_b + v_c) - 3 I_a R]$$

然るに

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 3 I_0 \quad (\because I_0 = I_1 = I_2)$$

$$\therefore V_0 = \frac{1}{3} [(E_a + E_b + E_c) - (v_a + v_b + v_c)] - 3 I_0 R$$

これに (7) 式の関係代入すれば

$$V_0 = E_0 - I_0 Z_0 - 3 I_0 R$$

次に  $V_1$  を求めんに

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{3} [(E_a + a E_b + a^2 E_c) - (v_a + a v_b + a^2 v_c) \\ &\quad - I_a R (1 + a + a^2)] \\ &= E_1 - Z_1 I_1 \quad (\because 1 + a + a^2 = 0) \end{aligned}$$

同様にして

$$V_2 = E_2 - Z_2 I_2$$

即次の三つの式を得る。

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= E_0 - I_0 Z_0 - 3 I_0 R \\ V_1 &= E_1 - Z_1 I_1 \\ V_2 &= E_2 - Z_2 I_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

而して  $E_a E_b E_c$  は對稱にして零相及逆相を含まぬものであるから、 $E_0 = 0, E_2 = 0$  と (8) 式におけば

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= -(Z_0 + 3 R) I_0 \\ V_1 &= E_1 - Z_1 I_1 \\ V_2 &= -Z_2 I_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

なる基本式を得る。この基本式を (4) 式及 (1) 式に代入せば

$$\begin{aligned} V_a &= V_0 + V_1 + V_2 = 0 \\ &= -(Z_0 + 3 R) I_0 + (E_1 - Z_1 I_1) - Z_2 I_2 \end{aligned}$$

$$= E_1 - I_1 (Z_0 + 3 R + Z_1 + Z_2)$$

$$(\because I_0 = I_1 = I_2)$$

$$\therefore I_1 = \frac{E_1}{Z_0 + 3 R + Z_1 + Z_2}$$

而して  $I_a = 3 I_1$

$$= \frac{3 E_1}{Z_0 + 3 R + Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (10)$$

これが求むる  $I_a$  の値である。

次に他の二線の電位  $V_b V_c$  を求めんに

$$\begin{aligned} V_b &= V_0 + a^2 V_1 + a V_2 \\ &= -(Z_0 + 3 R) I_0 + a^2 (E_1 - Z_1 I_1) - a (Z_2 I_2) \\ &= a^2 E_1 - I_1 (a^2 Z_1 + a Z_2 + Z_0 + 3 R) \\ &= a^2 E_1 - \frac{a^2 Z_1 + a Z_2 + Z_0 + 3 R}{Z_0 + 3 R + Z_1 + Z_2} E_1 \\ &= \frac{a^2 [(Z_0 + 3 R)(1 - a^2) + Z_2(1 - a^2)]}{3 R + Z_0 + Z_1 + Z_2} E_1 \dots (11) \end{aligned}$$

同様にして

$$\begin{aligned} V_c &= V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \\ &= -(Z_0 + 3 R) I_0 + a (E_1 - Z_1 I_1) - a^2 Z_2 I_2 \\ &= a E_1 - \frac{3 R + Z_0 + a Z_1 + a^2 Z_2}{3 R + Z_0 + Z_1 + Z_2} E_1 \\ &= \frac{a [(3 R + Z_0)(1 - a^2) + Z_2(1 - a^2)]}{3 R + Z_0 + Z_1 + Z_2} E_1 \dots (12) \end{aligned}$$

$$\left( \text{注意 } \frac{Z}{a^2} = aZ \quad \frac{Z}{a} = a^2 Z \quad \because Z = a^3 Z, Z^3 = 1 \right)$$

これが求むる  $V_b V_c$  の式である。

次にこゝに用いた  $Z_0 Z_1 Z_2$  の意義であるが問ひの如く變壓器一次側が閉路になつてをれば  $Z_0 = Z_i \quad Z_1 = Z_{01} + Z_i \quad Z_2 = Z_{02} + Z_i$  但し  $Z_i$  は變壓器一相のインピーダンス  $Z_{01} Z_{02}$  は發電機の正相及逆相

インピーダンスである。以上は解説的に説いた爲め複雑に亘りたる感がある。若し少しく計算に馴るれば次の如くして計算した方がよい。故障前 a, b, c. 端子より電源側に向つて見たる合成の特有インピーダンス, 換言すれば a, b, c. 端子に  $I_0, I_1, I_2$  の各電流を流す時, その各電流に対するインピーダンスを  $Z_0, Z_{t1}, Z_{t2}$  とすれば, その値は前述の解説によりても得たる如く次の如き値となる。

$$Z_0 = 3R + Z_t \quad Z_{t1} = Z_{q1} + Z_t \quad Z_{t2} = Z_{q2} + Z_t$$

故に(9)式は次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= -Z_0 I_0 \\ V_1 &= E_1 - Z_{t1} I_1 \\ V_2 &= -Z_{t2} I_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

此の(9)式を三相回路の対称座標法に於ける基本式と呼んでゐる。此の基本式に(1)及(2)の条件より得たる

$$\begin{aligned} I_0 &= I_1 = I_2 \\ V_a &= V_0 + V_1 + V_2 = 0 \end{aligned}$$

を入れるれば直ちに

$$\begin{aligned} I_0 = I_1 = I_2 &= \frac{E_1}{Z_{t0} + Z_{t1} + Z_{t2}} \\ \therefore I_a &= \frac{3E_1}{Z_{t0} + Z_{t1} + Z_{t2}} \dots\dots\dots(10') \end{aligned}$$

又  $V_b$  及  $V_c$  は

$$\begin{aligned} V_b &= V_0 + a^2 V_1 + a V_2 \\ &= \frac{(a^2 - 1)Z_0 + (a^2 - a)Z_{t2}}{Z_{t0} + Z_{t1} + Z_{t2}} E_1 \dots\dots\dots(11') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \\ &= \frac{(a - 1)Z_0 + (a - a^2)Z_{t2}}{Z_{t0} + Z_{t1} + Z_{t2}} E_1 \dots\dots\dots(12') \end{aligned}$$

を得るものである。

次に上に述べた計算式に於いて, 變壓器のインピーダンスを無視すれば求むる  $I_a, V_b, V_c$  は次の如くなる。

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{3E_1}{3R + Z_{q1} + Z_{q2}} \\ V_b &= \frac{a^2[3R(1-a) + Z_{q2}(1-a^2)]}{3R + Z_{q1} + Z_{q2}} E_1 \\ V_c &= \frac{a[3R(1-a^2) + Z_{q1}(1-a)]}{3R + Z_{q1} + Z_{q2}} E_1 \end{aligned}$$

尙檢算の爲め  $Z_{q1}, Z_{q2}$  を 0 とおけば

$$\begin{aligned} V_b &= \frac{a^2[(Z_t + 3R)(1-a) + Z(1-a^2)]}{3(R+Z)} E_1 \\ &= \frac{a^2[3R(1-a) + 3Z_t]}{3(R+Z_t)} E_1 \\ &= \left(a^2 - \frac{R}{R+Z_t}\right) E_1 \end{aligned}$$

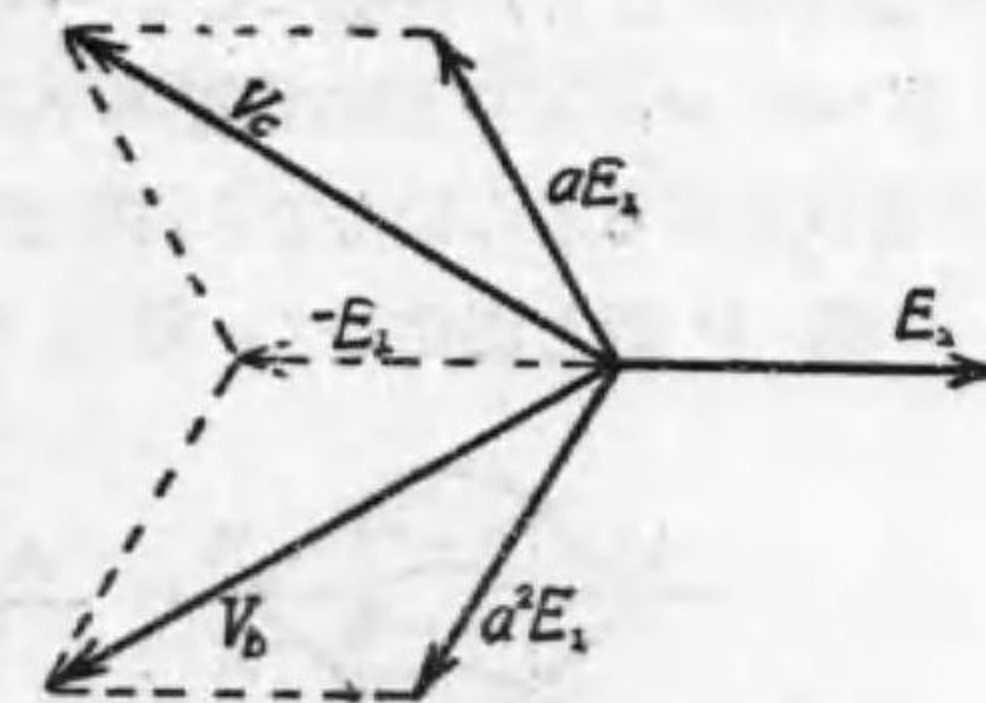
同様にして

$$V_c = \left(a - \frac{R}{R+Z_t}\right) E_1$$

尙これに  $Z_t = 0$  とおけば

$$\begin{aligned} V_b &= (a^2 - 1) E_1 \\ V_c &= (a - 1) E_1 \end{aligned}$$

となりこれをベクトルにて畫けば第2圖の如くその絶対値は相電壓の $\sqrt{3}$ 倍即ち線間電壓になることが判る。

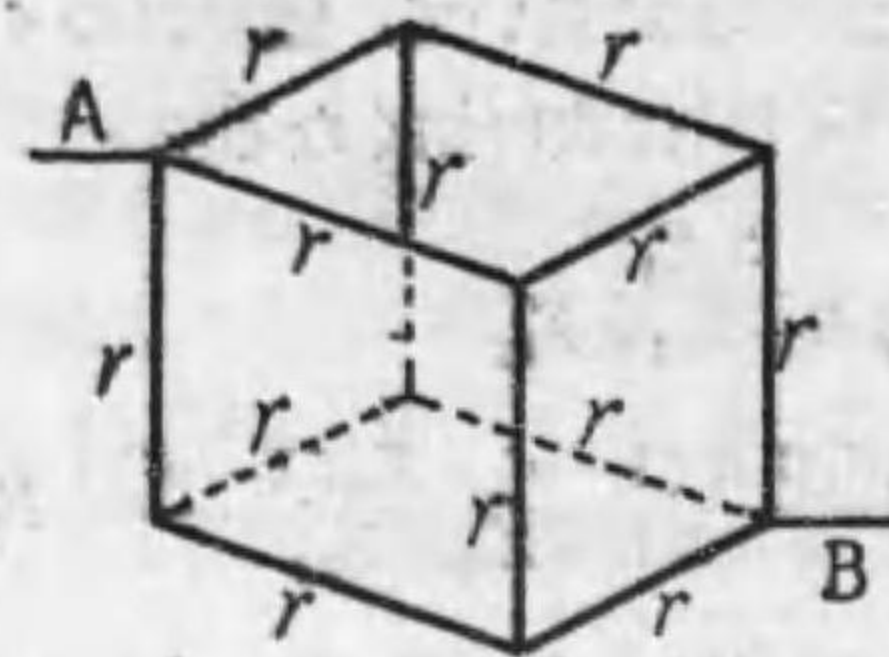


第 2 圖

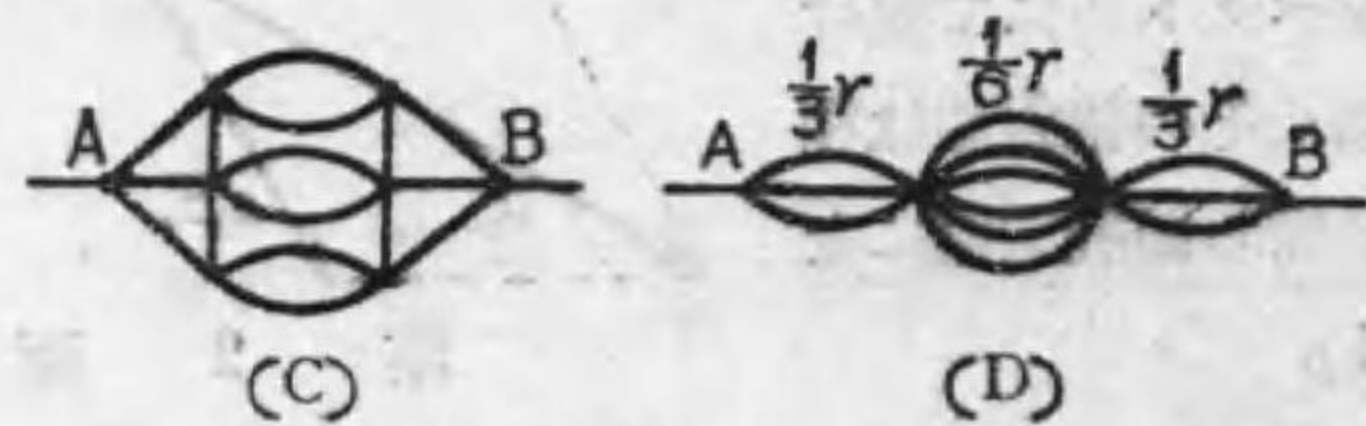
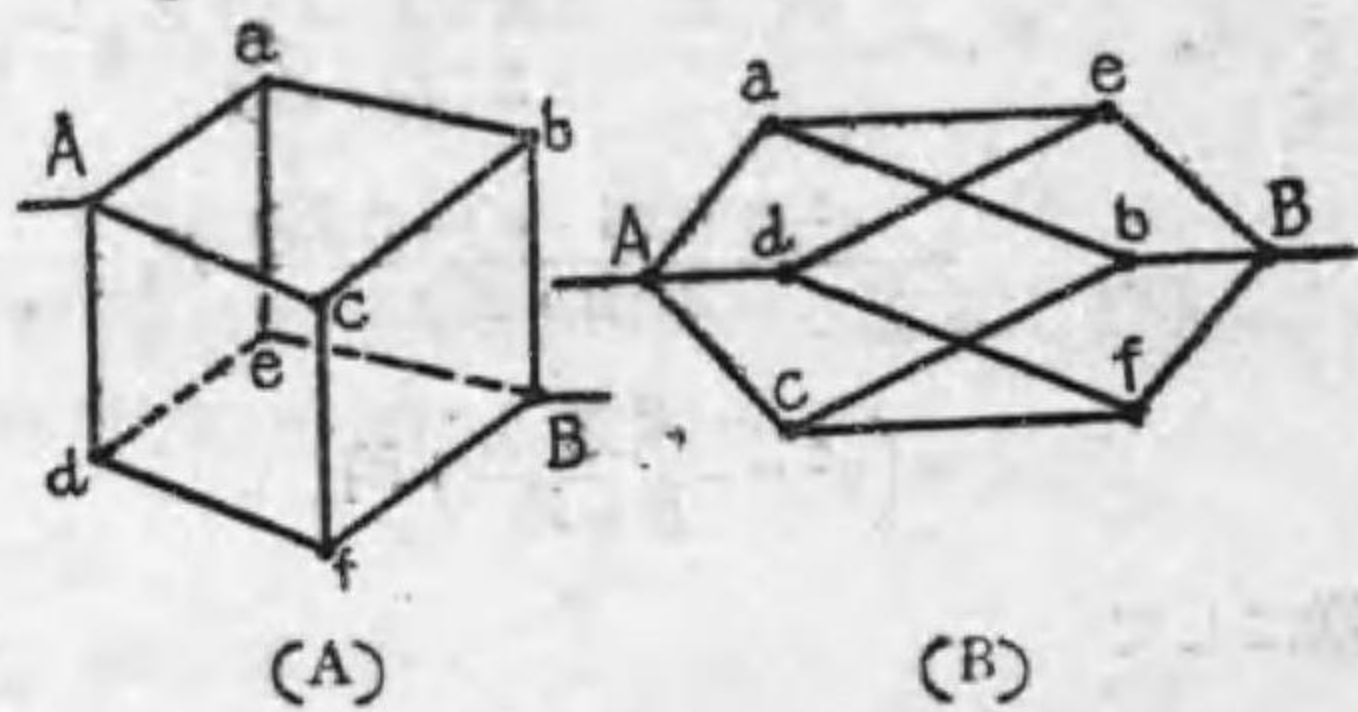
### 合成抵抗の求め方

【問 1】 圖の如き立方體の各邊の抵抗が  $r$  なる時 AB 間の合成抵抗  $R$  の値を求む。





【解】 このやうな問題では普通の方法で解いては中々面倒である。各邊の抵抗が凡て等しいといふ所がつけ目である。A圖の様に符號をつけておいてこれを押しつぶしたものを畫けばB圖のようになる。かくの如くなればAからa, d, cに至る電流は凡て相等しく、又a, d, cからe, b, fに至る6本の抵抗は凡て等しいから又電流相等しく、同様にしてe, b, fよりBに至る電流も相等しい。従つてae, db, cf間の電壓降下は等しい。故にa, d, c及e, b, fは同電位であるから結んでも何等差支へない。かくの如く判明すればC圖, D圖と變化して、結局D圖より合成抵抗Rは

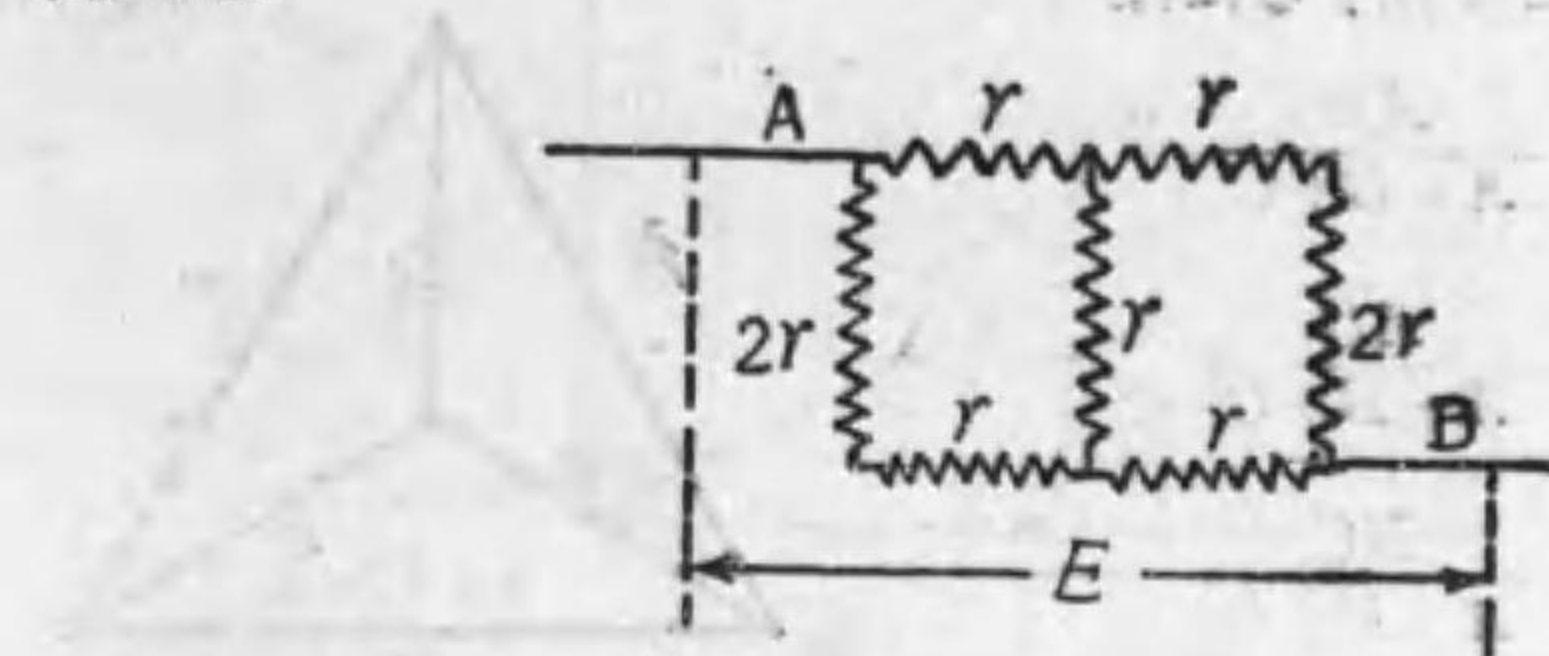


$$R = \frac{2}{3}r + \frac{1}{6}r = \frac{5}{6}r$$

となる。

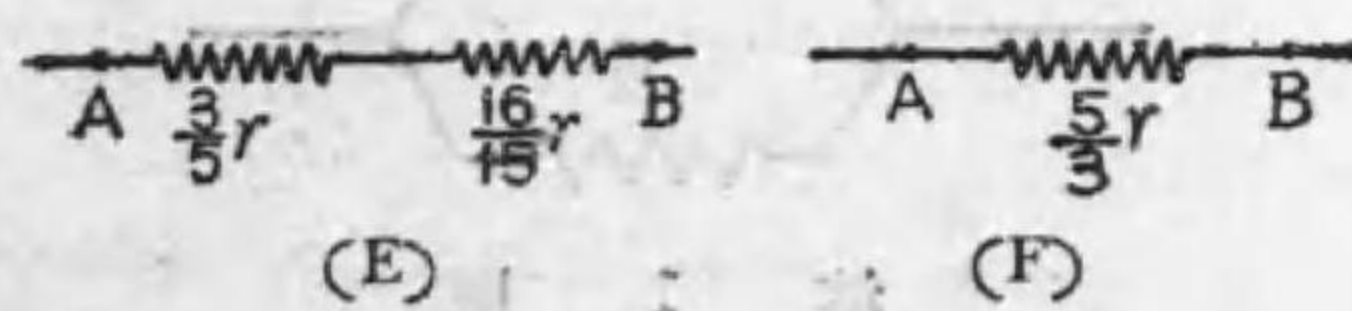
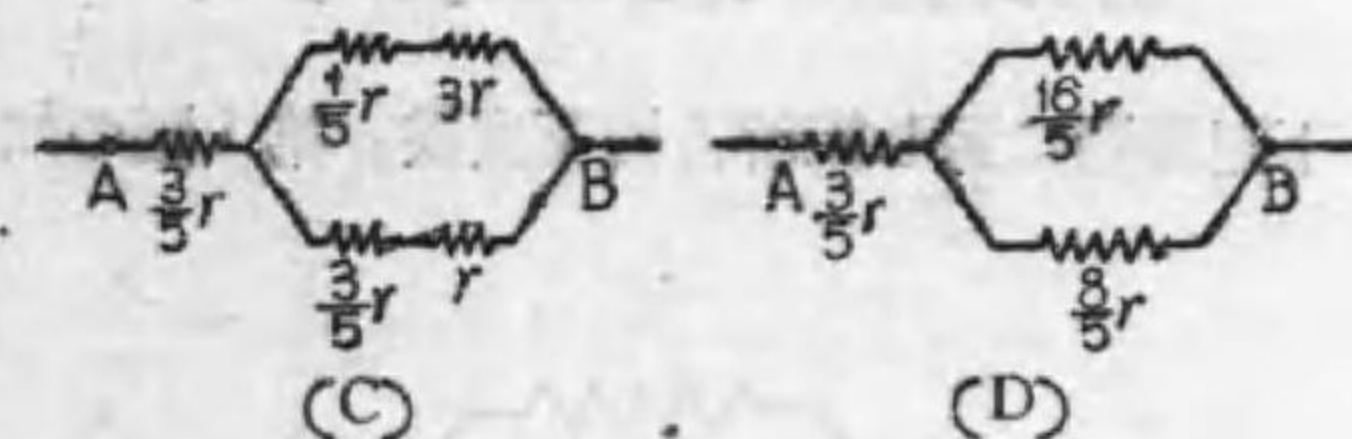
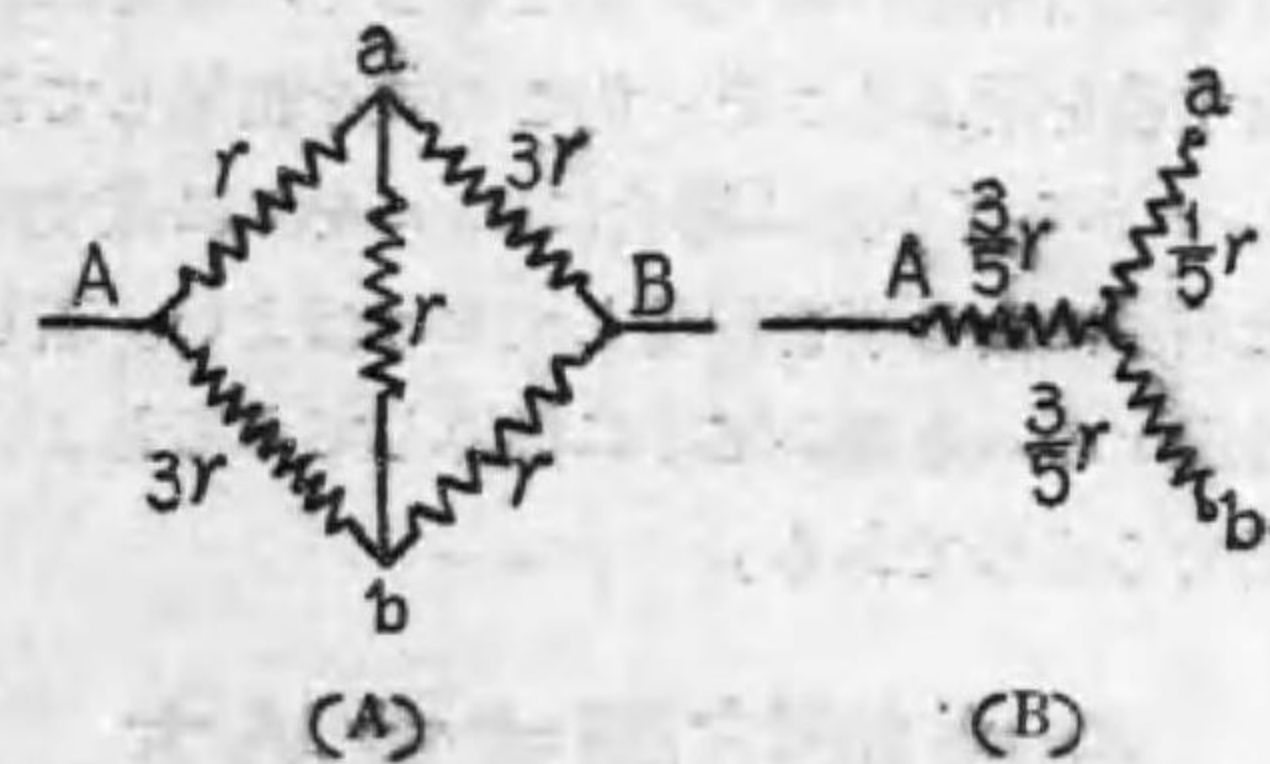
【問 2】 AB 間に圖の如く抵抗が接続されてゐる場合の合成抵抗如何。

抗如何。



【解】 與へられた網状回路は所謂ホキートストンブリッジである。この様な回路の合成抵抗も普通の方法より△Y換算法を用いた方が遙に簡單である。(A)圖のAabなる三角形の抵抗をYに換算すれば(B)圖のようになる。(註参照)

かうなればabの先きに3r及rを直列に結べばよい。それから後は極めて簡單でC, D, E, F圖の様になり、結局 $\frac{5}{3}r$ となる。

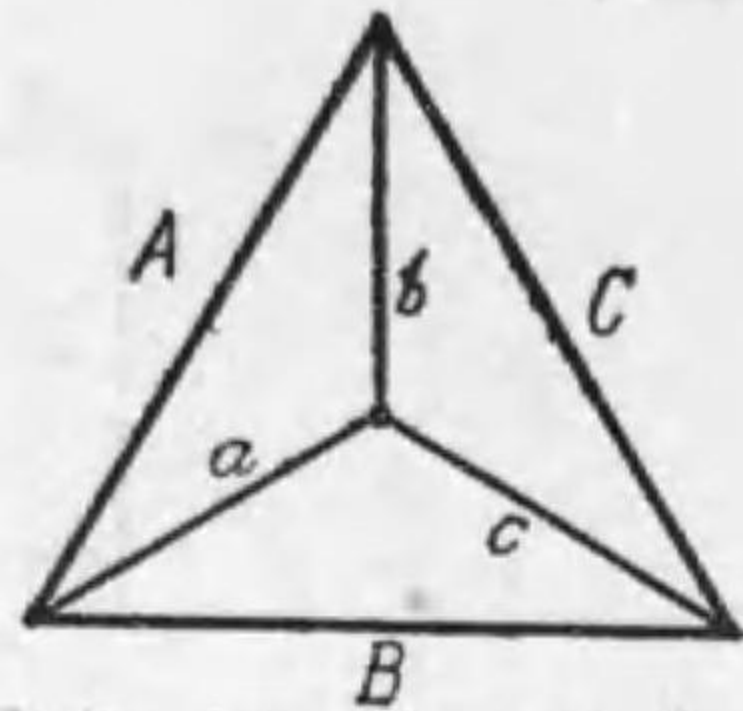


(註)  $\Delta$ を $Y$ に換算するには

$$a = \frac{AB}{A+B+C}$$

$$b = \frac{AC}{A+B+C}$$

$$c = \frac{BC}{A+B+C}$$



即三角形の各邊の抵抗の和を分母とし、求めんとする一邊をさしはさむ各邊の積を分子とすればよい。逆に $Y$ を $\Delta$ に換算するには

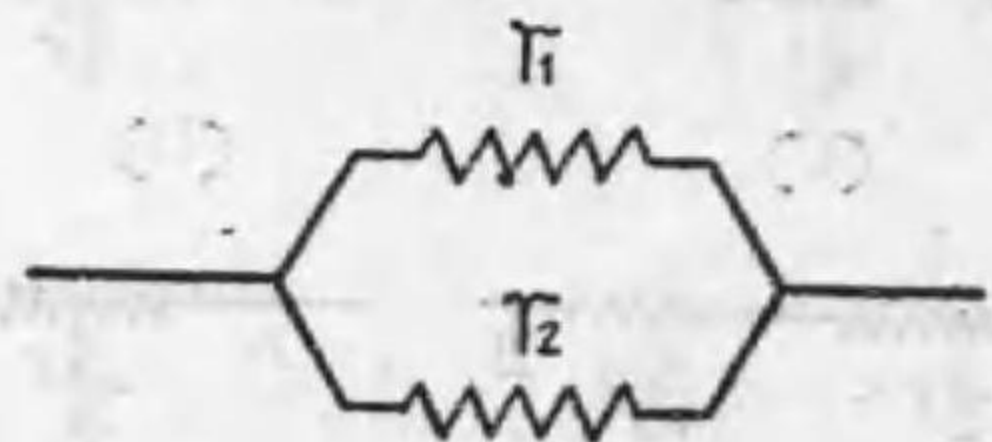
$$A = \frac{ab+bc+ca}{c} \quad B = \frac{ab+bc+ca}{b}$$

$$C = \frac{ab+bc+ca}{a}$$

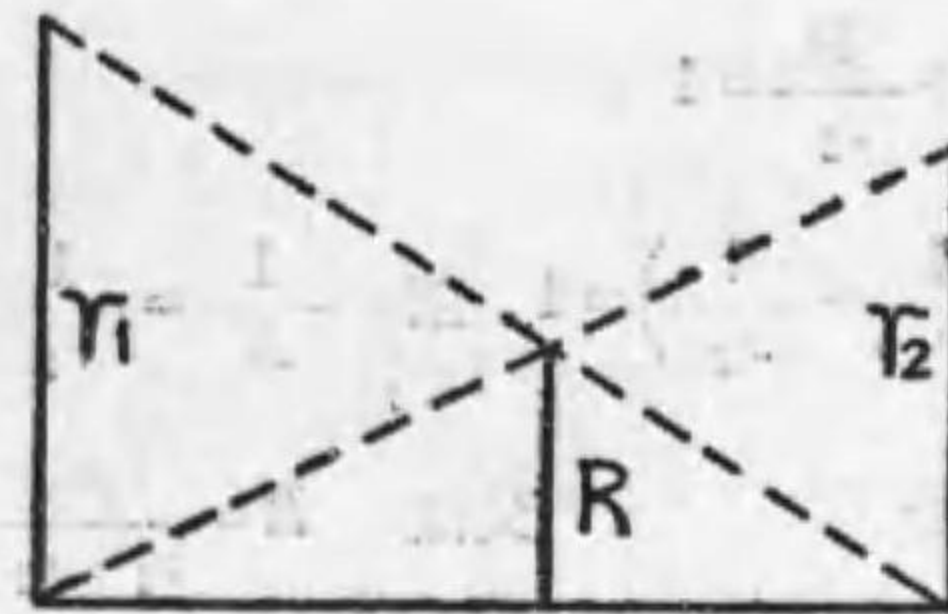
即分子は各邊の相乗積の和で、凡て等しく、分母は求めんとする邊に直角をなす邊を用ふること。尙この式を記憶してゐてもどちらが $Y$ から $\Delta$ か、 $\Delta$ から $Y$ か迷ふ場合には、 $\Delta$ を $Y$ に直す時各邊の抵抗が等しい時は $\frac{1}{3}$ になる事を記憶しておけばよい。若し又これを忘れたならば各邊 $r$ の $\Delta$ を書いて $Y$ に換算してみるとよい。これならば大抵思ひ出せるものである。

### 合成抵抗圖式求め方

【問】 下記問題に對し御解答被下度候。第1圖の如く  $r_1, r_2$  な



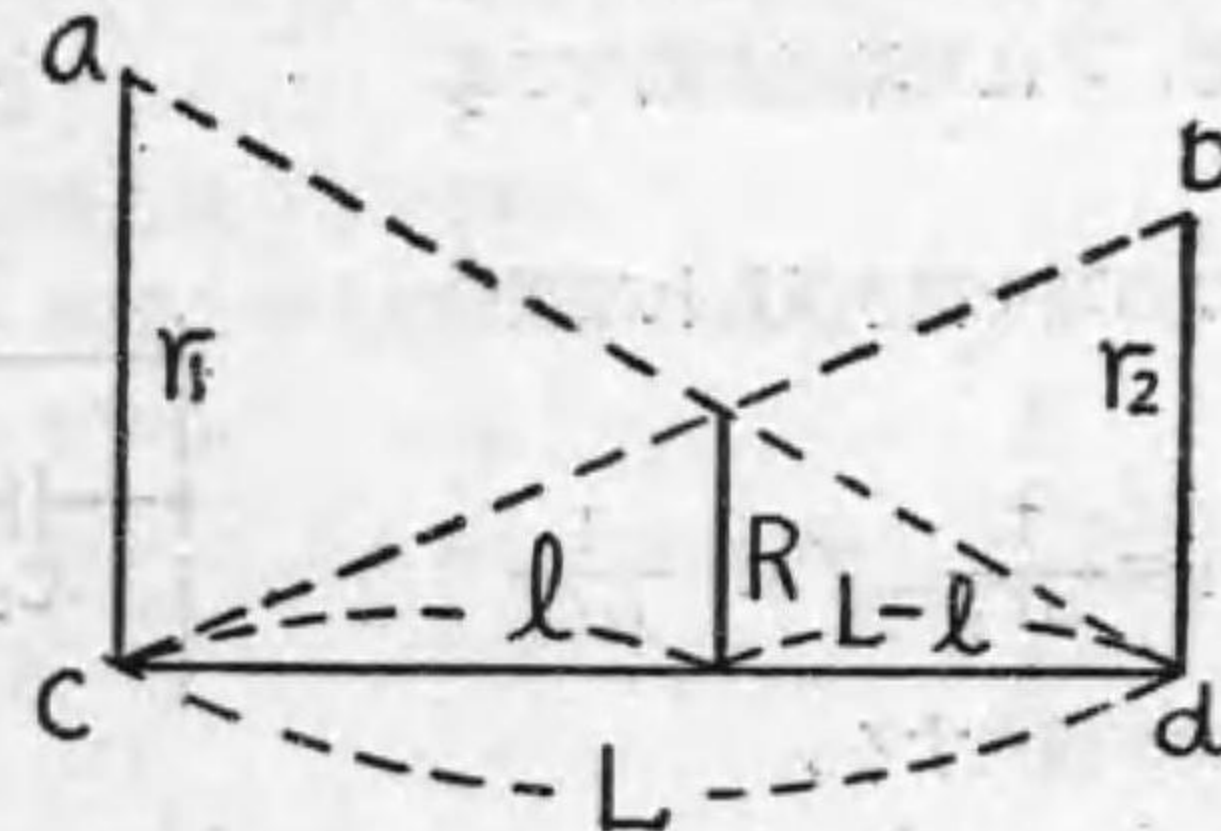
第 1 圖



第 2 圖

る並列電路の合成抵抗は、第2圖の如く  $r_1, r_2$  に比例せる長さを水平線上に立て、各頂點を基點と結ぶ線の交點を得れば水平線より交點迄の距離は合成抵抗に比例することを證明せよ。

【解】 第3圖に示す如く水平線上の各の長さを定むれば、 $\Delta acd, \Delta bdc$  に於て各次の比例式が成立する。



第 3 圖

$$R:r_1 = (L-l):L \dots\dots\dots(1)$$

$$R:r_2 = l:L \dots\dots\dots(2)$$

$$(1) \text{ 式より } \frac{R}{r_1} = \frac{L-l}{L} = 1 - \frac{l}{L} \dots\dots\dots(3)$$

$$(2) \text{ 式より } \frac{R}{r_2} = \frac{l}{L} \dots\dots\dots(4)$$

$$(3) \text{ 式に (4) 式を代入すれば } \frac{R}{r_1} = 1 - \frac{R}{r_2}$$

$$\frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} = 1$$

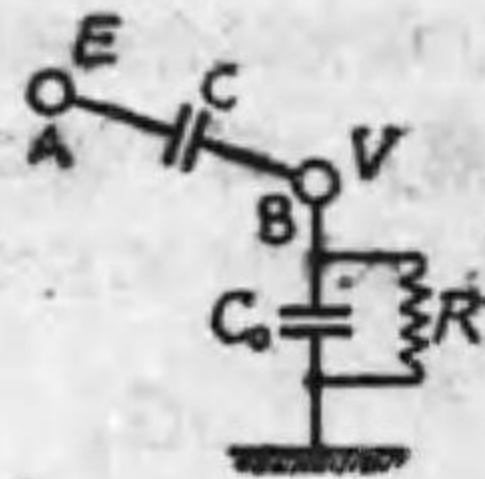
$$R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) = 1 \quad \text{即} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

$$\text{又は} \quad R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

依つて證明し得た。

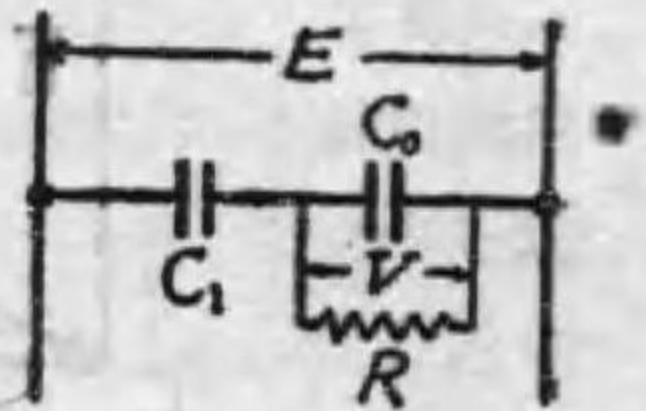
### 静電誘導電壓の計算

【問 1】 圖の如く A なる導體あり大地に對し E なる電位を有してゐる。B なる導體には幾 V の電壓を誘導するか。但し C は兩線間の相互容量、C<sub>0</sub> は B 線の對地容量、R は對地漏洩抵抗である。



【解】 問の圖を書き改むれば圖のようになる。

$$x_1 = \frac{1}{\omega C_1} \quad x_2 = \frac{1}{\omega C_0}$$



とすれば、次式が成立する。

$$\left(\frac{\dot{V}}{R} + j\frac{\dot{V}}{x_2}\right) \times (-jx_1) + \dot{V} = \dot{E} \quad \dots\dots\dots(1)$$

その理由は  $\frac{\dot{V}}{R} + j\frac{\dot{V}}{x_2}$  が流るる全電流である。これに  $-jx_1$  を乗じたものが C<sub>1</sub> なる蓄電器兩端の電壓である。これに V を加へたものが E でなければならぬ。(1) 式を變化して

$$\dot{V} \left( \frac{x_1}{x_2} - j\frac{x_1}{R} + 1 \right) = \dot{E}$$

$$V = \frac{E}{\sqrt{\left(1 + \frac{x_1}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2}}$$

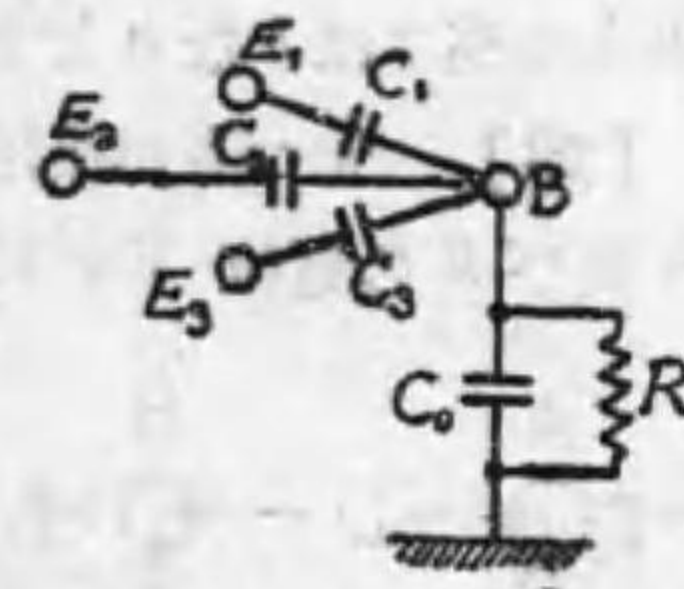
$$= \frac{E}{\sqrt{\left(1 + \frac{C_0}{C_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega C_1 R}\right)^2}}$$

$$= \frac{E}{\sqrt{\frac{(C_1 + C_0)^2}{C_1^2} + \frac{1}{(\omega C_1 R)^2}}}$$

$$= \frac{E}{\sqrt{\omega^2 R^2 (C_1 + C_0)^2 + 1}} \cdot \frac{\omega C_1 R}{\omega C_1 R}$$

$$= \frac{\omega C_1 R E}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 (C_1 + C_0)^2}}$$

【問 2】 E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> は三相關係を有するものにして、B に對する相互間の容量 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> なり。C<sub>0</sub> 及 R は問(1)と同様である。



B の静電誘導に依る電位如何。

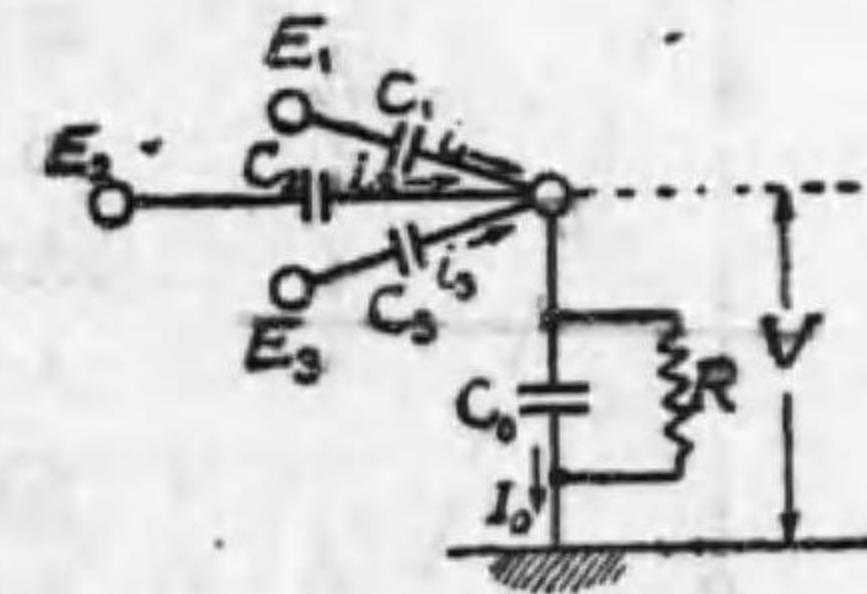
【解】 B 導體より大地に流る

る電流を I<sub>0</sub> とすれば

$$\left(\frac{\dot{V}}{R} + j\omega C_0 \dot{V}\right)$$

$$= \dot{I}_0$$

i<sub>1</sub>, i<sub>2</sub>, i<sub>3</sub> (複素數) を圖に示す如き電流とすれば



$$i_1 = j(\dot{E}_1 - \dot{V})\omega C_1 \quad i_2 = j(\dot{E}_2 - \dot{V})\omega C_2$$

$$i_3 = j(\dot{E}_3 - \dot{V})\omega C_3$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = \dot{I}_0$$

$$j\omega \{ \dot{E}_1 C_1 + \dot{E}_2 C_2 + \dot{E}_3 C_3 - \dot{V}(C_1 + C_2 + C_3) \}$$

$$= j\omega \dot{V} \left( C_0 + \frac{1}{j\omega R} \right)$$

$$\dot{E}_1 C_1 + \dot{E}_2 C_2 + \dot{E}_3 C_3 = \dot{V} \left( C_1 + C_2 + C_3 + C_0 - j \frac{1}{\omega R} \right)$$

$$\therefore \dot{V} = \frac{\dot{E}_1 C_1 + \dot{E}_2 C_2 + \dot{E}_3 C_3}{C_1 + C_2 + C_3 + C_0 - j \frac{1}{\omega R}}$$

### 静電容量の計算

【問】 AB 二線が平行に架線された送電線あり、今 B 線が故障の爲め、接地したりと言ふ。A 線の静電容量を求む。但し AB 線間距離は  $D$ 、地表上の高さは  $h$  なりとす。

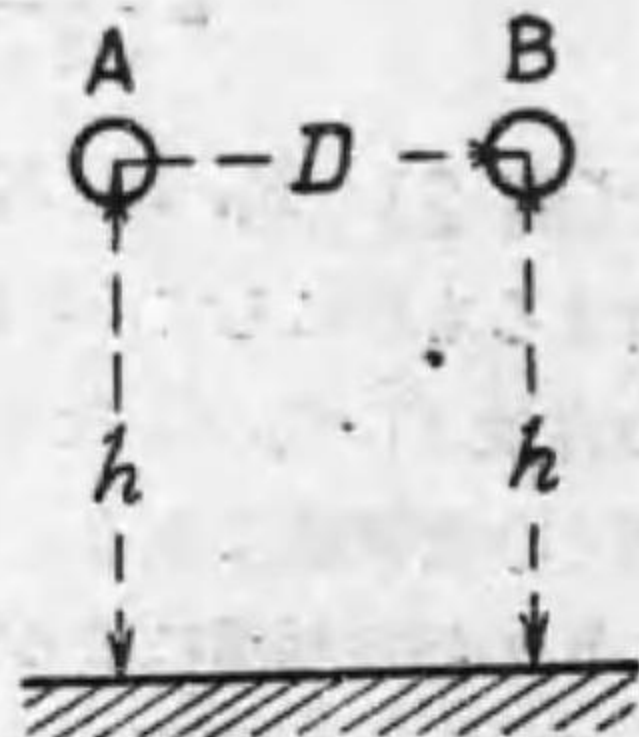
【解】 先づ B が接地されない場合の A 及び B の電位  $V_1, V_2$  と各の電量  $q_1, q_2$  の関係式を



第 2 圖

$$v_1'' = 2 q_2 \log \frac{F}{D}$$

との和である。但し  $r$  は導線の半径にして  $D$  及び  $h$  に比して極め



第 1 圖

求め、次に B の電位  $V_2$  を零とした場合の A の電位  $V_1$  と  $q_1$  との式より容量を求むればよい。第 2 圖に於て  $A', B'$  を A 及 B の影像 (image) とすれば、A の電位  $V_1$  は A,  $A'$  の電量の爲めに A に生ずる電位  $v_1'$

$$v_1' = 2 q_1 \log \frac{2h}{r}$$

と B 及び  $B'$  の電量の爲めに A に生ずる電位  $v_1''$

て小なるものとし、 $F = \sqrt{4h^2 + D^2}$  である。故に A の全体の電位  $V_1 = v_1' + v_1''$  は

$$V_1 = 2 q_1 \log \frac{2h}{r} + 2 q_2 \log \frac{F}{D}$$

同様にして B の電位  $V_2$  は

$$V_2 = 2 q_2 \log \frac{2h}{r} + 2 q_1 \log \frac{F}{D}$$

$V_1, V_2$  の兩式より  $q_1$  の式を求むれば

$$q_1 = \frac{V_1 2 \log \frac{2h}{r} - V_2 2 \log \frac{F}{D}}{\left( 2 \log \frac{2h}{r} \right)^2 - \left( 2 \log \frac{F}{D} \right)^2}$$

$$= \frac{V_1 \log \frac{2h}{r} - V_2 \log \frac{F}{D}}{2 \left[ \left( \log \frac{2h}{r} \right)^2 - \left( \log \frac{F}{D} \right)^2 \right]}$$

この式に  $V_2 = 0$  とおけば

$$q_1 = \frac{V_1 \log \frac{2h}{r}}{2 \left[ \left( \log \frac{2h}{r} \right)^2 - \left( \log \frac{F}{D} \right)^2 \right]}$$

従つて容量  $C$  は  $\frac{q}{V_1} = C$

$$\therefore C = \frac{\log \frac{2h}{r}}{2 \left[ \left( \log \frac{2h}{r} \right)^2 - \left( \log \frac{F}{D} \right)^2 \right]}$$

これが求むる  $C$  の値である。

## 波形率の計算

【問】 実効値一定なる場合に、尖頭波形の波形率が扁平波形のそれより大なる事を選試二種程度に御証明被下度候。

【解】 波形率とは実効値と平均値との比である。今最も簡単な波形の數種に就いて之れを求めれば次の如くである。

(1) 正弦波形  $i = I_m \sin \theta$

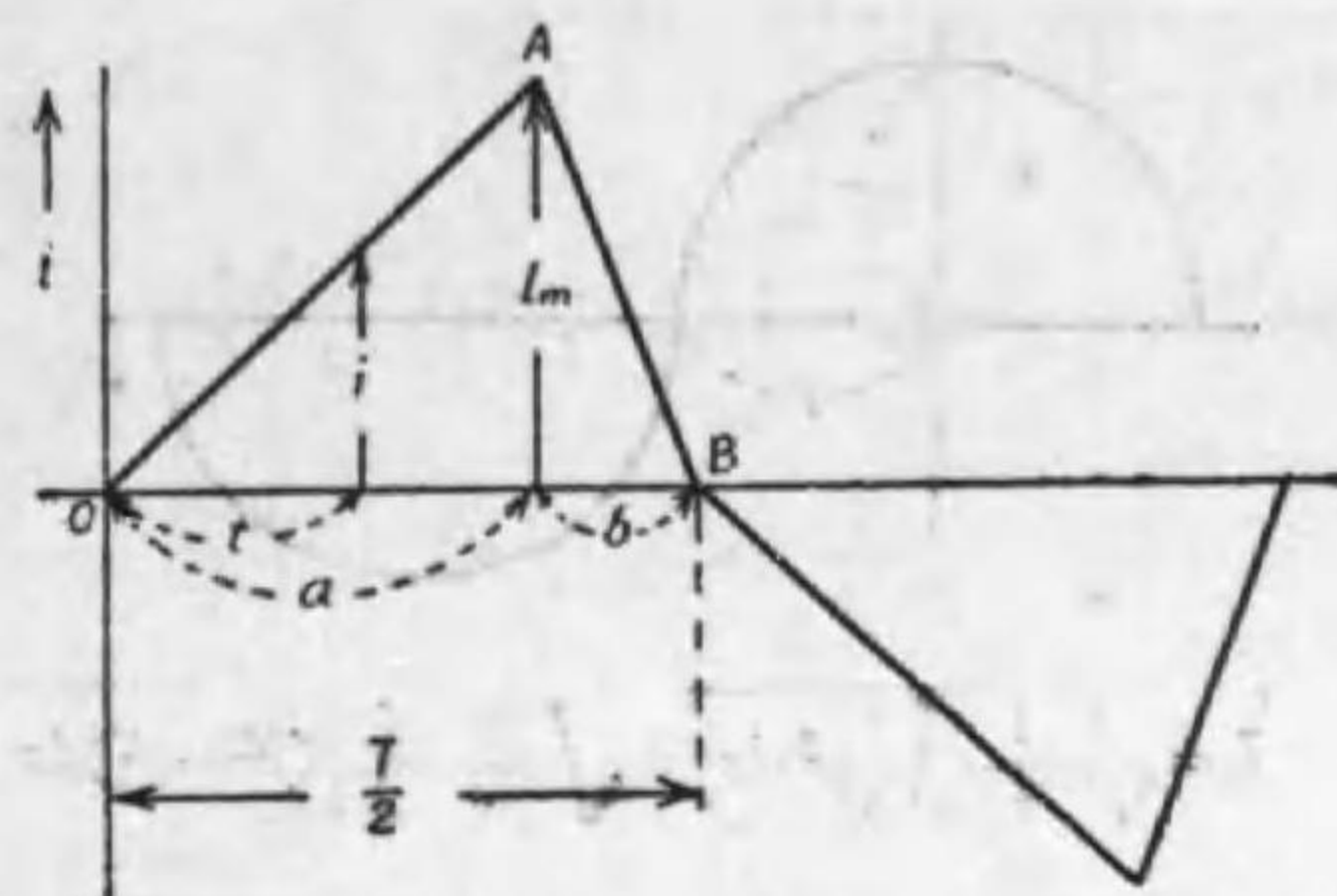
$$\begin{aligned} \text{実効値 } I_e &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d\theta} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \sin^2 \theta d\theta} \\ &= I_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (1 - \cos 2\theta) d\theta} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\int_0^{2\pi} d\theta - \int_0^{2\pi} \cos 2\theta d\theta} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{2\pi - \frac{1}{2} \sin 2\theta \Big|_0^{2\pi}} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{2\pi - 0} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{2\pi} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{平均値 } I_{av} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \theta d\theta \\ &= \frac{I_m}{\pi} \left[ -\cos \theta \right]_0^{\pi} = I_m \times \frac{2}{\pi} \end{aligned}$$

故に波形率は

$$\frac{I_e}{I_{av}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \times \frac{\pi}{2 I_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

(2) 三角波形 OA 間に於ては



$$\frac{i}{t} = \frac{I_m}{a}, \quad i = \frac{I_m}{a} t, \quad i^2 = \frac{I_m^2}{a^2} t^2$$

$$\int_0^a i^2 dt = \frac{I_m^2}{a^2} \int_0^a t^2 dt = \frac{I_m^2}{a^2} \left[ \frac{t^3}{3} \right]_0^a = \frac{I_m^2}{3} a$$

同様に AB 間に於ても

$$\int_a^{a+b} i^2 dt = \frac{I_m^2}{3} b$$

$$\therefore \int_0^{a+b} i^2 dt = \frac{1}{3} (a+b) I_m^2 = \frac{T}{2} \frac{I_m^2}{3}$$

$$\text{実効値 } I_e = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} i^2 dt} = \sqrt{\frac{2}{T} \frac{T}{2} \frac{I_m^2}{3}} = \frac{I_m}{\sqrt{3}}$$

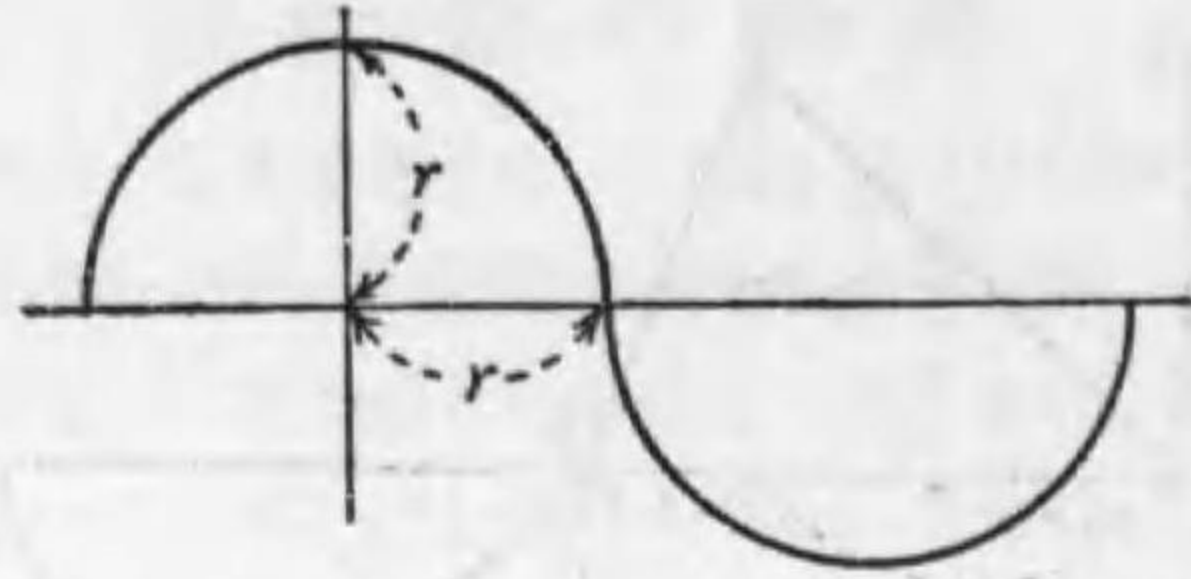
$$\text{平均値 } I_{av} = \frac{1}{2} I_m$$

故に波形率は

$$\frac{I_e}{I_{av}} = \frac{I_m}{\sqrt{3}} \frac{2}{I_m} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155$$

(3) 半圓波形 圓の方程式は

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad \therefore y^2 = r^2 - x^2$$



$$I_e = \sqrt{\frac{1}{r} \int_0^r y^2 dx} = \sqrt{\frac{1}{r} \int_0^r (r^2 - x^2) dx}$$

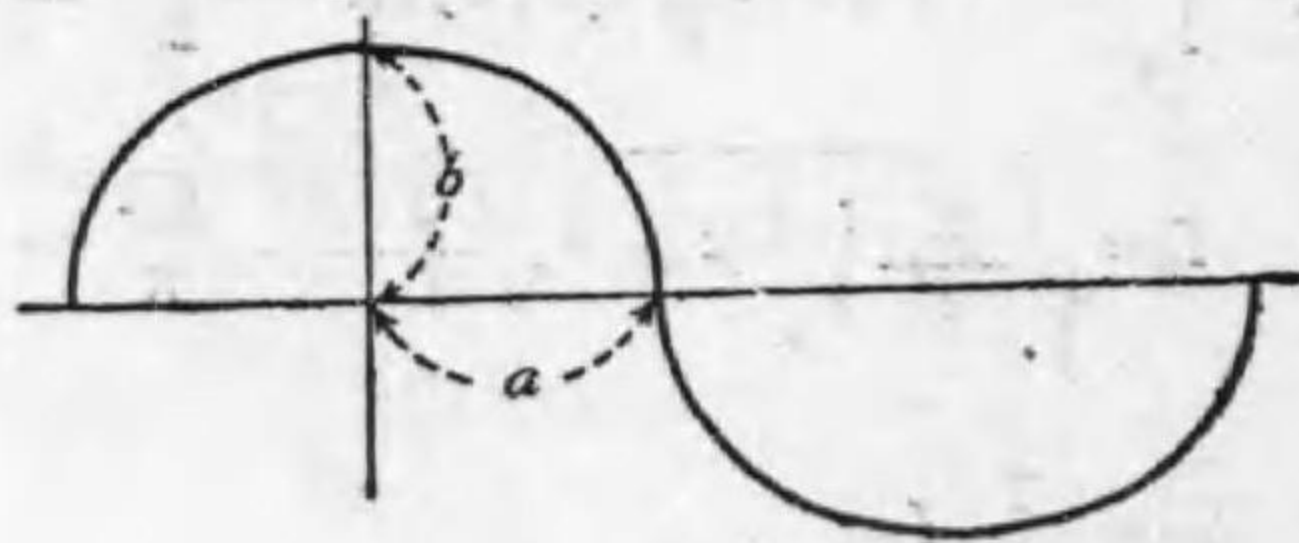
$$= \sqrt{\frac{1}{r} \left[ r^2 x - \frac{x^3}{3} \right]_0^r} = \sqrt{\frac{1}{r} \times \frac{2r^3}{3}}$$

$$= \sqrt{\frac{2}{3}} r = \sqrt{\frac{2}{3}} I_m$$

平均値  $I_{av} = \frac{1}{4} \times \pi r^2 + r = \frac{\pi}{4} r = \frac{\pi}{4} I_m$

∴ 波形率  $\frac{I_e}{I_{av}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{4}{\pi} = 1.04$

(4) 半橢圓波形 橢圓の方程式は



$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$a^2 y^2 = a^2 b^2 - b^2 x^2$$

∴  $y^2 = b^2 - \frac{b^2}{a^2} x^2 = \frac{b^2}{a^2} (a^2 - x^2)$

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{a} \int_0^a y^2 dx} = \sqrt{\frac{1}{a} \int_0^a \frac{b^2}{a^2} (a^2 - x^2) dx}$$

$$= \sqrt{\frac{b^2}{a^3} \left[ a^2 x - \frac{x^3}{3} \right]_0^a} = \sqrt{\frac{b^2}{a^3} \times \frac{2a^3}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}} b$$

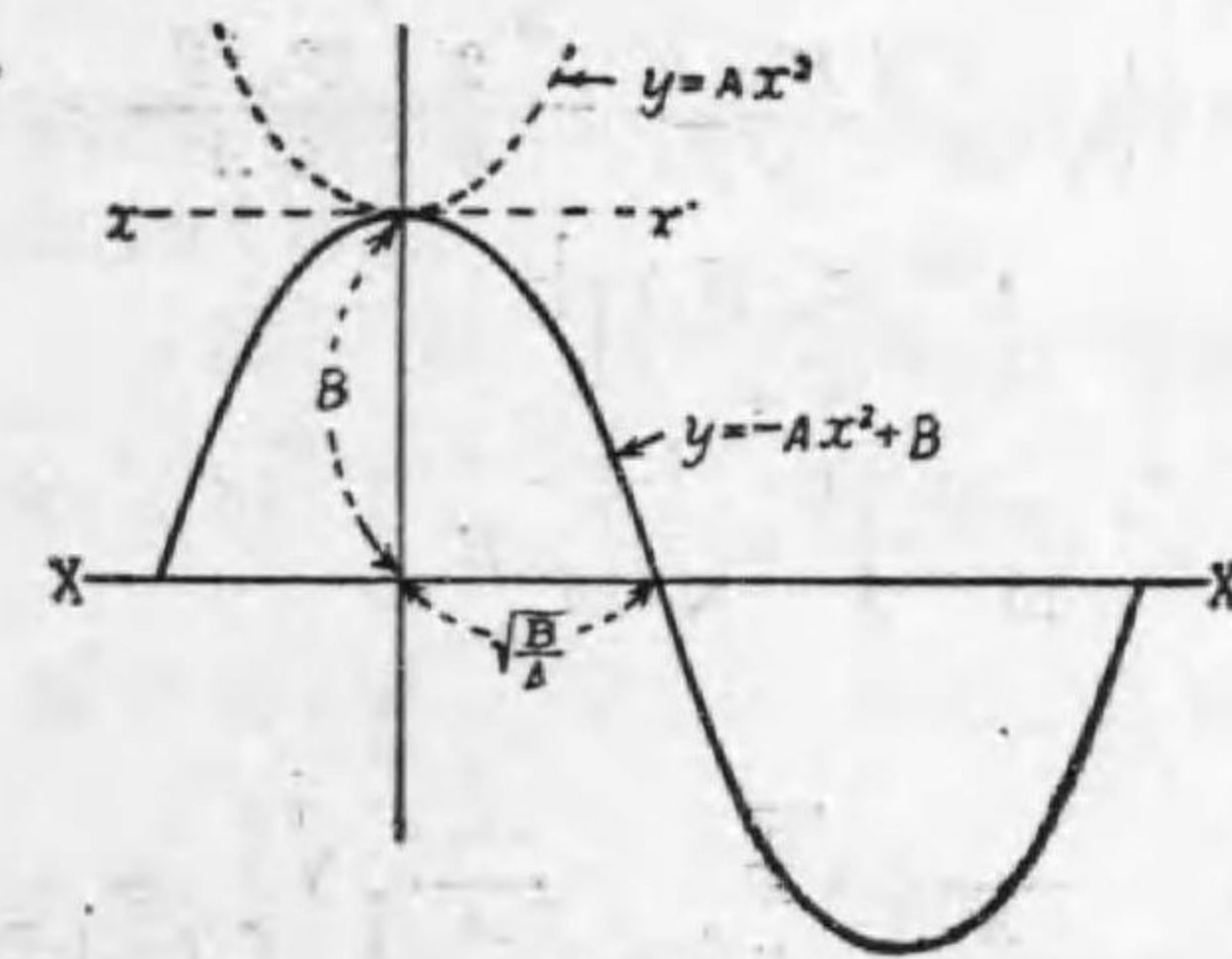
$$= \sqrt{\frac{2}{3}} I_m$$

平均値  $I_{av} = \frac{ab\pi}{4} \times \frac{1}{a} = \frac{\pi}{4} b = \frac{\pi}{4} I_m$

如何となれば、橢圓の面積は  $abr$ 、故にその  $\frac{1}{4}$  を求めこれを  $a$  に割れば平均値を得る。故に波形率は

$$\frac{I_e}{I_{av}} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_m \times \frac{4}{I_m \pi} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{4}{\pi} = 1.04$$

(5) 拋物線波形 拋物線の方程式は、 $xx'$



に對し點線の如きものは  $y = Ax^2$ 、實線の如く下方に向ふものは  $y = -Ax^2$ 、今原點を  $XX'$  に移動する時は、 $y = -Ax^2 + B = B - Ax^2$  を得。然して  $\frac{1}{4}$  周期に相當する  $XX'$  軸の長さは、上式に  $y=0$  とおいて

$$Ax^2 = B \quad \therefore x = \sqrt{\frac{B}{A}}$$

故に実効値  $I_e$  は

$$\begin{aligned}
 I_e &= \sqrt{\frac{A}{B} \int_0^{\sqrt{\frac{B}{A}}} y^2 dx} \\
 &= \sqrt{\frac{A}{B} \int_0^{\sqrt{\frac{B}{A}}} (B - Ax^2)^2 dx} \\
 &= \left[ \sqrt{\frac{A}{B} \int_0^{\sqrt{\frac{B}{A}}} (B^2 - 2ABx^2 + A^2x^4) dx} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[ \sqrt{\frac{A}{B} \left\{ B^2 \sqrt{\frac{B}{A}} - \frac{2}{3} AB \frac{B}{A} \sqrt{\frac{B}{A}} \right. \right.} \\
 &\quad \left. \left. + \frac{A^2}{5} \frac{B^2}{A^2} \sqrt{\frac{B}{A}} \right\}} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[ \sqrt{\frac{A}{B} \left\{ \frac{B^2 \sqrt{B}}{\sqrt{A}} - \frac{2}{3} \frac{B^2 \sqrt{B}}{\sqrt{A}} \right. \right.} \\
 &\quad \left. \left. + \frac{1}{5} \frac{B^2 \sqrt{B}}{\sqrt{A}} \right\}} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[ \frac{8}{15} B^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{8}{15}} B
 \end{aligned}$$

平均値  $I_{av}$  は

$$\begin{aligned}
 I_{av} &= \sqrt{\frac{A}{B} \int_0^{\sqrt{\frac{B}{A}}} y dx} = \sqrt{\frac{A}{B} \int_0^{\sqrt{\frac{B}{A}}} (B - Ax^2) dx} \\
 &= \sqrt{\frac{A}{B} \left[ B \sqrt{\frac{B}{A}} - \frac{A}{3} \frac{B}{A} \sqrt{\frac{B}{A}} \right]} \\
 &= \frac{2}{3} B
 \end{aligned}$$

故に波形率は

$$\frac{I_e}{I_{av}} = \sqrt{\frac{8}{15}} B \times \frac{3}{2B} = \frac{\sqrt{2 \times 3}}{\sqrt{5}} = \sqrt{\frac{6}{5}} = 1.095 \div 1.1$$

尖頭波形の尖頭度を示すものが波高率である。波高率は最大値と実効値との比である。次に今迄求めた5の波形に就き波高率を求めれば、

正弦波形  $I_m + \frac{1}{\sqrt{2}} I_m = 1.414$

三角波形  $I_m + \frac{1}{\sqrt{3}} I_m = 1.732$

半圓波形  $I_m + \sqrt{\frac{2}{3}} I_m = 1.225$

半橢圓波形  $I_m + \sqrt{\frac{2}{3}} I_m = 1.225$

拋物線波形  $I_m + \sqrt{\frac{8}{15}} I_m = 1.370$

矩形の波形率及波高率は明に1である。故に之を上記5の波形に加ふれば次の如き表を得る。

波 形	波高率	波形率
矩 形 	1.000	1.00
半 圓 	1.225	1.04
半 橢 圓 	1.225	1.04
拋 物 線 	1.370	1.10
正 弦 波 	1.414	1.11
三 角 	1.732	1.15

即ち波高率高く尖頭波形のもの程波形率大となる事を知る。

### 整流回路二つ

【問 1】  $C_1, C_2$  = 蓄電器

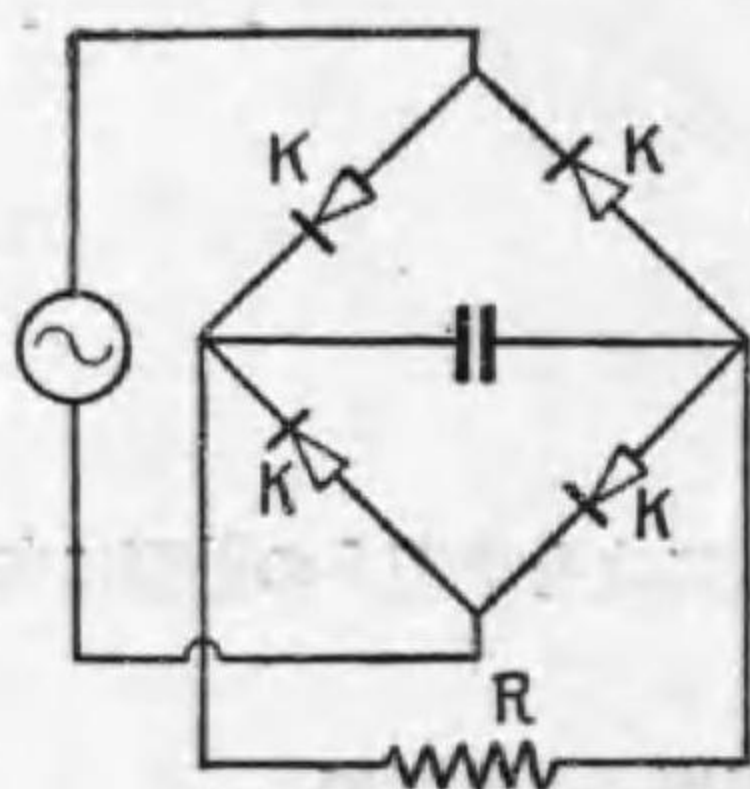
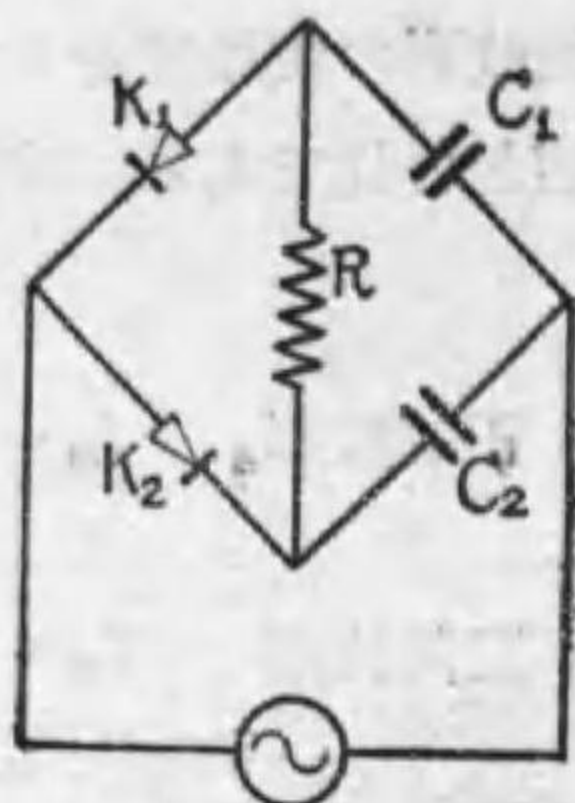
$K_1, K_2$  = 整流真空管

$R$  = 負荷抵抗

( $\sim$ ) = 交流電源

但し  $C_1, C_2$  は同一容量,  $K_1, K_2$  は同一物

(1) 圖の接続に依ると半波整流の場合に比し負荷に 2 倍の電圧が得らるる理由を電流の方向を示し御説明下さい。

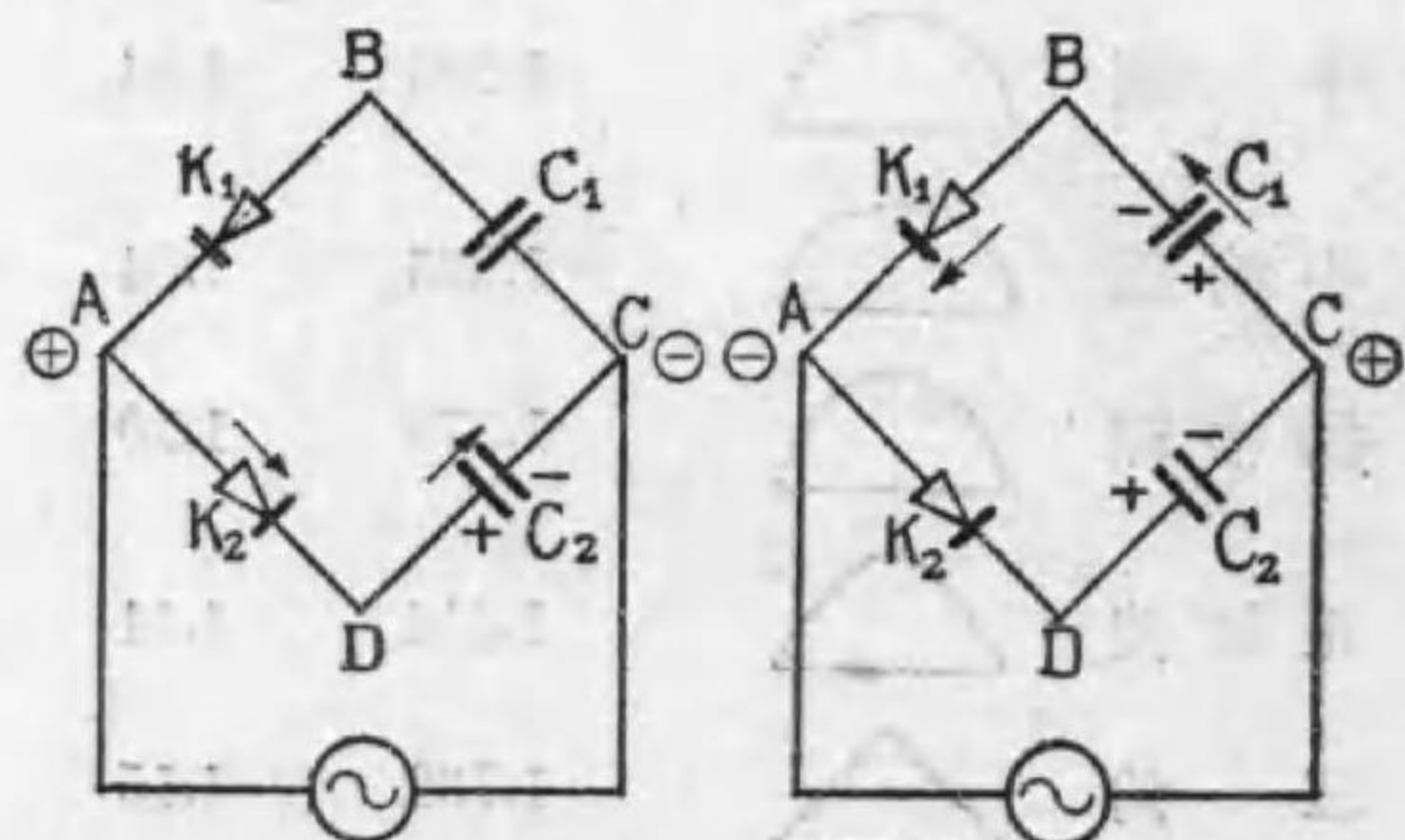


(2) 此の場合 2 倍の電圧を曲線にて示して下さい。

(3)  $C_1, C_2$  は如何なる役目をなすか, 平易に御教示下さい。

【問 2】 左圖の如き接続の場合に 2 倍の電圧 2 倍の出力が得らるる理由を御教示下さい。

【解 1】 説明を簡単にする爲めに, 負荷抵抗  $R$  を無限大とする。すると次の様に極めて簡単に証明をなし得る。



第 1 圖

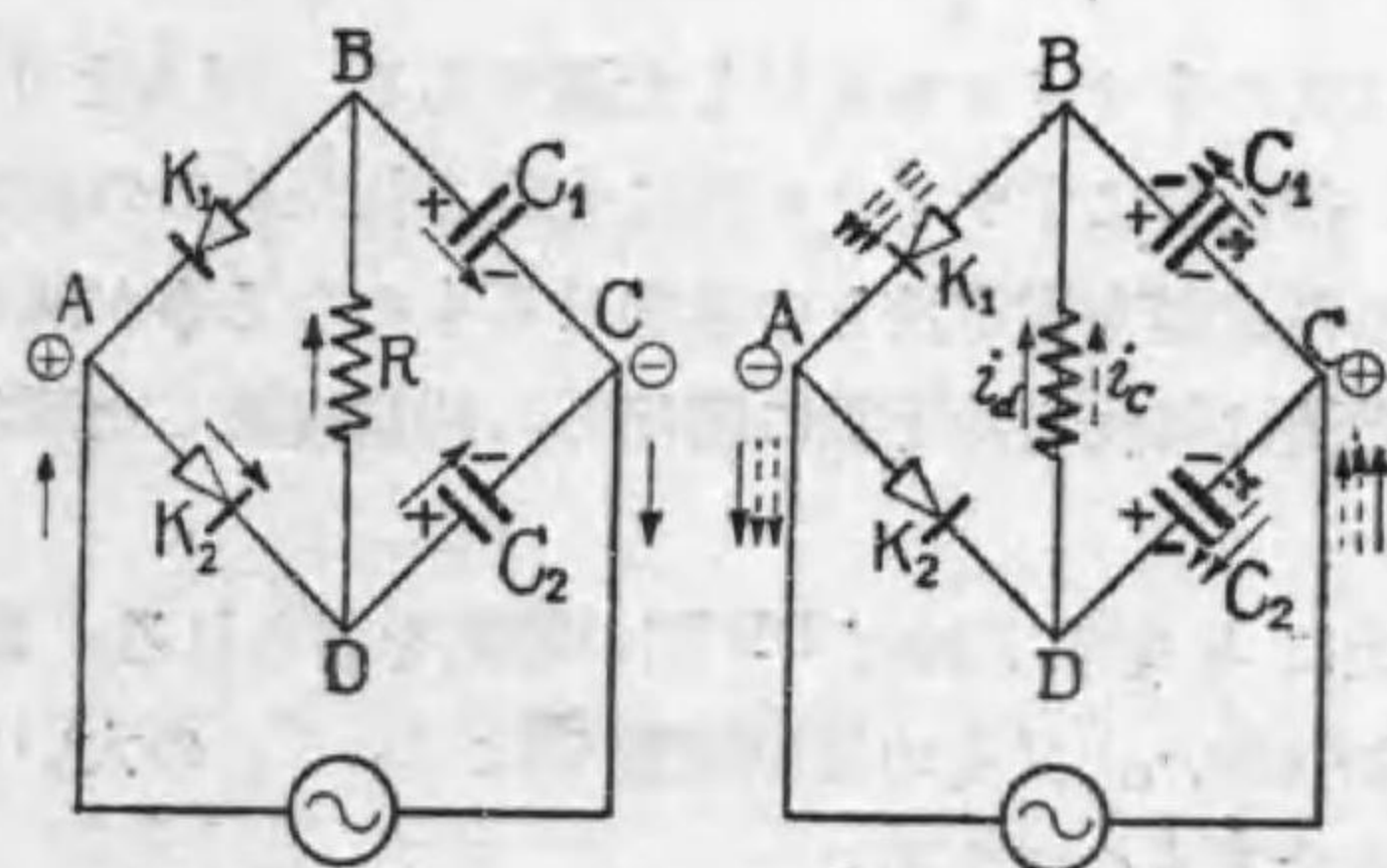
第 2 圖

第 1 圖に於て,  $K_1$  にあつては B より A に,  $K_2$  にあつては A より D に向ふような電流のみ通過しその反対は完全に流れ得ぬものとす。今 A 點が (+) C 點が (-) になつた場合を考えると, 電流は  $K_1$  の爲めに ABC の方向には絶対に流るる事能はず, ADC の方向のみに流れる。即ちこの場合は  $K_2$  を通じて蓄電器  $C_2$  を充電し, 蓄電器の絶縁完全なりとすれば, 交流電圧の最大値迄充電せられる。然も他に放電回路を有せざる故, いつ迄もその値を保有してゐる。換言すれば蓄電器の両端には  $V_m$  なる電位差を有し, D 點は C 點に對し  $V_m$  なる値丈け高電位にある。

次に第 2 圖の如く C 點が (+) A 點が (-) になりたる瞬時を考ふれば,  $K_2$  の爲めに CDA の方向には電流流るる能はず, CBA の方向のみに電流流れ  $C_1$  は充電される。前述の通り  $C_1$  にも  $V_m$  なる値迄充電され, その極性は圖示の如く C 點より B 點が負電位にある。故に DB 間は,  $2V_m$  の電位差を有するに至る。

以上は  $R$  を無限大とした。若し無限大でなく或る値を有するものとすればどうなるか。

第 3 圖は A が (+), C が (-) になつた瞬間であるが, A 點が漸次高電位になるに従ひ  $C_2$  はそれと同時に充電されてゆく。然るに  $C_1$  の方は抵抗がある爲めに時間の遅れを生ずる。(時定数は  $CR$  で

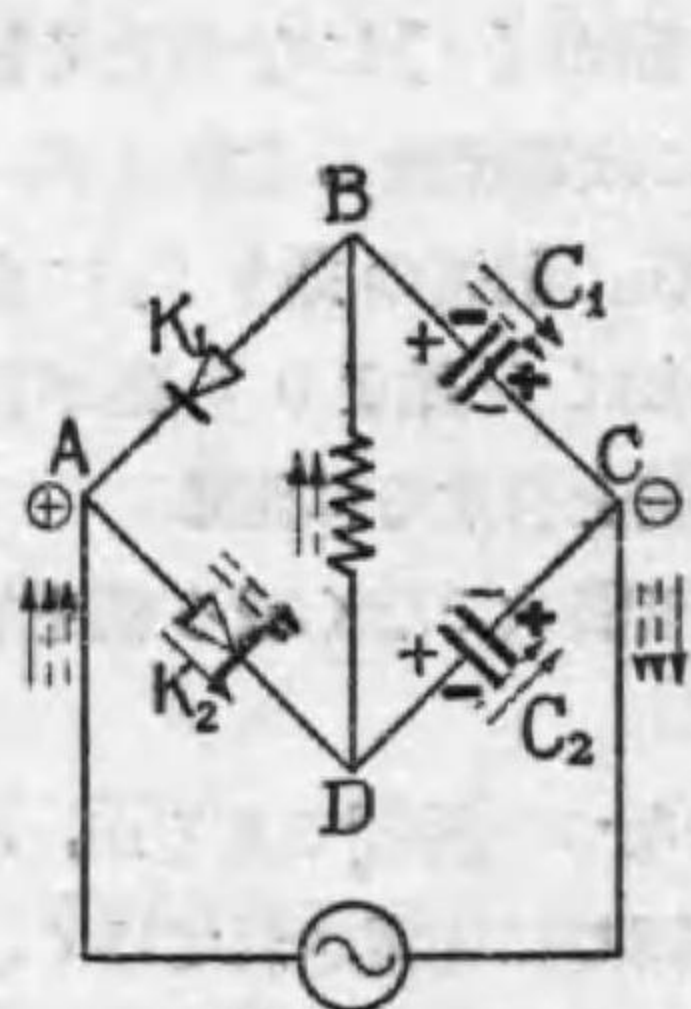


第 3 圖

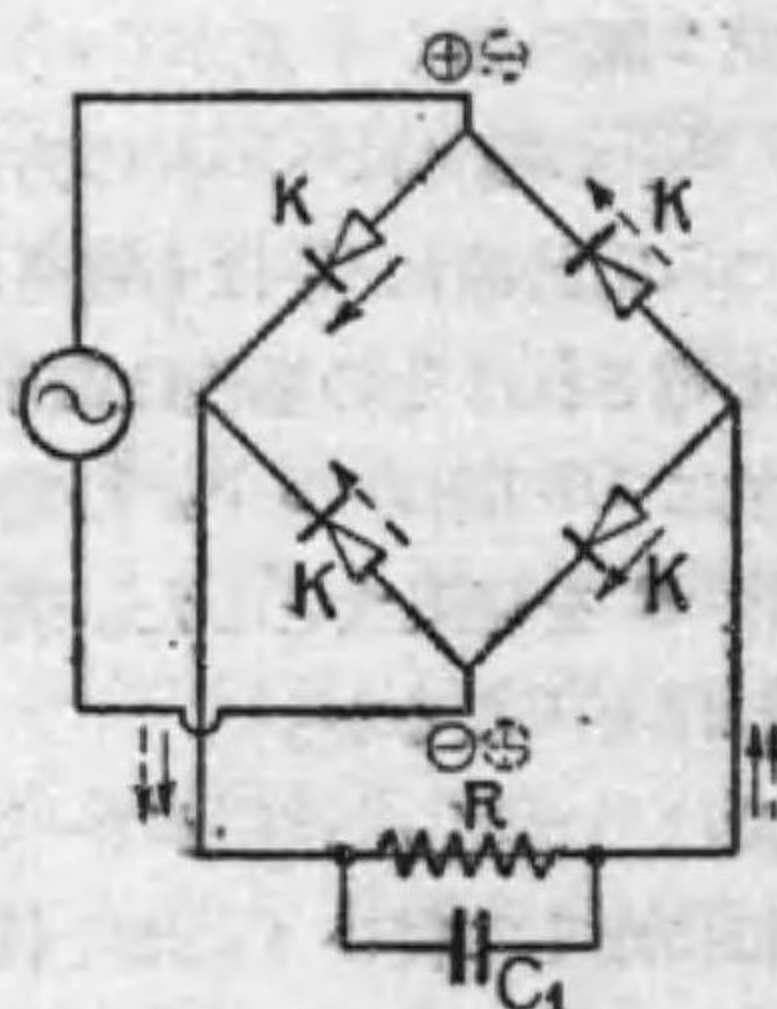
第 4 圖



ある) かくして電源電圧の最大値に達すれば、 $C_2$  の充電は終り  $C_1$  の充電は尙若干つづく。最大値より電圧下り初むれば  $C_2$  は  $RK_1$  を通じて漸次放電を初め、又  $C_1$  も  $K_1$  を通じて放電を初める。この際  $C_2$  の放電は時定数丈け時の遅れ (time lag) のあるのは明である。かくして遂に次の半サイクル即  $C$  が (+),  $A$  が (-) になれば充電電流は點線にて示したる方向に流れる。これにより  $C_1$  は逆に充電され、 $C_2$  も同様今迄と逆に充電される。然して  $C_2$  の充電に時の遅れのある事は前同様である。第 4 圖はこれを示したものである。



第 5 圖



第 6 圖

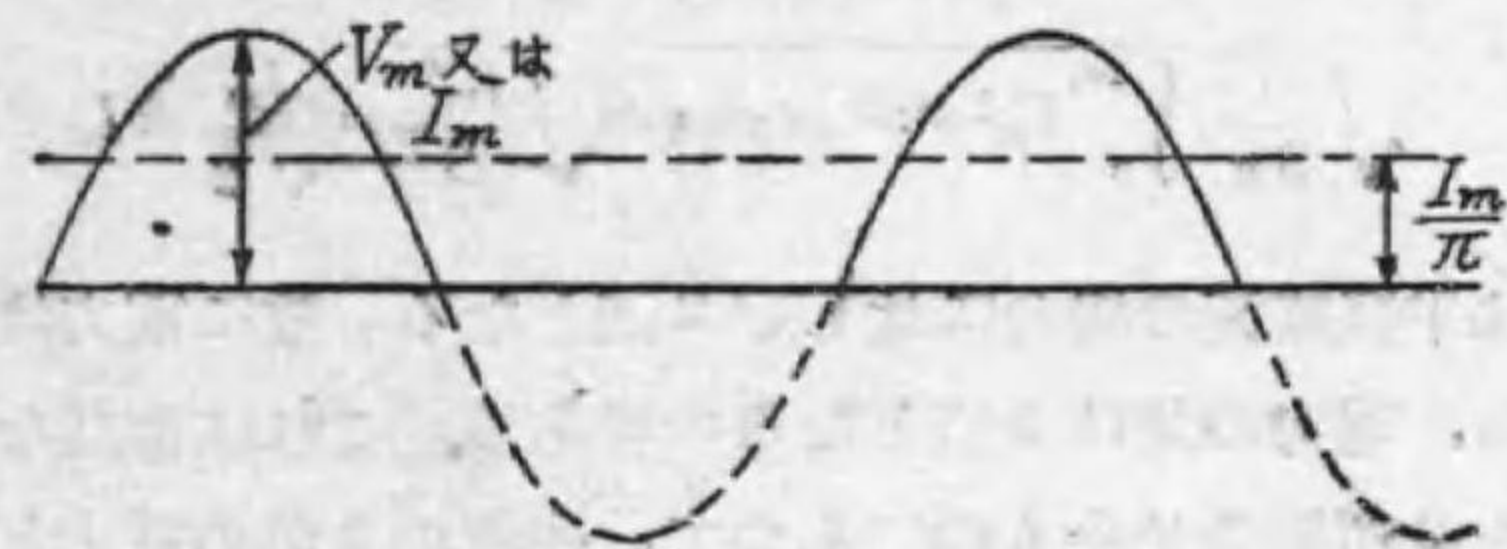
第 5 圖は次の半サイクルを示した圖である。以上より  $R$  を通ずる電流は、蓄電器に半サイクル内に充電されたものの放電電流と、電源に依る蓄電器充電電流との重疊せるものなる事が解る。然してこれ等の電流は何れも時定数に關係し、相當複雑した形となり圖には示し難い。

この電流に  $R$  を乗ずれば  $DB$  間の電壓を得られる。此の電壓は  $2V_m$  より小さい。又その電壓變動率は  $C_1, C_2$  の大きさに重大なる關係を有するものである。

以上により、問の (1), (2), (3) の圖れもが不完全乍ら説明され

たと思ひます。

【解 2】 第 6 圖は問 2 の圖を書き改めたもので、 $C_1$  は單に  $R$  の平滑用蓄電器 (smoothing condenser) であるに過ぎない。この場合の電流の方向は圖示の通りである。従つて  $R=$ 無限大即無負荷に於ては  $C_1$  なる蓄電器がある以上、半波整流でも兩波整流でも電壓値は同じで何れも交流電圧の最大値  $V_m$  に等しい。然し負荷が接続され電流が流れる場合には異なつて来る。負荷電流が流れた場合の考へには  $C_1$  がない方がよい。今  $C_1$  をないものとして考へる。第 7 圖は半波整流の電圧の波形を示したもので、これに抵抗負荷を結べば、電流の波形も亦これと同一になる。故にその最大値を  $I_m$



第 7 圖

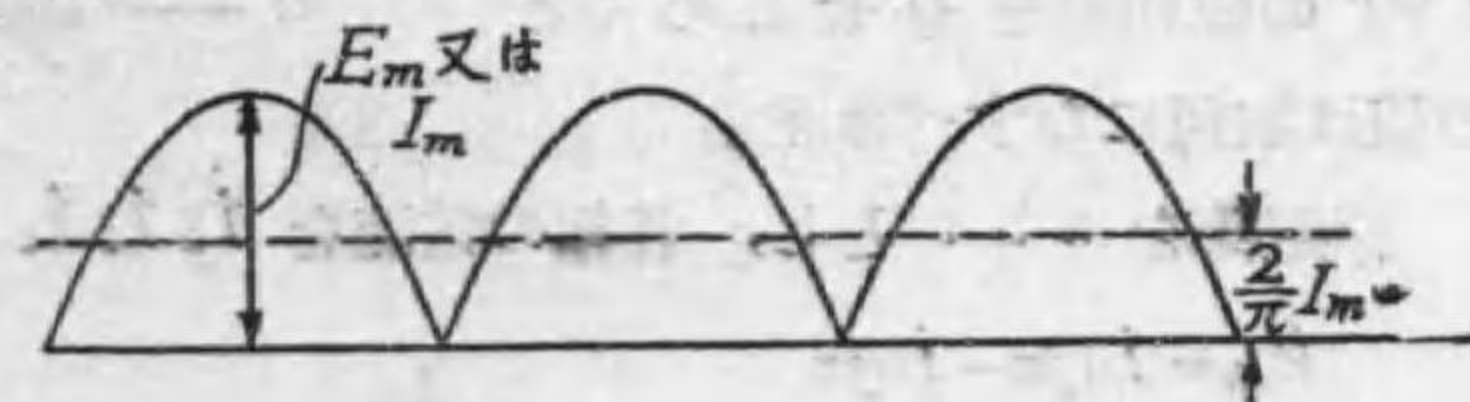
とすれば直流電流計に表はれる負荷直流電流は平均値であるから、

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t \, d\omega t = I_m \times \frac{2}{\pi} \times \frac{1}{2} = \frac{I_m}{\pi}$$

兩波整流の場合は、

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t \, d\omega t = I_m \times \frac{2}{\pi} = \frac{2I_m}{\pi}$$

従つて電流は 2 倍となり、この電流に  $R$  を乗じた電壓も又 2 倍と



第 8 圖

なる。(無論實際の場合は負荷電流は正弦波形ではない故に以上のやうな簡単な説明では不完全であるが、此處では先づ斯うしておく)但しこれは直流計器で測定した場合で、電壓降下等は凡て閉却した。只これから考ふれば電力は電壓2倍電流2倍で電力は4倍になる様に思はれる。然しこれは直流計器で測定するからで、電力の計算の場合は交流計器で測定すべきである。交流計器だと半波整流の場合の電流計の振れは

$$\sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{I_m^2}{4}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_c$$

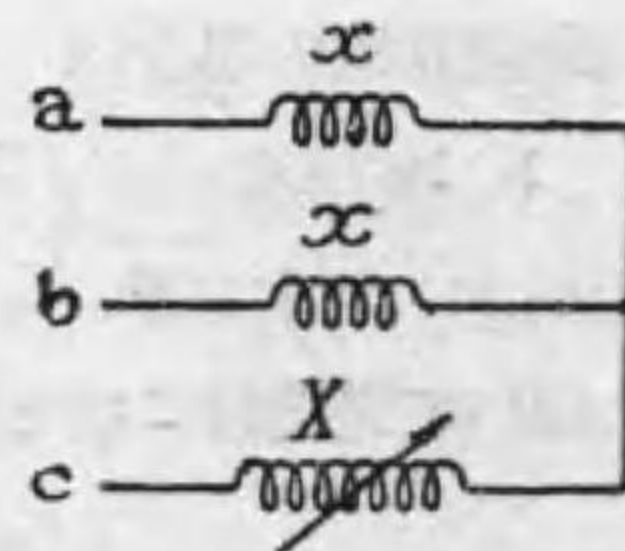
兩波整流の場合は

$$\sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = I_c$$

即電流は半波整流の場合に比し $\sqrt{2}$ 倍となる。故に電力は $I^2 R$ であるから、電力の比は2倍となるのである。これは當然な事で、半波整流を2個組合せたものであつて、半波の2倍の電力となるべきものだからである。 $C_1$ の作用は負荷電流の脈動を平滑にするためのものである。

### 三相不平衡回路の例

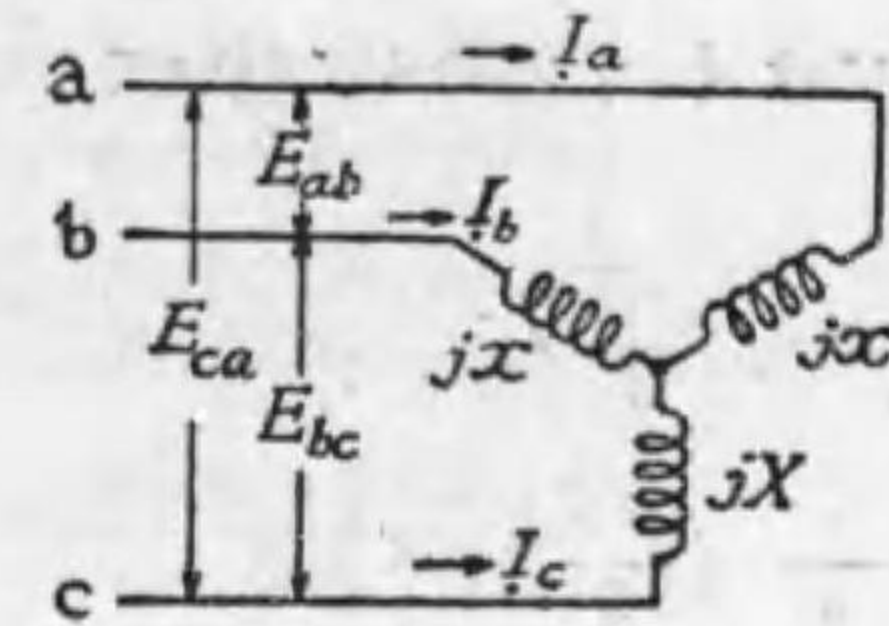
【問】 各 $x$ オームのリアクタンスと $X$ オームの可變リアクタンスを圖の如く接続し、之れに三相平衡電壓を加へたる場合、 $a$ 相と $b$ 相に流れる電流を等しくし、且 $90^\circ$ の位相差を有せしめんとす。 $X$ の値は如何になすべきや。



【解】 相廻轉を $a b c$ とし、各相の電流を $\dot{I}_a \dot{I}_b \dot{I}_c$ とすれば

$$\dot{E}_{ab} = \dot{I}_a jx - \dot{I}_b jx$$

$$\dot{E}_{bc} = \dot{I}_b jx - \dot{I}_c jX$$



$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$$

以上の三式より $\dot{I}_a \dot{I}_b \dot{I}_c$ を求めれば(註参照)

$$\begin{aligned} \dot{I}_a &= \frac{jX\dot{E}_{ab} - jx\dot{E}_{ca}}{jx \times jx + jx \times jX + jX \times jx} \\ &= \frac{\dot{E}_{ab} jX - \dot{E}_{ca} jx}{-x^2 - 2xX} \end{aligned}$$

同様にして

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{E}_{bc} jx - \dot{E}_{ab} jX}{-x^2 - 2xX}$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{E}_{ca} jx - \dot{E}_{bc} jx}{-x^2 - 2xX}$$

$$\text{次に } \dot{E}_{ab} = E \quad \dot{E}_{bc} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) E,$$

$$\dot{E}_{ca} = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) E$$

とし、之を前式の $\dot{I}_a \dot{I}_b$ に代入し、且與へられたる條件即 $\dot{I}_a$ と $\dot{I}_b$ の絶対値相等しく、且兩者間に $90^\circ$ の位相差を有せしむる事は $\frac{\dot{I}_a}{\dot{I}_b} = j$ であるからこれを入れると次の様になる。

$$\dot{I}_a = \frac{jE \left\{ X - \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) x \right\}}{-x^2 - 2xX}$$

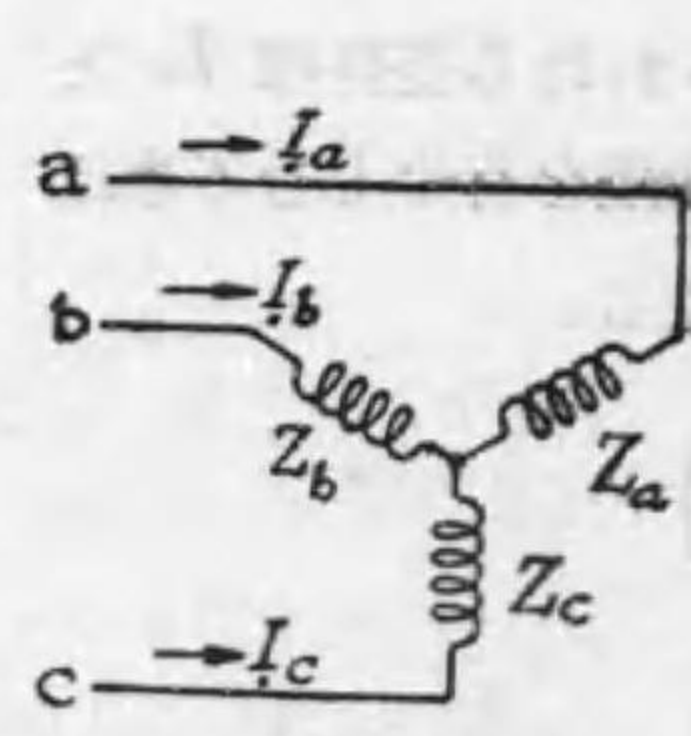
$$\dot{I}_b = \frac{jE \left\{ x \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) - X \right\}}{-x^2 - 2xX}$$

$I_a = j I_b$  なる爲めには { } 内のみに就いてこの条件を満足すればよい。

$$\begin{aligned} \therefore X + \frac{1}{2}x - j\frac{\sqrt{3}}{2}x \\ = j\left\{-\frac{x}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}x - X\right\} \\ = -j\frac{x}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}x - jX \\ = +\frac{\sqrt{3}}{2}x - j\left(X + \frac{x}{2}\right) \end{aligned}$$

これが全く等しい爲めには、實數部虚數部共に相等しからねばならぬ。

$$\begin{aligned} \therefore X + \frac{x}{2} &= \frac{\sqrt{3}}{2}x \dots\dots\dots(\text{實數部}) \\ X &= \left(\frac{\sqrt{3}-1}{2}\right)x \\ \frac{\sqrt{3}}{2}x &= X + \frac{x}{2} \dots\dots\dots(\text{虚數部}) \\ \therefore X &= \left(\frac{\sqrt{3}-1}{2}\right)x \end{aligned}$$



(註) 圖の如き回路即ち線間電壓が夫々  $E_{ab} E_{bc} E_{ca}$  なる三線式電路に、 $Z_a Z_b Z_c$  なる3個のインピーダンスを星形に結線したとすれば

$$\begin{aligned} I_a Z_a - I_b Z_b &= E_{ab} \\ I_b Z_b - I_c Z_c &= E_{bc} \\ I_a + I_b + I_c &= 0 \end{aligned}$$

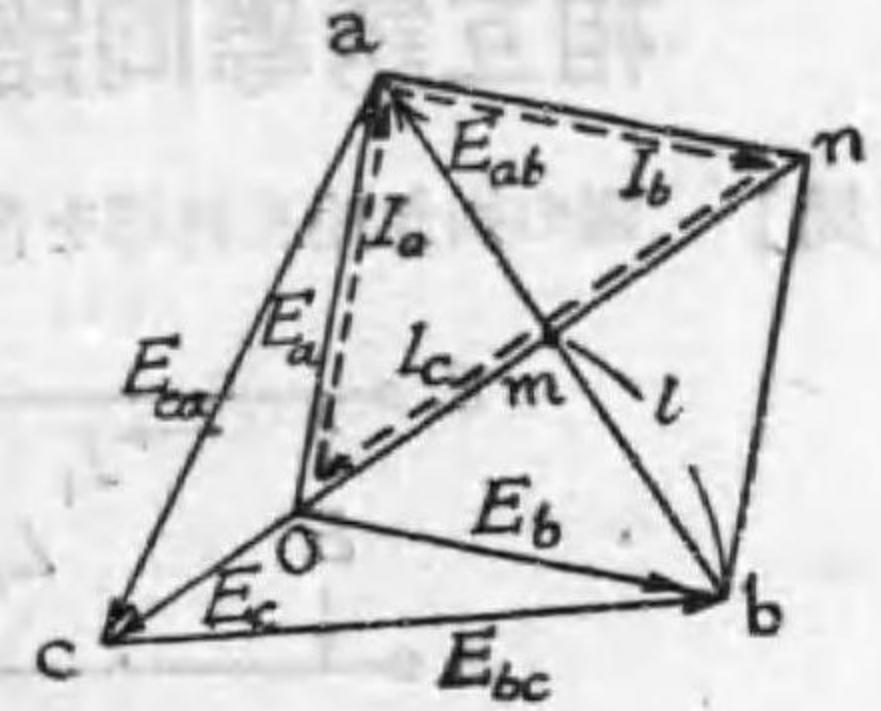
の3式を得る。これから  $I_a I_b I_c$  を求めれば

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{E_{ab}Z_c - E_{ca}Z_b}{Z_aZ_b + Z_bZ_c + Z_cZ_a} \\ I_b &= \frac{E_{bc}Z_a - E_{ab}Z_c}{Z_aZ_b + Z_bZ_c + Z_cZ_a} \\ I_c &= \frac{E_{ca}Z_b - E_{bc}Z_a}{Z_aZ_b + Z_bZ_c + Z_cZ_a} \end{aligned}$$

この式をよく見れば完全にサーキュレーションをやつてゐる事が解る。

【別解】 尙この問題は次の様にして幾何學的に極めて簡単に解く事が出来る。

$E_{ab} E_{bc} E_{ca}$  なる三邊を以つて正三角形を畫く。c から ab へ垂直二等分線を下し、この線が ab と交る點を m とする。mb=ma の長さを l とし、om=l として o を求め、 $E_a, E_b, E_c$  を引く。これが求むる相電壓即  $I_{ax}, I_{bx}, I_{cx}$  である。



何故ならば  $\angle aob$  は直角であり、oa と ob は等しいからである。次に電流はこれ等の相電壓より  $90^\circ$  の遅れ電流であるが、何れも同じく  $90^\circ$  遅れるのであるから、ベクトルは  $E_a E_b E_c$  と同相として畫いておく。するとこの  $I_a I_b I_c$  のベクトル和は 0 でなければならぬから、圖で點線で示した様に  $\triangle oan$  を形成せねばならぬ。この三角形も直角三角形なるが故に次の関係がある。

$$\begin{aligned} |I_a| = |I_b| = I_a \quad |I_c| = I_c \text{ とすれば} \\ I_c = \sqrt{2} I_a \end{aligned}$$

又  $E_c$  の長さは  $\sqrt{2}l$ 、 $E$  の長さは  $\sqrt{3}l-l$  であるから、 $E_a$  と  $E_c$  の比は

$$\begin{aligned} \frac{E_a}{E_c} &= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}-1} \\ I_a jx &= E_a \quad I_c jX = E_c \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{E_a}{E_c} = \frac{I_a x}{I_c X} = \frac{I_x}{\sqrt{2} I_a X} = \frac{x}{\sqrt{2} X}$$

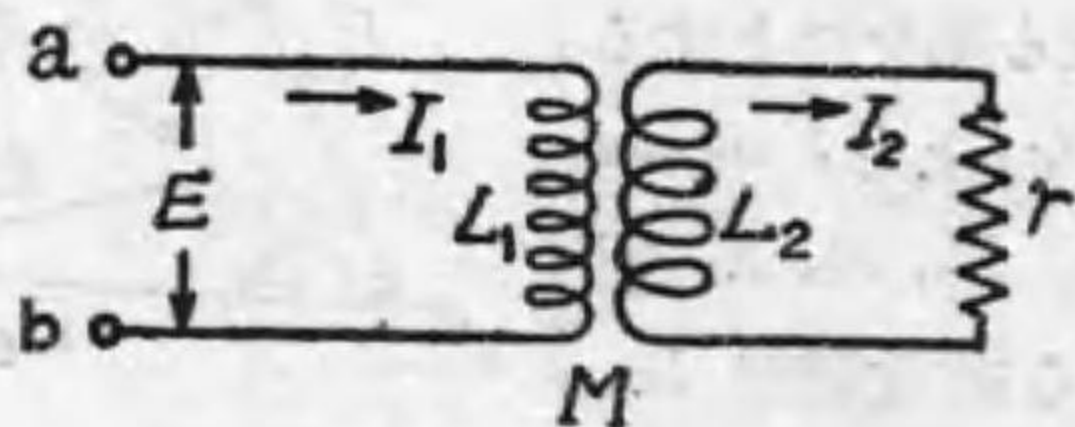
$$\frac{E_a}{E_c} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}-1} = \frac{x}{\sqrt{2} X}$$

$$\therefore X = \frac{\sqrt{3}-1}{2} x$$

この方法は極めて簡単な方法であるが、馴れない人には矢張り初めの解の方がよいと思ふ。

### 相互誘導回路のベクトル圖

【問】 圖の如き相互誘導を含む電路に於いて



$$E = j\dot{I}_1 \omega L_1 + j\dot{I}_2 \omega M$$

$$0 = j\dot{I}_1 \omega M + \dot{I}_2 (r + j\omega L_2)$$

なる式が得られる。之をベクトル圖にて示し且普通の變壓器に於て二次を短絡せる場合のベクトル圖と比較し、初學者に分る様に説明願ひます。

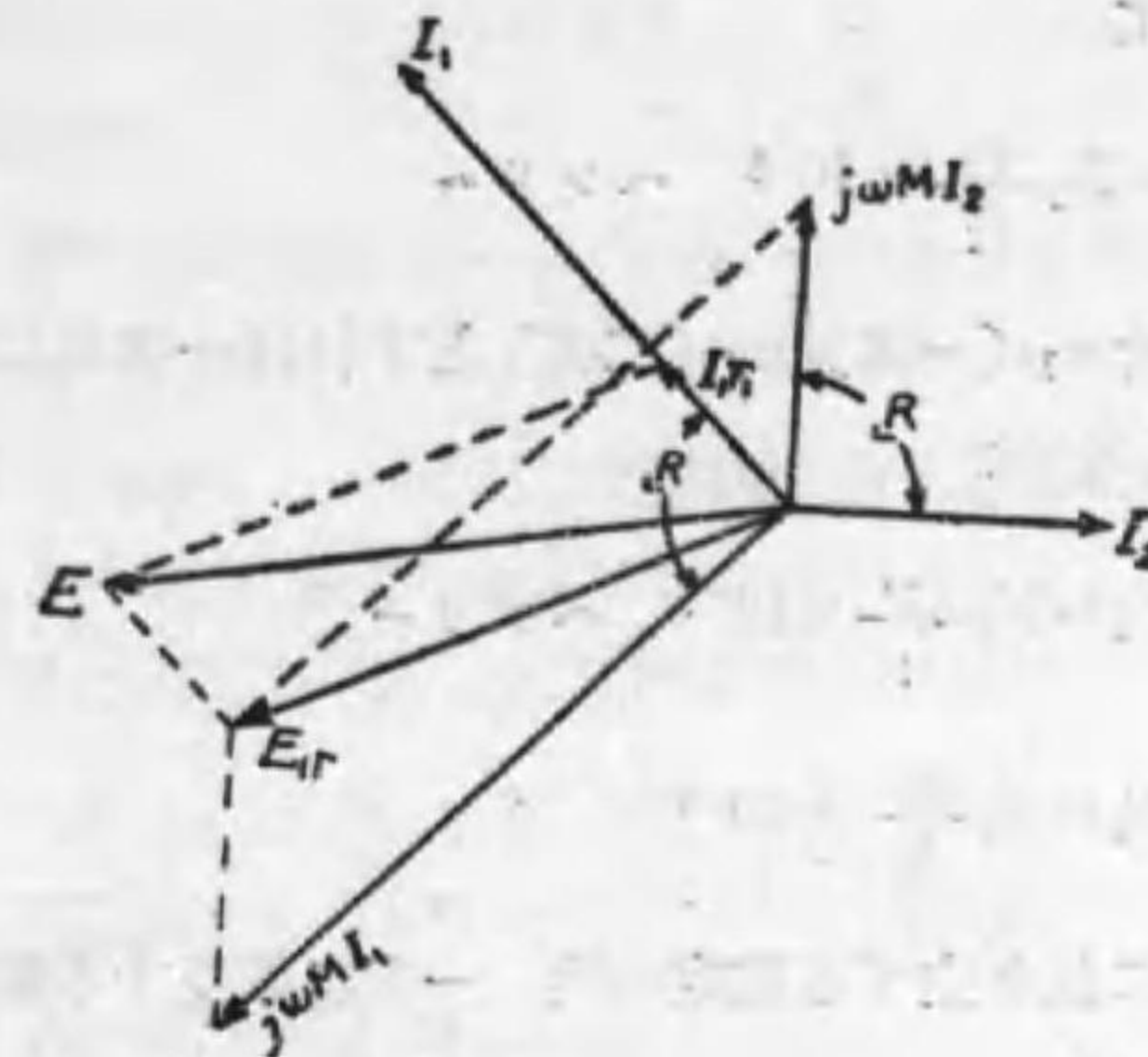
【解】 一次側にも抵抗あるのが普通なる故、この抵抗を  $r_1$ 、二次側の抵抗を  $r_2$  とする。

$$\dot{E} = \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 \omega L_1 + j\dot{I}_2 \omega M \dots (1)$$

$$0 = \dot{I}_2 r_2 + j\dot{I}_2 \omega L_2 + j\dot{I}_1 \omega M \dots (2)$$

第1圖は(1)式を示すベクトル圖である。 $I_1$  と  $I_2$  は  $180^\circ$  の相差を有しない。これは  $I_1$  の中には勵磁電流が存在するからである。

第2圖は(2)式を示すベクトル圖である。



第 1 圖

$$E_2 r = j(\dot{I}_2 \omega L_2 + \dot{I}_1 \omega M) = -\dot{I}_2 r_2$$

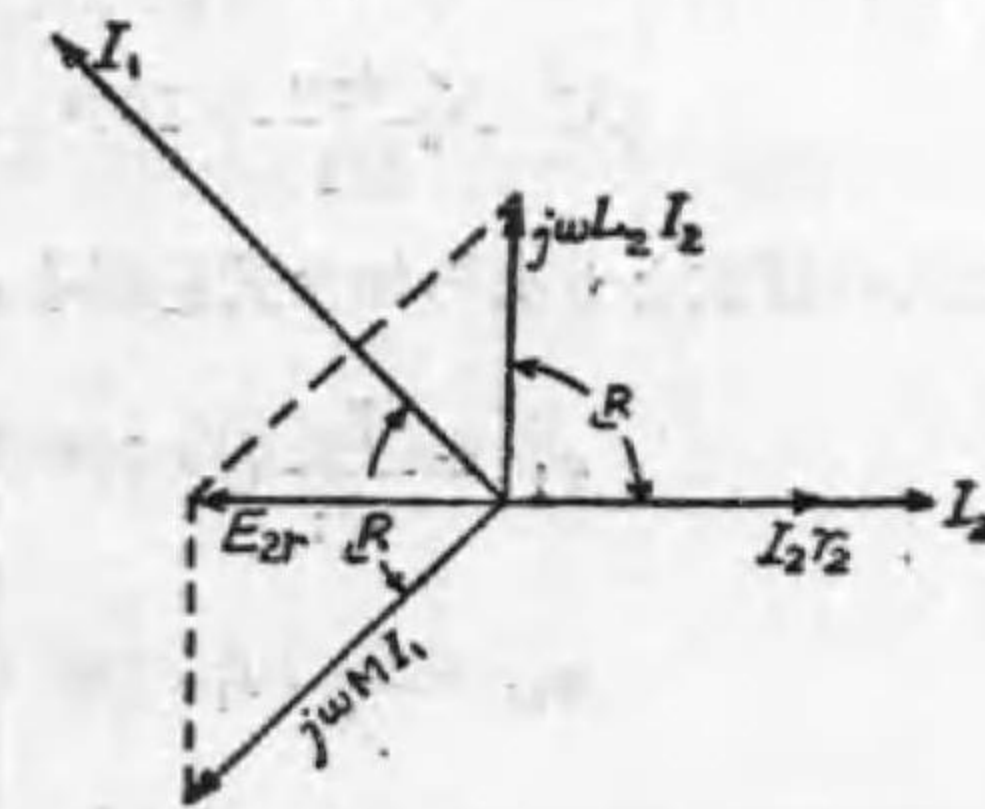
を示したものである。

次に第1圖及第2圖のベクトル圖と變壓器ベクトル圖との關係を調べねばならぬ。それには漏洩インダクタンス、一次及二次誘導起電力等を(1)及(2)式より導いて來る必要がある。

$L_1 L_2$  は漏洩インダクタンスではない。今一次巻数を  $N_1$ 、二次巻数を  $N_2$  とすれば一次巻線に  $\phi_1$  なる磁束が鎖交する事に依り生ずるインダクタンスが  $L_1$  なのである。これを式で表せば

$$L_1 = N_1 \frac{\phi_1}{I_1} \times 10^{-8} \text{ ヘンリー}$$

式の出て來る所以は、1 アムペアの電流通過に對し、磁束鎖交數が  $10^8$  であれば、ヘンリーでインダクタンスが表はれるからであ



第 2 圖

る。同様にして

$$L_2 = N_2 \frac{\phi_{2s}}{I_2} \times 10^{-8} \text{ ヘンリ}$$

次に漏洩磁束を  $\phi_{1s}$  (一次),  $\phi_{2s}$  (二次) とすれば一次及二次漏洩インダクタンス  $S_1, S_2$  は

$$S_1 = N_1 \frac{\phi_{1s}}{I_1} \times 10^{-8} \text{ ヘンリ}$$

$$S_2 = N_2 \frac{\phi_{2s}}{I_2} \times 10^{-8} \text{ "}$$

今二次電流に依り生ずる磁束の内、一次に鎖交する磁束を  $\phi_{1m}$  とすれば、

$$M = N_1 \frac{\phi_{1m}}{I_2} \times 10^{-8} \text{ ヘンリ}$$

同様にして二次側にては

$$M = N_2 \frac{\phi_{2m}}{I_1} \times 10^{-8} \text{ ヘンリ}$$

以上の諸式より次の如き式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= \frac{L_1}{N_1} I_1 \times 10^8 \\ \phi_{1s} &= \frac{S_1}{N_1} I_1 \times 10^8 \\ \phi_{2m} &= \frac{M}{N_2} I_1 \times 10^8 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \phi_2 &= \frac{L_2}{N_2} I_2 \times 10^8 \\ \phi_{2s} &= \frac{S_2}{N_2} I_2 \times 10^8 \\ \phi_{1m} &= \frac{M}{N_1} I_2 \times 10^8 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

磁束の単位はマックスウェルである。

上述の関係より

$$\phi_1 - \phi_{1s} = \phi_{2m} \dots\dots\dots (5)$$

$$\phi_2 - \phi_{2s} = \phi_{1m} \dots\dots\dots (6)$$

これは言ふ迄もなく、一次及二次巻線に生ずる磁束から、漏洩磁束を減じたものが相互誘導の磁束である事を示してあるのである。

(5) 及 (6) 式に (3) 及 (4) 式の関係代入すれば

$$\left( \frac{L_1}{N_1} I_1 - \frac{S_1}{N_1} I_1 \right) = \frac{M}{N_2} I_2$$

$$\therefore L_1 - S_1 = \frac{N_1}{N_2} M \dots\dots\dots (7)$$

$$\left( \frac{L_2}{N_2} I_2 - \frac{S_2}{N_2} I_2 \right) = \frac{M}{N_1} I_1$$

$$L_2 - S_2 = \frac{N_2}{N_1} M \dots\dots\dots (8)$$

(7) 及 (8) 式により、 $L, S, M$  の関係が明瞭になつた。故に (1) 式に之れを代入して行く、

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 \omega \left( S_1 + \frac{N_1}{N_2} M \right) + j \dot{I}_2 \omega M \\ &= \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 \omega S_1 + j \frac{\omega M}{N_2} (\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2) \end{aligned}$$

$\dot{I}_1$  はこれを  $\dot{I}_0$  なる磁化電流と、 $\dot{I}_1' = -\dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1}$  なる一次負荷電流に分解し得る。然して  $\dot{I}_1' N_1 = -\dot{I}_2 N_2$  であるから、

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 \omega S_1 + j \frac{\omega M}{N_2} \{ N_1 (\dot{I}_1' + \dot{I}_0) + N_2 \dot{I}_2 \} \\ &= \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 \omega S_1 + j \frac{\omega M}{N_2} N_1 \dot{I}_0 \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

同様にして (2) 式を変化してゆくと、

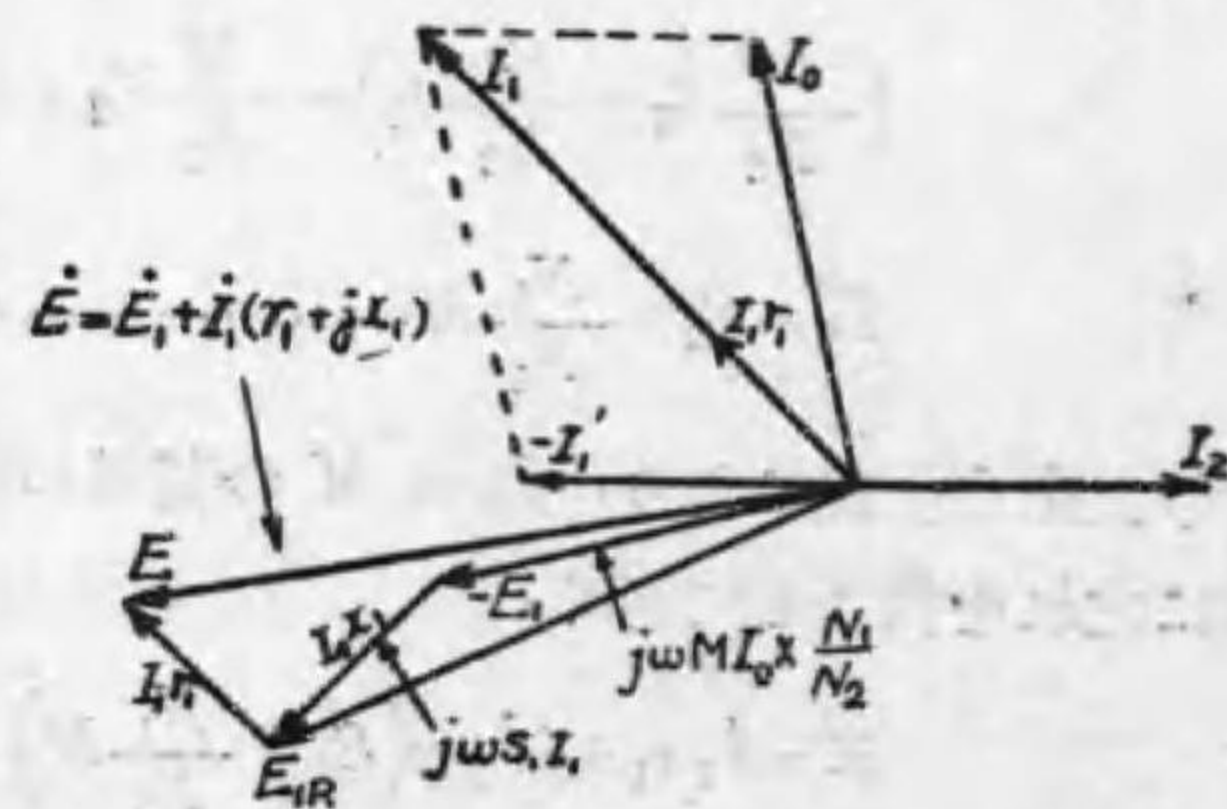
$$0 = \dot{I}_2 r_2 + j \omega L_2 \dot{I}_2 + j \omega M \dot{I}_1$$

$$\begin{aligned}
 0 &= \dot{I}_2 r_2 + j\omega \dot{I}_2 \left( S_2 + M \frac{N_2}{N_1} \right) + j\omega M \dot{I}_1 \\
 &= \dot{I}_2 r_2 + j\omega S_2 \dot{I}_2 + j\omega M \frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 + j\omega M \dot{I}_1 \\
 &= \dot{I}_2 r_2 + j\omega S_2 \dot{I}_2 + j\omega \frac{M}{N_1} (\dot{I}_2 N_2 + \dot{I}_1 N_1) \\
 &= \dot{I}_2 r_2 + j\omega S_2 \dot{I}_2 + j\omega \frac{M}{N_1} \{ \dot{I}_2 N_2 + (\dot{I}_1' + \dot{I}_0) N_1 \} \\
 &= \dot{I}_2 r_2 + j\omega S_2 \dot{I}_2 + j\omega \frac{M}{N_1} N_1 \dot{I}_0 \\
 &= \dot{I}_2 r_2 + j\omega S_2 \dot{I}_2 + j\omega M \dot{I}_0 \dots \dots \dots (10)
 \end{aligned}$$

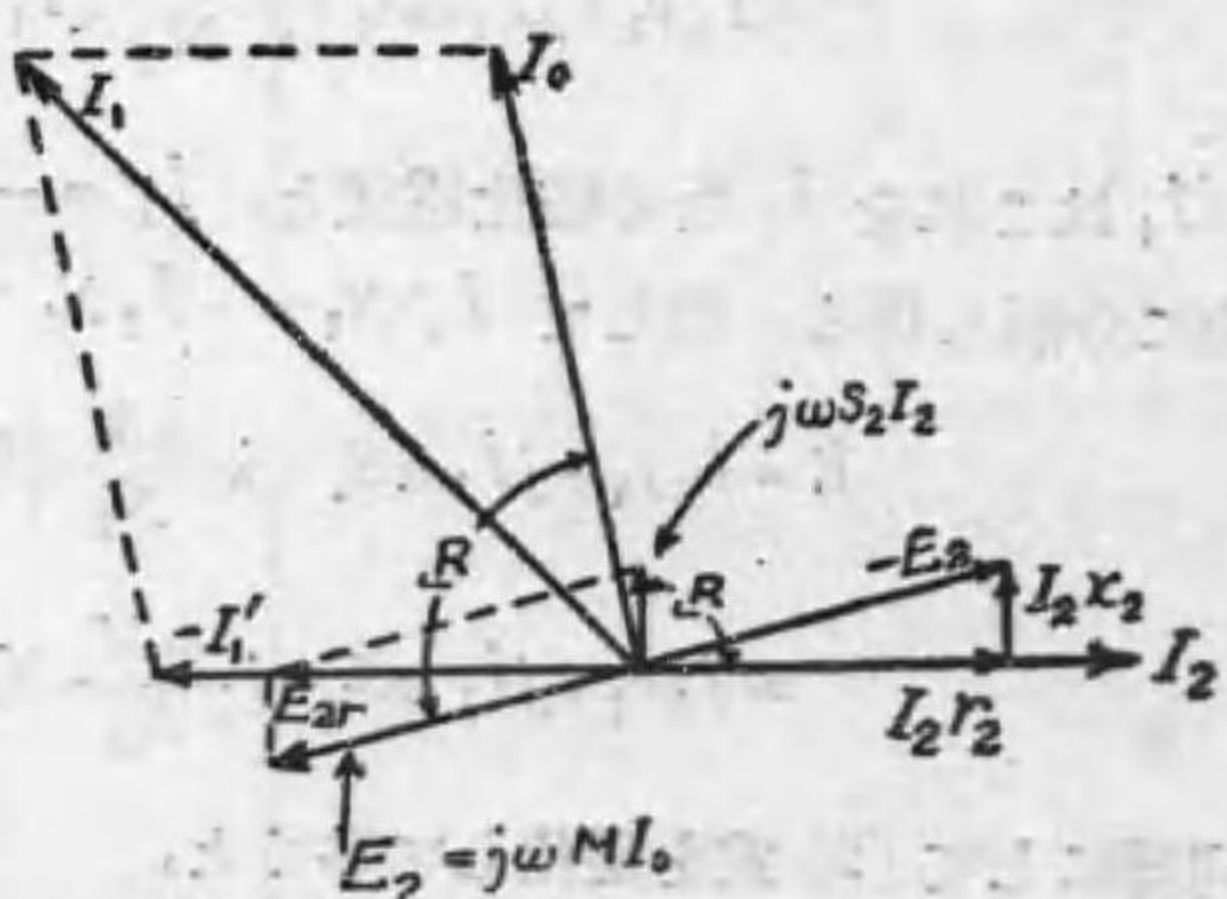
第3圖は(9)式を畫いたベクトル圖である。 $\omega S_1 = x_1$ が漏洩リアクタンスで、 $\omega M I_0$ が二次起電力 $E_{2r}$ 、これに捲数比 $\frac{N_1}{N_2}$ を乗じたものが一次起電力 $E_1$ となるのである。

第3圖は第1圖と同じスケールでベクトル圖を畫いた。故に第1圖の $E_{1r}$ は第3圖の $E_{1r}$ と等しい。第4圖は(10)式を畫いたベクトル圖である。

こゝに $E_2$ は電壓降下を(+)として式を求めたのであるが、實際



第 3 圖



第 4 圖

には二次電流 $I_2$ に対しては $-E_2$ 即起電力として働いてゐる事が解る。第4圖と第2圖とは同一スケールを用ひたから、第2圖の $F_{2r}$ と第4圖のそれとは等しい。

何れのベクトル圖も磁化電流 $I_0$ を非常に大にとつた。これは空心變壓器の餘儀ない結果である。鐵心を挿入すれば $I_0$ は減少し、第1圖や第2圖の $j\omega L_1 I_1$ や $j\omega L_2 I_2$ のベクトルの長さは非常に大となる。

### 合成インピーダンスの特殊例

【問】 圖の如き交流回路の合成インピーダンスを求むるに當り a, b 間の合成抵抗及合成リアクタ

ンスは

合成抵抗

$$A = \frac{3r \cdot r}{3r + r}$$

合成リアクタンス

$$B = \frac{3x \cdot x}{3x + x}$$

a, c 間の合成リアクタンス及合成インピーダンスは

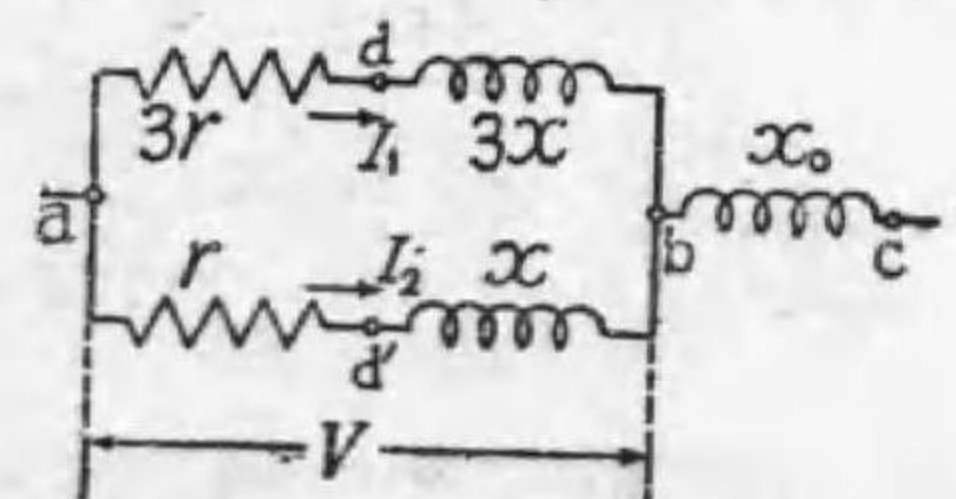
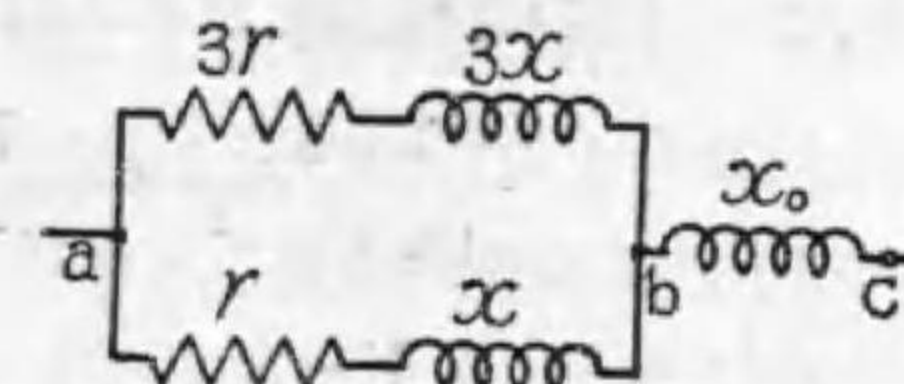
合成リアクタンス  $B + x_0$

合成インピーダンス  $\sqrt{(B + x_0)^2 + A^2}$

なる事を御證明願上候、但 $r$ は抵抗、 $x$ 及 $x_0$ はリアクタンスにて候

【解】 此の様な場合は甚しき特殊例の一つである。即 ab 間に

電流が流るるに際し兩邊に流るる電流の位相は相等しく、且つ $3r$ と $r$ の兩端の電位が相等しいから、 $3r$ と $r$ の並列回路と、 $3x$ と $x$ の並列回路が直列に結ばれてゐるものと見做し得るか



第 1 圖

らである。

次に自明の理ではあるが簡単に之れを説明してみよう。第1圖に於て

$$I_1 = \frac{V}{3\sqrt{r^2+x^2}}$$

にしてその力率は

$$\cos \varphi_1 = \frac{3r}{3\sqrt{r^2+x^2}} = \frac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}$$

$$I_2 = \frac{V}{\sqrt{r^2+x^2}} \quad \text{又} \quad \cos \varphi_2 = \frac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}$$

従つて  $I_1$  と  $I_2$  とは同相にあり、 $I_2 = 3I_1$  なる事が明である。次に  $d$  及  $d'$  間の電位差を求めんに、

$$\frac{V \times 3r}{3\sqrt{r^2+x^2}} = \frac{Vr}{\sqrt{r^2+x^2}} \dots \text{ad 間の電位降下}$$

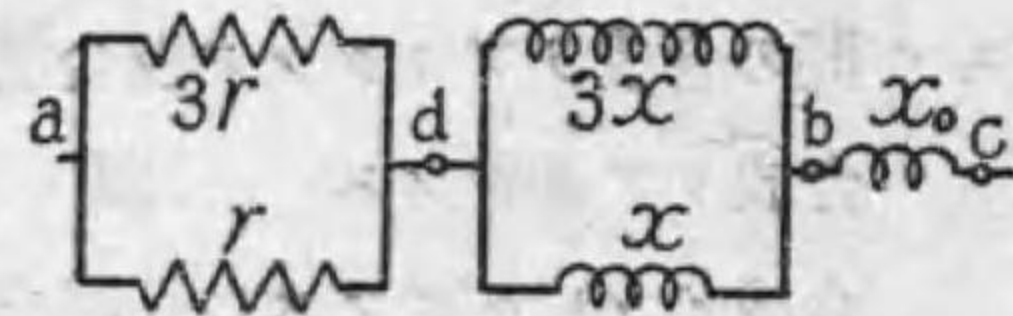
$$\frac{Vr}{\sqrt{r^2+x^2}} \dots \text{ad' 間の電位降下}$$

従つて  $d$  と  $d'$  間には何等の電位差なき事明である。故にこの點を結んでも何等の電流は流れない。故に第1圖は第2圖の如くなる。かうなれば更に第3圖の如くなり  $ab$  間の合成抵抗は  $\frac{3r \cdot r}{3r+r} = \frac{3r}{4}$ 、合成リ

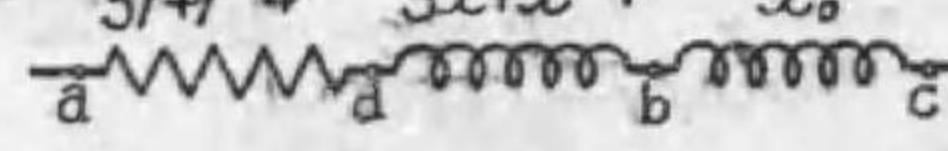
アクタンスは  $\frac{3x \cdot x}{3x+x} = \frac{3}{4}x$ 、 $a$ 、 $c$  間の合成インピーダンスは

$$\sqrt{\left(\frac{3}{4}x + x_0\right)^2 + \left(\frac{3}{4}r\right)^2}$$

なる事は明である。又これは普通の方法により求めても同じ値が出て來てこれでも一つの證明法となる。 $a$ 、 $b$  間の合



第 2 圖



第 3 圖

成インピーダンスを求めんに、兩邊が並列なる故

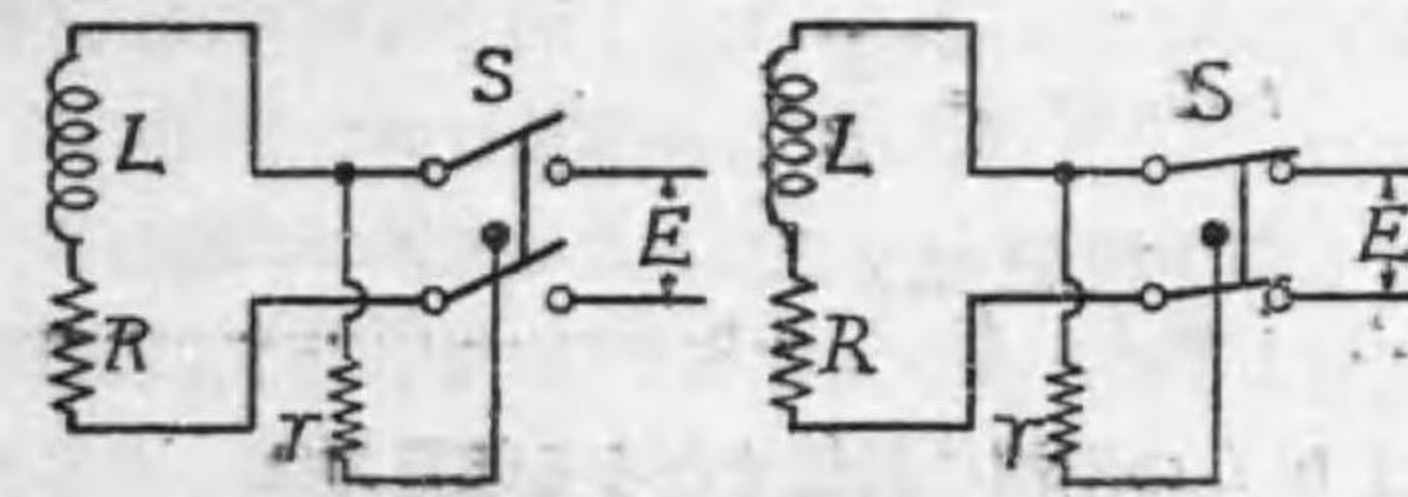
$$\frac{(r+jx)(3r+j3x)}{(r+jx)+(3r+j3x)} = \frac{3(r+jx)^2}{4(r+jx)} = \frac{3r}{4} + j\frac{3x}{4}$$
$$= \frac{3r \cdot r}{3r+r} + j\frac{3x \cdot x}{3x+x}$$

但し書をするにも及ばぬが、これは兩線に流るる電流の位相が等しい場合に限るのであつていつでもか様に甘く行くものではない事を斷つておく。

### 放電抵抗と端子電壓

【問】 インダクタンス  $L$  と抵抗  $R$  が直列にある回路に、直流電壓  $E$  が加へられてゐる時、 $E$  を零にすると同時に抵抗  $r$  を挿入すると  $E \times \frac{R+r}{R}$  なる過渡電壓が誘起されると言ひますが、之はインダクタンス  $L$  の値には無關係ですか。實際問題として此の誘起電壓の爲めに被覆の絶縁物破壊の恐れあるのは  $L$  の値が幾何位からですか。又交番電壓  $e = E_m \sin \omega t$  が加へられてゐる場合同様な變化を與ふればどうなりますか。

【解】 これは交流發電機界磁の放電抵抗の場合と考へられる。界磁開閉器を開くと同時に放電抵抗を以つて界磁の兩端を短絡するのである。 $L$  が界磁捲線のインダクタンス、 $R$  が抵抗、 $r$  が放電抵抗である。

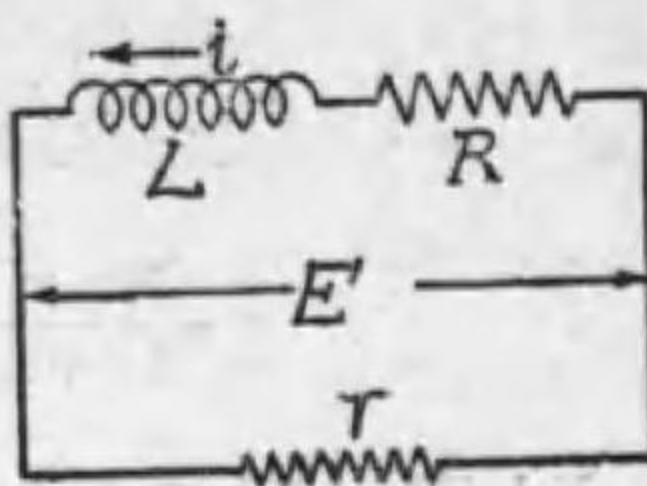


第 1 圖

第 2 圖

第1圖はその接続を示すもので、開閉器  $S$  が切れると同時に開閉器の又は  $r$  の一端が結ばれてゐる接觸子に接觸して、 $r$  を兩端子間

に挿入するのである。第2圖はSが閉じてある場合である。第3圖は開閉器を開いた瞬時に於ける回路の圖である。L内に蓄へられた  $\frac{1}{2}Li_0^2$  なる電磁的勢力は ( $i_0$  は開閉器を閉じてをつた時に流れてみた直流電流)  $LRr$  回路に放電電流を生じ、これを熱の勢力として消滅せんとする。今この時の放電電流を  $i$  とすれば、次の方程式が成立する。



第 3 圖

$$L \frac{di}{dt} + i(R+r) = 0 \dots\dots\dots(1)$$

この式より放電電流の  $i$  の式を求めれば、

$$\frac{i(R+r)}{L} = - \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{i(R+r)} = - \frac{dt}{L}$$

$$\frac{di}{i} = - \frac{R+r}{L} dt$$

兩邊を積分すれば

$$\log i = - \frac{R+r}{L} t + K$$

$$\therefore i = A \varepsilon^{-\frac{R+r}{L} t}$$

$$t=0, i=i_0 = \frac{E}{R}$$

$$\therefore i = i_0 \varepsilon^{-\frac{R+r}{L} t} \dots\dots\dots(2)$$

(1) 式より L の兩端に誘起せらるる起電力は

$$L \frac{di}{dt} = e = -i(R+r)$$

この式の右邊の  $i$  に (2) 式を代入すれば、

$$e = -(R+r) i_0 \varepsilon^{-\frac{R+r}{L} t}$$

従つて  $t=0$  に於いて誘起する起電力  $e'$  は

$$e' = -(R+r) i_0$$

$$E = i_0 R$$

$$\therefore \frac{e'}{E} = \frac{R+r}{R} \quad \therefore e' = E \times \frac{R+r}{R} \dots\dots\dots(3)$$

但しこれは抵抗なき L の兩端に現はるる電壓で、實際の場合は R は L の抵抗である。故に兩端に表はるる電壓は、 $ir$  で

$$ir = i_0 r \varepsilon^{-\frac{R+r}{L} t}$$

$$t=0 \quad ir = i_0 r = \frac{E}{R} \times r = E \times \frac{r}{R} \dots\dots\dots(3')$$

となるものである。

(3) 及 (3') 式より明な様に、 $e'$  の値は L の値には無關係である。即 L が如何に大であつても、小なる  $r$  で短絡すれば起電力は小となり L の値が小でも  $r$  が大、換言すれば  $r$  を無限大とすれば理論上  $e'$  は無限大となる。(實際の場合は弧光が生じてかゝる大電壓にはならぬ) 従つて問の如く L の値には無關係で、L の値に依り絶縁物破壊云々の事はない。(3) 式に於て  $R=r$  の時、 $e'=E$  で開閉器を開いても何等異常電壓は生じない。然し實際問題としては電源を切る爲めに開閉器を開くには、一先づ放電抵抗と界磁線輪とが並列に、電源に結ばれた後電流が切れるのである。だから  $r$  が餘り小さいとこの瞬時の電流が大となるから、普通の設計では  $r=2R$  位に設計される。これだと  $e'=2E$  位になるもので、普通この位の電壓には絶縁物の被覆は先づ大丈夫とされてゐる。

直流電壓の代りに交番電壓を加へた場合の現象は、開閉器を開いた後の現象である以上、何等直流とは變らない。只電流の定常値に對し、直流では  $i_0 = \frac{E}{R}$  でよいか、交流の場合では



$$i_0' = \frac{\sqrt{2} E_e}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \alpha)$$

$$E_e = \text{實効値} \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

$$\omega = 2\pi f \quad f = \text{周波數}$$

$$\alpha = \arctan \frac{\omega L}{R}$$

をとり、交流瞬時値の値を、切つた瞬時に依り求めねばならぬ。然し乍ら実際には交流回路の放電抵抗なるものは聞かないものであるから斯様な場合は問題にならない。

### 電氣抵抗と電氣容量との關係

【問】 電氣抵抗と電氣容量との間に次の如き關係があると申します。其の證明をお願い致します。

$$R = \frac{1}{4\pi xC}$$

但し  $R = \text{電極間の抵抗}$

$C = \text{電極間の容量}$

$x = \text{導電體の導電率}$

【解】 元來電極間の容量とは、其の電極間の誘電體中を誘電束 (dielectric flux) が通過する度合を示すものである。此處に誘電束とは誘電體中に電界の方向に存在すると假定せる線をさすもので、誘電體中に變位せる電氣の量を示すものと考へられる。然してその単位には電氣量の單位と同一名稱を與へ、例へば  $Q$  クーロムの陽電荷を有する充電體の表面よりは  $Q$  クーロムの誘電束が発生するものとするのである。

今容量  $C$  F. の蓄電器に  $E$  V. の電壓を與ふる時は  $Q = CE$  クーロムの陰陽電荷が蓄電器の兩導體に充電され、従つて  $Q = CE$  クーロムの誘電束が蓄電器内の誘電體中を通過する。之れに依れば容量  $C$

は蓄電器内の誘電體が一定電壓  $E$  に對し誘電束の通過を許す程度を表す量と解し得るのである。

然してこの逆數  $\frac{1}{C}$  は誘電束の通過を妨ぐる度合を示すもので、丁度電流に對する抵抗と同種類のものでこれを elastance と呼ぶ事がある。この  $\frac{1}{C}$  なる elastance は電氣抵抗と同様誘電束通路の斷面積に反比例し其の長さに正比例する、従つて各部一樣なる密度を以つて一定斷面積  $A$ 、厚さ  $l$  なる誘電體内の elastance  $S$  は

$$S = \sigma \frac{l}{A}$$

$$\text{又は } C = \frac{1}{\sigma} \frac{A}{l} = K \frac{A}{l} \quad K = \frac{1}{\sigma}$$

$\sigma$  は單位斷面積、單位長さに對する elastance にして恰も電氣抵抗に於ける  $\rho$  に相當するものである。又電氣回路に於て  $\frac{1}{\rho}$  を導電率といふ如く、 $\frac{1}{\sigma} = K$  を誘電率と稱する。

面積  $A$  平方寸なる導體の板が空氣中に  $l$  離れて存在する時の容量は周知の如く

$$C = \frac{A}{4\pi l}$$

却説、以上ながながと靜電氣に就いて述べた事柄から、電氣抵抗と蓄電器との間には密接の關係のある事が解る。今その一例として前述の並行板蓄電器に就いて例をとる。

空氣中に  $A$  なる面積を有する兩電極が  $l$  だけ離れて存在する時の容量は既説の如く  $C = \frac{A}{4\pi l}$  今この兩電極に  $\rho$  なる比抵抗或は  $\frac{1}{\rho} = x$  なる導電率を有する物質を充滿したる場合の抵抗は

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{Ax}$$

兩式の兩邊に  $C$  を乗ずれば

$$CR = \frac{l}{Ax} \times \frac{A}{4\pi l} = \frac{1}{4\pi x}$$

$$\therefore R = \frac{1}{4\pi x C}$$

以上は並行板の場合であるが如何なる形の電極間に於ても、空気蓄電器としてその容量を測定し、これにその電極間に充填せしむる物質の導電率即ち抵抗の逆数を乗ずれば  $R$  の逆数即ちコンダクタンス  $g$  が求まる。

実際の応用例としては水抵抗器の如き場合で例へば水中に 2 本の  $r$  なる半径を有する鐵棒を挿入し、それを  $D$  丈け離れた場合に於いて、單位長毎のコンダクタンスを求むるならば、 $\frac{D}{r}$  が相當に大なる場合 (約 10 以上) の容量は

$$C \doteq \frac{1}{4 \log_e \frac{D}{r}}$$

故にコンダクタンスはこれに  $4\pi x$  を乗じて

$$g = \frac{\pi x}{\log_e \frac{D}{r}}$$

となる。 $x$  は實測により求むるので相當の面積の板を  $l$  丈け離してその兩板間の抵抗  $R$  を求むれば、大約

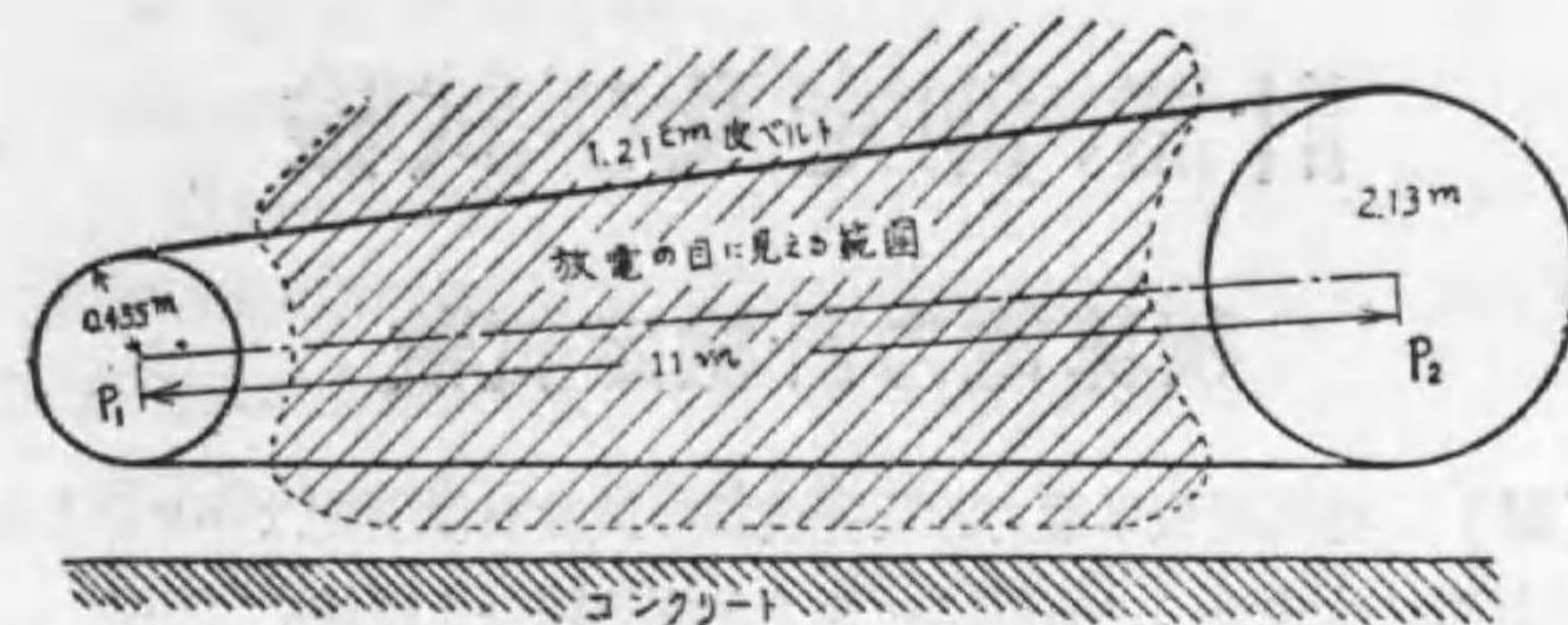
$$R \doteq f \frac{l}{2A}$$

と見做し得、これより  $\rho$  を求め  $x$  を求むるのである。

### 調帯に起る静電電壓

【問】 事實に於て次の如きことを知りました。

圖に於てハッチングを施せる部に指を差出すと之より放電するを認む、ガラス棒にて行ふ時は放電を見ず。其の電界の生ぜる原因と其の理論的電位傾度及放電の理由を説明して下さい。



【解】 高速度の調帯が、乾燥せる空気中にて運轉する時は、往々静電作用による充電が非常の値に上る事がある。殊に寒い、乾燥せる日に多く、濕潤せる日には空気中に逃げ去つて了ふ。この静電的充電の生ずる理由としては、摩擦によつて生ずるもので、(イ)調帯表面の空気との摩擦、(ロ)調帯が調車を離れる際の摩擦、(ハ)調帯の滑りに依る調車との摩擦に分ける事が出来る。實際には之等が一緒になつて現れるもので且速度、運轉状態、調帯の材料寸法等に關係する。非常な高電位の記録としては、22 吋の革調帯が高速度に運轉した時、75000 V もあつたといふ。この調帯は電動機で製粉機を運轉してゐたものであつた。

調車が一つは木製、電動機側は金屬製で且充分臺枠と絶縁されてゐる様な場合だと捲線の絶縁を破壊する様な事さへある。軸承がボールベヤリングなればよいが、普通の油環式の時、油膜が絶縁層となり、臺枠と廻轉子とを絶縁せしむる事がある。こんな場合は、例へば臺枠が接地されてゐても、調帯には高電位が生ずることになる。我國の様な濕潤な國に於ては、この調帯の高電位は稀に生ずる事であるが、問者の場合もその一例である。かくの如き場合に、これを除去するには、接地した金屬製の刷毛様のものを、調帯の上に滑らす様に取り付ける。か様にすれば、充電は大地に逃れ去る。指を持つて來れば放電するのは當り前で、又硝子棒は絶縁物であるから放電しないのも當然である。電位傾度云々、こんな事は、到底實測せざる限り知り得べきものではない。

## 計器, 測定及び試験

## 積算電力計検定試験

【問】 特高用積算電力計及變成器の試験有効期間は5ヶ年と逓信省計器試験法規に之有候に付き下記解答願ひ上げ候。

- (イ) 之等のものを關西にては大阪に送附の上再検定を受く可きや否や。  
 (ロ) 或は他に便法ありや、例へば試験官の出張とか、供給会社の委託試験とか。  
 (ハ) 電気会社の委託試験の範圍。

【解】 (イ) 受けねばならぬ。但し 6000 V 以上のものは支障なき限り計器のみ受ければよい。

- (ロ) 便法なし。  
 (ハ) 電気会社委託試験などなし。参考迄に現在行はれてゐる検定試験の場所及検定の範圍を示せば次の様になつてゐる。

## 電気試験所第一部 (東京市品川区下大崎)

制限なし。尙他の試験所は型式承認を得たるものみに就いて行ふものなれ共、第一部にてはその外型式承認を終へざるものも特種試験検定として取扱ふ。

## 電気試験所大阪出張所 (大阪市北区中野町)

直流 600 V 以下 800 A 以下  
 交流 25000 V " 800 A "

但し 300 A 以下のものに在りては周波數 20 乃至 60 $\sim$ , 300 A を超過するものにありては周波數 50 乃至 60 $\sim$ 。

## 電気試験所福岡出張所 (福岡市庄字中の坪)

直流 300 V 以下 300 A 以下  
 交流 5000 V " 300 A "

周波數 50 乃至 60 $\sim$ 。

## 電気試験所福岡出張所 (福岡市森合字孤塚)

[福岡に同じ]

次に主務大臣の指定を受け電気計器の検定に必要な試験を行ふ公共團體又は公益法人として次の4ヶ所がある。

## 東京市電気研究所 (麹町區有樂町)

直流 300 V 以下 300 A 以下  
 交流 5000 V 以下 300 A 以下  
 50-60 $\sim$

## 電気協會電気計器東京試験所 (芝區月見町)

交流 5000 V 以下 300 A 以下  
 50-60 $\sim$

## 電気協會電気計器大阪試験所 (西淀川區大仁)

交流 6600 V 以下 1200 A 以下  
 50-60 $\sim$

## 電気協會電気計器福岡試験所 (福岡市雁林町)

交流 300 V 以下 300 A 以下  
 50-60 $\sim$

尙朝鮮及關東廳は次の通りである。

## 朝鮮總督府逓信局電気課 (京城府光化門通り)

こゝでは朝鮮電気測定令 (大正 12, 4, 2 發令, 大正 12, 11, 16 施行) により行はれる。

## 關東廳逓信局電気課 (大連市大山通り)

こゝでは電気測定規則 (關東廳令 46 號, 大正 15, 9, 30 大正 15, 10, 1 施行) により行はれる。

尙臺灣總督府に於ても近く開始される豫定との事である。

## 電流磁束に依るクレーピング

【問】 單相積算電力計に於て、電壓線輪斷線し電流線輪のみに

電流が流れたる場合圓板の廻轉方向が逆になる。その理由御教へ下さい。但し单相積算電力計は東京電氣製 I-3 型、芦田工業所製 S-2 型その他にも経験しました。

【解】 そんな事はあるまいと思つて實驗をして見た。実際には先づない、即全負荷電流位なら殆んど廻轉しない。次にこれに 200%位の過電流を通ずると極めて緩に逆方向に廻轉する。色々試驗を試みたが矢張り緩に廻る。そこで長年積算電力計に就いて研究されてゐる電氣試驗所第一部の M 氏に尋ねた所次の御返事に預つた。同氏に感謝すると共にこれを以つて解とします。

「積算電力計に電流丈けを通じた場合に、規定電流以下では大概の計器は廻轉せぬ。150% 又は 200% にもなれば極く僅か正又は逆に廻轉する様である。そして電流容量の大なるもの程若干此の傾向が多い様である。この現象は圓板附近の磁性物の影響とか二次作用に依つて磁束に相差を生ずる爲めと思はれる。電壓線輪を切り離ち過電流を通じて圓板がスロー廻轉をしてゐる時、電壓線輪を閉路すれば、圓板のスロー廻轉は止まつた。この實驗は數個に付いて行つたが何れも同様となつた。

以上要するに電流磁束によつてもクリーピングを生じないのが理想的ではあるが、或程度迄のクリーピングは止むを得ないのであらう。それは電壓磁束に依るクリーピングの様には實際上の重要性が薄いので、電流磁束に依るクリーピングに就いては許容し得る程度も決めてはないし、又調べもしてはない。

但し第一部長神保博士の研究報告 1931 年 9 月の誘導型積算電力計の特性(英文)の序文の序論中に電流磁束のみに依るクリーピングは一般に生じ得ない現象であるから論じないと斷つてある。

以上要するに電壓線輪が斷線して電流線輪のみに電流が流る事は極めて稀れな事ではあり且規定電流附近では殆んど廻轉しないもの故、この問題即ち電流磁束に依るクリーピングは大した問題とは考へられない。

## 100 V の積算電力計を 110 V へ

【問】 110 V の单相二線式回路へ 100 V の積算電力計を使用せし際、積算電力量に如何なる誤差を生ずるや、數式で御教示賜り度く、併せて右は法的に如何なる違反なるか御教示下さい。

【解】 单相積算電力計なる故言ふ迄もないが誘導型のものとする。誘導型積算電力計の廻轉力は周知の如く次式で示される。

$$T = k_1 EI \sin(\theta - \varphi)$$

但し  $\theta$  は電壓磁束と電流磁束との相差角で、これが正しく  $90^\circ$  に調整さるる時は

$$T = k_1 EI \cos \varphi$$

となる。  $\cos \varphi =$  力率である。

次にこの廻轉力に依り圓板が廻轉する際、制動逆廻轉力として作用するものは、(1) 圓板と制動磁石との間に生ずる制動力で之は廻轉速度  $n$  に比例する。(2) 電壓磁束  $\phi_1$  及電流磁束  $\phi_2$  がある爲めにその磁束の自乗及圓板の廻轉速度に比例する制動廻轉力。(3) 圓板の速度に無關係な摩擦廻轉力  $f$  である。故に  $n$  を圓板の毎秒の廻轉速度とすれば、逆廻轉力  $T_0$  は

$$\begin{aligned} T_0 &= k_2 n + k_3 (\phi_1^2 + \phi_2^2) n + f \\ &= (k_2 + k_3' E^2 + k_3'' I^2) n + f \end{aligned}$$

この逆廻轉力と、 $T$  なる廻轉力が等しい場合に圓板の廻轉速度  $n$  は一定し、指示電力量も決定する。

$$\therefore k_1 EI \cos \varphi = (k_2 + k_3' E^2 + k_3'' I^2) n + f$$

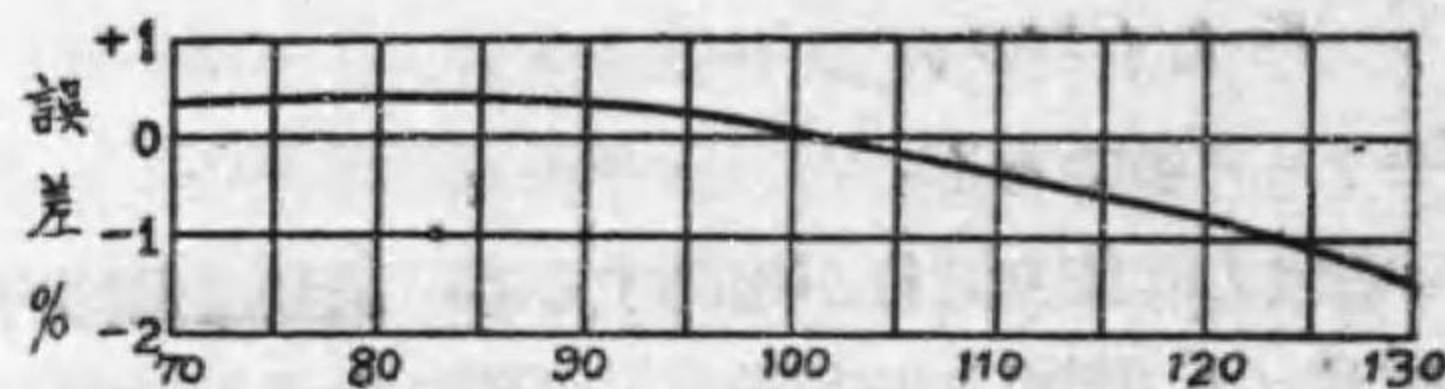
$$\therefore n = \frac{k_1 EI \cos \varphi - f}{k_2 + k_3' E^2 + k_3'' I^2} \dots \dots \dots (1)$$

これが圓板の廻轉數である。然し乍ら一般には  $(k_3' E^2 + k_3'' I^2)$  は  $k_2$  に比し甚だ小さく、又摩擦廻轉力は輕負荷調整装置に依り補償せしめ得るものであるから、實際の計器は實用上これ等無視して、

$$n = \frac{k_1 EI \cos \varphi}{k_2} = KEI \cos \varphi \dots\dots\dots(2)$$

となる。

然しこれは前述の如く  $k_3' E^2$  及  $k_3'' I^2$  の項に依る誤差を無視してあるものであるから、一定電圧のもとに於いては電流の増加と共に速度は電力に比例するより稍減少し、又一定電流のもとに於ては電圧が上昇するに従ひ、速度は電力に比例するより稍下降する。この下降の程度はその計器の特性に依るもので、(1)式以外に、例へば下降の程度を表す式などは出て来ない。次の圖は電圧の変化に依る計量の變化を示したもので實用上には大した値のものではない。



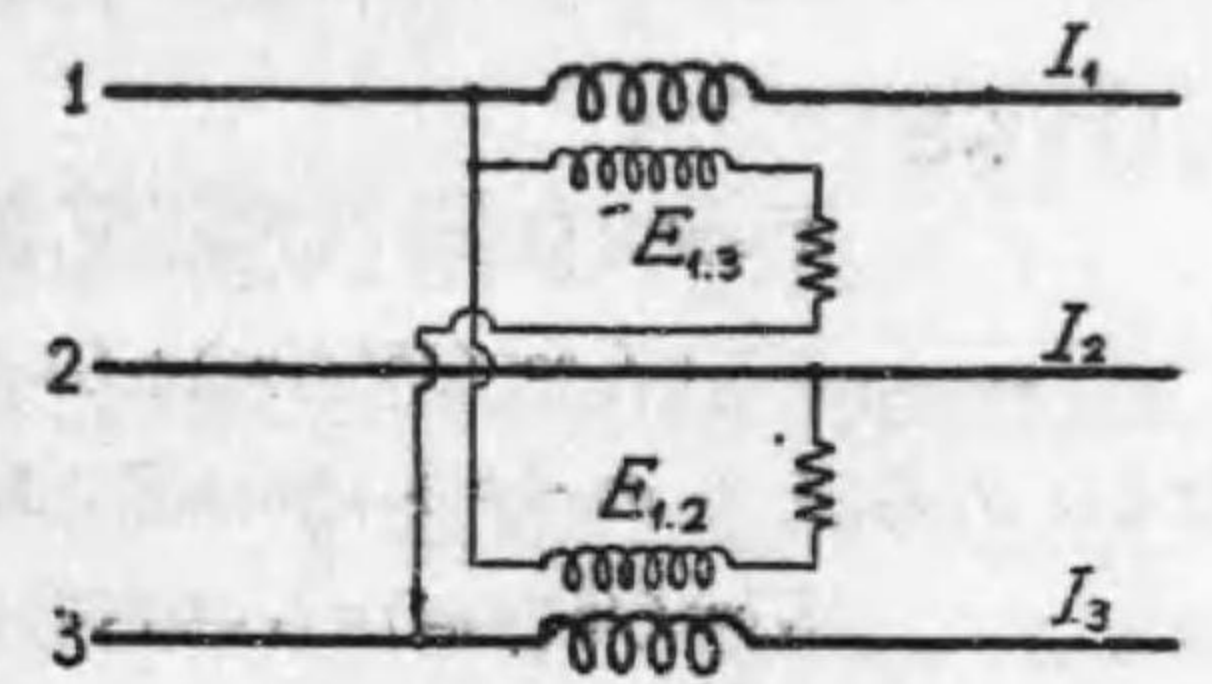
单相誘導型 100 V. 5 A. 60~

次に 100 V のものを 110 V に使用した場合の、法的違反の點であるが、これは明に違反である。100 V 用のものと 110 V 用のものがあるから、100 V 回路には 100 V 用のものを、110 V 回路には 110 V 用を用ひねばならぬ。但し實際に於ては 100 V のものを 110 V 回路に用ひたとしても、上記の圖から解る通りその誤差は僅小である。従つて實用上には大した事はないと思はれる。然し極端な場合を考へると、100 V でヤット檢定に合格した様な計器であれば、この計器を 110 V として再檢定すれば、或は不合格になるやも測り難い。以上よりして法的に嚴格に言へば 100 V 回路と稱せらるるもの(假令それが 100 V より高いものでも)では 100 V 用のもの、110 V 回路と稱せらるるもの(假令それが實際には 100 V 附近にあるものでも)では 110 V 用のものを使用せねばならぬ。實際にはこの様に嚴格でない様ではあるが。

### 皮相積算電力計

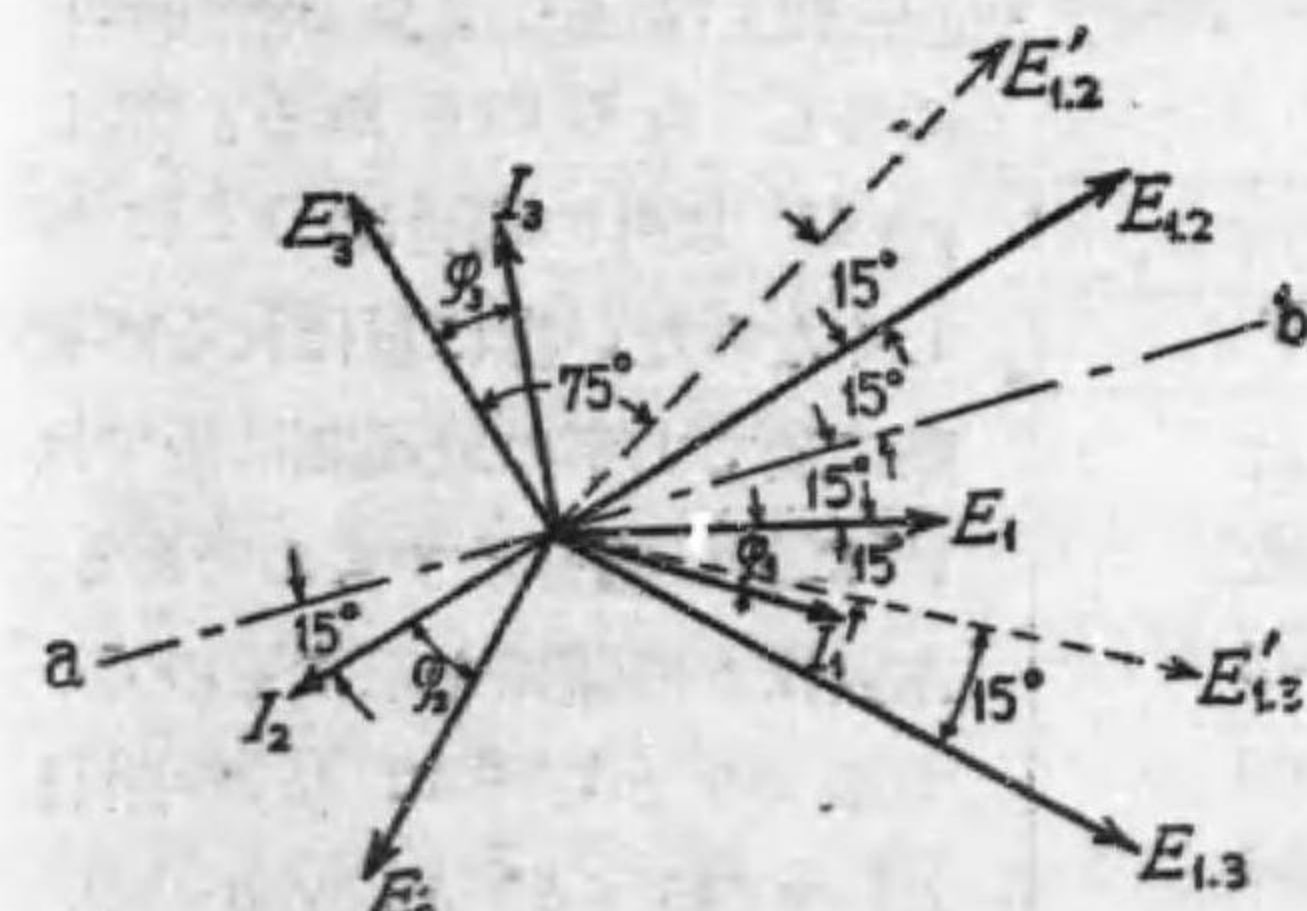
【問】 三相式に於ける積算皮相電力計の一種につきその構造及原理を御教示下さい。

【解】 三相平衡電圧回路に使用せらるるシーメンス會社製の計器に就いて説明してみる。第 1 圖はその接続法を示すものである。即ち誘導型二要素型のもので、各電圧線輪には夫々  $E_{1,2}$  及  $E_{1,3}$  の電圧を與へ、且適當な無誘導抵抗を直列に接続し、電圧線輪に流るる電流をして加へた電圧より 75° だけ遅らせるのである。この點が主要な點なので普通の積算電力計は加へた電圧より 90° 遅らせ、



第 1 圖

その電流により生ずる電圧磁束と、電流と同位相に生ずる電流磁束との間に廻轉力を發生せしむるのである。然るにこの皮相積算電力計は電圧線輪に流るる電流は加へる電圧より 75° だけ遅れるのであ



第 2 圖

る。この事は換言すれば加へられた電圧から 15° 進んだ電圧を加へて、之より 90° 電流が遅れる様にしたものと同等である。即普通の不平衡三相積算電力計の電圧線輪に 15° だけ位相の進んだ電圧を加へたと考へ且その接続が第 1 圖の様になつてをるものとして、計

加へたと考へ且その接続が第 1 圖の様になつてをるものとして、計

器に働く廻轉力がどうなるかを調べてゆけばよい。 $E_{1,2}$ 、 $E_{1,3}$  は平衡電壓であるから  $\sqrt{3} E$ , 故に廻轉力  $T$  は第2圖のベクトル圖より

$$T = k' \sqrt{3} E \{ I_1 \cos(15^\circ - \varphi_1) + I_3 \cos(75^\circ - \varphi_3) \}$$

括弧の中に  $\cos 30^\circ$  を乗じ、括弧の外を  $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$  で割る。

$$T = 2k' E \{ I_1 \cos(15^\circ - \varphi_1) \cos 30^\circ + I_3 \cos(75^\circ - \varphi_3) \cos 30^\circ \}$$

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

を用ひると

$$T = k' E \{ I_1 \cos(45^\circ - \varphi_1) + I_3 \cos(45^\circ - \varphi_3) + I_2 \cos(15^\circ + \varphi_1) + I_3 \cos(105^\circ - \varphi_3) \}$$

然るに  $I_1$ 、 $I_2$  及  $I_3$  のベクトル和は零である。従つて

$$I_2 \cos(45^\circ - \varphi_2) = I_1 \cos(15^\circ + \varphi_1) + I_3 \cos(105^\circ - \varphi_3)$$

何となれば、 $E_1$  と  $15^\circ$  の角をなす ab 線を引いてみると、この線上に於ける電流の代数的和は零であるからである。

$$\therefore T = k' E \{ I_1 \cos(45^\circ - \varphi_1) + I_2 \cos(45^\circ - \varphi_2) + \cos I_3(45^\circ - \varphi_3) \}$$

こゝに  $E I \cos(45^\circ - \varphi_1)$  は  $\varphi = 45^\circ$  に於ては  $E I$  なる volt-amp.

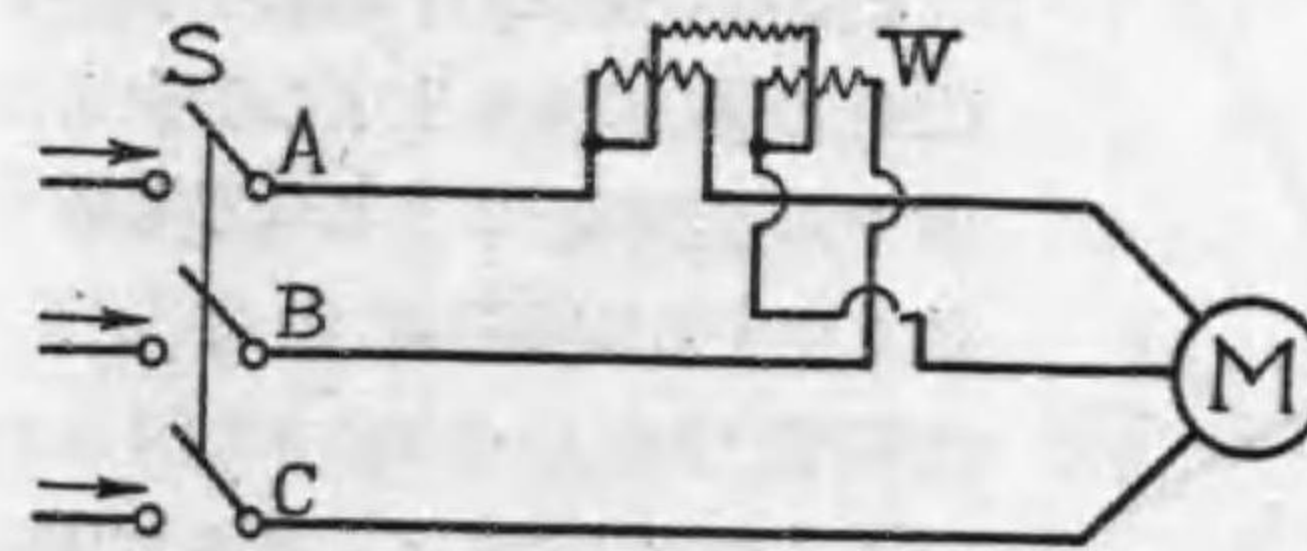
に等しくなるのである。然し  $\varphi = 45^\circ$  以外の場合には  $VI$  に等しくならない様に思はれるが實際に於て力率の或範圍に於ては  $VI$  に近い値を示すものである。左表はこの關係を示すもので、力率 0.9 から 0.42 位の間は  $E I \cos(45^\circ - \varphi)$  と、volt-amp.  $E I$  との差は約 6% 以内に保たれる。故に  $\varphi = 45^\circ$  に於て計器

$\cos \varphi$	$\frac{E I \cos(45^\circ - \varphi)}{E I}$
1.0	0.707
0.95	0.892
0.90	0.945
0.707(45)	1.000
0.60	0.990
0.45	0.943
0.20	0.834

の誤差を 3% に調整すれば斯様な計器の指示は力率 0.9~0.42 の範圍に於ては (±) 3% 以内の誤差で kVA 時を計量することになるのである。若し他の力率の範圍、例へば 1.0 から 0.6 位迄の範圍に於て調整しようと思へば、電壓線輪に流るる電流の位相を調整して行ふことが出来る。誤差を ±3% 以内の範圍とする爲めには、 $\varphi$  の範圍は約 40 度で之を  $0^\circ$  から  $90^\circ$  の間の如何なる位置にもずらすことが出来るのである。又  $\varphi$  の調整範圍を  $40^\circ$  以下にすれば必然的に誤差が減少する譯で之を  $30^\circ$  に限定すれば誤差は 2% 以下に減ずるものである。

### 盗用と積算電力計の指示

【問】 三相三馬力誘導電動機に三相平衡式積算電力計 (Landies E.B. 型) を取付けたる需要家あり。常に使用電力量少きにより調査せる所、引込開閉器に於て起動後一線の接觸を不良 (殆んど開放の状態) ならしめ、電動機を単相にて運轉し居たるを發見せり。此場合の電力量の計器に表はれる現象は A.B.C. 各端子



の開放に依り如何に變化するか御教示下され度し。

S = 引込開閉器

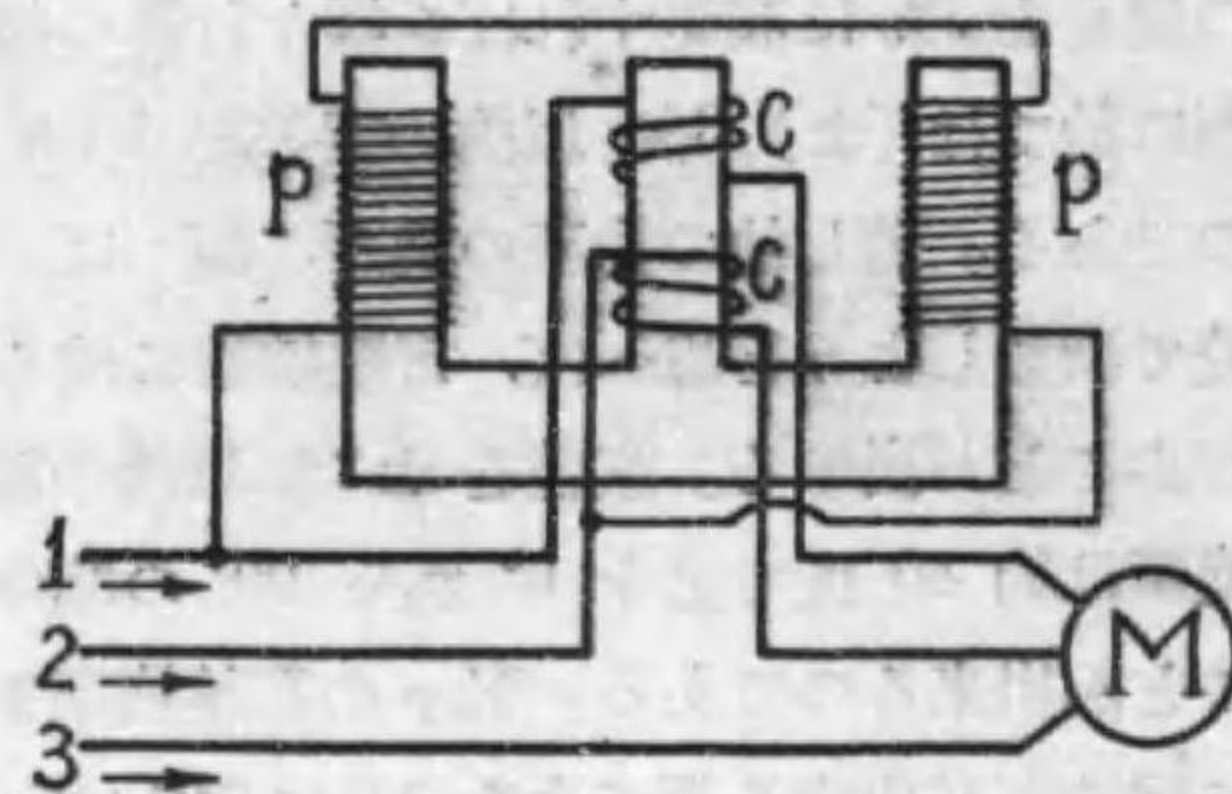
W = 積算電力計

【解】 實際かくの如くして単相にて相當負荷を擔ひ運轉し得るものなるかに疑ひがあるが、こゝには單に電力計の指示のみに就いてお答へすることにする。

先づランディス EB 型 (一般に多く用ひらるるもの) に就いてその構造と動作原理を充分知つて居らねばならぬ。

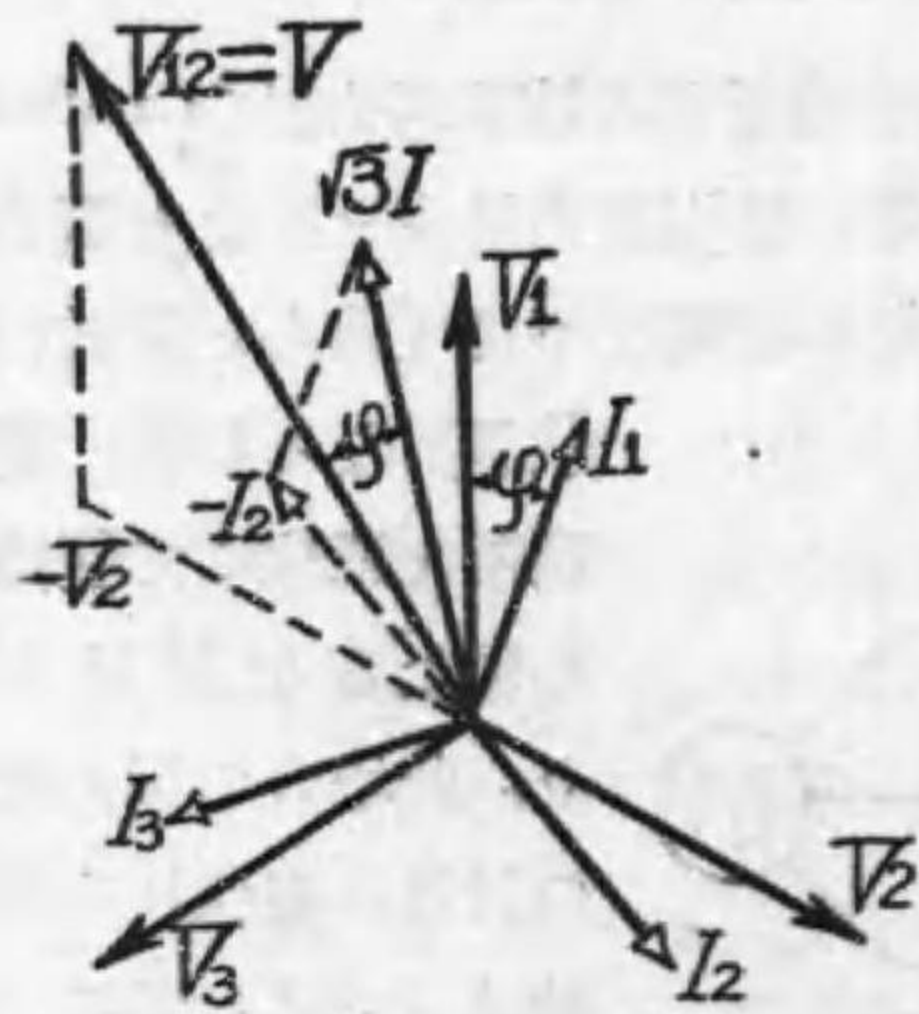
第1圖はその構造を示すもので、單相式積算電力計の電流線輪を

全く同一の巻数の二部 C, C に分ち、その巻方を反対とし、夫々三相式回路の二線に接続する。電圧線輪 P はこの二線の間接続する。斯くの如く接続せるものに平衡負荷をかけた場合のベクトル



第 1 圖

圖を畫けば第 2 圖の如くなる。V<sub>1</sub> V<sub>2</sub> V<sub>3</sub> は星形電圧でその絶対値



第 2 圖

は何れも等しい。故に電圧線輪に與へられた電圧 V<sub>12</sub> は V<sub>12</sub> = V<sub>1</sub> - V<sub>2</sub> にして大さは  $\sqrt{3}V$  となる。又線電流は |I<sub>1</sub>| = |I<sub>2</sub>| = |I<sub>3</sub>| = I となる。さて I<sub>1</sub> に依り生ずる磁束と I<sub>2</sub> により生ずる磁束とは逆であるから、2ヶの電流線輪に依り生ずる電流磁束  $\phi_c$  は  $\sqrt{3}I$  に相當するもので、ベクトルの  $\sqrt{3}I$  の位相にある。而して電圧線輪に依り生ずる電壓磁束  $\phi_p$  は

電圧 V<sub>12</sub> より 90° 遅れた位相にあるから廻轉力は单相積算電力計の場合と全く同様に

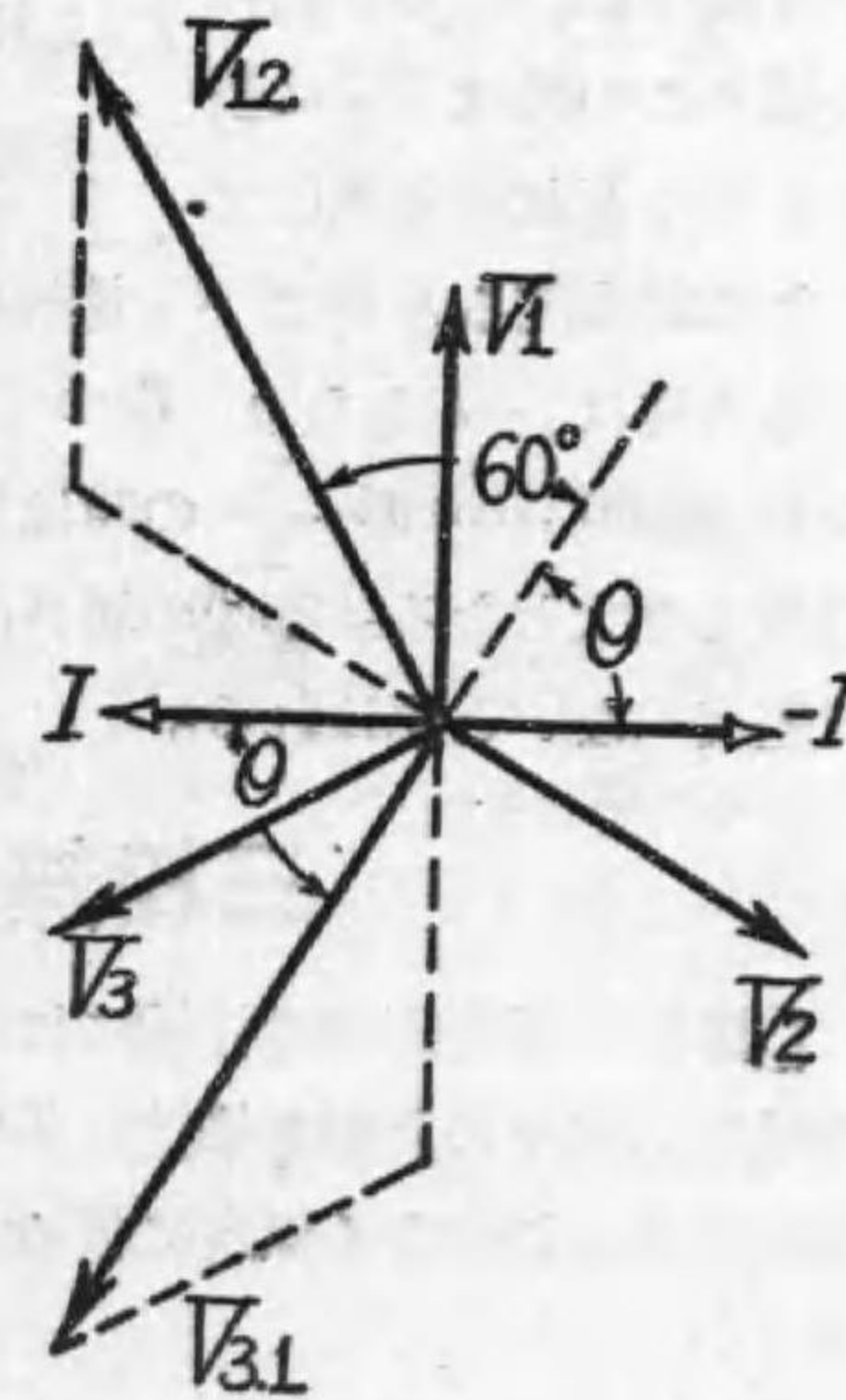
$$T = K \phi_c \phi_p \sin(90^\circ - \varphi) = K \phi_p \phi_c \cos \varphi = K \sqrt{3} VI \cos \varphi \dots\dots\dots(1)$$

而して電流線輪の巻数は单相の場合の  $\frac{1}{2}$  であるから廻轉力は (1) 式にて示されたる量の  $\frac{1}{2}$  となる。故に单相式計器に於ける齒車の比を 2 倍にすれば計器の計量は直ちに三相式電力量に相當する事が分る。

却説斯様な場合に ABC 各一線を離した時の電力量の指示はどうなるか。先づ最も簡単と思はるる C 線から始めてゆく。

(1) C 線断線の場合。この場合は AB 二線からの单相電力で電動機は廻轉してゐる。この時電圧線輪には V<sub>12</sub> なる線間電圧が加はり、電流線輪には A 線に結ばれた電流線輪 (以下 C<sub>1</sub> と呼ぶ) に流るる方向を正とせば、B 線に結ばれた線輪 (以下 C<sub>2</sub> と呼ぶ) に流るる電流は方向反對で大いさ等しい。而して C<sub>2</sub> なる線輪は逆に捲いてあるから C<sub>1</sub>C<sub>2</sub> 兩線輪の磁束は互に相加はる様にして働くから結局電力量の指示は单相使用電力量の 2 倍を指示する。元來この型は单相式にも使用出来るもので、この場合の如く電流線輪を直列に使用すればよいのである。

(2) B 線断線の場合。次に B 線断線の場合であるが、これには次の様な事を知つて居らねばならぬ。即三相誘導電動機が起動後单相にて運轉する場合は、完全なる圓形ではないが廻轉磁界を生じてをる。故にこの廻轉磁界に依り一次捲線には誘導起電力を生じてゐるものである。だから此の場合の如き時でも B 線には B 線が切れない場合と殆んど同じ程度の電圧は存在してゐるのである。こゝでは簡單の爲めこの電圧は全く三線共結ばれてゐる場合と同じ電圧が V<sub>12</sub> に存在すると假定しておく。かく假定すれば B 線断線の場合のベクトルは第 3 圖の如くなる。即 V<sub>31</sub> なる单相に對し θ なる



第 3 圖

位相角遅れて I なる单相電流が流れる。而してこの電流の正方向は

3より1即C線よりA線の方を正とせるもの故、 $V_{12}$ に対しては $-I$ となり、指示電力量は

$$VI \cos(60^\circ + \theta)$$

となるべし。故に $\theta$ が $30^\circ$ 即力率が $86.6\%$  ( $\cos 30^\circ$ )より悪い値となれば電力計は逆廻轉をなすべし。而して力率は単相電動機となつてゐる関係もあり、非常に悪いと思はれる故逆廻轉する事は疑ひない。

(3) A線断線の場合

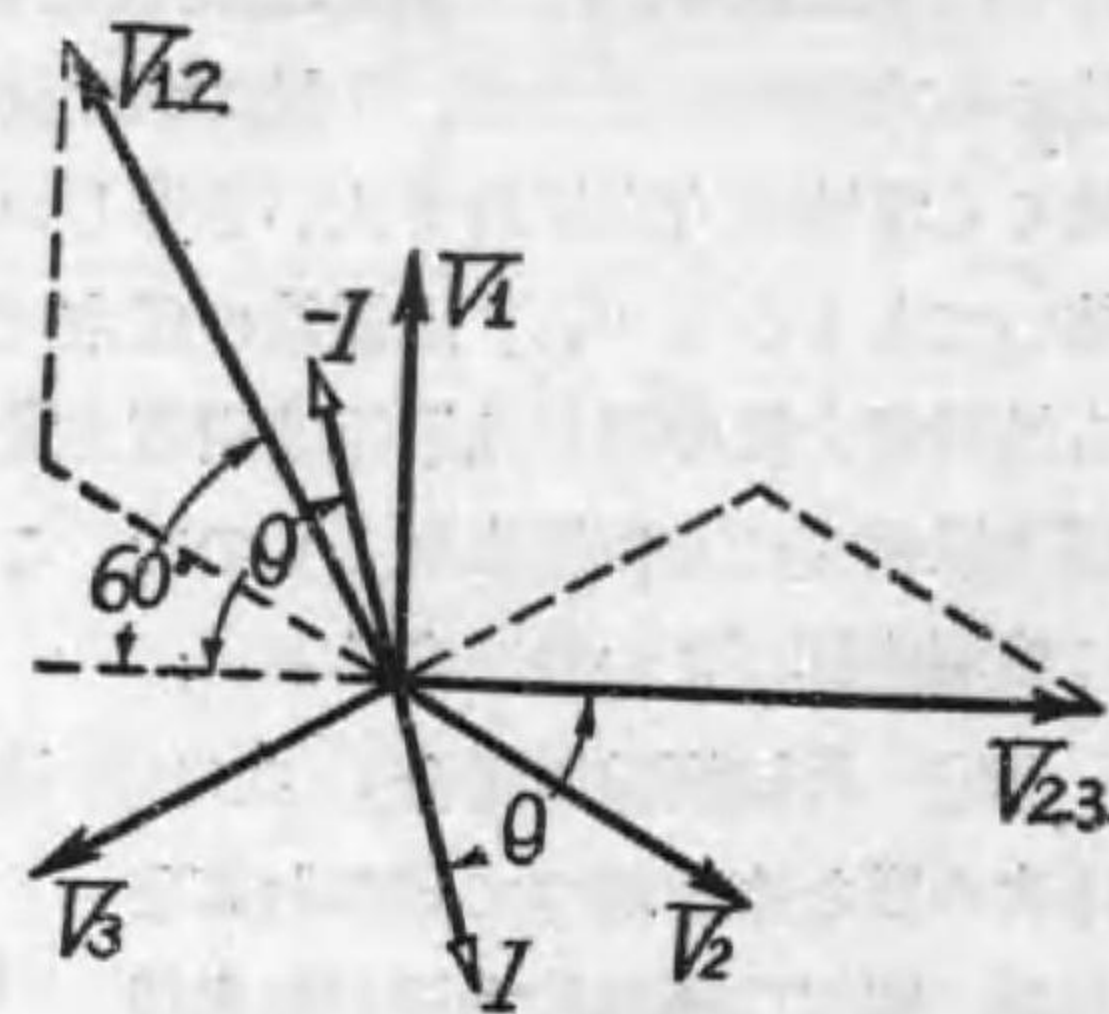
この場合のベクトルは第4圖の如くなる。前述の通りこの時は $V_{23}$ に対し $\theta$ なる遅れ位相角にて

$I$ なる電流流るとせば、 $C_2$ 巻線は反對に巻いてある爲め、 $V_{12}$ に対する方向は $-I$ となり、従つて生ずる廻轉力は $VI \cos(60^\circ - \theta)$ となり $\theta = 60^\circ$ ,  $\cos \theta = \frac{1}{2}$ の時は電力量は $VI$ を示す事となり眞の電力量より大となる。即この場合は凡そ使用電力量を指示すると考へて差支へないと思はれる。

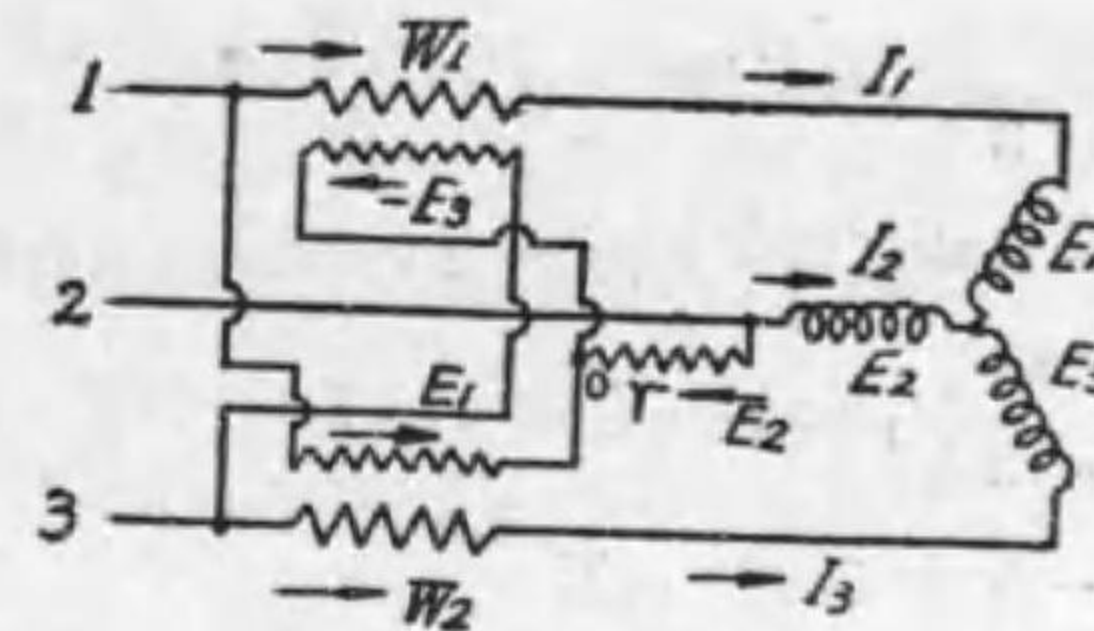
### 三相無効電力計

【問】 當所同期進相機には三相無効電力計があります。此れは有効電力測定の時器と構造に於ても接続に於ても餘り異ならぬ様思はれます。如何なる原理に依るものかベクトル關係を示して御教へ下さい。

【解】 第1圖は電壓が平衡して居る三相式回路の無効電力を、2個の電流計型電力計に依り測定する方法を示すもので、普通の三相電力を測定する二電力計法と異なる點は電壓線輪の接続法であ

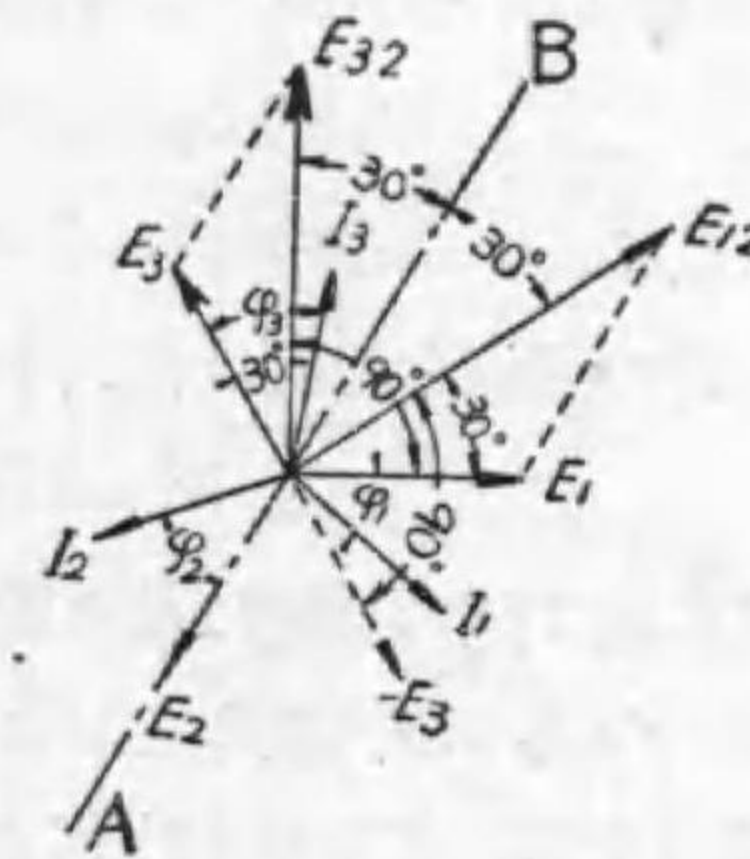


第 4 圖



第 1 圖

る。即ち此の方法に於ては電力計  $W_1$  には  $E_1 - E_2 = E_{12}$  なる電壓を與ふる代りに、(2) 線に抵抗  $r$  を接続して  $O$  點に人為的中性點を作り、 $-E_3$  なる電壓を與へ、電力計  $W_2$  には  $E_{32}$  なる電壓の代りに  $E_1$  なる電壓を與へる。第2圖は此の場合のベクトル圖を示すものである。 $-E_3$  は  $E_{12}$  より  $90^\circ$  遅れて居り、 $E_1$  は  $E_2$  より  $90^\circ$  遅れて居る。故に電力計  $W_1$   $W_2$  の指示は次の様になる。



第 2 圖

$$W_1 = E_3 I_1 \cos(90^\circ - 30^\circ - \varphi_1) = E_3 I_1 \cos(60^\circ - \varphi_1)$$

$$W_2 = E_1 I_3 \cos(90^\circ + 30^\circ - \varphi_3) = -E_1 I_3 \cos(60^\circ + \varphi_3)$$

電壓は平衡して居ると考へるから、 $E_1 = E_2 = E_3 = E$  故に  $W_1$  と  $W_2$  との代数和  $W$  は

$$W = W_1 + W_2 = E \{ I_1 \cos(60^\circ - \varphi_1) - I_3 \cos(60^\circ + \varphi_3) \}$$

この右邊を  $\sin 60^\circ$  にて割り、括弧の中にかける。然して  $\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$  なる故

$$W = \frac{2}{\sqrt{3}} E \{ I_1 \sin 60^\circ \cos(60^\circ - \varphi_1) - I_3 \sin 60^\circ \cos(60^\circ + \varphi_3) \}$$

$$- I_3 \sin 60^\circ \cos(60^\circ + \varphi_3) \}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{E}{\sqrt{3}} \{I_1 \sin(120^\circ - \varphi_1) + I_1 \sin \varphi_1 \\
 &\quad - I_3 \sin(120^\circ + \varphi_3) + I_3 \sin \varphi_3\} \\
 &= \frac{E}{\sqrt{3}} \{I_1 \sin \varphi_1 + I_3 \sin \varphi_3 + I_1 \sin(60^\circ + \varphi_1) \\
 &\quad - I_3 \sin(60^\circ - \varphi_3)\}
 \end{aligned}$$

然るに三相回路の性質上  $I_1 I_2 I_3$  のベクトル和は零であるから、任意の直交軸上の分力の代数的和は夫々零に等しい。故に第2圖の AB 線 ( $E_2$  の方向) に直角なる方向の分力を考えると

$$I_2 \sin \varphi_2 + I_3 \sin(60^\circ - \varphi_3) - I_1 \sin(60^\circ + \varphi_1) = 0$$

故に  $I_2 \sin \varphi_2 = I_1 \sin(60^\circ + \varphi_1) - I_3 \sin(60^\circ - \varphi_3)$

此の関係を前式に代入すれば

$$\sqrt{3} W = E(I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2 + I_3 \sin \varphi_3)$$

故に第1圖の接続に依り電圧の平衡した三相回路に於ては、 $W_1$  及  $W_2$  の讀みの代数和を  $\sqrt{3}$  倍すれば電流不平衡の場合にも三相無効電力を測定する事が出来るのである。

此のことは三相電力を測定する二電力計法と比較するに、各電力計に加はる電圧が  $90^\circ$  遅れてゐる  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  の電圧であるから、當然二電力計の讀みの代数和の  $\sqrt{3}$  倍が、三相無効電力なる事が想像し得らるる筈である。

### 力率計の振れ

【問】 私が勤務してゐる變電所の受電盤には三相指示電力計 1 箇、電流計 3 箇、力率計 1 箇が接続されて居る。或る朝各電流計の指示は前日と同じであるのに、電力計は 115 kW (平生 250 kW 位) 力率計は 100% (平生 84% 位) を指してゐる。電流計は異状なきにさてはと思ひて調べし結果計器用變壓器の共通線の締付螺子が弛んで居る事を發見、早速之れを直した所同一電流値にて平生と同じ

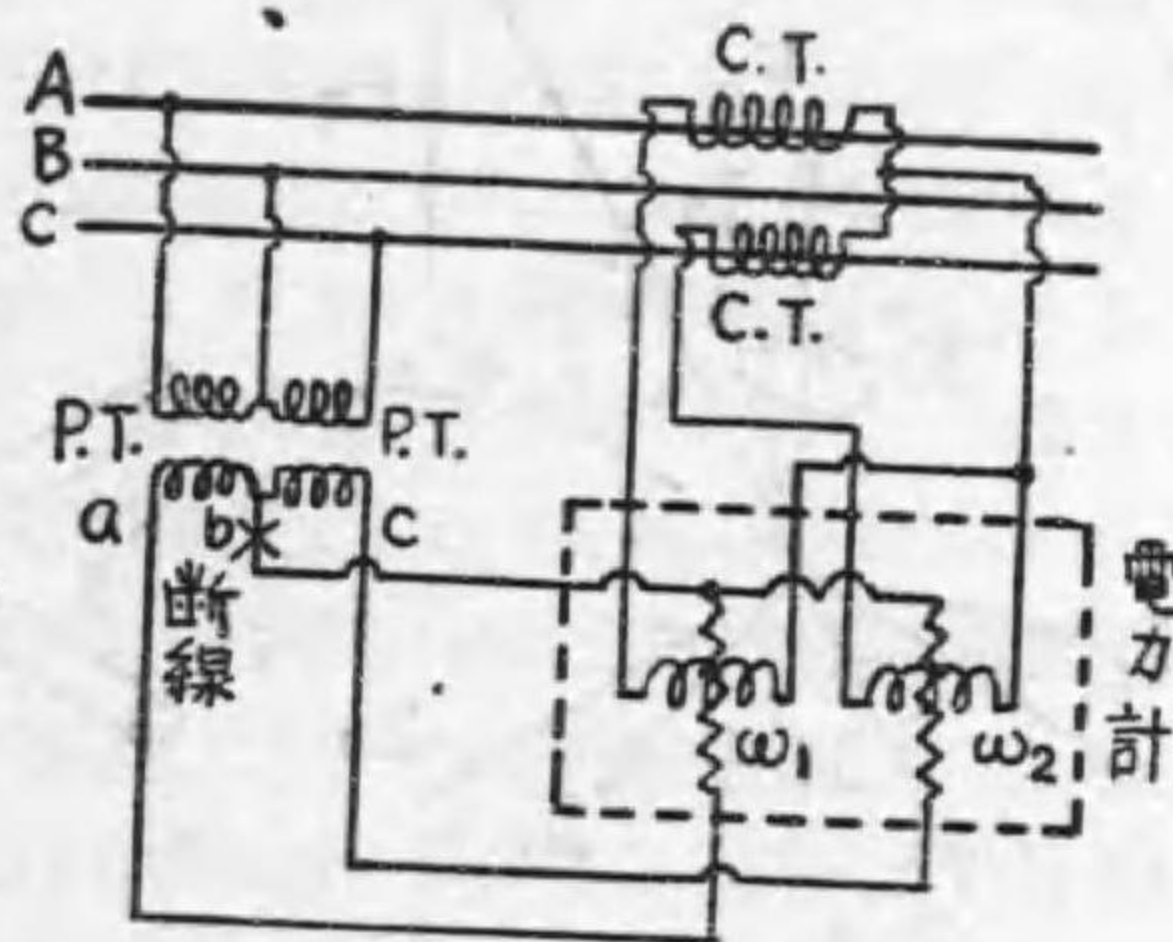
く 250 kW 力率 84% を指示しました。上記の電力計及力率計が締付螺子の弛みにより斯くの如く指示に變化を起こせし理由を遞試第二種程度にて御教示願ひたい。尙負荷は 3300 V, 53 A, 平衡負荷であります。

【解】 先づ電力計が約實負荷の半分を指示してゐる點から、締付螺子の弛みは完全な斷線であつた事が斷定される。何故なれば三相平衡負荷に於て電壓線の或一線が斷線した場合は電力計の振れは半分となるからである。これは既に本紙に數回論ぜられた事ではあるがこれを説明すれば次の通りである。

接続圖は多分第1圖の様になつてゐたと思ふ。この接続に於て X で斷線せし時のベクトル圖は第3圖の様になる。

第2圖は正しき場合のベクトル圖である。

即  $w_1$  エレメントには  $V_{ab}$  の代りに  $V_{ac}$ ,  $w_2$  エレメントには  $V_{cb}$  の代りに  $V_{ca}$  が加はり、 $w_1 w_2$  各電圧線輪のインピーダンスは

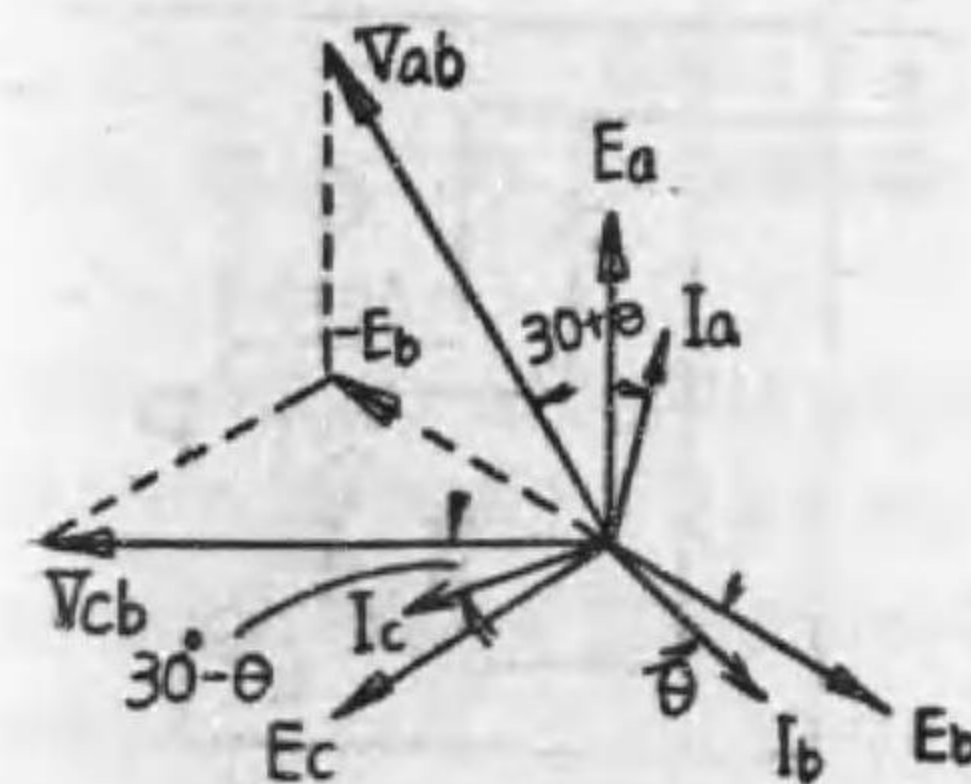


第 1 圖

等しいと見て差支へないから實際の電圧線輪に加はる電圧は  $\frac{1}{2} V_{ac}$  及  $\frac{1}{2} V_{ca}$  となる。今  $V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = V$ ,  $I_a = I_b = I_c = I$  とせば、正しき場合の全指示電力  $W$  は

$$\begin{aligned}
 W &= VI \cos(30^\circ + \theta) \\
 &\quad + VI \cos(30^\circ - \theta)
 \end{aligned}$$

X が斷線せし時の指示  $W'$  は



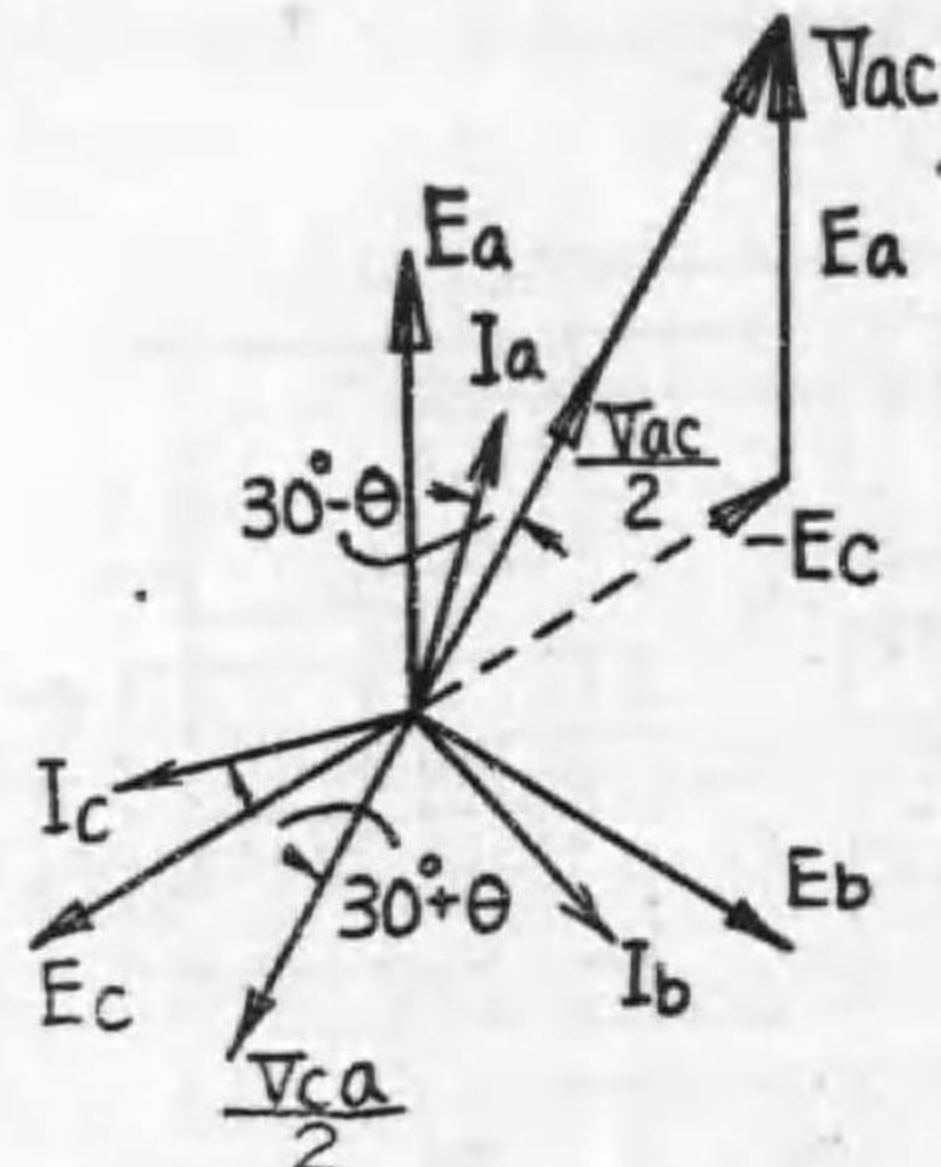
第 2 圖

$$W' = \frac{V}{2} I \cos(30^\circ - \theta) + \frac{V}{2} I \cos(30^\circ + \theta)$$

$$= \frac{1}{2} \{VI \cos(30^\circ - \theta) + VI \cos(30^\circ + \theta)\} = \frac{W}{2}$$

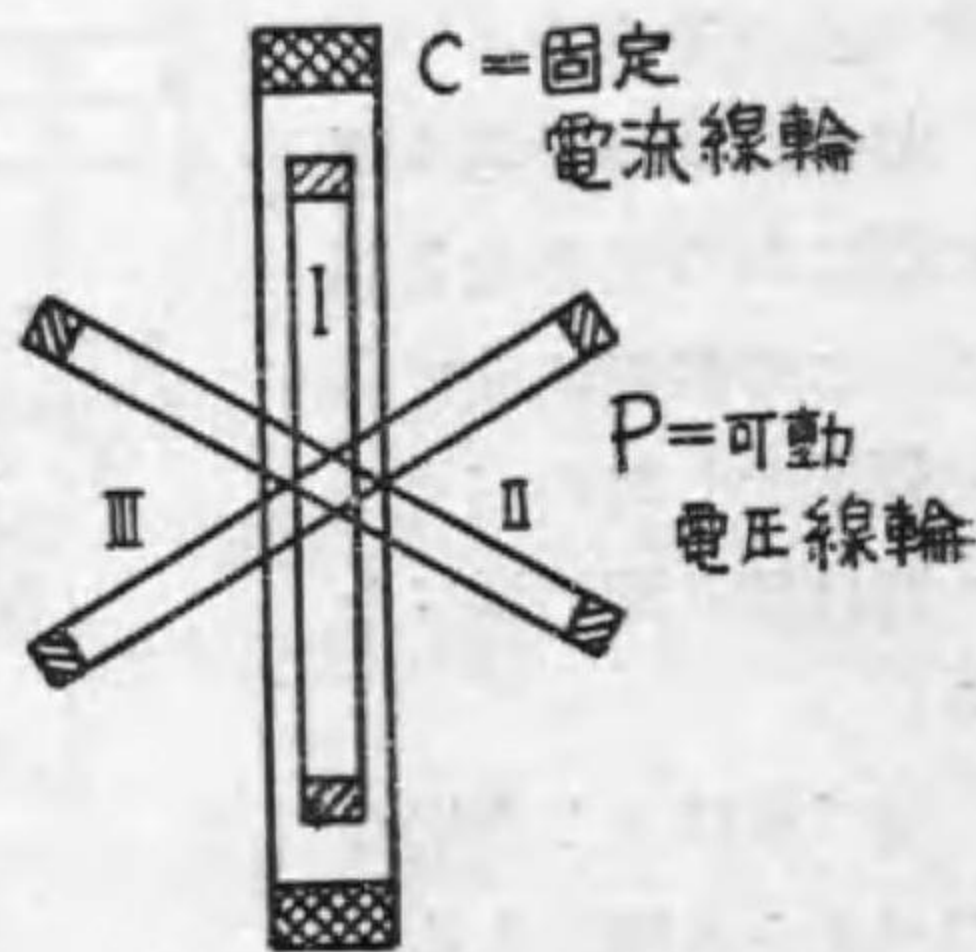
依つてb線が断線してゐたと断定してよいのである。

次に力率計は何故 100% を指示したか。之に就いて筆者はあらゆる場合を考察して漸く電圧線輪が△に結線されその内の或一線が断

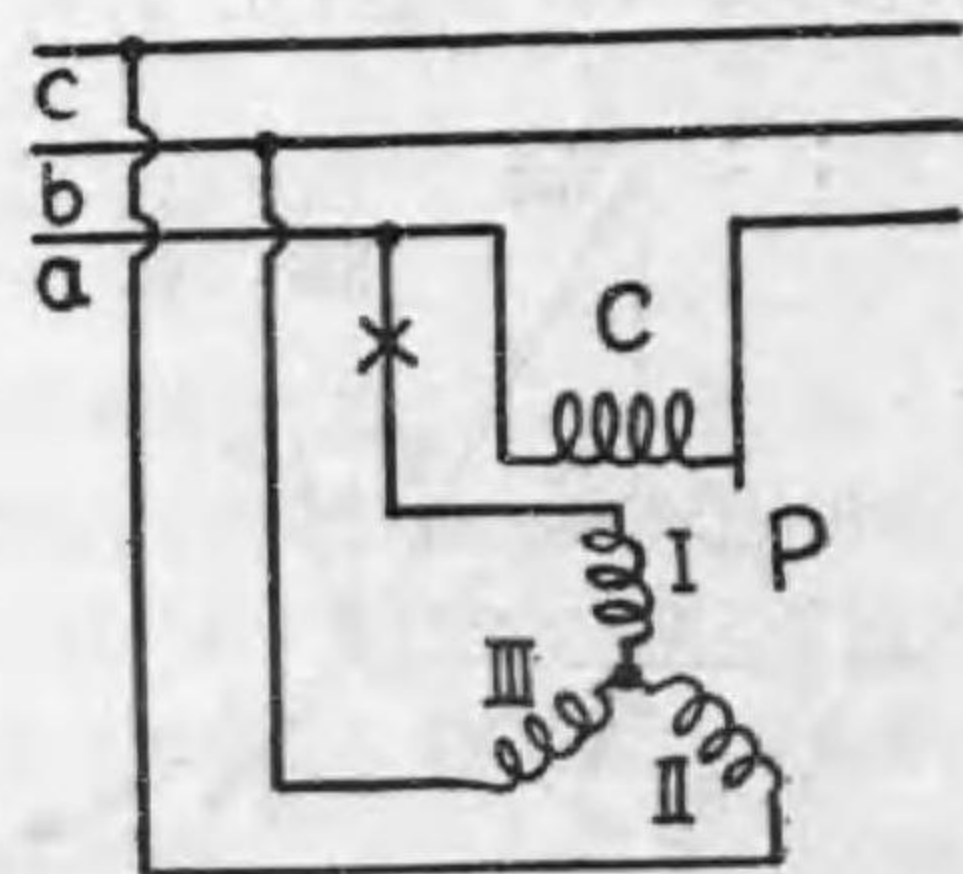


第 3 圖

線せし場合は 100% を指示し得べき事を発見した。力率計の電圧線輪の結線法は逆 V 即空間角 60° の二つの巻線を V に接続して三相電圧を加へしもの、3 個の巻線を Y に接続せるもの等はよく接続圖等にて見受ける。然しかゝる接続に於てはいかなる一線が断線しても力率は 100% を指示し得ぬ。例へば今



第 4 圖



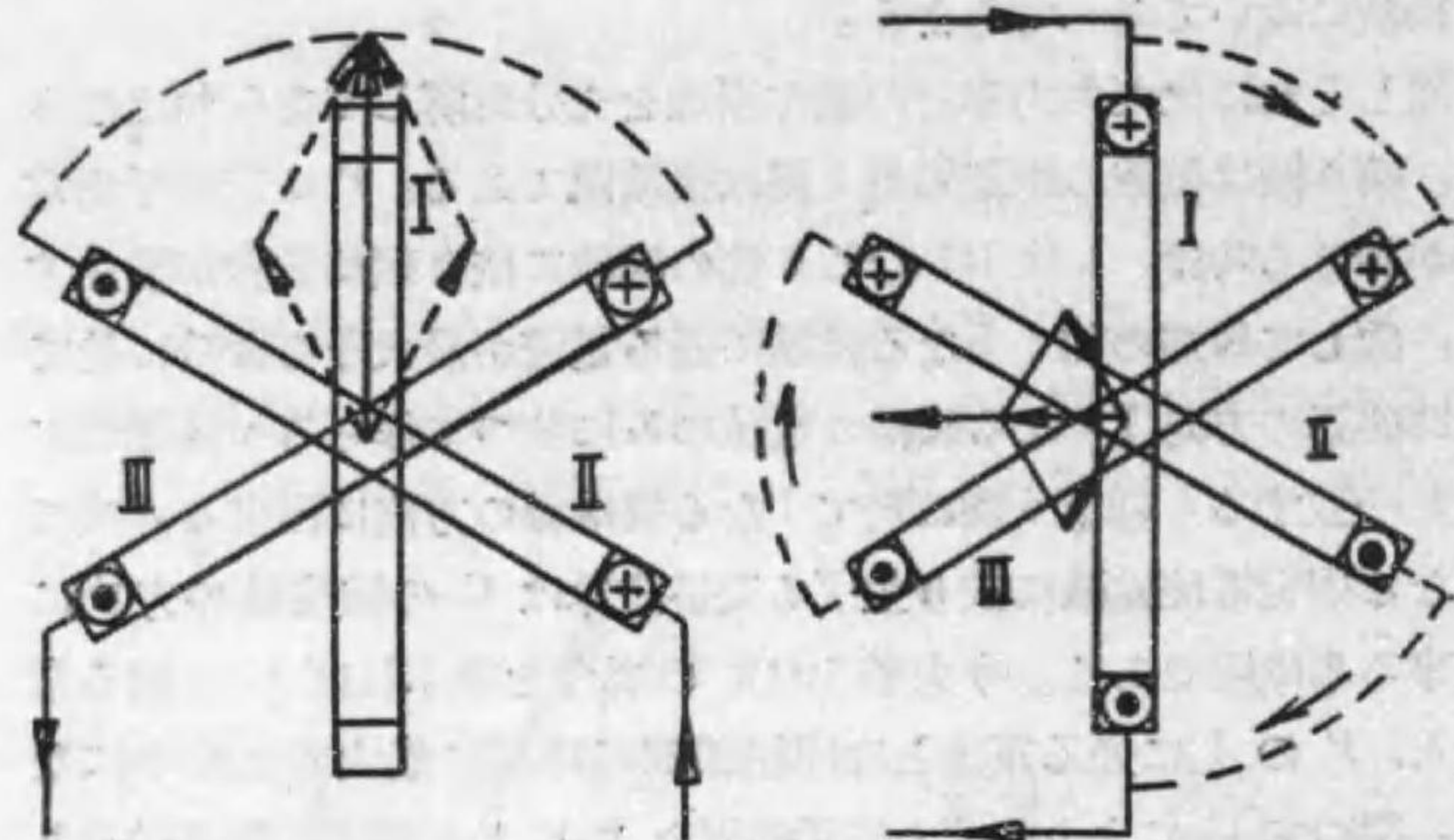
第 5 圖

Y 接続に就いて考へてみよう。

而しそれに先だち力率計の働作原理を充分理解してをらねばならぬ。第 4 圖は線輪の配置圖第 5 圖は接続圖である。P に三相平衡電圧が加はる時は、I II III なる 3 箇の線輪に依り廻轉磁界が発生する、而して周知の如く I なる線輪に通る電流が最大なる瞬時に於て廻轉磁界の方向は I なる線輪の電流のみに依つて作らるゝ磁界の方向と一致する。即第 4 圖に於て I なる線輪軸の方向に出来る。次に C なる固定電流線輪に依り生ずる交番磁界は C の線輪軸の方向に出来る事は明である。今力率 100% の場合を考ふれば C に通る電流と、P の I に通る電流とは同相即同じ時間に最大或は最小になる。従つて C により生ずる交番磁界と P により生ずる廻轉磁界とは前者が最大なる瞬時に於て同じ時間に同じ空間位置を占むる點に合致し即第 4 圖の如き點に P 線輪は静止し力率は 100% を指示する。然るに力率が不良例へば電流が電圧よりも遅れた場合は、I なる電圧線輪に通る電流が最大なる時には未だ電流線輪の電流は最大値に達せず、或る時間を経過して初めて交番磁界が最大となる。従て第 4 圖の如き位置にては交番磁界の最大値と廻轉磁界の最大値とは合致しない。然るに若し P 線輪が空間角 θ だけ廻轉磁界廻轉の方向と逆方向に廻轉してをれば、θ 空間角に相當するだけの位相差(時間)即  $\cos \theta$  が力率であれば、C 線輪の電流が最大なる瞬時に於て廻轉磁界の方向と固定電流線輪に依り生ずる交番磁界の方向と一致する。即 P 線輪は θ だけ廻轉し、指針は  $\cos \theta$  を示すのである。但しこれ等二つの線輪間の廻轉力に關しては参考書に依らるべし。

以上の説明より假令単相力率計と雖も電圧線輪には廻轉磁界を必要とする事が判明するであらう。若し兩者共交番磁界である時は力率の如何に拘らず、兩線輪軸の一致する如き位置に静止するものである。

之れだけの事が判明した。故に X が切斷せりとすれば、P 線輪



第 6 圖

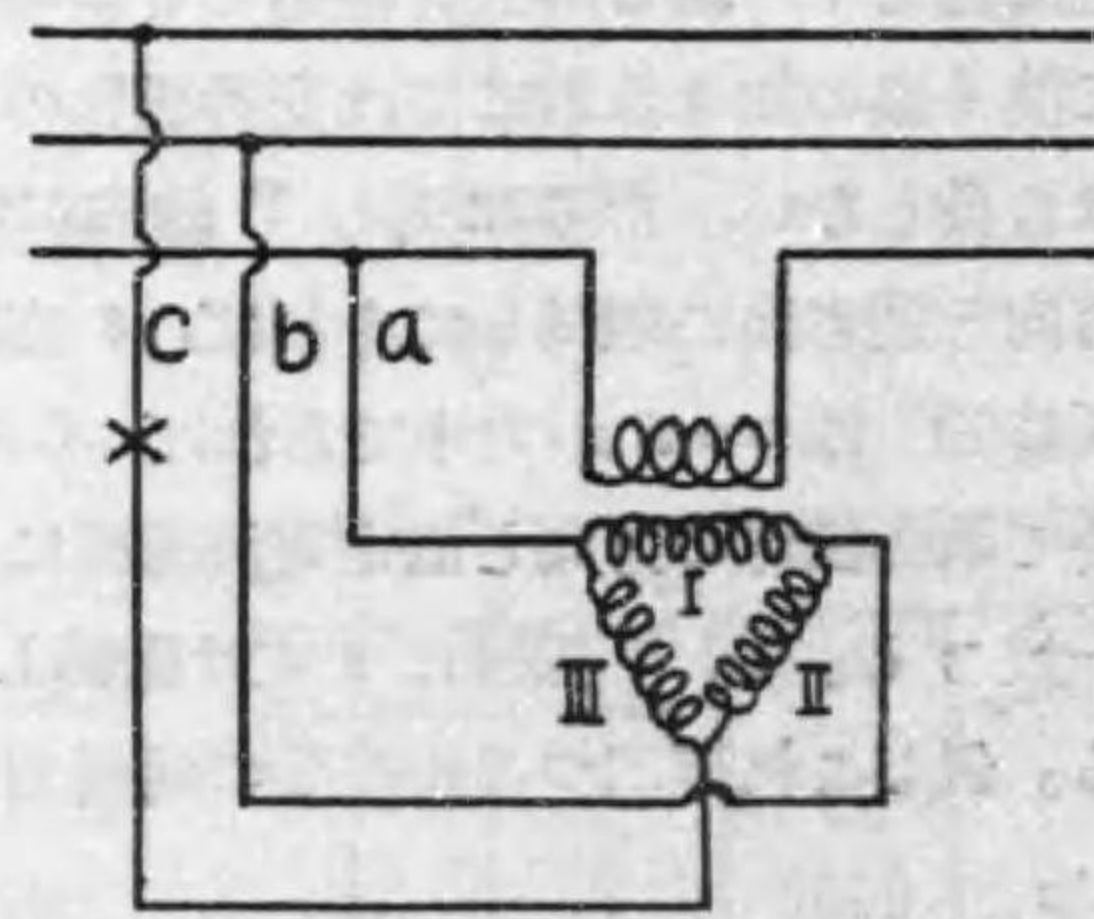
第 7 圖

は第 6 圖の如くなり交番磁界は I の線輪軸と垂直にあり、可動線輪はこの位置より 90° 廻轉し力率計の指針は見えなくなる。(力率計は普通 50% 迄しか目盛がない) 他の二線が切れた場合もこれと同様にして考へてゆけば解る。

次に△に接続された場合を考へ第 8 圖に於て C 線が断線した場合を考へれば、可動線輪に依り生ずる交番磁界の方向は正しく I 線輪の軸の方向に来る事が解る。従つて固定線輪軸と I の線輪軸と

は合致し力率は 100% を指示し得る譯である。たとへその力率は 84% であつても。

以上第 2 種程度の解答としては稍冗長の嫌ひはあるが之は理解を容易ならしむる爲めの微意に外ならぬ。尙序があつたら電圧線輪が



第 8 圖

△接続であるや否やを御確め下さい。

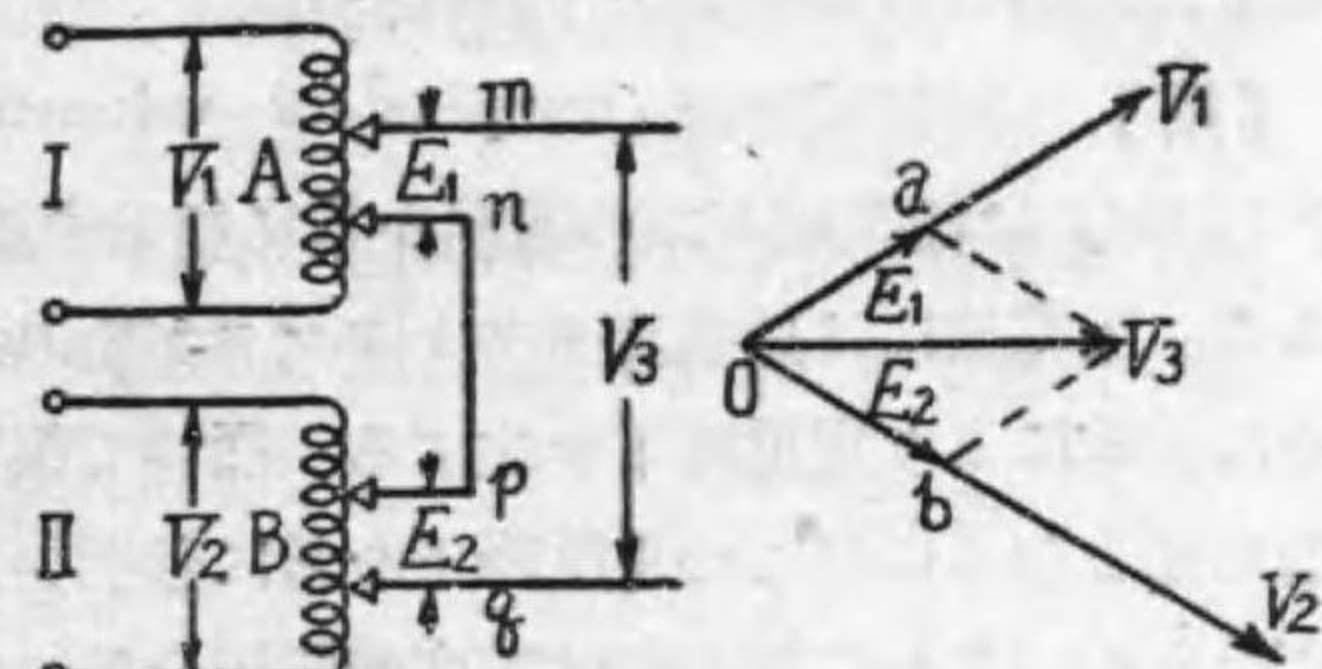
### 移 相 器

【問】 移相器とは如何なるものですか。其の構造原理及用途に就き御教示下さい。

【解】 移相器には二、三の種類がある。何れも積算電力計の如く電圧電流間の位相差を變へて即力率を變化して試験する場合、電流線輪と電圧線輪とを別々の電源に結び、兩者間の相差角を任意に變更する爲めに用ひられる。

(a) 變壓器に依る法。2 個の變壓器 A, B を二相或は三相の I, II 相に結ぶ。m, n,

及 p, q は各變壓器のタップで、これを適當に結ぶのである。第 1 圖はこれを示したもので、第 2 圖はそのベクトル圖である。故に  $V_1, V_2$



第 1 圖

第 2 圖

間の位相差を、90°, 120° の如くなしおけば  $V_3$  と、 $V_1$  或は  $V_2$  との間の位相差を 0~90° 迄變化せしむる事が出来る。實際のものは變壓器のタップ板に栓を挿入しその栓の所に相差角が記してある。又最初に相差角を更正するには電圧計電流計及電力計を用ふれば精確に行ふ事が出来る。

(b) 三相誘導電壓調整器に依るもの。周知の如く三相誘導調整器の二次起電力は、廻轉子の位置に従ひ、固定子起電力との間に相差角を生ずる。然してその値は不變である。従つてこの二次起電力を用ふれば任意の相差角を取り得る。廻轉子廻轉装置はウォーム・ギアを用ひ、廻轉部の所に相差角の目盛が施してある。

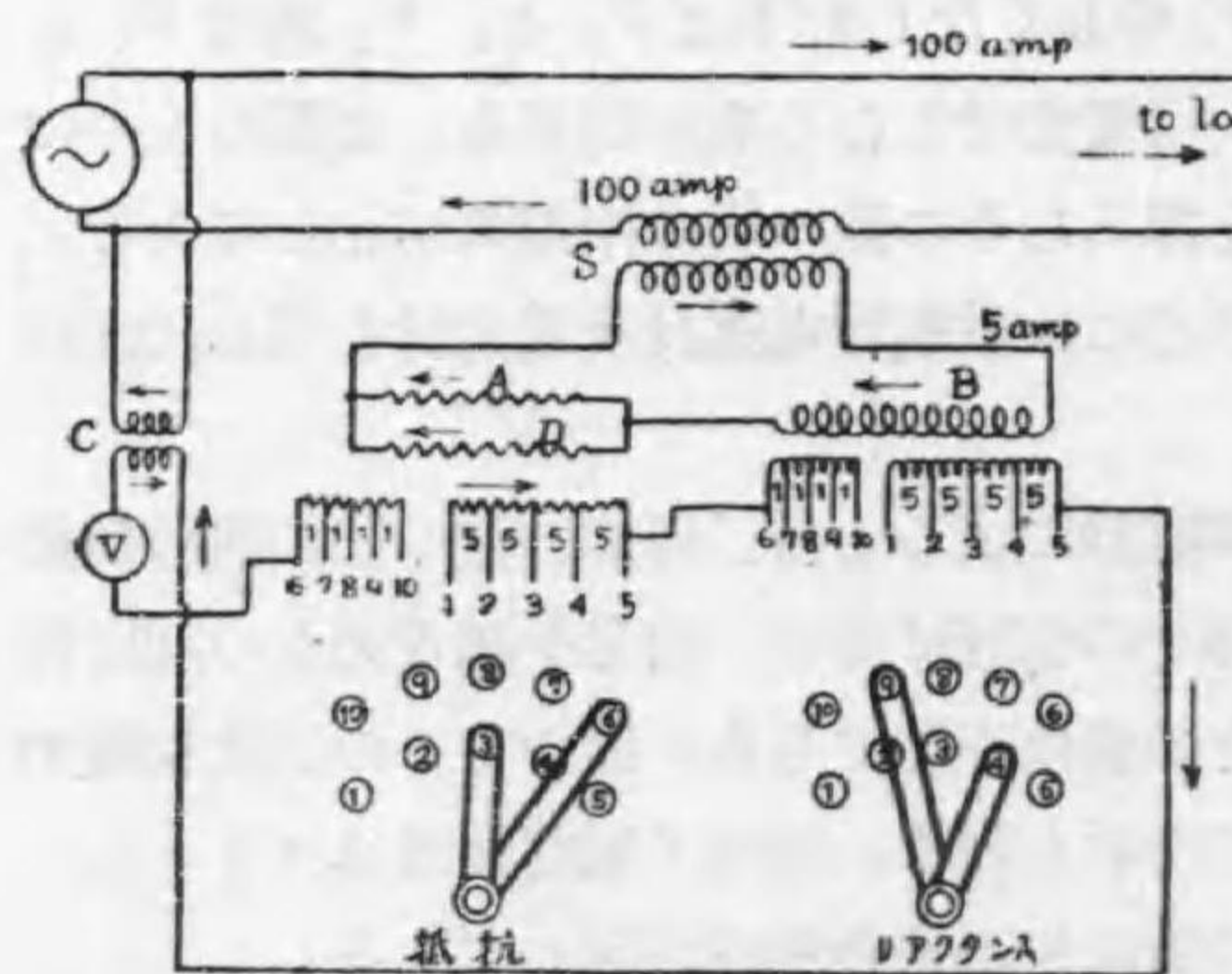
(c) 發電機を用ふるもの。電動機にて運轉される 2 個の廻轉界

磁型交流発電機を用ふる。兩機の手軸は直結され、その上に2機の界磁がある。發電子捲線は別々の固定子捲線に捲かれ一方は電流發電機 (current generator) 一方は電壓發電機 (potential generator) として作られる。この内1個の發電子捲線は、固定子鐵心と共に電氣度  $90^\circ$  だけ移動する事が出来る様になつてゐる。従つて兩發電子から發生する電壓電流間の相差角は、 $0 \sim 90^\circ$  迄任意に加減し得るのである。

### 補 償 電 壓 計

【問】 交流電壓配電線に於て、饋電點電壓を測定するに用ふる補償電壓計の原理御教示下されたし。

【解】 補償電壓計 (compensated voltmeter or line drop compensator) は饋電線末端の電壓を常に指示する様製作されたものである。配電線には抵抗及リアクタンスがあり、それが各負荷電流及その力率により電壓降下を生ずる。従つて饋電線末端の電壓を常に指示せしむるにはこの電壓降下を常に差引いたものを指示せしめねばならぬ。これに對しては丁度配電線全長に相當する抵抗及リアクタンスを代表せしむる擬似回路を作つておき、これに變流器により

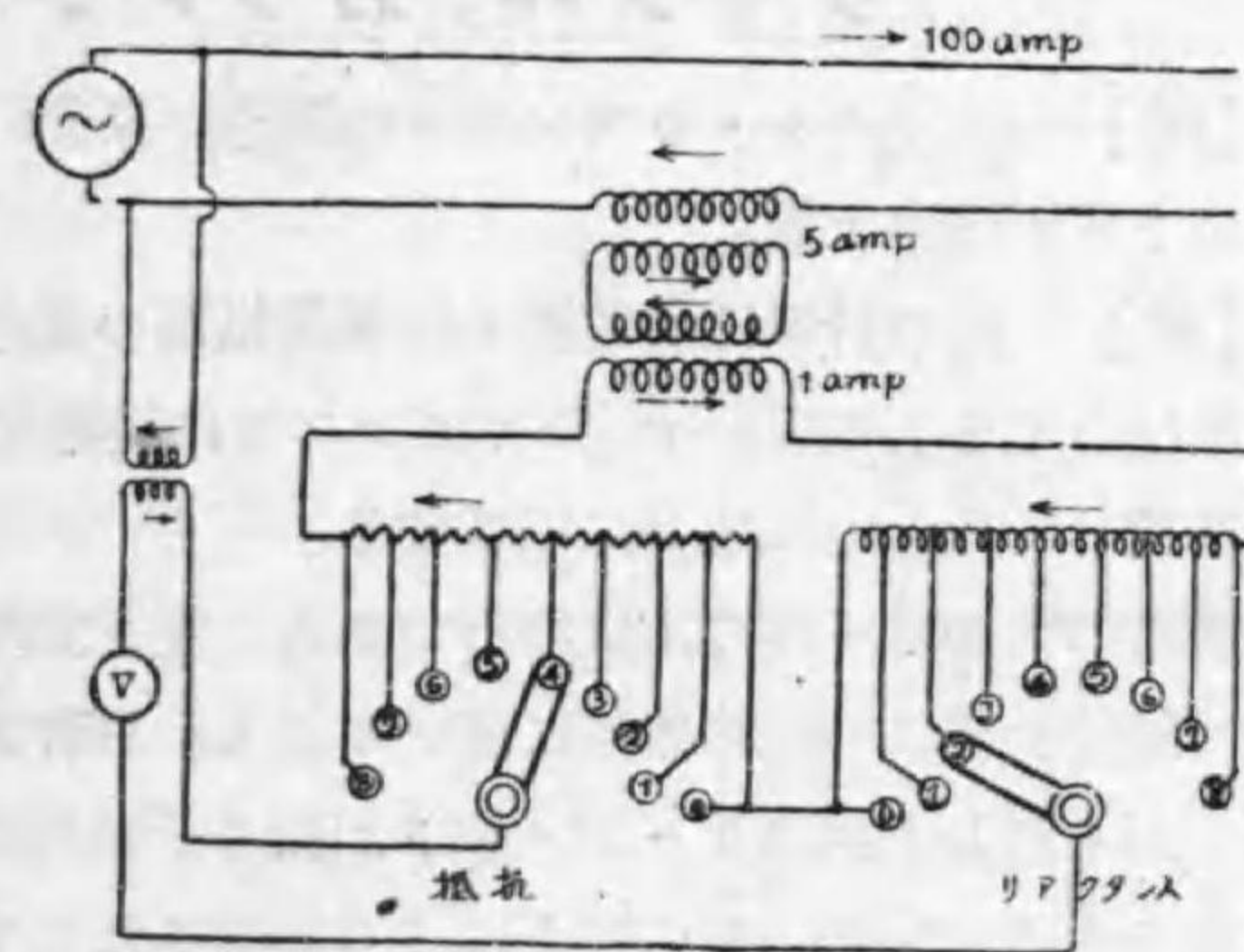


第 1 圖

線電流に相當する電流をこの回路に流し電壓降下を生ぜしむる。この降下を引出口電壓から差引いたものが電壓計に表はれる様にしておけばよい。次に代表的の補償電壓計の二、三を示さう。

第1圖は W 社製のもので、100 A に對し 24 V の電壓降下を生ずる様設計されてゐる。線電流は變流器 S に依り、誘導部分 B 及び抵抗部分 A, D に負荷電流に比例する電流を流す。更らに B の二次捲線は 100 A の負荷電流が流れた時に、5 V 及 1 V 宛のリアクタンス降下を生ずる部分各 4ヶ及び 5 V, 1 V の抵抗降下を生ずる部分各 4ヶを圖の如く配列しその各點より下部に示す把手の接觸子 1, 2, 3...7, 8, 9, 10 に結んでおく。把手は 2ヶあり、各獨立に動かし得る。従つて圖の如き把手の位置では抵抗降下は 10 V, リアクタンス降下は 4 と 5 の間の 5 V 及 6 と 9 間の 3 V との和で 8 V を得る。言ふ迄もなくこれは負荷電流 100 A の時である。一方電壓計は計器用變壓器 C により適當の電壓が加はるが、その電壓にこの 10 V の抵抗降下、8 V のリアクタンス降下が逆に作用してそれだけ降下した電壓を表す。負荷電流が減れば勿論電壓降下は下る。又饋電線の R 及 X の値が異なれば把手を動かして適當の値に更正することは勿論である。

第2圖は G.E. 社製の補償電壓計である。把手に對する 1ノッチ毎の電壓降下は 1 A の電流に對し各 3 V 宛になつてをる。従つて圖の如き把手の位置に於ては



第 2 圖

100 A の負荷電流に對し抵抗降下 12 V, リアクタンス降下 6 V の割合になつてをる。

尙序迄に單相饋電線に於いて、この電壓降下を如何に定むるかに就いて一例を述べてをかう。

60〜饋電線, No. 0 AWG 銅線 5000 呎, 单相, 線間隔 12 吋, 變流器變流比 100/5 A, 變壓器變壓比 2200/110 V とすれば抵抗降下を求めんに 1 A 當り 0.0981 V/1000 呎, 故に 5000 呎, 100 A に對しては

$$2 \times 100 \times 5 \times 0.0981 = 98 \text{ volt}$$

$$98 \div 2200 = 0.045 = 4.5 \%$$

リアクタンス降下は毎 1 A 當り

$$0.1043 \text{ V/1000 呎, 故に}$$

$$2 \times 100 \times 5 \times 0.1043 = 104 \text{ volt}$$

$$104 \div 2200 = 0.047 = 4.7 \%$$

故に, 把手の位置は共に  $(0.045 \text{ or } 0.047) \times 110 = 5 \text{ V}$ , 即 5 V の所に置いておけば, 常に饋電線終端の電壓を指示せしむる事が出来るのである。

## サイクル・カウンター

【問】 サイクル・カウンターの構造, 原理, 種々の接続法御教示被下度御願申上候。

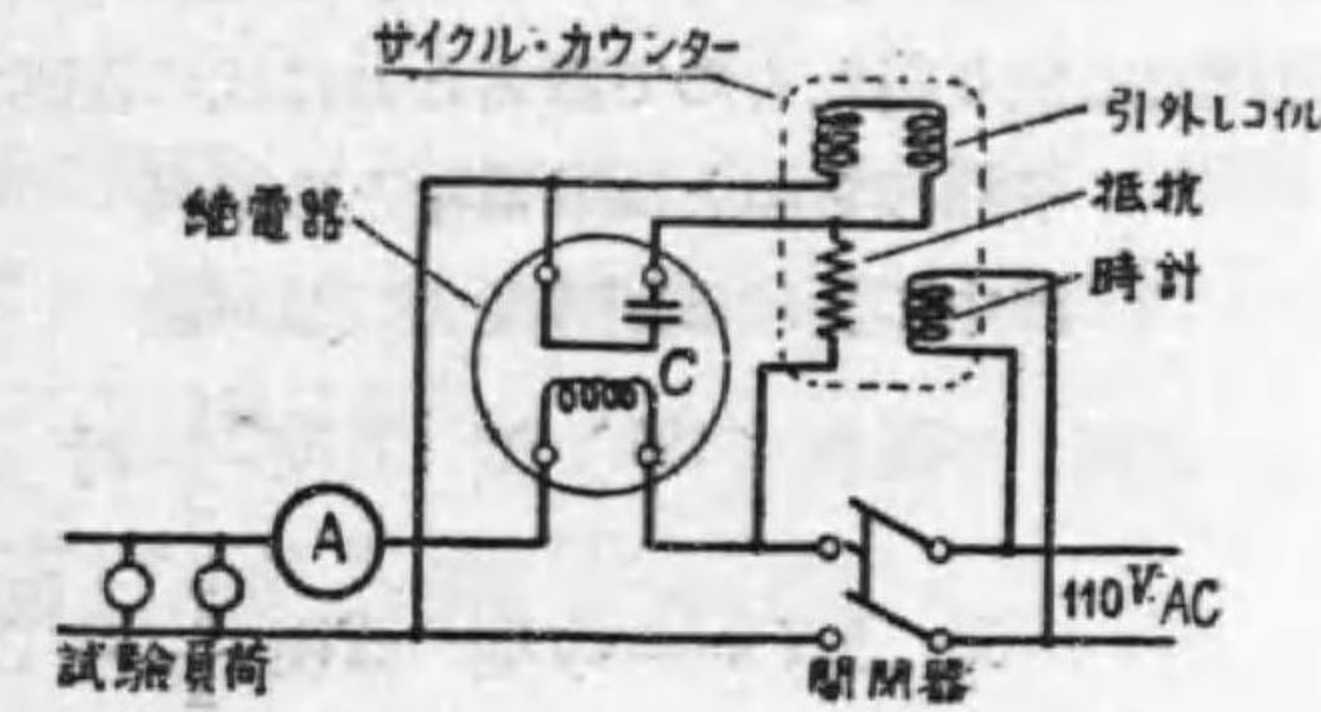
【解】 此の計器は繼電器や自動遮断器の動作時間等を測定するに用ひらるるもので, オシログラフでは複雑であり, 秒時計では不精密であるといふ場合に適當する。

構造の大要は一種の電氣時計である。豆電動機を備へ, その電動機で發條を常に一定の強さに捲いてゐる。只普通の時計と異なるのは「引き外し」エスケープメントが振り子の代りに電磁石により働く事である。即強い耐久磁石により磁化された小片に對し, 電磁石に既知周波数の交流を通じ, pivot を中心として周波數に應じて同期に振動せしめる。この振動に依り時計の齒車を一振動により一爪丈け外すことになり, 結局 1 サイクル毎に指針は一目盛丈け進むこととなるのである。

目盛と指針は二つ宛あつて米國 W 社製のものは 60 サイクルと

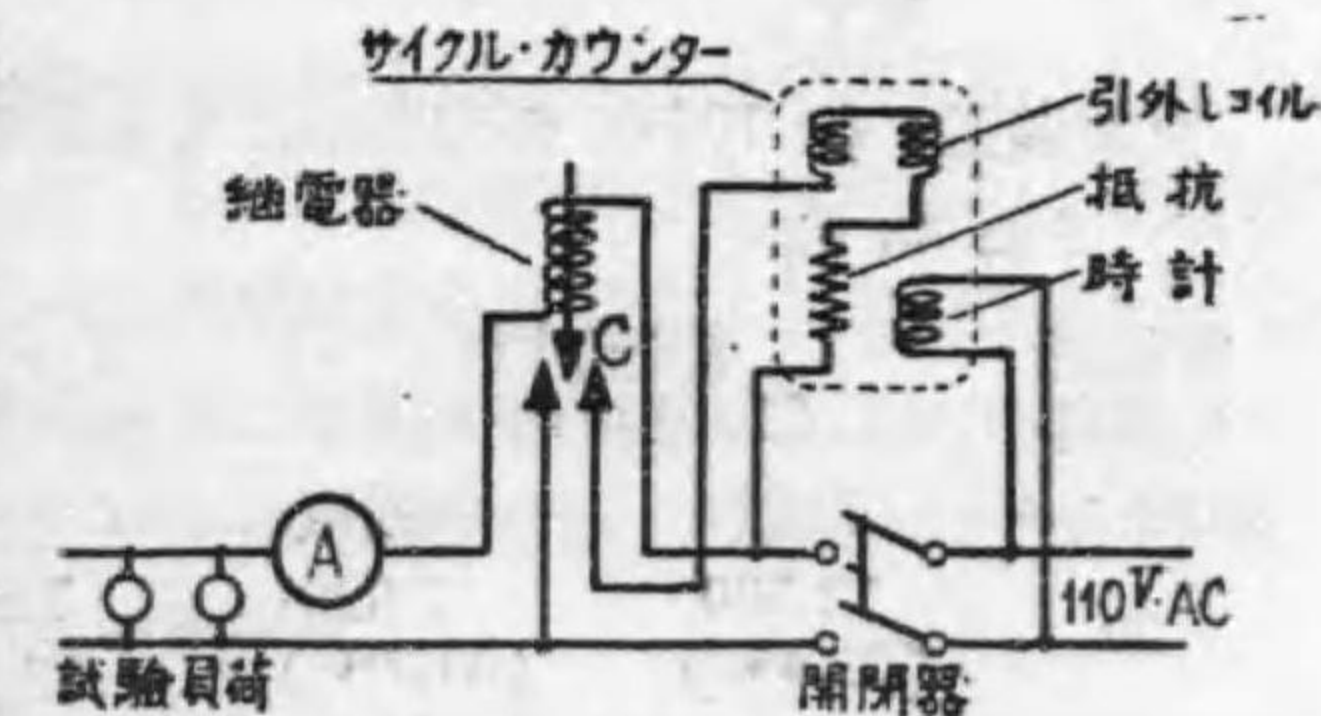
300 サイクルが丁度普通の時計の分と秒の様に上下についてゐる。但しサイクル・カウンターでは 60 サイクルが上で 300 サイクルは下にある。横河製のものでは下側の指針は 50 サイクルで一廻轉し, 上部の指針は 1500 サイクルで一廻轉する。この連結は單に噛み合せ齒車の齒數比によるものである。計器の讀みは, 或る瞬時に開閉器を閉ぢ指針が動き, 後任意時間後にこれを開いて目盛の讀みが 48 であれば,  $\frac{48}{50} = 0.96$  秒となる。即ち目盛の讀みを 50 で割れば所要の秒數となる。然し若し電源の周波數を 100 とすれば, 目盛の讀みを 100 で割らねばならぬ。この場合は  $\frac{1}{100}$  秒の範圍迄精確に讀み得る譯である。

サイクル・カウンターの接続法は電路閉塞式の場合と電路開放式の場合に大別出来る。次に尤も廣く用ひらるる繼電器に就き代表的の一, 二のものを示さう。



第 1 圖

第 1 圖は電路閉塞式の例である。開閉器を閉ざせば直ちにカウンターは動作を初め, 繼電器の接點 C が閉ぢれば「引外しコイル」を短絡して指針の振れを止める。第 2 圖は開放式の例で, C なる繼電器の接點が閉ぢておればカウンターは動作してゐるが, 繼電器が働き C が開路されれば「引外しコイル」が開路され指針の運動は止まるのである。



第 2 圖

この計器は全く慣性がないので精確ではあり形は小さく携帯に便利に出来てゐる。横河電機では定價 150 圓としてある。

### 油 試 験 器

【問】 油試験器に於て電極に平圓板 (直径  $\frac{1}{2}$  吋) 間隙 100 ミルを使用せる場合には、商工省規格球 (直径 12.5 耗) 電極間隙 2.5 耗なる場合に、25 000 V 以上の電壓は前者の何 V に相當致候哉。尙關係公式有之候はば御教示願上候。

【解】 之れは非常な問題となつたもので我國に於ても大いに論議且つ實驗せられたものである。下記表は斯界の權威齋藤正平氏の御好意に依り得たもので讀者と共に氏に深謝する次第です。

平圓板電極と球狀電極との絶縁  
油中に於ける絶縁耐力比較試験

電極 平圓板 (disk) 型 直径  $\frac{1}{2}$  吋

球 狀 (sphere) 型 直径  $\frac{1}{2}$  吋 (12.7 耗)

絶縁油 S # 65 油及 E # 22 油を濾過紙にて 2 回濾過して使用する。

試験装置 約 100 cc の容器中に電極を垂直に置き試験す。

(A) S # 65 油

電極間 の間隙 単位ミル	絶縁耐力 (10 回の平均)		比
	球狀	平圓板	
50	13 500 (29.4°C)	7 620 (31.7°C)	$\frac{7 620}{13 500} \times 100 = 56.5\%$
75	21 160 (30.2°C)	15 300 (31.7°C)	$\frac{15 300}{21 160} \times 100 = 72.5\%$
100	25 200 (30.2°C)	20 800 (31.9°C)	$\frac{20 800}{25 200} \times 100 = 82.5\%$
125	27 650 (31.2°C)	23 500 (32.2°C)	$\frac{23 500}{27 650} \times 100 = 85.0\%$

表中括弧内の數字は絶縁油の平均温度を示す

(B) E # 22 油

電極間 の間隙 単位ミル	絶縁耐力 (10 回の平均)		比
	球狀	平圓板	
50	12 800 (31.2°C)	7 180 (32.0°C)	$\frac{7 180}{12 800} \times 100 = 56.0\%$
75	20 400 (31.4°C)	15 100 (32.2°C)	$\frac{15 100}{20 400} \times 100 = 74.0\%$
100	24 900 (32.4°C)	19 700 (32.4°C)	$\frac{19 700}{24 900} \times 100 = 79.0\%$
125	27 300 (31.2°C)	23 100 (31.8°C)	$\frac{23 100}{27 300} \times 100 = 84.5\%$

以上の表より絶縁油の種類、温度等に依り異なれど凡その程度なれば 80% 前後と見てよい事になる。即規格球にての 25 000 V は、平圓板の 20 000 V にてよい事になる。

### 直流に依る耐壓試験

【問】 絶縁耐力試験に於て交流の代りに直流を用ひし場合兩者の比は如何程になりますか。兩者の關係式あれば御教示願ひます。

【解】 直流電壓を加へたる時、規定された交流電壓と同一の影響を被試験物に與へねばならぬ。従つて單に交流電壓の  $\sqrt{2}$  倍を加へてよいとはいかぬ。一定の絶縁物を破壊すべき直流電壓と、交流電壓實効値との比は次の各項に關係するものと言はれてゐる。

(1) 電壓を加ふる時間及び加壓時の電壓上昇率、(2) 温度、(3) 絶縁物の性質、(4) 絶縁物の厚さ。

従つて如何なる場合に如何なる比を選ぶ可きかは各國とも今尙研究中に屬してゐるが、その一例を示せば紙電纜に於ては 25°C に於て 2.4 の比 (即ち直流試験電壓 = 2.4 交流試験電壓) を採用し、温度 1°C 上昇毎に比の値を 0.0125 宛軽減すと云ふ規程を採用せる會社がある。蓋し温度が高い程兩者の比を減少せしむべき事が試験的に

證明せられてゐるからである。

尙序迄に附加しておくが、勿論直流で試験するものは電線であるが、之れを交流で試験する場合との比較を考ふるならば、交流で試験する場合には常に誘電体損失が起つて温度が上昇するが直流では誘電体損失がないから温度上昇は少ないと見てよい。従つて交流より直流の場合の方絶縁耐力高くなる理である。この外直流では電流の値から絶縁抵抗に依る抵抗損失を直ちに知り得ること、及び内部の絶縁力低下の爲め漏洩電流が知れるが交流では充電電流の爲めに之れ等は発見出来ない。故にこれを一般的に論ずれば、直流の試験は電線内部の耐圧試験を行ふ目的ではなく、製造上の缺點、使用後の弱點を検出するのが主で、電線が規定電圧のもとに交流の負荷に耐へ得るや否やは試験に對する費用が多額でも交流に依つて行はねばならぬ。

最後に直流を以つて電線の試験をする場合の電圧に就いて我が逓信省の内規を仄聞するに

交流使用電圧 2 萬 V 未滿の電線

直流試験電圧は交流試験電圧の 2.5 倍

交流使用電圧 2 萬 V 以上 7 萬 V 迄の電線

交流試験電圧の 1.5 倍に 3 萬 V を加へしもの

尙試験時間は夫々交流の場合と同一とす。

### 絶縁電線耐圧試験

【問】 絶縁電線……第四種 3.2 耗, 300 米, 12 時間浸水後

A……電流計

V……電圧計

W……電力計

T……1 kVA 變壓器

R……抵抗器

W.B……水槽

試験電源の周波數 60~

第一回 變壓器無負荷試験

入力 105 V 1.04 A 21 W

$$\text{力率} = \frac{21}{105 \times 1.04} \times 100 = 19.2\%$$

第二回 負荷試験

入力 105 V 4.5 A 50 W

$$\text{力率} = \frac{50}{105 \times 4.5} \times 100 = 10.6\%$$

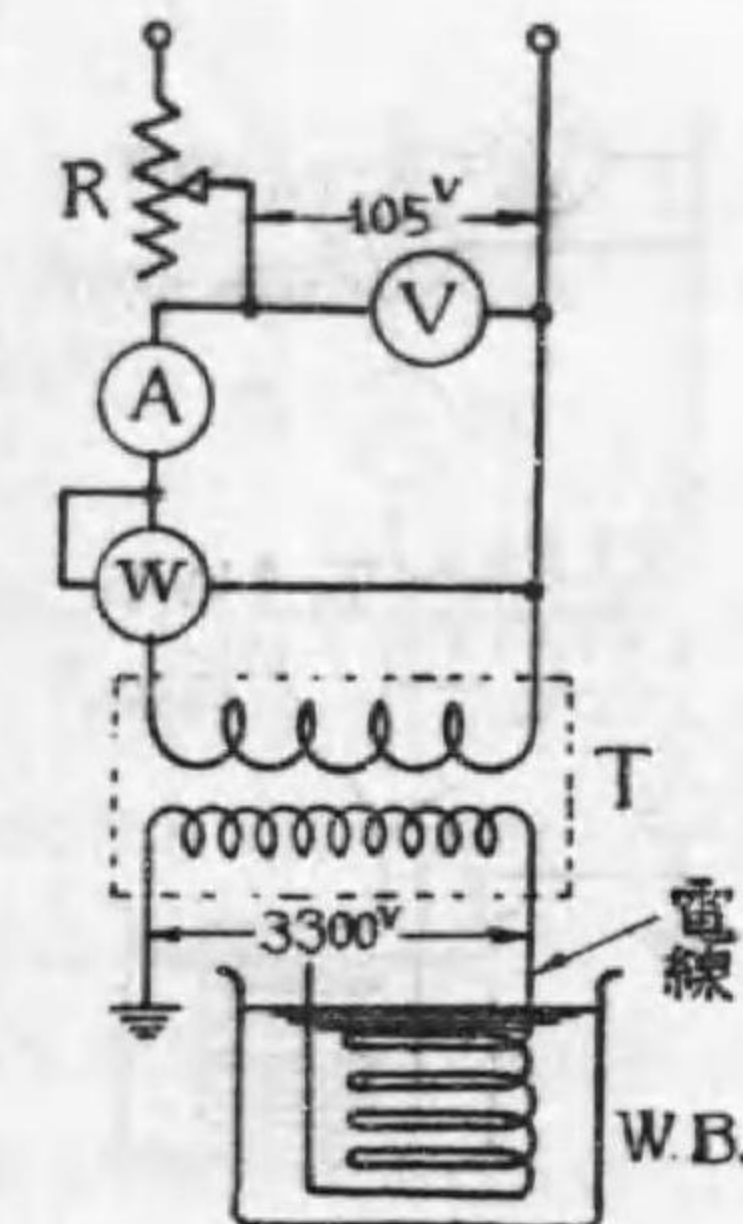
第二回の試験を見るに、負荷はインダクティブ、リアクタンスとして働けり、キャパシテイの影響少しもなき様思はる。電力計その他の結線は、1, 2 回共變化なし。又絶縁抵抗の影響なき様思はる。以上小生はかくの如き試験に於ては容量と絶縁抵抗とが影響して、力率が良好になる(變壓器無負荷試験の時より)と考へてゐたのに、事實は反對なり、如何なる理由なるか御教へ下さい。

【解】 質問者は力率に進み力率のある事を忘れられて居る。力率が不良になつたから誘導負荷と斷ぜられるのは早計である。進み電流となつて力率が悪くなる事を考へねばならぬ。絶縁電線は立派な蓄電器を形成してゐる。故に充電電流の流れるのは當然である、故に進み力率なりと斷言してもよいと思ふが、幸ひ筆者等の手許に試験材料があつたから、これを證明する爲めに二、三の實驗をやつてみた。これを發表して前説明の裏書きとしたい。

試験電線 第三種 1.6 耗 300 米

相當時間浸水せるもの。

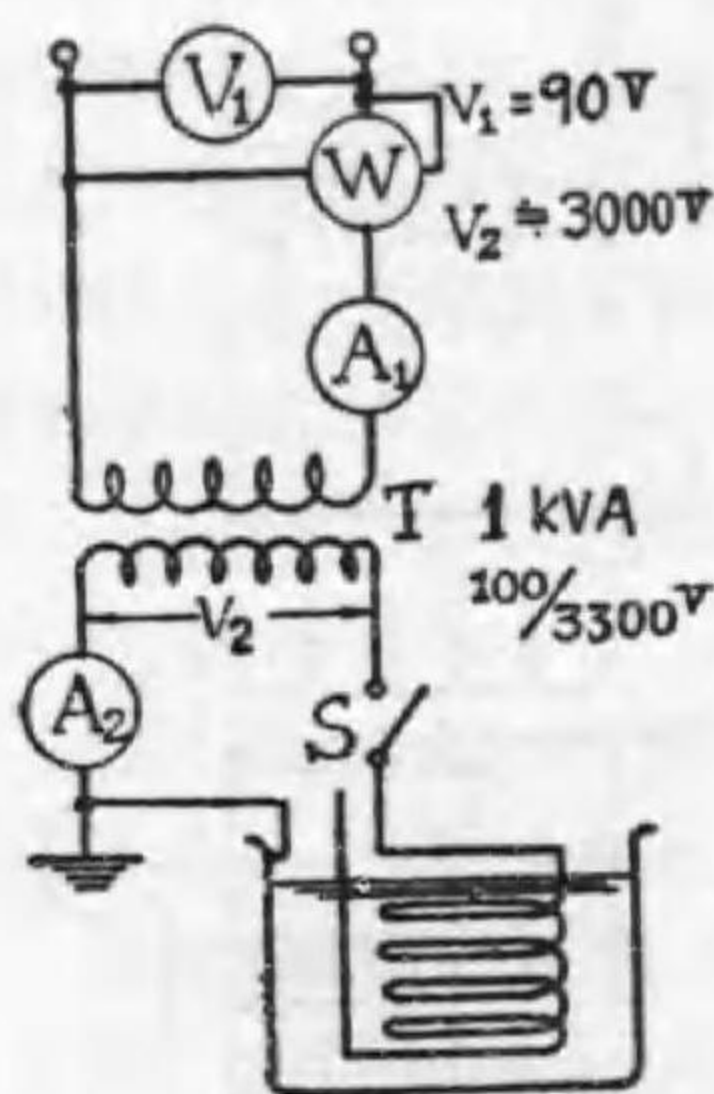
(イ) 容量測定……容量ブリッジ(capacity bridge)に依り容量を測定せるに、0.092 マイクロ・ファラッドを得た。これから  $\epsilon$  を計算すれば(但し  $f=50$ ~)



$$x_c = \frac{10^6}{2\pi \times 50 \times 0.093} \doteq 3 \times 10^4 \text{ オーム}$$

(ロ) 耐圧試験

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	W	cos φ
A	1.15	0	23	0.21
B	2.15	0.099	35	0.17

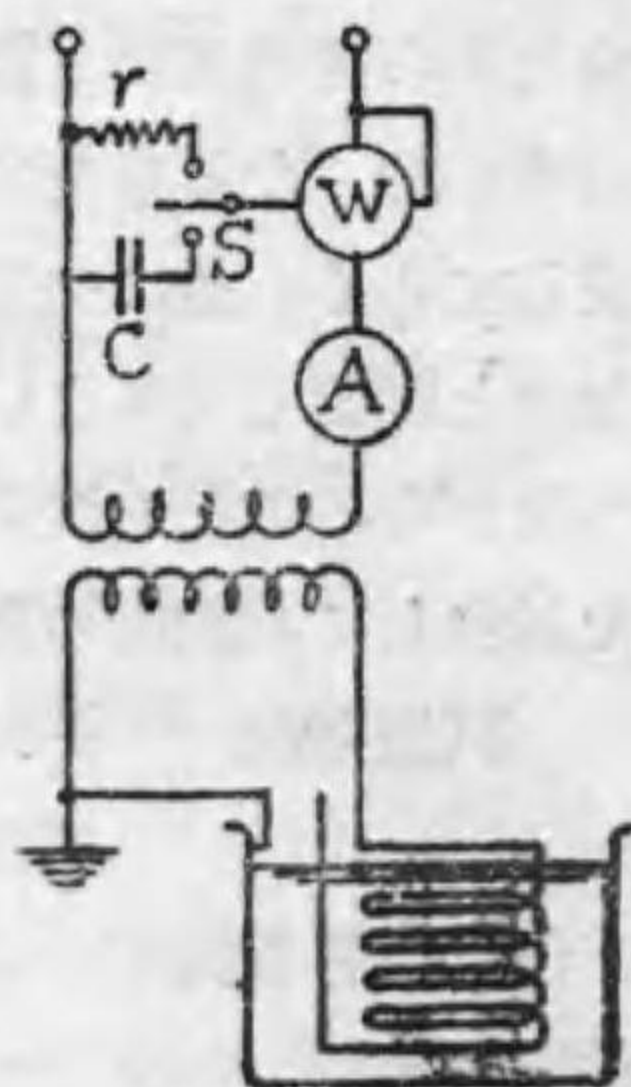


第 1 圖

これだけの進み電流(殆んど 90°)が一次に流れる筈である。所が励磁電流が 1.15 アムペアで、殆んど 90° の遅相電流であるから、進相電流は 3.3 - 1.15 = 2.15 アムペアとなる。この電流は B 試験の結果と一致してゐる。即ち B 試験に於て変圧器一次に流れてゐる電流は殆んど 90° の進相電流なり。

(ハ) 進み力率である事の實驗的證明

第 2 圖の如く W なる電力計の電圧線輪に r 及 C なる抵抗及容量を挿入して進み力率が遅れ力率かを試験した。その方法は



第 2 圖

A は S を開きたる場合。B は S を閉ぢたる場合で、流るる電流は 99 ミリアムペアとなり

$$\frac{V_2}{x_c} \doteq 100 \text{ ミリアムペア}$$

と略一致してゐる。又此の電流を一次に換算すれば

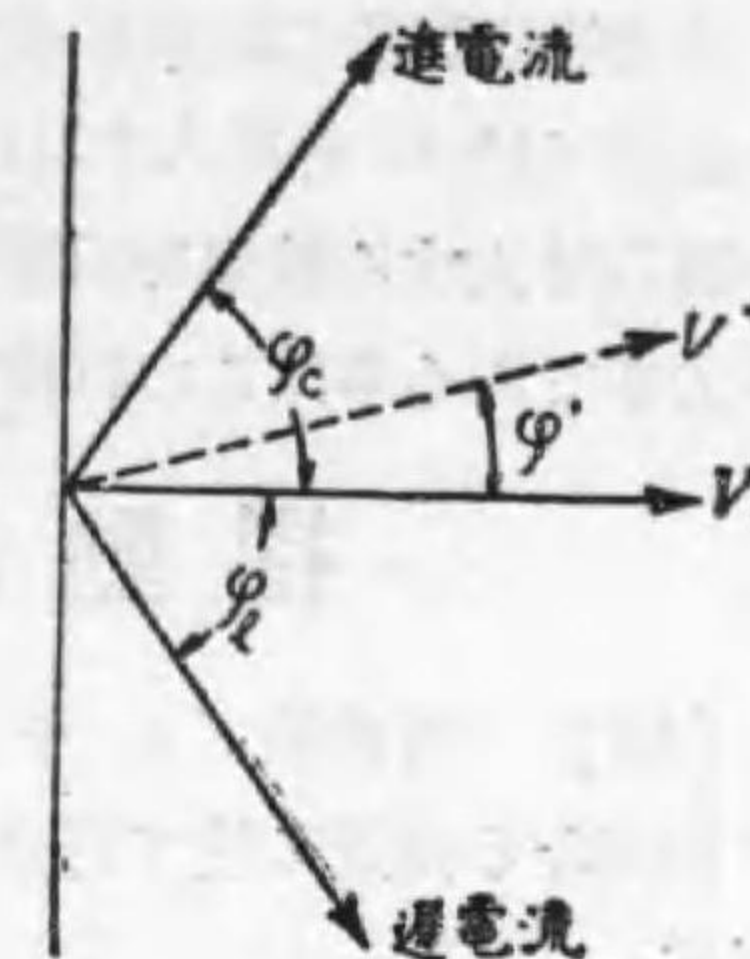
$$A_2 \times \frac{V_2}{V_1} = A_2 \times n \quad 0.099 \times 33 \doteq 3.3$$

アムペア

n = 捲数比

これだけの進み電流(殆んど 90°)が

r を挿入した時の電力計の読みを見、次に S を切り換へて C を挿入した時の電力計の読みを見て、若し電力計の振れが減れば遅れ力率、電力計の振れが増せば進み力率と断ぜらるるのである。次に其の理由を考へんに、電力計の振れは電圧線輪に流るる電流と、電流線輪に流るる電流との相差角 φ に関係するものである。換言すれば cos φ に関係する。



第 3 圖

第 2 圖の如く電圧線輪の抵抗に直列に C を結べば若干電圧線輪に流るる電流が進む。今この相差角を φ とすれば、恰も第 3 圖に於て V が V' となりたる如くなり遅れ電流の場合は φ + φ' となり、力率角大になり力率不良従つて電力計の振れが減る。反対に進み電流の場合は φ' - φ となり、力率角減じ力率良好となり電力計の振れが増す。但し r と C を切換へた爲めに電力計電圧線輪に流るる電流に大なる變化を與ふるものではこの試験は無意味であるから、適當なる r 及 C 即ち r を結んだ時の合成抵抗(オーム)と、C を挿入した時の合成インピーダンス(オーム)が等しき様選ばねばならぬ。

	A 試験 (無 負 荷)			B 試験 (負 荷)		
	W の読み	r(オーム)	C マイクロファラッド	W	r	C
	23	0	0	35	0	0
イ	18	1000	0	30	1000	0
	16	1000	0.5	35	1000	0.5
ロ	10	6000	0	15	6000	0
	5	6000	0.1	23	6000	0.1

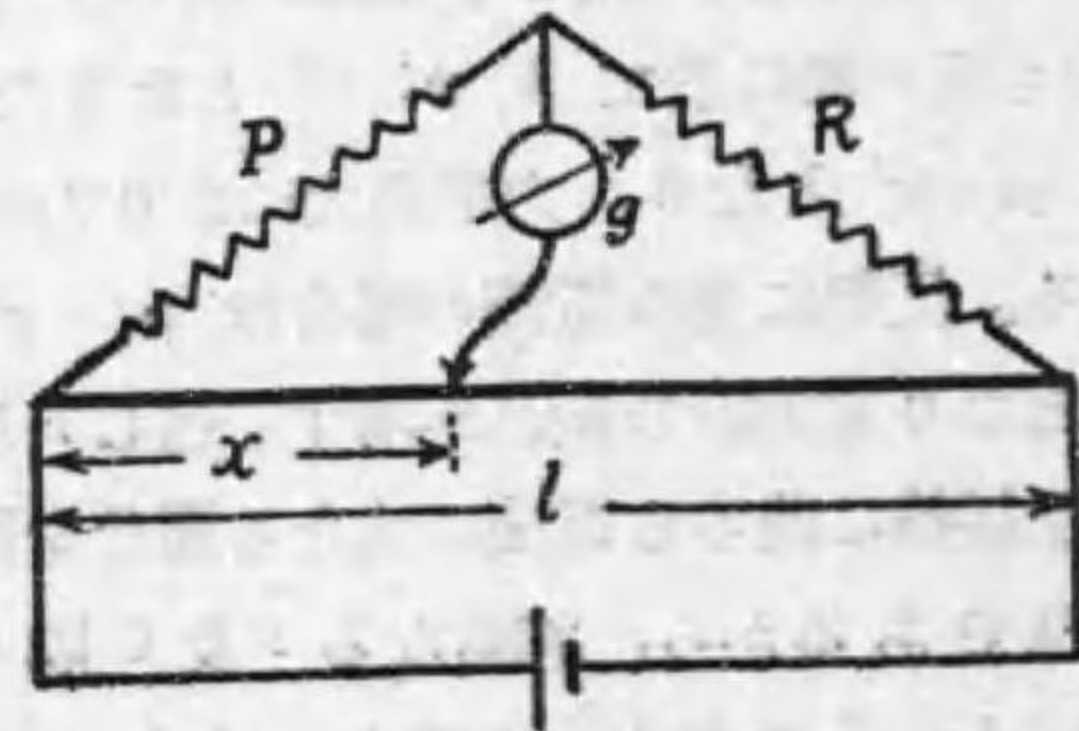


筆者等は試験の結果前表を得た。即(イ)(ロ)の各試験に於て、A試験ではCを挿入すれば電力計の読み減じ、B試験では電力計の読み増大する結果を明瞭に得た。故にAは遅れ力率で、Bは進み力率である事はこの試験でも十分證明し得られた。

### 摺動線ブリッジ

【問】 摺動線ブリッジを以つて抵抗を測定する場合に、接觸子の如何なる位置に於て百分率誤差最小なりや、數學的に御教示被下度候。

【解】  $P$ を未知抵抗、 $R$ を標準抵抗、 $l$ を摺動線の全長とし、 $x$ なる距離の點に於て平衡を得たとすれば、



$$P = R \frac{x}{l-x}$$

この式に於て  $x$  の小なる變化  $\Delta x$  に對し、 $P$  の小なる變化  $\Delta P$  を求むれば

$$\Delta P = R \frac{(l-x)+x}{(l-x)^2} \Delta x = R \frac{l}{(l-x)^2} \Delta x$$

(この求め方は註参照されし)  
然して誤差  $\varepsilon$  は  $\Delta P$  の  $P$  に對する比である。

故に 
$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P} = \frac{l \Delta x}{(l-x)^2} \times \frac{l-x}{x}$$

$$= \frac{l \Delta x}{(l-x)x}$$

この誤差が最小なる爲めには、分母  $(l-x)x$  が最大なればよし、故に  $y = (l-x)x$  とすれば

$$\frac{dy}{dx} = l - 2x$$

$$\frac{dy}{dx} = 0 \text{ なる爲めには}$$

$$l - 2x = 0 \quad x = \frac{l}{2}$$

即  $x$  が摺動線の中央點にあればよい。兩端に近づく程誤差大なるもので、普通のものに於ては  $l=100$  とすれば、20より80迄を使用範圍と限定されてゐる。

又此の關係は普通のホイートストンブリッジにも應用出来るもので、 $P$  及  $Q$  なる比例邊が1の場合が誤差最も小さいのである。

【註】  $\Delta x$  に對する  $\Delta P$  の求め方は、結局  $x$  の微小なる變化に對する  $P$  の微小なる變化と云ふ意味であるから先づ  $P$  を  $x$  で微分すると

$$\frac{dP}{dx} = \frac{(l-x)+x}{(l-x)^2}$$

$dP$  を  $\Delta P$ 、 $dx$  を  $\Delta x$  とし

$$\frac{\Delta P}{\Delta x} = \frac{(l-x)+x}{(l-x)^2}$$

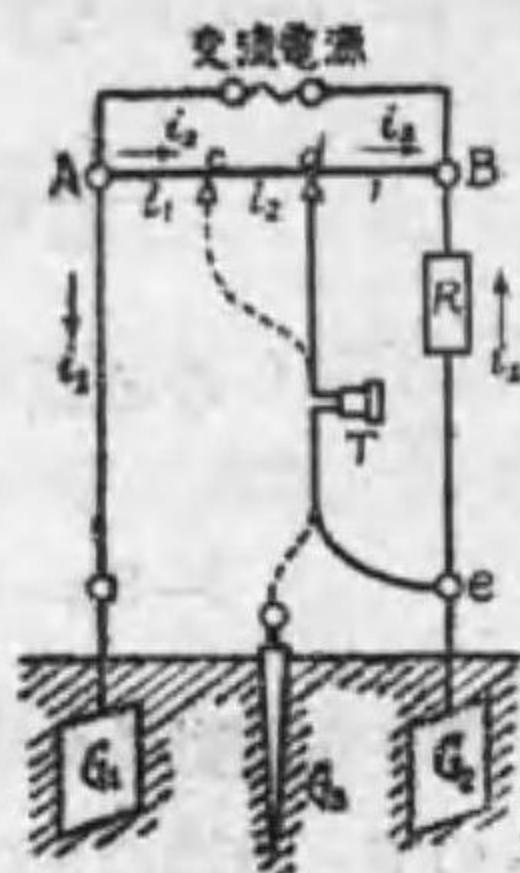
$$\therefore \Delta P = \frac{(l-x)+x}{(l-x)^2} \Delta x$$

を得る。誤差に關する問題には上述の様に取扱ふのが普通である。

### ウィーヘルト氏接地抵抗測定法

【問】 ウィーヘルト氏接地抵抗測定法御教示下され度し。

【解】 接続法は圖に示す通りである。G<sub>1</sub>G<sub>2</sub> は接地抵抗を測定すべき地板（或は内一個は補助地板）、G<sub>3</sub> は G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> の中間に設けた補助地板である。測定の順序は受話器 T の一端を實線の如く G<sub>2</sub> と R の中間 c 點に接続し、他端の摺動子が d 點に於て受話器の音が最小となつたとする。次に點線の如く受話器の一端を G<sub>3</sub> に接続し他端の摺動子を摺動線 AB 上に動かし c 點に於て受話器の音を最小ならしめたとする。今 Ac, cd, dB 間の長さを夫々 l<sub>1</sub>, l<sub>2</sub>, l<sub>3</sub> とすれば



$$G_1 = R \frac{l_1}{l} \quad G_2 = R \frac{l_2}{l}$$

となる。次にその証明を試みよう。

平衡が採れた場合即受話器の音が最小なる場合は T に通る電流は零と見て差支へない。従つて何れの平衡状態に於ても電流は摺動線 AB に流るる電流 i<sub>2</sub> と、G<sub>1</sub>G<sub>2</sub>R を通る電流 i<sub>1</sub> とに分ち得る。故に第一平衡条件より

$$i_2 l = i_1 R$$

言ふ迄もなく T に電流が流れないのは、de 間に電位差がない、即同電位なる爲めであるから上式が成立するのである。又第二平衡条件より前同様にして

$$i_1 G_1 = i_2 l_1 \quad \text{及び} \quad i_2 l_2 = i_1 G_2$$

を得る。G<sub>3</sub> には電流流れざるもの故こゝの電壓降下は考へないでよい。

以上三つの式より

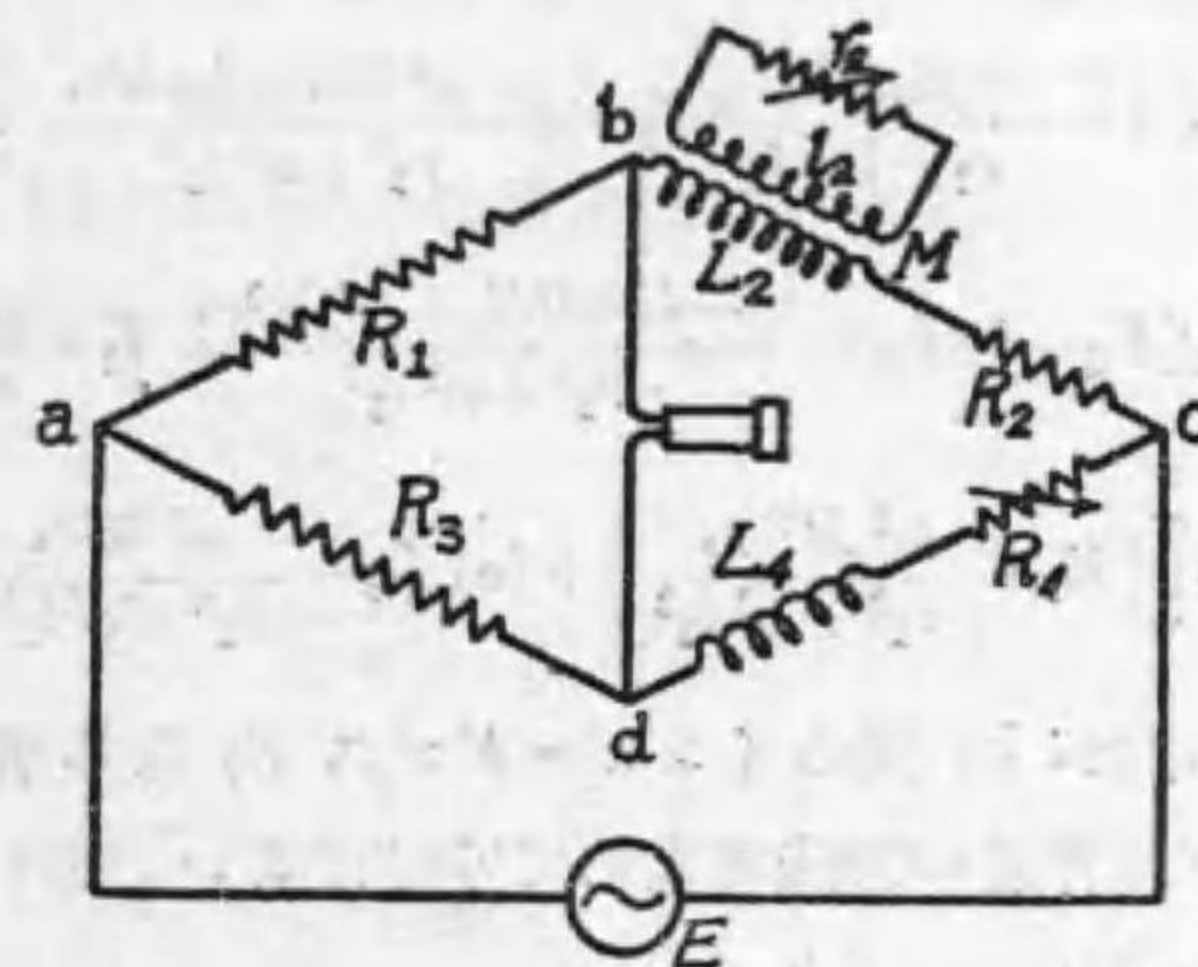
$$\frac{l}{l_1} = \frac{R}{G_1} \quad \therefore G_1 = R \frac{l_1}{l}$$

$$\frac{l}{l_2} = \frac{R}{G_2} \quad \therefore G_2 = R \frac{l_2}{l}$$

此の方法の利點とするのは G<sub>3</sub> なる補助地中板の抵抗が計算に入つて來ない事で換言すれば相當悪い簡単な地板でも差支へない事である。

### Frequency Bridge

【問】 圖の如き電橋に、測定すべき周波数の電壓を加へ r<sub>2</sub> 及 R<sub>4</sub> を調整して電橋の平衡がとれた場合

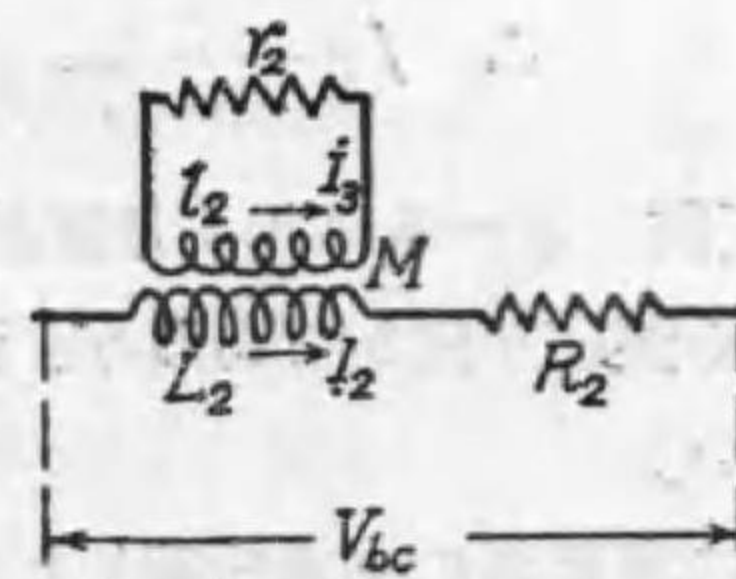


$$f = \frac{r_2}{2\pi\sqrt{l_2} \{l_2 L_2 (R_1 - R_3) + M^2 R_3\}} \times \sqrt{R_3 L_2 - R_1 L_4}$$

$$R_4 = \frac{R_2}{R_1} R_3 + \frac{R_3 L_2 - R_1 L_4}{R_1 l_2} r_2$$

なる式で表される事を説明願ひます。（昭和3年1月號オーム黒川氏論文参照）

【解】 一體交流ブリッジに於て平衡がとれた場合は、各邊のインピーダンス Z を求め相對する邊のインピーダンスの乘積が相等しいと置いて解いてゆけばよい。丁度直流ホイートストンブリッジに於て平衡がとれた場合と同



じ様に。只  $R$  の代りに  $Z$  を用ひればよい。故に問の場合に於ても  $bc$  間のインピーダンス  $Z_2$  が求まればよい。圖は  $bc$  間のみを取り出したもので流るる電流の方向及値を圖の如く假定する。すると次の式を得る。

$$I_3(r_2 + j\omega l_2) + jI_2\omega M = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$I_2(R_2 + j\omega L_2) + jI_3\omega M = V_{bc} \dots\dots\dots(2)$$

(1) 式より  $I_3$  を求めこれを (2) 式に代入すれば、

$$I_3 = -\frac{j\omega M}{r_2 + j\omega l_2} I_2 = \frac{-\omega^2 M l_2 - j\omega M r_2}{r_2^2 + \omega^2 l_2^2} I_2$$

$$I_2(R_2 + j\omega L_2) + \frac{-j\omega^3 M^2 l_2 + \omega^2 M^2 r_2}{r_2^2 + \omega^2 l_2^2} I_2 = V_{bc}$$

$$\therefore I_2 \left[ \left( R_2 + \frac{\omega^2 M^2 r_2}{r_2^2 + \omega^2 l_2^2} \right) + j\omega \left( L_2 - \frac{\omega^2 M^2 l_2}{r_2^2 + \omega^2 l_2^2} \right) \right] = V_{bc}$$

かくして括弧の内が  $bc$  間のインピーダンス  $Z_2$  なる事を求め得たのである。以下は普通の方法で求めてゆけばよい。即

$$R_3 Z_2 = R_1 (R_4 + j\omega L_4)$$

$$\left( R_2 R_3 + \frac{\omega^2 M^2 r_2 R_3}{r_2^2 + \omega^2 l_2^2} \right) + j\omega R_3 \left( L_2 - \frac{\omega^2 M^2 l_2}{r_2^2 + \omega^2 l_2^2} \right) = R_1 R_4 + j\omega L_4 R_1$$

之の式から實數部虚數部を共に兩邊等しいとして解いてゆけば虚數部から

$$\omega^2 l_2 \{ l_2 (L_4 R_1 - R_3 L_2) + \omega^2 R_3 \} = r_2^2 (R_3 L_2 - R_1 L_4)$$

$$\therefore f = \frac{r}{2\pi \sqrt{l_2 \{ l_2 (L_4 R_1 - R_3 L_2) + \omega^2 R_3 \}}} \times \sqrt{R_3 L_2 - R_1 L_4}$$

(註 オーム 3 年 1 月號黒川氏論文の解とは少し違ふ。之は恐らく誤植か何かであらう。若しかすると正誤が出てゐるかも知れない)。

次に實數部の兩邊相等しとおき、且

$$\omega^2 = \frac{r_2^2 (R_3 L_2 - R_1 L_4)}{l_2 \{ l_2 (L_4 R_1 - R_3 L_2) + \omega^2 R_3 \}}$$

を代入して複雑な式を根氣よく解いて行けば、次式を得る。

$$R_4 = \frac{R_2}{R_1} R_3 + \frac{R_3 L_2 - R_1 L_4}{R_1 l_2} r_2$$

### シェリング・ブリッジ

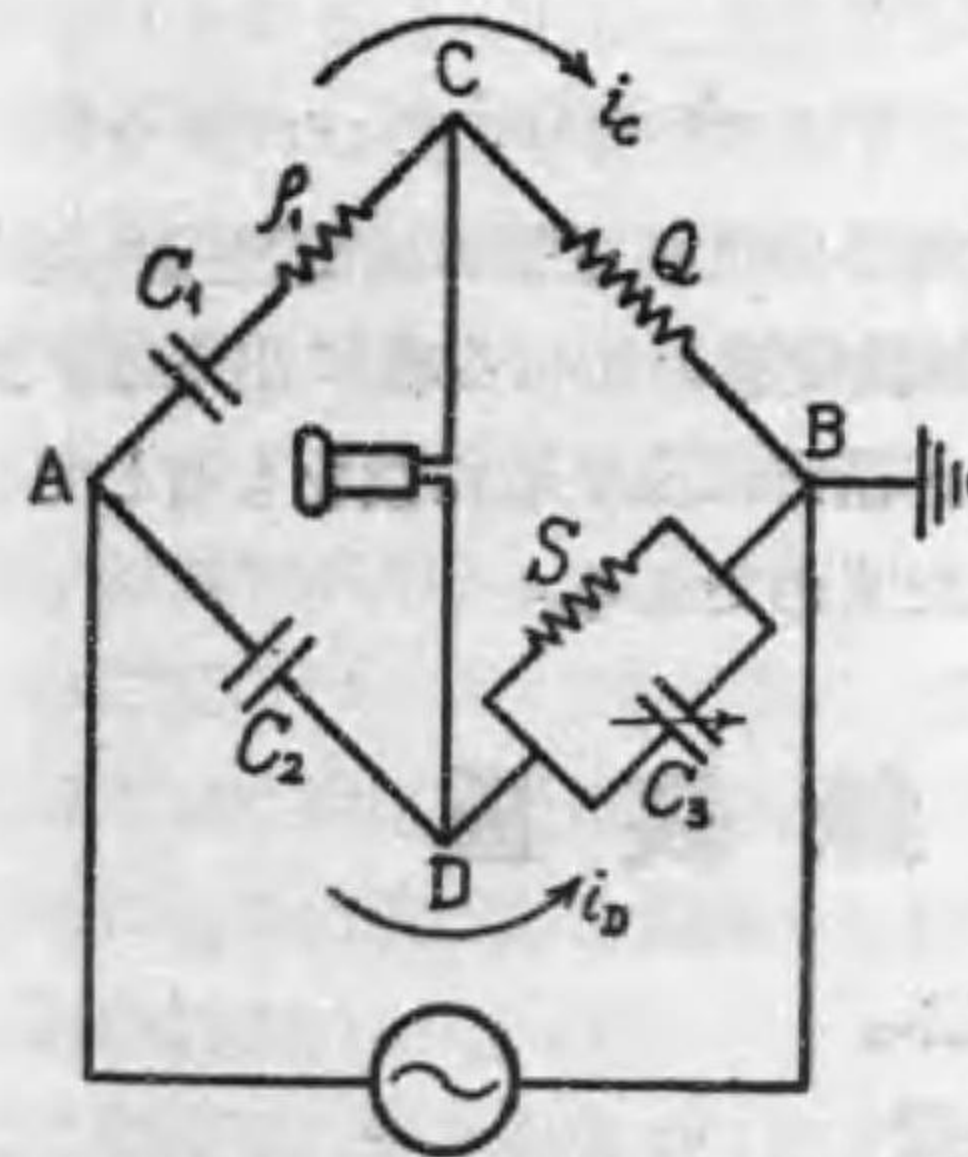
【問】 Schering の考案したブリッジとは如何なるものに候哉、その接続圖、平衡條件の求め方、及その應用に付御説明御願申上候

【解】 圖は代表的の接続を示すものである。今  $C_3$  を調整して平衡がとれたとすれば、

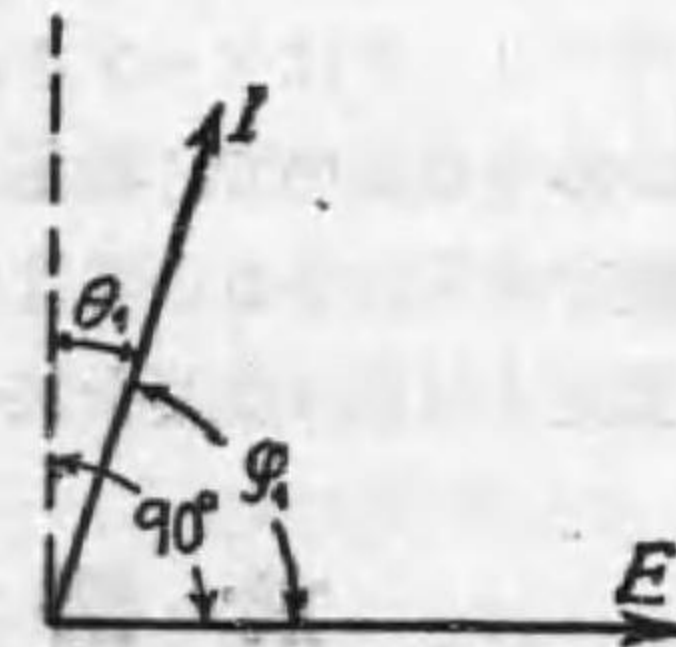
$$z_1 z_3 = z_2 z_4 \dots\dots\dots(1)$$

但し  $z_1 = \rho_1 \frac{1}{j\omega C_1}$   $z_2 = Q$

$$z_3 = \frac{1}{\frac{1}{S} + j\omega C_3} = \frac{S}{1 + j\omega C_3 S} \quad z_4 = \frac{1}{j\omega C_2}$$



第 1 圖



第 2 圖

(1) 式に上記の値を代入すれば

$$\left(\rho_1 + \frac{1}{j\omega C_1}\right) \left(\frac{S}{1+j\omega C_3 S}\right) = \frac{Q}{j\omega C_2}$$

$$\rho_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{Q}{j\omega C_2} \times \frac{1+j\omega C_3 S}{S} = Q \left(\frac{C_3}{C_2} + \frac{1}{j\omega C_2 S}\right)$$

實數、虚數兩分共に等しいとおいて

$$\rho_1 = Q \frac{C_3}{C_2} \quad C_1 = \frac{S}{Q} C_2$$

かくして  $\rho_1$  及  $C_1$  を求め得る。 $\rho_1$  は  $C_1$  の損失抵抗を直列抵抗で表したもので、 $Q$  及  $S$  は無誘導既知抵抗、 $C_2$  は標準容量  $C_3$  は既知可變容量である。

更にこれより力率角  $\cos \varphi_1$  を求むるには次の如くする。

$$\tan \theta_1 = \omega C_1 \rho_1 = \omega C_3 S$$

第2圖より

$$\cos \varphi_1 = \sin \theta_1$$

普通  $\theta_1$  は甚だ小さいものであるから

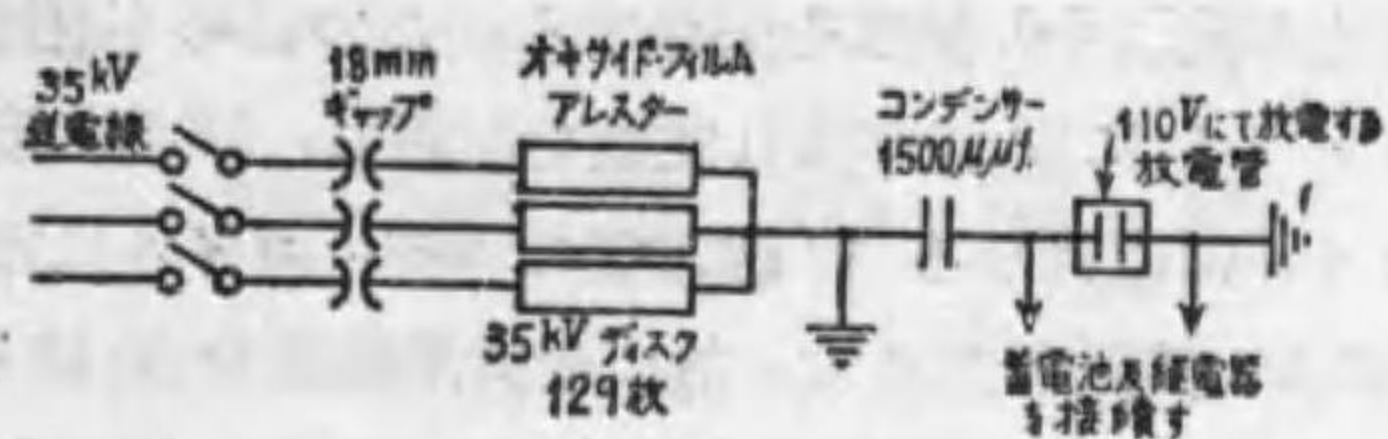
$$\sin \theta_1 = \tan \theta_1 \quad \therefore \cos \varphi_1 = \tan \theta_1 = \omega C_3 S$$

このブリッジはケープル、碍子等小容量高電壓の誘電體損失測定に用ひらるるもので、數萬 V の試験電壓を加へる事が出来る。又低電壓で非常に小さい容量の測定が精確に出来る特徴をも有してをり、實用上に種々改良を加へられたものである。

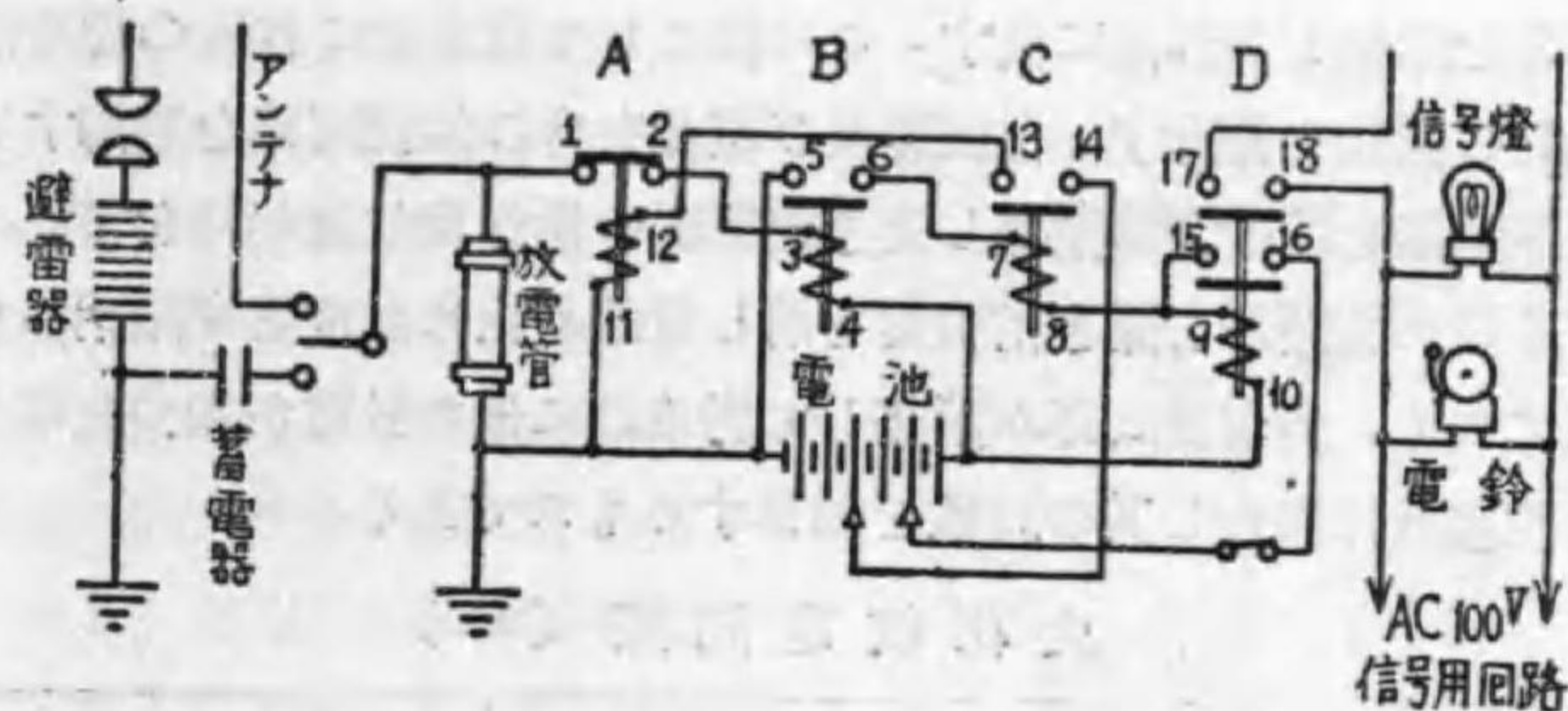
### 放 電 記 録 装 置

【問】 下記の間に御解答を乞ふ。

- (1) アレスター働作記録装置
- (2) 線電壓が如何程上昇した時にアレスターは働作するか。



【解】 (1) 放電記録装置に對し製造者芝浦製作所に問合せた所詳細なる説明書御送附に預つた。(内一通は質疑者に送つておきました) 本装置は餘り廣く知られてゐない様だからここにその大要を御紹介する。



本器はその名の示す如く避雷器が放電した場合其の度數を記録し信号燈を點火し或は電鈴を鳴らす等の作用をする。要部は放電管と繼電器箱でその他電池、電鈴、信号燈等がある。

放電管箱は雷其他の高電壓の爲め避雷器の放電間に放電の有つた場合、アンテナ或は避雷器の接地線より蓄電池を通じて放電する真空放電管がある。真空放電管は2個の同心圓筒の電極を有し放電開始電壓は110V内外である。設置場所は避雷器の附近におく。

繼電器箱は繼電器及度數計を取付け放電の場合に其の度數を記録し同時に他の信号回路を働作せしむる。設置場所は監視者に便利な處に置かれる。

次に繼電器の働作を述べれば次の通りである。放電管に放電が起ればA繼電器の1.2.接點は常時閉路式であるからB繼電器の3.4.

コイルに電流が流れ5.6.接点を閉路する。この爲めC繼電器(度数計)のコイル7.8.に電流が流れ度数を記録し、13.14.接点を閉ぢる。7.8.コイルに直列なるD繼電器の9.10.コイルに電流が流れ15.16.及17.18.接点を閉ぢず。故に信號用回路を閉路し信號燈を點じ電鈴を鳴らす。C繼電器(度数計)の13.14.接点を閉路すればA繼電器の11.12.コイルに電流流れ1.2.の接点を開く。故にBC繼電器の各コイルの電流は止まり接点は舊に復す。D繼電器の接點15.16.を通り9.10.コイル及び開閉器を含む回路を手働にて閉路すれば9.10.コイルの電流は止まり接點17.18.に依り信號回路を開路し全部舊に復す。この様にして放電管に放電の起る都度上記の動作を繰返す。信號燈及び電鈴を含む信號回路を制御する爲め開閉器を設け常時閉路し置き繼電器の働後信號回路を常態に復する爲め開閉器を開き信號燈を消し電鈴を止めた後必ず開閉器を閉ぢておく。尙信號回路が閉路して居る間に他の放電が起つた場合でも度数計は働し其の回数を加算するものである。

火花放電間隙 (mm)

球の直徑 kV	62.5 mm		125 mm	
	一 球 接 地	双方共 絶 縁	一 球 接 地	双方共 絶 縁
10	4.2	4.2	—	—
20	8.6	8.6	—	—
30	14.1	14.1	14.1	14.1
40	19.2	19.2	19.1	19.1
50	25.5	25.0	24.4	24.4
60	34.5	32.0	30.0	30.0

(2) これは直列に入つてゐる球状間隙に依り定まり、且電壓の波形、氣壓、濕氣、電極の大きさなどに依り定まるものである。尙参考迄に日本電氣機器標準規程に依る球状火花間隙と正弦波形の實効放電電壓との關係の若干を掲ぐれば上記の通りである。これから曲線

を引いて所要 kV を求められたい。

### 檢 漏 器 の 取 替

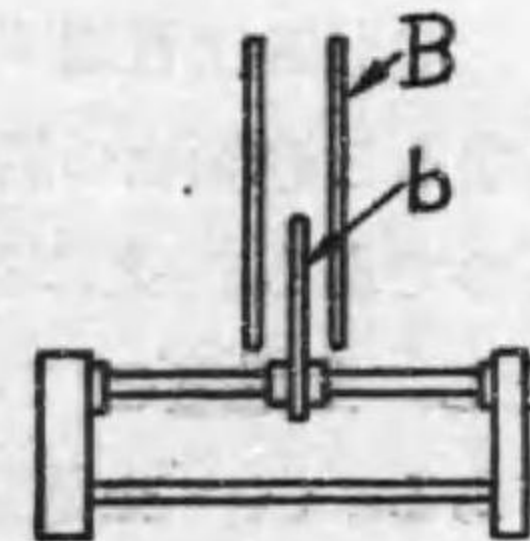
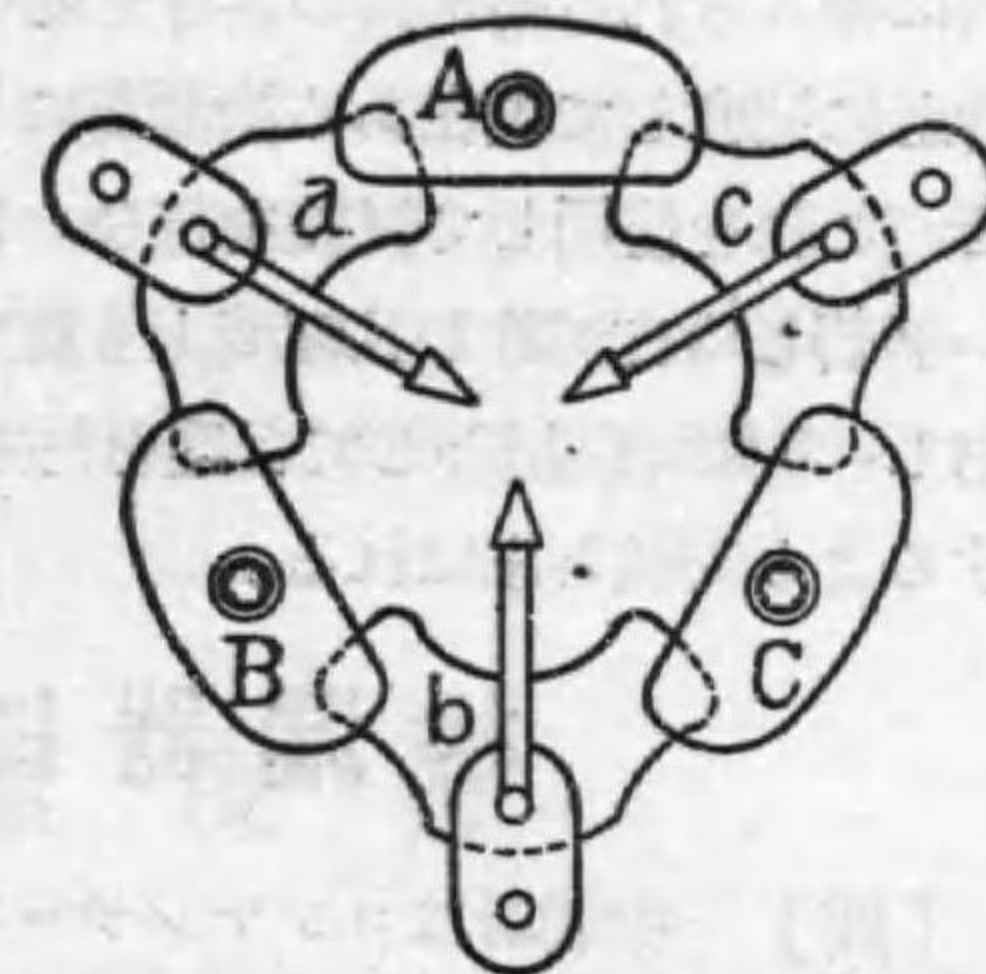
【問】 三相 6600 V の電源に 11000 V 用指針型檢漏器を使用すれば感度は如何に變化するや。亦使用不可なれば如何にして修正すべきや、御教示下され度し。

【解】 檢漏器の原理は一種の差働靜電電壓計である。今その構造及作用原理を簡単に説明すれば圖の様に、ABC なる三對の固定板が計器の外函と絶縁されて止められ、その中間に abc なる三枚の可動板が摩擦少なき軸承けで支へられ外函と共に接地されてゐる。可動板は其の軸上の彈條と平衡用重錘とを加減して、計器を正しく取附けた時、兩側の固定板の中間に止る様にする。勿論この場合指針は零を指してゐる。

今固定板へ三相電壓を加へると固定可動兩板間には電壓に應じた引力が生ずるから、兩板の關係を適當に調整すれば平衡電壓を加へても指針は零位に止まる如く出来る。若し平衡電壓が破れて、突然一線が接地すると固定板の一つは

可動板と同電位となる爲め、その左右の可動板は急に開き指針は地氣を示すのである。而して完全接地の場合に全目盛を指させる様になすには、重錘を調整すればよい。

固定板に與ふる電壓は 2000~3500 V を適當とし、これ以下の



電圧では働作が不確實になり、又之れ以上の電圧では計器の絶縁が不確實になる。故に 3500 V を超ゆるものは蓄電器を直列に用ひて電圧を分割するのである。更らに高い特別高圧 (22 000 V 以上位) では目盛を合せる爲めに、計器と並列に加減用蓄電器を用ふるのが一般である。

却説以上の構造及び原理により明な通り、11 000 V 用のものを 6 600 V 回路に使用すれば、検漏器に対する電圧は、正規電圧の約半分となり、廻轉力は激減して働作不確實になるに至るであらう。故にその儘使用はよくない。検漏器を正しく働作せしむるには、直列に挿入される蓄電器の容量を變化すればよい。これは検漏器製作会社に照會して現在ある検漏器に対する 6 600 V 用蓄電器を取寄せ、これを使用して試験を行ひ、目盛板の目盛を變へるのが一番よい。若し時日が許し且經濟上も許すなら、その検漏器を製造元へ送附し、6 600 V 用として目盛を打ち直して貰ふのが、新らしく購入するより安價と思はれる。

### 検漏器に蓄電器

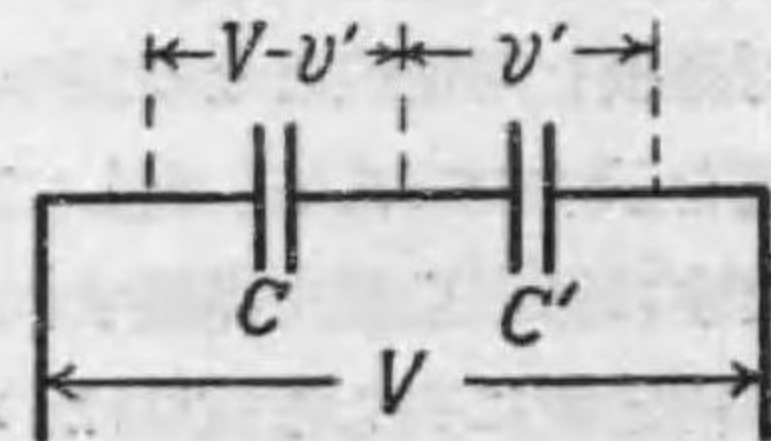
【問】 検漏器にコンデンサーを使用する理由及其の容量決定法を御教示下され度し。

【解】 検漏器は普通 3 000 V 程度のものに作られ、それより高い電圧になると絶縁物の關係上價格が高くなるので蓄電器を直列に挿入するのである。次にその容量であるが、検漏器の容量を  $C'$  電圧を  $v'$  とし、全電圧を  $V$ 、直列に挿入する容量を  $C$  とすれば、次の關係がある。(Q=充電量)

$$Q = C(V - v') = C'v'$$

$$\therefore C = C' \frac{v'}{V - v'} \dots (1)$$

但しここに留意すべきは  $C'$  なる容量は  $v'$  なる電圧に対する値で、 $v'$



が變化すれば  $C'$  も變化する。これは可動翼が移動する結果當然さうなるべきものである。故に例へば 3 000 V 用検漏器に (1) 式で示した如き値のものを直列に接続しても、3 000 V 以外の場合では  $C'$  の値が異つて來て、單獨に使用した場合の振れと同一振れを生じない事である。これを更らに詳言すれば、

$$C(V - v') = C'v'$$

$$CV - Cv' = C'v'$$

$$CV = (C + C')v'$$

$$V = \frac{C + C'}{C} v'$$

$\frac{C + C'}{C}$  が倍率であるが、 $C'$  が變化するからこの値が異つて來るのである。故に 3 000 V 用のものを蓄電器を附加することによりその儘の目盛りで使用することは理論上よくない事である。この考へは獨り検漏器に限らず直列蓄電器を使用する靜電電壓計に適用されるものである。

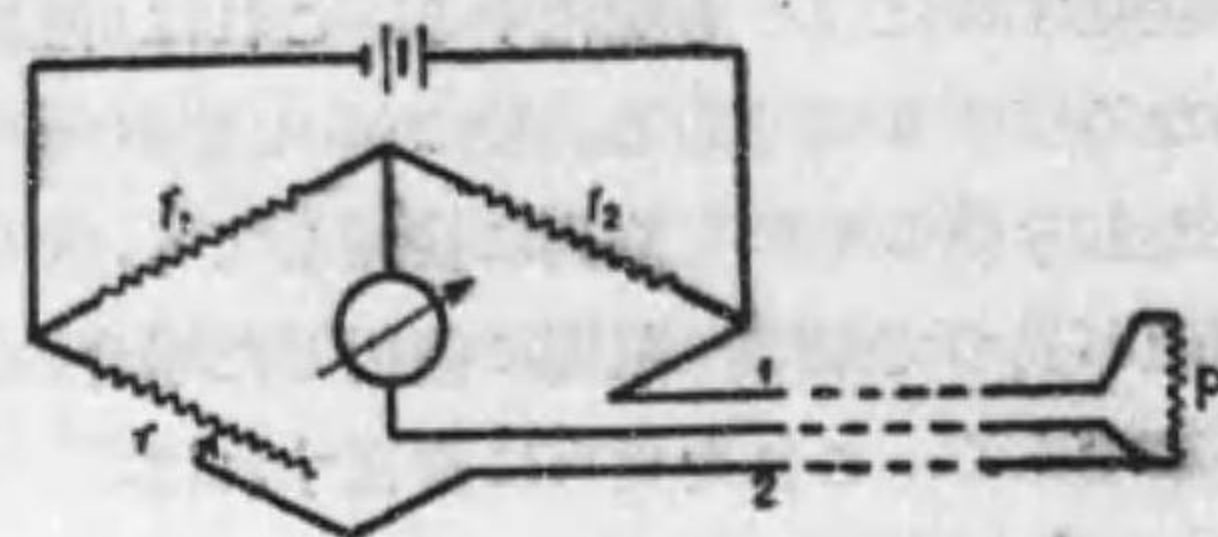
### 抵抗溫度計

【問】 抵抗溫度計用サーチコイルの構造及これに依る溫度測定の理論直讀裝置等を御教示下さい。

【解】 高溫度用のサーチコイルは 0.15~0.2 耗位の白金線を用ひ、これを 10 オーム乃至 20 オームに相當する長さにし、雲母片に無誘導に捲く。更らに化學的及機械的損傷から保護する爲め陶器又は鋼製の保護管に導線と共に納める。白金溫度計として使用される部分は保護管の下部に納め、これより太い銅或は白金線を導線として外部に導く。低溫度のものでは白金線の代りに 600°C 程度位迄はパラヂウム、120°C 程度位迄はニッケルが用ひられる。發電機變壓器等のサーチコイルは主としてこれ等が用ひられる。

溫度測定の原理は抵抗線が溫度と共にその電氣抵抗を變ずる性質

を利用したものである。圖は接続の一例を示すもので、 $r_1, r_2$  は相等しい抵抗の比例邊、 $r$  は室内温度に於て  $p$  の抵抗と平衡すべき抵抗で何れもマンガニン



第 1 圖

線で作られる。サーチコイルからの導線が三本を必要とするのは導線そのものが温度上昇の爲め抵抗を増大するので、それに対する誤差を除く爲めである。即  $p$  に 1 なる導線が直列に入れば、 $r$  には 2 なる同じ太さの導線が直列に入る結果導線の抵抗変化は全く補償し得られる。

抵抗温度計の直讀装置として用ひられてゐる方法には、次の様な二三のものがある。

(イ) ホキートストーンブリッジの  $r$  邊に、摺動線を用ひ接觸子を動かして平衡を求める。接觸子の位置に對し摺動線に沿ふて温度の目盛を記しておく。

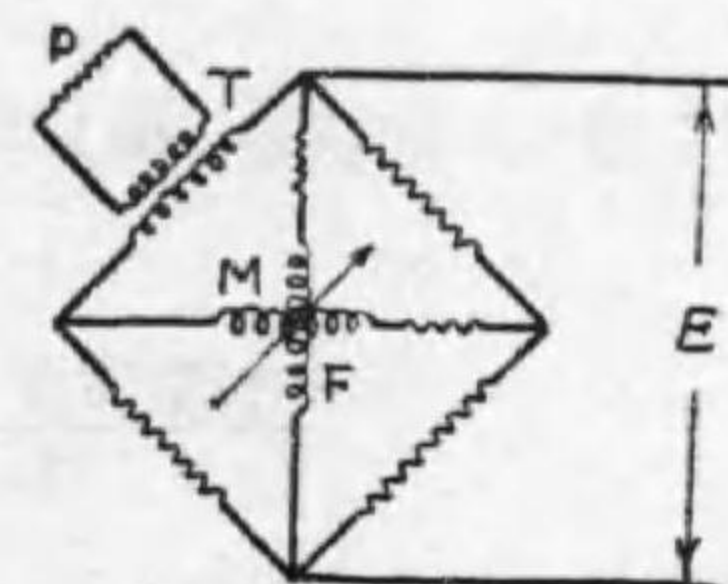
(ロ) ホキートストーンブリッジの他の邊は悉く一定の抵抗値に固定し、サーチコイル  $p$  の抵抗變化に依り不平衡を生じ爲めに檢流計に不平衡電流を通せしめその指針を動かす。 $p$  の温度が高くなり抵抗が多くなれば不平衡電流は増し、指針の振れは大となる。故に檢流計に豫め温度の目盛を目盛つて置き指針の振れから温度を直讀することが出来る。但一定電壓をブリッジに供給する爲め  $p$  の代りに一定抵抗を入れ換へ、檢流計の指針が一定の目盛を指示する様電池の直列抵抗を調整する。この方法は電氣機器の直流式直讀温度計として廣く用ひらるるもので第 2 圖はその配電盤の一例である。 $S$  を閉ぢて栓を  $P_1$  に挿し  $M$  の指針が  $20^\circ\text{C}$  を指示する迄ダイヤル  $D$  を調整する。 $P_1$  は  $20^\circ\text{C}$  に於て 10 オームある様に作られてゐる標準抵抗に結ばれてゐるのである。次に  $p_2$  に栓を挿しかへれば、

$p_2$  に結ばれてゐるサーチコイルの温度が直ちに計器  $M$  の上に指示される。

(ハ) 耐久磁石の磁界内に互に直角に軸に取付けられる 2 箇の可動線輪があつて、其の一はマンガニン抵抗に直列に、他はサーチコイルの抵抗と直列に接続せられ此の兩回路に同一電壓を與へる。然るときは可動線輪はサーチコイルの抵抗變化に依りオーム計と同様の原理で動作し指針を一方に動かす。



第 2 圖



第 3 圖

以上のものは直流電源を用ふる方法であるが交流電源に依つて同様の抵抗温度計を構成する事が出来る。第 3 圖はホキートストーンブリッジの不平衡電流を利用する直讀抵抗温度計の一例を示すものである。 $p$  なるサーチコイルは  $T$  なる變壓器の二次に結ばれ、一次線輪はブリッジの一邊に接続される。 $T$  の捲數比を  $n$  とすれば、一次に換算した  $p$  の抵抗は  $p$  の抵抗に  $n^2$  を乗じたものに等しい。故に  $p$  の抵抗が變化すれば當然ブリッジの此の邊の抵抗が變り、従つて温度の變化に依り不平衡電流を生ずる譯である。檢流計としては電流計型を用ひ、その固定線輪  $F$  にはブリッジに供給する一定周波數の一定電壓  $E$  を與へ、可動線輪  $M$  にはブリッジの不平衡電流を通じて  $M$  を傾斜せしめるのである。若し  $E$  を一定に保て

ば F の生ずる磁界は一定であるから M の電流に依つて指度を變じ、豫め目盛られた溫度を指示するのである。F 及 M には夫々適當の直列抵抗を接続する。此の交流式のものゝは電氣機器の高壓捲線の溫度測定に便利であるが、變壓器を用ふる爲めに、變壓器の損失があり又リアクタンスを有するので周波數の僅かの變化に對しても相當大なる誤差の生ずるのを免れ難い。一般に直流式の方が交流式のものより精確度が高いものである。

## 電 氣 機 械

### 交流發電機の自己勵磁

【問】 電氣工學ポケットブックに發電機の自己勵磁現象を防ぐ爲めに要する條件は、

$$\text{短絡比} = \frac{\text{規定電壓を起す勵磁電流}}{\text{規定短絡電流を起す勵磁電流}}$$

を大きくすればよい。

又自己勵磁現象を起こさない様に 1 臺の發電機で充電するには發電機の kVA は、

$$\frac{\sqrt{3} \times \text{送電端電壓} \times \text{充電電流}}{\text{發電機の短絡比}}$$

より大きくするを要する、とある。以上の理由不解に候條詳細御説明願上候。

【解】 これに關する文献は大正 13 年 7 月號電氣學會雜誌、高橋正一氏著「高壓送電線の充電と交流發電機の自己勵磁現象に就て」の論文がある。然し同論文も甚だ簡単に記載しあり一寸讀んでも初學者には了解困難と思はれるので、こゝに同論文を演繹して説明を試みよう。

交流發電機が自己勵磁を起こさぬ爲めには、横軸に發電子電流をとり、これに進み無効電流が流れたとして勵磁作用を表はさしめそれにより生ずる無負荷起電力の曲線と、これと同じ充電電流が流れる爲めに必要なる送電線電壓を表はす電壓の曲線とが交らぬことが必要である。若しこれが交れば、僅かの殘留磁氣により恰も直流分捲發電機が無負荷飽和曲線と、界磁電壓線との交點迄自己勵磁により起電力が上昇するのと同様に上昇するのである。

今無負荷飽和曲線は直線部分のみをとり、起電力は勵磁電流に比



例するものとして、

$$V_1 = a I_f \dots\dots\dots(1)$$

$V_1$  = 無負荷端子電圧,  $a$  = 定数,  $I_f$  = 勵磁電流

次に短絡電流  $I_s$  は, 横軸に勵磁電流, 縦軸に  $I_s$  をとれば殆んど直線にて表さるる故

$$I_s = K_s I_f \dots\dots\dots(2)$$

$K_s$  = 定数

又送電線の充電電流  $I_c$  は, 加へらるる送電端電圧に比例する。故に

$$V_2 = K_c I_c \dots\dots\dots(3)$$

但し  $K_c = \frac{1}{2\pi f C}$  である。

$$(2) \text{ 式より } I_f = \frac{I_s}{K_s}$$

$$(1) \text{ 式に代入して } V_1 = a \frac{I_s}{K_s} = I_s \frac{a}{K_s} \dots\dots\dots(4)$$

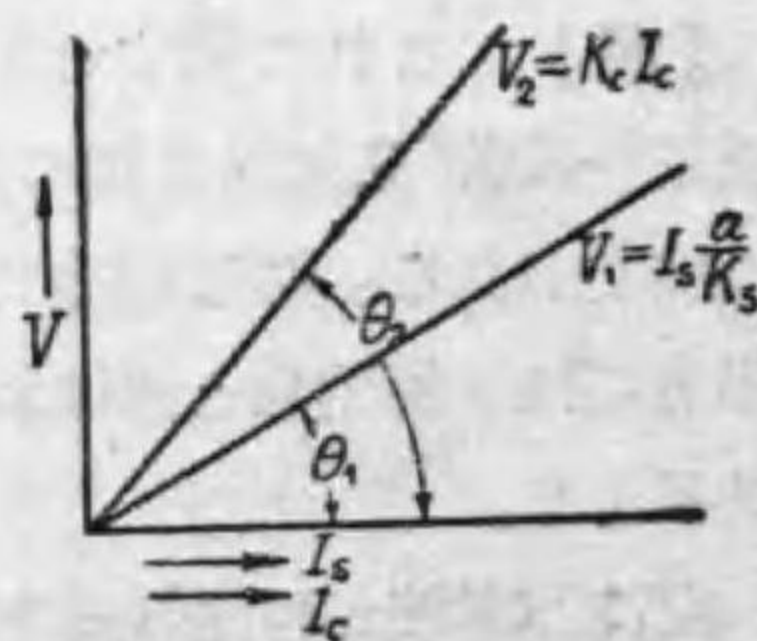
第1圖は(4)及(3)式を圖に示したものである。

圖には  $I_c$  と  $I_s$  とを區別したが同じ進み無効電流が流れるとすれば全く同じ値となるものである。又  $\tan \theta_1 = \frac{a}{K_s}$ ,  $\tan \theta_2 = K_c$  であることは明である。  $\frac{V_1}{I_s} = \frac{a}{K_s} = \tan \theta_1$  なるが故である。而して自己勵磁を起こさぬ爲めには第1圖に於て  $V_2 > V_1$  ならばよい。

$$\therefore K_c I_c > I_s \frac{a}{K_s}$$

今  $I_c = I_s$  とすれば

$$K_c > \frac{a}{K_s} \dots\dots\dots(5)$$



第 12 圖

ならば自己勵磁を起こさぬ。

次に短絡比  $S$  を考へると, 規定電圧  $V_f$  を生ずるに必要な勵磁電流を  $I_{f2}$ , 規定短絡電流 (全負荷電流)  $I_{sf}$  を通ずるに必要な勵磁電流を  $I_{f1}$  とすれば, 定義により

$$S = \frac{I_{f2}}{I_{f1}} \dots\dots\dots(6)$$

然るに今發電子一相の捲數を  $N$  とし, 勵磁線輪の捲數を  $N_f$  とすれば,

$$K I_{sf} N = N_f I_{f1} \quad K \dots\dots \text{定数}$$

何故ならば  $N_f I_{f1}$  なる起磁力は,  $I_{sf}$  なる遅れ電流が流れたる場合には, 減磁作用により完全に打消される。若し反對に進み電流の時はこれだけの起磁力を發生するからである。前式を變化して

$$I_{f1} = K \frac{N}{N_f} I_{sf} = \frac{1}{K_s} I_{sf}$$

こゝに於て(2)式の  $K_s$  なる定数が如何なるものなるかが判明した次第である。従つて  $I_{f1}$  の代りに  $\frac{1}{K_s} I_{sf}$  を用ひてよい。

次に送電線に  $V_f$  を與へた場合の充電電流を  $I_c$  とすれば,

$$V_f = I_c K_c$$

又(1)式より  $V_f = a I_{f2}$

$$\therefore a I_{f2} = I_c K_c \quad I_{f2} = \frac{I_c K_c}{a}$$

これを(6)式の  $S$  に代入すれば

$$S = \frac{I_{f2}}{I_{f1}} = \frac{I_c \frac{K_c}{a}}{I_{sf} \frac{1}{K_s}} = \frac{I_c}{I_{sf}} \cdot \frac{K_c}{\frac{a}{K_s}} \dots\dots\dots(7)$$

(7) 式より  $S$  大ならば一定の  $I_c, I_{sf}$  に對し,  $\frac{K_c}{\frac{a}{K_s}}$  が大, 即  $K_c >$

$\frac{a}{K_s}$  となり, 自己勵磁現象を生ぜず安全である。これで問の第一番に對する説明は終つた。次に第二番である。

(5) 式より自己勵磁を起こさぬ爲めには

$$\frac{a}{K_s} < K_c$$

兩邊を  $\frac{a}{K_s}$  にて除せば

$$1 < \frac{K_c}{\frac{a}{K_s}} \quad \text{兩邊に } \frac{I_c}{I_{sf}} \text{ を乗ずれば}$$

$$\frac{I_c}{I_{sf}} < \frac{I_c}{I_{sf}} \cdot \frac{K_c}{\frac{a}{K_s}}$$

上式の右邊は  $S$  である。故に

$\frac{I_c}{I_{sf}} < S$  左邊に三相機としての容量を表す爲め分母分子に  $\sqrt{3} V$  を乗ずれば、

$$\frac{\sqrt{3} V I_c}{\sqrt{3} V I_{sf}} < S$$

$$\frac{\sqrt{3} V I_c}{S} < \sqrt{3} V I_{sf}$$

前述の如く  $I_{sf}$  は全負荷電流である。故に

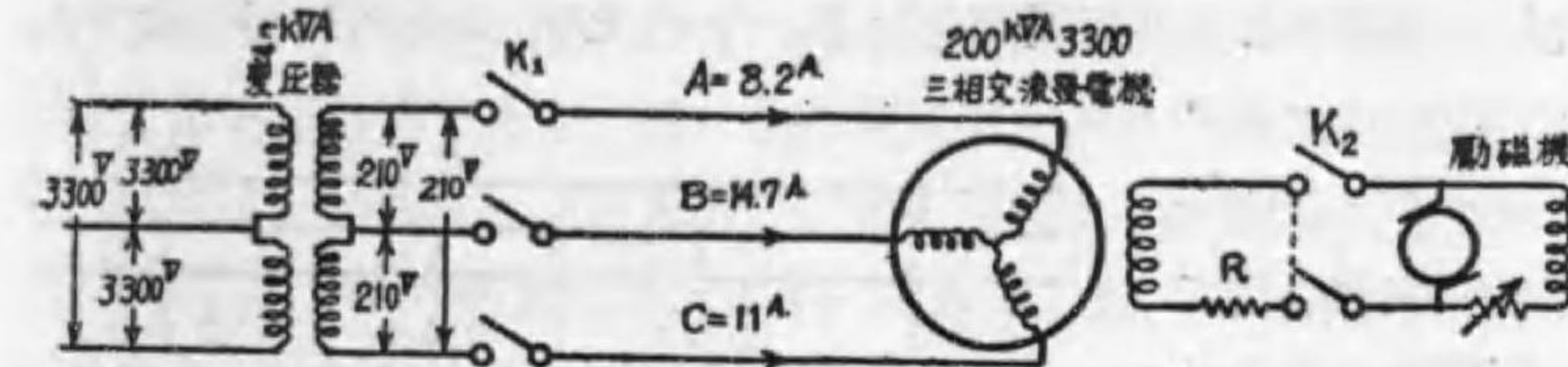
$$\frac{\sqrt{3} \times \text{送電端電壓} \times \text{充電電流}}{\text{短絡比}}$$

が發電機の容量  $\sqrt{3} V I_{sf}$  より小ならばよい。

この最後の式に於て、例へば短絡比 1 なりとせば、充電電流が全負荷電流に等しい時規定電壓を發生するのであるから、何等自己勵磁は生ぜぬ譯である。又短絡比が 1 以上の時即 2 或は 3 の時には充電電流の 2 又は 3 倍の電流を發電機に流した時規定電壓を發生するものであるが、これは發電機に對しそれだけ過大電流を流さしめる事になるから事實上には行ひ得ないものと信ぜられる。又實際に於て普通の交流發電機に於ては  $S$  は殆んど 1 に近いものであつてこれが大となれば機械の價格を高價ならしむるものである。

## 交流機とリアクタンス

【問】 豫備用三相交流發電機容量 200 kVA 電壓 3300 V のもの常時は使用せざる爲め絶縁抵抗は  $\frac{E}{1000+kVA}$  以下に低下する。故に絶縁抵抗を常に上記の値以上に保持せしめん爲めインピーダンス電壓以下の 210 V の電壓を與へ小電流を通じ濕氣の侵入を防がんと爲め圖の如く接続した。  $K_1$  を開いた後の電壓各線間 210 V,  $K_1$



を入れ  $K_2$  を開き圖の如く  $R$  なる抵抗を入れ短絡し電流を測定せしに各線の電流は、8.2, 14.7, 11.0 の如く不平衡を生じた。小生は各線とも平衡電流が流れると思ひしに上記の結果を得た。(電圧電流測定に用ひし計器はウェストン標準型)。上記の結果は如何なる理由に基くものか御説明願ひます。

【解】 發電機は何等の故障、即短絡、接地、混觸等の故障なく各相の抵抗は完全に平衡してゐる事と思ふ。若し之等の故障があるならばそれから電流の不平衡を生ずるが此は問題とする價值なきものと思ふ。

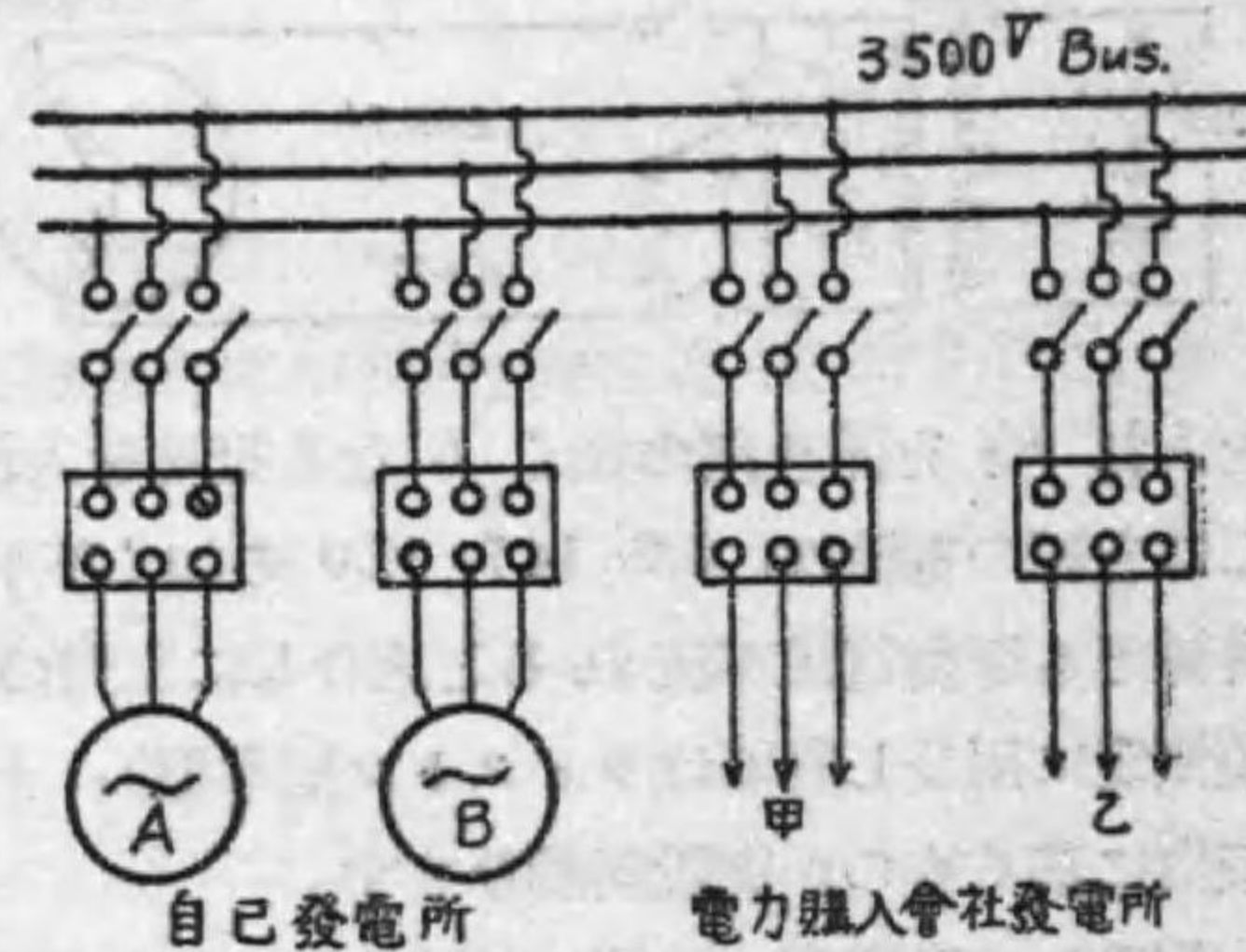
各相の抵抗が平衡してをて、電流が不平衡となるならば、リアクタンスの不平衡と斷ぜざるを得ない。然らば如何にしてリアクタンスが不平衡となるか。質問には發電機の構造が明示してないが多分水車直結廻轉界磁型、突出磁極のものと思はれる。すると磁極が固定子に對する静止位置に依り、磁極に相對してゐる導體に對しては磁氣抵抗少なく即自己誘導係數大となる。これに對し磁極と磁極との中間にある導體に對しては磁氣抵抗前者に比して大きく従つて自己誘導係數小となる。これを換言すれば線輪邊が磁極に面してゐる

る相の  $\alpha$  が大で従つて電流少なく、磁極の中間に位してゐる相の  $\alpha$  小で電流は大といふ事になる。故に若し質問者が廻轉子を少し宛廻轉せしめらるるならばこの電流の不均衡も順次に移動してゆくものと考へられる。

### 同期発電機の並行運轉

【問】 圖の如く AB 二機は並行運轉をなし又甲乙なる電力購入会社の発電所とも並行運轉をなす。今 A と B の並列接続をなさんとする時はシンク

ロナイザーが中央  
靜止の位置に於て  
主開閉器を投入せ  
ば可なり。然るに  
甲又は乙より電氣  
を送り之れに並列  
に A 又は B を  
接続せんとするに  
シンクロナイザー



の指針の位置が前記の位置にて主開閉器を投入せば大なる亂調を起こし殆んど並列接続不可能である。實際亂調を生ぜず投入し得る時は指針は必ず中央より或角度だけ偏位してゐる。此の理由詳細説明願ひます。

【解】 思ふに同期化力の問題であらう。周知の如く交流発電機並行運轉の際に於ける同期化力は理論上兩発電機並に其の間の導線より成る局部回路のリアクタンス  $X$  が、其の抵抗  $R$  に等しき時最大である。實際には  $X=2R$  の附近が最良と稱せられてゐる。故に發電機抵抗に比しリアクタンスは相當の大きさを有せねば理想的な並行運轉を行ひ得ず、又運轉操作の時に於ても亂調を生じ易きものである。實際に於て普通の交流機ではリアクタンスは抵抗より大に

して五、六倍以上に達する事もありリアクタンス不足の事より寧ろ過大に過ぎる事さへある。然し乍らタービン交流機ではその磁極數極めて小なる結果、抵抗リアクタンス共に小さく、若し兩発電機を結ぶ導線の抵抗比較的大なる時は、合成回路に於て  $R$  が  $X$  より大となり必要の同期化力を發生し難い場合もある。

却説之丈の豫備智識を以つて問の場合を考慮すれば、第1発電所が水力発電所なるか汽力発電所なるか不明であるが、AB 兩機の並行運轉操作は極めて簡単に行はれる所を見れば充分の同期化力を有してゐる事が明である。次に他の発電所との並行運轉は困難なる事を見れば、他會社と本発電所の距離相當長く、送電線の抵抗大で合成抵抗  $R$  が  $X$  に比して大きく、前記せし如く同期化力の減少せるものと考へられる。殊に火力発電所であればこの傾向の著しい事前述の通りである。

尙シンクロナイザーの指針と運轉法の難易であるがこれは問者の考へが少しく不足してはゐないかと思ふ。何故なれば普通開閉器を投入する時は事實に於て兩機の廻轉速度全く同一に近く極めて緩に指針の廻る事は先づ少ない。相當の處で開閉器を投入するものである。従つて投入の時期は指針が完全に同期を指した所で投入すればこの時は既に同期を越えようとしてゐるから、開閉器投入後は同期化力が働くが、なほ少時今迄の惰性で相對變化を生じ、或る程度に達した後初めて引き戻されこゝに振動を起し、夫れを繰り返して乍ら同期に入つてゆくのである。故に投入する最も都合よき時は、指針が正に同期の點をささんとする時、換言すれば少し許り手前の所で投入すべきで、かうすれば自身の惰性に依り同期化力の力を多く借りずに同期に入るのである。

以上之を想像するに他発電所との距離相當長く  $X$  不足しをり同期化力は割合に小さい。この時速度の合致未だ精確ならず、加ふるにシンクロナイザー指針が同期を指した時主開閉器を投入される爲め烈しい亂調を生ずるものと思ふ。従つて速度を全く合致せしめら

るか、或は指針の振れが $\alpha$ 丈け手前に於て投入されるればかゝる事は生じない筈である。

### 同期-同期周波数変換機の並列運転

【問】 50 $\sim$ より60 $\sim$ に変換する二組の同期-同期周波数変換機(他起動)あり。発電機側(60サイクル)に於ても並列使用の爲め同期化せんとするに當り、小位相差の調整には同期電動機側固定子を移動せしめ、大位相差の調整には同じく電動機側の勵磁回路用双投切換開閉器の極を反轉反覆して調整す。此の場合次の各項に付御説明下されし。

- (1) 固定子を移動して相を合はせ得る理由
- (2) 勵磁回路の極を反轉反覆して合せる理由
- (3) 発電機側の位相を調整するに當り電動機側の勵磁回路の極を反轉せしめ或は固定子を移動して位相を調整せしめ得る理由
- (4) 輕負荷及重負荷の場合に電動機側の勵磁回路双投開閉器を開放しても傷害なきや。

【解】 同期同期周波数変換機は、同期電動機と同期発電機を機械的に直結したもので、廻轉子は常に同一速度且同期速度で廻轉してゐる。従つて其の磁極数の比と周波数の比とは相等しいものである。

次に問ひの同期法に就いてであるが、これには先づ次の三種類に大別し得る。

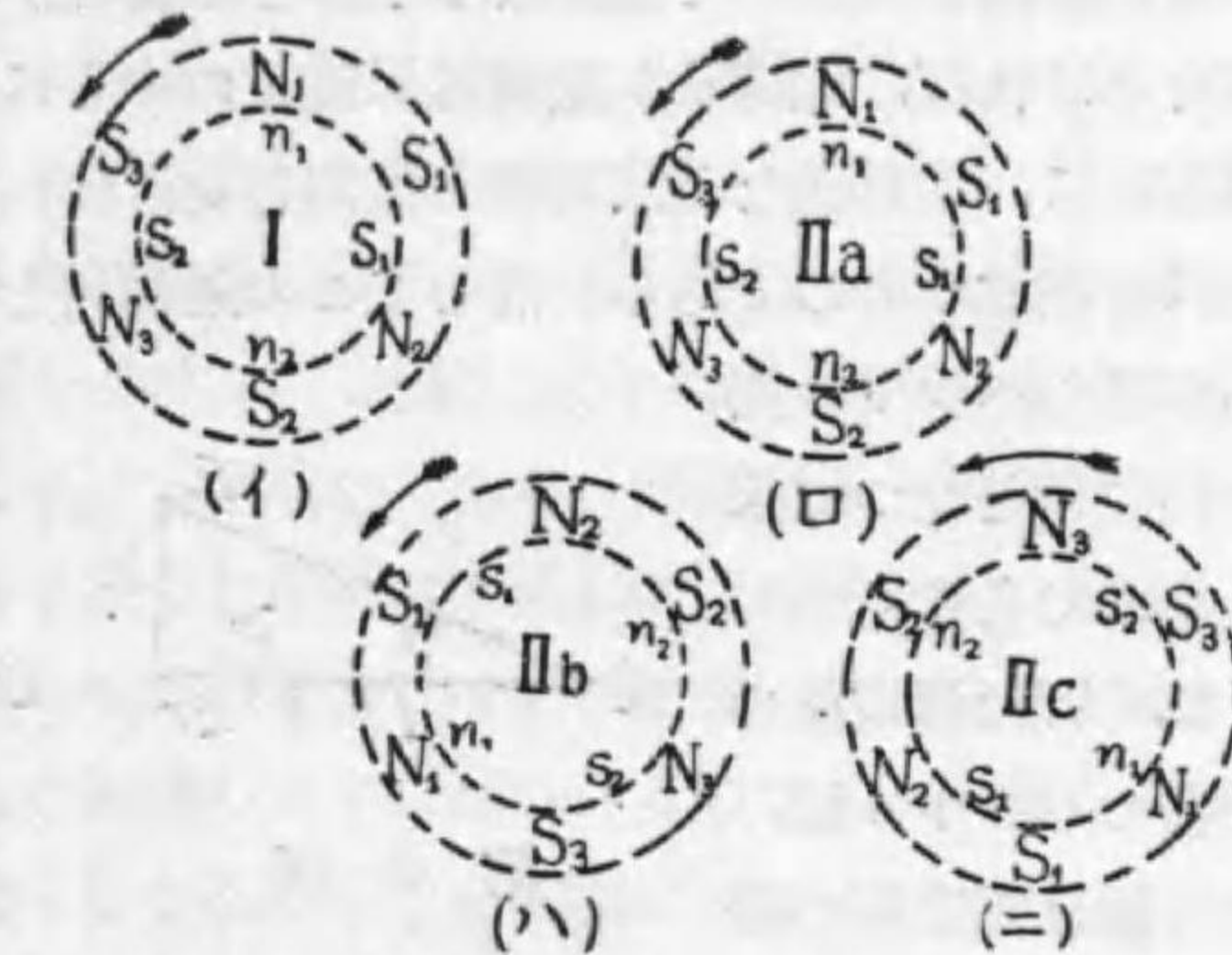
- (イ) 二組の変換機を無負荷にて並行運転せしめ後負荷をかける場合。
- (ロ) 一組の変換機は既に負荷がかかつてゐる、これに新一組を並列に入れんとする場合。
- (ハ) 一組或はそれ以上の變換機を、一つの電力系統と他の電力系統との間に電動機發電機とも並列に入れんとする場合。

質問者の直面されてゐる問題も恐らくこの三つの場合を出でまい

と思ふ。以下稍講義的になるが順次説明して見たい。先づ(イ)より述べてゆくが理解を容易ならしむる爲め、且餘りに煩雜に流れない爲めに電動機6極、發電機4極即60 $\sim$ より40 $\sim$ に変換するものに就いて考へて見る。第1圖は二組の変換機のある瞬時に於ける極数の關係即磁極の相對的位置を示したものである。今Iなる變換機に對し、IIなる變換機を電動機發電機とも完全に並列になし得るは $\alpha$ なる場合に限る。 $\beta, \gamma$ の場合は電動機側は並列にはなり得るが發電機側は並列に

はなり得ない。

明な事ではあるが、電動機と發電機とは直結されて居るのである。故に電動機の $N_1$ 極と、發電機の $n_1$ 極とは常に同一關係のもとになければならぬ。詳言すれば、第1圖のロ



第 1 圖

ハ, ニ, 何れの場合でも $N_1$ と $n_1$ とは相對してゐなければならぬ。

かゝる場合の同期法は起動用電動機にて二組とも起動し、先づ發電機として電動機發電機側共同期檢定器を附し、兩檢定器が同時に同期を示した瞬時に各の開閉器を同時に投入し、後電源側と更らに同期に入るればよい。若し自起動の場合は二組とも起動し發電機側にのみ同期檢定器を附し、若し同期にならなければ電動機の極を切换へ一磁極間隔丈け滑らせる。これは同期變流機にも行はれてゐる方法である。これを數回繰返せば遂に同期の目的を達し得る。例へば第1圖に於て、廻轉方向を矢印の方向とする。今(イ)に對し(ハ)の如き關係にて電動機側が同期に入つてゐるとする。この場合

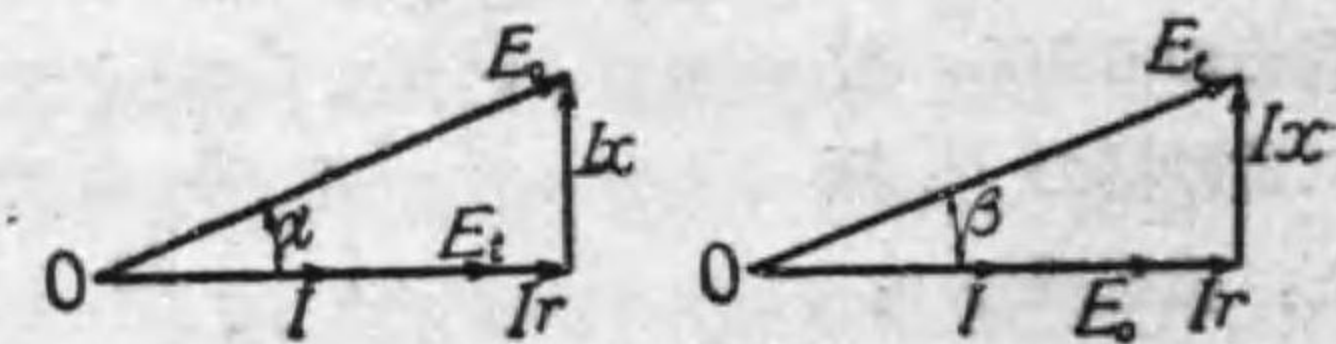
は発電機側は同期になり得ない。故に電動機の界磁開閉器を切換へれば電動機は一磁極丈けずれて(ハ)の  $N_2$  の所に  $S_1$  が来る。今一度切換へれば  $S_1$  の所即(ハ)の  $N_2$  の所に  $N_1$  が来て初めて(ロ)と同じになり両方とも同期になる。問ひの(2)励磁回路の極を反轉反覆して大位相差の調整をなすとはこの理由に依るのである。

次に同期法(ロ)の場合、即ち一組の變換機は既に負荷がかゝつてをり、新に一組を並行運轉せしむる場合を考へて見る。この際同期機の運轉角に就いて完全なる了解を必要とする。元來同期機に負荷をかければ、廻轉子が廻轉磁界磁束の中心に對し發電機ならば廻轉方向に、電動機ならば廻轉と反對方向に何れも或る角度丈け空間的に移動するものである。而してこの運轉角を電氣度にて測ればこれが即ちベクトル圖

の相差角となつて來るものである。

第2圖は發電機の場合のベクトル圖、第3圖は電動機の場合のベクトル圖である。但し發電機の力率は100%、電動機は遅れ力率  $\cos \beta$  とした。尚  $E$  = 毎相の端子電壓、 $E_0$  = 毎相の誘導起電力、 $I$  = 負荷電流、 $I_r$  = 抵抗降下、 $I_x$  = リアクタンス降下である。圖より明な如く發電機の場合は  $E_0$  より  $E$  は  $\alpha$  電氣度進んでをり、電動機の場合は  $\beta$  電氣度遅れてゐる。 $E_0$  が  $E$  より遅れるといふ事は、界磁束を切つて生ずる誘導起電力が廻轉磁界の磁束中心より遅れてゐる、換言すれば空間に於て  $\beta$  電氣度に相當する空間角遅れてゐるといふ事を表してゐる。 $E_0$  が  $E$  より  $\alpha$  電氣度進むといふことはこれと全く反對で空間に於て廻轉子が  $\alpha$  電氣度進んでゐるのである。

今一組の變換機が既に運轉し負荷がかゝつてをり他の一組は無負荷運轉をしてをるとすれば、兩者の發電機側に於ける相差角はどう



第 2 圖

第 3 圖

なるか。先づ電動機側に於て  $\beta$  電氣度の空間角を生ずる。之を發電機側に換算した空間角に更らに發電機の  $\alpha$  電氣度に相當する空間角を加へたと同様の位相差を生ずる事になる。例へば電動機が  $25^\circ$ 、發電機が  $50^\circ$  の變換機なりとし、無負荷に於ける電動機側の位相差を  $\beta_0$  なりとすれば、これに對する發電機側無負荷の場合の空間角は  $2\beta_0$  である。次に負荷がかゝりその空間角を  $\beta_1$  とし、發電機の位相差を  $\alpha$  とすれば兩發電機側で正しく同期を示すべき位置即(イ)に述べたと同方法、即電動機の極を切換へた位置に於て、 $2(\beta_1 - \beta_0) + \alpha$  の位相差を生ずるのである。従つて同期檢定器は決して同期を示す位置に靜止せず或る捻れを與へて靜止する。若しこの時強ひて開閉器を投入すれば、急に新らしい機械に荷が移り又一機は急に輕負荷となり亂調を生ずる。此處に於て同期-同期變換機に固定子移動装置が必要となつて來るのである。即固定子と廻轉子とが靜止中であると運轉中であるとを問はず人為的に或角度丈け移動し得る如くなすのである。本例の場合では新に並列に入れんとする一組を  $2(\beta_1 - \beta_0) + \alpha$  丈け廻轉の向きに遅らせるのである。斯くの如き装置を施す時は同期になる迄固定子を移動せしむればよい。問ひの(1)固定子を移動して小位相差を調整するとはこの事をいふのである。

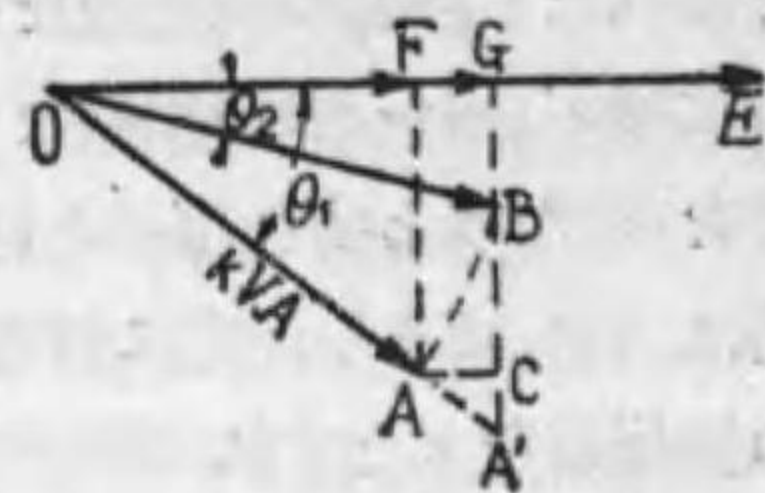
(ハ)の同期法即兩電力系統を結ぶ場合も(ロ)に説明せし如き固定子移動装置あれば何等困難なく並行運轉せしめ得る。

又この固定子移動装置は單に並行運轉のみに必要な許りでなく、負荷の分擔上大切なものである。

以上で問ひの(1)(2)(3)の解は終つた。問(4)の場合、即輕負荷及重負荷にて電動機界磁を開路すれば、電動機はアモルト捲線のみよりなる誘導電動機となるから大電流流入する。但し同期法として切換へる如き瞬間には差支なく、亦實際問題として負荷のかゝつてゐる變換機を、その儘並行運轉せしむる如き場合は少いのではないかと察せられる。

## 同期進相機の容量

【問】 kVA一定なるとき  $\cos \theta_1$  より  $\cos \theta_2$  に力率を改善する爲めに要する同期進相機の容量は、此のベクトル圖に於ける BC, BA' の何れなるや其の理由如何。



【解】 問題の意味が明瞭でない、従つて解答に対する疑ひが生ずるのである。若し負荷が同一の性質のものを、増加せしめる場合ならば BA' 丈の進相容量を必要とするが、單に力率 100% の負荷を増加するのならば BC でよい。

kVA 一定であるから力率をよくすれば、それだけ負荷を餘計に擔ひ得る事は當然である。然して負荷には有効分と無効分とを有してゐる。この内有効分は圖の FG であり、これは  $\cos \theta_1$  より  $\cos \theta_2$  に力率改善される結果當然生ずるものである。次に無効分であるが今迄の負荷の分は FA=GC である。故に無効分を必要とせぬ負荷即力率 100% の負荷が増大したとすれば、進相機から補償すべき無効電力は BC でよい。所が新しく加はつた負荷も前と同様の力率のものであれば、この負荷に対する無効分が A'C であるから、進相機の補償すべき無効電力は BA' となる。

## 電氣機器の耐壓試験

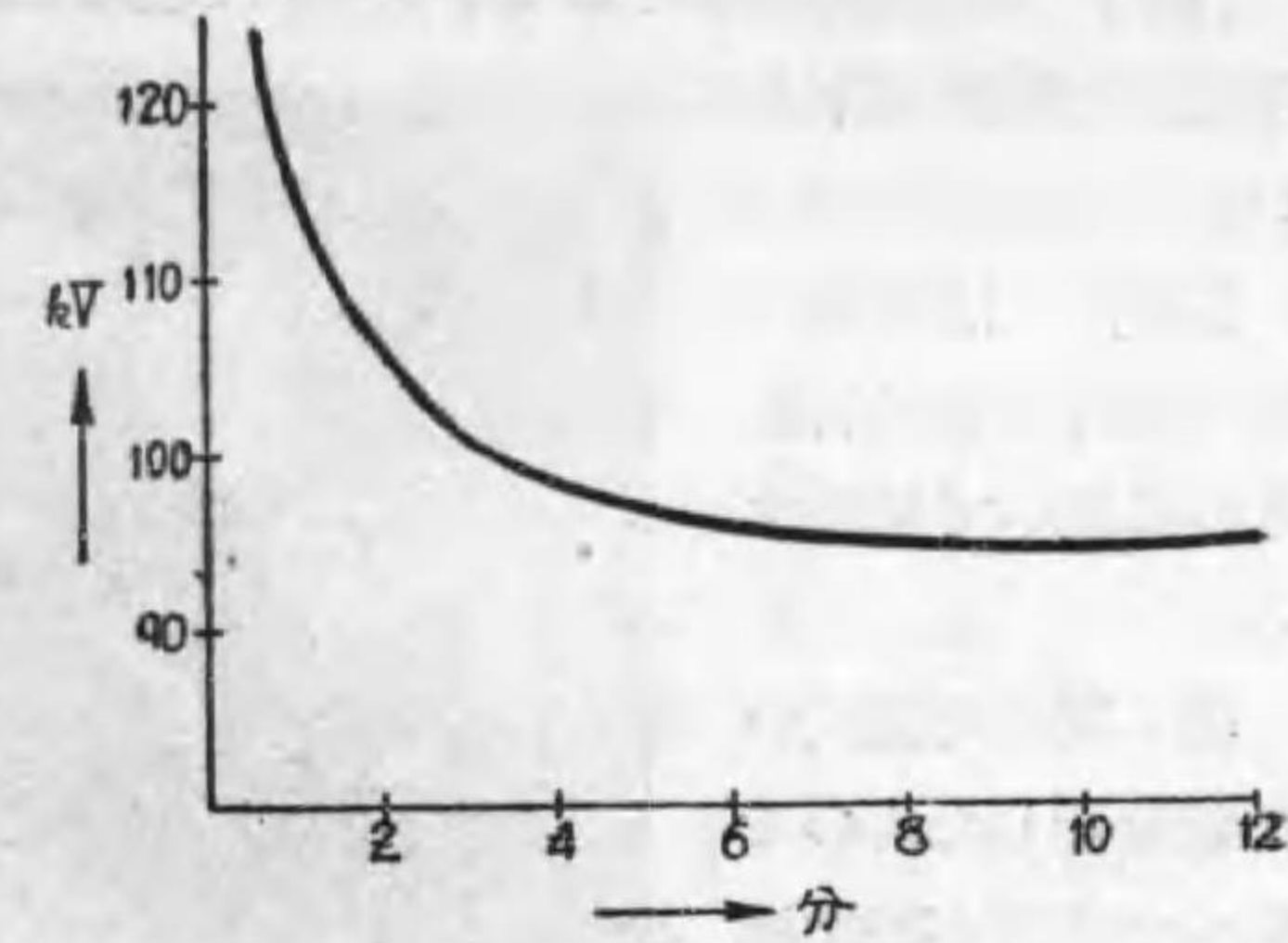
【問】 工作物規程總則第八條に於て、電動機等の耐壓試験は、最大使用電壓の 1 倍半にて 10 分間施行する事に定めてあるが、製作所等に於ては最大使用電壓の 2 倍に千ヴォルトを加へて 1 分間施行してゐる。その理論的根據を御教へ下さい。

【解】 最大使用電壓の 2 倍に 1000 V を加へたるもの 1 分間は日本電氣機器標準規程に依るものである。

元來纖維狀物質 (fibrous material) の耐電壓特性は、時間に關係

するもので、時間が短いと高電壓に耐へる。絶縁の破壊は熱の爲め或は電離 (ionization) の爲めとも言はれてゐるが、30 000 V の電

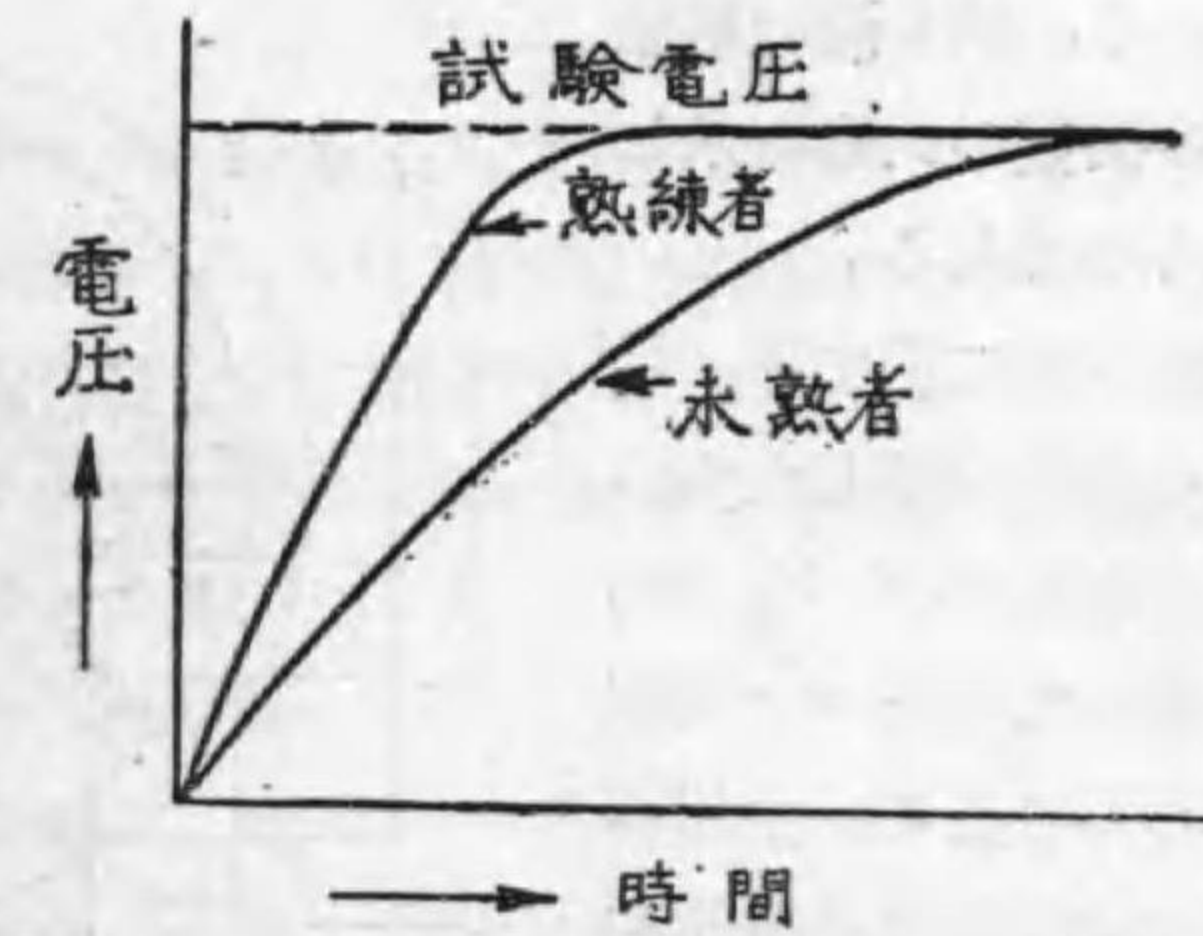
纜を試験した結果を示すと、大體第 1 圖の様な曲線になる。之は一般の纖維質絶縁物もかくなるもので、大略時間に逆比例すると考へてよい。故に工作物規程に依る  $1.5 V_{max}$  10



第 1 圖

分間と、 $2 V_{max} + 1000$  V 1 分間とは、絶縁材料に及ぼす影響は略等しいと考へられるのである。

それでは何故斯様な差異を設けたかといふに、標準規程は主として製造工場にて行ふ故時間の節約上高い電壓を短時間かけるのであ



第 2 圖

る。所が發變電所等に於ける耐壓試験は、多くは試験に關し素人であり、且つ設備も製作所の如く完備してゐないから、第 2 圖に示す如く最大試験電壓に達するに時間を多く要し、高電壓短時間の方法では結局は被試験物に對し過酷な試験をなす事となるからである。

### 溶接機用三刷子發電機

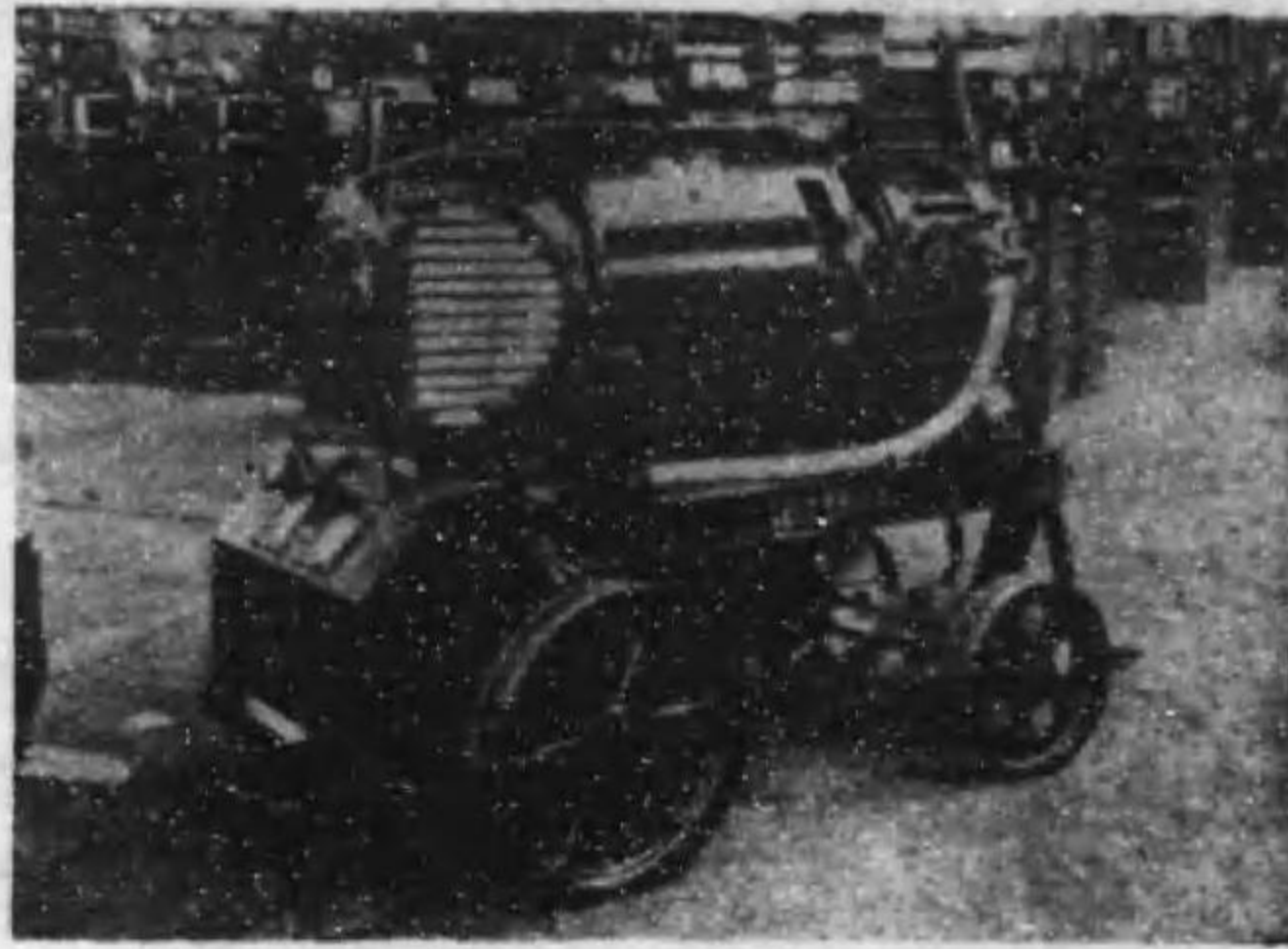
【問】 電氣溶接用として用ひられて居る三刷子直流發電機の原理構造を御教示下さい。

【解】 芝浦製作所で製作されて居るものに就いて紹介する。

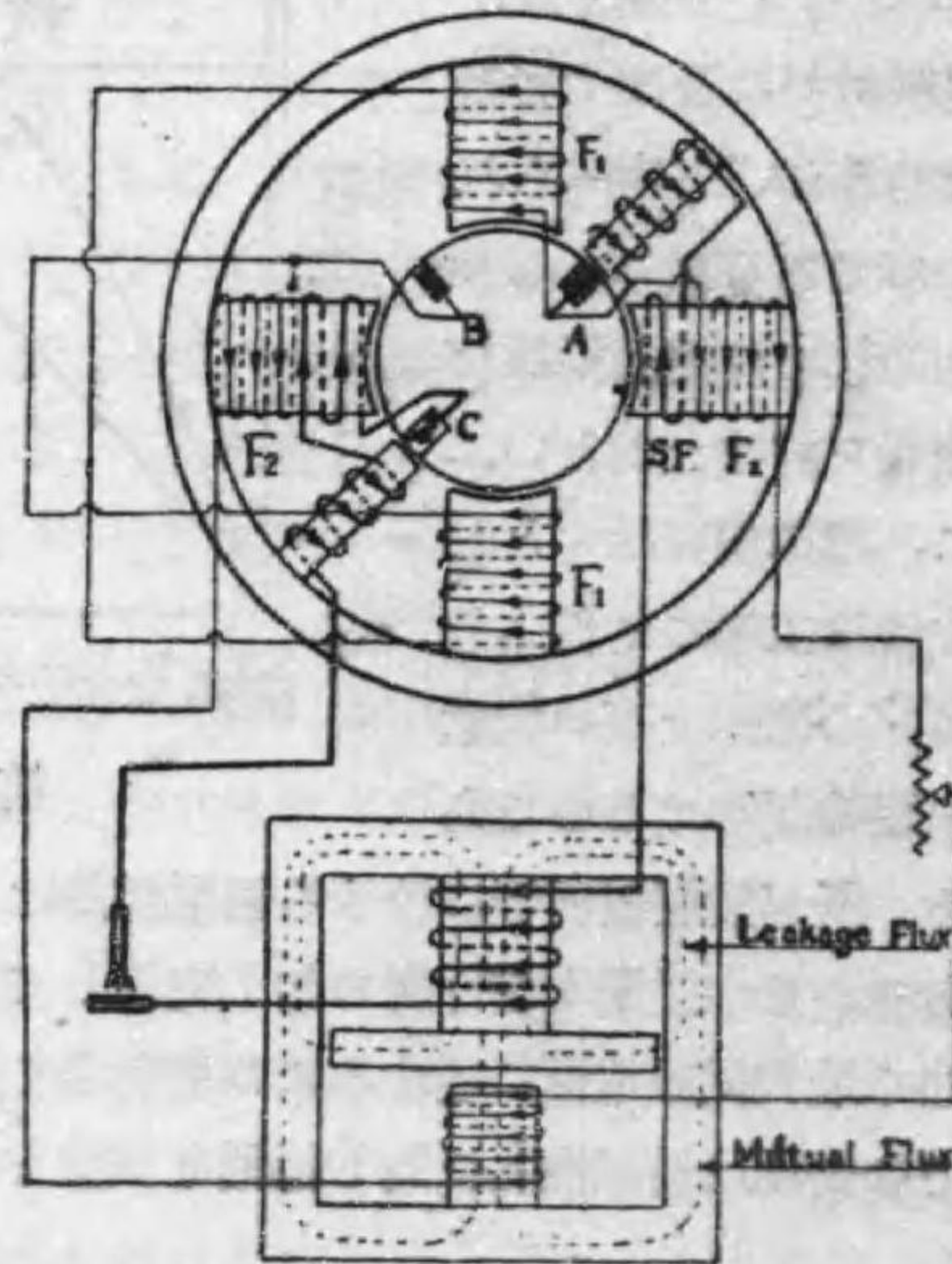
第1圖は可搬式の外觀を示したもので向つて左方が發電機右方は運轉用電動機である。第2圖は構造及び接續の大略を示したものである。

第2圖に於て  $F_1, F_1$  なる捲線を施したものを主極と呼び、 $F_2, SF, F_2$  を捲いた極をクロス極と呼んでゐる。主極の方は磁氣的に充分飽和されてあるが、クロス極の方は磁氣的飽和を極く低くしてある。

發電子は二極に捲いてあるが、刷子は A, B 及 C の3個あつて負荷電流は刷子 A と



第 1 圖



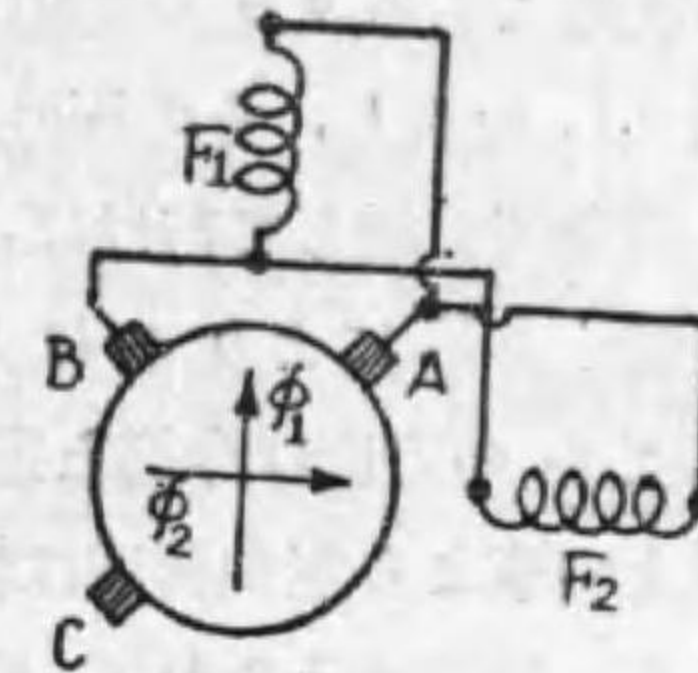
第 2 圖

C から取られる。刷子 B は A 及 C から電氣的に  $90^\circ$  隔つた位置にあり、勵磁電流は A, B なる兩刷子から取られる。

此の發電機の作用を概説すると、先づその磁極は前記した様に主極とクロス極と各2個あるから、界磁は第3圖の様に2個の獨立した  $f_1 f_1$  及  $f_2 f_2$  から成立してゐるものと考へる事が出来る。此の磁



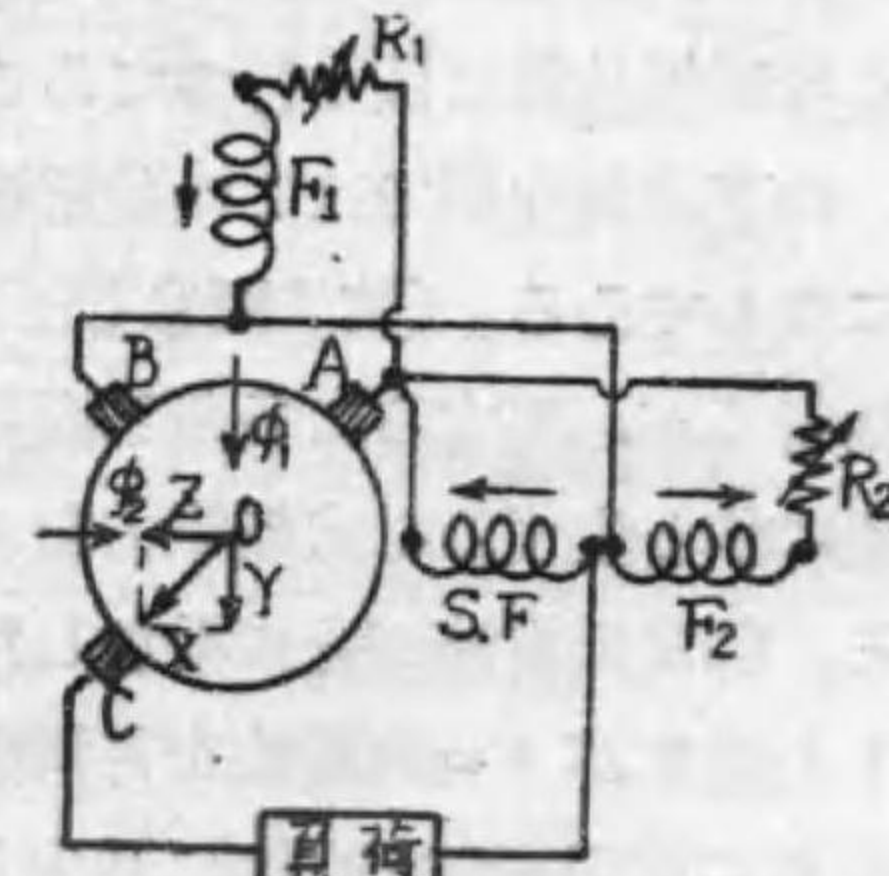
第 3 圖



第 4 圖

路  $f_1 f_1$  の磁束即主磁束を  $\phi_1$ 、磁路  $f_2 f_2$  の磁束即クロス磁束を  $\phi_2$  とすると、磁束  $\phi_1 \phi_2$  と刷子 A, B, C 並びに主極及クロス極の勵磁回路との關係は第4圖の様になる。主磁束  $\phi_1$  は刷子 AB 間に或る起電力を生ずるが、刷子 B, C 間には何の起電力も生ぜぬ。同様に

クロス磁束  $\phi_2$  は刷子 B, C 間に或る起電力を生ずるが、刷子 A, B 間には少しも起電力を生ぜぬ。此の主磁束  $\phi_1$  に依る刷子 A, B 間の電壓  $E_{AB}$  を主電壓、クロス磁束  $\phi_2$  に依る刷子 B, C 間の電壓  $E_{BC}$  をクロス電壓と名付ける。主磁束  $\phi_1$  とクロス磁束  $\phi_2$  の方向は圖に示した通りであるから、この儘では刷子 A, C 間の電壓  $E_{AC}$



第 5 圖

即此の發電機の端子電壓は主電壓とクロス電壓との和になる。

次に負荷電流は刷子 A 及び C から取るから第 5 圖に示した様に、OX なる方向に發電子反作用を生ずる。之は主磁束  $\phi_1$  の方向の OY 及クロス磁束  $\phi_2$  の方向の OZ に分ける事が出来る。然るに前述の如く主磁路は飽和してゐる爲め OY は主磁束  $\phi_1$  に殆んど影響しない。従つて  $E_{AB}$  は負荷電流の如何に關せず常に一定で主極及クロス極の勵磁電流も亦不變である。然るに OZ なる分力は磁氣的未飽和の状態にあるクロス磁束に大なる影響を及ぼすと共に、他に直列捲線 S.F. を有し、その極性が  $F_2$  に相反する如く捲かれてゐる。故に負荷電流が増して行けば、實際の發電子反作用の外に、この差動的に働く S.F. により  $\phi_2$  は大いに減少せしめられ、尙負荷電流増大すれば  $\phi_2$  の方向は今迄と逆になる。

以上の事より無負荷或は輕負荷電流に於ては  $E_{AC} = E_{AB} + E_{BC}$  であるが、電流大となれば  $E_{AC} = E_{AB} - E_{BC}$  となる。

電氣銲接用には電壓の漸降特性を必要とするもので、即負荷電流が大となれば電壓を下げ、小にならうとすれば、電壓を上げて電弧電流を一定近くに保たせる必要がある。本機は發電子反作用の特性を善用してこの目的に適合せしめたものである。

負荷電流の調整は S.F. にタップを設けてあり大なる調整はこのタップの切換に依り、小なる調整は  $F_1$  及び  $F_2$  に挿入した  $R_1, R_2$  なる界磁抵抗器に依り行つてゐる。

尙芝浦製作所ではこの發電機にリアクトルを挿入して電弧の安定に資してゐる。(第 2 圖参照) これに就いては問題外である故詳述は省くが、要するに負荷と直列にリアクトルを接続し負荷電流の急變に依り生ずる二次起電力をクロス界磁  $F_2$  に作用せしむるのである。即電弧電流が急に増加した場合は、その瞬時に二次線輪に誘起した電壓がクロス磁束を打消す如く作用して電弧電流を減少せしめ反對に電弧電流が急激に減少した場合は、二次線輪の誘起電壓がクロス磁束を増加せしめて電弧電流を増大せしめ様と働くものである。かくして電弧電流の脈動を緩和し、發電機の電壓復歸を迅速な

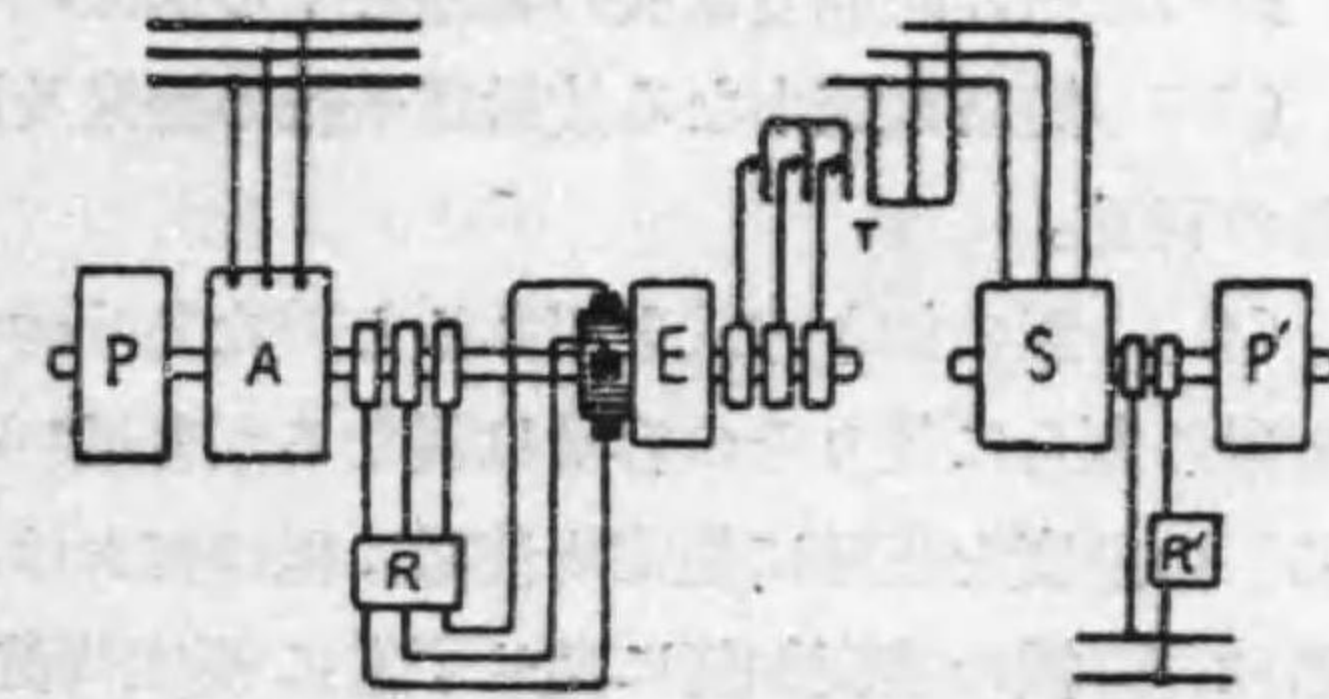
らしめてゐる。

### 非 同 期 發 電 機

【問】 非同期發電機と可變速度誘導發電機とは同一ですか。同一ならばその構造作用並に結線圖を御説明下さい。

【解】 誘導電動機を送電線路に結びその廻轉子を他の原動機で同期速度以上に廻轉せしむれば誘導發電機即非同期發電機となる事は周知の事である。此の場合の勵磁電流は幹線より直接取るものであるが、之れに代つて三相勵磁機を附し勵磁電流を廻轉子より供給するとせば、普通の誘導發電機の缺點即並行運轉中の同期發電機から大なる遅れ電流たる勵磁電流を取る必要なく任意の力率で運轉出来る。

第 1 圖は三相勵磁機を使用せる非同期發電機の結線圖を示したものである。S なる同期發電機は指導發電機と稱せらるるもので、小容量のものでよい。但しその周波數は正確に一定に保持さるゝものである。この電源より T なる變壓器を通じて三相勵磁機の滑動環側に供給すれば、整流子側に出て来る周波數は、A なる三相誘導發電機の



第 1 圖 非同期發電機結線圖

滑りを  $s$  とすれば  $sf$  となる。この  $sf$  なる周波數の電壓を A 機の廻轉子より加へ勵磁電流を廻轉子よ

り送り込む。すると A 機は S の周波數と全く同一の周波數の交流を發生する。何故なれば廻轉子の廻轉數  $N_s(1-s)$  の所に、 $sf$  の周



波数を有する廻轉子電流を通ずる結果、固定子に対する廻轉子廻轉磁界の速さは  $N_s(1-s) + sN_s = N_s$  となる。而して  $N_s = \frac{120}{p}f$  故に勵磁機 E の極數と A の極數とを合せておけば固定子の誘導起電力の周波數は  $f$  となる。

次に負荷の調整及電壓の加減は何により行ふかと言ふに、これは勵磁機 E の整流子に於ける刷子位置の調整、及抵抗器 R 及變壓器 T の調整により行ひ得る。今少し詳言すれば勵磁機に於ける刷子の位置を A 機廻轉子の誘導起電力と 90 電氣度の進み位置にあらしむれば勵磁作用を営み、刷子の位置を起電力と同相又は正反對の位相に置けば速度の調整が出来る。これに対する説明は稍長くなるからこゝには述べないが、三相誘導電動機のベクトル圖を畫いて考ふれば理解する事は出来る。今刷子の位置を電壓調整及速度調整の位置即ち角  $0^\circ$  と  $90^\circ$  の中間に固定しておけば R や T により勵磁機の電流を調整する事により電壓及出力（速度を調整する事により電力を調整し得る）を加減する事が出来る。

此の三相非同期發電機の利點とする所は、

(1) 短絡電流小なる故送電系統の擾亂及油入遮斷器の容量減少等の利點。

(2) 圖の如き方式を用ふると S なる小容量同期機 (A 機は速度變動の割合に依りその容量は異なるが普通 A の 2-3% にて足りる) の速度を正確に規定周波數に保つておけば、A より生ずる周波數は A 機は速度如何に關せず常に規定周波數となる。故に 50~60~ 兩用の機械等には早速利用される。即適當に勵磁機及發電機を製作し置き、小同期機 S を 50~ とすれば 50~ を、60~ にすれば 60~ を得る。

(3) 同期化が簡單であること。

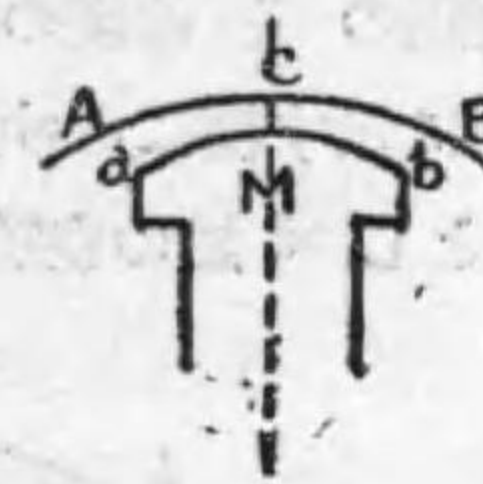
(4) 逆勵磁に耐へ得る。従つて無負荷に於て送電線の充電に耐へ同期に於ける如き自己勵磁による異常電壓上昇の如き事を生じない。

(5) 突出磁極でない爲め騒音小さく、風損等も小さい。

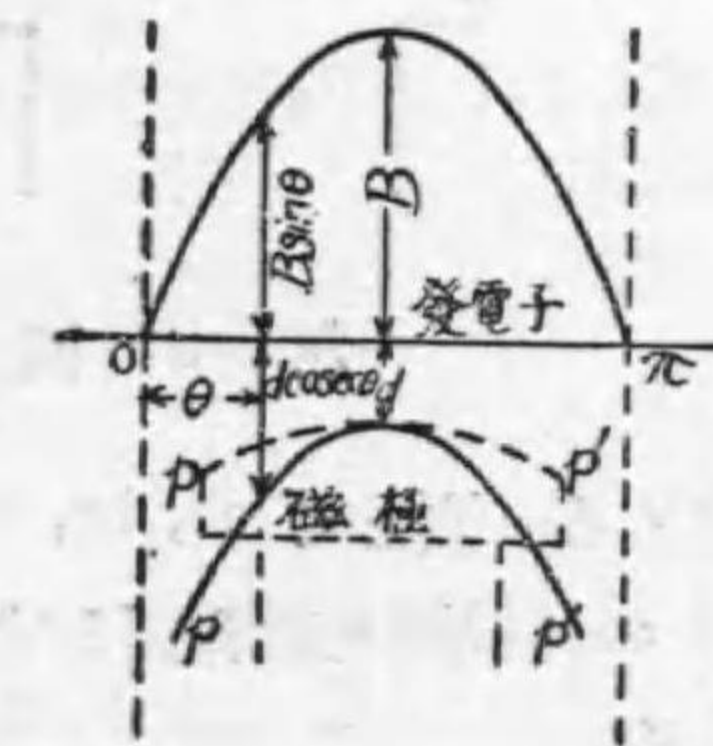
尙この非同期發電機に就いては、實際の設計製作者たる芝浦製作所の技師たりし丸山彦門氏が、オーム昭和 2 年 6-7 月號に詳述されてをるからこれを御覽下さい。

### 界磁磁極の曲線

【問】 交流發電機に於て發電子に入る磁束を正弦波形ならしむる爲めには、界磁磁極面 aMb は如何なる曲線をなすべきや。



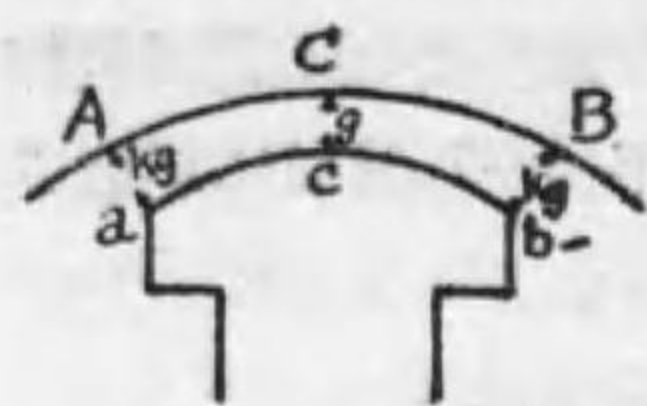
【解】 第 1 圖に於て  $0-\pi$  を磁極の中間から中間迄の距離即ち極間隔とし、 $PP'$  を磁極面の曲線とする。此の空隙に一定の直流起磁力を與へた場合、生ずる磁束分布が正弦波形を爲すためには、空隙の長さは正弦函數の逆數即  $\text{cosec } \theta$  に比例してをらねばならぬ。圖に示す通り發電子と磁極面との最短距離を  $d$  とすれば、 $\theta$  の點の空隙の深さは  $d \text{ cosec } \theta$  で表はされる。故に  $PP'$  なる曲線は  $d \text{ cosec } \theta$  を示すもので此の様な磁極面ならば、出来る磁束分布の有様は丁度正弦波をなすものである。



第 1 圖

然し實際の場合は、磁極より隣りの磁極に漏洩する磁束などの爲めに、 $PP'$  の如き理論的の曲線では却つて磁束分布は尖りたる形をなしてゐる。従つて磁束分布を完全なる正弦波たらしむるには、磁極の曲線は  $PP'$  に示す様に、 $PP'$  よりも兩端が發電子に接近した形

でなければならぬ。だから実用的には三點式或は三線式の如き簡便法が採用される。



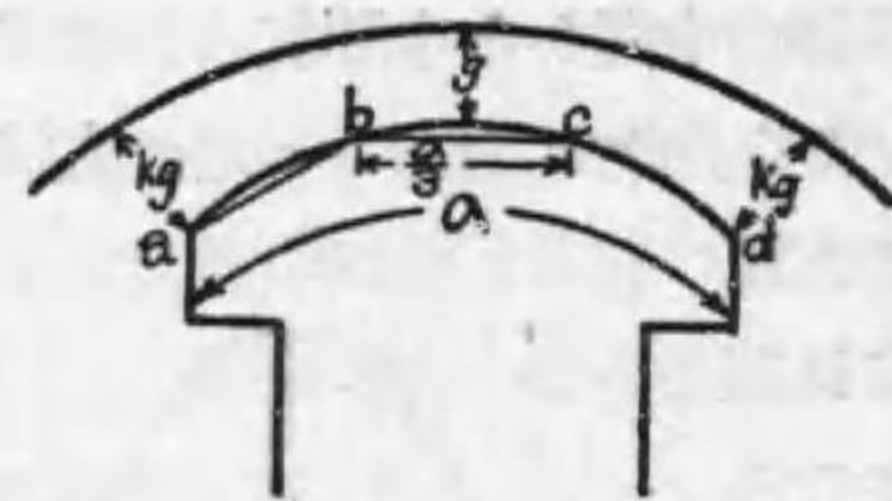
第 2 圖

法が採用される。

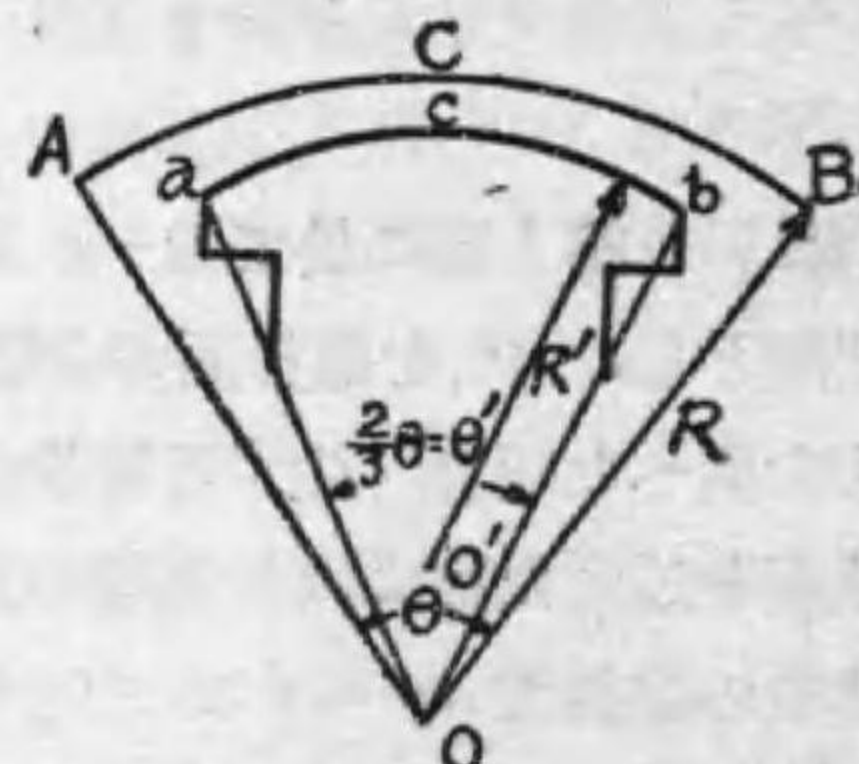
三點式といふのは、第 2 圖に示す如く、ACB に対し acb なる三點をとり、その距離を  $C_c = g$ ,  $B_b = A_a = kg$  と採る。かくして求めた三點を通る圓弧をして磁極面とするのである。

$k$  の値は色々のもので變化するが、1.5~2.3 位の間に選ばれてをり、磁極面 acb は磁極間隔の  $\frac{2}{3}$  前後の長さを選ばれる。

三線式といふのは第 3 圖に示す様に、ab, bc, cd なる三線を假定し、bc 間の平均空隙を  $g$  とし ad 點の空隙を  $kg$  として abcd 點を



第 3 圖



第 4 圖

定める。而して ab, bc, cd の長さは何れも  $\frac{a}{3}$  の程度に選び、abcd の外接圓を磁極面とする。又  $k$  の値を矢張り 1.5~2.3 の間にとる。

尙もつとも簡略な方法は ACB の如き發電子面の曲線を畫き、その半徑を  $R$  とする。今極數を  $P$  とすれば、極間隔は  $\overline{AB} = \frac{2\pi R}{P}$  この AB が O と張る角を  $\theta$  とすれば、 $\theta' = \frac{2}{3}\theta$  位として ab を求める。次に  $R' = (0.6 \sim 0.75)R$  位として、 $O'$  を中心として  $R'$  にて圓弧を畫いて acb なる曲線を得るのである。

何れにしても實際問題としては非常な實驗結果の含まれてあるも

ので、決して簡単な數學式で求め得られるものではない。

### 同 期 ワ ッ ト

【問】 三相誘導電動機に於て、同期ワットに於ける廻轉力 Torque in synchronous watt の意義及その運用法御教授願上候。

【解】 三相誘導電動機が滑り  $S$  にて運轉してゐる時、廻轉子軸に發生さるる廻轉力を  $\tau$  kg-m とすれば、軸からの發生機械動力(利用し得る動力は、これより風損、機械損を減じたものである)は次式で表はされる。

$$\frac{2\pi N_s(1-S)\tau}{4567} = \text{H.P.}$$

$N_s$  (r.p.m.) は同期速度である。若し出力  $P_0$  を kW で表はせば

$$\frac{2\pi N_s(1-S)\tau}{4567} \doteq \frac{3}{4} P_0$$

$$\therefore \tau \doteq \frac{4567}{2\pi N_s} \times \frac{3}{4} \times \frac{P_0}{1-S}$$

然るに  $(1-S)$  は廻轉子能率で、 $\frac{P_0}{1-S} = P_2$  は廻轉子入力である。

$$\therefore \tau \doteq \frac{4567}{2\pi} \times \frac{3}{4} \times \frac{P_2}{N_s}$$

$$\doteq 545.4 \frac{P_2}{N_s}$$

此の廻轉力の式を見る時は、廻轉力は廻轉子入力  $P_2$  に正しく正比例する事が解るであらう。故に廻轉力の大小強弱を論ずるに、廻轉子入力の大小を以つてして毫も差支へないのみならず又直に眞の廻轉力を求め得るのである。而して廻轉子入力は廻轉子出力が解り  $S$  即廻轉數が判明してをりさへすれば直ぐに求め得るのである。或は圓線圖に於て廻轉子入力を kW 目盛にて直ちに求め得る等その計算は甚だ簡單容易である。

一方廻轉子入力と廻轉力との關係を考ふれば廻轉子出力即發生機械動力  $P_0$  は

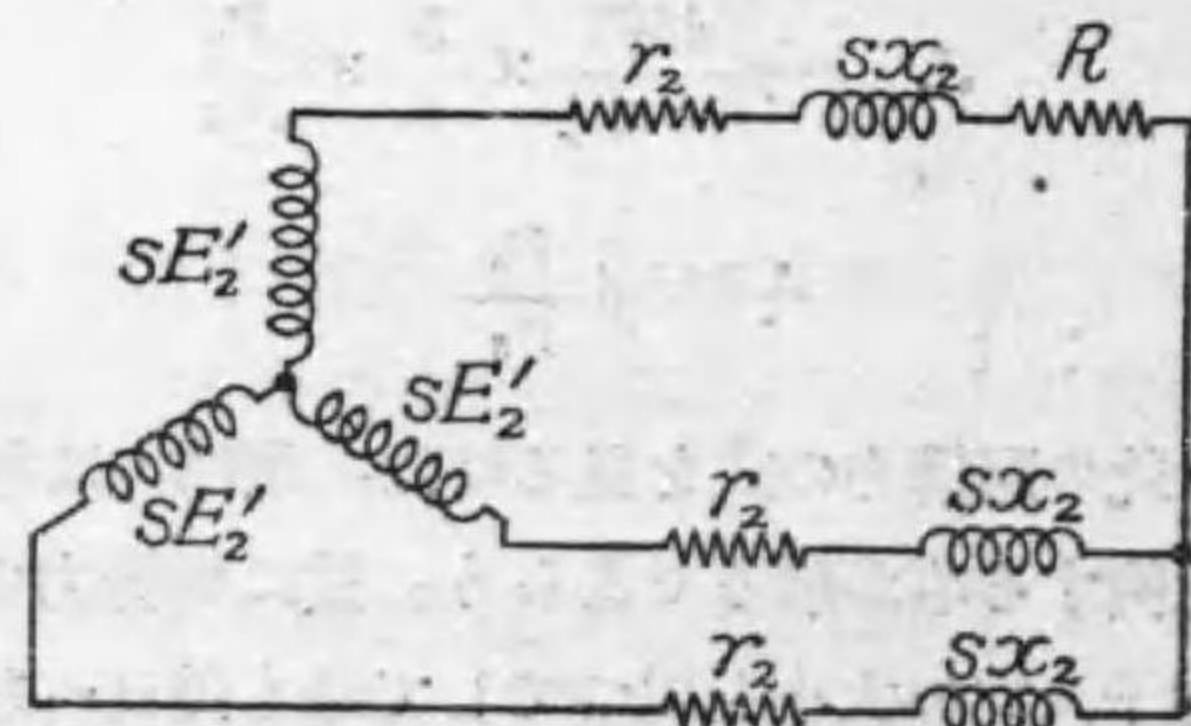
$$P_0 = P_2 (1 - S)$$

若しこの  $S$  なる滑りに於けると同じ廻轉力を以つて、 $S=0$  即同期速度で廻轉したと假定せば、その時の發生機械動力は  $P_2$  である。即廻轉子入力  $P_2$  は或る滑りに於ける廻轉力にて、同期速度にて廻轉せる時の電力を意味するのである。これを同期ワットに於ける廻轉力と呼んでゐるが、廻轉力といふ言葉を取り去り只同期ワットと呼ぶ方が混雜の恐れがない。現今では同期ワットと呼ばれてゐる様である（磯野氏、誘導電動機取扱法、電氣工學ポケットブック等）。何れにしても誘導電動機特有のもので問者の了解に苦しまれるのは廻轉力をワットで表すといふ點であらうと思ふ。

### 捲線型誘導電動機の短絡不良

【問】 三相捲線型誘導電動機二次側短絡装置が運轉状態に於いて一端子の接觸不良又は開路状態の場合、電動機一次側に起る電氣現象を御説明被下度候。

【解】 斯様の場合には一次負荷電流は、二次滑り周波數の2倍の周波數を以つて脈動する。次にその理由を述べよう。先づ短絡装置に於て1個が不具合の場合を考ふれば、第1圖の如く、平衡二次起電力  $sE_2'$  に對し、一相丈け他の相より抵抗高く不平衡回路の状態となる。従つて廻轉子の各相に流るる電流



$sE_2'$  = 滑り  $s$  に於ける起電力  
 $r_2, sX_2$  = 廻轉子の抵抗及リアクタンス  
 $R$  = 接觸抵抗

第 1 圖

は  $s/f$  サイクルの不平衡電流となる。而してこの不平衡電流は、これを正相電流と逆相電流とに分割し得る事は周知の事である。この二つの三相電流の内、正相電流の起磁力は廻轉子捲線に對し  $\frac{120}{p} sf = sN_s$  の速度をもつて廻轉子の上を廻轉子廻轉方向に廻轉し、固定子に對しては同期速度となり、完全な圓形廻轉磁界を作らうとする。故にこれのみならば、固定子負荷電流も又完全な平衡電流となる。（ $p$  は極數、 $N_s$  = 同期速度）

然るに逆相電流の起磁力は、正相電流の起磁力の廻轉方向と逆方向に廻轉する。故に固定子に對する速度は、廻轉子そのものの速度が  $N_s(1-s)$  であり、逆廻轉磁界の廻轉子に對する相對的の速度は逆方向に  $sN_s$  であるから結局  $(1-2s)N_s$  となる。この爲めに一次捲線に  $(1-2s)f$  の周波數を有する電流を誘導せんとする。然るに固定子には  $f$  なる周波數の電流が流れようとするから、結局一次捲線の合成電流の周波數は  $f$  と  $(1-2s)f$  とのビートとなり、 $f - (1-2s)f = 2sf$  となるから、一次負荷電流は、二次周波數の2倍の周波數を有する電流を含有する事になる。

又極端の場合に、短絡の一ヶが開路状態にあれば、二次は單相となり、上述の現象は更に顯著となるものである。

### ゲルゲス現象

【問】 ゲルゲス (Görge) 現象に付理論的説明を御願致します。

【解】 ゲルゲス現象とは一次電流に依り生じた廻轉磁界内に、單相二次を有する廻轉子が同期速度の約半分の所で crawling の現象を起す事を言ふのである。これは捲線型誘導電動機に於て、刷子が一ヶ接觸不良で二次が單相となれる場合の起動、或は同期電動機、廻轉變流機の起動に際し、廻轉子直巻線に流るる二次電流の作用による廻轉力等がこれに屬するものである。之れに關しては昭和3年3月號のオーム質疑欄に廻轉子單相の誘導電動機として解を試みたが今一度その原理の概要を説明しよう。

単相交流は廻轉磁界を作らず交番磁界を作る事は明である。而してこの交番磁界はその最大値  $\theta_m$  の  $\frac{1}{2}$  を最大値とする二つの廻轉磁界に分ち、内一つを右廻りとすれば、他の一つは左廻りとなり何れも同期速度で廻轉するものに置換し得る。

ゲルゲス現象は結局此の方向反對の廻轉磁界が固定子一次捲線に對する作用を考察してゆけばよい。この内主廻轉磁界即固定子によりて生ずる廻轉磁界と同方向に廻轉する廻轉磁界が、廻轉子に對する速度 (r.p.s) は  $\frac{2sf}{p}$  ( $p$ =極數,  $s$ =滑り,  $f$ =周波數) でその作用は普通の三相廻轉子と違はず、これに依る速度對廻轉力曲線は第1圖の如くなる。

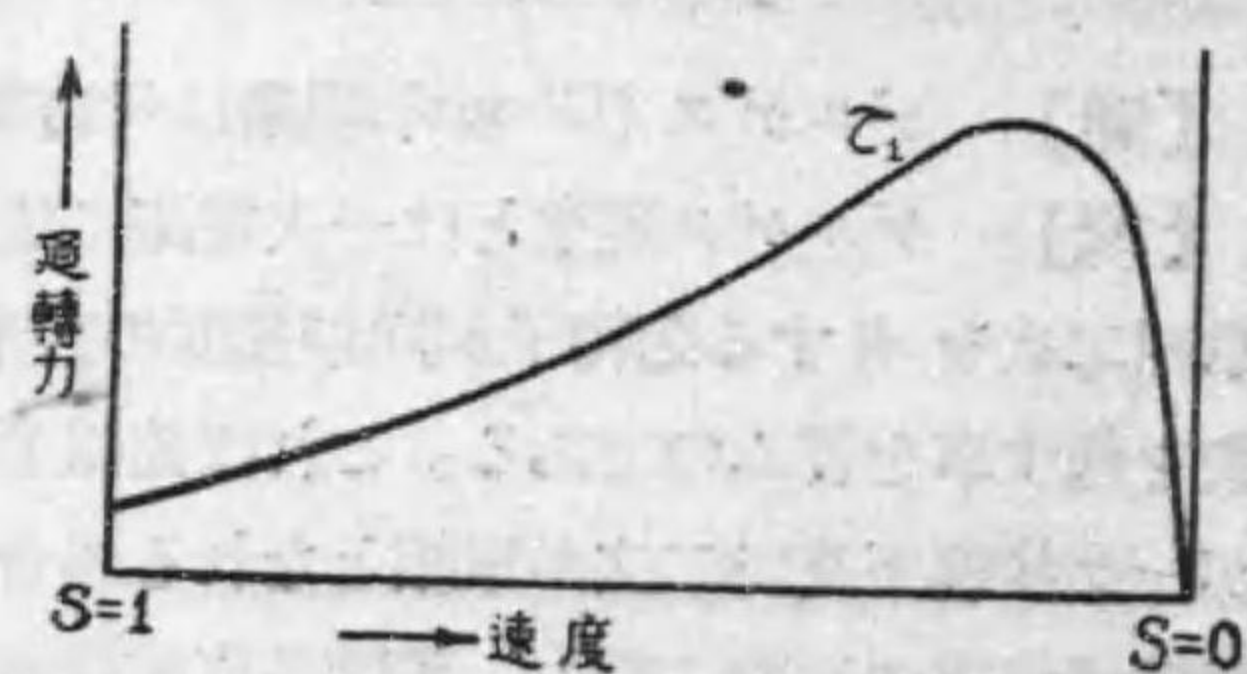
次に主磁界と逆方向に廻轉せる廻轉磁界はどうなるか。逆方向に廻轉せる廻轉磁界の廻轉子に對する速さは  $-\frac{2sf}{p}$  である。而して廻轉子は  $\frac{2}{p}f(1-s)$  の速さで空間を廻轉してゐる。故に此の逆廻轉磁界の空間即固定子一次捲線に對する關係速度は  $\frac{2f}{p}(1-s) + (-\frac{2sf}{p}) = \frac{2f}{p}(1-2s)$  となる。今  $s=1$  即廻轉子が静止せる場合を考ふれば、この逆廻轉磁界の固定子に對する速さは、

$$\frac{2f}{p}(1-2 \times 1) = -\frac{2f}{p}$$

となる。この逆廻轉磁界は廻轉子電流に依りて生じ固定子捲線を切り起電力を誘導する。

固定子捲線は外部の電源及線路網に繋がつてはゐるか其の合成インピーダンスは一般に小さいものである。即逆廻轉磁界に對しては廻轉子捲線を一次、固定

子捲線を二次とする逆誘導電動機と考へ得る。而してこの逆誘導電動機に於ては、二次即固定子を逆廻轉磁界の方向に廻轉せしめんと



第 1 圖

するが、固定子は廻轉し得ぬ故、廻轉子自身が反對方向 (逆廻轉磁界と反對方向、即主磁界と同方向) に廻轉せしめんとして廻轉力を發生する。

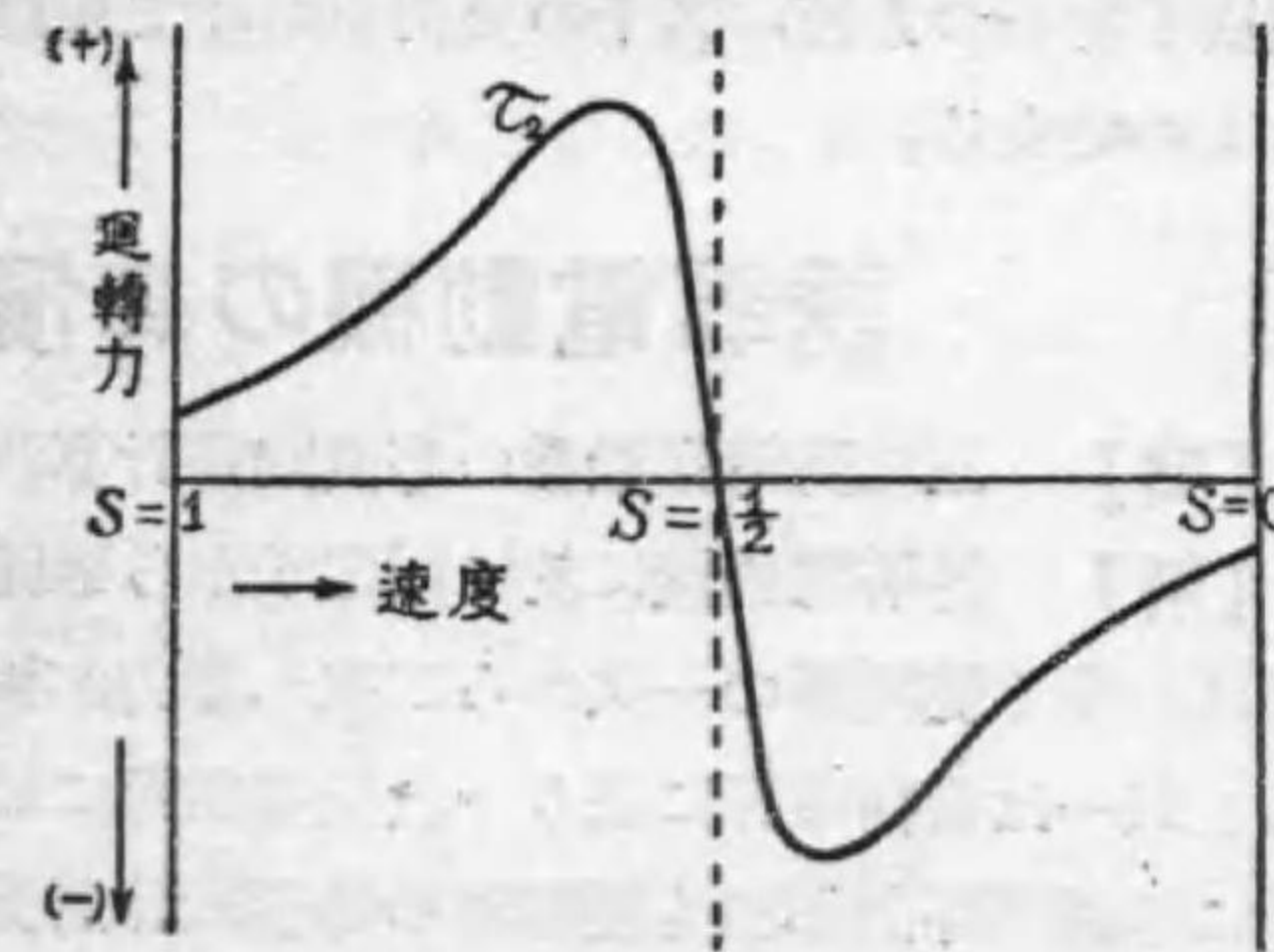
次に廻轉子が  $s = \frac{1}{2}$  即同期速度の半分に上昇せし場合はどうなるか。この時は廻轉子電流の周波數は  $\frac{f}{2}$  であり、これにより生ずる逆廻轉磁界  $-\frac{sf}{p} = -\frac{f}{2p}$  が固定子捲線に對する關係速度は、

$$\frac{2}{p}(1-2s)f \text{ に } s = \frac{1}{2} \text{ を代入すれば}$$

$$\frac{2}{p}(1-2 \times \frac{1}{2})f = 0$$

となり結局逆廻轉磁界は固定子捲線に對し静止せる事となり、起電力を發生せず従つて廻轉力も當然零となる。

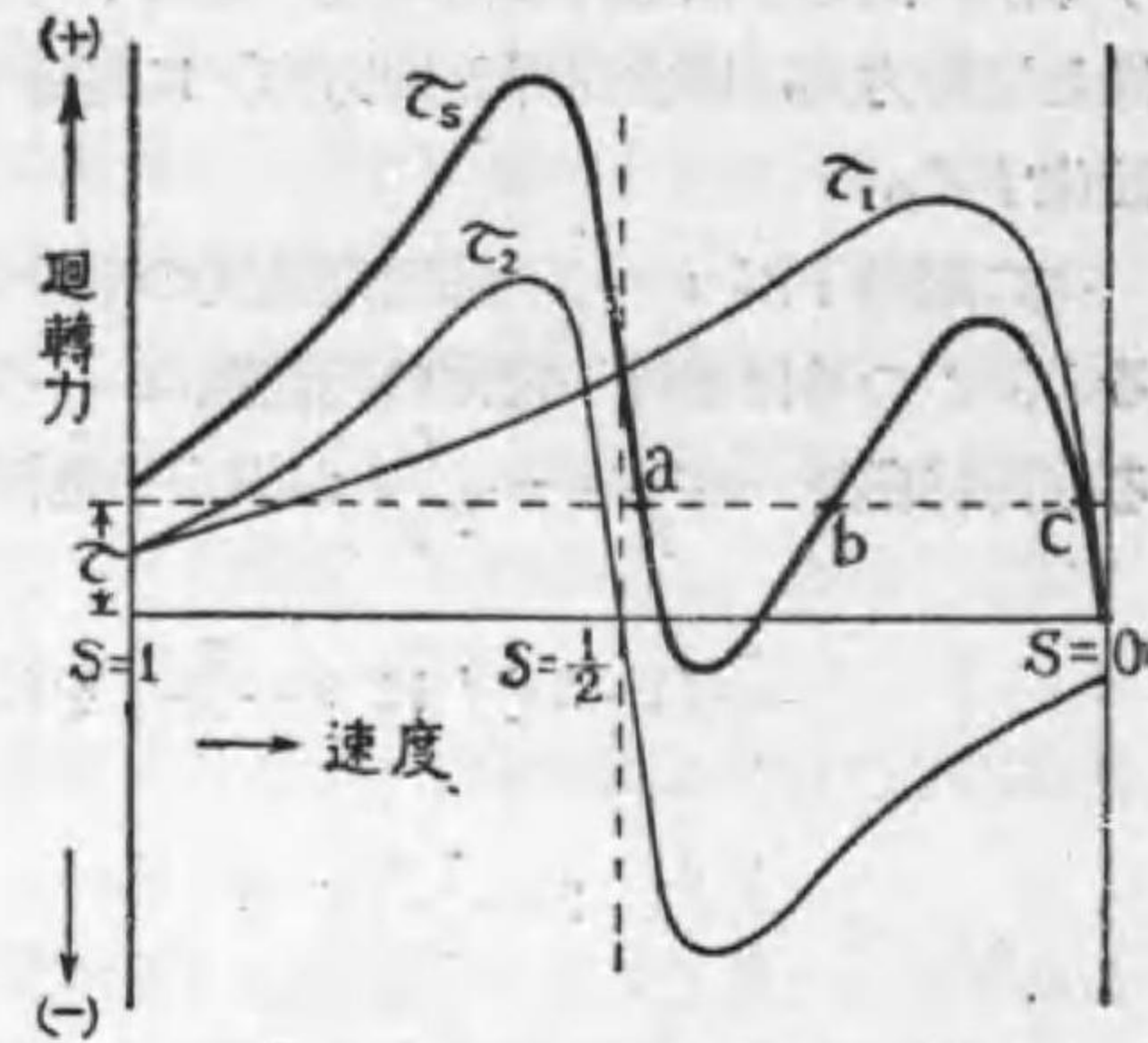
次にそれ以上廻轉速度上昇すればどうなるか。例へば  $s = \frac{1}{4}$  としてみると逆廻轉磁界の速度は  $-\frac{f}{4p}$  となり、これが固定子に對する速さは  $\frac{2}{p}(1-2 \times \frac{1}{4})f = \frac{f}{p}$  となり正符號を有する様になる。かくの如く正符號を有する様になれば、結局逆廻轉磁界は固定子に對しては主磁界と同方向に廻轉する事となり、固定子を主磁界と同方向に廻轉せしめんとする。従つてその反動に依り廻轉子自身は逆廻轉力を受ける。これは先に述べた廻轉子を一次とする逆誘導電動機を同期速度以上に廻轉せしむる事と全く同一となり逆廻轉磁界の速度對廻轉力曲線は第2圖の様になる。



第 2 圖

以上の理由から電

動機全體としての速度對廻轉力曲線は、第1圖と第2圖とを重ねたもので、第3圖がこれを示したものである。圖から明な通り  $\tau_s$  なる曲線は同期速度の半分附近に於て(-)の方に迄行つてゐる。故に若し所要負荷廻轉力が速度に無關係に  $\tau$  なる廻轉力を必要



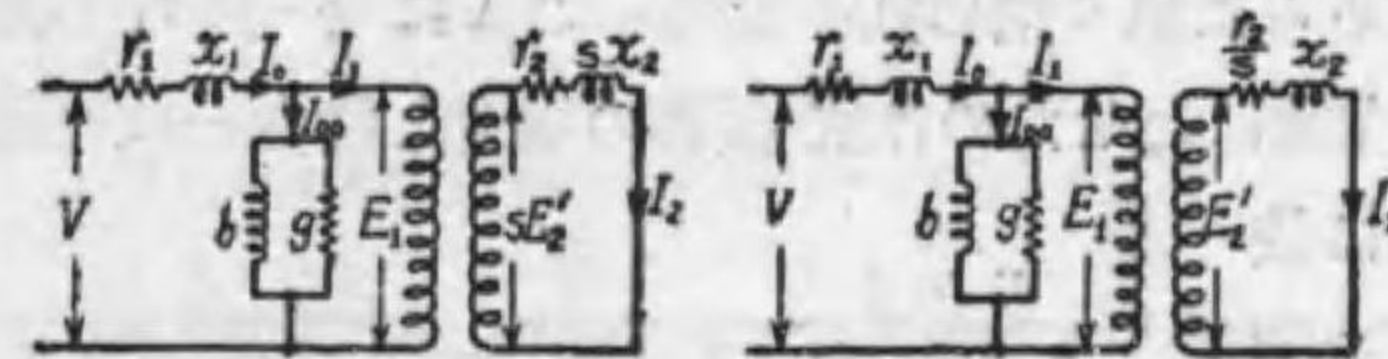
第 3 圖

とするものとすれば、 $\tau_s$  なる曲線と  $\tau$  なる直線とが交る點は、abc の三點がある。この内 b は不安定なる運轉點なる故結局電動機は a と c に於て安定に運轉し得る。若し廻轉體の慣性能率大にして起動の際  $\tau_s$  の a から b 迄の不足廻轉力の部分を打消し得るならば直ちに c に到達し得るも、然らざる場合は a 點即同期速度の半分近くの點に於て運轉をつづけるものである。之は捲線型廻轉子に於て滑動環刷子を一つあげ、若干の負荷をかけて起動すれば直ちに實驗し得るものである。

### 誘導電動機の等價回路

【問】 三相誘導電動機の等價回路計算法御教示願ひ度し。  
 【解】 誘導電動機に於て固定子から廻轉子に電力が移つてゆくのは、全く變壓器の一次から二次へ電力が移つてゆくのと同一である。只一は廻轉磁界に依り一は交番磁界に依る丈の違ひである。故に等價回路計算法も變壓器の等價回路計算と殆んど同一である。今簡單の爲めに廻轉子も三相捲線とすれば、固定子(一次)廻轉

子(二次)の一相は次の如きものにて表し得る。圖に於て



第 1 圖 第 2 圖

- V...供給電壓
- $E_1$ ...一次誘導起電力
- $SE_2'$ ...S なる滑りに於ける二次起電力
- $I_2$ ...二次負荷電流
- $I_1$ ...一次負荷電流
- $I_{00}$ ...勵磁電流
- $I_0$ ...一次全電流
- $r_1x_1$ ...一次抵抗及リアクタンス
- $r_2x_2$ ...二次抵抗及リアクタンス
- $g-jb$ ...勵磁アドミッタンス

第1圖は第2圖の如くなし得る。

$$I_2 = \frac{s E_2'}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}} = \frac{E_2'}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}$$

次に  $\frac{E_1}{E_2'} = \frac{n_1}{n_2} = n$  但し  $n_1 n_2$  は一次及二次の捲數  $\therefore E_2' = \frac{E_1}{n}$ ,  $E_1 = nE_2'$ , 故に  $E_2'$  を  $E_1$  にて置換する爲めには、 $r_2x_2$  はこれを  $n^2$  倍しておかねばならぬ。何故ならば電壓を  $n$  倍とすれば同じ  $VI$  に対しては電流は  $\frac{1}{n}$  でなければならぬ。従つてインピーダンスは  $n^2$  倍でなければならぬ。

$$\frac{n E_2'}{n^2 Z_2} = \frac{1}{n} \frac{E_2'}{Z_2} = \frac{I_2}{n}$$

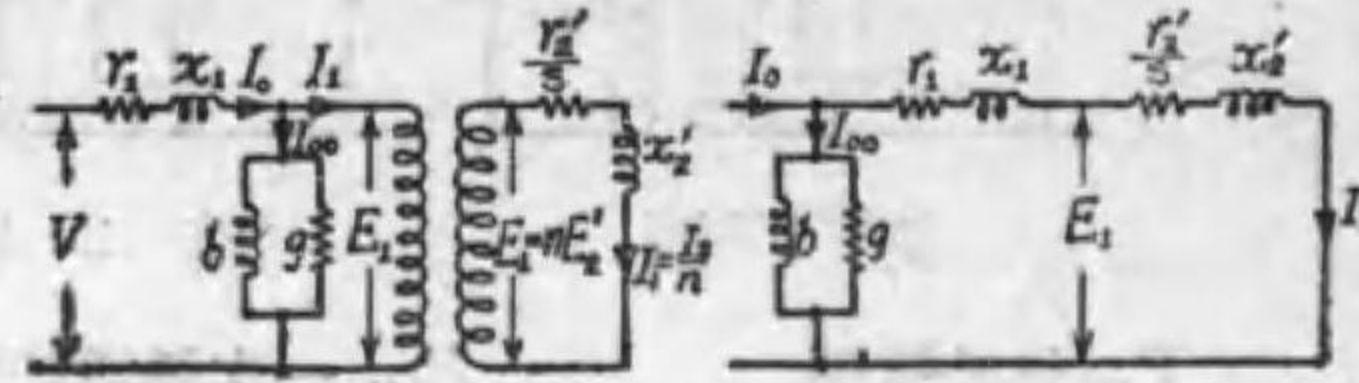
$$n E_2' \times \frac{I_2}{n} = E_2' I_2$$

$$\text{但し } Z_2 = \sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}$$

故に第2圖は第3圖の如くなる。(第3圖に於いて  $r_2' = n^2 r_2$ )

$$x_2' = n^2 x_2$$

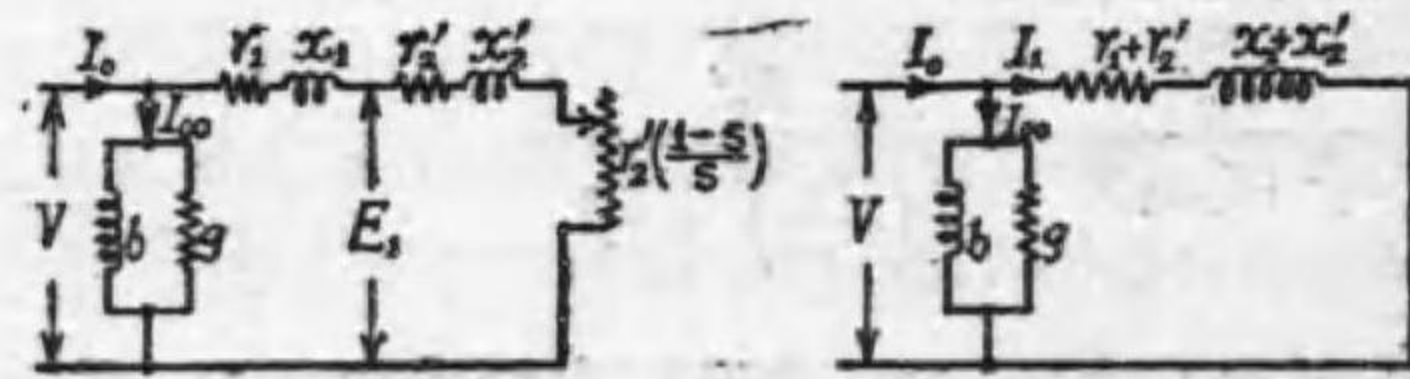
第3圖は更に第4圖の如くなる。こゝに  $g-jb$  なる励磁アドミッタンスを左端によせたのは變壓器の場合と同様一次捲線内に於ける励磁電流に依る電壓降下を閉却したものである。然し實際に於て励磁電流は



第 3 圖 第 4 圖

變壓器の場合と異なり全負荷電流の數十%にも及ぶものであるから  $r_1 x_1$  の値が小でないといふ若干の誤差を生ずるものである。

又第5圖の如く一次及二次の抵抗及リアクタンスは是をその儘とし、負荷として  $r_2' \left( \frac{1-s}{s} \right)$  が懸つてゐるものとして代表せしむる事もある。これは  $r_2' + r_2' \left( \frac{1-s}{s} \right) = r_2' + \frac{r_2'}{s} - r_2' = \frac{r_2'}{s}$  で單



第 5 圖 第 6 圖

にかゝる負荷を以つて代表せしめ得るといふに過ぎない。

この等價回路より色々の事を

計算し得るもので、その二三を掲ぐれば次の通りである。

$$I_1 = \frac{V}{\sqrt{\left(x_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

二次側の負荷は機械的勢力でこれより機械損を除いたものが出力になる。即ち

$$\text{機械的勢力 } P = I_1^2 r_2' \left( \frac{1-s}{s} \right)$$

励磁電流の力率を 0 と假定すれば力率  $\cos \varphi$  は

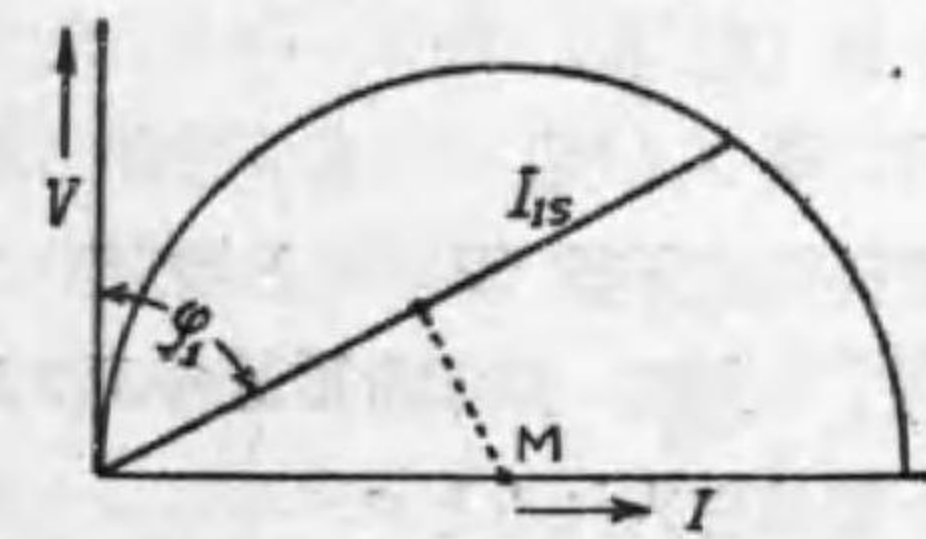
$$\cos \varphi = \frac{I_1^2 R}{\sqrt{(I_1 V + I_1^2 x)^2 + (I_1^2 R)^2}}$$

但し  $x = x_1 + x_2' \quad R = r_1 + r_2' + r_2' \frac{1-s}{s}$

誘導電動機の短絡試験の場合は  $s=1$  故に第6圖の如くなり、

$$I_{1s} = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{r_1 + r_2'}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$



第 7 圖

かくして圓線圖を畫くので(第7圖参照)如何にこの等價回路が便利重寶なものかが判ることと思ふ。

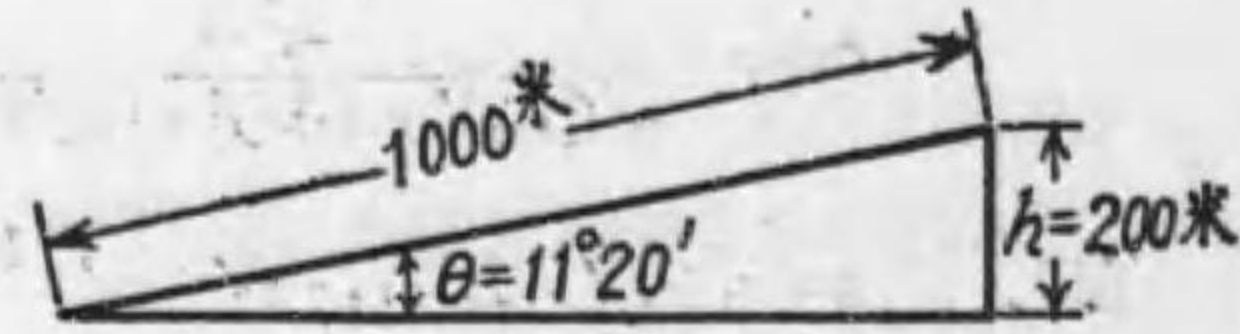
### 捲揚電動機の馬力計算

【問】 長さ 1000 米、勾配 20% なる坑内より 1 噸の重量を有する石炭車 6 輛を毎分 150 米の速度を以つて引上ぐる時、電動機の所要馬力數如何。但し軌道は曲線部分無く、電動機は三相捲線型誘導電動機を用ひ、減速齒車により捲揚機を運轉するものとす。尙計算に必要と認めらるる數値は適宜御選擇願ひます。

【解】 問ひには鋼索の重量が與へてない。だから他の鋼索鐵道(cable car)の實例から直徑 30 耗、重量 3 耗/米のものを用ふるものと假定した。問の場合は捲揚げ丈の馬力であるが實際は鋼索鐵道の如く所謂吊瓶式になつてゐるのではないか。若し左様なれば炭

車の自重が分らねば  
計算が出来ぬ。何故  
なら下る場合は空車  
で降りて行くからで

ある。然しこゝでは只忠實に問に對して答へる事にした。尙勾配が  
20% の如き緩なものでは、 $\sin \theta = \tan \theta$  として差支へない。故にこ  
ゝでは  $h=200$  米とした。



$$F = W \sin \theta + wh + Wr + r'$$

$W$ .....車の全重量 (瓩)

$w$ .....鋼索の重量 (瓩/米)

$h$ .....勾配垂直の高さ (米)

$r$ .....車輛の運轉抵抗係數 (0.005 と假定)

$r'$ .....鋼索に對する抵抗, 鋼索全重量の 1% と假定す。

此の式に與へられた數値を入れると、

$$\begin{aligned} F &= 6\,000 \times 0.2 + 3 \times 200 + 6\,000 \times 0.005 \\ &\quad + 3\,000 \times 0.01 \\ &= 1\,200 + 600 + 30 + 30 = 1\,860 \text{ 瓩} \end{aligned}$$

$$P = \frac{F \times v}{75}$$

但し  $v$  は 1 秒間の米數にて表した速度, この場合に  $150 + 60 = 2.5$

$$\therefore P = \frac{1\,860 \times 2.5}{75} = 62 \text{ 馬力}$$

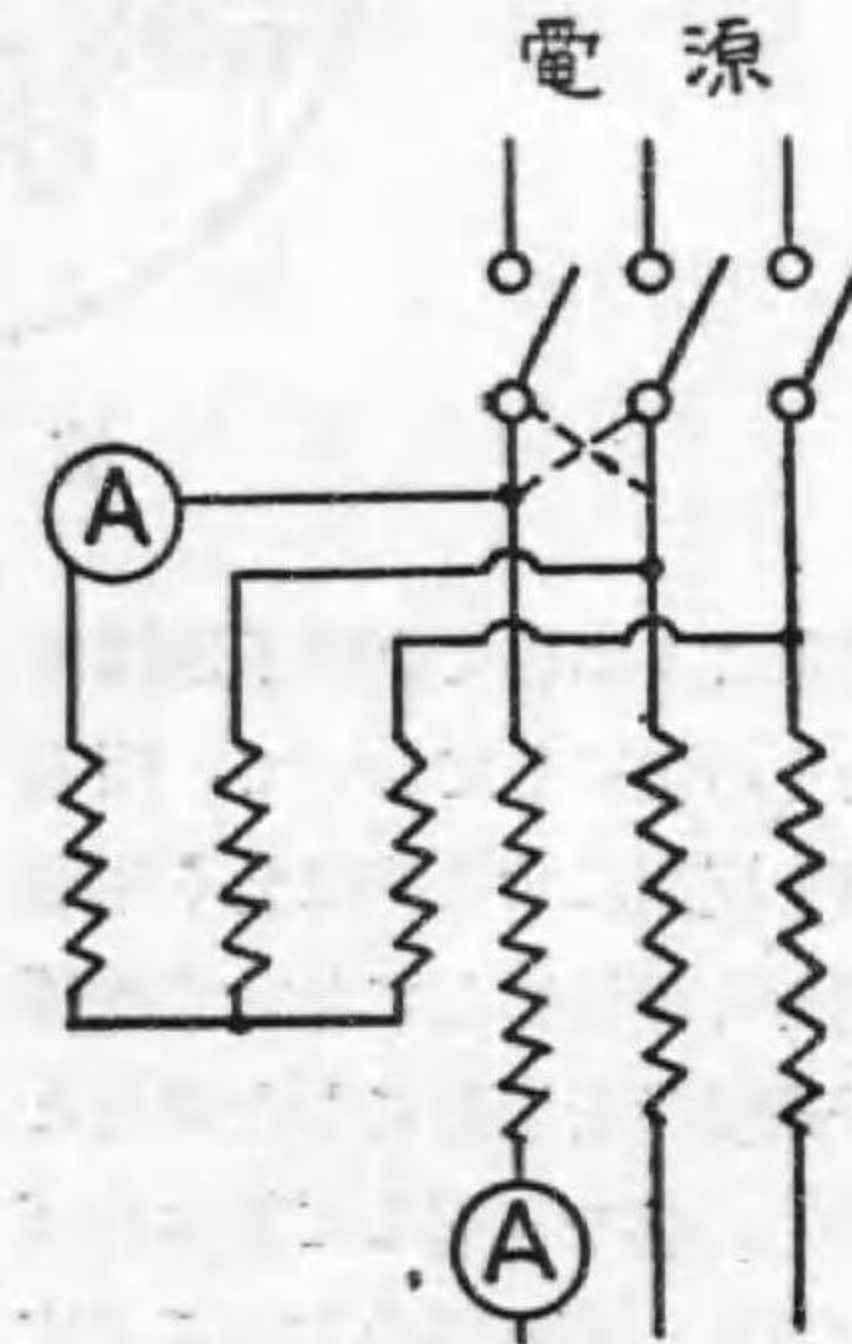
これに 1 割の餘裕を見るとして約 70 馬力を必要とする。

尙上述の計算法では起動の際の加速に要する力を考へてない。然しこれは加速度が小さいのと、その時間が短い爲めに電動機の一時的過負荷の許容を見越して考へに入れられないものと思はれる。又問の如き場合、即只捲揚げる丈けの場合だと、車輛が上に昇る丈け各種抵抗が減じ所要馬力の減少する事が判る。

## 三相誘導電壓調整器

【問】 三相誘導電壓調整器に於ては電源の相廻轉の如何により無昇降電壓の位置附近に於て、一次側電流が負荷電流と勵磁電流との和或は差となるといふ。その理由御教示被下度候。

【解】 これは電氣工學ポケットブック 542 頁 (初版) にある記事の質疑であらう。同書には次の様に書いてある。「三相誘導電壓調整器に於て特に注意を要するのは電源の相廻轉の如何により、無昇降電壓の位置附近に於て一次側の電流が負荷電流と勵磁電流との和になる時と差になる時とがあることである。差になる様に接続して使用すべきである。これを確めるには一次回路に電流計を入れ調整器に一定の負荷をかけ電源への接続を圖の如く二様に變更してみても電流の少い方を正しいとする」とある。次にその理由を調べてみよう。

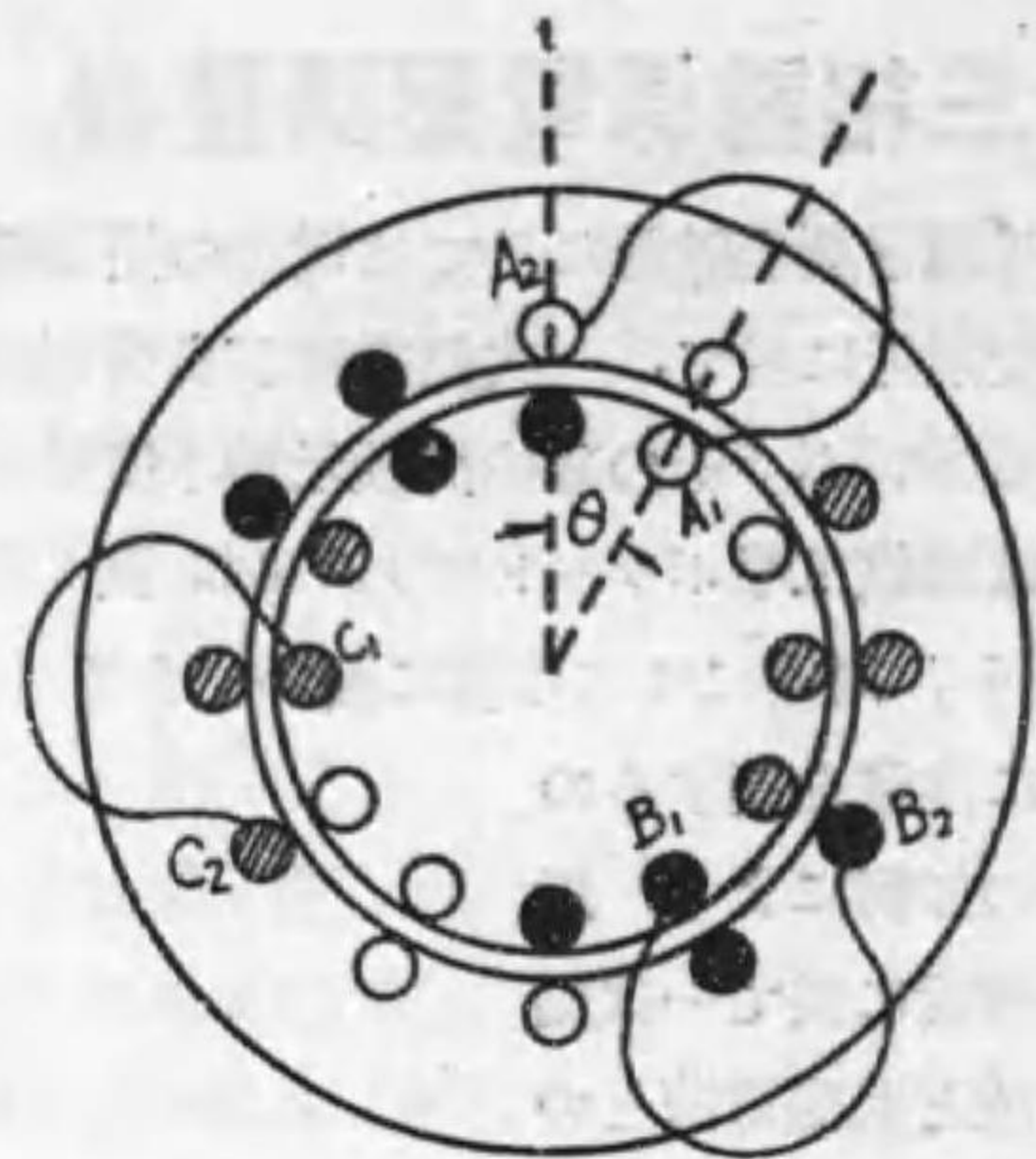


三相平衡負荷

第 1 圖

三相誘導電壓調整器のベクトル圖は毎相に就いて第 3 圖の如く表示得る。 $\overline{AB}$  は一次起電力 ( $E_1$ ),

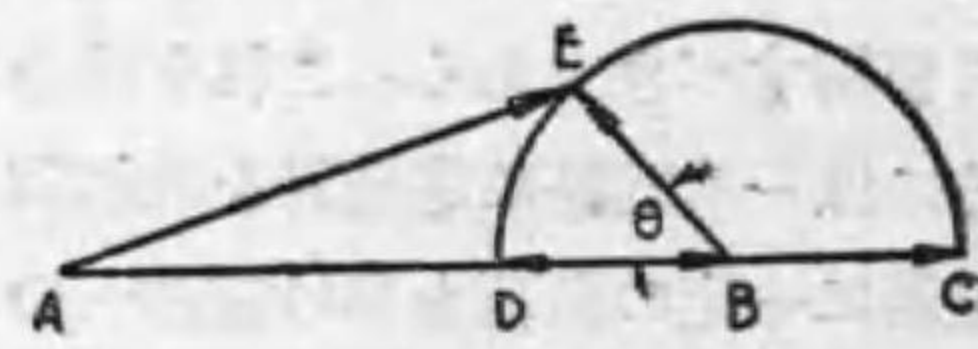
$\overline{BE} = \overline{BD} = \overline{BC}$  が二次起電力 ( $E_2$ ),  $\overline{EA}$  が端子電壓で  $\theta$  は第 2 圖に於ける廻轉角  $\theta$  を電氣度にて表したものである。この場合は二極であるから空間角度は電氣度に等しい。第 3 圖は第 2 圖に於て明な如く廻轉子を時計式に廻轉した場合である。若しこれを反時計式に  $\theta$  丈け廻轉せしむればそのベクトルはどうなるか。第 4 圖はこれを示したもので明に  $\theta$  は時計式を (+) とせば反時計式は (-) となる。



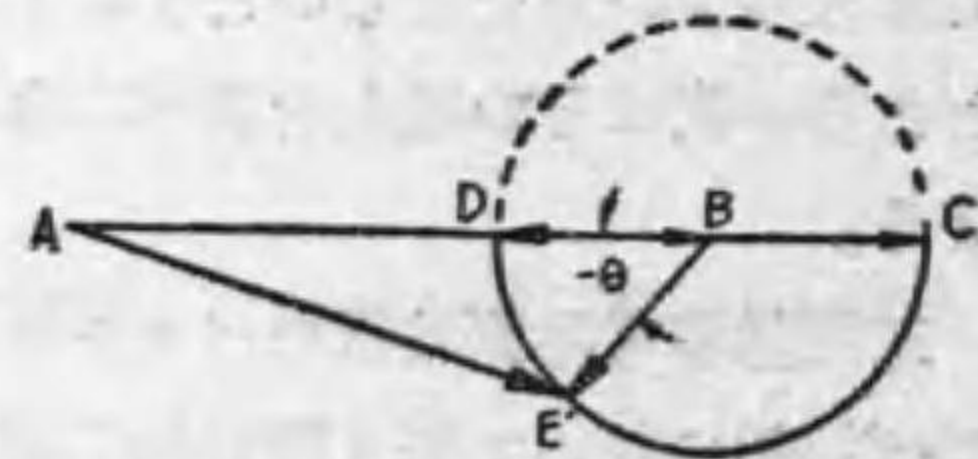
第 2 圖

却説こゝに於て廻轉子廻轉角をその儘にしておいて、相廻轉を反對にする時は全く相廻轉をその儘にしておいて廻轉子廻轉角を反對にした場合と等しい事を了解して貰はねばならぬ。相廻轉の方向に  $\theta$  だけ廻すのを (+) とせば反對方向に廻すのは (-) である。従つて  $\theta$  をその儘にしておいて相廻轉を逆にすれば、これは (- $\theta$ ) である事は直ちに了解されよう。

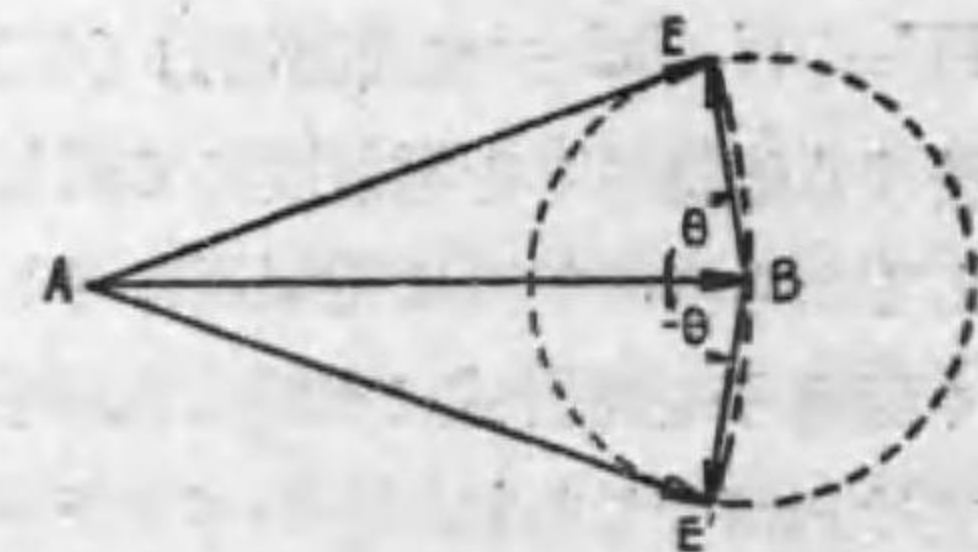
次に無昇降電壓の位置とはどこかと云へば第5圖に於て  $\overline{AB}$  を半徑とした半圓が  $\overline{BE}$  を



第 3 圖



第 4 圖

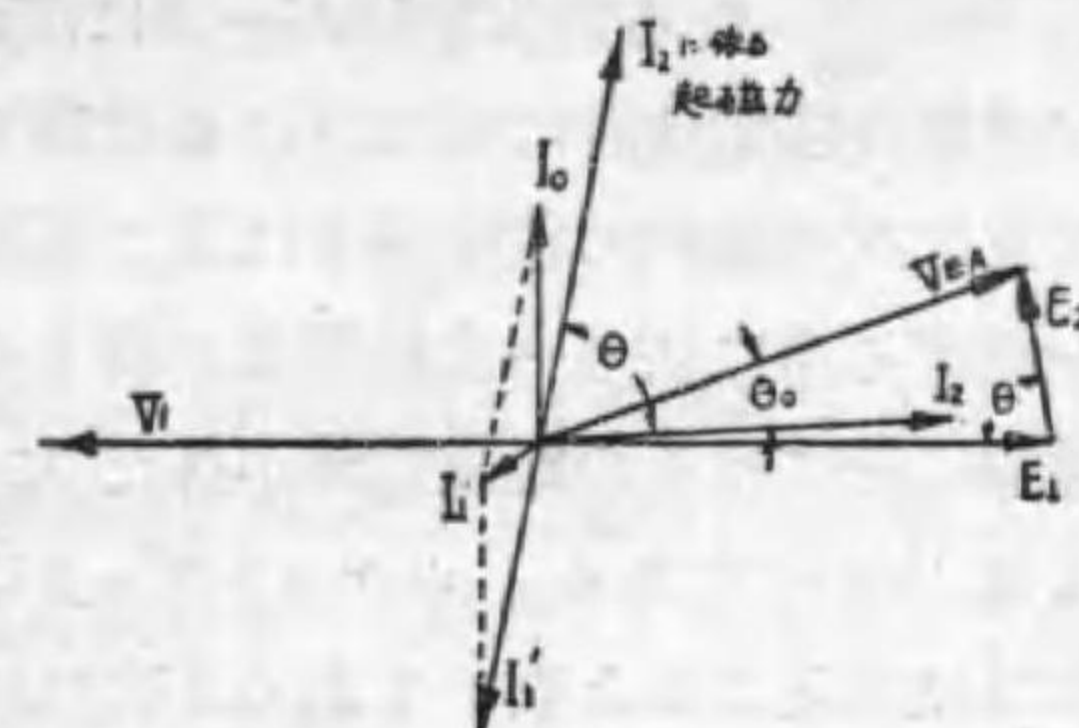


第 5 圖

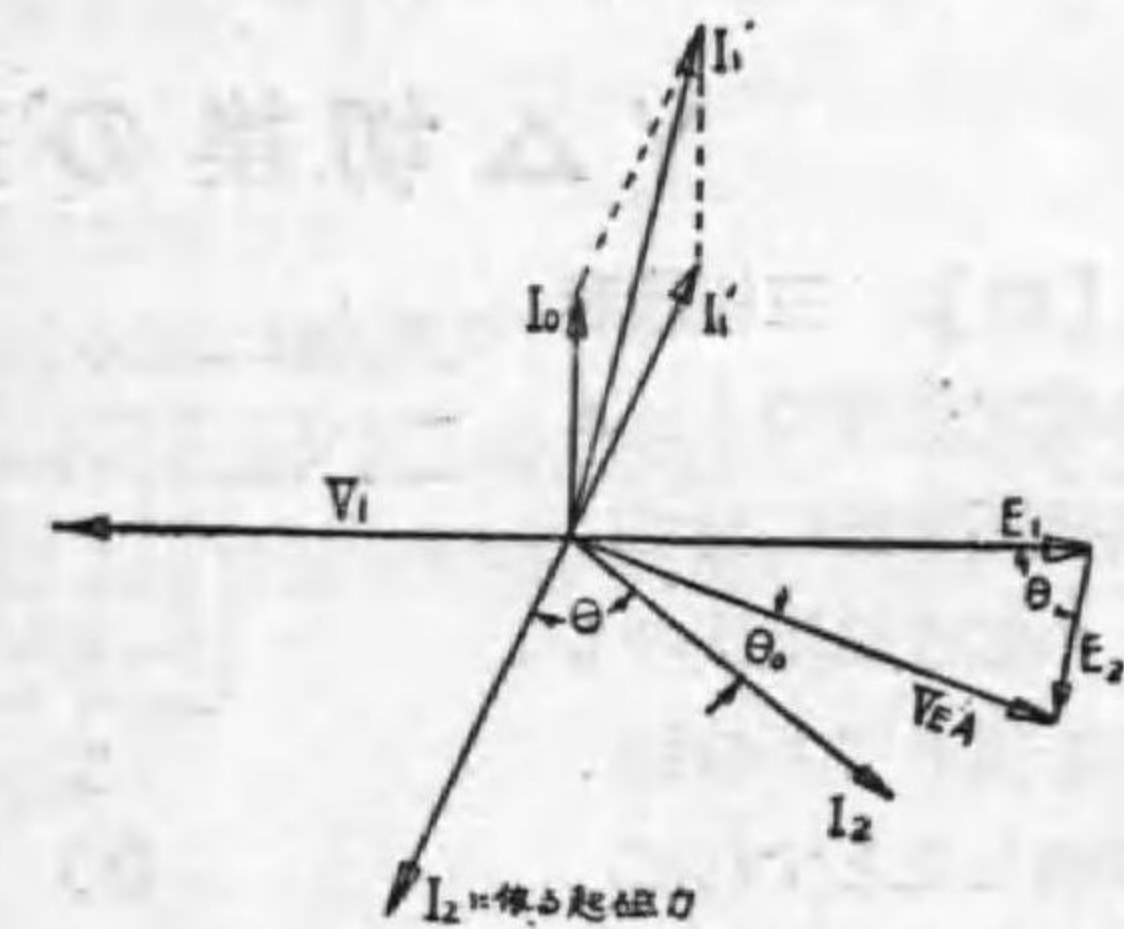
半徑とした圓に交る點 E 及 E' である。

最後にこの問題の尤も重大なる一つを忘れてはならぬ。それは廻轉子電流により生ずる廻轉磁界の軸 (magnetic axis) が移動する事である。今廻轉子を廻轉磁界の廻轉方向に廻すと二次誘導起電力の位相は當然遅れる。然し乍ら流れる二次電流に依り生ずる磁界の中心軸は今  $\theta$  電氣度に相當するだけ移動せしむればそれだけ移動して進んでみなければならぬ。これは宛かも廻轉子を廻轉せぬ前の位置に於て廻轉子電流の位相が夫れだけ進んだものと全く同じ影響を生ずる。従つて一次負荷電流  $I_1'$  も之れに應じて進み電流となる。廻轉子を反對方向に廻した場合は上述と全く反對である。言ふ迄もない事だが二次電流は即負荷電流で二次誘導起電力に依り單獨に生ずるものでなく、二次起電力は遅れ角であつても流る電流は負荷電流即端子電壓と負荷力率により定まるものである。

以上の諸點を綜合して



第 6 圖 (a)



第 6 圖 (b)

- $I_0$ .....勵磁電流
- $\cos \theta_0$ .....負荷力率
- $I_2$ .....負荷電流
- $I_1'$ .....一次負荷電流
- $V_1$ .....一次給與電壓
- $I_2 n_2 = I_1' n_1$ ,  $n_1, n_2$ .....一次及二次捲數
- $I_1$ .....一次總電流
- $\theta$ .....廻轉角(電氣度にて表す)

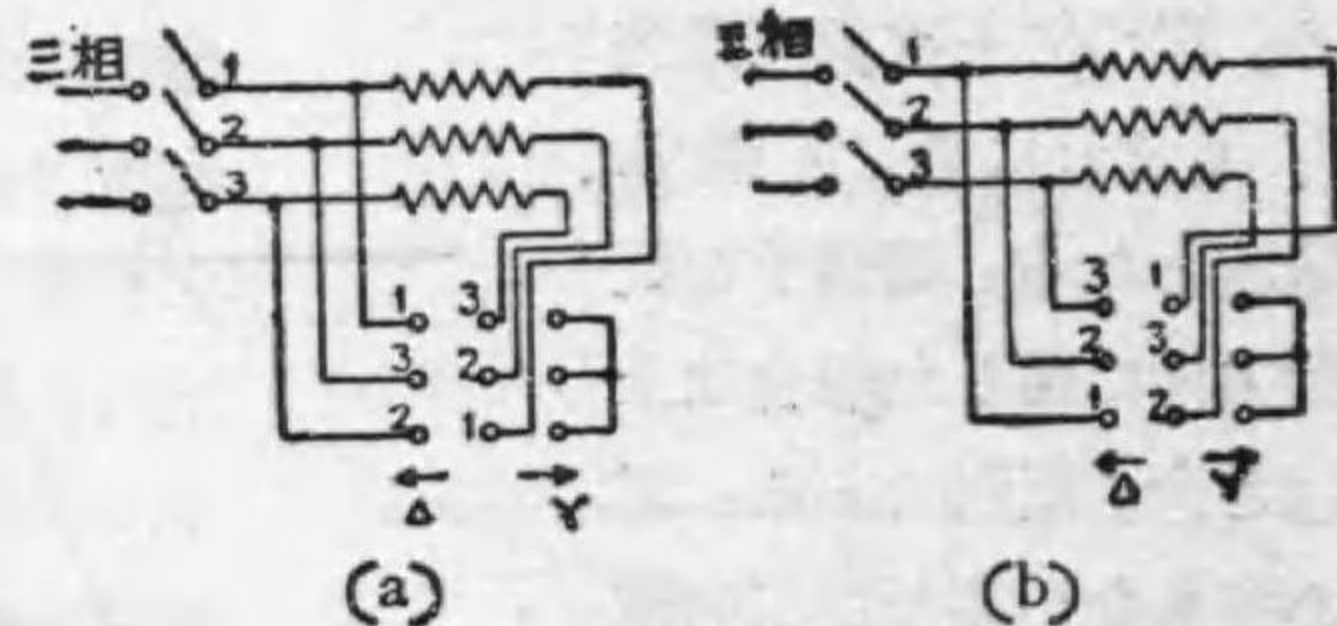


ベクトル図を書けば次の通りになる。

ベクトル図の書き方は別に難しくはない。端子電圧より  $\theta_0$  だけ遅れた  $I_2$  なる負荷電流が二次巻線に流れ、その起磁力は  $I_2$  より  $\theta$  だけ lead 或は lag してゐる。この起磁力に對し  $I_1' = I_2 \frac{n_2}{n_1} = \frac{I_2}{n}$  但し  $n = \frac{n_1}{n_2}$  なる負荷電流が一次に流れ、これと勵磁電流との和が一次總電流即電流計に表はされる電流である。尙このベクトルでは一次及二次巻線内の電圧降下は凡て閉却して畫いた。以上より相廻轉を變ずる事に依り一次總電流が著しく變化する事が解る。これは誘導機に於てはその勵磁電流が甚だ大きく全負荷電流の 10~30% にも及ぶからである。ポケットブックには單に勵磁電流と負荷電流の和又は差となると書いてあるが之れは説明を簡單にする爲めの皮相的の觀察であつて、かゝる電流は凡てベクトルの取扱はねばならぬ事は言ふまでもない。

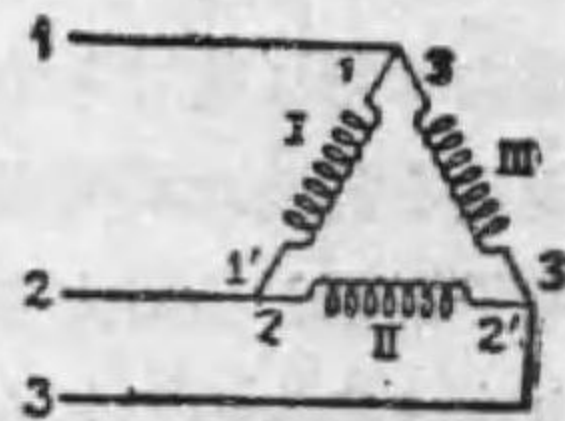
### Y Δ 切 換 の 結 線 法

【問】 三相籠形誘導電動機の人-Δ 切換開閉器に於て、a の如き結線法のものゝ誤りて b の如く接続したとすれば、

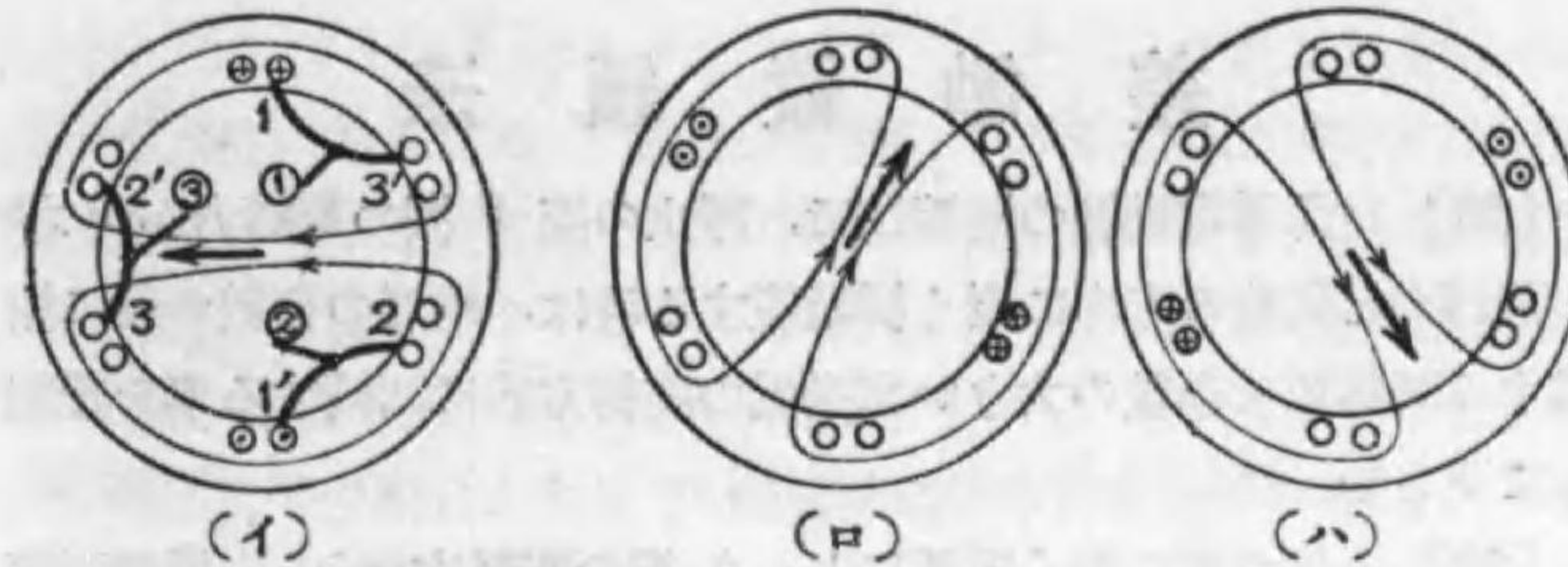


その結果はどうなりますか。

【解】 何等差支へなく同方向に廻轉する。(a) を解り易く書き改むれば第 1 圖となる。勿論 Δ に切り換へた時の圖である。I, II, III は各相の巻線、1, 1', 2, 2', 3, 3' は各巻線の巻き始めと、巻き終りを示した符號である。今電源の相廻轉を、1, 2, 3. の順序とし、固定子鐵心に施された巻線 I, II, III. の配置が第 2 圖

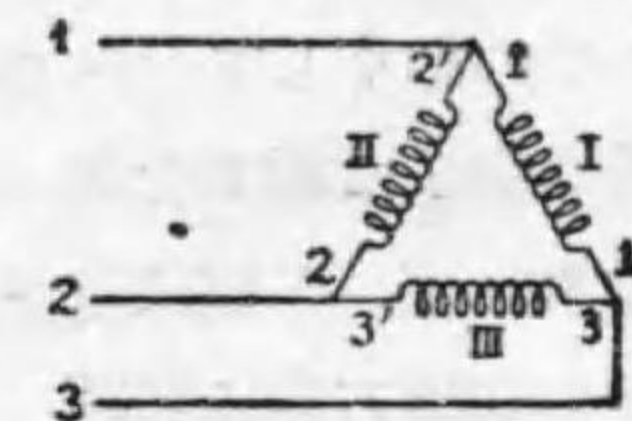


第 1 圖



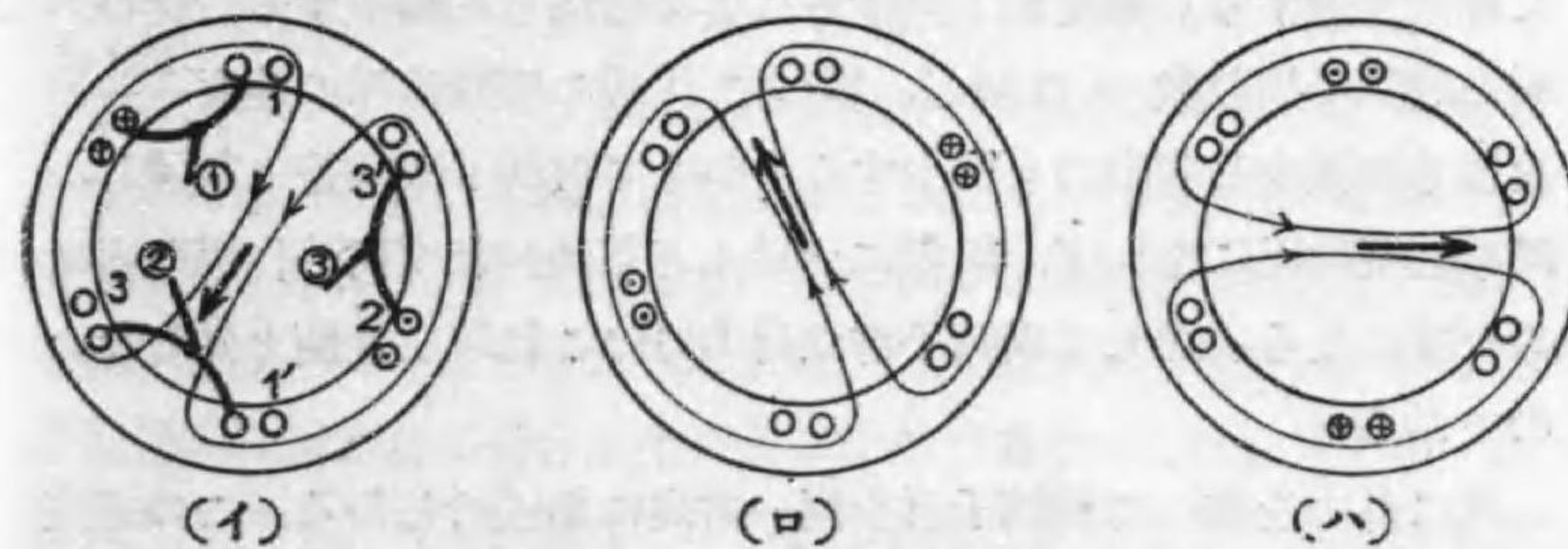
第 2 圖

の様であるとすれば、(2 極とし、每極每相當りの溝数を 2 とした) 第 2 圖 (イ) (ロ) (ハ) の様に廻轉磁界は時計式に廻轉する。言ふ迄もない事だがかゝる場合の廻轉磁界を考へる時は、I なる相に直流を流した場合の磁界の方向を以つて、廻轉磁界の或瞬時の方向と考へてよい、故に I, II, III. 各巻線に順次に直流を流して、磁界廻轉の方向を調べればよい。



第 3 圖

第 3 圖は (b) の結線圖を示したものである。この圖を第 1 圖と比較すれば、巻き初めと巻き終りとの接続が何れも逆となり且各巻線が一つ宛順に時計式に移動してゐるだけである。電源の相廻轉は變らない。だか



第 4 圖

ら廻轉磁界の方向も變らないと言ひ得るが、更らに第 2 圖と同様のものを第 4 圖として畫いて見ると圖の通りになる。即廻轉方向は變らない。

## 差 働 縦 續 法

【問】 誘導電動機の縦續法で、静止の際 B 機の廻轉力が A 機の廻轉力と反對の方向に働く様縦續する時は、兩機の極数の差に相當する回轉數で極数の大きい電動機の方回轉方向に回轉する事を説明して下さい。

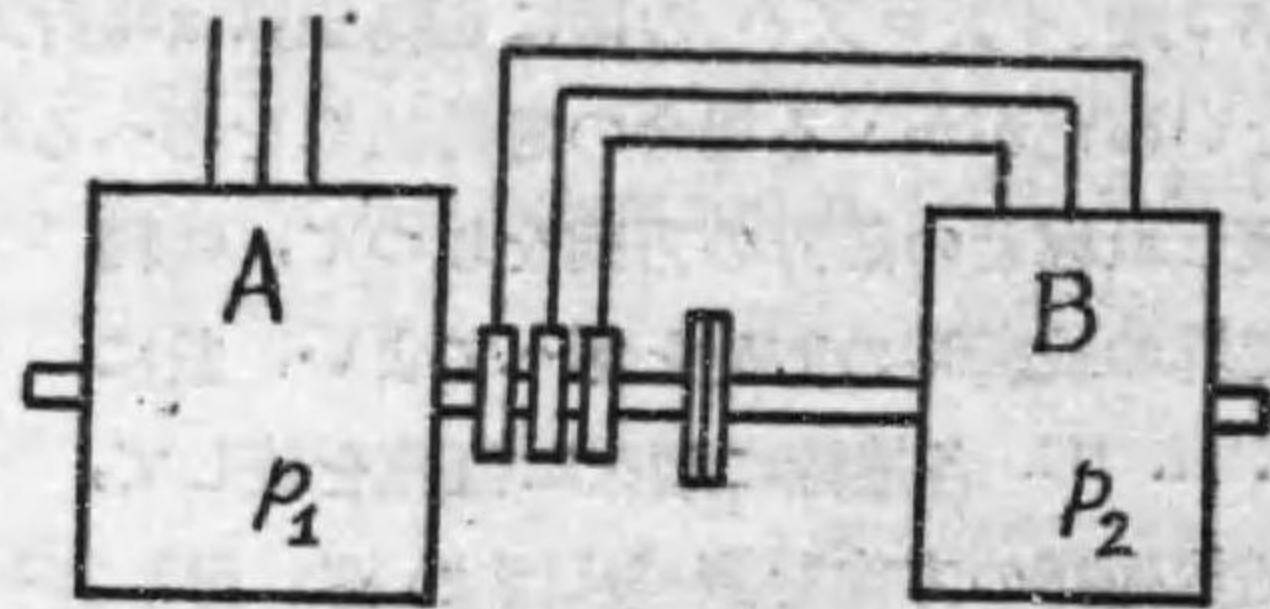
【解】 先づ圖の如く縦續にし、A 機の回轉方向と B 機の回轉方向とは逆になる様に接續する。(B 機を逆回轉せしむるには A の廻轉子滑動環より B

機に至る導線に於て自由になし得る)。

かくの如くして A 機固定子に電力を供給すれば、A 機は自分の回轉方向に回轉

せんとするが、B 機は其廻轉磁界に對し逆回轉だから制動機として働き起動し難い。然し若し A 機の起動廻轉力が B 機の起動廻轉力(此の場合は制動力)より大なる時は廻轉子群は A 機の向きに起動し漸次加速する。速度が上昇するに従ひ即滑りが減少するに従ひ A 機の廻轉子周波數  $sf$  は減じ、従つて B 機の廻轉磁界の速度  $\frac{120 sf}{P_2}$  及強さは減少し制動力も減少する。かくて廻轉子群は益々加速し、同期速度附近になれば、B 機には殆んど電流流れず何等作用を表はさぬ様になる。然して廻轉子群は自力ではこれ以上速度上昇しないのである。

次に外力を加へて廻轉子群を同一方向に加速せしむる。この速度が A 機の同期速度以上になると滑りは  $(-s)$  となり A 機は誘導發電機となる。一方 B 機はどうなるか。A 機廻轉子の周波數は  $-sf$  となり、B 機廻轉磁界は  $(-\frac{120 sf}{P_2})$  となり今迄の廻轉方向と逆、即 A 機廻轉磁界と同一方向、換言すれば廻轉子群回轉方向と同方向と



なる。而してその最初は  $-sf$  が小さく、それに比較して廻轉子速度は高速度にある爲め B 機自身に就いてのみ考ふれば非常な高速度状態にある誘導發電機として回轉してゐる事になる。更らに廻轉子の速度を増加してゆくと  $-s$  も増大してゆく。今 A 機の極數  $P_1$  が B 機の極數  $P_2$  よりも大きい場合 ( $P_1 > P_2$ ) とする。すると廻轉子の速度上昇の割合よりも B 機廻轉磁界の速度上昇の割合が大きくなり、遂には或速度に於てこれが丁度同じになる。この速度に於ては B 機は發電機としての作用を失ふ。更らにこれより以上速度を高むれば B 機は速度對回轉力曲線は電動機の特性を表す點即廻轉磁界より廻轉子回轉數が小となるに至りこゝに初めて B 機は電動機となり、A 機は非常な高速度の誘導發電機の状態となりその電氣的出力は極めて小さく、單に周波數變換機として働く様になる。

次に此の關係を數式を以つて説明すれば、A 機に就いて廻轉子回轉數を考ふれば、 $s$  は  $(-)$  である爲め、その速度は

$$\frac{120f}{P_1} \{1 - (-s)\} = \frac{120f}{P_1} (1+s),$$

B 機に於ける同期速度は

$$\frac{120 sf}{P_2}$$

となる。こゝに  $(-s)$  なるに係らず何故  $(-)$  を附けぬかとの疑問を生ずるが、これは回轉方向を逆にせる爲め、廻轉磁界が廻轉子速度より遅い時は  $(-)$  であるが、廻轉磁界の速度が漸次増加し遂に廻轉子速度と同一になりたる場合は、恰も普通誘導電動機に於ける同期速度に達したる場合と全く同じなのである。これより更に  $s$  が増大してゆく。即 B 機固定子に加はる周波數増加し磁界回轉速度増してゆく時は B 機が電動機となり、廻轉磁界と廻轉子との間に  $(+)$  の滑りを生ずるに至るのである。

却説 B 機が電動機作用をするに至る速度は上述の兩式を等しいと置く回轉數である。

$$\text{故に } N = \frac{120f}{P_1}(1+s) = \frac{120sf}{P_2} = \frac{120f}{P_1 - P_2}$$

$$\text{又 } s = \frac{P_2}{P_1 - P_2}$$

これ求むる所の速度でこれより若干早い速度で B 機は電動機作用をするのである。

上述の関係は  $P_1 > P_2$  の場合であるが、若しそれと反対に  $P_2 > P_1$  の時は如何になるか。この時は B 機廻轉磁界の速度は、極数が A 機より大なる爲め A 機廻轉子の  $-sf$  により生ずる  $s$  の滑りの時、B 機廻轉磁界の速度は、常に AB 兩機廻轉子群の速度より小さい。故に B 機が電動機作用をなす速度は有しない。然らば如何なる場合に電動機作用をなすかといふに、前式  $N = \frac{120f}{P_1 - P_2}$  に於て、 $P_2 > P_1$  を代入すれば  $N = (-)$  の時に於て満足する。 $(-N)$  といふは勿論回轉を逆にするといふ事である。結局極数の多い  $P_2$  の回轉方向に廻轉子を回轉せしむればよいのである。これで問の「極数の大きい電動機回轉方向に廻轉し、その速度は兩機極数の差に相當する」事の證明が出来たのである。

最後に A 機は常に誘導發電機であり、全體の組合せに於て果して電動機作用をなすかの疑念を生ずるかも知れぬが、これは誘導發電機速度對廻轉力及出力曲線を考ふれば直ちに氷解される。即最大所要廻轉力は  $(-)$  滑 20~25% 附近に生じそれ以下は急に減じ、 $s$  が  $(-)$  1 附近では甚だ僅少となるからである。従つて A 機は多少の廻轉力を必要とすれどもその大部分は周波數變換機として働作してゐるに過ぎないのである。

此の差働縦續法は殆んど實用にならない。外力を以て高速度に持ち來す事を必要とする事、極めて高速度となること、等がその主なる缺點である。従つて餘り論じられない問題ではあるが理論的に或は誘導機械の面白い特性を知る爲めには必要なことである。

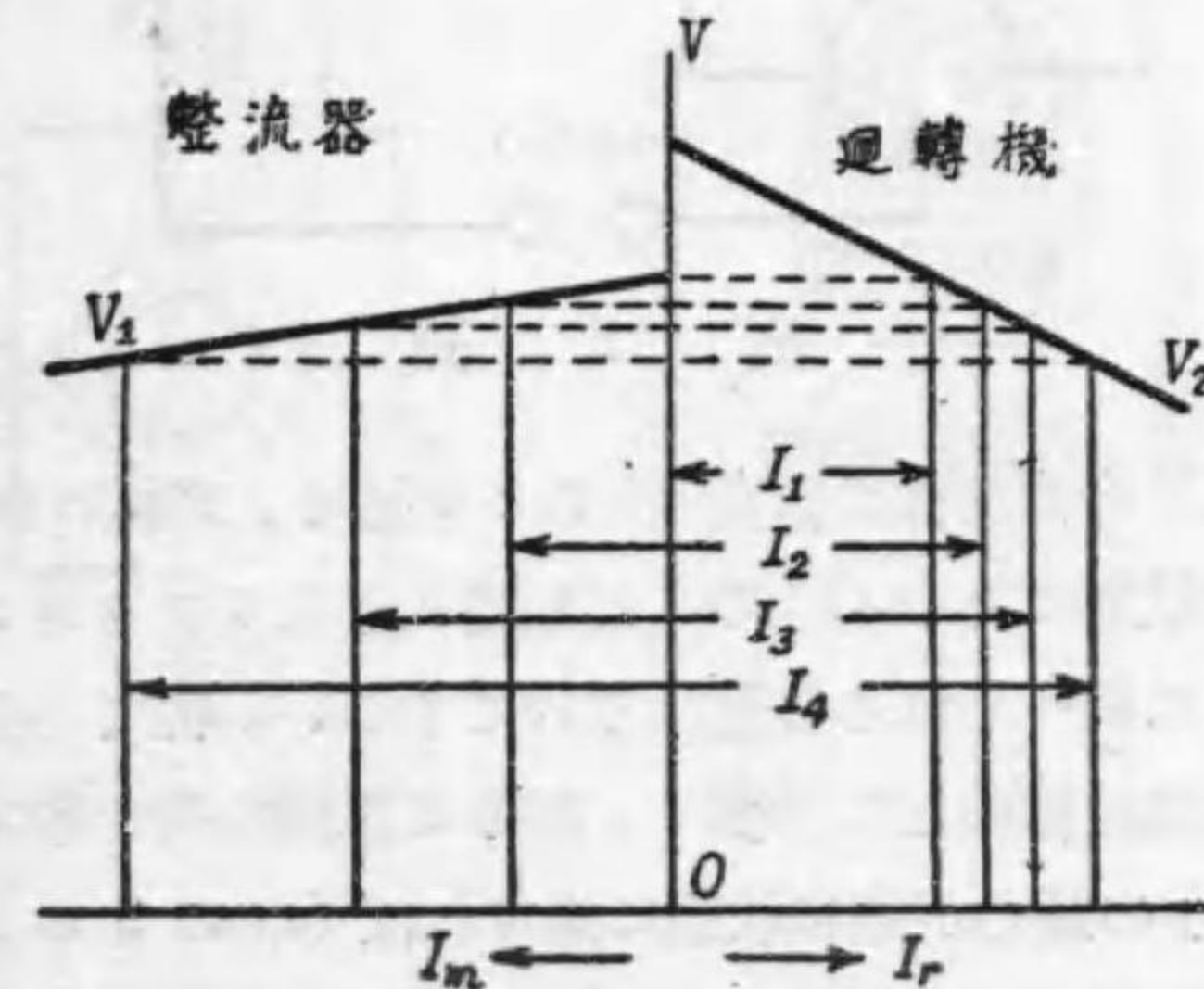
## 水銀整流器と廻轉變流機の並列運轉

【問】 水銀整流器と廻轉變流機或は直流發電機との並列運轉に於て注意すべき事項を御教示下さい。

【解】 「並列運轉に於て注意すべき事項」にあるが、これは配電盤上にて實際取扱ふ場合を意味する様に考へられるが、事實電機負荷の如く常に變動甚しい場合には、手働にて負荷の分擔その他を行ふことは不能と考へてよい。故に以下は最初設計に於て注意すべき事項として答へる事にする。設計がうまく出来てをれば取扱上の問題は故障その他突發事故の場合の外は起り得ない筈である。

水銀整流器は整流器の主要變壓器を普通に接續し何等複捲特性を與へる如き特殊装置を施さぬ場合に於ては、主要變壓器内の抵抗降下、誘導電壓降下、若し塞流線輪を有すとせばその内の電壓降下等に依り直流端子電壓は負荷の増大に伴ひ減少する。即分捲特性を有するものである。この分捲特性の整流器と、分捲特性を有する分捲廻轉變流機或は直流分捲發電機とを並列運轉せしむる場合は至極簡單である。只一般に

廻轉變機は全負荷附近に於て能率良好輕負荷にては不良であるが整流器は輕負荷となるも能率は甚だしく劣化しない。故に常に廻轉變機を全負荷運轉せしめ、整流器はその餘分の變動負荷を分擔せしむる様にすれば變電所一體

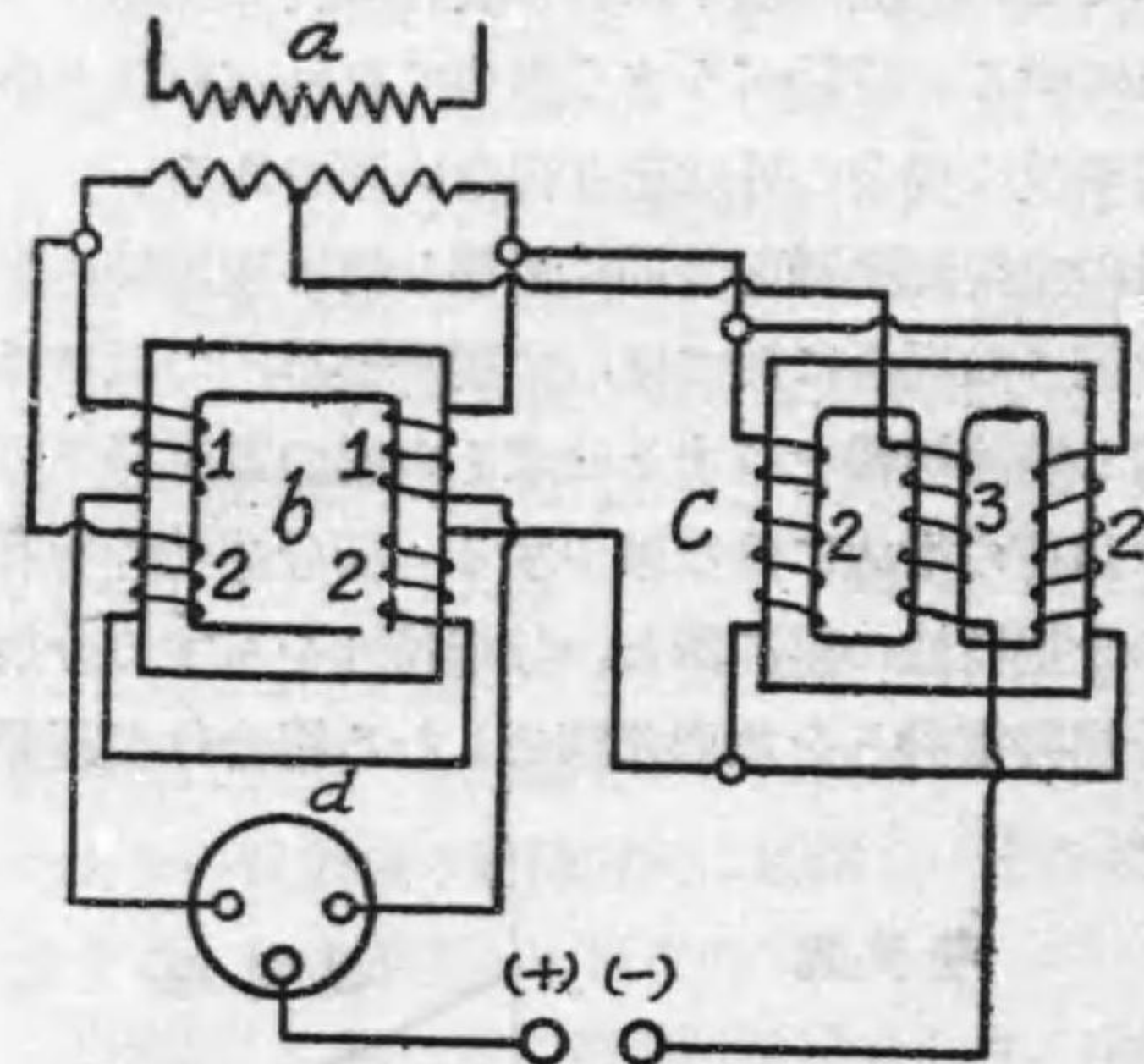


第 1 圖

としての能率は良好となる。第 1 圖はこの關係を表す負荷分擔圖で

ある。圖より明な通り廻轉機の方の負荷の變動は僅少なるにも係らず整流器に於ては最大より零迄變化する。即かくの如く負荷が分擔する如き外部特性を各に持たせるのである。殊に整流器に於ては逆流の恐れなく、且瞬間的の過負荷には相當の値迄耐へ得るものであるから尙好都合である。

次は複捲發電機或は複捲變流機の如く負荷の増大に伴ひ端子電壓の増大するものとの並列運轉は如何にするか。この際整流器が分捲



第 2 圖

特性のものであれば平滑な運轉が出來ぬにきまつてゐる。故に整流器にも複捲特性を持たせ尙均壓線に相當するものも設けねばならぬ。第2圖は複捲特性を與へる接續圖の一例を示すものである。(a)は主要變壓器(b)及(c)は一種の塞流線輪である。今直流側の負荷(cの3を通る)が輕ければ(c)の鐵心は未飽和状態にあり(c)の2は相當大きなリアクタンス降下を呈し(b)の2に與へられる電壓は極めて小さい。従て(b)の1は殆んど單に陽極塞流線輪として働く。然るに直流負荷が増大し(c)の3に依つて(c)の鐵心が飽和状態に達すれば(c)の2のリアクタンス作用は減じ、(b)の1には主要變壓器(a)の二次側より可成の電壓が與へられ、(b)は之に依つて勵磁され變壓器作用をなし整流器に加はる電壓を(b)の1に依つて上昇せしむ。従つて直流側に複捲特性を與へ

特性のものであれば平滑な運轉が出來ぬにきまつてゐる。故に整流器にも複捲特性を持たせ尙均壓線に相當するものも設けねばならぬ。第2圖は複捲特性を與へる接續圖の一例を示すものである。(a)は主要變壓器(b)及(c)は一種の塞流線輪である。

る事が出来る。以上の事から(c)塞流線輪に施せる直流捲線が複捲機の直捲線輪に相當する事が解る。従つて均壓母線は(a)變壓器中性點より引き出せばよい。此の裝置では(b)(c)各塞流線輪の容量を適當に選べば10%位の過複捲特性を與へる事は可能だと言はれてゐる。

以上これを摘言すれば一般に整流器と並列に運轉する變流機又は發電機は常に分捲特性を有するものたる事を要し、然らざれば整流器自身にも複捲特性を與へ、且つ廻轉機へは電流の逆流せぬ様にし、逆流遮斷器の如きものを直流側に裝置せねばならぬ。

### ワグナー・モーター

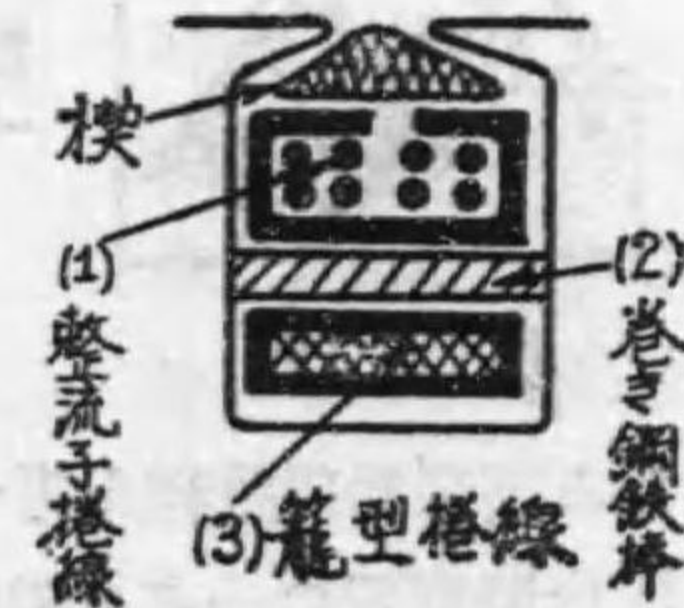
【問】 単相籠型廻轉子反撥電動機、一名 Wagner Motor の構造及働作原理を御解説被下度願上候。(京都 U.S. 生)

【解】 此の電動機は定速度電動機で、無負荷及輕負荷に於ては進み力率に、全負荷に於ては力率1となるものである。接續圖は第1圖に示す如くで、

Cなる補償用捲線に依り力率を調整する。廻轉子の構造は第2圖の様に、直流機電動子と同様の整流子捲線(1)と、籠型捲線(3)とを具へ兩者は巻き鋼鐵棒



第 1 圖

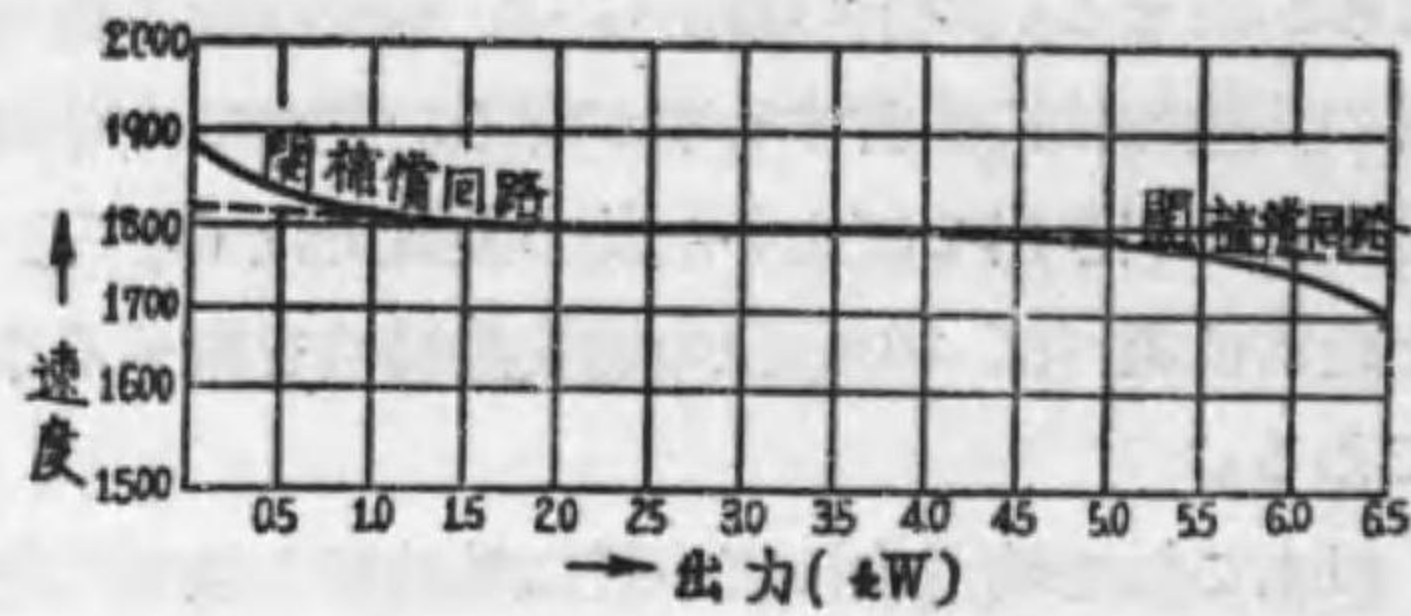


第 2 圖

(2)に依つて磁氣的に隔離されてゐる。

此の電動機の起動はSなる開閉器は開いて居て、補償反撥電動機として起動し、籠型Kは殆んど作用せず、電動機は直捲特性で起動する。同期速度附近まで加速すればK内の電流増して大いに誘

導電動機の特性  
を與へ速度を同  
期速度附近に制  
限する。S は遠  
心力開閉器で適  
當の速度に達す  
ると自動的に閉



第 3 圖

ぢる。S が閉ぢれば、整流子機としての直捲特性が變つて分捲特性に化し、且つ C 捲線の作用で力率を 1 或はそれ以上進み力率にもなし得られる。第 3 圖は出力と速度との關係を示す曲線である。

次に以上の各に對して少しく解説を試みよう。それには起動時と運轉時とに分ける。

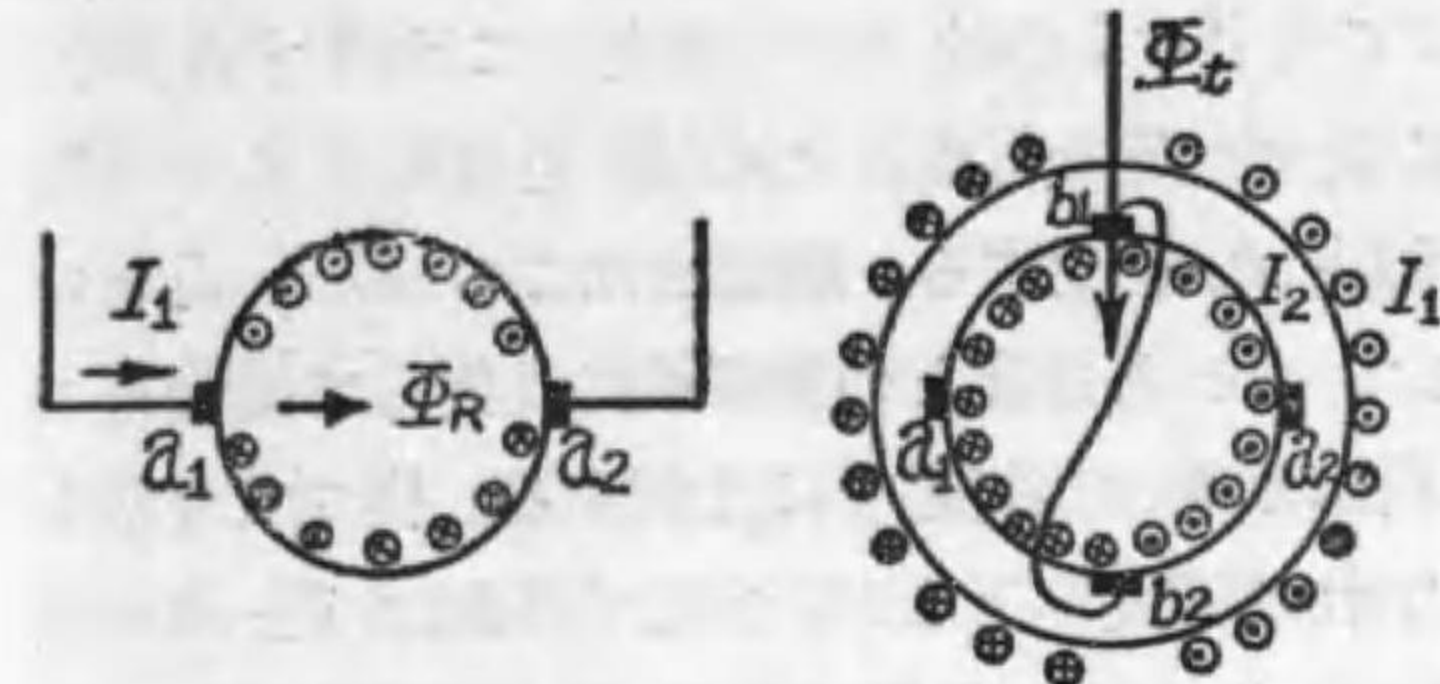


第 4 圖

第 5 圖

(a) 起動時。起動時には K は、鐵心の奥深くあり、リアクタンス甚だ大なる故殆んど何等の作用をしない。故に以下はこれを考へない。第 4 圖は、 $a_1 a_2$  間の捲線の代りに F なる固定勵磁捲線を考へて理解を助ける爲めに畫いた圖である。即 P は變壓器の一次捲線に相當するもので、整流子捲線は刷子  $b_1 b_2$  により短絡せらるる故、恰も短絡されたる二次捲線として働く。故に今 P に圖の如き方向に電流流るる時は變壓器作用をなす  $\Phi_t$  なる交番磁束生じ同時に  $b_1 b_2$  間の整流子捲線にも圖に示す如き電流が流れるであらう。この電流  $I_2$  が動力電流で、F により生ずる  $\Phi_R$  との間に廻轉力を發生し廻轉子は廻轉する。第 5 圖は第 4 圖を更に畫き直したもので、外側コイルが一次捲線 P として働くのである。F といふ捲線が別に要るが、今 F を止め、第 4 圖の如く  $b_1 b_2$

より  $\frac{1}{2}$  極間隔ずれた刷子  $a_1 a_2$  を設けて、整流子捲線を更らに勵

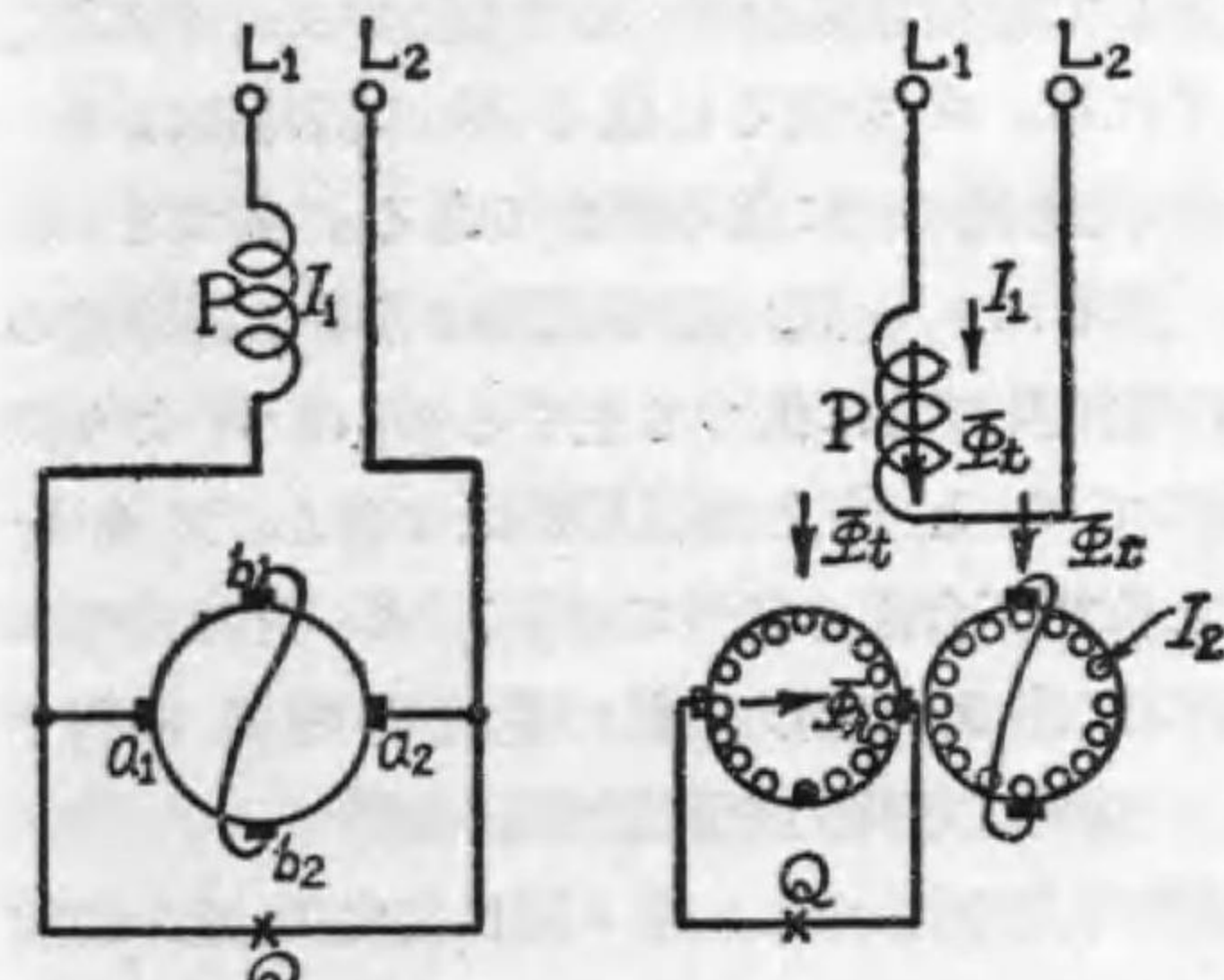


第 6 圖

第 7 圖

磁捲線として、F に代用するも  $\Phi_R$  を生ずるに何等變りはない。(第 6 圖、第 7 圖参照)

次に斯くの如き接續の整流子機が直捲特性を有する理由を述べると、 $I_2$  なる電流の瞬時値は捲數比に依り  $I_1$  の瞬時値に比例する。亦廻轉力磁束  $\Phi_R$  も各瞬時  $I_1$  の瞬時値に比例する。故に廻轉力は  $I_1$  の自乗に比例する事になる。即直捲特性を有するのである。



第 8 圖

第 9 圖

(b) 運轉時。先づ運轉時即 S を閉じた場合に分捲特性を有する理由を述べやう。第 8 圖は先づ簡單のため C を除き  $a_1 a_2$  を短絡した。この場合の關係は第 9 圖の如くなる。即 P なる捲線は  $L_1 L_2$  間に單獨に存在する事になり、これに對し二次捲線は  $b_1 b_2$  にて短絡され、又廻轉に依り  $a_1 a_2$  間に現はるる起電力  $E_r$  は  $a_1 a_2$  刷子にて短絡されてゐるのである。この場合  $b_1 b_2$  間の動力回路に與へらるる二次電壓  $E_2$  は、一次捲線 P に與へらるる電壓一定なる故、一定

である。この二次給與電壓  $E_2$  と逆起電力  $E_{2c}$  とのベクトル差に依り  $I_2$  なる動力電流流れる。一方  $a_1a_2$  間の勵磁回路に表はれる起電力  $E_r$  は  $\phi_i$  を切つて生ずるもの故  $\phi_i \times (\text{速度})$  に比例する。但し  $\phi_i$  は此場合明かにほぼ一定である。この  $E_r$  を短絡するから勵磁電流流れて廻轉力磁束  $\phi_r$  を生ずる。廻轉力はこの  $\phi_r$  と  $I_2$  との間に發生する。然して  $\phi_r$  と速度との相乗積に比例して逆起電力  $E_{2c}$  が生ずるから、 $E_{2c}$  は  $\phi_i \times (\text{速度})^2$  に比例する。従つて今假りに負荷が重くなるとすれば速度が下がるが、少しく下れば  $E_{2c}$  は可成り減ずる。故に  $(E_2 - E_{2c})$  が大いに増す結果  $I_2$  は充分増大し、廻轉力を増して速度の減少を防ぐ。依つて分捲特性を有するのである。猶こゝで  $\phi_i$  を基として位相關係を調べる必要がある。先づ  $E_2$  は  $\phi_i$  より位相が  $90^\circ$  ずれる。 $\phi_i$  を切るに依る  $E_r$  の瞬時値は  $\phi_i$  の瞬時値に比例すること直流機の理に依り明かである。依つて  $E_r$  は  $\phi_i$  とは位相が合ふ。然るに  $a_1a_2$  間の勵磁回路は非常な誘導性の回路であるから、其の電流及び之に依つて生ずる  $\phi_r$  は  $\phi_i$  より位相ほぼ  $90^\circ$  ずれる。依つて  $\phi_r$  と  $E_2$  とは位相がほぼ合ふ。又  $\phi_r$  を切るに依る  $E_{2c}$  は  $\phi_r$  と位相が合ふ。依つて  $E_2$  と  $E_{2c}$  とは位相がほぼ合ひ、其の差に依つて出来る動力回路の電流  $I_2$  の  $\phi_r$  に対する相違も比較的小さく、有効に廻轉力を發生する。

次に C 捲線の力率補償作用を述べる。第 9 圖に於て Q 點を切放ち C を挿入するのである。

$b_1b_2$  間の動力回路及び C は P に対して、變壓器の二次及び三次捲線を形成する。従つて C に生ずる起電力  $E_3$  は  $E_2$  と同相である。従つて上述に依り  $E_3$  は  $\phi_r$  とほぼ相が合つて居る。これが新たに  $a_1a_2$  間の勵磁回路に加はる。然るに此の回路に從來生じて居た  $E_r$  は前述の通り  $\phi_r$  より  $90^\circ$  位相がずれて居る。即ち勵磁回路には從來の  $E_r$  より  $90^\circ$  ずれた  $E_3$  が加へられることになる故、勵磁電流の位相變り之に依つて  $\phi_r$  より  $90^\circ$  位相ずれたる磁束分が  $a_1a_2$  の軸に沿つて生ずる。これは  $I_2$  との相違が  $90^\circ$  に近き故廻轉力には殆

んど關係しないが動力回路に  $E_2$  及び  $E_{2c}$  とほぼ  $90^\circ$  の相違ある起電力分を導入するを以て、 $I_2$  にも從來より  $90^\circ$  近き相違の電流分が加はる。

既に  $I_2$  に  $90^\circ$  位相ずれたる電流分が加はれば、之と起磁力相消し合ふ P 捲線、従つて線路からの電流にも從來より  $90^\circ$  位相ずれたる電流分生じて力率を變化する。依つて C 捲線の接續の向きを適當にすれば、電動機力率を 100% 又は進力率にすらもなし得る。斯く C 捲線の作用は少し許りの  $E_3$  を生ずるにある故、捲数は P の夫れの 10% 以下で充分である。

以上整流子捲線の上に就いて考へて來たが、運轉中は籠型廻轉子捲線が主として動力發生に貢献し、整流子捲線は主として力率改善の作用をなすのである。

以上正式のベクトル圖を省いたので、多少誤解の點もあらうが幾分の参考ともならば幸甚である。

猶ワグナー・モーターに於ては起動時のみなる故重要ではないが S を開きたる際の直捲電動機に於ては、 $a_1a_2$  刷子間の廻轉子勵磁捲線は單に第 4 圖 F 捲線の代りを勤むるのみでなく、實は力率補償をなし、同期速度に於ては 100% 力率となすの効がある。故に斯くの如きものを補償反撥電動機と稱する。序でに初學者の爲に之を略説しよう。第 6 圖及第 7 圖はこれを説明する爲めに畫いたものである。 $a_1a_2$  に  $I_1$  なる電流を通ずれば圖の如く  $\phi_r$  を生ずる。この  $\phi_r$  は F に依り生ずるものと全く同じである。従つて實際の廻轉子捲線の導體には、夫れが  $a_1b_1$  間、 $b_1a_2$  間、 $a_2b_2$  間、 $b_2a_1$  間の何れに屬するかに従ひ、或は  $I_1 + I_2$ 、或は  $I_1 - I_2$  なる電流が流れるものである。然して  $a_1a_2$  間のリアクタンスを  $x_a$  とすれば、 $I_1 x_a$  なるリアクタンス降下は  $I_1$  より  $90^\circ$  進み居り、之に依り端子電壓より  $I_1$  の位相を遅らせ、力率を劣化する。然るに又  $a_1a_2$  刷子間には  $\phi_i$  と同相の起電力  $E_r$  が生ずべきであるが、變壓磁束  $\phi_i$  は變壓器の場合同様  $I_1$  より略  $90^\circ$  の遅れ位相にあり、従て  $I_1 x_a$  と  $a_1a_2$  間の起電

力とは略 180° の位相差を有し互ひに補償し合ひ、無誘導回路の如くなし力率を良好に保たしむるのである。

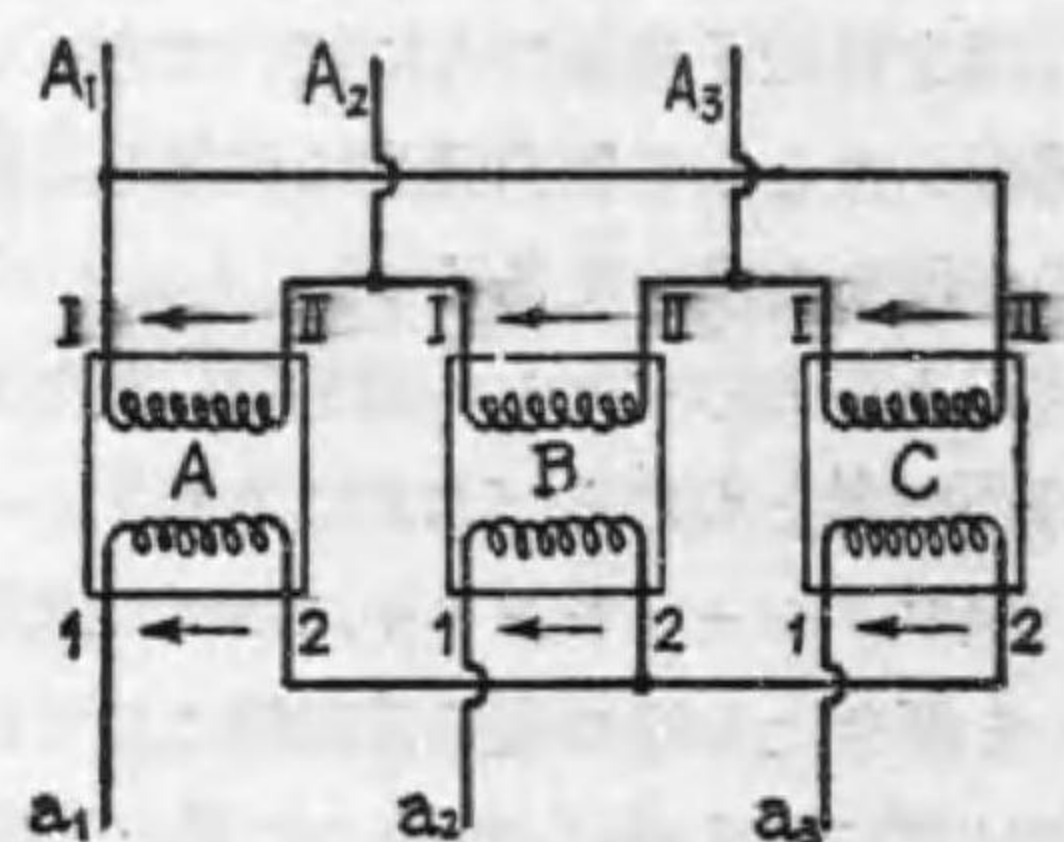
### ΔY 集團の並列結合

【問】 単相變壓器を圖の如く Δ-Y に接続し之を二組並列に接続し得る正しき方法をベクトルを以て御教示被下度願上候

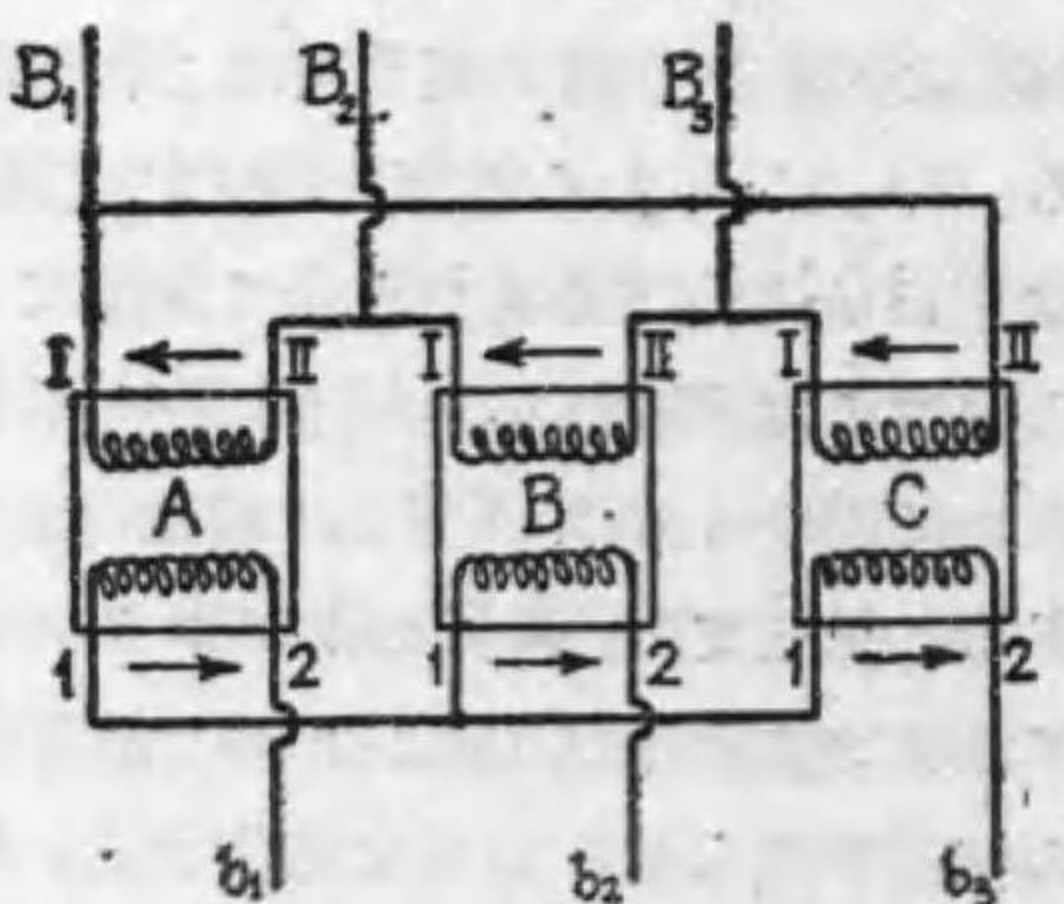
(1) 先づ圖に於て乙組甲組の一次側に於て、 $A_1 B_1, A_2 B_2, A_3 B_3$  と接続したる時のベクトル圖

(2) 一次二次側に於ける正しき接続圖及其の時のベクトル圖

【解】 第 1 圖 (イ) 及 (ロ) は接続圖に對し極性の符號及ベクトルを畫く爲め如何なる方向を以つて正の向きと定めたかを決定した圖である。極性は凡て減極性とし、正の向きは一次は共に II より I に向ふ方向、二次は何れも中性點より端子に向ふ方向を正とした。第 2 圖及第 3 圖は甲乙兩バンクのベクトルである。之より明な様に若し  $A_1 B_1, A_2 B_2, A_3 B_3$  と接続する時は二次端子  $a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3$  間には 180° の位相差を有する事となる。これは常識から考へてもさもあるべき事で、極性の異なる二つの變壓器を、極性の異つた



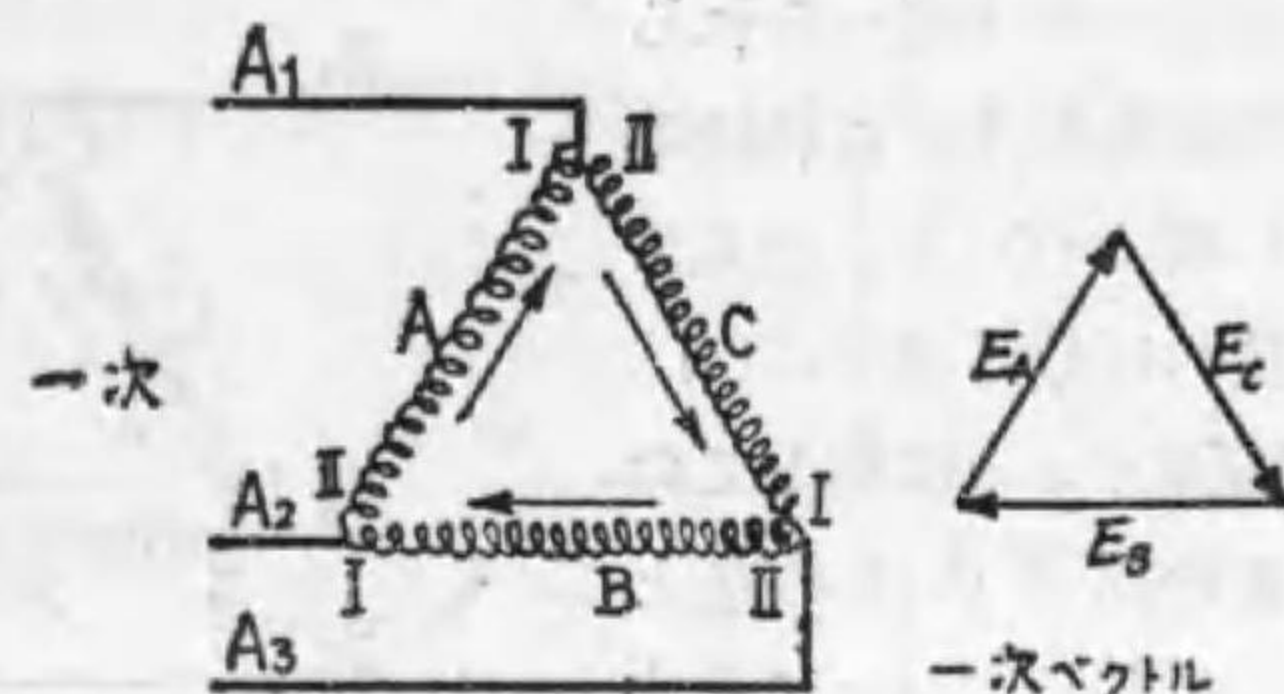
甲バンク  
第 1 圖 (イ)



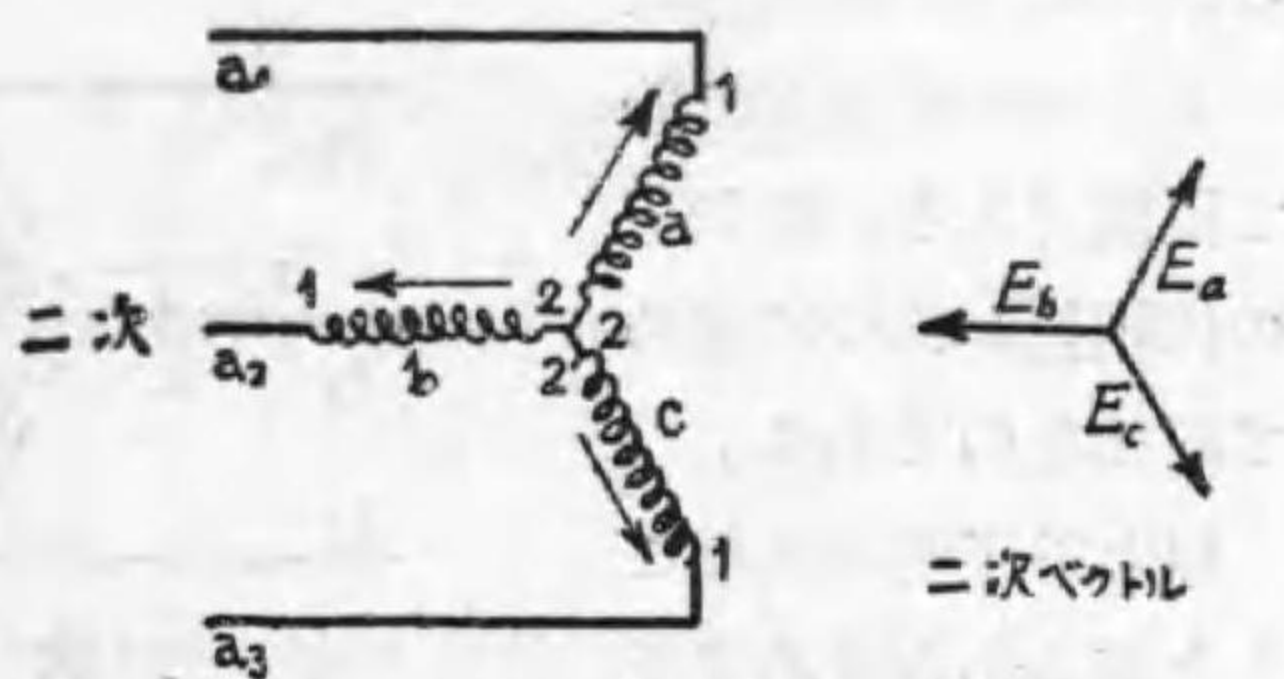
乙バンク  
第 1 圖 (ロ)

儘一次二次共並列に結ぶのと同様に考へてよい。然らば之れを正しく接続するには如何にするか。これは第 2 圖と第 3 圖を静観すれば、第 2 圖或は第 3 圖の何れかを中心線を境として左右に廻轉せしむればよい。例へば第 3 圖の中心線たる點線を境界として左右に振り替へれば第 4 圖の如くなり、完全な並列結合をなし得ることが解る。即一次側に於ては  $A_1 B_1, A_2 B_2, A_3 B_3$  と結び、二次側に於ては  $a_1 b_3, a_2 b_2, a_3 b_1$  と結べばよい。

尙参考迄に附加へておきたいのは、第 2 圖と第 4 圖に於て成程二次のベクトルは同相にあるが、一次のベクトルは 180° の位相差を有するで

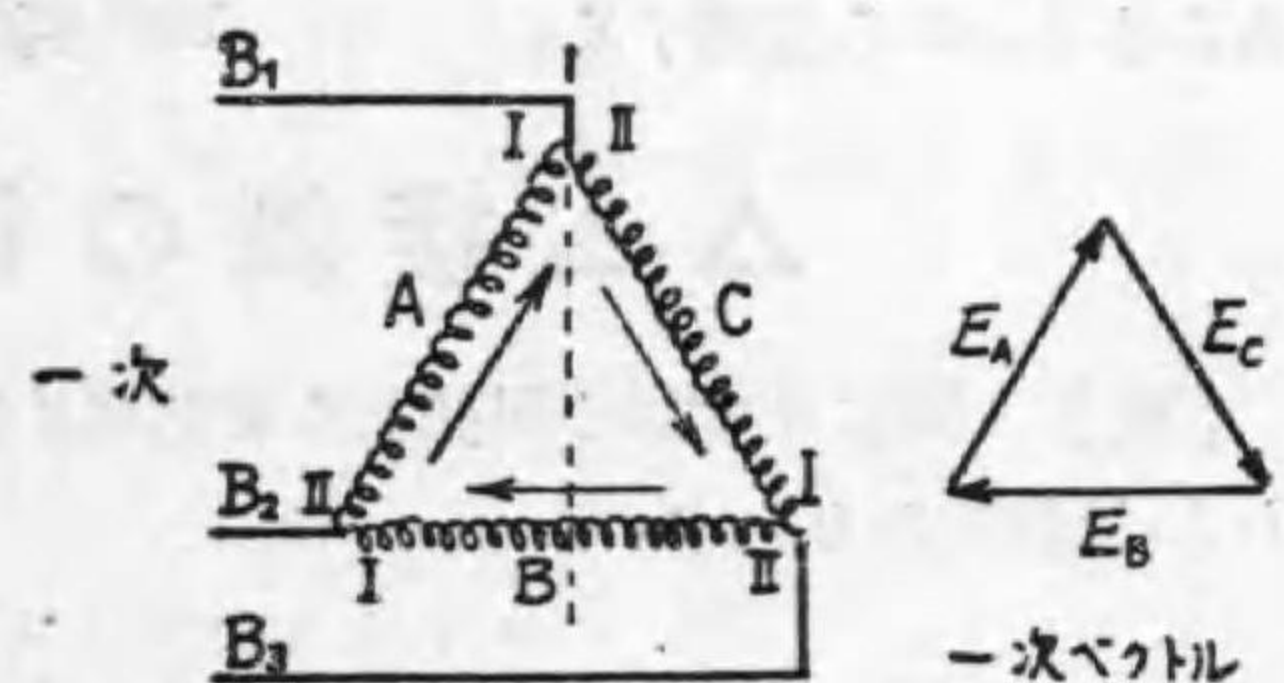


一次ベクトル

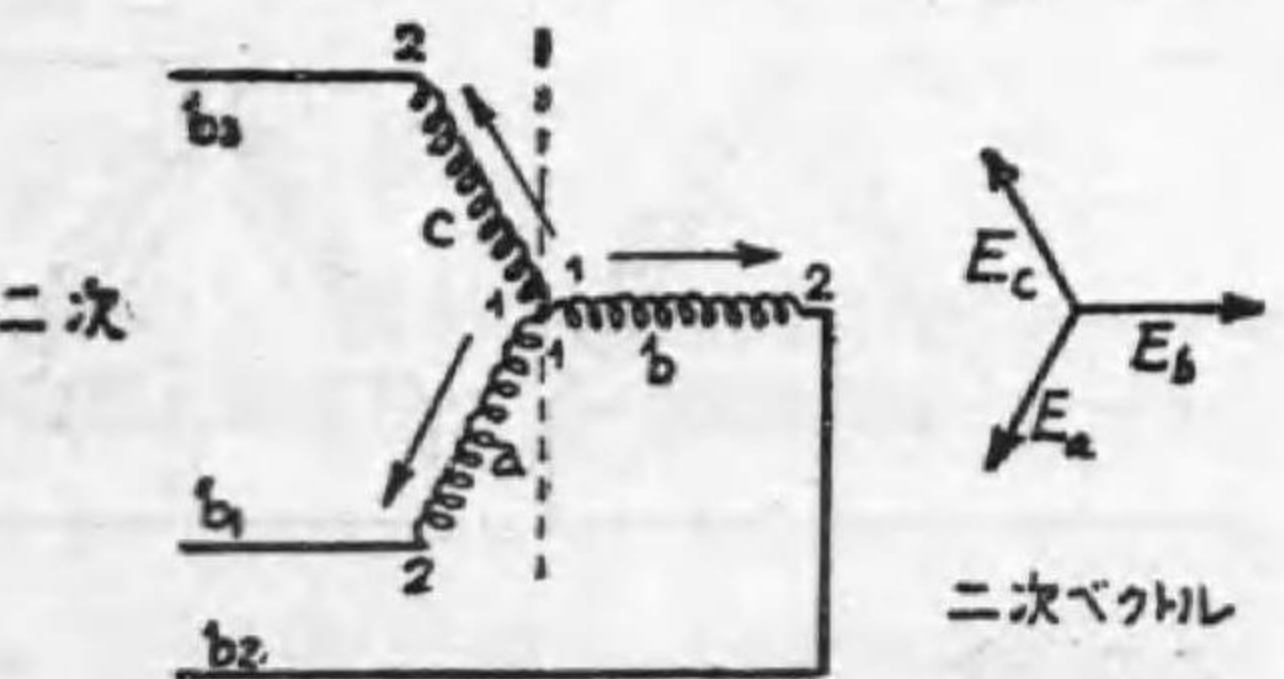


二次ベクトル

第 2 圖 甲バンクのベクトル



一次ベクトル

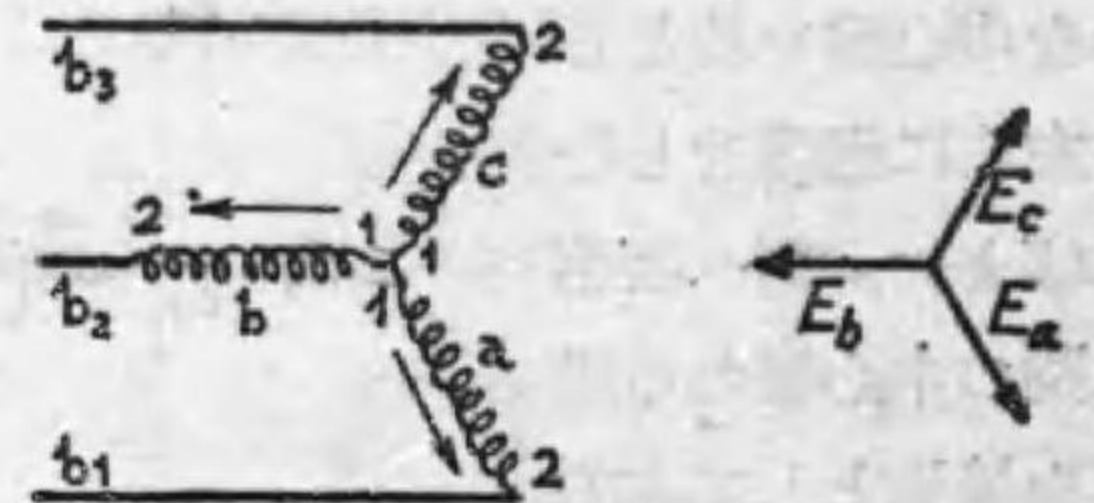
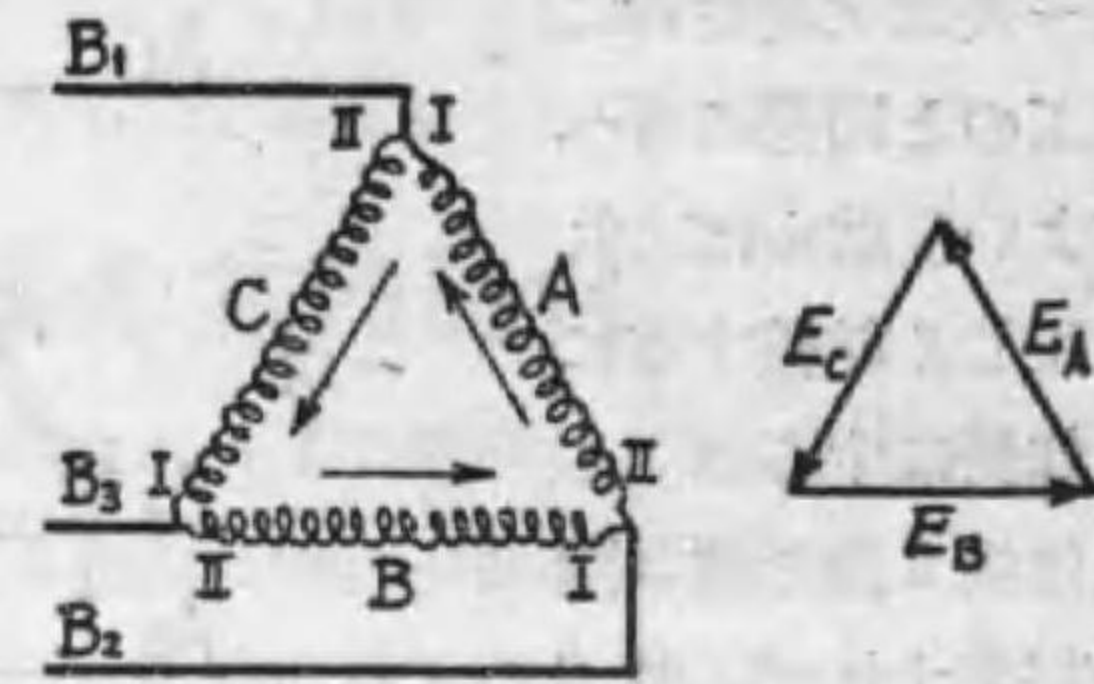


二次ベクトル

第 3 圖 乙バンクのベクトル

はないかと考へられる人もあらう。これは第1圖(イ)(ロ)を見て貰へば分る事で、(イ)即甲バンクに對しての正の向きの決め方と(ロ)即乙バンクに對する正の向きの決め方は一次と二次相互間に於て反對である。即180°の位相差があつて始めて同相なのである。

以上で了解されたことと思ふから改めて正しき接続圖を畫く必要もあるまいから省略する。

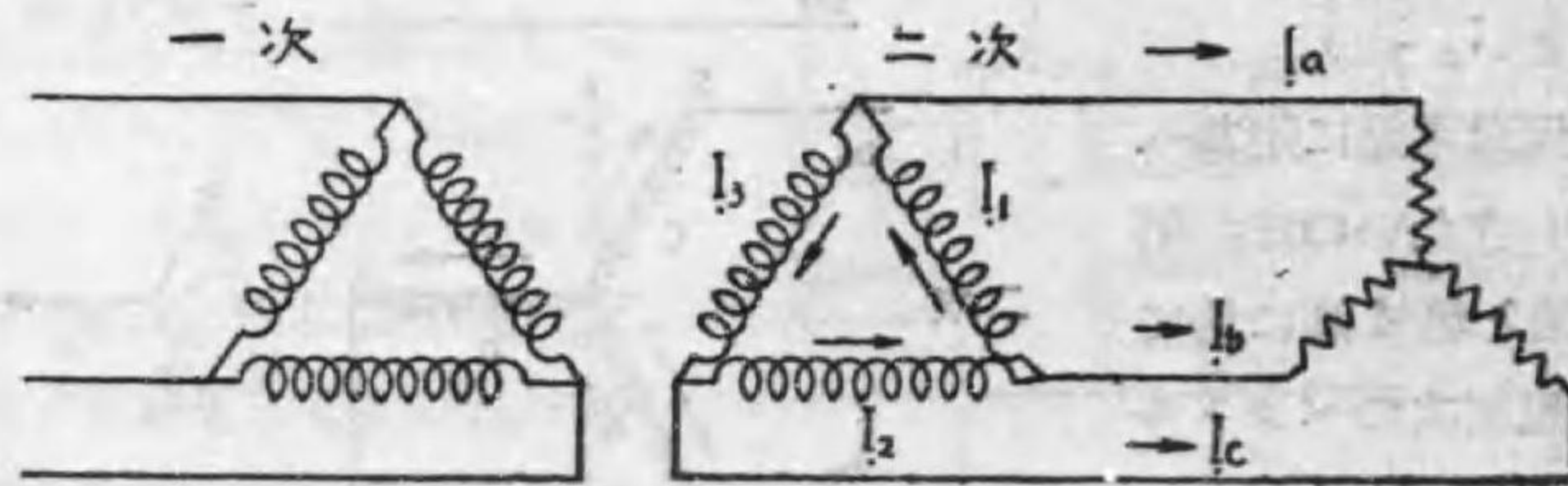


第 4 圖

乙バンクの中心を境として  
180° 廻轉したベクトル

### △△ 接 続 の 電 流

【問】 圖に示す如く同様なる變壓器3臺を△△に接続し、 $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  は既知なりとす。



この場合

(1)  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  より計算に依り  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  を求むる方法

(2) 同上を簡単に求むる方法

(3) 線電流  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  の總和は明に零である。 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  の總和は常に零なりや。

【解】 (1) 各相の起電力  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  は對稱三相式をなすものとし、且そのインピーダンスは何れも相等しく  $Z$  とする。今第1圖に於て電源内の閉回路にキルヒホッフの第二法則を適用すれば

$$E_1 + E_2 + E_3 = I_1 Z + I_2 Z + I_3 Z = (I_1 + I_2 + I_3) Z$$

然るに對稱式三相起電力のベクトル和は零、即

$$E_1 + E_2 + E_3 = 0 \therefore I_1 + I_2 + I_3 = 0 \dots\dots\dots(a)$$

又線路電流を  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  としキルヒホッフの第一法則を a 及 b 點に適用すれば

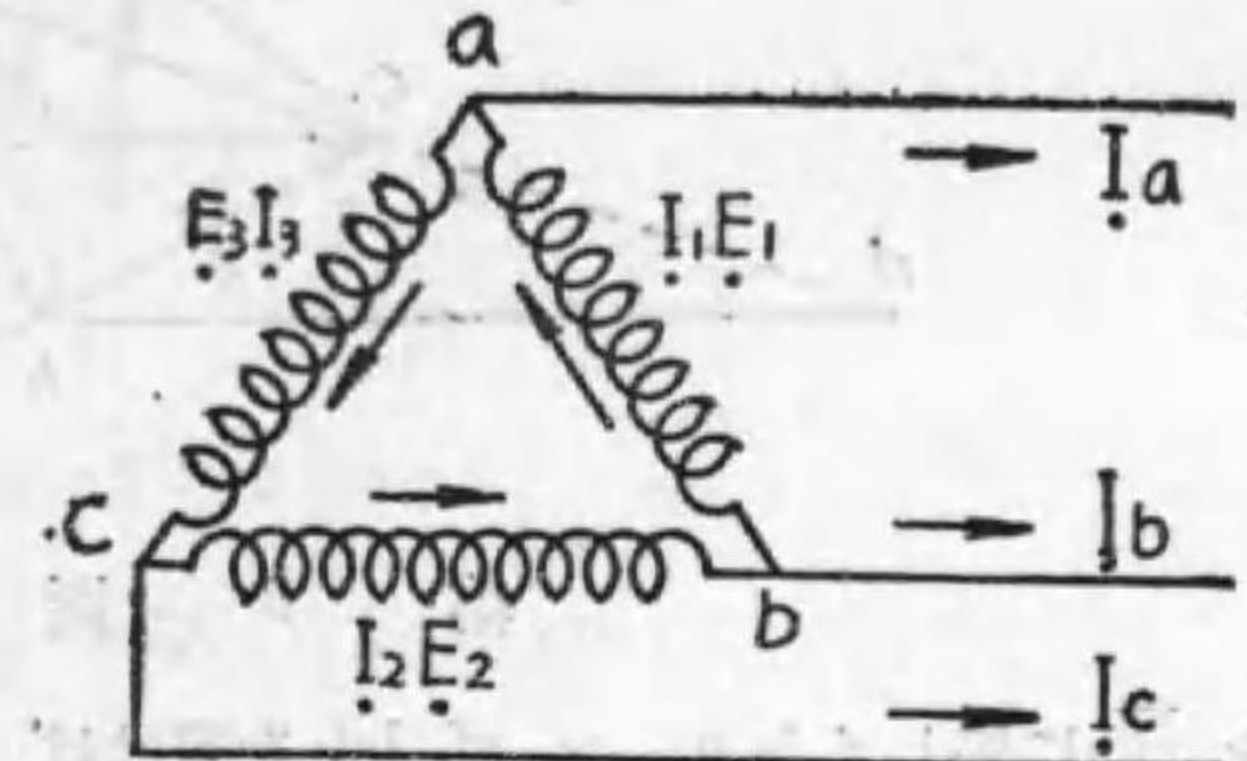
$$I_1 = I_a + I_3 \dots\dots\dots(b)$$

$$I_2 = I_b + I_1 \dots\dots\dots(c)$$

(a)(b)(c) の三式を聯立として解くときは

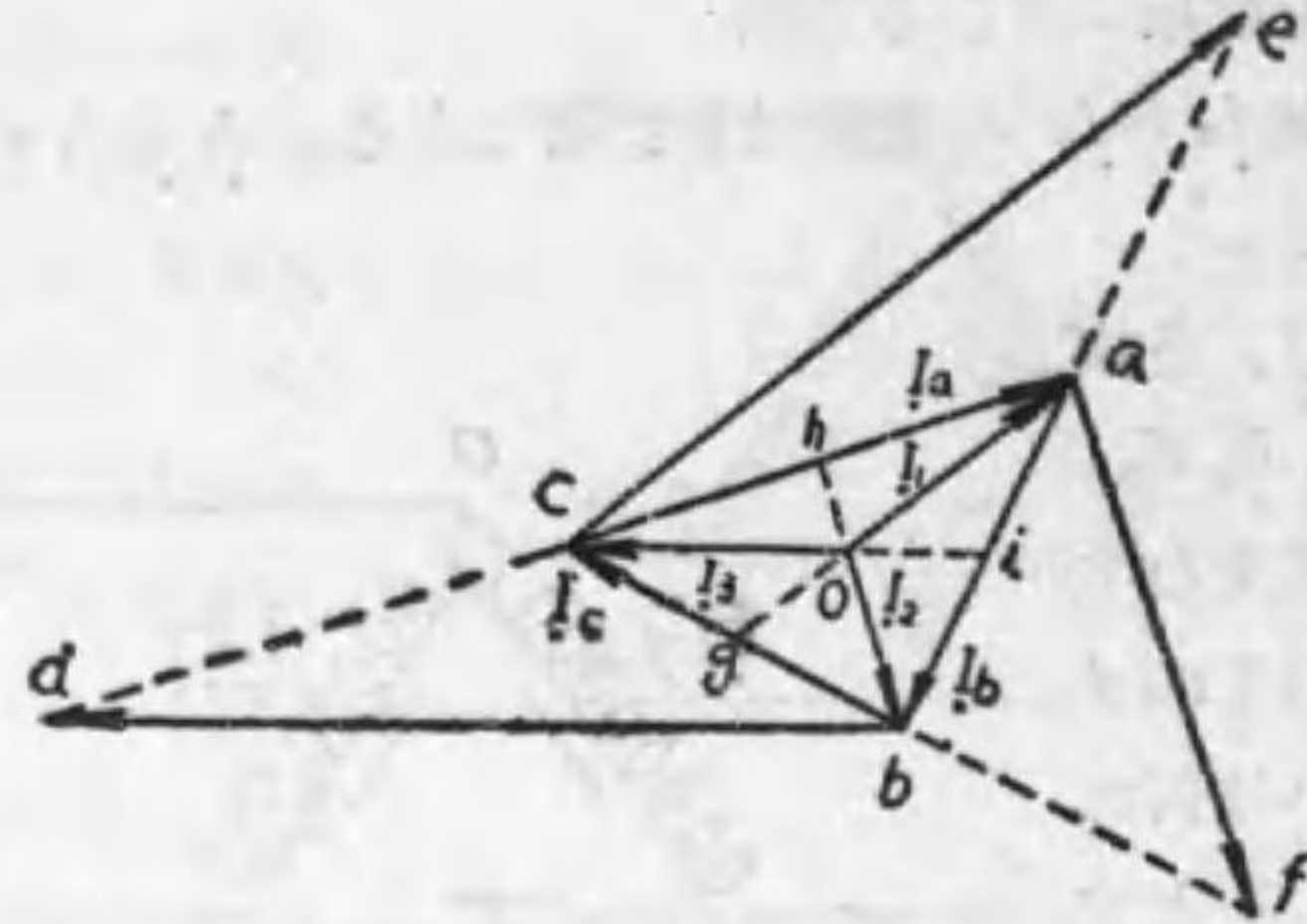
$$I_1 = \frac{I_a - I_b}{3} \quad I_2 = \frac{I_b - I_c}{3} \quad I_3 = \frac{I_c - I_a}{3}$$

三相三線式電路に於ては如何なる場合にも線路電流のベクトル和は必ず零となるから、此場合にも線路電流  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  を示すベクトルの和は零である。即これ等の三つのベクトルを以つて必ず閉三角形を畫き得るものである。今第2圖の三角形 abc が線路電流のベクトルの畫く三角形とし、次に  $\overline{ab}$  を  $\overline{ae}$  に  $\overline{bc}$  を  $\overline{bf}$  に、 $\overline{ca}$



第 1 圖





第 2 圖

を  $\vec{cd}$  に等しくとり,  $ce, af, bd$  を畫けば

$$\vec{ce} = I_a - I_b \quad \vec{af} = I_b - I_c$$

$$\vec{bd} = I_c - I_a$$

従つて  $\frac{\vec{ce}}{3}, \frac{\vec{af}}{3}, \frac{\vec{bd}}{3}$  が各線輪内を流るる電流  $I_1, I_2, I_3$  に相當する。何となれば今  $O$  點を  $\triangle abc$  の重心點 (三つの中線の交點) とすれば明に  $\vec{ce}$  と  $\vec{ga}$  は並行であり, 且  $\vec{ga}$  は  $\frac{1}{2}\vec{ce}$  である。又

$$\vec{oa} = \frac{2}{3}\vec{ga} = \frac{2}{3} \times \frac{\vec{ce}}{2} = \frac{\vec{ce}}{3}$$

故に  $\vec{oa} = \frac{\vec{ce}}{3} = I_1$

同様にして

$$\vec{ob} = \frac{\vec{af}}{3} = I_2$$

$$\vec{oc} = \frac{\vec{bd}}{3} = I_3$$

次に三角形  $abc$  に於て

$$\vec{ab}^2 = \vec{bc}^2 + \vec{ca}^2 - 2 \vec{bc} \cdot \vec{ca} \cos \angle c$$

又  $\triangle agc$  に於て

$$\vec{ag}^2 = \vec{gc}^2 + \vec{ca}^2 - 2 \vec{gc} \cdot \vec{ca} \cos \angle c$$

然るに  $I_a, I_b, I_c$  及  $I_1, I_2, I_3$  を各部分の電流實効値 (即ベクトルの長さ) とすれば

$$\vec{ab} = I_b \quad \vec{bc} = I_c \quad \vec{ca} = I_a$$

$$\vec{gc} = \frac{\vec{bc}}{2} = \frac{I_c}{2} \quad \vec{ag} = \frac{3}{2}\vec{oa} = \frac{3}{2}I_1$$

$$\therefore I_b^2 = I_c^2 + I_a^2 - 2 I_c I_a \cos \angle c$$

$$\frac{9}{4} I_1^2 = \frac{I_c^2}{4} + I_a^2 - I_c I_a \cos \angle c$$

此二式より  $\cos \angle c$  を消去して

$$I_1 = \frac{\sqrt{2 I_a^2 + 2 I_b^2 - I_c^2}}{3}$$

同様にして

$$I_2 = \frac{\sqrt{2 I_b^2 + 2 I_c^2 - I_a^2}}{3}$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{2 I_c^2 + 2 I_a^2 - I_b^2}}{3}$$

(2)  $I_1, I_2, I_3$  を簡単に求むるには前述の理より  $I_a, I_b, I_c$  を以つて相當精確な方眼紙に三角形を畫き, その重心點より各頂點迄の長さを相電流とすればよい。

(3) 相電流の總和が零なる時は, (1) にて最初に解いた様に,  $Z$  相等しく且  $\triangle$  回路内の起電力の總和の零なる場合に限る。若し  $Z$  異なる時は

$$I_1 Z_1 + I_2 Z_2 + I_3 Z_3 = E_1 + E_2 + E_3 = 0$$

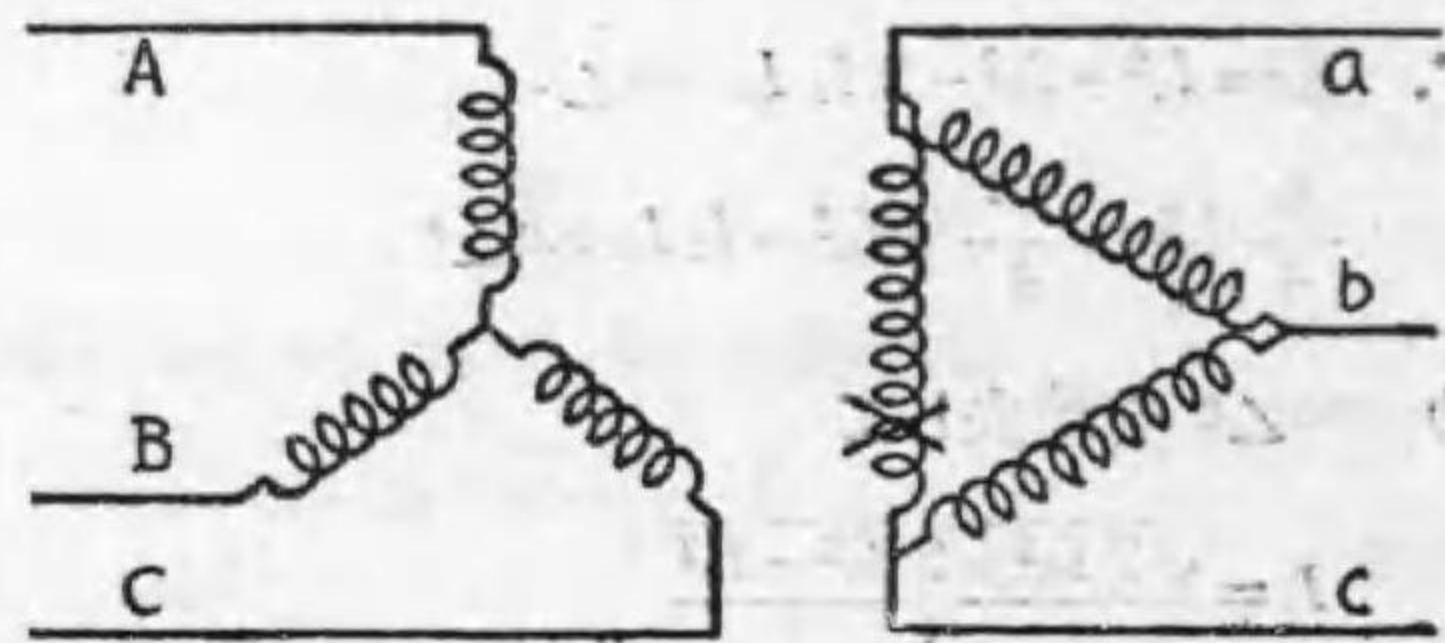
となり,  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$  とはならない。

但しこれは一次が  $\triangle$  の場合で若し一次が  $Y$  結線であれば相電流の總和は必ず零となる。なんとなればキルヒホッフ第一法則により一次

側に於ける電流の総和は絶対に零でなければならぬ、従つて一次電流と一定不變の關係を有する二次電流も必ず零でなければならぬ。

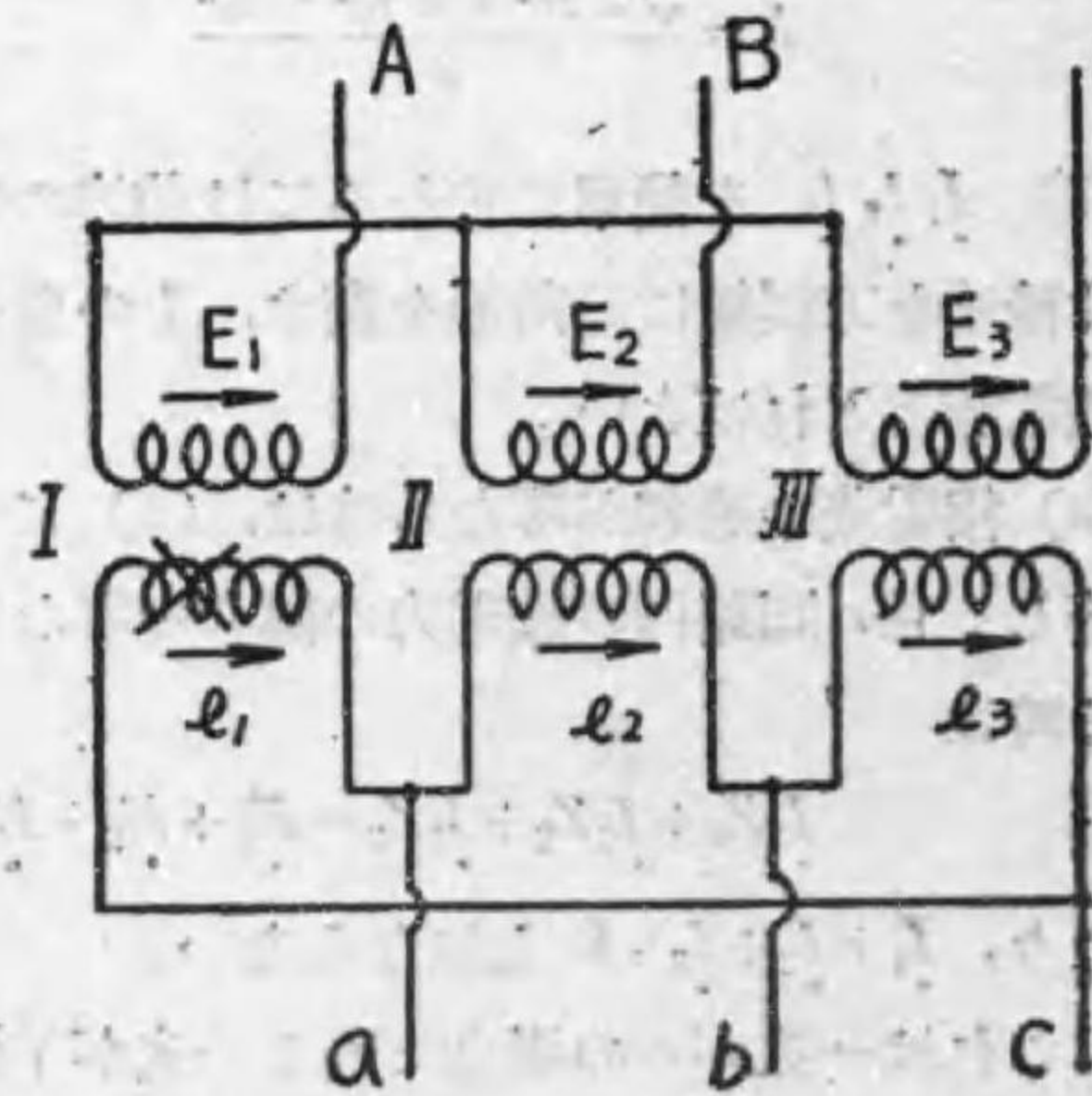
### Y Δ 結 線 の 故 障

【問】 YΔ結線にて送電中、Δ接続の×點にて断線を生ずる時、二次側各線間電壓  $\overline{ab}$ ,  $\overline{bc}$ ,  $\overline{ca}$  は如何になるや、ベクトルにて御教示賜り度し。

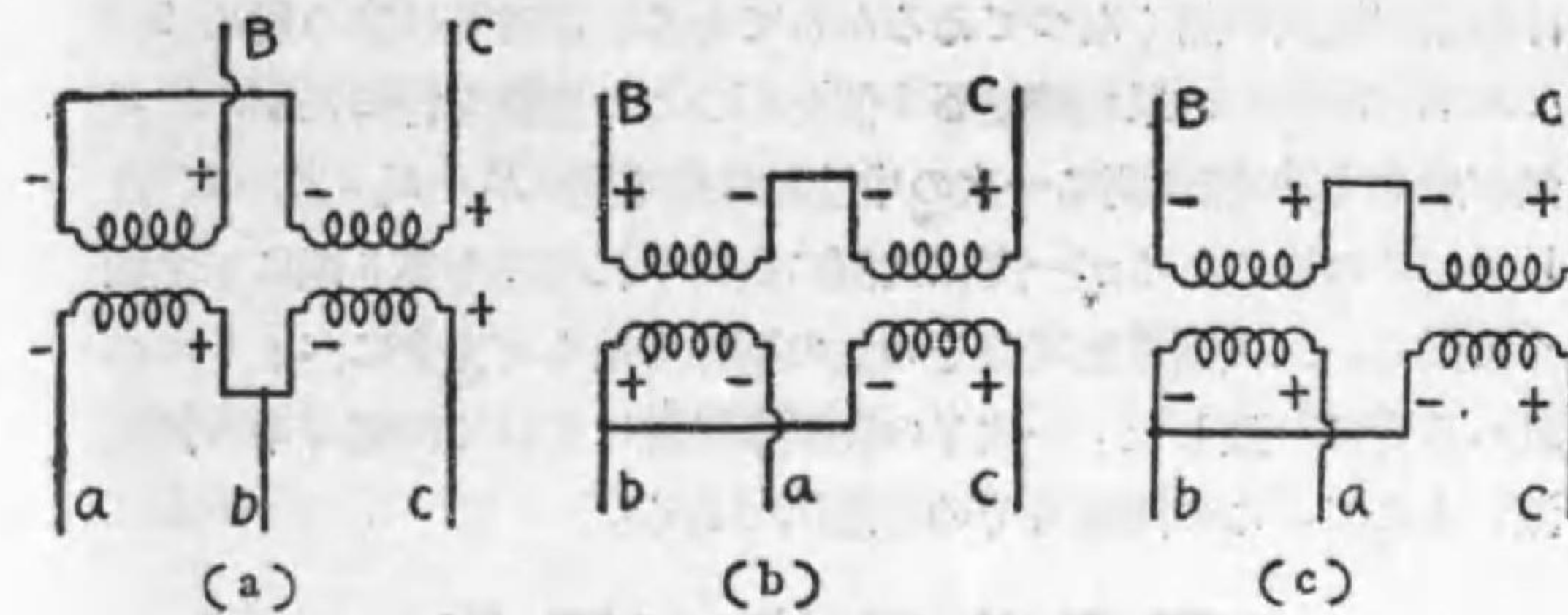


【解】 一次給與電壓は不變とし、勵磁電流は之れを無視するものとす。

第1圖に於てIなる變壓器の二次側が断線したとする。するとIの一次側には勵磁電流以外の電流は殆ど完全に流れないであらう。なんとなれば二次側が開かれておるから恰も變流器二次側開路と同様大なるインピーダンスとなるからである。従つて一次側はBC間に結ばれてゐるII IIIの變壓器が、BC間に直列に結ばれてゐるの

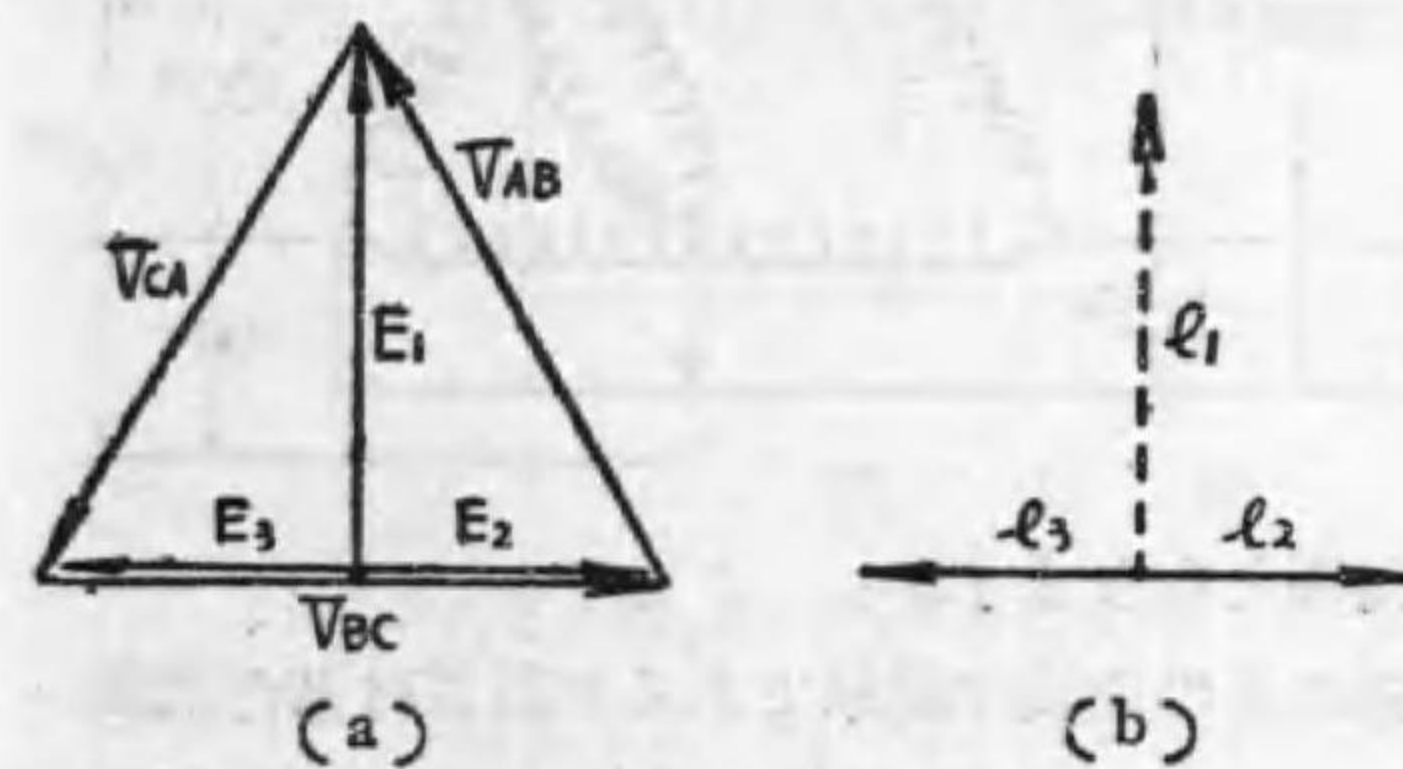


第 1 圖



第 2 圖

と全く同様となる。次にII IIIの變壓器二次側の電壓如何といふに第2圖に分り易く a, b, c の三つの接続圖を畫きその極性の關係を明示した。即一次は直列二次並列となり ab, bc 間には變壓器自



第 3 圖

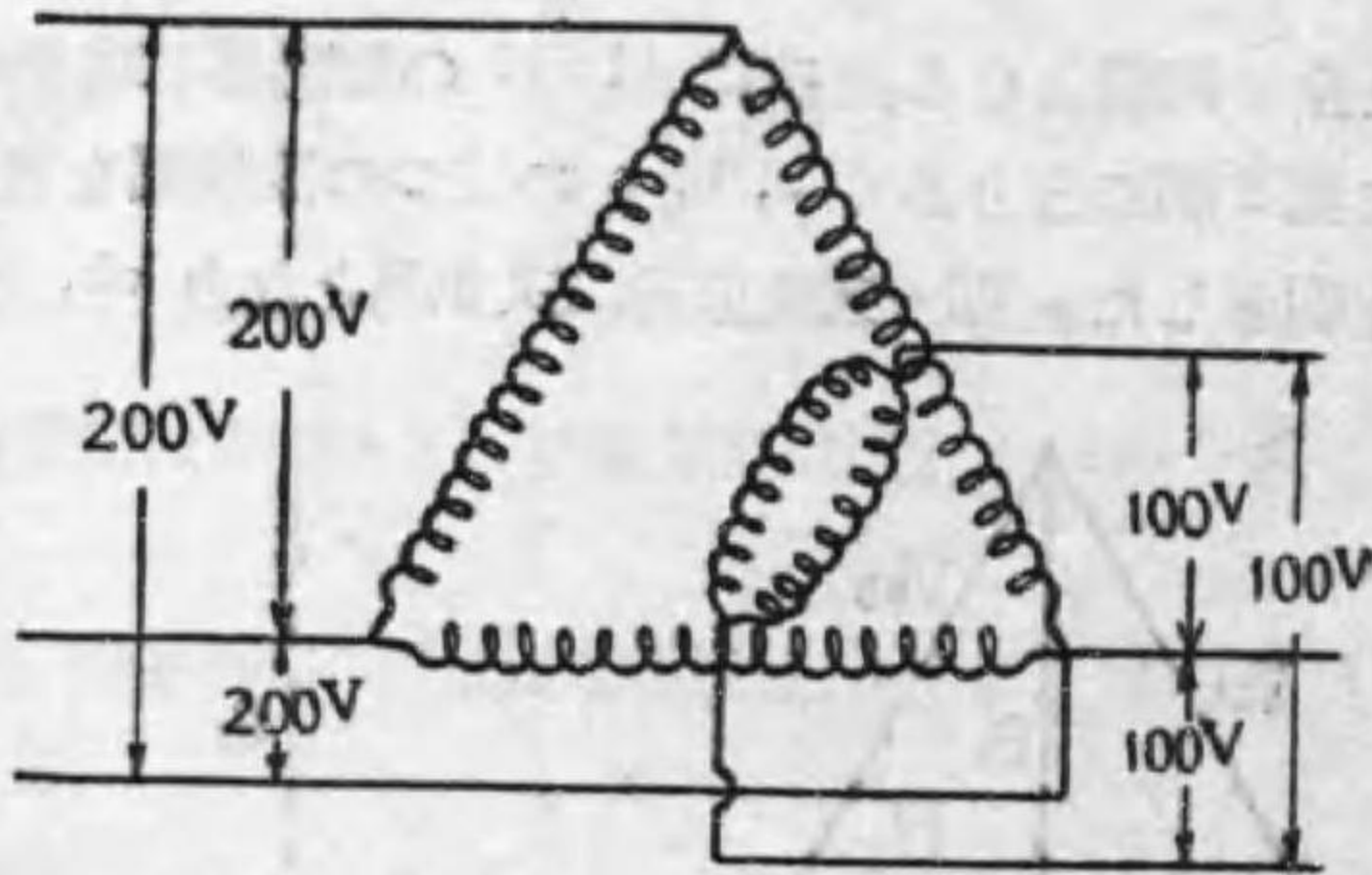
身の電壓が現はれるが、a, c 間の電壓は零となる。第3圖(a), (b) は一次二次のベクトルを示すもので、一次中性點は圖の點迄移動する。この點でなければ各相電壓のベクトル差が相等しい三相電壓のベクトル、 $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $V_{CA}$  を形成し得ないからである。これに対する二次起電力は  $e_1 e_2 e_3$  となり、 $v_{ab} = e_2$ ,  $v_{bc} = e_3$ ,  $v_{ca} = e_2 + e_3 = 0$  となる。

若し線間給與電壓が  $V$ , 故障前の二次端子電壓が  $v$  なりとせば、故障後の  $v_{ab}$   $v_{bc}$  は  $v \times \frac{\sqrt{3}}{2}$ ,  $v_{ca}$  は零となり、電流は a 線 c 線には同一電流、b 線は a, c 線の二倍の電流が流れる事云ふ迄もなく之

は単相三線式の如くなつてゐるからである。筆者等は念の爲め 200/200 V, 1 kVA の単相變壓器 3 個を用ひこの實驗を行つたが、二次側が無負荷の際は明に一次の中性點は相電壓  $E_1 = E_2 = E_3 = E$  は  $V + \sqrt{3}$  の點にあるが一度二次側に負荷すれば忽ち第 3 圖に示す如く移動し、二次側電壓電流その他の關係も殆んど完全にベクトルの教へる所に一致した。一次 Y の變壓器結線に於ける問題は中々興味深いもので、この問題もその好適例である。

### 三角六線式の異例

【問】 同一容量の變壓器で、二次側は 100~200 V に接続が出来る。この變壓器 4 個を圖の如く接続し 3000 V より 200 V と 100 V との三相電力をとるとせば、最大出力は何程となりますか。



【解】 此の問題はその理論は簡單であるが計算は甚だ面倒となるものである。この解には 200 V 側も 100 V 側も平衡負荷で且つ同一力率であるとする。

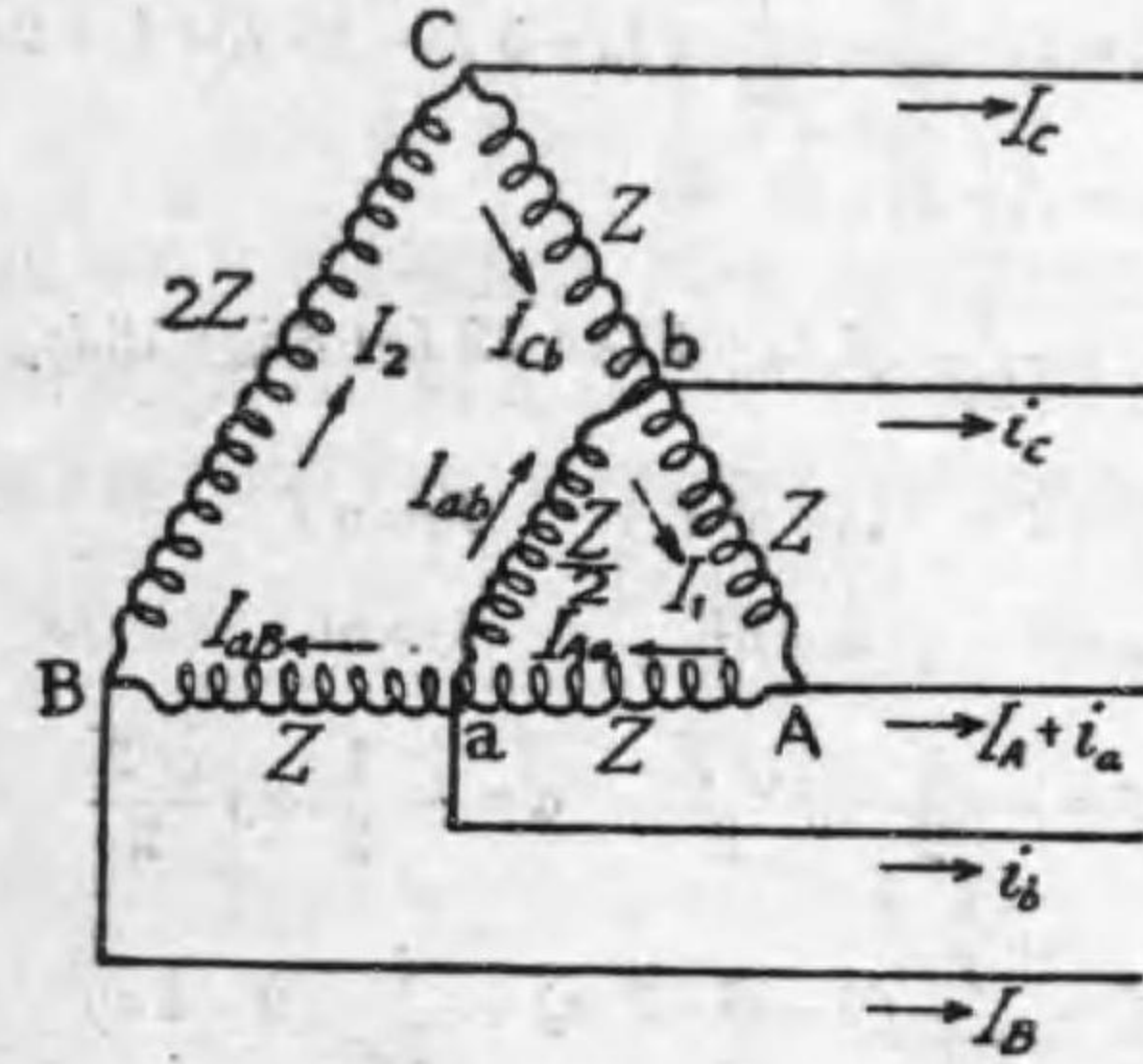
200 V 側の電流を  $I_A I_B I_C$ , 100 V 側の電流を  $i_a i_b i_c$  とし、圖の如くその方向を定める。又 AB, BC, CA 間のインピーダンスを  $2Z$  と定むれば、ab 間のインピーダンスは  $Z$  なるインピーダンスが 2 個並列となつてゐるから  $\frac{Z}{2}$  とした。これも一次側が同様並列にならないと實際はかくなならないし、3000 V 側は普通並列にならないもの故この點も正確でないが先づ大略の見當をつけるのが目的と思ふ故これに決める。又以後の計算には凡て複素數で電流を表す

可きであるが、面倒である爲め複素數の符號はつけない事にする。

變壓器巻線内を流る電流を第 1 圖の如く定める。即未知數を  $I_1, I_2$  のみとしたのである。 $I_A I_B I_C$  及  $i_a i_b i_c$  は既知であるから、

$$\begin{aligned} I_{Aa} &= I_1 - I_A - i_a & I_{Ab} &= I_B + I_2 \\ I_{Cb} &= I_2 - I_C & I_{Ca} &= I_1 - I_2 + I_C + i_c \end{aligned}$$

未知數が二つであるから方程式は二つたてればよい。即 ABC の閉回路に於てインピーダンス降下の和は零であるとして、



第 1 圖

$$\begin{aligned} I_1 Z + I_{Aa} Z + I_{Ab} Z + I_2 2Z + I_{Cb} Z &= 0 \\ Z(I_1 + I_1 - I_A - i_a + I_B + I_2 + 2I_2 + I_2 - I_C) &= 0 \\ 2I_1 + 4I_2 &= I_A - I_B + I_C + i_a \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

Aab の閉回路に於て

$$\begin{aligned} I_1 Z + I_{Aa} Z + I_{ab} \frac{Z}{2} &= 0 \\ Z(2I_1 + 2I_1 - 2I_A - 2i_a + I_1 - I_2 + I_C + i_c) &= 0 \\ 5I_1 - I_2 &= 2I_A - I_C + 2i_a - i_c \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

(1) 及 (2) 式より  $I_1$  及  $I_2$  を求むれば

$$I_1 = \frac{1}{22} (9I_A - I_B - 3I_C + 9i_a - 4i_c)$$

$$I_2 = \frac{1}{22} (I_A - 5 I_B + 7 I_C + i_a + 2 i_c)$$

$$I_{Aa} = I_1 - I_A - i_a$$

$$= \frac{1}{22} (-13 I_A - I_B - 3 I_C - 13 i_a - 4 i_c)$$

$$I_{AB} = I_2 + I_B = \frac{1}{22} (I_A + 17 I_B + 7 I_C + i_a + 2 i_c)$$

$$I_{Cb} = I_2 - I_C = \frac{1}{22} (I_A - 5 I_B - 15 I_C + i_a + 2 i_c)$$

$$I_{a'} = I_1 - I_2 + I_C + i_c$$

$$= \frac{1}{22} (8 I_A + 4 I_B + 12 I_C + 8 i_a + 16 i_c)$$

次に  $I_A = I$     $I_B = a^2 I$     $I_C = a I$

$$i_a = i$$
    $i_b = a^2 i$     $i_c = a i$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$
    $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$

とすれば,  $I_1 = \frac{I}{22} (9 - a^2 - 3a) + \frac{i}{22} (9 - 4a)$

$$= \frac{I}{22} (11 - j\sqrt{3}) + \frac{i}{22} (11 - j2\sqrt{3})$$

$$I_2 = \frac{I}{22} (1 - 5a^2 + 7a) + \frac{i}{22} (1 + 2a)$$

$$= \frac{I}{22} (j6\sqrt{3}) + \frac{i}{22} (j\sqrt{3})$$

$$I_{Aa} = \frac{I}{22} (-13 - a^2 - 3a) + \frac{i}{22} (-13 - 4a)$$

$$= \frac{I}{22} (-11 - j\sqrt{3}) + \frac{i}{22} (-11 - j2\sqrt{3})$$

$$I_{AB} = \frac{I}{22} (1 + 17a^2 + 7a) + \frac{i}{22} (1 + 2a)$$

$$= \frac{I}{22} (-11 - j5\sqrt{3}) + \frac{i}{22} (j\sqrt{3})$$

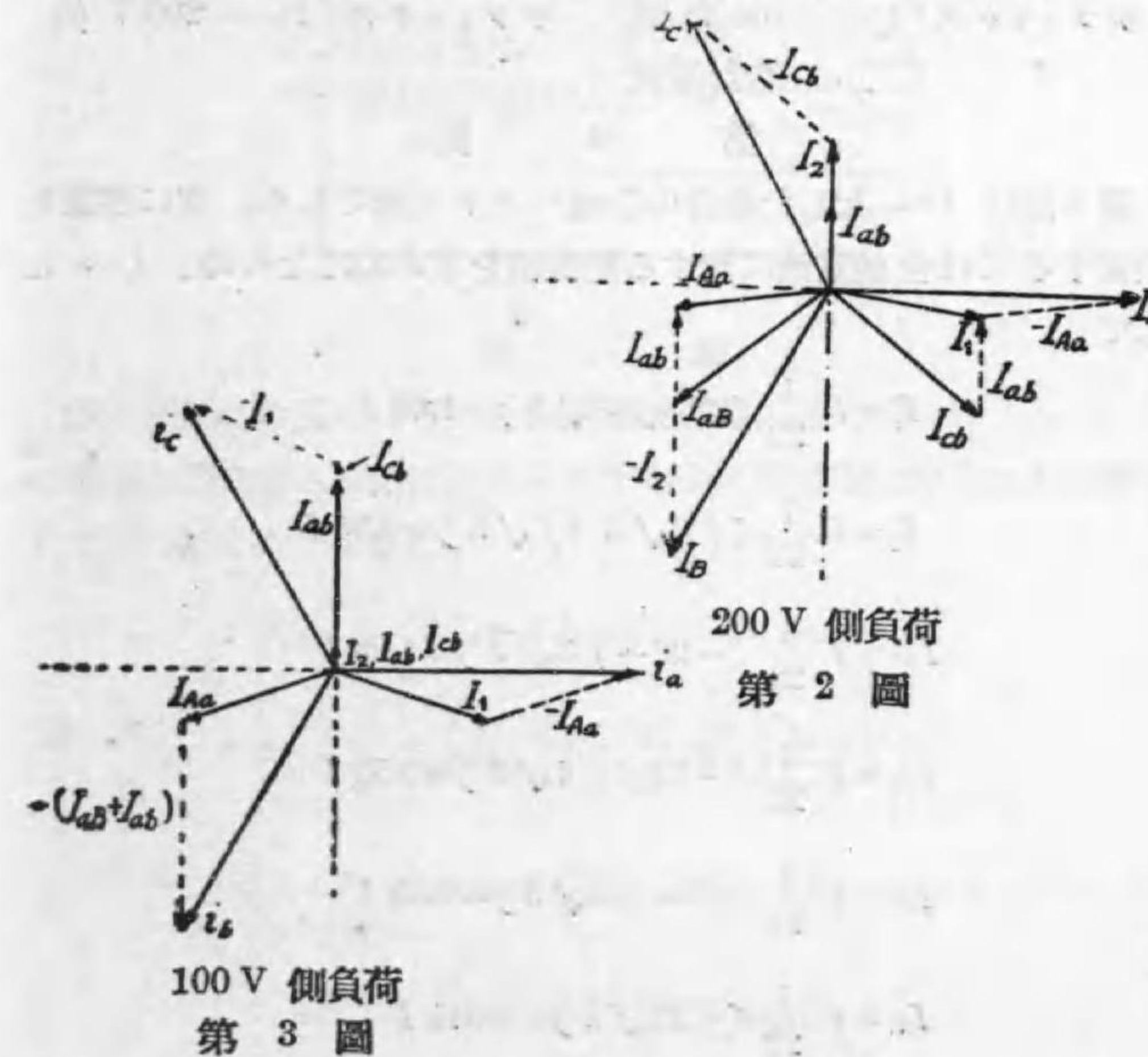
$$I_{Cb} = \frac{I}{22} (1 - 5a^2 - 15a) + \frac{i}{22} (1 + 2a)$$

$$= \frac{I}{22} (11 - j5\sqrt{3}) + \frac{i}{22} (j\sqrt{3})$$

$$I_{a'} = \frac{I}{22} (8 + 4a^2 + 12a) + \frac{i}{22} (8 + 16a)$$

$$= \frac{I}{22} (j4\sqrt{3}) + \frac{i}{22} (j8\sqrt{3})$$

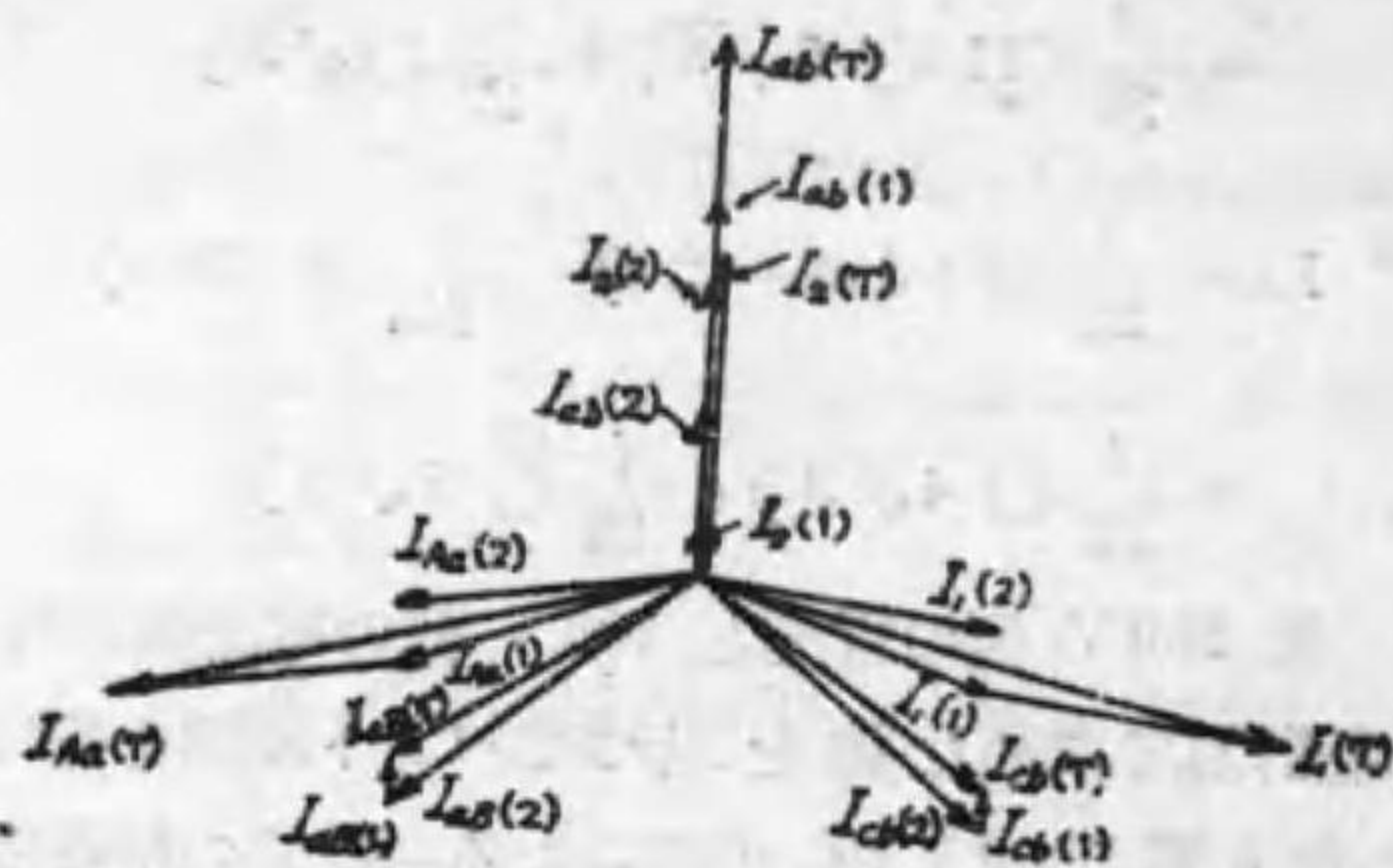
次に  $I=i$  即 200 V 側の電流と 100 V 側の電流値が等しいものとして, 上記計算で求めた値を以つてベクトル圖を畫けば第 2 圖 (200 V 側) 第 3 圖 (100 V 側) の様になる。計算の精確度もこのべ



クトル圖に依り決定される。

以上より  $|I_1| = |I_{La}|$   $|I_{AB}| = |I_{Cb}|$

といふ事が判る。又 100 V 側負荷は ab 間に相當の電流が流れる事が判る。



サフィックス (1).....100 V 側, サフィックス (2).....200 V 側  
" (T).....合計電流

第 4 圖

第4圖は  $I=i$  とした場合の合成ベクトル圖である。次に容量を決定するには合成電流に対する絶対値を求めねばならぬ。  $I=i$  として

$$I_1 = I \frac{1}{22} (22 - j 3\sqrt{3}) = 1.03 I$$

$$I_2 = I \frac{1}{22} (j 6\sqrt{3} + j \sqrt{3}) = 0.55 I$$

$$I_{La} = I \frac{1}{22} (-22 - j 3\sqrt{3}) = 1.03 I$$

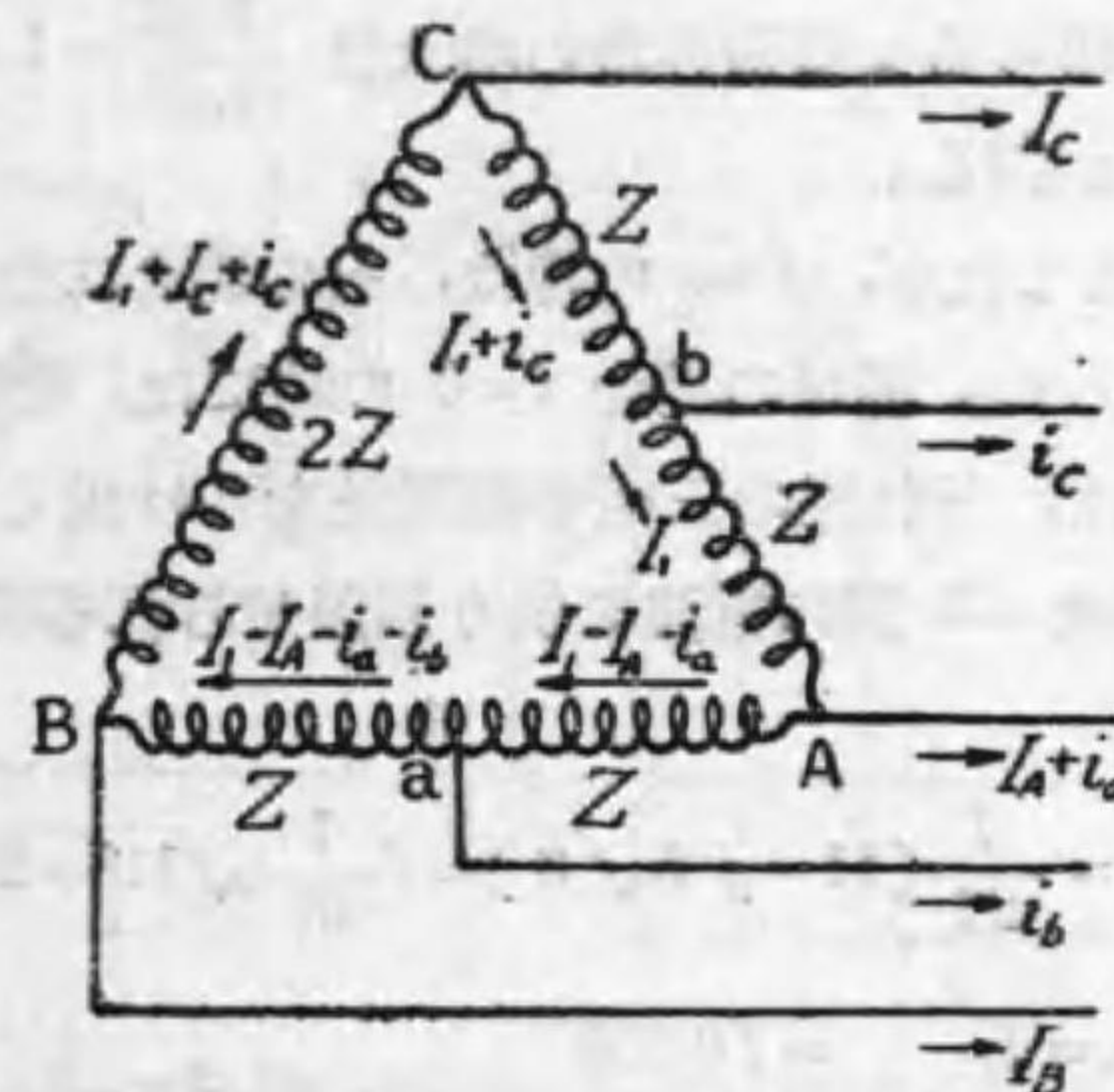
$$I_{AB} = I \frac{1}{22} (-11 - j 4\sqrt{3}) = 0.59 I$$

$$I_{Cb} = I \frac{1}{22} (11 - j 4\sqrt{3}) = 0.59 I$$

$$I_{ab} = I \frac{1}{22} (j 12\sqrt{3}) = 0.941 I$$

今  $1.03 \approx 1$  とすれば、200 V 側の電流と 100 V 側の電流相等しき時、一等餘計に電流の流れるであろうと直観的に考へられる bA 間及 Aa 間には、200 V 或は 100 V 側の電流のみ流れると考へてよい。換言すれば共同線として使用してゐる A 點からの引出線  $I_A + i_a$  の 1/2 が Aa bA に流れる電流値となる。

更らに ab 間に變壓器を接続しない場合との容量比較を試みる必要がある。



第 5 圖

第5圖はこの爲めに畫いた接続圖である。この場合は bA, Aa 間の電流が最大である事は明であるから bA 間の電流のみを未知數として  $I_1$  を求めてみると、

$$I_1 = \frac{1}{6} (2 I_A - 2 I_C + 2 i_a + i_b - 3 i_c)$$

$$= \frac{I}{6} (3 - j\sqrt{3}) + \frac{i}{6} (3 - j 2\sqrt{3})$$

$$I_{La} = I_1 - I_A - i_a = \frac{1}{6} (-4 I_A - 2 I_C - 4 i_a + i_b - 3 i_c)$$

$$= \frac{I}{6} (-4 - 2\alpha) + \frac{i}{6} (-4 + \alpha^2 - 3\alpha)$$

$$= \frac{I}{6}(-3-j\sqrt{3}) + \frac{i}{6}(-3-j2\sqrt{3})$$

$|I_1| = |I_{1a}|$  であることが判る。又  $I=i$

$$\therefore |I_1| = \frac{I}{6}(6-j4\sqrt{3}) = \frac{I}{6} \times 9.2 = 1.53 I$$

即 200 V 或は 100 V 側負荷電流の 1.53 倍の電流が bA 或は Aa に流れる故、負荷はこの値で制限される。従つて ab 間に變壓器を挿入した爲めに得らるゝ負荷容量の増大は  $\frac{1.53}{1.03} = 1.49$ 、即約 50% の増大となる事が判る。

以上は  $I=i$  としたが、 $I \neq i$  の時は、その場合に應じて合成電流を計算せねばならぬ。極端の場合  $i=0$  の時には、變壓器の規定電流を  $I_T$  とすれば、どれ程の三相平衡電流をかけ得るかと言へば、この時は Cb 或は aB 間の電流に依り制限せられる故、 $I_{Cb}$  を求めると、

$$I_{Cb} = \frac{I}{22}(11-j5\sqrt{3}) = I \frac{1}{22} \sqrt{11^2 + 25 \times 3} = I 0.638$$

$$\therefore I_{Cb} = I_T = I 0.638$$

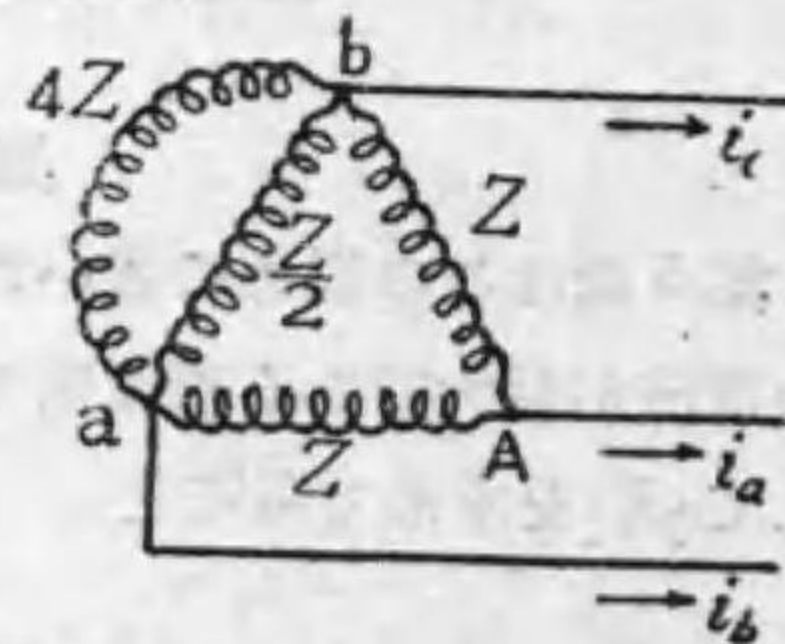
$$I = \frac{I_T}{0.638} = 1.57 I_T$$

普通ならば、即△接続ならば  $I = 1.73 I_T$  なるに却つて  $1.57 I_T$  しか負荷し得ない様な結果になるなども大變面白い現象である。

又  $I=0$  とすれば、第 6 圖の如く ab 間の  $\frac{Z}{2}$  に  $4Z$  なるインピーダンスが並列に結ばれた事と同様になり bA の電流は

$$i_{bA} = \frac{i}{22} \sqrt{11^2 + 4 \times 3} = 0.525 i$$

となり、 $I = \frac{I_T}{0.525} = 1.9 I_T$



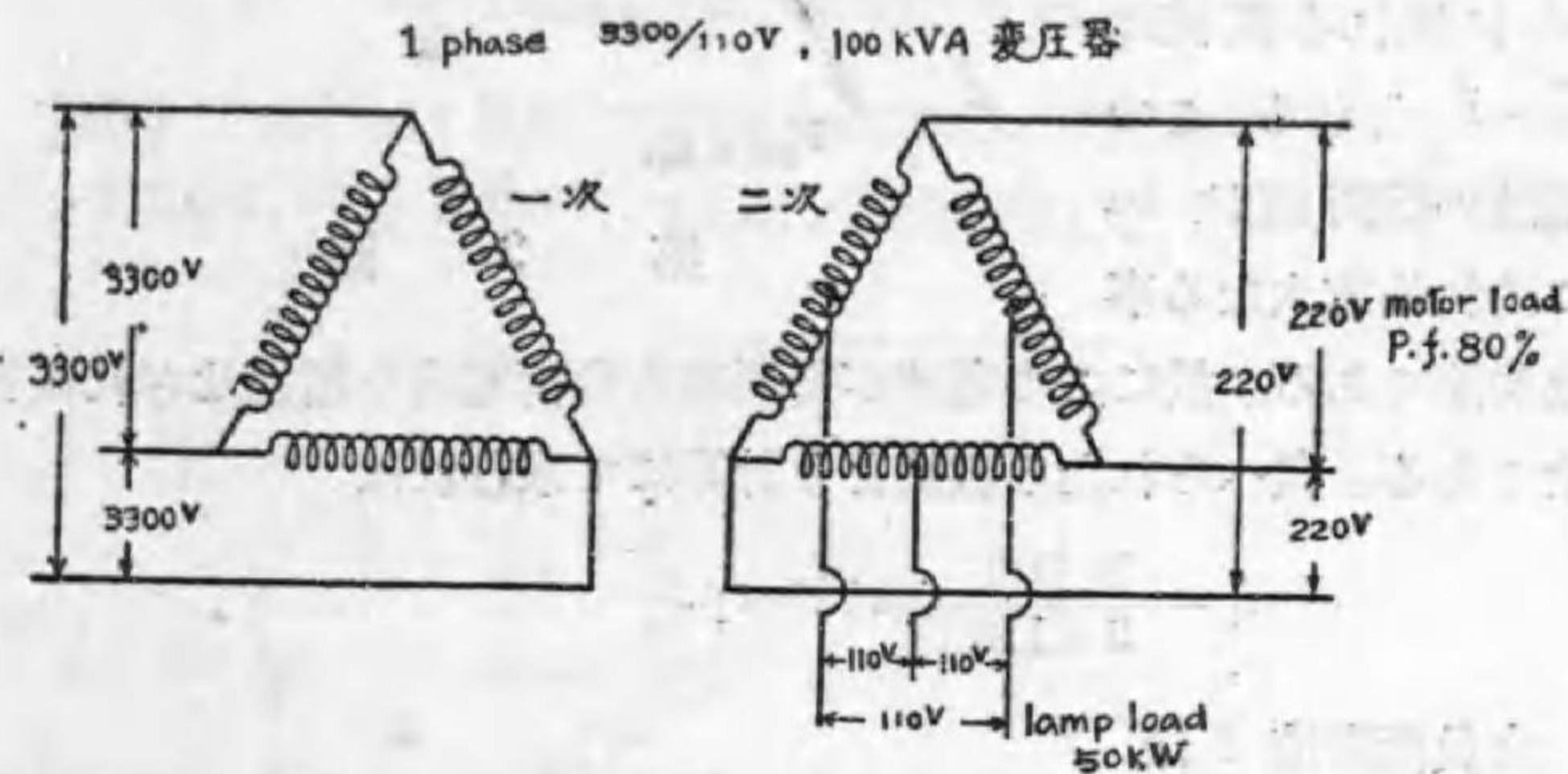
第 6 圖

$$\therefore \frac{1.9-1.73}{1.73} \times 100 \approx 10\%$$

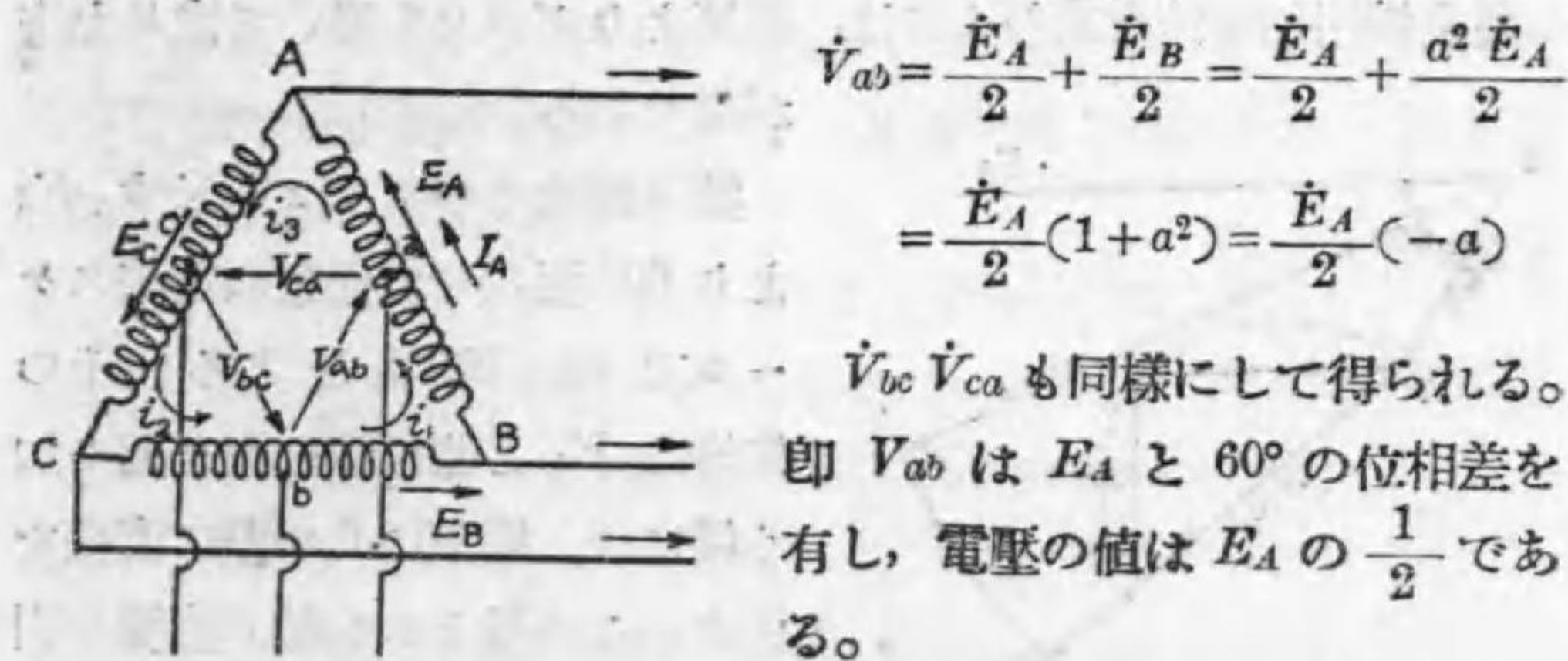
約 10% の kVA 容量大となる。

### 三角結線二電壓變壓器法の負荷

【問】 圖の如く单相變壓器 3 臺を△に接続し、110 V 側に 50 kW の三相平衡電燈負荷をかける時、220 V 側に何 kW の電動機負荷をかけ得るか。算式御教示下され度候。



【解】 ベクトルを畫く關係から二次側のみを改めて畫く。第 2 圖はそのベクトル圖である。

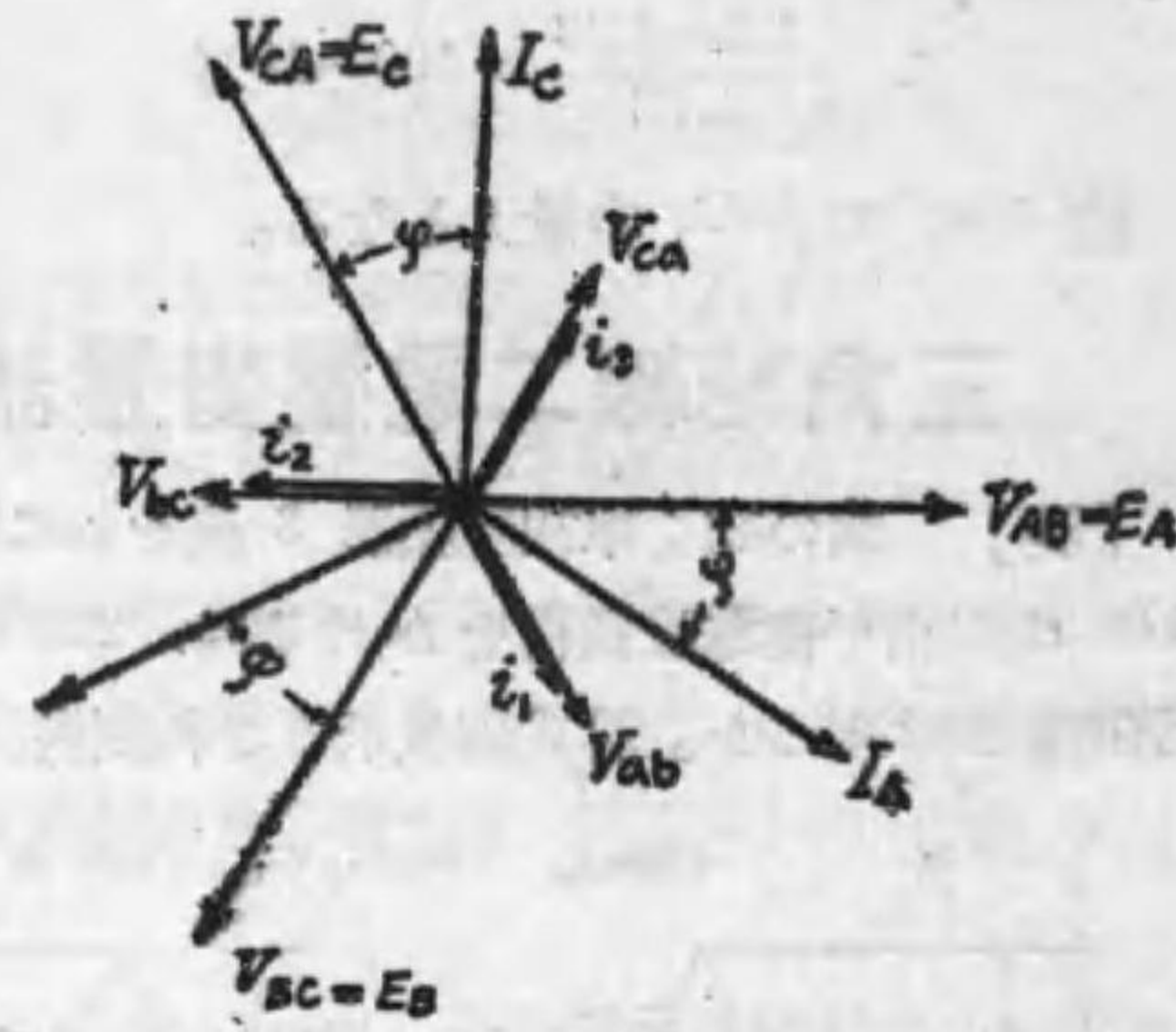


$$\begin{aligned} \dot{V}_{ab} &= \frac{\dot{E}_A}{2} + \frac{\dot{E}_B}{2} = \frac{\dot{E}_A}{2} + \frac{a^2 \dot{E}_A}{2} \\ &= \frac{\dot{E}_A}{2}(1+a^2) = \frac{\dot{E}_A}{2}(-a) \end{aligned}$$

$\dot{V}_{bc}$   $\dot{V}_{ca}$  も同様にして得られる。即  $V_{ab}$  は  $E_A$  と  $60^\circ$  の位相差を有し、電圧の値は  $E_A$  の  $\frac{1}{2}$  である。

次に電燈負荷は  $V_{ab}$  に對し同相であるから、これに依り流れる電流を  $i_1$  とした。他の  $i_2$   $i_3$  も同じ

である。電動機負荷の相電流を  $I_A$  とすれば、これは題意に依り  $\cos \varphi = 0.8$  の遅相電流である故第 2 圖の如くなる。従つて變壓器の Ba に流れる電流は  $i_1 + I_A$ 、aA に流れる電流は  $i_2 + I_A$  となる。この電流の絶対値は Ba に流れる方大なる事



第 2 圖

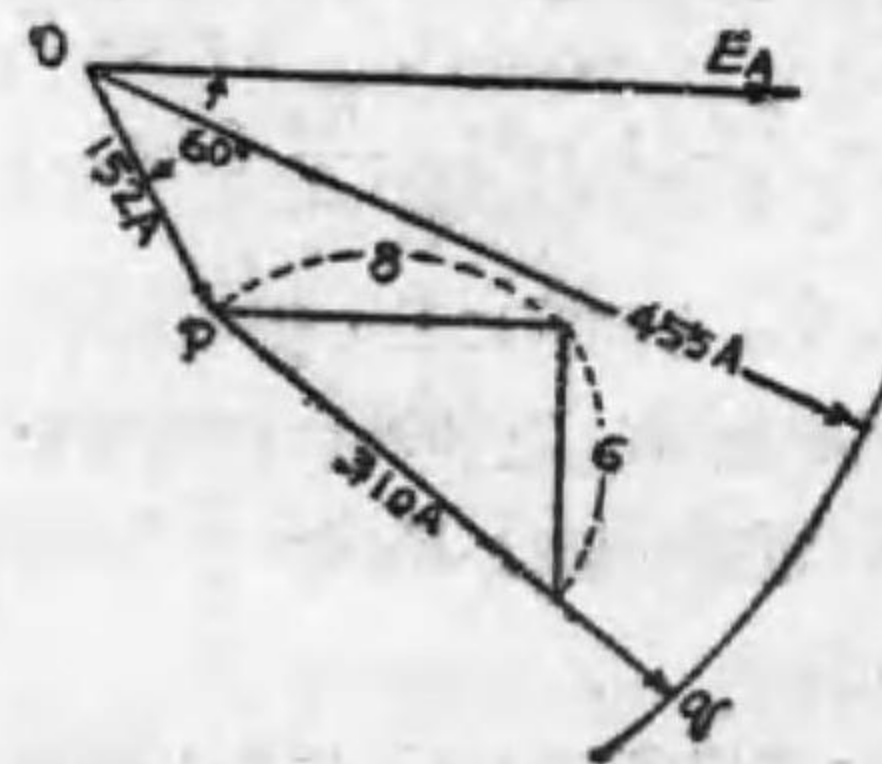
は勿論である。故にこの電流が變壓器全負荷電流を超過せざれば安全である。與へられたる數値より計算にて求むれば

$$i_1 = \frac{50\,000}{3 \times 110} \doteq 152 \text{ amp.}$$

全負荷電流  $I$  は

$$I = \frac{100\,000}{220} \doteq 455 \text{ amp.}$$

電動機用相電流を求むるには、計算よりグラフを畫いて求めた方が楽である。



第 3 圖

第 3 圖はそのグラフを示す。  $E_A$  より  $60^\circ$  遅らせて任意の電流スケールで  $op = 152 \text{ A}$  をとる。その先端に  $E_A$  と並行線を引き圖の如く横に 8、縦下に 6 の割に直線を引き、この点と P を結ぶ直線を引き、この直線が半径 455 A で畫いた圓弧と交る點を q とすれば、

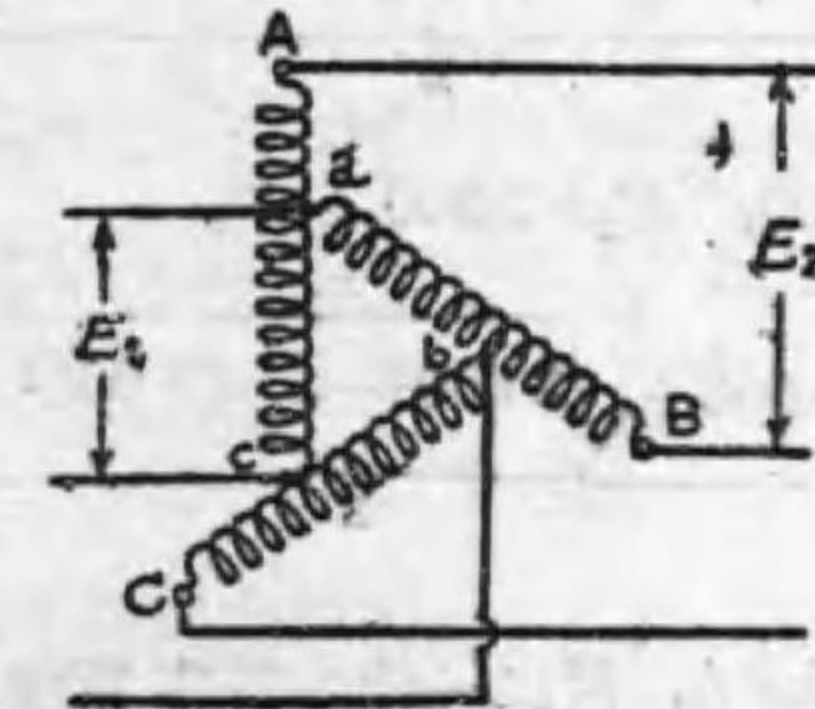
$PQ$  が求むる電流である。この長さを電流スケールで計れば 310 A を得る。従つて許し得る電動機 kW 數は

$$\frac{220 \times 310 \times 0.8 \times 3}{1\,000} \doteq 164 \text{ kW}$$

尙若し配線の複雑を厭はず電燈負荷を單相三線式三組として使用する時は若干異なる。これに就いてはオーム昭和 8 年 7 月號 385 頁に山田禎三氏の論文があるから参照されたい。

### 單捲三相變壓器出力

【問】 圖の如き單捲三相變壓器がある。變壓器容量 500 kVA,  $E_1 = 3\,000 \text{ V}$ ,  $E_2 = 3\,300 \text{ V}$  である。出力を求む。

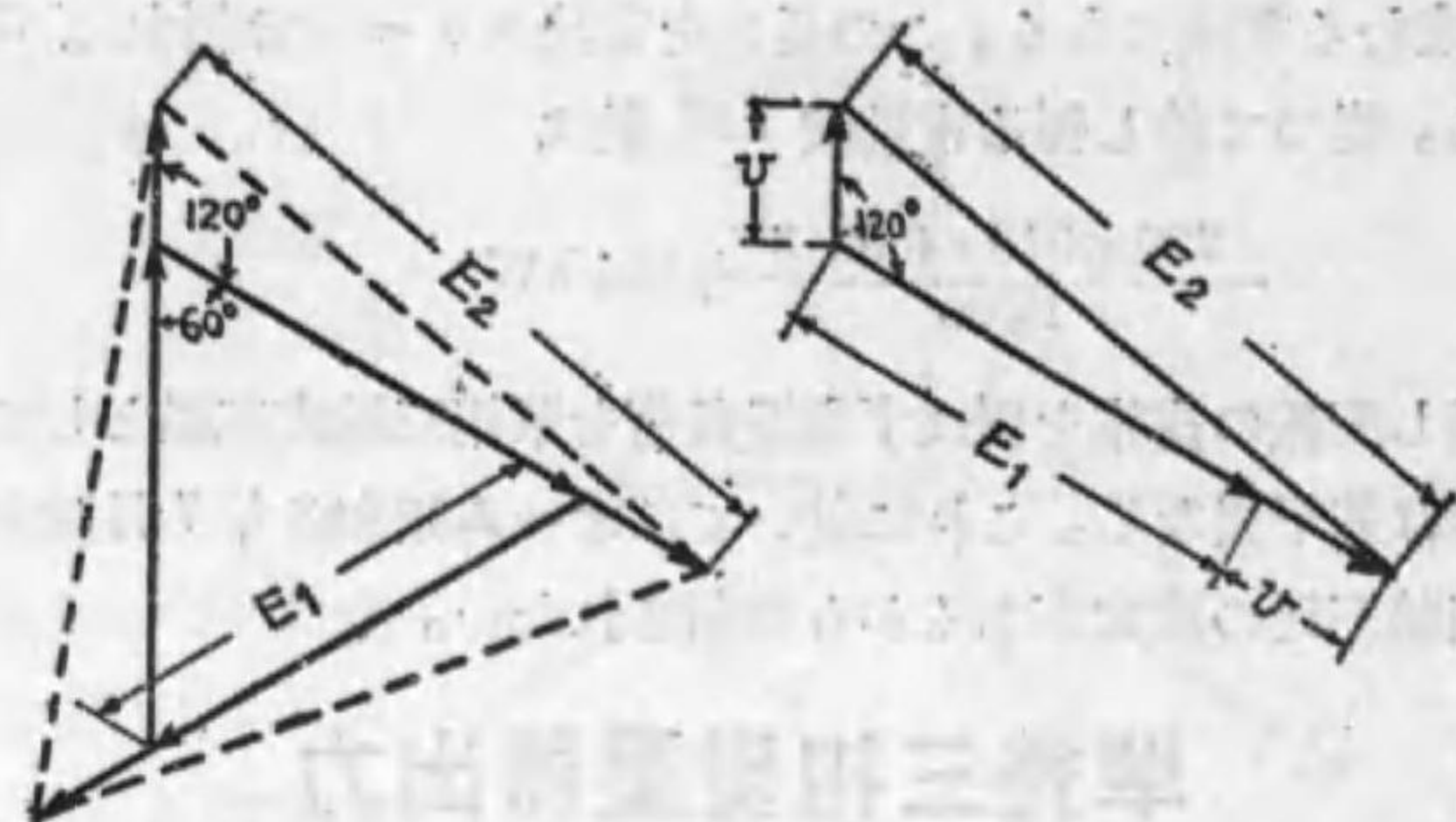


【解】 變壓器容量は Aa, Bb 又は Cc 間の電壓 × 電流を示す事勿論である。故に先づ Aa 間の電壓を求めめる必要がある。第 1 圖は  $E_1, E_2$  間の電壓關係を表したベクトル圖で第 2 圖はその一相を示したものである。第 2 圖より

$$\begin{aligned} E_2^2 &= (E_1 + v)^2 + v^2 - 2(E_1 + v)v \cos 120^\circ \\ &= (E_1 + v)^2 + v^2 + (E_1 + v)v \\ &= E_1^2 + v^2 + 2E_1v + v^2 + E_1v + v^2 \\ &= 3v^2 + 3E_1v + E_1^2 \end{aligned}$$

$$\therefore 3v^2 + 3E_1v + E_1^2 - E_2^2 = 0$$

$$v^2 + E_1v + \frac{E_1^2 - E_2^2}{3} = 0$$



第 1 圖 第 2 圖

$$\therefore v = \frac{-E_1 \pm \sqrt{E_1^2 - \frac{4}{3}(E_1^2 - E_2^2)}}{2}$$

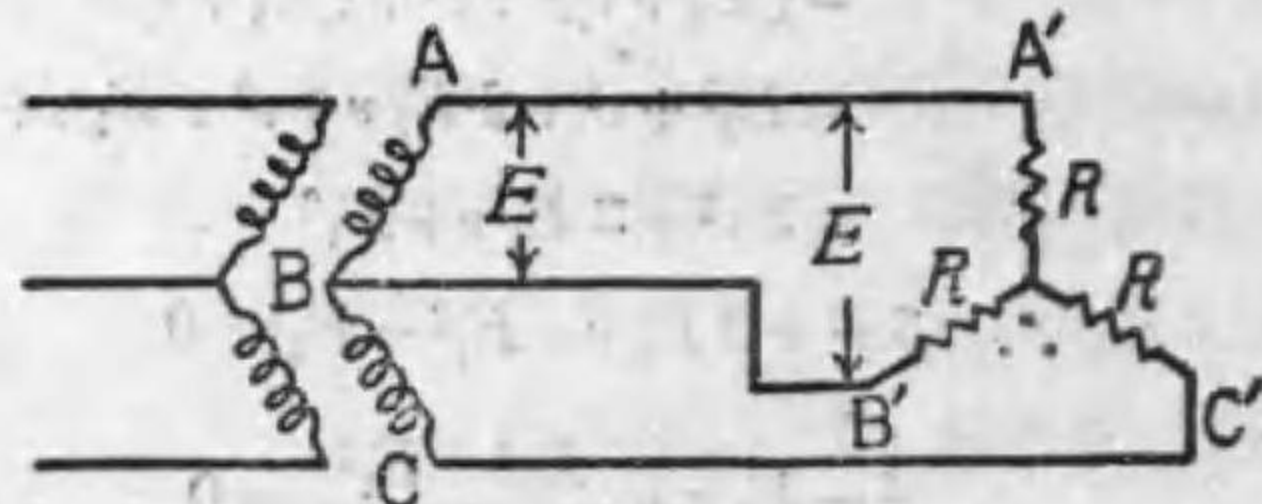
$$E_1 = 3000, E_2 = 3300$$

$$\therefore v = \frac{-3000 \pm \sqrt{3000^2 - \frac{4}{3}(3000^2 - 3300^2)}}{2} = 200$$

變壓器容量は 500 kVA, 故に一相の許容電流は  $\frac{500 \times 1000}{3} + 200 = \frac{2500}{3}$  A 従つて出力は  $\frac{\sqrt{3} \times 3300 \times 2500}{1000 \times 3} = 4763$  kVA

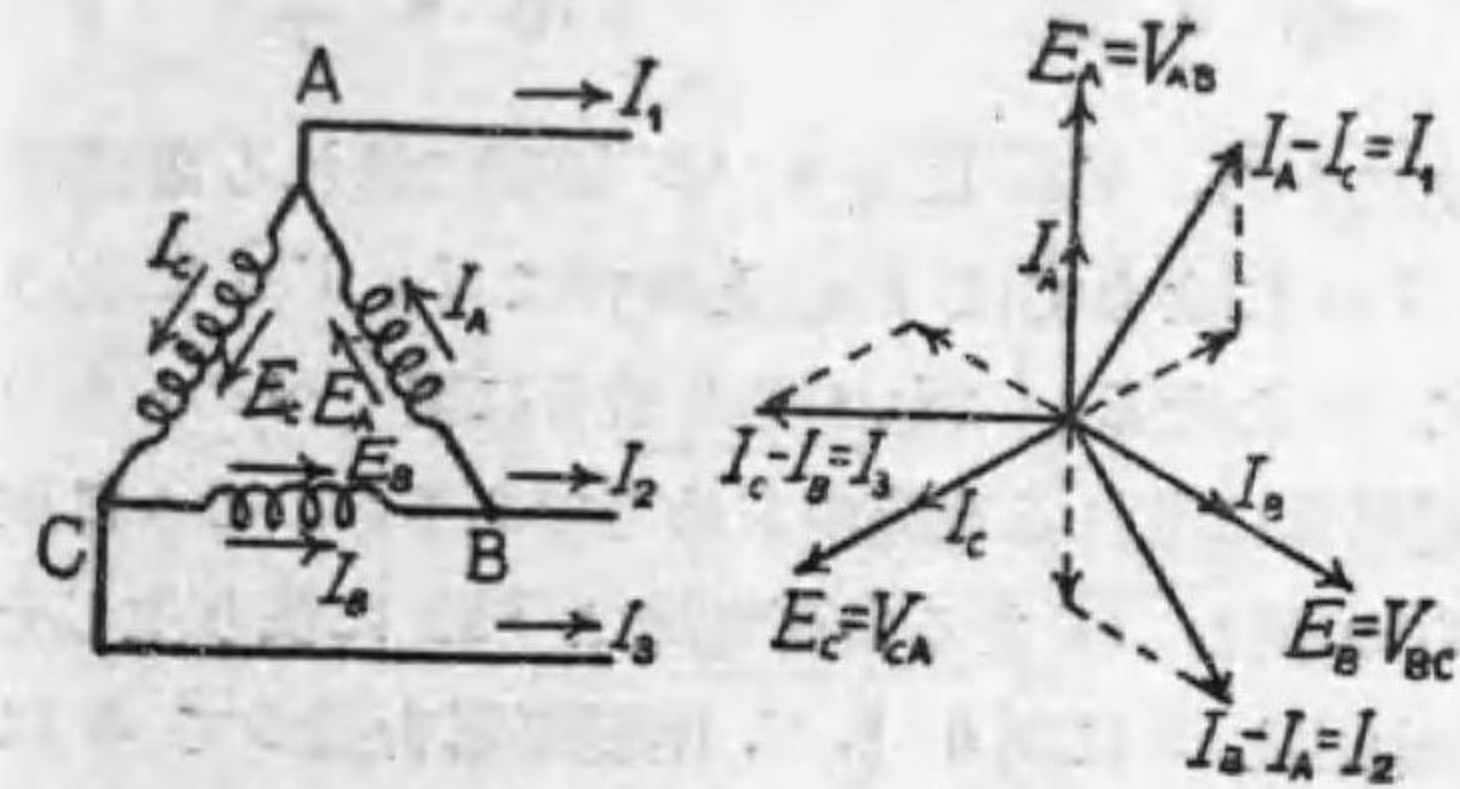
### V 接 続 の 容 量

【問】 今容量 EI なる単相變壓器を圖の如く接続して平衡三相抵抗負荷に供給せんとす。圖に於て AC 間の電圧は變壓器内のインピーダンス降下により他相の電圧より小



さいと云ふが、普通平衡するものと見做す。然る時線路の損失を無視し得るとすれば電源側の電力は  $2EI$ , 負荷側のそれは  $\sqrt{3}EI$ , 即ち  $2EI = \sqrt{3}EI$  といふ不合理な結果となる。その理由如何。數式を以つて御説明を乞ふ。

【解】 V 接続に於ける變壓器負荷耐量の減少を考慮されない結果から來るものである。變壓器を 3ヶ△に接続する時は、相電流即變壓器電流は線路電流の  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  に等しく、その位相は  $30^\circ$  異なつて



第 1 圖 第 2 圖

るものである。然るに變壓器 2ヶを V に接続する時は、變壓器内に線路電流流る事になり、負荷の力率が 100% でも恰も力率 86.6%

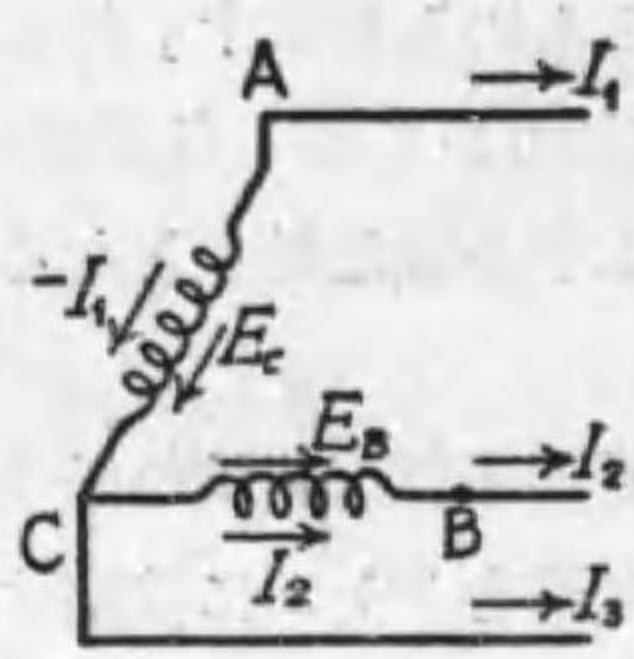
の負荷をかけた場合と同様になるのである。次にベクトルを書いてこれを説明しよう。

第 1 圖は△△接続の二次側の起電力及電流の方向を假定したもので、それに対するベクトルが第 2 圖である。第 2 圖より  $|\dot{I}_1| = |\dot{I}_2| = |\dot{I}_3| = I$  と  $|\dot{I}_A| = |\dot{I}_B| = |\dot{I}_C| = I_0$  との間に  $30^\circ$  の相差を有する事が解るであらう。次に△△接続より變壓器 1 個を取除けば V 接続である。

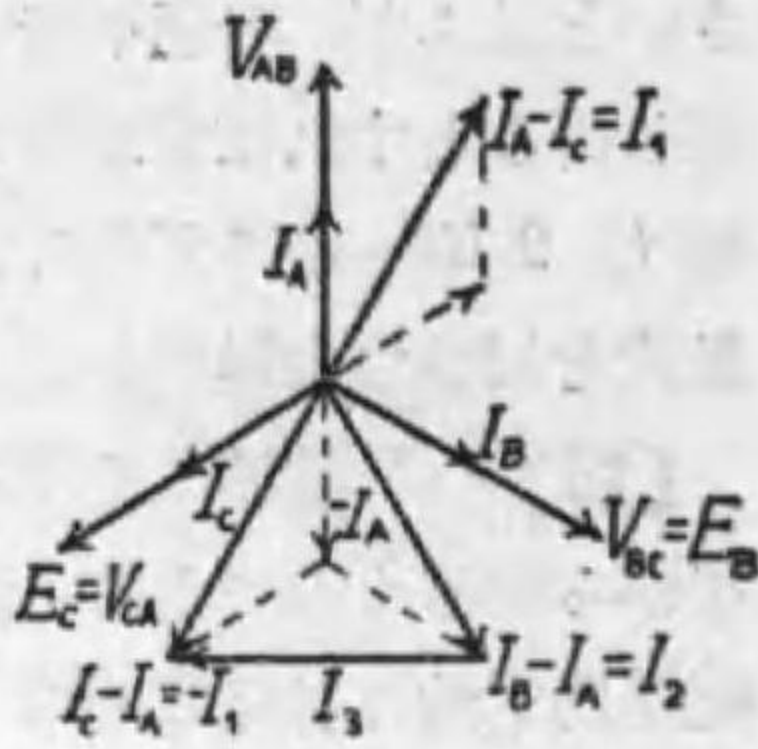
第 3 圖は  $E_A$  に相當する A 變壓器 1ヶを取り除いた場合の電壓電流の方向を假定したもので、第 4 圖はそのベクトル圖である。このベクトルは解つた様で解らぬものであるが、次の様にして畫いたものである。變壓器は二次負荷に對し發電機作用を有するものである。従つて  $E_B, E_C$  の値及方向は V 接続になつても毫も變化しない。従つて ABC 間の線間電圧は、 $V_{AB} = -(\dot{E}_B + \dot{E}_C)$ ,  $V_{BC} = E_B$ ,



$V_{CA} = E_C$  となり何れも相等しい。(インピーダンス降下は閑却す) 第4圖の  $V_{AB} V_{BC} V_{CA}$  はかくして畫かれる。次に負荷電流であるが、負



第 3 圖



第 4 圖

荷は純抵抗負荷であるから、 $V_{AB}$  により AB 線間に流れる電流は  $V_{AB}$  に同相に  $I_A$ 、 $V_{BC}$  によりは  $V_{BC}$  と同相に  $I_B$ 、 $V_{CA}$  によりは  $V_{CA}$  に同相に  $I_C$  となる。これが第2番目に畫くベクトルである。次に電源即變壓器に流れる電流の求め方であるが、こゝに注意しておかねばならぬ事は、 $I_A$  なる負荷電流は  $V_{AB}$  に依り生じその電流は A より流れ出し B に戻り B, C, 兩變壓器を通つて A に行くものである。若し A なる變壓器存在すれば A 變壓器を通り B より A に流れるのであるが、A 變壓器がないので、A 變壓器の代りに B, C 兩變壓器を通つてゆくのである。従つて B 變壓器は、自分自身の電流即  $V_{BC}$  と同相の電流  $I_B$  と、 $I_A$  とのベクトル差が變壓器電流となり、その値は  $I_B - I_A = I_2$  となる。C 變壓器でも同様に  $V_{CA}$  と同相の電流  $I_C$  と、 $I_A$  とのベクトル差、 $I_C - I_A = -I_1$  がその電流でなければならぬ。之が第4圖で第3番目に畫くベクトルである。茲に  $I_C - I_A = -I_1$  である事は  $I_A - I_C = I_1$  より考へて明かである。

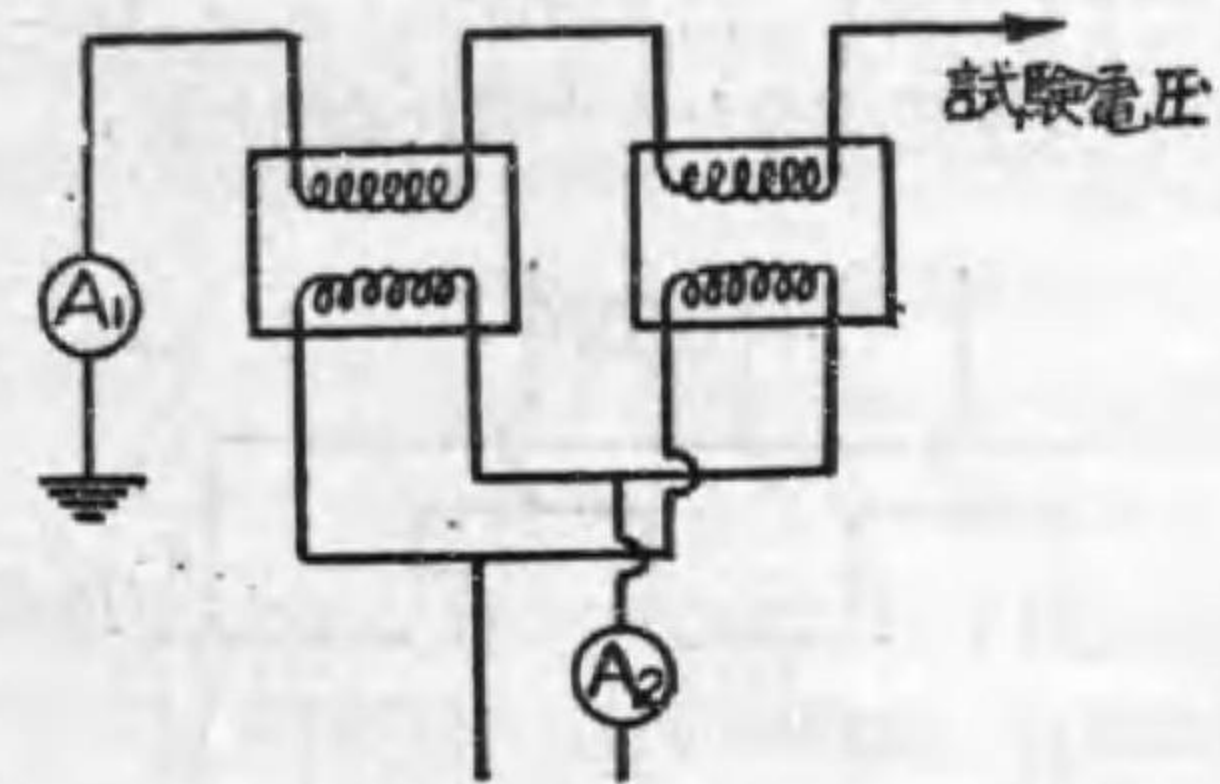
以上の様にして變壓器を V に接続する時は、圖の様に純抵抗負荷即力率 100% のものでも、變壓器内の電流は線間電圧と  $30^\circ$  の相差を生じ電力は  $V_l I_l \cos 30^\circ = V_l I_l \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 V_l I_l$  となる。但し  $V_l I_l$  は變壓器の VA 容量である。従つて問の場合では、 $2 EI = \sqrt{3} EI$  は誤りで  $2 EI \cos 30^\circ = \sqrt{3} EI$  でなければならぬ。即ち

$$2 EI \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} EI$$

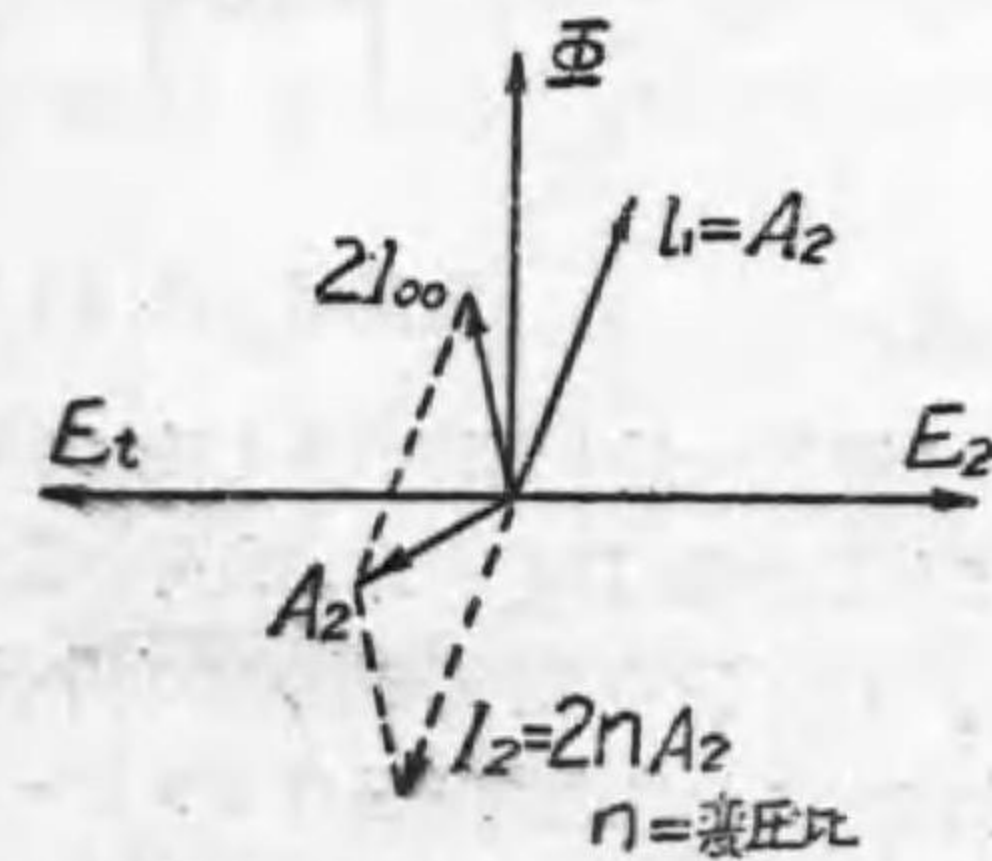
となり何の不都合も生じないのである。

### 絶縁耐力試験と變壓器電流

【問】 圖の如き接続にて絶縁耐力試験をなす際に、 $A_1$  及  $A_2$  に於ける電流の関係、即ち變壓器の勵磁電流と充電電流との関係に付御説明被下度候。



【解】 これは變壓器の二次側に蓄電器を結んだ場合である。従つて負荷電流は  $90^\circ$  に近い進み電流となるであらう。次のベクトル圖は一次電流 ( $A_2$ ) と勵磁電流及充電電流 ( $A_1$ ) との關係を示すものである。但し變壓器は2箇共同じもので變壓比を  $n$  とし、勵磁電流を  $I_{00}$  とした。



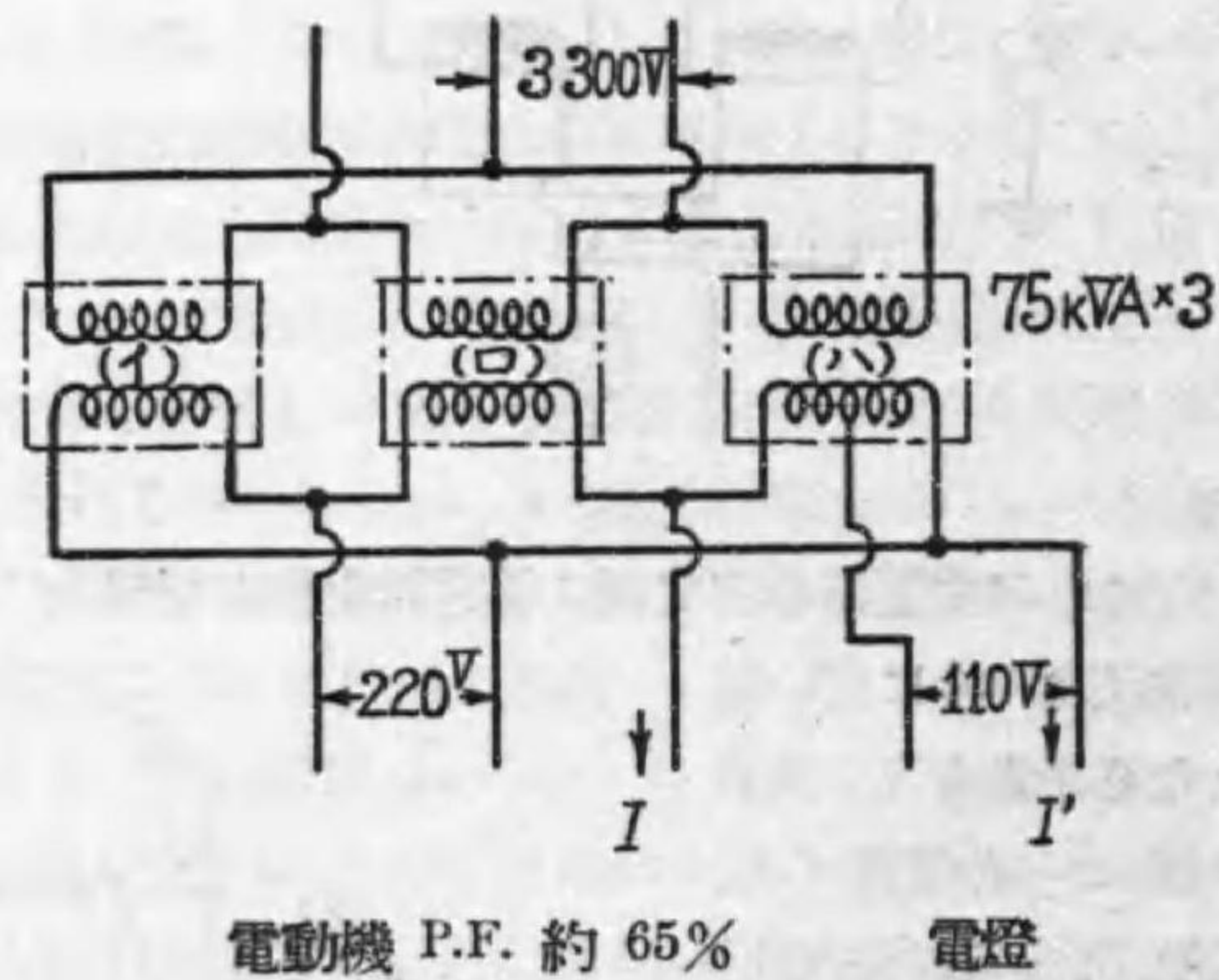
若し  $\theta$  が完全に  $90^\circ$  即蓄電器に全然損失なく且  $I_1$  が變壓器1個の磁化電流の2倍に等しい時は、變壓器一次供給電流は單に變壓器の鐵損のみを供給する有効電

流のみでよい。然し実際には蓄電器にも損失あり、殊に送電線の如きは相當の漏洩損失あるもの故  $A_2$  の値は今少し大きい。筆者等はこれを實驗（蓄電器負荷）に就いても確めた。

此れ以外の時は圖の如きベクトルを畫いて  $A_2$  の値を求む可きである。

### △結線より單相負荷

【問】 單相變壓器 3 個を下圖の如く接続して、動力、電燈及其他に同時に配電するに當り、二次側電流  $I$  及  $I'$  はこの容量の變壓器に對して如何なる値迄安全なるや御教示願上候。



【解】 最も電流の多く流れるのは、變壓器（ハ）の右側の捲線である。即 110 V 單相負荷の電流は、この部分に  $\frac{5}{6}$  流れ、残り  $\frac{1}{6}$  は、（ハ）變壓器捲線の左半分及（ロ）（イ）變壓器を通つて流れる。これは負荷電流はインピーダンスに逆比例して流れるから當然からなる。（オーム昭和 8 年 2 月號誌上選試模擬試験問題解答（3）参照）故に（ハ）變壓器の右半分の捲線に流れる電流は、三相負荷が平衡してゐるものとすれば、

$$\sqrt{\left\{ (I_0 \times 0.65) + \frac{5}{6} I' \right\}^2 + \left\{ I_0 \sqrt{1 - 0.65^2} \right\}^2}$$

となる。但し  $I_0 = \frac{I}{\sqrt{3}}$  この電流が  $75 \times 1000 / 220$  を超過せぬ値であればよい。

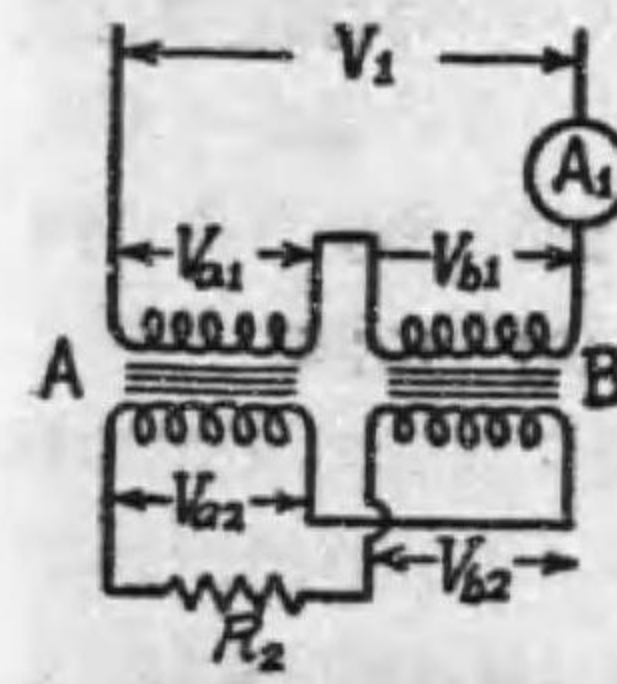
### 定 電 壓 變 壓 器

【問】 芝浦製水銀整流器附屬の抵抗真空計に使用してある定電壓變壓器に就いて、構造、理論、特性等御教示願ひます。

【解】 芝浦製作所技術部に問合せた所詳細なる御返事に接した。こゝに感謝の意を表すると共に之れを以つて解と致します。

この装置は電源電圧が著しく變化しても二次端子電圧が殆んど一定電壓を保つ如く設計製作せられたものである。

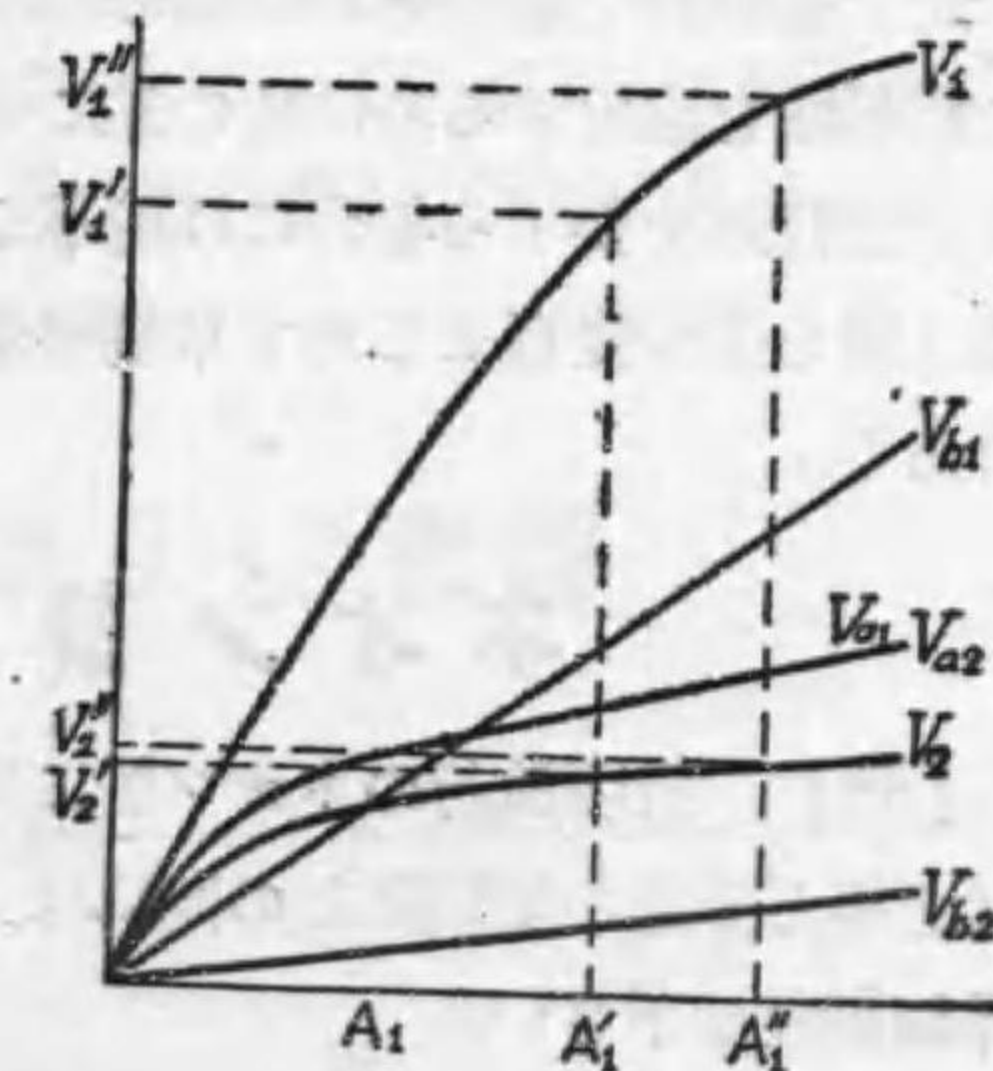
接続は第 1 圖に示す様に AB 2 箇の變壓器を用ひ、一次側は直列に、二次側は差動的に直列に結ぶ。A 變壓器は適當に磁氣飽和



第 1 圖 する

如く作られ、B 變壓器は之と反對に鐵心に空隙を有せしめ飽和せぬ様に作られてゐる。

この兩變壓器の作用は大體第 2 圖により了解し得られる。同圖は一次電流  $A_1$  に對する各端子電壓の變化を示したものである。A 變壓器の一次電壓二次電壓は飽和の爲め同圖  $V_{a1} V_{a2}$  に示す様に屈曲



第 2 圖

してゐる。(圖に於ては簡單の爲め變壓比を1とし、且つ變壓器自身の電壓降下を閉却し同一曲線に示した)次にB變壓器の一次電壓は $V_{b1}$ 、二次電壓は $V_{b2}$ で示す様に直線をなしてゐる。一次側全電壓 $V_1$ は大體 $V_{a1}$ と $V_{b1}$ の和で圖示の如く電流 $A_1$ に對し著しく電壓が變化するが、二次電壓は $V_{a2}$ と $V_{b2}$ の差になる様に結んである爲め $V_2$ なる曲線に示す様に上部は水平になつてゐる。従つて一次側電壓が $V_1'$ より $V_1''$ に變化した時一次電流は $A_1'$ より $A_1''$ に變化するものであるが、二次電壓は $V_2'$ より $V_2''$ に變化するだけでその變化は極めて小さい値となるのである。

實際の作用は鐵心の磁氣飽和を利用するのであるから波形の變化の爲め、電壓は上述の様に單なる代數和にはならないし、又負荷抵抗 $R_2$ の影響も相當にあるが、實際の製品に就いての試験結果は次表に示す通りである。

一次側電壓	150	160	170	180	200	220	230
二次側電壓	98	100	101	101	101	101	101.5
一次側電壓	240	250	260				
二次側電壓	102.5	104	105				

尙上述の如く鐵心飽和の爲めに二次電壓波形は變化するから、この變壓器を應用する際は此の點に充分の注意が必要である。尙是非共正弦波形を要する場合には簡単な濾波器にて目的を達し得る。亦第1圖を多少變形せしめて單捲變壓器接続にしてもその働きは同じである。

## ネオン管用變壓器

【問】 近頃流行のネオン管に用ふる變壓器には二種類があり、又之等と普通の變壓器との間には大いに異なつた點がある。夫等を詳細御教示下さい。

【解】 元來ネオン管負荷は、負の抵抗特性を有してゐる。即ネオン管に一定電壓を與ふれば、放電を始め、放電が始むれば抵抗を

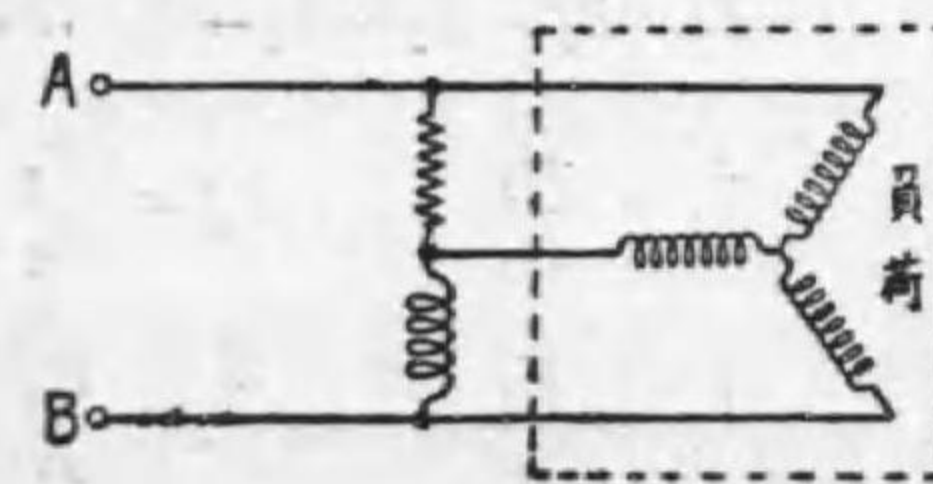
減じ益々放電を増加し遂に短絡される事になる。これは非常に早く行はれるから點火と同時に短絡されたと同様の結果となり、供給電源側の遮斷器を働かせしむるものである。故に此の缺點を除く爲め正の抵抗特性を與ふるのであるが、この正の抵抗特性が割合に小さく、正負の兩特性があまり接近してゐると、ネオン管の負荷状態は不安定となり、光輝にチラツキを生ずる様になる。故にネオン管の回路には相等に大きい正の抵抗特性を必要とする。この爲めには變壓器の一次側に普通の抵抗及びリアクタンスを持たせるのである。一般には後者が廣く用ひられ、更らに之れにも二つの方法がある。その一つは變壓器一次捲線と二次捲線との間に、出来るだけ多くの漏洩リアクタンスを持たせる様に特に設計するのである。今一つは變壓器は普通の設計とし、變壓器の一次側に、變壓器とは別にリアクトルを挿入する方法である。この兩方式にはそれぞれ特長があり時と場合に應じて適當に取捨さるべきものである。

現今ネオン管用としての標準型變壓器は、一次100/200V、二次12000Vで、之で普通のネオン管10米前後迄差支なく、又ネオン管に流れる電流は20ミリアムペア前後のものである。

尙變壓器捲線は一次二次間の混觸豫防に注意してあり、且つ取扱輕便、重量輕減等の目的の爲めコンパウンドを填充して絶縁油の代用としてある等普通の變壓器と異なり、寧ろ計器用變壓器に似てゐるものである。

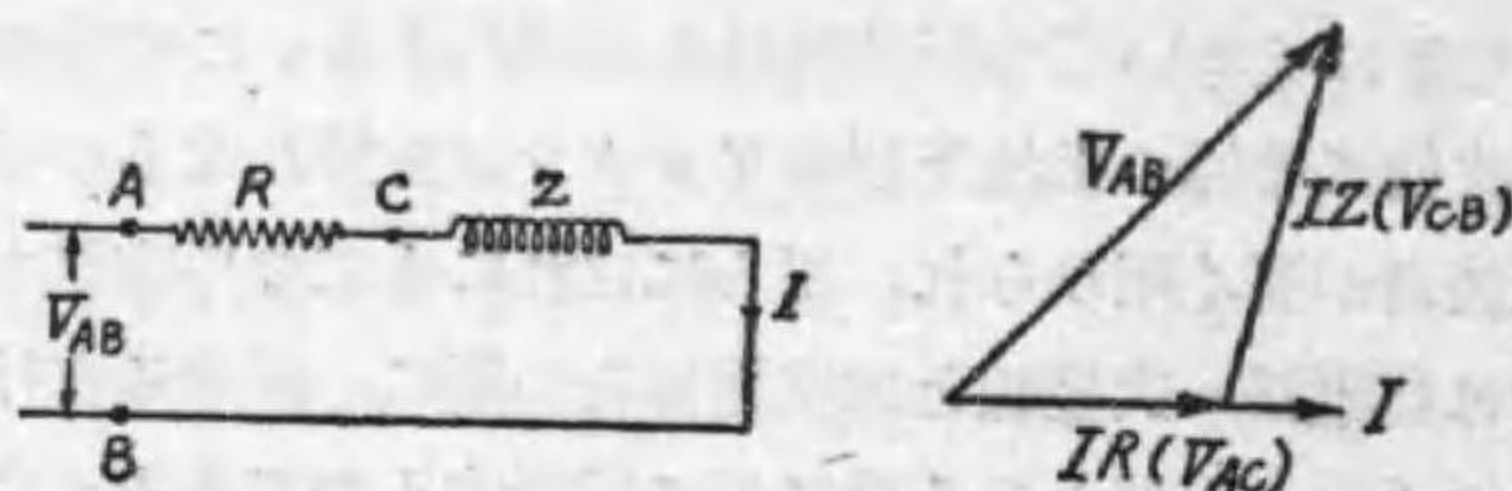
## モノサイクリック装置

【問】 圖に於てAB端に單相交流を通ずる時負荷に三相交流の流るる理由を數式的に教へて下さい。



【解】 この方法は現今扇風機等小型单相誘導電動機の起動に利用されてゐるものである。モノサイクリック装置(Monocyclic devic)なる名稱は Steinmetz 氏に依り名づけられたものである。次にその原理を説明する。

今抵抗  $R$ 、インピーダンス  $Z$  なる二つのコイルを直列に結び、これに单相交流を通じた場合のベクトル圖は次の如くなる。



第 1 圖

第 2 圖

このベクトル圖より明な通り、 $V_{AC}$ 、 $V_{CB}$  及  $V_{BA} = (-V_{AB})$  は閉三角形を形成し、不平衡作ら三相關係を有してゐる事が解る。従つて A, B, C 點に負荷をつなげば三相交流に近いものが流れるのである。然し負荷電流が  $R$

及び  $Z$  をも流れるから上のベクトル圖も變化する。質問者の要求は此の點の數學的説明であらうと思ふ。

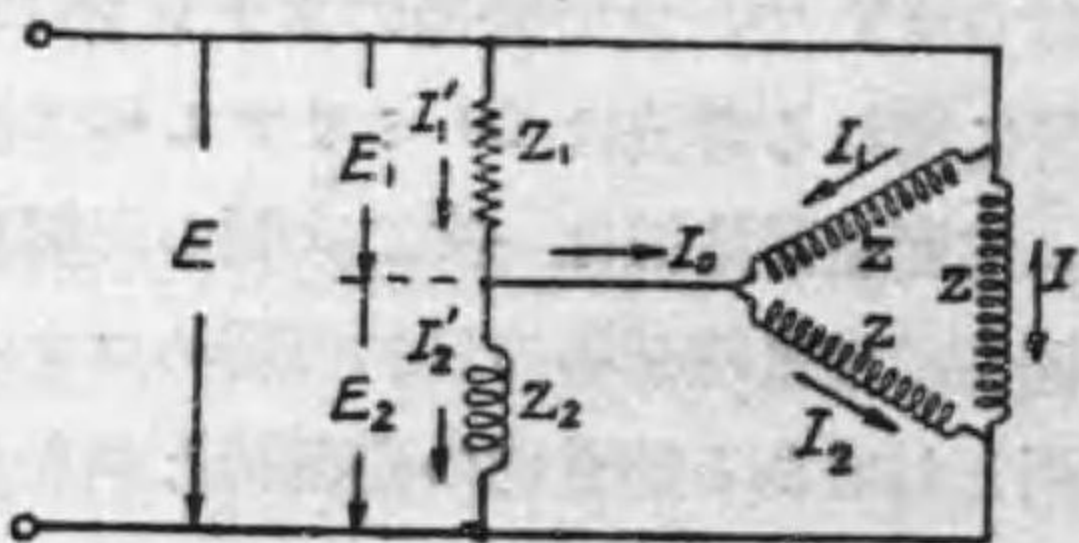
第 3 圖は問の圖に於てインピーダンス  $Z$  の Y 接続

を等價  $\Delta$  接続に改めたに過ぎない。かくして各部の電壓電流インピーダンスを圖示した様に定めれば、

$$\dot{I}_0 = \dot{I}'_1 - \dot{I}'_2 = \dot{I}_2 - \dot{I}_1 \dots\dots\dots(1)$$

$$\dot{I}'_1 = \frac{\dot{E}_1}{Z_1} \quad \dot{I}'_2 = \frac{\dot{E}_2}{Z_2}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1}{Z} \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{Z}$$



第 3 圖

(1) 式に代入して

$$\frac{\dot{E}_1}{Z_1} - \frac{\dot{E}_2}{Z_2} = \frac{1}{Z} (\dot{E}_2 - \dot{E}_1)$$

$$\dot{E}_1 \left\{ \frac{1}{Z_1} + \left( -\frac{1}{Z} \right) \right\} = \dot{E}_2 \left( \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z} \right)$$

$$\frac{\dot{E}_1}{\dot{E}_2} = \frac{Z_1(Z+Z_2)}{Z_2(Z+Z_1)} = m(\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

この  $\varphi$  が  $E_1$  と  $E_2$  との間の相差角である。この  $\varphi$  が若し  $120^\circ$  になり、 $|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2|$  即ち  $|m| = 1$  となれば立派に平衡三相電壓となる。但しこの爲めには、 $Z_1$  に容量性リアクタンス即ち蓄電器を有せしめねば駄目である。尙最後の式は、 $Z_1 Z_2 Z$  に各々複素数を入れて計算し、複素数の答を出し、これより  $\cos \varphi$  及び  $\sin \varphi$  を求め得るものである。

### 變壓器層間耐壓試験

【問】 電氣協會制定高級小型单相油入變壓器試験規格にて、層間耐壓試験規格は正弦波形にして 200 サイクル以上の周波数を有する標準二次電壓の 3 倍の電壓を二次端子間に加へて試験し、1 分間に耐ゆるものとす

となつて居ります。此の規格中下記事項に就き御教示下さい。

(1) 層間耐壓試験には高周波電力を使用してゐるが何故か。商用周波數 (50~60 サイクル) にて試験する方法なきや。

(2) 右試験中層間短絡したる場合には、使用中の指示計器に如何なる變化が起るか。

(3) 規格は二次側にのみ高周波電壓を加へる事になつてゐるが、一次側に加へる必要はないか。又加へなくとも可なりとすれば如何なる理由に依るものか。

【解】 質問者の意見を付度する事はどうかと思ふが、層間耐壓試験を、普通の大地對線輪或は、一次對二次線輪間の耐壓試験と混

同されてある様である。層間試験は飽く迄層間試験である。小型変圧器であるから構造上明な様に、二重綿巻線程度の絶縁電線を順次圓筒状に緊密に巻いてゆき、その上に絶縁紙を巻きその上に第二の線輪を巻いてゆく。かうしていくつもの層が重ね合はされて一次或は二次巻線が完成するのである。この重ね合はされた各層間の絶縁を試験するのであるから、各線輪に自ら起電力を誘起せしめ以つて耐圧試験を行ふより致し方はない。然して起電力を誘起せしむるには、一次か或は二次巻線に電圧を加へて鐵心を勵磁すればよいのであるが、定格電圧の3倍もの電圧を商用周波数の儘加へ得るか、否決して加へ得ない。即磁束が3倍となるを要するから鐵心は磁氣飽和し過大なる勵磁電流は巻線を焼損するに至る事は明である。故にこれに高周波電圧を加へるのである。變壓器の誘導起電力は周知の如く次式で表はされる。

$$E = 4.44 n f \Phi \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

$n$  は巻数、 $f$  は周波数、 $\Phi$  は磁束である。この式から、 $f$  を3倍にすれば同じ  $\Phi$  即同じ磁束密度でも  $E$  が3倍になる事が解る。これが層間耐圧試験に高周波電力を使用する理である。従つて質問の三要点も氷解される事と思ふが次に述べる。

(1) 上述の事より明かなり。普通周波数にては不能。

(2) 電圧を加へて居る低壓側に層間短絡を生ずれば、巻数減じたるため勵磁電流の値増大し且つ短絡部分が第三次巻線の如く働き入力にも増大を來たす。又高壓側のコイルの層間短絡を生じたる場合は、恰も普通の場合の變壓器二次短絡と同様となり一次負荷電流としての電流増大をも來たす故、電流甚だ大となる。

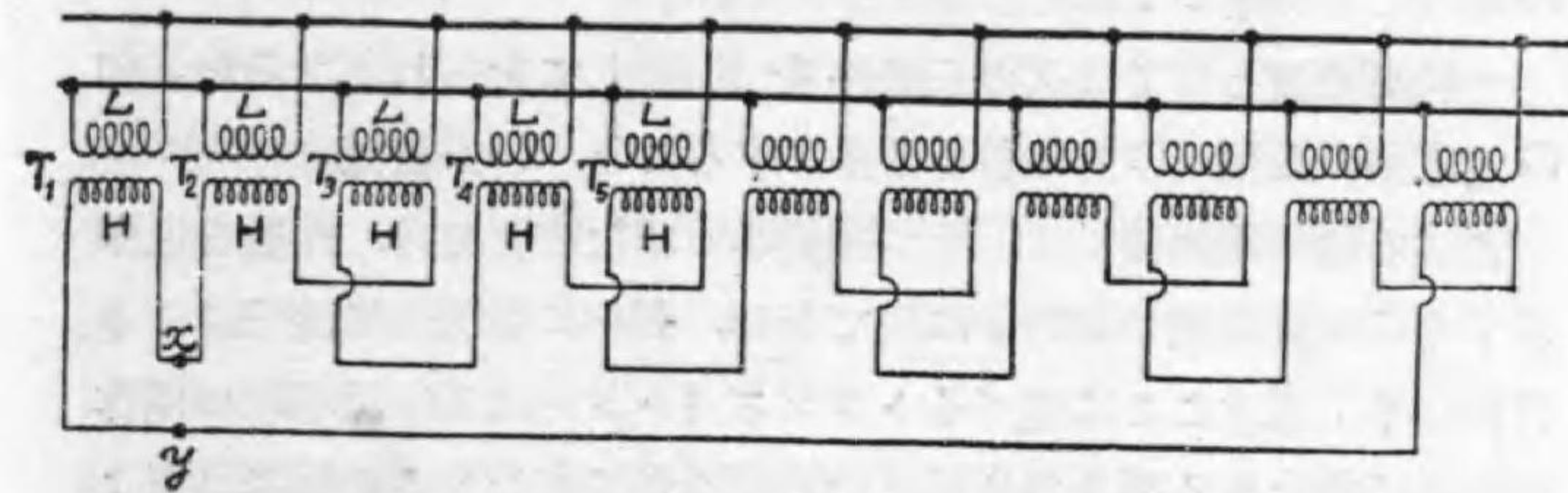
(3) 低壓側に電圧を與ふれば高壓側各線輪にも起電力誘起され同時に其の層間耐圧試験が行はれて居るもの故、別に高壓側に加へる必要はない。

## 變壓器拾數箇の返還負荷法

【問】 同一の單相變壓器拾數箇ある場合、之を實際に負荷する事なく、一時に負荷試験を行はんとす。如何なる方法が良いかを説明し且つ圖示せられたし。

【解】 圖に示す様に接続せられたらよろしからう。即  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, \dots$  の低壓側を何れも並列、高壓側を  $T_2, T_3$  を圖の如く並列接続の如くして一端を切り開くと、兩點間の電圧は零である。 $T_4$  と  $T_5$  を

電源； 定格周波数 定格電壓（低壓側）



同様にし、以下かくの如くして後これを直列に結べば最後の端子  $x, y$  兩點間に於ても矢張り電圧は零である。故に  $x, y$  間に、結ばれてある變壓器  $n$  箇に相當するインピーダンス電圧を加へてやればよい。但し  $T_1$  も同じ變壓器とすれば、若しインピーダンス電圧が10%ならば10箇、8%ならば12箇に對し高壓側電圧が丁度インピーダンス電圧に相當する故、總計11箇或は13箇の熱試験を同時に行ひ得る。若し負荷電流を調整したい時は、 $T_1$  變壓器のL或はH側の一端を切り離ちてこゝに加減抵抗器（普通は水抵抗器）を挿入すればよい。但し高壓側に入れる時は一端の接地を忘れてはならぬ。

又此の方法では無限に變壓器の数を増す譯にはいかぬ。インピーダンス電圧が高まりこれが變壓器の定格電圧より高くなる時は、負荷試験と同時に耐圧試験を受くることになるからである。従つて  $T_1$

變壓器1箇で丁度インピーダンス電圧になる如く選ぶのが一番よい。

### トランスバーター

【問】 Transverter の原理及構造特徴等を御教示下さい。尙寫眞がありましたら御掲載下さい。

【解】 トランスバーターは交流を送電に便利な直流に變ずる機械で、變壓器と變流機との兩作用をなすものである。以下簡単に原理と構造の概要を述べよう。但しこの機械は未だ試作研究時代のものたることを断つておく。

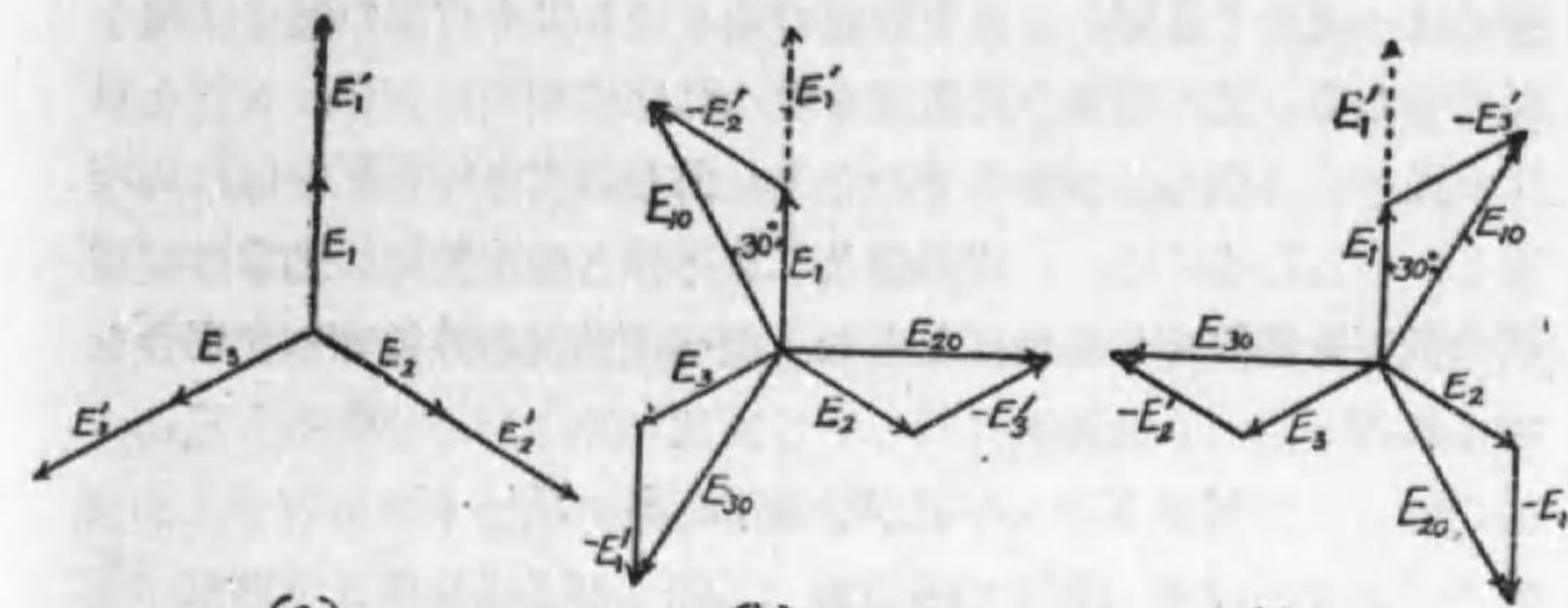
一體變流機としては次の三條件を具備してをらねばならぬ。即

(1) 電壓の變壓、(2) 相數を過多にすること、(3) 整流

普通の廻轉變流機では、先づ變壓器で望む電壓を得、相數を過多にするには變流機の發電子に於て行ひ、更らに整流は整流子により行はれる。處でここに述べるトランスバーターは(1)及(2)の兩作用を共に靜止せる數多の多相式の變壓器群で行ひ、この變壓器群より得た多相式電壓を靜止せる整流子に導き、この整流子上を刷子が小電動機により適當なる速度にて廻轉し整流作用を行ふのである。

先づ如何にして數多の變壓器群より非常な多相電壓を得るかに就て述べよう。説明を簡単にする爲め直ちに三相交流を用ひたものとする。第一番目の三相變壓器を一次側は各相一捲線とし、二次側を二捲線としてその二捲線より普通の方法即對角線型結線により六相式の電壓を得る。第二番目の三相變壓器は一次二次共二捲線とし、一次側は千鳥形結線、二次側は前同様にして六相を得る。然るにこの二次六相電壓は二次側二捲線の捲數比を適當に選べば第一番目の二次電壓に比して任意の遅れ或は進み位相にあらしめる事が出来るのである。例へば二捲線の捲數比を1即ち捲數を等しくすれば 30°の遅れの相或は進み相の電壓が得られる。

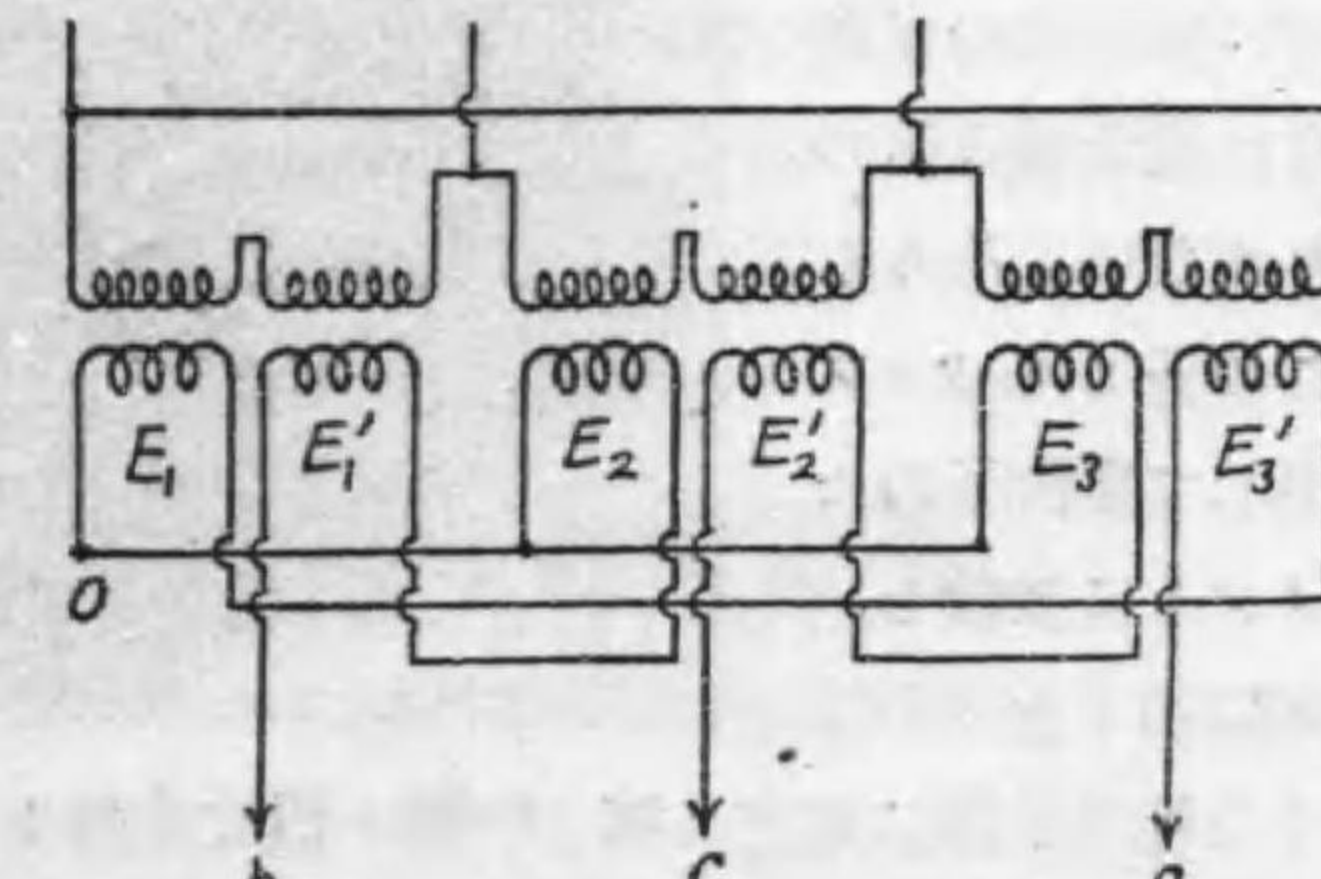
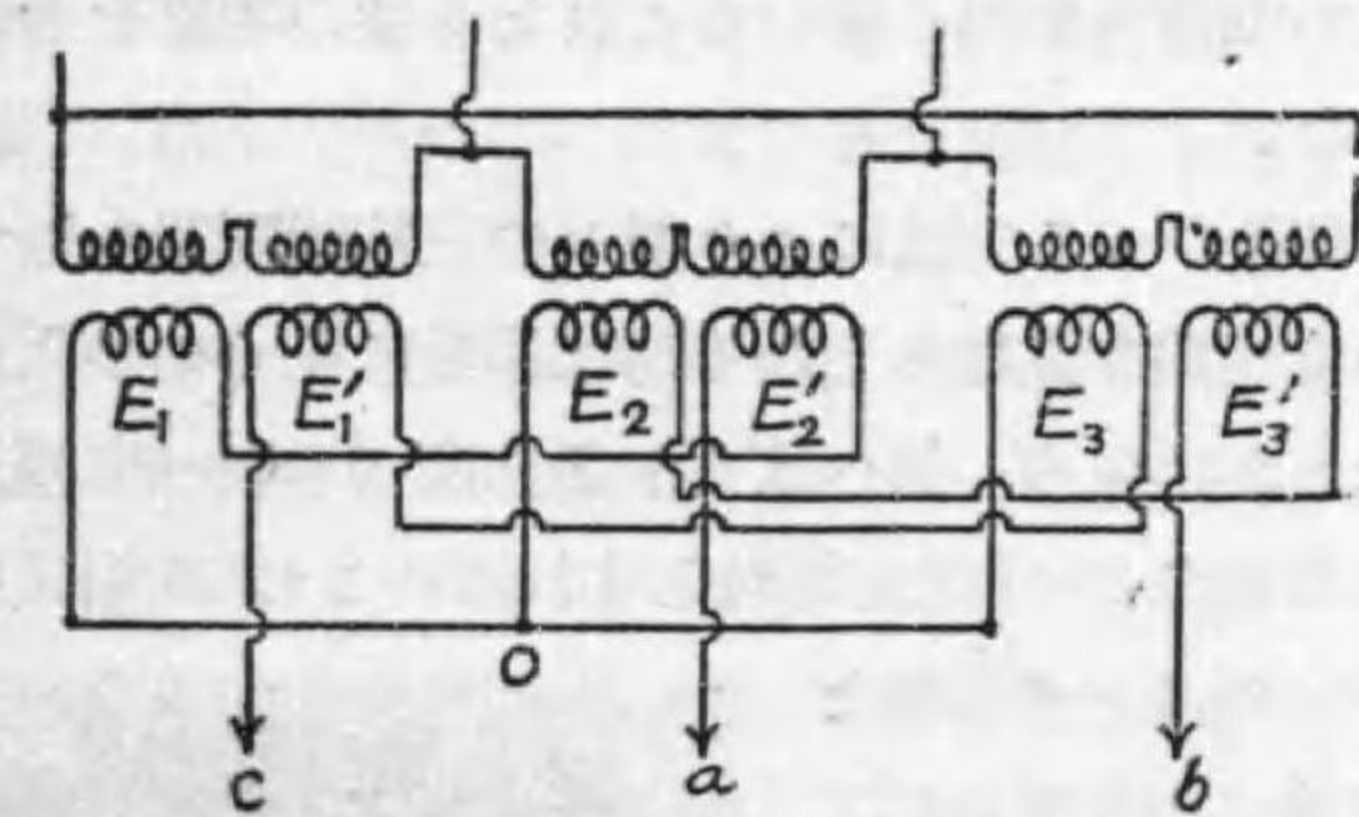
今少しこの事について詳言すれば結局 zig-zag 結線を説く事にな



(a) 二次各捲線誘導起電力  
 (b) zig-zag 結線をなせる場合の各相電壓第 1 圖は 30° 進みこの場合は 30° 遅れ角  
 (c) (b)と同じ、但し(b)は 30° 進みこの場合は 30° 遅れ角

る。第1圖は了解を容易ならしむる爲三相式とし一次はその儘電源へ結び、二次を千鳥形接續をなせる場合のベクトル圖。第2圖は接續法を示したもの。

以上の圖から解る通り、E<sub>1</sub>相にE<sub>2</sub>或はE<sub>3</sub>相の捲線を、逆方向に接續すればその相電壓はE<sub>1</sub>相の電壓より30°の進み或は遅れ位相にある様になる。この



上第2圖 (a) 第1圖 (b) に対する結線法  
 下第2圖 (b) 第1圖 (c) に対する結線法

関係は一次を千鳥形、二次を普通の通りにしても位相の関係は全く同じである。又二巻線の巻数比を變へれば位相角は  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  と思ひの通りに出来る事が解るであらう。但し二次側相電壓を何れも相等しからしむるには、一次巻線と二次巻線との巻数比は適當にし電壓の低下を補償せしめねばならぬ。例へば前例の巻数等しき場合を考ふれば

$$E_a = E_1 \times \sqrt{3}, \quad E_1 = E_1', \quad E_1 + E_1' = E$$

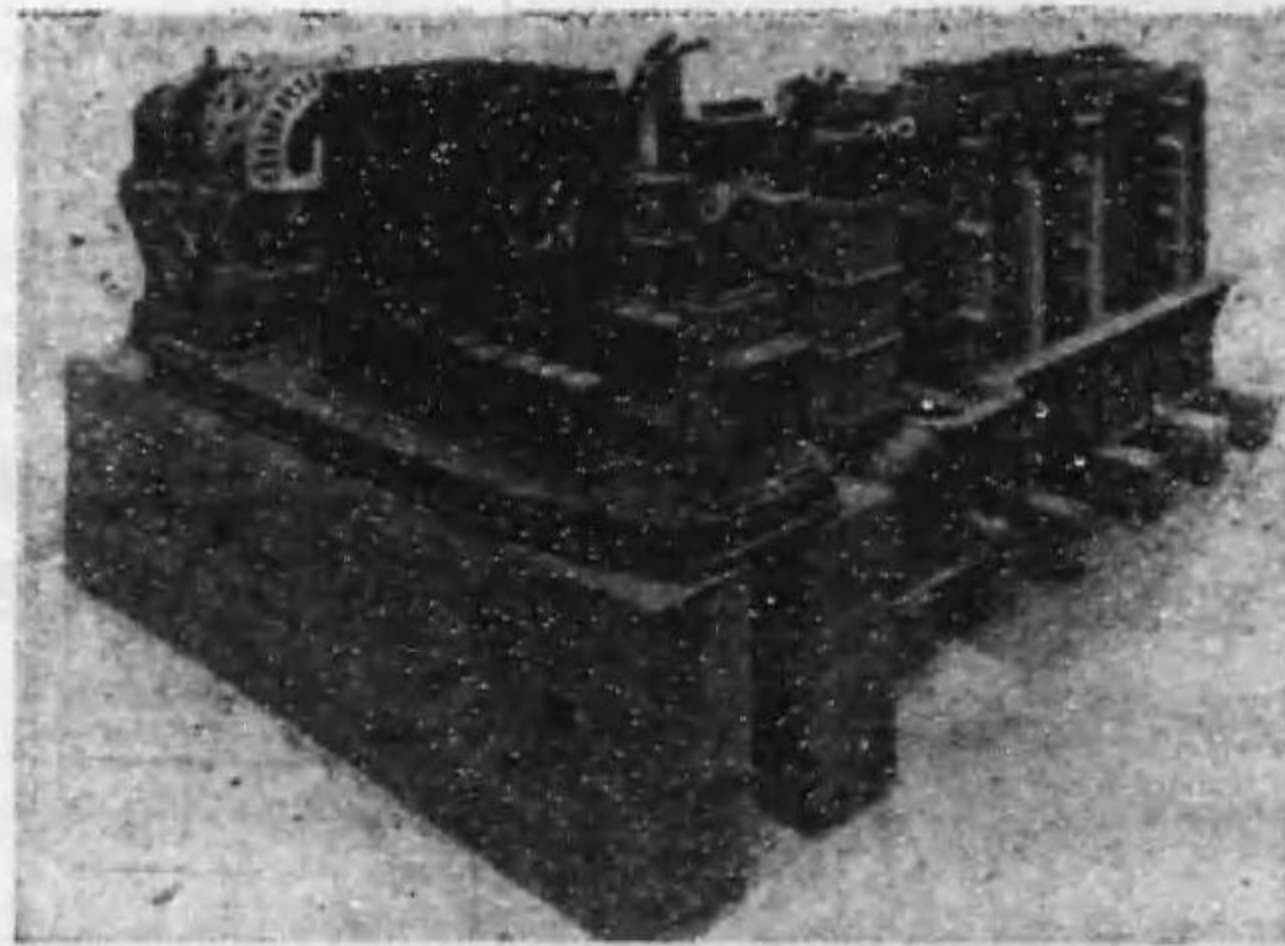
$$\therefore E_a = \frac{E}{2} \times \sqrt{3} = E \times 0.866$$

即 0.866 となるから巻数比は第一三相變壓器のものに比して  $\frac{1}{0.866}$  だけ大きくして置かねばならぬ。以下二次兩線輪の巻数比を變じ任意の位相角を得る場合もこれと同様の考慮を必要とする事いふまでもない。

却説かゝる方法により數ヶの三相變壓器を以つて上述の方法に依り位相角を異ならしむる時は非常に多くの多相式を三相式より得ることが出来る。例へば 6ヶあれば  $6 \times 6 = 36$  相式を得るのである。

却説今 36 相式を得たとすれば、この 36 相式を凡て直列に接続し

一つのリング接続とする。かうすれば二極で 36 相式の交流機又は直流機と何の變りもない。そしてこの各からタップを出して整流子のセグメントに接続し、一組の刷子を  $180^\circ$



異つた整流子面に置き同期速度で廻轉せしむれば、立派な直流發電機になる。實際に各タップから出す口出線を一本としないで二本或は三本とし、その各

第 3 圖 組立中のトランスバーター

を整流子面に均一の間隔をとつてセグメントに結ぶ。勿論セグメントの數も 2 倍或は 3 倍となるのである。かうすれば恰も多極發電機の如くなり、刷子も二組或は三組となり、刷子を廻轉せしむる同期電動機も四極或は六極となるのである。

此の機械がすぐれた着眼點を有してゐることは明であるが、先づ次の三事項を擧げる事が出来よう。(1) 廻轉部分は刷子のみとし他は凡て静止部分とし、且静止部分は油中に浸し變壓器としての特性を發揮せしめてゐる事。(2) 二次線輪は形状、巻数ともに全く同じに作つてある。又その數も巻数も任意に出来、直流側に高電壓を發生せしむることも容易である。又その結線法も至極簡單である。(3) 上述の事より場所といふ問題で制限を受けない事。

又巻線と整流子とは各々離しても何等差支へない。この整流子の一組を他のものと直列に結んでゆけば、如何なる高電壓でも得られる。

この機械は英國の Calverley 及 Highfield 兩氏の考案に依るものであるが、前述の通り未だ試作の域を脱せぬもので、兩氏の説く處によれば 2000 kW、一次三相 3000—11000 V、二次 100000 V の直流電壓を發生せしむるもので能率は 97.5% と稱してゐる。

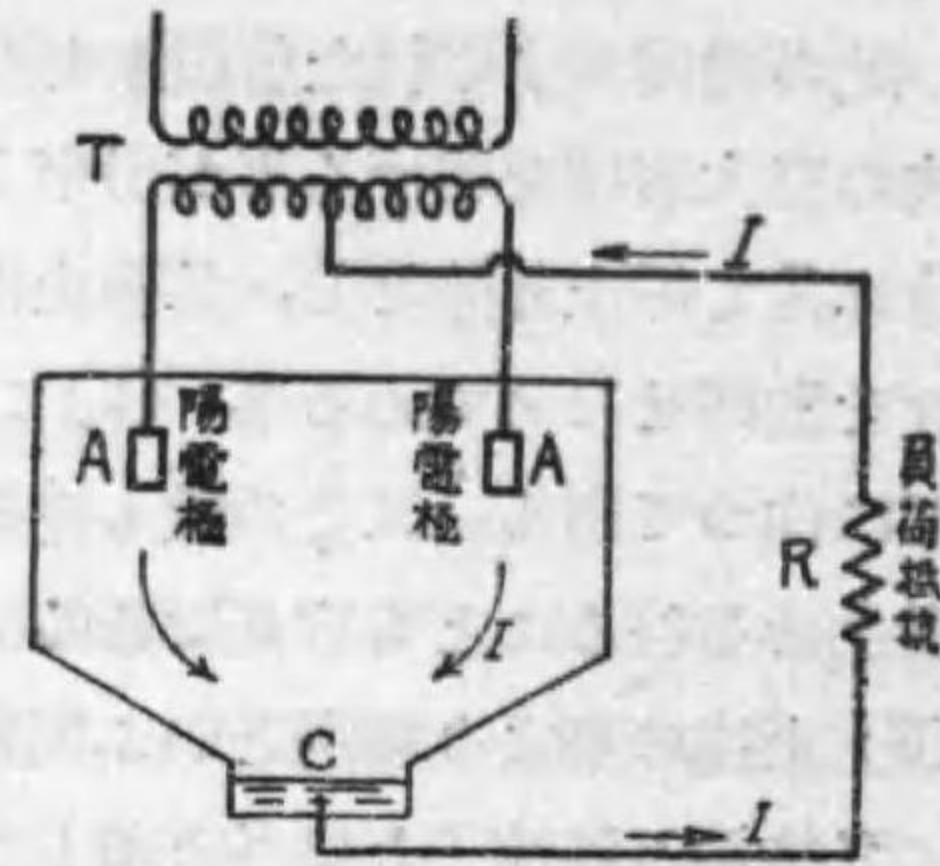
以上で大體の話は解るが、只整流作用に關しては不幸明瞭を缺いてゐる。如何にして整流起電力を得るか不明である。然し面白い機械で若しこの機械が完全なる發達を遂げた時は、現在の交流送電に代るに直流高壓送電を以つてする事になり送電界大革命となるであらう。

### 水銀整流器の異常電壓

【問】 電鐵用 500 kW 水銀整流器の交流側に施設せる避雷器が、外雷の影響無きに拘らず屢々働作しその都度發電所に於てリレー働き停電と相成候。而して働作せし避雷器を點檢せるに接地側のものは少しも働作し居らずして各線(相)の分のみ働作し居れり。避

雷器が動作する程に電圧が上昇する理由及其の電圧上昇を防止する方法を御教示下され度候。

【解】 水銀整流器の電流通路を考ふると圖の如くなる。圖は单相兩波整流の場合だが6相でも12相でも全く同じである。この電流回路は負荷、變壓器等の直列回路である。而して一般に容量性リアクタンスは小さいからこれを無視すればインダクタンス  $L$  と抵抗  $R$  の直列回路である。かゝる回路に電流の急變が生じた場合  $L$  の兩端に誘導起電力  $E = -L \frac{dI}{dt}$  が生ずることは當然である。變壓器は相當に大きい漏洩リアクタンスがある。従つてこの兩端に大なる起電力の生ずるも當然である。勿論變壓器許りでなく直列回路内にあるリアクターの兩端にも大なる電圧が現はれる。



次に電流の激變が如何にして生ずるかを考ふるに、負荷の激變、即短絡後に於ける遮斷器の動作等も考へられるがこれ等は時間が相當かゝる關係上  $\frac{dI}{dt}$  は割合に小さい。 $\frac{dI}{dt}$  が一番大きいのは水銀陰極たる白熱點 (cathode spot) が急激に消滅することである。この場合の時間は非常に短く  $0.5 \times 10^{-6}$  秒内外と稱せられてゐる。従つて  $\frac{dI}{dt}$  は極めて大となり、誘導起電力も従つて大となる。

この白熱點の消滅、従つて電弧の消滅は如何にして生ずるかと言ふに、負荷が軽く器内の温度が下つてゐる時、循環水が多量の熱を奪ひ去る如き場合に生ずる。この様な場合には電弧を繼續するに必要なエネルギーが不足するからである。殊に真空度が高い場合にはこの傾向が著しい。

以上は回路に容量性リアクタンスがないと考へたが、濾波器の如く LC 回路を有する様な場合には、それによる共振回路も考へられ

るが、それは特殊の場合なる故説明せぬことにする。電圧異常上昇防止法としては器内の温度を餘り低下せしめないことと、真空度を極度に高くしないことが數へられてゐる。實驗の結果によれば水銀柱の一萬分の五以内では危険と稱せられてゐる。

### 冷却槽のスケール除去

【問】 當所据付けの水銀整流器、冷却水の水質悪しき爲めか冷却槽内に鐵錆附着し次第に冷却能率を低下し甚だ困却致し居り候、解體掃除せば問題は直ちに解決致し候も御承知の如くフォーメーションを行はねばならず、且相當の電力損失、費用等を要し候條出來得べくんば何か化學的方法にて掃除致度と存じ候、何か適當な方法之無く候や。

据付以來外部のパイプ等は取外し毎月一回掃除致し尙整流器本體には冷却水導水の逆方向より、水揚ポンプにより壓力水を逆流せしめ掃除致し居り候も、單に壓力水の逆流のみにては、幸ひにして壓力の多くかゝる點よりは附着物除去し得らるるも、壓力の弱くかゝる點よりは除去困難にして、冷却水は次第に減少するのみにて候。右附着物は單なる水垢のみに非ずして電氣分解による鐵錆も加り居ることと思はれ候。

【解】 こゝには同じ様な境遇にある變壓器冷却水管のスケール除去法を御紹介する、現場に於て實行可能と思はれるものあれば御採用になつては如何かと思ふ。以下は東京電燈株式會社の點檢手入心得第四號、變壓器中の冷却水管スケール除去法を抜萃したものである。

スケール除去の方法には、稀鹽酸法、蒸汽法、壓搾空氣法等あり。其の何れに依つて行ふ可きかは冷却管の使用期間、材料、構造、現場の都合等に依りて取捨選擇すべきものなり。銅若くは眞鍮製のもの稀鹽酸法によるを可とするも鐵製のもの蒸汽法又は壓搾空氣法によるを可とす。



**A 稀鹽酸法** 冷却管に接続せる管を取外し、別に適當の長さの管を取付け、之より下記酸液を注入して水管内に満たし、スケール附着程度に応じて適當の時間放置したる後、排除し清水にて充分洗滌す。但し酸液は1時間以上管内に留まらしむ可からず。若し一回の操作にてスケールの全部が除去せられざる時は、一旦酸液を排除して清水にて洗滌したる後、再び酸液を満たし作業を繰返すべし。

**注意** 稀鹽酸はスケールに作用して瓦斯を發生するを以つて、冷却管の双方の口は必ず開放し置くべし、然らざれば思はざる高壓力を生ずることあるべし。鐵製冷却管は稀鹽酸法による掃除を避く可きも、已むを得ざる場合は此の方法に依る事とす。但しその結果の良否に拘らず一回の操作に止め之を反覆すべからず。

**酸液** 濃度 50% (比重 1.10) に稀釋せる稀鹽酸を用ふ。之を製するには、先づ容器に水を入れ、次に濃鹽酸を徐々に注加すれば可なり。此の逆操作即ち濃鹽酸に水を注加する事は絶対に行ふ可からず。

**B 蒸汽法** 水管に適當なる壓力の蒸汽を吹き込みスケールを排除する方法にして、其の壓力はスケール附着程度、管の形狀、長さ材質等に依りて大いに異なるを以つて、之等を參酌して決定するものとす。

**注意** 此の方法に於ては、スケールが接続部分に集積して閉塞する恐れあるを以つて、出口のパイプの接続を取外し置く事を要す。若し水管が途中で接続箇所を有する時は此の接続を切り離して別々に排除を行ふ事を要す。

冷却管に著しき高壓を加ふる事は危険なるのみならず、管の接続等を害する惧あるを以つて汽罐の安全弁は使用に先ちて豫め  $3.5 \text{ kg/cm}^2$  以下に調整し置く事を要す。

**C 壓搾空氣法** 加ふ可き壓力其他蒸汽法に同じ。但し此の方法は管の温度高き時に行ふを可とするを以つて、變壓器停止前豫め

諸準備を整へ置き停止後直ちに作業に移るを可とす。

以上は冷却水管スケール除去法である。變壓器にも必要かと思ひこゝに拔萃をした。但しこれが直ちに水銀整流器の冷却槽に適用出来るか否かは疑問である。この水銀整流器の水套部のスケール除去に就ては次に掲げる。(オーム昭和8年7月號川本氏稿より)

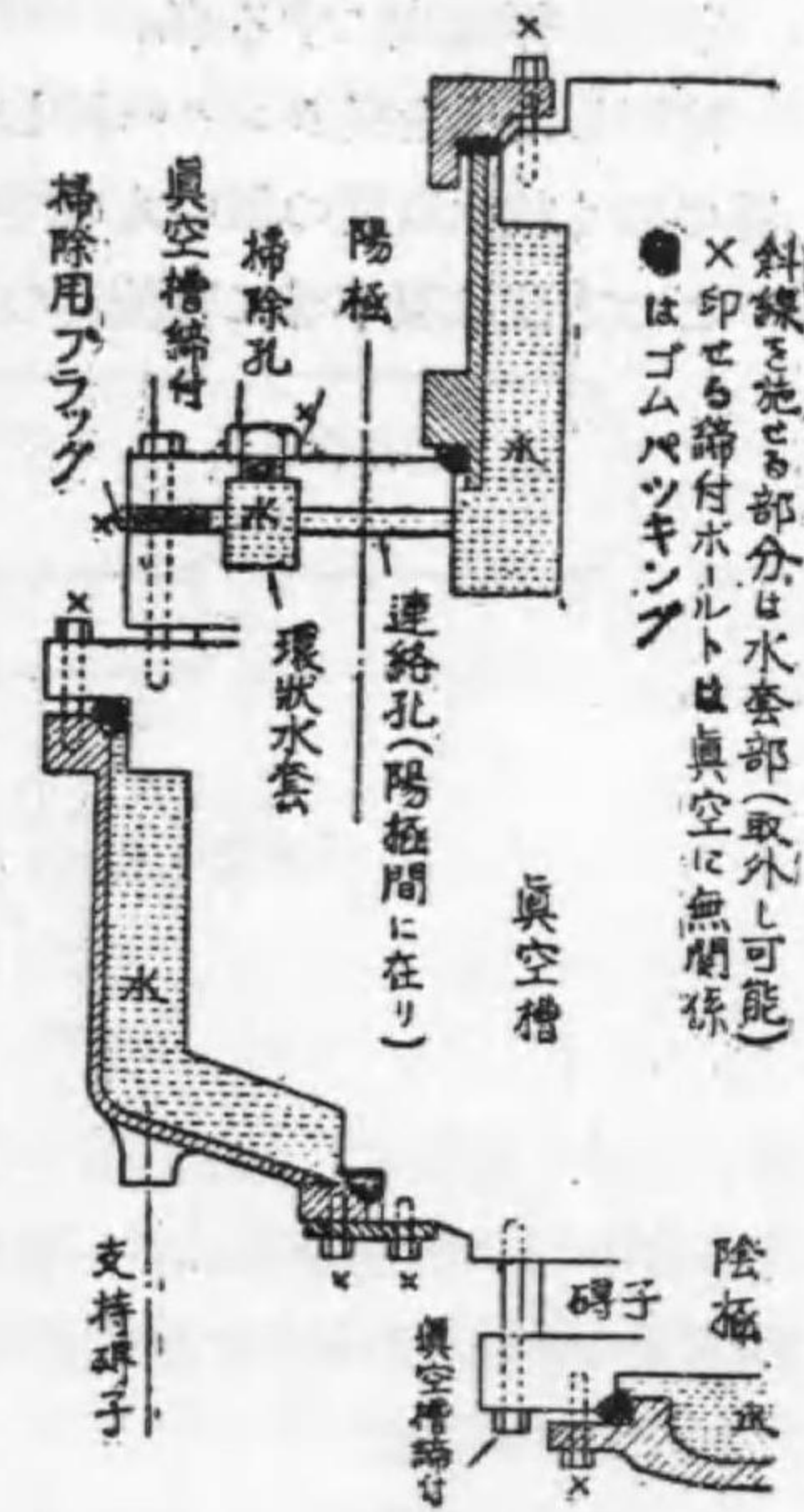
一般に鐵槽水銀整流器の水套部は、3年乃至5年毎に之を分解して、點檢 (Overhaul) し各部を掃除するがよい。

即ち真空槽を水套部より取外して行ふのである。この爲真空槽の真空維持には影響せぬ。従つて特に化成の要は無い(但しこの作業のため長時日休止状態にあつて、之を始働する際普通の取扱法として當然なさねばならぬ化成は別問題である事。水套部は圖の如く真空槽から取外し出来る様になつてゐる。(茲には B.B.C. の型を示したが他社のも殆ど同様である。)此の分解を行つたならば、パッキング類は恐らく再使用は出来ぬと思はれるから、豫め所用品を準備する必要がある。

掃除後は水套面へ防錆塗料を塗る。この分解の時真空部分の締付ボルトを弛めぬ様氣を付けねばならぬ。

(3) 適當の期間毎に逆流法及 Overhaul を行ふのは良いが藥品の使用は考へものと思はれる。

(4) 冷却水が餘り悪い場合の處置として、適當と思はれるもので筆者の経験或は實見したものでは



(A) 整流器装置と冷却管との絶縁を良くする事、即ち大地との抵抗を増す事。

其れにはゴム管の長さ及放水ノズルと水受漏斗との距離を長くする様改造する。この爲要すれば鐵管の一部をゴム又はベークライトのパイプと取替への事。

(B) 冷却水の濾水装置を設ける事。

之は砂濾法なれば簡單で一吋したタンクを設けて出来る。

(C) 循環式にする事。

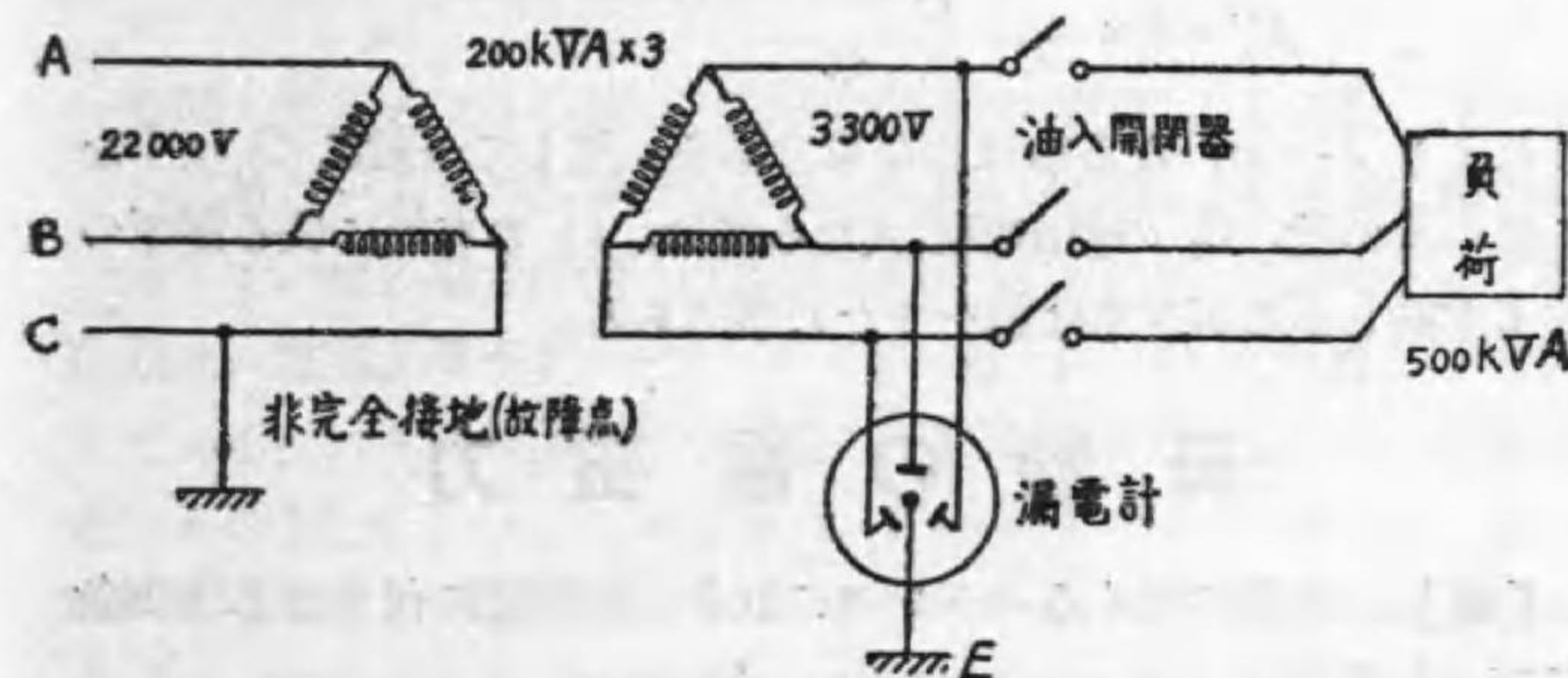
使用した水を又タンクへ戻して、再使用する方法であるが、整流器の如く放水温度の低いものでは容易に行はれる事であらう。

この方法は夏季等に整流器の所謂汗かきを防止する事にもなる。

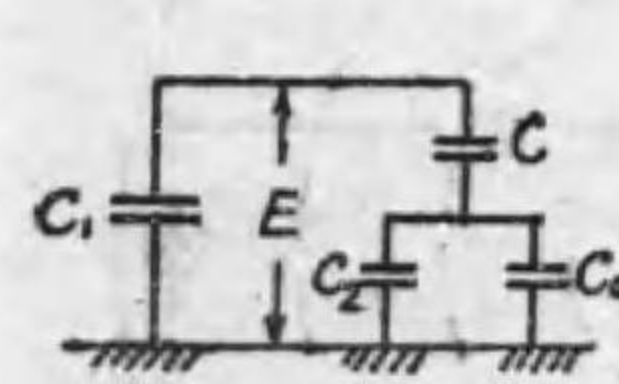
## 電力輸送及配電

### 送電線の接地と漏電計の振れ

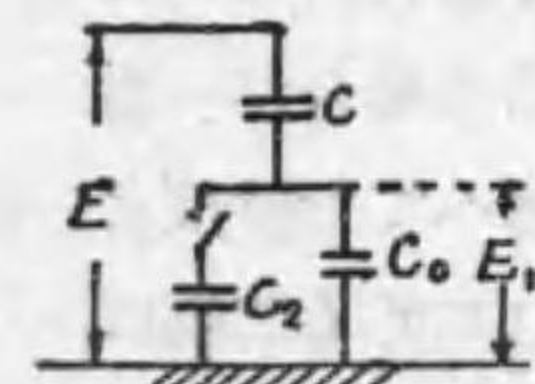
【問】 圖の如き状態にて全負荷運轉中、送電線Cに非完全接地を生じ(碍子破損の爲め)漏電計の指針の振れを見る。依つて油入開閉器を遮斷せしに遮斷前よりも指針の振れ大なり。再度送電せしに其の振れは遮斷前と同一なり。理論的に御説明願ひます。但し遮斷前後の指針の振れは其の差相當大なり。



【解】 先づ負荷状態にて漏電計の振れる有様を想像すれば、第1圖の様になる。この際Cは變壓器一次二次巻線間の分布容量を集中容量にて表はせしもの、又送電線の漏洩抵抗は無視し、對地容量のみを以つて代表せしめた。



第 1 圖



第 2 圖

圖はA, B 兩線の一つを示したもので、C<sub>1</sub>は特高側のもの、C<sub>2</sub>は高壓側の何れも一線の大地に対する容量。C<sub>0</sub>は漏電計の容量である。

C線の故障により A, B 兩線の大地に対する電圧  $E$  は變化する。この變化は變壓器容量を通じて高壓側にも影響を與へ、 $C_0$  に加はる電圧に變化を生じ、漏電計の振れに變化を來たすのである。此の關係は常に存在するものであるが、 $C$  の値が未知であるので計算する事は困難である。

次に負荷を切り離つといふ事は  $C_2$  を除く事である。かくすれば  $C_0$  の受くる電圧  $E_1$  は、容量に逆比例するから

$$E_1 = E \times \frac{C}{C + C_0}$$

$C_2$  が挿入されてゐる場合の  $E_1'$  は

$$E_1' = E \times \frac{C}{C + C_0 + C_2}$$

これより  $E_1 > E_1'$  なる事は明な事である。然して一般に  $C_0$  は小なる値のもの故、 $C_2$  の値が相當大なる時は、 $C_2$  の有無に依る電圧の差も亦甚しかる可き事は論をまたぬ事である。

## 母線の電磁力

【問】 母線の受くるストレスに就き下記例題に付き計算法御教示下され度候。

例、三相三線式母線あり、母線間の距離各 45 cm、支持碍子の距離 100 cm なり。右母線に短絡電流 1 萬 V, 5 萬 A 最大値を通じたる場合、碍子の受くるストレス幾 kg となるや。

【解】 母線の受くる最大ストレス

を考ふるには、線間短絡の場合が一番強いからこれに就いて考へて行けばよい。圖に於て  $a$  cm 離れてゐる二線に

圖に示す如き方向に  $IA$  (最大値) の電流が流れてゐるとすれば、 $\oplus$  により  $\ominus$  の所に生ずる磁界の強さは、 $\frac{2I}{10a}$  で、これと  $\ominus$  の電流に依り生ず



る電磁力 (最大値) は

$$\frac{2I}{10a} \times \frac{I}{10} = \frac{2I^2}{100a} \text{ ダイン/cm}$$

間の場合の如く、支持臺間の距離が 100 cm = 1 m の場合は

$$F = \frac{2I^2}{100a} \times 100 = \frac{2I^2}{a} \text{ ダイン/m}$$

980 ダイン = 1g,  $\therefore$  980 000 ダイン = 1 kg

$$F = \frac{2I^2}{a} + (980 \times 10^5) = \frac{2I^2}{a \times 0.98 \times 10^6}$$

$$= \frac{2.04 I^2}{a} \times 10^{-6} \text{ kg/m}$$

實際の電磁力はこの値に、母線切斷面の形状による係數、及ストレス係數といふものが乗せられる。母線の形状による係數は圓の場合は 1 で、他の場合は例へば矩形母線の場合は大いに異なる。この係數は、電氣工學ポケットブック (第一版) p. 860 に圖表として表してある。ストレス係數は兩導體の距離に關係するもので、距離の近いもの程大きい。この係數は、Standard Handbook か、或は G.E.R. 1928, 8 月號 Short-cut method of calculation stresses in bus structure に出て居る。又後者には計算の方法も出てゐるから参考にされたい。

今導體は圓形のものを用ひ、距離 45 cm に對するストレス係數を 4.2 とすれば、 $I = 50\,000$ , 支持臺間の距離 1 m なる故

$$F = \frac{2.04 \times (50\,000)^2 \times 1 \times 4.2 \times 10^{-6}}{45} = 486 \text{ kg}$$

即約 500 kg, 半噸近いものとなる。

附記 電氣工學ポケットブックには、前記の 860 頁及 791 頁に電磁力を求むる式が出てゐるが何れもその係數の出所が明でない。従つてこゝには、前記の G.E.R. 及 Standard Handbook に依り之れを求めた。

### 定電圧送電の同期調相機容量計算法

【問】 計算によりて同期調相機の出力を求むるには次の式に依る。

$$P_s = \frac{\sqrt{3} E_r}{1000} (I_x + I_r \tan \theta) \text{ kVA} \dots\dots\dots (a)$$

$P_s$  は同期調相機の出力にして、其の容量を決定するには最大負荷若しくは零負荷の際の出力を比較して其の大なるものをとる。

$I_x$  は受電端に於ける電路の無効電流にして次の式より求めらる。

$$I_x = \frac{b_1 - \sqrt{b_1^2 - a_1 c_1}}{\sqrt{3} a_1} \dots\dots\dots (b)$$

$$a_1 = R^2 + X^2, \quad b_1 = E_r X$$

$$c_1 = 3 I_r^2 (R^2 + X^2) + 2\sqrt{3} E_r I_r R + E_r^2 - E_g^2$$

$E_r$  は受電端の電圧 (V)

$E_g$  は送電端の電圧 (V)

$R$  は送電線一線の抵抗 (オーム)

$X$  は送電線一線のリアクタンス (オーム)

$I_r$  は負荷の有効電流 (アンペア)

$\cos \theta$  は負荷の力率

以上は電気協會発行の架空電線路建設要則 48~50 頁にあるもので定電圧送電方式に於ける調相機容量の求め方ですが、(a) (b) 式の出所を御説明下さい。

【解】  $I_x$  は (+) を進相電流、(-) を遅相電流とすると周知の公式を変化して次の様にして  $I_x$  を求むる事が出来る。

一相の電圧  $\frac{E_g}{\sqrt{3}}, \frac{E_r}{\sqrt{3}}$  をそれぞれ  $E'_g, E'_r$  とすれば

$$E'_g = E'_r + (R + jX)(I_r + jI_x)$$

$$= (E'_r + RI_r - XI_x) + j(XI_r + RI_x)$$

$$E_g'^2 = (E'_r + RI_r - XI_x)^2 + (XI_r + RI_x)^2$$

$$= E_r'^2 + I_r^2 Z^2 + 2 E'_r RI_r + I_x^2 Z^2 - 2 E'_r XI_x$$

$$\frac{E_g'^2}{Z^2} = \frac{E_r'^2}{Z^2} + I_r^2 + 2 I_r \frac{E'_r R}{Z^2} + I_x^2 - 2 I_x \frac{E'_r X}{Z^2}$$

次に  $a, b$  を中心とし、半径  $c$  なる圓の方程式は、

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = c^2$$

$$x^2 + y^2 - 2xa - 2yb = c^2 - a^2 - b^2$$

之れと前式を比較すれば、 $x = I_r, y = I_x$  となり、座標  $a, b$  及半径  $c$  は

$$a = -\frac{E'_r R}{Z^2}, \quad b = \frac{E'_r X}{Z^2}$$

$$c^2 = \frac{E_g'^2 - E_r'^2}{Z^2} + a^2 + b^2 = \frac{E_g'^2 Z^2 - E_r'^2 Z^2}{Z^4} + \frac{E_r'^2 Z^2}{Z^4}$$

$$= \frac{E_g'^2 Z^2}{Z^4} = \frac{E_g'^2}{Z^2}$$

故に結局次式を得る。

$$\frac{E_g'^2}{Z^2} = \left( I_r + \frac{E'_r R}{Z^2} \right)^2 + \left( I_x - \frac{E'_r X}{Z^2} \right)^2 \dots\dots\dots (A)$$

即これが定電圧送電法の方程式で、半径  $\frac{E'_g}{Z}$ 、座標  $-\frac{E'_r R}{Z^2}, \frac{E'_r X}{Z^2}$  の圓である。更らに此の式を解いて

$$I_x = \frac{E'_r X}{Z^2} - \sqrt{\frac{E_g'^2}{Z^2} - \left( I_r + \frac{E'_r R}{Z^2} \right)^2}$$

$E_g = \sqrt{3} E'_g, E_r = \sqrt{3} E'_r$  を代入して

$$I_x = \frac{E_r X}{\sqrt{3} Z^2} - \sqrt{\frac{E_g^2}{3 Z^2} - \left( I_r + \frac{E_r R}{\sqrt{3} Z^2} \right)^2}$$

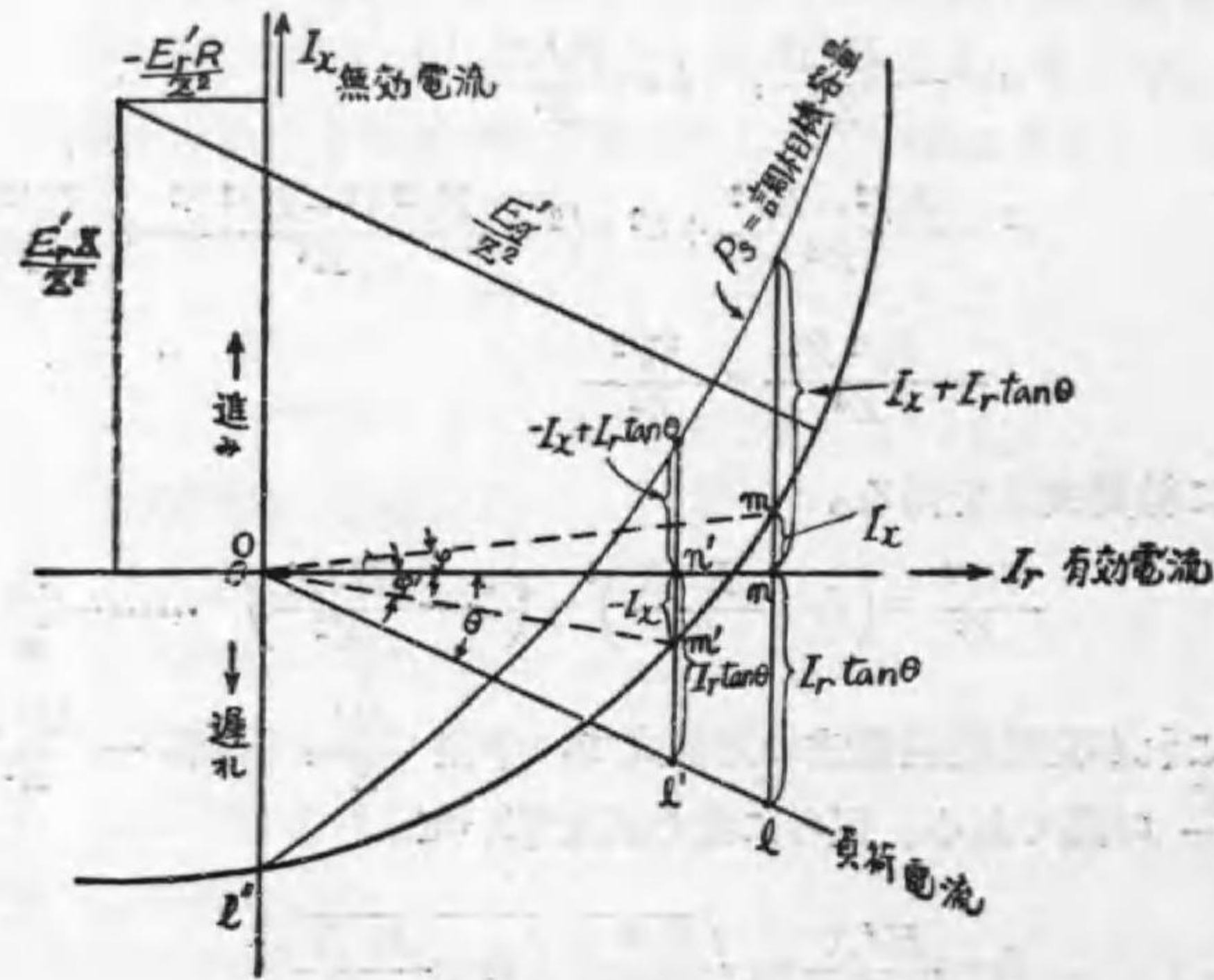
$$= \frac{E_r X}{\sqrt{3} Z^2} - \sqrt{\frac{E_g^2}{3 Z^2} - I_r^2 - \frac{E_r^2 R^2}{3 Z^4} - 2 I_r \frac{E_r R}{\sqrt{3} Z^2}}$$

$$= \frac{E_r X}{\sqrt{3} Z^2} - \sqrt{\frac{E_g^2 Z^2}{3 Z^4} - I_r^2 \times \frac{3 Z^4}{3 Z^4} - \frac{E_r^2 R^2}{3 Z^4} - \frac{2 E_r R I_r}{3 Z^4} \sqrt{3} Z^2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3} Z^2} \left[ E_r X - \sqrt{E_g^2 Z^2 - 3 Z^4 I_r^2 - 2 \sqrt{3} R Z^2 E_r I_r - E_r^2 R^2} \right]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}Z^2} [E_r X - \sqrt{E_r^2 X^2 - Z^2(3Z^2 I_r^2 + 2\sqrt{3} R E_r I_r + E_r^2 - E_0^2)}]$$

これで  $I_x$  の式の証明は出来た。  
 次は (a) 式の証明であるが、これは次の様にして最初に求めた (A) の方程式よりグラフを畫けば直ぐに了解出来る。次の圖は (A) 式より畫いたものである。今負荷電流は  $\theta$  なる遅れ力率角のもので



あるとし、全負荷に於て  $m$  點にて運轉する、換言すれば  $\phi$  なる進み力率角で運轉するものとすれば、この時の調相機の容量は、負荷の無効分  $I_r \tan \theta$  と送電線に流れる進相電流  $I_x$  との和でなければならぬ。故に

$$P_s = \frac{\sqrt{3} E_r}{1000} (I_x + I_r \tan \theta)$$

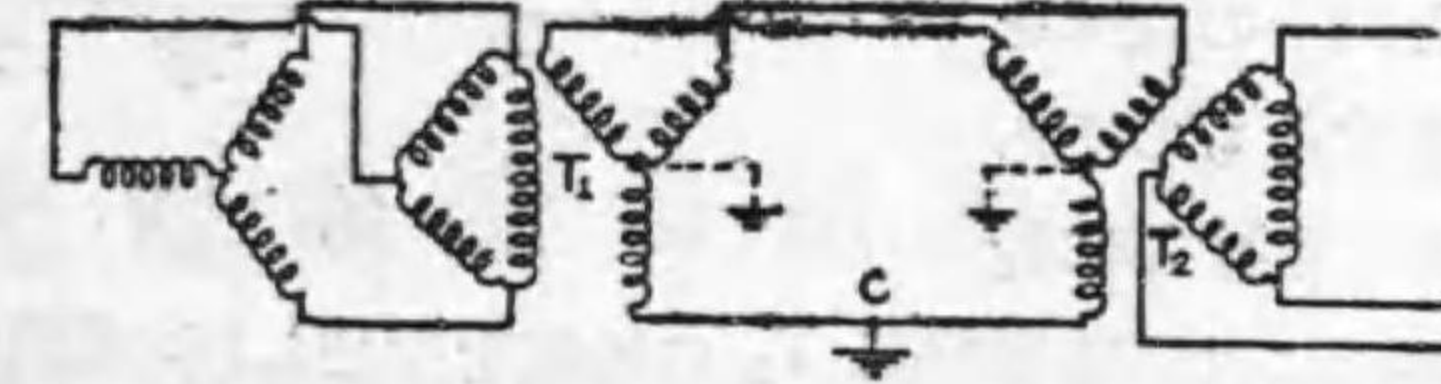
となる。若し送電線に於ける力率が遅れで、その力率角が  $\phi$  であつたとすれば、送電線に流れる無効電流は  $I_r \tan \theta - I_x$  となり、調相機容量は

$$P_s' = \frac{\sqrt{3} E_r}{1000} (-I_x + I_r \tan \theta)$$

となる。この時の全負荷運轉の點は  $m'$  の點である。圖の  $P_s = \text{調相機容量}$  として畫いた曲線は上述の様に求めたもので、一定電壓變動率のもとに於ては全負荷電流の大小に依り異つた値となる。但しこの値は  $0$  即無負荷に於て調相機が遅相機として働く容量より小なる値では不可である事は、質問の書籍に断り書きしてある通りである。

### 單相短絡電流の計算

【問】 圖の如き送電系統に於て送電線の一線 C 點 (送電線の中央) にて完全なる接地を生ぜる時、接地電流は下の二つの場合に於て各々何程なる

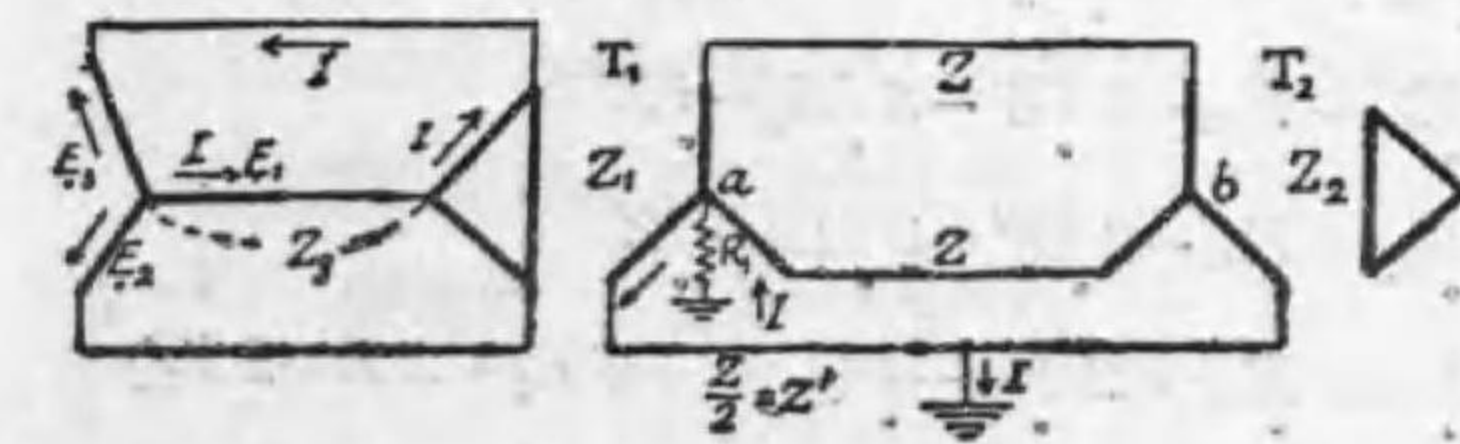


や。但し發電機は無負荷規定電壓にて運轉中のものとし、且つ高調波及靜電容量の影響は無視するものとす。

- (A)  $T_1$  の中性點のみ直接接地しある場合
- (B)  $T_2$  の中性點のみ直接接地しある場合

猶勝手乍ら對稱座標法に依らずに御解答願上候。

【解】 我國に於ては規程に依り中性點の直接接地は許可せられざるものなれば、こゝには  $R$  なる抵抗にて接地せられたるものと



第 1 圖

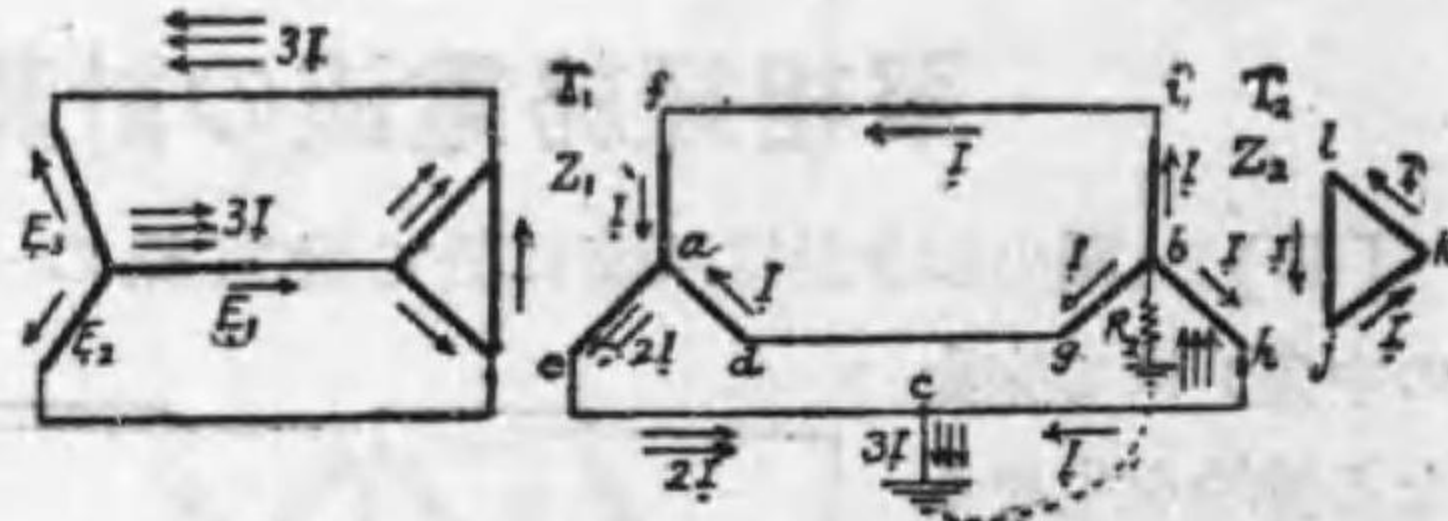
しての一般解を求むることにした。先づ (A) の場合の電流の分布を求むれば第 1 圖の如し。

圖中  $Z_1 Z_2$  は  $T_1$  及  $T_2$  變壓器の一次及二次インピーダンスの和で電流  $I$  は送昇變壓器の一次側に換算せる値である。従て圖中記入の各インピーダンスも亦一次に換算せられた値である。

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_3}{2 Z_0 + Z_1 + Z' + R_1}$$

インピーダンスは複素数で示した。

(B)  $T_2$  の中性點  $b$  を接地したる場合、此場合の短絡電流の通路は第 2 圖の如くなる。圖中記入の文字に就いては全く第 1 圖と同一の意味を有するものである。要するに此



第 2 圖

場合には送降變壓器  $T_2$  の地氣を生ぜし相の變壓器は、その低壓側に於て地氣を生ぜざる他の二變壓器により電壓の給與を受け、その電壓にて地氣短絡を生じたる形となる。他の變壓器には此電流を供給せんとして圖に示す如き電流が通ずる。

次に短絡電流  $I$  の値を求めんに

$\dot{E}_{ca}$ ,  $\dot{E}_{aa}$  等は夫々サフィックスの文字を以つて示せる二點間の端子電壓を示すものとすれば、

$$\begin{aligned} \dot{E}_{kl} &= \dot{E}_{kl} + \dot{E}_{jl} = (\dot{E}_{bg} - IZ_2) + (\dot{E}_{bt} - IZ_2) \\ &= \dot{E}_{bg} + \dot{E}_{bt} - 2IZ_2 \end{aligned} \quad \text{然るに}$$

$$\dot{E}_{bg} = \dot{E}_{aa} + \dot{E}_{ca} - 2IZ' - 3IR_2 - IZ$$

$$\dot{E}_{bt} = \dot{E}_{af} + \dot{E}_{ca} - 2IZ' - 3IR_2 - IZ$$

$$\therefore \dot{E}_{kl} = \dot{E}_{aa} + \dot{E}_{af} + 2\dot{E}_{ca} - I(4Z' + 6R_2 + 2Z + 2Z_2)$$

$$\text{又 } \dot{E}_{aa} = (\dot{E}_1 - \dot{E}_2) - 3IZ_0 - IZ_1, \quad \dot{E}_{af} = (\dot{E}_2 - \dot{E}_3) - 3IZ_0 - IZ_1$$

$$2\dot{E}_{ca} = 2[(\dot{E}_1 - \dot{E}_3) - 6IZ_0 - 2IZ_1]$$

$$\therefore \dot{E}_{kl} = 3(\dot{E}_1 - \dot{E}_3) - I(18Z_0 + 6Z_1 + 4Z' + 6R_2 + 2Z + 2Z_2)$$

短絡變壓器は低壓側で  $\dot{E}_{kl}$  なる電壓を給與され、之れ丈の電壓が  $Z_2$ ,  $Z'$  及  $R_2$  内の電壓降下即  $I(Z_2 + Z') + 3IR_2$  として消費されなければならぬ。

$$\begin{aligned} \therefore 3(\dot{E}_1 - \dot{E}_3) - I(18Z_0 + 6Z_1 + 4Z' + 6R_2 + 2Z + 2Z_2) \\ = I(Z_2 + Z' + 3R_2) \end{aligned}$$

$$\therefore \dot{I} = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_3}{6Z_0 + 2Z_1 + 3Z' + 3R_2 + Z_2}$$

$$\text{但し } Z' = \frac{Z}{2}$$

### 充 電 電 流 の 計 算

【問】 下圖の如き送電線路の充電電流並充電容量 (kVA) 如何程になるや御教示被下度願上候

- (1) A 發電所より全送電線を充電する場合
- (2) B 發電所より全送電線を充電する場合
- (3) C 發電所より全送電線を充電する場合

各送電線の電線、3.2 耗 7 本燃の硬銅線。

各送電線の地表上の高さ 平均 7.5 米

11 000 V 送電線路 亘長 40 km 線間距離 1.2 米

22 000 V 送電線路 亘長 60 km 線間距離 1.5 米

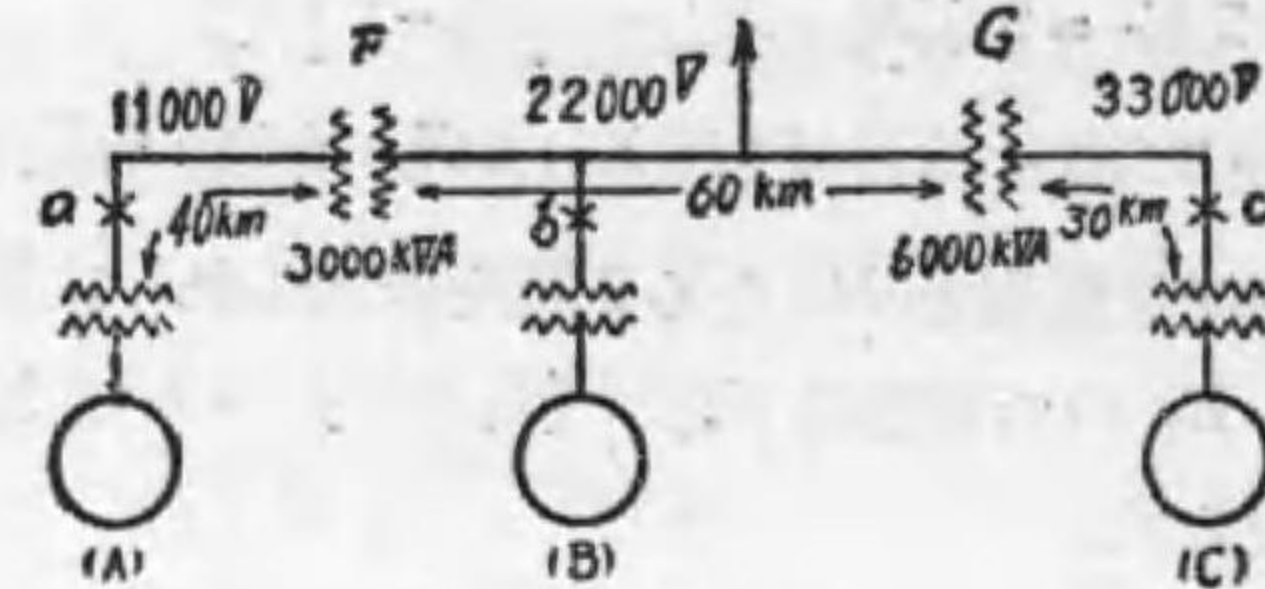
33 000 V 送電線路 亘長 30 km 線間距離 1.8 米

各送電線配列は正三角形とす。

F 變壓器 3 000 kVA

G " 6 000 "

各 ABC 發電機の端子電壓は 3 300 V とす。

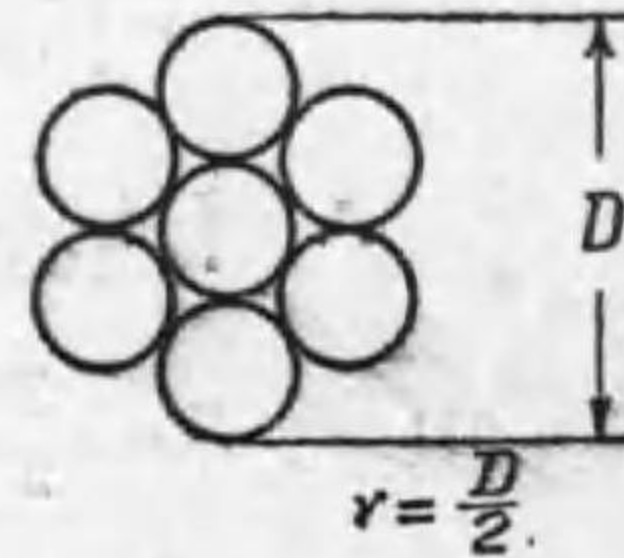


【解】 かくる場合の容量計算式は

$$C = \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{D}{r}} \mu\text{F/km}$$

但し  $D$  = 線間距離 (mm)

$r$  = 電線半径 (mm)



今この式を用ひて各送電線の容量を計算し

てみよう。こゝに問題となるのは電線の半径であるが、普通燃線外径の半分を  $r$  とする様であるからこれを用ひた。故に  $r$  は

$$\frac{3.2 \times 3}{2} = 4.8 \text{ mm}$$

$$C_1 = \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{1200}{4.8}} = \frac{0.02413}{\log_{10} 250} = \frac{0.02413}{2.3979} = 0.0101$$

$$C_2 = \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{1500}{4.8}} = \frac{0.02413}{\log_{10} 313} = \frac{0.02413}{2.4955} = 0.0097$$

$$C_3 = \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{1800}{4.8}} = \frac{0.02413}{\log_{10} 367} = \frac{0.02413}{2.5647} = 0.0094$$

11 kV に対する充電電流  $I_a$

$$\begin{aligned} I_a &= 2\pi f C L E \times 10^{-6} \\ &= 2 \times 3.1416 \times 50 \times 0.0101 \times 40 \times \frac{11000}{\sqrt{3}} \times 10^{-6} \\ &= 0.81 \text{ A} \end{aligned}$$

22 kV に対する充電電流  $I_b$

$$I_b = 314.16 \times 0.0097 \times 60 \times \frac{22000}{\sqrt{3}} \times 10^{-6} = 2.32 \text{ A}$$

33 kV に対する充電電流  $I_c$

$$I_c = 314.16 \times 0.0094 \times 30 \times \frac{33000}{\sqrt{3}} \times 10^{-6} = 1.69 \text{ A}$$

之等の電流を凡て 11 kV 側に換算すれば

$$I_b' = 2.32 \times \frac{22}{11} = 4.64, \quad I_c' = 1.69 \times \frac{33}{11} = 5.07$$

$$I_a + I_b' + I_c' = 0.81 + 4.64 + 5.07 = 10.52 \text{ A}$$

この 10 アムペア餘りの電流は變壓器の勵磁電流を全然無視したものである。然るに實際には F 及 G なる變壓器がある。今これらの勵磁電流の近似値を求めれば  $6000 + 3000 = 9000 \text{ kVA}$  に対する 11 kV の全負荷電流は

$$\frac{9000}{1.73 \times 11} = 473 \text{ A}$$

勵磁電流を全負荷電流の 4% と假定すれば

$$473 \times 0.04 = 18.92 \text{ A}$$

勵磁電流は  $90^\circ$  の遅れ電流であり、充電電流は  $90^\circ$  の進み電流である。故にこれ等の合成電流は算術差になり  $18.92 - 10.52 = 8.4 \text{ A}$  の遅れ電流を供給すれば可である。従つて A 發電機より供給する電流は、

$$8.4 \times \frac{11000}{3300} = 28 \text{ A}$$

と、それに対する變壓器の勵磁電流でよい事となる。即以上を以つてすればかくる電線路に対しては充電電流の影響などは何等考慮するに足らない事を知る。間には BC 兩發電所より供給する場合を求めてゐるが、これはどこで充電しようと全く同じ事である。

### 送電線の最大電力

【問】 送電線に於て送り得べき最大電力は

$$P_{r(max)} = \frac{E_R}{1000} \left( \frac{E_S}{\sqrt{R^2 + X^2}} - \frac{RE_R}{R^2 + X^2} \right)$$

但し  $E_S$ .....送電端相電圧

$E_R$ .....受電端 "

$R$ .....送電線一本の総抵抗

$X$ .....送電線一本の総リアクタンス

にて表されると言ふ。上式の説明願上候。

【解】 此の式は定電圧送電方式に於ける電流圓線圖より導いたものである。先づ順序として電流圓線圖の座標を求めてみよう。

今受電端の相電圧を基準に取り負荷電流を遅電流とし  $I_1 - jI_2$  にて表す。すると

$$\begin{aligned} E_S &= E_R + (I_1 - jI_2)(R + jX) \\ &= (E_R + I_1R + I_2X) + j(I_1X - I_2R) \\ E_S^2 &= (E_R + I_1R + I_2X)^2 + (I_1X - I_2R)^2 \\ &= E_R^2 + I_1^2(R^2 + X^2) + I_2^2(R^2 + X^2) \\ &\quad + 2E_R I_1 R + 2E_R I_2 X \end{aligned}$$

$Z^2 = R^2 + X^2$  とし上式の兩邊を割れば

$$\frac{E_S^2}{Z^2} = \frac{E_R^2}{Z^2} + I_1^2 + I_2^2 + 2E_R I_1 \frac{R}{Z^2} + 2E_R I_2 \frac{X}{Z^2}$$

$$\frac{E_S^2 - E_R^2}{Z^2} = I_1^2 + 2E_R I_1 \frac{R}{Z^2} + I_2^2 + 2E_R I_2 \frac{X}{Z^2}$$

.....(1)

この式は  $I_1$  と  $I_2$  とを變數とする圓の方程式である。何故なれば一般に  $x, y$  兩軸に對し中心の位置が  $(a, b)$  であり半径  $r$  なる圓の方程式は

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$$

之を開くと

$$x^2 + y^2 - 2ax - 2by = r^2 - (a^2 + b^2) \dots\dots\dots(2)$$

これを(1)式と比較すれば全く同じ形である。即

$$x = I_1, \quad y = I_2, \quad a = -\frac{E_R R}{Z^2}, \quad b = -\frac{E_R X}{Z^2}$$

又半径  $r$  は

$$r^2 - (a^2 + b^2) = \frac{E_S^2 - E_R^2}{Z^2}$$

$$r^2 = \frac{E_S^2 - E_R^2}{Z^2} + \left( \frac{E_R R}{Z^2} \right)^2 + \left( \frac{E_R X}{Z^2} \right)^2$$

$$= \frac{E_S^2 - E_R^2}{Z^2} + \frac{E_R^2(R^2 + X^2)}{Z^4} = \frac{E_S^2 - E_R^2 + E_R^2}{Z^2} = \frac{E_S^2}{Z^2}$$

$$\therefore r = \frac{E_S}{Z}$$

即(1)式の  $I_1$  と  $I_2$  は完全に圓の關係を充たすもので、その圓の中心は

$x$  軸上の距離

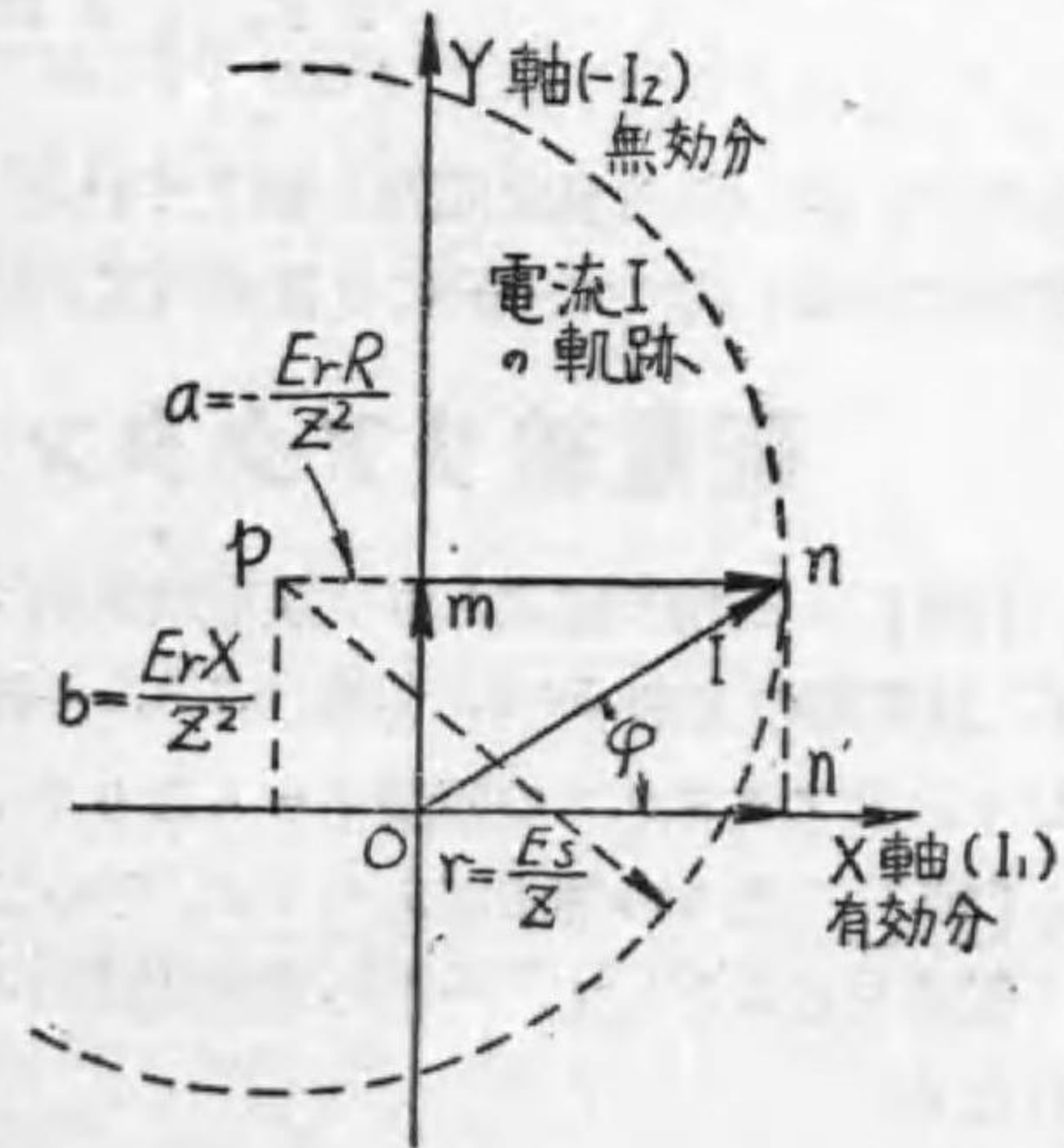
$$a = -\frac{E_R R}{Z^2}$$

$y$  軸上の距離

$$b = -\frac{E_R X}{Z^2}$$

半径  $r$

$$r = \frac{E_S}{Z}$$



之を圖示すれば右圖の如くなる。但し圖に於ては  $b = \frac{E_R X}{Z^2}$  とした。これは  $I_2$  を遅電流とせば

$-I_2$  即進電流とした場合の原點で、かくの如く定むるときは、普通



我々が書く進み電流のベクトルは有効電流より反時計式に進むといふ習慣に一致するからである。

この圓線圖より最大受電電力の點は、 $I$  の有効分  $I_1$  が最大となる如き點、即ち  $n$  點で、その場合の全電流  $I$  は  $on$  となり  $\varphi$  なる進み角となる。而して最大有効分の値は  $p$  を中心とする半径  $r = \frac{E_S}{Z} = \frac{E_R R}{Z^2}$  より  $a$  の長さ  $\frac{E_R R}{Z^2} = pm$  を減じた  $mn$  であり、 $kW$  で表される電力はこれに  $\frac{E_R}{1000}$  を乗じたものでなければならぬ。故に

$$P_{r(max)} = \frac{E_R}{1000} \left( \frac{E_S}{Z} - \frac{E_R R}{Z^2} \right)$$

$$= \frac{E_R}{1000} \left( \frac{E_S}{\sqrt{R^2 + X^2}} - \frac{E_R R}{R^2 + X^2} \right)$$

以上は毎相に就いての説明であるが、三相電力としては

$$3 P_{r(max)} = 3 \frac{E_R}{1000} \left( \frac{E_S}{Z} - \frac{E_R R}{Z^2} \right)$$

$$= \frac{\sqrt{3} E_r}{1000} \left( \frac{\sqrt{3} E_s}{Z} - \frac{\sqrt{3} E_r R}{Z^2} \right)$$

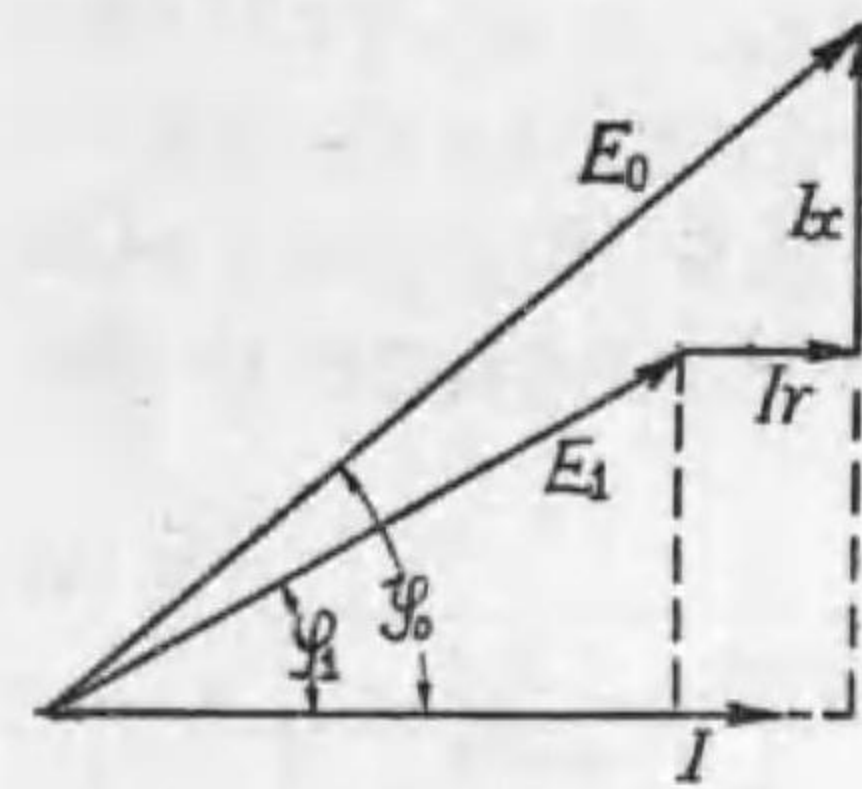
となり、 $E_r$   $E_s$  を線間電圧の値とすれば、 $P_{r(max)}$  は三相電力を示す事になる。従つて一般には後者の式が用ひられる。

### 配電線リアクタンスの計算

【問】 三相三線式あり。送電端電壓 3300 V 受電端電壓 3240 V、送電端の力率 58%、電流 3.7 A、一線全長の抵抗 14.73 オームなり。リアクタンスの値幾オームなりや。

【解】 色々の解法があらうが、その二、三の方法をお答へする。電流を基本として、一相の電圧電流のベクトル圖を畫けば次の様になる。

$$E_0 = \frac{3300}{\sqrt{3}} \doteq 1905, \quad E_1 = \frac{3240}{\sqrt{3}} \doteq 1870$$



$\cos \varphi_0 = 0.58$   
 $\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0} \doteq 0.81$   
 圖より  
 $I_x = E_0 \sin \varphi_0 - E_1 \sin \varphi_1$   
 $\sin \varphi_1$  の値を求めるには、先づ  $\cos \varphi_1$  を求むればよい。  
 $\cos \varphi_1 = \frac{E_0 \cos \varphi_0 - I_r}{E_1}$

$$= \frac{1905 \times 0.58 - 3.7 \times 14.73}{1870} = 0.56$$

$$\sin \varphi_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1} = 0.82$$

$$\therefore I_x = 1905 \times 0.81 - 1870 \times 0.82 = 9.6$$

$$\therefore x = \frac{9.6}{3.7} = 2.6 \text{ オーム}$$

此の値が正しいか否かを檢算する爲にベクトル圖より、

$$E_1^2 = (E_0 \cos \varphi_0 - I_r)^2 + (E_0 \sin \varphi_0 - I_x)^2 \dots\dots\dots (a)$$

$$= (1905 \times 0.58 - 3.7 \times 14.73)^2$$

$$+ (1905 \times 0.81 - 3.7 \times 2.6)^2$$

$$E_1 \doteq 1870$$

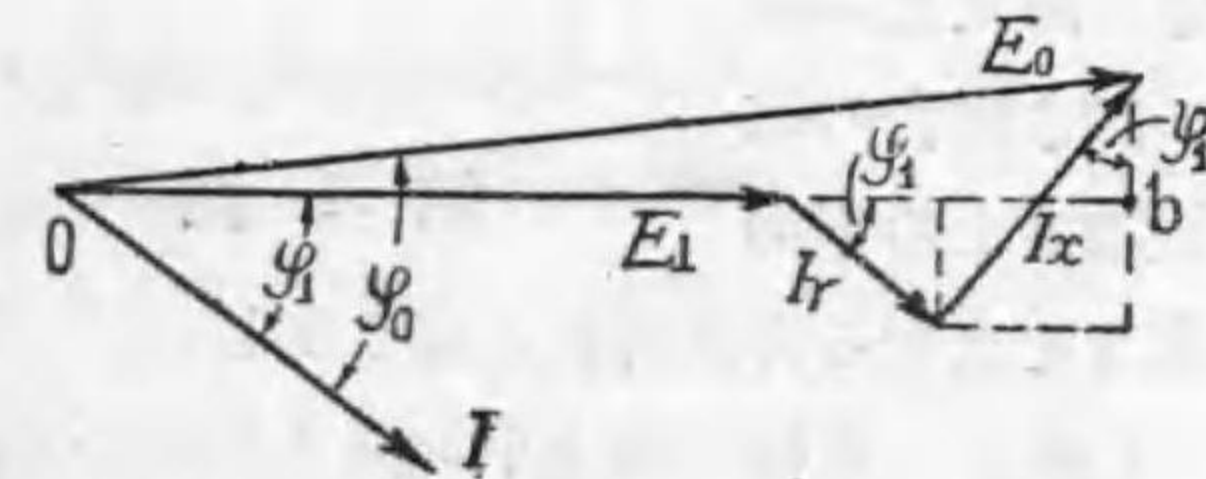
或は  $I_x$  を求むるに (a) 式より直ちに

$$E_0 \sin \varphi_0 - I_x = \sqrt{E_1^2 - (E_0 \cos \varphi_0 - I_r)^2}$$

$$\therefore I_x = E_0 \sin \varphi_0 - \sqrt{E_1^2 - (E_0 \cos \varphi_0 - I_r)^2}$$

より求めてもよい。

又略算で計算するならば、次の如きベクトル圖を畫いて略算式で計算してよい。ベクトルは受電



端電壓  $E_1$  を基本として畫く。  $\varphi_0 - \varphi_1$  は微少なる故

$$OF_0 \doteq ob$$

故に

$$E_0 \doteq ob = E_1 + Ir \cos \varphi_1 + Ix \sin \varphi_1$$

$$\therefore Ix \sin \varphi_1 = E_0 - (E_1 + Ir \cos \varphi_1)$$

$$\therefore x = \frac{E_0 - (E_1 + Ir \cos \varphi_1)}{I \sin \varphi_1}$$

$$= \frac{1905 - (1870 + 54.4 \times 0.56)}{3.7 \times 0.82} = \frac{5.536}{3.034}$$

$$\doteq 1.8 \text{ オーム}$$

何れにしても、インピーダンス降下  $1905 - 1870 = 35 \text{ V}$  なるに、抵抗降下は  $3.7 \times 14.73 = 54 \text{ V}$  となる。かゝる事はあり得ないなど言はれぬ様に。亦配電線のリアクタンスは計算で示す様に基だ僅少となるもの故、普通これを閉却してよい。但し

$$E_0 \doteq E_1 + Ir \dots\dots\dots(1)$$

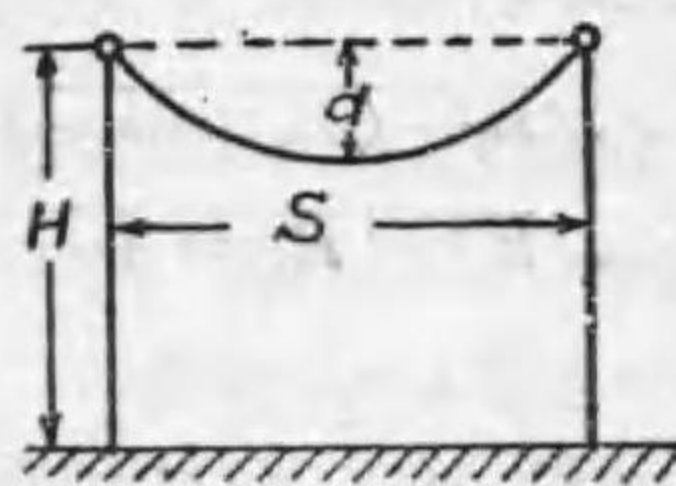
としないで

$$E_0 \doteq E_1 + Ir \cos \varphi \dots\dots\dots(2)$$

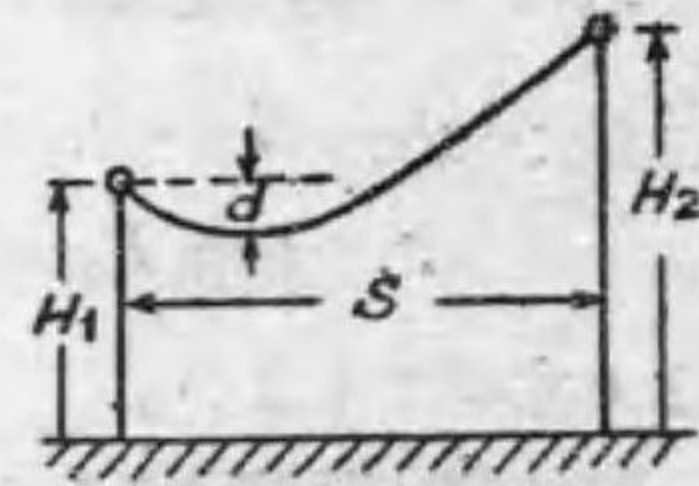
とする事である。(1) 式で計算すれば  $E_0 = 1924$  となり、(2) 式では  $1902 \text{ V}$  となる。力率の悪い時は後者に依る可きである。

### 電線地表上の平均高さ

【問】 大地に対する静電容量の計算に於て第1圖及第2圖の如き場合の電線地表上の平均



第 1 圖

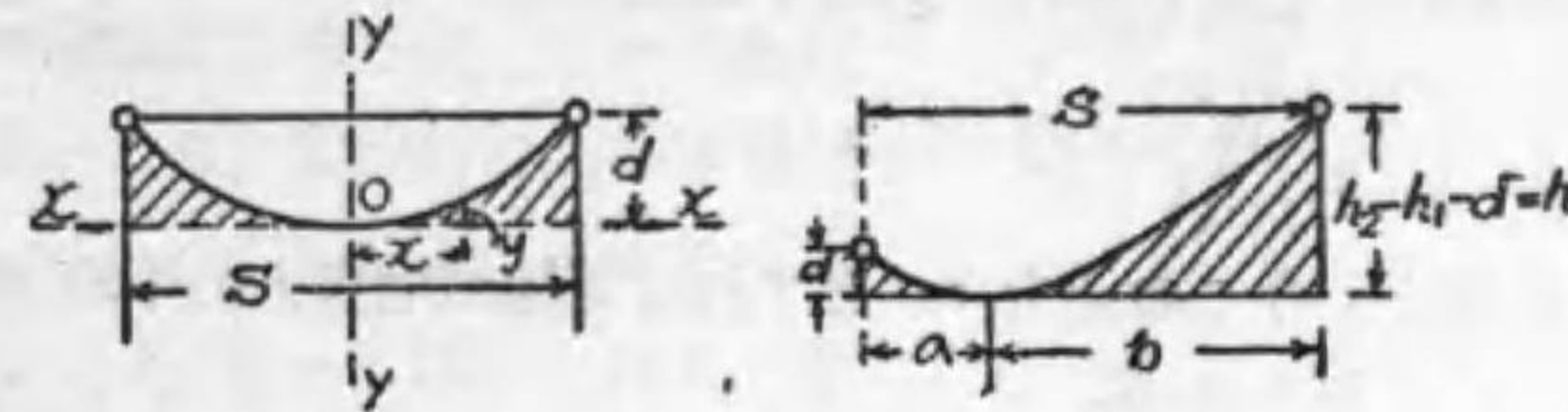


第 2 圖

高さを求むる方法御教示賜り度し。

【解】 電線の地上平均高さを以つて、容量を代表する平均高さになるか否かは疑問である。然し假りにこれを以て表し得るとして

計算を試みる。第1圖の如き場合は極めて簡単である。即第3圖に於て斜線を施せる面積を求め、これを  $S$  にて除せば平均高さ ( $h_0$ ) が出て来る筈である。電線は普通拋物線をなすものとして取扱ふもの故、第3圖に於て原點を0とすれば  $y = Ax^2$  にて表さる。



第 3 圖

第 4 圖

$$h_0 = \frac{1}{S} \int_{-\frac{S}{2}}^{\frac{S}{2}} Ax^2 dx, \text{ 但し } A = \frac{4d}{S^2}$$

$$= \frac{1}{S} \int_{-\frac{S}{2}}^{\frac{S}{2}} \frac{4d}{S^2} x^2 dx = \frac{4d}{S^3} \left[ \frac{1}{3} x^3 \right]_{-\frac{S}{2}}^{\frac{S}{2}}$$

$$= \frac{4d}{3S^3} \left\{ \left( \frac{S}{2} \right)^3 + \left( \frac{S}{2} \right)^3 \right\}$$

$$= \frac{4d}{3S^3} \times \frac{S^3}{4} = \frac{d}{3}$$

即  $\frac{d}{3}$  となる。故に電線の地表上の平均高さは

$$H - \frac{2}{3} d \text{ となる。}$$

第2圖の如く支持点の高さが異なる場合は第4圖に示す斜線を施せる面積を求め、これを  $S$  にて除して平均高さを求むればよい。これには  $a$  及  $b$  を知る必要がある。これに對しては電氣工學ポケットブック 717 頁 (第一版) に

$$\frac{a}{2} = \frac{S}{2} - \frac{hT}{WS}$$

なる式がある。こゝに

$$h = h_2 - h_1 \text{ (m)}, W = \text{電線に加ふる荷重 kg/m}$$

$$T = \text{電線の最大張力 (kg)}$$

これより  $a$  を求め、 $(S-a)$  より  $b$  を求むる。すると面積は  $\frac{1}{3} \{(a \times d) + (b \times h)\}$  であるからこの平均高さは

$$\frac{1}{3S} \{(a \times d) + (b \times h)\}$$

より求め得る。今この値を  $h_0$  とすれば電線の地表上の平均高さは

$$H_1 - d + h_0$$

となる。

### 単心地中電纜と接地

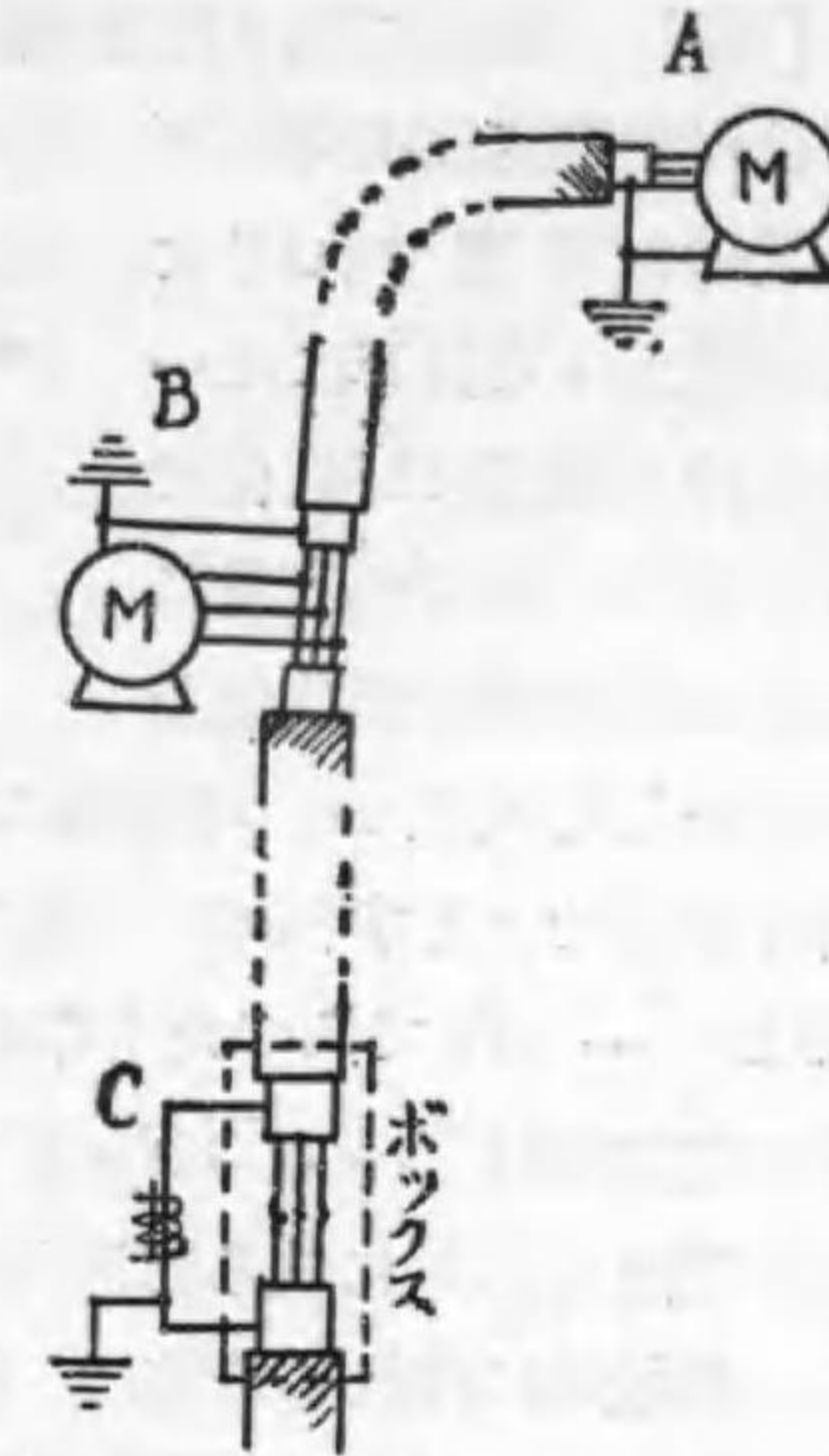
【問】 三相式三心入の地中電纜のケーブルヘッドはその両端を接地するが、単心入の地中電纜はケーブルヘッドを接地してはならない。その理由御教示被下度願上候。

【解】 三相式三心入り電纜に於ては、三心に通る各相電流は各瞬時にその合成は常に零であり、従つて電流に依り出来る磁力線もその和は常に零である。然るに単心被鉛電纜ではさうならず、常に磁束が交番に生じ心線と鉛被との間には恰も變壓器の一次二次の如き関係となる。而してその起電力の方向は電纜の縦の方向に生ずる。従つてケーブルヘッドの両端を接地すれば、この起電力を短絡することになり大なる短絡電流を生ずる事となるのである。工作物規程の屋内金属管工事に於ても、一本の金属管内には往復二線を挿入し決して片線のみを入れてはいかぬのも亦この理由に依る。

### 第一種地線工事

【問】 電氣工作物規程第一種地線工事中、次の場合は何れを採用するものに候や。坑内電線路は凡て鉛装紙電纜を用ひ居り、此の電線にて配電せらるる各機械臺及電氣機械外函は第一種地線工事に

依り接地せねばならぬ。然るに圖の如く多くの機械臺の金属は總て電纜鉛被を以て連結せられ同時に數多の個所で接地せられて居る。此の場合 A 機或は B 機に於ける第一種地線工事とは、その接地抵抗測定の場合電纜鉛被の接續を切離してその個所單獨の地板抵抗を測定し 10 オーム以下となすべきか、或はその地板と他所の地板と並列の儘、即電纜鉛被接續の儘測定せる結果 10 オーム以下にて可なるものなるや。



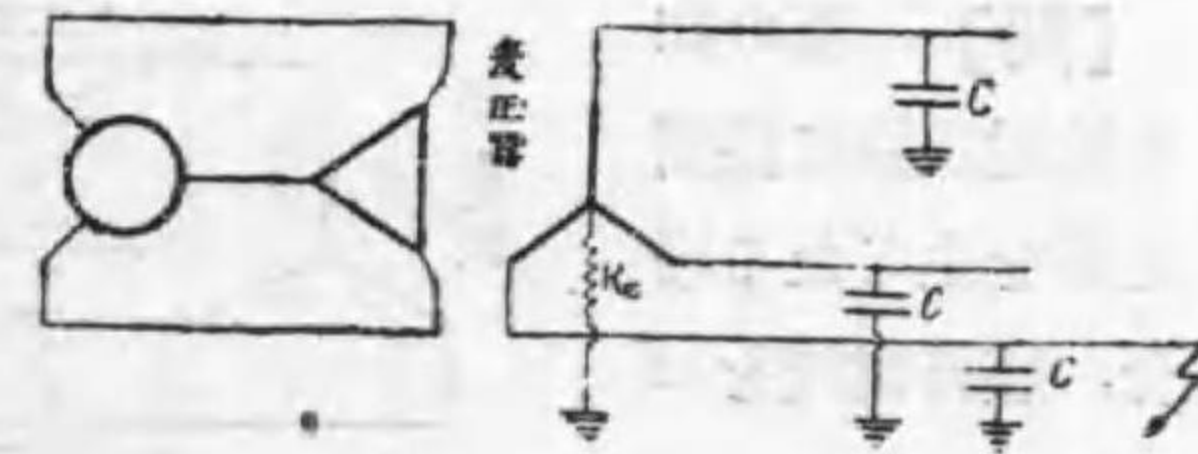
【解】 遞信當局の某氏に伺ひたる所大體次の様な御説明に預つた。

元來臺秤その他外函の接地は、安全の爲め行ふものである。従て完全第一とすべきである。然るに問の場合には電纜鉛被との接續が切斷されぬといふ事は斷言し得ない。故に安全を大にするには自己の地板のみにて 10 オーム以下であるにしくはない。即電纜外被との接續を切離して測定すべきであると。之を解答とする。

### 接 地 電 流

【問】 圖の如き三相送電系統あり、中性點接地抵抗  $R_e$  にして

各線と大地との間の容量  $C$  なり、送電電壓  $V$  なる時一線の接地電流を求む。但し發電機變壓器のインピーダンスを無視す。上記問題何卒御教示下され度し。



【解】 題意に依り発電機及變壓器のインピーダンスを無視すれば結局變壓器二次側以下送電線を考慮すればよい。又かゝる計算には一般に線間電圧は變化せず、従つて線間の容量に依る充電電流の變化はないものとしてよい。却説圖に於て c に結ばれた送電線が、d 點に於て接地せりとすれば、c 點の電位は零となり、今迄 a 及 b 線の電位は  $\frac{V}{\sqrt{3}} = E$  であつたものが、 $V = \sqrt{3}E$  となりその電壓による充電電流は  $I_c = \sqrt{3}E\omega C$  となり圖の如く流れる。而して a に依る電流と、b に依る電流との間には  $60^\circ$  に相當する相差があるから、接地點に流れる電流は  $I_c \times \sqrt{3} = 3E\omega C$  となる。

又接地抵抗を通つて流れる電流は、接地電流に於ける計算と同様送電線抵抗インダクタンスを無視すれば  $I_r = \frac{E}{R_e}$ 、而して  $I_r$  は  $E$  と同相にあり、 $I_c$  は  $E$  より  $90^\circ$  の進み相にある故、接地點を流れる全電流  $I_T$  は

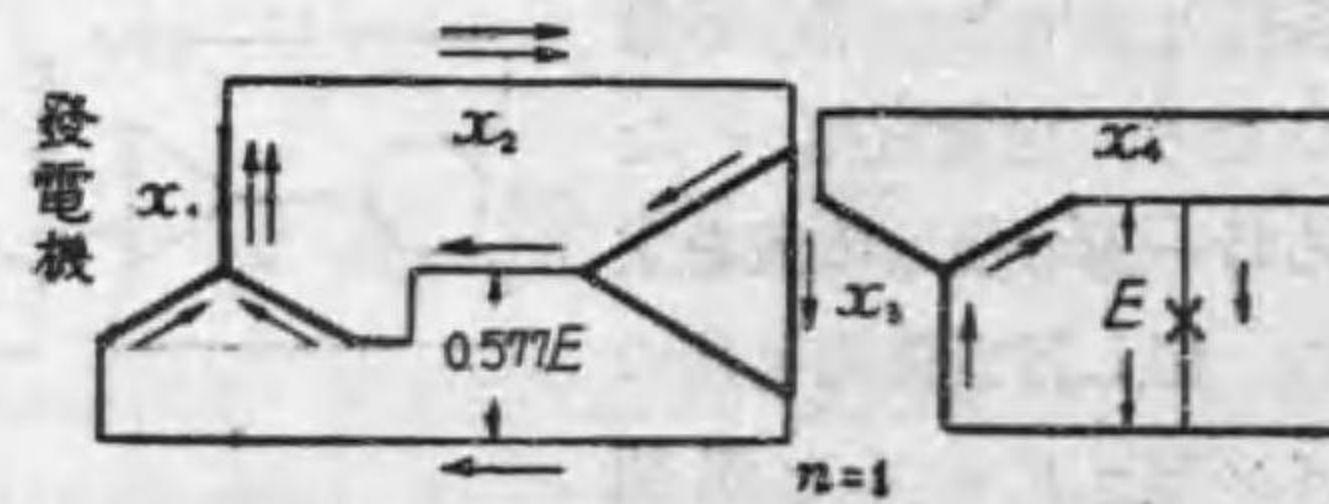
$$I_T = \frac{E}{R_e} + j3\omega CE = E\sqrt{\left(\frac{1}{R_e}\right)^2 + 9(\omega C)^2}$$

但し  $E = \frac{V}{\sqrt{3}}$

線間短絡電流の計算

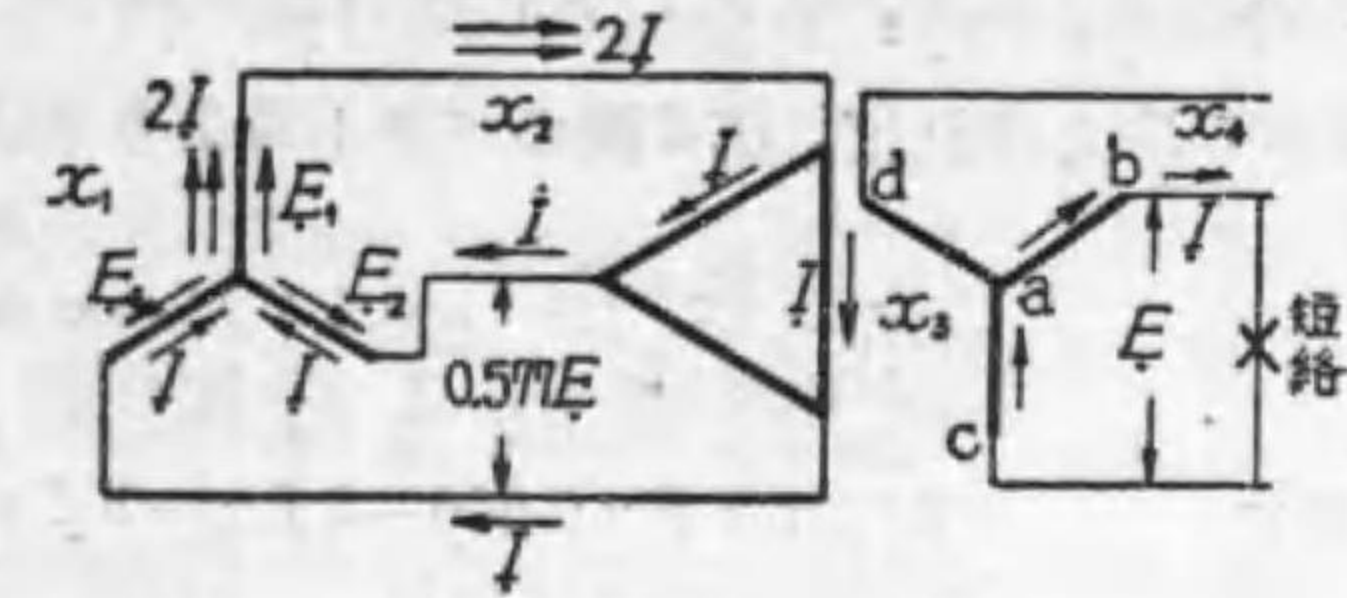
【問】 圖の如き送電線路に線間短絡を生じたる場合、短絡電流を  $I$  とせば、

$$2(0.866 \times 0.577 E - 3 I x_1 - 3 I x_2) = 2 I x_3 + 2 I x_4$$



なる方程式成立すと云ふ、その理由詳細に御説明願上候。

【解】 本問題は昭和4年7月號本欄に「单相短絡電流の計算」と題して電流値を求めたが多少質問の要點も異つてゐるし、キ氏法則の取扱ひ上好参考とも考へられるので再解答を試みる事にした。



第 1 圖

短絡箇所に於て次式を得る事は明である。

$$E - 2 I x_4 = 0$$

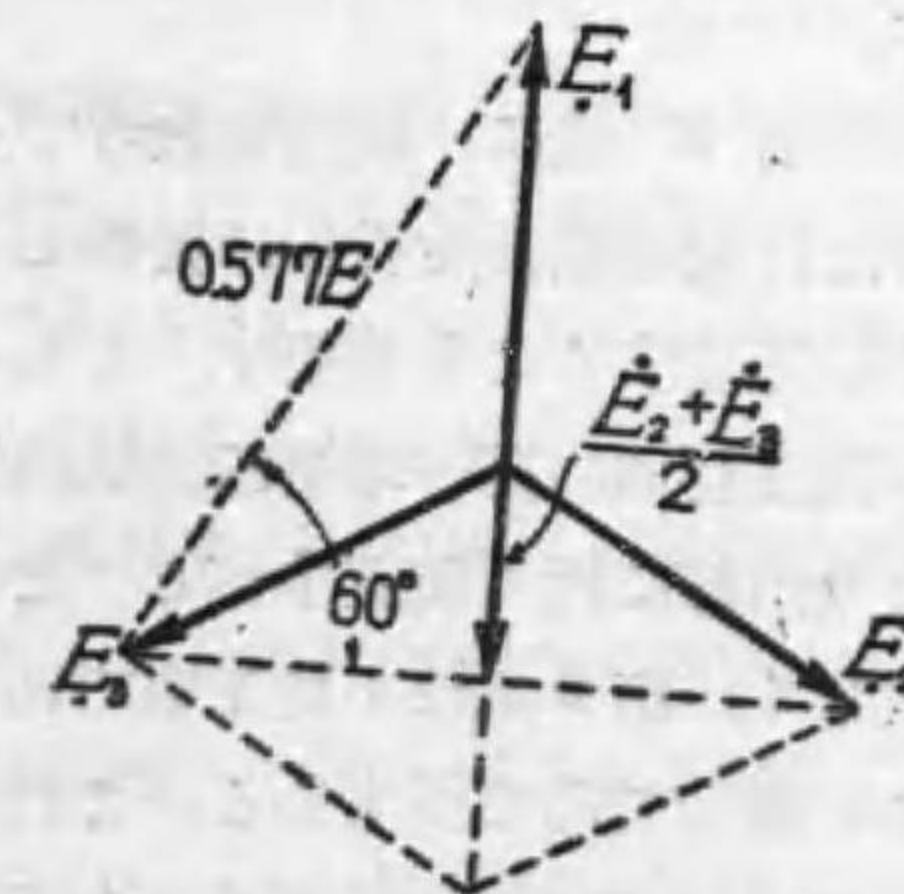
然るに  $E = E_{ba} + E_{ac}$

$$\therefore E_{ba} + E_{ac} - 2 I x_4 = 0$$

然るに  $E_{ba} = (E_1 - E_2) - 3 I x_1 - 3 I x_2 - I x_3$

$$E_{ac} = (E_1 - E_3) - 3 I x_1 - 3 I x_2 - I x_3$$

$$\therefore E_{ba} + E_{ac} = 2 E_1 - (E_2 + E_3) - 2(3 I x_1 + 3 I x_2 + I x_3)$$



第 2 圖

$$= 2 \left( \dot{E}_1 - \frac{\dot{E}_2 + \dot{E}_3}{2} - 3 \dot{I}_{x_1} - 3 \dot{I}_{x_2} - \dot{I}_{x_3} \right)$$

今  $|E_1| = |E_2| = |E_3|$  とし且  $|E_1 - E_2| = |E_2 - E_3| = |E_3 - E_1| = 0.577 E$  とすれば、第2圖のベクトルより

$$\left| \dot{E}_1 - \frac{\dot{E}_2 + \dot{E}_3}{2} \right| = 0.577 E \times \sin 60^\circ = 0.577 E \times 0.866$$

故に  $2(0.577 E \times 0.866 - 3 \dot{I}_{x_1} - 3 \dot{I}_{x_2}) = 2 \dot{I}_{x_3} + 2 \dot{I}_{x_4}$

### 引込開閉器の位置

【問】 電燈電力電熱の従量供給に就き、下圖の如く引込開閉器を設置するとせば積算電力計を境として何れが正しいでせうか。



第 1 圖

第 2 圖

大概の電気事業者の施行しつつある

如く、第1圖が正しいと思ひますが、電気工作物規程よりすれば第2圖の場合でも違反とならないさうです。また工作物規程に明示してないとの事です。

【解】 工作物規程第97條に、「屋内に施設する電線には引込口に近き場所に開閉器及自働遮断器を各極に装置し且つ開閉器を容易に電路を遮断し得る様施設することを要す」とある。又電気協會發行の、屋内電気工事施設要則、第一章第四節第四條に於て「積算電力計は引込開閉器より内線に近く装置すべし」とある。従つて嚴格に言へば第1圖が正しく、第2圖は不良工事である。但し實際に於て第2圖の如き工事を施してある所もある。これは第1圖の如き接続では、積算電力計を通さずに引込開閉器より直接電力をとり盗用する實例がある。然るに第2圖の如くしておけばかゝる方法に依る

盗用を防止する事が出来るといふのである。監督官廳に於ても法規に照せば不良ではあるが今迄第2圖の如く接続した爲めに特別の災害を及ぼした事もないので、言はば大目にみてをられるとの事である。但しこれは所管監督者の意見であるからどこでも第2圖が不文律として許されてゐるのではない。

### 油入開閉器と直流回路

【問】 現今交流用開閉器には主として油入開閉器が使用され、直流用には高壓大電流のものも氣中開閉器が使用されるのは如何なる見地より決定されるものですか、御教示下さい。

【解】 誰しも一寸考へる事であるが、直流回路及交流回路の遮断時に於ける現象を考ふれば了解される。その主なる點は(1)直流回路の遮断は遮断電流そのものの値に於て行はれるが、交流回路は電流零の點がある。従つて電流零の時に遮断し後電流を持続せしめねばよい。(2)直流回路の遮断に於ては回路に蓄へられた磁氣的勢力  $\frac{1}{2} LI^2$  が弧光内に於て消費されねばならぬに反し、交流回路に於ては半サイクル毎に磁氣的勢力は交番し、電流零の處に於て遮断すればこの勢力は零である。

上述の理由に依り直流回路に於ては同一實効値の交流回路の遮断容量より極めて大でなければならぬ。又これを油中にて遮断する時は開閉器の接觸片及弧光が冷却せられる結果弧光電壓は空氣中より高く遮断時間は實際に短くはなるが遮断時の電壓は非常に高まり著しい過電壓を生ずるに至るものである。殊に短絡その他非常時に於て自働的に回路を遮断する如き場合は、大電流をその最大値に於て遮断する結果大なる弧光を生じ遂には油槽の爆破を見るに至るべく若し之れに耐ふるものとすれば極めて強大なるものが必要となる。之れに反し氣中遮断器とし就中炭素を接觸片に用ふると、上述と全く正反對の作用が得られる。即炭素は電流が減少しても相當長く溫度を保つてをるから弧光電壓は低い。その爲め遮断器が働きの終り

に近づいても尚弧光を発生し遮断の爲めの過電壓を低める。又短絡電流その他大電流に依る弧光は「磁気吹消し」その他の方法で消滅せしむることが出来る。

交流回路に於ては、若し遮断器が正確に働くものとしたら、電流が丁度零の瞬間に回路を遮断すれば何等の過電壓或は遮断箇所の過熱を生ずる事はない。然し今の處實際には機構の質量がある爲めさうはゆかない。が要するに交流の場合は電流を遮断すると云ふ事より寧ろ弧光が再び生ずる事を防ぐのが重要な目的であり、此點に於て油入遮断器は目的に叶ふものである。油入遮断器では一般に定常負荷は半周期内に遮断し、短絡電流の如き大電流は屢々數サイクルに涉り弧光を生ずる。尚弧光が続く時は油が炭化するので大電流遮断の時は幾分の時間の遅れを附し電流の値が小になつてから遮断する様にするものである。

### 三相三線式の抵抗損

【問】 電氣工学ポケットブック(初版) 695 頁に、三相三線式線路のオーム損は大體次式に依つて計算することが出来る。

$$w = 3 I^2 R l \dots \dots \dots \text{線路が割合に短い場合}$$

$$w = 3 P l \left( I^2 - I_c I \sin \theta + \frac{1}{3} I_c^2 \right) \text{線路が相当長い場合}$$

但し  $w$  = オーム損 (W)

$R$  = 電線 1 條の抵抗 (オーム/km), 精密には表皮作用を考へた實効抵抗をとるべきである。

$l$  = 線路互長 (km)  $\cos \theta$  = 負荷の力率

$I$  = 負荷電流 (A)

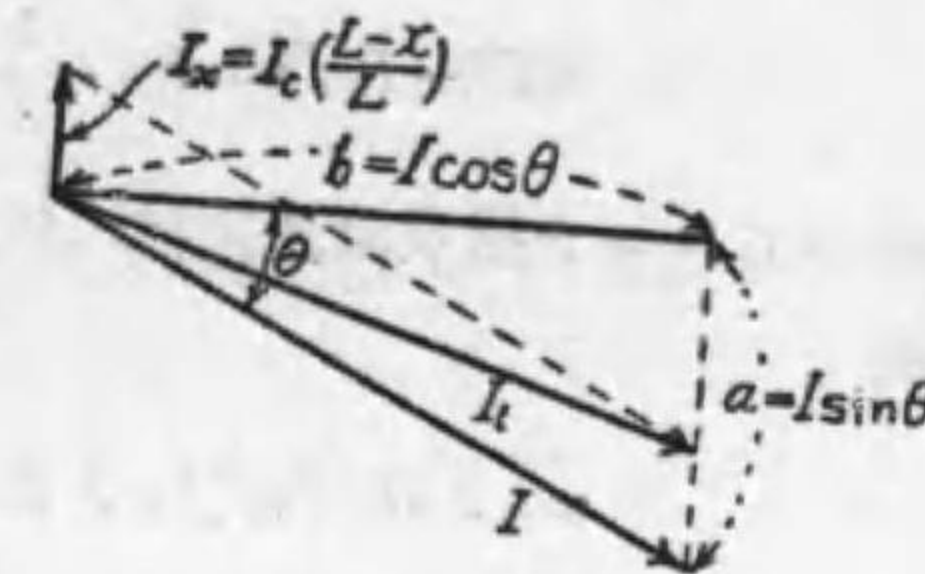
$I_c$  = 送電端に於ける充電電流 (A)

とあります。線路が相当長き場合の式を御證明下さい。

【解】 この式は送電線内に於ける電壓降下を無視し、充電電流

は一様に分布されてゐるとして計算されたものである。かくの如く定むれば送電端より  $x$  なる距離に於ける充電電流の値  $I_x$  は

$$I_x = \frac{I_c}{L} (L - x)$$



圖は  $x$  なる距離に於ける電流のベクトル圖を示すもので  $I$  が負荷電流、 $I_l$  が線路電流である。従つてオーム損を形成するものは線路電流であるからこれを求めれば、

$$I_l = \sqrt{(I \sin \theta - I_x)^2 + (I \cos \theta)^2}$$

$$= \sqrt{(a - I_x)^2 + b^2}$$

但し  $a = I \sin \theta$   $b = I \cos \theta$

$b$  即  $I \cos \theta$  は負荷の有効電流で一定である。變數は  $(a - I_x)$  であるから、この平均値を求むる。

$$(a - I_x)_{av}^2 = \frac{1}{L} \int_0^L (a - I_x)^2 dx$$

$$= \frac{1}{L} \int_0^L \left[ a^2 - 2a \frac{I_c}{L} (L - x) + \frac{I_c^2}{L^2} (L - x)^2 \right] dx$$

$$= \frac{a^2}{L} \int_0^L dx - \frac{2a I_c}{L^2} \int_0^L (L - x) dx$$

$$+ \frac{I_c^2}{L^3} \int_0^L (L - x)^2 dx$$

$$= a^2 - a I_c + \frac{I_c^2}{3}$$

故に  $I_l$  の平均値  $I_l'$  は

$$(I_l')^2 = b^2 + a^2 - a I_c + \frac{1}{3} I_c^2$$

$$= I^2 - I_c I \sin \theta + \frac{1}{3} I_c^2$$

従つてコロナ損及漏洩抵抗に依る損失を無視した場合の抵抗損は大略

$$w = 3 RL(I')^2 = 3 RL \left( I^2 - I_c I \sin \theta + \frac{1}{3} I_c^2 \right)$$

となる。

### 遞試三種 3 番に就いて

【問】 昭和 7 年遞試一次三種 3 番の解で某工業會より次の如き解答に接しました。「所要電線量を減少する事—電壓  $E$  なる単相二線式と、中性線と兩外線間  $E$  なる単相三線式とに於て、同一電力を配電するに要する電線量は中性線を外線と同一太さにしたる場合に於ても  $\frac{3}{4}$  即 75% に軽減する事を得る。負荷の著しき不平衡なき場合に於ては中性線を外線の  $\frac{1}{2}$  にするも差支へなく、此の場合に於ては 62.5% に軽減し得る」とあります。貴誌解答では中性線と外線と同じ太さに於て 37.5%、中性線が外線の  $\frac{1}{2}$  に於ては 31.3% とあります。何故かくの如き二様の解が出るでせうか。

【解】 これは兩者即二線式と三線式の電力損失を等しとせる假定によるか、電壓降下を等しいとせる假定に依るかの出發點の相違に原因してゐる。

(イ) 電力損失を等しくせる場合。平衡負荷の場合を考ふれば、外線間の電壓は 2 倍となり電流は  $\frac{1}{2}$  となる。従つて電壓降下率を等しとすれば電壓降下は  $2v$ 、故に外線の抵抗  $R_0$  は

$$R_0 = \frac{2v}{\frac{1}{2}I} = 4 \frac{v}{I} = 4R \quad \left( R = \frac{v}{I} \dots \text{二線式の場合の抵抗} \right)$$

即外線の抵抗は二線式の場合の 4 倍でよい。従つて電線の太さは  $\frac{1}{4}$  でよい。今中性線の太さを外線と同じ太さにすれば互長  $l$  に就いて

$$\frac{1}{4} A \times 3 l = \frac{3}{4} Al \quad (A \text{ は二線式の電線の太さ})$$

の電線量を必要とする。二線式の場合は断面積  $A$  の電線が 2 本であるから

$$A \times 2 l = 2 Al$$

故にその比は

$$\frac{\frac{3}{4} Al + 2 Al}{2 Al} = \frac{3}{8} = 37.5\%$$

若し中性線を外線の  $\frac{1}{2}$  とすれば

$$\left( \frac{1}{4} A \times 2 l \right) + \left( \frac{1}{4} A \times \frac{1}{2} l \right) = \frac{5}{8} Al$$

故に二線式との比較は

$$\frac{\frac{5}{8} Al + 2 Al}{2 Al} = \frac{5}{16} = 31.3\%$$

(ロ) 電壓降下を等しくせる場合。この場合は極端の場合、即一方の負荷が全然無く中性線にも外線と全く同じ電流が流れる場合に於て電壓降下が等しいとするのである。かくの如く假定すれば一本の電壓降下は二線式の場合と同じく  $v$  で只流れる電流が  $\frac{1}{2}$  となるに過ぎない。従つて

$$R_0 = \frac{v}{\frac{1}{2}I} = \frac{1}{2} \frac{v}{I} = \frac{1}{2} R$$

故に断面積  $\frac{1}{2} A$

所要電線量 — 中性線が外線と等しき時

$$\frac{1}{2} A \times 3 l = \frac{3}{2} Al$$

$$\frac{\frac{3}{2} Al + 2 Al}{2 Al} = \frac{3}{4} = 75\%$$

中性線が外線の  $\frac{1}{2}$  の時

$$\frac{1}{2} A \times 2l + \frac{1}{4} Al = \frac{5}{4} Al$$

$$\frac{5}{4} Al + 2 Al = \frac{5}{8} = 62.5\%$$

(イ) の場合は中性線に流れる電流が零の時、即ち負荷が完全に平衡せる時、電圧降下は  $2v$  となり二線式の場合の電圧降下と等しいのである。若し(ロ)の假定の如く中性線にも外線と同一の電流流れる時は電圧降下は  $4v$  となり二線式の場合に比して2倍の電圧降下を生ずる。然し一方その電力損失を考ふる時は、(イ)の場合に於て中性線にも外線と同様の電流が流れたとしてもその時の電線一本の  $I^2R$  損失は  $4R \times \left(\frac{I}{2}\right)^2 = I^2R$  となり二線式の場合の損失と等しい。但しこの比較は単にその大きさを比較せるのみで負荷に対する損失率を示すものではない。然し中性線の電流零の時は損失率も等しいこといふ迄もない。普通はこの場合の電力損失を等しいと置いて解くのである。

以上の如くであるからどちらの解でもその假定を示しておけば正解となる。又これを一般の場合に就いて考ふれば一方のみ負荷がかかる事は少なかるべくこれは一種の故障と考へてもよからう。然し故障時に於ても尚電圧降下を同一とするか或は電燈負荷に於てその電圧降下の如何なる場合に於ても一定制限内にある如くとれば(ロ)の方がよい。諸種の参考書には主として(イ)の比較が掲載されてある様である。

### アルミニウム避雷器の休止

【問】 アルミニウム避雷器に付て下記條項御教示下さい。

- (1) 使用中のものを數週間休止させる場合の取扱及注意
- (2) 再使用する場合の初充電の方法

### (3) 電解液の調合法

【解】 (1) 數週間使用休止する場合には、薄膜の溶解極度に達し單なる充電では薄膜は再成し難い。故に液槽を油槽より取り出し電解液及び油を完全に抜き皿を洗滌して保管する。次にその場合の取扱及注意を述べよう。

避雷器の分解には先づ送電線より切離ち、油槽中の大部分の油を抜き取りたる後、蓋を取外し皿積を靜に或程度迄引き出した上約  $60^\circ$  程度に傾けて残つてゐる油を取り除く。この際電解液が油と混合しない様注意せねばならぬ。かくして皿積のみを清淨なる箇所に取り出す。

皿積の分解には先づ頂上の圓錐皿を取外し油をあけたる後清淨なる平面上に伏せる。皿の取扱は必ずその縁のみを以つてし圓錐面に手を觸れてはならぬ。四個の間隔管を抜いて前の皿の縁に乗せ、その上に電解液をあけた次の皿を伏せ、かくして順次之を繰返してゆく。

次に皿を適當なる良石鹼にて洗ひ油氣を落とし、柔い布を以つて温水で洗滌し善く乾かす。これ等の取扱中木棒及間隔管を電解液に濡らしたり、或は皿を曲げ又は直接重ね合せて薄膜を傷くる事の無い様にせねばならぬ。凡て皿の圓錐面に燒痕又は刺孔あるものは使用に耐へない。布はよく氣をつけボロに固きものが入つてゐる様なもの、例へば古シャツの釦などは眼に見えない様な痕を與へるものである。

(2) 扱充電をなすには次の様にする。皿積を再び組立て各皿に適量の電解液を注入する。この液の量は製造家の與へた使用書に依る可きものであるが、若しそれがなければ皿から溢れず且上下の皿が充分接觸する程度とすればよい。斯様にして液の量が解れば圖の A の如く一つの容器の兩端に栓をつめ、h なる小管の高さ迄液が満ちた時丁度皿一枚分の量としておく、p はゴム管でピンチ・コックを付けておくか或はゴム管を A より高くしておく。上部よ



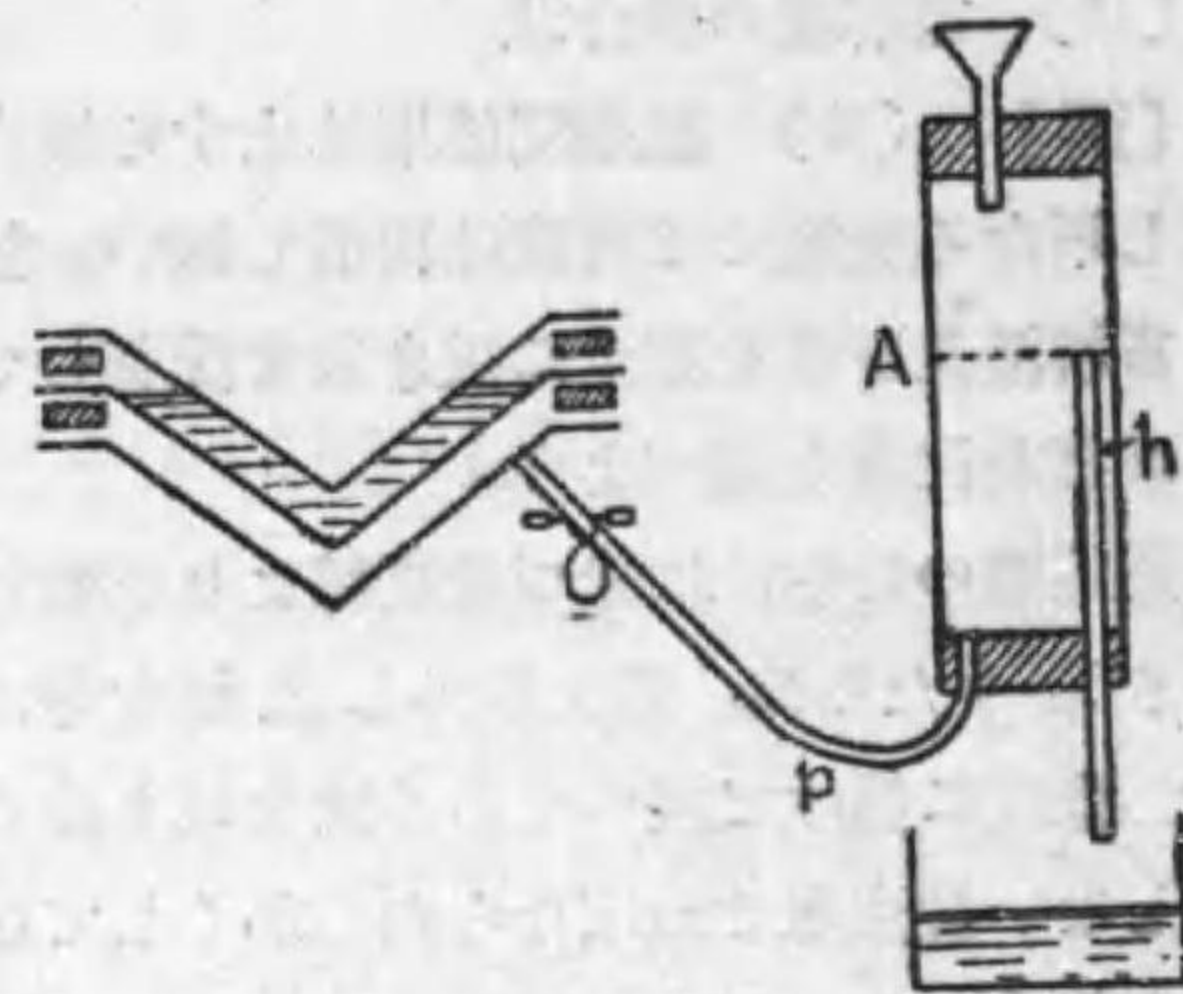
り液を入れより溢水せしむる迄入れ次にゴム管を下げ A を高くして皿に注入する。かうすると液の経済となる。かくして組立つれば直ちに充電を行ふ。充電は圖の如く各皿間に電流計、電圧計及電球と共に交流 250 V の電源に接続する。電球の数は試験栓を短絡したる時電流約 1 アムペア以内になる様を選ぶ。

充電には先づ試験栓を皿間に挿入しその接觸の瞬間に火花の出るか否かを確認

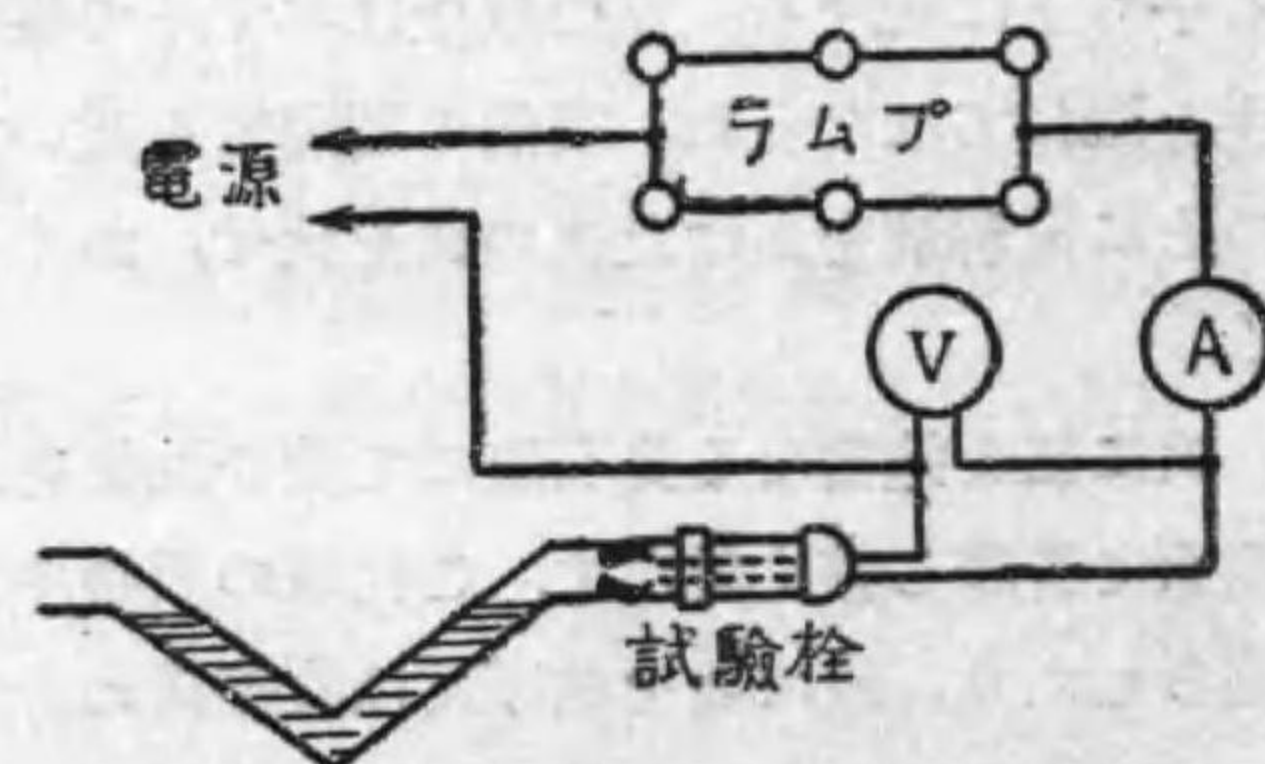
る。若し火花が出なければ電解液のない證據である。充電開始後電圧計及電流計を讀みて、電壓昇り電流減れば完全に充電の行はれつつある事を示すものである。かくして次第に電圧が昇り殆んど 250 V に達し電流が 0.2~0.4 アムペアに減れば完全なるものとみてよい。充電の時間は約 10 秒で長きに過ぐれば過熱の害がある。

電圧計電流計を使用し得ない場合には電球のみで試験してもよい。最初は強く輝き薄膜の生ずるに従ひ次第に暗くなる。

以上の如くして皿積各個の充電を終れば直ちに油槽に収め充分濾過したる油を満たす。通常の場合洗滌して乾したる目の細き木綿布



第 1 圖



第 2 圖

を二重にして濾過すれば適當である。油は油槽の内面に沿ひて靜に流し込み、皿積が完全に油中に浸る迄注入する。次に絶縁筒を正しく懸け、蓋を被せ、火花間隙その他に接続し送電線より電壓を加へて避雷器として充電する。蓋に幾分空氣を流通する様稍緩く取付るのがよい。

ホ一度使用した電解液又は封緘を切りて相當期間貯藏せるものは各皿間の充電方法によりて試験し液の良否を確認の方がよい。

(3) 電解液は主として、酸アンモニアの飽和溶液が使用される。酸アンモニア(白色粉末結晶) 1.75 封度を 5 噸の蒸溜水に溶解するのが普通である。酸アンモニアの價は 1 kg 約 50 錢の由である。

## オキサイド・フィルム避雷器

【問】 Oxide-film Arrester の不良品検出器具及び検出方法を御教示被下度候。

【解】

これに関しては、實際の製造者にして、且多年の經驗を有せらるる芝浦製作所に問合せし所同所 S 氏が詳細に説明して下さつた。

(イ) 試験棒を用ふる方法

(ロ) 電圧計にて電壓の測定

(ハ) 寒暖計にて温度の測定

(ニ) 一ヶ宛のセルに對し漏洩電流の測定

(イ)の試験棒を用ふる方法は、絶縁棒の先端に、ネオン管の如き稀薄ガスを充たせる電球を附し、常用電壓の加へられてゐる一連の避雷器に就き、各セルの兩端にこの電燈を跨らして點火せしむる。この時の電燈の光りの程度にて不良を發見するのである。即不良品程内部抵抗増加する故、不良なるセルの兩端の電壓は、他のものに

比して高い譯である。

(ロ)の電圧計を用ふる方法は、(イ)の電燈の代りに電圧計をセルの両端に跨らせるのである。

この時は電圧計といふよりも、寧ろ電流計となり漏洩電流を測定する事となる。即セルの内部抵抗の大なるもの程、一定の抵抗を有する電圧計に分流する電流が大きくなる譯である。故に高い電圧を指示するは不良といふことになる。

(ハ)の寒暖計を用ふる方法は、熟練すれば最も簡単でよい方法である。先づ電圧を與へて一定の充電々流を一定時間通過せしめ、後これを遮断すると同時に、寒暖計を用ふるか、或は速かに手を以て各セルに觸れ、これより温度高きものを不良と見るのである。

(ニ)の漏洩電流の測定は最も精確なるもので組立てられたるセル一枚毎に、低電圧を與へ電流計を直列に挿入して、漏洩電流を測定する。この電流の多少に依り良不良を辨別する。但しこの際セルの瀬戸ものの掃除をよくしておかぬと、塵埃と濕氣のため、外部を通つて漏洩する電流が非常な妨げとなる。

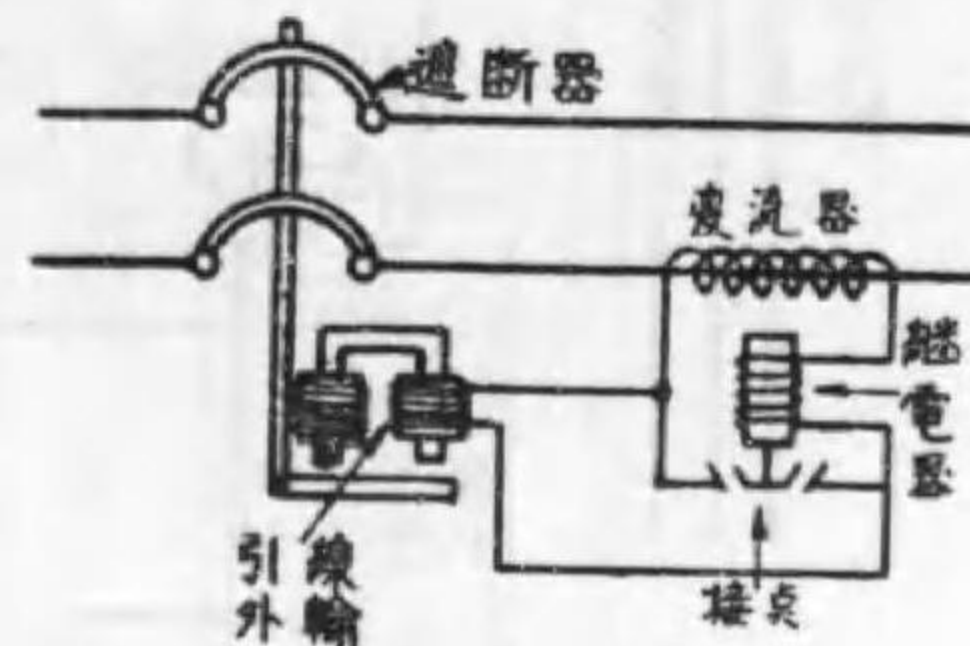
## 移 動 繼 電 器

【問】 移動繼電器の構造及用途御教示願上候、尙此の繼電器はオーム昭和4年6月號記載の、横濱市塵埃燒却發電所の配電盤に取付けあり、三菱電機製移動繼電器と記載し之れあり候。

【解】 製造元たる三菱に問合せた所、transfer relay を譯して移動繼電器となしたるものなりとの事である。譯語が多少無理がある様にも考へられるが、transfer relay ならば既に以前から使用されてゐるものである。三菱から送附された型録参照の上一通りの説明を致します。

油入遮断器の引外し線輪の電源には、信頼度の高いものを必要とするので、普通蓄電池を使用する。然し設備その他の關係上繼電器が接続されてゐる變流器の二次電流を使用する事がある。

斯様な場合には、平常は引外し線輪を短絡しておいて、繼電器が働いた時、其の短絡を開き變流器二次電流を引外し線輪に



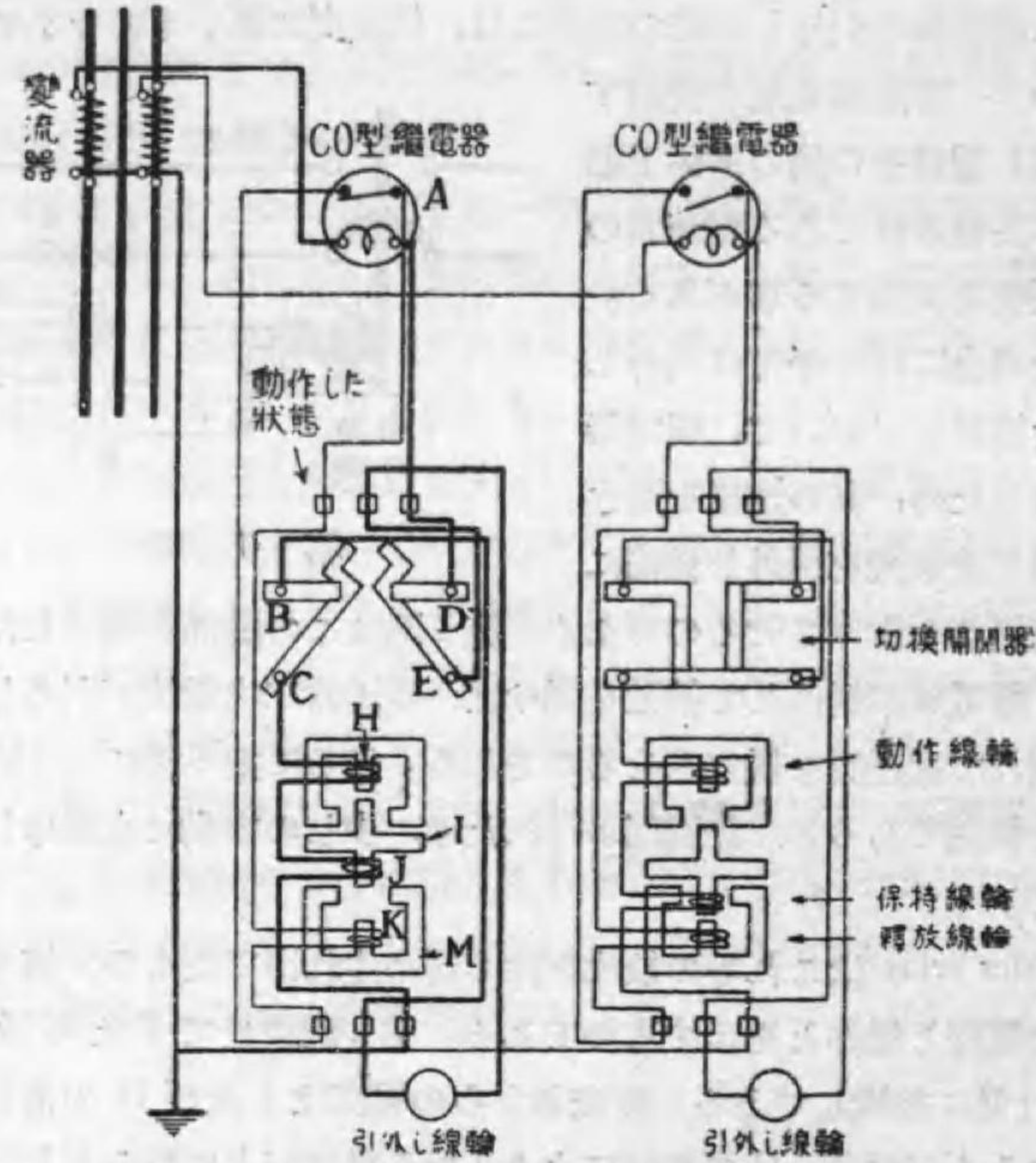
第 1 圖

導き遮断器を動作させるのである。第1圖はこの關係を圖示したもので、繼電器が動作して接點を開けば、變流器二次電流が引外し線輪を流れて遮断器を動作させるのである。然るに第1圖に示す様な簡単な接點であると、接觸面が汚れたり、少しの振動にも動作したりする。

transfer relay はこれ等の缺點を除く爲め生れ出でたもので第2圖はその原理と動作とを示すものである。第2圖に於て B と E 及 D と C は常に接觸してゐる。變流器からの電流は J 及び H の捲線を通つてゐるが爲め、H の捲線により I なる鐵片が上に登らんとしても、J 捲線に依る吸引力の爲めに下方に引き下げられて常に平衡の位置にある。

次に變流器に過電流が流れ A なる繼電器が動作し接點を閉ざせば、K なる捲線を短絡する。爲めに J 捲線に對し二次捲線を短絡した事になるから、鐵心 M の磁化力は弱められる。故に I は H 捲線の爲め吸ひ上げられ、C と B, D と E は接觸する。すると肉太の線にて示す如く電流流れ引外し線輪を動作せしむる。圖には I なる鐵片が吸ひ上げられた爲 C と B, E と D とが接觸する機構は畫いてないが、I が吸ひ上げられるればかくなるやうに製作されてゐる。

この繼電器は動作が精確で且少許の振動等により動作する様な事がない許りでなく、series trip 又は開路式の利點を有してゐる。

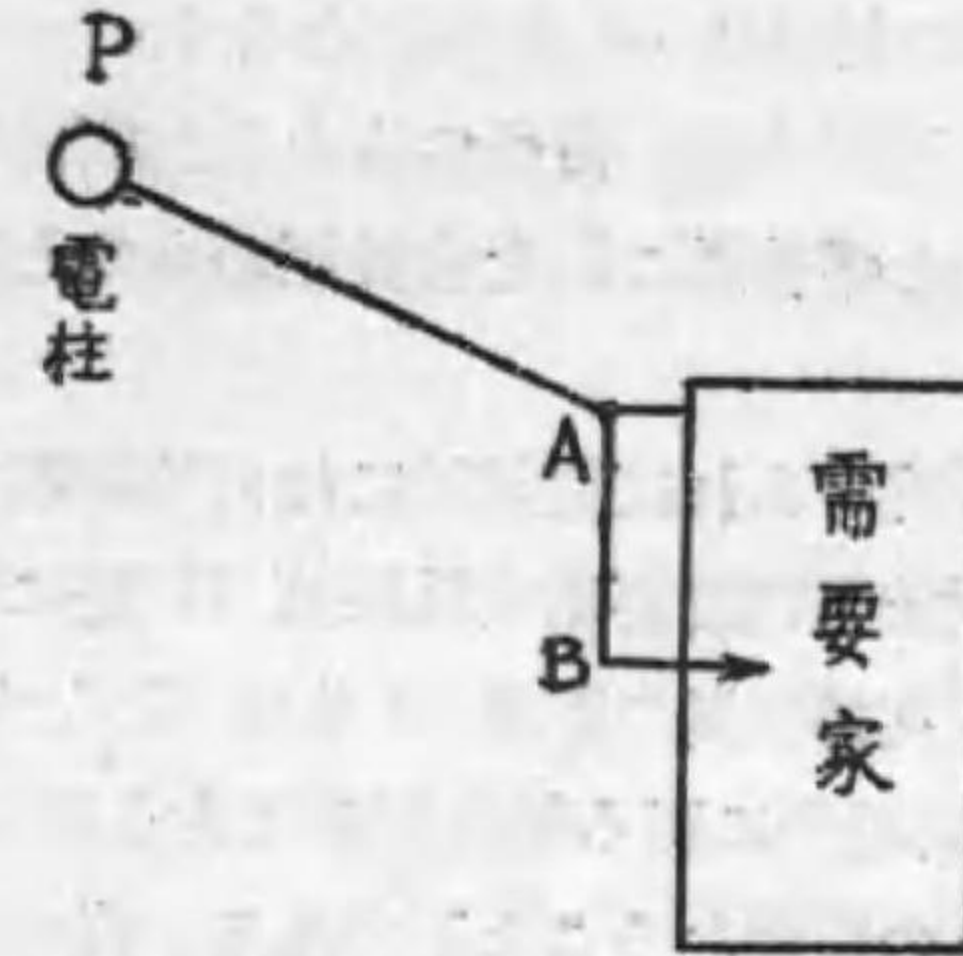


第 2 圖 移動継電器内部及び外部接続圖

尙三菱電機では、近時 CO 型過負荷継電器に、この transfer relay を同一継電器内に設置し、CO-T 型誘導型移動過電流継電器として製作してゐる。

### 引込線の疑義二件

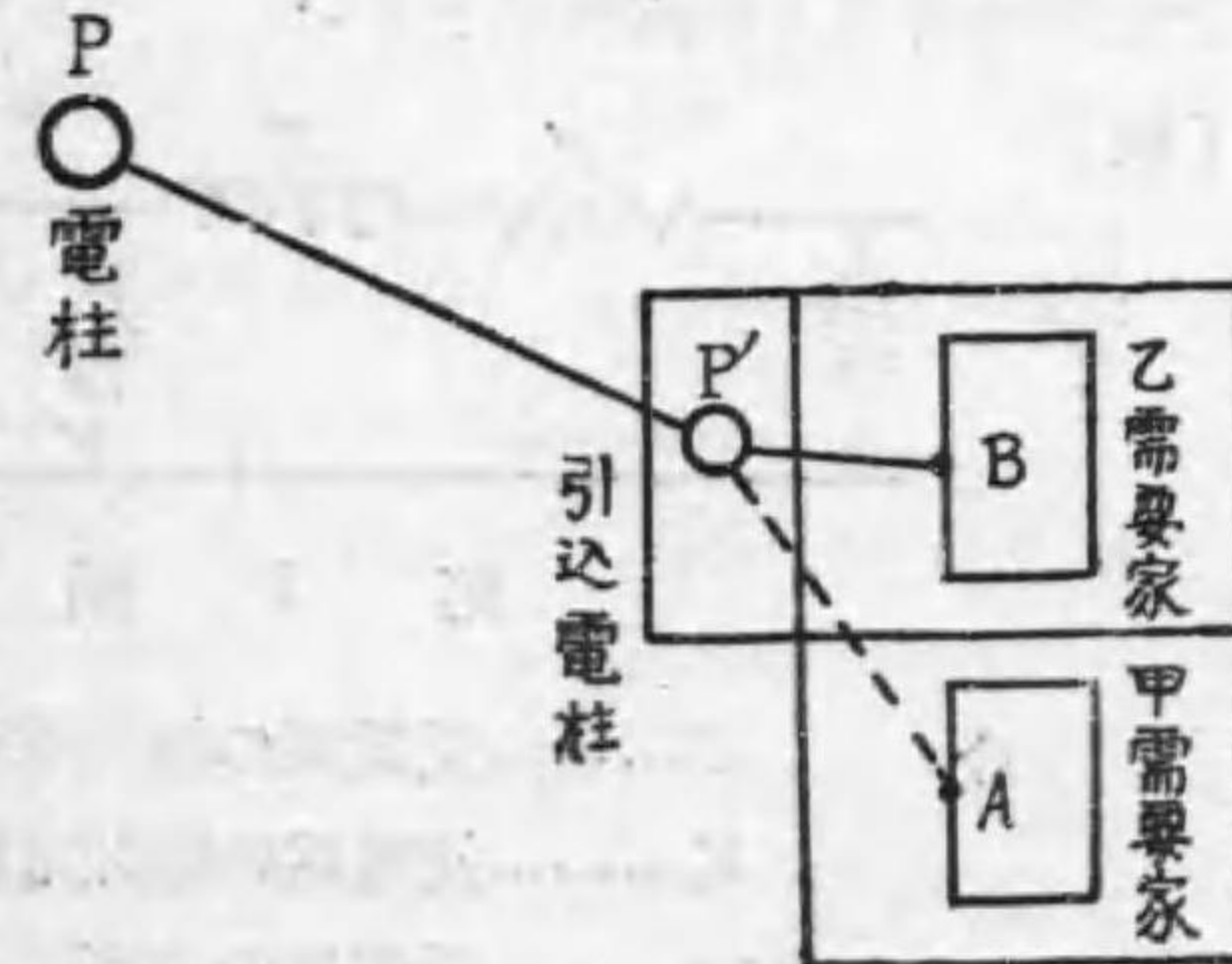
【問 1】 P は電柱、A は引込線支持物取附點、B は開閉器取附點、AB 間は家屋の外面に沿ふノブ碍子工事にして二種以上の電線を使用し、電線には張力かゝらざるものとす。上記の場合に於て PB 間の距離を 50 米以下となすべきか。或は PA 間の距離を 50 米以下とし、AB 間を連接引込と見做す可きや。但し需要家は一軒



の場合なり。

【解】 工作物規程本則第二條に依れば、架空引込線とは、配電幹線より分岐して需用場所の構外に於ける支持物を經過せずして需用場所に至る架空電線を謂ふ。とある。従つて本例の場合は PA 間も架空引込線と稱すべく、AB 間は架空にあらざる引込線なりと考へらるべし。依つて PA 間を電気協會發行、架空電線路建設要則第七章第四節引込線第 14 條により 50 米以下と定めるを可とする。但し AB を連接引込と見做すと解釋すべきものではなく、前述の通り架空に非らざる引込線と考ふべきものである。

【問 2】 引込小柱は乙需用家構内にある場合 (イ) P' を第一支持點と見做しこれより點線の如く甲需用家に分岐するも差支へなきや。



(ロ) 若し乙需用家のみの場合 P' なる小柱は他人所有地にある場合、何等差支へなきや。

(ハ) P-P'-B 及

P-P'-A 間の距離の制限は 50 米以下なるや。

【解】 (イ) 引込用小柱が會社のものなれば何等差支へなし。又需用家負擔のものと雖普通これを會社用のものと考へるものなれば差支へなし。

(ロ) 所有地者の許可あれば電氣的には何等制限なし。

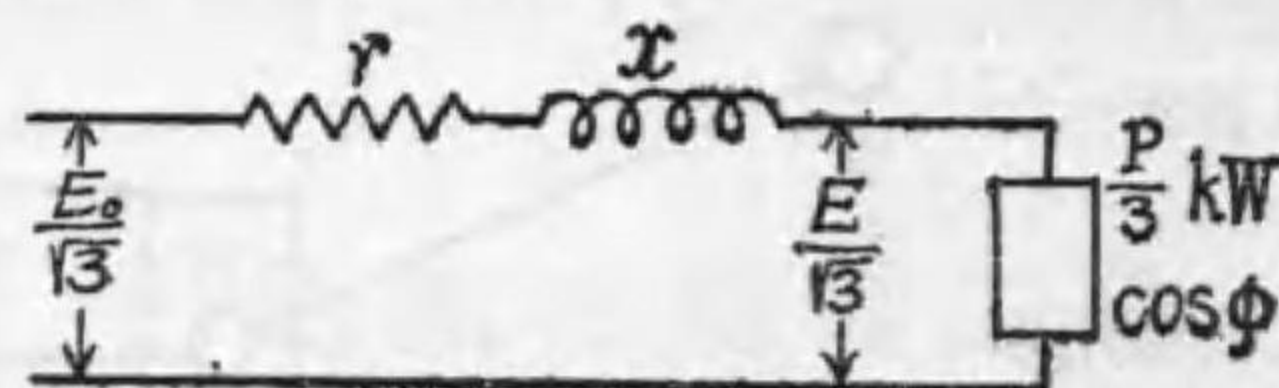
(ハ) 前記架空電線路建設要則引込線第 12 條に於て、小柱使用の引込線工事は電線支持點間の距離 40 米以下となすこと。とある。故に引込線とは需要場所に至る架空電線である以上この場合の 40 米は需用家と小柱との距離なること明である。従つて P'B, P'A は 40 米以下なればよい。次は PP' 間の距離であるが、これは未だ判然とした條文がない。然し責任ある経験者の話によれば 50 米以下位として差支へないとの事である。故に間の場合は最長 PP' 50 米 P'A 及 P'B を 40 米とし、全長 90 米迄差支へない。

### 送 電 線 の 能 率

【問】 發電端の電壓  $E_0$  ヴォルト  $f$  サイクルにして受電端に三相誘導電動機の負荷あり、 $P$  kW にて  $I$  アムペアを要す。送電線の抵抗  $r$  オーム、リアクタンス  $f$  サイクルに對し  $x$  オームなりとす。送電線の能率及全力率、受電端の電壓及負荷の力率を求む。

上記問題解答方法御教示下さい。

【解】



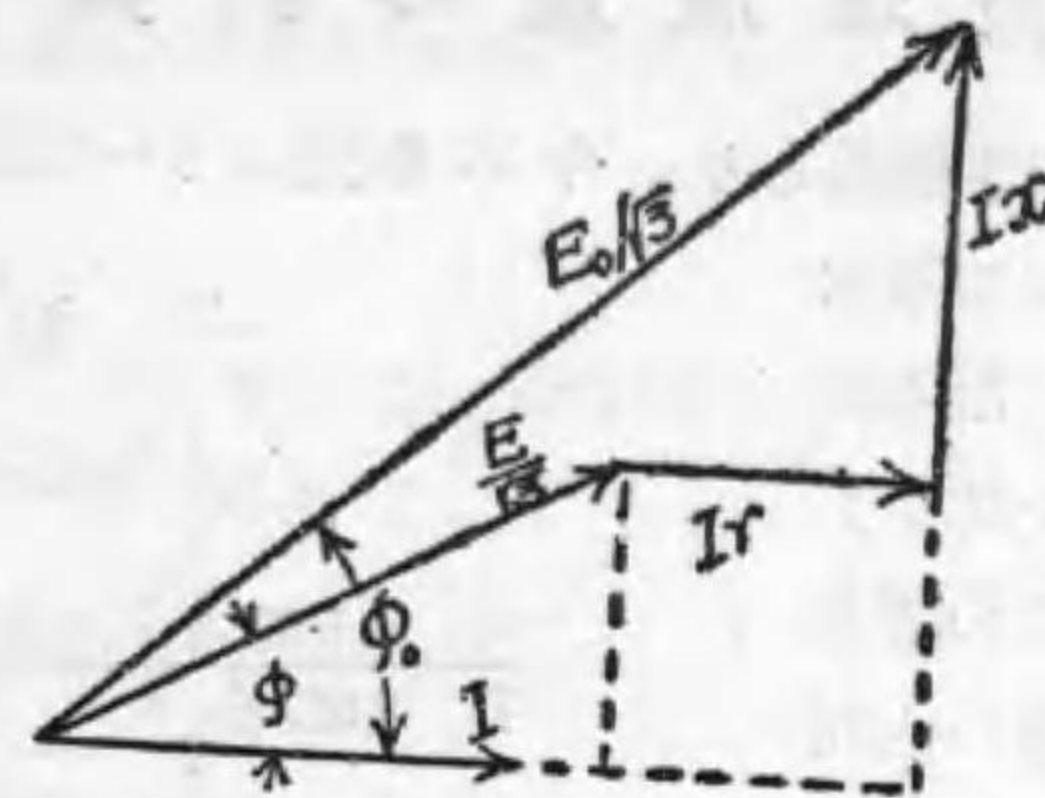
第 1 圖

今  $E$ .....受電端の線間電壓  
 $E_0$ .....送電端の線間電壓  
 $\cos \phi$ .....受電端の力率

$\cos \phi_0$ .....送電端の力率

$g$ .....送電線の能率

とすれば、題意に依り第 2 圖のベクトル圖を得。



第 2 圖

送電線能率  $g$  は

$$g = \frac{1000 P}{1000 P + 3 I^2 r} \times 100 \dots \dots \%$$

送電端力率  $\cos \phi_0$  は

$$\cos \phi_0 = \frac{1000 P + 3 I^2 r}{\sqrt{3} E_0 I}$$

受電端電壓  $E$  は第 2 圖のベクトル圖より

$$\left(\frac{E}{\sqrt{3}}\right)^2 = \left(\frac{E_0}{\sqrt{3}} \cos \phi_0 - Ir\right)^2 + \left(\frac{E_0}{\sqrt{3}} \sin \phi_0 - Ix\right)^2$$

$$\therefore E = \sqrt{3} \sqrt{\left(\frac{E_0}{\sqrt{3}} \cos \phi_0 - Ir\right)^2 + \left(\frac{E_0}{\sqrt{3}} \sin \phi_0 - Ix\right)^2}$$

$$= \sqrt{(E_0 \cos \phi_0 - \sqrt{3} Ir)^2 + (E_0 \sin \phi_0 - \sqrt{3} Ix)^2}$$

但し  $\sin \phi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \phi_0}$

受電端力率は

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{3} EI}$$

# 發 電 所

## 隧 道 流 量 の 計 算

【問】 圖の如き隧道あり。今 A 隧道より一定流量を流すときは B 隧道中に一定の静水を貯ふべし。(D なる堤ありて水の流出を防ぐ)

(1) 然る時はこの静水の水面高は合流點の水面高に等しきや。

(2) 瀾堤頂より  $H$  なる水頭を有する水を流入せしむる時は B 隧道は幾何の水を流し得るや。

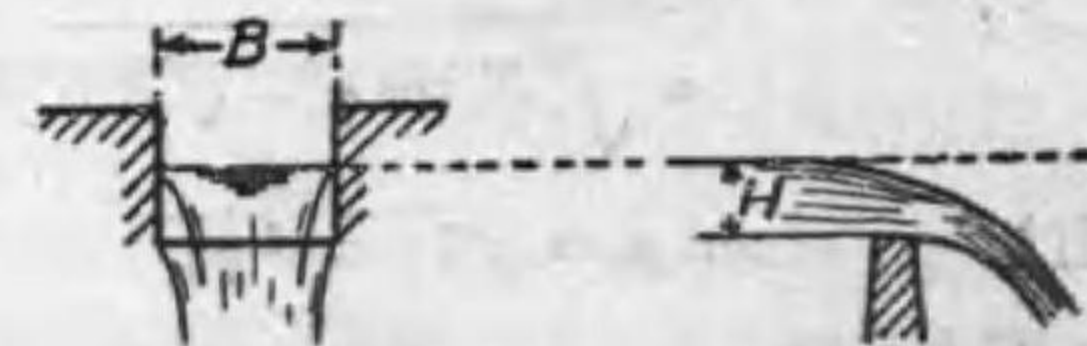
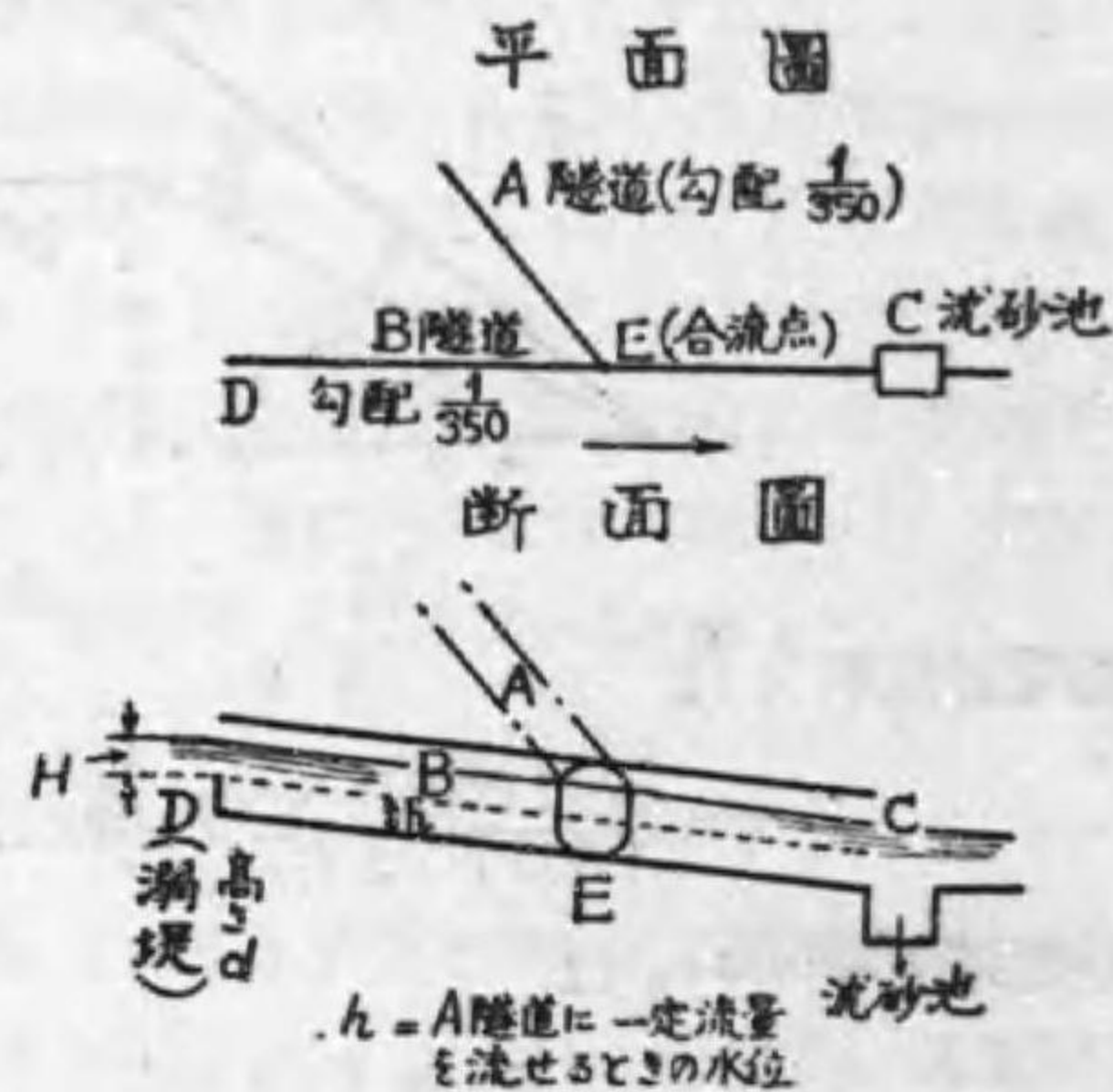
(3) クッター氏公式  $V = NR / \sqrt{R + D}$  を用ふるものとすれば、 $N, D, R$  等は如何に選ぶべきや。

(4) B 隧道中に流れる水量により A 隧道の水位及流速は如何なる變化を受くるや。

但し各隧道の勾配及斷面積は既知なりとす。

【解】 (1) 大體等しいと考へてよろしいと思ふ。(2) 瀾堤の意味が明瞭でないが、沈み堰の一種と見てよいと思ふ。之は堤の形により大いに流量が違ふ。

第 1 圖の如きものなればこれは四角堰で周知の公式



第 1 圖

$$Q = \frac{2}{3} Kd \sqrt{2g} BH^{\frac{3}{2}}$$

で示される。 $Kd$  は流出係數であるが、普通 0.6~0.7 (單位米式) である。

第 2 圖の如き場合では次の如き公式がある。

$$Q = 2.04 BH^{\frac{3}{2}}$$

この式は  $W > T$  なる場合で、若し第 3 圖の如く  $T > W$  なる場合は

$$Q = \frac{2}{3} Kd_1 B \sqrt{2g} x^{\frac{3}{2}} + Kd_2 B (H-x) \sqrt{2gx}$$

$Kd_1 = 0.46$   
 $Kd_2 = 0.62$  とすれば

$$Q = 2.04 Bx^{\frac{3}{2}} + 2.75 B(H-x)x^{\frac{1}{2}}$$

堤の形にも非常に關係するもので、これに對しては色々な實驗式が示されてゐるがこゝには略する。

(3)  $V = \frac{NR}{\sqrt{R+D}}$  なる公式は次の様な所から出たものである。

$V = C\sqrt{RI}$  (チエジーの公式)

但し  $V$  = 水速  $R$  = 動水半徑

$I$  = 傾斜  $C$  係數

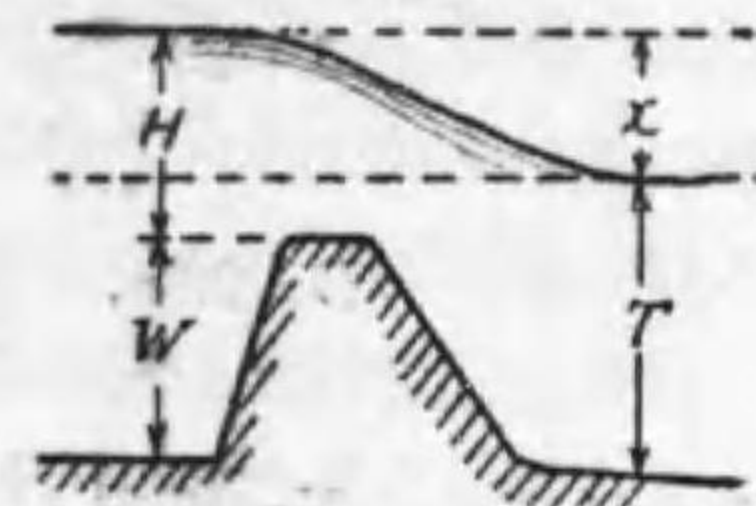
$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (\text{米單位})$$

式中  $n$  は材料に依り異なる係數で次の如き値を有してゐる。

純セメント平滑面	0.01 ~ 0.013
煉瓦モルタル積	0.012 ~ 0.017
粘土性地盤	0.016 ~ 0.022



第 2 圖



第 3 圖

自然河川 0.025~0.050

今傾斜  $I$  が  $I > \frac{1}{3000}$  の時は  $C$  なる係数中に  $I$  の影響を無視すれば、クッターの略式で

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 \frac{n}{\sqrt{R}}}, \quad V = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}$$

$$D = 23n, \quad N = \left(23 + \frac{1}{n}\right) \sqrt{I}$$

とおけば 
$$V = \frac{NR}{\sqrt{R+D}}$$

故にこの略式を使用するとせば、 $n$  に前掲の値を入れて  $N.D.$  を計算せねばならぬ。従つて動水半径  $R$  及粗面係数  $n$  を幾何にとるべきかが問題となる。然るに流水の有様を考へるに瀾堤の附近では、隧道全體に水が流れるとは考へ難いが相當距離の所では、普通の流水状態と考へて差支へないと思はれる故か、この點に於ては、一般式に依り計算し得るものと考へられる。

(4) 勿論變化するが、その計算は甚だ複雑となるからこゝには述べない事にしたい。参考書として岩波書店發行、物部工博著書の水理學を推薦して責を免れたい。

## 流 速 計

【問】 河川の流量測定に使用する流速計の構造理論、使用法等詳細御教示願ひます。

【解】 流速計には色々の種類があるが、その根本原理は軽い羽根車が摩擦の極めて少ない軸に取付けられてをり、これが水中に於て水流に依り廻轉せしめられる。この廻轉數を測定し、廻轉數から流速を見出すのである。羽根車の廻轉數を見出すには電氣式と音響式とがある。電氣式は羽根車の一定の廻轉數、例へば 5 廻轉とか

10 廻轉とかで電氣回路を斷つ構造になつてゐる。従つて此の回路内に電話の受話器を挿入しておけば、回路の斷たれる毎に音を發生する。音響式のもの、一定の廻轉數毎に槌を以つて圓板を叩き、この音響を金屬管及びゴム管を通して醫師の用ふる聽診器の様な構造のものを用ひ、耳に挿し込んで音を聞くのである。

羽根車の廻轉數と流速との關係は、實驗から定める。即幅 1 米深さ 1 米位の相當長い水槽を作り、この上に跨つた車を置く。この車に流速計を取付け、車を一定速度にて動かし、車の速度と流速計の音との關係を決定するのである。従つて流速計には秒時計を併用し羽根車の廻轉數  $n$  回毎秒を測定し、これより表或は圖式に依り流速を見出すのである。

流量測定に就いては、大河川には電氣式、小河川には音響式が適當してゐる。取扱は慎重にし、就中廻轉軸、廻轉翼は特に意を用ひ、若し誤つて軸が曲がつたり翼が歪んだりした時は之を検定せねばならぬ。尙斯様な事故がなくとも一年に一、二回は檢定する方がよい。秒時計は流速計と相俟つて精確な時間を測定するものであるから、普通の時計の秒計で間に合はず様な事は絶対に避けねばならぬ。

河川でこの流速計を用ひて流量を測定せんとする場合は、豫め水流と直角に繩を張りて水流の斷面を定め、測定者は岸上より或は水中に舟を浮べて繩に附したる所定の目印の所で流速計を沈める。流速計は重錘がついてをり、且舵が附いてゐて常に水流と直角になる様に出てゐる。流速計を沈むれば秒時計を併用して音を聞き廻轉數を測る。この時の時計は 40 秒~60 秒位とする。30 秒以下では不精確となるものである。平均流速の決め方は色々の方法がある。

(1) 水面から  $0.6 \times$  (水深) 丈け下つた點に流速計の中心を置き測れる流速を平均流速とする方法。

(2) 水面から  $0.2 \times$  (水深) に於ける流速と水面から  $0.8 \times$  (水深) に於ける流速とを測り、此二つの平均を以つて平均流速とする

方法。

(3) 水面から  $0.2 \times (\text{水深})$ ,  $0.6 \times (\text{水深})$ ,  $0.8 \times (\text{水深})$  の三個所で測り、此の三つの平均を平均流速とする方法。

(4) 流速計を水面から河底迄數回反覆して之を徐々に且つ一定の速さで上下し、これより得たる流速を平均流速とする方法。

等がある。以上何れの方法に依るにしても所定の断面を數個に區分し、此の各區分の平均流速  $V_1 V_2$  を求め、これに各區分の断面積  $A_1 A_2$  を算出し、これより

$$Q = A_1 V_1 + A_2 V_2 + \dots$$

として全流量を計算するのである。

### 水車発電機を進相機に

【問】 既設水力発電所に於て発電機と水車とを連結したる儘勵磁度を加減し（但し発電機は無荷重とし）負荷の力率を調整せしめんとす。水車を長期にわたり低荷重にて運轉せしむる時は之れが爲めに何等か支障を生ずるや否や。又発電機をして進相作用を営ましむるに當り、初めより進相機として設計製作されたるものに比し如何なる取扱上の注意を要すべきや。但し発電機及勵磁装置は何等の改造變更を施さざるものとす。

【解】 問は水車の輕負荷運轉の害と、発電機をその儘進相機として使用し得るや否やの二要點となる。次に各に就いて解を試みる。

(1) 水車の輕負荷運轉。水車の種類によつて異なる。ペルトン水車なれば殆んど何等の差支へはあるまい。反動水車はさらに行かぬ。先づ運轉に就いては吸出管に大なる音響を生ずることがあらう。これは吸出管に高い真空を生じ放水路からの水を吸ひ上げるからである。全負荷の場合は吸出管の中は水が充滿してゐるが、輕負荷に於ては管内に水が充滿せずその側壁に添ひ渦巻狀に相當の速さで流出する。その爲めに管の中央部に高度の真空を生じ放水路から

の水を吸ひ上げる。水が充滿して真空がなくなると落下する。この作用を繰り返すので大なる音響を發するのである。この作用を防ぐには吸出管上部に小さい空気を設け空気を適當に供給して真空を破ればよい。近時のものはこの空気を附してゐる様であるが、若しこれがないれば新設せねばならぬ。

次はランナーの腐蝕である。輕負荷になるとケーシング内にどうしても渦流を生じ、この爲めに腐蝕を早めるものである。

以上二點をよく考慮し一應製造元にも照會して差支へなきや否やを確むべきである。

(2) 発電機を進相機として使用する際考慮すべき點は、勵磁容量と起動法であるが、この場合は水車運轉であるから單に勵磁容量のみに就いて考ふればよい。進相機として進み電流を多分に取らしむる爲めには大なる勵磁容量を必要とするものである。従つて発電機をその儘即ち界磁を改造せずには全容量 (kVA 容量) だけ進相作用を営ましむる事は出来ないのが普通である。又設計製作の根本が発電機と進相機とは異なるものである。即ち発電機の場合は電壓變動率を考慮に入れる結果發電子反作用は或る値を超えてはならぬ。發電子のアムペア回數には一定の制限がある。然るに進相機に於てはかかる制限なき爲め發電子アムペア回數を大になし得る。従て界磁の勵磁容量を減じ機械全體としての大いさを小に價格が安くなるものである。

以上の諸點をよく考慮に入れて運轉せらるべし。

### 壓力計と取附位置

【問】 水力発電所に於て水壓管内の壓力を測定する壓力計を水車ケーシングに取付け、壓力計をケーシングの所より5米高所なる機械室に持ち來たる場合、壓力計の指示に如何なる變化ありや。又變化ありとせば其の理由御教示下され度し。

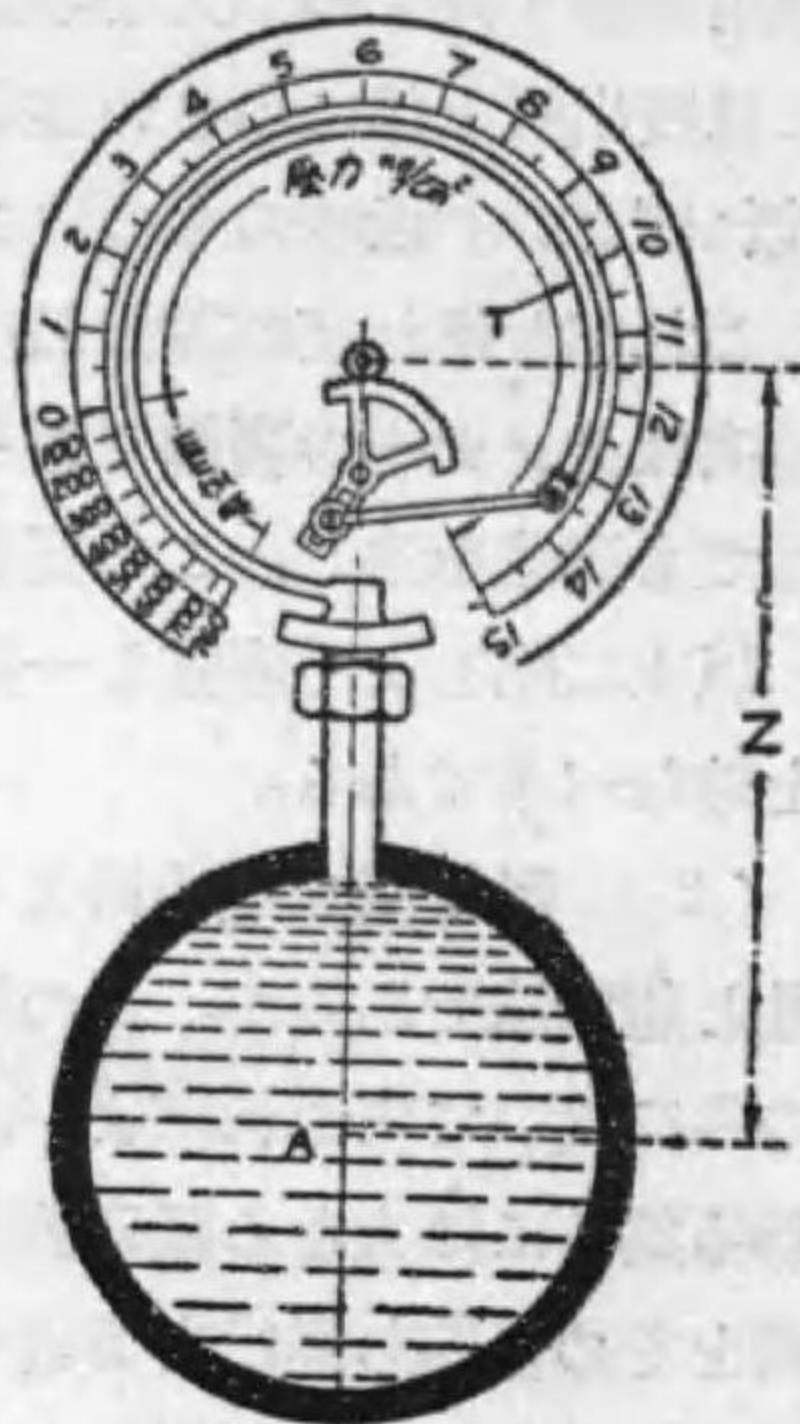
【解】 壓力計が如何なる種類のものなるか明示してないが圖に

示す如き普通型のものであらう。この壓力計の構造は圓形の見盛盤と壓力に依つて回轉する指針とを有してゐる。指針の動く原理は見盛盤の下にある丸く曲げられた管 T の内部の壓力により、其管が延びて眞直にならんとする力に依るものである。曲管 T の一端は閉ざされ他端は壓力を計らんとする所に接続される。前述の如く指針の回轉はゲージの中に在る曲管中の壓力に依るものなれば、其の壓力を計らんとする點と、ゲージの中心との距離を考慮せねばならぬ。例へば圖の A 點に於ける壓力はゲージの指示壓力に距離 Z を加へねばならぬ。但し蒸氣或は空氣の如き輕きものが接続管中に満たされある場合は Z を省略して可なるも、接続管は成可く短き方正確なる事明である。若しゲージ指示壓力が  $p \text{ kg/cm}^2$ 、圖中の Z に相當する距離を  $Z_m$  とせば眞の壓力即 A 點に於ける壓力  $p_A \text{ kg/cm}^2$  は

$$p_A = p + \frac{Z}{10}$$

問の場合なれば

$p_A = \text{壓力計の指示} + 0.5 \text{ kg/cm}^2$  となる。尙何故  $\frac{Z}{10}$  となるかと言ふに、 $1 \text{ kg/cm}^2$  は 10 米の水頭に相當するからである。即斷面積 1 平方厘高さ 1 米の水の重さは、1 立方厘の水の重さが 1 瓦なる故  $\frac{1 \times 100}{1000} = 0.1 \text{ kg}$  故に  $1 \text{ kg/cm}^2$  は 10 米の水頭に相當するからである。



## 50~60~ 變換裝置

【問】 オーム昭和 6 年 3 月號小牧發電所の記事に、「水車及發電機を 50 サイクル及 60 サイクルに兩用す」とあり。該水車發電機及ガバナーは普通のものに構造上如何なる差異ありや。初學者に理解出來得る様御説明被下度。

【解】 3 月號小牧發電所の執筆者中野衛氏に問合せた所詳細なる下記御返事に接しました。ここに全文を掲載し併せて感謝の意を表します。

1. 發電機に對しては何等結線の變更を行はず單に其の勵磁電流を加減するのみなり。發電機は 50 サイクルに對する勵磁容量を有し、60 サイクルに對しては界磁を弱め使用す。即 50 サイクルと 60 サイクルとは勵磁機の負荷に變化あるものなり。
2. 水車に對してはランナーの入替を行はず同一のものを使用す。ランナーは 60 サイクルの設計にして 50 サイクルに對しては能率 2~3% 低下す。(實測の結果に依れば全負荷即 18000 kW に於て 2.5% 相違せり)
3. 調速機に對しては 60 サイクル 50 サイクル共同一の廻轉をその振り子に與ふる必要あり。之れが爲め水車の主軸より調速機に動力を傳ふる裝置に速度變換の設備をなせり。即ち I. P. Morris 會社のものは 50~ 用の調車と 60~ 用の調車とを同一軸上に別々に備へ、周波數の變換即水車主軸の廻轉數變換に對し、調帶の掛替へをなし、以つて調速機は常に一定に保たれる様になせり。之れが爲めには水車を停止せしめざれば行ふ能はず。Escher Wyss 會社のものは水車主軸より調速機心棒に動力を傳へ、此の心棒より中間齒車を経て振り子心棒に更に廻轉を與ふる様になりをれり。此の中間齒車は同一の車軸上を滑る二組 (50~ 及 60~ に對する二組) のものあり。周波數の變換に對しては外部よりクラッチ把手によりて此の齒車を滑らせ其の齒合せを變更すればよし。恰も自動車の速



度變換をなすにレバーにより轉換ギヤを動かし其の噛合せを變更せしめて行ふに似たるものなり。而して此のギヤ噛合せの變更は水車を停止せしむる必要なく單に其の速度を約半分の速度近くに落す事によりて行ひ得る便利のものなり。

### 汽罐用蒸氣管の太さ

【問】 汽力發電所に於て汽罐よりタービンに至る主蒸氣管の、最經濟的なる太さは如何にして決定さる可きや。之が算式を擧げて詳細に御説明下され度候。

【解】 蒸氣管内徑の決定法は、通過蒸氣量  $W$  と管内に於ける許容壓力降下 (1 米當り) を、蒸氣の比容積で除した値とに關係するもので、電氣工學ポケットブック (初版) 651 頁にこれに對する曲線がある。然し實際上の決定法は、恰も水力發電所に於て導水管の直徑を定める時に先づ水速を假定すると同様、蒸氣の速度を假定して決定してゆく。實用上の速度は管の大小過熱度の高低により異なり従來は毎秒 17 米乃至 30 米であつたが近時では 60~100 米に及ぶものがある。速度を高くすれば壓力の降下は免れぬが放熱損失、管材並に保溫材を減じ建設費並に維持費を輕減する利益がある。今管直徑決定の一例として、鶴見の鐵道省火力發電所 25 000 kW タービンの例をとれば、主蒸氣管の直徑は 18 吋である。これから逆に蒸氣速度を出してみよう。

蒸氣壓力 350 封度每平方吋

蒸氣溫度 750°F

これをメートル式に直せば

$$350 \div 14.2 = 24.4 \text{ 疋每平方吋}$$

$$(750 - 32) \times \frac{5}{9} \div 400^\circ\text{C}$$

飽和蒸氣の表 (電氣工學ポケットブック 630 頁) より、24 疋每平方吋に對する飽和蒸氣 1 疋に對する容積は 0.0864 立方米、その時の

溫度は 221°C、次に 1 kWh 當りの蒸氣消費量を 4.5 疋とすれば、所要蒸氣量は毎時

$$4.5 \times 25\,000 \text{ 疋}$$

蒸氣の容積は絕對溫度に比例するもの故、400°C に對する毎秒當り全蒸氣量の容積は、

$$\frac{4.5 \times 25\,000 \times 0.0864}{3\,600} \times \frac{400 + 273}{221 + 273} \div 3.67 \text{ 立方米}$$

$$18 \text{ 吋} = 45.7 \text{ 吋}$$

管の斷面積  $A$  は  $\frac{\pi}{4} \times (0.457)^2 \div 0.165$  平方米

従つて  $AS = 3.67$

$$\therefore S = \frac{3.67}{0.165} \div 22.2 \text{ 米毎秒}$$

### 冷却水の硬質處理法

【問】 土地の都合にて蒸氣タービン用凝汽器又は變壓器の冷却水として鹽分の含有量相當大なる水を使用するの已むなき場合、冷却管の腐蝕を防止する爲め冷却水取入口に亜鉛板を沈め、之に直流陽極を接続し冷却管に陰極を接続すれば管の腐蝕を防止し得る様聞き及び候。此の方法を採用する場合

- (1) 果して相當効果あるものなりや
  - (2) 陰極の冷却管内に沈澱物生じ管内の通路を狭むる懼なきや
  - (3) 冷却管が銅と鐵との二種類を接続したる場合、特に鐵管の方が腐蝕さるる事なきや
  - (4) 直流電源の適當値
- 以上御教示被下度願上候。

【解】 一般に冷却管或は汽罐内の鐵板が電氣的に腐蝕せらるるのに對し亜鉛を用ふるに就いては次の様に説明されてゐる。即鹽分の如きものを含有する水中にある鐵板は、微小ではあるが電解作用

により常に水素を発生する。若し此時スケールを作る様な物質が存在してゐると、次第に之が泥状のものとなり鐵板上に沈澱する。之れが甚だしい時は粘着性のスケールが鐵板には膠着せずその表面に粘着して水素の発生を妨げる。普通亜鉛板は汽罐中に矩形状として鐵棒により懸垂されてゐて、船用汽罐に於ては  $12 \times 6 \times \frac{1}{2}$  吋のものが實用されてゐる。

今一つの説明は汽罐には鐵の部分と砲金又は眞鍮製の部分とあり之れと罐水とに依り一個の電池を形成し鐵板の腐蝕を來たす。此を防ぐには罐壁より電氣導體で亜鉛を罐水中に吊下げる。斯くすれば鐵板は保護せられ亜鉛板が腐蝕されるのである。

以上二説共只亜鉛板を懸垂するとのみで、これに電壓を加へた事に就いては不幸筆者等はこれを知らない。若し愛讀者諸氏の内で御經驗ある方、若くは實例御存じの方、或は参考文献御存じの方々は、何卒本欄を通じて御教示を乞ふ。

尙御質問の事項に對し一二愚見の發表を許さるるならば、(1)の效果云々は實驗の結果でないと斷言出來ない事である。然し乍ら管の事であるから管の内部を亜鉛で鍍金したものを用ひたらどうか。(2)沈澱分はこの電解作用のみによりてそんなに多量に出來るものとは考へられない。他の原因によりて大いに沈澱物が生ずるものであるから。(3)どちらも(-)極に接続し同じ電位にしておけばかゝる事はないと思ふ。普通は只亜鉛を懸垂しておくだけで鐵の腐蝕を防ぎ得ると言はれてゐる事からでも察せられる。

(4)は全然判明しない。

以上はほんの愚見に過ぎない。重ねて愛讀者諸氏の御發表を乞ふ次第である。(オーム昭和5年11月號553頁「Condenser Tubeの腐蝕に就て」参照)

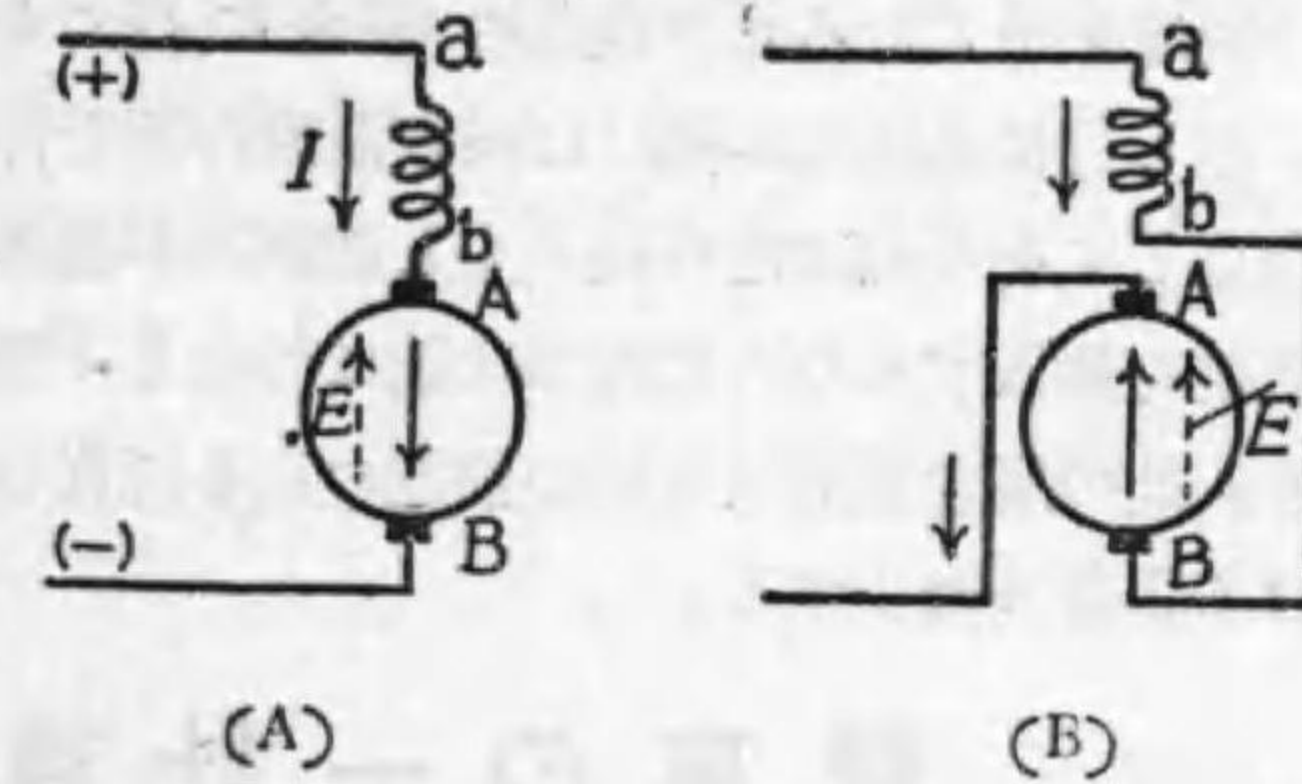
## 電 氣 鐵 道

### 電車電氣制動の一例

【問】 電車が下り勾配を普通速度にて下りつつある場合、レバーシグハンドルを後退の位置に置き、ノッチを一或は二ノッチ位進む場合、電動機内部に生ずる電壓並に電流の方向、並びにこれと電車運轉の方向、速度に及ぼす影響等につき御教示煩度し。

【解】 レバーシグハンドルを後退の位置に置けば、界磁捲線と電機子との接続

は今迄と逆になる。(圖参照) 故に之を電源につなげば本來逆の方向に廻轉し、電動子の誘導起電力は所謂逆起電力として電



源電壓に逆ふやうな向きを取る筈である。然るに問の場合は惰力で從來の方向に廻りつゞけて居るから、起電力  $E$  は逆起電力の反對で電源電壓と同じ方向になる。即 (A) 圖の場合では

$$I = \frac{V - E}{R} \quad V = \text{端子電壓}$$

$R$  = 全抵抗 (電機子, 界磁捲線, 直列抵抗の和)

であるが、(B) 圖の場合では  $E$  を逆に接続する故

$$I = \frac{V + E}{R}$$

となる。これより

$$V + E = IR$$

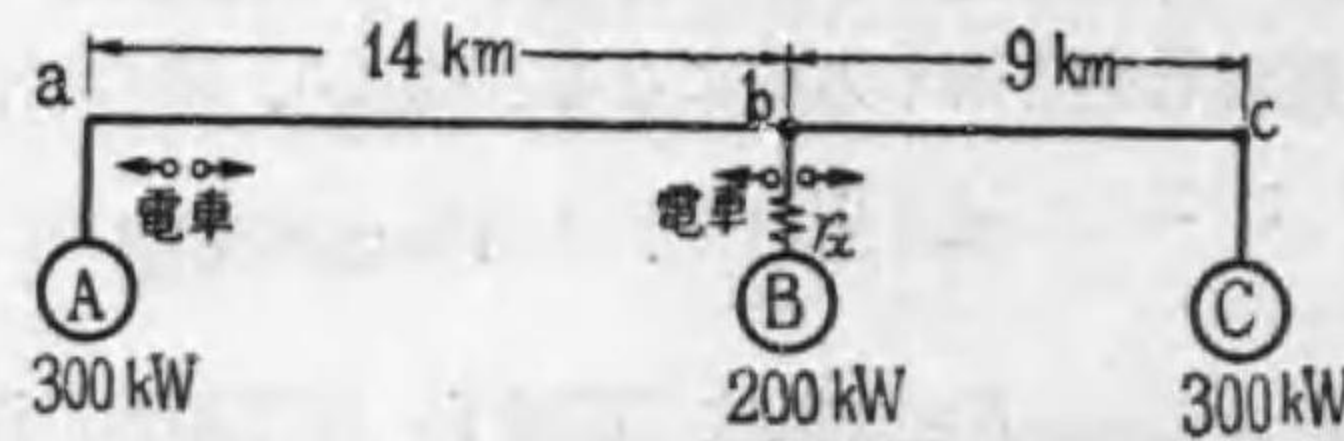
両邊に  $I$  を乗ずれば

$$(V+E)I = I^2R, VI + EI = I^2R$$

この内  $VI$  が電源より供給せられる電力にして、 $EI$  は、 $E$  と  $I$  との向きの一致することから明かな通り、電動機が発電機として作用し下り勾配に依る重力の勢力及び惰力にて電車自身に蓄へ居たる運動勢力が電氣的勢力に変化したるものである。この二つが抵抗内に熱となり消費される。従つて非常に大なる電流流れ、電動機が焼損するか、或は自動遮断器が働作するに至るであらう。以上の説明よりして、電圧電流の方向、速度に及ぼす影響等は自ら了解せられた事と思ふ。この方法は電氣制動を有せざるものに於て、他の制動機に故障を生じたる如き危急の場合に行ふものの一非常手段である。但し自動遮断器が働けば何等制動作用を行はしないものである事に留意してをらねばならぬ。もし遮断器が働かせぬ程度の甚だ大なる抵抗を挿入するならば電車は遂に停止し、然る後逆行に移る筈であり、此の場合電流は電車の前進の止るに従ひ減少し、後退速度の加はる程益々減少する。

### 電車の一計算例

【問】 a, b, c 饋電線に、AC 兩變電所より送電する時 a, c 中央部は電壓降下が甚だしい。故に B 變電所よりも送電せんとす。然るに B 變電所は他へ送



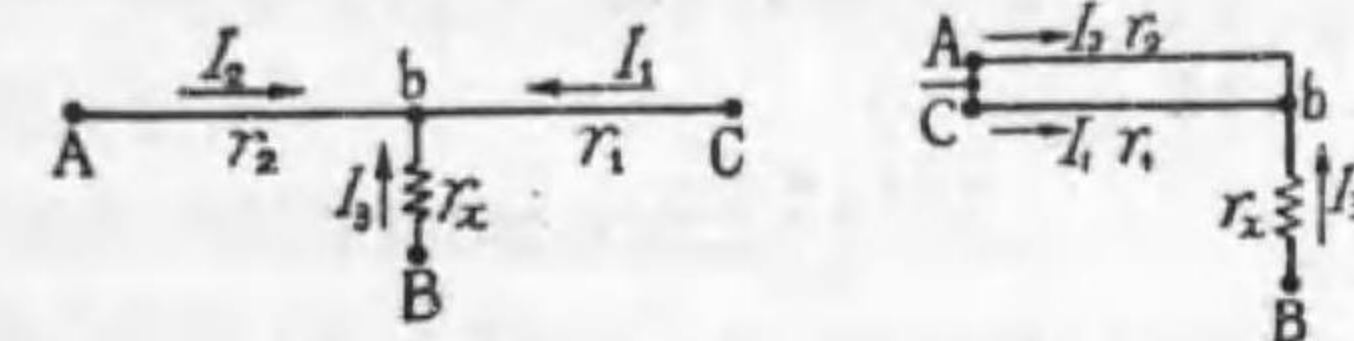
電する關係上 150 kW の餘裕あるのみなり。故に電流制限抵抗器を設けて目的の一部を果たさんとす。今圖の如く電車 (50 馬力モーター 4 臺付) が a, b より 2 臺宛同時に發車するものとし、之れに對して裝置すべき電流制限器の抵抗は如何にして算出すべきや。但し變電所引出口の電壓は 600 V 電路の抵抗は 1 軒に付き 0.10 Ω

と假定するものとす。

【解】 解をなすに際し次の假定を定むる。

- (1) 變電所引出口の電壓は負荷の如何に關せず不變とす。
- (2) 電車の起動電流は給與電壓に正比例するものとす。
- (3) 電路の抵抗 0.10 オーム中には歸路の抵抗をも含むものとす。

第 1 圖は問の圖を書き改めたるものである。即 AB C より  $I_2, I_3, I_1$  なる電流 b 點に供給



第 1 圖

第 2 圖

せられ、各の抵抗は  $r_2, r_1$  とした。而して A と C は同電壓なる故これを一括すれば第 2 圖の如くなる。

次に電動機的全電壓起動電流を  $I_A$  とすれば、b 點にて  $V$  なる電壓にて起動せし時の電流  $I_s$  は

$$I_s = I_A \times \frac{V}{600} \dots\dots\dots(1)$$

一方  $V$  なる電壓は

$$600 - I_3 r_2 = V \dots\dots\dots(2)$$

又  $600 - I_0 r_0 = V \dots\dots\dots(3)$

但  $I_0 = I_1 + I_2, r_0 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$   
 $I_0 = I_s - I_3 \dots\dots\dots(4)$

$$I_0 = I_A \times \frac{V}{600} - I_3$$

これを (3) 式に代入して

$$600 - \left( I_A \frac{V}{600} - I_3 \right) r_0 = V$$

$$600 + I_3 r_0 = V \left( 1 + \frac{I_A r_0}{600} \right)$$

$$V = \frac{600 + I_3 r_0}{1 + \frac{I_3 r_0}{600}} = \frac{(600 + I_3 r_0)600}{600 + I_3 r_0} \dots\dots\dots (5)$$

50 馬力, 600 V の起動電流は 60 アムペア内外であるからこれを採用すれば,  $60^a \times 4 = 240^a$ , 二臺なる故に  $240^a \times 2 = 480$  アムペア

$$r_0 = \frac{1.4 \times 0.9}{1.4 + 0.9} = 0.548 \doteq 0.55 \quad \therefore r_1 = 1.4, r_2 = 0.9$$

又  $I_3$  は

$$\frac{150 \times 1000}{600} = 250$$

これ等を (5) 式に代入すれば

$$V = \frac{(600 + 250 \times 0.55)600}{600 + 480 \times 0.55} \doteq 513$$

$$(2) \text{ 式より } r_x = \frac{600 - V}{I_3}$$

$$\therefore r_x = \frac{600 - 513}{250} \doteq 0.35 \text{ オーム}$$

尙これを検算せん爲めに次の如き計算を行つて見る。

$$I_3 = 480 \times \frac{513}{600} \doteq 410, I_0 = 410 - 250 = 160$$

$$I_1 = 160 \times \frac{1.4}{1.4 + 0.9} \doteq 97, I_2 = 160 - 97 = 63$$

$$I_1 r_1 = 97 \times 0.9 \doteq 87, I_2 r_2 = 63 \times 1.4 \doteq 87$$

以上より抵抗器は電流容量 250 アムペア, 抵抗 0.35 オームのものを必要とする。尙この場合 a 點より發車する電車の起動電流は考へに入れてない。それは引出口の電壓は負荷の如何に關せず一定と假定したからである。又起動は電動機を直列にして用ふるであらうが, 計算は單に電流が各半分になる丈けで全く同じ結果になる。

### 軌道曲線の緩急其他

【問】 「軌道曲線の緩急及軌間」と電車の速度, 軸距, 擴度等と

の關係式に付詳細御教示被下度願上候。

尙軌道建設規程に依れば, 最小曲線半徑は 11 米となり, 地方鐵道建設規程に依れば最小曲線半徑は 160 米とあり。相違の理由併記願上候。

【解】 電鐵界の權威米澤政治郎氏に御伺ひした所詳細に文書で御教示に預つた。以下その全文を掲げて解とし質問者並に讀者と共に謝意を表したいと思ひます。

(1) (イ) 曲線の緩急と電車速度との關係

高度を附け得ざる路面鐵道 (軌道法關係) の場合に對しては次の實驗公式あり。此の式は寧ろ廣軌の場合に適用せられ得るものなり。狹軌の場合には制限を一層嚴にする必要あらん。

$$\text{電車の安全最大速度(軒/時)} = 3 \times \sqrt{\text{曲線半徑(米)}}$$

地方鐵道關係にては建設規程に軌間 1.067 米 (3 呎 6 吋) 及 1.435 米 (4 呎 8 吋半) のものに於て本線路に於ける轉轍器に附帶する曲線半徑を 100 米以上と規定し, 而して運轉信號保安規程に於て其の點を通過する速度の最大限を 16 軒毎時とせり。

(ロ) 軌間と直線軌道に於ける電車速度との間には明瞭なる關係なきも, 軌間 1.067 米の軌道に對しては最大 130 軒毎時位に制限するを可とせん。軌間 1.435 米のものに於ては外國に於て 200 軒毎時位の實例あり。

(2) 曲線の緩急と固定輪軸距 (又は軸距) との關係 大體次の如し。

市内路面軌道 (最小曲線半徑 11 米を有すが如き軌道)

軸距 1.7~2.0 米

其の他の場合 (實際に應じて定むるものとす)

軸距 2.0~4.0 米

規定上最大限 (鐵道一般的の規程にして電車には實際上餘り關係なし)

軸距 4.57 米

軸距に對し軌間 1.067 米のものと, 1.435 米のものとの間に大差

なし(軌間762耗のものに対しては幾分小にする必要あらん。最大限は3.05米)

(3) 曲線の緩急と擴度との關係 半徑800米より小なる曲線に於て附す可き擴度は大體次式に依り計算す。(轉轍器に附帶する曲線には我國に於て從來擴度を附せざりしが、近來は少し附けることとなれり)

$$\text{擴度(耗)} = \frac{5500}{\text{曲線半徑(米)}} - 4.7$$

最大限は軌間1.067米及1.435米のものに対しては地方鐵道建設規程に依り25耗内外とせらる。上記兩種の軌間の如何は擴度と大なる關係なし(軌間762耗のものに対しては擴度を小にするを可とす。又此の場合に於ける最大限度は鐵道と軌道とに於て各16耗と13耗)

(4) 軌道と地方鐵道とに於ける最小曲線半徑の規程の相違 軌道法關係の場合は路面上に軌道を施設する場合をも含むを以つて街路横斷其の場合に、急激に直角に曲るが如き軌道に對し實際上曲線半徑11米位とすることも止むを得ざる可し。但し斯の如き急曲線を認められる如き一般路面上の電車速度は現在軌道法に依り平均16耗毎時、最高24耗毎時を超ゆる事を得ざる様規定さる。

地方鐵道法關係の場合は前記の如く列車が轉轍器附帶の曲線を通過する場合の外、本線上の速度に關しては別記の規程なし。

### 電氣鐵道漏洩電流の測定

【問】 電氣鐵道軌條よりの漏洩電流に關し

- (イ) 軌條よりの漏洩電流測定法
- (ロ) 地中管路(上水道)に通ずる電流の測定法
- (ハ) 任意の地點に於ける軌條と大地間の電位差測定法

以上御教示賜度御願申上候。

【解】 質問に對しては、オーム社昭和9年6月1日發行の、難

波貞太氏著電氣工作物試験法、電氣鐵道諸試験の中に詳細に説明してある。こゝには同書により質問の要點のみに答へる事にする。

#### (イ) 漏洩電流の測定法

これは電源から電車線へ送られる電流と、測定せんとする點の軌條電流が分ればその差から漏洩電流を知る事が出来る。電車線へ送られる電流即負荷電流は電車運轉中止後適當の所に水抵抗その他の負荷を設けて軌條に電流を流すのが一番正確である。軌條電流の測定は、ボンドを取外して直接電流計を挿入する方法及ドロップを測定して電流を決定する方法とがある。前者は理想的であるが實行上に困難を伴ふ。後者は測定の誤差は若干あるが簡單である。例へば30耗軌條を使用するものにあつては、軌條抵抗は1米當り0.000469オームであるから10米に就いては0.00469オームである。故に軌條に100アムペア流れたとすれば0.0469V、即46.9mVである。又37耗軌條で10米當り75mV出たとすれば、37耗軌條10米の抵抗は0.000375オームであるから、 $I = \frac{0.075}{0.000375} = 200 \text{ A}$ となる。

此の方法に使ふ計器は感度のよい抵抗の高いものを用ひ、且軌條との接觸を十分にせねばならぬ。又軌條抵抗は常に均一でなく所により多少異なるのが誤差の原因となる。

#### (ロ) 地中管路の電流測定

これには(a)ドロップ法、(b)ケンプリッジ型電流計に依る法、(c)マッコルム型地電流計に依る方法の三種がある。

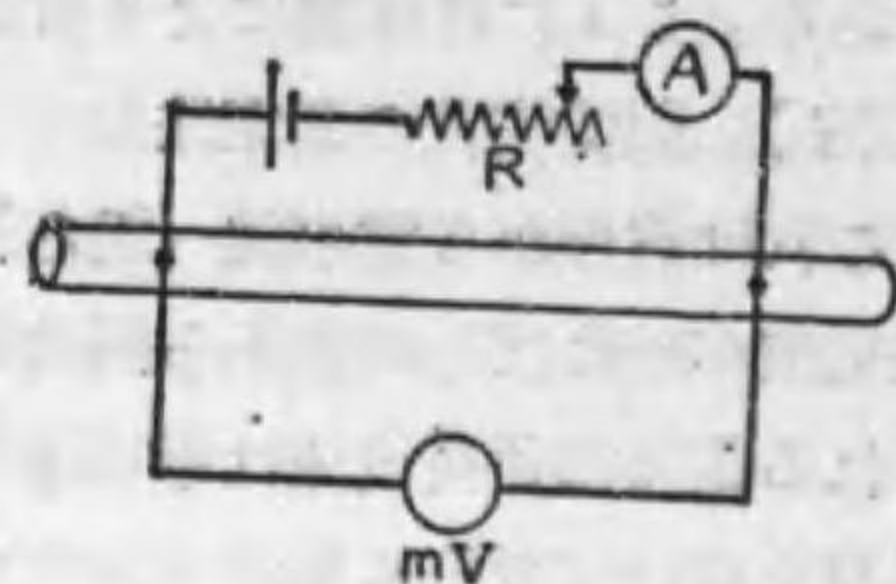
(a)のドロップ法は前記軌條のドロップ法と全く同じである。計算に必要な鐵及鉛の抵抗は次の通りである。

鐵 斷面積1平方極、長さ1米に付 0.00172オーム

鉛 斷面積1平方極、長さ1米に付 0.00224オーム

例へば内徑15極、厚さ15耗の鐵管に於て長さ3米に就いての電壓降下が3mVであつたとすれば、此の鐵管3米の抵抗は0.0000664オームであるから、電流は45アムペアとなる。

(b) のケンプリッチ型電流計は圖に示す様な原理に依り出来てゐるものである。圖に於て可變抵抗 R を調整してミリ電壓計 mV の指示が零となる様にするときは、その時電流計 A に流れる電流が地中管に流れる電流を指す如く目盛されてゐる。此の方法は鐵管の抵抗が明確でない爲めに起る誤差はないが、電流が刻々變化するものでは測定に手數がかかる。



(c) のマッコルム型地電流計は長くなるからこゝには述べないが、これは直接地中管そのものに流れる電流を測定するのでなく、その測定場所に於て、大地からどの位電流が流出して居るかを試験するものである。

#### (ハ) 軌條と大地間の電位差測定

此の測定に當たり大地として何を選ぶ可きかは相當問題となるが、實用上は線路から 10 米乃至 20 米の地點を選んで、こゝと軌條との間の電位差を測定する。此の試験に使用する電壓計は消費電流の小さい、感度良好のものがよい。接地板も此の目的に添ふ様、なるべく大きいものがよい。

尙これ以上詳細な事は冒頭に掲げた參考書に依つて戴きたい。

## 雜

### コロイド蓄電池

【問】 コロイド蓄電池に就いて、原理特徴その他お答へ被下度候。

【解】 コロイド (colloid) は譯して膠狀物質といふ。要するにコロイド蓄電池といふのは、普通の蓄電池の電解液を稀硫酸のみとしないで、稀硫酸と化學作用をしないコロイドを作り、これに稀硫酸を混入せしめたものである。かくすれば電解液たる稀硫酸がこぼれる事がなく、取扱ひ簡單で乾電池の代用になるといふのが特徴なのである。コロイドとしては硅酸鹽のある種のものを用ひ、これを特別の方法でコロイド状にしたものである。〔現今専ら用ひられて居るものは水硝子にして、硅酸ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) に水を加へて煮沸せるものである。〕この外觀は我々が片栗粉をお湯に溶かして片栗湯を作る様なものと考へれば了解出来る。このコロイドに稀硫酸が含ませてある。

従つてその化學方程式は全く普通の蓄電池と同様で、充放電共普通の蓄電池と同じである。この蓄電池の特徴は、上述の如くコロイドを使用せる爲め液の漏出する憂ひなく、乾電池同様横にするも、倒にするも何等差支へなきこと、白色硫酸鉛の發生を幾分防止し得る事等で、缺點としてはコロイド中に於ける硫酸の擴散速度緩慢なる故、容量の減少は免れ得ざる所である。

用途は主として小型の自轉車ランプ用、手提電燈用等として用ひられてゐる。

### 油層用流動パラフィン

【問】 蓄電池の酸沫防止用油層として用ふる流動パラフィンの

性能御發表願上候。

【解】 油層用に用ひられるものは局方流動パラフィンと稱せられるもので、大體の性質は次の通りである。

1. 比重 (50°C) 0.875~0.945
1. 粘度 (レッドウッド粘度計) 30°C に於て約 300 秒
1. 引火點 (ペンスキーマーテンス法) 130°C~140°C
1. 凝固點 -30°C 以下

尙、日本藥局方規格を示すと次の如くである。

1. 流動パラフィンは石油より得たる澄明無色、或は殆んど無色油様の液にして臭味なく、螢石彩を有せず、比重 0.875~0.945 なり。水に溶解せず酒精に僅微に、エーテル、クロロホルム又は硫化炭素に容易に溶解す。

1. 本品にナトリウムを投ずるも其の光輝を失ふ可からず。又本品に、等分の酒精を加へ、煮沸して得たる液は酸性の反應を徴すべからず。

1. 本品 3 c.c. を試験管にとり、硫酸 3 c.c. を注加し重湯煎中に挿入し屢々振盪しつつ 15 分間熱するも變色せず、其の硫酸は褐色を呈する事あるも僅微に過ぐ可からず。

1. 本品 5 瓦に苛性ナトロン 5 瓦及び水 25 c.c. を和して重湯煎上に 30 分間温浸し、其水液をとり、之に硫酸を注ぎて過飽するに油狀物を分離すべからず。

## アルミニウム製造法

【問】 アルミニウム製造法御解答賜度候。

【解】 アルミニウムの製造は 1850 年頃迄は工業的製造が完成しなかつた爲め、貴金屬に屬し 1 封度 1000 圓と言ふ高値であつた。所が 1886 年から 1887 年にわたつて之をボーキサイト ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) から電解法に依り製造する方法發見せられ、1897 年には遂に今日の價格 1 封度 60 錢といふ如き廉價になつたものである。

次に電解法に依る製造方法に就いて簡単に紹介してみる。

電解用の溶劑としてはボーキサイトの主成分なる酸化アルミニウム  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を溶解する力の大きいもので、融解點が出来る丈低く、比重が熔融アルミニウム (Al) より小さい物でなければならぬ。然るに Al は 1000~1100°C 位で已に炭化物を作る傾向が強いから融解點が高くては炭化して損失する量が大きく、浴が揮發し或は分解する怖がある。所が熔融氷晶石 ( $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ ) は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を溶解し之を電解するとアルミニウムと酸素とに分れる。然も Al 融液の比重は 900°C で、2.318 氷晶石は 2.08 であるから Al は爐底に沈澱し酸化する怖がない。故に電解液としてはこれが用ひられる。尙之に弗化アルカリ及アルカリ土金屬等を加へて原鑛の融解點を下げる。

$\text{Al}_2\text{O}_3$  の分解電壓は 2.8 V であるが、電路と浴自身の抵抗があるから、通常 6.5~7.5 V 程度を用ふる。理論上 1 kg のアルミニウムに 2940 アムペア時の電力を消費する筈であるが、實際に於て電流は浴の熔融と電解との兩方に用ひられる故 25 kWh 程度が普通である。

浴の温度は普通 900~950°C、電流密度は 60~100 A/m<sup>2</sup> で、多數の爐を直列に結ぶ。例へば 35 爐ならば 250 V の發電機を用ふる事が出来る。

電解爐は長さ 2.5 m、幅 1.5 m、深さ 0.6 m 程度の矩形が多く、側と底は炭とタールで固め、陰極は底板を其儘或は鐵板を炭素の中に埋める。陽極は炭素電極で、圓形、正方形、矩形等種々の形があり、直徑 8~40 cm、8 本から 12 本位を一組にし、桁に懸け各極別別に上下調整して電流の分布を均一にする。最初粒狀炭素を爐底に敷き陽極を下げて之れに接觸させ電流を通すと電極の炭素が灼熱される。此上に溶劑氷晶石を少し宛投入して鎔かし、鎔けるに従ひ陽極を引上げ浴が一杯になり、電流の強さが適當になると  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を加へる。浴に鎔ける  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の量は 10~20% 程度に加減する。

これの實際的識別は端子につけた電圧計と電球とで推測する。即ち  $Al_2O_3$  の量が下ると電圧は 15~20 V にも上り、電球も 7 V 位の時適當の光度を保つ様にしてあるから急に明るくなる。

電解すると Al は爐底に沈み酸素は陽極で發生して之を燃焼する。爐の大きさによつて 2 日乃至 3 日に一度側面に設けた抽出口から抜く。電解中弗素は揮發したり或は爐壁に附着して減少するから絶えずこれを加へてやらねばならぬ。1 kg の Al 製造には凡そ 2 kg の  $Al_2O_3$  又は 4 kg のボーキサイト 0.07 kg の氷晶石 1.7 kg の炭素電極を消費する。爐から出した Al は其分析に従つて他の Al を配合し、反射爐で再溶解して機械的に混つてゐる不純物を除き、純度を平均して鑄塊にするものである。

### 抵抗線の性質

【問】 電気抵抗線プラチノイド線は何と何の合金でどこに使用されますか。又 BS #36 電線 10 尺の抵抗は何オームありますか。

【解】 序に電気抵抗線として用ひられてゐるものを列挙してその性能を御知らせします。

品名	合金の割合	抵抗率	温度係数
マンガン	銅 84, マンガン 12, ニッケル 4	$(34 \sim 100) \times 10^{-6}$ $(-0.03 \sim +0.02) \times 10^{-3}$	
洋銀	銅 62, 亜鉛 23, ニッケル 15	$(17 \sim 41) \times 10^{-6}$ $(0.04 \sim 0.38) \times 10^{-3}$	
コンスタンタン	銅 60, ニッケル 40	$50 \times 10^{-6}$ $(-0.04 \sim +0.01) \times 10^{-3}$	
プラチノイド	銅 60, 亜鉛 24, ニッケル 14, タングステン 2	$344 \times 10^{-6}$ $0.25 \times 10^{-3}$	

尙抵抗線としての 1 m 當りの抵抗を示せば次表の様になる。

問ひのは BS #36 である。BS #36 の直径は 0.127 mm である。1 m を 3.3 尺とすれば、10 尺  $\div$  3 m 故に求むる抵抗は SWG #32 の値より

$$R = 6.81 \times 3 \times \left( \frac{0.274}{0.127} \right)^2$$

$$\div 94.32 \text{ オーム}$$

番 號 (S.W.G.)	直 徑 (mm)	マンガン (オーム)	洋 銀 (オーム)	コンス タンタン (オーム)	プラチ ノイド (オーム)
12	2.64	0.077	0.041	0.086	
16	1.63	0.204	0.109	0.228	
20	0.914	0.645	0.345	0.722	0.622
24	0.559	1.73	0.92	1.93	1.67
28	0.376	3.82	2.02		3.69
32	0.274	7.18	3.83		6.81

電線の断面積は  $\frac{\pi}{4} D^2$  であり、抵抗は断面積に逆比し長さに正比例するから前式で求められる。抵抗線の内、洋銀線は價格の安い點より界磁抵抗器等に用ひられ、他は測定用計器の抵抗線の如きものとして用ひられる。(本表の數値は理科年表に據つたものである。)

### 排 流 線 輪

【問】 電話回路の保安装置に併用する排流線輪の効用に就いて御回答ありたし。

【解】 静電誘導により、電話線に高電圧を誘導する事がある。排流線輪は之を防ぐもので、電話線の二線間に、低リアクタンスの線輪を結び、その中點を接地するのである。電話電流は交流であるから、このコイルは大なるリアクタンスとして通話電流は通らない。然しその中點が接地してあるから、静電誘導に依る充電は直ちに大地に導かれ、電話線の高電位になるのを防ぐのである。

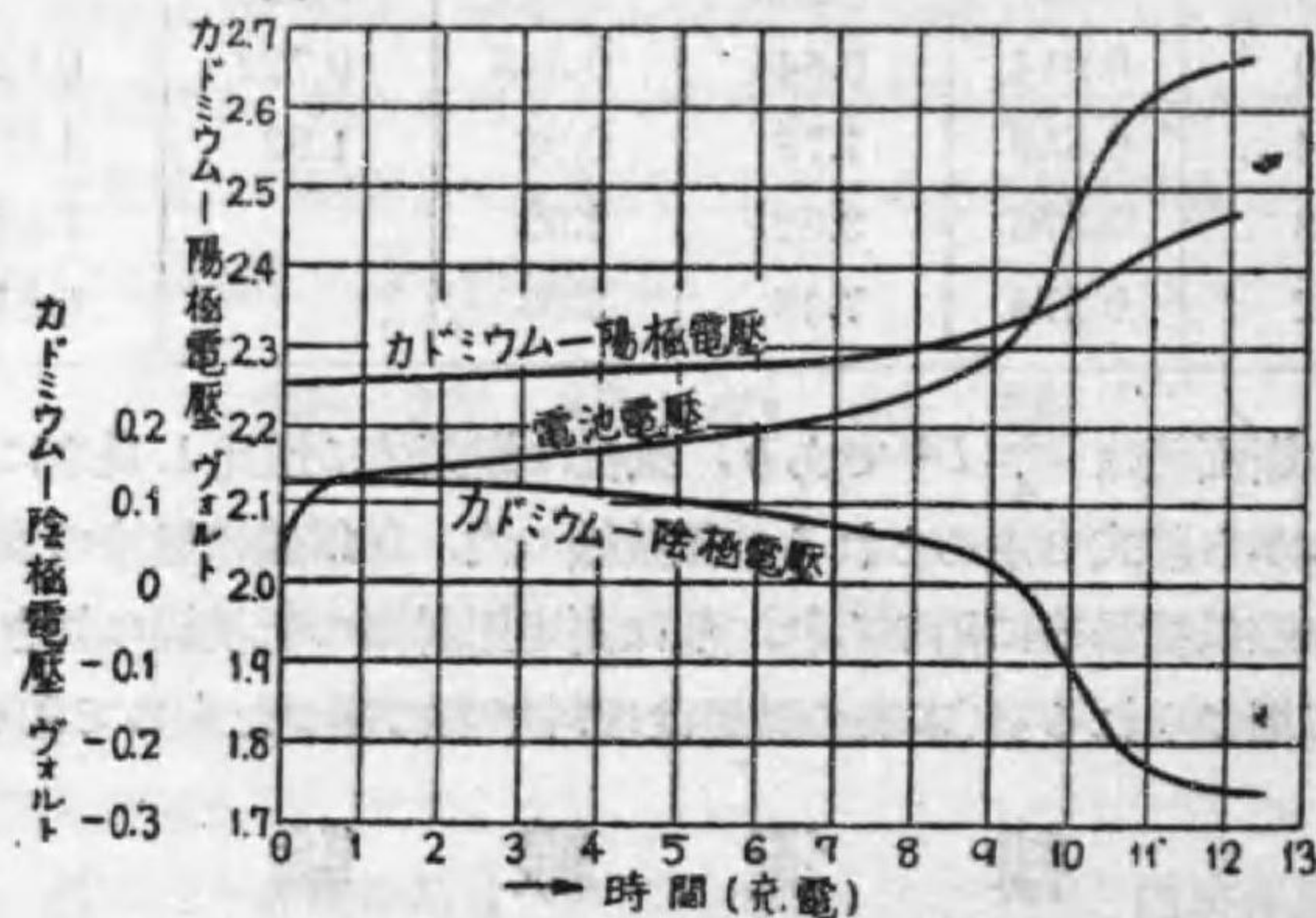
### 鉛蓄電池のカドミウム試験

【問】 鉛蓄電池のカドミウム試験に依つて陰陽各極板の充放電



の進み或は遅れが判断し得るとの事ですが、その判断方法及試験方法を御知らせ下さい。

【解】 カドミウム試験は、陰陽電極の外にカドミウム電極を用ひ、カドミウム電極と、陰陽各電極との電圧を測定し、これを豫め完全なる充放電状態をなせる同一種類のものの測定値又は曲線と比較して、充放電の状態を知るのである。従つてこの試験には、比較す可き標準の曲線或は表を有してをらねばならぬ。



圖はチュードル型蓄電池で、陽極はプラント極板、陰極は箱型陰極板より組立てられてあるものの充電時に於ける曲線を示すものである。

カドミウムは使用前十日間位酸液に浸して腐蝕せるものを用ふる。又充分腐蝕されたものでも空中に放置されてゐたものは、少なくとも一時間位酸液に浸けておかねばならぬ。

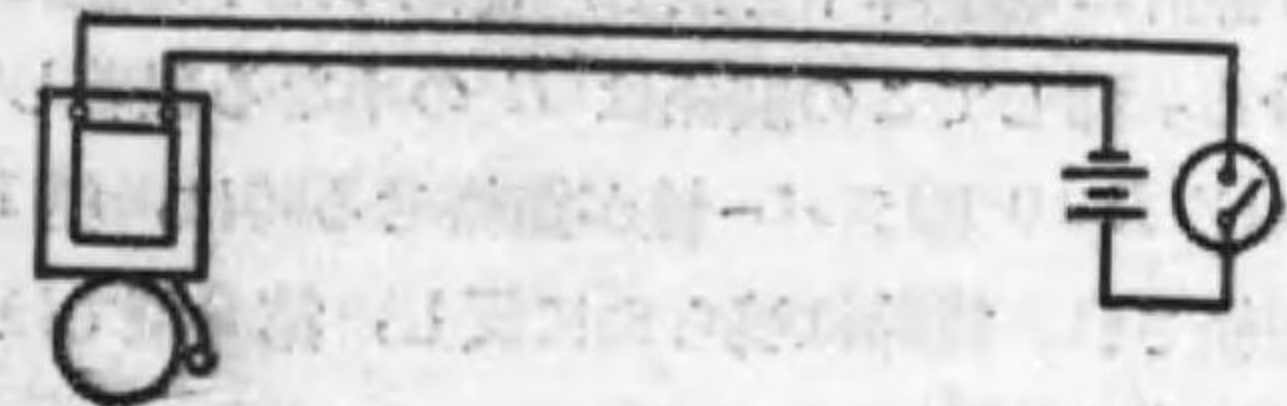
又カドミウム電極に起る分極作用による誤差を小にする爲め、洗れる電流値を小にせねばならぬ。故に使用電圧計の抵抗は高い方がよい。普通のものだと 200~300 オームであるが、1000 オーム程度のものであると、この誤差はなくなる。

若し普通の電圧計を用ふる場合は、電池電圧及びカドミウム對陰

極電圧を實測より求め、カドミウム對陽極電圧は、前二電圧の代數的和として求める方が誤差が少ない。

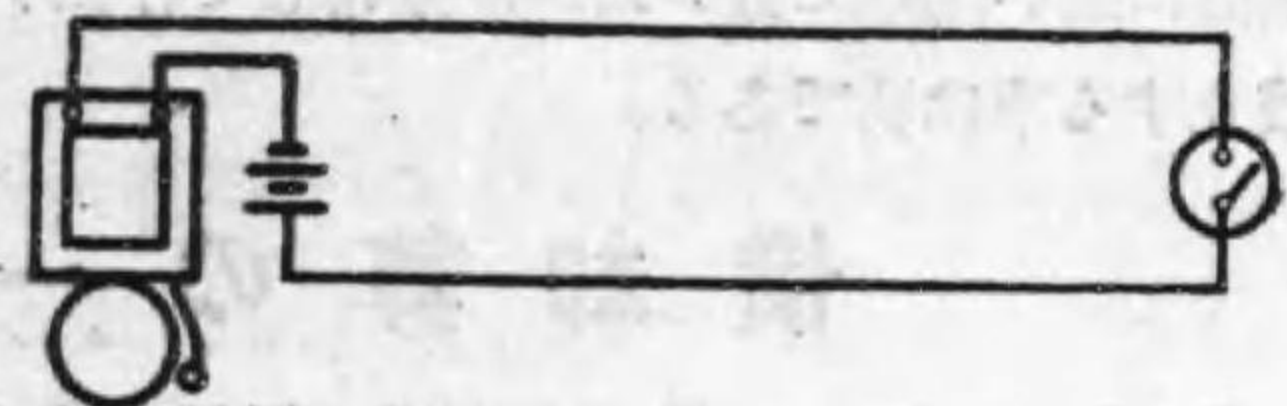
### 電 鈴 と 電 池 の 接 續

【問】 電話用ラバー線(二ヶ線) 300 米、乾電池二個、直流用電鈴一個、押釦一個を第1圖の如く接續しました。



第 1 圖

この場合直流通電鈴は鳴動しませんでした。そこで接續を第2圖の如く變更いたしました。今度は電鈴の鳴動を見ました。

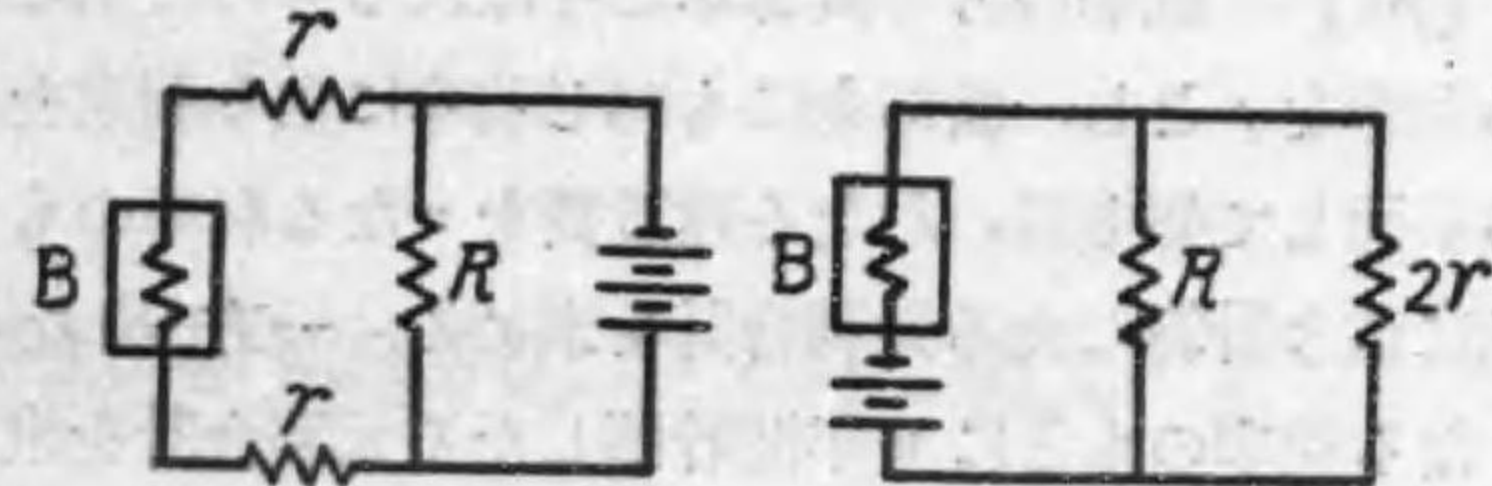


第 2 圖

不可解なるに依り兩者の場合に於て、

電鈴端子へ電圧計を挿入せるに、前者より後者の方遙に電圧計の振れ大なる事實を認識しました。如何なる理由に依るか御教示下さい。

【解】 ラバー線の絶縁不良に原因するものと察せられる。ラバー線の絶縁完全ならば恐らくかかる事は生じない筈である。



第 3 圖

第 4 圖

第3圖及第4圖は、第1圖及第2圖の場合を、絶縁抵抗  $R$  を假定して畫いたものである。

$r$  はラバー線一條の抵抗である。圖より明な如く第3圖に於ては  $B$  に流れる電流は  $E/2r+B$  であるに反し、第4圖に於ては  $R$  と  $2r$  とが並列に入る事になるから外部抵抗の合成値は  $\frac{R \cdot 2r}{R+2r}$  となり減少する。尙上述の事は電池の端子電圧を一定としたが、若しその内部抵抗を考へる時は、第3圖に於ては  $R$  に流れる電流に依るだけ餘計に電壓降下を生じ、電池の端子電圧はそれだけ減少する事が分る。而してこの關係は  $R$  の小なる程著しい。若し極端な例をとれば  $R=0$  即ラバー線が短絡せる時は、第1圖の場合では電池は短絡され、電鈴は鳴らぬに反し、第2圖では普通の場合より激しく鳴る様になる。

圖は説明を簡單ならしむる爲め、合成抵抗を一括して  $R$  とし、電池に近い兩端に置いたが、分布して存在する場合でも同一關係の成立する事は明である。

### 償 却 算 の 一 例

【問】  $P$  なる建設費を投じて毎年  $R$  なる純利益を得るとする。建設費に對する利子を年  $r$  分とし、利子を支拂ひたる剩餘金を以つて建設費の償却に當てるとすれば、複利法に依り何年にて償却出来るや。

以上は電氣事業に關係する者の實際上屢々起る問題ですが、此れに關する公式を御教示願度。

【解】 數學の方で償却算と呼ばれるものである。今年  $r$  分とある利率を  $r$  とし、償却金にも同じ利率に依り利息を生ずるものとする。而して假りに、 $P$  なる建設費を  $r$  なる利率のもとに  $n$  年間複利法に依り計算したる元利合計を求め、一方  $R$  なる利益をその儘  $r$  なる利率のもとに  $n$  年間貯蓄したる元利合計を求め、この兩者が相等しくなる如き  $n$  を求むればこれが償却に要する年數である。次にこれ等を求めて見る。

建設費の分

$$\begin{aligned} \text{一年目} & P+Pr=P(1+r) \\ \text{二年目} & P(1+r)+P(1+r)r=P(1+r)^2 \\ \text{三年目} & P(1+r)^2+P(1+r)r=P(1+r)^3 \\ \text{\dots\dots} & \dots\dots \\ \text{\textit{n} 年目} & \dots\dots =P(1+r)^n \end{aligned}$$

利益金積立の分

$$\begin{aligned} \text{一年目} & R \\ \text{二年目} & R+R(1+r) \\ \text{三年目} & R+R(1+r)+R(1+r)^2 \\ \text{\dots\dots} & \dots\dots \\ \text{\textit{n} 年目} & R+R(1+r)+R(1+r)^2+\dots\dots+R(1+r)^{n-1} \end{aligned}$$

利益金積立の分は、 $R$  を初項、 $1+r$  を公比、 $n$  を項數とする等比級數である。故にその和  $S$  は、

$$S=R \frac{1-(1+r)^n}{1-(1+r)} = R \frac{1-(1+r)^n}{-r}$$

これと、建設費の分とが相等しくなる  $n$  を求むればよい。故に

$$P(1+r)^n = -\frac{R}{r} + \frac{R}{r}(1+r)^n$$

$$(1+r)^n \left( \frac{R}{r} - P \right) = \frac{R}{r}$$

$$(1+r)^n (R-Pr) = R$$

兩邊の  $\log$  を取れば

$$n \log(1+r) + \log(R-Pr) = \log R$$

$$n \log(1+r) = \log R - \log(R-Pr)$$

$$\therefore n = \frac{\log R - \log(R-Pr)}{\log(1+r)}$$

### 架空共同地線の材料に就いて

【問】 今回改正されたる電氣工作物規程に就きオーム昭和8年1月號の逓信技師森秀氏の解説を拜見したるに、其の内共同地線工事の共同架空地線に使用する材料は銅線のみに限定されたる如く説

明され居り候。然るに細則第二十七條に依れば他の金屬線を使用し得るか如く解釋せられ候、之れに對する正確なる判斷を御教示被下度候。

【解】 筆者森技師に照會した所次の如き御解答に接しました。  
架空共同地線に使用する電線の種類は、舊規程本則第 20 條に鐵線の使用を認めたるを新細則第 31 條に於て鐵線を認めざる事、及舊細則第 20 條に硬鋼線と相並んで鐵線を認め居たるを新細則第 27 條に於て鐵線なる文字を削除致し候點よりして大體推定せられるものにて、新細則第 27 條はやはり鐵線が入るものと解釋すべしと主張せられる向に對しては、之を強ひて不可なりとは斷じ難しとするも、鐵線は此の場合推奨すべきものに非ざることは明かと存じ候。

### 共同地線電氣抵抗の平衡度

【問】 架空共同地線工事の共同地線の電氣抵抗の平衡度といふ事があります。その意味及測定法等御教へ願ひます。

【解】 東京逓信當局に伺ひたる所別段難しい意味のものでなく單に次の如き事であります。

(a) 各地中板の電氣抵抗を測定し、之れを圖面或は表に記入すればよい。

(b) 測定法は各地中板の地線を取外し、一枚宛單獨に、普通の方法にて測定すればよい。

(c) 別に計算をする必要はない。單にその抵抗値を記入しておけばよい。

尚かゝる事をなす目的は、電氣抵抗の小さい地中板には、他の高いものより大なる電流が流れるであらう。故にそのものは他の地中板の地線より大きくせねばなるまい。然し實際上に斯様な事をどの程度迄考へなければならぬかの參考資料として、先づ抵抗値を報告せしめつつあるのだと言ふ事である。

### 電氣收塵裝置と主任技術者

【問】 本工場にては目下主任技術者は第三種資格所有者なるがセメント收塵裝置(使用電壓 66 kV, 電力 12 kW)を設置せんとする場合、主任技術者變更の必要ありや。

【解】 變更の必要なきものと認められる。理由は自家用電氣工作物施設規則中の第四章主任技術者の中に於て、第二十四條の第二項に次の如き條文がある。

左に掲ぐる第二種電氣工作物に關しては、前項の規定に拘らず當該使用場所の技術者にして其の電氣施設に付相當知識経験を有すと認めらるる者を、其の主任技術者に選任することを得。

(イ) 特定場所に施設する試験用變壓器其他の高壓若しくは特別高壓電氣裝置を使用するもの

(ロ), (ハ) 關係なきに付省略。

この項中「特別高壓電氣裝置」は質問の如きものを指すものである。故に三種資格者でも相當知識経験を有すると認められる時は、主任技術者として選任届を提出すればよい。

### 感電致死と人體の抵抗

【問】 先日 3.5 kV 線に感電致死事故有之此際變電所のリレーが自動遮斷せざりし故人體内部の抵抗値は幾何位やと思考致され候間何分の御回答相煩したく候。

状態 天候 晴 A.M. 8,50 頃 7.8.21

變電所變壓器 24/3.5 kV 3×2000 kVA

フィーダーのリレーの調整度

電流比	C.T.	T.L.	最低働作	調整
200/5	8.	1.4	1970 kVA	2100 kVA 1.0 秒
		1.0	1820 kVA	" " 0.9 "

事故の繼續時間 10 分間位

高圧線太さ 8 mm. 二種線

變電所よりの直長 2000 米, 電柱最上部腕木二回線乗

感電状態 不良碍子取替の際ショックを受け, 顔面腕と腹と足に於て三線短絡, 片足, 片腕, 夫々1個は焼損切斷落下せり, 片足はゴム靴なりし故焼損を受けず, 中央部即腹部は焼損大腸露出して, この1本のみ断線他の2本は断線せざりしも添線を爲す程になれり。

當時の電流は 100 A 位なればリレーが働くには人體に 230 A 以上の電流が流れなければならぬ, 片腕及片足が切斷さるゝか如く長時間感電せるに付相當電流流れたるものと思考さるゝ故リレーに不都合な個所なきか調査せるに調整電流値位にて十分自斷せることを確めたり。故障個所より負荷側に於ては電燈線は約半分以下位には亂調を起して點滅し居たる由, 變電所に於ては接地は出でず氣付かざりし由。

【解】 文を讀んだだけでもぞつとする様な悲惨な出來事である。然し人體の抵抗に對する貴い材料とも考へられる。即リレーが働くには 230 A の電流を必要とするに働かなかつたから是れ以下の電流と斷定してよい。又電燈が半分以下の明るさになつたとの事から考へて, 先づ電流を 200 A とする。それから電燈の方が半分以下の燭力になつたから, 電燈へは 50 A とすれば, 人體に流れた電流は  $200 - 50 = 150$  A となる。3500 V の引出口電壓であるから感電せる所の電壓を 3000 V とすれば,

$$3000 \div 150 = 20 \text{ オーム}$$

となる。三線短絡なる故, 三相式として計算せねばならぬが, 一線断線したものが一番餘計電流が流れたとすれば, これと他の一線と間の線間短絡と考へても大差なからう。

斯くの如く考ふれば人體の抵抗は僅か 20 オームとなる。一體人體の抵抗はその外皮が非常に抵抗が高いので, 一度外皮を破るときは, 中には良導體に等しい血液が流れてゐるのでその抵抗はグット

下るものである。そこで外皮の抵抗であるがそれは皮膚の状態に依り著しく異なる。汗ばんだ時, 濕つてゐる時, 乾燥してゐる時, 皮膚の部分, 夏と冬, 色々に異なるもので到底如何とは言はれぬし, 亦電源の周波数にも關係してゐる。殊に悪い事には低電壓では數萬オームの抵抗を有してゐるが, 電壓が高くなると急に低下する性質があると言はれてゐる。要するに本例の如き場合では, 先づ外皮が破られ, それから電線の上に落ちて短絡状態になつたもので, この様な場合の抵抗といふものは前述の如く甚だ低いものである。若しこれが外皮を含んだ抵抗で, 20 オーム前後であるならば, 100 V に對して 5 A の電流流れ, 我々は 100 V でもすぐに死なねばならぬ。かくの如く人體の抵抗といふものは, 人間が生きてゐる關係上しかく簡単に測れるものでもなく全く定まつた値のものでない。

### 工作物規程疑義數件

【問】 護謨絶縁電線の安全電流表は逓信省電氣工作物規程に出てをりますが, 屋外起重機配線等に使用する屋外金屬管工事に於ける安全電流は如何に適用すればよいか。

【解】 現行工作物規程にある金屬管工事に於ける安全電流の減少率は, 屋外にも適用さるる如く定められたるものなれば, その儘使用差支へなし。

【問】 護謨絶縁電線が間歇的負荷回路に使用される場合, 安全電流は使用最大電流に依る可きものですか。

【解】 工作物規程は「使用状態に於けるもの」と解釋すべきもの故, かゝる間歇的のものは最大電流に依る必要はない。平均電流に依つて差支へないと思はれる。

【問】 數臺の電動機が共通の饋電線より饋電せられ, 且常にいづれか2臺のみが運轉する様な場合に於て, 饋電線の大きさを一番大きな2臺の電動機の合成電流に對して選定しても規程違反にはなりませんか。

【解】 なりません。前述の通り使用状態に於ける電流は、一番大きい電動機2臺運轉の場合が一番大きいのですから、これに対して相當なる電線を使用すればよい。

【問】 變壓器二次側に第二種地線工事を施工時、單獨の場合には一次電流は一次側に挿入せるフェーズによつて決定される。架空共同地線の場合に「總出力の二割に相當する一次電流の二倍の電流を通したる……」とあり、この一次電流は矢張りフェーズの容量に依り決定されるものでせうか。

【解】 共同架空地線の場合はフェーズの容量ではなく、單に計算に依り求めた電流値です。

【問】 自家用電氣工作物施設規則中第八條の「特定場所に施設する試験用特別高壓變壓器を使用するもの」とは如何なる用途のものなりや。コトレル收塵器を試験の爲め一二月使用は右の規則に依り設置出來ざるものなりや。

【解】 試験用特別高壓變壓器とは、讀んで字の如く電氣機器や碍子等の耐壓試験に用ふるものである。次に問のコトレルの如きも試験的なれば差支へなし。殊に近々發表される等の規程改正のものに於ては、かゝるものは明文にして第三種資格者に於て差支へなしと定めてある由である。故に意を安じて試験されるがよい。(以上解當局某技師談文責在記者)

## 水 冷 式 電 球

【問】 東京電氣會社にて水冷式電球を製作せるとか。その構造の概略及び使用法、特長並に短所等詳細に御知らせ下さい。

【解】 實物幻燈(寫眞等を電燈で照しその反射光線をレンズに集めて映寫幕に寫し出す器械)では大體 500 W 位の活動寫眞用の如き幻燈用電球を使用する。これ等の電燈は非常に無理がしてある爲めに發生する熱も莫大で寫眞などが熱の爲にクルクルと丸まつて了ふ。そこでこの熱を除く爲めに生じたのが水冷式電球である。從

つてこの特殊目的の要求に対しては目的が目的であるから詳細な文献など出てはゐない。大體の構造で我慢して戴きたい。

水冷式電球は硝子を二重にしてその間に水を流すもので、水道の口などに小さいゴム管で結んでおけばよい。光源からの傳導並に輻射熱の大部分は吸収されるから、普通の真空電球程度の熱さになり手で觸り得る様になる。従つて幻燈機内の画面が熱の爲めまくれる事がない。水冷式にした爲めの光の吸収は僅か2%に過ぎない。

此の電球は熱の少ない光源として醫學方面にも特殊の用途を有してゐるが、何にしても特殊のものである。

## マ ッ ダ 全 光 電 球

【問】 近來當地百貨店等にマツダ全光電球なる新電球が出現致しました。これに就いて御説明下さい。

【解】 これは硝子球の内面に特殊の塗料が施されたもので、これが普通の塗料であると織條から輻射される熱によつて變化するのであるが、全光電球に採用せられてゐる塗料は斯様の變化がなく完全に乳色電球に代用出來る。又硝子球としての透過效率は著しく高く、光の損失は僅々6~7%に過ぎないと稱せられてゐる。此の硝子球は美しい白色を呈し、點火しない時でも裝飾的價値に富み、效率頗る良好である。一旦點火すると、擴散度が高い爲め電球全體が一つの光源となり眩輝を防止し得る。従つて全光電球はこれを露出させてブラケット又はシャンデリヤ等に用ひてよく、電球自身が一つの裝飾となるものである。

## 電 球 ベースの極印

【問】 普通電球のベースなどに其の電球の容量が極印してありますが、如何なる塗料と方法とを用ふるのですか。御教示被下度し。

【解】 硝酸銀の結晶を水に溶かし脱脂綿又は布に浸ませそれを

ゴム印にて印肉を用ふる如くして押せばよい。硝酸銀の結晶は硝子状の淡白色のもので、爪大のものを5立方厘の水に溶かす。硝酸銀の代りに鹽化白金(黄色)を用ふれば尚よい。5秒~10秒後には乾燥黒色となるものである。

— (完) —

續 電 氣 工 學 質 疑 應 答 集

不 許 複 製

定 價 1 圓 20 錢

昭和十年 九月 廿三日 印 刷

昭和十年 九月 廿八日 發 行

編輯發行  
並印刷者

株式會社 オーム社  
代表者 古賀廣治  
東京市神田區錦町三丁目三番地二

印刷所

オーム社印刷部  
東京市神田區錦町三丁目三番地二

發行所

株式會社 オーム社

東京市神田區錦町3ノ3ノ2 振替東京 20018

大阪出張所

大阪市北區堂ビル 404, 振替大阪 69205

電熱ノート	電鐵叢話	發電水量の研究	架空索道の理論設計と其設計	工業電熱	直流機の設計と其實際
東京帝大教授 工學博士 大山松次郎著	工學士 米澤政治郎著	榎本卓藏著	東洋空中索道製 作所 眞島卯太郎著	京都電燈常務 石川芳次郎著	神戸高等工業 學校教授 清家正著
菊一判 〇一五洋 〇〇二洋 六〇頁裝	四六判 〇〇〇洋 〇六五洋 四〇頁裝	菊二判 〇二二洋 一五九洋 六〇頁裝	四六判 〇一〇洋 〇三三洋 八〇頁裝	菊四判 〇五五洋 〇〇五洋 六二〇頁裝	菊三判 〇三八洋 一三〇洋 八〇頁裝
の易々專曩 で化を門に 乃し放に電 ちた入過熱 本學校餘工 書ののりる のの講専を 名義門遺に 付をに憾し られた互と 所字に圖回 以表面今者 了は等新其 了は省い内 も平一容の も平一積	たしを現 一も又指今 たしを現 一も又指今 たしを現 一も又指今 たしを現 一も又指今	利十た著 害六論貴者 得節文重は 失。でる發 を水。ある資 遺憶。電力の なく電全と 計あ編經開 算ら分發に しゆつ事と 示場五し した合編二 於十完 ける章成 二	線本般が 路書交最近 選は通は山 定鋼機。山 設計案。林 例條。業 等曲。造 を強。施 評度。工 述計。の 述算。重 述電。要 述電。性 述電。帶 述電。び 述電。び 述電。び	以は侵電 て速入熱 自にし工 個本つ業 工場。化 能依り今 率り工業 の増界原 進業當の を期熱面 せのせ以 ら眞らて る隨る業 べし。業 み彦	其に實難設 理も驗し計 論一上此は 讀の點机 析直知識上 し其をみ理 餘義用論の 達する者 期樣説が其 せ平試豐全 り明試豐全 直み富を期 截何なる入

獨逸電氣事業經濟研究	配電盤用器具	增補鐵塔と其設計	電氣傷害	百故障失策	水力學
東邦電力調查課 經濟學士 鴨川廣正著	大同電力技師 工學士 弘田龜之助著	工學士 岡元政一 義明共著	久保進校閱 宮原哲三著	オーム社編 編輯部編	神戸高工教授 歌原定二著
菊二判 〇〇〇洋 〇八〇洋 六〇頁紙	菊四判 〇四五洋 二五九洋 〇〇頁裝	菊二判 〇二三洋 二三六洋 四〇頁裝	菊一判 〇一三洋 〇〇三洋 六〇頁裝	第四六判 各編 〇〇〇洋 四〇頁裝	菊三判 〇三四洋 二二六洋 六〇頁裝
著者 の類種 者しては にたは造 取の造は り新進 絶の特 好に深 の現篤 参考時 書界者 で驚本 る異書 た其電 る氣逸 獨其電 逸氣業 研業業 究傾關 倒し	の各置構電 類種遮上力 をの斷の系 見理器知統 ざ論リ識の とアは發達 良實ク必共 書際タ要に なり述でレ ベリ本電氣 内取開接 外調開接 の整閉に 著器計安 書器器安 其の裝機	計事な木 のはは柱 の電語は 理電は鐵 論氣は塔 を家や書 詳とう柱 細にがな に論頗ら じるうれ 向重ばに 實其然一 例あ時に を舉本鐵 げた書塔 た本塔柱 設の設の	一書如何 般諒者何 人解のなる のさ應電體 必れ念電質 讀る處置 すべあ？電 きら：氣傷 書う：害書 等害を與 電は本與 氣本書に はもよいか とつ？か？ り忽被	と本ざ失 を書は為 期はめ秘 せ其徒す り實例ら をには人 集類情の め似の常 ての故障 ば障にし ぬに先苦 のめ之を 杖ら公表 たる因こ	致般かを根 でにら以本 詳互應てに 述り用しに した平問も た易題忽な のの痒百ち でゆ四理原 あい十解を る所もしば に掲得極 のて様め 届水に初 く力と歩 の見知 筆全地識

電燈照明	市町と電気事業	遞試問題集	實用電気工學通論	一萬キロ以上全國大發電所	遞試受験案内						
照明研究會編	廣瀨先一著	編輯部編	伊藤善工業教諭著	オーム社編	オーム社編						
送價一菊 〇二六判 一〇九洋 〇〇頁裝	送價四菊 〇三三判 一五〇洋 四〇頁裝	送價四三 〇二四判 〇〇四洋 六〇頁裝	送價一菊 〇一四判 〇二七洋 六〇頁裝	送價八菊 〇〇〇判 〇八八洋 八〇頁裝	送價七四 〇〇〇判 〇二四洋 四〇頁裝						
はを照又本て著究入複所添洒に遞る學照電大又七發卷無め注格遞	直豐明屋書痒者かる難なへな配試	ち富設外は所一せ電網驗美し始	實なる法種種に般ね歩氣繼手冊て以	際挿をの電手理ばは事せ續子索來	施に俗合照屆よりぬに如受得卷し問	設よ的に於器や營私營に事務面れ制	改述達のの適構細務のにす	良の徑切造さ全通居るの書項驗附更	應る及簡途を居れの問題	出。其便を居るつた研に	來本理なる

電氣工作物規程	ポケット電氣工作物規程	電氣事業法	屋内配線必携師	非同期進相機	電熱器製作の實際
オーム社編	オーム社編	オーム社編	陣内勝市著	磯野達一郎著	嶋田定雄著
送價一四 〇〇七判 〇二二並 四五頁裝	送價一袖 〇〇二判 〇一〇並 二五頁裝	送價一四 〇〇九判 〇二三並 六五頁裝	送價二四 〇一五判 〇三八洋 八〇頁裝	送價二菊 〇二四判 二〇九洋 四〇頁裝	送價一菊 〇一九判 一五〇洋 二〇頁裝
に太め九昭	に太め九昭	に太め九昭	に太め九昭	に太め九昭	に太め九昭



第一卷版 電氣サイン	第二卷版 整流器	第三卷版 最新建築電氣	第四卷版 保護繼電器	鐵道と保安裝置	誘導電動機 及其應用
東京電氣技師 小西彦磨 共著 川口誠彌	東京工業大學 教授 勝著 福田博士	伊藤博士 二著	加藤重一著	石井直氏著	芝浦製作所技師 東京帝國大學 礦野達一郎著
送定價判 〇・一六 〇・〇六	送定價判 〇・一八 〇・〇八	送定價判 〇・一七 〇・〇七	送定價判 〇・一七 〇・〇七	送定價判 〇・一七 〇・〇七	送定價判 〇・一七 〇・〇七
最近の電氣サインの發展を、實地調査と理論的考察とを併せて、詳しく述べ、その設計法、材料、構造、施工法等を詳述し、實地設計の例を附載する。電氣サインの設計者は、本書を必読の書とするべし。	整流器の理論と設計法、各種整流器の構造と特性、整流器の冷却法、整流器の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。整流器の設計者は、本書を必読の書とするべし。	建築電氣の設計法、各種電氣設備の構造と特性、建築電氣の施工法等を詳述し、實地設計の例を附載する。建築電氣の設計者は、本書を必読の書とするべし。	保護繼電器の理論と設計法、各種保護繼電器の構造と特性、保護繼電器の冷却法、保護繼電器の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。保護繼電器の設計者は、本書を必読の書とするべし。	鐵道と保安裝置の設計法、各種保安裝置の構造と特性、鐵道と保安裝置の施工法等を詳述し、實地設計の例を附載する。鐵道と保安裝置の設計者は、本書を必読の書とするべし。	誘導電動機の理論と設計法、各種誘導電動機の構造と特性、誘導電動機の冷却法、誘導電動機の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。誘導電動機の設計者は、本書を必読の書とするべし。

電氣用材料強弱學	電界百話	送電配電 理論及び計算	交流發電機	電熱工學	回轉變流機 理論と應用
岡田成賢校閱 長野電燈技師 古川隆松著	東京帝國大學 澤元治著	北海道帝國大學 小申孝治著 笹田助三郎著	芝浦製作所技師 東京帝國大學 礦野達一郎著	東京帝國大學 大山松次郎著	明電舎技師 石山龍雄著
送定價判 〇・一三 〇・〇〇	送定價判 〇・一六 〇・〇〇	送定價判 〇・二四 〇・〇四	送定價判 〇・三九 〇・〇〇	送定價判 〇・二五 〇・〇四	送定價判 〇・三七 一・五八
電氣用材料の強弱を、實地調査と理論的考察とを併せて、詳しく述べ、その設計法、材料、構造、施工法等を詳述し、實地設計の例を附載する。電氣用材料の設計者は、本書を必読の書とするべし。	電界の理論と設計法、各種電界の構造と特性、電界の冷却法、電界の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。電界の設計者は、本書を必読の書とするべし。	送電配電の理論と設計法、各種送電配電の構造と特性、送電配電の冷却法、送電配電の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。送電配電の設計者は、本書を必読の書とするべし。	交流發電機の理論と設計法、各種交流發電機の構造と特性、交流發電機の冷却法、交流發電機の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。交流發電機の設計者は、本書を必読の書とするべし。	電熱工學の理論と設計法、各種電熱工學の構造と特性、電熱工學の冷却法、電熱工學の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。電熱工學の設計者は、本書を必読の書とするべし。	回轉變流機の理論と設計法、各種回轉變流機の構造と特性、回轉變流機の冷却法、回轉變流機の保護法等を詳述し、實地設計の例を附載する。回轉變流機の設計者は、本書を必読の書とするべし。



遞試 參考 高等 數學	鑛石 受信 機	電氣 鐵道 變電 所	電氣 關係 內務 法規	蒸氣 ター ビン 發電 所	小形 實用 變設 計壓 法器
門理 學士 一 郎著	吉丸 田毛 晴登 共著	河工 原學 士武 著	オーム 社編	弘大 田同 龜電 之力 助技 師著	エド ベガ イ ン ト ン著
送價 菊四 〇三 二八 六〇 頁裝	送價 菊二 〇二 二〇 四〇 頁裝	送價 菊二 〇二 二〇 四〇 頁裝	送價 菊一 〇〇 〇八 〇七 四 頁裝	送價 菊三 〇三 二〇 四〇 頁裝	送價 菊四 〇一 〇〇 六〇 頁裝
般微 に分 巨學 受種 驗甲 平積 易分 懇學 切微 解分 說程 した る等 良高 書等 數學 全	ととは はが の仲 能々 兩々 方容 易易 か ら な 組 織 本 書 充 分 に 研 究 し た 理 論 と 實 際 に あ る	をとし らぬ 鐵道 變電 所 の 建 設 に 關 し て の 詳 し な 説 明 が あ る	電氣 關係 の 法 規 に 關 し て の 詳 し な 説 明 が あ る	蒸氣 ター ビン 發電 所 の 建 設 に 關 し て の 詳 し な 説 明 が あ る	小形 實用 變設 計壓 法器 の 建 設 に 關 し て の 詳 し な 説 明 が あ る

電線 及 電纜	發電 水力 的經 濟利 用	對稱 座標 法解 說	和英 獨氣 術語 大辭 典	電氣 學質 疑應 答集	電氣 實務 講話
小工 田學 助士 三孝 郎治 著	北海 道帝 大教 授 木多 勘一 郎著	工學 別宮 貞俊 著	編オ 一ム 部社 編	編オ 一ム 部社 編	東電 海氣 支協 部會 編
送價 菊一 〇一 二八 六〇 頁裝	送價 菊四 〇五 〇〇 二〇 頁裝	送價 菊二 〇二 一〇 二〇 頁裝	送價 菊四 〇三 二〇 四〇 頁裝	送價 菊二 〇一 〇七 六〇 頁裝	送價 菊二 〇二 三三 四〇 頁裝
と題 をの 實用 を見 受る もれ 驗時 者代 居の 設計 反映 者近 にだ 絶ら 好の の本 書試 考は 教之 書科 なり	電線 の 利 用 に 關 し て の 詳 し な 説 明 が あ る	對稱 座標 法解 說の 詳 し な 説 明 が あ る	和英 獨氣 術語 大辭 典の 詳 し な 説 明 が あ る	電氣 學質 疑應 答集 の 詳 し な 説 明 が あ る	電氣 實務 講話 の 詳 し な 説 明 が あ る

電氣工學の圖書はすべて取揃へてあります。何んでも弊社へ御注文下さい。

最新圖書總目錄御申込次第贈呈

<p>改電氣工作物 規程要旨</p>	<p>電氣工作物 試驗法</p>	<p>蓄電池 車</p>	<p>電氣工作物 規程拔萃 實用便覽表</p>	<p>廣田精一文抄</p>
<p>工學士 森秀氏述</p>	<p>鶴見臨港 技師長 難波貞太氏著</p>	<p>中島製作所 大村三郎氏著</p>	<p>進景親著</p>	<p>前神戸高工校長 廣田精一著</p>
<p>一六判並製 送價一〇〇・二四〇頁裝</p>	<p>菊三判 送價一〇九・八四〇頁裝</p>	<p>菊二判 送價一〇一・七二〇頁裝</p>	<p>四六判並製 送價一〇〇・二八頁裝</p>	<p>菊二判 送價九一・七二〇頁裝</p>
<p>新規程の改正事情を明らかにしたもので、 一言一句にも忽せぬ程の慎重に記憶し得る限 るを味ふ種々の数字等も明確に記し得る限 るを味ふ種々の数字等も明確に記し得る限 るを味ふ種々の数字等も明確に記し得る限 るを味ふ種々の数字等も明確に記し得る限</p>	<p>電氣機械器具類の試験方法及び測定方法を網羅 し、線路の關係等日常取扱つて居る各種電 氣の試験方法及び測定方法を網羅し、線路の關係等 日常取扱つて居る各種電氣の試験方法及び測定方法を網羅 し、線路の關係等日常取扱つて居る各種電氣の試験方法及び測定方法を網羅</p>	<p>運搬車の生命たる蓄電池の性能を及ぼす諸 論を初め、其の充てがはれるべき蓄電池の性能を及ぼす諸 論を初め、其の充てがはれるべき蓄電池の性能を及ぼす諸 論を初め、其の充てがはれるべき蓄電池の性能を及ぼす諸</p>	<p>實際技術に携る者は、相作物の煩瑣を省き、 條文を照合する者には、その煩瑣を省き、 條文を照合する者には、その煩瑣を省き、 條文を照合する者には、その煩瑣を省き、</p>	<p>電氣教育の普及した點では、民間第一者たる 著者が、過去十年間の経験から、第一者たる 著者が、過去十年間の経験から、第一者たる 著者が、過去十年間の経験から、第一者たる</p>

終