

始



317
910

科目別

遞試標準解答

II の B

機械之部

(高等)



昭和三年七月

電機學校編

特221
4



解答標準試選

目次

第壹章	直流機(10問)	1
第貳章	交流發電機(10問)	10
第參章	交流發電機の試験(10問)	23
第四章	交流發電機の並行運転(10問)	33
第五章	同期電動機(3問)	43
第六章	變壓器(理論)(10問)	47
第七章	變壓器(應用)(10問)	57
第八章	誘導電動機(7問)	70
第九章	誘導電動機の速度(6問)	80
第拾章	廻轉變流機の電壓(10問)	87
第拾壹章	廻轉變流機一般(9問)	95
第拾貳章	縦續變流機及水銀整流機(5問)	102
第拾參章	單相整流子電動機(9問)	111
第拾肆章	雜機械(10問)	124
第拾伍章	雜(16問)	147



受 験 拾 則

1. 自分の力に余裕があると思ふ種を受け、一度受けた種は合格する迄變更せぬ事。
2. 既往の試験問題を一讀すること。
3. 参考書はあわてた三讀よりも落付いた一讀を期すること。
4. 電氣雑誌は常に續み、参考となると思ふ所は抜書きし置き、試験前は主として抜書で勉強する事。
5. 試験前二三日は適度の運動と浩然の氣を養ふに勉め特に衛生に注意すること。
6. 受験地へは前日位に到着し、当日は定刻 30 分前に受験場に出頭すること。
7. 時間中は出来るだけ落付いて全部の時間を使用する様心掛け、完全無缺を期すること。
8. 試験問題は反覆熟讀すること。
9. 答案は出来るだけ整理し、要をつまみ、讀み易き様奇麗に書くこと。
10. 出来が不充分だと思つても最後まで必ず受験すること。

(選試問題集受験案内抜萃)

は し が き

樂器の演奏を練習する人は、二年でも三年でも所謂指馴らしに精進する。初めから自己流で樂譜を奏でようとおせる人に大成したためしは少い。圍碁將棋を嗜む人が本氣に上達を望むならば、否が應でも定跡を研究せねばならない。對局一點張りで行く者は所詮道樂の範圍を出でない。

學を修める人々に取つて、學校の課程や内外の成書は即ち指馴らしであり、定跡である。秩序と漸進とをモットーとする基礎であり、策源地である。歩一步履み固めて行く底の眞摯な勉學は、どうしても是等に由らねばならない。然るに我が國の電氣工學に志す青年が實力の充分でないうちから好んで奏でようとする曲目、好んで勝敗を争はうとする對局がある。俗に所謂“選試”，正しい名で電氣事業主任技術者資格檢定試験が即ちそれである。何さまこれは青年電氣技術家の登龍門。之を目掛けて突進する人々の多いのも無理はない。

本校の出身者にも此の試験に應じた人々が非常に多い。“此の問題はどう答へるのが正しいでせう”と云ふ様な質問も屢々受けて來た。それ等が動機となつて、所謂選試の度毎に、本校から其の解答集を出版し、今や既に十六冊の多きに達し

た。1400頁の六號活字を繕くとき、流石に思出も深いが、扱前述、指馴らしや定跡の事に思ひ到ると、もう少し秩序を正し、系統を重んじた纏め方がありさうなものだと考へざるを得ない。試験も度重ると、適当な問題は出し盡されて了ふから、其の配列を工風すれば前後の脈絡も明になり、略一部の成書に近い効果を齎すであらう。同じ受験準備にしても、智識の整理を兼ねる事が出来る筈だと考へて來たのである。其の産物が此處に讀者の目前に現はれて居る次第。をこの沙汰ではあるが少々手前味噌を並べて見よう。

先づ第一に科目別にした。科目はやはり選試に準じて分けた。即ち

- I 測 定.....電氣理論及電氣磁氣測定
- II 機 械.....電氣機械及變壓器並附屬器具
- III 配 電.....電力輸送配電並蓄電池
- IV 電 燈.....電燈並照明
- V 電 鐵.....電氣鐵道
- VI 發 電.....發電所設計附原動機

の六科目である。さうして各科目とも(電鐵を除く)初等(A)高等(B)の二階梯に分類した。初等とは現制の三種、舊制の五級、四級全部及び現制の二種、舊制の三級、二級のうち比

較的簡易な部分である。其の他を一括して高等と名づけた。然し將來此の解答集の高等の部に屬する問題又は其の變形が三種に出ないとも限らず、反對に初等のものが一種に出るかも知れない。蓋し問題は同じでも、受験者の實力によつて答へ方の變り得る場合が多いからである。

次に各科目とも問題の内容に従つて、數章乃至十數章に分け、同種類の問題、又は連絡のある問題は、年代や級別を無視して、相並べる方針を取つた。愈々實行して見ると意相外に此の點に力を要した。又電氣工學一般に關する問題、口述試験の問題及び他科目に屬して居た問題迄も捕へて來て、夫々の章に編入した。章の分け方には幾分精粗の差を生じたものもある。これには各章の問題數を略揃へたいといふ體裁上の顧慮も手傳つて居る。

又從來の年度別解答集は一日も早く世に公にすることを主眼として、本校職員が其の都度分擔執筆したものである。内容の協議や検査は苟くもしなかつたが、説明の繁閑や記述の筆辭迄統一することは到底出来なかつた。同じ人が書いても八年、十年の歳月を隔てると、彼是、可なり感じの違つたものが出来上る。そこで今回の科目別を實行するに當つては、先づ各科目に二三人づゝの分擔者を定めた。其の分擔者は夫

々従來の解答の内容を精讀した。協議の上、内容を變改した
ものもある。説明の程度や方式を整理し、用語を統一する爲
め、随分思切つて原稿に筆を加へた。全然舊體を止めない解
答も稀ではない。又目次の外、卷末には級別年度順の便利な
索引を加へた。

之を要するに、吾々は一貫した主義と編輯方針とを以て事
に臨んだ。徒らに糊と鉄とを以て、従來の年度別を今回の科
目別に變へたものではない。敢て標準解答の名を冒すのも聊
か恃む所があるからである。

重ねて言ふ。指馴らしと定跡とでミツシリと仕上げるに越
した事は無い。然し選試は少壯電氣技術家の研學熱と向上心
とを正しく指導する官學の美制である。人情、早く此の樂譜
を奏で、此の對局に勝を制したいと祈念するのも無理でない
以上、同じ受験準備でも、なるべく學校の課程や一部の成書
に依ると類似の効果を、此の解答集から收めるやう、切に
讀者の奮勵を促して止まない。

昭和二年六月

電機學校 編輯掛しるす

科 目 別 選 試 標 準 解 答

機 械 の 部

(高 等)

電 機 學 校 編

第 一 章 直 流 機

(1) 電氣鐵道電動機の整流子に起る事故の諸原因を述べよ。

(大正8年3級口述2)

〔解〕 整流子に起る尤も主なる事故は火花及閃絡 (flash over)
なり。其の原因は

- (イ) 刷子の壓力過低又は過高なること
- (ロ) 軌道の構造柔弱なること
- (ハ) 電氣制動を行ふこと
- (ニ) 炭素の品質劣悪なること
- (ホ) 整流子表面の汚れ
- (ヘ) 負荷の特異なる急激變化

尙此の外の故障の原因は次の如し。

high mica は整流子片及絶緣雲母の材料不良のため

發熱は刷子壓力強きに過ぐるか電流容量小なるため
斷線は捲線端との接続不良となりたるため。

(2) 補償線輪 (compensating winding), 補極 (interpole), 抵抗線 (resistance-lead) の直流發電機, 電動機の整流に対する作用を説明せよ。 (大正5年2級3)

〔解〕 補償線輪は電機子圓周に於ける各點の電機子反作用を完全に相殺するが故に, 負荷の急激の變化に際しても各整流子片間に非常起電力の發生することなく, 従つて閃絡を防止し得べし。

補極は整流帶に於て電機子反作用を相殺し, 加ふるに整流用起電力を供給して, 刷子に於て無火花整流を行ふことを得しむ。

抵抗線は刷子に依つて短絡せらるゝ電路の抵抗を高からしめ, 其の時定數 $\frac{L}{R}$ を小にして電流の變化を速かならしむるものなれども, 此方法のみを單獨に用ひて到底完全なる整流を得難し。

(3) 直流分捲電動機に補極 (interpole) を附する目的如何。 (明治44年1級4)

〔解〕 直流機に於て完全なる整流を行はしめる爲めには, 發電子線輪が刷子に依つて短絡され居る間に, 其の電流變化に相當する線輪の自己誘導起電力を打消す丈の電壓即ち整流電壓を線輪に與へざるべからず。之れが爲めには發電子線輪の短絡期間に於て, 之れをして磁束を切らしめ, 起電力を有せしめざるべからず。

補極を有せざる分捲電動機に於て, 整流電壓を附與せんとすれば刷子の位置を界磁中性點よりも前方即ち發電子の廻轉方向に進める必要あり。而して整流電壓の値は整流すべき電流の値に比例するを以つて, 刷子移動の度は負荷によつて増減せざるべからず。況や發電子反作用の爲めに界磁中性點は負荷電流の増加するに従ひ發電子廻轉の方向に順次移動し來る事を考ふれば, 負荷の増減に伴うて刷子を移動する度を變化せしむるの要更に大なるべきことを知る。

補極は常に刷子を幾何學的中性點に置いて完全なる整流を行はしむる事を目的とする。即ち幾何學的中性點に小界磁極を置き, 其界磁線輪は發電子と直列に接続し, 其のアムペア回数は發電子電流の交叉磁化作用を打消して界磁中性點の移動を除く以上に適當なる整流電壓を短絡線輪に與ふるに足る整流磁束を發生すべき様に定めらるゝものなり。

(4) 電氣鐵道用 series motor に補極を取付ける様になりしは如何なる要求に基くや。 (大正7年3級口述3)

〔解〕 元來直捲電動機は廻轉方向不變の場合には, 一たび刷子を適當の位置に調整すれば, 負荷の大小如何に關せず, 刷子を其儘にして略差支なき理なり。電動子反作用の増加に伴ひ, 主磁界の起磁力も亦増加するが故なり。然れども電氣鐵道用電動機の如く, 廻轉方向の屢逆轉する場合には, 其の都度刷子を移動せざるべからず。然かも電車内の如き近寄り難き個所に在りては, 頻繁に刷子を移動すること困難なり。依つて刷子を常に中性點に置くも差支なき様補極を附加するに至りたるなり。

(5) 直流分捲電動機の起動抵抗の段付 (grading) は如何にして定めらるゝかを説明せよ。 (大正12年2種3)

〔解〕 本題の起動抵抗は之を或る等比級數に段付するを良とす。次に之れを説明せん。

先づ給與電壓を E , 電動子抵抗を R_a とし, 次に起動時に許し得べき最大電流 I を決定す。然らば第一ノッチに於ては, 次式を満足するが如き R_1 の値を選ばざるべからず。

$$E = IR_1 \quad \text{但し} \quad R_1 = R_a + R_s \quad (R_s \text{ は起動器の全抵抗})$$

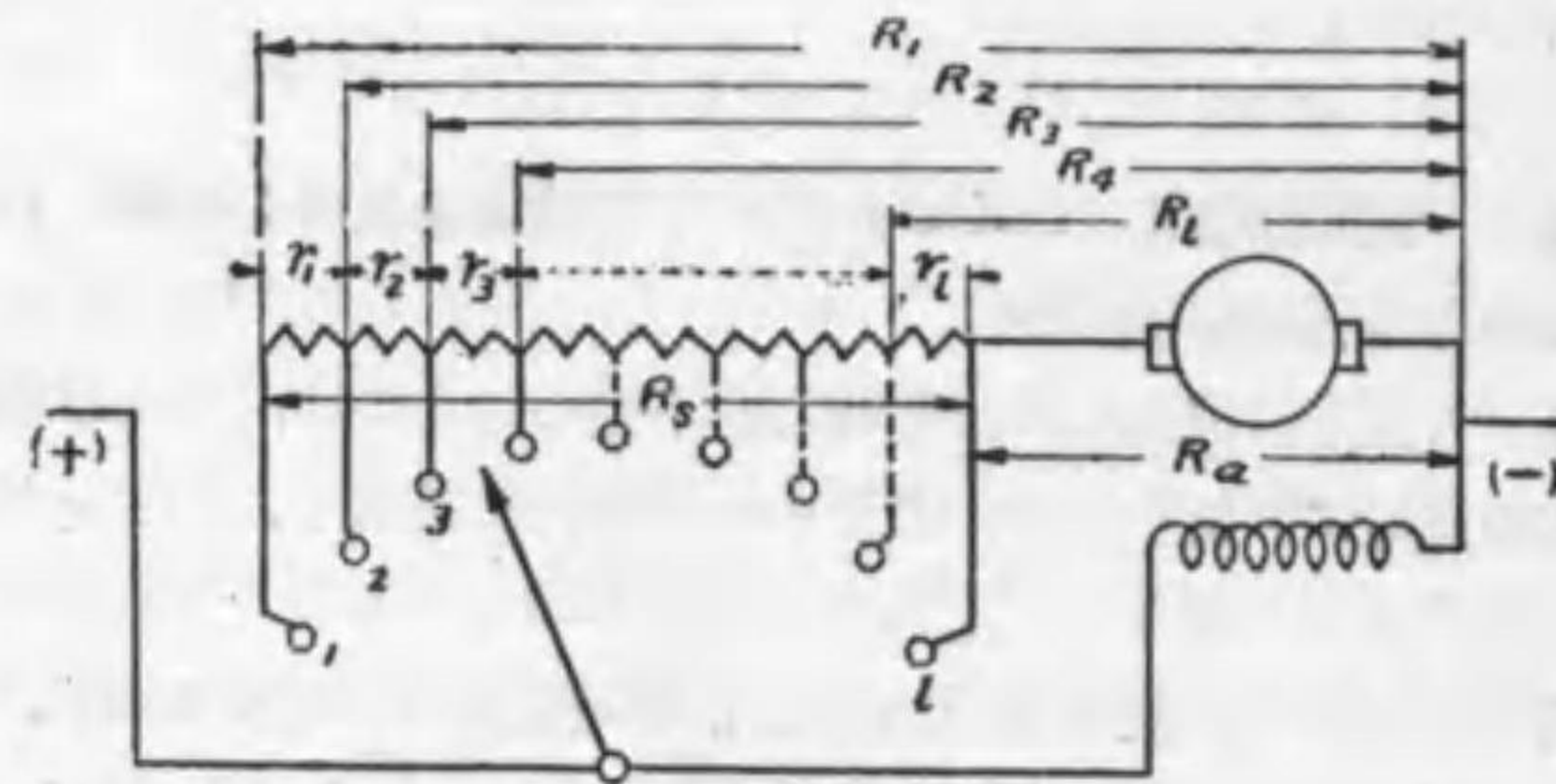
斯くして電動機加速せられ, 若干時の後其の逆起電力 E_1' , 電流 I' となる。其の關係次の如し。

$$E - E_1' = I' R_1 \dots\dots\dots (1)$$

但し I' は全負荷電流附近の値なりとす。此の時第二ノッチに把手を進めて、電流の値を前の I に等しからしむる爲めには R_2 が次式を満足するを要す。

$$E - E_1' = IR_2 \dots\dots\dots(2)$$

第 1 圖



(1) (2) 兩式より $I : I' = R_1 : R_2$

此の状態より更に加速せられ、電流再び I' に減じたる時、逆起電力は E_2' に増加し

$$E - E_2' = I'R_2 \dots\dots\dots(3)$$

となる。此に時第三のノッチを入るれば

$$E - E_2' = IR_3 \dots\dots\dots(4)$$

(3) (4) 兩式より $I : I' = R_2 : R_3$

以下同様にして、

$$\frac{I}{I'} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} = \frac{R_3}{R_4} = \dots\dots = \frac{R_l}{R_a} = a \dots\dots(5)$$

然るに第1圖に依り、 $r_1 = R_1 - R_2$, $r_2 = R_2 - R_3$

故に (5) 式より

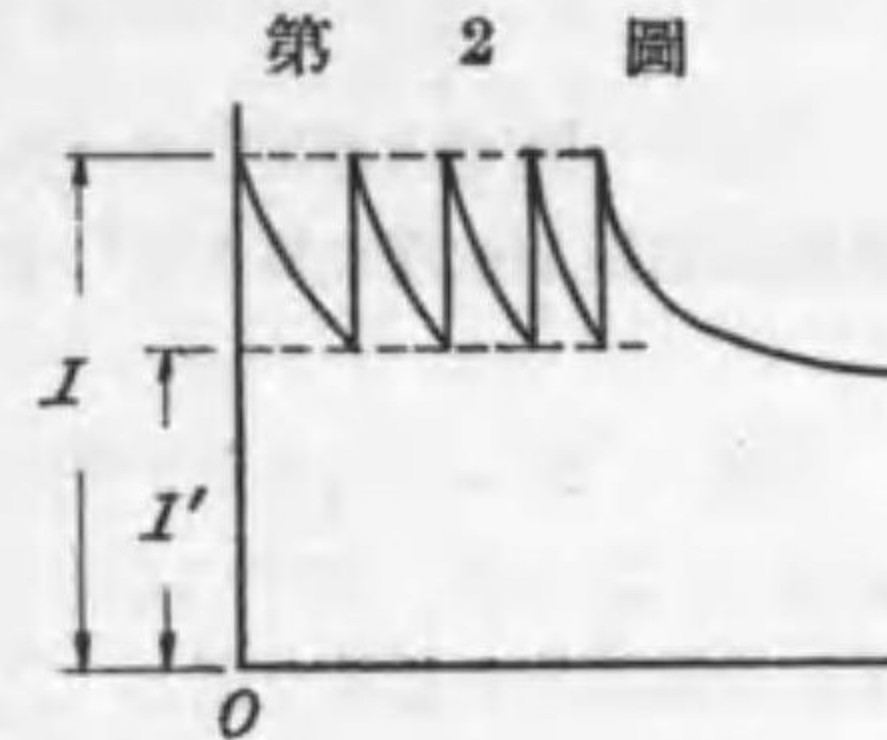
$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_2}{r_3} = \frac{r_3}{r_4} = \dots\dots = \frac{r_{l-1}}{r_l} = a$$

即ち總抵抗 R_a を公比 a なる等比級數に従ひて段付すれば、第

2 圖の如く電流が I' に減じたる時、把手を次に進む事に依り起動時の電流を規則正しく調節することを得べし。而してノッチの總數 (兩端を含む) $l+1$ に對し、第 (5) 式より

$$\sqrt[l]{\frac{R_1}{R_a}} = a = \frac{I}{I'}$$

を得るが故に、先づ I を定め R_1 を算出して後、適當のノッチの數を假定すれば a (從つて起動時の最小電流 I') がおのづから希望に近き値に落着すべし。



(6) 直流直捲電動機の起動抵抗の段付 (grading) は如何にして定めらるゝかを説明せよ。 (大正8年3級1)

[註] 起動抵抗の段付は直捲にても分捲にても少しも變りなし。即ち前問の R_a の代りに $R_a + R_r$ を使用すれば可なり。但し R_r は直捲界磁線輪の抵抗とす。

(7) 直流電動機の自動起動方法 (automatic starting) の原理を列擧せよ。 (大正9年2級口述3)

[解] 自動起動器の目的は開閉器を閉ぢたる際に加へられたる起動抵抗を自動的に一部宛短絡し行くに在り。其原理二あり。

1. 多くの電磁開閉器 (contactor) ありて、起動電流が一定値に低下したるとき逐次の開閉器を働作するもの。之に二法あり。

イ 電流繼電器其他の方法に依り電流が一定値に低下する迄は次の開閉器を閉ぢざる様に装置したるもの。

ロ 鐵心の運動を沮止する如き分岐磁路を用ひ、電流が大なる間は鐵心の吸引力が有効に働かざる様にしたるもの。

2. 加減抵抗器短絡用働作柄を動かす電磁石に制動壺其他の方

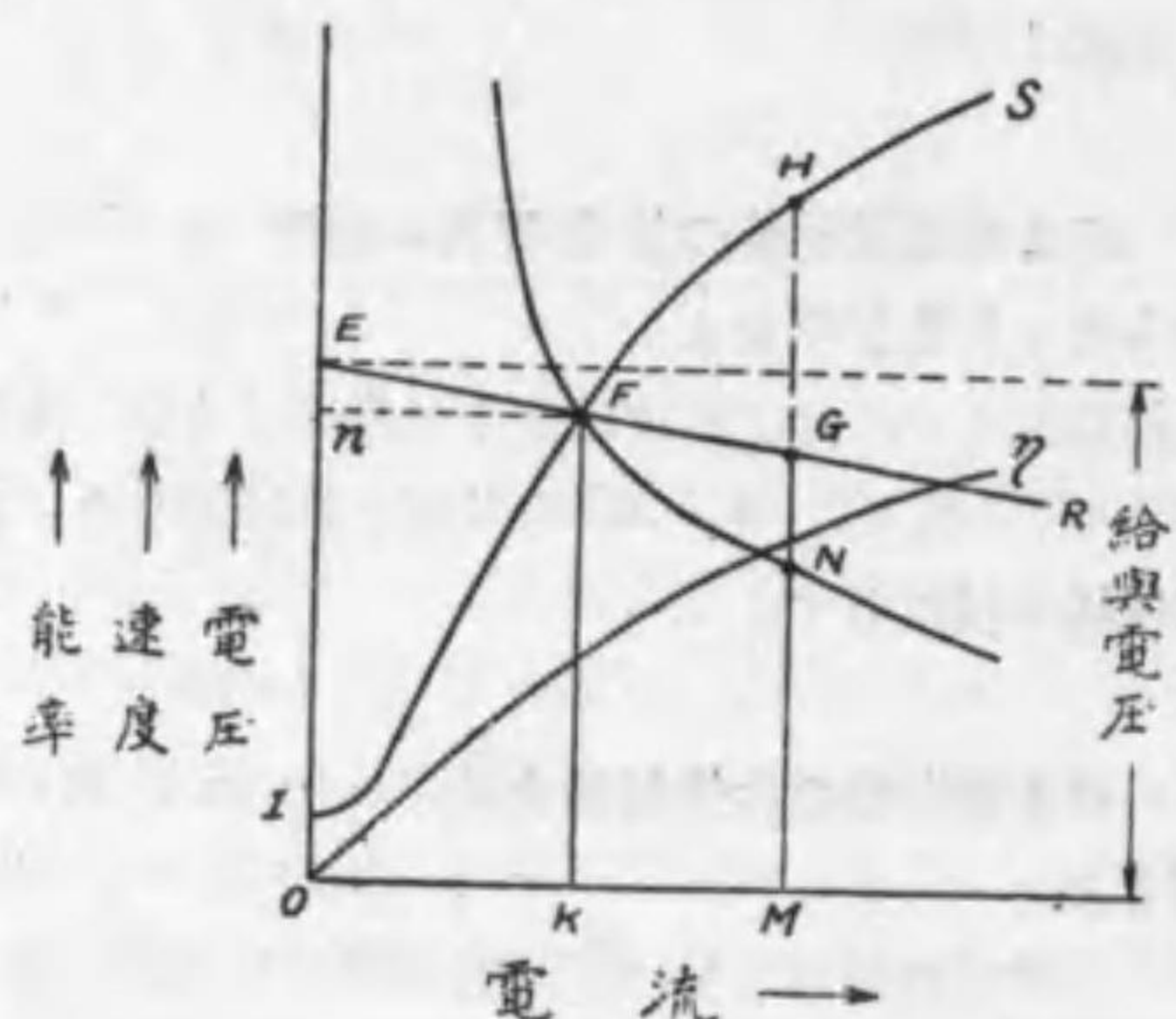
法に依り, time element を與へたるもの。

(8) 直流直捲電動機一基あり之を實際に負荷せしむる事なく其能率曲線及速度曲線を定むる方法を説明せよ。

(大正4年2級1)

[解] 先づ電動子と界磁線輪とを切り離して他勵發電機とし, 適當の一定速度 n に於て磁化曲線 (第3圖 IS) を描く。又電動子並に直捲線輪の抵抗を測り, 之を $R_a + R_r = R$ とす。

第 3 圖

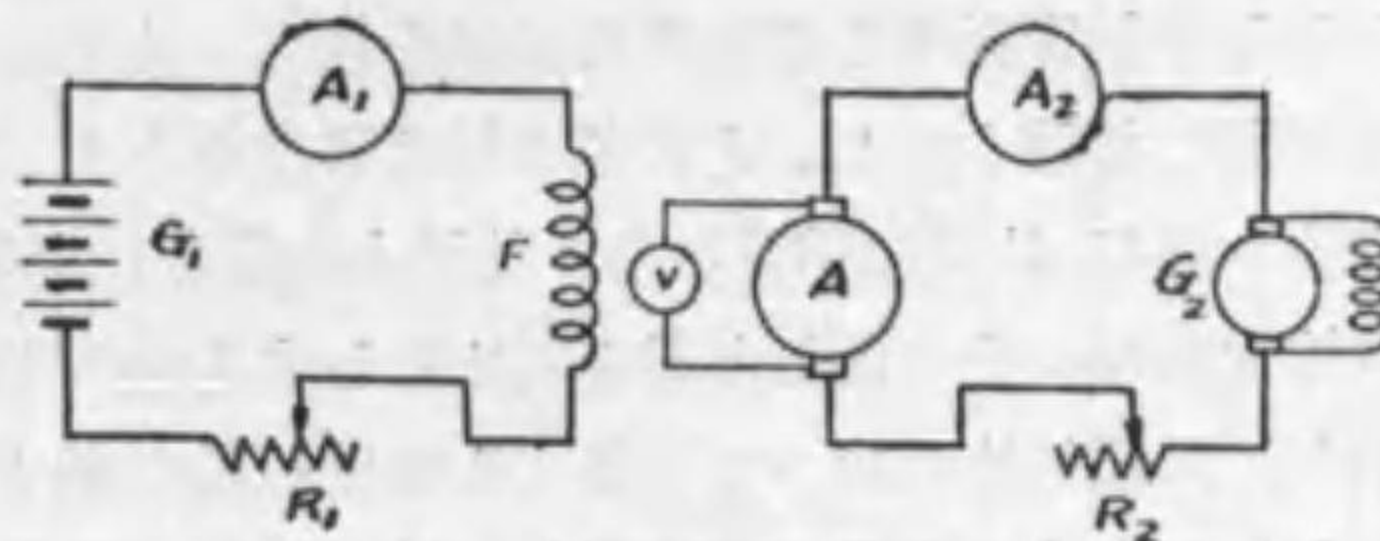


第3圖の縦軸上に電壓の尺度にて給與端子電壓 OE を計り, E 點を通りて内部降下 IR を與ふる直線 ER を引く。而して IS と ER との交點 F の高さ FK が n を表はす如く速度の尺度を定む。然るときは F は電流速度曲線上の一點となる。次ぎに任意の電流値 OM に対しては高さ GM 及び HM を求め

$$\overline{NM} = n \times \frac{\overline{GM}}{\overline{HM}}$$

を HGM 線上に測りて速度曲線上の一點 N を得可し。蓋し GM は此直捲電動機が電流 OM を取りて運轉するとき生ずべき逆起電力を表はす。然るに同じ界磁電流に於て HM なる電壓を誘導する速度は n なり。故に GM を誘導する迴轉數, 即ち此時の運轉速度は $n \times \frac{\overline{GM}}{\overline{HM}} = \overline{NM}$ ならざる可らず。電流 OK に於ては H, G 及び N の如き點が F 點に合一するなり。

第 4 圖



能率曲線を得るにも界磁は第4圖の如く電源 G_1 に依つて他勵し電動子には他の電源 G_2 より電流を供給し, 無負荷電動機として迴轉せしむ。今抵抗 R_1 を加減して電流計 A_1 の讀みを種々に變ずれば, 電壓計 V の讀みも變化す。依つて例へば A_1 の讀みが第3圖の OM なるとき, V が同圖の GM (此時の逆起電力) を指示する如く R_2 を加減し, 其の都度電流計の讀み A_2 を取る。斯くすれば磁界の狀況, 電動子迴轉數は實際 OM なる電流を取りて運轉せるときと同じく, 然かも電動子は無負荷にして A_2 の値は甚だ小なり。(電動子反作用及び A_2 に依る内部降下の爲めの速度の僅少なる降下を無視せるは此の場合誠に止むを得ざるなり)。従つて電動子入力 $V A_2$ は規定電壓 F , 電動機電流 A_1 を以てする實際運轉のときの鐵損, 摩擦損, 風損及び僅少なる銅損 $A_2^2 R_a$ の和なりと考ふるを得。故に能率は

$$\eta = \frac{EA_1 - \{(VA_2 - A_2^2 R_a) + A_1^2 R\}}{EA_1}$$

となる。第3圖横軸上の各点につき此の計算を行ひ之を圖に描けば能率曲線 $O\eta$ を得べし。

(9) 直流分捲電動機及直流直捲電動機に就き其の電氣制動法 (electric braking 又は dynamic braking) の相違の點を述べよ。

(大正6年3級2)

〔解〕 直流分捲機に於て電氣制動を行はむと欲せば界磁捲線を電源につなぎたる儘電動子と電源との接續を斷ち、直ちに若干の抵抗を其の刷子間に接續すべし。之に依り機は發電機として作用し、抵抗内に電流を通じ、此所に消費さるゝ熱勢力の爲めに制動せらる。

然るに直捲電動機に於て電氣制動を行はむとする時、若し電源との接續を斷ち、其儘抵抗を以つて短絡する時は界磁に通ずる電流は従來とは反對となり直に界磁の残留磁氣を消失し全く發電せざるに至る。故に何等制動力を發生する事能はず。依つて制動を行はむとするには電源との接續を斷つと同時に界磁と電機子との間の接續を逆にし電機子の電流が反對となるも、界磁に在來と同一方向の電流通ずる如くに改め、然る後に兩端子間に抵抗を接續するの要あり。是れ兩者に於ける相違點なり。

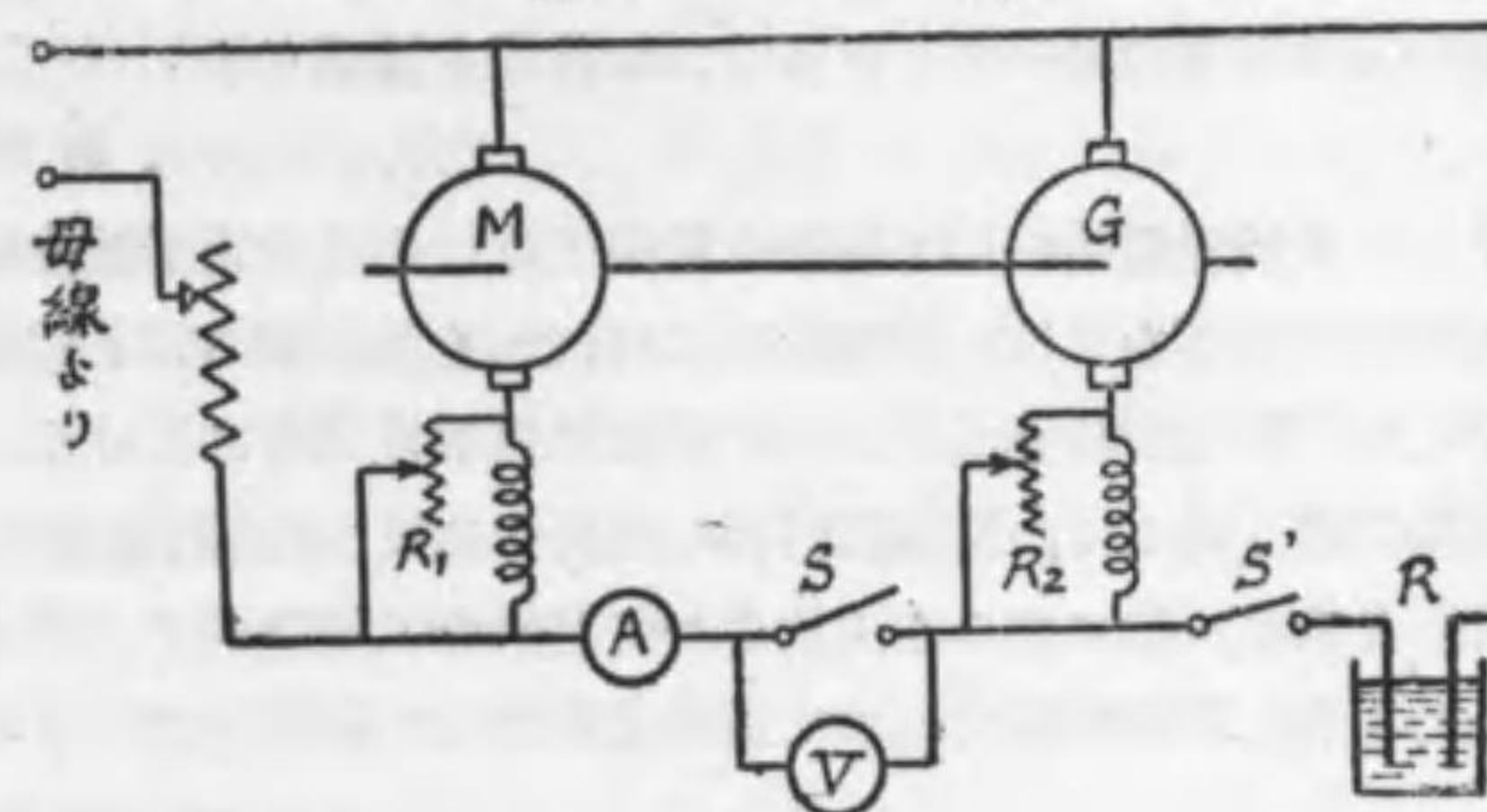
〔註〕 直流分捲電動機の電氣制動法は、界磁、電動子共に電源から切放ち、然る後若干の抵抗で兩端子間を短絡した分捲發電機として運轉させても行はれぬ限りは無い。然し此の方法では起電力の減少に伴ひ磁束も漸次減少するから、外部抵抗を減じて行つて、縱令電流を一定に保つことが出来ても制動力は速度の減少に伴つて大に減少する。故に分捲線輪の方は最初から電源に繋いだ儘にして置く方が遙に制動の効力が大きい。

(10) 同様なる二箇の電氣 鐵道用直流直捲 電動機の溫度試験

(heat run) に用ふる返還負荷法 (pumping back method) を略述せよ。 (大正13年2種1)

〔解〕 直流直捲電動機の返還負荷法に於て、兩機の損失を機械的又は電氣的に供給する種々の方法あり。茲には銅損鐵損共之を電氣的に供給する方法を述べん。

第 5 圖



第5圖に於て M, G は試験せらるべき二つの直捲機にして、之を gear 又は coupling に依りて機械的に結合するものとす。最初 S を開き S' を閉ぢて母線により M を電動機として起動せしむ。此の際 G は發電機として水抵抗に電流を供給す。斯くて水抵抗 R の加減に依り速度を所要の値に保ち、R₁, R₂ の分捲抵抗を調節して G の勵磁が、M の勵磁より適當の値だけ高きに至れば、電壓計 V は零を指示すべし。是に於て S を閉づ。次に水抵抗 R を徐々に増加しつつ、R₂ に依つて G の勵磁の減少を防げば、G の電流は、R に至らずして、M に pump back せらる。水抵抗の電流極めて小となりたる時、S' を開く。更に進んで R₂ を開路するに至る。

以上の状態にて若干時間を経過し兩機の溫度一定となりたる時、双方の溫度を記録す。然る後 G と M とを交換して前と同じ時間だけ運轉し、再び双方の溫度を記録するを可とす。

〔註〕 M と G は界磁と電動子との接續を reverse するを要す。

第二章 交流發電機

(1) 大なる交流發電機を運轉中に短絡せば如何なる障害を生ずるや。該障害を防止するに如何なる方法ありや且つ此の場合に於て發電子反作用及發電子リアクタンスの作用を説明せよ。

(大正3年1級1)

〔解〕 交流發電機の端子電壓は發電子反作用及發電子線輪の自己誘導作用の影響を受け、常時に於ては何れも發電機の端子電壓を降下せしむ。而して無誘導性負荷に於ては誘導性負荷に於けるよりも電壓降下僅少にして、反誘導性負荷に於ては反つて端子電壓を上昇せしむる事は一般に知らるゝ所にして其影響は純誘導リアクタンスのみの場合と同様なるを以つて此兩者を合して同期リアクタンスと稱す。

短絡の生ずる時は發電子リアクタンスと發電子反作用とは全く其の作用を異にし、前者は即時に作用を開始するも、後者には或る時間を要す。故に交流發電機を短絡せば、最初の瞬時に於ては發電子短絡電流は自己誘導作用に依る純リアクタンスによりてのみ制限されるゝを以つて其値は極めて大なり。次で發電子反作用は其働きを表し、漸次に其界磁磁束を減少し、従つて其短絡電流の値を減じ遂に永久的短絡電流を通ずるに至る。

發電子反作用の働に時間を要するは、磁束数の變化は磁界に蓄積されたる磁氣勢力の變化を意味し而して磁氣勢力は界磁線輪の爲め瞬時に變化する事能はざるに依り發電子作用の増加は發電子電流の増加と同時に發現し能はざるに因る。

斯の如くして交流發電機の瞬時短絡電流は其永久短絡電流よりも大にして兩者の比は同期リアクタンスと純誘導リアクタンスとの比に等し。而して高速度大發電機例へばターボ・オルターネーターの

如きものに於ては瞬時短絡電流は永久短絡電流の數倍乃至十數倍に達するものなり。

交流發電機が短絡する時には界磁電流は短絡の最初の瞬間に於て甚だしく増加す。之れ發電子電流が急に増加し、其反起磁力が増加するも其界磁磁束は之れに應じて直に減少する事能はず茲に於て界磁の起磁力が一時増加するによる。

短絡によりて生ずる發電機の故障を列記すれば下の如し。

發電子の捲線相互に働く力は電流の二乗に比例するが故に非常に強き短絡電流に對しては發電子捲線を機械的に破壊する事、發電子捲線並に界磁捲線に最初過大なる電流通ずるが爲め其等捲線を焼損する事、原動機に對する衝激大にして爲めに軸を折損し、ヴェーンを折る如き事等の故障あるは勿論短絡發生せば一時送電不可能となり、若し他に數個の發電機を並列に結合して並行運轉中に短絡を生ぜば、其短絡點に全部の發電機より電流を供給し其電流の大なる事恐る可きものある可し。

現今普通に行はるゝ短絡による障害を防止する手段としてはリアクタンス・コイルを各發電機若しくは之れを互に結合する母線間に挿入して瞬時及永久短絡電流の値を制限するにあり。(3問参照)

(2) 同期發電機の短絡に就て論ぜよ (大正7年1級3)

(3) 交流發電機の短絡に就て論ぜよ (大正9年2級3)

〔解〕 (イ) 短絡電流の固定値と過渡値 交流發電機は早晚短絡の厄に會ふべし。今其の最も不利なる狀況を假想して、自機の端子に於て容易に解くべからざる短絡を生じたりとせば、短絡電流の定態値は $I_p = E + Z$ なり。但し E は發電機の誘導起電力、 Z は其の同期イムビダンスなりとす。 I_p の値は普通全負荷電流の三倍乃至六七倍を出でず。然れども短絡の瞬時に於ては驚くべき莫大なる電流(時として全負荷電流の20倍以上)に達することあり。蓋し

同期インピーダンスの中純リアクタンスは短絡の生じた真の瞬時より其の作用を表はすも、發電子反作用に至つては其の影響爾く瞬時的なる能はず、 $I_0 = E + Z_0$ が短絡直後の電流となるなり。但し Z_0 は發電機の純インピーダンスなりとす。

(ロ) 短絡電流過渡値變化の概要 短絡電流が I_0 より I_p に至る迄の過渡期に於ては、頗る複雑なる紆餘曲折を経るものにして、發電子反作用も亦此の過渡期間に於て漸次界磁に影響を及すなり。元來多相同期機に於ては平衡電流に依る發電子反作用は界磁に對して靜止的且つ不變的のものなれども、短絡に際しては電流の不平衡を惹起し、其の結果界磁に脈流を誘導し、更に發電子電流の波形を不規則ならしむ。

斯くの如く此の過渡期間に於ては電流變化の状態頗る險惡にして其の繼續また數秒に亘ることあり。發電機猛炎に包まれ、開閉器爆裂粉塵する等の様事は多く此の數秒間に生ずるなり。

(ハ) 災害の種類 發電機の致命的損傷は (a) 過電流又は過電壓に依る發電子捲線絶縁物の焼損、(b) 短絡電流の生ずる巨大なる機械的の力に依る end connection の歪形に基く。強制通風の蒸気タービン交流機に於ては一たび火を發せば頓に火勢の猛烈を極むべきこと勿論なり。又此際は油入自動遮斷器が動作することあらば、狭少なる油槽内に莫大なる短絡電力を遮斷するが故に獨り遮斷器を破裂せしむるのみならず、故障の程度を一層激甚ならしむることあり。

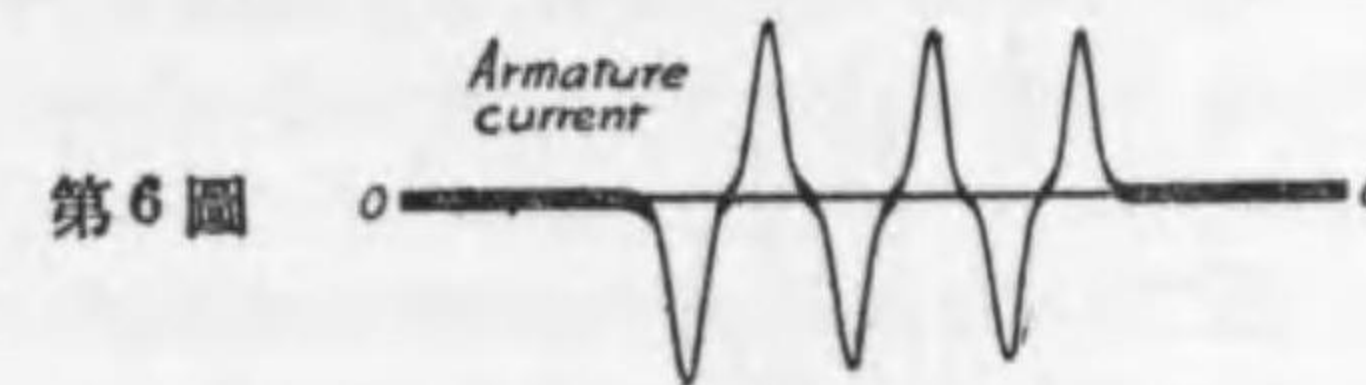
(ニ) 災害軽減法 然らば此の種の破壊性損傷を軽減する方法如何。曰く發電子電路のリアクタンス X を大にし、以て I_0 を小にすること一策なり。低速度にして極數多き發電機に於ては、此の條件は自ら満足せらる。又高周波發電機に於ても電氣的角速度甚大なるを以て X 大となる。即ち是等の發電機は之を短絡するも危險少きを得るなり。然れども蒸気タービン交流機の如く極數甚だ小なる者に在りては總直列捲數小なるが故に發電子其物の X を大にすること容易ならず。導線を容るるに必要な程度以上に特に溝を深くし

て機械の重量を増加し、若くは tunneled core を用ひて手捲線輪に依る等の缺點多き方法に依らざるべからず。軌近保護リアクタンス (protective reactance or power limiting reactance) を發電機以外に置くに至りたるは蓋し止むを得ざるに出でたるなり。

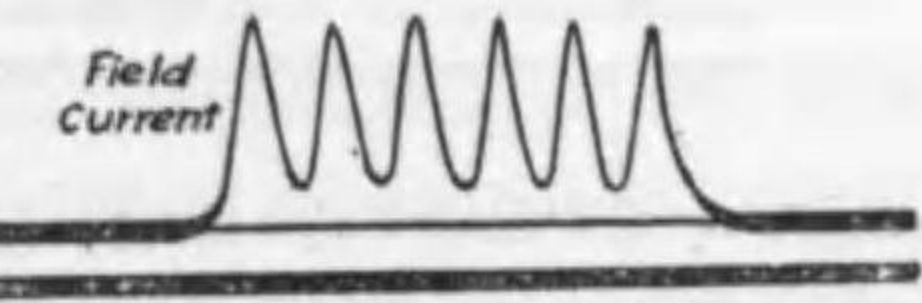
又前述の災害中(a)に對しては發電子の slot insulation に mica を使用すべく、(b)に對しては end bracing を嚴重にすべし。又油入自動遮斷器の繼電器には必ず適當の time element を與ふべし。

(4) 三相交流發電機の單相短絡による電氣的並に機械的影響に就きて論ぜよ。 (大正 15 年 1 種 3)

〔解〕 緒論 交流發電機の突發的短絡に於ける發電子電流の變化は、リアクタンスと抵抗とを含む電路に、急激に交流電壓を加へたる場合と略同様なり。第 6 圖は此の一例を示す。圖に於て電流の振幅漸次減少せるは發電子反作用の影響比較的緩慢なるが爲なり。蓋し短絡初頭の電流は、専ら誘導起電力の瞬時値と純リアクタンスとに依つて決定せられ、發電子電流の減磁作用は、之に呼應して生



第 6 圖

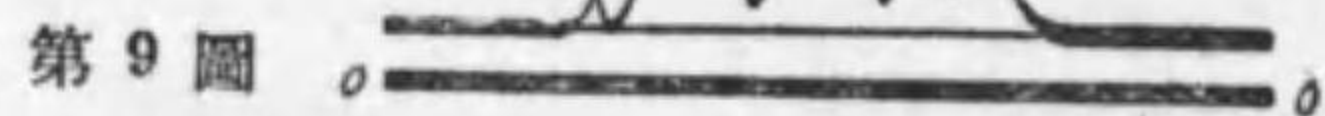
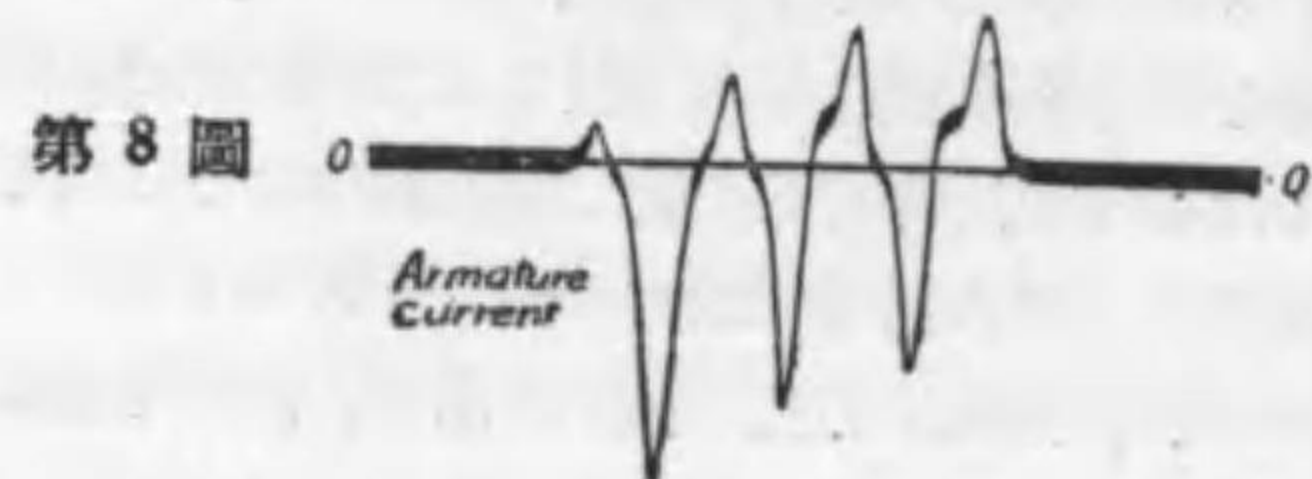


第 7 圖

ずる界磁電流の脈動(第 7 圖)に依り抑止作用を蒙るなり。此作用は漸衰的にして、界磁電流が定態 (steady) に達し抑止作用を失ふに至る迄の過渡期間は普通二三秒を出でず。此の期間を過ぐれば、短絡電流は所謂同期リアクタンスに依り決定せらるゝ定態値に達す。此の定態値は交流機全負荷電流の二三倍を出でざるも、其の最

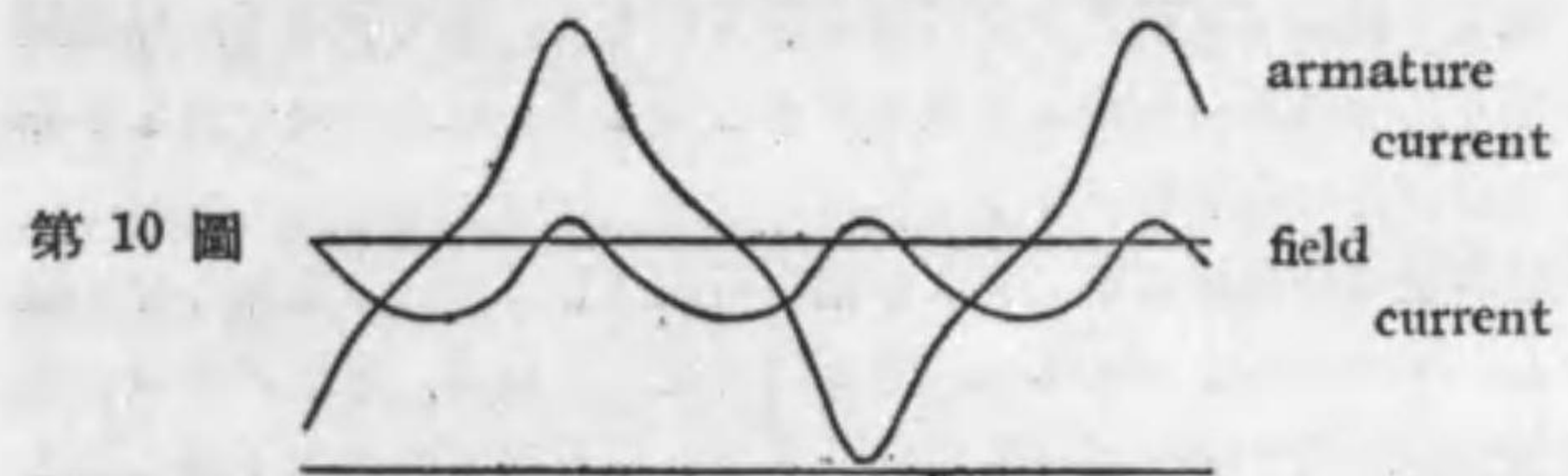
大過渡電流は時として定態値の六七倍に達することあり。低周波の蒸気タービン交流機に於て特に莫大なり。

單相互作用の影響 以上は多相短絡と單相短絡とに共通の事項なれども、單相短絡に於ては尙特有なる發電子反作用の脈動あり。蓋し單相起磁力の界磁に対する減磁作用が二倍周波數を以て脈動するは周知の事實にして、此の結果勵磁電流に於て、之を補償するが如き第二調波の脈動を生ず。第7圖は之を示すものにして、此の脈動の振幅は發電子電流の衰微に伴ひ、漸次縮小すれども、定態に至るも尙一定の値を持続す。(茲に掲げた 6, 7, 8, 9 のオッシログラムは定態に達するに至らずして界磁回路の遮斷されたる場合を示す)。而して勵磁電流の此の脈動は、界磁の廻轉に依り、發電子に對し同期



速度の三倍の関係速度を以て作用するが故に、發電子捲線に第三調波の起電力を誘導し、電壓波形に著しき尖頭を與ふ。三相發電機の單相短絡に際し、短絡せられざる相の起電力波形に頗る顯著なる尖頭(時として定格電壓波頭の五六倍に達す)を示すは即ちこれが爲なり。短絡相の電流に於ても尖頭歴然たるを見るべし。(第8圖)。此の第三調波も亦一定の定態値まで下り、其後は永く之を持続す。第10圖は三相發電機の定態的短絡電流と之に對應する勵磁電流とを

圖示せるものなり。又短絡外の相の電壓の實効値は甚だしく小となり、且つ相差に狂を生ずる事論をまたず。



短絡開始瞬時の影響 第8圖の短絡電流は第6圖と大に趣を異にし、脈動各波の平均値が指數曲線をなして減衰するを見るべし。是れ短絡開始の瞬時が第6圖に於ては起電力の絶對値最大の瞬時にして、第8圖に於ては起電力零の瞬時なるに依る。

凡そ短絡時に於ける急激なる變化に對しては、發電子と界磁との相互關係は短絡せる變壓器と殆んど同様にして、單なるリアクタンスを以て之を置換することを得べく、同時に主磁束は短絡前と何等變化なきものと見るを得。斯くの如く考ふれば主磁束に依る誘導起電力 e は短絡前と異ならず、而して發電子回路は自己誘導 L のみを有すと考へ得るが故に $e = L \frac{di}{dt}$ となる。従つて電流の變化 di の向きは e の符號に依つて決定せらる。第6圖に於ては、短絡初頭の半周期間に起電力の値は、或る向きの最大値より零を通過して他の向きの最大値まで變化するを以て、電流の變化 di の向きも半途に於て反對となる。然るに第8圖に於ては、最初の半周期間に起電力が零に始まり零に終るを以て、 e は常に同じ方向に働き、 di も従つて同じ sense を保つ。然かも發電子電流は當然零より始まらざるべからざる故、結局電流は此半周期の間零より或一方向に増加を繼續するを要す。従つて圖の如く neutral axis が最初の振幅だけ第10圖の位置より偏倚するなり。之を換言すれば第8圖の第一脈動は、第6圖の第一振幅と之に等しき直流分との合成なり。此の直流分は之を transient d.c. component と稱し、其の衰滅に要す

る時間は回路の時定数 $\frac{L}{R}$ に依つて定まる (普通 $\frac{1}{2}$ 秒の程度なりとす)。第 9 圖は第 8 圖に對應する勵磁電流なり。其の波頂一高一低交々相繼ぐは發電子直流分の影響にして、即ち發電子、界磁間の相互誘導作用の反映と見做す可きものとす。此の一高一低も亦單相短絡特有の現象の一なり。

單相短絡對三相短絡 次に單相短絡電流と三相短絡電流とを比較せん。Franklin, Laffoon 諸氏の研究によれば、星形接續の一相捲線短絡に於ては三相短絡の約 1.5 倍、星形接續の兩端子間に起る單相短絡に於ては三相短絡と略同大の電流尖頭値を有す。尙以上凡て成層磁極を對象としてオッシログラムの概形を示したれども、磁極が單一鐵塊より成る時、又は籠形制動捲線を具ふる時は界磁の第二調波電流成分顯著ならず。發電子電壓並に電流の第三調波また頗る抑壓せらるべし。

機械的災害 短絡の機械的影響に關しては、平常の 20~30 倍以上にも達す可き非常電流尖頭に因る莫大なる機械的力を考察するを要す。上述の如く單相短絡電流は三相短絡電流より寧ろ大なる値を有す。又二極間の單相短絡に在りては其二相捲線電流間に 180 度の相差を有するが故に之を三相短絡の各相電流相差 120 度なるに比すれば機械的力は $(\frac{2}{\sqrt{3}})^2 = \frac{4}{3}$ の比を有し局部的に之を見れば、單相短絡は却つて三相短絡よりも峻烈なる慘禍を生ずるの恐あり。唯三相短絡と比すれば、電流を有する線輪數は却つて小なるが故に、全體としては必ずしも遽に其力の大小を云ふ可からず。各種の場合につきて此を決定すべきものとす。又界磁捲線に就きても其電流の脈動波頂は平常の數倍に達することあるを以て其の緊締に對して充分の注意を要す。

摘 要

1. 三相短絡と同様なる發電子反作用の漸増及過渡的直流分の漸減。
2. 單相短絡に特有なる界磁電流の第二調波脈流、短絡相に於

ける第三調波電流及開路相に於ける第三調波電壓

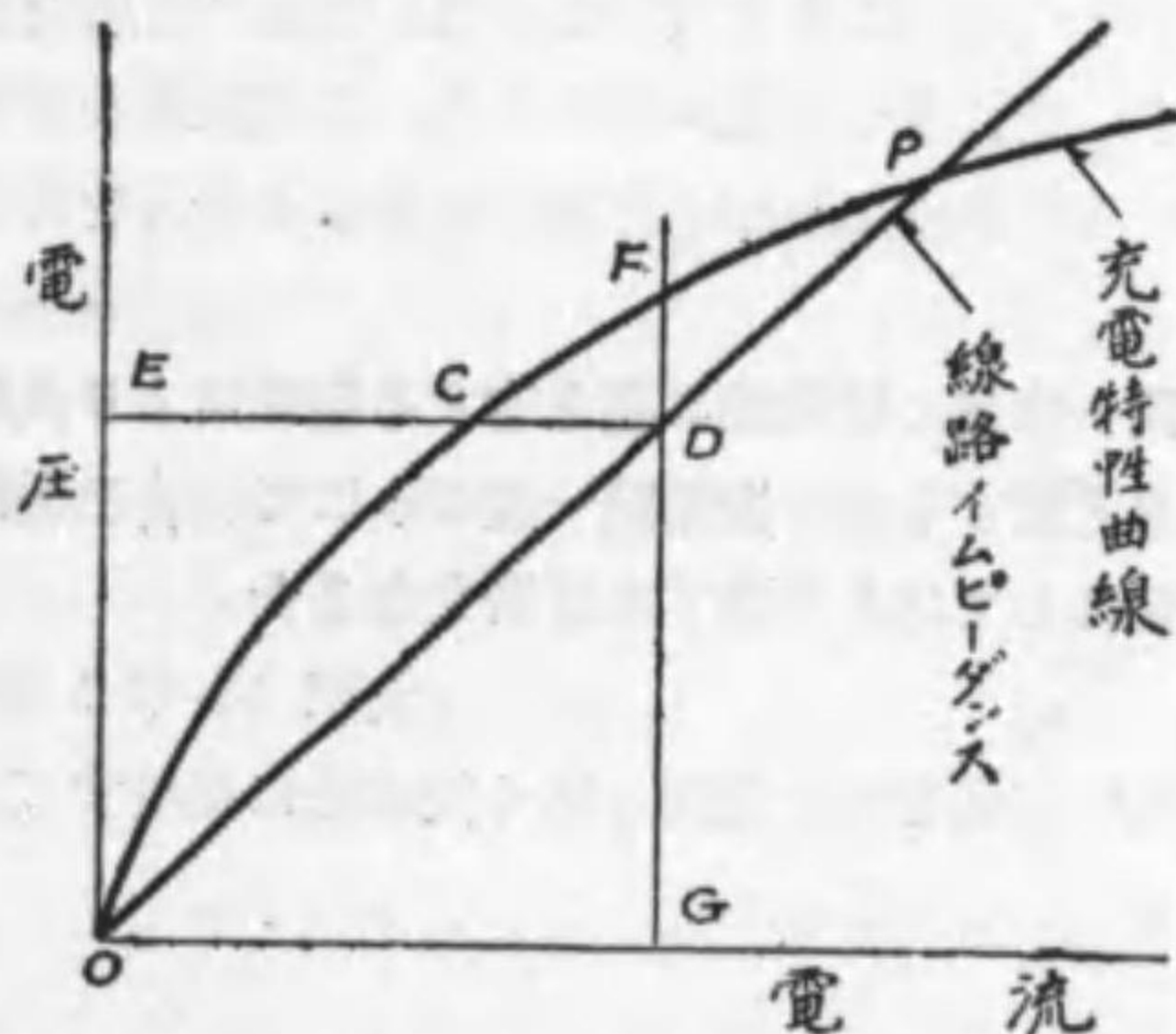
3. 界磁線輪に於ける第二調波波頂の一高一低
4. 機械的の力の差異。

(5) 長距離特別高壓送電線路に接續せられたる同期交流發電機の自己勵磁現象に就て論述せよ。 (大正 12 年 1 種 1)

[解] 同期交流發電機の發電子に相當大なる進電流を通ずる時は、其の勵磁作用に依り直流勵磁極めて弱き場合にも、尙且つ相當大なる起電力を誘導し得べし。而して本題の如き長距離特別高壓送電線路に於ては、受電端に負荷を有せざる empty line の充電進電流は低き電壓に於ても相當の大さとなるが故に、之に依つて發電機勵磁せられて電壓を増し、電壓上る結果として、再び進電流を増加す。斯くの如く充電々流と、電壓の上昇とが交々原因結果となりて遂に或る一點に落着す。之を下に説明せん。

第 11 圖に於て ODP は送電線のイムピーダンスを示す直線な

第 11 圖



り。即ち電壓 OE (縦軸) が其の線路に加へらるゝ時、之に通ずる電流の BD ならざるべからざることを示す。又曲線 OCFP は充電

特性曲線にして、充電々流即ち勵磁電流(横軸)が OG なる時、直流勵磁なき場合に於て發電子端子電壓が GF ならざるべからざることを示す。故に極めて低き直流勵磁を有する交流機を線路に結ぶ時、之より若干の充電々流供給せらるれば、充電特性曲線に従つて電壓上り、電壓上るが故に線路イムピーダンス直線に依つて電流上る。斯くの如く交々因果關係を反覆して、電壓が直線 ODP と曲線 OC FP との交點 P に落着するなり。

此の自己勵磁作用を遅くせしめざる方策三あり。第一は充電特性曲線の傾斜を早く緩和せしむる事、即ちなるべく早くより順次各部が磁氣飽和に近づくが如き發電機を選ぶこと是なり。第二はイムピーダンス直線の傾斜を急峻にする事、即ち線路の靜電容量をなるべく小にする事是なり。第三はなるべく多數の交流機を並列に結びて後、之を送電線に接続する事是なり。

由來交流送電線に於ける充電々流の惡影響は、1895 年頃既に米國ナイアガラ瀑布其の他に於て經驗せられたる所なりしが、本題の自己勵磁作用は比較的近年迄電氣技術家の注目を引かず、我國に於ては最近數年此の原因に依り試送電に際し不慮の當惑を感じたる實例少なからず。是れ蓋し送電々壓の上昇、送電距離の増加従つて容量リアクタンスの減少に基づく自然の結果なる事言を待たず。

(6) 同一容量の發電機二臺を有する發電所より長距離高電壓の送電線路を充電する場合發電機一臺のみにては自己勵磁の慮ありといふ、如何にして之を充電すれば安全なるか。

(大正 13 年 1 種口述 1)

〔解〕 先づ二臺を並行運轉し然る後線路に接続す(理論は前問を見よ)。

(7) 大容量の水力發電所に於て勵磁機の設備方法の種類を列擧し、其の得失を述べよ (大正 7 年 2 級口述 3)

(解) 大容量發電所なるを以つて共同勵磁機は面白からず、各主機に専屬勵磁機を必要とす。之に次の四法あり。

A 主要發電機と同一原動機に依り運轉する法

1. 直結法
2. 調帶運轉法

B 電動機運轉法

3. 其の電源を母線に求むる法
4. 専用發電機を電源とする法

以上の四方法を次の諸項に就き比較すべし。

價格 一般に A 側優る。1 と 2 との比較は原動機の廻轉數に依る。

速度變化 原動機速度變化のため電壓及負荷分擔に及ぼす影響に就ては A 尤も劣り、4 を最良とす。

信頼度 故障は勵磁機に多し、B にては電動發電機組の豫備を設くるか或は豫め其の容量を主機二機分に増加し置けば瞬時的又は自動的切換を爲し得べし。

能率 一般には B は A に劣り、4 は 3 に劣るも大容量となれば其の差僅少なり。

(8) 大なる交流發電機に於て開溝發電子(open slot armature) と半閉溝發電子(semi-closed slot armature) との得失を比較せよ。 (大正 4 年 1 級 2)

〔解〕 (イ) 發電子の製作並に修繕につき

開溝に在りては發電子線輪を型捲(form-wound)となす便あり又含浸法に依りて其の絶縁を良好ならしむることを得。線輪を溝に嵌入するに當り、之に機械的損傷を與ふること少し。半閉溝の大發電機に在りては多くは連続したる一條の導線を以て、屢々溝内を一側より他側へ貫通せしむるを要するが故に時間と工賃とに於て一般に失ふ所大なり。絶縁が損傷の機會も亦多し。修繕に關しても亦同様なり。殊に開溝の場合には豫備線輪を準備し置き、部分的の應急

修理を爲し得るの利あり。

(ロ) 界磁の構造につき

開溝に在りては常に界磁を成層するを利とす。然らざれば磁極面の渦流損大なるが故なり。半閉溝に在りては、時として鑄鋼界磁を用ふことを得即ち界磁の構造に関する選擇の自由は半閉溝の方大なり。鑄鋼製磁極の利益は製作の容易なる事と並行運轉に關し磁極自らをして damper の作用をなさしめ得るとに在り。然れども本題の如き大發電機に於ては鑄鋼内の氣泡 (blow hole) の存在に依り均質 (homogeneity) を害し、重量の不均衡及び磁氣抵抗の不均齊を來す恐なしとせず。結局大發電機に於ては磁極の構造に關して俄に開溝と半閉溝との優劣を判じ難し。

(ハ) リアクタンスの大小につき

開溝に在りては發電子線輪のリアクタンス比較的小にして、半閉溝に於ては之に反す。蓋し各溝を圍繞する鋼板を通じて磁路を作るに難易の差あればなり。従つてタービン發電機の如く磁極數小なるものに對しては寧ろ半閉溝を良とす。何となれば斯くの如き場合には發電子リアクタンス小なる傾向を生じ、短絡に際して莫大なる過渡電流に依りて生ずる惨害甚しきが故なり。半閉溝を使用して其のリアクタンスを大にすれば幾分とも短絡の害を小にす。又大なるタービン發電機 (殊に發電所相互間) の並行運轉に際してはリアクタンス大なるを利とすること多し。即ち此等の點に於ては半閉溝を利ありとす。但し其の電壓變動率の稍大となるは當然の結果にして、必しも深く之を咎めざること最近の傾向なり。

(9) 出力 5000 キロワット 6600 ヴォルト 交流發電機の仕様書に記載すべき要點を列挙せよ。 (大正 8 年 1 級口述 3)

- [解] 1. 相數, 型, 定格出力, 電壓, 周波數, 迴轉數
2. 最低力率
3. 溫度上昇の規定, 測定方法

4. 最低保證能率, 測定方法
5. 電壓變動率 (普通力率 100% 及び 80% に對し)
6. 絶縁耐力試験, 電壓並びに時間
7. 原動機の種類, 並行運轉に關する事
8. 勵磁機に關する事項
9. 雜件
10. 附屬品の種類及個數
11. 豫備品の種類及個數
12. 購入個數, 納期, 納入場所, 荷造, 代金支拂方法, 見積呈出期等購入條件に關する件

(10) 單相同期發電機と多相同期發電機との發電子反作用の異なる點に就て略述せよ。 (大正 7 年 3 級 1)

[解] 單相機に在りては其の發電子反作用の大きさ時々刻々に脈動するも、多相式に在りては一定不變なり。次に之を説明せむ。

單相同期機の發電子に通ずる單相正弦波交流は所謂交番磁界を生ず。即ち一定方向に正弦波に従ひて増減するものなり。然るに界磁は同期速度を以て迴轉するが故に、發電子磁束の之に及ぼす影響は時々刻々に變化す。而して交番磁界 (最大値 F) は之を反對方向に迴轉する二つの迴轉磁界 $\frac{F}{2}$ に分ち得べしと云ふ定理を應用すれば此の場合の發電子反作用は、發電子電流の二倍の周波數にて脈動することを知り得べし。但し電流の位相に依り反作用が增磁又は減磁作用を營むこと多相式の場合と異ならず。

次に d 極 n 相同期機の發電子に平衡 n 相正弦波交流 (周波數 f) を通ぜしむる時は、常に一定の大きさを有する磁束が同期速度 $\frac{120f}{p}$ r.p.m. を以て第一, 第二, 第三, …… 相の順序に迴轉す。(此の理は多相誘導電動機に於て所謂圓形迴轉磁界を生ずると全く同一なり。) 故に此の場合の反作用は常に一定の大きさを以て界磁と同一速度, 同一方向に迴轉す。換言すれば、此の場合の反作用は界磁其

物に対しては静止的にして、其の電流の位相が電圧の位相より進むか遅るゝか、若くは同相なるかに従ひ、増磁、減磁若くは偏磁作用を営む。

(11) 周波数 60 サイクルの交流式に依り電燈電力に供給する水力電気事業に於て其の周波数を 50 サイクルに改めんとする場合経済的に之れを實行せんとするに當り發電機に就き調査すべき諸事項を擧げよ。(大正 3 年 1 級一般 2 の内)

〔解〕 發電機の廻轉數を減ずる時には其れに反比例して磁束數を増加せざれば所定の電壓を得べからず。而して發電機の磁氣回路は飽和に近く磁化せらるゝを以つて磁束數を増加する爲めには勵磁電流は非常に増加せざるべからず。然るに界磁線輪の設計を變更せざる限りは界磁電流を斯の如く増加する事不可能なるべく、又勵磁機の容量も或は不足なるべし。殊に直結勵磁機の場合には其速度減少に因り其端子電壓は定格電壓より甚だしく減ずるを以つて、勵磁機容量の不足を告ぐる事一層大なり。斯の如き理由により發電機の端子電壓は廻轉數の減少に伴ひて減少すべし。従つて廻轉數を減少する時は發電機出力は減少す。之れに關聯して發電機能率の減少をも伴ふ。

結局界磁に餘裕ありや否や、發電子導體増加の可能性ありや、溫度上昇が廻轉速度の減少に伴ひて増加せざるや等を調査する必要あり。尙ほ能率、短絡電流等をも考慮せざるべからず。

第三章 交流發電機の試験

(1) 數個の交流發電機を有する水力發電所あり、今其の一臺を任意力率の負荷にて試験せんとす、如何なる方法により負荷せしむべきや。(大正 6 年 3 級 3 及大正 14 年 2 種 3)

〔解〕 先づ試験せんとする發電機 G を以て他の一臺 M を同期電動機として反對方向に廻轉せしむ。即ち M の廻轉方向が反對となる様之を幹線に接続し、G 及 M の双方を勵磁し、最初 G の水車のみ水を供給するものとす。斯くして速度並に電壓が規定の値に達せば、M の水車に少量の水を入るべし。M の廻轉方向反對なるが故に M は此水に依り制動せられ負荷を擔ふに至る。依て G と M との勵磁を加減すれば任意の方率の下に全負荷電流を通ぜしむることを得べし。

此の試験に於て注意すべきは、M の調速機を外すこと、及び M の水車の draft tube に起動前水を充し置くことなり。又軸承の種類に依りては反對方向に廻轉するを許さざる場合もあるべし。此の方法の妙味は同期電動機に負荷を擔はしめつゝ勵磁の加減により力率を調整し得る點に存す。

第二の方法として、完全なる水抵抗器を得ること容易なる場合には、試験すべき發電機 G より電壓と同相に近き電流を水抵抗器に供給し、電壓との相差大なる電流を無負荷同期電動機 M に與ふるも可なり。水抵抗器の energy current と M の wattless current との調整により任意の力率に於ける全負荷電流にて G を試験するを得べし。

(2) 交流發電機の短絡試験に於て勵磁電流を一定に保持し廻轉數を變更せば發電子電流に如何なる影響あるやを述べ、其理由を

説明せよ。

(大正 2 年 3 級 1)

〔解〕 今勵磁電流を i とすれば、界磁線輪のアムペア回数は i に比例す。又發電子電流を I 、此電流の發電子起電力に對する遅れの角を ϕ とすれば、發電子反作用による逆アムペア回数は $I \sin \phi$ に比例す。故に此兩者の合成は

$$k_1 i - k_2 I \sin \phi$$

なり。發電機の短絡試験を行ふ場合に於ける勵磁は低勵磁なること勿論にして、從つて斯の如き状態に於ては磁束数はアムペア回數に正比例するものと考えらる。依つて短絡試験を行へる場合の發電機起電力は

$$E = k\omega (k_1 i - k_2 I \sin \phi) \quad \text{但し } \omega = \text{發電子の角速度}$$

なる式を以つて表はさる。

而して發電子を短絡せる場合に於ては、 L を發電子線輪のインダクタンス、 R を其抵抗とすれば

$$\sin \phi = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$E = I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\therefore I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = k\omega \left[k_1 i - k_2 I \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \right]$$

規定周波數の附近に於ては ωL は R の數倍なるを一般とするを以つて

$$\sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \doteq \omega L$$

$$\therefore I \omega L \doteq k\omega (k_1 i - k_2 I)$$

$$I \doteq \frac{k k_1 i}{L + k k_2}$$

此結果によれば、發電機の短絡試験に於ては、其迴轉數が餘り低からざる範圍内にては發電子電流の値は迴轉數には略無關係なり。即ち勵磁電流を一定し迴轉數を変更する發電子電流は略一定なり。

(3) 交流發電機の變動率 (regulation) の定義及發電機設計に於て通常採るべき變動率の値を記載すべし。又力率の變化に依り之の値の變化する理由を説明すべし。 (明治 44 年 2 級 1)

〔解〕 規定出力及力率の下に、定格周波數、定格電壓を以つて運轉せる交流發電機に於て、其勵磁電流及迴轉數を一定に保ち之れを無負荷にせる場合に上昇する電壓の、定格電壓に對する百分率を交流發電機の變動率と稱す。而して低速度發電機の變動率の値は無誘導性負荷の場合に 8—10 % 力率 80 % の誘導性負荷の場合に 18—22 % を最も普通の値とす。蒸汽タービン發電機に於ては、上記の力率に對し夫々 12—16 % 及び 25—30 % を許すを常とす。

上記の數字の示す如く力率の値によつて變動率に相違あるは發電子電流の反作用に依るものにして、發電子に遅れ電流が通ずる時は其有効分は界磁極の表面に於ける磁束分布を變ずるのみにて界磁の生ずる磁束の總數を變化する事なきも、其無効分は減磁作用(進み電流の無効分は反對に増磁作用)を呈す。依つて發電機の負荷電流同一にても、力率を異にすれば之れに定格電壓を有せしむる爲めに要する勵磁電流は相違すべし。而して負荷の誘導性が大にして力率が不良となる程大なる勵磁電流を要す。是れ力率不良となる程變動率が大きくなる所以なり。

(4) 近來大型交流發電機の固有電壓變動率 (Inherent voltage regulation) の著しく大となり居る理由如何。又常時之を使用するに際し、此の缺點を補ふ方法は之を如何にすべきや。

(大正 9 年 3 級口述 2)

〔解〕 近時大型交流機の電壓變動率が著しく大となり來れるは電壓調整を他の方法に委ね發電機其物は比較的空氣を狭小に取り、溝を深く取りて廉價なる機械を製出せんとする新傾向を生じたるが爲なり。而して斯くの如くすれば、其の發電子同期リアクタンスは

勢ひ大となり、次の如き利益を伴ふ。同期リアクタンスの中、純リアクタンスを大に取れば短絡電流特に其の過渡値を小にする利益あり。又同期リアクタンスの中、發電子反作用の大なる事は並行運轉に際し、比較的小なる無効横流にて勵磁の不齊を匡正し得る利益あり。

又常時使用に際し此の種の交流機の電壓降下大なる缺點を補ふにはチリル調整器等の適當なる自働電壓調整機を發電端に置くか、同期補償機又は誘導調整機等を受電端に具へて受電端電壓を適當に調節するを良とす。

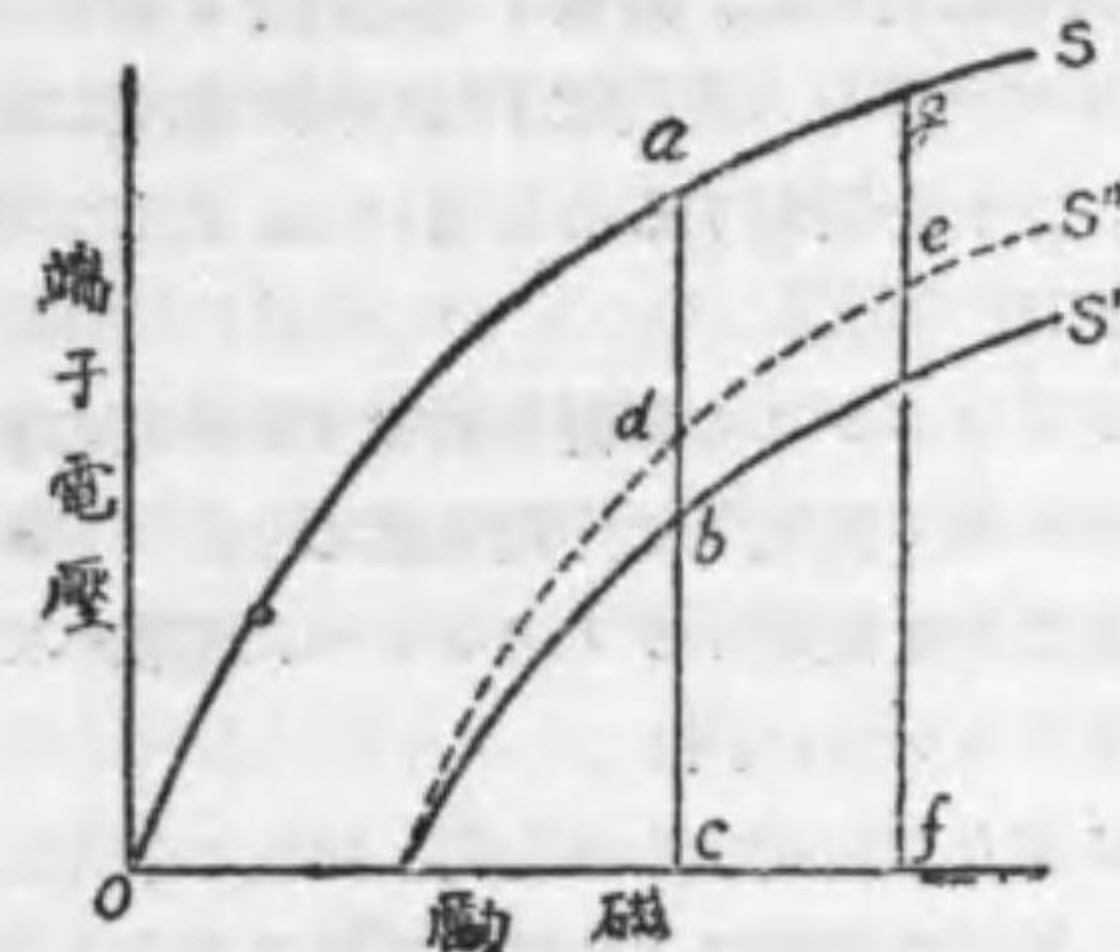
(5) 大なる交流發電機を實際に負荷することなく、簡單なる試験によつて、其電壓變動率を決定する方法一種を挙げ、之を説明せよ。(大正9年3級3)

[解] 無負荷飽和曲線と、零力率に於ける全負荷飽和曲線とより、電壓變動率を求めんとする任意の力率に對する全負荷飽和曲線を求め、之れより電壓變動率を決定するを可とす。(之れ以下は次問に譲る)。

(6) 交流發電機の無負荷飽和曲線 (no-load saturation curve) と零力率に於ける全負荷飽和曲線 (full-load saturation curve at zero power-factor) とを用ひて任意の力率に對する全負荷飽和曲線を求むる方法を述べよ。(大正6年1級及大正12年再2種1)

[解] 第12圖に於て S を無負荷飽和曲線、S' を零力率に於ける全負荷飽和曲線とす。然らば任意の勵磁 oc に於て零力率の全負荷電流 I に對する電壓降下は ab なり。故に些少の不精密を忍びて任意の力率 $\cos \phi$ に於ても全負荷電流 I に對する、發電子の電壓降下は等しく ab なりと言ふことを得べし。従つて同一勵磁 oc に對する力率 $\cos \phi$ の場合の端子電壓は、第13圖のベクトル圖に依り之を求むることを得。發電子抵抗は容易に之を知り得べきを

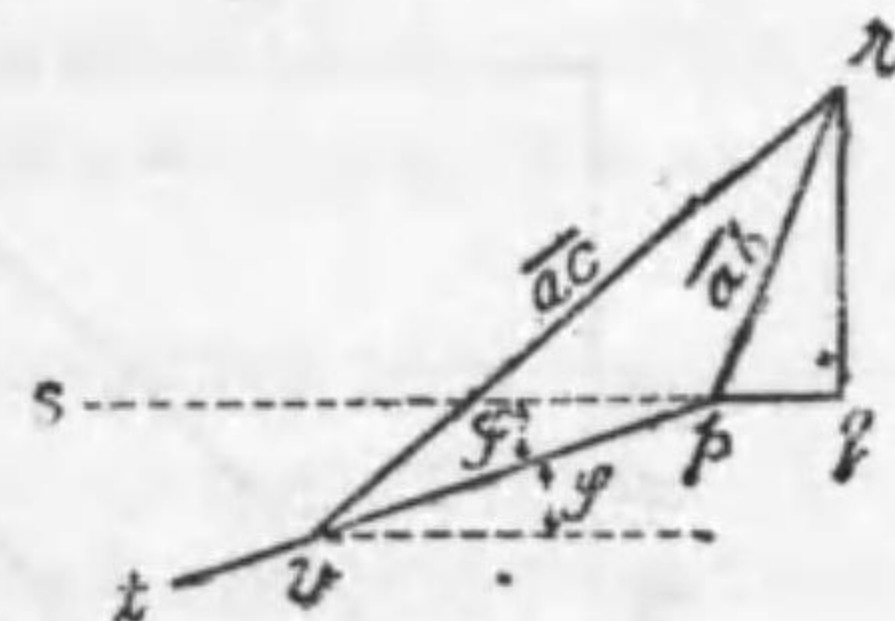
第 1 2 圖



以て、先づ水平方向に pq = 抵抗降下を取る。q 端より垂線を立て、

第 1 3 圖

p を中心とし第12圖 ab を半徑として描きたる圓弧と、前記垂線との交點を r とす。qp の延長線 s と p に於て ϕ の角をなす直線 pt を引く。最後に r を中心とし第12圖 ac を半徑とする圓弧を描き、之と pt との交點を v とす。然らば pv は即



ち力率 $\cos \phi$ に對する全負荷端子電壓なり。故に之を第12圖 ac 線に移し、 $cd = pv$ なるが如き點 d を見出すべし。他の勵磁 of に對しても同様の方法を反覆して、e 點を求め、斯くして得たる d, e 等の諸點を結べば、力率 $\cos \phi$ に對する全負荷飽和曲線を得べし。

(7) 開電路試験 (open-circuit test) 及短絡試験 (short-circuit test) の結果により交流發電機の零力率に對する電壓變動率の最大限度並に最小限度 (pessimistic and optimistic limit) を示す曲

線を畫く方法を記せよ。

(大正 2 年 2 級 1)

〔解〕 零力率に於ては、發電子電壓降下に對する發電子抵抗の影響は發電子リアクタンス及發電子反作用の影響に對して極めて小なるを以つて、之れを閉却する事を得べし。而して零力率に於ける電壓降下の限度は

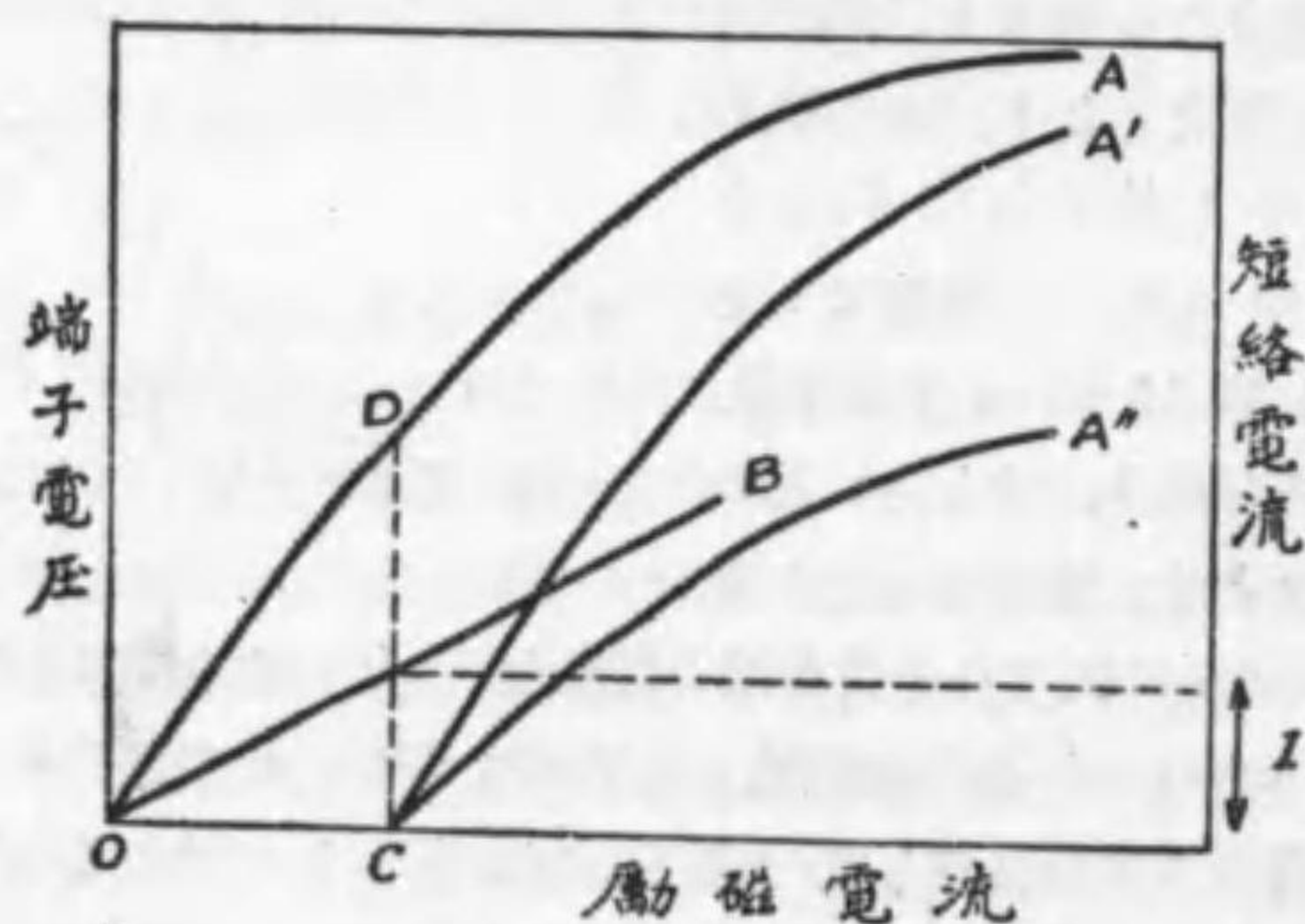
1. 發電子リアクタンスの影響を發電子反作用の影響に換算して發電子電壓降下は悉く發電子反作用に因る。

2. 發電子反作用を發電子リアクタンスに置換へて、發電子電壓降下は悉くリアクタンスに因る。

と假定する事に依りて決定する事を得。第一の假定によれば電壓降下の最小限度、第二の假定によれば電壓降下の最大限度を與ふ。

圖に於て OA を開路試験の結果より得たる交流發電機の飽和曲線、OB を短絡試験の結果より得たる短絡特性曲線とす。今此發電

第 1 4 圖



機の全負荷電流を I とすれば、此電流を短絡電流とする發電機の勵磁は OC にして、此電流に對する發電機の開路誘導起電力は CD なり。而して發電機の短絡試験に於ける電流は起電力より略 90° 遅るゝを以つて、發電機を零力率の下に負荷(電流 I) せる場合其の

電壓降下の原因を前記第一の如くに假定すれば負荷飽和曲線は OA を水平に OC 丈移動して得たる OA' となる。又電壓降下の原因を第二の如くに假定すれば OA を垂直に DC 丈移動して得たる CA'' となる。

元來發電子反作用は勵磁に依つて其の電壓降下に對する影響を異にし、勵磁の大なる場合には其影響極めて少し。之に反しリアクタンスの影響は勵磁の如何に關らず一定なるべきものなり。然るに第一の假定に於ては勵磁の大小如何に關係なきリアクタンスの影響をも發電子反作用と同様に取扱ふものなり。依て此場合の電壓降下は勵磁の大なるに従ひて過小に見積らるゝ事となり、特に勵磁曲線の knee 以上に於て其誤差甚し。之に反し第二の假定に於ては勵磁の大なる場合には其極めて小となるべき發電子反作用の影響をも勵磁に無關係なるリアクタンスの影響と同様に取扱ふものなり。従つて勵磁の大なるに従ひて電壓降下を過大に見積る事となる。依つて第一の假定の下に得たる曲線 CA' は電壓降下の最小限を與へ、第二の假定の下に得たる曲線 CA'' は電壓降下の最大限を與ふ。

(8) タービン交流發電機の減速試験法 (deceleration test or retardation test) を説明せよ。

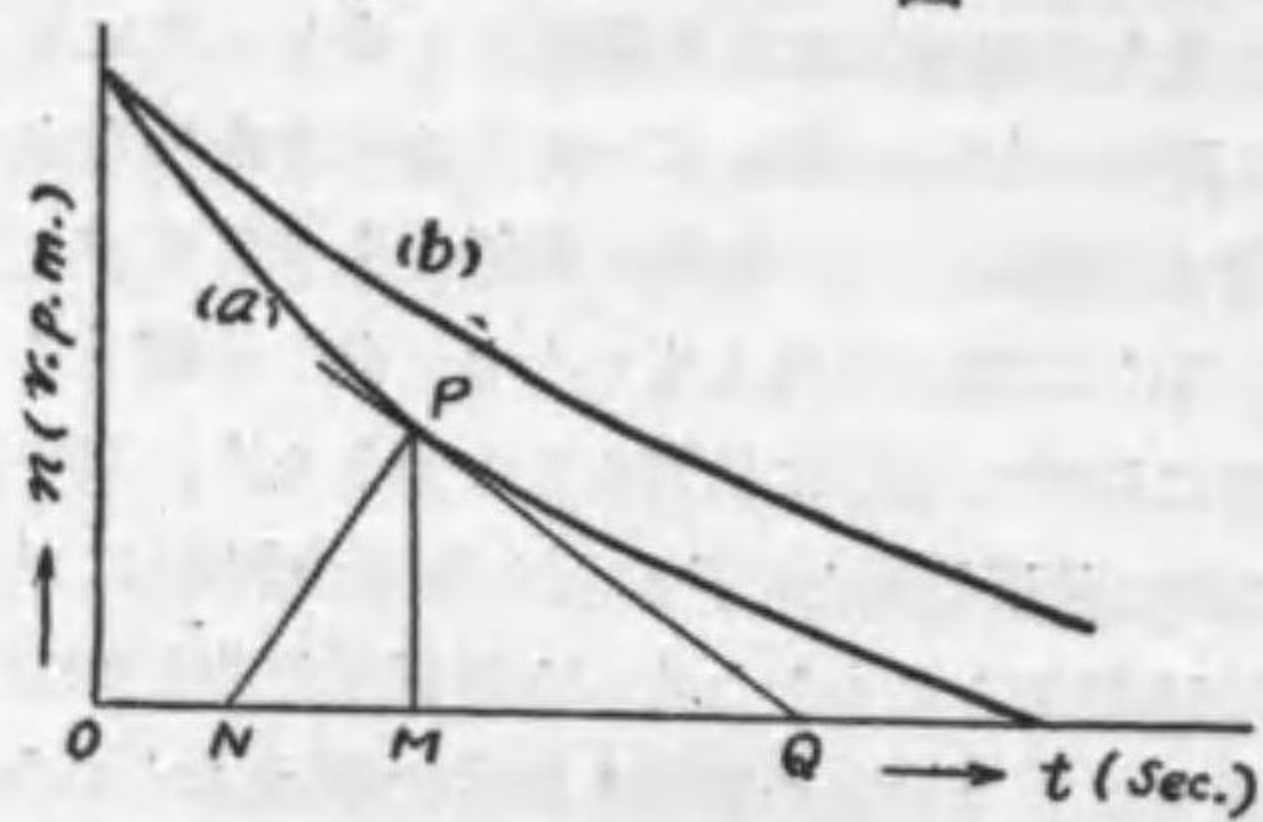
(大正 8 年 1 級 1 及大正 11 年 1 種 3)

〔解〕 減速試験法とは一般に無負荷(勵磁並に非勵磁)状態に於ける減速曲線に依り、鐵損及び摩擦損を決定する方法なり。低速度の機械に在りては、減速度大なるを常とするを以て、此の試験法を應用すること困難なる場合あり。然れどもタービン交流機は其の慣性能率莫大にして、原動力の供給を斷ちてより靜止に至る迄比較的長時間を要するを以て此の試験法を應用するに適す。タービン交流發電機に對し、發電所に於て減速試験を行はんとせば、次の順序に依るを良とす。

先づ其の發電機を他機と並行運轉せしめたる後、該機に對する蒸

汽の供給を断ち、交流母線より電力を送りて之を同期電動機として廻轉す。次に界磁を勵磁したる儘、交流電力の供給を断てば該機は漸次減速すべし。此の際 tachometer 其他の装置に依り、各瞬時の速度を測定して第 15 圖 a の如き減速曲線を描くべし。曲線上任

第 15 圖



意の一点 P (其の速度 n) に於て、切線 PQ , 法線 PN 及び鉛直線 PM を引け。 P に於ける減速度は次の如し。

$$-\frac{dn}{dt} = \tan \angle PQO = \tan \angle MPN = \frac{MN}{n} \dots \dots \dots (1)$$

又此の點に於ける power を W とすれば

$$W = -k \frac{dn^2}{dt} = -2kn \frac{dn}{dt}$$

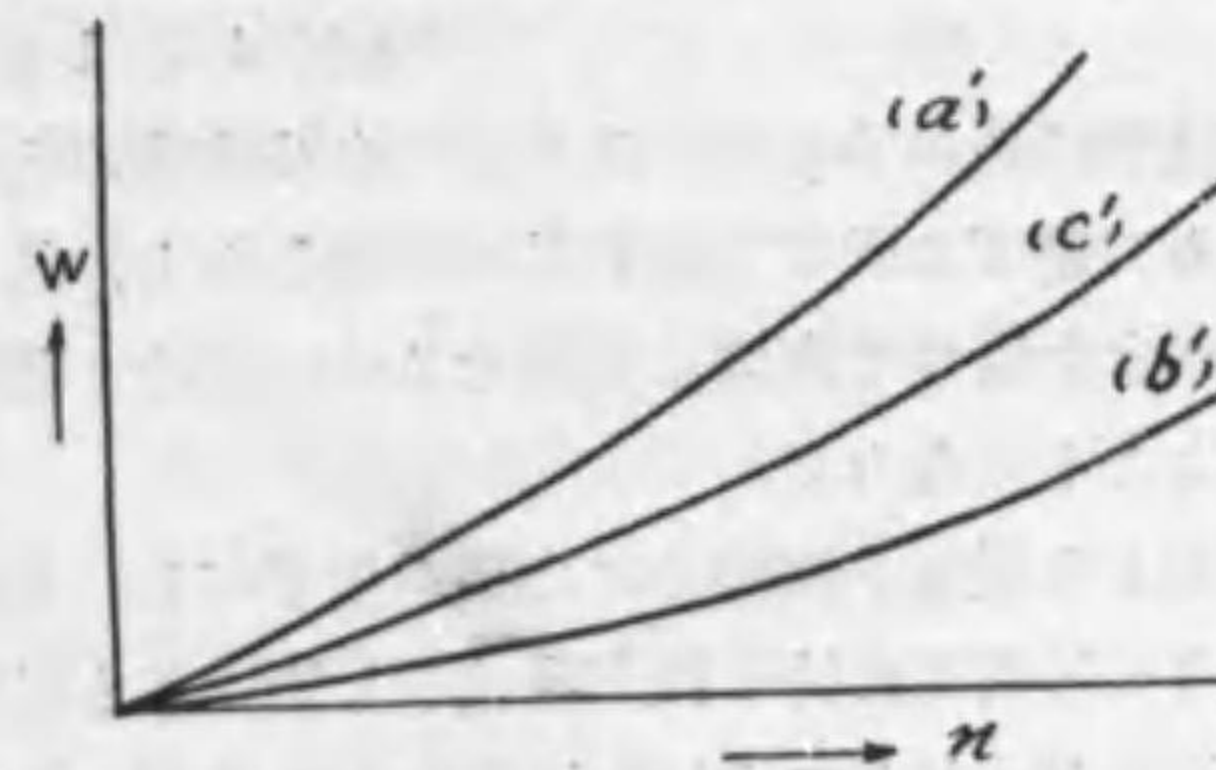
之に (1) 式を代入すれば

$$W = 2k \times MN \dots \dots \dots (2)$$

此の關係は P 點の位置如何に關せず真なるが故に、 k を測定することを得べし。第 15 圖の a 曲線より、各瞬時の power W を知ることを得べし。而して k は該機の慣性能率其他の乘積に比例するものにして、或る點に於ける W を知る事を得ば、容易に k を算出し得べし。例へば P 點を電流遮断の瞬時 ($t=0$) に選べば之に對する W は、交流電力計に依り知り得べき供給電力より電機子内の銅損 (是亦計算容易なり) を減じたるものなり。斯くして k を見

出し、第 15 圖に依つて各瞬時の損失 W を求め、第 16 圖(a')を得べし。是れ即ち、鐵損+機械損の曲線なり。次にタービン交流機に電流の供給を断つと同時に、界磁電流をも遮断する時は、他の減速曲

第 16 圖



線第 15 圖(b) を得、之れより前法に依り機械損の曲線第 16 圖(b') を得。(a') より (b') を減じたる曲線(c') は即ち鐵損の曲線なり。

以上機械損と稱し來れるものは交流機の摩擦損及風損、タービン軸承摩擦損及羽根の風損の和なり。若し air pump を働かせしめて真空に近づく時は、タービン羽根の風損を大に減少するを得べし。

又製造工場に於て此の試験を行ふ場合には、直流電動機に依り交流機のみを單獨に運轉せしめ、直流電動機の出カより W を決定して如上の減速試験を行ひ得べし。

(9) 交流發電機の能率を負荷を負はせずして試験する方法を問ふ。但し電源及如何なる計器をも有す。(大正3年3級口述3)

[解] 交流發電機を先づ定格電壓の下に無負荷の同期電動機として運轉し、其の勵磁を加減して電機子に全負荷 (或は能率を測定せんとする負荷に對する電流) を通ぜしめ其の交流機の入力を測定し、別に界磁線輪の直流入力を測定して其の和を求めれば、之を以つて全損失と見做し得るにより、能率を計算し得べし。必要なる場

合は漂遊負荷損 (stray load loss) を考慮すべし。

(10) 大容量の交流機の損失は之れを實際に負荷せずして測定せるものと實際に負荷して生ずるものと異なる點を擧げ之を説明せよ

(大正4年1級口述1)

〔解〕 交流機に負荷する時には負荷の多少力率の大小、磁氣飽和の高低に依りて變ずる磁束分布の狀不規則となり、此爲めに各所に鐵損を生ずべきを以つて實際に負荷せる時に於ける鐵損は無負荷に於ける鐵損よりも大なり。

又同上の原因より發電子銅線中に渦流を生ずべし。其他種々複雑なる原因に依つて無負荷に於ては到底決定し能はざる種々の損失を生ず。之等の損失を一括して漂遊負荷損 (stray load loss) と稱す。

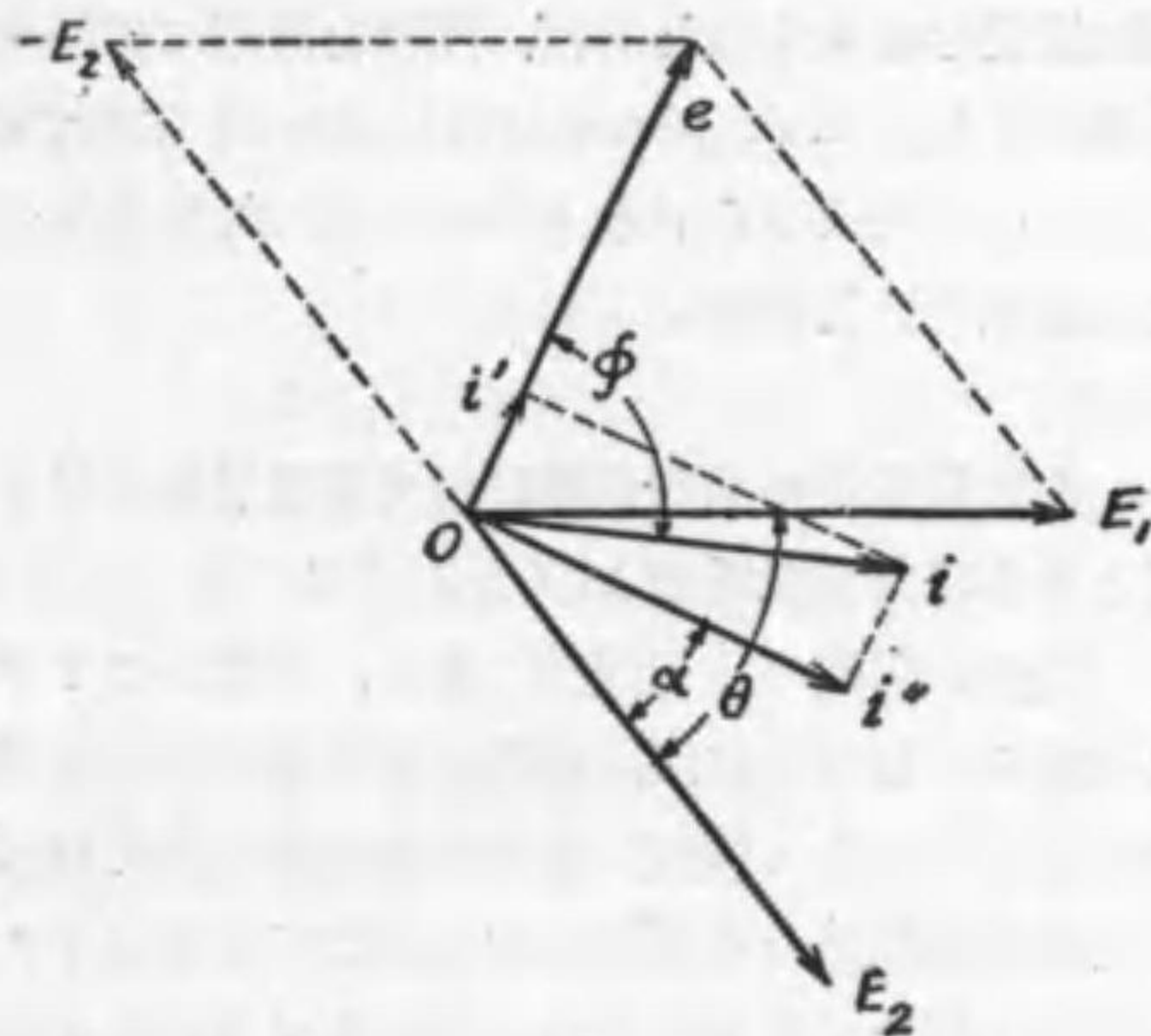
依つて實際に負荷せる時の損失は無負荷に於て決定されたる損失よりも前記漂遊負荷損尠常に大なり。

第四章 交流發電機の並行運轉

(1) 交流發電機の同期力 (synchronizing power) とは如何なるものなるかを説明せよ。 (明治44年1級3)

〔解〕 二臺の同期機が並行運轉せる場合に就て述べん。兩機が同期に保持さるゝは、兩機の起電力に相差を生ずるや直に兩機の間横流が通じ、之に依つて兩機の間勢力の授受を行ふが爲めなり。今 E_1 及 E_2 を兩機の起電力とし其値等しく E_2 が E_1 に對して θ 角遅れたるものとす。然らば兩機の間には E_1 と E_2 とのベクトル差に等しき起電力 e に依つて横流を生ずべし。之れを i とし、 e に對して ϕ 角遅るゝものとすれば e に對する I の有効分

第 17 圖



$$i' = i \cos \phi$$

は e との間に電力を發生すべく、此の電力は發電子抵抗内に消費せらる。然れども i の無効分

$$i'' = i \sin \phi$$

は e との間に何等の電力をも発生せず。而して i'' は e より 90° 遅れ、 Oe は E_1 と $-E_2$ との間の角を二等分する故に、 i'' は OE_1 と OE_2 との間の角を二等分す。故に i' と E_1 とに依つて生ずる電力

$$p = i'' E_1 \cos \alpha$$

は恰も i'' と $-E_2$ とに依つて生ずる電力

$$p' = -i'' E_1 \cos \alpha$$

と equal and opposite なり。即ち甲機に於て p の電力を増し、乙機に於て丁度 p の電力を消費する事となる。斯くの如くにして甲乙兩機の間で電力の授受が行はれ、爲めに甲機には其速度を減じ、乙機には其速度を増加せんとする作用を生じ、以つて兩機は同期に保持さるゝなり。

而して甲乙兩機の間で $d\theta$ の相差を生ぜる場合に dp の電力が兩機の間で授受さるゝものとせば、兩機を同期に保持せんとする傾向は $\frac{dp}{d\theta}$ 換言すれば unit phase displacement に對する兩機間の授受電力を以つて表はさるべきものにして、此の値を交流機の同期力（又は同期化力）と稱す。

(2) 交流發電機の並行運轉に於て發電子にリアクタンスの存在を必要とする理由を説明せよ。(大正元年1級2及10年1種1)

〔解〕 交流發電機の並行運轉に際し、發電子にリアクタンス無く、單に抵抗のみなりとせば、兩機の起電力位相に差異を生ずるとき、兩機を通じて流るゝ横流は各機の誘導起電力と略 90° 度の相差を有し、所謂有効横流たる事能はず。従つて彼是エネルギーを授受せず、同期化力極めて貧弱となる。幸にして普通の交流機に在りてはリアクタンスが抵抗より大なるを常とし、抵抗の五六倍以上に達すること多し。然れどもタービン交流機にありては、其の磁極數極めて小なる結果、發電子抵抗、リアクタンス共に比較的小となり、

兩發電機を結ぶ導線の抵抗比較的大となる傾向あり、局部電路の全抵抗 R は全リアクタンス X に比して大となり、必要の同期化力を生ずる能はざることあり。殊に地下線の tie line に依り兩發電所を並列に結ぶ場合には、線路の抵抗が全リアクタンスに比して大なること少からず。依つて發電子内に相當大なるリアクタンスの存在を必要とす。(此の場合には發電子の溝を深くする等の手段に依る。)

次に亂磁不齊の方面より之を考察するに、リアクタンス X が抵抗に比し大ならんには兩發電機の亂磁度の差異に起因する電流の遅角を大にし、一定電流に對する發電子反作用盛となり、比較的小なる横流を以て、猶能く相當の大なる直流勵磁の不整を補償し得べし。此の點に於ても亦發電子内にリアクタンスの存在を必要とす。

(3) 2臺の交流發電機が並行運轉中 hunting を起せり。其の原因は水車 governor にあることを知れり。如何なる處置をとるべきや。(大正3年2級口述3)

〔解〕 甲機の水車の governor の働作を停止し主要機の働作を手動とし、該機の主機の開きを平均負荷に相當するものとす。斯くせば總負荷に變化ある時、乙機の governor 作用するも、比較的 hunting 少くして速度を不變に保ち、乙機は變化する負荷を負擔して全體として大なる支障なかるべし。時々電力計及電流計に注意し平均負荷の増減に應じ手動主弁の開きを加減す。

(4) 交流發電機の蓄勢輪効果 (flywheel effect) とは何ぞや其の並行運轉に及ぼす影響如何。

(大正8年3級3及大正11年2種一般4の内)

〔解〕 交流發電機の蓄勢輪効果とは其の廻轉部の重量 W と radius of gyration の自乗 r^2 との乘積を云ふ。即ち單位は kg m^2 又は lb ft^2 なり。故に此の蓄勢輪効果を重力の加速度 g にて除すれば廻轉部の慣性能率となる。又前述の r^2 に代ふるに diameter

of gyration の自乗即ち d^2 を以てしたるものを蓄勢輪効果と呼ぶこと少からず。注意を要す。

並行運轉の難易に關しては一般に蓄勢輪効果の大なるを良とす。瓦斯機關又は往復動汽機を原動機とする場合に於て特に然り。蓄勢輪効果大なれば一廻轉中の cyclic irregularity を均整する作用大なればなり。然れども蓄勢輪効果を大にすることが常に並行運轉に有利なりと云ふべからず。蓄勢輪効果の増減に従ひ廻轉部の自然振動週期も亦増減するが故に、蓄勢輪効果を増大するの結果、自然週期が原動機衝撃の周期と接近するが如き場合には、却つて electro-mechanical resonance の現象を生じ亂調を惹起することあり。斯くの如き憂なき場合に限り蓄勢輪効果を増大することは並行運轉を圓滑ならしむるに有效なりとす。

(5) 並行運轉を爲すべき交流發電機的選擇に當り其の原動機が瓦斯機關なる場合と蒸汽タービンなる場合と、注意すべき點に於て如何なる差異あるか。(大正 10 年 2 種 3)

〔解〕 瓦斯機關の場合に於ては、原動機其の物の cyclic irregularity 大なるを以て、亂調に陥り易き弊害あり。此の缺點を補ふ爲め、發電機に對し下の如き注意を要す。第一其の廻轉界磁にアマルト捲線 (amortisseur) を施したるものを選ぶを良しとす。是れ有効横流に依る電力の授受のみを以てしては、亂調阻止に困難を感じざる處あればなり。第二、同期化力過大ならざるを要す。蓋し發電子の溝深く空隙大なれば、同期リアクタンス小にして電壓變動の範圍狭小なる利益あれども、一廻轉中當然生ずべき、兩發電機廻轉子位置の相違より生ずる有効横流を莫大ならしめ、屢危険を招く處あり。仍つて比較的溝深く空隙小にして同期リアクタンス相當に大なるを良とす。

之に反して蒸汽タービンを用ふる場合には、其の cyclic irregularity 極めて小なるが故に、發電機にアマルト捲線を要せず。又

其の同期化力の如きも之を或程度以下に制限する必要なし。(リアクタンスは故意に之を増加せしむる場合あるも寧ろ短絡に具ふることを第一義とす。)

以上専ら亂調の見地より之を論じたるも、勵磁の不當に基因する無効横流の大小も亦之を考慮するを要す。瓦斯機關は極めて低速度なるを以て、其の發電機に於ける磁極の數大なり。従つて發電子反作用比較的小にして、勵磁の不當に基く無効横流を大ならしむる傾向あり。即ち此の點よりするも、亦空隙の比較的小なるを可とす。又比較的磁束を小にして每極每相の發電子捲数を大にしたるものを可とす。電壓變動率の犠牲に供せらるる、亦止むを得ざるなり。然れどもタービン發電機に於ては、本來每極每相の發電子捲數大なるが故に、發電子反作用甚だ高し。従つて空隙は寧ろ大なるを良とす。

(6) 二個の交流發電機は之を並列に接続して安定に運轉し得るも之を直列に接続して安定に運轉し得ざる理由を説明せよ。但し發電機は機械的に聯結せられざるものとす。(大正 4 年 2 級 2)

〔解〕 並行運轉の安定なり得る理由は、下の二つに歸す。

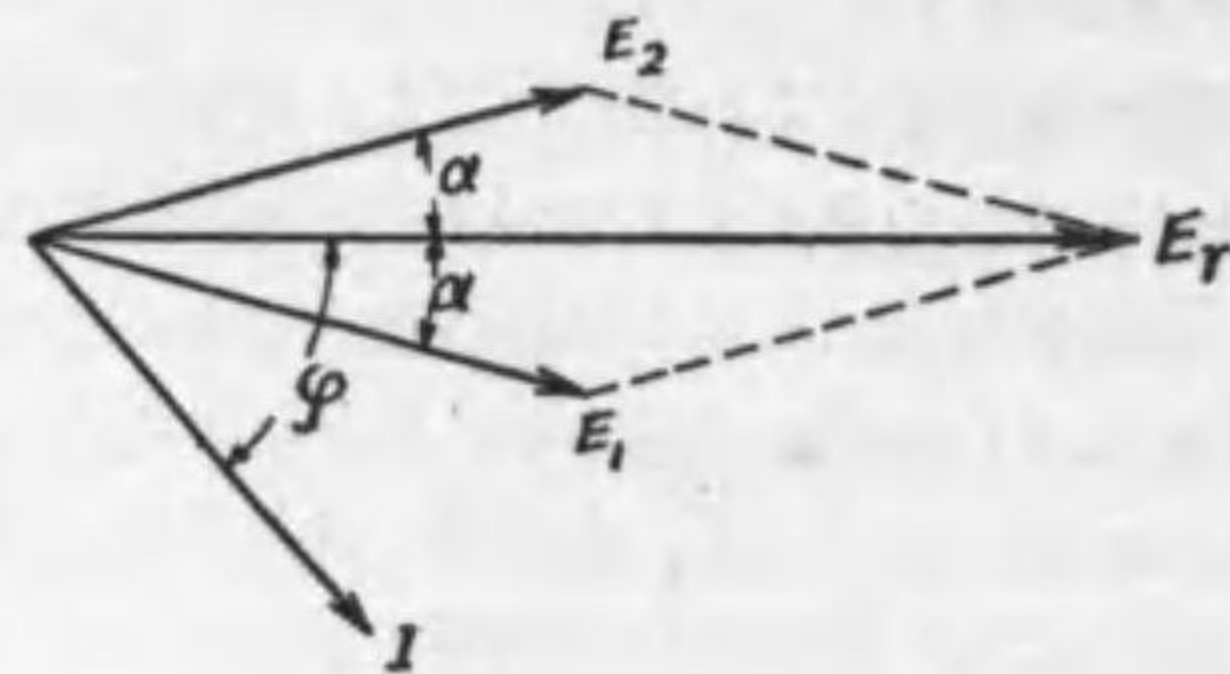
(イ) 縦令起電力の周波數 (即ち位相) に不同を來たさむとするも、交流發電機の reversibility (同期電動機となり得る事) により之を匡正し得る事。(従つて生ずる負荷分擔額の不適當なる事は原動機の出力を變じて匡正し得る事)。

(ロ) 縦令起電力の大きさに不同を來たさむとするも、無効横流に依りて之を匡正し得る事。(従つて生ずる電流の不同は勵磁を加減して匡正し得る事)。

次に直列運轉の不安定なるを説かむ。二個の單相交流發電機を G_1, G_2 とし、其起電力 (大き E) の相を夫々 E_1, E_2 にて表はさむ。今二機の相合一せる時、是等を直列に繋げば E_1, E_2 の算術和即ち $2E$ が合成電壓となる。故に負荷の力率により、合成電壓より ϕ だけ遅れたる電流 I を生ず。然るに今若し何等かの原因により E_1 の

相が少しく E_2 の相より遅れたりとせば、ベクトル圖は第 18 圖

第 18 圖



の如くなり、 E_r 減少して總出力減少す。加ふるに G_1, G_2 の出力は夫々

$$EI \cos(\phi - \alpha) \text{ 及 } EI \cos(\phi + \alpha)$$

となる。此の二式を見るに負荷の分擔額は G_1 に重くして G_2 に輕し。故に G_2 の廻轉は G_1 に比して益々進む傾向を生ず。結局 $2\alpha = 180^\circ$ となり總出力零となるに至つて初めて負荷分擔の不平均止む。而して此點より更に相の變化を見むとすれば負荷分擔過大の發電機が制動せられて、結局 $2\alpha = 180^\circ$ の點に到着すべし。換言すれば此の點が即ち運轉安定の點なり。故に G_1, G_2 の軸を機械的に聯結せざる限り、兩機の直列運轉は不可能なり。

〔註〕 解の直列運轉の條で單相機と極めて了つたのは、多相機の各相の直列運轉と云ふ事は各相をばらばらにしない限り、逆も想像の出來ぬ事柄だからである。之に反して並行運轉の方は單相機同士でも多相機同士でも、或は多相機の一相と他の單相機とでも理論上出来る譯である。又軸を機械的に聯結すると云ふ事に關し特に問題に斷つてあるのは大に注意を要する。軸を聯結した場合には直列運轉は出来るが、並行運轉は事實上出来ないのである。

(7) 交流發電機二基の並行運轉に於て誘導起電力 (induced

electromotive force) の相差とシンクロナイジング・パワーとの關係如何。但し外部負荷無しとし各機のシンクロナス・イムピーダンスを $r + jx$, 誘導起電力は E とす。 (大正 8 年 2 級 1)

〔解〕 兩機の誘導起電力は其の相差を θ とすれば

$$E_1 = E \cos \frac{\theta}{2} + jE \sin \frac{\theta}{2}$$

$$E_2 = E \cos \frac{\theta}{2} - jE \sin \frac{\theta}{2}$$

なる複素數を以つて表はさる。故に横流は

$$\begin{aligned} I &= \frac{E_1 - E_2}{2(r + jx)} = \frac{jE \sin \frac{\theta}{2}}{r + jx} \\ &= \frac{x E \sin \frac{\theta}{2} + jr E \sin \frac{\theta}{2}}{r^2 + x^2} \end{aligned}$$

故に synchronizing power は

$$\begin{aligned} P &= \frac{d}{d\theta} \left[E \cos \frac{\theta}{2} \cdot \frac{x E \sin \frac{\theta}{2}}{r^2 + x^2} \right] \\ &= \frac{d}{d\theta} \left[\frac{x E^2}{r^2 + x^2} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \right] \\ &= \frac{d}{d\theta} \left[\frac{x E^2}{2(r^2 + x^2)} \sin \theta \right] \\ &= \frac{x E^2}{2(r^2 + x^2)} \cos \theta \end{aligned}$$

即ち此場合の synchronizing power は $\theta = 0$ 即ち兩機の起電力の相一致せる時に最大にして、 θ の増加と共に減少し $\theta = 90^\circ$ に於て零となり、尙 θ がそれ以上となる時には synchronizing power は負となる。多相機にても、 p が相數倍となるのみにて同じ結論を得べし。

(8) 次に示すが如き二基の発電機あり。此の兩機を並列に運轉するに當り、負荷と速度との關係を示す圖線は直線なりとせば、50 サイクルの場合の總負荷如何。(大正 12 年 2 種一般 2)

發電機	A	B
容量 (キロワット)	1,500	4,000
電壓 (ヴォルト)	6,600	6,600
極數	2	16
速度 無負荷の時毎分迴轉數	3,200	380
特性 全負荷の時毎分迴轉數	2,900	370

[解] 50 サイクルの時に

$$A \text{ 機の毎分迴轉數は } 120 \times 50 + 2 = 3000$$

$$B \text{ 機の毎分迴轉數は } 120 \times 50 + 16 = 375$$

而して負荷は速度と直線的關係を有するにより

A 機の負荷は

$$1500 \times \frac{3200 - 3000}{3200 - 2900} = 1500 \times \frac{2}{3} = 1000 \text{ キロワット}$$

B 機の負荷

$$4000 \times \frac{380 - 375}{380 - 370} = 4000 \times \frac{1}{2} = 2000 \text{ キロワット}$$

故に所求の總負荷は

$$1000 + 2000 = 3000 \text{ キロワット}$$

(9) 次に示すが如き A, B 二基の発電機あり。

發電機	A	B	
容量キロワット	3,500	5,000	
電壓ヴォルト	6,600	6,600	
極數	4	16	
速度調整	無負荷の時 毎分迴轉數	1,560	380
	全負荷の時 毎分迴轉數	1,430	370

此兩機を並列に運轉するに當り負荷と速度との關係を示す圖線は直線なりと假定せば

(イ) 總負荷幾何の場合に 50 サイクルとなるか。

(ロ) 兩機の孰れをも過負荷せしめずして發電し得べき最大出力幾何なるか。(大正 8 年 2 級一般 3)

[解] 50 サイクルに於ける發電機の速度は

$$A \dots\dots\dots 1500 \text{ r. p. m.}$$

$$B \dots\dots\dots 375 \text{ r. p. m.}$$

此速度に於ける各發電機の負荷

$$A \dots\dots\dots 3500 \times \frac{1560 - 1500}{1560 - 1430} = 1620 \text{ kW}$$

$$B \dots\dots\dots 5000 \times \frac{380 - 375}{380 - 370} = 2500 \text{ kW}$$

故に總負荷 4120 kW の場合に 50 サイクルなり。

(ロ) 兩機の全負荷に對する周波數を求むれば、

$$A \dots\dots\dots \frac{2 \times 1430}{60} = 47.7 \text{ サイクル}$$

$$B \dots\dots\dots \frac{8 \times 370}{60} = 49.3 \text{ サイクル}$$

なり。故に兩機を並行運轉し其の孰れをも過負荷せしむる事なしに發電し得る最大負荷は、B の全負荷速度にて運轉せる場合の出力なる事を知る。

而して此時の A の速度は

$$370 \times \frac{16}{4} = 1480 \text{ r. p. m.}$$

にして此速度に對する A の出力は

$$3500 \times \frac{1560 - 1480}{1560 - 1430} = 2150 \text{ kW}$$

故に求むる最大出力は $(2150 + 5000) = 7150 \text{ kW}$ なり。

(10) 同期交流發電機及電動機並に迴轉變流機に於けるダンピ

ング・デヴァイス (damping device) の作用の原理を述べよ。

(大正1年2級2)

〔解〕 同期交流機のダンピング・デヴァイスは之れを並行運轉する場合の速度亂調を防ぐ装置にして、銅の如き抵抗低き金屬棒を界磁極片の先端に取付け之れを互に短絡する事籠型誘導電動機の廻轉子導體の如くせるものなり。

多相交流機が規定の状態にて運轉しつゝある時は發電子反作用は磁界空隙に於て一定の分布を有し、發電子に對して同期速度従つて界磁と同一の速度を以て界磁と同方向に廻轉す。従つて制動子の導體中には何等の起電力をも誘導する事なし。然るに並行運轉中何等かの原因に依り一機の廻轉子の角速度が急に増減する時は其瞬時に於て其機の誘導起電力の相は進み或は遅れ従つて電機子反作用による廻轉磁界の分布も亦其瞬時に變化す。又之れと同時に磁界の廻轉速度も界磁と同期を失するに至る。従つて制動子の導體は磁束を切るに至り爲めに之れに起電力を誘導す。制動子の導體は抵抗極めて小なるに依り僅少の起電力にても多大の電流を通じ、之れと電機子反作用に依る磁束との作用により大なる廻轉力を發生すべし。而して此廻轉力の方向は動と反動とは其方向互に相反する一般規則に従ひ、廻轉子角速度を舊に復さんとする方向、換言すれば廻轉子を同期に引き戻さんとする方向たる事勿論なり。斯の如き理由に依り制動子を設くる時には交流機並行運轉に於ける同期力増大さるゝを以つて其速度亂調を防止する事を得。

以上の外、此装置を同期電動機及廻轉變流機に設くる時は機を交流側より起動するに際し、之れが誘導電動機の籠型廻轉子導體と同様の作用を営むを以つて、起動廻轉力増大し起動を容易ならしむる利益あり。

(11) 大發電所に於て發電機を増設するに當り保守上注意すべき最重要なる事項を述べよ、 (大正7年2級口述4)

第15章(16)(第157頁)を見よ。

第五章 同期電動機

(1) 同期電動機の磁極に附せる短絡捲線 (amortisseur) の作用を述べよ。 (大正6年2級2)

〔解〕 本題の短絡線輪は二様の働作をなす。其の一は起動 (starting) 作用にして、他は制動 (damping) 作用なり。本来同期電動機は決して自ら起動するものに非ず。他より同期速度附近まで之を加速せしめて後初めて同期速度に pull in せられ、同期電動機固有の廻轉力を生ずるなり。本題の短絡線輪は即ち該電動機を起動時に於て籠形誘導電動機たらしむるものなり。即ち固定子の生ずる廻轉磁界が此の籠形捲線を切るが故に誘導電動機として廻轉力を生じ、他より動力を供給することなく自己起動をなし得るなり。

第二の制動作用とは、凡ての同期機に共通なる運轉中の速度亂調を防退する作用を謂ふ。蓋し同期電動機に於て負荷の激變を生ずれば一時廻轉子が正當の位置より前後に偏倚す。位置が偏倚すれば廻轉力に變化を來し速度の變化を復舊せむとする傾向あれども廻轉部に機械的の惰性あるが故に廻轉磁界が正當の位置を占むる迄には多少共振動の現象を生ず。然るに本題の短絡線輪は廻轉子が少しにて同期速度を脱すれば直ちに電機子反作用の作る磁束を切り、之に起電力誘導せられ、電流通過して熱のエネルギーを生ず。斯くの如く熱としてエネルギーを消費することが廻轉子の同期速度を脱出するを妨げ、之に依つて制動作用を営み以て亂調を防退するなり。

〔注意〕 第四章の10参照

(2) 同期電動機の亂調 (hunting) に就て論ぜよ。

(大正9年1級3)

〔解〕 (1) 總言 同期電動機の亂調は電氣技術上の重要問題

たるを失はず。蓋し亂調の障害は起動の困難と相待ち、初期の同期電動機をして久しく不振の境に在らしめればなり。幸にして諸家の研究に依り亂調の理論を闡明し、其の防遏に功を奏して以來、同期電動機は頓に其の用途を廣くしたり。次に少しく亂調の理論、原因及び防止法を述べん。

(ロ) 亂調の理論概要 同期電動機は其の定常状態に於て、同期速度を以て運轉することを必須の條件とす。然れども其の負荷、勵磁或は供給電路の状態(端子電壓、周波數等)に變化を生ずれば、廻轉子の速度、位置、廻轉力等に頗る複雑なる過渡現象を生ずべし。今假りに負荷減少したりとすれば、新負荷に順應する廻轉力を生ずる爲め、廻轉子は先づ同期速度以上に廻轉すべし。然れども廻轉子が正當の位置に達したる瞬時に於て、其の速度は依然同期以上に在り。暫くにして廻轉力負荷の要求以下に減じ、漸次減速すべきも、同期速度に達したる瞬時には廻轉子の位置前方に偏す。再び正當の位置に來れば同期速度以下となる。以下斯くの如くにして位置並に速度前後上下に逸出し、振動幾回漸次其の振幅を減じ、遂に同期速度に於て正當の新位置に落着す。是れ即ち減衰性の亂調にして、寧ろ當然の過渡現象なり。然れども不幸にして、前後動搖の振幅漸次増大するに當りては、所謂亂調(亢進性亂調)の現象を呈し運轉の危険を醸し或は休止の止むなきに至る。是に於て正當の位置を脱出せんとする作用と、此の傾向を阻止せんとする作用との研究を要す。

Synchronizing power = $F \times v$ (但し F = synchronizing force, v = speed deviation) は常に廻轉子の亂調を阻止するが如きも必ずしも然らず。位置後方に偏し(即ち synchronizing force 前方に作用し)速度過大なる瞬時の如きは Fv は却て振動を助長す。之に反して制動子(amortisseur)の電流又は磁極面鏽損の如きは、其作用の time lag を無視すれば、常に speed deviation を阻止す。廻轉子の momentum の大小亦重大なる關係あり。是等の數學的研究

は茲に盡す能はざるも、亂調を減衰性たらしむる爲には、制動子電路の誘導性を小にし、 F の time lag を小にするを良とす。

(ハ) 亂調の原因及防止法 同期電動機の亂調の誘因として下の二三を擧ぐるを得べし。

1. 供給周波數の不齊(例へば發電機一廻轉中の速度不齊の如き)、
2. 自機並に同一系統中の諸機械の負荷の激變、
3. 同一系統中の諸同期機の起電力波形の相違。

故に亂調の防止法としては、成るべく是等の誘因を避くるを可とす。尙前項の理論に依り、設計上永續性亂調を生ずる虞なき電動機を使用すること最も肝要なり。強力にして誘導性小なる制動子を具備するが如きは最も有効なる方法なり。

(3) 誘導同期電動機の種類に就き其の構造及び原理を略述せよ。(大正13年1種1)

〔解〕 誘導同期電動機の種類は本邦に於ては未だ確實なる術語に非るが如し。

- (A) 固定子に多相交流を通し、廻轉子には直流勵磁を與へざるも凸極を用ひて之を同期速度に廻轉せしむるもの
- (B) 固定子に多相交流を通じ、圓筒形廻轉子に多相捲線を施すも、結局之に直流を通じて同期運轉をなさしむるもの

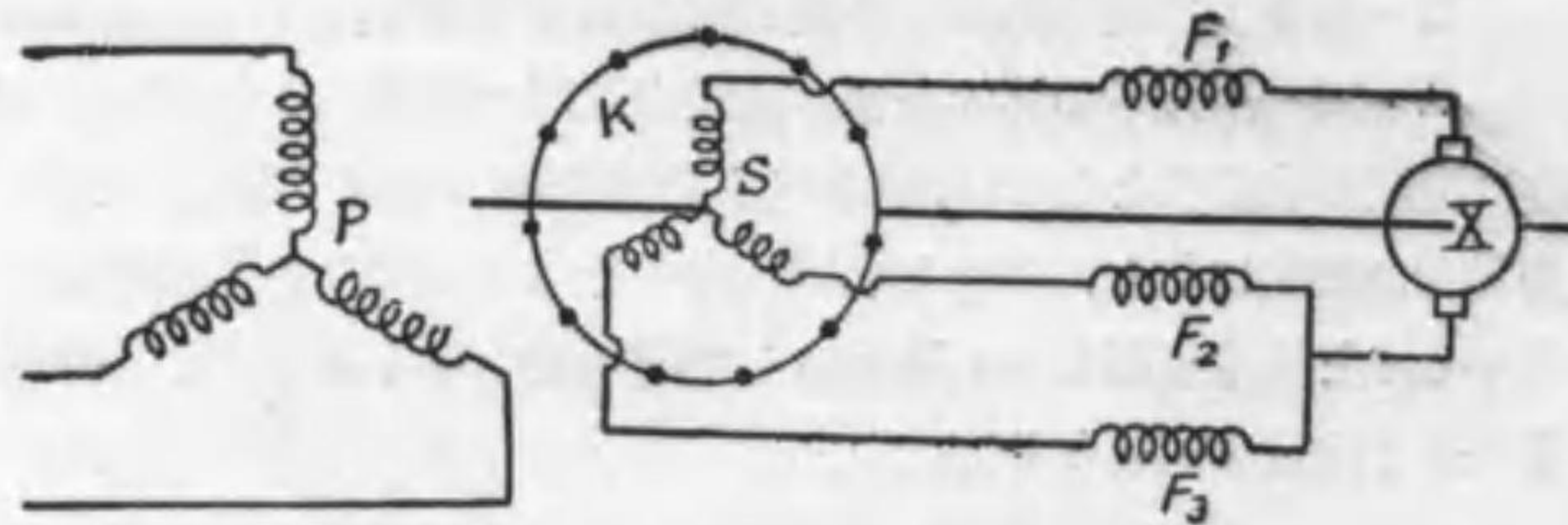
共に之を誘導同期電動機と稱して必ずしも妨げ無し。然れども A は本來誘導機なるが故に之を同期誘導電動機と稱し、B は本來同期機なるが故に之を誘導同期電動機と稱すること妥當ならん。故に茲には B 種の電動機に付き略述せん。

元來此の種の電動機は Danielson 氏等の卒先指を染めたるものなれども、我が國の山本博士等の改良に依り、初めより勵磁機を接続したる儘同期運轉をなすに至れり。其の構造圖の如し。

圖中 P は固定子一次捲線、K は廻轉子の籠型二次捲線、S は三相

二次捲線なりとす。Xは直流直捲勵磁機の發電子にしてSの廻轉子軸に直結せらる。F₁, F₂, F₃は勵磁機の直捲界磁線輪にして夫々Sの三相に直列に結ばるゝ様、便宜三分して各磁極に捲かる。而して圖の如き接続に依りXよりSに直流を送れば、其の極数は誘導機固有の極数となる。

第 1 9 圖



今此の電動機の固定子Pに三相電流を通ずれば、主としてKの筒型捲線の作用に依り、廻轉子は漸次加速せられ、其の滑りの周波数を有する交流が直流直捲機を通ずべし。然るに整流子電動機（特に直捲機）に交流を通ずれば、却て直流電壓の build up せらるゝ事實あり。之に依りて此の際軸の加速中Xに直流電壓 build up せられ、何等電路の開閉を行ふことなくして、Sが直流勵磁を受くるに至る。即ち本機は圓筒狀磁極を有する同期電動機として同期運轉をなすに至る。

第六章 變 壓 器 (理論)

(1) 單相變壓器あり

一次電壓 = e ヴォルト

一次抵抗 = r₀ オーム二次抵抗 = r₁ オーム一次漏洩リアクタンス = x₀ オーム二次漏洩リアクタンス = x₁ オーム
$$\frac{\text{一次回數}}{\text{二次回數}} = a$$

二次線輪を短絡せる時の一次及二次電流を概算せよ。

(明治44年3級1)

〔解〕 二次抵抗及漏洩リアクタンスを一次に換算すれば

一次に換算したる二次抵抗 = a²r₁一次に換算したる二次漏洩リアクタンス = a²x₁又勵磁電流を閉却すれば此等が r₀x₀ を直列となりて e を受くる理なれば二次線輪を短絡せる場合の一次電流は

$$I_0 = \frac{e}{\sqrt{(r_0 + a^2 r_1)^2 + (x_0 + a^2 x_1)^2}} \text{アムペア}$$

又二次電流は

$$I_1 = a I_0 = \frac{a e}{\sqrt{(r_0 + a^2 r_1)^2 + (x_0 + a^2 x_1)^2}} \text{アムペア}$$

(2) 單相變壓器あり一定の一次電壓を以て無誘導なる負荷 (non-inductive load) を結合するに全負荷の能率恰も最高値に達す。今一次電壓、周波數及變壓比 (ratio of transformation) を變ずる事なくして能率を全負荷より少しく小なる負荷に於て最高ならしむるには捲線數を如何に變更すべきや。但し鐵損 (iron loss) は磁力線密度の二乗に比例するものと假定す。 (明治44年1級1)

〔解〕 電線内の電流密度を変化する事なく、巻線数を多少増加する丈の餘地を存するものとし、又變壓器の變壓比と巻數比とは同一なるものと假定す。今

改造前の全負荷に於ける銅損 …… W_c

改造前の鐵損 …………… W_i

改造後の最大能率の點……………無誘導全負荷の $p\%$

改造後の巻線數……………従前の q 倍

とす。然らば改造後に於ける磁束密度は従前の $\frac{1}{q}$ に相當するを以つて（電壓及周波數一定なる故）

$$\text{改造後に於ける鐵損} = W_i \left(\frac{1}{q}\right)^2$$

又線輪の電流密度は變化せず且つ線輪の平均巻線長さも亦變化せざるものとすれば、線輪の抵抗は巻數に比例す。依つて

$$\text{改造後の最大能率に於ける銅損} = W_c q \left(\frac{p}{100}\right)^2$$

而して最大能率の負荷に於ては銅損と鐵損とは等しきを以つて

$$W_i \left(\frac{1}{q}\right)^2 = W_c q \left(\frac{p}{100}\right)^2$$

而して改造前に於ては全負荷に於て能率最大なる故

$$W_i = W_c$$

故に
$$\left(\frac{1}{q}\right)^2 = q \left(\frac{p}{100}\right)^2$$

$$q^3 = \left(\frac{100}{p}\right)^2$$

$$q = \left(\frac{100}{p}\right)^{\frac{2}{3}}$$

例へば 90% 無誘導負荷に於て最高能率たらしむる様改造するものとせば

$$q = \left(\frac{100}{90}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.073$$

即ち巻數を約 7% 増加するを要す。

(3) 變壓器の損失と一次電壓波形との關係を説明せよ。

(大正 2 年 2 級 3)

〔解〕 變壓器中の損失は主として變壓器線輪中に生ずる銅損、鐵心中に生ずる渦流損及ヒステリシス損の三にして、之れ等の損失に對する一次電壓の波形の影響は銅損及渦流損に對しては其影響小にして之れを度外視し得る程度なれども、ヒステリシス損に對する影響は甚だ大なるものにして一次電壓波形が尖形なる程損失小にして偏平なる程大となるものなり。次に其理由を説明せん。

オーミック抵抗損失は電流の實効値にのみ關するものなれば一次電壓の波形の變化による勵磁電流の波形及其實効値の變化することを閉却すれば銅損は一次電壓の波形の變化によりて左右せられず。

渦流損は $\frac{d\phi}{dt}$ の r. m. s. value に正比例すべく、又 $\frac{d\phi}{dt}$ の r. m. s. value は一次誘導起電力の r. m. s. value 即ち實効値に正比例するを以つて一次線輪のイムピーダンス降下によりて一次誘導起電力と一次端子電壓とは多少の波形及値の相違を來すものなる事を閉却すれば、一定一次端子電壓及一定周波數の下に於ては渦流損失は一次電壓の波形には無關係なりと見て可なり。

鐵心中のヒステリシス損は一定周波數の下に於ては鐵心中の磁束の最大値 ϕ_m の 1.6 乘に正比例す。然るに ϕ_m は一次誘導起電力の平均値に比例す。従つて一定周波數、一定一次電壓の下に於けるヒステリシス損は一次誘導起電力の波形率の 1.6 乘に逆比例する事となり結局一次電壓の波形が偏平なる程損失大にして、尖形となる程損失小となるものなり。

(4) 變壓器の鐵損は供給電壓の周波數と如何なる關係を有す

るか、之を説明せよ。(大正3年2級2)

〔解〕 変圧器鐵心の最大磁束密度を B 、電源の周波数を f とすれば

$$\text{渦流損} \propto f^2 B^2$$

$$\text{ヒステリシス損} \propto f B^{1.6}$$

但し硅素鋼の如きものにありてはヒステリシス損は $B^{1.72}$ に比例すと稱せらるゝも、本解答にては尤も廣く世に知られある所に従ひ $B^{1.6}$ に比例するものとする。

然るに變壓器の一次誘導起電力は波形同一なる限り fB に比例すべく、變壓器一次線輪のイムピーダンス降下を閉却すれば一次誘導起電力は供給電壓に等し。故に供給電壓を E とすれば

$$B \propto \frac{E}{f}$$

従つて

$$\text{渦流損} \propto E^2 \quad \text{にして } f \text{ には無關係}$$

$$\text{ヒステリシス損} \propto \frac{E^{1.6}}{f^{0.6}}$$

即ち供給電壓一定の場合には渦流損は周波數に關せず一定にして、ヒステリシス損は周波數の 0.6 乗に逆比例す。故に變壓器の鐵損は周波數の増減に反して變化す。

(5) 變壓器の鐵損をヒステリシス損と渦流損とに分離する方法の原理を略述せよ。(大正5年3級一般理論2及14年2種一般3)

〔解〕 一定の最大磁束密度の下に於ては、ヒステリシス損失は周波數に正比例し、渦流損失は周波數の二乗に正比例す。今規定最大密度 B 、或る周波數 f_1 の下に於ける鐵損試験より全鐵損 W_1 ワットを得たりとす。而して B に於ける周波數毎秒 1 の場合のヒステリシス損失を w_h ワット、渦流損失を w_e ワットとせば

$$W_1 = f_1 w_h + f_1^2 w_e \dots\dots\dots(1)$$

次に磁束密度を一定に保ち(周波數に正比例して電壓を變化し)他の周波數 f_2 の下に鐵損試験を行ひ、全鐵損を求む。然らば

$$W_2 = f_2 w_h + f_2^2 w_e \dots\dots\dots(2)$$

(1) 及 (2) の聯立方程式を解きて

$$w_h = \frac{f_2^2 W_1 - f_1^2 W_2}{f_1 f_2^2 - f_2 f_1^2}, w_e = \frac{f_1 W_2 - f_2 W_1}{f_1 f_2^2 - f_2 f_1^2}$$

故に任意の周波數 f に於けるヒステリシス損失(磁束密度 B に於て)は

$$W_h = f w_h = f \frac{f_2^2 W_1 - f_1^2 W_2}{f_1 f_2^2 - f_2 f_1^2} \quad \text{ワット}$$

又渦流損失は

$$W_e = f^2 w_e = f^2 \frac{f_1 W_2 - f_2 W_1}{f_1 f_2^2 - f_2 f_1^2} \quad \text{ワット}$$

(6) 三相變壓に使用する變壓器に三次捲線(tertiary winding)を設くる目的如何。(大正13年2種2)

〔解〕 變壓器の三相 Y-Y 結線に於て三次捲線を使用すれば、之に第三調波の勵磁電流を通過せしめ、以て磁束(従つて起電力)の變化を純正弦状ならしむることを得べし、其の理下の如し。

變壓器磁束の變化を純正弦ならしめんと欲せば、hysteresis loop の爲め、其の勵磁電流に第三調波を含むこと必要とす。然るに一次捲線が Y に結線せらるゝ時は其の中性點が接地せられざる限り、第三調波の component current 通過すること能はず。勵磁電流に第三調波を含まざれば、磁束(従つて各相の誘導起電力)に第三調波を含むの不都合を招來す。尤も Y-Δ の場合に於ては勵磁電流の第三調波が Δ に結ばれたる二次捲線を循環して磁束を純正弦波となす。然れども、Y-Y 結線に於ては二次捲線に第三調波電流を通過せしむる事能はず、結局磁束が歪形波となる。此の場合に各變壓器の一次二次兩捲線の外、別に三次捲線を具へ、之を Δ に結ぶ時

は、之に第三調波の勵磁電流を通過せしめ、以て磁束の歪形を防止することを得べし。

近時變壓器の二次捲線を獨立したる二回路に別ち、各其の捲数を變じて、兩様の二次電壓を夫々の回路に供給して各自の負荷を擔はしむることあり。又二個の二次捲線の一方には需用先の負荷を擔はしむることなく同期進相機等を接続して、一次電流に進電流の component を有せしめ、以て力率改善を行ふことあり。是等の場合に二次捲線の一方（力率改善の場合には進相機に結ばれたる方）を三次捲線と稱することあり。然れども二種の異電壓の需要家負荷に電流を供給するが如き場合には宜しく之を二次捲線甲及び二次捲線乙と呼びて區別すべし。

(7) 變壓器捲線内の共鳴現象に就き論ぜよ。

(大正6年1級3)

〔解〕 今純インダクタンス L と純静電容量 C とを直列に結び之に周波数 f の電流 I を通ずる時は

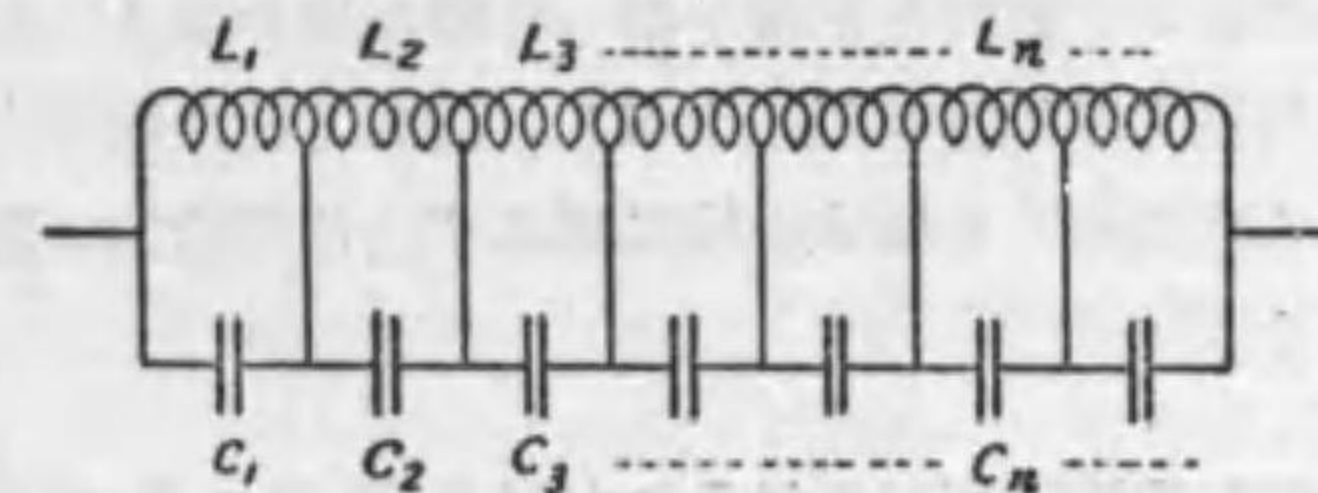
$$E_l = 2\pi f L I, \quad E_c = \frac{I}{2\pi f C}$$

なり。而して $E_l = E_c$ なる時、即ち $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ なる時所謂共振現象を生ず。 f の此の値を其の電路の共振周波数（又は固有周波数）と云ふ。而して共振状態附近に於ては電路の兩端電壓 E は極めて小にても、 E_l, E_c の各は極めて大なるを得べし。

變壓器捲線内の L と C との分布は頗る複雑なり。捲線の層間に L 及 C あり。線輪相互間に亦 L 及 C あり。更に捲線と鐵心鐵函との間に C あり。故に數式に依り共振現象を論ずること甚だ困難なり。然れども大體に於て、種々の大きさの C_n と L_n が並列に結ばれたるものの直列結合を以て之を表はし得べし。

今又 C_1 と L_1 との並列結合に一定周波数 f の電壓を加へたる場合を考ふるに

第 20 圖



$$I_{l1} = \frac{E}{2\pi f L_1},$$

$$I_{c1} = 2\pi f C_1 E$$

にして

$$L_1 C_1 = \frac{1}{(2\pi f)^2} = \text{constant}$$

なる時に於てのみ $I_l = I_c$ となる。圖に於て

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 = L_3 C_3 = \dots = L_n C_n = \dots = \frac{1}{(2\pi f)^2} \dots \dots (1)$$

が満足せられざる限りは、凡ての L を通ずる電流相等しく、又凡ての C を通ずる電流相等しきを得ず。即ち (1) 式の満足せられざる限り $L_{(n)}$ を通ずる電流の一部は必ず $C_{(n+1)}$ を通ずべし。事實に於て變壓器内に (1) 式の満足さるゝ事あり得べからざるが故に、結局圖の代表電路に或る電壓を加ふる時は、 L と C とが直列に絡がれたる場合と同様の結果を生ずること想像するに難からず。故に變壓器捲線全體の共振周波数なるものの存在することも亦之を首肯するを得べし。

實際上變壓器の共振周波数は概ね數萬サイクルにして、吾人の使用する交流電路の周波数とは相距ること甚だ遠し。然れども弧光接地、特別高壓線の開路又は短絡等に依つて生ずる所の所謂高周波過渡現象に依り、變壓器自身の共振周波数に相當する電壓が其の捲線の兩端に加へらるる時は、縱令其の高周波電壓の値小なりとも、變壓

器内の一部には非常電壓を生じ得べし。殊に前記の如く波頭峻峻にして且つ高周波の電壓變化が種を接して變壓器を襲ふに至りては、驚くべき高周波非常電壓を發生すべし。而して此の非常高電位の絶頂に相當する點は必しも末端線輪に限らず、中間線輪に發生すること亦少からず。

(8) 特別高壓變壓器捲線内に於ける電壓の異常昇騰 (abnormal rise) に就き論ぜよ。(大正 11 年 1 種 2)

(9) 特別高壓變壓器捲線内に於ける電壓の異常昇騰の原因を論じ其の防止方法に就き述べよ。(大正 14 年 1 種 1)

[解] 變壓器内電壓異常昇騰の原因は外部異常電壓の襲撃に外ならずと雖も、其の現象、送電線に於けるが如く爾く簡單明瞭ならず。蓋し送電線に於ては、線路定數 C 及 L の配布規則的にして且つ比較的簡單なれども、變壓器に於ては捲線の自己誘導、線輪相互間の靜電容量及相互誘導、捲線の對地容量犬牙錯綜せるあり、比較的簡單なる算式に依り、高調波に於ける共振作用として電壓の異常昇騰を説明し去ること困難なればなり。然れども近年内外諸専門家の理論上並に實驗上結論し得たる所に依れば、異常電壓發生の原因たる外部衝擊を下の三種に區別すること妥當なりと云ふ。

- (i) 急激なる電壓の瞬時的衝擊
- (ii) 波頭峻峻にして且つ波長稍大なる電壓の來襲
- (iii) 高周波持續電壓の襲撃

而して其の原因の種類如何に依り、電壓昇騰の狀況を異にす。(i) (ii) (iii) を通じて $\alpha = \sqrt{\frac{C_g}{C_n}}$ なる係数が電壓昇騰の多寡に重要な關係を有す。但し C_g は變壓器捲線の對地容量にして、 C_n は捲線的一端より他端に至る線輪相互間の容量なり。普通の變壓器に於ては α の値は 5 乃至 30 なりと稱せらる。又變壓器捲線の中性點を接地すると否とに依り、異常電壓の分布に種々の變化を來す。

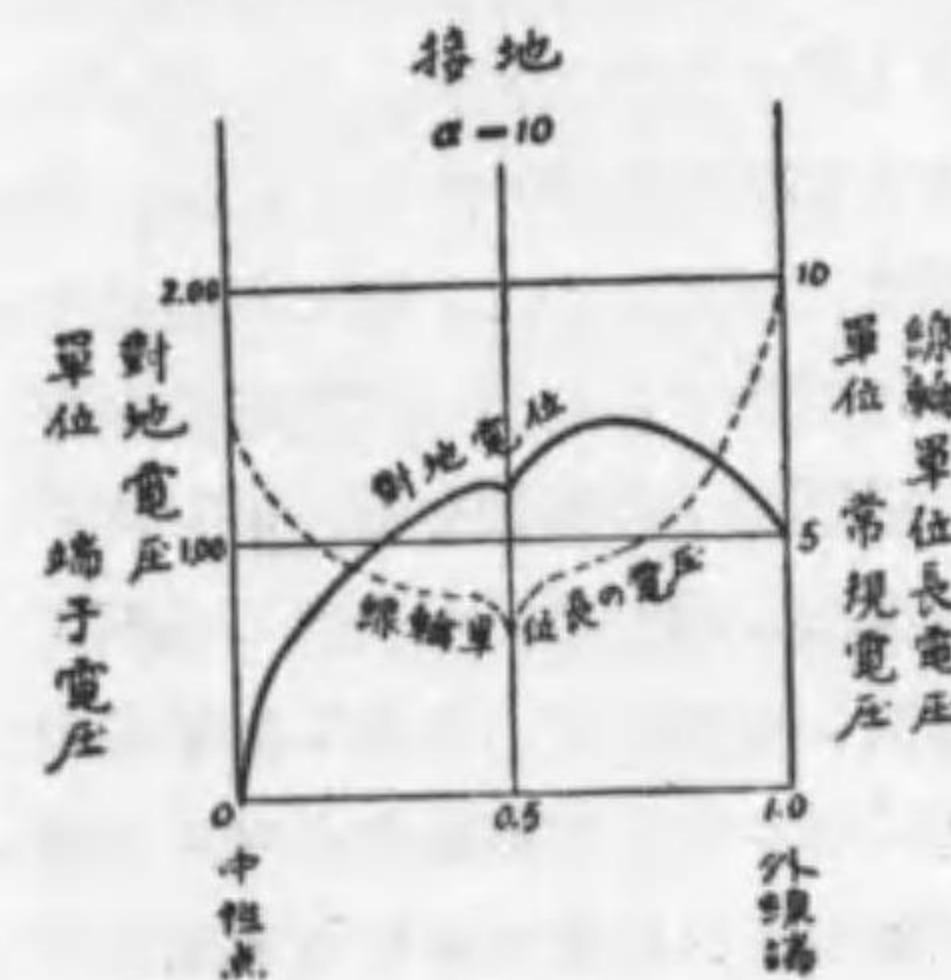
電壓異常昇騰 (又は其の災害) の防止法としては、當初は避雷

器を以て變壓器を保護せんとしたるも、多く無効に屬せり。蓋し變壓器の兩端に加る電壓は器内一部の電壓より遙に小なる場合あればなり、適當の靜電容量と抵抗とを直列に結び、之を以て變壓器を分路する保護方法は間隙避雷器等に比して有効なるべし。又從來屢行はれたる如く、捲線の外線端に於て、特に絶縁を嚴にするは時として有効なれども注意を要す。前述 α の値を小にする事及接地式を採用する事は有効なる場合多し。要するに如上の防止法は其の原因の如何に依つて慎重に考慮するを要す。次に之を述べん。

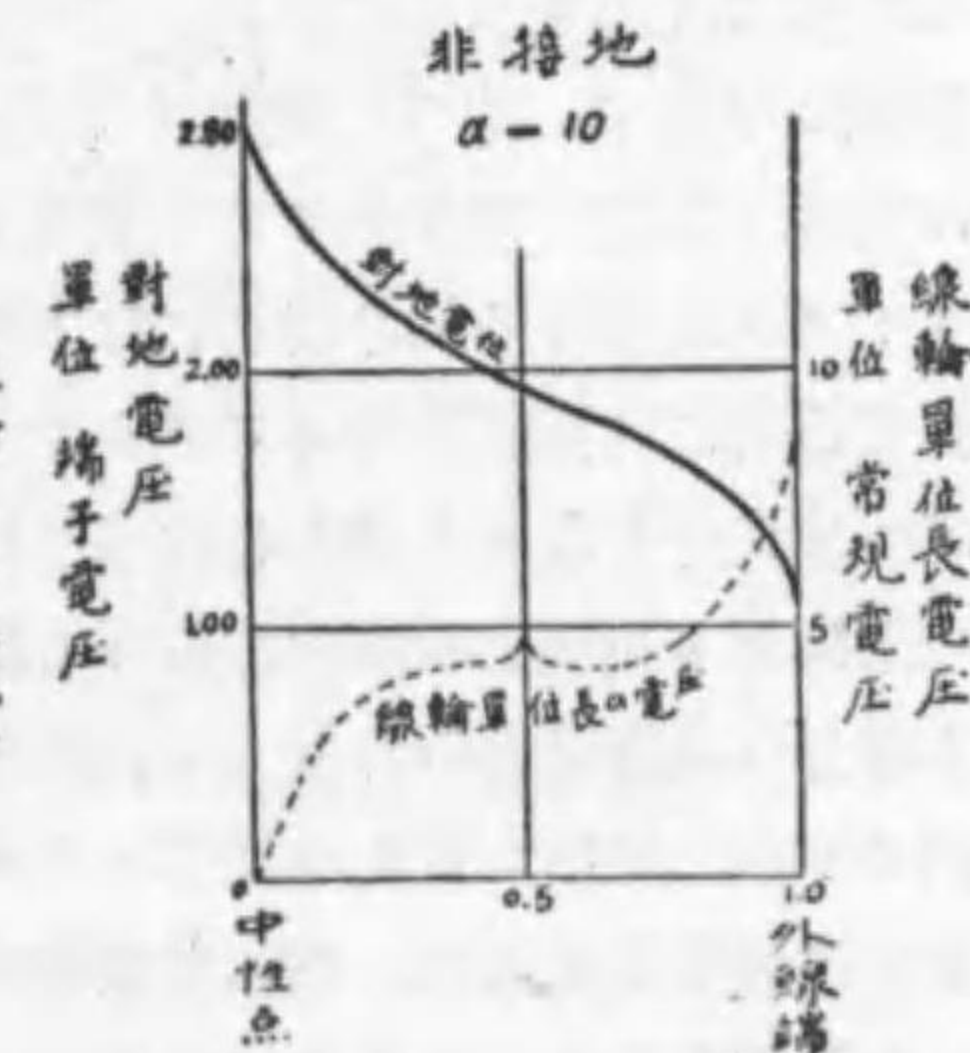
(i) 瞬時的衝擊 此の原因に對しては α の大なる程、外線端の電壓集中度大なり。而して之に備ふる爲め、外線端の絶縁を他部より嚴重にする事舊來の常套手段なれども、線輪軸の單位長に對する電壓分布は α の函數にして、單位長の捲數に無關係なるを以て、絶縁を嚴にする爲め軸に沿ふ單位長の捲數を減少すれば一捲毎の電壓を増加することを思はざるべからず。即ち絶縁を嚴にする事は一捲の電壓増加以上に絶縁耐力を増加し得る場合に於てのみ有效なり。中性點を接地すると否とは、此の原因に對しては大なる影響なし。

(ii) 峻峻波頭の長波 此の原因に依る電壓昇騰は最初の衝擊の

第 21 圖



第 22 圖



後、減幅振動の持続を見る。而して其の振幅は α の大小及び中性點接地の有無と密接なる關係を有す。上圖に其の概要を示す。(第 21 及 22 圖は米國 G.E. 會社に於ける一の研究實例に依るものなり。) 此の場合に於ては中性點の接地は電壓昇騰防止上大に有利なり。

(iii) 高周波持續波 襲來高周波電壓の周波數が變壓器捲線の自然周波數以上なる時は、其の現象 (i) と異ならず。其の防止法に關する注意も亦之に準ず。自然周波と合調したる持續波が襲來する時は、共振作用の理に依り、無限大の電壓を發生するが如きも、器内の諸損失、送電線との surge impedance の關係等に依り、實際上、電壓の昇騰は驚くべき高位に上ることなし。此の場合にも α を小ならしむる如き設計は最も有利なり。

(10) 周波數 60 サイクルの交流式に依り電燈電力に供給する水力電氣事業に於て其の周波數を 50 サイクルに改めんとする場合經濟的に之れを實行せんとするに當り變壓器に就き調査すべき諸事項を擧げよ。

(大正 3 年 1 一般 2 の内)

〔解〕 磁束密度一定なる場合には鐵損は周波數の減少に伴つて減少すべきも、電壓を一定に保つ時には磁束密度は周波數に逆比例して増加するを以つて結局一定電壓の下に周波數を減少する時には鐵損は増加す。依つて變壓器の溫度上昇を從來と同様に保つ爲めには其端子電壓を多少減ずるの要あるも周波數を 60 サイクルより 50 サイクルに減ずる如き場合には其程度は極めて少し。而て周波數を減ずる時には變壓器のリアクタンスは減少するを以つて其電壓調整は幾分良好となるの利あれば多少は電壓減少の影響を償ふ事を得。

然れども周波數の減少に伴うて發電機の端子電壓が甚だしく減ずる場合には變壓器の容量もそれに比例して減少す。のみならず全系統の末端に於ける電壓は從來と同様に保つ必要あるを以つて此場合には昇壓變壓器か、或は降壓變壓器の何れかを適當なる變壓比のものと同換ふるか或は之れに改造を加へざるべからず。

第七章 變 壓 器 (應用)

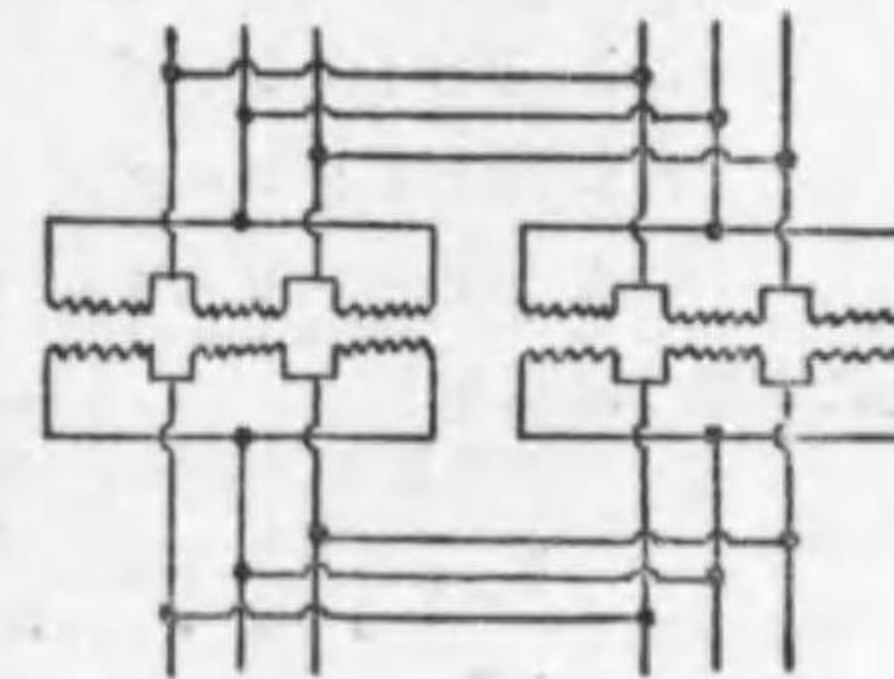
(1) 三個の同様な單相變壓器あり、三相同路にデルタ (Δ 形) に結合せらる。今故障の爲め一個を除き去るとせば、V 狀に結合されたる殘餘の二個を以つて三個完備のときの全負荷の幾分を負ひ得るや。但し其理由を説明せよ。(明治 44 年 2 級 2)

〔解〕 全負荷に於ける線路電流の値は Δ 結線の場合には各變壓器の全負荷電流の $\sqrt{3}$ 倍なり。然るに V に結線せる時には變壓器の全負荷電流を超過すべからず。故に V に結線する場合には三個完備の場合に比し線路電流を $\frac{1}{\sqrt{3}}$ に減少する事必要なり。従つて之れに許容し得る負荷は全負荷に比し $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 即ち 57.7% より負荷せしむる事能はず。

(2) 圖に示すが如く六個の同容量の單相變壓器を三個づつ三角形に結線し二組を並列に接続して送電する場合に於て内一個の變壓器破損せり。今此破損せるものを除き二個を V 形に結線し他の三角形に結線せられたるものと並列に接続して送電するに當り出來得るだけ大なる出力を得んとするには如何なる方法を講ずべきや且此場合の出力は前の場合より大約幾何を減ずべきや。

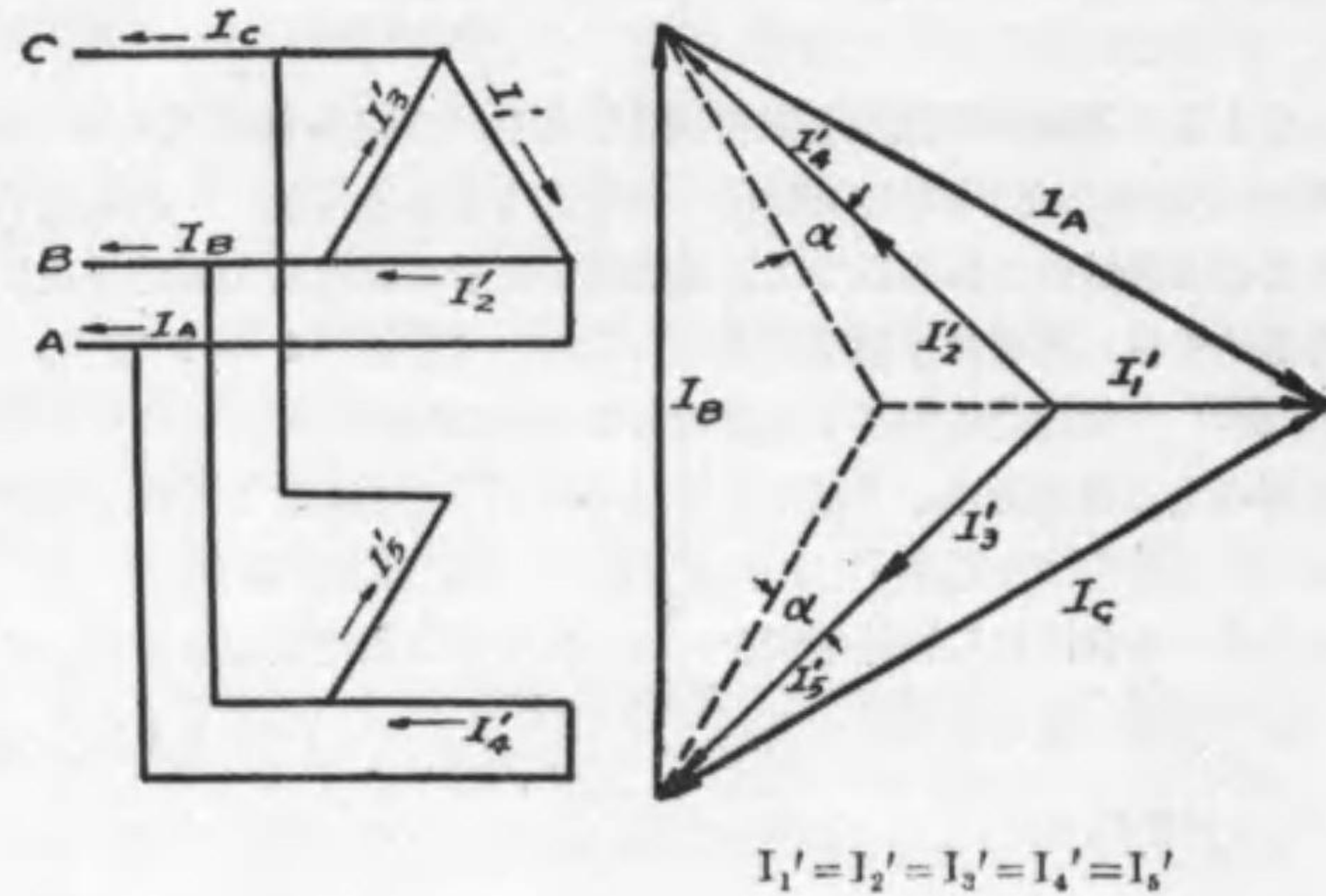
(大正 5 年 1 級 2)

〔解〕 同容量、同構造の變壓器五個を V, Δ 並列に結線し之を三相平衡負荷に結線して最大出力を得んとするには、各變壓器電流が等しくして各相線路電流との關係を次のベクトル圖 (第 24 圖) に示す如き有様にあらしめ



ざるべからず。

第 24 圖



而して此關係を満足せしむるには、C A 間の變壓器回路の抵抗及リアクタンスを同一の割合に増加することにより其目的を達することを得べし。

今斯の如くして CA 間のインピーダンスを變壓器一個のインピーダンス Z の k 倍にせりと假定せよ。然らば第 25 圖により

AB 間のインピーダンス = .5 Z

BC 間のインピーダンス = .5 Z

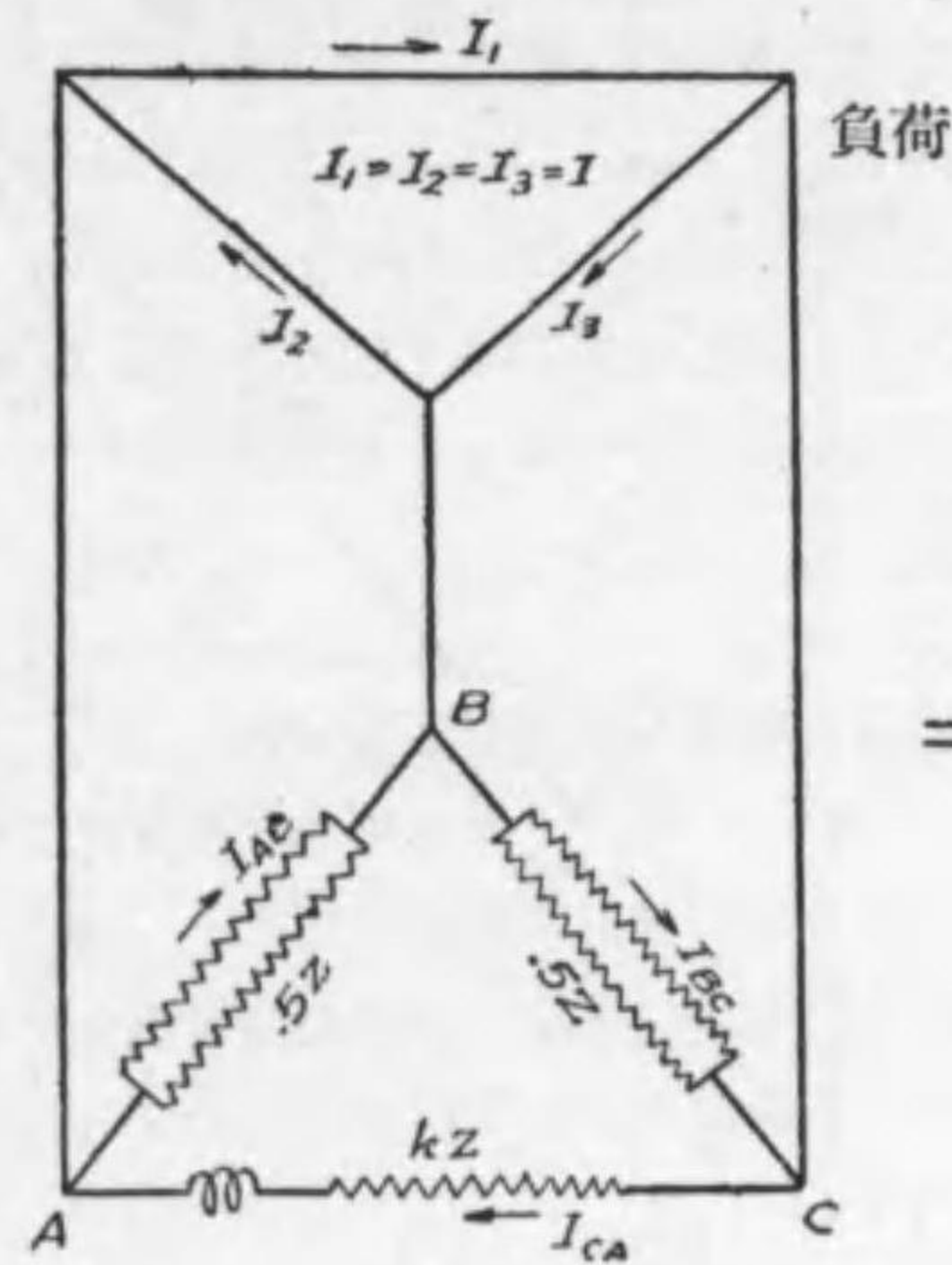
CA 間のインピーダンス = k Z

故に重疊の理に依り

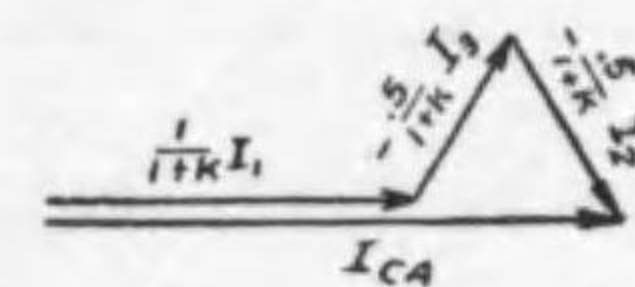
$$I_{CA} = \frac{1}{1+k} I_1 - \frac{.5}{1+k} I_2 - \frac{.5}{1+k} I_3$$

$$\therefore I_{CA} = \frac{1.5}{1+k} I \quad (\text{第 26 圖参照})$$

第 25 圖



第 26 圖



$$\text{又} \quad I_{AB} = \frac{.5+k}{1+k} I_2 - \frac{.5}{1+k} I_3 - \frac{k}{1+k} I_1$$

$$\therefore I_{AB} = \frac{1}{1+k} \sqrt{\left[(.5+k) + \frac{1}{2} \times .5 + \frac{1}{2} k \right]^2 + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} k - \frac{\sqrt{3}}{2} \times .5 \right]^2}$$

$$= \frac{1}{1+k} \sqrt{3k^2 + \frac{3}{2} k + \frac{3}{4}} \quad (\text{第 27 圖参照})$$

$$\text{又} \quad I_{BC} = \frac{.5+k}{1+k} I_3 - \frac{k}{1+k} I_1 - \frac{.5}{1+k} I_2$$

$$\therefore I_{BC} = \frac{1}{1+k} \sqrt{3k^2 + \frac{3}{2} k + \frac{3}{4}} \quad (\text{第 28 圖参照})$$

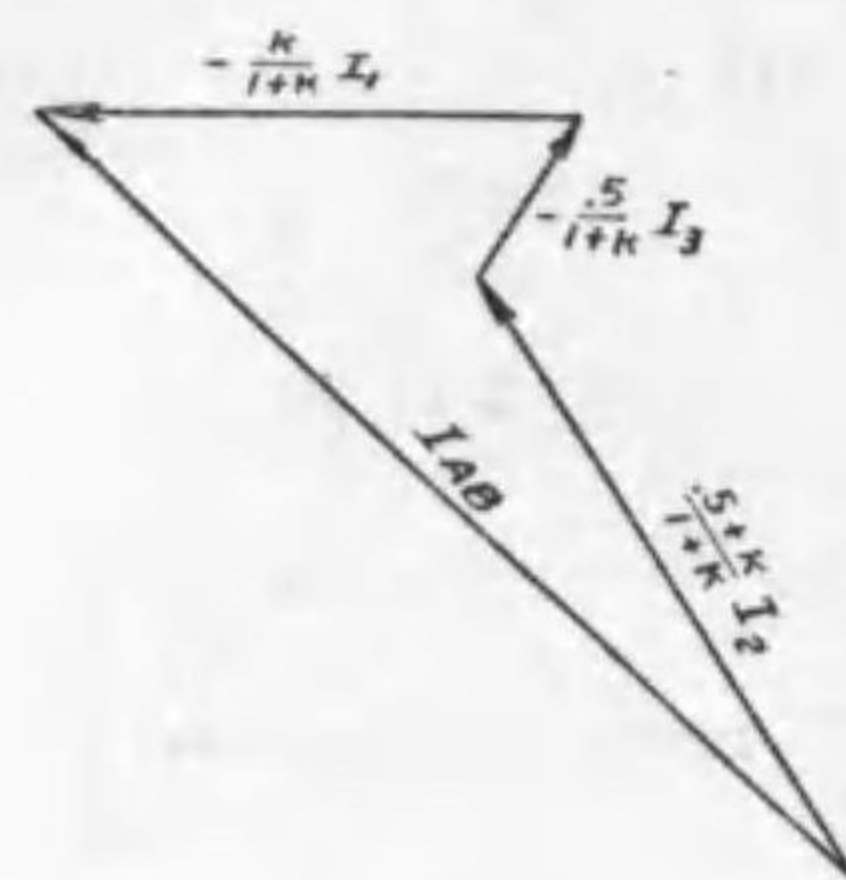
然るに最大出力を得る爲めには

$$2I_{CA} = I_{AB} = I_{BC}$$

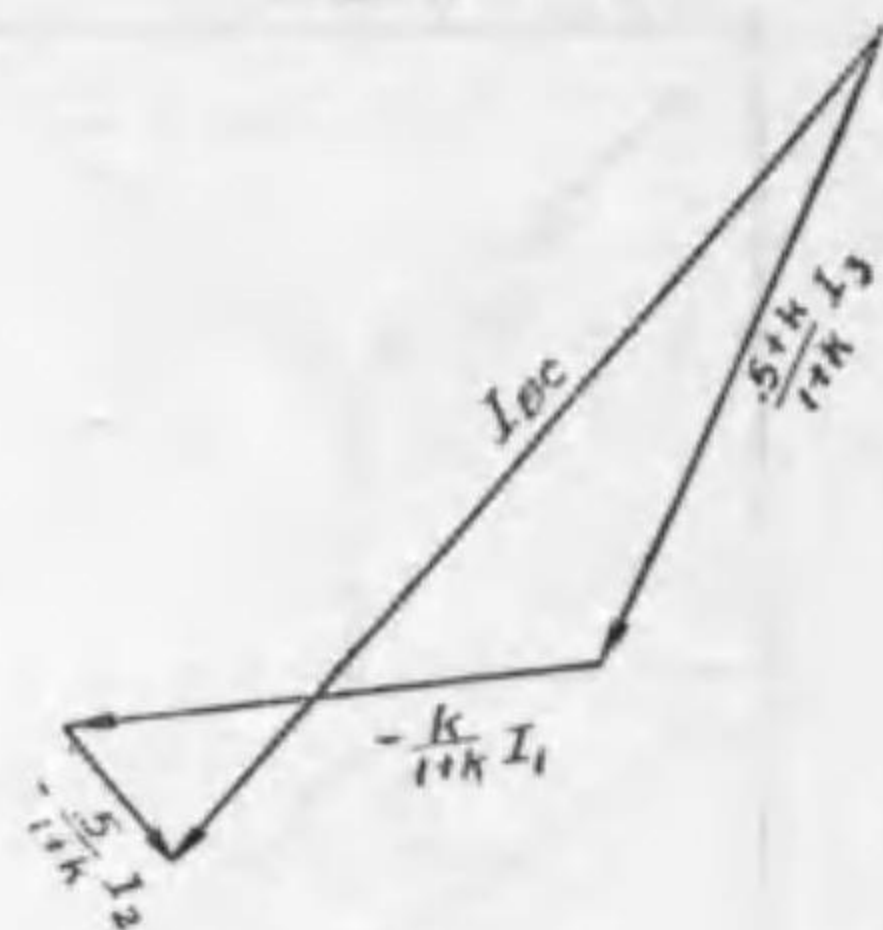
なる條件が満足さるゝ様に k の値を定むるの要ある事前述の如し。

故に

第 27 圖



第 28 圖



$$\sqrt{3k^2 + \frac{3}{2}k + \frac{3}{4}} = 2 \times 1.5 \quad 4k^2 + 2k - 11 = 0$$

$$k = \frac{-1 + \sqrt{1+44}}{4} = 1.426$$

即ち CA 間の變壓器回路の抵抗及リアクタンスを 1.426 倍にすれば最大出力を得る。

此場合の變壓器群の出力は

$$P = 3 \times EI$$

$$\text{然るに} \quad I = \frac{1+k}{1.5} I_{CA} = \frac{2.426}{1.5} I_{CA}$$

$$\therefore P = 3 \times \frac{2.426}{1.5} I_{CA} E = 4.852 I_{CA} E$$

即ち變壓器一個の出力の 4.852 倍となる。故に此場合の最大出力は Δ, Δ 並列の場合の最大出力に比し

$$\frac{4.852}{6} \times 100 = 80.9\%$$

に減少する事を知る。

〔註〕 dead impedance を入れて却て出力が増すとは一寸變だが“斯うせぬと一相一個の變壓器のおつき合で他の相の變壓器が充分働けなくなるのだ”と思へば合點が行く。

I_{BC} は對稱の理により I_{AB} と等しいと置いても構はぬ。出力は第 23 圖の α の角を算出し $\frac{1+4\cos\alpha}{6} = 81\%$ としても出る。此の方法は實際に應用するに當り抵抗とリアクタンスとを同じ割合に増すことが困難だらう。従つて此の計算通り 81% にするのは六ヶしからう。

(3) 大容量の變壓器の乾燥方法如何。又乾燥の程度を知るには如何にすべきや。 (大正 10 年口述 1 種 1)

〔解〕 大容量の變壓器を乾燥するには熱風法に依るを可とす。斯の如き變壓器は充分留意して製作所にて絶縁を施しあれば、捲線運搬中外部よりの濕氣にて絶縁低下したるものを恢復すれば可なるを以つてなり。

熱風法とは運搬用荷造り俾其他を利用し捲線周圍を包圍し、僅かに上部のみを開き、下部より攝氏 90-100 度の熱風を送りて乾燥する方法なり、即ち適當の電熱器と扇風機とを要す。空氣の速度は出口に於ける空氣溫度が 80 度附近になる程度を可とす。

乾燥の程度を知るには二時間置きに 1000 V 以上のメガーを以つて其の絶縁抵抗を測定すべし。而して該値が一度或る程度まで低下し再び上昇して三度の讀みが一定値 (AIEE 指定値を下らざる事) となりたる時を以つて完了とす。

(4) 單相變壓器あり之れをして實際に負荷せしむること無く、簡單なる試験を以て必要なる定數を求め、之れを用ゐて或る與へられたる二次端子電壓二次電流及力率に對する電壓變動率を計算する方法を示せ。 (大正 3 年 1 級 3)

〔解〕 單相變壓器を實際に負荷せしむる事なく簡單なる試験を

行ひこれより得たる定数により其の電壓變動率を計算するには所謂短絡試験を行へば可なり。

電流計、電圧計、電力計を一次回路に接続し二次線輪を短絡し一次側より變壓器の規定周波数を有する低電圧を供給し、其場合の電圧、電流、電力を測定す。今之れを夫々 V_s, I_s, W_s とせば W_s は一次及二次の銅損と少許の鐵損を含む、然れども普通の場合にありては此鐵損は微々たるものなるにより閉却して銅損のみなりと考ふる事を得。依つて一次及二次の抵抗の和は、一次側に換算して

$$r = \frac{W_s}{I_s^2}$$

又之れを二次側に換算して

$$r' = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \frac{W_s}{I_s^2} \dots\dots\dots(1)$$

次に V_s は一次及二次のイムピーダンスに打ち勝つ爲めに費されし電圧なり。故に一次及二次リアクタンスの和は、一次側に換算して

$$x = \sqrt{\left(\frac{V_s}{I_s}\right)^2 - r^2}$$

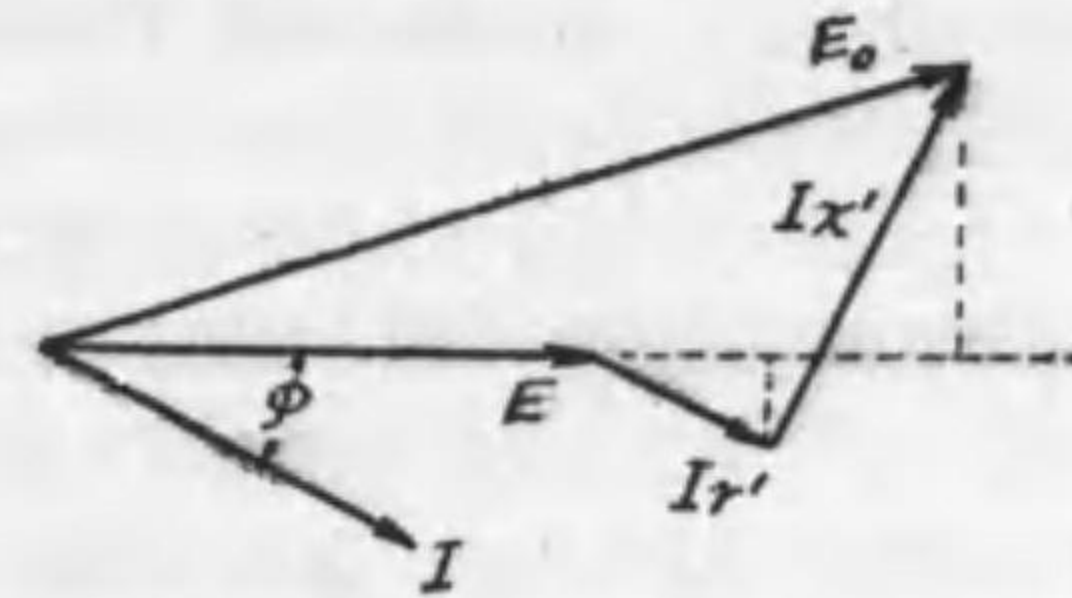
$$= \frac{\sqrt{V_s^2 - \left(\frac{W_s}{I_s}\right)^2}}{I_s}$$

之れを二次側に換算して

$$x' = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \frac{\sqrt{V_s^2 - \left(\frac{W_s}{I_s}\right)^2}}{I_s} \dots\dots\dots(2)$$

變壓器の與へられたる二次負荷電流を I 、與へられたる力率を $\cos \phi$ 、與へられたる二次定格端子電圧を E とし、尙一次端子電圧を不変に保持し、無負荷となしたる時の二次端子電圧を E_0 とす。然らば勵磁電流を閉却すれば第 29 圖の如きベクトル圖を得べし。

第 29 圖



$$\therefore E_0 = \sqrt{(E + Ir' \cos \phi + Ix' \sin \phi)^2 + (Ix' \cos \phi - Ir' \sin \phi)^2} \dots\dots\dots(3)$$

従つて求むる電壓變動率は

$$p = \frac{E_0 - E}{E} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

にして此式に (3) 式にて求めたる E_0 の値を代入すれば可なり。

(5) 變壓器の delta と star との利害を比較せよ。

(大正 3 年 2 級口述 1)

〔解〕 星形結線の利點

1. 中性點を有するに依り之を接地し得。斯くすれば各變壓器の受くる最大電壓を線間電壓の $1/\sqrt{3}$ に保持し得。
2. 繼電器の或るものは中性點接地の星形結線に非ざれば働作せず。
3. 中性點を外線に接続して三相四線式配電を行ひ得。
4. 送電線の弧光接地を消去するに有効なり。

三角形結線の利點

1. 一次も二次も Δ 接続なれば 1 個の變壓器に故障を生ずるも、該變壓器を取去り、殘餘にて尙元の 58% の三相送電を續行することを得。
2. 線路電流は變壓器電流の $\sqrt{3}$ 倍なるに依り、大電流低電壓の場合變壓器の製作容易なり。

3. 第三調波を含むも外線に表はれず。

依つて近年は昇壓の場合に $\Delta-Y$, 降壓の場合 $Y-\Delta$ を使用せる實例多し。

(6) 特別高壓試験用變壓器の電壓を加減する方法を比較評論せよ。
(大正 8 年 2 級 3)

〔解〕 試験用變壓器の電壓を加減するに、普通次の如き三種の方法行はる。

第一、交流電源と試験用變壓器との中間に水抵抗を挿入する方法。

第二、交流電源と試験用變壓器との中間に調整用變壓器を挿入する方法。

第三、交流電源たる發電機の勵磁を調整して其の起電力を加減する方法。

以上の中、第一の方法は抵抗の挿入に依つて試験用變壓器の一次供給電壓の波形を歪ましむるを以て、決して推奨すべきものに非ず。蓋し此の種の變壓器は勵磁電流比較的大にして、正弦波形の端子電壓に對し、電流波形の歪み小なりとせず。而して水抵抗は殆ど全く無誘導性なるを以て、亂波形電流を之に通ずる時は、其の端子電壓も亦電流と同様なる亂波形をなす。故に其抵抗大なる程發電機の正弦波電壓波形と試験用變壓器一次供給電壓波形(従つて二次電壓波形)との差異を甚しからしむ。斯くの如きは電壓波形に關し特に周到の注意を要すべき試験用變壓器に對して決して良策と謂ふべからず。

第二の方法に使用する調整用變壓器は其の二次線輪より多くの tap を出したるものにして、開閉器、摺動接觸器等に依り、其の二次電壓を精密に加減し、以て試験用變壓器の供給電壓を調整するなり。此の方法は供給電壓の波形を歪ましむること少く、且つ試験用變壓器内の一次二次混觸に依る危害を電源側に及ぼさしめざる點に於て有効なり。然れども其の價格比較的廉なるを免れず。調整用變壓

器として單捲變壓器を用ふれば價格幾分減少すべきも、混觸危害防止の効力も亦減殺せらる。尙本方法にては電壓切換の際電路を開かしめず且該變壓器のタップ間を短絡せしめざる爲め特殊の接觸器を要す。誘導電壓調整器を使用すれば可なるも著しく高價となる。

第三の方法は何等特別の裝置を附加することなく、所要の電壓調整を行ひ得べく、其の調整範圍甚しく廣からざる限り、電壓波形を變ずるの虞少なし。但し同一電源より他の定電壓回路に供电する場合に、此の方法を用ひ難きこと勿論なりとす。

之を要するに、其の場合に應じ第三又は第二の方法に據るを良とす。

(7) 試験用變壓器を用ひて機械類の絶縁耐力を試験するに當り低壓側に抵抗を挿入して試験電壓を加減することの好ましからざる主なる理由を挙げよ。
(大正 13 年 2 種一般 3)

〔解〕 鐵心のヒステリシス現象に依り、試験用變壓器の誘導起電力が純正弦波形をなす爲めには、其勵磁電流は高調波を含まざるべからず。依つて變壓器の一次線輪と直列に抵抗を挿入する時は、此直列抵抗内の電壓降下の波形は電流の波形と同一となり、之れと變壓器の一次端子電壓との和なる一次側給與電壓は高調波を含むものなることを必要とす。換言すれば、全電壓に適當なる高調波が存在して、始めて變壓器の起電力波形が正弦波形となり得るなり。普通の場合の如く給與電壓の波形が正弦波(發電機の端子電壓は略正弦波形なり)なる時は、變壓器の起電力は正弦波形たるを得ざる理なり。且つ此場合の變壓器起電力波形の歪の程度は直列抵抗内の電壓降下の大小如何に依つて異なるべし。又高壓側回路にコロナ發生し、或は電纜試験の場合の如く充電電流を必要とする結果、變壓器に負荷電流通ずる時は、此負荷電流が一次直列抵抗内の電壓降下の波形に影響し、従つて誘導起電力の波形に影響すべし。

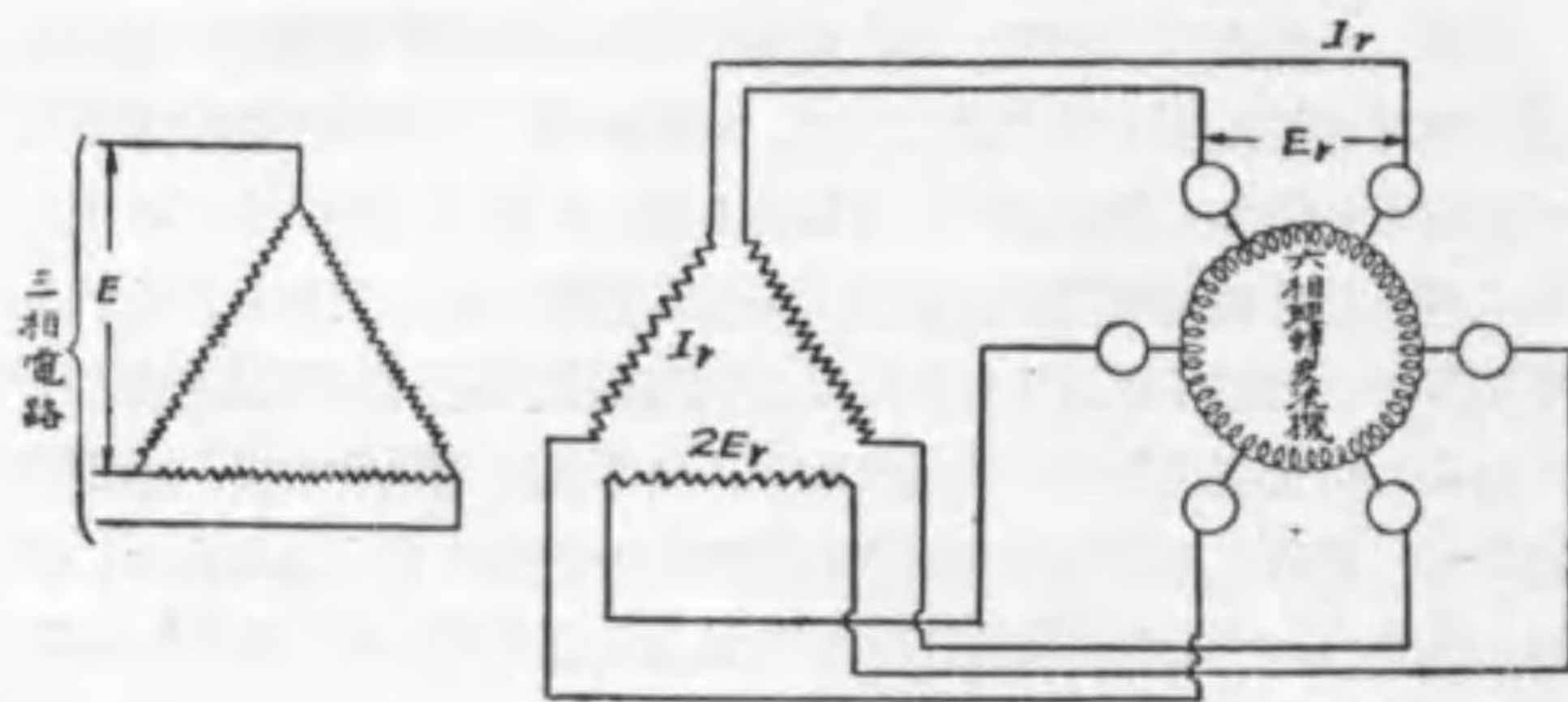
以上の理に依り試験用變壓器の二次電壓を一次側直列抵抗を以つて

加減するときは試験電圧の波形が歪み、且つ其歪の程度は電圧加減の程度又は負荷電流の大小如何に依りて不定なり。従つて其電圧の値が比較的lowくして波高電圧計の使用が困難ならざる場合を除きては、絶縁物の絶縁破壊を直接左右する試験電圧の最大値を決定すること不可能なり。是れ絶縁耐力試験に於て試験用變壓器の一次側に抵抗を挿入し、之れに依つて試験電圧を加減することの好ましからざる理由なり。

(8) 三個の單相變壓器を用ひて六相廻轉變流機を三相同路に接続する方法三種を示せ。(大正3年2級1及大正10年2種1)

〔解〕 對角線結線法。

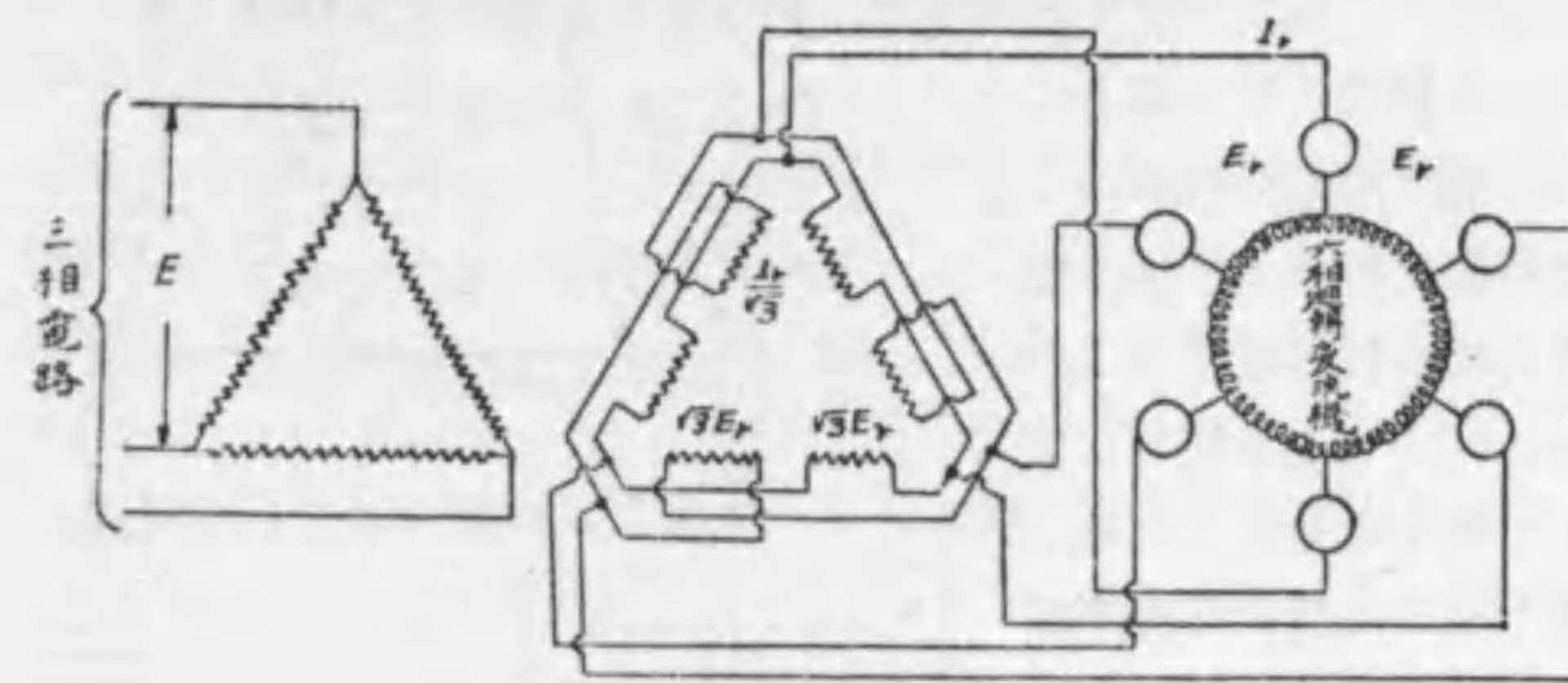
第 3 0 圖



各變壓器の電壓	一次 E	二次 2Er
各變壓器の電流	$\frac{2E_r}{E} I_r$	I_r

二重三角形結線

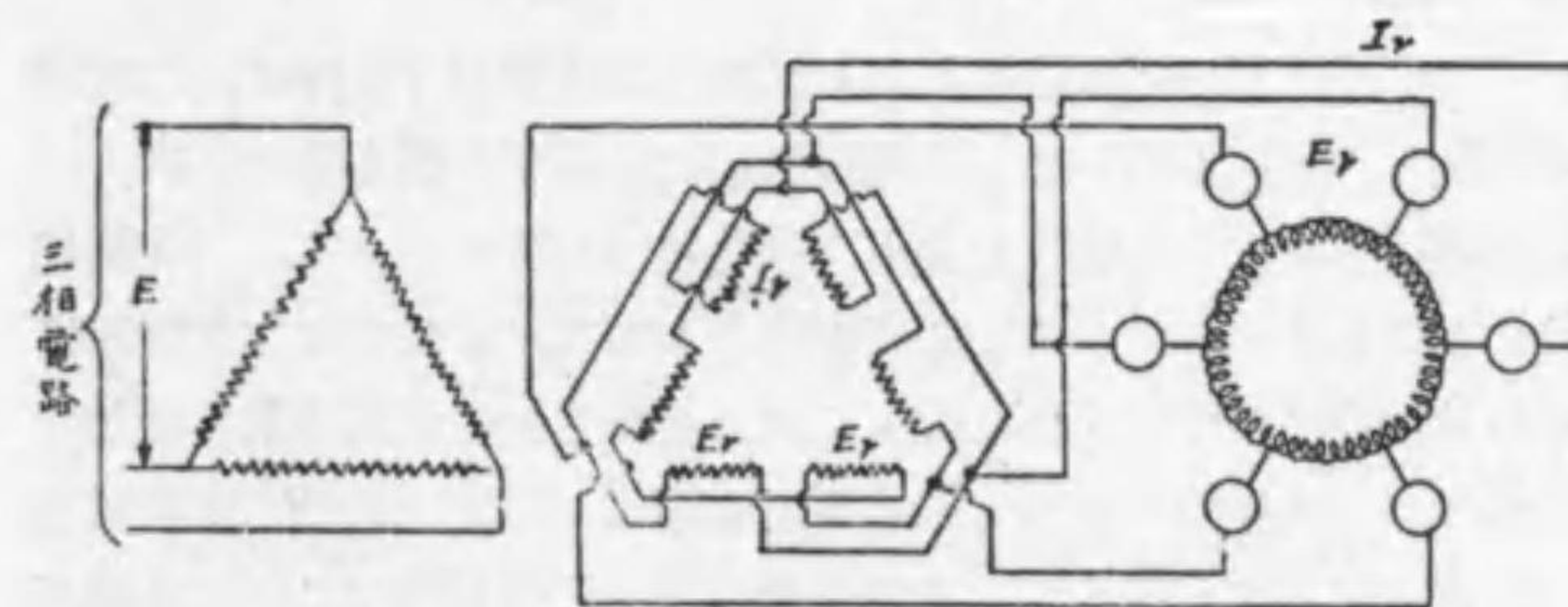
第 3 1 圖



各變壓器の電壓	一次 E	二次 各 $\sqrt{3} E_r$
各變壓器の電流	$\frac{2E_r}{E} I_r$	各 $\frac{I_r}{\sqrt{3}}$

環狀結線法

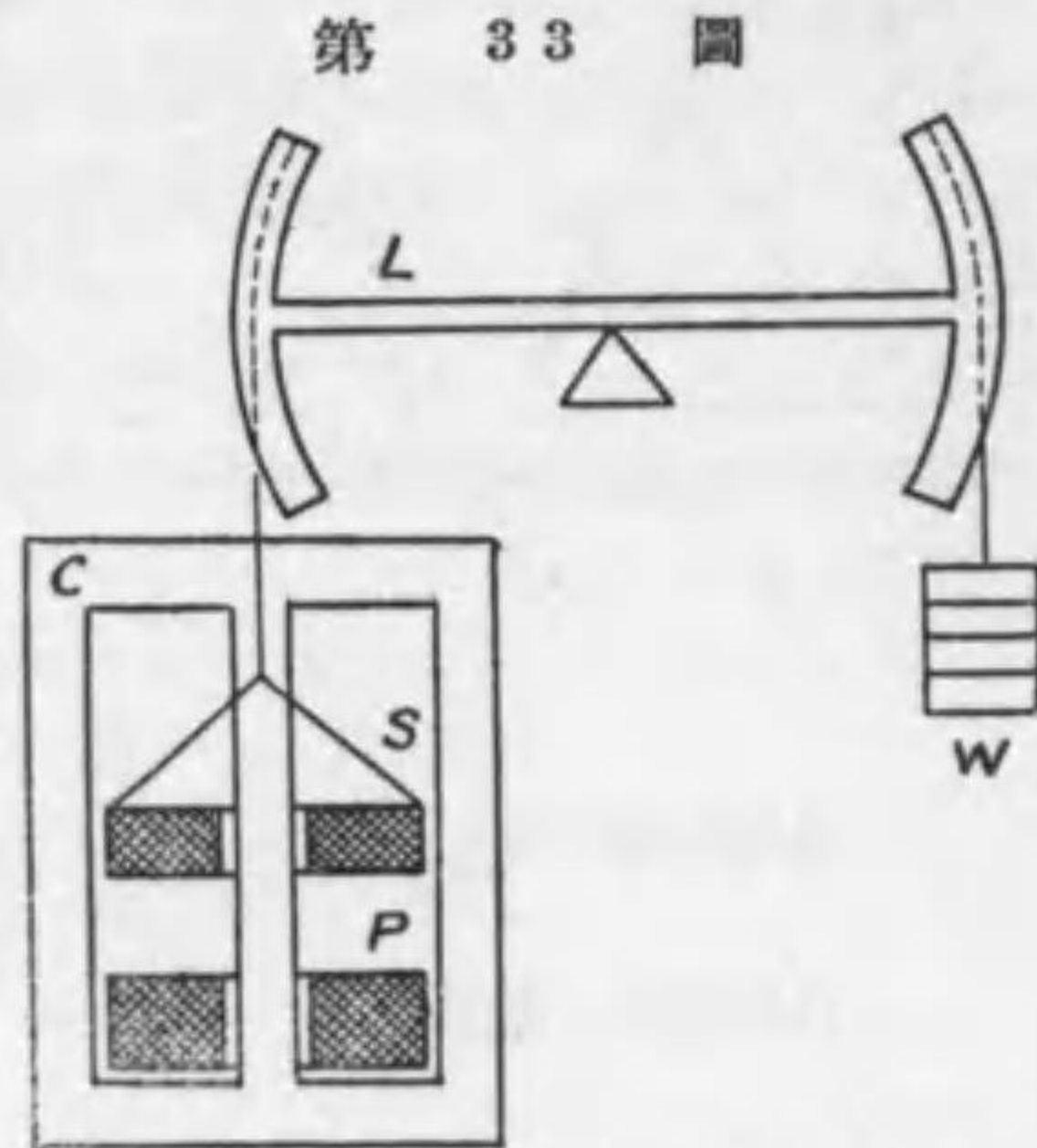
第 3 2 圖



各變壓器の電壓	一次 E	二次 各 E_r
各變壓器の電流	$\frac{2E_r}{E} I_r$	各 I_r

(9) 不変電流變壓器 (constant current transformer) の構造及原理を説明せよ。 (大正 2 年 3 級 3)

〔解〕 圖は不変電流變壓器の構造及其原理を示す略圖なり。P は一次線輪にして鐵心 C の下端に固定せられ、二次線輪は槓杆 L に依りて支持せられ其重量は L の他端に於ける重錘 W に依つて略平衡せしめらる。而して二次線に電流通ぜざる時は二次線輪は下端に下降し、一次線輪と密接するも、二次線輪に電流通ずる時は其電流は一次電流と反對方向に通ずる故兩線輪間に反撥力作用し、電流の値が一定以上となるに及んで二次線輪は漸次上昇する如くに調整せらる。



今二次線に直列に接続されたる電燈の個数を減ずる時は、二次電流増加し、之れが爲めに二次線輪は更に上昇す。然る時は一次、二次兩線輪を鍵貫する磁束を減じ二次起電力減少し又一次、二次兩線輪の漏洩リアクタンスによる電壓降下も増加す。依つて二次電流は略以前の値に減ず。之れに反し二次に接続されたる電燈数を増加する時は、二次線輪下降して二次電壓を増加し、二次電流の値を略規定の値に保持す。斯くて二次負荷抵抗の一定の範圍内に於ては其抵抗の値如何に拘らず電流は略一定に保たるものなり。

(10) 三相三線式變電所に變壓器バンクを増設し、既設のものと併行使用せむとする際の注意事項を問ふ。

(大正 15 年 2 種口述 3)

- 〔解〕 使用状態に結線したる變壓器バンク三個一組として
- A 一次定格電壓が既設のものと同なる事
 - B 變壓比が既設のものと同なる事
 - C 等價抵抗及び等價リアクタンスが夫々容量の逆比なる事
 - D 二次の位相が既設のものと同じなる様な組合せなる事
 - E 相廻轉が既設のものと同じすべき事

第八章 誘導電動機

(1) 星形に結合せられたる三相誘導電動機あり或る負荷に對して V ヲルトの電壓にて $\cos \theta$ なる力率を以つて I_0 アムペアを取り s なる滑りを以つて運轉す。若し一次各相の抵抗を r_0 オームなりとせば此時の出力及能率の近似値を求めよ。但し銅損は L ワットにして摩擦及風損 (windage) は之を略す。(大正 3 年 2 級 3)

〔解〕 誘導電動機の入力を P とすれば

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta \quad \text{ワット}$$

従つて二次入力を P_1 とすれば

$$P_1 = P - (3I^2 r_0 + L) = \sqrt{3} VI \cos \theta - (3I^2 r_0 + L) \quad \text{ワット}$$

故に二次機械的出力 (摩擦及風損を含む) を P_2 とすれば

$$P_2 = (1-s) P_1$$

依つて風損及摩擦を閉却する時は

$$\text{電動機出力} = P_2 = (1-s) P_1$$

$$= (1-s) [\sqrt{3} VI \cos \theta - (3I^2 r_0 + L)] \quad \text{ワット}$$

$$\text{能率} = \frac{(1-s) [\sqrt{3} VI \cos \theta - (3I^2 r_0 + L)]}{\sqrt{3} VI \cos \theta}$$

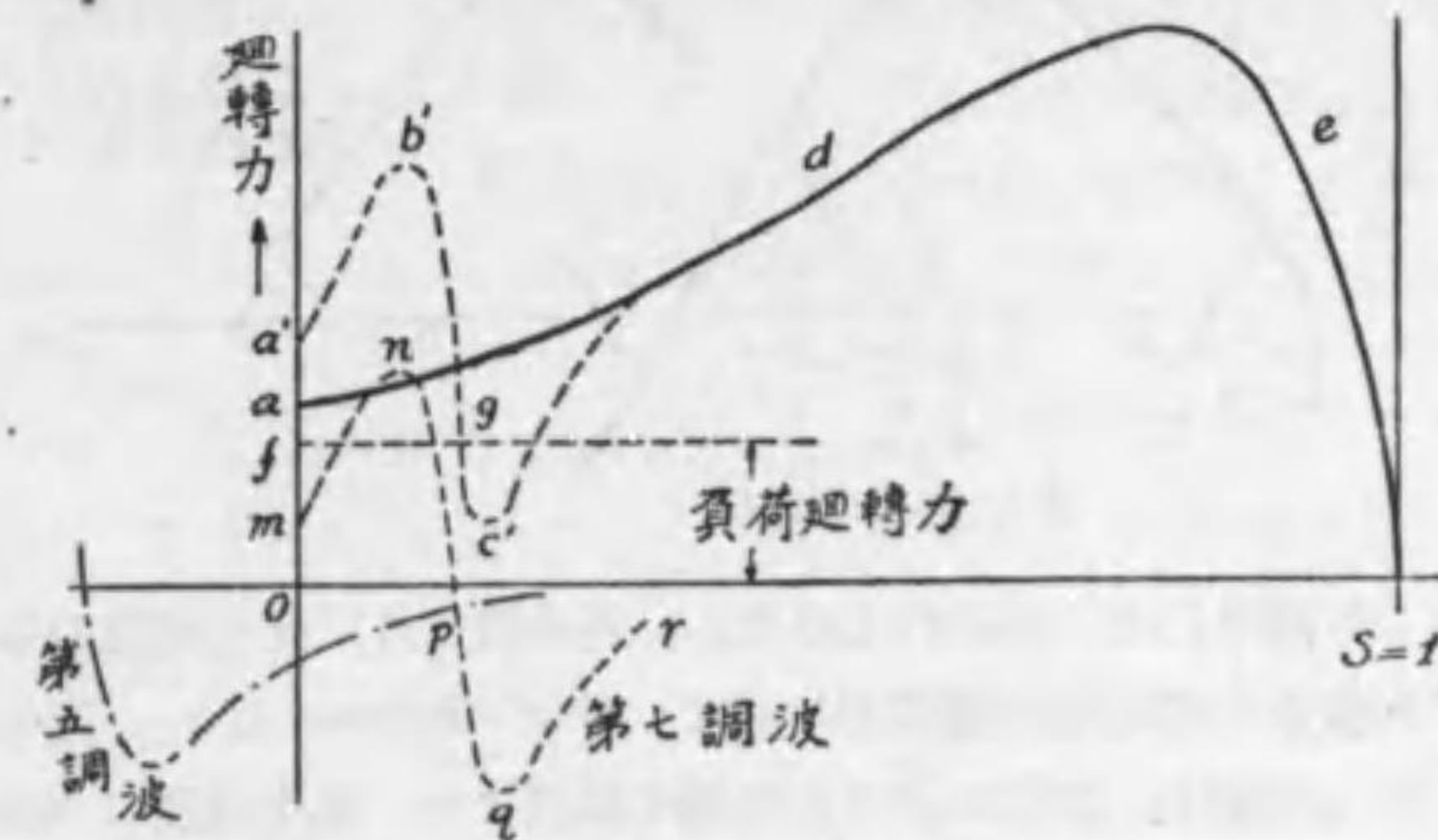
(2) 或負荷を以て多相誘導電動機を起動せしむるに際し、同期速度よりも遙に低き速度にて安定に運轉し、それ以上に昇らざることあり、其の原因を詳説せよ。

若し三相誘導電動機なりとせば此低速度は同期速度の凡そ幾分の一に當ることを最も多しとするや。(大正 12 年 1 種 3)

〔解〕 本題の如き crawling (假に膠着と譯す) の現象は其の膠着速度以上に於ては負荷の要求する廻轉力が電動機の發生する廻轉力より大にして、膠着速度以下に於ては要求廻轉力が發生廻轉力

より小なるが如き場合に起るものなり。第 34 圖實線 ade の如き典型的廻轉力曲線の電動機に於ては、斯くの如き點は同期速度附近以外に存すること極て稀なり。同期速度より遙に低き膠着速度を有するは、靜止状態の附近に於て廻轉力曲線に $a'b'c'$ の如き不規則なる凸凹あるに依る。此の種の凸凹に對して、負荷が一定廻轉力 fg を要求するものとせば、 $b'c'$ と fg との交點 g に於て安定運轉をな

第 34 圖



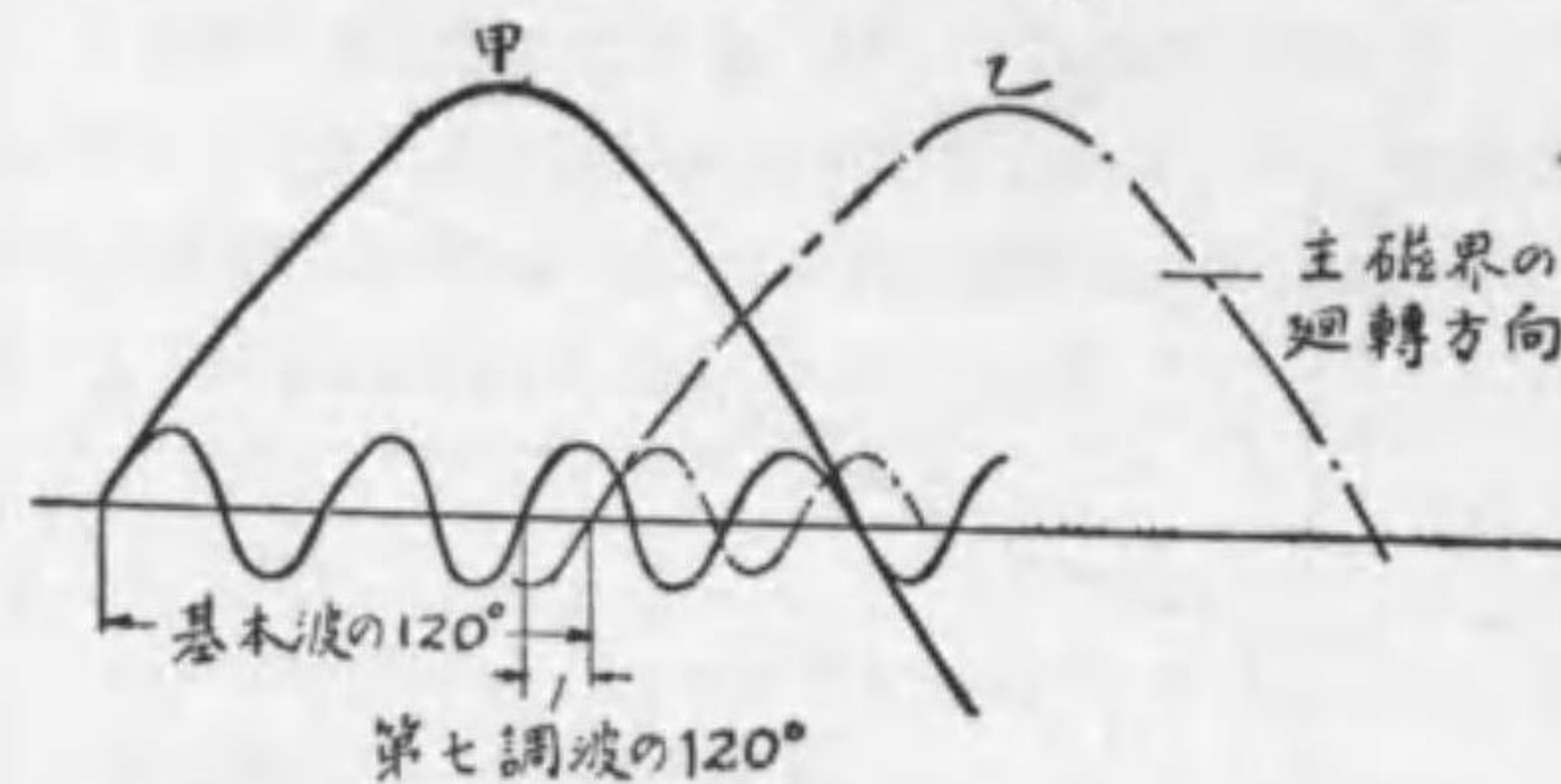
し、それ以上に加速すること能はざるべし。

此の如き廻轉力曲線の凸凹は電動機の廻轉磁界の波形 (給與電壓の波形に非ず) が純正弦波をなさず、 n 次の高調波を含む場合に屢實現す。其の理次の如し。 n 次高調波の同期廻轉速度は基本波に對する同期速度の n 分の 1 に相當するが故に、 $mnpqr$ の如き廻轉力曲線を生ず。此の $mnpqr$ が基本波の廻轉力に加はり、合成廻轉力曲線は $a'b'c'de$ の如く同期速度の $\frac{1}{n}$ に於て凸凹を生ず。

三相電動機の場合には、此の種の膠着速度は同期速度の七分の一附近に在ること多し。次に之を説かん。元來各相勵磁電流の作る磁界の分布は正弦波形を取るを以て理想とすれども、多くは多少の第三、第五、第七、第九、第十一調波等を含む。原則として次數低き調

波程振幅大なり。然れども此の場合、第三調波、(第九第十五調波等も)は各相合成して殆んど廻轉磁界を作らず、縦令之を作るも其の強さは一般に微弱なり。第五調波(第十一、第十七調波等も)は基本波と反対方向の廻轉磁界を生ず。基本波と同一方向に廻轉磁界を生ずるは第七調波(第十三、第十九調波等も)なり。

第 35 圖



第 35 圖甲乙は一相の作る磁界が、基本波の外、第七調波のみを有すと假定して之を分解圖示したる space diagram なり。圖中甲相の第七調波は、空間に於て乙の第七調波より、第七調波の space angle にて 120° だけ左方にあり。 $(120^\circ \times 7 - 360^\circ \times 2 = 120)$ 。而して甲相の第七調波磁界は時間に於ても亦(當然基本波と同じく)乙相の第七調波より 120° 進みたる相に在り。(乙相、丙相の関係亦之に同じ。)故に第七調波の合成磁界は主磁界と同一方向に之れが七分の一の速度を以て廻轉し、之に相應する廻轉力を發生す。

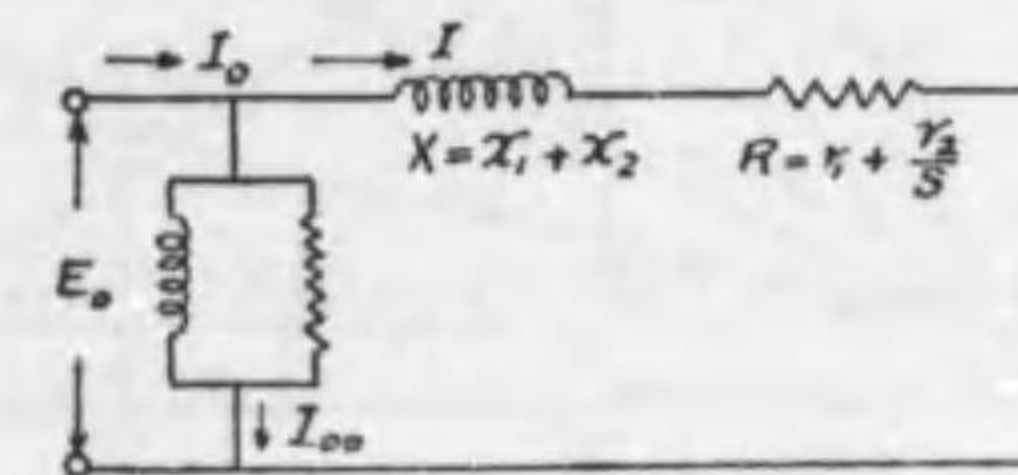
以上と同様の論法に依り、第五調波に關しては、甲相が乙相より 120° 右方に占位し、時間に於ては基本波と同じく甲相が乙相より 120° 進むことを知り得べし。故に第五調波は第 2 圖右より左へ、即ち基本波と反対方向に廻轉力を生ず。而して第三調波に關しては各相共同一の space に同一の大きさの磁界を作るを以て、結局单相誘導電動機と同様の作用をなし、第三調波の同期速度(即ち定格同期速度の $\frac{1}{3}$)附近に於ける正の方向の廻轉力は餘り大ならず。

之を要するに、三相誘導電動機は速度膠着の現象は第七調波のみ存在する時、若しくは第七の外第五及第三調波等を併有する時、共に同期速度の約七分の一の附近に於て生ずべき事明なり。

(3) 三相誘導電動機の特性を表示する圓圖法(circle diagram)を説明せよ。(明治 44 年 2 級 3)

〔解〕 多相誘導電動機の各相は圖の如き等價回路を有する變壓器を以つて之を代表する事を得。

第 36 圖



但し x_1 = 一次捲線(各相)のリアクタンス

x_2 = 一次の周波數に對する一次に換算したる二次捲線(各相)のリアクタンス

r_1 = 一次捲線各相の抵抗

r_2 = 一次に換算したる二次捲線各相の抵抗

s = 廻轉子の滑り

● 依つて

$$I = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{E_0}{X} \times \frac{X}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

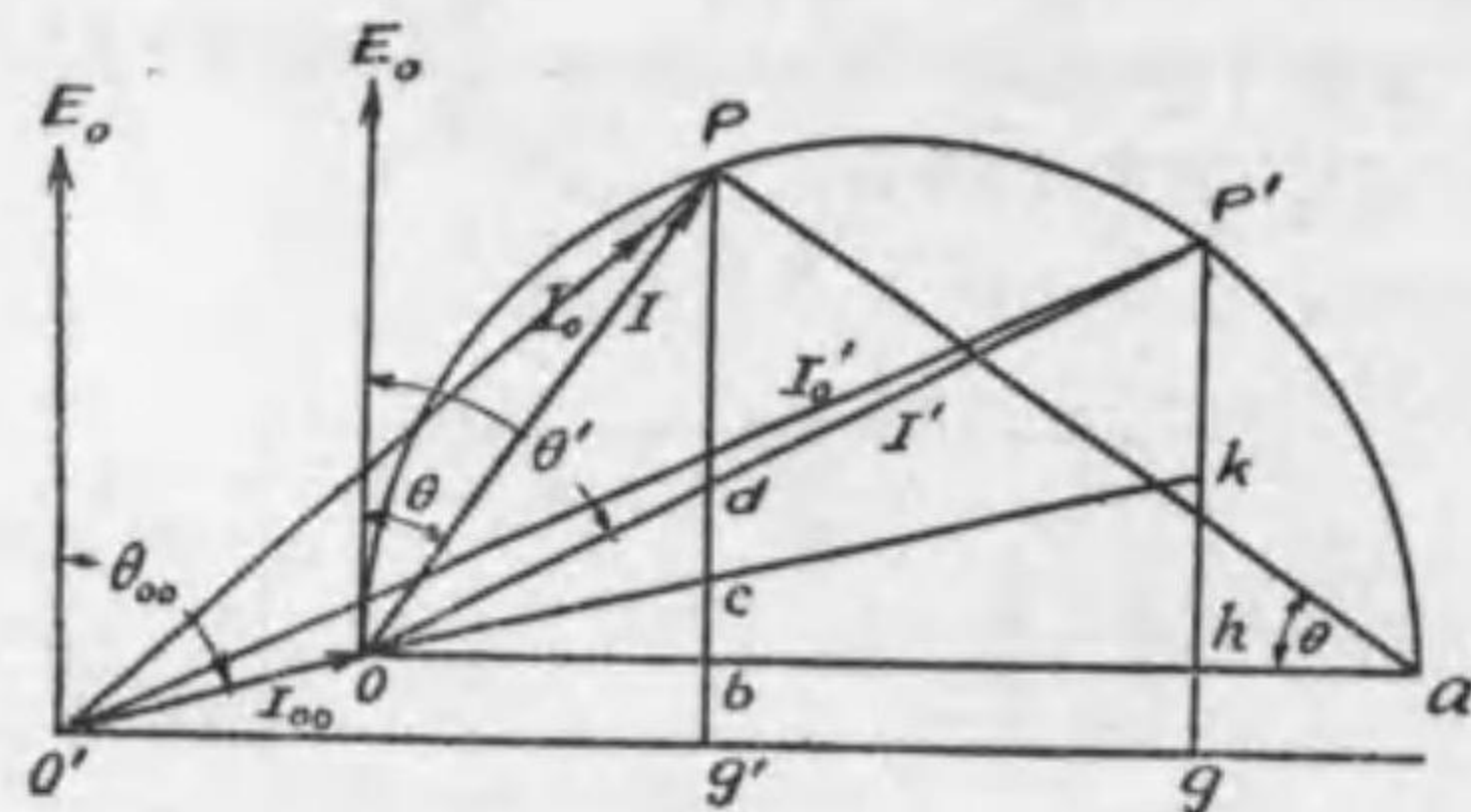
$$= \frac{E_0}{X} \sin \theta \quad \text{但し } \theta \text{ は } E_0 \text{ と } I \text{ との相差角。}$$

故に負荷電流 I は第 37 圖の如く Oa ($= \frac{E_0}{X}$) を直径とする圓 OP $P'a$ の動徑 OP を以つて表はす事を得べし。而して勵磁電流の値を I_{00} 、其の力率を $\cos \theta_{00}$ とすれば一次電流 I_0 は I_{00} と I とのベクトル和即ち $O'P$ を以つて表はさる。

今 $I_0 = O'P'$ を固定子が静止せる際に通ずる一次電流とすれば gh は一相の鉄損を表はし hP' は一相の一次及二次銅損を表はす。何となれば I_{00} に依る小許の銅損を閉却すれば

$$\text{鐵損} = E_0 I_{00} \cos \theta_{00} = E_0 gh$$

第 37 圖



又廻轉子が静止せる場合の負荷は總て一次及二次の銅損に消費さる Δ を以つて

$$\text{銅損} = E_0 I' \cos \theta' = E_0 hP'$$

hP' を k 點に於て

$$hk : kP' = r_1 : r_2$$

の比に二分する時は hk 及 kP' が夫々一次二次一相の銅損を表はす。

任意の負荷電流 I が通ずる場合には

$g'b =$ 鐵損

$bc =$ 一次銅損

$cd =$ 二次銅損

$dP =$ 廻轉子出力 (一相當りの風損及摩擦損を含む)

を表はす。何となれば

$$Oa = \frac{\overline{OP'}^2}{Oh} = \frac{\overline{OP}^2}{Ob}$$

$$\therefore \frac{Ob}{Oh} = \frac{\overline{OP}^2}{\overline{OP'}^2} = \frac{I^2(r_1^2 + r_2^2)}{I'^2(r_1 + r_2)} = \frac{\text{電流 } I \text{ に対する銅損}}{\text{電流 } I' \text{ に対する銅損}}$$

$$\text{然るに } \frac{bd}{hP'} = \frac{Ob}{Oh}$$

$$\text{故に } \frac{bd}{hP'} = \frac{I \text{ に対する銅損}}{I' \text{ に対する銅損}}$$

即ち bd は電流 I に対する一次、二次總銅損に等し。而して C は bd を $r_1 : r_2$ の比に二分するを以つて

$bc =$ 一次銅損

$cd =$ 二次銅損

を表はす。

$g'P$ は此場合に於ける總入力を表はすこと明かなるを以つて之れより bg' 即ち鐵損と db 即ち銅損とを減じたる dP は廻轉子出力を表はす。

以上に述べたる處を列挙すれば

$OP =$ 負荷電流 $O'O =$ 勵磁電流

$O'P =$ 固定子總電流 $\cos P'O'E_0 =$ 力率

$g'P =$ 固定子入力 $g'b =$ 鐵損

$bc =$ 固定子銅損 $cd =$ 廻轉子銅損

$cP =$ 廻轉子入力 (従つて同期ワットに於ける廻轉力)

$dP =$ 廻轉子出力 (摩擦及風損を含む)

$$\frac{cd}{cP} = \frac{\text{廻轉子銅損}}{\text{廻轉子入力}} = \text{滑}$$

$$\frac{dP}{cP} = 1 - \frac{cd}{cP} = (1-s) \quad [\text{即ち同期速度を } 1 \text{ としたる時の速度}]$$

(4) 三相誘導電動機あり、之れを實際に負荷せしむることなく簡單なる試験に依つて其特性を定むる方法を略述せよ。

(大正4年3級3及大正10年2種)

〔解〕 三相誘導電動機に於ては、

 I_{00} ... 一相の無負荷電流 (値及相) X ... 一次に換算したる Y 接續と假定せるリアクタンス R_1 ... 同上の一次抵抗 R_2 ... 同上の二次抵抗

を決定することを得れば、之れに依つて circle diagram を描き以つて電動機の諸特性を求むることを得るものなり。

而して I_{00} は電動機を無負荷運轉することに依り、又 X, R_1, R_2 は電動機の拘束試験及一次抵抗の測定に依りて決定することを得。次に之れ等の試験方法及 I_{00} 其他の電動機諸定数の算出法を略述せん。

I 無負荷試験 定格周波数の三相電壓を加へて電動機を無負荷運轉し、其電壓を定格電壓の上下に變化せしめ、各電壓に相當する電流及電力を測定す。此結果を曲線に表はし、其曲線上定格電壓 E_0 に對する電流及電力を求む。然らば此電流は即ち I_{00} にして、又其電力を W_0 とすれば $\frac{W_0}{3}$ が一相の無負荷損失、 $\arccos \frac{W_0}{\sqrt{3} I_{00} E_0}$ が一次電壓に對するの遅角を示す。

II 拘束試験 電動機の廻轉を拘束し、定格周波数の低電壓 E を加へ、之れに對する電流 I 及電力 W を測定す。然らば

$$Z = \frac{E}{\sqrt{3} I}$$

$$R = (R_1 + R_2) = \frac{W}{3I^2}$$

$$\text{従つて } X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

實際には E を種々に變化し、各電壓に對する I 及 W を測定し、其の都度上式より求めたる抵抗及リアクタンスの平均値を以つ

て R 及 X とす。

III 一次抵抗の測定 一次の三端子中の任意の二端子間に直流低電壓 E を加へ之れに對する電流 I を測定す。然らば

$$R_1 = \frac{E}{2I}$$

實際の測定には E を種々に變化して其の都度 I を求め、又端子を順次に取り換へて同様の測定を行ひ、其の結果の平均を以つて R_1 とす。

(5) 誘導電動機の間隙を増加せば其の結果如何。

(大正9年3級1)

〔解〕 第一に磁化電流を増加す。誘導電動機の鐵心部は其の磁束密度低きを常とするが故に、有効磁束を生ずるに必要な起磁力の大部分は空隙の磁氣抵抗に打勝つ爲に費さる。故に空隙を n 倍にすれば、勵磁電流も亦殆んど n 倍となる。其の結果一次合成電流を増加し、銅損に依る發熱を大にし、能率を劣化す。又無効電流の増大に依り力率の低下を見るべし。

第二に固定子と廻轉子との鐵心の表面が運轉中摩擦するの故障を少くすることを得。取附法の不當、軸承の摩擦、軸の彎曲等に依つて生ずる兩鐵心摩擦の障害が、峻嚴なる負荷の状態に於て長時間運轉する場合の故障の大部分を占むるを思へば、此の利點は實際上輕々に看過すべからざるものなり。

第三に齒端に於ける脈動鐵損を稍小にす。誘導電動機に特有なる固定子並に廻轉子齒端の脈動鐵損は空隙の増大に依つて多少減少せらるべし。廻轉子(又は固定子)の齒が固定子(又は廻轉子)の齒に向ひたる時の最大密度と固定子(又は廻轉子)の溝に向ひたる時の最小密度との差が幾分減少すべければなり。

第四に漏洩リアクタンスに變化を生ずべし。漏洩リアクタンス、中 slot leakage 及 coil end leakage は殆ど空隙の大小に無關係なれ

ども, zigzag leakage 及 belt leakage は空隙の大きさに反比例す。然れども或る限度以上に空隙を大にすれば, 空隙其物を通過する漏洩磁束 (著者に依りては之を tooth tip leakage と稱すれども, 誘導電動機に於ては, 多くは之を計算に取らず) が増加すべし。故に空隙の増加に依り, リアクタンスが減るか増加するかの問題は, 結局設計の如何及び空隙増加の程度如何に依りて決定せらる。今假りに減少するものとすれば, 最大電流 (圓線圖の直徑) を増し, 過負荷耐量を増大すべし。

(6) 二重籠型誘導電動機 (double squirrel-cage induction motor) の構造を述べ其特性を略述せよ。(大正9年2級1)

〔解〕 普通の誘導電動機固定子の内側に廻轉子鐵心を有し、之に内外二個の籠型巻線を施したるものを二重籠型誘導電動機と云ふ。是等二つの籠型巻線は普通同数の導線を有し、同一の溝に兩籠の導線を収む。即ち外側籠は廻轉子鐵心の表面に接近して之を配置し、内側籠は之と適當の距離を保ち溝の底部に位す。且又外側籠には高抵抗の導線を使用し、内側籠には低抵抗の導線を使用す。構造斯くの如くなるを以て、同一周波數に對するリアクタンスは外側籠の方内側籠のものより遙に小なり。

今此の電動機の固定子に電壓を供給すれば、内外の籠型巻線に夫々二次電流を生じ、廻轉力を發生すべし。起動の初頭に於ては、二次周波數は一次供給周波數に等しきを以て、内側籠のリアクタンスは其だ大となり。之に流るゝ電流小なり。然れども外側籠のリアクタンスは比較的小なるが故に、相當大なる電流を通じ、其の高抵抗に依り大なる起動廻轉力を生ず。廻轉子加速するに従ひ、二次起電力漸次減少するが故に、外側籠の電流は漸次減少し、其の廻轉力も亦減少すれども、内側籠のリアクタンスは二次周波數に比例して減少し、二次起電力の減少するに拘らず、相當大なる電流を通ず。然かも其の抵抗は比較的小なる滑りに對して、大なる廻轉力を生ずる

に適するが如き値を有す。

即ち二重籠型電動機は、其の起動時に際し靜止より同期速度附近迄加速するに當り、略々二個の最大値を有する合成廻轉力を發生す。其の最大値の初めものは外側籠に基因し、比較的低速度に在り。其の終のものは内側籠に基因し、同期速度の附近にあり。而して是等二つの最大値間の廻轉力の減少はなるべく小なる様設計するを良とすること勿論なり。之を要するに設計宜しきを得たる此の種の電動機は起動に際し、靜止より全速度に至る迄極めて佳良なる廻轉力を持續するを以て其の特性となす。

(7) 誘導發電機 (Induction generator) と同期發電機 (Synchronous generator) とを比較して其の得失を略述せよ。

(大正12年2種2)

〔解〕 簡單の爲兩者の得失を表示する事下の如し。

考ふべき事項	誘導發電機	同期發電機
直流勵磁機	不 要	要
並行運轉に於ける同期檢定	不 要	要
原動機の調速器	不 要	要
配電盤	簡 單	複 雜
單獨運轉	不 能 (即ち常に他の同期發電機を要す)	可 能
回路の力率を低下する作用	有 り(不可)	無 し
空 隙	小(取扱ひに不便)	大

第九章 誘導電動機 の 速度

(1) 多相誘導電動機の滑りと廻轉子銅損との関係を表はす式を擧げ之を説明せよ。(大正3年1級2及大正9年1級1)

〔解〕 今 E_2' を以て多相誘導電動機静止の際に於ける一相の二次起電力とすれば、滑り s に於ては、一相の二次起電力は sE_2' なり。又 x_2 を以て一次周波數に於ける一相の二次リアクタンスとすれば、滑り s に於ては一相の二次リアクタンスは sx_2 なり。故に I_2 を二次電流、 r_2 を一相の二次抵抗とすれば、廻轉子一相の銅損は次式にて表はさる。

$$I_2^2 r_2 = \frac{s^2 (E_2')^2 r_2}{r_2^2 + (sx_2)^2}$$

是れ一相の銅損と滑りとの関係を示す本題所要の式なり。尙少しく此の式を考察するに、二次力率は

$$\cos \theta_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}}$$

なるを以て

$$\begin{aligned} \text{一相の廻轉子銅損} &= I_2^2 r_2 = s E_2' I_2 \cos \theta_2 \\ &= s \times (\text{一相の廻轉子入力}) \end{aligned}$$

故に多相電動機の廻轉子に於ける總銅損は、其の總廻轉子入力の s 倍なるを知る。

(2) 多相誘導電動機の二次抵抗を増加する時は特性曲線を如何に變化するや。(大正1年2級3)

〔解〕 多相誘導電動機の二次周波數は滑りに比例するものなり。従つて廻轉子が静止せる場合即ち滑り1に於ける二次一相の起電力及リアクタンスを夫々 E 及 x とすれば滑り s に於ける起電

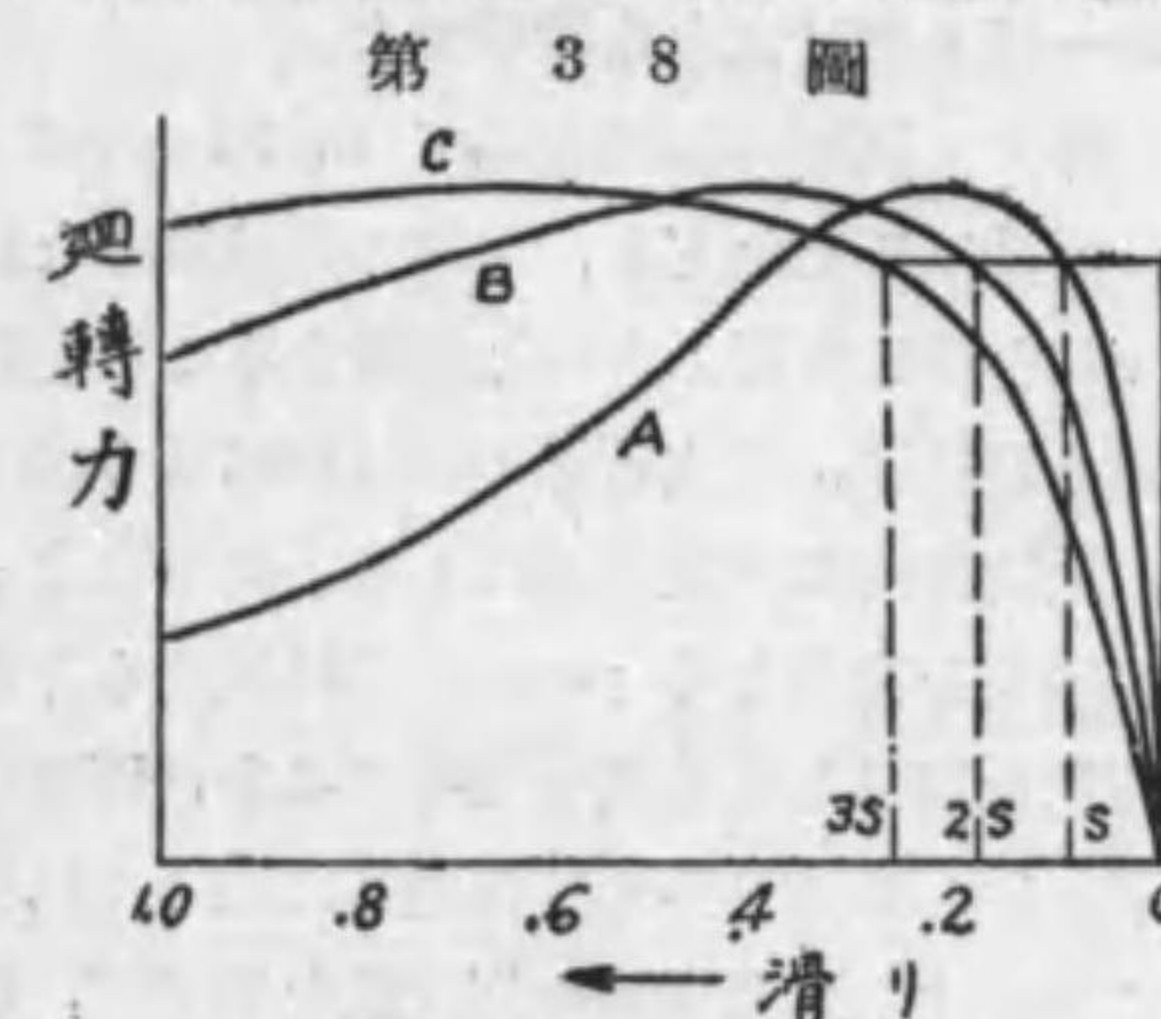
力及リアクタンスは夫々 sE 及 sx となる。依つて二次一相の抵抗を r とすれば

$$\text{二次電流} = \frac{sE}{\sqrt{(sx)^2 + r^2}} = \frac{E}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{r}{s}\right)^2}}$$

$$\text{二次力率} = \frac{\frac{r}{s}}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{r}{s}\right)^2}}$$

にして共に $\frac{r}{s}$ の函數なるべく、抵抗が増加する場合滑りが之れに比例して増加すれば二次電流及二次力率の値は共に變化せざるものなり。換言すれば多相誘導電動機の二次負荷電流及力率の對速度特性曲線 (speed characteristic curve) は二次抵抗の値に比例して滑りの多き方に推移すべし。依つて二次電流と二次力率の函數たる廻轉力、廻轉子入力、廻轉子能率等廻轉子に関する對速度特性曲線は總て抵抗に比例して推移す。従つて多相誘導電動機の一次電流、一次力率、能率等の特性曲線も亦二次抵抗の増加に伴ひて滑りの多き方に推移するものなり。(但し勵磁電流及勵磁損失は二次抵抗の値には略無關係なるを以つて一次に関する特性曲線の推移は二次抵抗の値に正比例せざる事勿論なり。)

今二次抵抗の値が特性曲線に及ぼす影響中實用上最も重大なる關係を有する廻轉力に就て此關係を圖示すれば



第38圖の如く、二次抵抗 r の時の特性曲線がAの如きものなる時は二次抵抗 $2r$ の時の特性曲線はBの如く又二次抵抗の値 $3r$ の

時の特性曲線は C の如く二次抵抗の値に比例して滑りの多き方に推移するものなり。

(3) 誘導電動機あり廻轉子捲線の接続はデルタ形にして滑動環 (slip ring) 間にて測定せる廻轉子捲線の抵抗 R なり。同一のトルク (torque) に対し滑り (slip) を二倍にするには如何なる抵抗を滑動環に星形に挿入すべきや。 (大正 2 年 2 級 2)

[解] 滑動環間にて測定せる廻轉子捲線の抵抗 R なる故に星形に置換せる廻轉子一相の抵抗は $\frac{R}{2}$ なり。従つて同一トルクに對して滑りを二倍にする爲めには $\frac{R}{2}$ の抵抗を星形に接続して滑動環間に挿入すればよし。

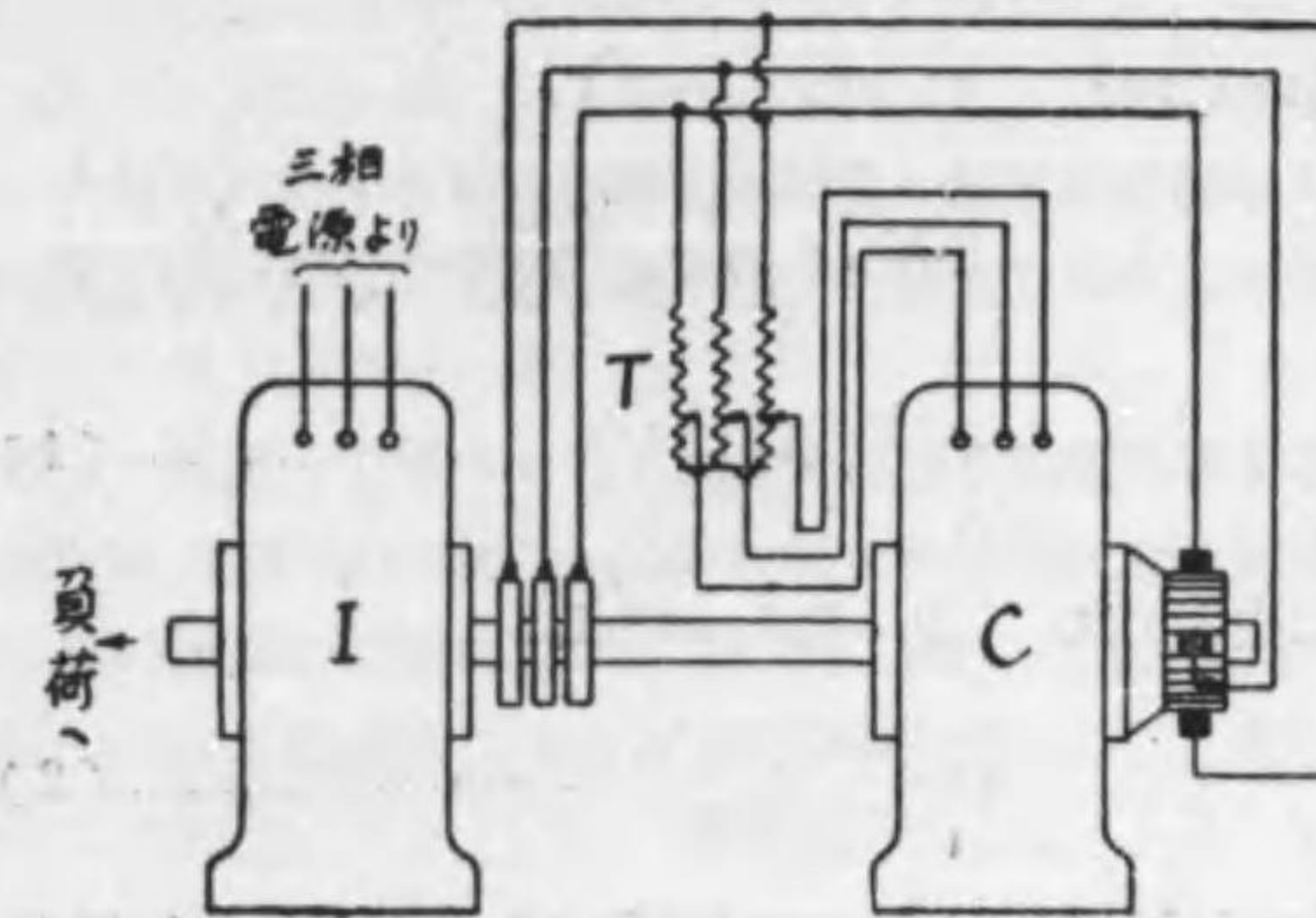
(4) 整流子電動機 (commutator motor) を用ひて三相誘導電動機の速度を加減する方法の一を挙げ之を説明せよ。

(大正 5 年 2 級 1)

(5) 容量大なる三相誘導電動機の速度を經濟的に調整する方法の一種を挙げ之れを説明せよ。 (大正 14 年 1 種 2)

[解] 誘導電動機を以て multi-speed を得るには、極數變換法、縦續法等あれども、本題の速度調整とは相當廣範圍の variable speed を得るを謂ふものと解釋すること妥當なり。variable speed を得る爲には、二次電路の抵抗器に依り滑りを調整する方法あれども、抵抗器内の熱損失大にして不經濟なり。結局 (a) 此の抵抗器内の熱損失を有利なる power に轉換する方法を講ずるか、(b) 一次周波数を調整して速度を變化するか、兩者何れか一を選ばざるべからず。(b) の方法中船舶推進等に在りては發電機其物の周波数を隨意に調整す。又發電機の周波数を變ぜず、中間に整流子式の簡單なる周波數變換機を置く方法あり。茲には前述(a)の一種即ち第 39 圖の如く誘導電動機 I の二次滑動環と、同一軸上に直結したる三相整

第 39 圖



流子電動機 C とを電氣的に接続する方法を説明せむ。此の方法に在りては、二次抵抗に於て、空しく抵抗器に失はるべき power が C より機械的の power として共通軸に供給せらるゝを以て、最も經濟的なり。

圖中 T は變壓器にして、其の變壓比を調整することに依り整流子側の逆起電力の大きさを加減し得るなり。又整流子刷子の位置を調整すれば、每相の整流子逆起電力 (正方向は電流と反對) E_c と滑動環電壓 sE_2 (E_2 は I 機の二次靜止電壓、 s は其の滑りなり) との位相の關係を適當に變ずることを得。依つて E_c が sE_2 と同一の位相を取る如く刷子の位置を定め、 sE_2 と E_c との合成電壓が廻轉子電路に於て適當の二次電流 I_2 を生ぜしむる様、T に依つて E_c を調整するなり。假りに $E_c = kE_2$ と置けば、前記の刷子位置に於て廻轉子電路の合成電壓は $(s-k)E_2$ となる。又廻轉子電路の總抵抗及リアクタンス (T の電路を閉却す) を夫々 r_2 、 x_2 とすれば

$$I_2 = \frac{(s-k)E_2}{\sqrt{r_2^2 + s^2 x_2^2}}$$

$$\text{又} \quad \cos \widehat{E_2 I_2} = \cos \widehat{E_c I_2} = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + s^2 x_2^2}}$$

$$\begin{aligned} \text{故に C 機の入力は} \quad P_c &= E_c I_2 \cos \widehat{E_c I_2} \\ &= k E_2 \times \frac{(s-k) E_2}{\sqrt{r_2^2 + s^2 x_2^2}} \times \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + s^2 x_2^2}} \\ &= \frac{k(s-k) E_2^2 r_2}{r_2^2 + s^2 x_2^2} \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又 I 機の二次入力} \quad P_2 &= E_2 I_2 \cos \widehat{E_2 I_2} \\ &= \frac{(s-k) E_2^2 r_2}{r_2^2 + s^2 x_2^2} \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

故に C 機の入力は常に I 機の二次入力の k 倍なり。即ち整流子電圧 E_c が I 機の二次静止電圧の k 倍となる如く T の變壓比を加減せば、主誘導電動機 I の二次入力の k 倍が整流子電動機 C に電力として供給せられ、(之に C 機の能率を乗ずれば C 機の機械的出力となる)。I 機の二次入力の $(1-k)$ 倍が直接 I 機より軸に傳はる機械的出力(二次銅損を含む)となる。而して T の變壓比調整に依り k に或る値を與へたる時、無負荷運轉をなさしめば、第(2)式 P_2 が恰も I, C 兩機の損失に等しくなる如き滑り s に於て運轉す。即ち無負荷の s は k より極めて僅か大となる。負荷の要求する運轉力大となるに従ひ、s は漸次増大し $s-k$ が恰も所要の P_2 を與ふるが如き値に落着すべし。

例へば同期速度毎分 500 廻轉の 100 馬力誘導電動機に 30 馬力の整流子電動機を直結し、其の整流子電圧を主誘導機二次静止電圧の 30% まで調整し得る如くすれば、k の値を零より 30% 迄漸次増大することに依り軸の速度は無負荷に於て例へば毎分 495 ($500 \times .99$) 廻轉位より 346 ($350 \times .99$) 廻轉位まで變化すべし。k=30% に於て負荷運轉力大となり、C 機が軸に 30 馬力弱を傳ふるに至れば、軸の速度は毎分 346 廻轉よりも更に、二パーセント以上減じ、I 機

より直接 70 馬力を軸に傳ふ。總出力は即ち 100 馬力弱なり。k の極めて小なる値に對して恐らく毎分 480 廻轉位にて、殆んど I 機のみより約 100 馬力を軸に傳ふることを得。即ち此の組合せの特長は同一一次電流に對する綜合廻轉力が速度の減ずるに従ひ大となり、速度の廣範圍に對して常に一定の出力を發生し得ることなり。

(6) 極數 P_1 及 P_2 なる二箇の三相誘導電動機を縱横 (concatenation 又は cascade connection) すれば如何なる廻轉數を得べきや。其の原理を説明せよ。(大正 1 年 1 級 3 及大正 15 年 1 種 1)

〔解〕 甲電動機は f サイクルの線路に繋かれ、乙電動機は甲電動機の二次回路に入り、乙の二次回路は短絡せりとす。甲及乙の極數を夫れ夫れ P_1 及 P_2 にて表はし、且つ甲單獨として考へたる時の滑り分數 (fractional slip) を s とすれば、甲機の毎分廻轉數は $120 f(1-s)P_1$ にして、其二次回路即ち乙の一次回路に現はる λ 周波數は sf サイクルなり。従つて乙の同期速度は毎分 $120 fs/P_2$ 廻轉なる可し。concatenation に於ては兩機は直結せらる λ を以て、其廻轉速度は共通ならざるべからず。此共通速度を N 廻轉/分とすれば、是れカスケード同期速度にして、次の式にて與へらる。

$$\begin{aligned} N &= 120 f(1-s)/P_1 = 120 fs/P_2 \\ &= 120 f[(1-s)+s]/(P_1+P_2) = 120 f/(P_1+P_2) \end{aligned}$$

即ち、縱横すれば (P_1+P_2) なる極數の電動機と同様の速度を得るなり。

尙此外 Danielson 氏の創案による差働縱横 (differential concatenation) と稱するものあり。即ち兩機を互に逆廻轉する様に接續する方法にして、此場合には、上の式に於て P_1 及 P_2 を代數的に取扱へば可なり。例へば乙が逆なるときは P_2 を負の量と見做す可きにして、従つて同期速度は甲乙兩機の極數の差を極數とする電動機の同期速度に等し。若し此場合に於て $|P_2| > |P_1|$ なる時は、逆廻轉を生ず。但し差働縱横に於ては、中間周波數及電壓は原周波數

よりも甚だ高きを以て、能率及運轉状態面白からず、又此際甲機は周波數變換用發電機として働くが故に、一般に外力を加へざれば同期速度の近邊に持來し得ざるものなり。此等の不便あるを以て實用の例尠し。

第十章 廻轉變流機の電壓

(1) n相廻轉變流機 (n-phase rotary convertor) の交流側の電壓と直流側の電壓との關係を示す公式を擧げ之れを説明せよ。

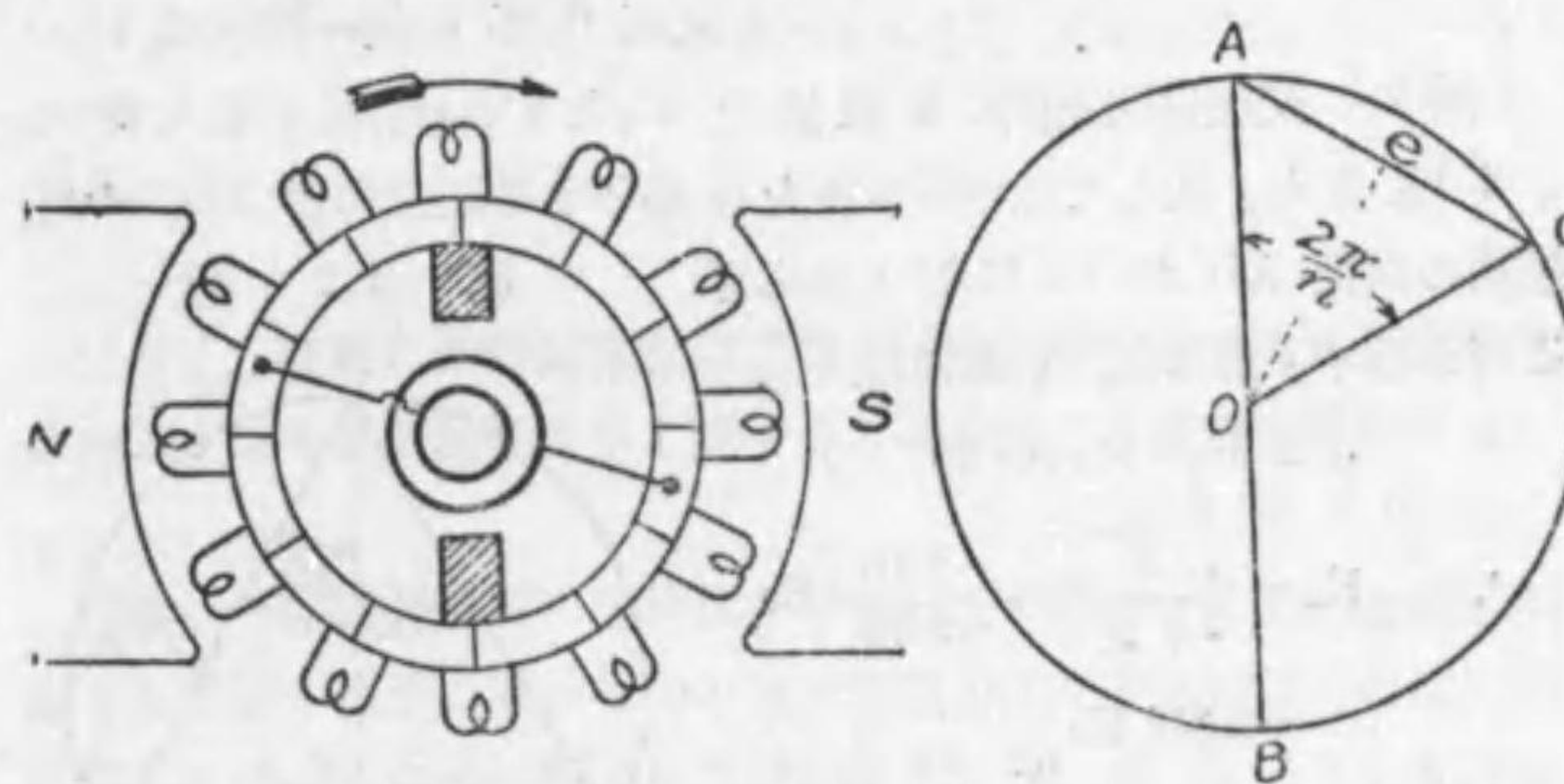
(大正4年1級1)

〔解〕 單相式廻轉變流機に於ては、交流電壓の最大値が直流電壓に等しき事第40圖により直に知るを得べし。

故に

$$[\text{直流電壓}] + \sqrt{2} = [\text{單相式電壓}] \dots\dots\dots(1)$$

第 4 0 圖 第 4 1 圖



然るに廻轉變流機の如き閉輪發電子 (closed coil armature) に於ては、單相式電壓と n 相式電壓との比即ち一つの圓の直徑と其中心角 $\frac{2\pi}{n}$ の弦の長さとの比は、第41圖により明かなる如く

$$\frac{AB}{AC} = \frac{AB}{2AO \sin \angle AOe} = \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}}$$

$$\therefore AC = AB \sin \frac{\pi}{n}$$

$$\text{従つて } [n \text{ 相式電壓}] = [\text{単相式電壓}] \times \sin \frac{\pi}{n}$$

(1) 式により

$$[n \text{ 相式電壓}] = \frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\sqrt{2}} [\text{直流電圧}] \dots\dots\dots (2)$$

即ち第(2)式が n 相式廻轉變流機の交流側及直流側の電圧を示す式なり。

(2) 三相式廻轉變流機の直流側の電圧 E_d ヲルト, 電流 I_d アムペアなるときは交流側に於ける線間電圧及外線に流るゝ電流の概要を算出せよ。但し交流側の力率は 1 とす。

(大正 6 年 3 級一般理論 1)

〔解〕 交流線間電圧の実効値を E_a とすれば, 其の最大値は $\sqrt{2} E_a$ なり。而して此の最大値を各邊とする正三角形 ABC の外接圓の直径 AD が E_d に等しからざるべからず。故に第 42 圖に依り

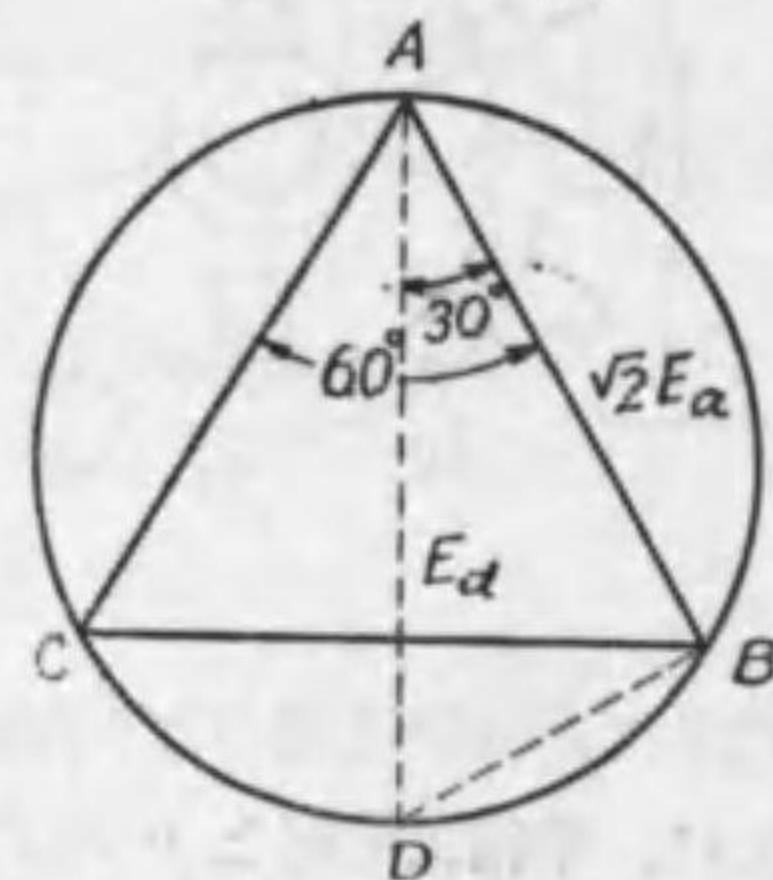
$$\sqrt{2} E_a = E_d \cos 30^\circ$$

$$\therefore E_a = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} E_d = \frac{1.73}{2.83} E_d = 0.611 E_d$$

但し以上は電機子内の電壓降下を閉却したるものなり。

又變流機内の損失を無視すれば, 交流側入力と直流側出力とは相等し。故に交流側の線路電流を I_a 直流側の電流を I_d とすれば, 力率 1 の場合には

$$\sqrt{3} E_a I_a = E_d I_d$$



第 42 圖

$$\therefore I_a = \frac{E_d}{E_a} \times \frac{1}{\sqrt{3}} I_d = \frac{1}{0.611} \times \frac{1}{\sqrt{3}} I_d = 0.943 I_d$$

〔註〕 問題に概数とあるのは, 電機子内の電壓降下及變流機の損失を無視する點を暗示するものである。

(3) 六相廻轉變流機あり其直流電圧は 600 ヲルトなり。交流側に於ける星形電壓 (star voltage) 及び環状電壓 (ring voltage) を算出せよ。(大正 2 年 3 級 2)

〔解〕 六相廻轉變流機の直流起電力を表はす長さを直径として圓を描けば, 此圓の半径は交流側星形電壓の最大値, 又此圓に内接する正六邊形の一邊の長さは環状電壓の最大値を表はすものなり。故に此場合に於ける交流起電力の波形を正弦波形なりと假定すれば交流側の環状電壓及星形電壓の実効値は共に

$$600 \times \frac{1}{2\sqrt{2}} = 212 \text{ ヲルト}$$

なり。

(4) 普通の廻轉變流機の交流電圧を不變に保つ時は勵磁電流を増減するも直流電圧を多く變ずることを得ざる理由を説明せよ。

(大正 3 年 3 級 1)

〔解〕 廻轉變流機の交流側を單相となす場合を考ふれば直流側刷子を界磁中性點に置ける時の直流起電力は交流側起電力の最大値に等し。依つて交流起電力及直流起電力を E_s 及 E_d とし, 交流起電力の波形の波高率を k とすれば

$$E_d = k E_s$$

次に交流側を n 相式となす場合には其各相起電力は

$$E_n = \sin \frac{\pi}{n} E_s$$

なり。何となれば各電機子各線輪に誘導さるゝ起電力は完全なる多

相式にして单相式の場合には電氣角 π 丈の範圍に含まるゝ線輪が直列に接続され、 n 相式の場合には電氣角 $\frac{2\pi}{n}$ 丈の範圍に含まるゝ線輪が直列に接続さるゝものなればなり。従つて n 相式廻轉變流機に於ては勵磁電流の多少に關せず。

$$E_d = \frac{k}{\sin \frac{\pi}{n}} E_n$$

なる關係を有す。

但し上述の關係は刷子と界磁との關係位置が不變なる場合にして界磁の分布の状態に變化を生じ之れと刷子との關係位置を變ずる場合には直流交流兩側の起電力の比に變化を生ずべきものなり。然るに普通の廻轉變流機に於ては勵磁電流の多少による交流側の電機子電流の位相に關する磁束分布の變化は餘り大ならざれば勵磁電流の如何に拘らず直流起電力と交流起電力とは常に一定の比を有すると見て可なり。尙縦續變流機或は誘導線輪を交流側に接続せざる普通の廻轉變流機にありては交流側の力率の如何に關せず交流側端子給與電壓と交流側起電力とは大差なきを以つて、斯の如き廻轉變流機に於ては直流側起電力と交流側給與電壓とは略一定の比を有すべく、交流側給與電壓一定の場合には勵磁電流の増減によりては其直流側電壓を變化する事を得ざるものなり。

(5) 同期加減壓變流機 (synchronous booster converter) を略圖を以て説明し、其の特質を述べよ。(大正 12 年 2 種 1)

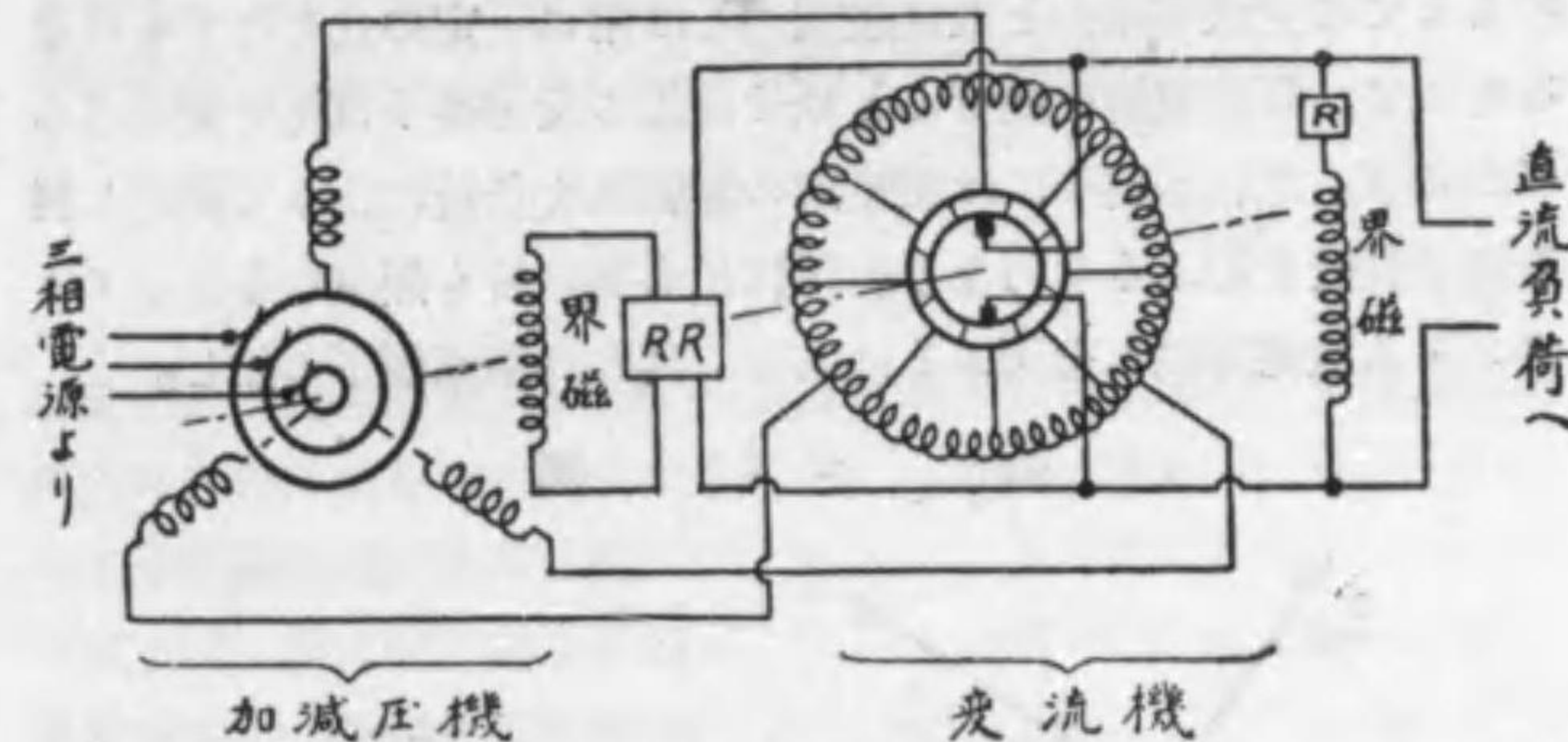
〔解〕 同期加減壓變流機は直流側の電壓を調整する爲め、交流給與電壓を比較的廣範圍に加減し得る様、其の交流側に於て加減壓機(同期發電機)の發電子を變流機電機子に直列に接続し、兩電機子を共通軸にて運轉せらるゝ装置となせるものなり。試に三相變流機に就き其の接続を示せば第 43 圖の如し。

同期加減壓機の界磁は變流機直流側より之を勵磁し、其の電路に

可逆抵抗器 RR を具ふ。此抵抗器は獨り廣範圍に勵磁電流の大きさを加減し得のみならず、其の方向をも反對にし得べきものとす。

加減壓機の每相の最大の誘導起電力を E_b とすれば、變流機の給與電壓を $\pm\sqrt{3}E_b$ の範圍内に調整し得べし。此の交流電壓の加減は

第 43 圖



手働又は自動(繼電器を用ひて)となす事を得。

此の電壓調整法の特質と稱すべきは、誘導調整器を使用する方法より廣範圍に調節し得る事、複捲變流機の如く窮窟なる制限なき事、分割磁極法の如く作用不的確の虞なき事等なり。負荷の變化激甚なる電氣鐵道に最も適當なり。但し加減壓機を drive する爲め變流機が一部同期電動機として働く結果、幾分容量を増大すべし。又電機子反作用の直流交流理想的相殺の利を失ひ幾分火花を生ずる虞多し。

(6) 廻轉變流機 (rotary converter) の複捲線輪の效用及其作用の原理如何。(大正 1 年 2 級 1)

(7) 廻轉變流機に直列にリアクタンスを使用して直流電壓を自動的に加減し得る理由を説明せよ。(大正 8 年 3 級 2)

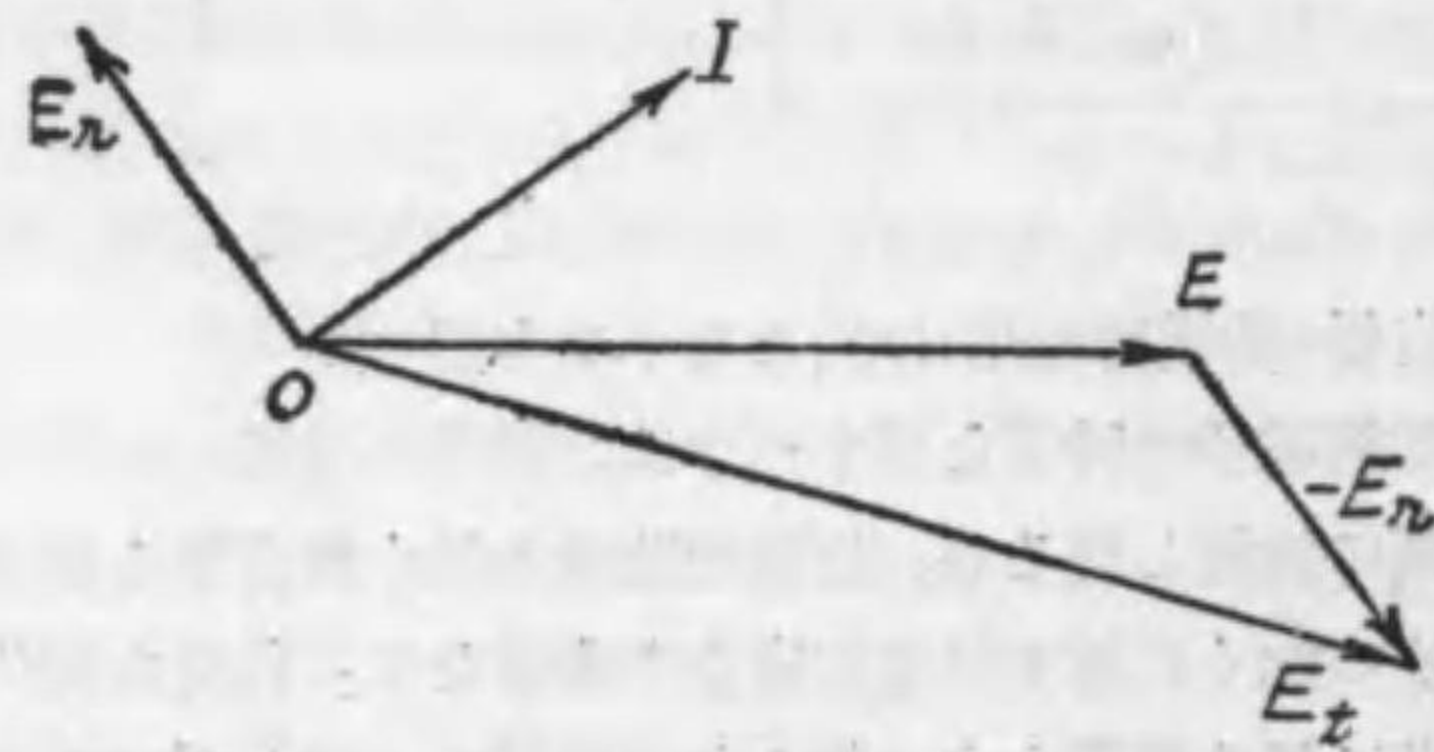
(8) 電氣鐵道用廻轉變流機の界磁線輪を複捲となし交流回路

に直列にリアクタンスを使用する目的及作用の原理を説明せよ。

(大正 13 年 2 種 3)

〔解〕 負荷が電車の如き者にして其變化激しく且つ長き線路を有する時には之れが供給電壓を負荷によりて自働的に増減するの必要あり。然るに迴轉變流機 (split pole converter の如き者は除く) にありては交流起電力と直流起電力とは常に一定の比をなすものなるを以て、直流電壓を變ぜんと欲せば先づ交流端子電壓を變ぜざるべからず。之れが爲めには變壓器の變壓比を負荷に依りて變更し得る如き装置を用ふるも可なり。然れども其の最も簡單なるはリアクタンスと複捲界磁とを用ふるにあり。其の作用原理下の如し。

第 44 圖



複捲變流機に於て複捲の程度を相當強大とすれば直流側負荷の増大に伴ひ交流側電流の相を進ましむることを得。此の進電流は交流側の直列リアクタンスを通過するが故に、給與交番電壓 E と、該リアクタンスの電壓降下 E_r とのベクトル差 E_t が變流機交流側の端子に加へらる。今此の進み電流の場合のベクトル圖(第 44 圖)を描くに、 E_r の方向は E の方向より 90 度以上進むが故に、 E_t は E より大なり。而して直流負荷電流の大なる程、 $\angle EOE_r$ を増し且つ E_r も増大するを以つて、一定の E に対して、大なる E_t を得べし。之に反して負荷減少すれば電流 I の相遅れ、 E_t の値小となる。斯くの如くにして交流加電壓 E_t の自働的に増減せらるゝ結

果、直流電壓も亦自働的に増減せらるべし。蓋し變流機に於ては交流電壓と直流電壓との比は一定不變なればなり。

(9) 分割磁極 (split-pole) 迴轉變流機の原理を略述せよ。

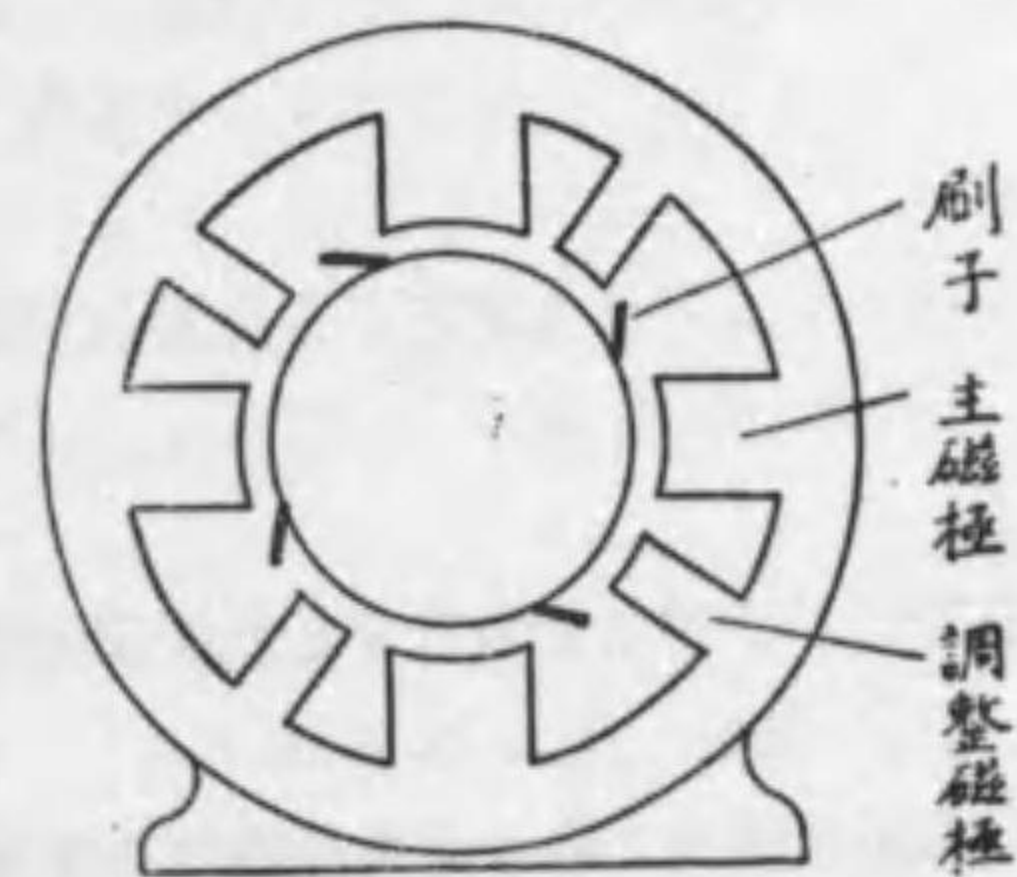
(大正 5 年 1 級 3)

〔解〕 迴轉變流機に於ては界磁中性點間の直流起電力 E_d と交流側各相の起電力 E_a との比は勵磁の如何に關せず

$$E_d : E_a = \frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\sqrt{2}} \quad \text{但し } n = \text{相數}$$

なる一定の關係を有す。而して直流側刷子間電壓は刷子の位置が界磁の中性點にある時に最大にして中性點を遠ざかるに従つて減少す。故に若し刷子と界磁中性點との關係位置を變化すれば交流側と直流側との電壓比を變ずる事を得べし。

第 45 圖



分割磁極迴轉變流機は此の理によりて電壓比を調整する目的により製作されたるものなり。

圖に示すが如く各磁極を主磁極と調整磁極とに分割し、其各に別個の線輪を捲き、調整磁極の勵磁を増減する事によりて界磁の中性點を移動せしめ(刷子の位置は一定に保つ)以て交流側と直流側の電壓比を調整するものなり。

(10) 電氣鐵道用變電所の交流側に於て、電壓に著しき變動ある場合、迴轉變流機並に電車の運轉上に如何なる影響を與ふるか。

(大正 14 年 1 級口述 3)

〔解〕 變流機交流側の電壓變動は直ちに直流側の電壓變動とな

りて表はれ、負荷の激變を招來す。惹いて變流機の亂調を誘致し、又整流子に於ける閃絡 (flash over) を發生する處あり、負荷電流の激増に依りて直流側遮斷器の働作を見、急遽無負荷となることあるべし。

又電車電動機は其の端子電壓著しく變動して速度の調整に多大の困難を感ずべく、整流子に於ては激甚なる火花を發生し又は閃絡を見る。然らざるも車内遮斷器屢働作して運轉著しく不安となるを免れず。

第十一章 廻轉變流機一般

(1) 廻轉變流機 (rotary converter) の界磁線輪を數部に區分し得る様接続したる理由如何。 (大正元年 3 級 1)

〔解〕 廻轉變流機を交流側より起動する時には發電子電流の爲めに廻轉磁界を生ずべく此磁界の廻轉速度は發電子に對して同期速度を以つて廻轉するが故發電子廻轉速度が同期に達せざる間は此廻轉磁束が界磁線輪を切り之れに起電力を誘導す。而して界磁線輪が全部直列に接続され居る時には其誘導起電力極めて高く界磁線輪の絶縁を破壊するの處れあり。依つて之れを防ぐ爲めに起動の際は界磁線輪を數部に區分し得る様に接続するものなり。

(2) 大容量の廻轉變流機は三相式より六相式を可とす、其なる理由の二點を擧げよ。 (大正 9 年 3 級一般 3)

(3) 大容量の廻轉變流機は三相式より六相式を可とする理由二點を擧げよ。 (大正 5 年 3 級一般應用 1)

〔解〕 (イ) 電機子内の電流の比較的小なる事 一般に廻轉變流機に在りては隣接滑動環の中央に位する電機子線輪に於て直流及交流の合成値最小にして、此點を距るに従ひ合成電流大となる。故に今直流側捲線の既定なる電機子を取り、其交流側を六相式とすれば、中央線輪と端末線輪 (即ち滑動環に接続せらるゝ線輪) との距離、三相式にしたる場合の二分の一となり、端末線輪と中央線輪との電流の比著しく小となる。従つて電機子内の總 I^2R 損 (従つて溫度上昇) を小ならしめ、出力を増し、能率を高くし得るの利あり。大容量のものに在りて殊に然り。

(ロ) 循環電流の存在せざる事 廻轉變流機の電機子捲線は、交

流機として常に環状に結線せられざるべからず。故に三相式に在りては、其の三角形捲線を通じて流るる第三(並に其の倍數)調波の循環電流特に大となり、徒らに電機子を熱するを免れず。然るに之を六相式とすれば、電機子捲線は六角形の環状結線となり、六角形の任意の一邊に相當する起電力は必ず之と同大にして方向相反する起電力を有す。故に環状電路に於て、基本波は勿論總ての高調波起電力悉く相殺せらるるを見るべし。即ち循環電流に依る電機子線輪過熱の災厄は三相式に存在して六相式に存在せざるものとす。

(4) 多相廻轉變流機を原動機を用ゐて單に直流發電機として使用する場合には之を廻轉變流機として使用する場合と如何なる差異ありや之を略述せよ。(大正4年3級2)

〔解〕 多相廻轉變流機を原動機にて廻轉し單に直流發電機として使用せし場合は、之を廻轉變流機として使用せし場合に比して次の如き差異あり。

(イ) 銅損著しく大となるにより、其の負荷耐量減少し、能率不良となる。

(ロ) 發電子反作用による交叉磁化作用(cross magnetization)大となり従て整流に不良の影響を及ぼす。

(ハ) 勵磁度を加減する事により電壓を容易に變化する事を得。以下順次是等を簡単に説明せむ。

(イ) 多相廻轉變流機にありては、電機子捲線を流るゝ交流及直流は互に打消し合ふを以て、銅損は同一電機子を交流發電機として使用せし場合に比して著しく小となる。故に同一機械にても之を多相廻轉變流機として使用する方直流發電機とせし場合より負荷耐量大にして能率良好なり。

(ロ) 變流機に於ては直流及交流による電機子反作用は打消し合ふにより、其結果殆ど全く反作用による交叉磁化作用なし。故に整流に對して極めて優秀なり。然れども變流機を直流發電機とし

て用ふる時は電機子に交流流れざる故に電機子反作用は打消されず交叉磁化作用を生ず。故に整流に對し變流機として用ゐたる場合に比して甚だ劣悪なり。

(ハ) 變流機にありては其の直流電壓は滑動環への供給交流電壓によつて決定せられ、勵磁度を如何に變化するも之を變化するを得ず。唯だ勵磁度の變化は供給交流の相を變化するのみなり。故に複捲法を用ふる時も、リアクタンス線輪により間接に直流電壓を變ずるに過ぎず。然れども直流發電機として用ふる時は、斯くの如き事なく、勵磁度の變化は直に電壓の變化を生ず。

(5) 廻轉變流機の亂調(hunting)の原因、結果及防止法を説明せよ。(大正7年3級3)

〔解〕 廻轉變流機の亂調の原因として考ふべきは、一般同期機として

(a) 發電機の cyclic irregularity 比較的大なる事。

(b) 自機並に同一電路中の諸機械の負荷の激變。

(c) 同一電路中の諸同期機の起電力波形の相違。

(d) 廻轉子の自然周期が起電力の不整と共振する事。

等なり。其他變流機に特有なるは次の原因なり。

(e) 複捲線輪に流るる負荷電流の變化に依りて生ずる磁束の變化各機に一樣ならず、直流側に於て端子電壓の不整を生じ、負荷の不均一を惹起して亂調の原因となる。

亂調の結果 亂調の結果横流の交替激甚を加へ(變流機に於ては直交兩側の横流重疊せらる)速度増減の範圍漸次擴大するに當つては遂に並行運轉を覆し去るに至るは一般同期機と異ならず。變流機に特有なるは直流電壓の激變すること及び整流子に於て峻烈なる火花を發する事なり。蓋し亂調に際しては合成磁界の分布極めて不規則となるのみならず、運轉速度に激變あるが故に、直流側刷子にて短絡せらるる線輪の誘導起電力甚しく不規則となり、完全なる整流

を行ふ能はざるは明なり。

乱調の防止法 として有効なるは

(1) 制動器 (damper or amortisseur) を界磁に設くる事 又は solid pole を使用する事。

(2) 廻轉部の慣性を大にする事。(但し慣性を大にする爲め却て其の振動の自然周期が原動機の cyclic irregularity と共振する傾向なきやを檢せざるべからず)。

(3) 發電所變電所間の送電線が地下電纜なる場合の如く、抵抗大にてリアクタンス小なる時は之にリアクタンスを挿入して同期力を大にする事。之れは複捲變流機の電壓調整にも亦有効なり。

(4) 與へられたる周波數に整流の點より許し得る最大圓周速度以内に於て變流機の極數を小にし幾何角度と電氣角度との差を小にする事。

(5) なし得れば複捲法を用ひずして分捲勵磁とする事。

(6) 同一電路中の機械の負荷の激變を避くる事。

等なり。

(6) 廻轉變流機の發電子反作用を下記の場合に就き略述せよ。
(大正 7 年 2 級 1)

(イ) 多相にて力率 1 なるとき

(ロ) 多相にて進電流を取るとき

(ハ) 多相にて遅電流を取るとき

(ニ) 單相のとき

〔解〕 廻轉變流機の電機子反作用は直流發電機としての反作用と同期電動機としての反作用との合成なり。而して n 相同期機の電機子に n 相平衡電流を通ずる時は所謂圓形廻轉磁界を生ずるも、電機子が之と equal and opposite の速度を以て廻轉するが故に廻轉界磁 (即ち空間) に対しては靜止性のものとなる。而して電機子捲線中同期電動機の電流と直流發電機の電流とは其方向當然反對なる

を以て、多相機に於ては大體に兩者相殺の傾向を有す。尙ほ計算に依れば刷子を正しく隣接二極間の中央 (即ち幾何的中性點) に置きたる時、直流反作用の大きさと交流有效分反作用とは其の大き全く相等しきを知る。故に

(イ) 多相にて力率 1 なる時 は合成反作用全然無し。従つて刷子を幾何的中性點に置いて差支なし。

(ロ) 多相にて進電流を取るとき 若し刷子を幾何的中性點に置けば直流反作用と交流の有効分に依る反作用とが相殺し、無効分即ち 90° の進電流による反作用のみが残存することとなる。故に結局減磁作用を行ふべし。

(ハ) 多相にて遅電流を取るとき 前と同様の理に依り増磁作用を行ふべし。

(ニ) 單相のとき 此の場合には全然多相の場合と異り、同期電動機としての反作用は電機子交流の二倍周波を以て脈動す。故に決して直流發電機としての反作用と相殺することなし。而して交流零の時、合成反作用は直流反作用 (不變の大きさ) となり。交流最大の時、其の値は $\sqrt{2} \times \sqrt{2} \times \text{直流} = 2 \times \text{直流}$ となるが故に交流反作用と直流反作用との合成 (即ち差) は直流のみの反作用と equal and opposite なり。結局直流反作用の大きさを最大値として二倍周波を以て界磁中性線と直角の方向に交番することを知る。

(7) 同期廻轉變流機の閃火連絡 (flash-over) に就て論じ其の防止法を説明せよ。
(大正 12 年 1 種 2)

〔解〕 一技術家の言に曰く「閃火連絡に關して、刷子火花は恰も藥に火を點ずるマッチの如き働作をなす」と、誠に至言なり。閃火連絡は負荷の激變に基く整流子片間電壓の躍昇に依り發するを原則とすれども、之と同時に刷子に於ける火花を伴はざれば、閃火連絡を惹起する事極めて稀なり。藥あるもマッチなければ、火を發し難きが如し。而して近時の大變流機 (殊に五十又は六十サイクルの如き) に於ては、火花の現象を絶対に防止する事極めて困難なり。

加ふるに變流機に在りては直流機に於けるが如く、補償捲線を應用して整流子片間電壓の躍昇を防ぐこと能はず。一度び過負荷の襲來に會へば、忽ち片間電壓の配布に變調を來し藥もマツチも共に具備するに至る。其結果、火花は弧光に變じ、弧光蒸氣整流子全面に蔓延するや機械枠、軸承等に向つて低抵抗の電路を形づくり、(十) (一)兩極間を繋ぐに火花を以てするに至るなり。而して交通頻繁なる電車事業等にありては、線路に於ける短絡の故障頻發するは蓋し止むを得ざる所にして、閃火連絡の機會甚だ多きを免かれず。數年前東京郊外の高速度電車が頻々として、變流機の閃火連絡に依る停電の厄に逢ひたるは、世人の記憶に新なる所なり。

閃火連絡の發生事情實に上述の如きが故に之れが防止方法としては次の諸法を併用するを可とす。

(イ) 變流機設計に際し許す限り整流子片の幅を小にして其の總數を大にし、以て片間電壓の平均値を小にする事。

(ロ) 火花が閃火連絡を誘起し難からしむる爲め、整流子の外側に barrier を裝置する事。

(ハ) 閃火連絡の原因たる過負荷を極めて急速に除去する爲め、高速電路遮斷器を使用する事。

(ニ) 電車の場合に於ては饋電線の tapping は變電所の附近に於てせず、必ず變電所より相當の距離に於てする事。(斯くの如くすれば變電所に極めて近く電車線の短絡せる場合と雖も、饋電線の抵抗に依り、短絡電流を制限することを得べし。)

(8) 直流電壓 600 ヴォルト、出力 50 キロワットの廻轉變流機を購入する場合に於て、仕様書に記載すべき要項中主なるもの九件を列記せよ。(大正 4 年 3 級一般 2)

〔解〕 (1) 個數、負荷耐量、直流側電壓、交流側周波數、毎分廻轉數、相數(此場合 6 相を最良とす)。

(2) 負荷の種類(之に關聯して瞬時過負荷耐量を明示せしむるを良しとす)。

(3) 直流側電壓調整の所要範圍、(之に關聯して手動調整法を禁ずる必要ある事あり。電壓調整の方法を明示せしむるを良とす)。

(4) 起動裝置(交流側自起動、直流側起動、以上兩者兼備、起動電動機附等の如し。)

(5) 並行運轉に關する件

(a) 發電所發電機の種類

(b) 發電機用原動機の種類、サイクリック・イレギュラリチー等

(c) 並列に使用すべき既設廻轉變流機、同期電動機の有無(若しあらば其説明)

(b) 並行運轉に必要な諸設備の指定(dampcr, speed limit device 等)

(6) 絶縁耐力に關する規程(本邦電氣工作物規程に據る等)

(7) 温度上昇に關する規程(萬國電氣工藝委員會に據る等)

(8) 能率 全負荷の $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ 及 $1 - \frac{1}{4}$ 倍に於ける能率を明示せしむる事。

(9) 附屬品及豫備(附屬品としては end-play device, break-up switch 等、豫備としては炭素刷子等を供給せしむる事)

(9) 廻轉變流機には end-play device (或は oscillator) を要する理由を述べよ。(大正 5 年 3 級口述 3)

〔解〕 原動機直結の發電機或は普通の電動機にては齒車或は調帶の爲めに、或は原動機の end thrust 等の爲めに廻轉子は多少軸の方向に揺動す。又電動發電機にては一方の廻轉子と固定子との中心が一致する時他の方も兩者の中心が正しく一致する様にする事は實際に於て不可能なれば其爲め廻轉子は多少前後に揺動す。然し轉轉變流機にては特別の裝置を施さざれば固定子は一定の位置にて廻轉し、其の爲め整流子及滑動環に溝を生じ其の有効壽命を短縮す。此の害を除く爲に廻轉變流機には軸を前後に揺動せしむる end-play device を必要とす。

第十二章 縦横変流機及水銀整流器

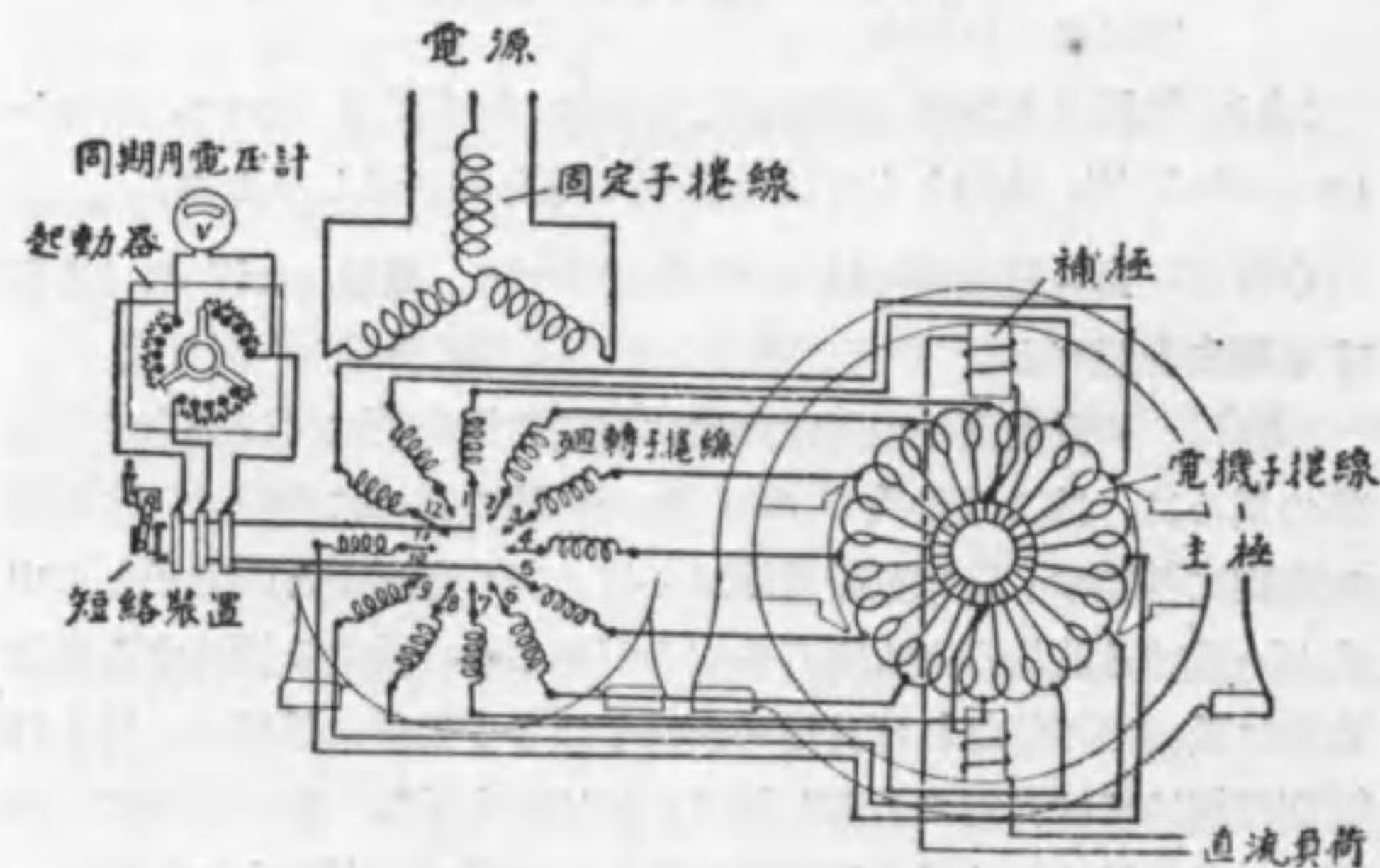
(1) モートル・コンヴァーター (motor converter 又は cascade converter) の理論の要部を略述し、其運轉法を記載すべし。

(明治 44 年 1 級 2)

[解] モートル・コンヴァーターは巻線型誘導電動機と廻轉變流機とより成り、兩機の廻轉子は同一軸上に結合さる。兩機間の電氣的接続は第 46 圖の如し。

今 p_1 = 誘導電動機の極の對數
 p_2 = 廻轉變流機の極の對數
 f = 電源の周波數
 s = 誘導電動機の滑り

第 46 圖



とすれば、廻轉變流機交流側の周波數は sf 、故に其同期速度は $\frac{s}{p_2}$ にして之れが誘導電動機速度 $\frac{1-s}{p_1}$ に等しからざるべから

ず。即ち

$$\frac{s}{p_2} = \frac{1}{p_1} (1-s)$$

$$\therefore s = \frac{p_2}{p_1 + p_2}$$

依つて廻轉變流機交流側の周波數は

$$f' = sf = \frac{p_2}{p_1 + p_2} f$$

にして廻轉變流機の周波數は常に電源の周波數より小なるを以つて、電源の周波數高き場合にも廻轉變流機には何等の不都合を感じず。

又 W_1 を以つて誘導電動機一次に供給されたる電力とし電動機の損失を閉却すれば其廻轉變流機に傳へらるゝ電力は

$$sW_1 = \frac{f'}{f} W_1 = \frac{p_2}{p_1 + p_2} W_1$$

而して廻轉子の機械的出力は

$$(1-s)W_1 = W_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1 + p_2}\right) = \frac{p_1}{p_1 + p_2} W_1$$

にして誘導電動機は一面に電動機として廻轉變流機を機械的に運轉し之れを直流發電機として作用せしむ。又他の一面に於ては發電機として廻轉變流機に電力を供給す。又電動機一次二次巻線をそれぞれ n_1 及 n_2 、一次供給電壓を E_1 とすれば其二次電壓は略

$$E_2 = E_1 \frac{sn_2}{n_1} = E_1 \times \frac{n_2 p_2}{n_1 (p_1 + p_2)}$$

即ち誘導電動機には變壓器の作用をも營ましむる事を得るを以つて必ずしも變壓器を使用するの要なし。

尙本機に於ては誘導電動機のリアクタンスを利用して廻轉變流機の磁勵度を變化する事に依つて其直流電壓を調整し得るの利あり。

又多數の機を並列に運轉する場合にも廻轉變流機並行運轉の場合の如き並行運轉に関する特種の手數と注意とを要せざるの利あり。

前の圖に示すものは三相電源に使用する場合の縦續變流機にして廻轉變流機は相數大なる程溫度上昇に關して有利なるを以つて誘導電動機廻轉子及廻轉變流機は12相に捲かるゝを一般とす。兩機間の接続には滑動環を用ひず軸の一部を空洞にして導線は此中に通ず。而して電動機廻轉子の内1, 5, 9の三相のみは滑動環を備へ、起動する時には先づ滑動環に起動抵抗を接続し、固定子を電源に結びて之を起動す。起動抵抗を順次に減じ其速度を縦續變流機としての速度よりも約10%高くす。廻轉變流機は其界磁抵抗を適當にし機が此速度に達せる時に始めて勵磁し得る如くにす。故に此速度に達すれば變流機は勵磁を始め、之と同時に誘導電動機の速度は次第に減少す。之れと同時に同期用電壓計の指示次第に増加すべし。機が速度が規定の値に近づくに従ひ其の指針の左右に振動する速度緩となるを以つて其の充分緩となれる上電壓計指針が丁度零を示す場合に短絡装置を閉じて圖中の電動機廻轉子捲線を1, 2, ..., 12の點に相當する點に於て短絡す。然る後滑動環より刷子を取り去り茲に起動を完了す。

(2) 縦續變流機 (cascade converter or motor-converter) に於て電動機の極數 p 、變流機の極數 q なる時は變流機の受くる電氣的勢力及機械的勢力の比如何、其理由を説明せよ。

(大正8年2級2)

[解] f = 誘導電動機の一次周波數
 f' = 變流機の周波數即ち電動機の二次周波數
 s = 電動機の滑り
 N = 兩機毎秒の廻轉數

とすれば

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

或は
$$N = \frac{f'}{\frac{q}{2}}$$

$$\therefore \frac{(1-s)f}{p} = \frac{f'}{q}$$

然るに $f' = sf$

$$\therefore \frac{(1-s)f}{p} = \frac{sf}{q}$$

$$\therefore s = \frac{q}{p+q}$$

依つて電動機の二次入力を W とすれば、其の二次機械的出力は

$$W_m = (1-s)W = \frac{p}{p+q} W$$

従つて電動機二次の發生電氣的勢力は

$$W_e = sW = \frac{q}{p+q} W$$

故に誘導電動機の機械的損失及二次銅損を閉却すれば、變流機の受くる

$$\text{電氣的勢力} = \frac{q}{p+q} W$$

$$\text{機械的勢力} = \frac{p}{p+q} W$$

なり。依つて縦續變流機に於ては變流機の受くる電氣的勢力と機械的勢力との比は p と q との比即ち誘導電動機の極數と變流機の極數との比に略等し。

(3) 廻轉變流機 (rotary converter) と縦續變流機 (motor converter) との利害得失を比較せよ。

(大正 5 年 3 級 2 及大正 12 年 再 2 種 3)

〔解〕 廻轉變流機は常に遞降用變壓器を伴ふ必要ありとして兩者の比較を下表に示せり。

項目	廻轉變流機	縦續變流機
價格	300 kW 以下位にては高價ならんもそれ以上ならば却て廉なり	供給電壓餘りに高くして變壓器を要する時は高價なるも小容量にては概して廻轉變流機より廉なり
能率	極めて良好なり	稍劣る
起動	面倒なり(極の變轉あり)	容易なり
力率	力率 1 に對して變流機固有の長所“電機子發熱小にして反作用小なること”を發揮す	力率を 1 にする爲めには、幾分廻轉變流機側の長所を犠牲に供せざるべからず
電壓調整	範圍稍狭し	範圍稍廣し
周波數	50 サイクル以上に對して當初製作困難なりしが、近時其の困難除かれたり	50, 60 サイクル等に對して、何等實用上の不便を感じず
床面積	大容量にては却て小なり	小容量にては有利ならむ

(4) 水銀整流器の構造及理論を説明せよ。

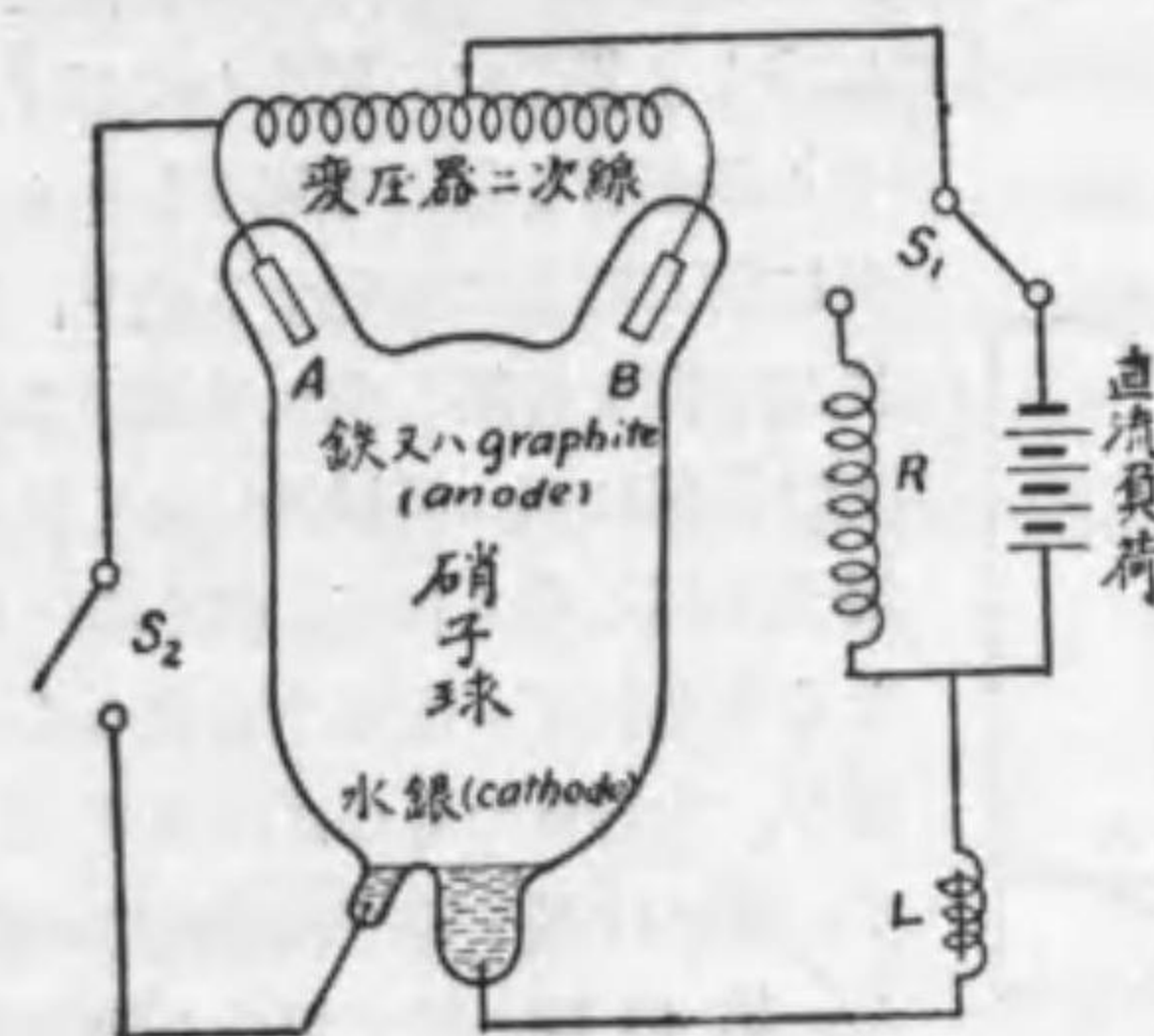
(大正 6 年 2 級 1)

〔解〕 先づ單相水銀整流機の構造を圖示すれば次の如し。圖中硝子球内の他物は充分に抽出せらる。下部の水銀槽は起動のため之を大小二部に分つ。使用の順序として先づ S_1 により直流負荷を電路の外に置き、 S_2 を閉づ。斯くて球を少しく傾くれば大小二部の水

銀接觸し變壓器の半部は R を通じて短絡せらる。然る後球を直立すれば其の間離隔せられて水銀の弧光を發すると同時に多量の水銀蒸氣を生ず。此の際水銀蒸氣は ionize せられ、次の原理に依り整流器の働作を開始するなり。

anode A が水銀に對し (+) なる瞬時に於ては ionize されたる水銀蒸氣の働に依り cathode より A に向ひ (-) の electron が盛に發射せらる。此の (-) の electron は途中の水銀蒸氣の分子に衝突して更に之を ionize す。(+) の電荷は A より cathode の方

第 47 圖



に引かれ、茲に中和せらる。斯くて A より cathode に向ひ電流の通過を見る。次に變壓器の兩端 (+) (-) を反對にするに至れば A は cathode に對して (-) となり electron は A に向ひて飛ぶ事能はざれど B の方が cathode に對して (+) となり、前と同様の理に依り B より cathode に電流通過す。而して此の際 B より A に電流の通ぜざるは cathode の附近に於て電位傾度の急峻なるに依るなり。

以上の理に依り一たび起動したる後は常に水銀が cathode となりて直流負荷には絶えず一定方向の電流を通過せしむ、而して負荷

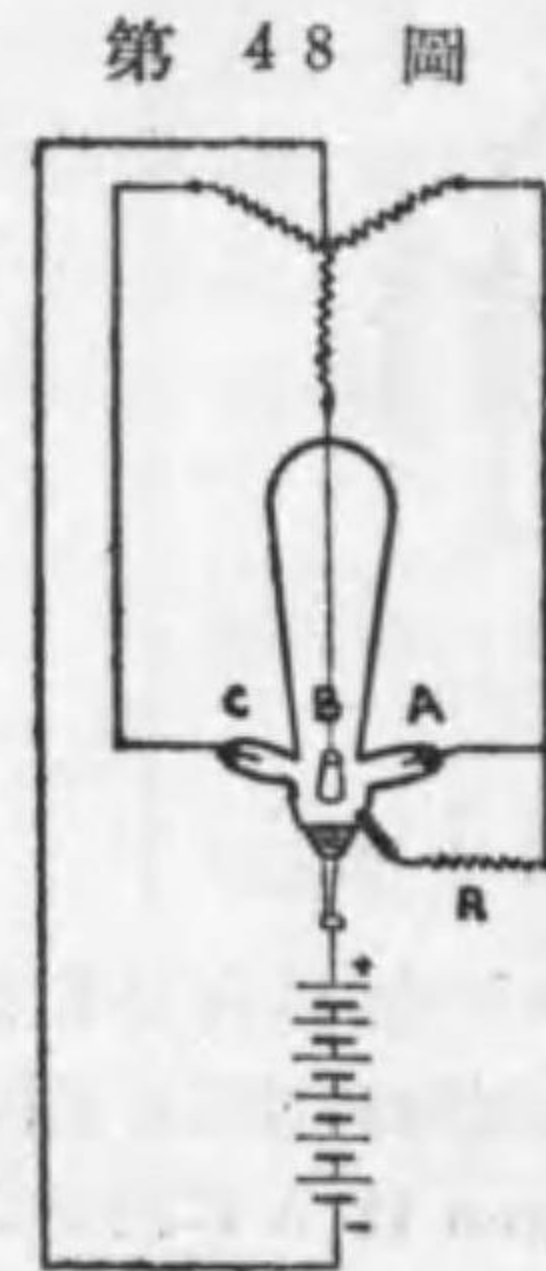
と直列に自己誘導を置くか、又は變壓器の漏洩リアクタンスを大ならしむる様之を構造すれば rectified current は大に其の變化を制限せられ、餘程直線に近きものとなるべし。

三相整流機にありては anode を三個にし Y の中性點を cathode につなぐべし。此の場合には直流電路にインダクタンスなくとも、可なり變化少なき直流を得べし。

(5) 三相水銀整流器の原理を述べ其の構造を略述せよ。

(大正 14 年 2 種 1)

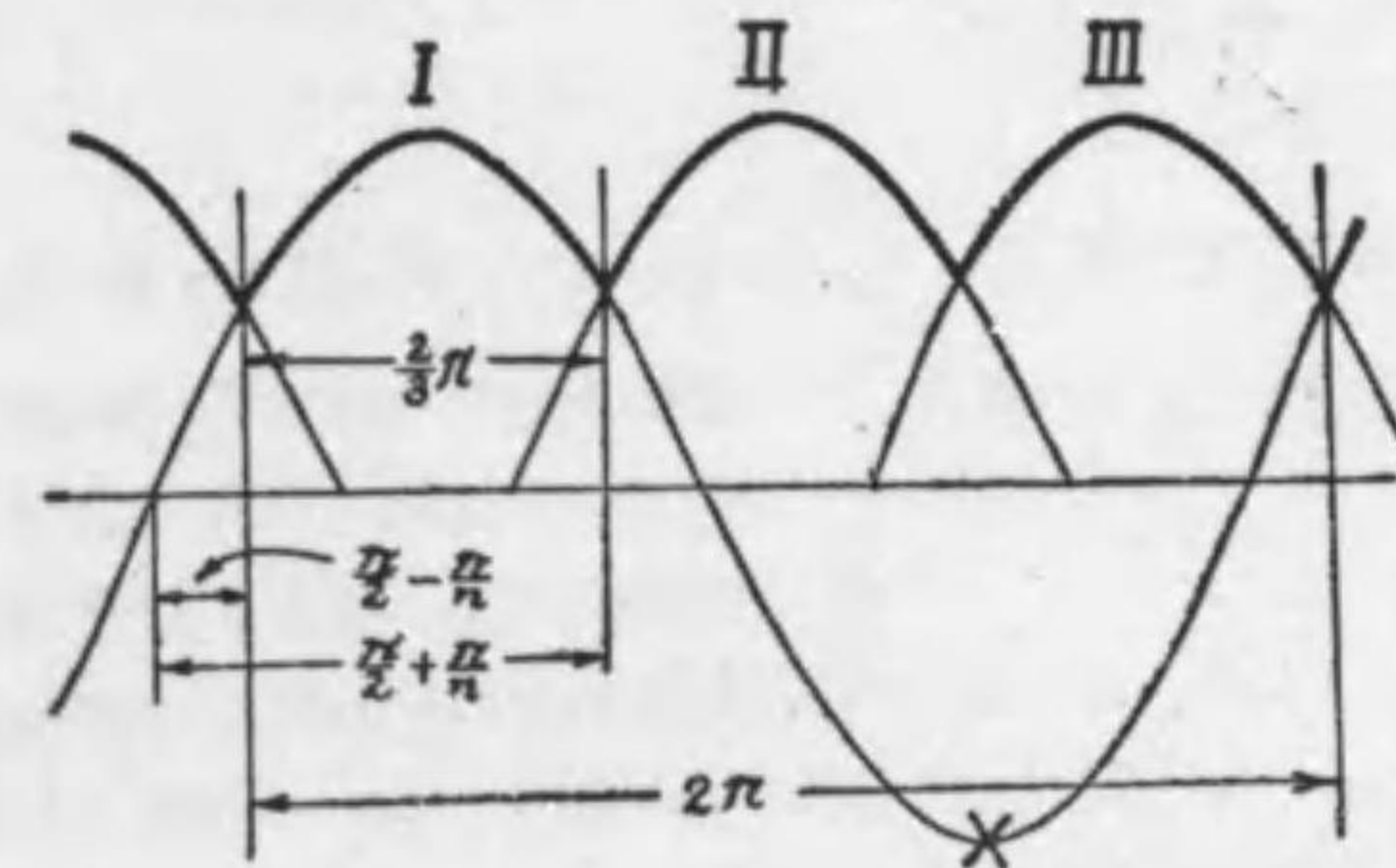
[解] 三相水銀整流器は普通直流發電機の補助として用ひらるゝを以て中容量のものに多し。構造に二種ありて硝子管を用ふる場



第 48 圖 合と鐵製管を用ふる場合とあり。前者は大電流に對し容易に過熱する結果、水銀膜のために端子間を短絡し忽ち破損する缺點あり。後者は高熱に耐へ機械的に強く併せて真空度を増大し得る利あれど、價不廉にして重量大となるを免れず。依て小容量のものには前者を用ひ、大容量のものには後者を用ふるを利とす。茲には硝子管三相整流器の構造を略述せん。第 48 圖に於て管内の空氣及び他物は充分抽出せらる。下方の水銀槽は起動のため大小二部に分たれ、大なる方を cathode と稱し直流負荷を経て變壓器の二次中性點に結ばる。小なる方は起動用とす。圖の A, B, C は夫々鐵又は graphite を以て作られたる電極にして之を anode (但し極性は絶えず變化す) と稱す。使用の順序として、始め負荷を電路の外に置き管を少しく傾け兩水銀を接觸せしむる時は無誘導抵抗 R (電流を制限するに用ふ) を経て變壓器の一相は短絡せらるゝを以て交流の通過を見るべし。然る後管を直立すれば兩水銀の接觸破らる

ゝを以て電弧を發し、其熱により多量の水銀蒸氣を生ず。かくして起動了る。而して此際水銀蒸氣は ionize せらるゝを以て其特殊性質に基き、次の原理により動作を開始するものなり。anode A が水銀に對し(+)の瞬時には ionize されたる水銀蒸氣の作用により cathode より A に向ひ(-)電子が盛に射出され、之れが途中水銀蒸氣の分子に衝突して更に之を ionize す。一方(+)電荷は反對に A より cathode に牽かるゝを以て茲に兩電荷は中和せられ、電流は A より cathode に向て流る。次に A が cathode に對し(+)となる時は、電子は A に向て飛ぶこと能はざるも、B が cathode に對し(+)となるを以て前同様の理により B より cathode に向て電流通ず。此際 B より A 又は C に電流通ぜざるは其附近に於て電位傾度急峻なるが爲めなり。同様に C が cathode に對し(-)の時は電流は C より流るゝ事明らかなり。以上の理に依て一度起動したる後は常に水銀が cathode となりて直流負荷には絶えず一定方向の電流を通過せしむ。第 49 圖は無誘導回路に於ける之等關

第 49 圖



係を示したるものにして、X は給與されたる正弦波、I II III は夫々 anode A, B, C により rectify されたる陽極整流波とす。圖より陽極整流波の一部は互に overlap するを以て之等の重疊されたる

量が負荷を流るゝ如き観あるも、acは電壓の高き方に移る(圖の接續に於ては)を以て同時に二個の anode が並列に整流する事なし。故に各 anode の整流する範圍は一周波の $\frac{1}{3}$ にして、之を一般的に云ふ時は $\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{n}$ より $\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n}$ 迄の範圍とす。但し n は陽極の數なり。尙實際の回路には自己誘導あるを以て電流の脈動は更に大に減少すべし。

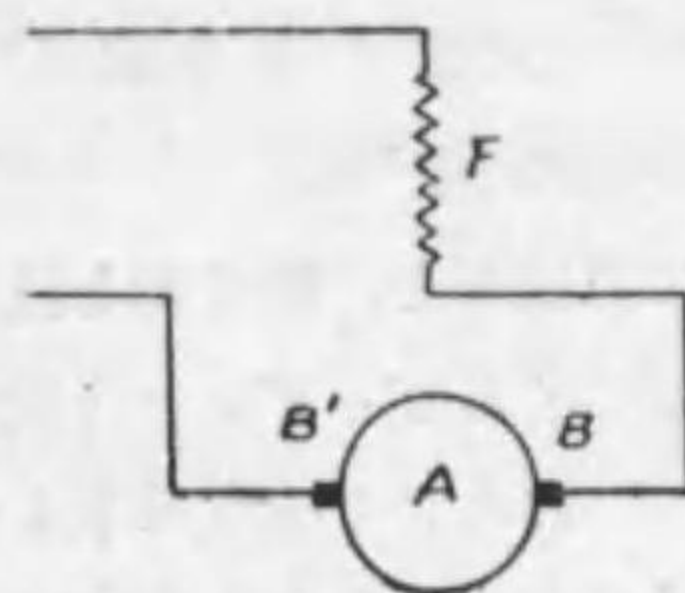
第十三章 單相整流子電動機

(1) 單相直捲電動機 (single-phase plain series motor), 單相反撥電動機 (single-phase repulsion motor), 單相補償反撥電動機 (single-phase compensated repulsion motor) の接續を圖示し其性質の著しき點を擧げよ。(大正4年1級3及大正9年2級2)

〔解〕 三者の接續下圖の如し。

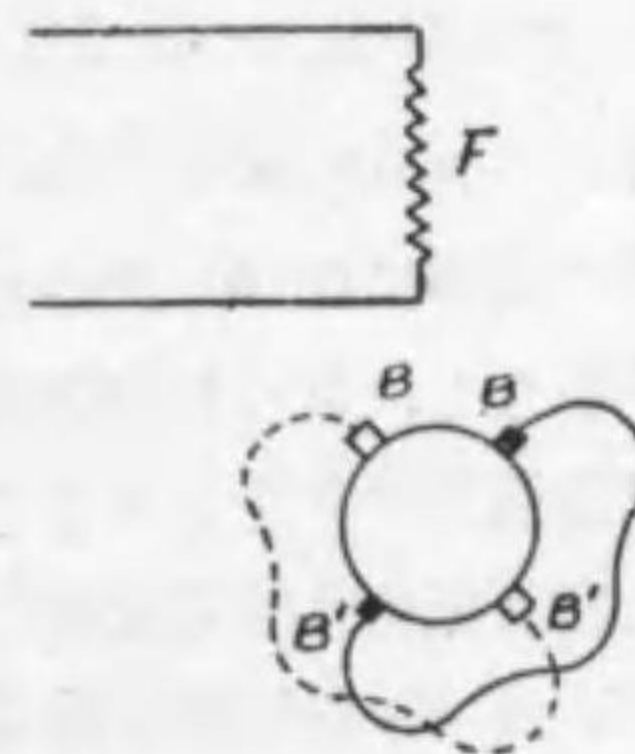
圖中 A は電動子, F は界磁線輪, C は補償捲線, B, B' は刷子

第 50 圖 (甲)



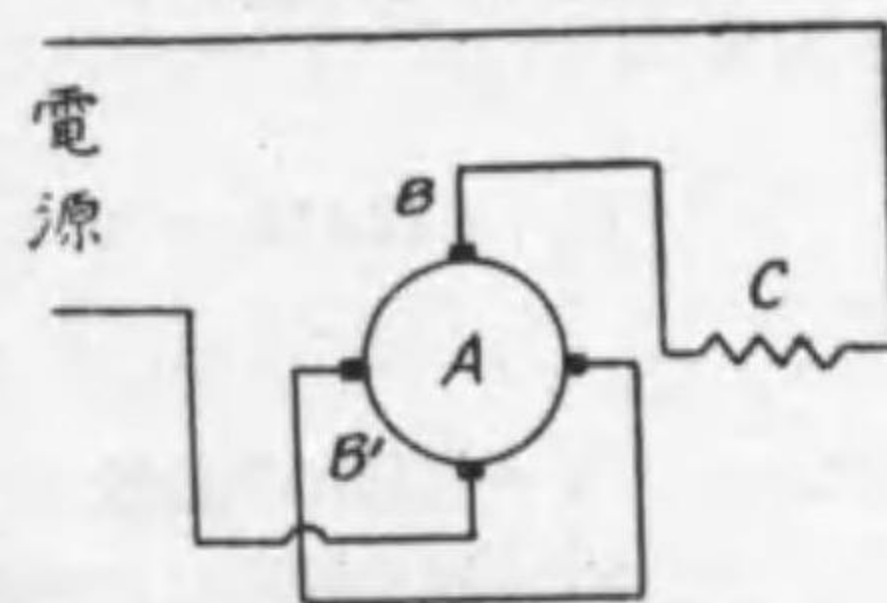
直捲電動機

第 50 圖 (乙)



反撥電動機

第 50 圖 (丙)



補償反撥電動機

(一名 Winter-Eichberg 電動機)

なり。性能上三者共に直流直捲電動機の特性を有す。即ち一定電壓の回路に於て、負荷、従つて電流の増加に伴ひ、速度減少して廻轉力増加す。速度の加減は三者共に供給電壓の増減に依りて之を行ふも、廻轉方向を變ずる爲には甲に在りては A の兩端接續、丙に在りては A と C とを直列に結びたる

ものの両端の接続を變換するを要し、乙に在りては刷子 BB' を點線的位置に變位せしめざるべからず。その他此の三者は力率及び整流に關して著しき相違あり。甲に於ては電動子反作用大にして整流状態劣悪なり。電動子のリアクタンス大にして力率亦低し。乙に於ても其力率劣悪なれど、中等速度に於ける整流は一般に良好なり。但し低速度並に高速度に於ては火花の發生を免れず。丙は乙の低力率を救ふ目的を以て作られたるものにして、中以上の速度に於て勵磁回路の周波数を極めて低くし、力率を高からしむるを其の特長とす。

(2) 單相交流直巻電動機の一型につきて理論を詳述す可し。

(大正1年1級1)

[解] plain series motor に就て其理論を述べん。

簡單の爲めに第 51 圖の如く二極にして界磁軸と、刷子軸とは互に直角をなし、且つ界磁線輪及電動子線輪のイムピーダンスは抵抗及局部漏洩リアクタンスなき純リアクタンスのみより成立せるものにて又磁氣抵抗は磁束密度に依つて變化せざるものなりと假定す。

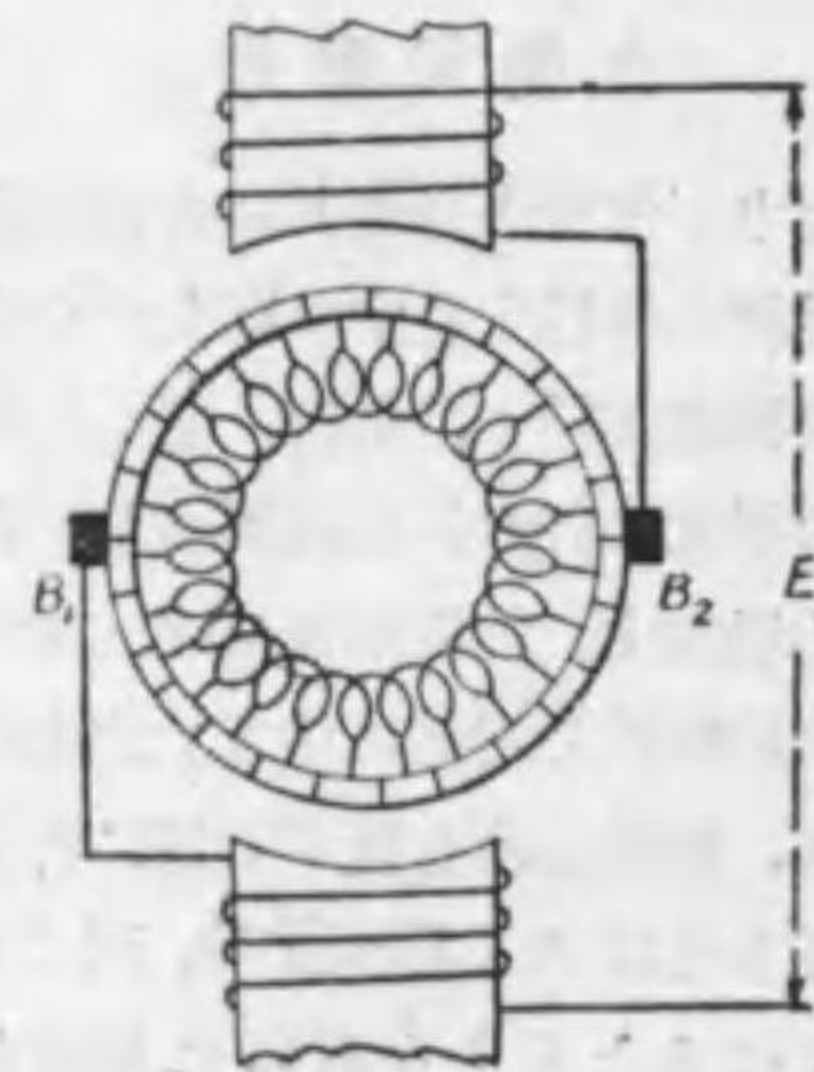
今 E_r 及 E_a を界磁線輪及電動子線輪の自己誘導に依る起電力(變壓器起電力と名づく)とすれば

$$E_r = 4.44 f N_r \phi_r 10^{-8} \dots \dots \dots (1)$$

$$E_a = 4.44 f N_a \phi_a 10^{-8} \dots \dots \dots (2)$$

- 但し f = 毎秒の周波數
 N_r = 界磁線輪の有効捲數
 ϕ_r = 界磁磁束の最大値
 N_a = 直列に接続されたる

第 51 圖



電動子線輪の捲數

$$\phi_a = \text{電動子磁束の最大値}$$

然るに界磁線輪と電動子線輪とは直列にして同一電流を通じ且つ互に直角の位置に置かるゝものなれば

$$\frac{\phi_r}{N_r} = m \frac{\phi_a}{N_a}$$

但し m = 電動子磁束通路の磁氣抵抗の界磁磁束通路の磁氣抵抗に對する比

今 $N_r = n N_a$ とすれば

$$\phi_r = m n \phi_a$$

$$\therefore E_r = m n^2 E_a \dots \dots \dots (3)$$

次に電動子が運轉して界磁磁束 ϕ_r を切る爲めに誘導さるゝ電動子起電力(速度起電力と名づく)を E_v とすれば

$$E_v = 4.44 f_a N_a \phi_r 10^{-8}$$

但し f_a = 電動子廻轉の周波數

今同期速度を 1 とせる場合の電動子速度を s とすれば

$$f_a = s f$$

$$\begin{aligned} \therefore E_v &= 4.44 s f N_a \phi_r \times 10^{-8} \\ &= 4.44 s f N_a m n \phi_a \times 10^{-8} \\ &= s m n E_a \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

E を端子電壓とすれば、 E は E_a 、 E_r 及 E_v と平衡すべきものにして、 E_v は電動子電流と反對の相にあり、 E_r 及 E_a は電動子電流より 90° 遅るゝものなるを以つて

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{E_v^2 + (E_a + E_r)^2} \\ &= \sqrt{s^2 m^2 n^2 E_a^2 + (E_a + m n^2 E_a)^2} \\ &= F_a \sqrt{s^2 m^2 n^2 + (1 + m n^2)^2} \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

又電動機の力率を $\cos \phi$ とすれば

$$\cos \phi = \frac{E_v}{\sqrt{E_v^2 + (E_a + E_r)^2}}$$

$$= \frac{s m n}{\sqrt{s^2 m^2 n^2 + (1 + m n^2)^2}}$$

$$= \frac{s}{\sqrt{s^2 + \left(\frac{m n^2 + 1}{m n}\right)^2}} \dots\dots\dots(I)$$

電動子のリアクタンスを X_a とすれば

$$I = \frac{E_a}{X_a} = \frac{E}{X_a} \cdot \frac{1}{\sqrt{s^2 m^2 n^2 + (1 + m n^2)^2}} \dots\dots\dots(II)$$

従つて電動機入力は

$$P = E I \cos \phi$$

$$= \frac{E^2}{X_a} \cdot \frac{s m n}{s^2 m^2 n^2 + (1 + m n^2)^2} \dots\dots\dots(III)$$

又電動子の廻轉力は

$$\tau = \frac{P}{s} = \frac{E_a^2}{X_a} \cdot \frac{m n}{s^2 m^2 n^2 + (1 + m n^2)^2} \dots\dots\dots(IV)$$

$$= m n X_a I^2 \dots\dots\dots(V)$$

(I) 乃至 (IV) 式を見る時には単相直捲電動機は直流直捲電動機と類似の特性即ち電流、電力、及廻轉力は電動機速度の増加に反して減少する特性を有する事を知る。

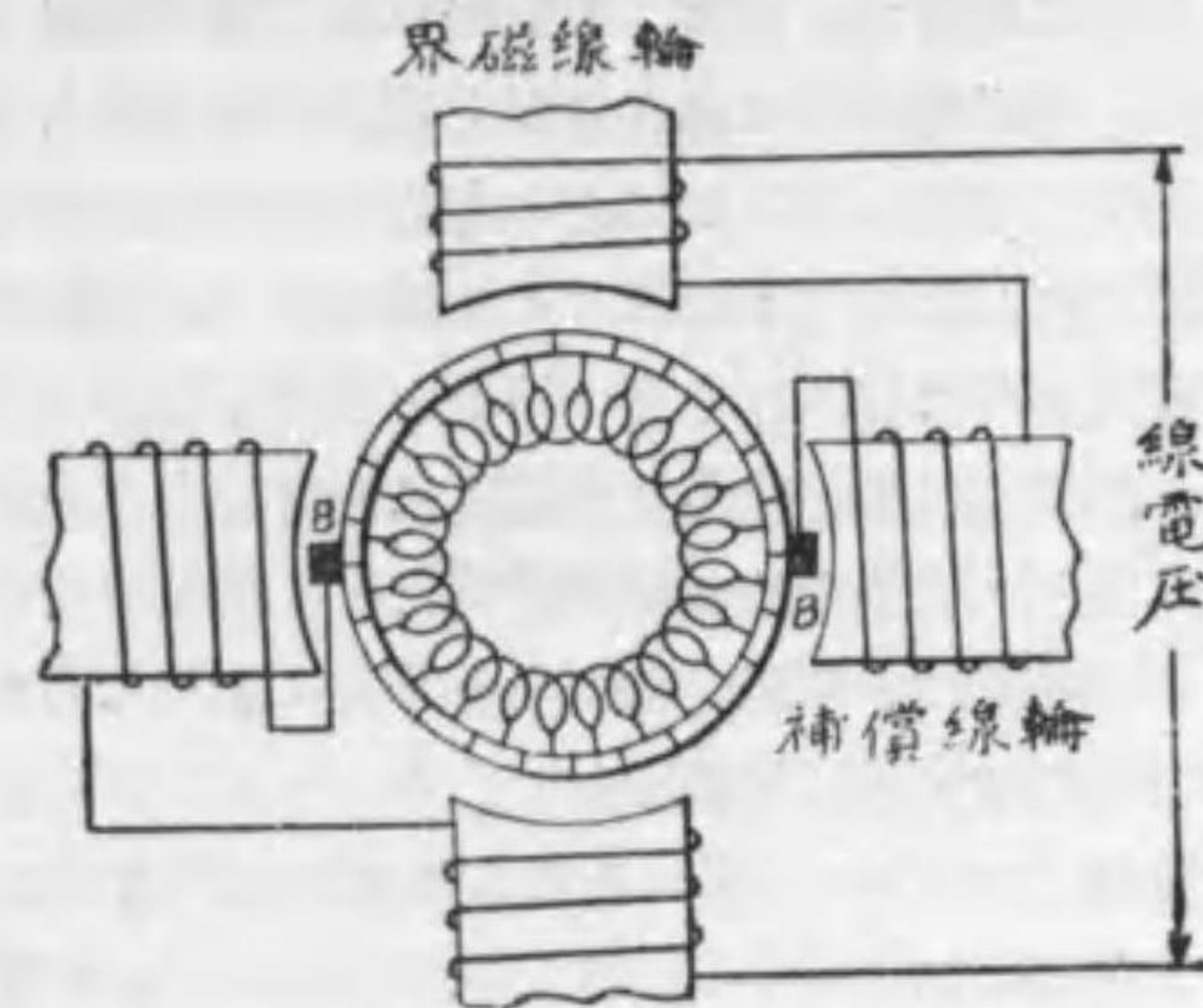
然れども實用に供せらるる λ series motor は第 52 圖に示す如く界磁と直角の位置に補償捲線を有する所謂 compensated series motor ならざるべからず。此理を次に述べん。

plain series motor の力率は (I) 式より明かなる如く n が小(即界磁捲數に比し電動子捲數が大) なる時には甚だ小にして、 n が大なる程力率良好となるものなり。今假りに $n=1$ なる場合とせば

$$\cos \phi = \frac{s}{\sqrt{s^2 + \left(\frac{m+1}{m}\right)^2}}$$

$s=1$ 即ち同期速度に於ては

第 5 2 圖



$$\cos \phi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{m+1}{m}\right)^2}}$$

m の値は甚大なるを普通とすれば假りに $m=\infty$ とすれば

$$\cos \phi = \frac{1}{\sqrt{1+1}} = 0.708$$

にして力率甚だしく不良にて實用に供すべからず。斯の如くなれば實用され得べき電動機にありては n を充分大とせざるべからず。然るに n を大とすれば電動子反作用甚だしく大となるべきは勿論なるを以つて實用電動機にありては必ず補償線輪を必要とするものなり。尙此實用電動機にては preventive lead を使用する等種々の改良を加へられたるものならざるべからず。

(3) 小なる単相誘導電動機に普通用みらるる自働起動装置 (self-starting device) 三種以上を挙げ之を説明せよ。

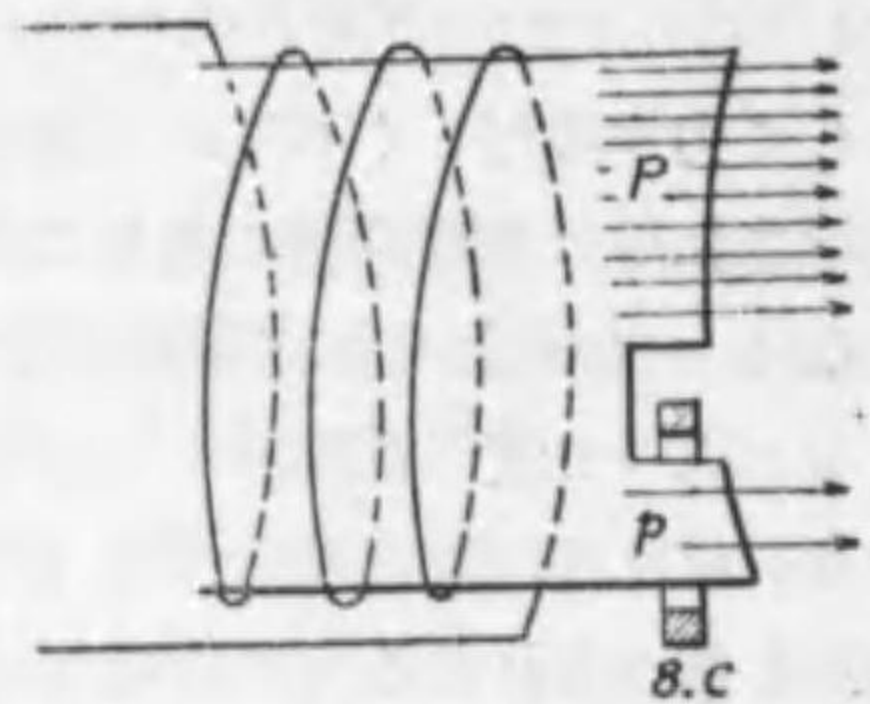
(大正 4 年 2 級 3)

[解] (イ) 分相法 (phase-splitting device)。此の法に在り

ては主要線輪と補助線輪とを固定子の溝内に備へ、兩線論は之を電氣角 90 度の位置に配置す。通常、主要線輪は太き銅線にて作り其の巻数を大にし、補助線輪には細き銅線を用ひて其巻数を小にするのみならず、固定子巻線以外に於て之と直列に抵抗又は蓄電器を加ふ。従つて兩線輪の回路の力率に著しき相違を生じ、起動時に於て双方を通ずる電流の間に約八九十度の相差を生ぜしむることを得べし。此の方法は要するに單相電源より適宜に相を分ち (split) たる電流を生じ之に依り不完全なる多相電動機として廻轉子を起動せしむるものなり。補助線輪の電路は廻轉子が適宜に加速せられたる後自働的又は手働的に之を開くを要す。

(ロ) 隈取線輪 (shading coil) を設くる法。此の方法に於ては、固定子各極の面を圖の如く大小二部 P, p に区分し、p の方に隈取線輪と稱する太き短絡銅環 S. C. を嵌入す。斯くすれば、固定子線輪の作る磁束が圖の方向に増加しつつある時に於て、S. C. に誘導せらるる電流に依り、磁極の p 部に磁束の増加を遮らむとする傾向を生じ、従つて P 部の磁束密度を増す。其の狀第 53 圖の如し。斯の如くにして、p 部の磁束變化は常に P 部に比して遅るるを知るべし。故に不完全なる廻轉磁界を生じ、之に依りて電動機を起動せしむることを得るなり。此の方法は S. C. に於て絶えず損失を生ずるが故に、極めて小規模のものに限り用ひらる。

第 53 圖

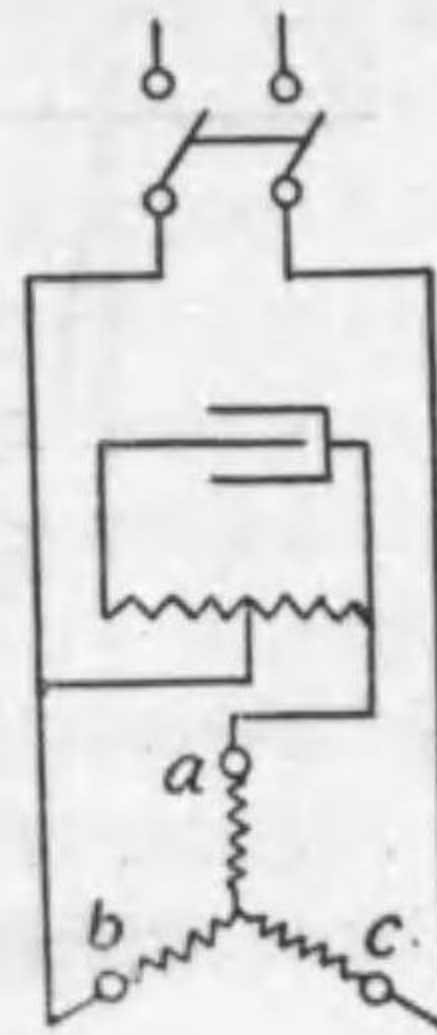


(ハ) 反撥電動機として起動する法。此の方法に在りては廻轉子に整流子を備へ、靜止の際に於ては炭素刷子により外部低抵抗を通じて整流子を短絡す 故に之に單相電壓を給與すれば、反撥電動機として起動するを見るべし。斯くて適當の速度に達すれば、遠心力

の作用に依り廻轉子線輪悉く短絡せられて、籠形廻轉子となり、刷子も亦自働的に揚げられて損失を少くす。此の種の電動機は製造家の名を取りて Wagner 電動機として知らる。

〔註〕 問題には三種以上とあるから、知つて居て、時間に餘裕があれば、尙一二種述べる方が良くも知れぬが、問題と時間とを見比べる所、それだけの餘裕もなささうだ。唯参考のため註として、此の外一二斯んなものもあるといふ事だけを附加へよう。分相法の一として三相誘導電動機を單相回路に使用する場合に第 54 圖のやうな起動装置を施す事がある。斯うすれば a の回路には靜電容量を含むから、a, b, c 三路の電流に相差を生ぜしめる事が出来る。スタインメッツ博士の monocyclic device と命名したものなども之に類似して居る。

第 54 圖

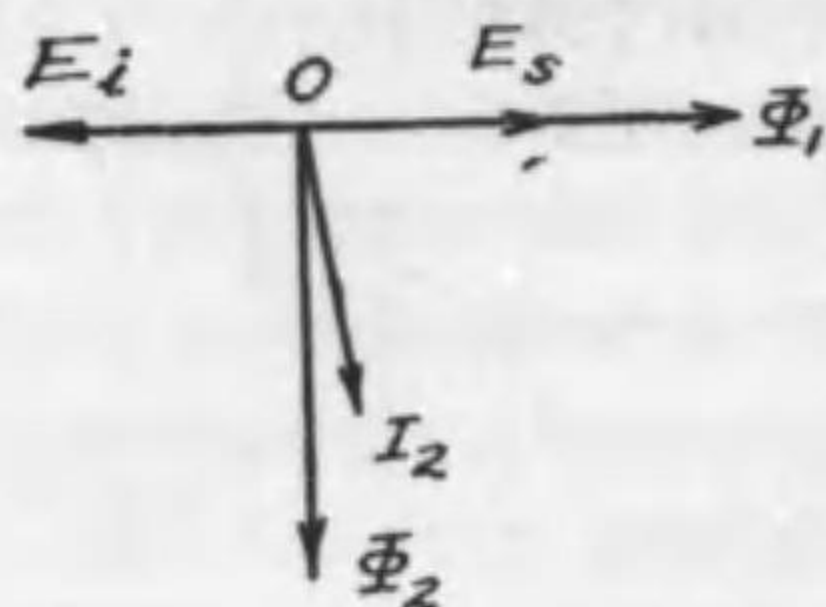


(4) 單相反撥電動機 (repulsion motor) の磁界は同期に於て略々不變の廻轉磁界を爲す理由を説明せよ。(大正 6 年 1 級 2)

〔解〕 反撥電動機は成層鐵心の溝に捲かれたる單相固定子内に第 55 圖 直流電動子を入れ、其の整流子上電氣角 180° を隔つる二點に刷子を置き之を外部にて短絡したるものなり。故に其の二極の場合の接續は第 55 圖の如し。今固定子に單相交流を通ずれば Y Y 線路上に交番磁束 ϕ_1 を生じ、ab 附近の電動子導體に所謂 speed e. m. f. E_s が誘導せらる。 E_s と ϕ_1 とは明かに同相に在り(第 56 圖参照)。 E_s に依つて生ずる電流を I_2 とすれば I_2 より少しく遅れて ϕ_2 を生ずべし。而して此の電動子磁束 ϕ_2 の變化の割合は即ち自己誘導の起電力 E_i となる。



第 56 圖



E_1 と E_s とは略 equal and opposite となりて起電力の平衡を保つ。(従つて I_2 は圖の如き相を取ることが必要とす) 故に本題の如く同期速度に於て廻轉せる場合には、 E_1 の周波數と E_s の周波數とが相等しきを以て、 $\phi_1 \div \phi_2$ なり。而して其の時に關する相差は第

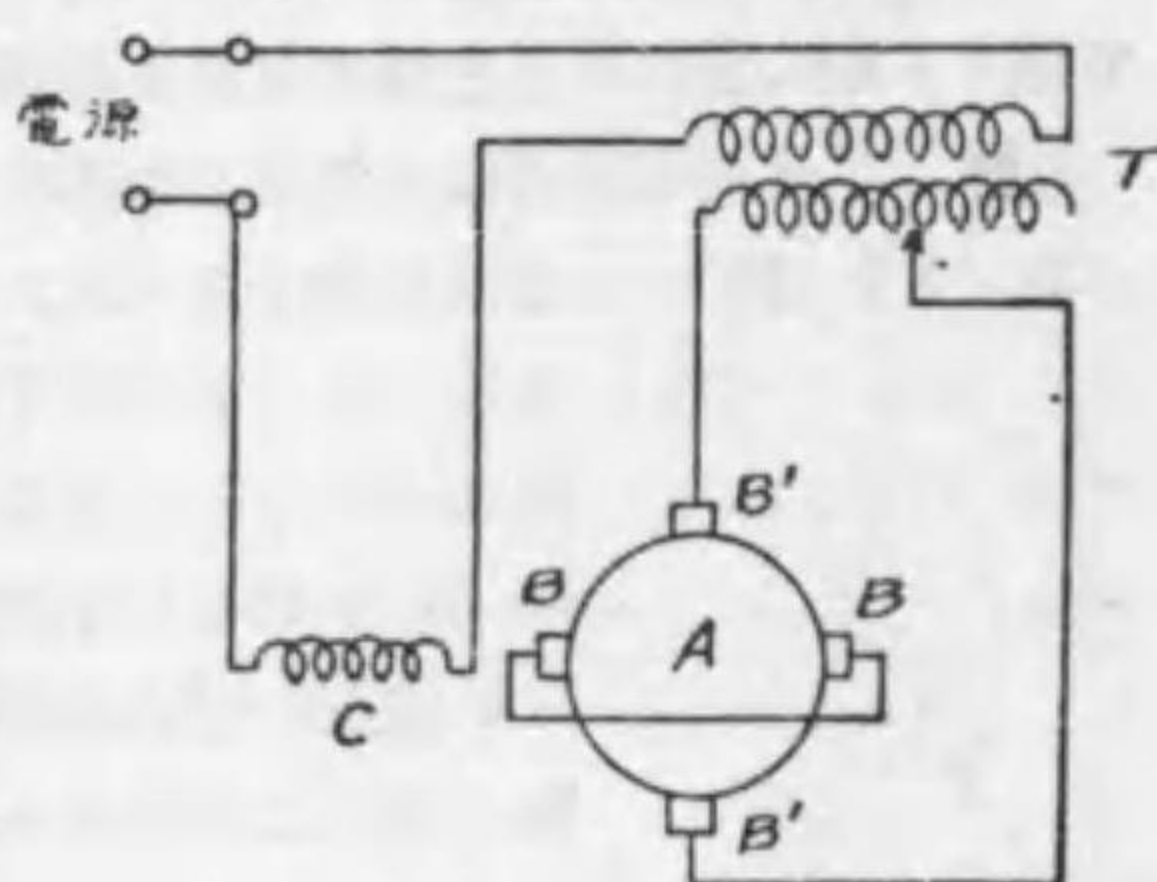
56 圖の如く略々 90° ならざるべからず。又 ϕ_1 と ϕ_2 と第 55 圖の如く空間に於て約 90° の角をなす。故に ϕ_1 と ϕ_2 との合成は略々圓形なる廻轉磁界となる。

(5) 單相補償反撥電動機 (single-phase compensated repulsion motor or Winter-Eichberg motor) の構造及び原理を述べよ。(大正 8 年 1 級 2)

[解] 單相補償反撥電動機は圖の如く接続せらる。第 57 圖中 A は電動子にして整流子及び刷子を有す。刷子の一組 BB (二極と假定す) は主要刷子にして太き導線にて短絡せらる。又 BB の方向に補償捲線 c を具ふ。c と直列に變壓器 T を結び、電源より之に電流を供給す。T の二次線は第二の刷子 B' B' に繋がれ、其の二次捲數は或る範圍内に増減するを得る如くす。BB と B' B' とは直角をなす。

今此の電動機に電流を供給する時は B' B' を通じて rotor exci-

第 57 圖



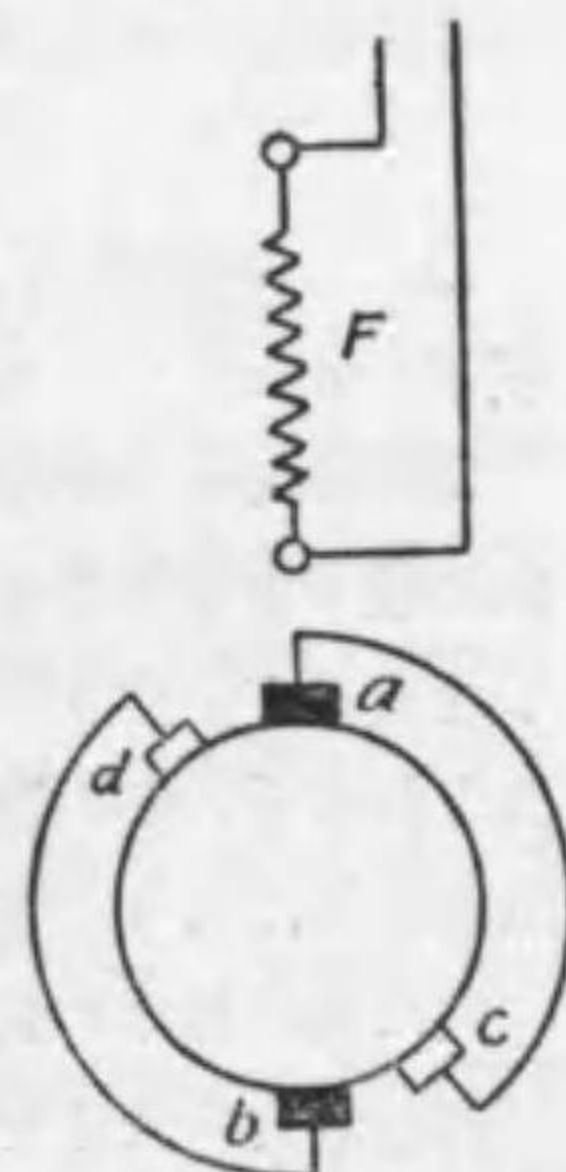
tation をなし、之に依つて磁束を生ず。而して短絡刷子 BB の存在に依り、反撥電動機の原理に従つて廻轉す。BB の方向に生ずる電動子反作用は捲線 c に依つて補償せらるゝなり。又 T の二次捲數を調整して速度を加減することを得。元來普通の反撥電動機は力率劣悪なるを以て弱點とすれども、補償反撥電動機に在つては力率を良好ならしむるを得るの利あり。其の理由他なし、rotor excitation なるが故に之に要する wattless volt-ampere は滑りの周波數に相當するものとなり、大に減少せらる。然かも、此の場合 BB は短絡されたる二次線となり、大に電動子の自己誘導を減少す。従つて電動機の力率を大に改善し得るなり。

此の電動機を補償反撥電動機と稱するは、補償捲線 c を有するが故と云はむより、寧ろ前述の如く力率の補償をなすが故なり。又前述の c を主要界磁捲線と呼ぶ著者あれども、茲には Steinmetz の説に従ひて之を補償捲線と名けたり。其の方理解を明確にする利あり。

(6) デリー電動機の構造及特質を略述せよ。(大正 6 年 2 級 3)

[解] デリー電動機は單相交流電路に使用すべき反撥電動機 (repulsion motor) の一種にて其の接続圖の如し。第 58 圖中 F は成層鐵心に捲かれたる界磁線輪にして a 及 b は整流子上、F の軸線と平行なる線上に置かれたる固定刷子、c 及 d は可動刷子なりとす。a と c とを短絡し又 b と d とを短絡す。廻轉速度を變ずる爲めには d 及 c の刷子を移動するなり。此の電動機は Thomson の反撥電動機の変態なる故に、當然直捲電動機の特性を有す。即ち一定なる刷子の位置に對して負荷を増せば速度を

第 58 圖



減すべし。又起動廻轉力の大きなるは此電動機の一の長所なりとす。

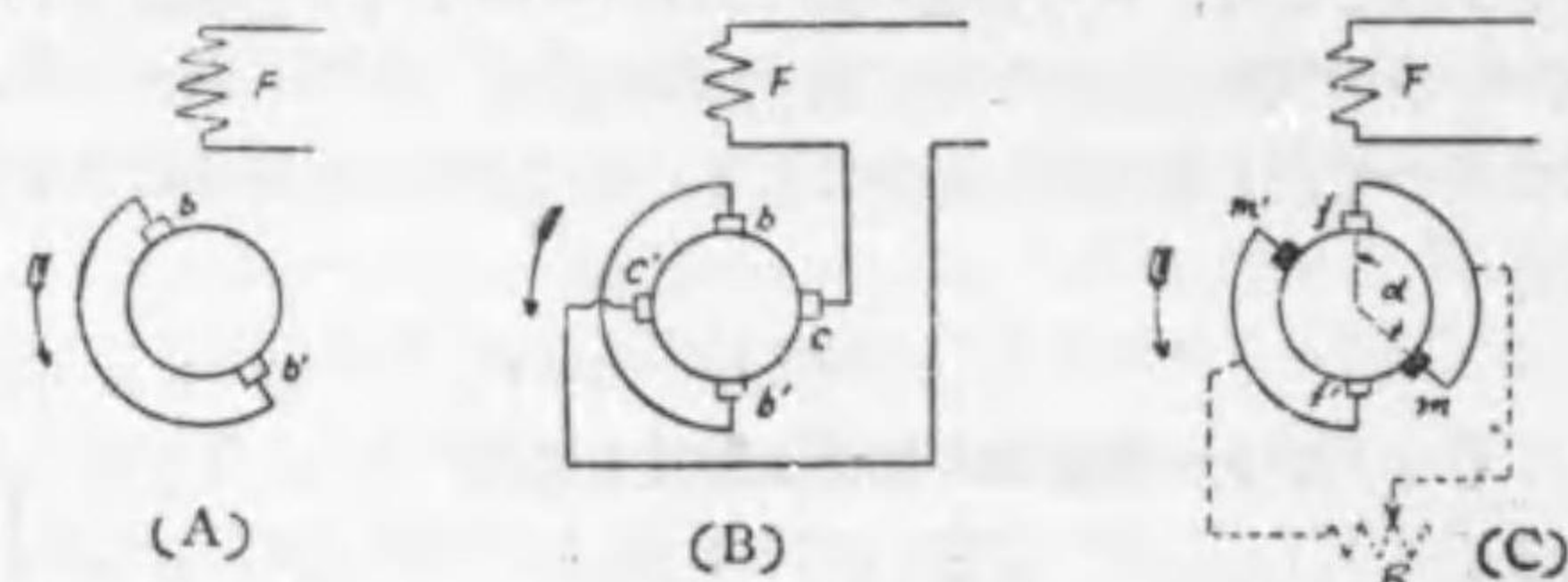
(7) テリー反撥電動機 (Déri repulsion motor) が構造上並に働用上他の反撥電動機に異なる點を説明せよ。

(大正 10 年 1 種 2)

〔解〕 反撥電動機は Thomson motor を以て本態となし、Atkinson motor, Latour-Winter-Eichberg motor (以下 L-W-E motor と記す) 等種々の變態あり。Déri motor も亦其の一にして比較的近時の發達に係り、歐洲に於て織機業に愛用せらる。最初其の構造の相違點を明にする爲め下の三圖を掲ぐ。

第 5 9 圖

(A.) Thomson motor (B.) L-W-E motor (C.) Déri motor



←.....廻轉方向; F.....界磁; b, b', c, c', 刷子; f, f', 固定刷子; m, m', 可動刷子

Thomson motor (Atkinson motor 等も) は磁極の對毎に唯二個の刷子を有するも、Déri motor に於ては磁極の對毎に四個の刷子を有せり。尤も L-W-E motor は刷子の個數 Déri motor と同様なれども、其の接續法の異なる事上圖の如く、其の使用目的も亦全然趣を異にせり。是れ Déri motor の構造上の特徴なり。

次に其の働用の異なる要點は大略下の如し。第一 Déri motor は起動廻轉力の大きを適當にして、極めて圓滑に起動せしむることを得。第二 速度の調整は可動刷子 m, m' を動かして之を行ふ。C 圖の α が 150° 附近に於て最大速度となる。第三 圖に於て點線を以て

示せるが如く、加減抵抗を刷子の二組の間に挿入すれば、廻轉力の調整を一層自由にするを得。第四 廻轉方向を變ずるには、切換開閉器を以て固定刷子と可動刷子との接續を變ずるか、若しくは刷子の接續を一定となし前圖、m, m' を f, f' の位置に固定せしめ、f, f' を反對方向に移動せしむべし。此の手段は他の反撥電動機に比して少しく趣を異にす。

(8) 單相整流子電動機 (single-phase commutator motor) に於ける補償線輪 (compensating winding) 及抵抗導線 (resistance lead) の作用を説明せよ。(大正 7 年 2 級及大正 15 年 2 種 3)

〔解〕 (イ) 補償線輪 單相直捲電動機に於て、今

- φ 力率角
- f₁ 供給電路の周波數
- f₂ 電動子廻轉の周波數
- n₁ 界磁線輪の直列總捲數
- n₂ 電動子の直列捲數

とし、且つ電動機内にて抵抗に打勝つに要する僅少の起電力と發電子反作用とを閉却すれば、次の關係成立つ。

$$\tan \phi = \frac{n_1}{f_2 n_2}$$

上式より、界磁線輪の捲數少く電動子の捲數多き程、力率良好なることを知る。即ち單相整流子電動機に於ては其の力率を良好ならしむる爲め、一般に直流電動機に比して界磁捲數を小に、電動子捲數を大に取るを要す。然るに、是れ直流機に於て電動子反作用を減殺する爲採用する手段の逆なるが故に、整流作用を悪くすることを俟たず。且つ此の反作用の磁束も交番するが故に、電動子に電流より 90° 進みたる電壓降下を生じ、力率を再び不良ならしむ。故に補償線輪を具へて反作用磁束を打消し、整流を助くると共に、電動子の自己誘導電壓降下を輕減する事を喫緊とす。補償線輪は成るべ

く之を分布巻線とし、且つ電動子巻線に密接せしめて、成層界磁鐵心の溝内に収む。而して其の巻数を適當に選び、之を電動子線輪と直列又は直列と同様の電磁誘導關係に置き、兩巻線のアムペア回数を反對ならしむるを以て、各瞬時に於て殆ど完全に電動子反作用を相殺し得るなり。之に依て電動子を殆んど無誘導とし力率を良好ならしめ得ると共に磁界の偏歪を防ぎ、整流を完全ならしむるものとす。

(口) 抵抗導線 交流整流子電動機に於ては、刷子間に短絡せらるる線輪と鎖交する磁束は絶えず交番す。起動の際之に依て大なる起電力を生じ、短絡線輪の巻数大なる場合に於て特に整流困難となる。依つて各線輪を整流子片につなくに無誘導高抵抗の特別金屬線を以てし、之に依つて短絡線輪内の電流を制限するなり。(此の抵抗は直流の場合の如く $\frac{L}{R}$ を小にする上にも亦有效なり。) 此の導線は全電動子抵抗増加(従つて銅損の増加)に對しては、甚しく大なる影響を與へずして、しかも短絡線輪の抵抗を著しく増大し得る點に妙味を有す。

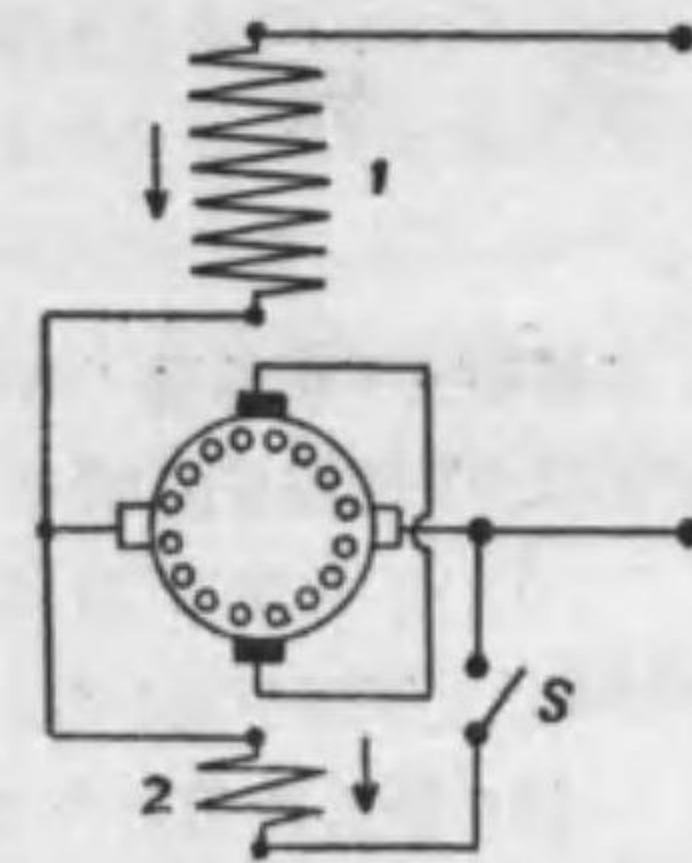
(9) 分捲特性 (shunt characteristics) を有して自起動し得る單相整流子電動機 (single-phase commutator motor) の一種に就き構造及原理を説明せよ。 (大正 11 年 1 種 1)

〔解〕 直流分捲電動機の如く、界磁電路が電動子電路と並列に結ばれたる單相整流子電動機あれども、其起動廻轉力極めて貧弱なるが故に、茲には“unity power factor” motor につき説明せむ。

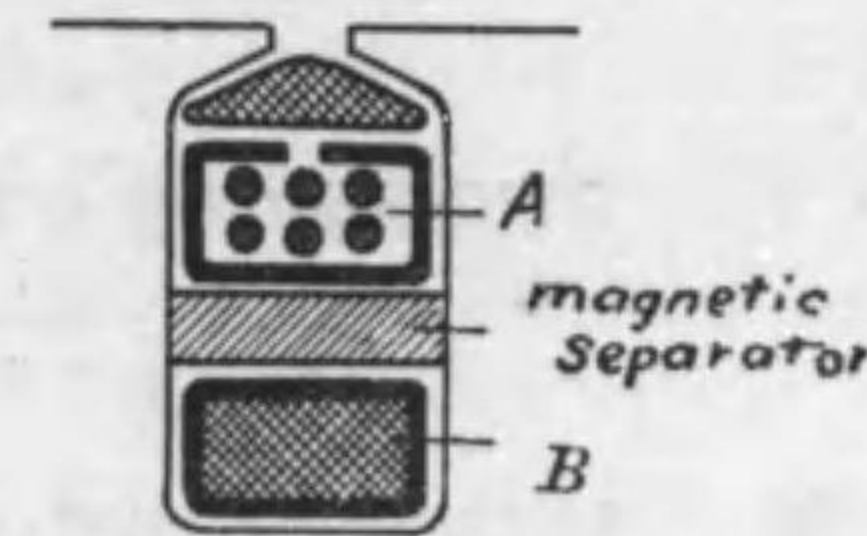
此の電動機の構造は第 60 圖に示すが如し。固定子には 1 及び 2 の二個の巻線を有し、2 は静止状態に於て遮断せらる。廻轉子も亦第 61 圖の如く A, B 二個の巻線を有し A は整流子に接続せられ、B は籠形巻線なり。

起動に際しては、1 の界磁と A の巻線及び二組の刷子とに依り Latour-Winter-Eichberg motor として充分大なる起動廻轉力を發

第 60 圖



第 61 圖



生し、運轉を開始すべし。而して此の際巻線 B は殆んど廻轉力の發生に與らず。蓋し AB 兩者間に magnetic separator を有するを以て、B の自己インダクタンス高く、加ふるに之を通ずる電流の周波数比較的大なればなり。電動子の速度が一定の限度に達すれば、s の遠心力開閉器に依りて、補償巻線 2 が回路に挿入せられ、且つ固定子巻線の兩端が端子に接続せらるるに至る。而して電動子の速度が同期速度に接近するに従ひ、巻線 B は單相誘導電動機の籠形巻線として、強大なる廻轉力を發生すべし。爾後負荷の増減に依る速度の變化は極めて僅少となり、所謂分捲特性を發揮するに至る。

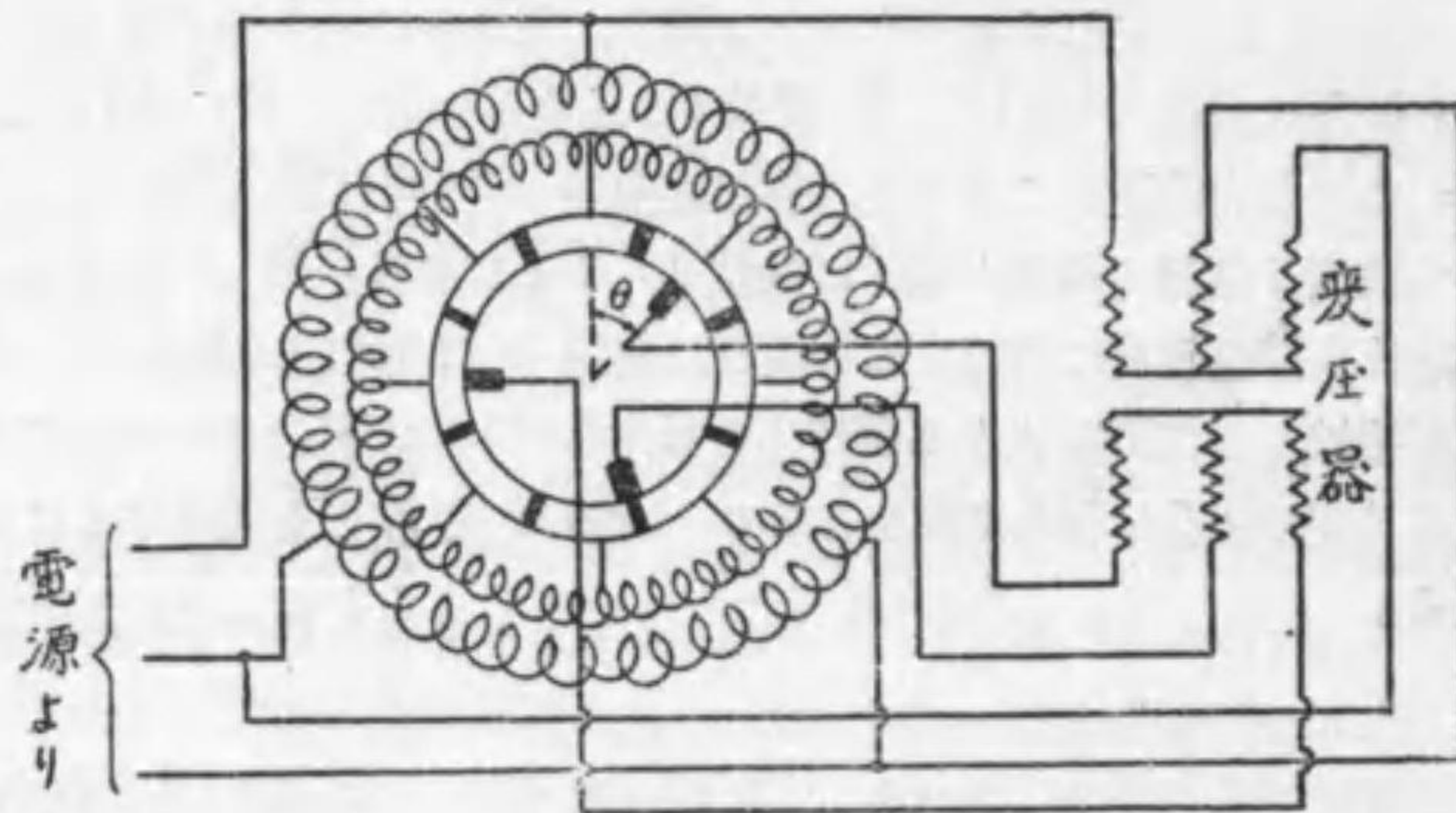
第十四章 雜 機 械

(1) 分捲電動機の特性を有する三相整流子電動機 (three phase commutator motor) の一種に就き構造及原理を説明せよ。

(大正 7 年 1 級 2)

〔解〕 茲に三相分捲電動機を挙げ其の構造及原理を説かむ。此の機は第 62 圖の如く成層鐵心の溝内に n 極の捲線を容れたる固定子及廻轉子を有す。固定子は三相 (三角形又は星形) 捲線を施し

第 62 圖



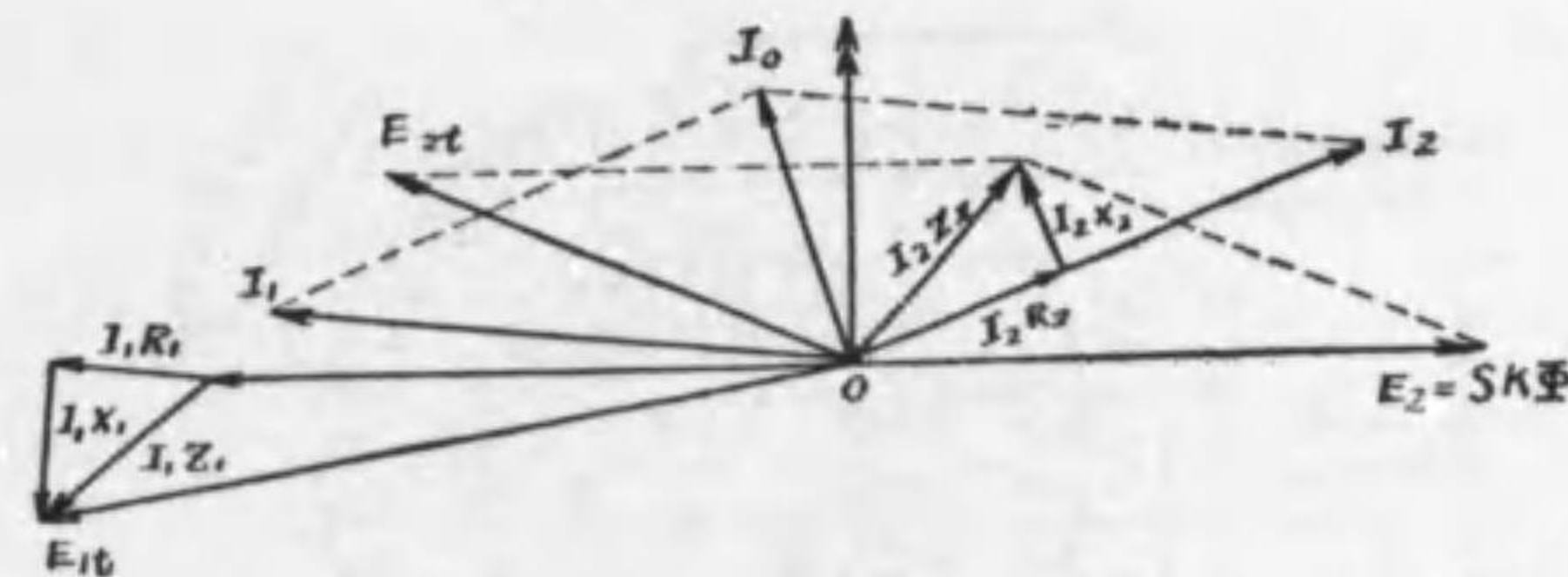
て直接電源に結び、廻轉子は直流機と同様の捲線を有し整流子及刷子を具ふ。刷子の位置は固定子の端子と θ の角を有せしめ、多くは變壓器を経て電源に繋がる。(第 62 圖)

今極めて輕負荷の下に三相電壓を供給すれば、固定子廻轉子共に電流を通じ合成廻轉磁界 Φ を生ず。此の Φ と電動子電流 I_2 とに依り廻轉力を生じて電動子廻轉すべし。其時の滑りを s とすれば

$$E_2 = sk\Phi \quad (\text{但し } k \text{ は常數})$$

の起電力が第 63 圖の如く電動子に誘導せらる。今刷子より E_{2t} を供給するものとせば、 E_{2t} より $-E_2$ を減じたるものは $I_2 Z_2$ ならざるべからず (Z_2 は電動子イムピーダンス)。故に I_2 の大き及位相が決定せられ、之れが Φ に對し恰も所要の廻轉力を出すに如き割合に s が生ずるなり。又同理に依り $E_{1t} - E_1$ が固定子の電壓降下 $I_1 Z_1$ にして I_1 の大き並に位相も亦決定せらる。而して I_1 と I_2 との合成が、恰も Φ を生ずるに必要な勵磁電流となる。

第 63 圖



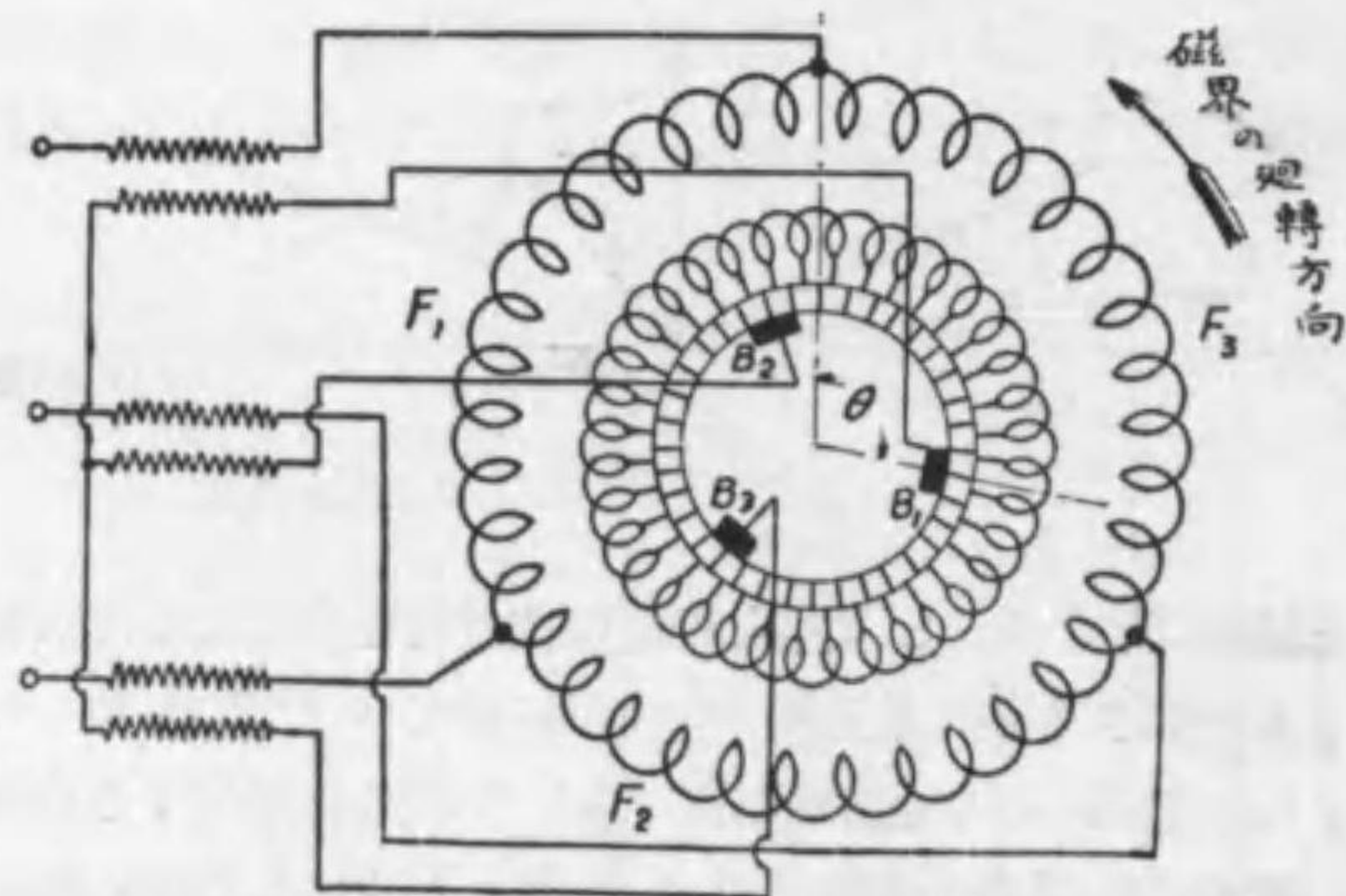
(此の線圖に於て E_{1t} と E_{2t} との間に相差角を生じたるは事實に適せざるが如きも是れ畢竟刷子を空間に於て θ だけ推移したる爲め I_1, I_2 の作る二つの廻轉磁界の間に θ の相差を生ずるの事實に基く。換言すれば刷子推移角 θ だけ E_{2t} と E_{1t} との間に相差を與ふることにより刷子を推移せざる場合の反作用磁界と同様に處理するを得るなり。)

次に負荷加はれば滑り s が増加し、 Φ と I_2 の有効分との積が増大することを要す。 Φ を不變として s のみ増すものと假定するも、一定なる E_{2t} に對して I_2 が増し E_2 と I_2 との相差を小にす。故に僅かの s の増加にて出力比較的著しく増加す。即ち分捲特性を有することを知る。

(2) 直捲電動機 (直流直捲電動機) の特性を有する三相整流子電動機 (three phase commutator motor) の一種に就き其構造及原理を説明せよ。(大正 9 年 1 級 2)

〔解〕 第 64 圖の如き三相直捲電動機に就きて説明せん。圖中 F_1, F_2, F_3 は成層鐵心に捲かれたる三角形結線の固定子即ち界磁線輪にして、變流比 1 なる變流器 T_1, T_2, T_3 に依り三相整流子附廻轉子(三角型結線)と直列に接続せらる。但し廻轉子の各相の起磁力の方向が、之に對應する固定子各相の起磁力の方向より、 θ だけ磁界廻轉の方向に後る λ が如く刷子 B_1, B_2, B_3 の位置を定むるものとす。斯くの如くすれば廻轉子の廻轉すると否とを問はず、固定子廻轉子

第 64 圖

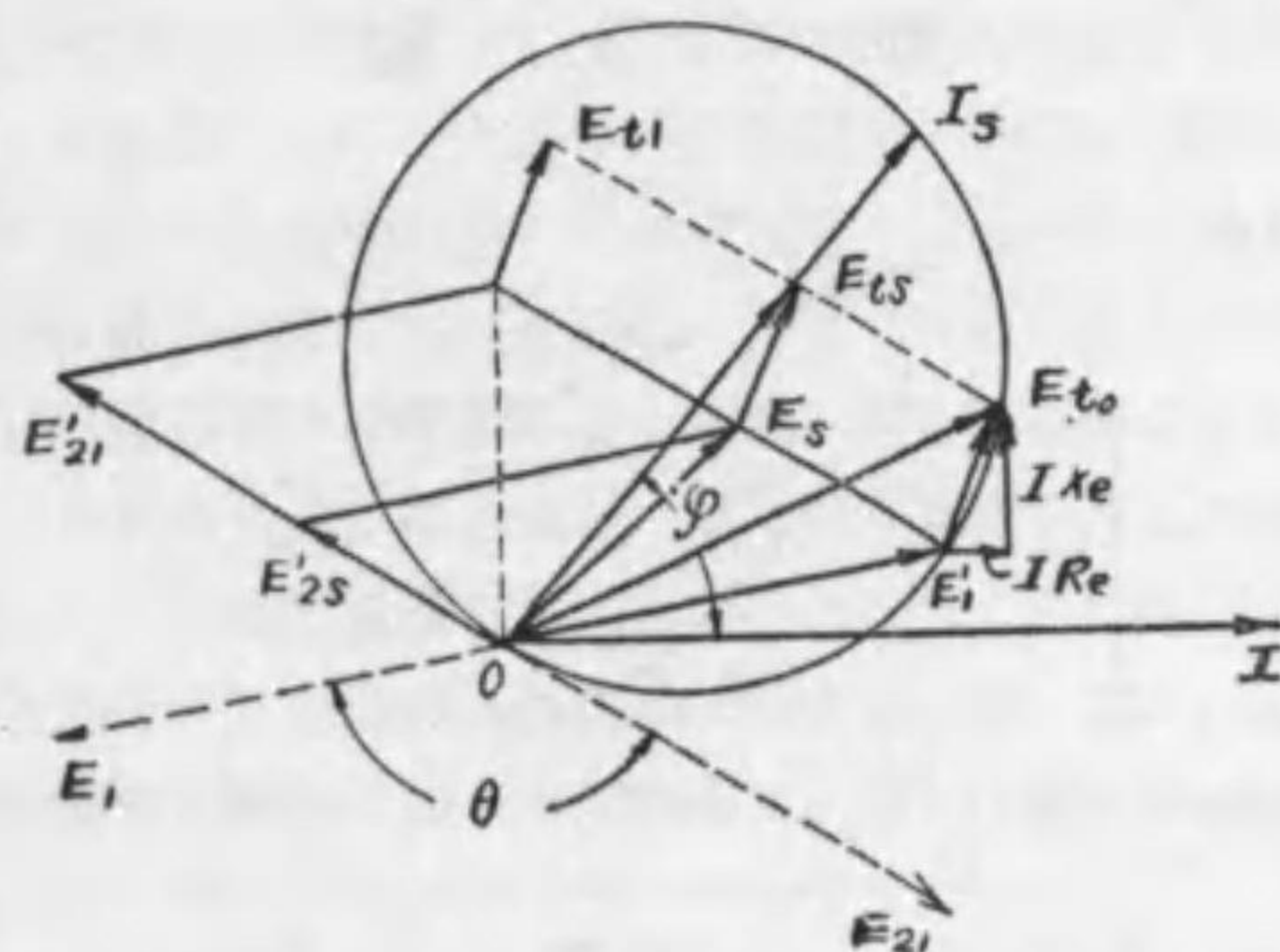


共に同方向同速度の正弦波廻轉磁界を生じ、磁界廻轉の方向に廻轉力を生ず。故に θ の値を適當に選ぶことにより之を電動機として使用し得べし。次に此の電動機が直捲特性を有することを説明せん。

第 65 圖に於て固定子廻轉子に共通なる電流を表はすに OI なる基本のベクトルを以てす。最初 I の大きさを一定ならしむる爲には負荷、速度等の變化に對し端子電壓 E_t が如何に變ずる必要あるかを研究せん。一定電流 I に依る合成廻轉磁界の爲に固定子並に廻轉子に誘導せらるゝ起電力、 E_1, E_2 の間には θ の相差あり。(の如く E_2 の方進む)。而して E_2 は滑りが s より零に變ずるに従ひ、 $\overline{OE_{21}}$ より零迄變化す。(同期速度以上となれば E_2 の方向反對

となる。)故に滑り s に於ては、是等の誘導起電力に打勝つ爲めに、 E_1' と E_2' との合成 E_s を要す。之に電動子内の電壓降下總額を償ふに要せらるゝ E_s E_{ts} を加へたる E_{ts} が、其の場合の端子電壓ならざるべからず。(此の作圖法に於て、 E_{ts} が I に對し如何なる位相を占むべきかは不明なれども、結局 E_{ts} が I より 90° 以内にあるべきこと電動機としての必須條件なるが故に、第 65 圖の如くに

第 65 圖



して甚しき誤りなきを知るべし。)即ち此の場合、速度が零より同期速度迄増加するに伴ひ、端子電壓を示すベクトルの一端 E_t の軌跡は E_{t1}, E_{t0} の直線となる。

次に上來の假定を變じ、同期速度に於て I の電流を生ずる E_{t0} の大きさに端子電壓を保持する時、負荷、速度の變化に應じて I の大きさ如何に變ずるかを檢せん。第 65 圖に於て $\overline{OE_{t0}}$ の長さを以て同時に其の場合の電流の大きさ $I_0 = I$ を表はすものとし、速度 $1-s$ に於ける電流 I_s を、其速度に於ける $\overline{OE_{ts}}$ 線上に取る時は、 I_s の軌跡は原點 O より直線 E_{t0}, E_{t1} に下したる垂線上に中心を有し、且つ O と E_{t0} とを通過する圓周の一部なるべし。何となれば此の場合、磁氣飽和並に漏磁の變化を閉却すれば、各速度に於て E_t と

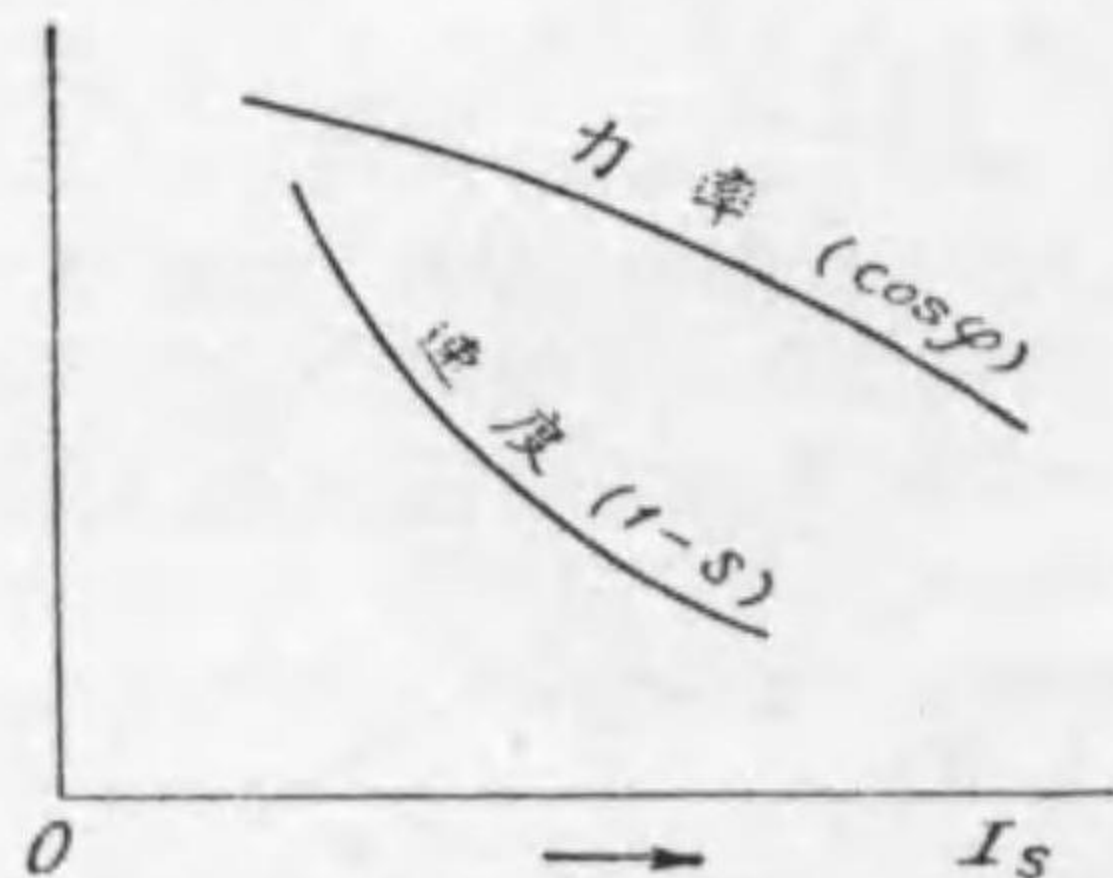
I とは正比例するが故に

$$\overline{OI_s} : \overline{OE_{t_0}} = \overline{OE_{t_0}} : \overline{OE_{t_s}}$$

なればなり。

I_s を横軸として速度 $1-s$ (E_{t_1} より E_{t_s} 迄の長さ) 及び力率 ($E_{t_s}OI$ 角の餘弦) を表はせば、大略第 66 圖の如くなるべし。故に此の電動機は直流直捲電動機と同様に、負荷の増加に従ひ其の速度頗る廣き範圍に變化す。

第 66 圖



(3) 多相整流子電動機の整流子の作用を論述し之を應用せる電動機の実例三種を挙げよ。 (大正 15 年 1 種 2)

〔解〕 (1) 整流子の作用 多相機の整流子の作用は之を (イ) 周波数の變換, (ロ) 刷子移動の效果の二つに分ちて説くを便とす。

(イ) 周波数の變換 整流子電動機の固定子捲線は誘導電動機と同じく、同期廻轉磁界を生ず。整流子を有する電動子(即ち廻轉子)を此磁界に置くときは、直流機の場合と等しく整流子面に、ほぼ正弦波形を成せる電位分布を得べしと雖も、此分布は直流機の場合と異なり空間に對して靜止せるものにあらず。是れ磁界が廻轉せる故にして、電動子の廻轉磁界に對する滑りを s (分數にて) とすれば、磁界と電

動子との關係速度は s (同期速度) となり、整流子面上の電位分布も亦、全體として波形を變ずること無く、唯上述の廻轉速度を以て廻轉磁界と同方向に移動す。然るに廻轉子自身は自ら $(1-s) \times$ (同期速度) にて同じ方向に廻られるが故に、空間より之を見れば、電位の分布は廻轉子廻轉速度の大小如何に拘らず、 $(1-s) \times$ (同期速度) $+ s \times$ (同期速度) = 同期速度、即ち磁界と同一速度を以て推移するを知る。故に空間に固定せる任意の二個の刷子間の電位差即ち電壓は、同期的に交番すべし。但し其の電壓の大きさは滑り s に比例すること勿論なり。之を要するに整流子の作用は廻轉子の各捲線に誘導せらるゝ起電力の滑り周波數 (slip frequency) を整流して、之を固定子即ち供給電壓の周波數に轉換するものと謂ふべし。直流機は實に供給電壓の周波數零なる特別の場合に過ぎざるものとす。

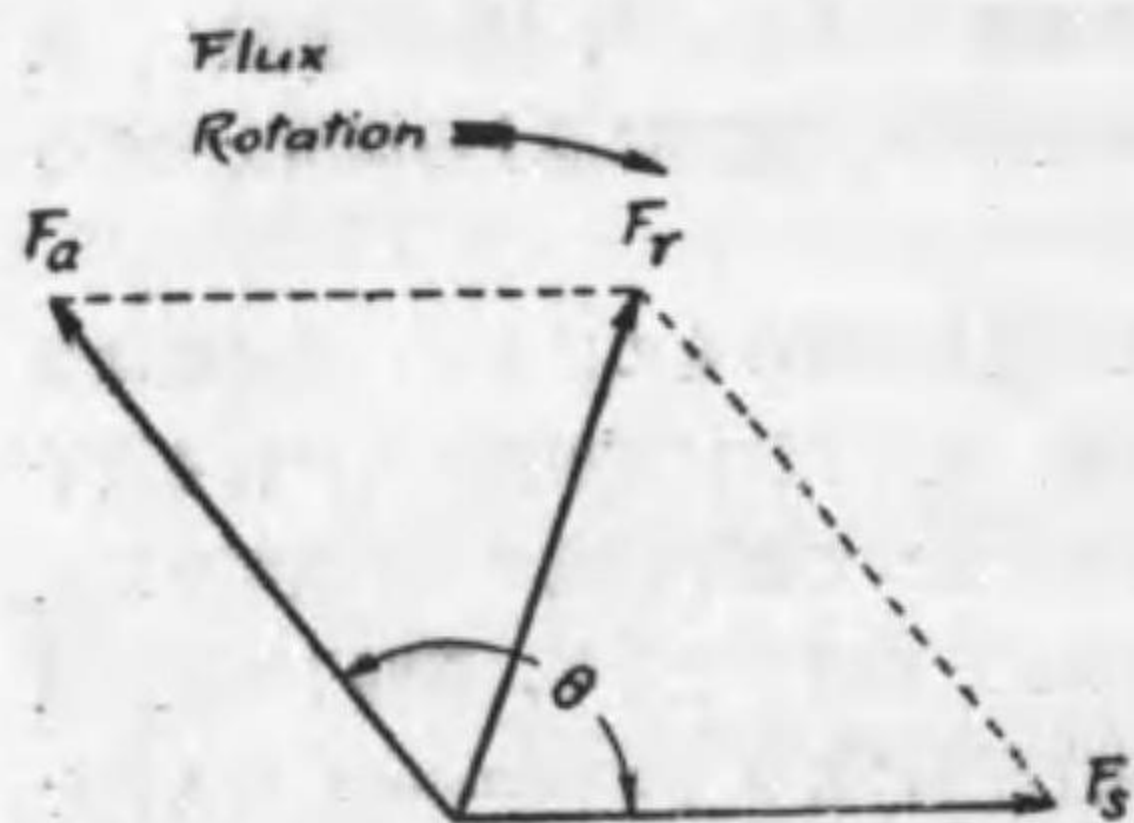
整流子の此の性質に基き直接、或は變壓裝置を介して間接に、供給電源より來る電壓電流を其儘廻轉子に送入するを得べきを以て、廻轉子と固定子とを並列、直列或は兩者合一等、種々に接続し、茲に多種多様な整流子型多相電動機及其應用に屬する機器を生ずるなり。

猶廻轉子の捲線は普通の直流機と同様のものにして、其相數は等間隔に整流子上に置く刷子の數、換言すれば電氣度にて計れる刷子の間隔によりて定まるものなり。従つて刷子間隔を 90 電氣度を取れば四相式となり、 120° に取れば三相式となる等、廻轉子相數の選擇頗る自由なりと雖も、高周波磁界による performance の劣化を防ぐ爲め實用上は固定子と同相數なるを常とす。

(ロ) 刷子の移動の效果 整流子の (イ) の性能は刷子の位置に關係する所無し。次に吾人は其移動に依り、如何なる影響を生ずるかを検せんとす。第 67 圖は三相整流子電動機の略圖にして、刷子は固定子と廻轉子との各相捲線が全く重なり合ふ如き位置を示す。固定子と廻轉子との起磁力の軸線は、空間に對し共に同期速度を以て同方向に動く故、其空間的相對位置は何れの瞬時にも一定不變に

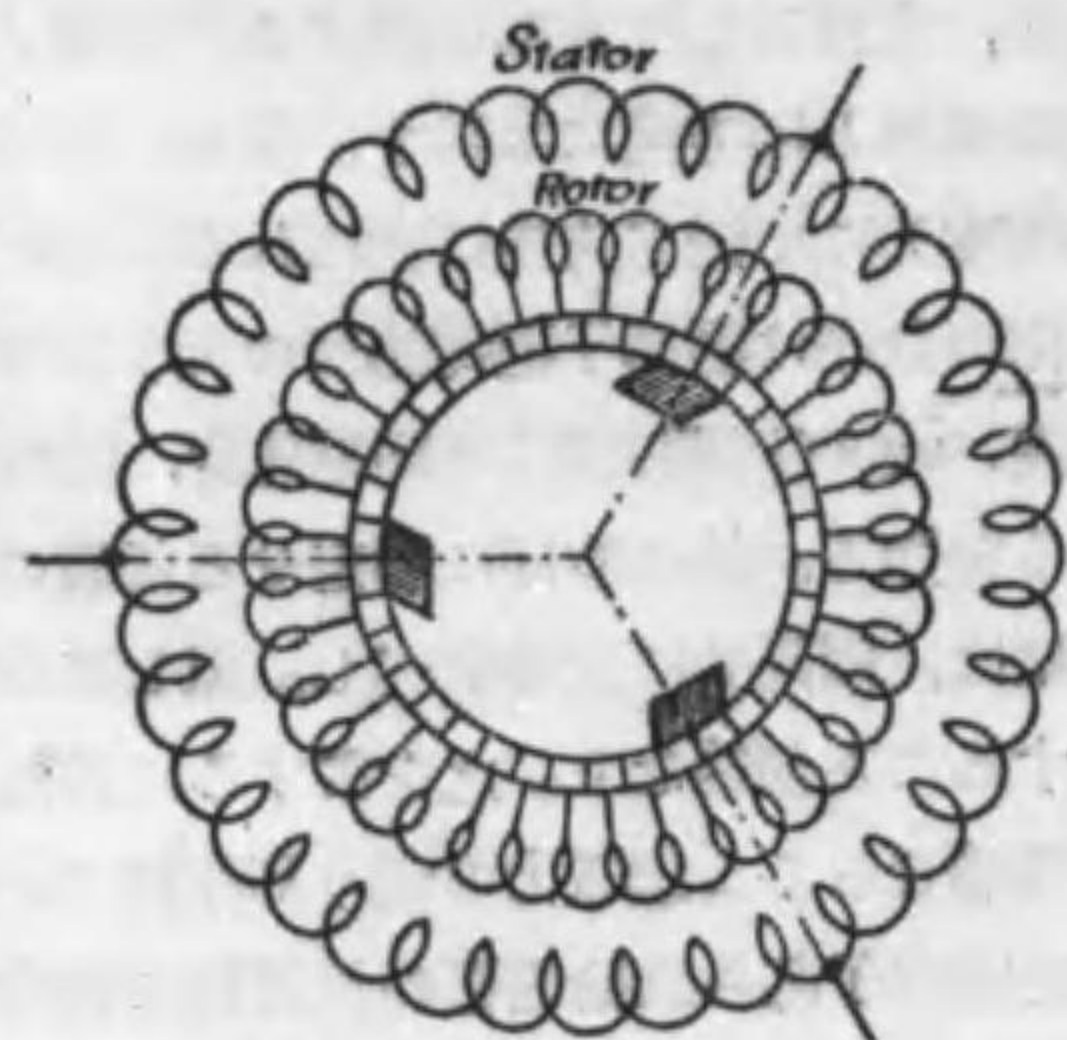
して、之をベクトル圖として取扱ふことを得べし。第 68 圖に於ては、刷子を θ 電氣角丈け廻轉方向と逆に移動したる場合を示す。此の際廻轉子電流は固定子電流と時間的に同相にあるものとせば、起磁力（正弦波形に分布するものと假定す）の最大値の方向及大きさを示すベクトルの間の角即ち F_a (廻轉子) の F_s (固定子) より遅るゝ角は、刷子移動角 θ に等し。 F_r は兩起磁力の作用を合成せるものにしてヒステリシス進角及飽和を無視すれば、電動機の主廻轉磁界を示すベクトルは、此の F_r に比例し且つ同相にあるべし。

第 68 圖



今試みに廻轉子の電流をして時相に於て θ 角丈け遅れしめたりとせば、廻轉子起磁力 F_a は圖の F_a の位置より更に θ 角丈け遅れたる位置即ち F_s より 2θ の遅角を有するに至らん。茲に於て刷子を θ 角進めて、相捲線が全く重なる位置 ($\theta=0$) に戻したりとせよ。然らば廻轉子起磁力 F_a も亦 θ 丈け進み、最初の場合と同様に F_a より θ 丈遅れ第 68 圖に一致すべきなり。即ち刷子を磁界の廻轉方向と反對に動かすことは、其代りに廻轉子電流をして、固定子電流に

第 67 圖



比し同じ電氣角丈け、時相に於て遅れしめたと同一効果を生ず。磁界の廻轉方向と同じ方向に動かせば、廻轉子電流の相を進むると同一なるは自明なり。

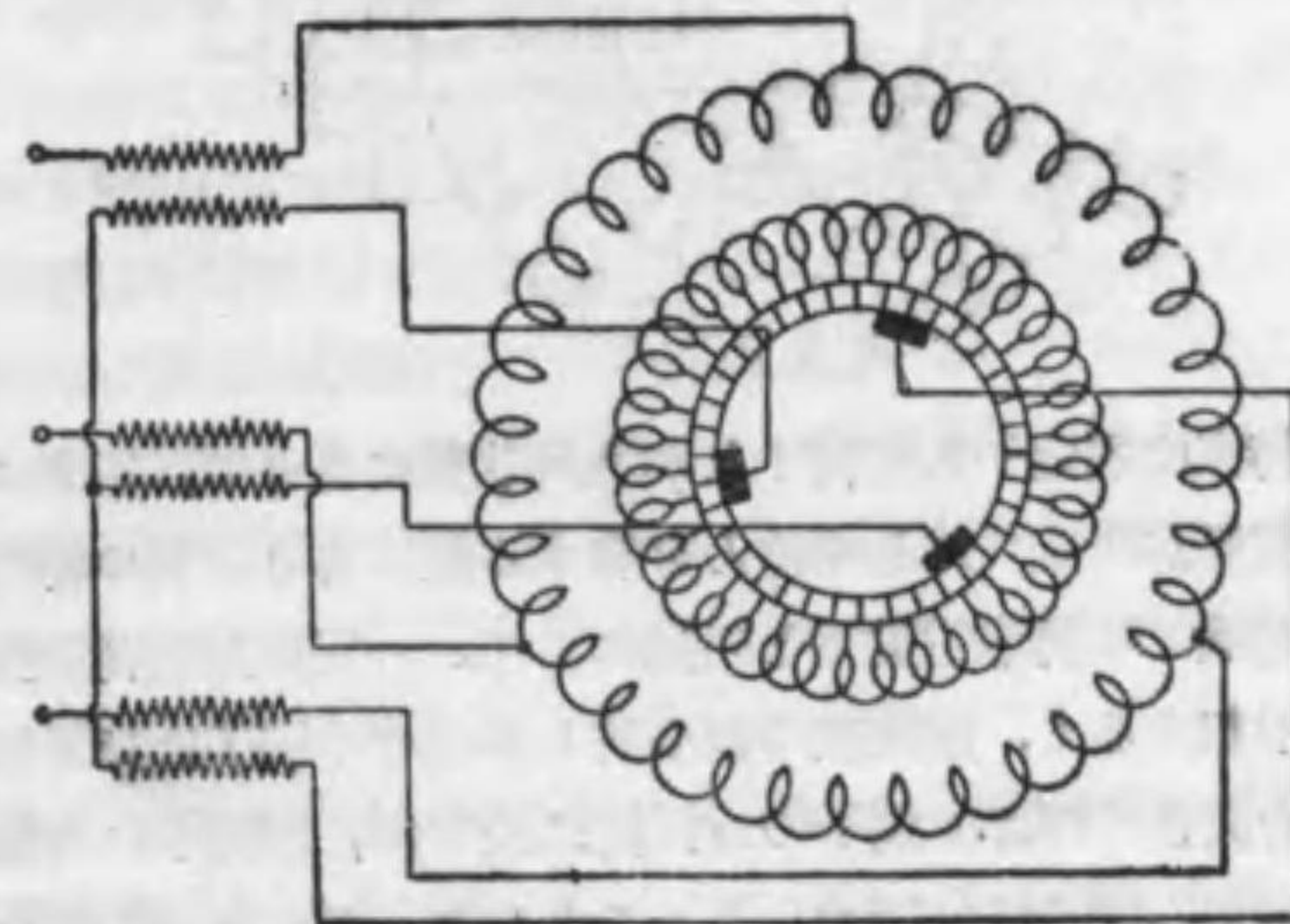
更に又起電力に就いて謂はむに、第 68 圖の状態に於て、廻轉磁界は先づ廻轉子の線輪を切るが故に、廻轉子起電力は、固定子起電力より θ 電氣角丈け、時相に於て進むことを知る。即ち刷子の移動は、磁界廻轉と同方向、或は逆方向に之を行ふに従ひて、廻轉子起電力をして、固定子起電力より移動電氣角丈け、時相に於て遅れ或は進ましむるものなり。

上述の二つの事實に基き、多相整流子電動機に於ては、刷子の位置如何に依りて或は固定子に對する廻轉子起磁力の位相を變化し或は廻轉子回路に於ける誘導起電力と電源より來る電壓との相差を調節し、以て經濟的速度制御、力率調整乃至進相等の特徴を發揮せしむることを得るなり。

(II) 多相整流子電動機の實例

a. 直捲特性を有するもの 第 69 圖は其最も簡單なる一例にして、固定子と廻轉子とが直捲的關係に置かれ、兩者電流の比は常

第 69 圖

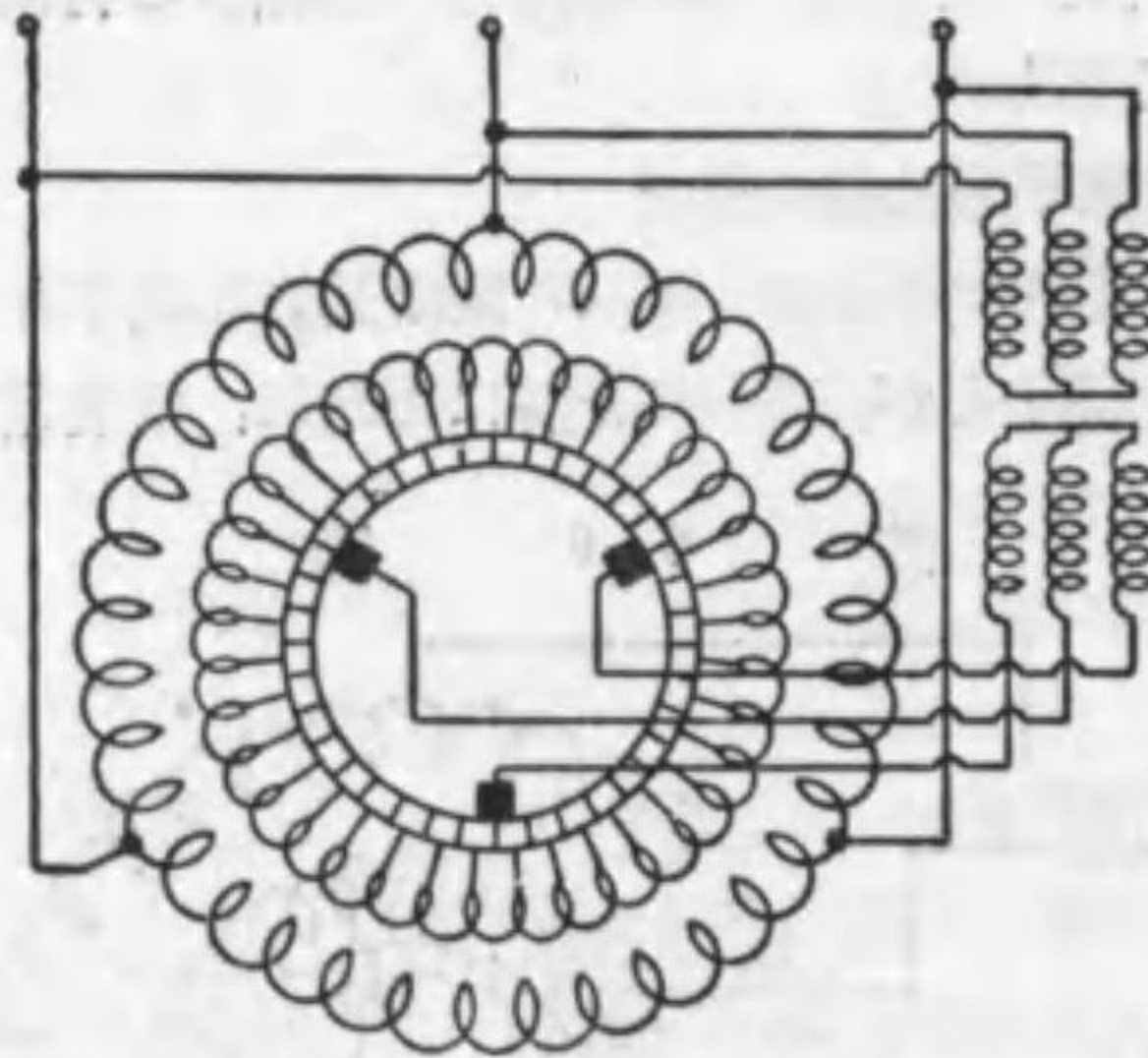


に略ぼ一定なるものとす。刷子は第 69 圖の零位より 180° に近く磁界の廻轉と反對の方向に之を移動せしむべし。其の特性は直流の場合と同様にして、負荷増加すれば速度の減少を來すものなり。廻轉子には、刷子短絡電流等の關係より、自ら許容し得べき端子電壓の限度あるを以て、變壓器を中介するを常とす。

此の變壓器は其の比を變化することに依りて、起動、調速の任務を果し得べく、又磁氣飽和を生ぜしむれば、一次電流を比較的大ならしめて、所謂 run away の危険を防止することを得。能率を犠牲にすれば刷子移動に依り力率を一とし更に進んで進電流ともなし得べし。

b. 分捲特性を有するもの 第 70 圖は此の種のものゝ一例なり。

第 70 圖



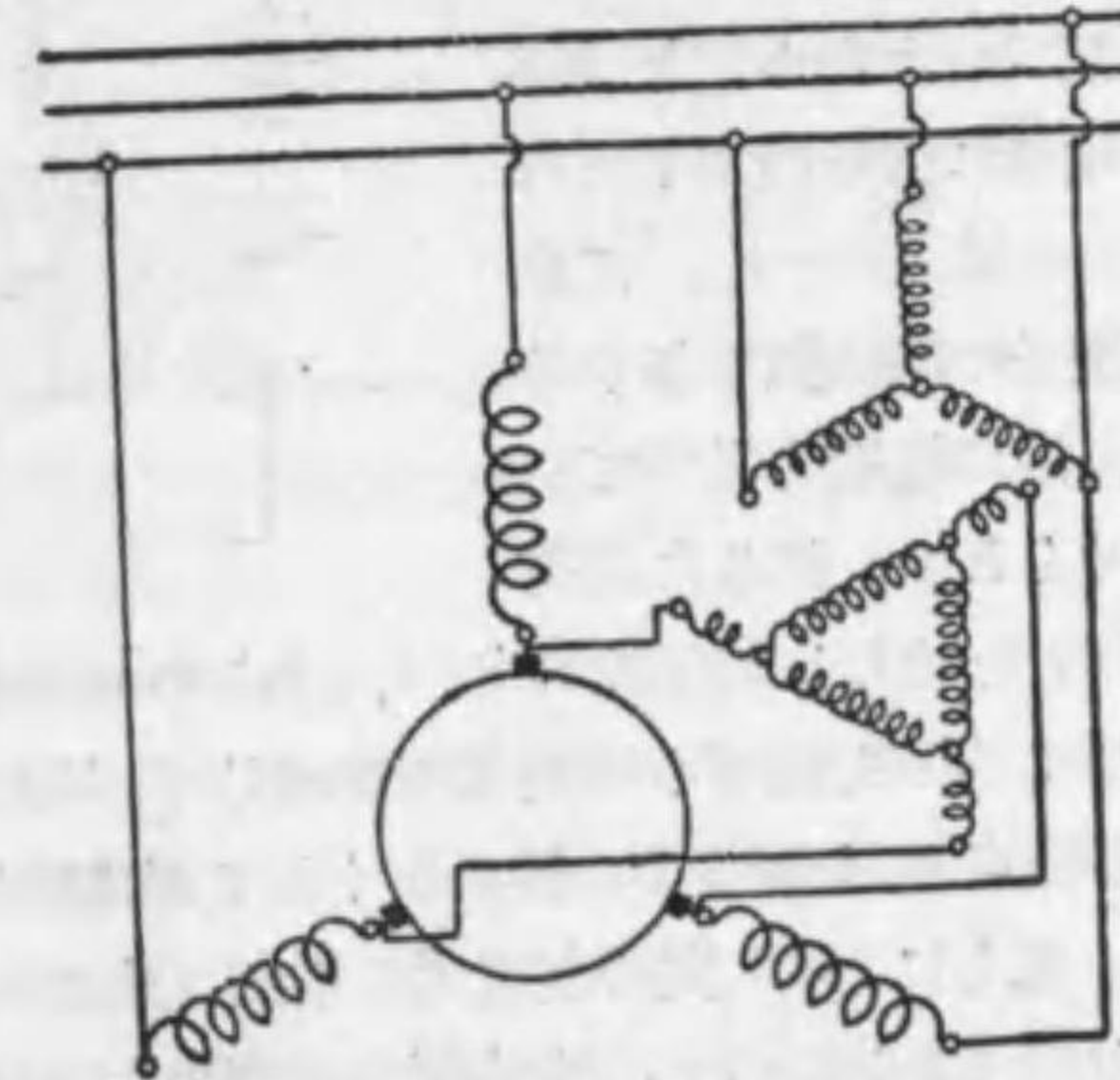
此種の特徴は固定子と廻轉子とが並列状態にありて、兩者に供給せらるゝ電壓が一定の比と相差とを有する點にあり。其の特性は直流分捲電動機又は誘導電動機と同様にして、一定の無負荷速度を有し、負荷増加するも、廻轉數の減少甚しからず 刷子はほぼ零位置に近く之を置いて用ふ。刷子の或位置に於ては、廻轉子に入るゝ電壓は悉く力率の變化に使用せらるゝことあり。又之と 90° 隔たれた

る位置にては、刷子電壓は單に無負荷速度の變化にのみ其効果を生ず。刷子位置及刷子電壓を調整して、任意の速度と力率とを得可し。

c. 稍復捲の特性を呈し、且つ補償捲線を具ふるもの

すべて實用的の電動機には、廻轉子のアムペア回數を隨所精密に打消すべき補償捲線を使用するを常とし、従つて其の特性、刷子の位置、取扱法等にも上記と異りたるもの多し。第 71 圖に掲ぐる一

第 71 圖



例は、補償捲線のみを固定子に設け、廻轉子の刷子は補償捲線に對して之を零位に固定し、兩捲線の起磁力が完全に相消す如くし、別に小なる變壓器の特別なる接續を以て、必要の電壓を刷子に加へ、廻轉子捲線を利用して勵磁を行ふものなり。斯くの如くすれば、力率及速度の調節は變壓器タップ切替に依りて之を行ふことを得べく、且つ、界磁捲線と廻轉子線輪との合一せる此の接續の特徴として、稍復捲的の性質を帶び、負荷の増加に依り、稍大なる速度降下を生ず。

(4) ローゼンベルヒ (Rosenberg) 發電機的一種に就き構造及原理を説明せよ。
(大正 7 年 2 級 3)

〔解〕 Rosenberg 發電機の一種にして蓄電池と並用して列車電燈等に使用するものは速度變化するも其の電壓及電流が一定の限度を超過せざるが如き構造を有す。第 72 圖は其の大略を示す。主刷子 BB 間の起電力は短絡刷子 bb を通ずる短絡電流に依る發電子反作用磁束に依つて生じ、bb 間の起電力は界磁電流に依る磁束 ϕ_1 (構造上其値小にして且つ一定なり) と BB を通ずる負荷電流に依る發電子反作用磁束 ϕ_2 との合成 ($\phi_1 - \phi_2$) に依つて生ず。發電子の迴轉數増加するときは、BB 間の起電力従つて負荷電流は増加せんとす。然るに負荷電流の増加は ϕ_2 を増大して合成磁束 ($\phi_1 - \phi_2$) の減少を來し bb 間の起電力、従つて bb を通ずる短絡電流を減じて BB 間の起電力發生に有效なる磁束 ϕ_2 を減少す。斯の如くして迴轉數が増加 (或は減少) するも、直ちに BB 間の起電力の増加 (或は減少) を妨げんとする作用を生ずるを以つて、廣範圍の速度變化に對し負荷電流の變化は小範圍に限定され、所謂定電流特性を與へらる。

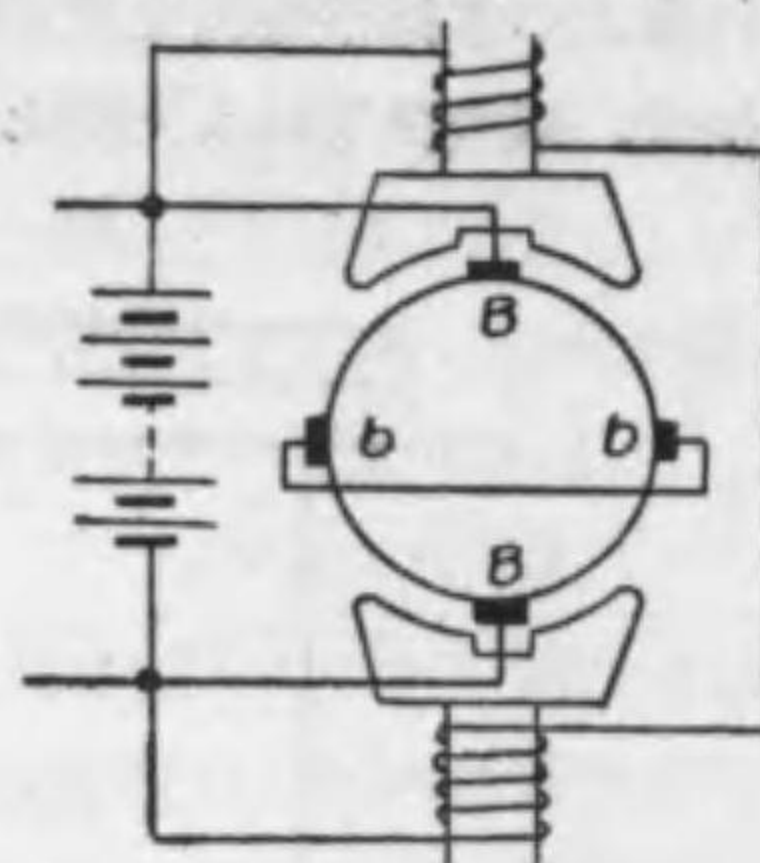
主要磁束 ϕ_1 を微力にし發電子反作用 ϕ_2 及 ϕ_3 を莫大ならしむる爲め特に界磁鐵心 (field core) を小にし、極片 (pole shoe) を大にせり。刷子 BB に繋がる導體の自己誘導を小にして火花を防ぐ爲め極片の中央に凹みを設くるなり。

(5) 進相機 (phase advancer) の一種に就き理論を略説せよ

(大正 5 年 1 級 1)

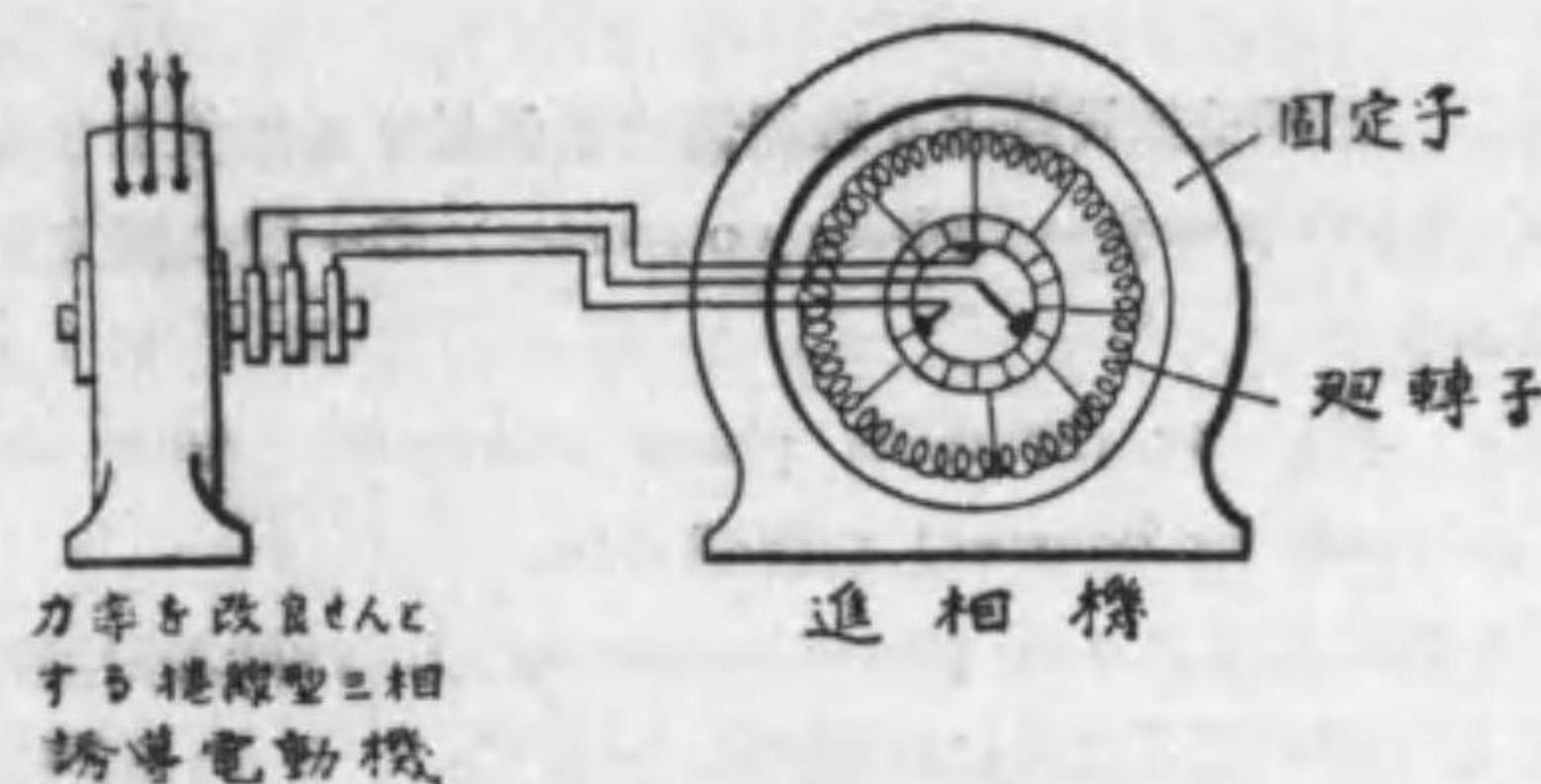
〔解〕 今 Le Blanc, Latour 氏等の創意に成りし進相機を説明せん。此種の進相機は普通固定子と廻轉子とより成る。固定子は誘導電動機の固定子の如く成層鐵心より成れども、溝及捲線を有せず

第 72 圖



廻轉子は直流發電機の發電子と全く同一構造にして整流子上に三組の刷子が電氣角 120° の間隔に置かる、其の接線は第 73 圖の如し。

第 73 圖



力率を改良せんとする捲線型三相誘導電動機

進相機の廻轉子は別に備へたる小電動機により之れを適當の速度に迴轉せしむるなり。

今誘導電動機に「サイクルの電壓供給せられ其の廻轉子は s なる滑りにて迴轉せりと假定せん。然る時は廻轉子には sf なる周波数の三相電壓誘導せられ、此電壓は圖によりて明かなるが如く進相機の刷子間に加へらる。

先づ進相機の廻轉子が静止し居たりとせん。三組の刷子より見る時は進相機の捲線は三角型に結線されたる誘導電動機の固定子と同一なるに依り、周波數 sf に相當せる廻轉子磁界を生ず。故に進相機捲線は此磁束を切り塞流線輪の如き作用をなす。次に廻轉子を外力に依り迴轉磁界と同一の方向に迴轉したりとせよ。かゝる際に於ても電流は廻轉子の静止と否とに拘らず常に同一位置より供給せらる。故に廻轉磁界の有様は静止の際と毫も異なることなし。

今廻轉子を sf に相當する同期速度以上に迴轉したる際、導體が磁束を切りて刷子間に誘導せらるゝ起電力の方向を考ふる時は廻轉子静止の場合と正反對に廻轉子電流より 90° 進むことを知る。故に刷子間に加へられたる起電力より考ふる時は捲線の電流は進電流となる。

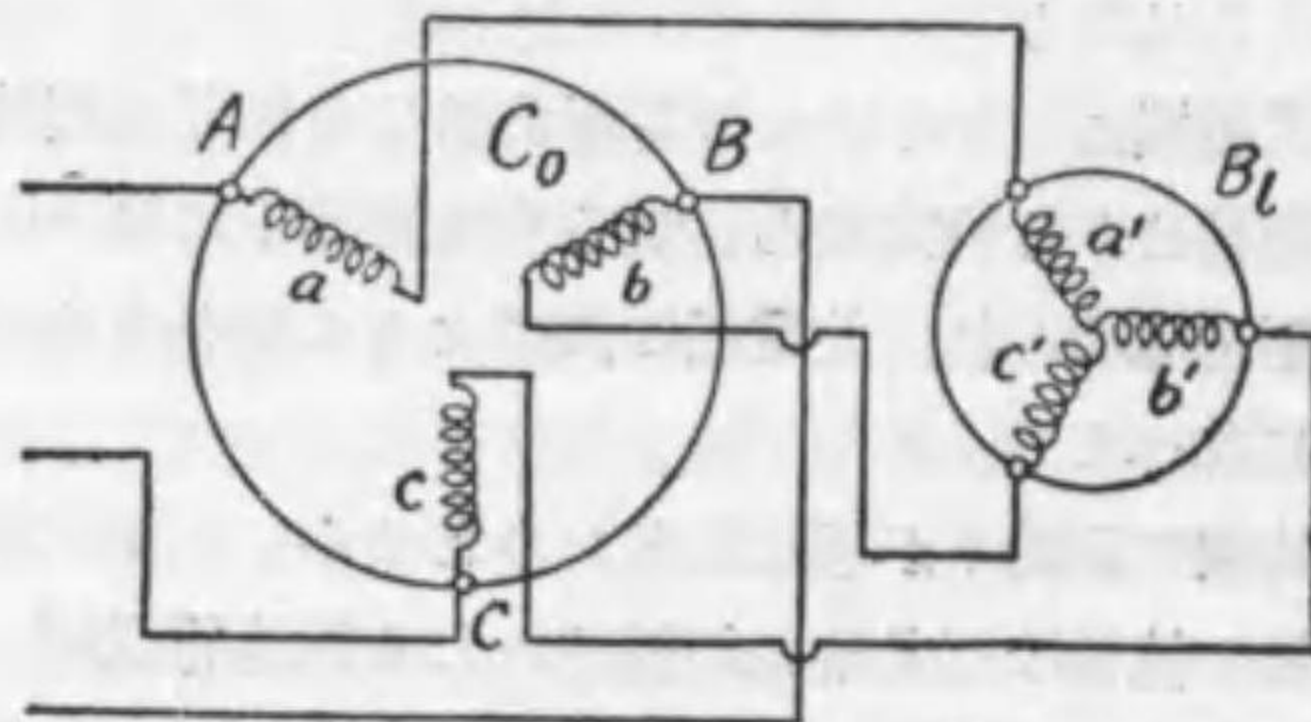
即ち此の場合の進相機の廻轉子は蓄電器の如き働きをなし誘導電動機の廻轉子電流を進電流となす。従つて固定子にも進み電流を生ぜしめ其勵磁に要する遅れ電流を打消して力率を一に近からしむ。

(6) 三相交流回路より单相電力を供給するに使用せらるゝフェーズ・コンヴァーター (phase converter) の一種の構造及原理を説明せよ。
(大正7年1級1)

[解] 茲に synchronous phase converter (with synchronous balancer or booster) を説明せむ。

第74圖に於て C_0 は phase converter, B_1 は同機附屬の booster にして其の構造は共に同期機なり。(C_0 及 B_1 の極數相等し。)

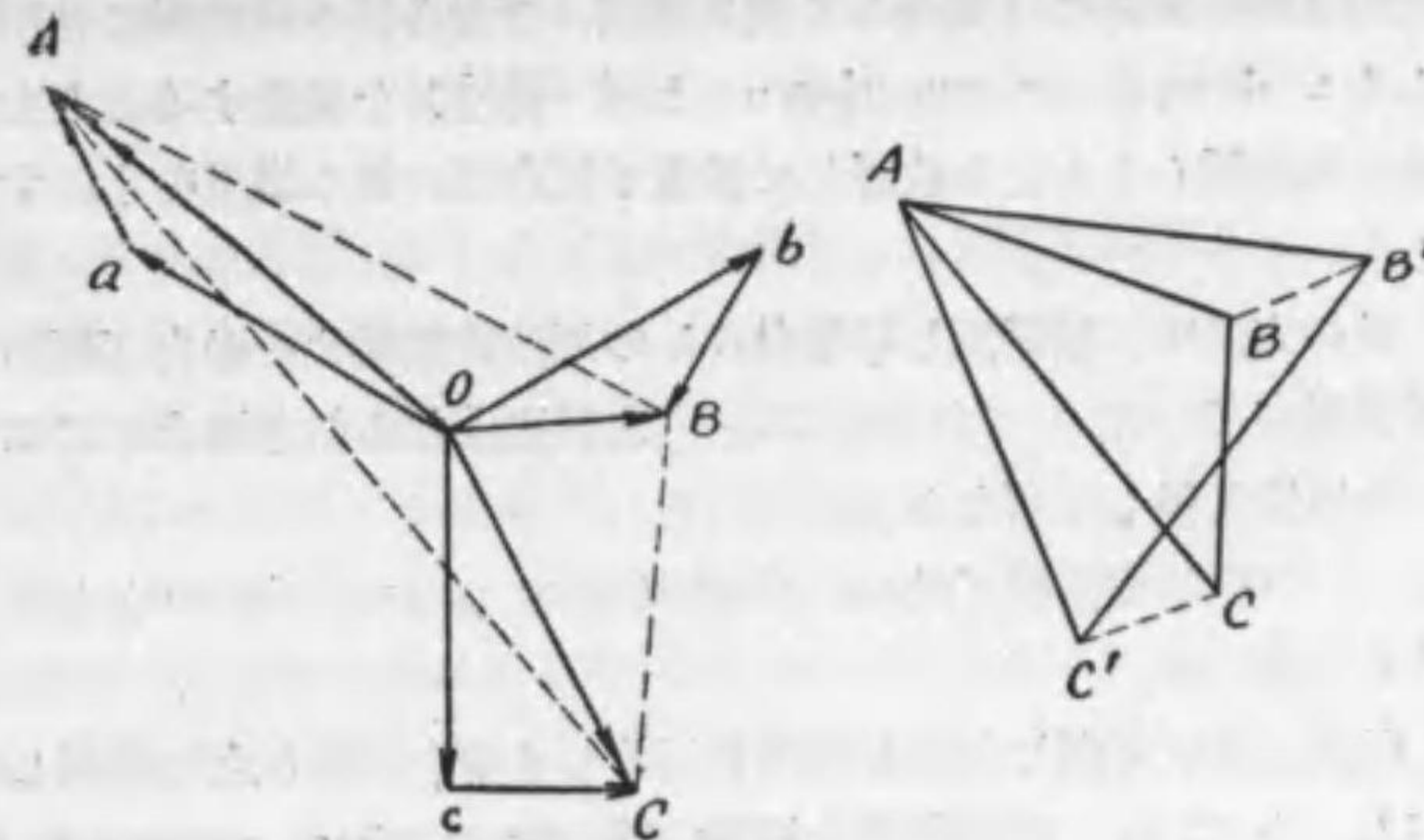
第 7 4 圖



而して固定子は圖の如く a と a' ; b と c' ; c と b' とを直列に接続し、界磁は同一軸上に取付けらる。今假りに之を abc の順序に廻轉せしめたりとすれば、端子 ABC に生ずる起電力は第75圖 OA , OB 及 OC の如くなる。 C_0 と B_1 との各相起電力の大きさを勵磁に依つて加減し得るものとせば三角形 ABC は或る程度迄任意の不規則なる形を取らしむるを得べし。依つて端子 ABC の電壓三角形が第76圖の ABC となりたりと假定し、二線 BC 間に单相負荷を擔はしめたりとせよ。然る時は BC 兩線に相等しくして方向反對なる電壓降下を生じ、端子電壓の三角形は $AB'C'$ の如き

第 7 5 圖

第 7 6 圖



ものとなるべし。而して前述の如く無負荷電壓三角形 ABC の形を任意に調整し得るが故に、恰も有負荷電壓三角形 $AB'C'$ を正三角形ならしむるが如き無負荷電壓三角形を作ること固より可能なり。

此の條件満足されたる時、本機と原動機との接続を断ち、 ABC に三相平衡起電力を加ふれば本機は三相電源より電力の供給を受けて、負荷に单相電力を供給すべく三相電源は单相電力の爲に毫も累を被ることなし。實際には勿論原動機を要せず。最初より同期機として起動し、平衡三相電流を取るが如く balancer を調整するなり、单相負荷が電源と變相機との中間にある時は負荷點の電壓三角形を正三角形ならしむるを以て理想とす。

(7) 三相交流を以て供給しつゝある地域内に大なる单相交流の需用家あり。發電所の負荷の平衡を保ちて之に送電する二つの方法を略説せよ。
(大正6年1級一般應用2)

(イ) 電動發電機を需用點附近に設置する方法

三相式の誘導電動機又は同期電動機に直結したる单相發電機を以て需用點に单相電力を供給する方法なり。電動機として同期電動機

を使用すれば、起動法稍々複雑なれども、力率改善に有効なり。单相発電機の界磁には完全なる籠形捲線（普通各種の同期機に使用せらるゝ damper or amortisseur と同一構造）を具備することを要す。界磁鐵心も亦之を成層して發電子反作用に依る鐵損を小にすべし。

此の方法は三相電源と单相負荷との周波數相異せる場合（例へば發電機が 50~にして負荷が 25~の電氣鐵道なる如き場合）には唯一の解法と稱して可なり。

(ロ) 變相機 (phase converter or phase balancer) を使用する方

此の方法は電源と負荷と周波數相等しき場合に限り之を應用し得べし。今 G. E. 一派の所謂分捲變相機 (shunt phase converter) に就き略述せむ。(以下前問の解答に同じに就き省略)

(8) 或送電系統に隣接し之と周波數を異にする一送電系統を新に設定せんとする場合に必要に應じて其の電力の一部を前系統に供給する方法を列擧し其の得失を論ぜよ。

(大正 8 年 1 級一般 2)

〔解〕 本題の如き場合に於て、周波數の相違の大小に依り下記の諸法の何れか一を選択すべし。

第一. 周波數變換機 (二個の同期機を直結したるもの) を設置する事。

第二. 新系統の周波數に適應する原動機並に發電機以外、更に前系統の周波數に適應する原動機並に發電機を設置する事。

第三. 一臺の原動機に甲乙二臺の發電機を連結し、隨時一方の周波數にて發電する事。

第四. 一臺の發電機を二種の速度にて廻轉し得る如くし之に甲乙二臺の原動機を連結する事。

第五. 一組の原動機並に發電機を二種の速度にて廻轉する事。

第一法は双方周波數の相違の大小に關せず常に之を行ふことを得べし。又電力の reversibility を有す (前系統より新系統へ送電し得るの意)。然れども能率不良にして經費並に所要床面積大なる缺點あり 25~對 60~ の場合には其の極數大に失し (10 極と 24 極) 低速度 (300 r.p.m.) となるの不利あり。又變換機の兩側共並行運轉を行はんと欲せば pole reversing を行ふ必要あることあり。

第二法は取扱上最も簡明なれども、第一法以上に經費を要し、電力の reversibility を有せず。但し能率は最も良好なり。

第三法は第二法に比して建設費廉なるのみならず、電力の reversibility を有す。然れども 25~對 50~ の如く原動機を速度を不變に保ち得る場合の外、何れか一方の周波數に對して其の原動機の能率を低下して使用するの不利あり。

第四法は第二法に比して發電機一臺分の經費と床面積とを節約し得べきも、25~對 50 又は 60~ の如く周波數の相違甚しき場合には適用し難し。電力の reversibility なし。

第五法 亦 25~對 50~ 又は 60~ の場合には適用し難し。電力の reversibility を有せず。50~對 60~ の場合には此の方法最も經濟的なり。此の場合には速度の差少きを以て原動機の能率低下も著しからず。勵磁電壓を少しく調節すれば交流發電子の結線を變ずることなく、略一定の發電機電壓を得べく、更に 50~ に對して星形接続、60~ に對して inter-connected star 接続を用ふれば、一定の勵磁電壓にて殆んど一定交流電壓を得べし。

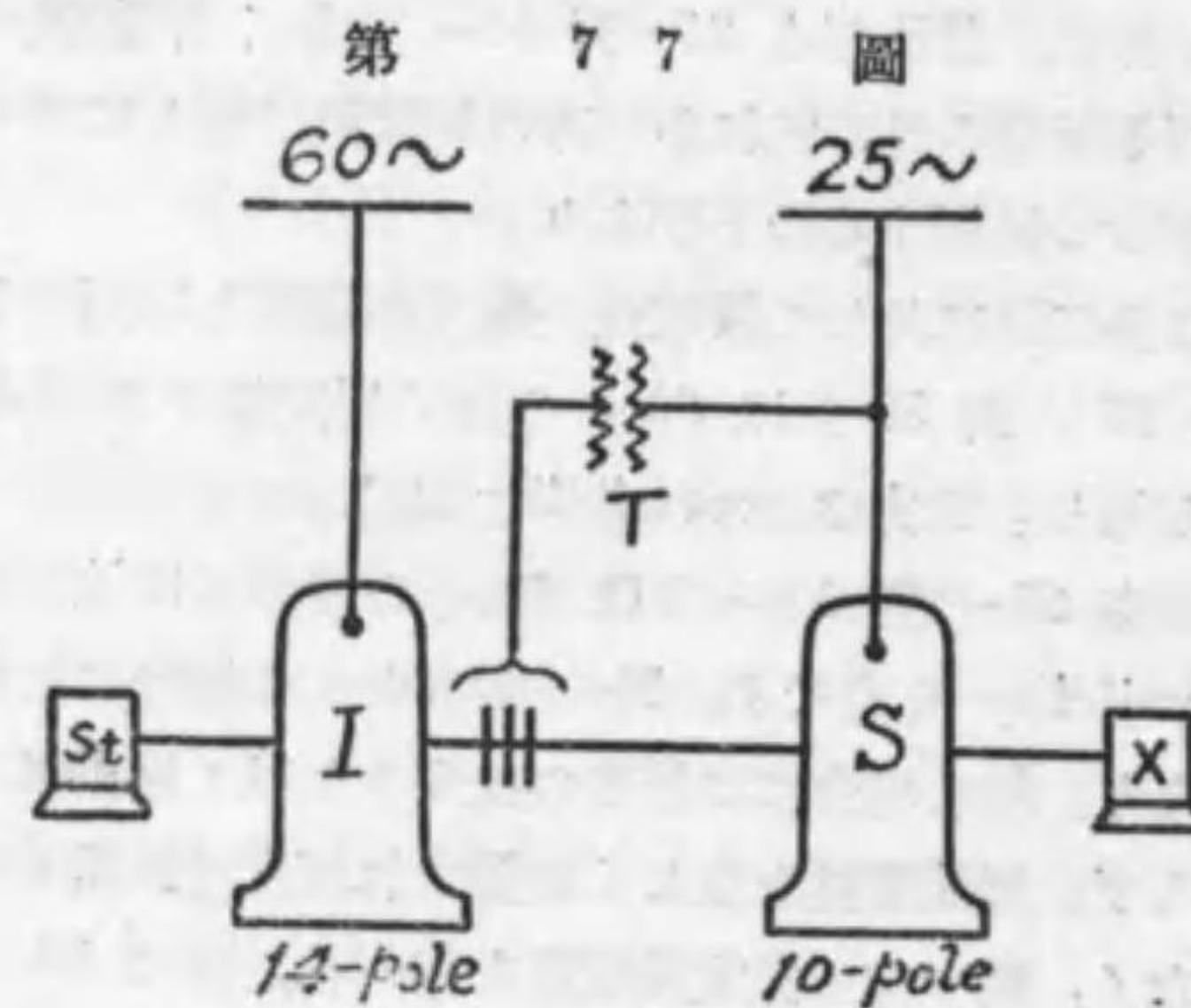
之を要するに、50~對 60~ には第五法、50~對 25~ には第三法、25~對 60~ に對しては第三又は第二法を取るを良とす。

(9) 周波數を異にする二箇の送電系統を連絡する周波數變換裝置に就き論ぜよ。 (大正 13 年 1 種 2)

〔解〕 本題は便宜下の各項に別ちて之を論ぜん。

(イ) 方式 此の種の周波數變換裝置は (A) 同期機法、(B) 誘導

機法の二を出でず。同期機法とは夫々適當の異りたる極數を有する二つの同期機を直結する方法にして、最も廣く用ひらる。蓋し此の組合せは速度必然的に一定にして且つ完全なる可逆性を有し、最も能く所期の目的に合致すればなり。誘導機法は其の原理夙に知られたるも實用に供せられたること稀なり。然るに近時米國に於て試みられたる二萬餘 kW の大變換裝置は 60 サイクル 14 極 (同期速度毎分 $\frac{3600}{7}$ 回) の誘導機と 25 サイクル 10 極 (毎分 300 回) の同期機とを直結したるものにして、實に前述の B 種に屬す。下に其の電力相互授受の一斑を説明せん。(第 77 圖參照)



- I 誘 導 機
- S 同 期 機
- St 起 動 用 電 動 機
- X 勵 磁 機
- T 變 壓 器

(電壓變成用)

先づ 60 サイクルより 25 サイクルに變換する場合を説明せん。誘導機 I は必然的に、300 廻轉にて同期發電機 S を運轉するが如き方法を取る故、I の廻轉子より $\frac{3600}{7} - 300$ 廻轉に相當する電流

を供給す。此の廻轉數は 14 極に對して恰も 25 サイクルとなる。即ち此の場合の誘導機 I は電動機として S 發電機に機械力を傳ふるのみならず、又變壓器として 60 サイクル側より 25 サイクル側に電力を供給するなり。25 サイクルより 60 サイクルに周波數を變換する場合には、power 授受の方向之と正反對となる。

(ロ) 極數 本邦刻下の問題たる 50 及び 60 サイクル間の變換裝置に就き、前記 AB の二方式が各機に如何なる極數を要求するかを検するも亦無用の業に非るべし。此の場合同期機法にありては、實際上 50 サイクル側 10 極、60 サイクル側 12 極 (毎分 600 廻轉) を選ぶか、50 サイクル側 20 極、60 サイクル側 24 極 (毎分 300 廻轉) を選ぶかの二途あるのみ。誘導機を用ふるとせば、60 サイクル側誘導機 2 極毎分 3600 廻轉、50 サイクル側同期機 10 極毎分 600 廻轉を誘導機と同方向に廻轉せしむるか、50 サイクル側誘導機 2 極毎分 3000 廻轉、60 サイクル側同期機 12 極毎分 600 廻轉を誘導機と反對方向に廻轉せしむるかの二法あり。又此の二法に於て誘導機側を 4 極とすれば同期機側も亦極數 2 倍となる。

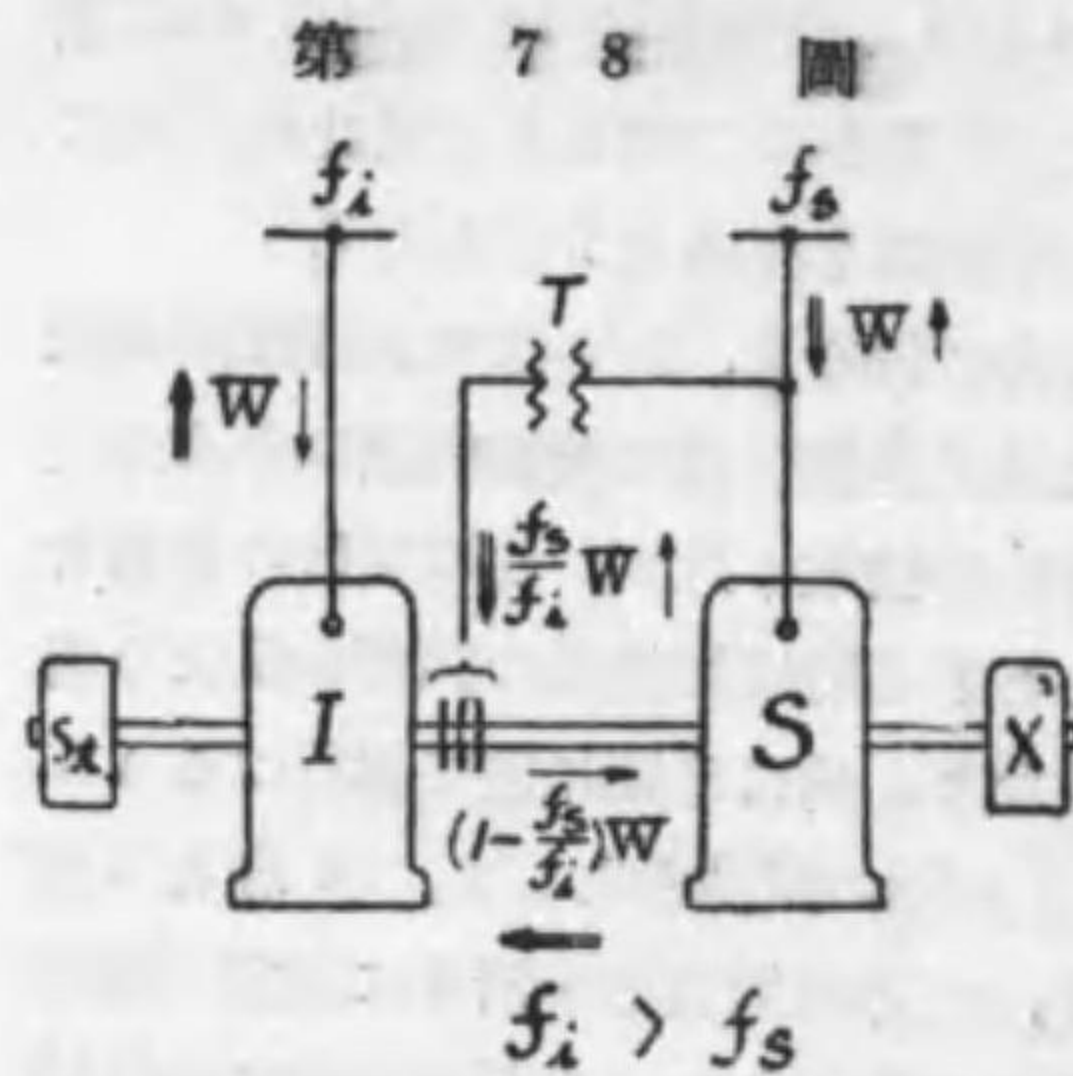
(ハ) 機械的強度 何れの方式に依るも、此の變換裝置は兩系統の接續點となるを以て、軸、連結子其他各部の機械的強度を充分大にすることを要す。蓋し兩系統の周波數の比が、他の裝置の影響を受けて、規定以外の値を取らんとする時は變換機の負荷耐量より遙に大なる機械的歪を受くるが故なり。殊に米國に於て屢行はるゝが如く、60 サイクル及 25 サイクル間の變換機として、10 極と 4 極との同期機を直結する場合には、一方の周波數が精密に規定の値を保つ時、他方の周波數は必ず若干の誤差あり。兩系統其他に並行運轉せる同期機ありとせば、變換機の受くる機械的歪は頗る大なるべし。

(ニ) 同期化の煩累 二つの同期機を直結したる多數の變換裝置を、發電機側に於ても並列に使用する場合には、其の同期化に困難を感ずることあり。假りに電動機側 4 極、發電機側 2 極の組合せ甲

乙二組を並列にするものとせば、電動機側に於て同期を得るも、發電機側の電壓の相は甲乙正反対となることあり。斯かる場合には適當の回數だけ發電機又は電動機の極を reverse して發電機側を同期ならしむべし。更に迴轉子固定子の關係位置は甲乙相違あるべきを以て、各變換装置に於て、發電機又は電動機側の固定子を小角度だけ迴轉せしめ且つ其の位置を細密に調整し得るが如き設備を施すを要す。負荷を擔へる變換機と並列に新たに無負荷の變換機を運轉せしめんとする時、一層此の調整装置を必要とす。

(10) 誘導電動機と同期發電機とを直結せるものより成る周波數變換機の原理を詳述せよ。 (大正 14 年 1 種 3)

[解] 本題の周波數變換機は圖の如く極數を異にせる誘導機 I と同期機 S とを直結し、機械的に power transfer を行ふのみならず、誘導機の二次捲線は適當の變壓比を有する變壓器 T を經て、之を同期機の電路に接続し、電氣的の power transfer をも併せ行ふを以て其の主眼とす。第 78 圖中 St は起動用小電動機、X は同期機用勵磁機なり。



第 78 圖
 今誘導機一次側及同期機側の周波數を夫々 f_i , f_s とすれば、誘導機二次側の周波數が恰も f_s となるが如く、誘導機の極數 p_i 及同期機の極數 p_s を選擇する必要あり。共通軸の毎分の迴轉數は必然、同期機の同期速度たる

$$n_s = \frac{120 f_s}{p_s}$$

となる。然るに前述の如く $n_i - n_s$ は極數 p_i に對して恰も f_s の周波數に相當する迴轉數なるを要するが故に

となる。故に $f_i, f_s; p_i, p_s$ の大小に依り種々の場合を生ず。今假に

(a) $f_i > f_s$, I 及 S の固有電動機迴轉同方向; $n_i > n_s$

の場合を取り、誘導電動機の滑りを毎分の迴轉數にて示せば

$$n_i - n_s = \frac{120 f_i}{p_i} - \frac{120 f_s}{p_s} = 120 \frac{f_i p_s - f_s p_i}{p_i p_s}$$

となる。然るに前述の如く $n_i - n_s$ は極數 p_i に對して恰も f_s の周波數に相當する迴轉數なるを要するが故に

$$120 \frac{f_i p_s - f_s p_i}{p_i p_s} = \frac{120 f_s}{p_i}$$

$$\therefore f_i p_s - f_s p_i = f_s p_s \text{ or } \frac{f_s}{f_i} = \frac{p_s}{p_s + p_i}$$

而して此の場合の誘導電動機の滑りは前諸式により次の如し。

$$s = \frac{120 f_s}{p_i} = \frac{f_s}{f_i} \therefore s = \frac{f_s}{f_i} = \frac{p_s}{p_s + p_i} \dots \dots \dots (1)$$

簡單の爲め、I, S 及 T の能率を 1 と假定し、 f_i 側が電壓の位相進み氣味にて power W が f_i 側より f_s 側に授けらるゝものとせば、I 機の電氣的出力 W_e 及機械的出力 W_m は周知の如く、夫々 $W_e = sW$ & $W_m = (1-s)W \dots \dots \dots (2)$

となる。此の場合の power flow を第 78 圖單線矢印にて示せり。又之と反對に f_s 側の電壓位相が比較的に進まんとする傾向を生じ W が f_s 側より f_i 側に授けらるゝ場合には、第 78 圖複線矢印の如く power flow の順序總て前と反對となる。即ち此の方式は完全に reversible なるのみならず、W の power transfer に對し、W の負荷耐量をも有する二基の同期機を必要とする同期周波數變換機に比し、W の誘導機と sW の同期機との組合せにて足る利點あり。但し I 機は普通の使用状態に比し迴轉子の鐵損大にして機械損小なり。遠心力に對する防備も緩にて足る。別に $(1-s)W$ の變

壓器 T を要するも、I 機の捲數比を適當に選ばば、理論上之を節約し得べし。茲に $0 < s < 1$ なることは注意を要す。

尙、 f_1 對 f_s ; n_1 對 n_s の大小の關係等に依り、前述 (a) の場合の外次の三つの組合方法可能なり。

(b) $f_1 > f_s$; I, S 固有電動機廻轉同方向, $n_1 < n_s$

此の場合には $n_s - n_1 = \frac{120f_s}{p_1}$ にして、I 機は超同期運轉をなす。依つて

$$s = -\frac{f_s}{f_1} = \frac{p_s}{p_1 - p_s} \dots \dots \dots (1')$$

即ち $p_1 < p_s$ なるを要す。s は 0 と -1 との中間にあり。

(c) $f_1 < f_s$; I, S の固有電動機廻轉同方向, $n_1 < n_s$

是れ I 機を低周波側に用ふる場合にして、(b) と同じく

$$s = -\frac{f_s}{f_1} = -\frac{p_s}{p_1 - p_s} \dots \dots \dots (1')$$

故に $p_1 < p_s$ なるを要し、且つ s は -1 より小なるを以て I 機は其の同期速度の二倍以上にて運轉す。

(d) $f_1 < f_s$; I, S の固有電動機廻轉逆方向。

此の場合には $n_1 + n_s = \frac{120f_1}{p_1}$ にして

$$s = \frac{f_s}{f_1} = \frac{p_s}{p_s - p_1} \dots \dots \dots (1'')$$

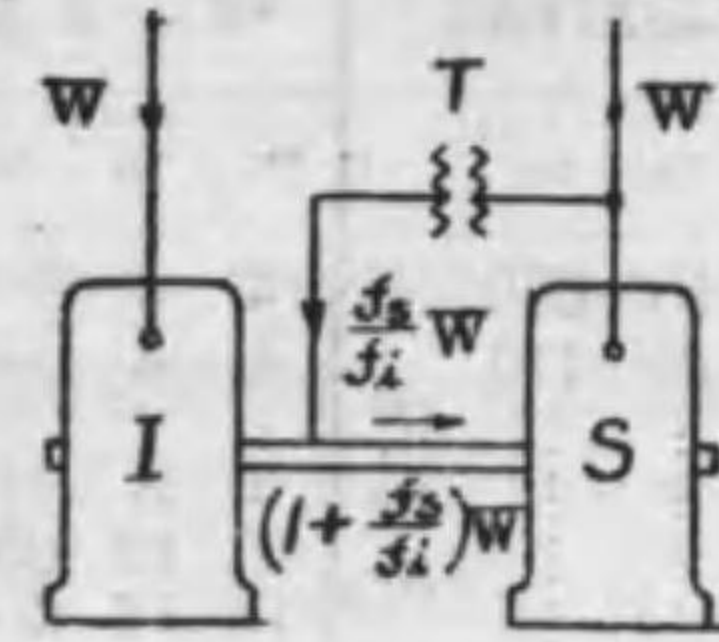
$$\therefore s > 1$$

以上 (b), (c), (d) の三つの場合には、第 (2) 式と第 (1') 式又は第 (1'') 式とに依り power flow 夫々第 79 圖, 第 80 圖, 第 81 圖 に示すが如し。

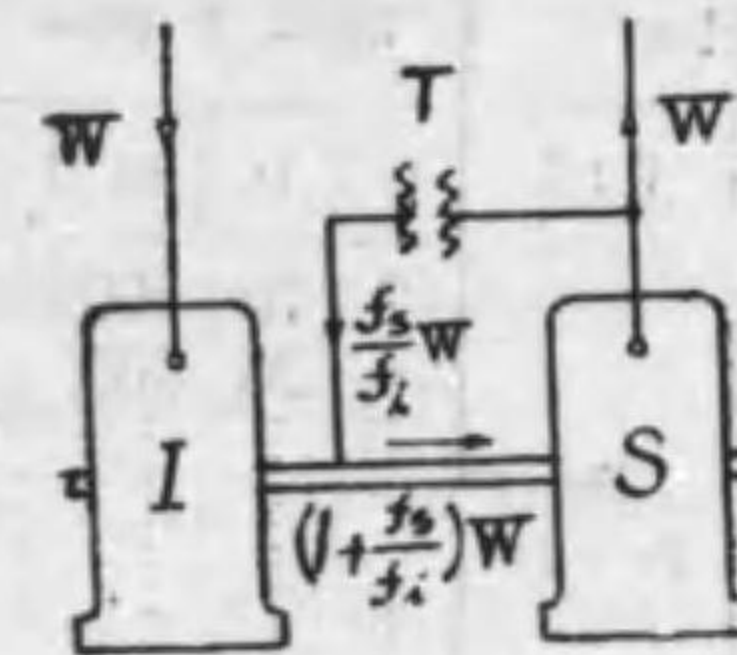
即ち (b), (c), (d) 三者共に power flow 頗る不自然となり、W の授受に對して W 以上の負荷耐量を有する S 機若くは I 機を必要とする致命的缺點あり。是れ (a) 法の専ら愛用せらるゝ所以なり。

第 79 圖

第 80 圖

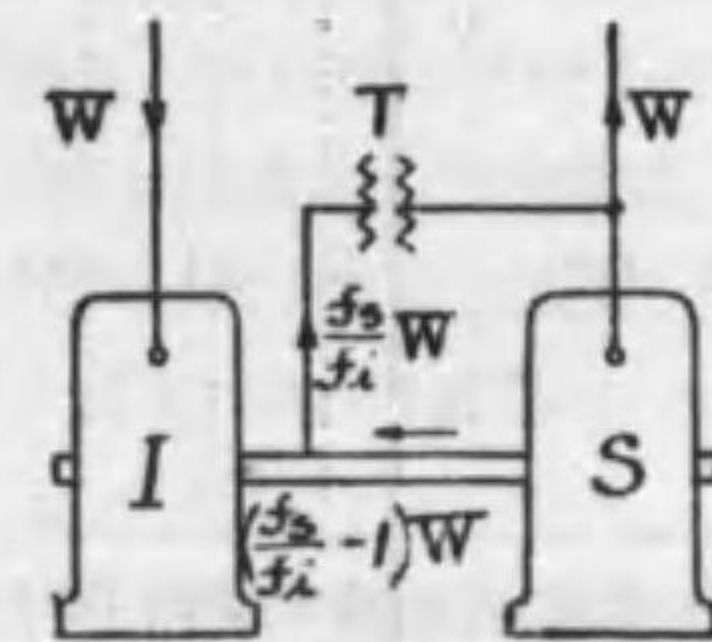


(b) $f_1 > f_s$



(c) $f_1 < f_s$

第 81 圖



(d) $f_1 < f_s$

り。尙ほ f_1, f_s 兩周波數の大小の關係に依りて、I, S 兩機の極數に種々の變化を來すを以て、試に 50~ & 60~, 25~ & 60, 25~ & 50~ の三者につき、可能極數、實際廻轉數等を次頁に表示せん。表中 25~ & 60~ の組合せに於て最も極數大なるを要するも、其の (a) 類第一列は大規模に對して比較的好都合なり (表中太字にて示せり)。米國に於て行はれたる實例あり。25~ & 50~ の場合には (a) 類 10 極位、50~ & 60~ の場合には (a) 類第一列又は第二列を採用すること可ならん。蓋し大誘導機の 2 極なる、中同期機の 24 極なる、共に製作上幾分の困難あればなり。尙 50~ & 60~ の (b) 類第一列第二列は power flow 不自然にして (a) 類に劣るも、他の周波數組合の場合に比し實行可能性大なり。

n_s = speed of the set; $|1-s|$ W = capacity of machine S

cycles		50~ & 60~				25~ & 60~				25~ & 50~				
combi- nation	$f_s : f_t$	p_i	p_s	n_s	$1-s$	p_i	p_s	n_s	$1-s$	p_i	p_s	n_s	$1-s$	
$f_t > f_s$	(a)	$\frac{p_s}{p_s + p_i}$	2	10	500	$\frac{1}{6}$	14	10	800	$\frac{7}{12}$	2	2	1500	$\frac{1}{2}$
			4	20	300		28	20	150		4	4	750	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		8	8	375	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		10	10	300	
$f_t < f_s$	(b)	$\frac{p_s}{p_i - p_s}$	22	10	600	$\frac{11}{6}$	34	10	300	$\frac{17}{12}$	6	2	1500	$\frac{3}{2}$
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		12	4	750	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		30	10	300	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
$f_t < f_s$	(c)	$\frac{p_s}{p_i - p_s}$	22	12	600	$\frac{11}{5}$	34	24	300	$\frac{17}{5}$	6	4	1500	3
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		30	20	300	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
$f_t < f_s$	(d)	$\frac{p_s}{p_s - p_i}$	2	12	600	$\frac{1}{5}$	14	24	300	$\frac{7}{5}$	2	4	1500	-1
			4	24	300		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		10	20	300	
			⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	

第十五章 雜

(1) 各種動力例へは唧筒, 紡織, ローリングミル用に適する電動機を説明せよ, 但し電源は交流三相式なりとす。

(大正 12 年 2 種口述 2)

〔解〕 唧筒運轉用には使用法簡單にして保守に煩累少き誘導電動機を良とす。多くの場合籠形のものにて可ならんも, 特に起動廻轉力の大きなるを要する場合には捲線型を使用すべし。

紡織用には多くは一定速度を良とするを以て, なし得れば同期電動機を以て主軸を廻轉し, 之に依り各機を運轉する方法を取るべし。個々運轉の場合には小形三相整流子電動機を使用するも可ならん。

延緩機運轉用には比較的低速度の捲線型誘導電動機を用ひ, 廻轉子電路に水抵抗等より成る slip regulator を具ふべし。

(2) 發電機及び電動機の機械的振動を生ずる原因を列挙せよ。

(大正 13 年 1 種 3)

〔解〕 本題の振動を生ずる原因次の如し。

(イ) 重量の不平衡。

廻轉部に於て重量の軸周配布に不平衡あれば廻轉に際し, 必ず振動を生ず。此の振動は臨界速度 (廻轉部と自然周期と一定の関係ある速度) に於て殊に著し。重量の不平衡には靜的, 動的の二種あり。共に振動を惹起す。

(ロ) 軸の繊弱なる事。

(ハ) 軸承又は軸の磨滅。

(ニ) 取付の不完全。

軸の alignment, 機械各部の levelling 不正確なる事, 軸承の上下に二分せらるゝ場合, 其の締付け方の不適當なる事等。

(ホ) 磁氣的牽引力の不齊。

空隙其他、各磁氣抵抗の不齊より、各磁極の牽引力に不齊を來せば、是亦振動の原因となる。此の實例頗る多し。

(ヘ) 基礎工事の一部的又は全般的に繊弱なる事。

(ト) 齒車等の與ふる衝擊。

特に齒車が軸の一端に canti-lever 式に突出せる時に著し。

(チ) 發電機の原動機又は電動機の受動機に生ずる周期的衝擊。

(リ) 廻轉速度の激變。

負荷の急變に依る速度の激變、同期機の世界調等を謂ふ。

(3) ターボゼネレーターの運轉に於て始動の際は何等の故障なきも、電壓を上昇するに従ひ或は負荷するに従ひて異常なる振動をなすことあり。其の原因如何。(大正6年2級口述1)

〔解〕 電壓を上昇するに従ひ生ずる振動は、界磁の勵磁せられて後初めて顯はるるものなるが故に、空隙の不均一、磁電子の開溝の影響等より生ずる magnetic pull の不均一に起因するものと見做すを正當とす。負荷するに従ひて振動烈しきに至るは、前記の magnetic pull の外、更に負荷電流に依つて生ずる廻轉力の不平衡を加味する場合なるべし。

(4) (a) 電氣機械に使用せらるゝ主なる絶縁材料の許容最高温度如何。

(b) 電氣機械の温度上昇を測定する方法三種を挙げ、之を説明せよ。(大正14年1種口述1)

〔解〕 (a)

何等の處理をも施さざる木綿、絹、紙及び他の纖維質	攝氏	90°
含浸法を施したる木綿、絹、紙及び他の纖維質	"	105°
雲母、石棉等(少量の上記物質を含むも可)	"	125°

- (b) 1 寒暖計にて直接接觸して温度を測る方法
- 2 導體抵抗の變化より計算する方法
- 3 埋込熱電對を使用する方法

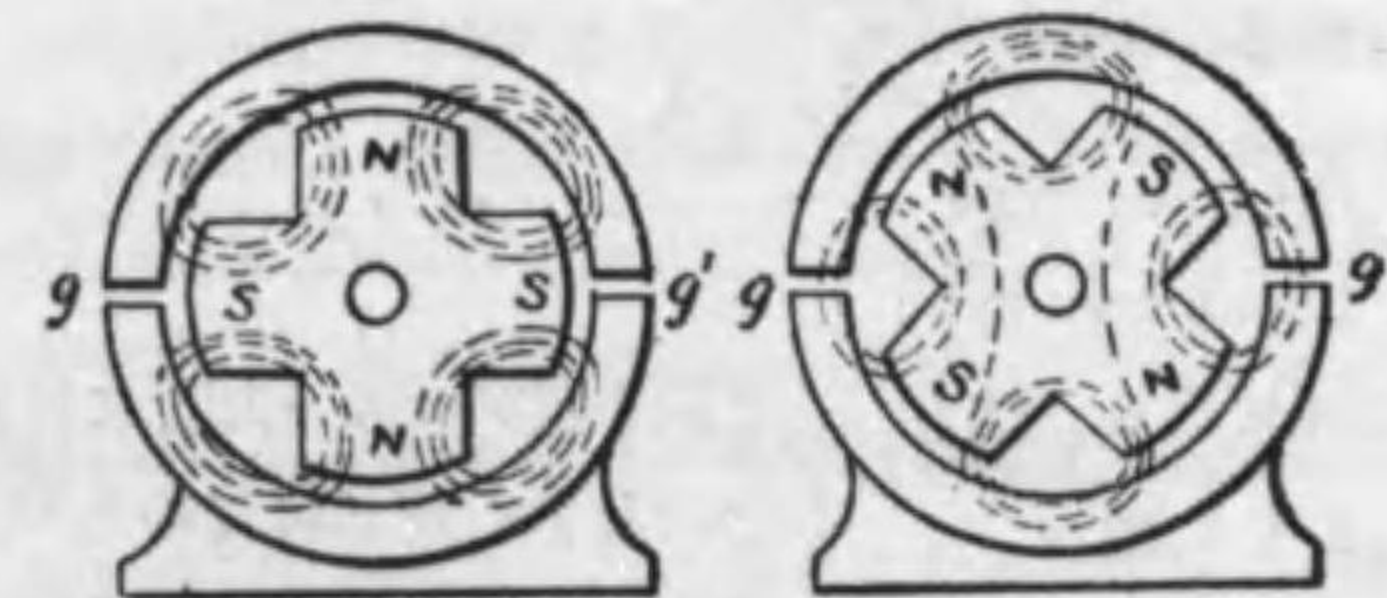
(5) 軸電流 (shaft current) とは何ぞや、其防止方法如何。(大正5年3級2)

〔解〕 大容量の交流機は往々其の電機子を製作上又は運搬上の理由より數個の片とする事あり。斯くの如き場合には其の繼ぎ目に於て磁氣抵抗を増すを以て廻轉子の位置如何に依り磁力線の増減を伴ふべし。其の結果軸電流を發生する事となる。次に其理由を説明せん。

今下圖に示す如き發電機ありとし、其磁路に g 及 g' なる空隙存在するものとす。第82圖の如き位置に於ては各磁路の抵抗は略均一なるべきが故に、各極に於ける磁束分布の状態圖の如くなるべし。

第82圖

第83圖



次に極が gg' に對し變位する時は、磁路の抵抗に相違を生ずる結果、磁束分布の状態が第83圖に示す如くに變化する事を想像し得べし。斯くの如き磁束の分布状態の變化は軸と鎖交する磁束の交番を伴ひ、起電力を誘導するが故に發電機臺、原動機臺及軸を通じて電流を生ずべし。

此の現象は發電機の損失を醸すと同時に往々軸承等を過熱し機械的の損傷を惹起する原因となる。

其の防止方法は原動機との間の連結、及び交流機の軸承臺と機械臺との間を、充分絶縁するに在り。

(6) 下記の術語を説明せよ。(大正 11 年 2 種一般 4 の内)

(ロ) 發電機の蓄勢輪効果

[解] 發電機の蓄勢輪効果とは、廻轉部分の總重量と其の diameter of gyration の自乗 D² との乗積を言ふ。又場合に依り D² の代りに radius of gyration の自乗を用ふる事あり。何れにするも蓄勢輪効果の大小に依つて廻轉部分の慣性能率の大小を卜することを得。(35 頁参照)

(7) 特別高壓套管 (Bushing) の各種に就て比較評論せよ。

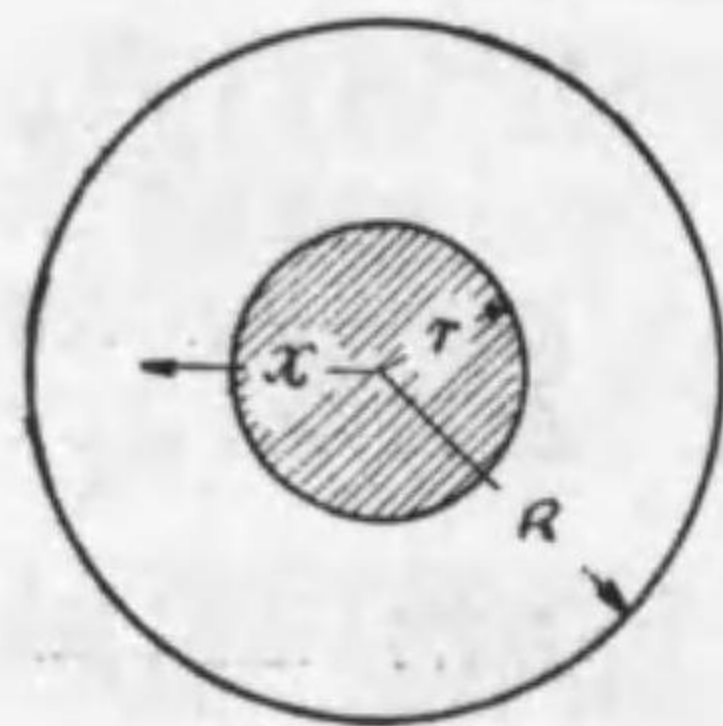
(大正 10 年 1 種 3)

[解] 今日約一萬ヴォルト以上十數萬ヴォルト以下の特別高壓電線路に使用せらるゝ套管は

- (1) Solid type { porcelain
 compound
- (2) Oil-filled type
- (3) Condenser type

の三種に區別せらる。就中(1)は約十萬ヴォルト以上には使用せざるを可とす。蓋し套管の外周に近き部分に於て、材料を不經濟に使用する弊を避け難きが故なり。其の理下の如し。

第 84 圖



半徑 r なる導體を圍繞して、均質絶縁體の圓筒あり、其の外徑を 2R とす。今内部の導體と外界の導體との間に電壓 V を加ふれば、内部導體の表面に接せる部分の電位傾度最大となり、其の値は

となる。故に絶縁體の受くる電氣歪は内部導體の表面より外周に近づくに従ひ漸次小となる。従つて絶縁物の均質なる場合には外周に近き部分は必要以上の強度を有するものと謂はざるべからず。然れども其の設計に意を用ふれば幾分經濟的のものを得べし。次に之を説かん。今(1)式に依りて之を案ずるに、一定物質(即ち一定の g_m)に對し、R を一定とすれば

$$g_m = \frac{V}{r \log_e \frac{R}{r}} \dots\dots\dots(1)$$

而して中心より x の距離にある點の電位傾度は

$$g_x = g_m \frac{r}{x}$$

となる。故に絶縁體の受くる電氣歪は内部導體の表面より外周に近づくに従ひ漸次小となる。従つて絶縁物の均質なる場合には外周に近き部分は必要以上の強度を有するものと謂はざるべからず。然れども其の設計に意を用ふれば幾分經濟的のものを得べし。次に之を説かん。今(1)式に依りて之を案ずるに、一定物質(即ち一定の g_m)に對し、R を一定とすれば

$$\frac{d}{dr} \left[r \log_e \frac{R}{r} \right] = 0 \text{ or } r = \frac{R}{2.72}$$

なる時、電壓 V を最大ならしむることを得。市場の套管にして略此の條件に適合せるもの少からず。

(2) の oil-filled type は G. E. 會社の製出する所にして、混和物製圓筒の内部に、絶縁耐力高き grease 様の油を充填したるものなり。Creepage distance を大にする爲め、外周に多數の混和物製 flange を裝置し、油中の不純物が半徑の方向に連續して、其の絶縁耐力を害せざらしめんが爲め、油中に多數の pressboard baffle を設く。此の套管は概して(1)に優るものと謂はざるべからず。最近同社製二十萬 V 變壓器にも亦此の種の套管を使用せり。然れども roof bushing 等にありては屢々油の漏洩に依りて建築物の汚損を招き、又油の補填に困難を感じる等の歎聲を聞く。

(3) の condenser type は Westinghouse 會社の特許にして、理論上最も進歩したるものと謂ふべし。上述 solid type の缺點たる電位傾度の不同を匡正する目的を以て、内部導體より外周に至る迄錫箔を紙の間に挿みたる多數の蓄電器を直列に接続し、各蓄電器の

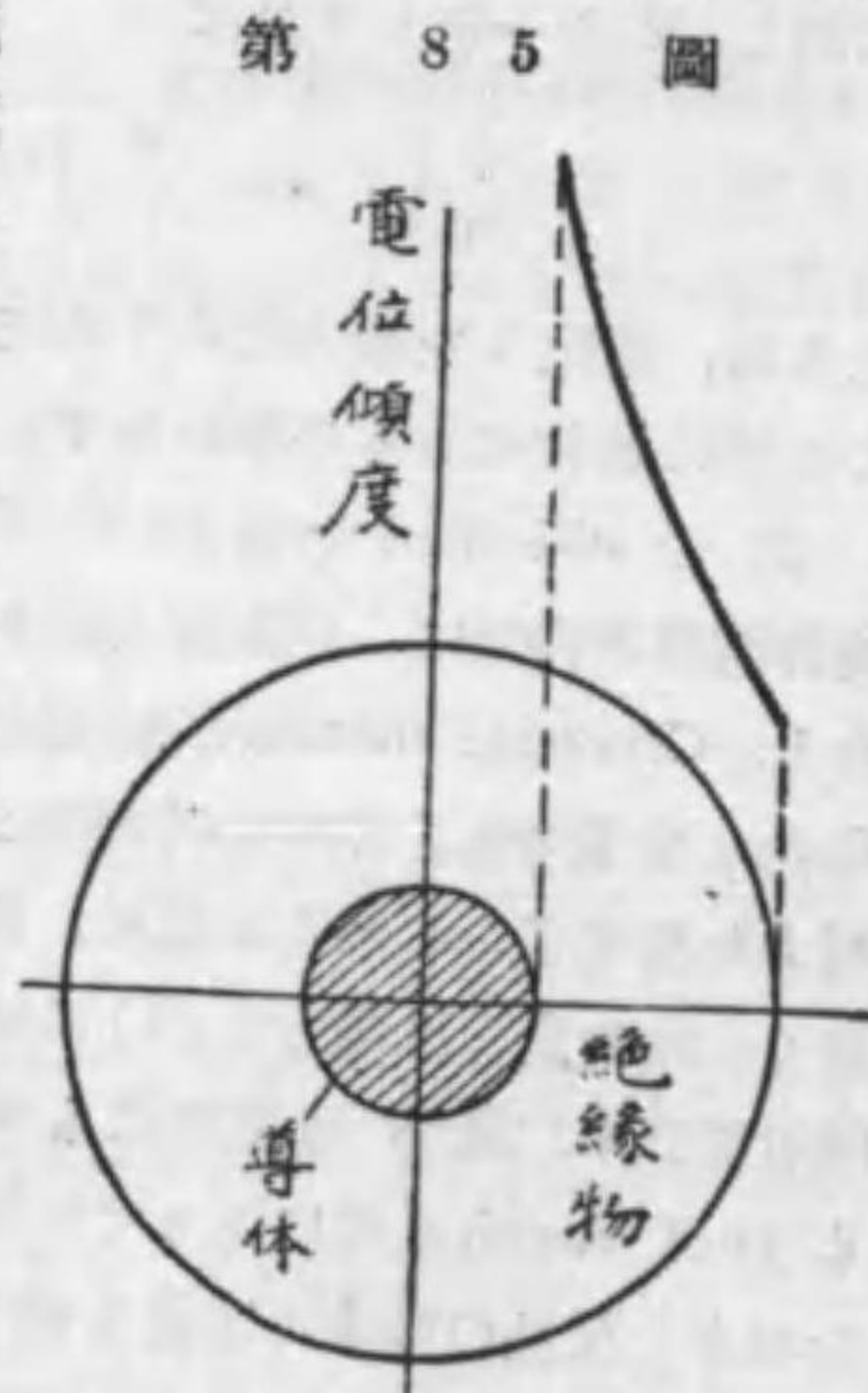
静電容量を相等しからしめ、且其絶縁物の厚さを均一にし、以て各部の電気歪を一樣ならしめたるものなり。同一電圧に對し(1)は其形態最も尨大となり、(2)之に亞ぎ(3)最も小なり。

但し(3)の缺點とする所は、構造に細密の注意を拂はざれば、金屬の介在に依りて、却て絶縁上の弱點を作ること、錫箔の末端に生ずる corona を防止する爲め外端を再び絶縁するの要ある事等なり。然れども其の製出後既に十餘年、聲價毫も衰へざるは其の理論と實際との吻合を明示する所以なりと謂ふべし。

(8) 蓄電器型ブッシング(condenser type bushing)の原理を述べよ。
(大正5年1級一般理論2)

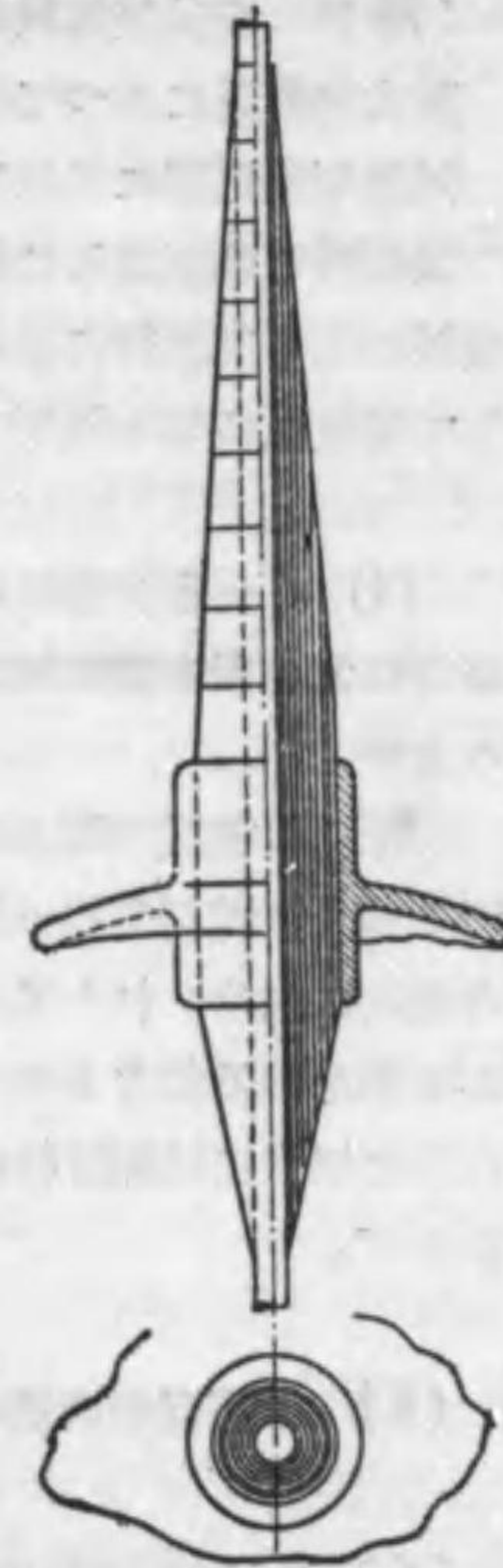
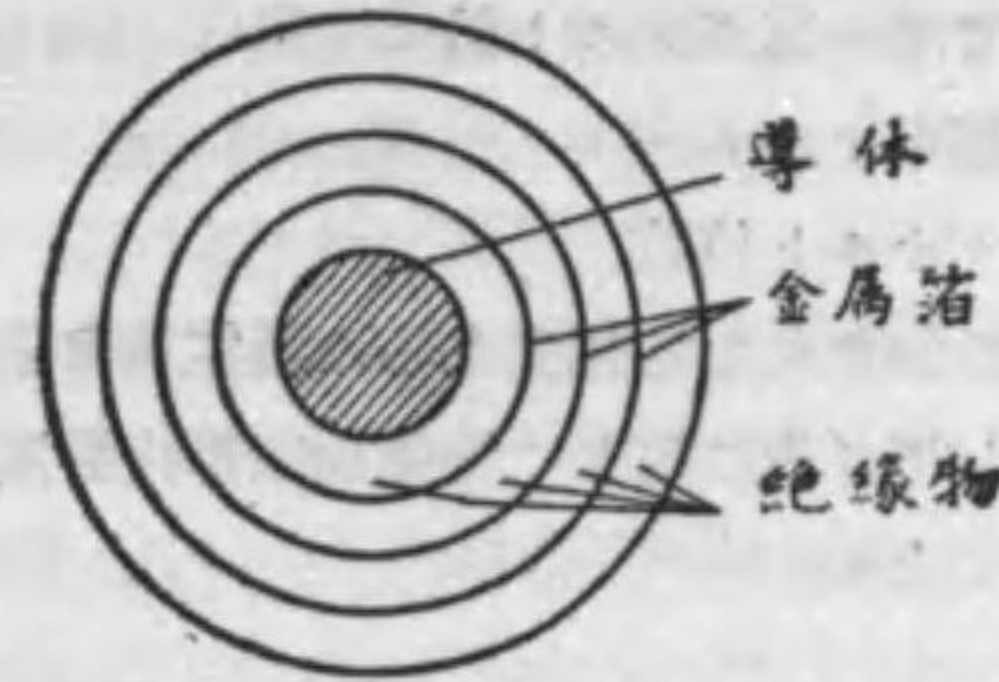
[解] 第85圖の如く均質絶縁物を以て切口圓形なる導體を圍繞したる場合には其電位傾度圖の如し。即ち絶縁物の受くる electric stress は導體に近き部分に大にして遠き部分に小なり。換言すれば導體に遠き部分は必要以上の絶縁耐力を有するものと謂はざるべからず。蓄電器型得管は此の缺點を補はむとして案出されたるものなり。

同一容量の蓄電器數個を直列に結びて其の兩端に一定電壓を加ふる時は、各蓄電器の分擔する電壓は相等し。今第86圖の如く絶縁物中諸所に圓筒狀の錫箔を配置する時は、該錫箔が各蓄電器の金屬板となり恰も數個の蓄電器を直列に結びたる形となる。而して各部の寸法を適當に設計すれば各蓄電器絶縁物の厚さ T を同一ならし



第 8 5 圖

第 8 6 圖 第 8 7 圖



め且其の容量を相等しからしむるを得。
第86圖の如き場合に於て

$$C = \frac{Kl}{2.1 \log_e \frac{R}{r}}$$

但し K.....誘電率
l.....金屬箔の長さ(軸の方向)
R.....外部金屬箔の半径
r.....内部金屬箔の半径

即ち $R - r = T$

なり。故に此式に従ひ導體に近き蓄電器に在りては l を大にして外表に近き蓄電器に在りては l を小にし、以て各器容量を相等しからしむるなり。其の狀第87圖の如し。各蓄電器の容量等しきが故に電壓等しく、電壓等しくして且つ絶縁物の厚さ等しきが故に絶縁物各部の stress 相等しきなり。

以上各錫箔の端末と外函との容量を閉却したり。之を考慮に取れば中心に近き程錫箔の長さを上記の計算より一層大にするの必要あり。

(9) 現今實用に供する交流機及變壓器の最高格定電壓は大略何程なりや。又斯の如き差異ある理由如何。

(大正4年2級口述1)

〔解〕 交流発電機にありては一萬ヴォルト餘
 動力變壓器にあつては十五萬ヴォルト
 試験用變壓器にては五十萬ヴォルト位迄
 発電機と變壓器とに於て斯の如き大なる相違あるは発電機は廻轉
 機械にして其絶縁に油を使用し得ざるに反し、變壓器は静止装置に
 して其絶縁に油を使用し得るによる。

(10) 一電力会社が一定の目的に使用するため機械を購入する
 場合に當り最も經濟的なる規定を爲さんには如何なる見地を基とす
 べきや。

(大正4年1級口述5)

〔解〕 機械の買入代金及其据附費其他之れに附帶する設備に對
 する利子、燃料其他の運轉に必要な貯藏品の代金に對する利子、
 合理的に求められたる減價償却金、機械の運轉費用、修繕費の總額
 が最小となる如きものを選定すべきものとす。但しモンド瓦斯機關
 の如き場合には副産物の賣上代金を以上の諸費用より控除せざるべ
 からず。

(11) 下記の術語の意義を説明せよ。

(大正10年2種一般4の内)

(イ) Rupturing capacity of an oil switch

〔解〕 (イ) 油入開閉器の rupturing capacity とは、其油入
 開閉器の定格電壓の下に一定時間を隔て一定回数だけ安全に遮斷し
 得る最大電流(實効値)を意味す。

(12) 大容量の発電所(例へば 10 000 kW)と小容量の発電所
 (例へば 100 kW)に於て同一容量の饋電線に對し同一の遮斷耐量
 (rupturing capacity)を有する油入開閉器を使用して可なりや。

(大正5年2級口述1)

(13) 長距離送電をなす大容量発電所あり、其隣接村落に發電
 機母線より直接僅少な電力を配電する場合に於て其回路に用ふる
 油入遮斷器の選定につき如何なる注意を要するや。

(大正13年2種一般4)

〔解〕 斯の如き場合の饋電線に於ては其定格容量は小なるとも
 萬一此饋電線に於て短絡が発生する場合には其短絡箇所が大容量の
 電源に近きが故常時の電流に數百倍或は數千倍する莫大なる短絡電
 流を通ずべし。従つて斯の如き故障に際し油入開閉器が安全に働作
 して其累を本系統に及ぼさしめざる爲めには該饋電線に用ふる油入
 開閉器は此莫大なる短絡電流を遮斷するに充分なる容量のものを選
 定せざるべからず。場合に依りては該饋電線内に比較的高リアクタ
 ンスのリアクトルを挿入して短絡電流を或る程度に輕減し、此輕減
 されたる短絡電流に相當する遮斷耐量の油入開閉器を使用するを經
 濟的とする場合あり。

以上何れの場合にも開閉器の遮斷耐量に就ては特別の考慮をなし
 遮斷装置の時限を充分短くして短絡の累を本系統に及ぼさしめざる
 ことを期せざるべからず。

(14) 大なる発電所に用ふる油入開閉器の仕様をなすに特に注
 意すべき事項を問ふ。

(大正4年1級口述2)

〔解〕 大なる発電所に於て使用する油入開閉器の仕様に関して
 特に注意すべき事項は其遮斷容量(rupturing capacity)なり。何
 となれば小発電所に於ては短絡の生ぜる場合に於て油入開閉器に通
 ずる電流は比較的大ならず。然るに大発電所に於ては斯の如き場合
 に油入開閉器に通ずる電流は極めて大なるものなり、依つて斯の如
 き場所に使用する油入開閉器はたとへ其格定電流は小なりとも此大
 なる短絡電流を安全に遮斷し得るものならざるべからざるが故なり。

(15) 現時使用せらるる特別高壓用油入遮断器に就て意見を述べよ。
(大正 8 年 1 級 3)

〔解〕 近時油入遮断器の故障を耳にすること一再ならず。殊に發電容量並に電線網の擴大に依り、短絡の機會益々多きを加へたる今日、油入遮断器は高級電氣技術者の大問題たらざるばあらず。

定格 是れ第一の問題なり。單に常用電壓、常用電流を以て遮断器を定格するは不條理且つ危険なり。宜しく其の使用個所に應じて適當なる遮断容量 (rupturing capacity) を定め、之に應ずる遮断器を準備すべし。然るに現時市場に行はるる遮断器に於て、其の遮断容量の定格法頗る區々なるが如し、 $arc\ kVA$ を以てするものあり、遮断電流の r. m. s. 値を以てするものあり。其の際の電壓も亦一定せず。短絡の初頭より遮断開始に至る迄の時間に対する規定の如きも缺如せるが如し。此の時間は繼電器の有無、電動機又は筒線輪の使用等に依り、固より一様ならず。多くは 0.1 秒乃至 0.3 秒位の間に在り。是亦短絡過渡電流の減衰度と對照して、遮断器の所要遮断容量を決定するに際し、重要なる data なりとす。

主要部の構造 現時の特別高壓油入遮断器には遮断部を二重にし主要接觸と補助接觸とを具ふるもの多し。而してリアクタンス又は抵抗を補助接觸の回路に加へたるものあり。然れども概して精巧ならむよりは寧ろ堅牢なるを取るべし。又接觸部の重量大にして、然かも之を迅速に離隔するを要するが故に、此の點に大なる苦心を拂へるもの少からず。離隔速度大ならざれば電流波零の點を通過したる後、再び電弧を生じ、惹いて恐るべき爆發又は噴油を見ることあり。

接觸部の電流密度は負荷電流に對し多くは毎平方吋五六十乃至五六百アムペアの間に在り。接觸部の構造に依つて一定せず。概して高電流に對して密度を小に取るを要す。

油量大にして深く、接觸部に作用する油壓相當に大なるを良とす電弧を消滅せしむるに有効なればなり。又油面上には相當大なる容

積を有するものを選定すべし。油槽はなるべく球形に近きもの耐壓力大なり。毎平方吋 150 封度位に耐ふる構造なるを良とす。油槽は各相各別なるを要す。油は引火點高く沈澱を生ずること少きは勿論、特に viscosity 小にして流動し易く、電弧の發生に依り炭化することなきを要す。套管の構造には特に注意を要す、蓄電器型の如きは信頼するに足る。

結論 之を要するに現時の特別高壓用油入遮断器に對しては定格の基礎を劃一し、構造堅牢、働作敏活ならしむることを製造家に要望すると同時に、使用家たる者自家所用の電氣機器並に回路の特性を精査し、遮断容量の選定を誤らざることを期すべし。

(16) 大發電所に於て發電機を増設するに當り保守上注意すべき最重要なる事項を述べよ。
(大正 7 年 2 級口述 4)

〔解〕 増設發電所が既設發電機と完全に並行運轉する條件等發電機及び之を運轉する原動機に關する事項の外に

イ 其の電路の油入開閉器が增大せる合成電力に適應するや否や (normal capacity 及び rupturing capacity)

ロ 其の電路の短絡に際し、電流制限並に箇所局限するに必要なリアクトル及び relay の setting が適當なりや否や。

年次索引

第三級

明治四十四年度		大正五年度	
問題 1.....	47	問題 1.....初等	92
" 2.....初等	56	" 2.....	106
" 3.....初等	62	" 3.....初等	108
" 4.....初等	45	大正六年度	
大正元年度		問題 1.....初等	63
問題 1.....	95	" 2.....	8
" 2.....初等	60	" 3.....	23
" 3.....初等	101	大正七年度	
大正二年度		問題 1.....	21
問題 1.....	23	" 2.....初等	115
" 2.....	89	" 3.....	97
" 3.....	68	大正八年度	
大正三年度		問題 1.....	5
問題 1.....	89	" 2.....	91
" 2.....初等	99	" 3.....	35
" 3.....初等	52	大正九年度	
大正四年度		問題 1.....	77
問題 1.....初等	11	" 2.....初等	64
" 2.....	96	" 3.....	26
" 3.....	75		

第二級

明治四十四年度		大正五年度	
問題 1.....	25	問題 1.....	82
" 2.....	57	" 2.....	149
" 3.....	73	" 3.....	2
大正元年度		大正六年度	
問題 1.....	91	問題 1.....	106
" 2.....	41	" 2.....	43
" 3.....	80	" 3.....	119
大正二年度		大正七年度	
問題 1.....	27	問題 1.....	98
" 2.....	82	" 2.....	121
" 3.....	49	" 3.....	133
大正三年度		大正八年度	
問題 1.....	66	問題 1.....	38
" 2.....	49	" 2.....	104
" 3.....	70	" 3.....	64
大正四年度		大正九年度	
問題 1.....	6	問題 1.....	78
" 2.....	37	" 2.....	111
" 3.....	115	" 3.....	11

第 二 種

大正十年度		問題 1.....初等 9	
問題 1.....	66	" 2.....初等	119
" 2.....	75	" 3.....初等	57
" 3.....	36	大正十二年度	
大正十一年度		問題 1.....90	

問題 2.....	79	問題 3.....	91
" 3.....	3	大正十四年度	
大正十二年度再		問題 1.....108	
問題 1.....	26	" 2.....初等	73
" 2.....初等	86	" 3.....	23
" 3.....	106	大正十五年度	
大正十三年度		問題 1.....初等 108	
問題 1.....	8	" 2.....初等	49
" 2.....	51	" 3.....	121

第 一 級

明治四十四年度		大正四年度	
問題 1.....	47	問題 1.....	87
" 2.....	102	" 2.....	19
" 3.....	33	" 3.....	111
" 4.....	2	大正五年度	
大正元年度		問題 1.....134	
問題 1.....	112	" 2.....	57
" 2.....	34	" 3.....	93
" 3.....	85	大正六年度	
大正二年度		問題 1.....26	
受驗者なし		" 2.....	117
		" 3.....	52
大正三年度		大正七年度	
問題 1.....	10	問題 1.....136	
" 2.....	80	" 2.....	124
" 3.....	61	" 3.....	11

大 正 八 年 度		大 正 九 年 度	
問題 1.....	29	問題 1.....	80
" 2.....	118	" 2.....	125
" 3.....	156	" 3.....	43

第 一 種

大 正 十 年 度		大 正 十 三 年 度	
問題 1.....	34	問題 1.....	45
" 2.....	120	" 2.....	139
" 3.....	150	" 3.....	147

大 正 十 一 年 度		大 正 十 四 年 度	
問題 1.....	122	問題 1.....	54
" 2.....	54	" 2.....	82
" 3.....	29	" 3.....	142

大 正 十 二 年 度		大 正 十 五 年 度	
問題 1.....	17	問題 1.....	85
2 2.....	99	" 2.....	128
" 3.....	70	3 3.....	13

一 般 (一 次 試 験) よ り 採 録 せ る 分

第 三 級

大正四年度問題 2.....	100	大正六年度理論問題 1.....	89
大正五年度理論問題 2.....	50	大正九年度問題 3.....	95
" 應用問題 1.....	95		

第 二 級

大正八年度問題 3.....	41
----------------	----

第 二 種

大正十年度問題 4ハ.....	154	大正十三年度問題 3.....	65
大正十一年度問題 4ロ.....	150	" 4.....	155
大正十二年度問題 2.....	40	大正十四年度問題 3.....	50

第 一 級

大正三年度問題 2ロ.....	22	大正五年度理論問題 2...	152
" ハ.....	56	大正六年度應用問題 2...	137

第 一 種

なし

口 述 よ り 採 録 せ る 分

第 三 級

大正三年度問題 3.....	31	大正八年度問題 2.....	1
大正五年度問題 3.....	101	大正九年度問題 2.....	25
大正七年度問題 3.....	3		

第 二 級

大正三年度問題 1.....	63	大正六年度問題 1.....	148
" 3.....	35	大正七年度問題 3.....	18
大正四年度問題 1.....	153	" 4.....	157
大正五年度問題 1.....	154	大正九年度問題 3.....	5

第 二 種

大正十二年度問題 2..... 147 大正十五年度問題 3.....68

第 一 級

大正四年度問題 1.....32 大正四年度問題 5..... 154

" 2..... 155 大正八年度問題 3.....20

第 一 種

大正十年度問題 1.....61 大正十四年度問題 1..... 148

大正十三年度問題 1.....18 " 3.....93

昭和三年七月一日 印刷

昭和三年七月五日 發行



科目別選試標準解答

正價 金七拾五錢

送料 金貳錢

編輯兼 發行者	電 機 學 校
代表者	加 藤 靜 夫
印刷者	浪 岡 具 雄
印刷所	株式會社 オーム社印刷部 東京市神田區錦町三丁目十八番地
發行所	電 機 學 校 東京市神田區錦町二丁目二番地

特 約 販 賣 所

六 合 館	東京市日本橋區數寄屋町九番地
電氣之友社	東京市京橋區南金六町六番地
電氣之友支社	大阪市北區堂島中二丁目
オーム社	東京市神田區錦町三丁目十八番地
オーム社出張所	大阪市北區堂島ビル四〇四

電機學校出版書籍正價表

著者	書名	正價	郵税		表装
			内地	海外	
電機學校	水力發電	3.80	24	24	紙
同上	火力發電	4.00	26	26	同
同上	送電配電	4.00	26	26	同
同上	電氣機械(第一編)	4.20	26	26	同
同上	電氣機械(第二編)	4.60	26	26	同
同上	電氣通論(第一編)	4.30	26	26	同
同上	電氣通論(第二編)	4.30	26	26	同
同上	電燈電熱	2.40	22	22	同
同上	電氣用絕緣材料	5.50	27	55	同
同上	電氣磁氣測定及測定器	4.60	27	55	同
同上	電氣磁氣測定及測定器	3.20	24	24	同
同上	電話學	2.20	20	20	同
同上	初等電氣通論	1.40	18	18	同
同上	瓦斯力發電所	1.00	16	16	同
同上	改訂高等數學	2.80	22	22	同
同上	電力學	3.00	24	24	同
同上	無線電の理論と應用	1.70	18	18	同
同上	電氣用算術	1.80	20	20	同
同上	電氣用代數學	2.50	30	20	同
同上	電氣用幾何學	1.30	20	20	同
同上	電氣用三角法	2.00	20	20	同
同上	電氣用化學	2.20	20	20	同
同上	電氣用物理學	2.40	20	20	同
同上	電氣用圖學(前編)	1.40	18	18	同
同上	電氣用英語(前編)	1.30	18	18	同
同上	電氣用英語(後編)	2.70	24	24	同
同上	電機リーダーズ(1)	0.80	14	14	同
同上	電機リーダーズ(2)	0.90	14	14	同
同上	電氣技術者資格檢定試験問題並に解答				
	明治四十四年度臨時	0.70	4	4	紙
	大正元年年度	0.50	2	2	同
	大正二年年度	0.40	2	2	同
	大正三年年度以降各年度分冊	0.50	2	2	同
	電機學校	0.60	4	4	同
	三角函數並諸對數表	0.20	2	2	無
	計算尺使用法	0.15	2	2	紙
	電機學校一覽	1.00	8	8	同
	高等科(電氣)發電所	1.20	4	4	同
	高等科(汽力)發電所	1.35	4	4	同

發行所 電機學校 東京市神田區錦町電話神田(25)局代112(4)番
 二丁目二番地 電話口座東京 13184 番
特約 (六) 會社 東京日本橋區新橋町九
 電氣之友社 東京市京橋區新橋
 同大友社 大阪北區堂島中二丁目
販賣所 同大友社 大阪北區堂島中二丁目 同大友社 大阪北區堂島中二丁目

317
910

特 221

4

終