

## 交流電気機関車用

## 50～单相整流子電動機の整流について

The Commutation of 50 Cycle Single-phase  
Commutator Motor for A.C. Locomotive

一木利信\* 河井貞治\*\* 木村 博\*\* 茂木正二\*\*\*

## 内 容 梗 概

50～单相整流子電動機では整流を受ける電機子巻線に、直流機と同様のリアクタンス電圧のほか、これと90°の位相差を有する変圧器起電力を発生し、直流機のごとく無火花整流帯を測定して補極の調整を行うことは困難である。しかし界磁巻線の端子電圧波形をブラウン管オシログラフで観測すると、界磁電圧に重畳して現われる高周波ピークの状態から電動機の整流状況をよいに判定することができる。本論文では交流電気機関車用50～单相整流子電動機の整流について概説し、この種の電動機の補極の簡易な調整方法を紹介する。

## 〔I〕 緒 言

大容量の单相整流子電動機は従来我国で製作された例がなく、特に商用周波数のものを製作することはきわめて困難であると考えられてきた。しかるに歐洲においては車両用主電動機としていちじるしい発達を遂げ、戦後フランスにおいて50～による交流電化に成功して経済的で良質な鉄道電化に飛躍的進展をもたらしたことは周知のとおりである。我国においてもこれに刺戟され、広範囲の調査ならびに試作、試験の結果、国鉄幹線に商用周波による交流電化をとりあげることが決定された。日立製作所では我国最初の50～直接電動型交流電気機関車1輛を製作納入し、昨年8月以降仙山線の試験地区において行われた各種試験において直流機関車にまさるすぐれた成績を取めた。

直接電動型交流電気機関車で最も問題となるのはその主電動機として使用する单相整流子電動機、特にその整流である。これは原理的には直流直巻電動機と同様であるが、主磁束が交番するため、刷子で短絡されて整流を受けている電機子巻線に変圧器起電力を誘起して短絡電流を生じ、その整流は直流機に比していちじるしく困難となる。しかし三相整流子機などの製作経験を生かすとともに、我国最初の225kW 50～单相整流子電動機を試作、研究し、交流電気機関車 ED441 の主電動機として特性の良い300kW 主電動機を製作することができた。

以下、特にこれらの走行時における整流について二・三の研究結果を報告し、界磁電圧波形の観測により、整流状況を判定する方法を示す。

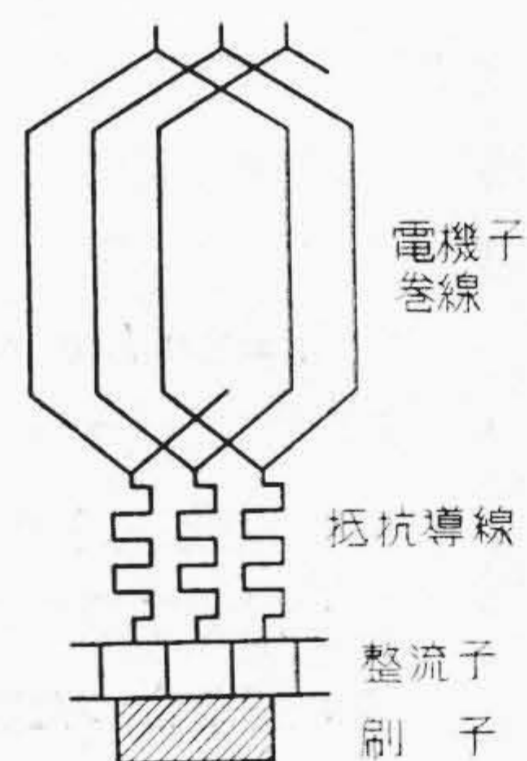
## 〔II〕 試験機の仕様と特徴

## (1) 225kW 单相整流子電動機

型式.....強制通風, 単相交流, 直巻, 補償, 補極付  
1時間定格.....225kW, 240V, 1,230A, 1,400rpm,  
50～

極数.....14

本機は変圧器起電力による短絡電流を抑えるため、第1図に示すように電機子巻線と整流子ライザをコンスタントの抵抗導線で接続してある。したがって変圧器起電力が比較的高く設計されているが大きい起動電流に耐えることができる。また特に整流現象研究のため多数のサーチ、コイルを備えている。



第1図 抵抗導線説明図  
Fig. 1. Illustration of  
Resistance Leads  
Construction

## (2) 300kW 单相整流子電動機

型式.....強制通風, 単相交流, 直巻, 補償, 補極付  
1時間定格.....300kW, 220V, 1,900A, 1,250rpm, 50～  
連続定格.....280kW, 220V, 1,700A, 1,400rpm, 50～  
極数.....16

最大起動回転力.....1時間定格回転力の185%

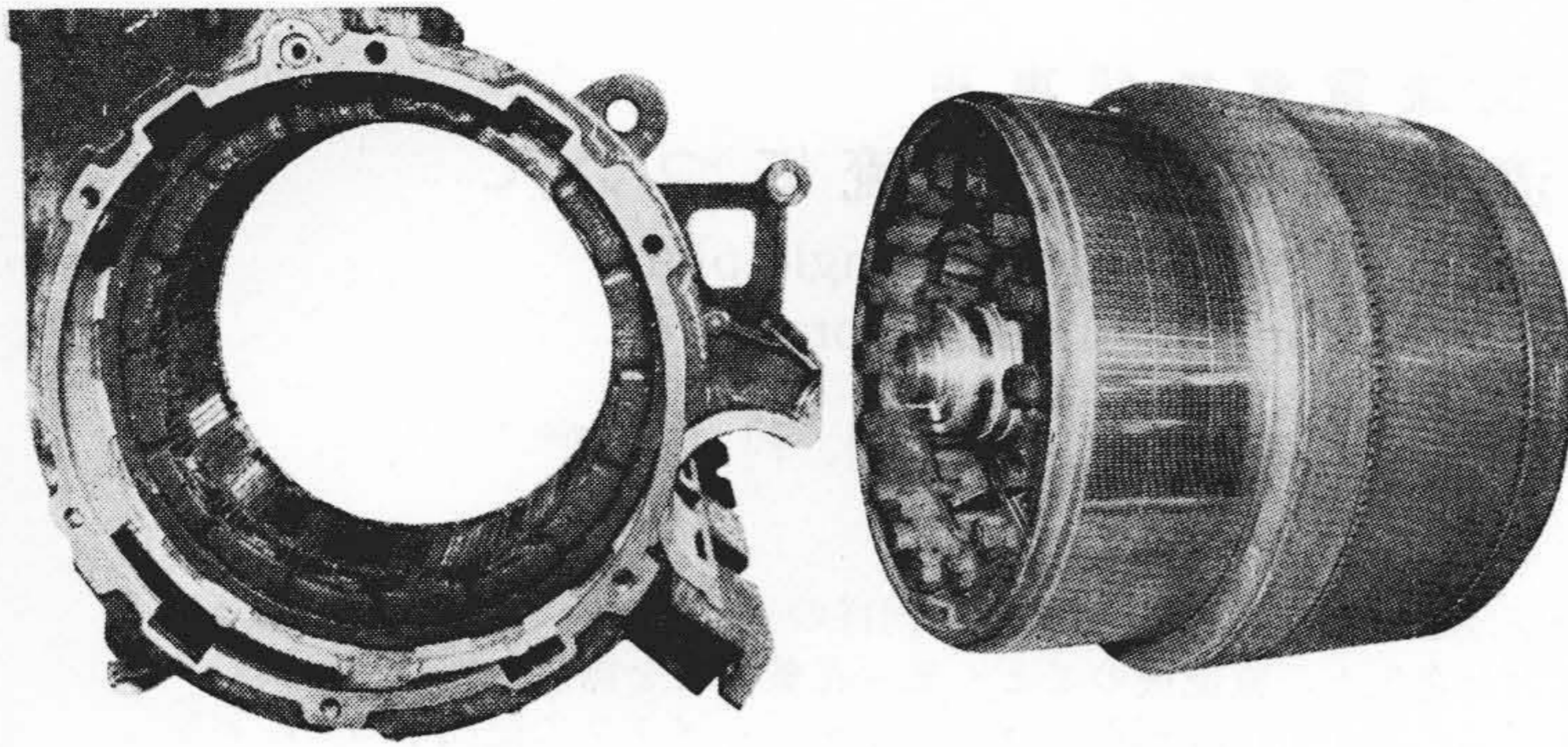
本機は仙山線において貨車牽引に使用する60tの交流電気機関車用主電動機として製作したもので、貨車用で特に問題となる起動時の整流子損傷を防ぐため変圧器起電力を十分低く設計し、長年月の使用に対して問題を起しやすい抵抗導線を使用していない。したがって極数が多く、電気装荷および周速の大きい機械となつているが、電機子巻線にトレッペン巻線を採用し、磁気回路の飽和を防ぐなど整流の改善に十分な考慮が払われている。

第2図(次頁参照)に電機子および固定子外観を示す。

\* 日立製作所日立研究所 工博

\*\* 日立製作所日立工場

\*\*\* 日立製作所日立研究所



(a) 電機子 (b) 固定子

第2図 300kW 単相 50 $\sim$  整流子電動機  
Fig. 2. 300kW Single-phase 50 $\sim$  Commutator Motor  
(a) Armature (b) Stator

〔III〕 単相整流子電動機の整流と  
刷子および整流子の損傷

(1) リアクタンス電圧

ある電機子巻線に流れる電流は第3図の実線で示すごとく変化する。リアクタンス電圧の大きさは50 $\sim$ 波形のどの位置で整流を受けるかによつて異なるが、電流転換の機構は直流機と同様であつて以下直流整流と呼ぶ。平均のリアクタンス電圧は(1)式で表わすことができる。

$$E_r = 2 v_a l_a w (ac) \zeta \times 10^{-8} \dots \dots \dots (1)$$

こゝに  $E_r$ : 平均リアクタンス電圧の実効値 (V)

$v_a$ : 電機子周速 (m/s)

$l_a$ : 電機子鉄心有効長 (cm)

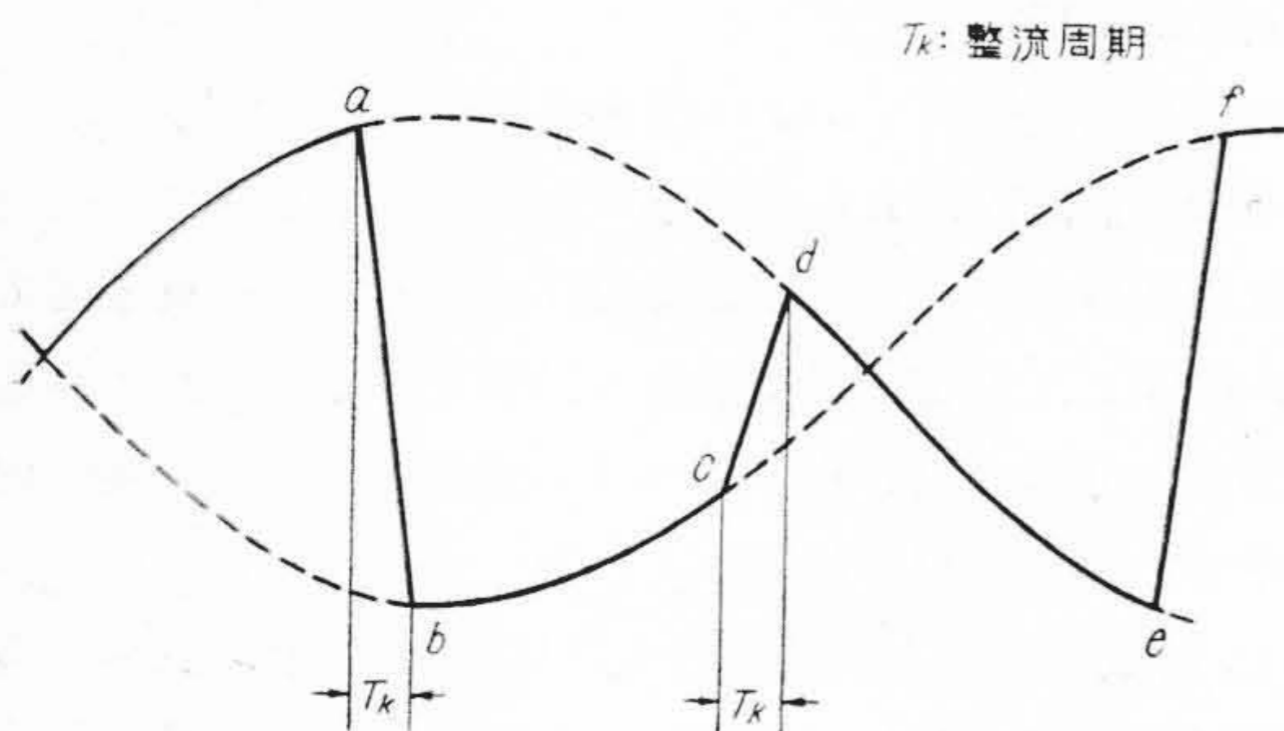
$w$ : 隣り合つた整流子片間に直列に入る電機子巻線数 (一重かさね巻では  $w = 1$ )

(ac): 電機子電気装荷 (A/cm)

$\zeta$ : 電機子巻線の漏洩係数により定まる定数 (Pichelmeyer 係数)

(2) 変圧器起電力

ブラシで短絡される電機子巻線は第13図に示すように励磁巻線と同軸であるから主磁束が交番すると変圧器作用により起電力を誘起する。この変圧器起電力の実効値



第3図 電機子電流波形  
Fig. 3. Wave Form of Current Flowing Through One Element of Armature Coils

$E_t$  (V) は電源周波数を  $f$  ( $\sim$ ), 主磁束の最大値を  $\phi$  (Maxwell) とすれば(2)式であたえられる。

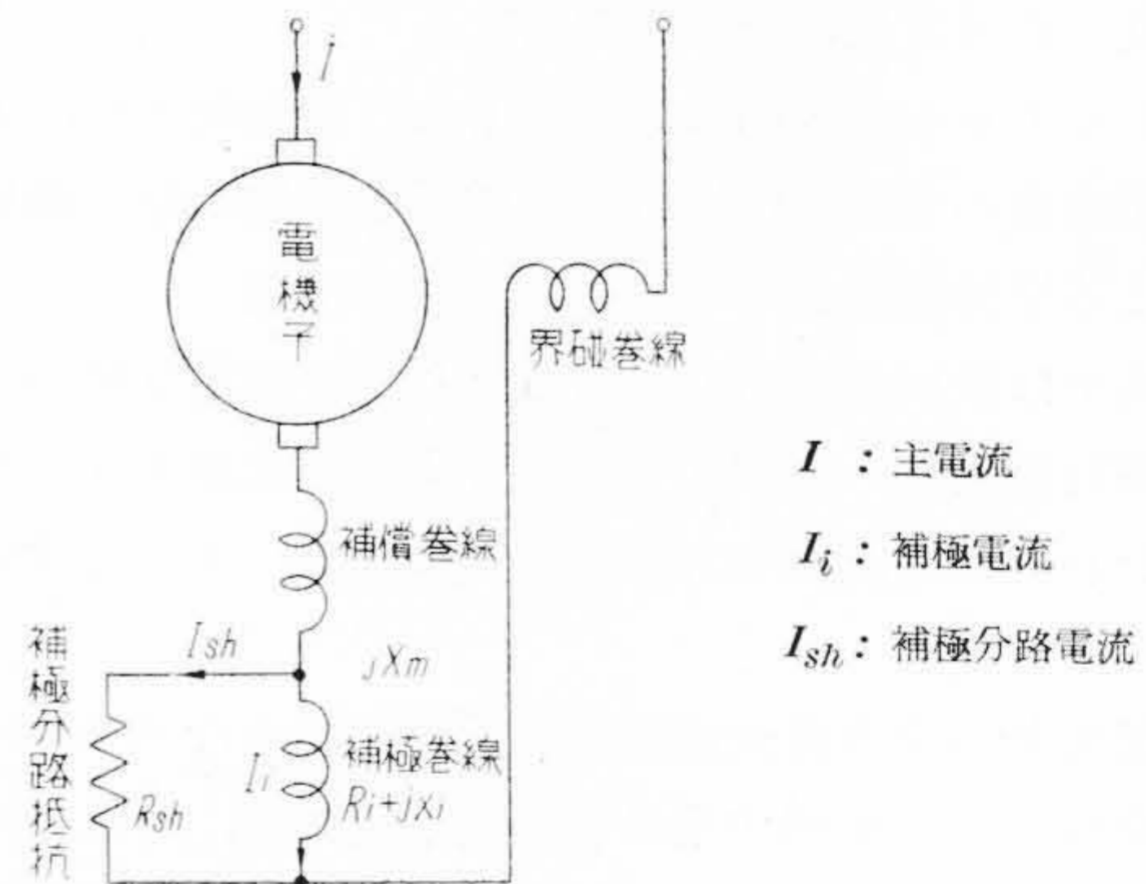
$$E_t = 4.44 f w \phi \times 10^{-8} \dots \dots \dots (2)$$

(3) 火花電圧

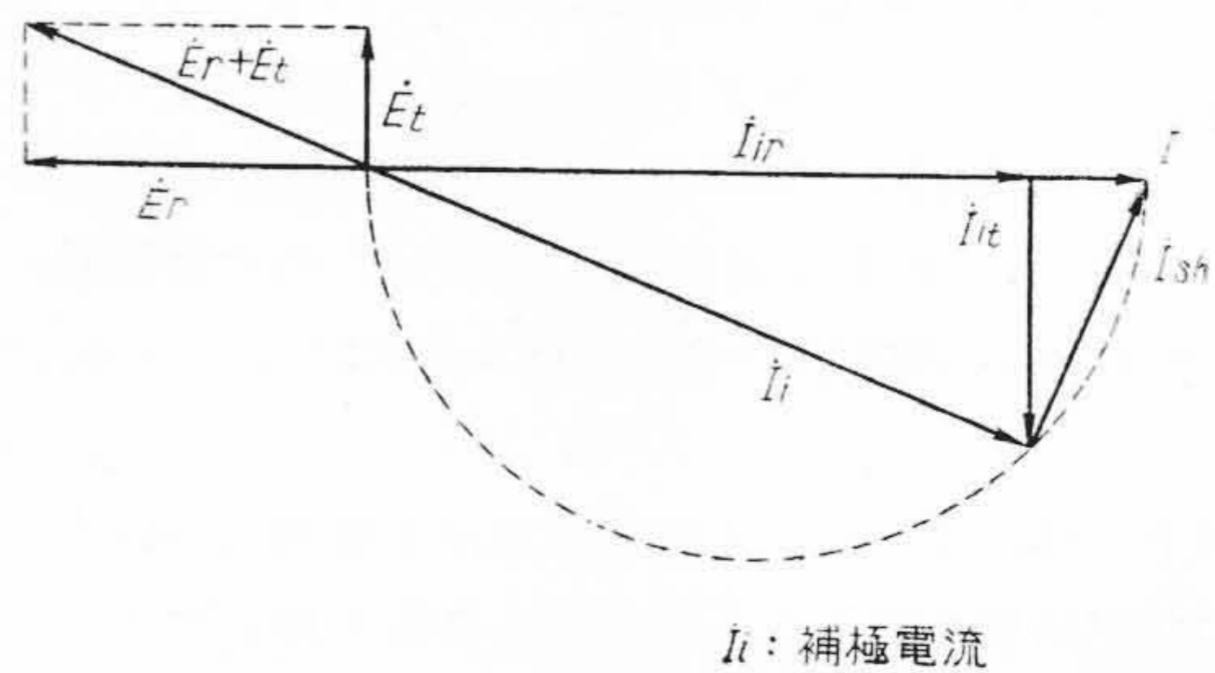
リアクタンス電圧は電機子電流と同相で(1)式からわかるように電流および速度に比例するが、変圧器起電力は主磁束に比例し、90 $^\circ$ おくらせている。このように90 $^\circ$ の位相差を有するリアクタンス電圧と変圧器起電力の両者を打消す方法としては一般に第4図に示すように、補極巻線を抵抗で分路し、補極電流の位相をおくらせる Behn-Eschenburg 方式が

用いられる。第5図に略示するように、補極の空隙長、形状および分路抵抗の値を適当に選べば補極電流  $I_i$  の電機子電流  $I$  と同相の成分  $I_{ir}$  による補極磁束でリアクタンス電圧  $E_r$  を打消し、垂直成分  $I_{it}$  による補極磁束で変圧器起電力  $E_t$  を打消すことができる。

しかし、補極磁束により短絡巻線に誘起する回転起電

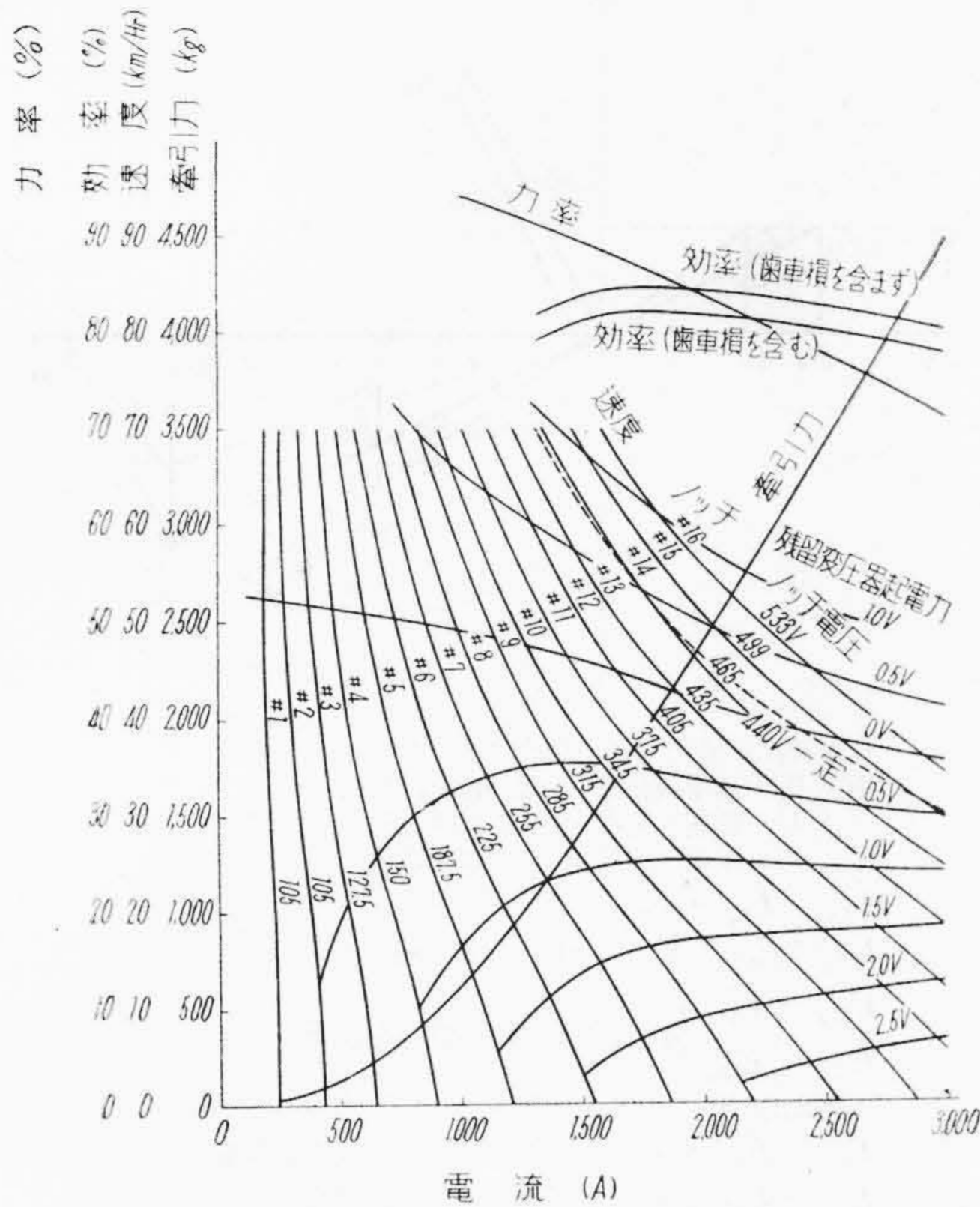


第4図 単相直巻整流子電動機結線図  
Fig. 4. Connection Diagram of Single-phase Series Commutator Motor



$I$ : 主電流  $I_{ir}$ : 補極電流のリアクタンス電圧を打消す成分  
 $I_{it}$ : 補極電流の変圧器起電力を打消す成分  $I_{sh}$ : 補極分路電流  
 $E_t$ : 変圧器起電力  $E_r$ : リアクタンス電圧

第5図 補極回路の電流ベクトル図  
Fig. 5. Current Vector Diagram of Inter-pole Circuit



1時間定格 300 kW, 220 V, 1,900 A  
 連続定格 280 kW, 220 V, 1,700 A  
 動輪径 1,210 mm 歯数比 93 : 16

第6図 300kW単相整流子電動機の特長および  
 残留変圧器起電力（火花電圧）曲線  
 Fig. 6. Characteristic and Residual Transformer E.M.F. Curve

力  $\dot{E}_i$  は電流および速度にほぼ比例するからリアクタンス電圧は直流機と同様に補極磁気回路が飽和しないように設計しておけば運転範囲のほぼ全域にわたって補償することができるが、変圧器起電力は速度に無関係であるから完全補償のえられるのはあるきまつた速度の場合のみであつて、電動機が速度がこの値を離れると火花電圧が残る。一般に火花電圧  $\dot{E}_s$  は補極磁束による回転起電力を  $\dot{E}_i = \dot{E}_{ir} + j\dot{E}_{it}$  とすれば (3) 式で与えられる。

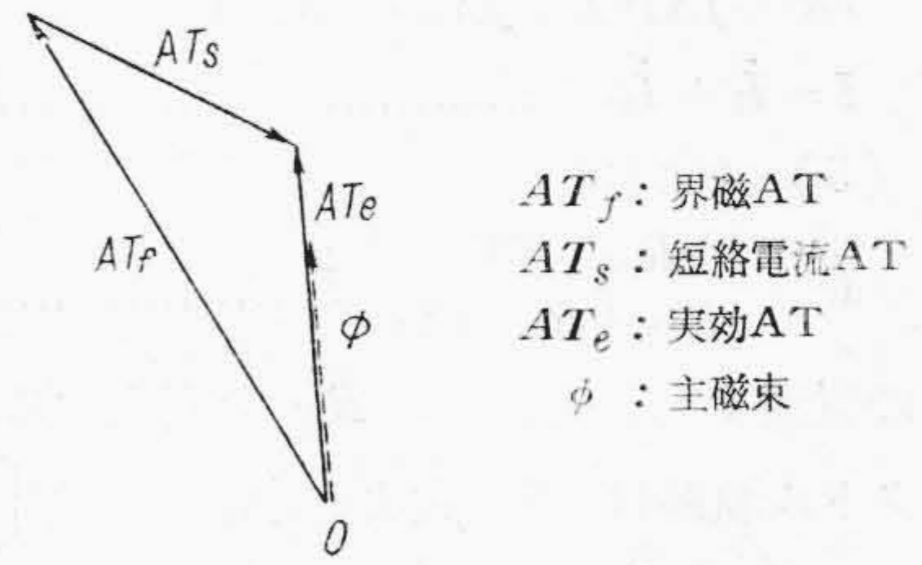
$$\dot{E}_s = \dot{E}_r + \dot{E}_t + \dot{E}_i \dots\dots\dots (3)$$

300kW電動機について実測データから (3) 式によつて残留火花電圧を求めると第6図のごとくなる。これは補極分路の切替えを行つていないが、低速における変圧器起電力による火花電圧を抑えるためこの電動機を装荷した交流電気機関車では分路抵抗の値を #10 ノッチで切替えるよう計画した。さらに補極分路にコンデンサ (低速) およびリアクタ (高速) を加えて速度により切替えれば完全整流の範囲をさらに拡大することができる。

補極分路は運転条件を十分検討し、長期間の使用に対して整流子の損傷およびブラシの磨耗が最も少なくなるように調整しておかなければならない。

(4) 整流子および刷子の損傷

前節でのべたように車輛用単相整流子電動機では運転



第7図 短絡電流によるトルクの減少を示すベクトル図

Fig. 7. Vector Diagram Showing Decrease of Torque by Short-circuit Current

範囲の一部で火花の発生することは避けられないが、走行時多少の火花が発生しても電圧が低い内絡の恐れはなく、また電流が交番しているため直流機にくらべて整流子およびブラシの損傷はいちじるしく少い。

しかし、起動の際には補極の作用が全くなく、変圧器起電力の高い電動機では大きい短絡電流によつてブラシの下の整流子面を過熱してそのカタサを害し、またはげしいアークによつて整流子片に深い焼痕を作るからこの種の電動機では起動時の短絡電流に特に考慮を払う必要がある。勾配線において貨車牽引に使用される直接式機関車では起動時の最大変圧器起電力の大きさが主電動機の寿命を左右し、走行時の多少の火花よりも起動時の短絡電流の大きさが、その電動機の実用性を決定するといわれている。たとえば1回の重負荷起動の失敗は約10万軒の走行に匹敵する整流子の損傷を生ずるといふ報告がある。(1)

さらに第7図に示すように短絡電流による起磁力は界磁起磁力を打消し、起動トルクを減少することになるから(2)(3)、変圧器起電力の選定とともに、界磁起磁力をできるだけ大きく選び、またブラシの材質および構造に十分考慮を払う必要がある。

300kW 電動機はこの起動特性の改善を計つたもので、仙山線における実車試験において、電動機 1 台あたり 4.6 t (動輪径 1,210mm, 歯数比 93 : 16) の起動牽引力を発揮し、苛酷な起動試験を行つた後も整流子および刷子に異常が認められなかつた。整流子および刷子の損傷については長期の使用実績により検討する必要がある。

(5) 補極分路抵抗の調整

第4図に示すように補極巻線を抵抗  $R_{sh}$  で分路する場合をとりあげて補極の調整法を示す。分路にリアクタンスを含む場合も同様の方法により解明することができる。

補極巻線のインピーダンスを  $R_i + jX_i$ , 補極溝内の補償巻線と補極巻線との相互誘導リアクタンスを  $X_m$  とし、主回路、補極および分路の電流をそれぞれ  $\dot{I}$ ,  $\dot{I}_i$  および  $\dot{I}_{sh}$  とすれば ( $I$  を基準ベクトルにとる) 次式が成立つ。

$$(R_i + jX_i) \dot{I}_i + jX_m I = R_{sh} \dot{I}_{sh} \dots\dots\dots (4)$$

$$I = \dot{I}_i + \dot{I}_{sh} \dots\dots\dots (5)$$

(4), (5) 式より

$$\dot{I}_i = \frac{R_{sh} - jX_m}{R_{sh} + R_i + jX_i} I \dots\dots\dots (6)$$

主回路の電流  $I$  を一定とし,  $R_{sh}$  を変化すると補極電流  $\dot{I}_i$  のベクトル軌跡は (6) 式より中心の座標  $\left[ \frac{X_i - X_m}{2X_i} I, \frac{R_i}{2X_i} I \right]$ , 半径  $\frac{I}{2X_i} \sqrt{R_i^2 + (X_i + X_m)^2}$  の円となる。

調整点において完全補償をうるために必要な補極電流  $\dot{I}_i = I_{ir} - jI_{it}$  において  $I_{ir}/I = a, I_{it}/I = b$  とおけば

$$a/b = I_{ir}/I_{it} = E_{ir}/E_{it} = E_r/E_t = k \dots\dots\dots (7)$$

の値は調整点により定まる定数となる。

$$\dot{I}_i = aI - jbI \dots\dots\dots (8)$$

$$\dot{I}_{sh} = I - \dot{I}_i = (1-a)I + jbI \dots\dots\dots (9)$$

(8), (9) 式と (4) 式より分路抵抗値を求めると

$$R_{sh} = \frac{aR_i + bX_i}{1-a} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{または} \quad = \frac{aX_i - bR_i + X_m}{b} \dots\dots\dots (10)'$$

となる。(10), (10)' 式に (7) 式を代入して  $b$  につき解けば

$$b = \frac{1}{2(k^2 + 1)X_i} \left[ k(X_i - X_m) - R_i + \sqrt{\{k(X_i - X_m) - R_i\}^2 + 4(k^2 + 1)X_i X_m} \right] \dots\dots\dots (11)$$

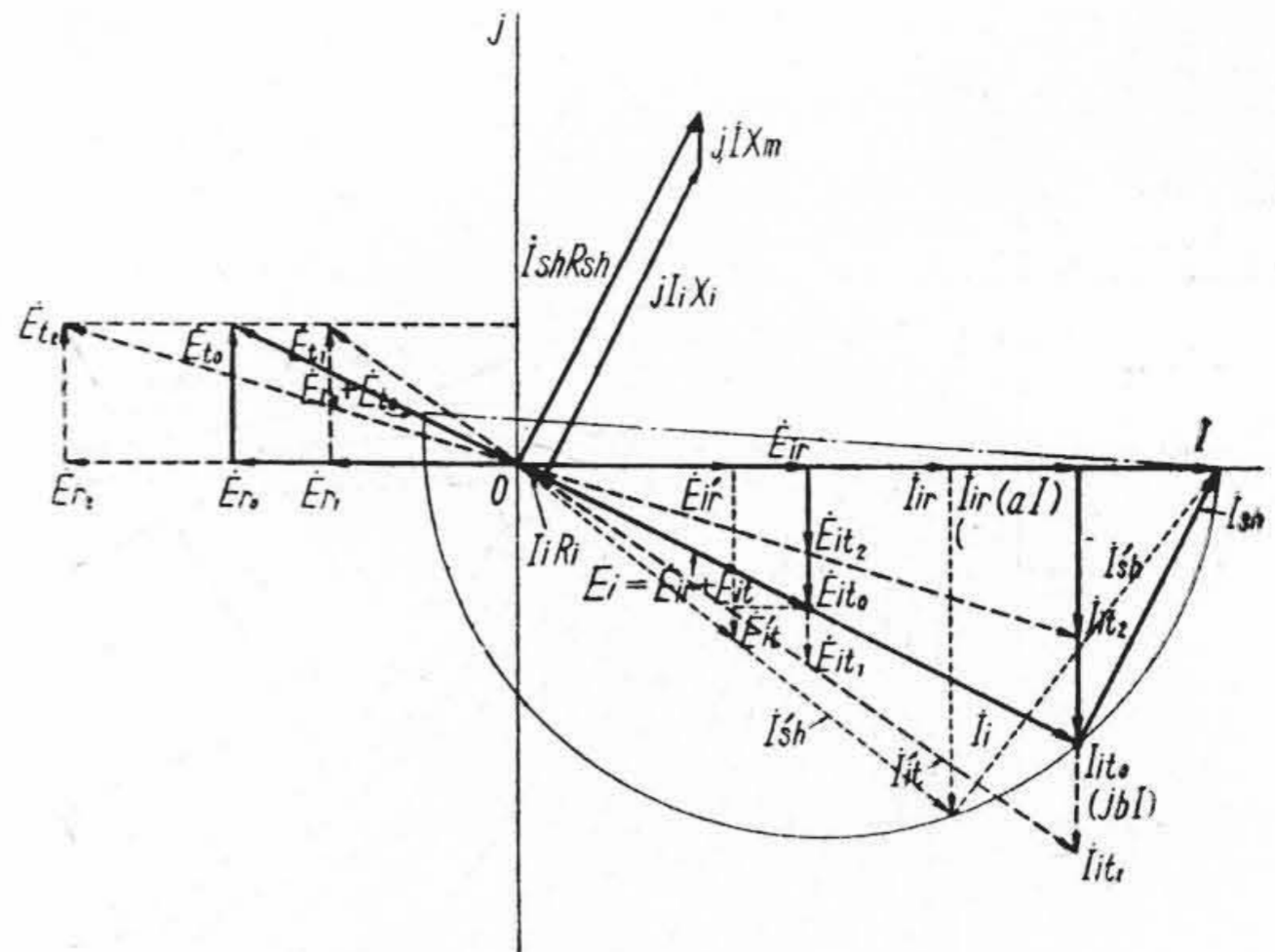
したがって  $b = I_{it}/I$  が (11) 式に等しくなるように補極空隙長を決定すれば (10) または (10)' 式より分路抵抗が決定され, 完全補償がえられることになる。これらの関係を第8図に示す。試験台において実際に調整を行う場合には後述するように, 界磁電圧波形をブラウン管オシログラフで観測しながら分路抵抗を加減し, まずリアクタンス電圧を完全に補償し, 調整点において変圧器起電力が過補償ならば補極空隙を拡げて完全補償をうることができる。

### 〔IV〕 ブラウン管オシログラフによる 整流状況の判定

交流整流子電動機では直流機のように補極に電流を添加して無火花整流帯を測定し, 補極の強弱を決めることは困難であつて, 補極の強弱ならびにリアクタンス電圧と変圧器起電力の補償の過不足を判定する方法が問題となる。

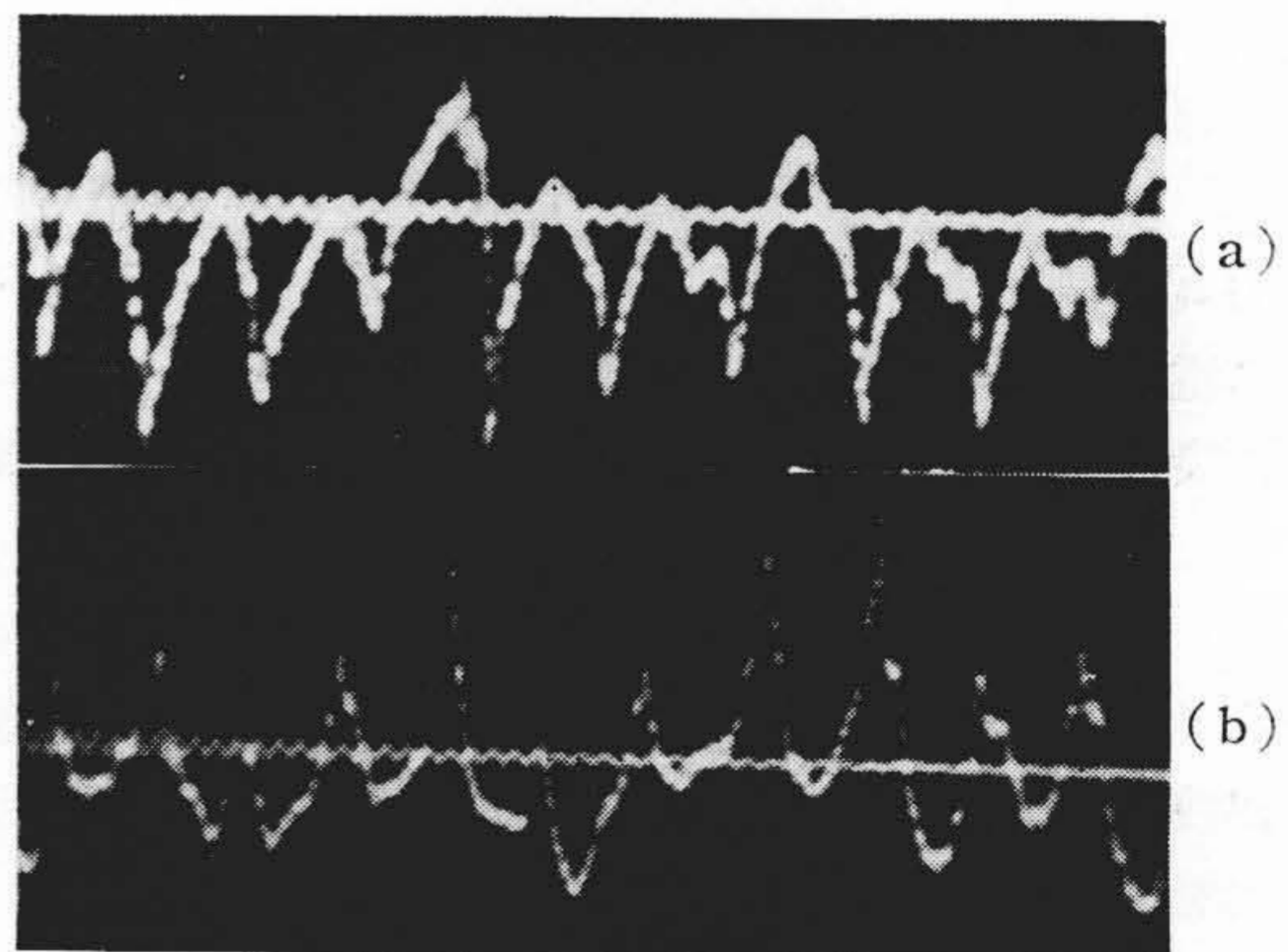
直流機で火花の発生している場合には電機子電圧に高周波のピークが重畳して現われ, 第9図に示すように補極の強弱によつてピークの向きが異なることから整流状況の判定ができることはすでに報告したとおりである<sup>(4)</sup>。

整流子電動機では磁気回路に積層鉄心を用いているため, 火花電圧による短絡電流により短絡巻線に面してい



- (a) 分路抵抗が適当である場合 (——)
  - 添字 0: 補極調整点 (速度  $n_0$ ) における値
  - 1: 低速 (速度  $n_1$ ) における値
  - 2: 高速 (速度  $n_2$ ) における値
  - $\dot{E}_{t0} = \dot{E}_{t1} = \dot{E}_{t2}$
  - $E_{r0} : E_{r1} : E_{r2} = n_0 : n_1 : n_2$
  - $\left. \begin{matrix} \dot{E}_{it1} - \dot{E}_{it0} \\ \dot{E}_{it2} - \dot{E}_{it0} \end{matrix} \right\}$  は残留変圧器起電力を示す。
- (b) 分路抵抗が小さすぎる場合 (-----)
  - $\dot{E}_{ir} - \dot{E}'_{ir}$ : 残留リアクタンス電圧 (不足補償)
  - $E_{ir} - \dot{E}'_{it}$ : 残留変圧器起電力 (過補償)

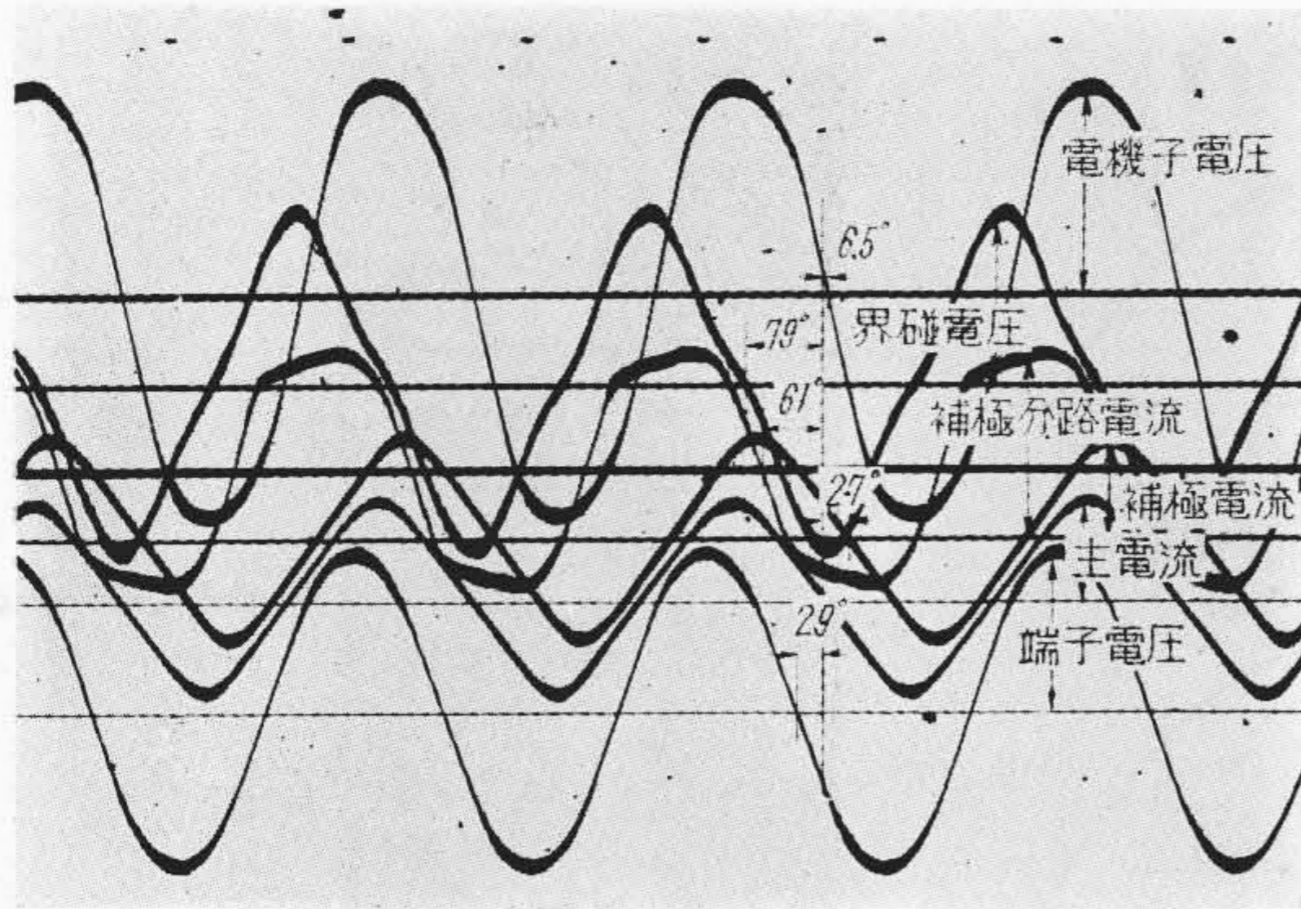
第8図 補極調整および残留火花電圧説明図  
Fig. 8. Explanatory Vector Diagram Showing Adjustment of Inter-Pole and Residual Spark Voltage



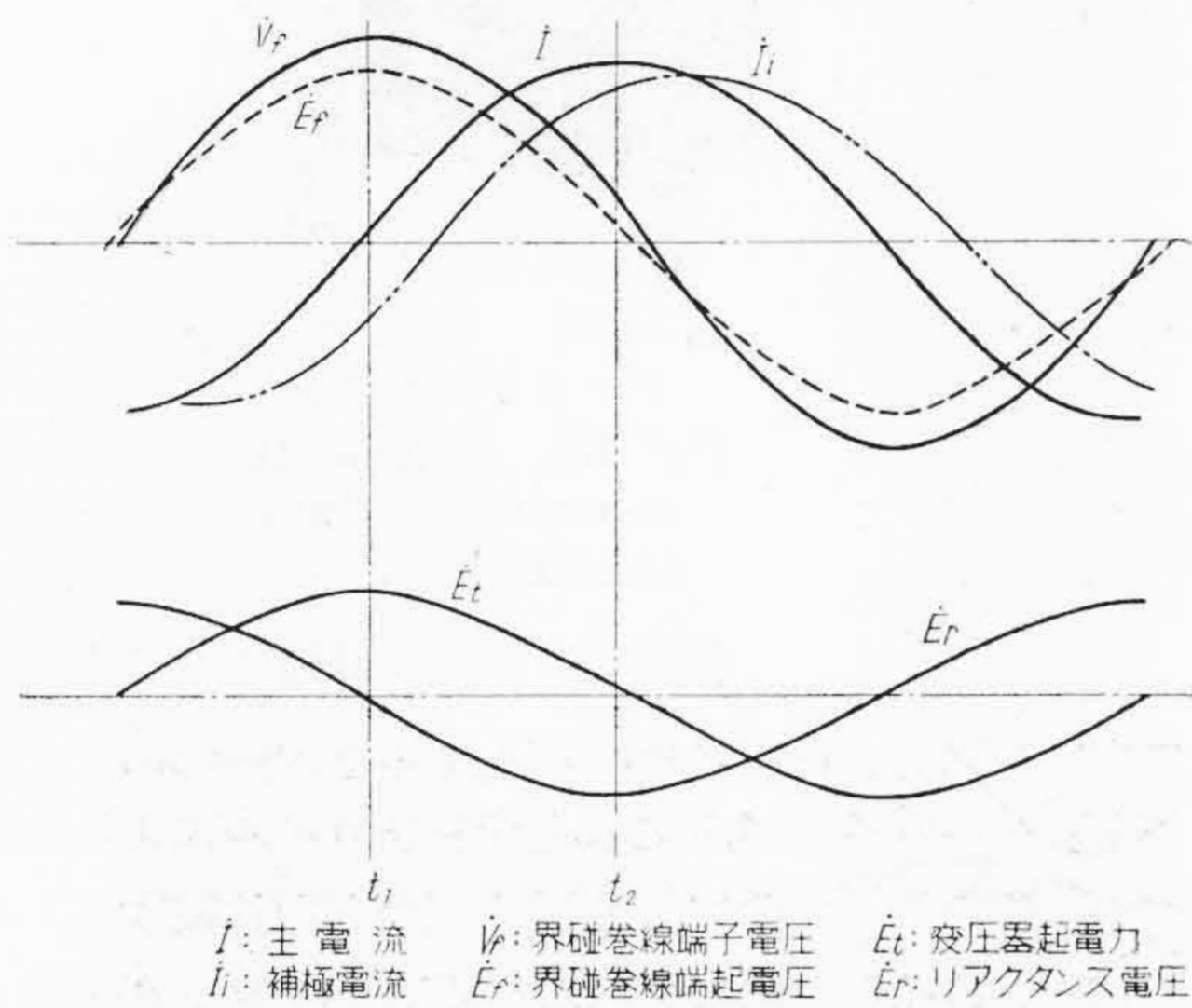
第9図 直流機の電機子電圧に現われる高周波ピーク  
(a) 過整流の場合 (b) 不足整流の場合  
Fig. 9. Higher Frequency Peak Voltage Appeared on Armature Terminal Voltage of D. C. Machine  
(a) Over-Commutation  
(b) Under-Commutation

る界磁巻線に高周波のピーク電圧を誘起し, リアクタンス電圧と変圧器起電力が  $90^\circ$  の位相差を有していることから界磁電圧波形の観測によつて両者の補償の過不足が判定される。この判定法はフランス国鉄の交流電化に関する会議議事録に報告されている<sup>(1)</sup>が, このような現象の現われる理由について検討してみよう。

第10図は 300kW 電動機の電圧電流波形のオシログラムの一例, 第11図はその説明図である。また補極回路のベクトル図を描くと第12図のごとくなる。まず,  $E_r$  お



第10図 300kW 電動機の電圧電流波形  
Fig. 10. Oscillograms Showing Current and Voltage of 300kW Commutator Motor

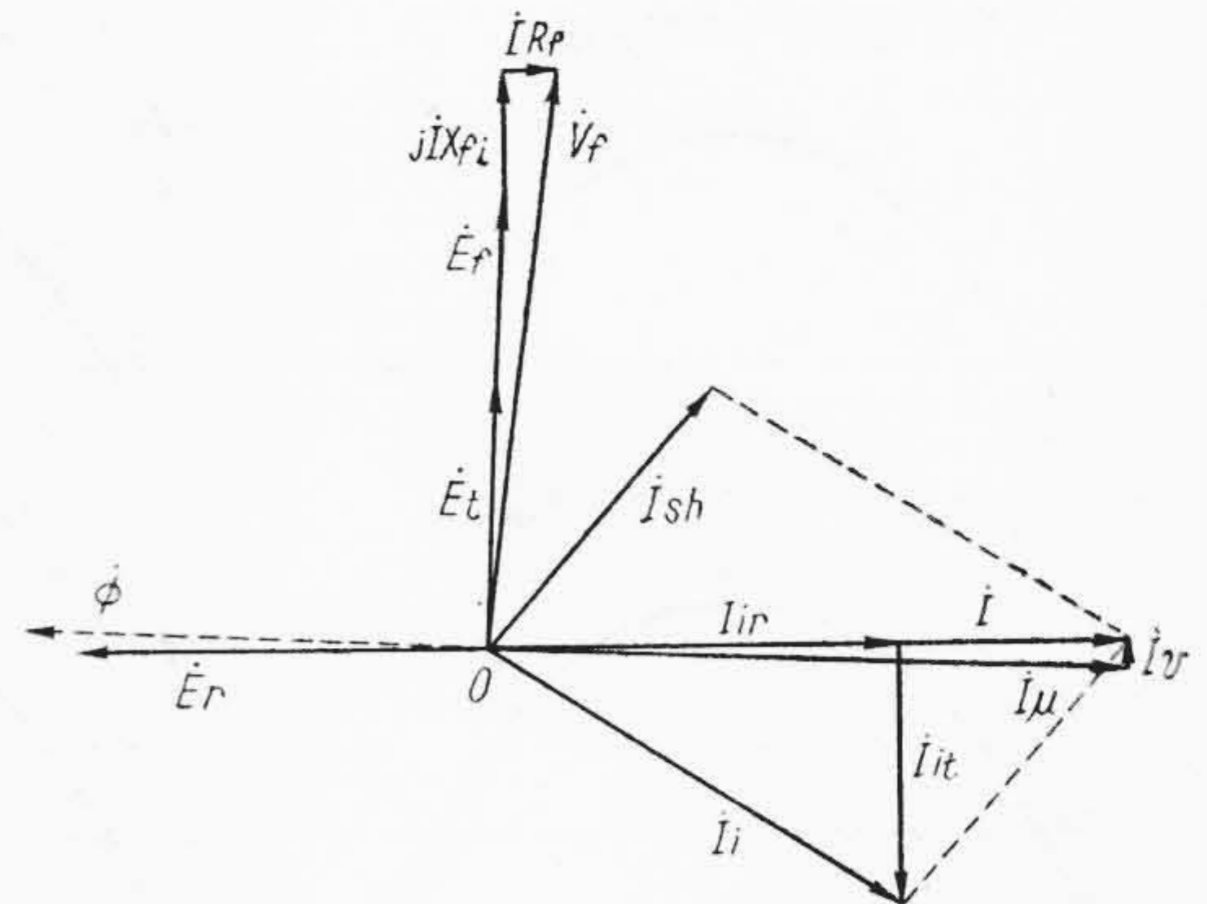


第11図 電圧電流の位相関係説明図  
Fig. 11. Explanatory Diagram Showing Phase Relation

よび  $E_t$  のうち、いずれか一方が完全に補償されている場合について考えると次のようになる。

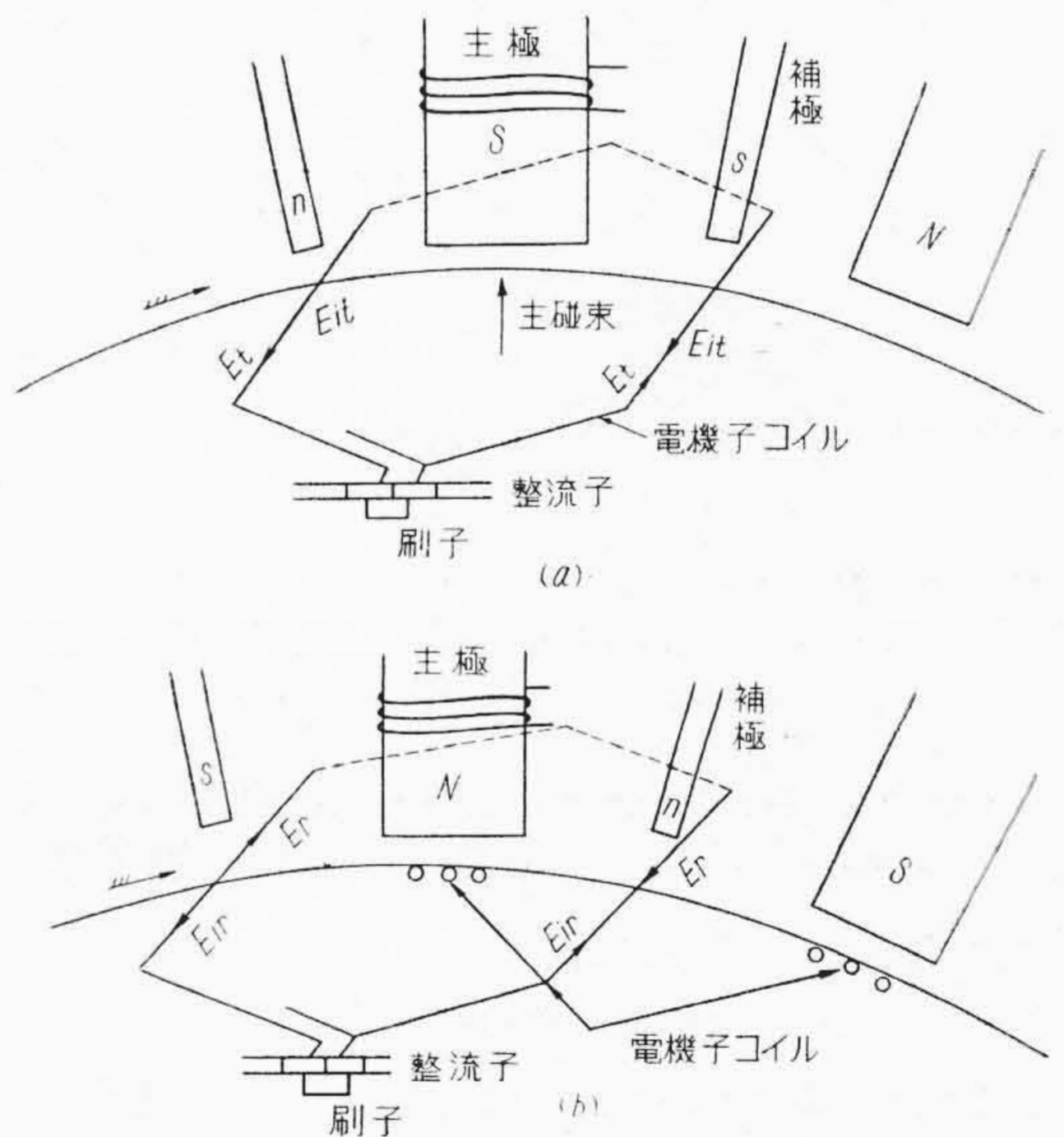
短絡巻線に変圧器起電力のみが火花電圧として残留している場合、第11図の時刻  $t_1$  における状況を考えると、主極および補極の極性は第13図 (a) のようになり、短絡巻線に誘起する変圧器起電力  $E_t$  の方向は主磁束の変化を妨げる方向、これを補償すべき補極磁束による速度起電力  $E_{it}$  は  $E_t$  と逆方向に発生する。一般にインダクタンスと抵抗よりなる回路では回路を開く時に火花を発生しやすいから第13図で整流子片が刷子を離れる時期に火花が発生するものと考えられる。したがって変圧器起電力の補償が不足、すなわち  $E_t > E_{it}$  の場合には  $E_t$  の最大値となる界磁電圧波形の頂点付近に誘導によつて、第14図 (a) に示すような外向き（界磁電圧と同方向）の高周波ピークを生じ、過補償の場合には同図 (b) に示すように内側（界磁電圧と逆方向）にピークを生ずることになる。

同様にリアクタンス電圧が残留している場合には、第



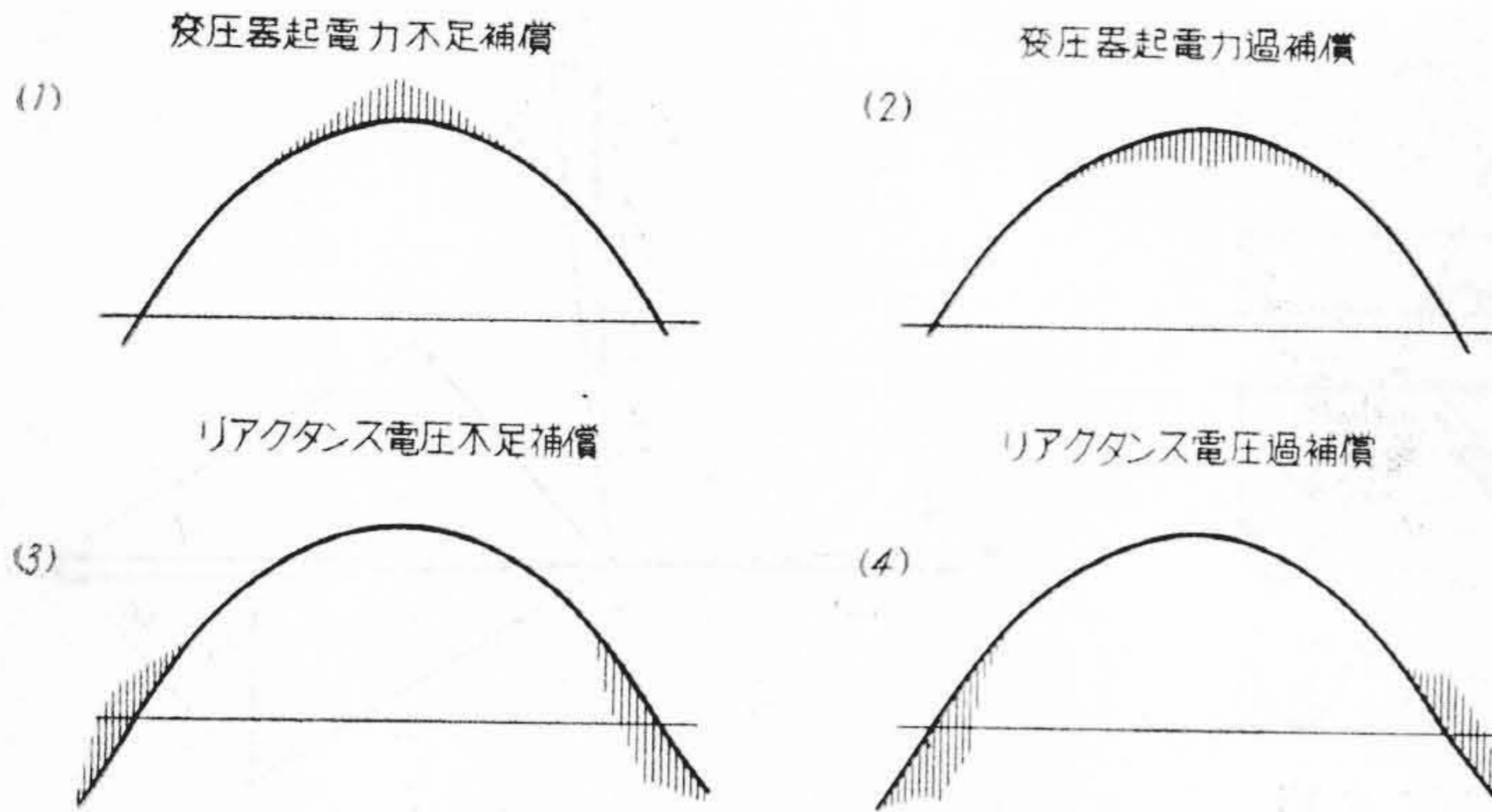
- $I$  : 主電流
- $I_{\mu}$  : 励磁電流
- $I_p$  : 50~鉄損分
- $I_i$  : 補極電流
- $I_{ir}$  : 補極電流のリアクタンス電圧を打消す成分
- $I_{it}$  : 補極電流の変圧器起電力を打消す成分
- $I_{sh}$  : 補極分路電流
- $\phi$  : 主磁束
- $V_f$  : 界磁巻線端子電圧
- $E_f$  : 界磁巻線誘起電圧
- $R_f$  : 界磁巻線の抵抗
- $X_{fl}$  : 界磁巻線の漏洩リアクタンス
- $E_t$  : 変圧器起電力
- $E_r$  : リアクタンス電圧

第12図 界磁および補極巻線の電圧電流ベクトル図  
Fig. 12. Current and Voltage Vector Diagram of Field Windings



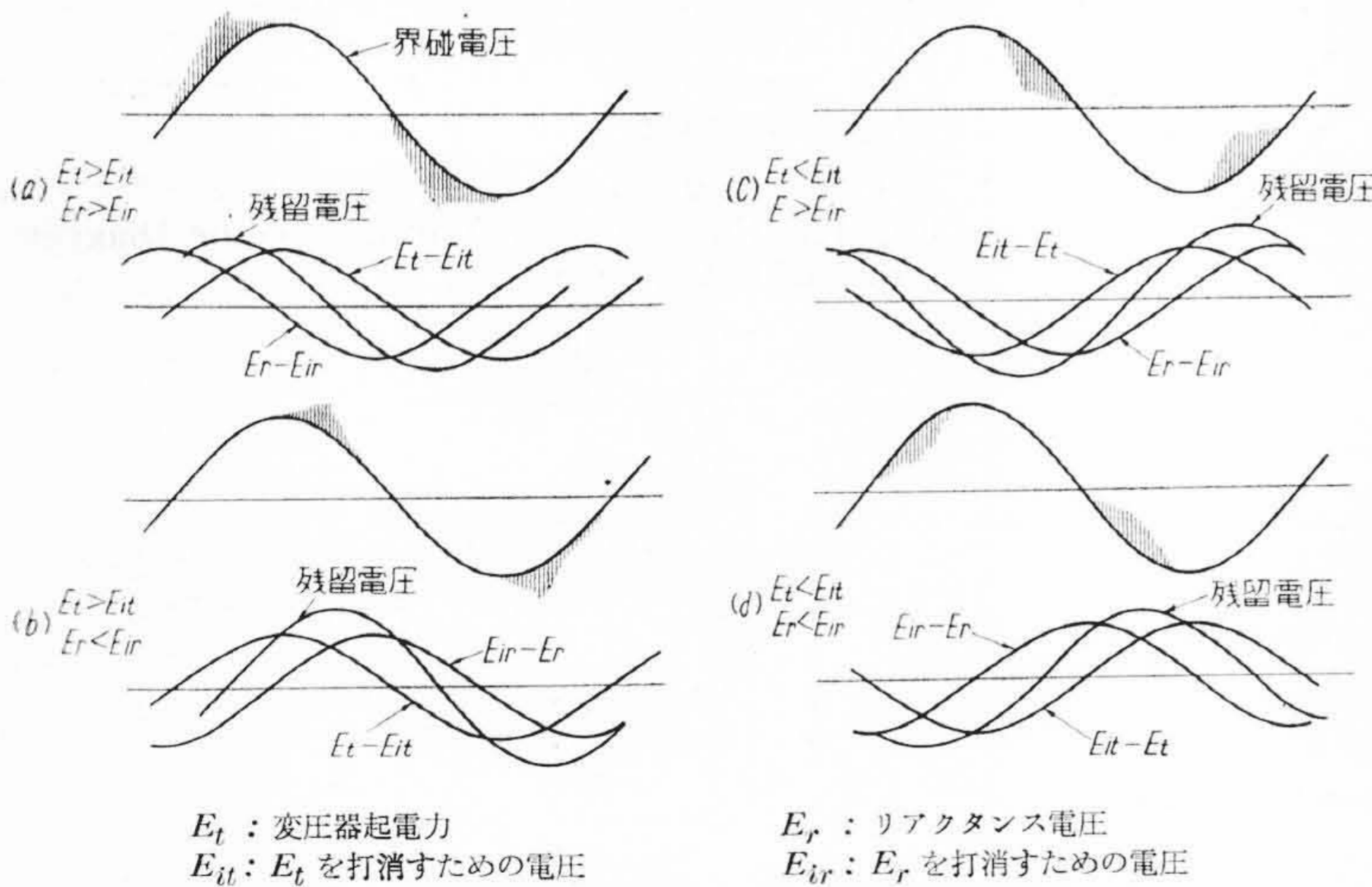
第13図 火花電圧による高周波ピーク発生の機構  
(a) 変圧器起電力による場合  
(b) リアクタンス電圧による場合  
Fig. 13. Mechanism of Inducing High Frequency Peak due to Residual Spark Voltage  
(a) due to Transformer E.M.F.  
(b) due to Reactance Voltage

11図の時刻  $t_2$  で整流を受ける場合を考えると  $E_r$  と  $E_{ir}$  の関係は第13図 (b) の矢印のようになる。したがって  $E_r > E_{ir}$  の場合には  $E_r$  と同方向の短絡電流が流れるから界磁巻線に誘導によつて  $E_r$  と同方向の起電力を誘起し、界磁電圧波形には第14図 (c) に示すように零付近に高周波ピークを生ずることになる。また  $E_r < E_{ir}$  の場



第14図 変圧器起電力およびリアクタンス電圧のいずれかが残留している場合の界磁電圧波形

Fig. 14. Explanatory Diagrams Showing Wave Form of  $V_f$  due to Residual Transformer E.M.F. or Reactance Voltage



第15図 変圧器起電力およびリアクタンス電圧の補償が適当でない場合の界磁電圧波形

Fig. 15. Explanatory Diagrams Showing Wave Form of  $V_f$  due to Residual Transformer E.M.F. and Reactance Voltage

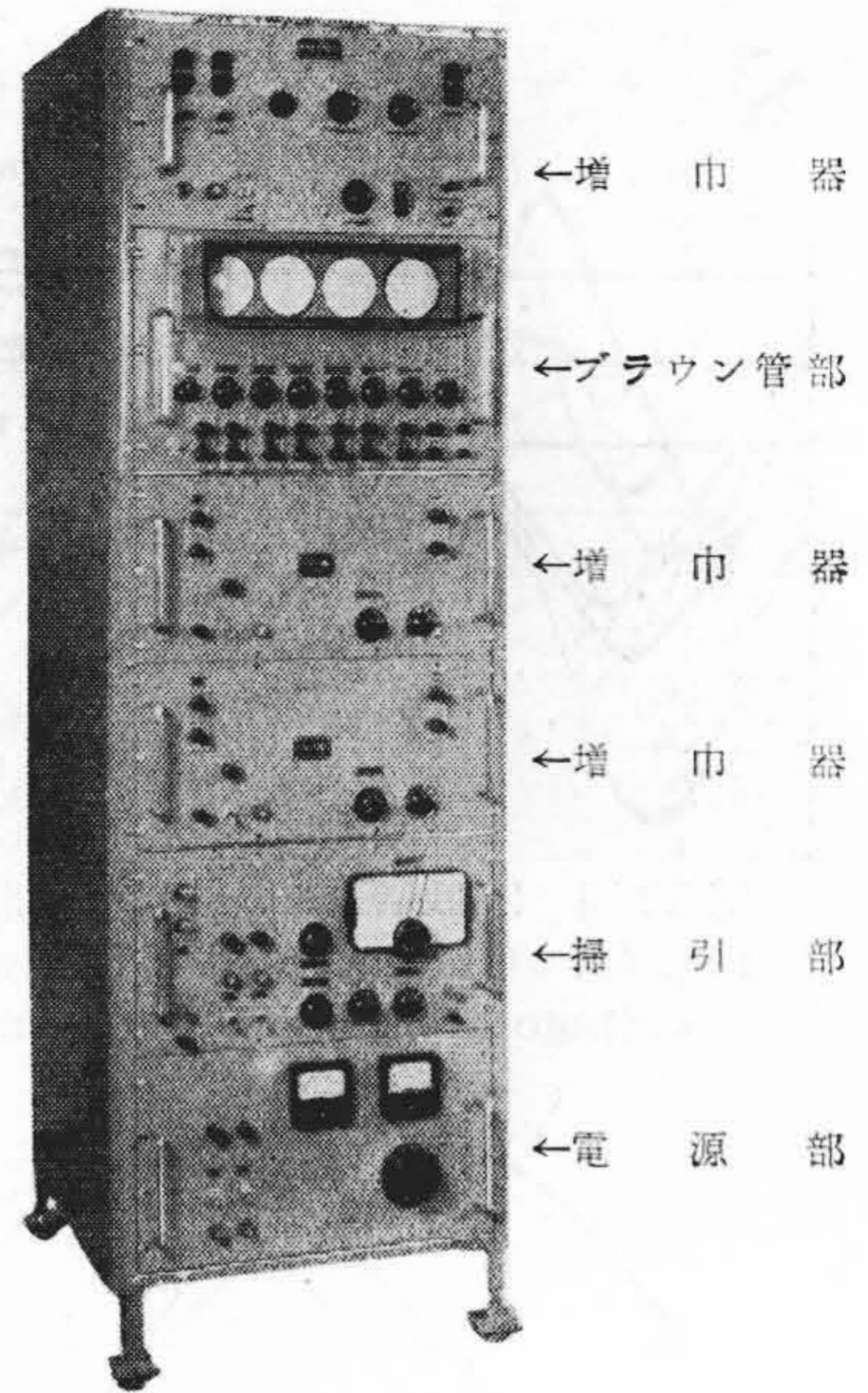
合には同図(d)のようになる。

これらのピークは電機子巻線の整流を受ける回数に対応しており、また一つの溝に配列されている各電機子巻線は一般に残留火花電圧ならびに界磁巻線との結合係数がことなるためピークの高さに差を生ずる。

次に  $E_t$  と  $E_r$  がいずれも補償が適当でない場合には補償の過不足の組合せにより第15図(a)~(d)のようにピークが現われる。しかし磁気回路が飽和してくると波形歪のため後述のごとくピークの現われ方が変ってくる。また界磁電圧波形の上下にピークの現われる場合には刷子入口においても火花が発生していると考えられることができる。

[V] 試験装置と試験の方法

(1) ブラウン管オシログラフ



第16図 4素子ロング・レコード・ブラウン管オシログラフ  
Fig. 16. 4 Elements, Long-recording Braun Tube Oscillograph

界磁電圧波形は普通のブラウン管オシログラフでよいに観測できるが、これとサーチコイルによる整流曲線、火花電圧などを比較するため第16図に示す4素子のロング・レコード・ブラウン管オシログラフを試作した。第17図(a), (b)にその結線図を示す。

(2) サーチ・コイル

225kW電動機には第18図(a), (b)に示すように電機子にサーチ・コイルを挿入してある。

これらによつて電機子電流(整流曲線)、変圧器起電力および残留火花電圧を測定することができる。サーチ・コイルは導体に溝を作つてその中に納め、鏡ブタの外側に設けた8個の砲金製滑動環より銀黒鉛刷子を介し適宜、測定素子を引出した。

(3) 試験回路

電源には交流発電機と単相変圧器を使用し、整流子電動機に直流発電機を直結して水抵抗に実負荷をかけた。第19図に試験回路を示す。

[VI] 測定結果と検討

(1) サーチ・コイルによる整流状況の観察

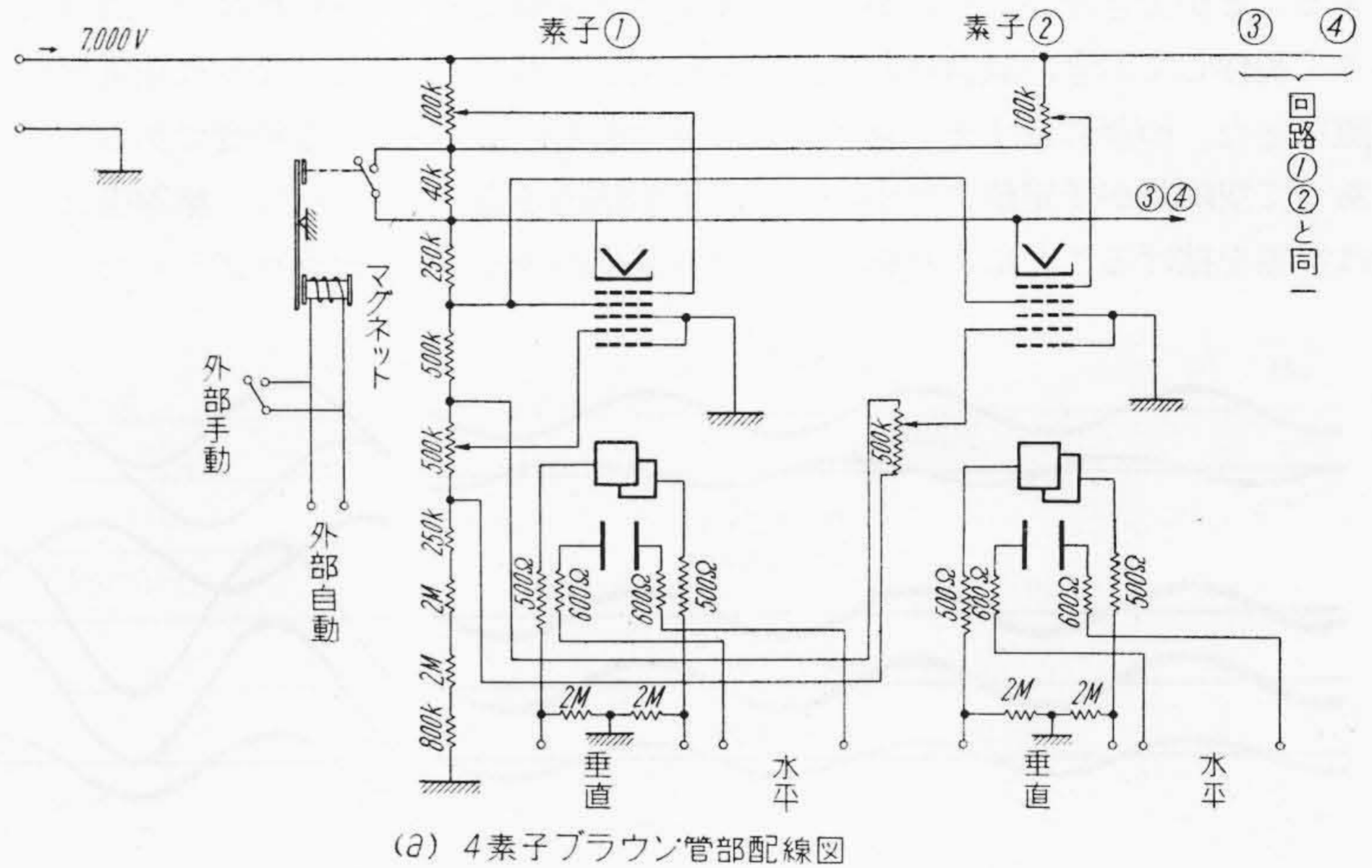
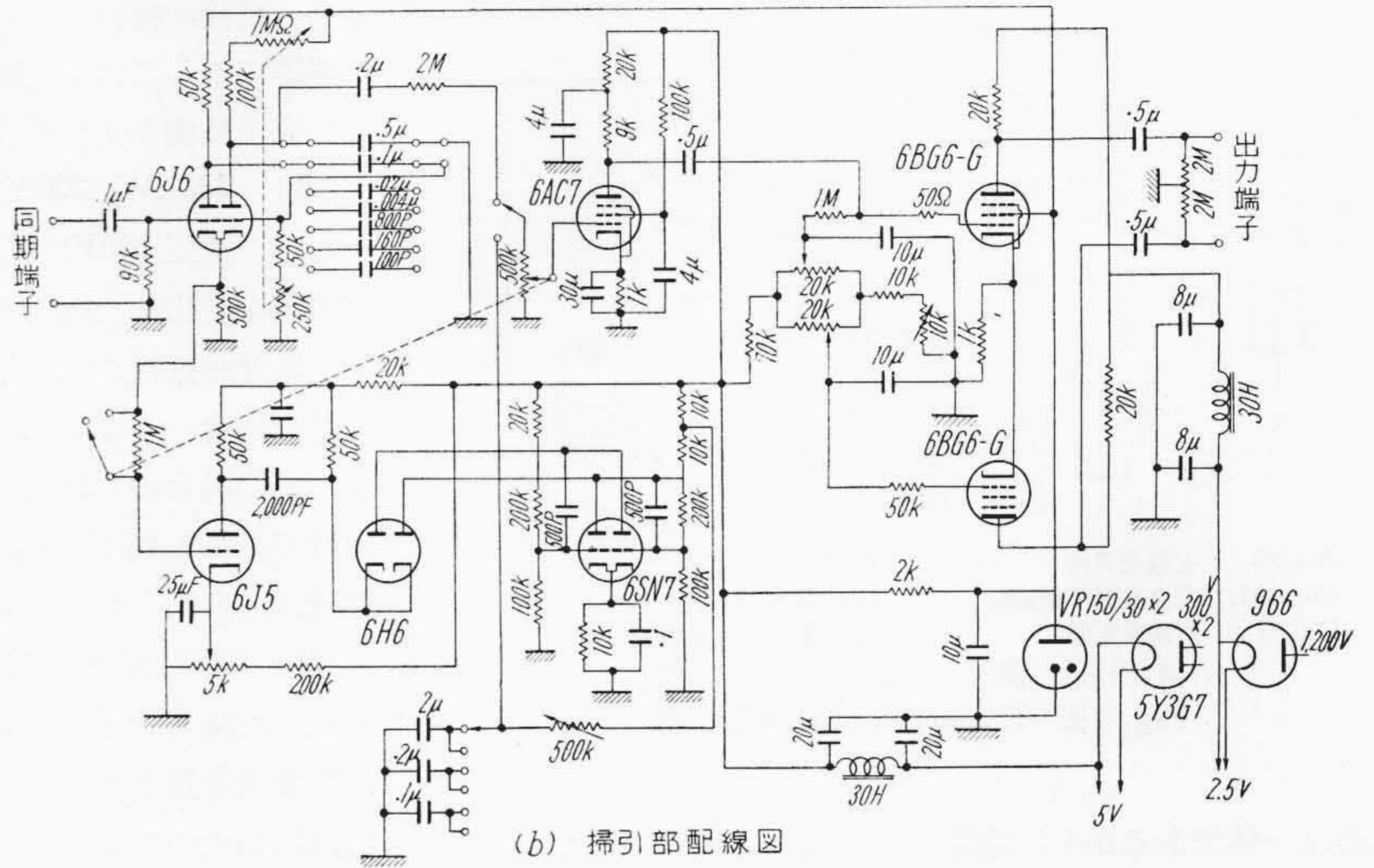
225kW 電動機について撮影したオシログラムの一例を示す。第20図は刷子を上げた状態で主極を励磁した場合(a)および主極と補極を同時に励磁した場合(b)

の変圧器起電力の波形を示す。実効変圧器起電力あるいは有効な主磁束の大きさは補極磁束の影響を受け、また火花電圧として変圧器起電力の残留している場合には短絡電流によつて減少し、トルクが減少する(第7図、第12図参照)。したがつて補極分路を変化すると回路のインピーダンスの変化による値以上に電動機速度、トルクが変化する。

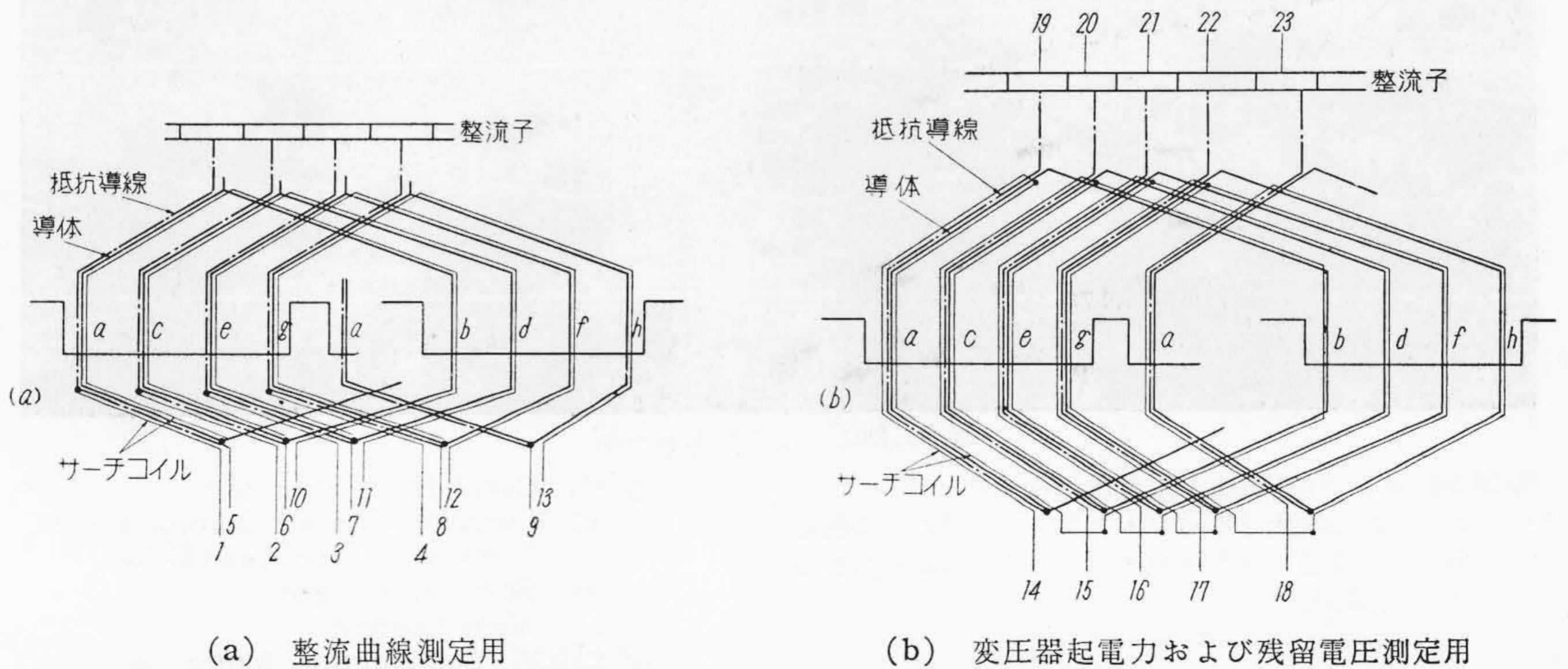
第21図に整流曲線(a)、整流子片間電圧(b)および主電流(c)の波形を示す。(b)の波形で高周波ピークの現われている部分は残留火花電圧を示すもので、このオシログラムから変圧器起電力(主電流の零附近)、リアクタンス電圧(主電流の頂点附近)とも不足補償であると判定されるが、界磁電圧波形をブラウン管オシログラムで観察した結果とよく一致し、つぎに説明する簡易な判定法の正しいことがあきらかとなつた。

(2) 界磁電圧波形による整流状況の判定

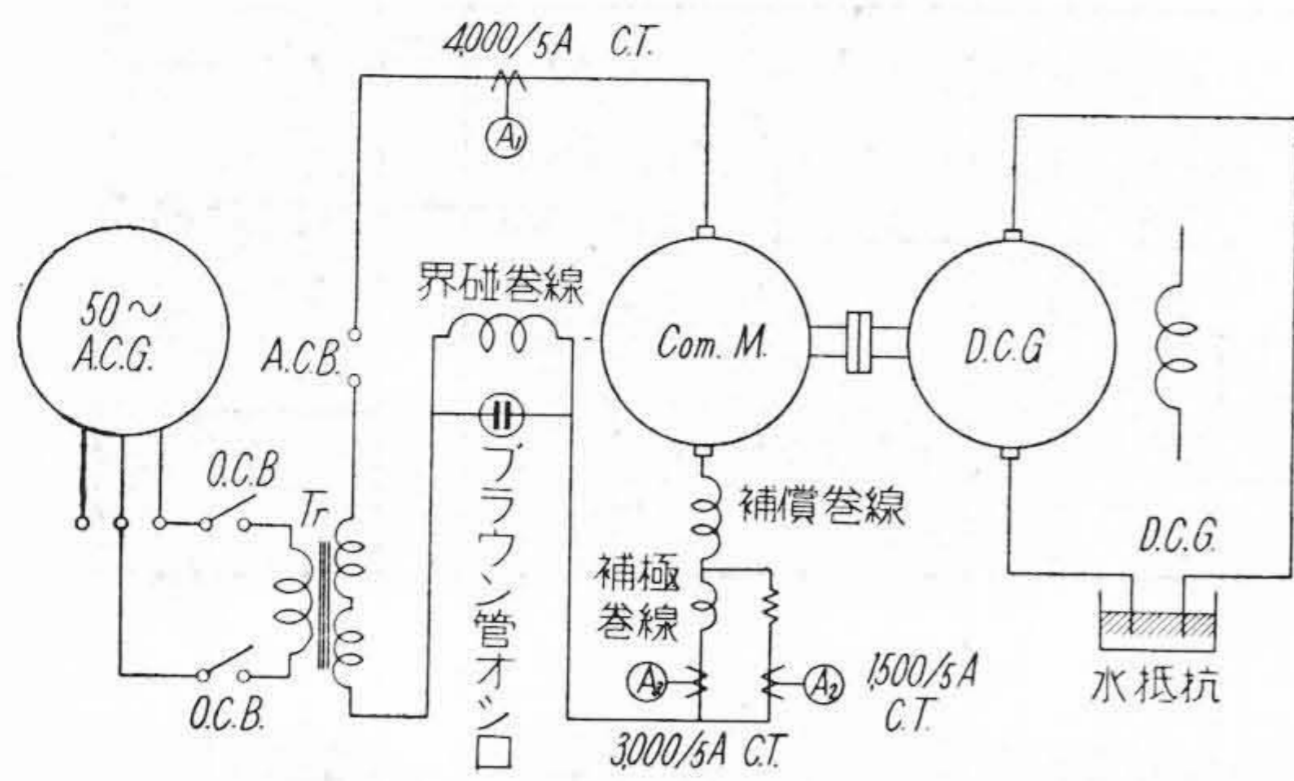
225kW 電動機は磁極を積層した継鉄にボルト締めしているから主極および補極空隙は自由に變更できるが、300kW電動機は第3図に示すように固定子鉄



第17図 4素子ロング・レコード・ブラウン管オシログラム結線図  
Fig. 17. Connection Diagrams of 4 Elements Long-recording Braun Tube Oscillograph



(a) 整流曲線測定用 (b) 変圧器起電力および残留電圧測定用  
第18図 サーチ・コイル Fig. 18. Search Coils



A.C.G. : 交流発電機  
 Com.M. : 交流整流子電動機  
 D.C.G. : 直流発電機  
 C.T. : 変流器  
 O.C.B. : 油入遮断器  
 A.C.B. : 空中遮断器

第19図 試験回路  
 Fig. 19. Experimental Circuit

心は一体であるから、空隙が大き過ぎる場合にはこれを改善することができない。したがって空隙長は予定値より小さく製作しておき、試験の結果鉄心を切削して所望の空隙をえた。つぎに示すオシログラムは製作頭初のものであつて空隙長が予定値より小さいが、単相整流子電動機は空隙を拡げることにより起動トルクの減少が少く

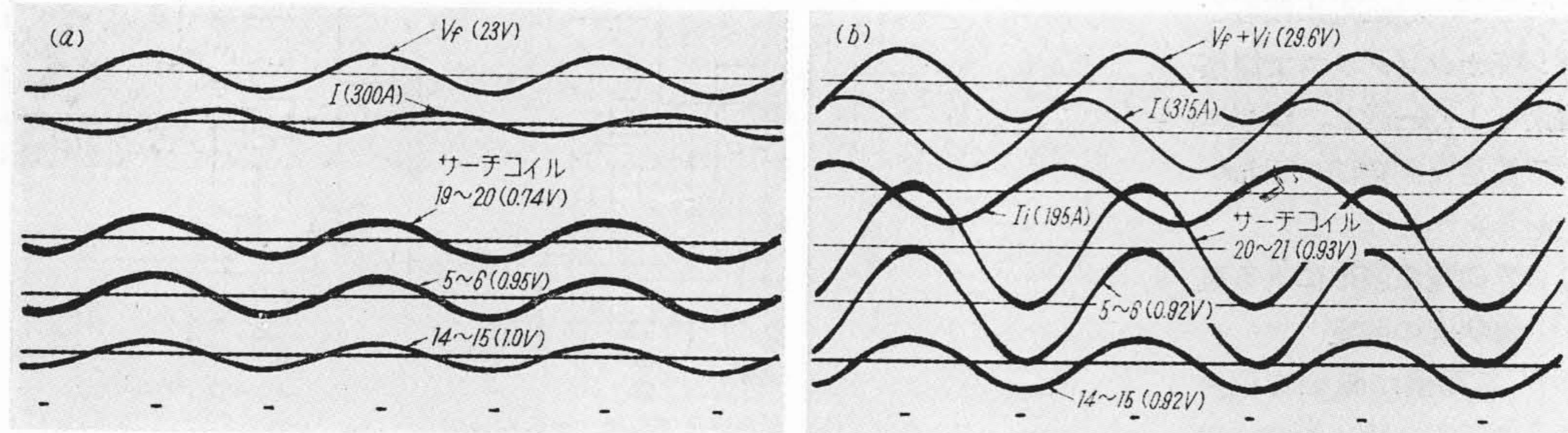
なり、整流、特性ともにいちじるしく改善される。最初の空隙に対しては下記の仕様に対して補極分路の調整を行い完全整流がえられた。

(3) 230kW, 200V, 1,700A, 960rpm, 50~

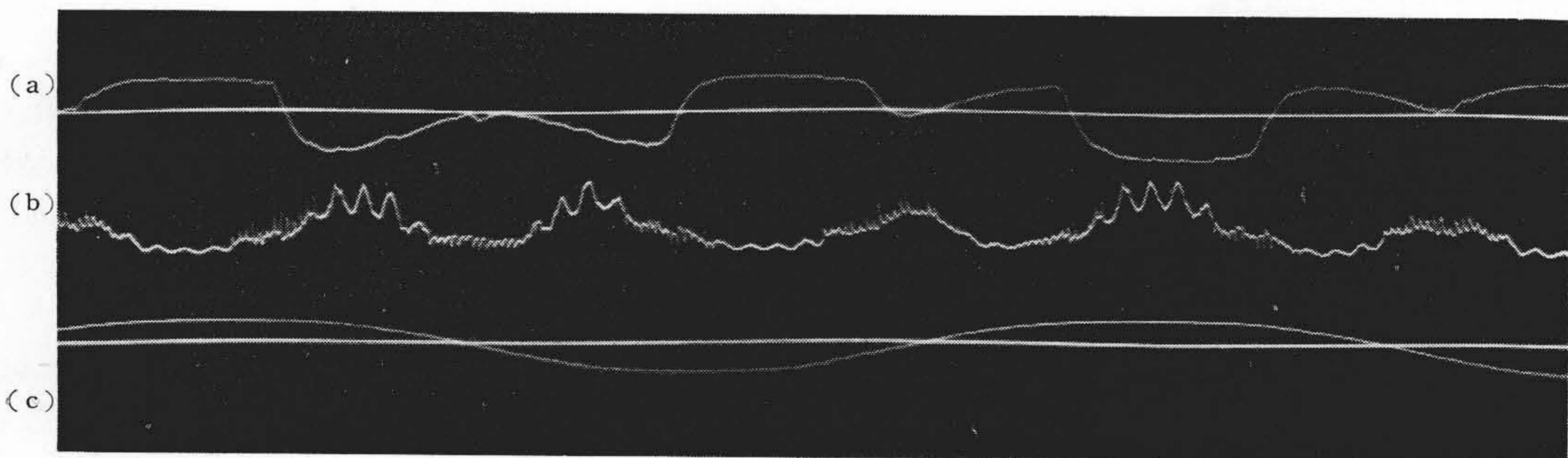
(A) 電圧200V, 電流1,700A一定とし、補極分路抵抗の値を変化した場合のオシログラムを第22図に示す。(a)は分路抵抗が大き過ぎて  $E_r$  の補償過大,  $E_t$  の補償不足の場合、(b)は分路抵抗の値が小さ過ぎて  $E_r$  の補償不足の場合の界磁電圧波形を示す。(c)は補償がほぼ良好であると判定され、分路抵抗がやゝ大きいが無火花整流がえられている。

(B) 電圧173V, 分路抵抗  $0.02\Omega$  一定とし、電流を変化した場合のオシログラムを第23図に示す。分路抵抗は多少大き過ぎるがほぼ適当であると判定され、全運転範囲にわたつてリアクタンス電圧による火花はほとんどみられない。過負荷においては変圧器起電力の補償が不足となり火花電圧が残るが、実用上差支えないと考えられる程度である。

(C) 第24図は過負荷で起動した場合の低速におけるオシログラムであるが、変圧器起電力によつて火花の発



(a) 主極のみ励磁した場合 (b) 主極および補極を励磁した場合  
 第20図 変圧器起電力  
 Fig. 20. Oscillograms Showing Transformer E.M.F.

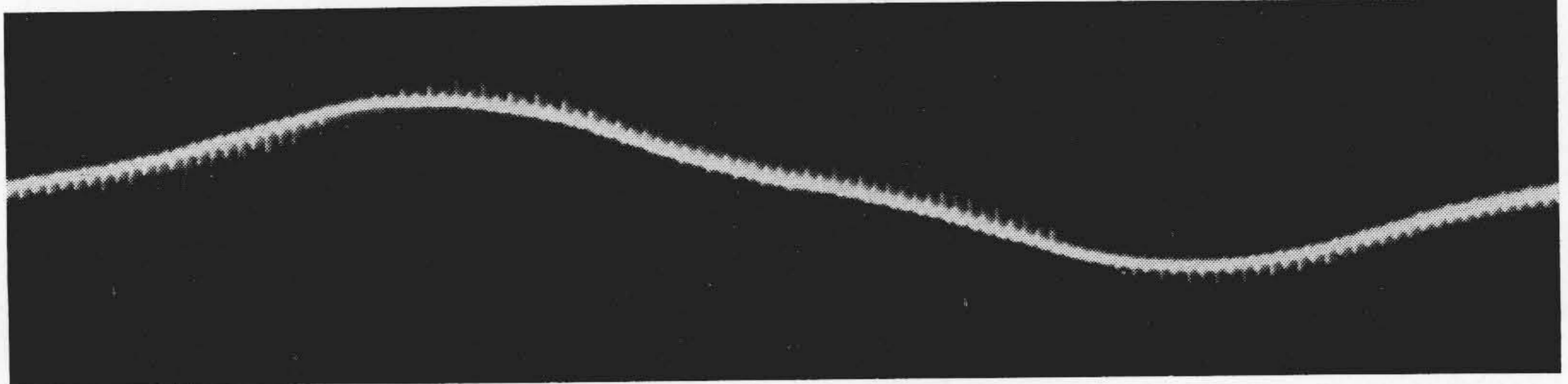
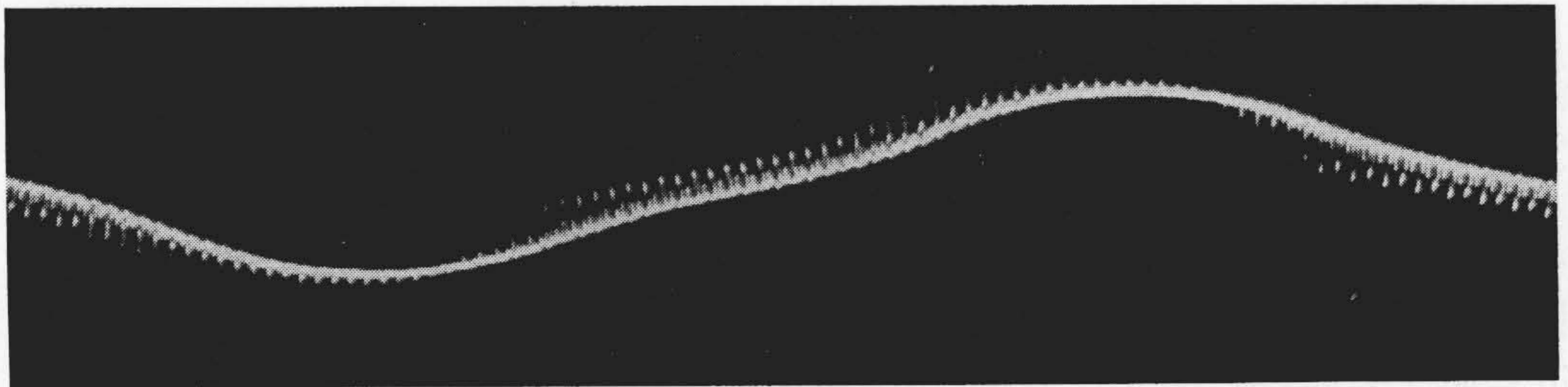


電流 1,420A 回転数 1,000rpm

第21図 225kW電動機不足整流の場合のオシログラム  
 (a) 整流曲線 (サーチ・コイル 8—12にて測定)  
 (b) 片間電圧 (サーチ・コイル 21—22にて測定)  
 (c) 主電流

Fig. 21. Oscillogram Showing ;  
 (a) Current Flowing Through One Element of Armature Coils  
 (b) Segment Voltage  
 (c) Main Current  
 of 225kW Commutator Motor in Case of Under-Commutation.



(a)  $R_{sh}=0.028\Omega$   $I_t=1,250A$ (b)  $R_{sh}=0.009\Omega$   $I_t=800A$ (c)  $R_{sh}=0.020$   $I_t=1,180A$ 

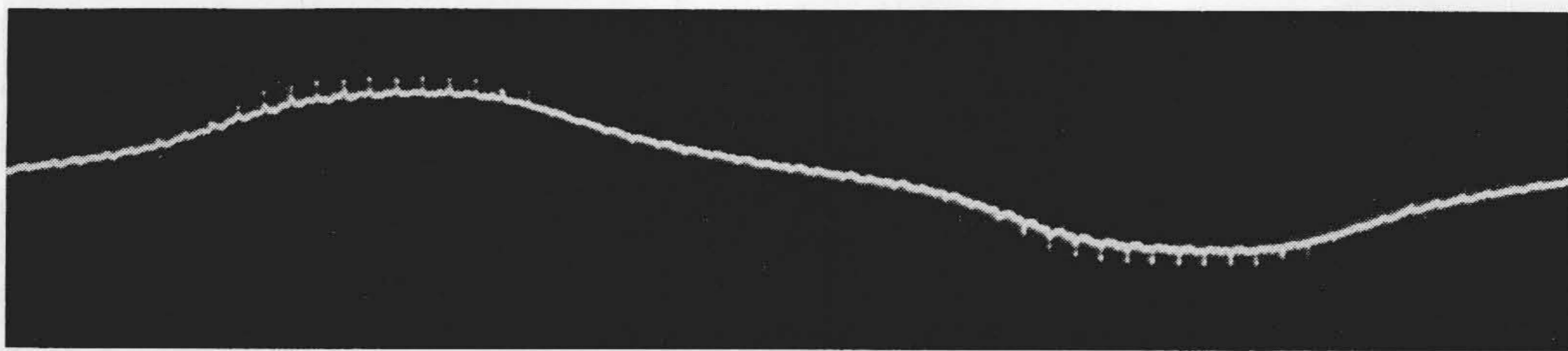
第22図 200V, 1,700A一定で補極分路抵抗を変えた場合の界磁電圧波形  
 Fig. 22. Oscillograms Showing Wave Form of  $V_f$  at Various Values of Shunt Resistance, Keeping 200V, 1,700A

生している状況が推定される。また第25図はきわめて高速において変圧器起電力の補償が過大となり、高周波ピークが正弦波の内側に出ている状況を示すオシログラムである。これらのオシログラムは前述のごとく空隙が予定値より小さく変圧器起電力が比較的大きいから低速および高速における火花電圧がやゝ大きい、空隙を拡大した300kW電動機では十分小さくなっている。(第6図参照)。

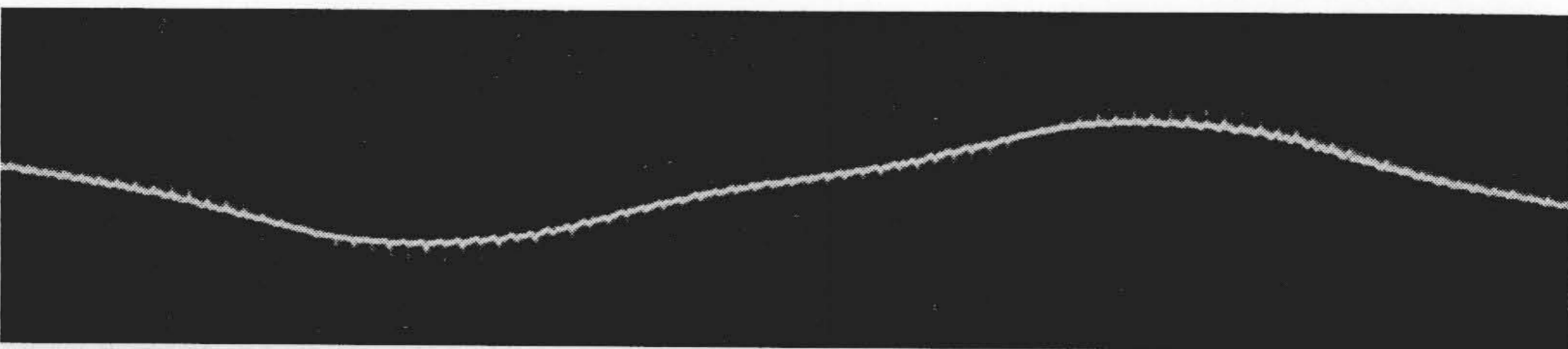
(D) 過負荷におけるオシログラムは第14図または第15図に示したものとやゝことなっているが、これは磁気回路の飽和によるものと考えられる。第10図は電流1,900Aにおける電磁オシログラムであるが、主極磁気回路に多少飽和の傾向が現われ、界磁電圧の波形は奇数次の高調波を含んでいる。補極巻線は抵抗で分路されているから、主電流に含まれる高調波は大部分、分路抵抗を流れる。一方補極磁束はほぼ補極電圧、したがって分路電流の波形を積分した波形となるが、第10図よりこの作図を行うと補極電流とほぼ一致する波形がえられる。このように補極の磁気回路に飽和の傾向がなくても、変圧

器起電力およびリアクタンス電圧の波形が歪んでいる場合には第26図に示すように完全な補償がえられず火花電圧が残る。これに対する界磁電圧の高周波ピークを推定すると第26図(b)のごとくなり、第22図(c)にみられる傾向とよく一致する。そのほかのオシログラムについても同様の作図を行つた結果、このような考え方が常に適用できることがきあらかとなつた。大容量の電動機を製作する場合、補極は勿論、主極磁気回路もなるべく飽和を避けることが望ましいが、重量と大きさの点から鉄心の磁束密度を極端に低くすることはできないから、空隙の磁気抵抗を大きくとつて磁化曲線の直線化を計るとともに火花電圧が残留していても悪質の火花の発生を抑えるような刷子、刷子保持器などを採用し、また火花による焼損の少ない整流子ならびに刷子材質を使用すべきである。今回の試験には第27図のごときGH-135の3分割刷子を使用して良好な結果をえた。

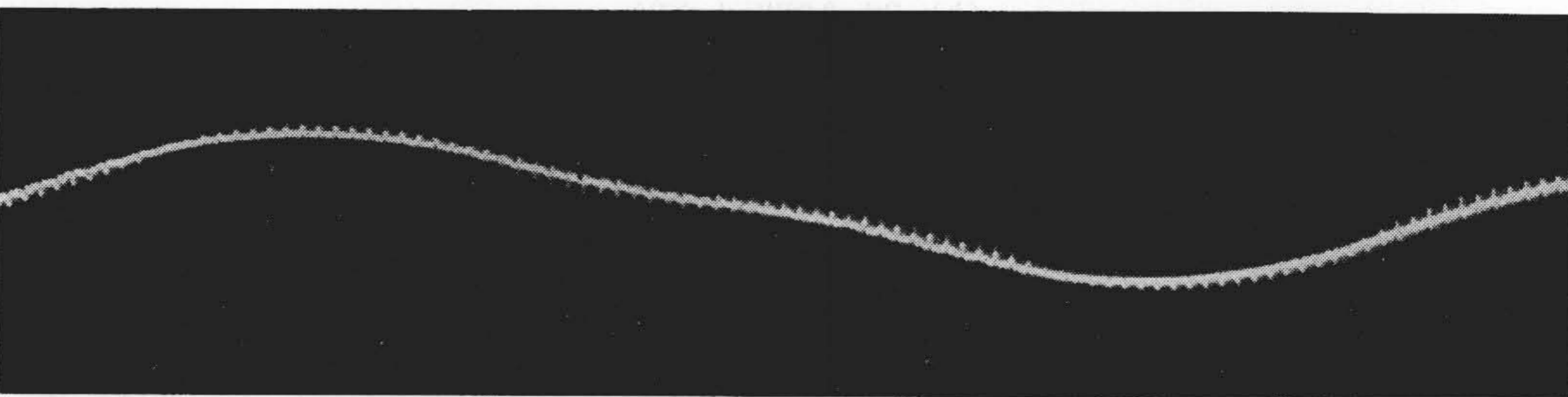
第10図から、この試験では電源電圧波形の歪みが電流波形の歪を増して整流を害していると推定される。50~交流電気車では $16\frac{2}{3}$ ~に比して電圧波形の歪みの少いの



(a)  $I=2,120A$   $I_t=1,480A$   $n=570rpm$

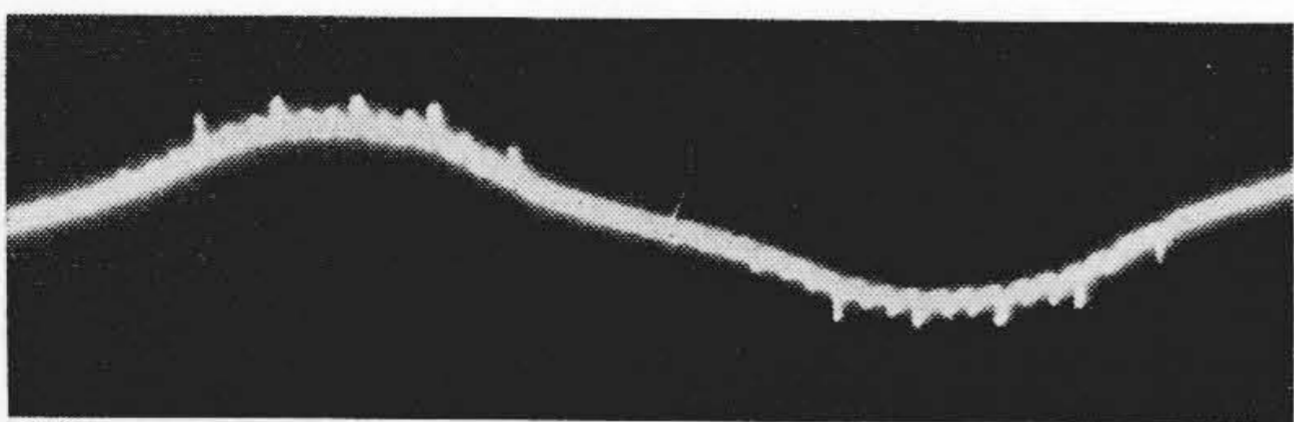


(b)  $I=1,700A$   $I_t=1,120A$   $n=740rpm$

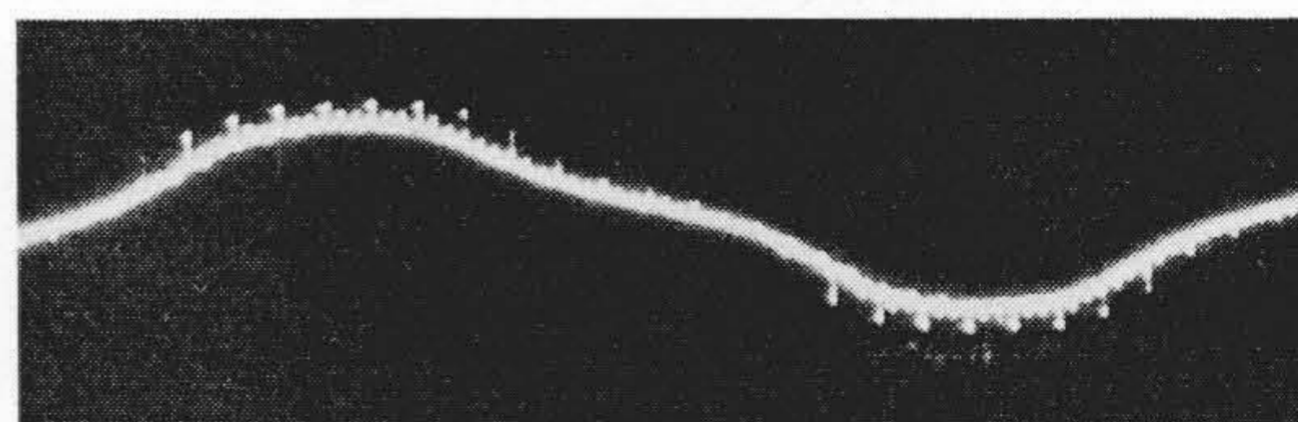


(c)  $I=1,330A$   $I_t=900A$   $n=1,000rpm$

第23図 電圧173V,分路抵抗0.02Ω一定とし電流を変えた場合の界磁電圧波形  
Fig. 23. Oscillograms Showing Wave Form of  $V_f$  at Various Values of Main Current, Keeping 173V, 0.02Ω

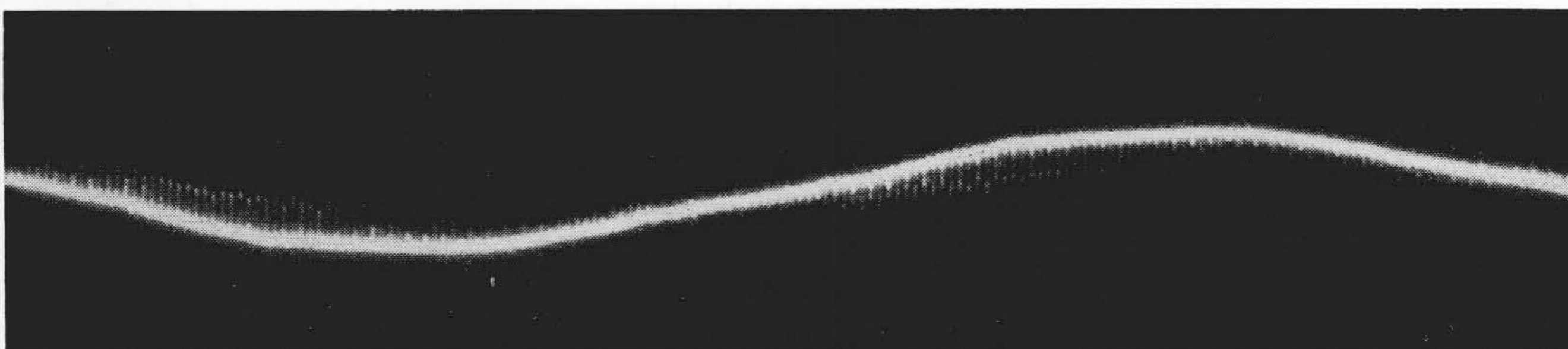


(a)  $V=128V$   $I=1,900A$   $I_{sh}=1,170A$   $n=160rpm$

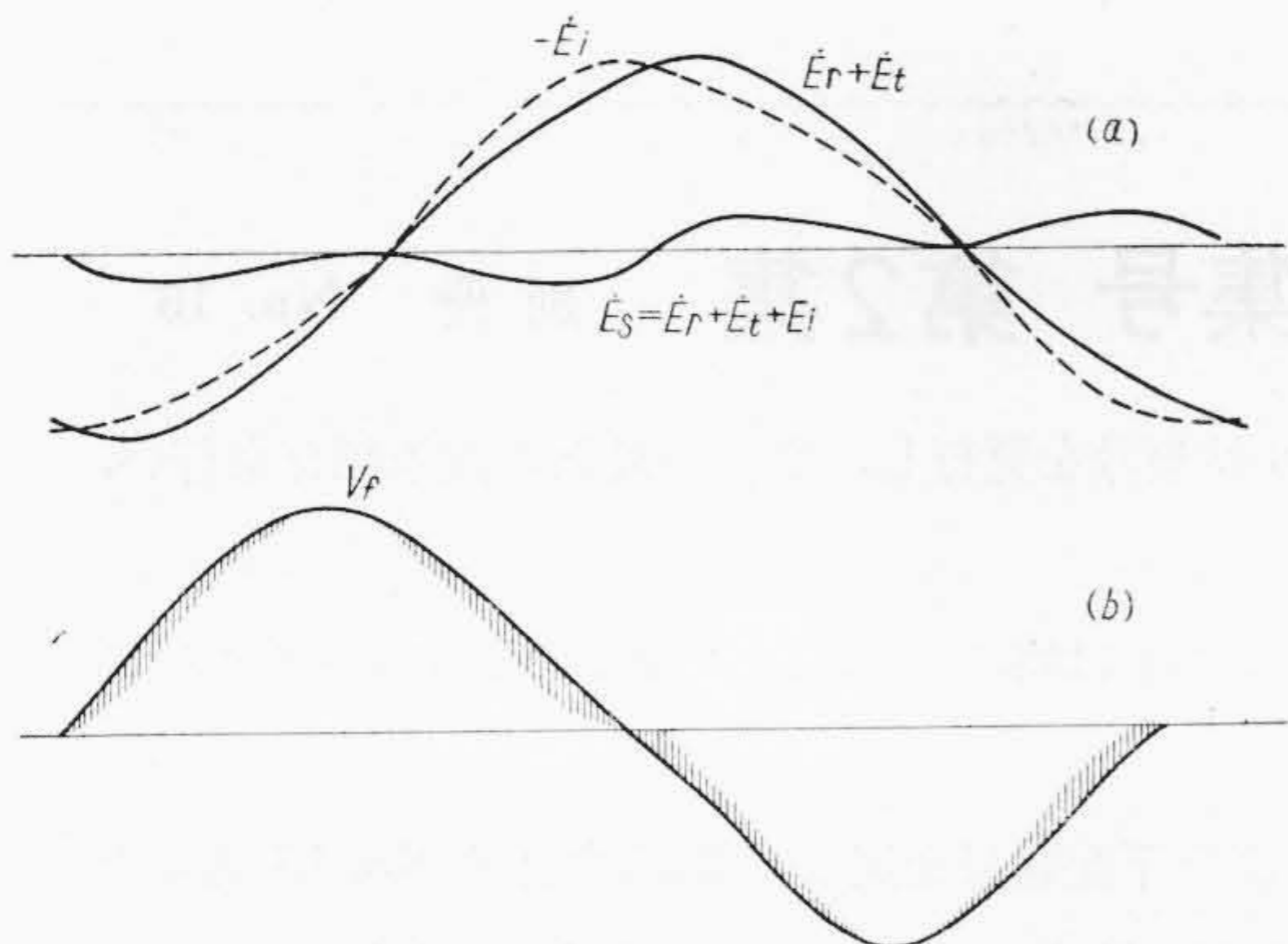


(b)  $V=142V$   $I=2,090A$   $I_{sh}=1,300A$   $n=270rpm$

第24図 過負荷低速における界磁電圧波形  
Fig. 24. Oscillograms Showing Wave Form of  $V_f$  at Low Speed and Over-load



第25図 高速における界磁電圧波形  
Fig. 25. Oscillograms Showing Wave Form of  $V_f$  at High Speed



第26図 磁気回路の飽和による残留火花電圧および界磁電圧波形説明図

Fig. 26. Explanatory Diagram Showing Residual Spark Voltage due to Saturation of Magnetic Circuit, and Wave Form of  $V_f$

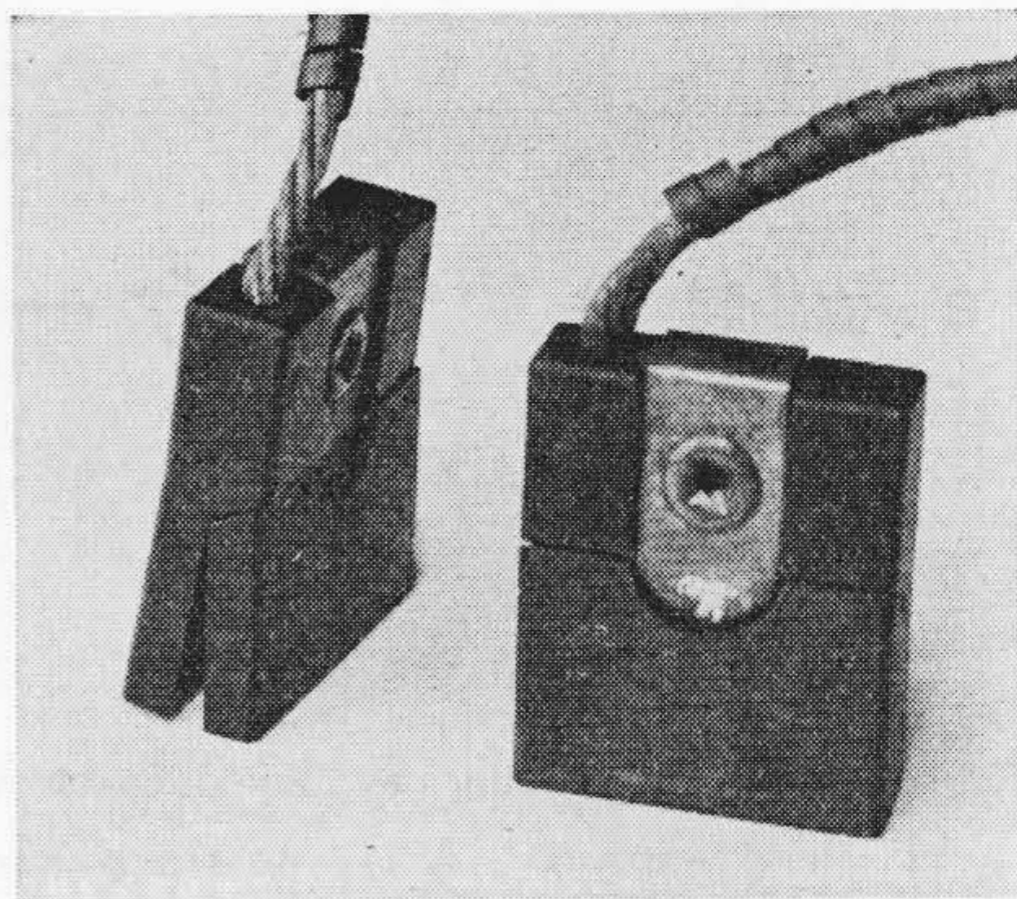
が普通であつて、電動機の試験にあつては電源電圧の波形に注意する必要がある。

〔VII〕 結 言

以上の報告を要約するとつぎのようになる。

(1) 車輛用50~单相整流子電動機は本質的に直流電動機に比して整流が困難であつて運転範囲の全域にわたつて完全無火花整流をうることは理論的にも不可能であるが<sup>(5)</sup>、走行中多少の火花が発生しても、電圧が低く電流が交番しているため<sup>(6)</sup>、直流機の場合にみられるような整流子の損傷はいちじるしく少い。したがつて刷子火花の観測にあつては直流機の場合とはことなつた観点から判定すべきである。しかし特に補極の効果のない重負荷起動における整流子の損傷を防ぐよう設計すべきである。

(2) 補極の調整は使用条件より、整流子の損傷が最も少くなるような調整点を選ぶべきであるが、調整にあつては界磁巻線の電圧波形をブラウン管オシログラフで観測することにより変圧器起電力およびリアクタンス



第27図 3分割刷子  
Fig. 27. Split Brush

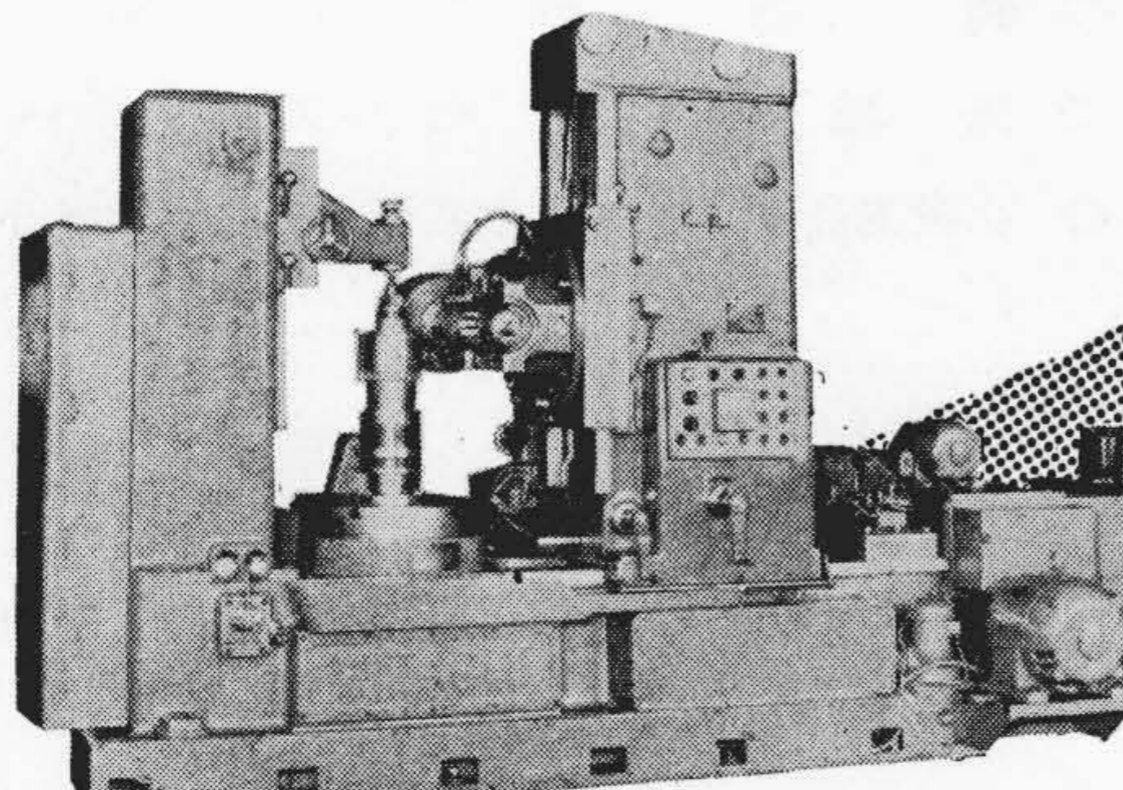
電圧の補償の過不足がよいに判定され、補極空隙および分路インピーダンスの最適値を決定することができる。しかし磁気回路に飽和のみられる場合にはその判定に注意する必要がある。


終りに臨み、いろいろ御指導御援助を賜つた日立製作所日立工場および日立研究所の上司ならびに関係者に対して深甚なる感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) フランス国鉄：商用周波数による単相交流電化に関する会議議事録 No. 18
- (2) K. Humburg & M. Kaizik: Feldschwächung durch Kurzschlußströme bei Einphasen-Reihenschluß-Motoren, Elektr. Bahnen 1952, S. 28.
- (3) K. Töfflinger; Zur Entwicklung des Wechselstrombahnmotors, Elektr. Bahnen 1952, S. 205.
- (4) 一木他：水素気中における直流機の整流：電学誌 昭28. 11.
- (5) Richter: Elektrische Maschinen, Band V.
- (6) G. Manz: Der Bürsten-und Kommutator Verschleiß bei Wechselstrom-Bahnmotoren, Elektr. Bahnen 1952, S. 210.

強力・高精度を誇る





日立 800 耗  
木 7 盤

日立製作所

## 日立評論 電線ケーブル特集号 第2集 別冊 No. 15

本誌では昭和30年3月別冊 No. 9 として、電線ケーブル特集号を発行し、当時の最新の技術紹介を行い、各方面より絶讃をえた。

その後新材料の出現、新技術の開発などにより性能の進歩向上は特に目覚しく、幾多の研究成果をあげるとともに多くの記録製品、新製品の完成を見た。

弊社はこゝに電線ケーブルに関する最近の技術の成果中より下記題目を選び日立評論別冊 No. 15 電線ケーブル特集号第2集とし、きたる10月上旬発行予定で着々編集を進めている。なにとぞその発行を期待こう。

- ◎ ローラダイス伸線法の特長
- ◎ ACSR の 防 蝕 処 理
- ◎ チャンネルブス設計上の二三の問題
- ◎ 銀入銅の再結晶に関する研究
- ◎ ケーブル油の放電による劣化
- ◎ 低ガス圧ケーブルの構造に関する一考察
- ◎ 高電圧ブチルゴム絶縁電力ケーブルの設計
- ◎ 不均等通信線路における伝送方程式の解法
- ◎ 各種局内ケーブルの諸特性
- ◎ カット遮蔽市外ケーブルの諸特性
- ◎ 着色ビニル電線用混和物の耐候性
- ◎ ケルーF系弗素樹脂被覆電線の特性
- ◎ 耐熱マグネットワイヤの諸問題
- ◎ 各種エナメル線の諸特性

## 日立評論 金属特集号 第2集 別冊 No. 16

工業の進歩発達とともにすべての機械類は高精度高性能が要求され、これにともなつて機械の主要構成材料たる金属の品質向上にたいする要求はいよいよ熾烈となつている。

本誌では昭和30年9月別冊11号として金属特集号を発行し、当時の最新の研究成果を発表し、読者諸賢の御好評をえた。

日立製作所においてはその後も引続き金属材料に関して熱心なる研究が続けられているが、今回その研究成果中より下記題目の論文をこゝに集めて、日立評論別冊 No. 16 金属特集号第2集とし、きたる10月上旬発行予定で編集を急いでいる。なにとぞ前回の金属特集号に増して御愛読をこう。

- ◎ 異方性珪素鋼板の磁場中冷却処理について
- ◎ 25Cr-20Ni 熔着金属の機械的性質耐蝕性ならびに組織におよぼすCの影響
- ◎ 大物鍛鋼品の機械的性質に関する二三の考察
- ◎ 異方性磁石合金の磁性におよぼす磁場冷却方法の影響
- ◎ 耐熱鋼のダンピングキャパシテイ
- ◎ 鉄鋼組織の電子顕微鏡的研究
- ◎ 高炭素クロームモリブデン鋼の機械的性質
- ◎ 鑄鉄の黒鉛化におよぼす原料の熱履歴の影響
- ◎ 鑄鉄のイノキュレーションについて
- ◎ 白銑の予備加熱効果の研究
- ◎ 球状黒鉛鑄鉄の衝撃値等について
- ◎ 鑄物砂の管理
- ◎ 無酸素鋼のクリーブ
- ◎ 高炭素高クローム鋼の残留オーステナイトについて

東京都千代田区丸の内1ノ4  
(新丸の内ビルディング7階)

日立評論社

誌代特集号1冊 ¥100 円16  
(振替口座東京 71824 番)