

水銀インバータと同期機 (その1)

高 林 乍 人*

The Mercury-Arc Inverter and the Synchronous Machine
(Part 1)By Hayato Takabayashi
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The mercury-arc inverter is rather similar to the vacuum tube oscillator and not to the synchronous machine. Analysis and experiments conducted on the self-controlled inverters are related before starting discussions concerning the parallel operation of an inverter and a synchronous machine. The conditions required for continuous oscillation of an inverter and the limit of commutation are discussed. And the effects of the D.C. reactor and transient phenomena of the self-controlled inverter are described.

The conditions required for stability of the parallel operation of an inverter and synchronous machine are determined by comparing the inverter's output voltage fluctuation due to its output current against the synchronous machine's terminal voltage (includes the shunt capacities and resistances) fluctuation due to the inverter output current.

〔I〕 緒 言

直流電力を水銀インバータ（水銀逆変換装置）によつて、任意の電圧および周波数の交流電力に変換することは早くから発見されていたが、水銀順変換装置と水銀インバータとを組合せて大電力を直流送電することは最近大きく浮かび上つた問題である。これに関連して特性の異なる水銀インバータと同期機とが並列接続されて運転された場合にどのようなことになるかという問題が提出されて来た。

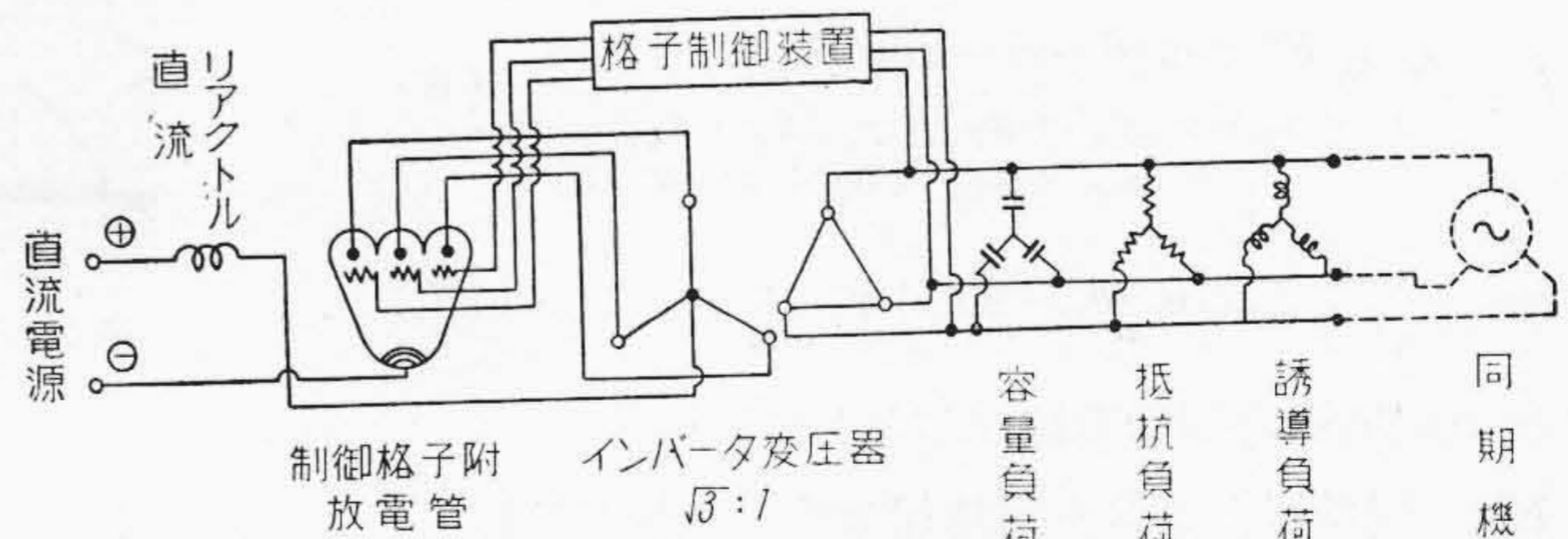
これについて若干の論文があるが、筆者は変つた観点より論議し、かつ二三の実験を試み、その結果を大容量水銀周波数変換装置に応用して、いささか成果を挙げることができた。ここに根本的事項について述べる。

水銀インバータにはその出力側交流回路より格子制御用電圧を取る自制式と別な独立電源より格子制御用電圧を取る他制式とがある。大電力送電用には自制式が採用され、本論文では特に断らない限りインバータとは自制式水銀インバータを意味するものとする。

〔II〕 インバータの特性

(1) インバータの性格

交流電力を発生する電気機器は同期機のごとく電磁気現象を利用した回転機と、帰還して発振させるいわゆる弱電の部類に入る真空管発振器などに大別できる。インバータはいわば制御格子附水銀放電管を利用した真空管発振器に類するもので、同期機とは非常に性格の違つたものである。それで同期機でいう同期速度とか同期化力あるいは位相角というごときものを想像することは困難である。同期機と並列接続されて運転する問題に立ち入る前にインバータ自体の性格を 2, 3 あきらかにしなければならない。



第1図 三相インバータ回路 (自制自励)

Fig. 1. Three-Phase Inverter Circuit (Self-Controlled)

* 日立製作所日立研究所

代表的なインバータ回路として第1図(前頁参照)のものを考えると、発振回路として当然帰還回路を含んだループに対し実数部、虚数部の平衡が取れるべきである。端子電圧に対し同相の有効電流と、90°の位相差を有する無効電流とで

$$[\text{インバータの有効電流}] = [\text{抵抗分電流}] \dots (1)$$

$$[\text{インバータの無効電流}] = [\text{容量分電流}] - [\text{誘導分電流}] \dots (2)$$

なる関係が成立しなければならない。もし同期機があれば、同期機の実出力および励磁を考慮して符号を定め次式が成立しなければならない。

$$[\text{インバータの有効電流}] = [\text{抵抗分電流}] \pm [\text{同期機の有効電流}] \dots (3)$$

$$[\text{インバータの無効電流}] = [\text{容量分電流}] - [\text{誘導分電流}] \pm [\text{同期機の無効電流}] \dots (4)$$

自制自励式インバータでは(1)式により発振電圧が求まり(2)式より発振周波数が求まる。制御角 γ が不変ならば力率は一定である。他制自励式インバータでは(1)式より発振電圧が求まり(2)式より制御角が求められる。

(2) 転流リアクタンスおよび転流限界

インバータにおいて陽極間の転流は、その陽極間の単相短絡電流によつて行われる。転流限界はこの単相短絡電流が制御格子で点弧されたあと、転流失敗を起さぬ重り角の時間内にどれほど大きくなりうるかによつて決定される。インバータで特にこの転流を完遂させる単相短絡電流を転流電流と称することとする。

転流電流はインバータが無限大母線に接続されている場合、インバータ変圧器のいわゆる転流リアクタンスを以て計算し、インバータの特性を求めることができる。

インバータの負荷回路にある同期機の容量が小さいときは当然インバータ変圧器の転流リアクタンスのみによつて転流電流を求めることはできない。

インバータと同期機のみが並列接続されている場合の転流電流を求めると(インバータ変圧器の負荷側にて)、

$$i = i_1 + i_2 \dots (5)$$

$$i_1 = \frac{\sqrt{6} E' [\cos(\delta - \gamma) - \cos(\delta + u - \gamma)]}{[(x_q + x_T) + (x_d' + x_T)] - [(x_q + x_T) - (x_d' + x_T)] \cos 2(\gamma - u - \delta)} \dots (6)$$

$$i_2 = -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_G \cos(\theta_G - 90^\circ + \gamma) \dots (7)$$

ここに(同期機は制動巻線なしとして)

E' : 同期機の過渡内部誘起電圧(1相当り)

i : 転流電流

I_G : 同期機の電流(発電機として)

- x_d' : 同期機の直軸過渡インピーダンス
- x_q : 同期機の横軸同期インピーダンス
- x_T : インバータ変圧器の漏洩インピーダンス
- δ : 同期機の位相角
- γ : インバータの制御角
- u : インバータの重り角
- θ_G : 同期機電流の力率

通常同期機より出す転流電流は十分でないので力率改善用をも兼ねて蓄電器を置く。この蓄電器がある場合はこれより出す転流電流 i_3 は $x_T \ll x_d', x_q$ として

$$i_3 = \sqrt{3} \sqrt{\frac{C}{L_T}} E_t \sin(u \times \frac{f_p}{f}) \sin(-\gamma) \dots (8)$$

ここに

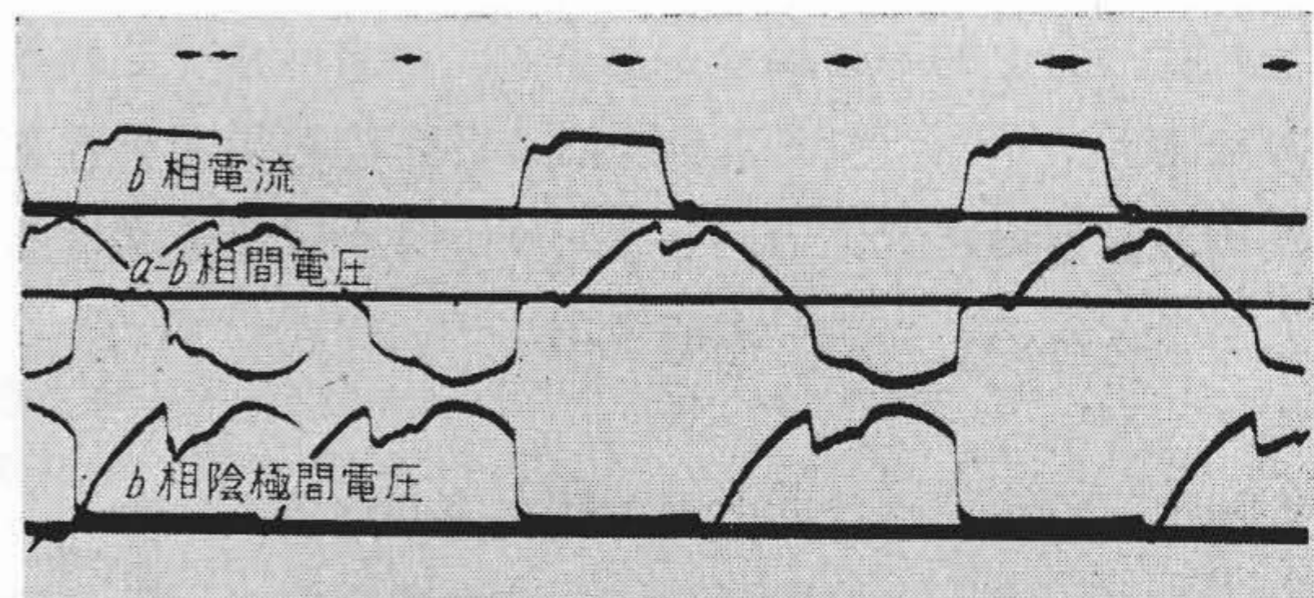
- C : 1相当りの静電容量(星形結線)
- $L_T = x_T / 2\pi f$
- f : 交流の周波数
- $f_p = 1 / 2\pi \sqrt{L_T C}$

転流は $C-L_T$ の自由振動の第1波で行われるのが普通であるが、第2波以後で行われることもある。その例を第2図に示す。

その他、負荷の自己誘導係数 L 、抵抗 R が与えられると、これらが転流電流におよぼす影響も算出することは容易であるが、十分大きな C があれば転流電流は十分あつて他はあまり考慮しなくともよいのが普通である。また転流電流が大きいため、インバータとしての使用範囲では重り角も小さく無視されうる。

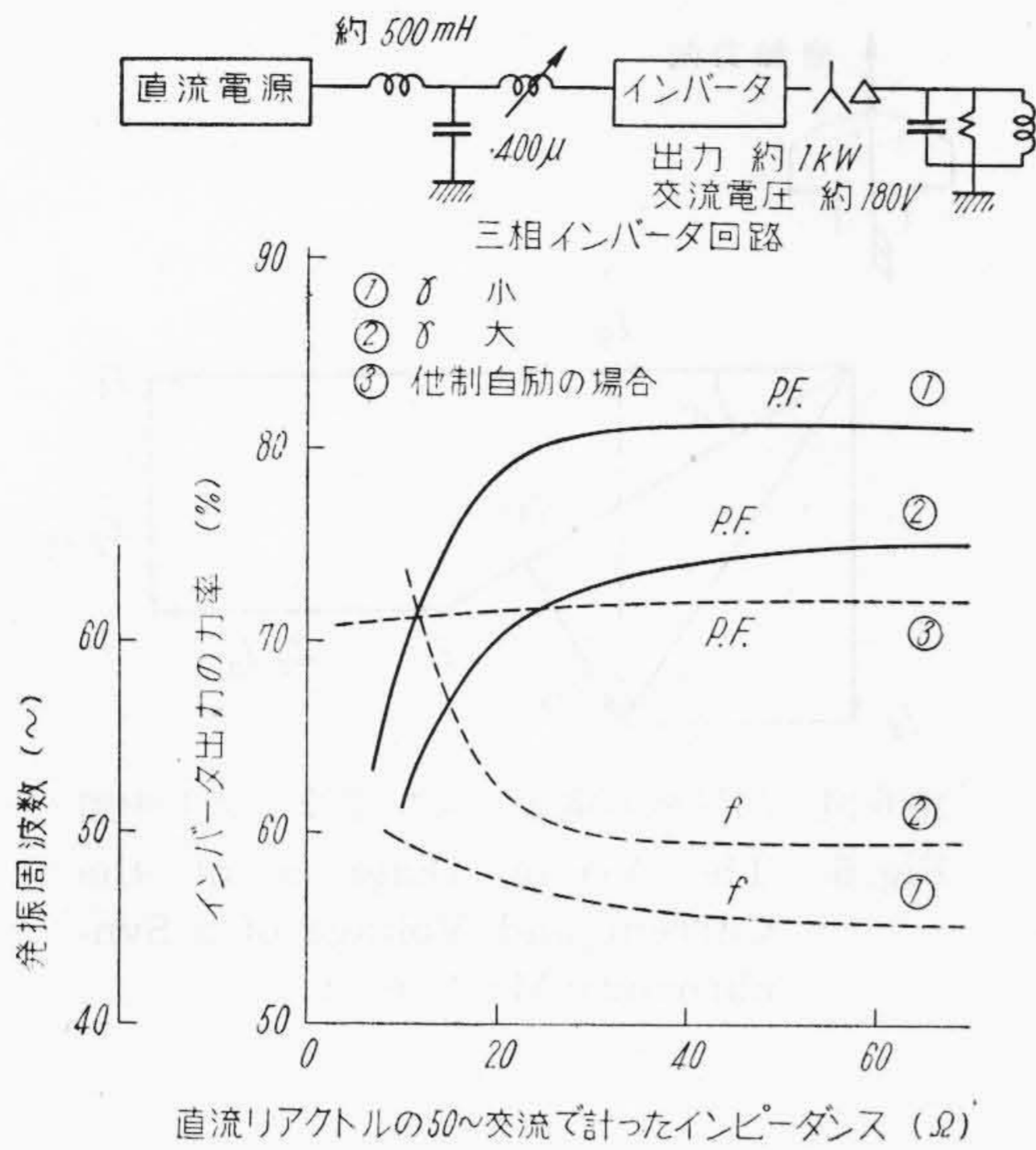
(3) 直流回路の影響

インバータの直流回路のリアクトルはインバータの特性に影響をあたえる。インバータの理論は普通直流側に十分大きな直流リアクトルがあるとして立てられているが、この直流リアクトルの効果に対してかならずしも明確にされていない。第3図は直流リアクトルがインバータの特性におよぼす影響を調べたものである。直流リアクトルが小さくなると、インバータの力率が悪くなり、



第2図 静電蓄電器の放電電流が転流を行わしめている場合で、特にその第2波によつて転流が完遂された例

Fig. 2. The Commutation has made by the Discharge Current of Static Condensers at Second Cycles



第3図 直流リアクトルのインバータにおよぼす影響 (条件: 同一の回路で直流リアクトルのみを変えた場合)

Fig.3. The Effects of the Direct Current Reactor on the Inverter

発振周波数が上昇する。これは直流電流が崩れ、交流電流の基本波の位相が、 r が大きくなった場合と同様になるためである。その量的把握は水銀整流器の直流リアクトルおよび負荷抵抗と脈動との関係のごとく、インバータでは直流リアクトルおよび直流に換算した交流負荷抵抗と r とが一定の関係にて力率の変化に結びつけられる。直流リアクトルが十分大きくないと負荷により発振周波数および力率が変化する。

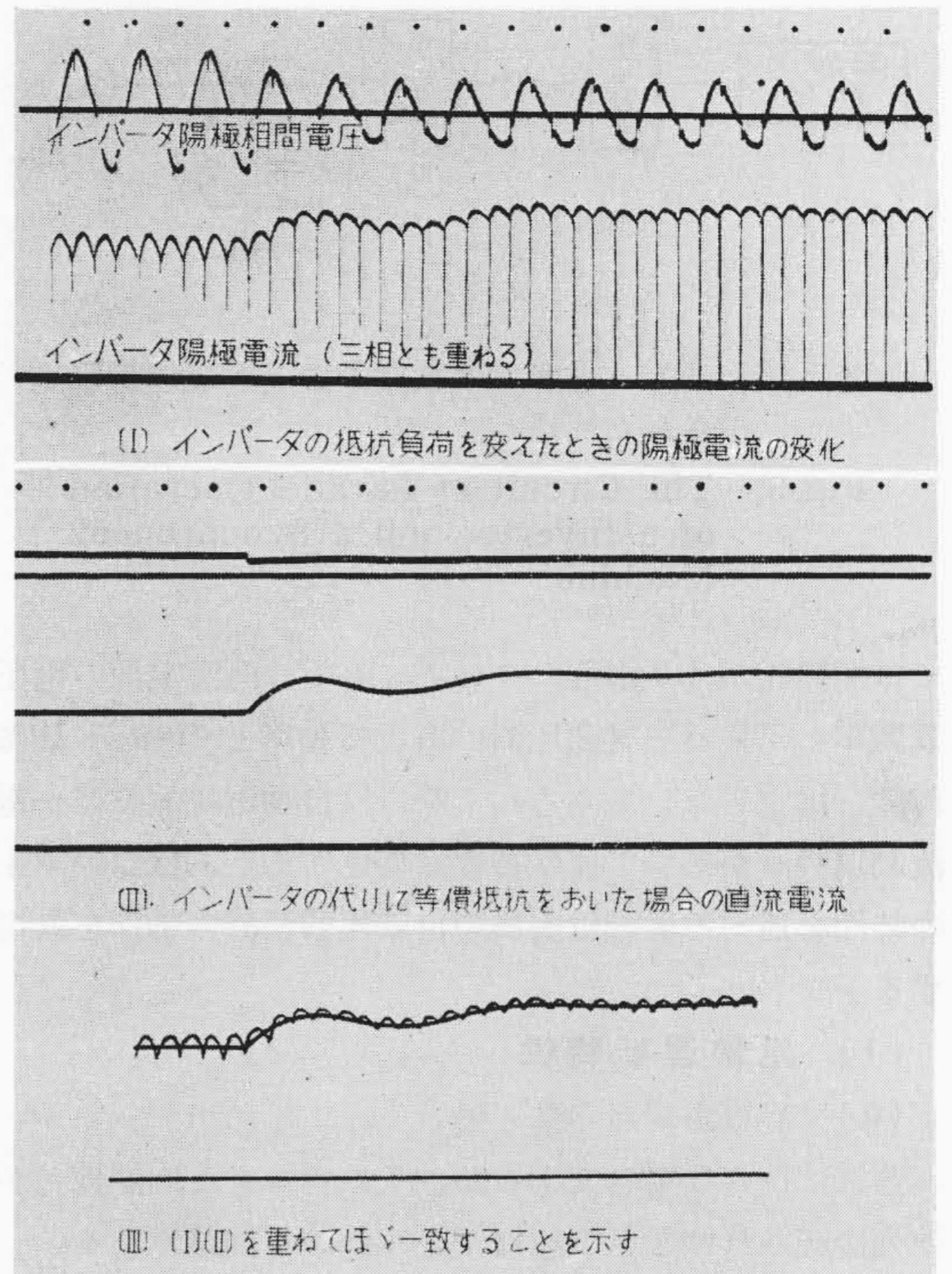
理論的解析によつて必要な直流リアクトルを決定する方法もあるが、実測値よりディメンション解析によつて求めることができる。

比較のため同図に他制自励式インバータにおける直流リアクトルの影響をも示した。この場合は周波数が一定なるゆえ、負荷回路が与えられると(2)式が成立するよう r が変化する。

(4) インバータの過渡現象

インバータの負荷回路に同期機がない場合について述べる。回路定数が変化すると、発振電圧および発振周波数が変動する。インバータの負荷回路を L, C, R の並列回路としたとき転流限界内で L または C が変化すると発振周波数が変化するが発振電圧は変化せず、また直流電流にも変動が起らない。発振周波数は(2)式で示されるごとき自由振動を考えればよいゆえ、 L, C の変化に対し瞬時に追従する。

負荷抵抗が変化した場合は二つの過渡現象を重畳せね



第4図 インバータの過渡現象

Fig.4. The Transient Direct Current of the Inverter

ばならない。すなわち一つは直流側で、他の一つは交流側で生じるものである。交流側の過渡現象を考えるに、単位関数波形の直流電流がインバータに流れ込んだとき、交流側で電圧がいかなる時定数で変化するかを見ると同調回路の同調周波数の交流に対する過渡現象論を利用して

$$[\text{時定数}] = 2CR \dots\dots\dots (9)$$

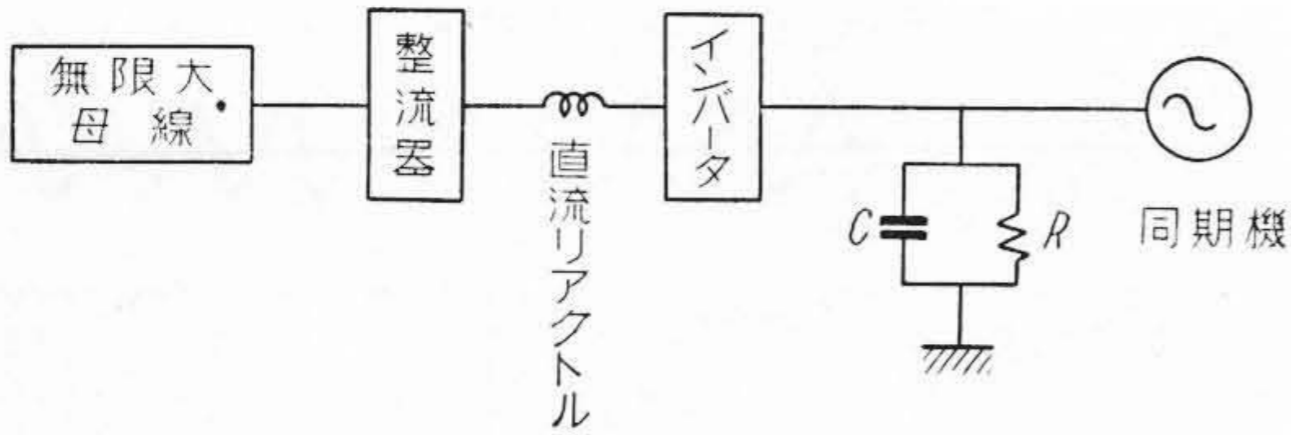
とおける。

よつて直流側より見ると、直流回路にこれらと等価な C', R' をインバータの代りにおいた場合の過渡現象とみなされる。(9)式の時定数は商用周波数のインバータでは無視できるほど小さく、第4図に示すごとき単に等価な R' のみを考えて求めたものにほぼ一致する。

(III) インバータと同期機1台の場合

インバータと同期機1台とが R, C の負荷をもつて第5図のごとく接続されていて、かつインバータの容量が同期機のそれと同程度または大きい場合について論ずる。

現在、機器の容量とその電氣的機器定数とはかならずしも明確な関係はなく、とくにインバータの場合は見当をつけることが困難である。それで筆者は一応、同期機



第5図 インバータと同期機1台とが並列接続された回路

Fig.5. The Circuit of Parallel Operation of a Inverter and a Synchronous Machine

では短絡比が1.0附近、インバータでは直流電源の電圧変動率とインバータ変圧器の電圧変動率との和が10%程度と推定した。もちろん実際には自動電圧調整器や電流制限装置があつて運転特性は変化するが、機器の本来の特性を述べる場合は附属の自動運転装置の動作を無視する。

(1) 定常運転特性

(a) 静電蓄電器のない場合

非常に特殊な場合であるが、インバータと同期機とが並列接続されたときの特性がよくわかる回路である。

いま、端子電圧を基準ベクトルとし、これと同相の電流を有効分、90°の位相差ある電流を無効分とし

- E_0 : 同期機の内部誘起電圧
- I_d : 同期機の直軸分電流
- I_q : 同期機の横軸分電流
- $I_{\alpha 1}$: 同期機の有効分電流
- $I_{\alpha 2}$: 同期機の無効分電流
- x_d : 同期機の直軸同期インピーダンス
- x_q : 同期機の横軸同期インピーダンス
- $I_{\beta 1}$: インバータの有効分電流
- $I_{\beta 2}$: インバータの無効分電流
- δ : 同期機の位相角
- γ : インバータの制御角

とすれば同期機において成立する関係式は第6図のベクトル図を参照して

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= E_t \cos \delta + x_d I_d \\ 0 &= E_t \sin \delta - x_q I_q \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

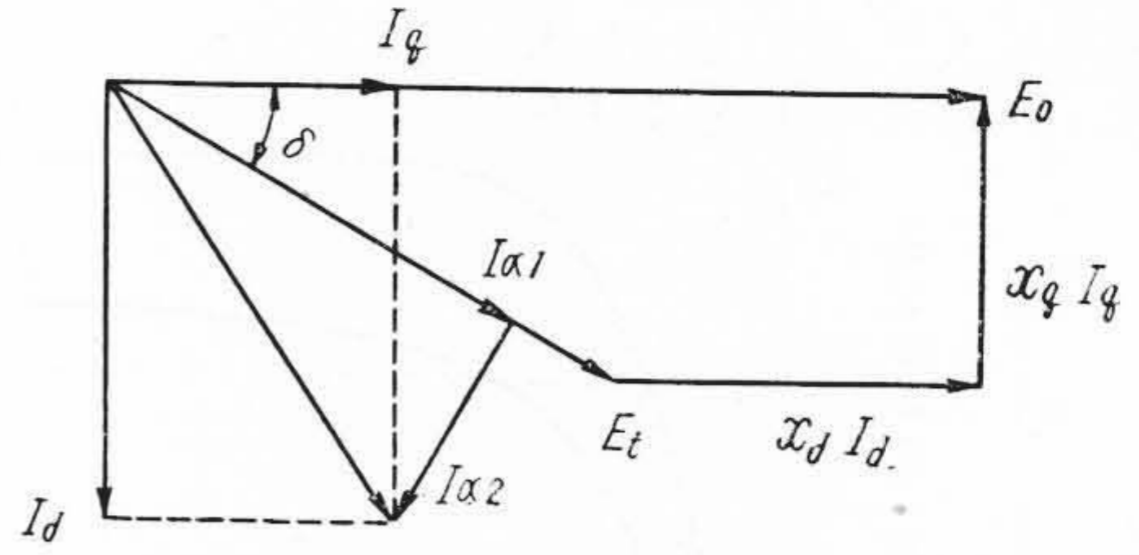
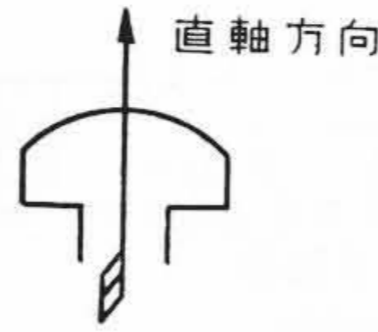
$$\left. \begin{aligned} I_d &= I_{\alpha 1} \sin \delta + I_{\alpha 2} \cos \delta \\ I_q &= I_{\alpha 1} \cos \delta - I_{\alpha 2} \sin \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

しかして端子電圧 E_t は

$$E_t = R(I_{\alpha 1} + I_{\beta 1}) \dots\dots\dots (12)$$

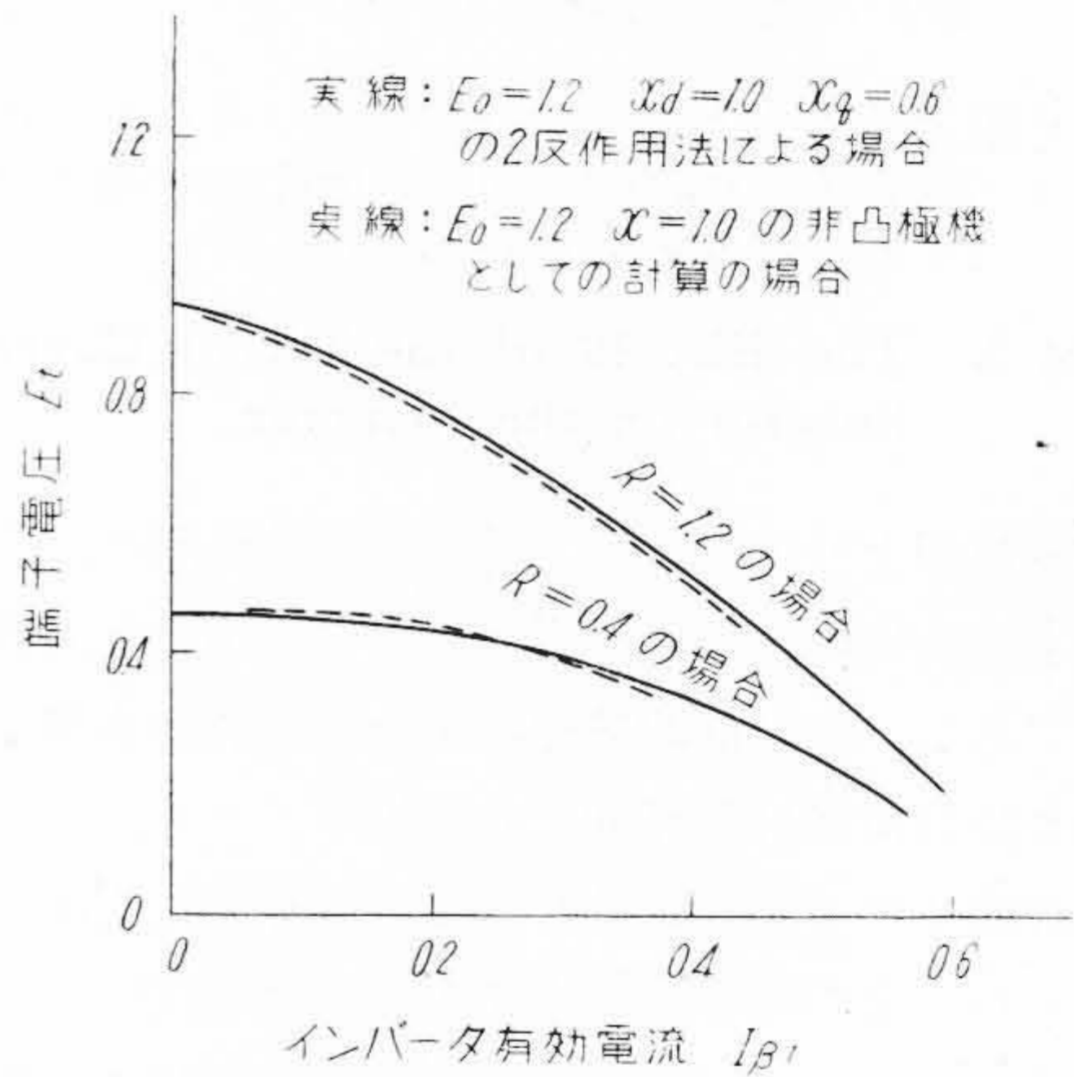
以上より $k = I_{\beta 2} / I_{\beta 1}$ とおいて整理すれば

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= I_{\alpha 1} (R \cos \delta + x_d \sin \delta) + I_{\beta 1} (R \cos \delta + k x_d \cos \delta) \\ 0 &= I_{\alpha 1} (R \sin \delta - x_d \cos \delta) + I_{\beta 1} (R \sin \delta + k x_d \sin \delta) \end{aligned} \right\} \dots\dots (13)$$



第6図 同期機の電圧および電流ベクトル図

Fig.6. The Vector Diagram of the Current and Voltage of a Synchronous Machine



第7図 静電蓄電器のない場合の同期発電機のインバータ出力電流による電圧の変化

Fig.7. The Terminal Voltage of a Synchronous Generator with no Capacitor by the Inverter Current

をうる。この式で $I_{\beta 1}$ が与えられると、 $I_{\alpha 1}$ および δ が決定され同期機の運転状態が決定される。

とくに同期機が調相機運転に近い状態にある場合を考えると

$$\left[\frac{dE_t}{dI_{\beta 1}} \right]_{I_{\alpha 1}=0} = -k x_d \dots\dots\dots (14)$$

これがインバータ電流に対する同期機を含んだインバータ負荷回路の電圧変動率を示す式とみなされる。第7図に数値計算例を示す。

一方、インバータ自身の電圧変動率は[II]-(2)の結果を利用して簡単に逆相インピーダンス x_2 を用い、 $I_{\beta 1}$ に対するものが求められる。

インバータの直流側および交流側を結びつける式を

$$E_d = \sqrt{2} \frac{P}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} E_t \cos r + \left[\frac{P X}{2\pi} + r \right] I_D \dots (15)$$

$$I_{in} = |I_{\beta 1} + jI_{\beta 2}| = \kappa I_D \dots (16)$$

ここに I_D : インバータに流入する直流電流
 I_{in} : インバータより出す交流電流
 κ : 変圧器結線で定まる定数

いま $a = \left[\sqrt{2} \frac{P}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} \right] \times \cos r$ とおけば、交流側の式

$$\frac{E_d}{a} = E_t + \frac{1}{a\kappa} \left[\frac{P X}{2\pi} + r \right] I_{in} \dots (17)$$

をうる。求めるインバータの $I_{\beta 1}$ に対する電圧変動率は

$$\frac{1}{a\kappa} \left[\frac{P}{2\pi} (x_2 + x_1) + r \right] \sqrt{1+k^2} \dots (18)$$

である。 $\frac{E_d}{a}$, $\frac{r}{a\kappa}$ は等価な直流電圧, 直流抵抗である。

かくして (14), (18) 両式より同期機とインバータとが並列接続されて安定に運転される条件は、動作点において

$$\frac{1}{a\kappa} \left[\frac{P}{2\pi} (x_2 + x_1) + r \right] \sqrt{1+k^2} > kx_d \dots (19)$$

なる関係が成立することで、定性的に示すと第8図のごとくである。動作点においてインバータの電圧変動率が同期機を含む負荷回路のそれよりも小さいならば、なんらかの原因でインバータの出力電流が増すと、交流側端子電圧は下り、ますますインバータの出力電流は増加してついに転流失敗にいたる。

(19)式をみるに x_2/x_d はほぼ一定であるから、同期機の容量が大きいほど x_T, r の影響を受けて安定条件が満足されてくる。

数値計算例を示すと

(i) $p=6, r=30^\circ, \kappa=0.816, a=1.35 \times 0.87=1.18$
 $x_T+r=0.12$ とし、同期機の容量をインバータの約1/5とすれば $x_d=5, x_2=5 \times 0.45=2.25$

$$(19) \text{式の左辺} = \frac{1}{1.18} \left[\frac{6}{2\pi} (0.12+2.25) \right] \sqrt{1+0.58^2} = 2.22$$

$$(19) \text{式の右辺} = 0.58 \times 5 = 2.9$$

となり、安定条件は満足されない。

(ii) 同期機の容量がインバータのその約5倍とすると

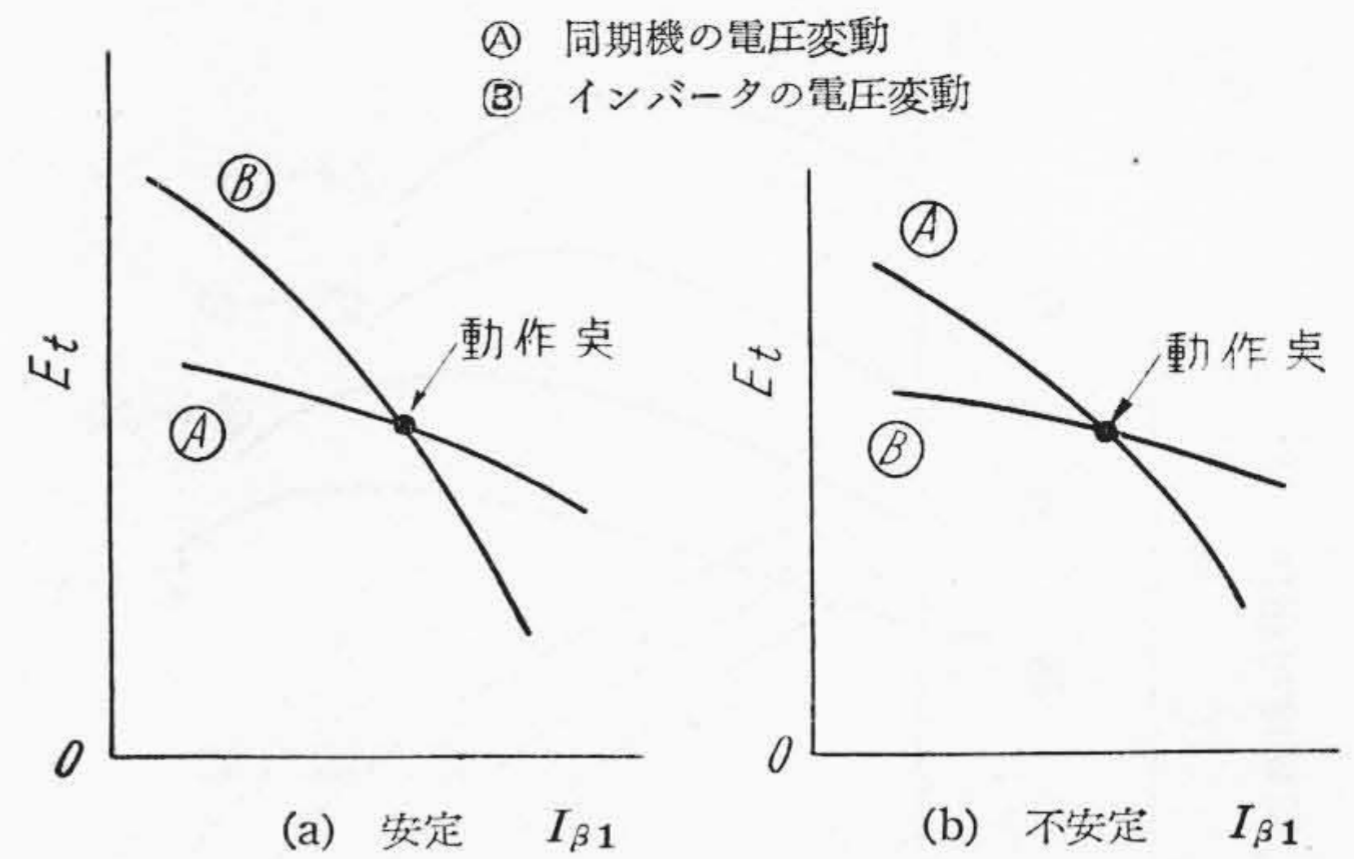
$$x_d=0.2, x_2=0.2 \times 0.45 \text{ として}$$

$$(19) \text{式の左辺} = \frac{1}{1.18} \left[\frac{6}{2\pi} (0.12+0.09) \right] \sqrt{1+0.58^2} = 0.195$$

$$(19) \text{式の右辺} = 0.58 \times 0.2 = 0.116$$

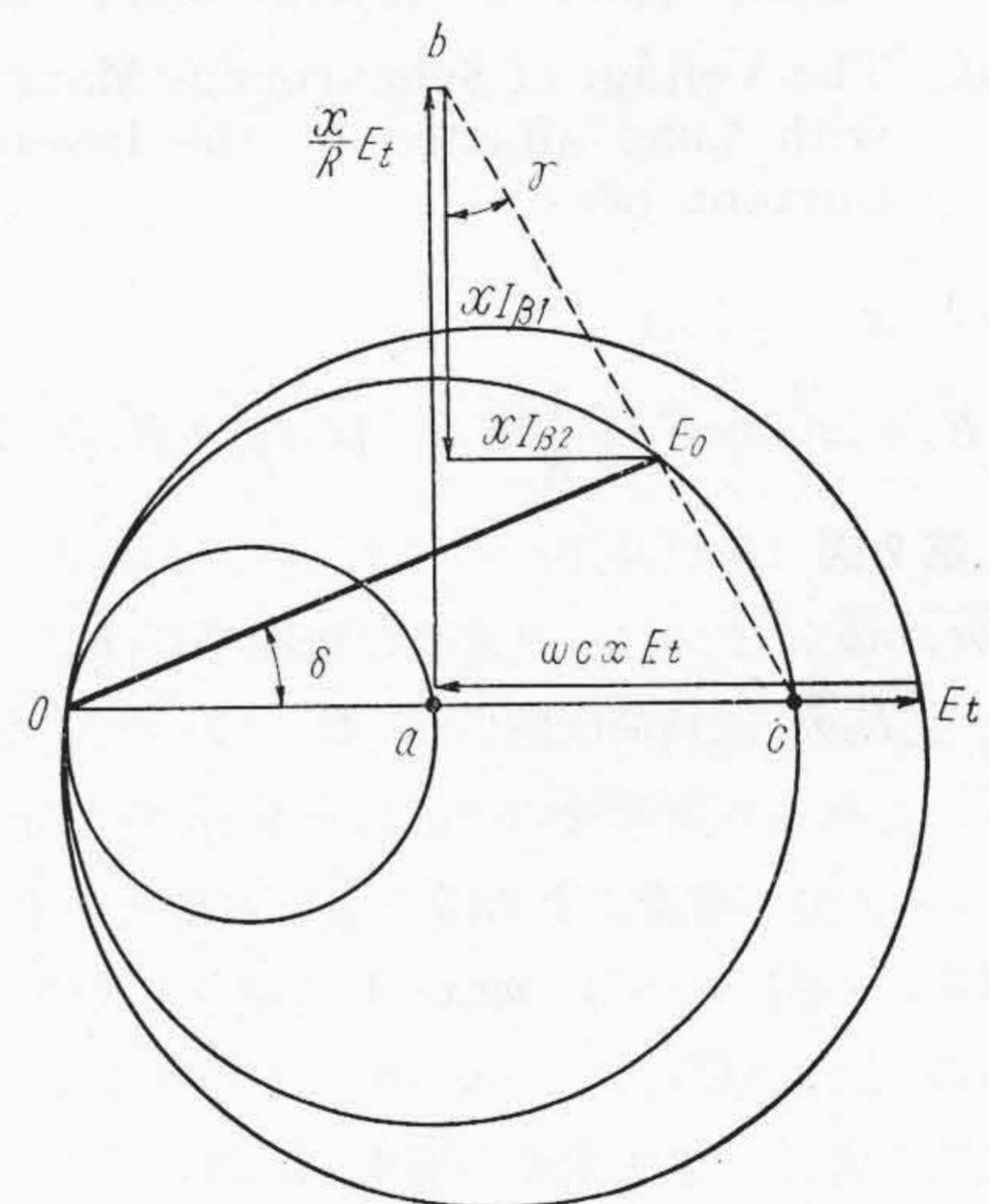
となり、安定条件は満足される。

実際の運転に当たっては同期機の飽和の影響を受けて端子電圧の減少量は少く安定の方にゆく。



第8図 インバータと同期機との並列運転の安定不安定を判断する図

Fig. 8. The Diagram of the Determination of Stability at the Parallel Operation of a Inverter and a Synchronous Machine



第9図 同期機を含む負荷回路のインバータ出力電流により端子電圧を求めるベクトル図

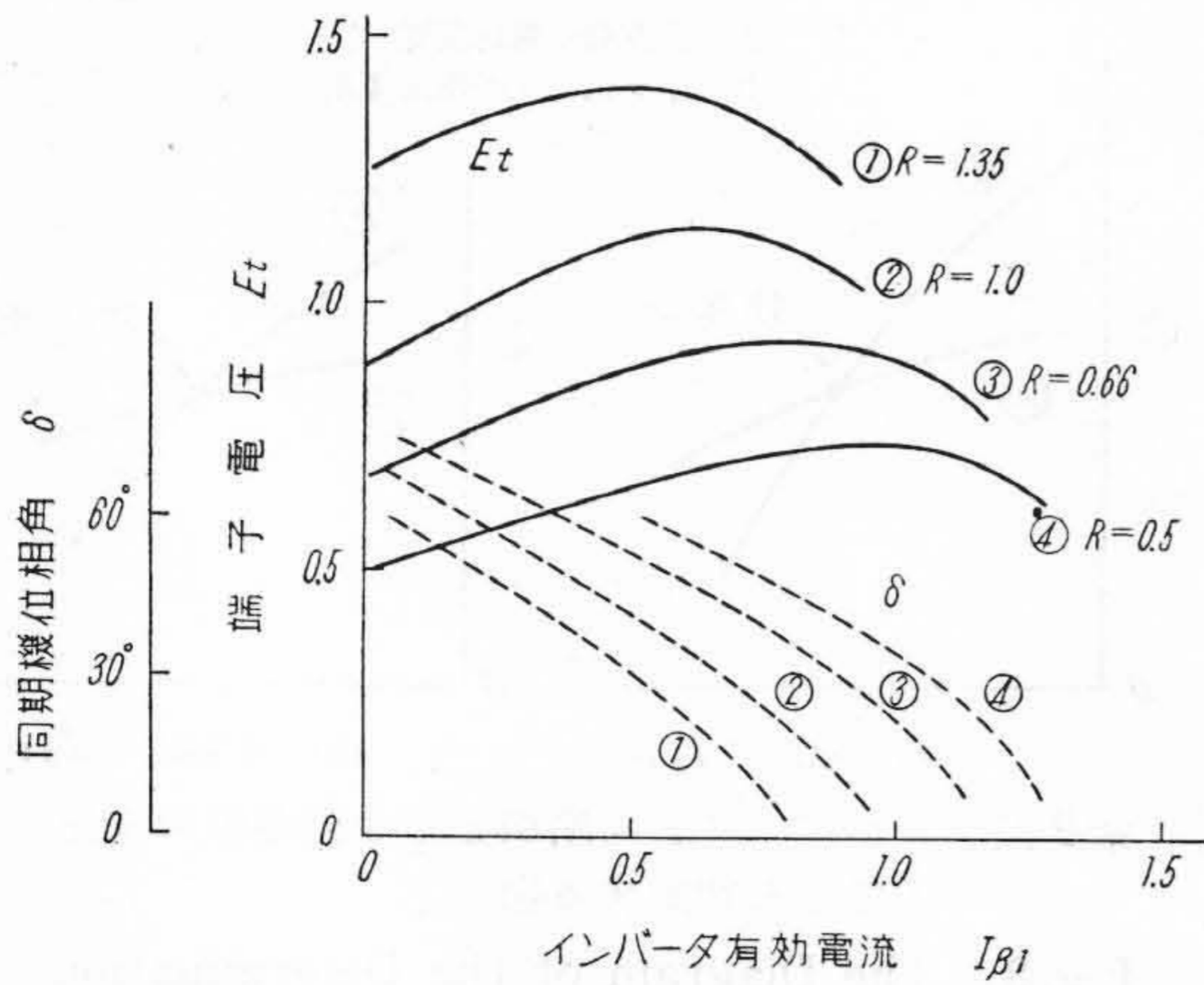
Fig. 9. The Vector Diagram of Synchronous Machine with Loads Affected Inverter Output Current

(b) 静電蓄電器がある場合

静電蓄電器があると転流限界は非常にまし、重り角は減少し、インバータの重り角が生ずるための電圧変動率は無視され、力率は一定とみなして、インバータの特性計算式は簡単になる。

これらのことを考え、同期機を含んだ負荷回路のインバータ出力電流による同期機端子電圧の変化を求め、これとインバータの電圧変動率とより安定条件を判断し、かつ運転される状態を知ることができる。

同期機を含んだ負荷回路のインバータ出力電流による端子電圧の変化を求めるには、ベクトル図により行うのが容易である。同期機の凸極性を無視して、同期インピ



第10図 同期機を含む負荷回路のインバータ出力電流による端子電圧および同期機位相角の変化
(条件: $E_0=1, x=1, wcx=0.6, r=30^\circ$)

Fig. 10. The Voltage of Synchronous Machine with Load affected by the Inverter Current ($wcx > 1$)

ーダンスを x とすれば

$$\dot{E}_0 = \dot{E}_t + jx(jwc\dot{E}_t + \frac{1}{R}\dot{E}_t) - jx(\dot{I}_{\beta 1} + j\dot{I}_{\beta 2}) \quad (20)$$

となり、第9図(前頁参照)のベクトル図をうる。そして $\overline{oa}, \overline{oc}, \overline{ab}$ はインバータ電流に無関係に E_t に比例するゆえ $\angle \overline{E_0 oc}$ は負荷回路の R, C によつて定まり一定である。これより同期機の内部誘起電圧が一定の場合、インバータ出力電流による端子電圧の変化が求まる。第10図はその一例(ただし $wcx < 1$ の場合)である。

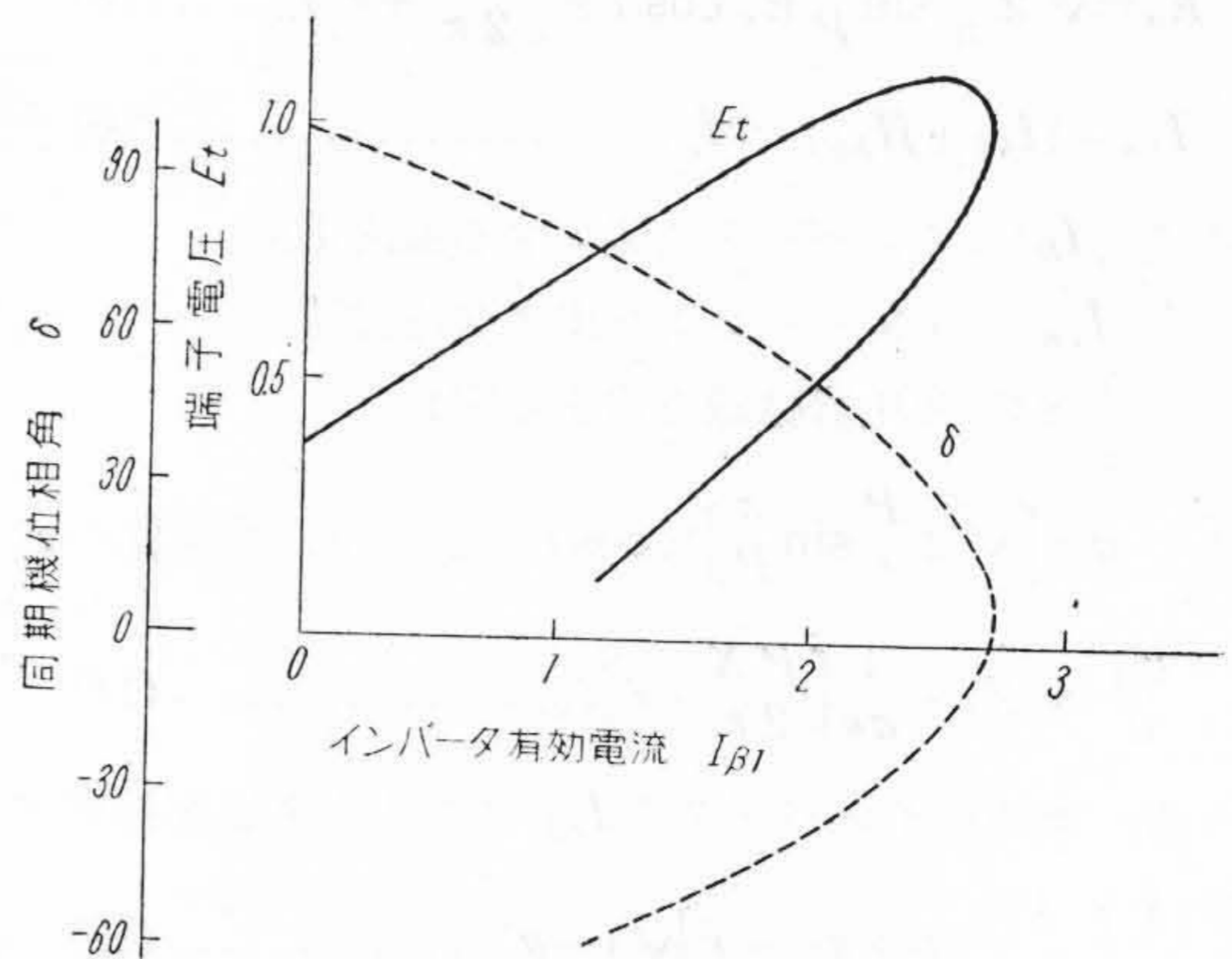
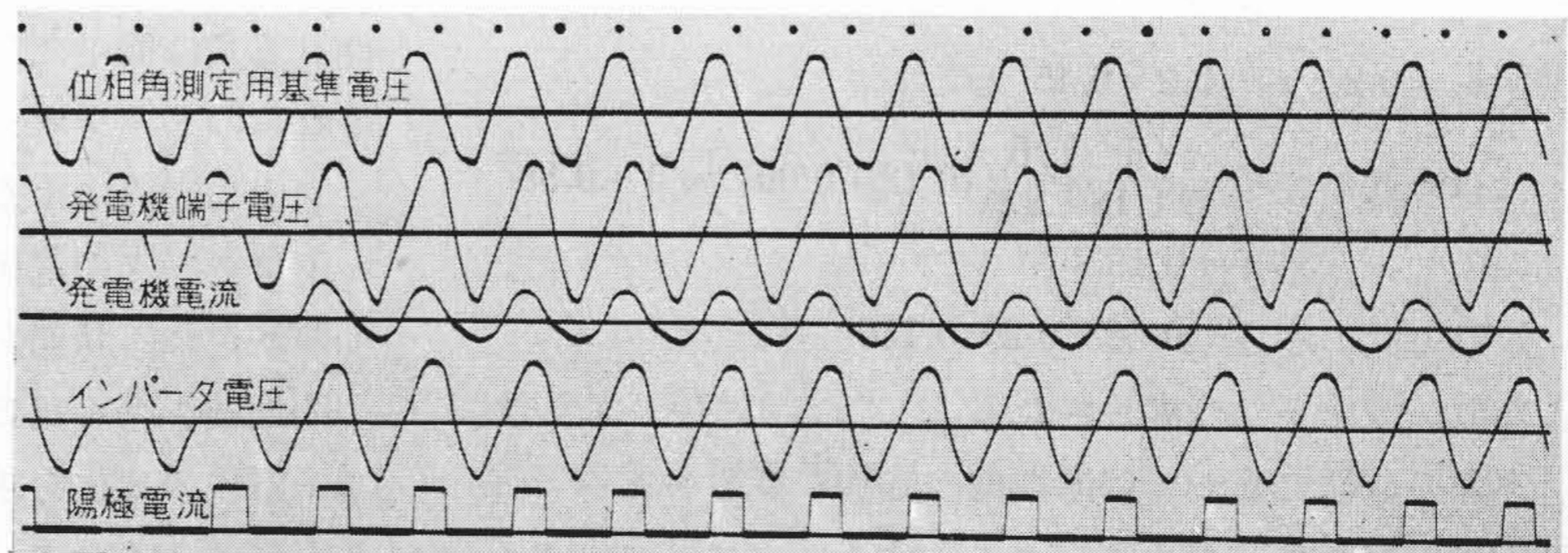
この図の上に、(17)式で $X=0$ としてうるインバータの交流側で考えた電圧変動の線を引けば、その交点が動作点になる。直流電圧を上げればインバータ出力は増すが、ある限度以上になると交点がなくなつたり、また安定条件が満足されず並列運転が不可能になる。

また同図よりわかるごとく $wcx < 1$ の場合、負荷抵抗が小さくなると、通常インバータの出力は増加し、同期機出力はあまり変化せずむしろ減少する。

$wcx > 1$ の場合は負荷抵抗が小さくなつたときのインバータと同期機の負荷分担は一般的には述べられないが、第1表に実験結果を示す。

第12図 55Hzで発振しているインバータに60Hzの同期機を同期投入した場合

Fig. 12. The Connection of 60Hz Synchronous Machine to the Inverter which Oscillates at 55Hz



第11図 同期機を含む負荷回路のインバータ出力電流による端子電圧および同期機位相角の変化
(条件: $E_0=1, x=1, wcx=1.56, R=0.36$)

Fig. 11. The Voltage Change of Synchronous Machine with Load affected by the Inverter Current ($wcx > 1$)

第1表 インバータと同期機との負荷分担の変化の例(定常状態)

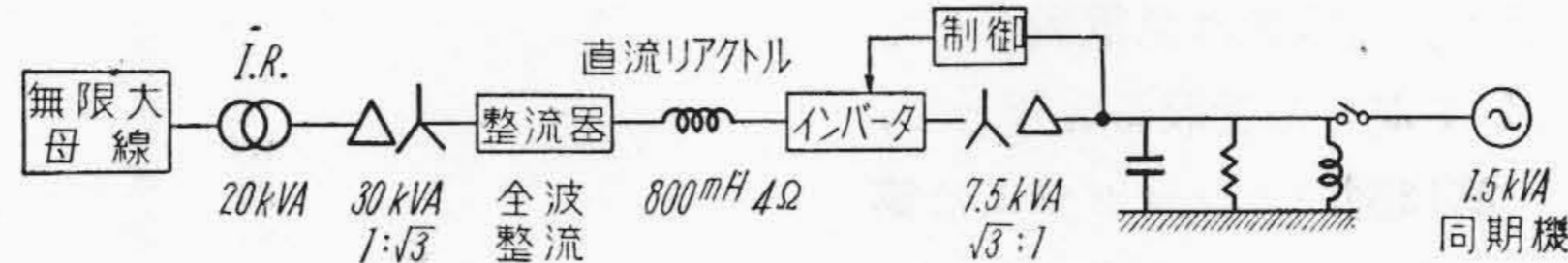
Table 1. A Sample of Load Distribution between Inverter and Synchronous Machine

| | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|
| 静電容量 (μF) | 100 | 100 | 150 | 150 |
| 負荷抵抗 (Ω) | 60 | 40 | 60 | 40 |
| インバータ出力 (W) | 305 | 430 | 180 | 290 |
| 発電機出力 (W) | 290 | 230 | 550 | 560 |
| 端子電圧 (V) | 138 | 129 | 149 | 145 |
| 周波数 (Hz) | 49.5 | 49.5 | 48.5 | 48.3 |

実験回路は第13図、 c は三角結線、 L は 15Ω にして星形結線
インバータ出力 = (直流電圧) - (電弧降下) \times 直流電流
発電機出力 = 電力計の読み
 $c=100 \mu F$ のときは $wcx < 1$ 、 $c=150 \mu F$ のときは $wcx > 1$ となる

この場合の計算例を第11図に示す。インバータの出力を並列接続された同期機に比して大きくするには静電容量を大きくせねばならない。しかしベクトル図を画けばわかるが、静電容量には上下とも限界があり、同期周波数でほぼ自制自励に近い運転にしないと不安定になる。

また、同期機の内部誘起電圧が一定になるとき、同期機が発電機として運転されるときと、電動機として運転さ



第13図 インバータと同期機との同期投入実験回路
 Fig.13. The Experimental Circuit of the Connection of an Inverter and a Synchronous Machine

れるときとで端子電圧が違ってくるのは面白い。同期機同志の場合は一方の同期機のみ注意到して、それが発電機として運転されようと電動機として運転されようといずれの場合も同一の端子電圧になる。

さらにインバータと同期機との間の状態を同期機同志の間の状態と若干比較すると、前者ではそれぞれの内部(誘起)電圧と回路状態が与えられると、運転状態が決定される。後者ではこれだけ与えられただけでは運転状態が決定されず一方の電力(あるいは位相角差)が与えられねばならない。インバータは同期機より自由度が一つ足りないものになっている。

(2) 過渡現象

自制自励で運転されているインバータに同期機を投入した場合について述べる。

まず実験結果の例として 1.5 kVA 同期機をインバータに投入したときのオシログラムを第12図に、そのときの実験回路を第13図に示す。

同期投入前の運転条件は

| | | |
|--------|--------|---------|
| インバータ側 | 直流電圧: | 233 (V) |
| | 交流電圧: | 178 (V) |
| | 直流電流: | 9.5 (A) |
| | 周波数: | 55 (Hz) |
| 同期機側 | 無負荷電圧: | 162 (V) |
| | 周波数: | 60 (Hz) |

数式的解析による検討はあとで同期機が2台ある場合について述べる機会にゆづり、ここでは定性的に同期条件を判断すると、インバータが同期機に投入されたとき同期機とほとんど等しい周波数で発振条件が満足されるか、あるいは同期機がインバータの発振器として発振する周波数に適切な位相角内で追従できるかということになる。同期投入したときインバータが同期機の回転数と異なつた周波数で発振し、同期機がこれに追従できない場合には同期機は同期外れした状態になり、インバータは転流失敗せず運転される。もし同期機が投入されてインバータより見た負荷条件が発振条件を満足させない場合は転流失敗をする。

実験では同期機の周波数が高い場合は成功し、低い場合はほとんど転流失敗した。すなわち同期機の周波数が低いときに同期投入すると(2)式の容量分電力が周波数

の下るために不足するからであり、同様の理由で同期機の電圧があまり低くすぎると転流失敗する。

同期外れはインバータ容量が同期機容量に比して大きいときに起り、転流失敗はこの反対のとき生じやすい。

要するにインバータについては発振器として発振条件と転流条件が問題になり、同期機には同期化力というものが存在する。そのいずれを考えるかはインバータと同期機との容量によつて注意せねばならない。

(3) 他制インバータと同期機

比較のため他制インバータと同期機との問題を論ずる。このときは他制インバータの発振周波数は一定であるから、同期機にはこれに同期化しようとする同期化力があきらかに働く。記号は今までと同じものを用いて他制インバータ、同期機負荷の抵抗および静電蓄電器がある回路について解析する。交流側に換算した等価直流電圧、等価直流抵抗を用い、また同期機では電動機として符号を考え

$$E_0 \sin \delta = x I_{\alpha 1} \dots\dots\dots (21)$$

$$E_0 \cos \delta = E_t + x I_{\alpha 2} \dots\dots\dots (22)$$

インバータでは

$$I_{\beta 1} = \frac{\cos \gamma}{r} [E_d - E_t \cos \gamma] \dots\dots\dots (23)$$

$$I_{\beta 2} = \frac{\sin \gamma}{r} [E_d - E_t \cos \gamma] \dots\dots\dots (24)$$

回路における電流の関係より

$$I_{\beta 1} = I_{\alpha 1} + I_R \dots\dots\dots (25)$$

$$I_{\alpha 2} = I_{\alpha 2} + I_e \dots\dots\dots (26)$$

以上より δ と γ との関係式および端子電圧、電力の式として

$$\begin{aligned} & \cos(\delta + 2\gamma) + \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \cos \delta + \frac{2r}{x} (1 - wcx) \sin \delta \\ & = \frac{2E_d}{E_0} \frac{x}{R} \sin \gamma + 2(1 - wcx) \frac{E_d}{E_0} \cos \gamma = 0 \dots\dots (27) \end{aligned}$$

$$E_t = E_d \times \frac{\cos \gamma - \frac{r}{x} \frac{E_0}{E_d} \sin \delta}{\cos^2 \gamma + \frac{r}{R}} \dots\dots\dots (28)$$

$$P_G = \frac{E_d E_0}{x} \sin \delta \times \frac{\cos \gamma - \frac{r}{x} \frac{E_0}{E_d} \sin \delta}{\cos^2 \gamma + \frac{r}{R}} \dots\dots (29)$$

をうる。

数値計算の例を第14図に示す。同期機は発電機として電力を出すときと、電動機として電力を受取るときとで、 δ について対称にならない。第15図のオシログラムは第13図と同一の回路で他制としてインバータを動作させ、1.5kVA 同期機を同期投入させてえたものである。振動が非対称となり半周期が長い短いを繰り返しているのが認められる。(未完)

第14図 他制インバータと同期機との間の電力、電圧、制御角と位相角との関係
 ① $E_0=1$ $E_d=1$ $x=1$ $R=0.2$
 $r=0.2$ $wcx=0.5$
 ② $E_0=1$ $E_d=1$ $x=1$ $R=0.2$
 $r=0.2$ $wcx=1.5$

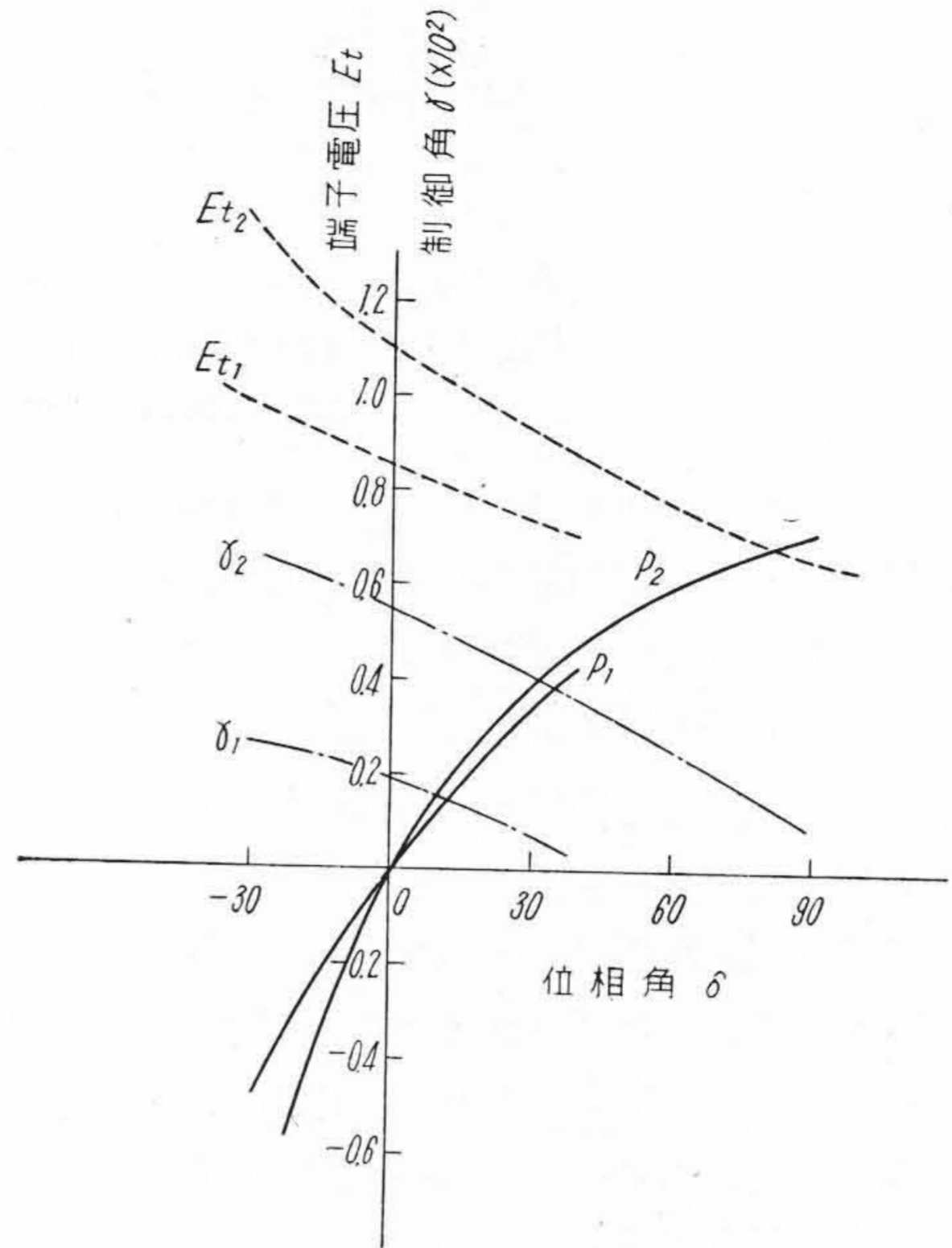


Fig. 14. The Relation between the Voltage, Power, Phase Angle and Angle Ignition at the Parallel Operation of Separate Controlled Inverter and a Synchronous Machine

第15図
 他制インバータに同期機を投入したとき
 (上) 他制インバータに同期機投入
 (下) 無限大母線に同期機投入

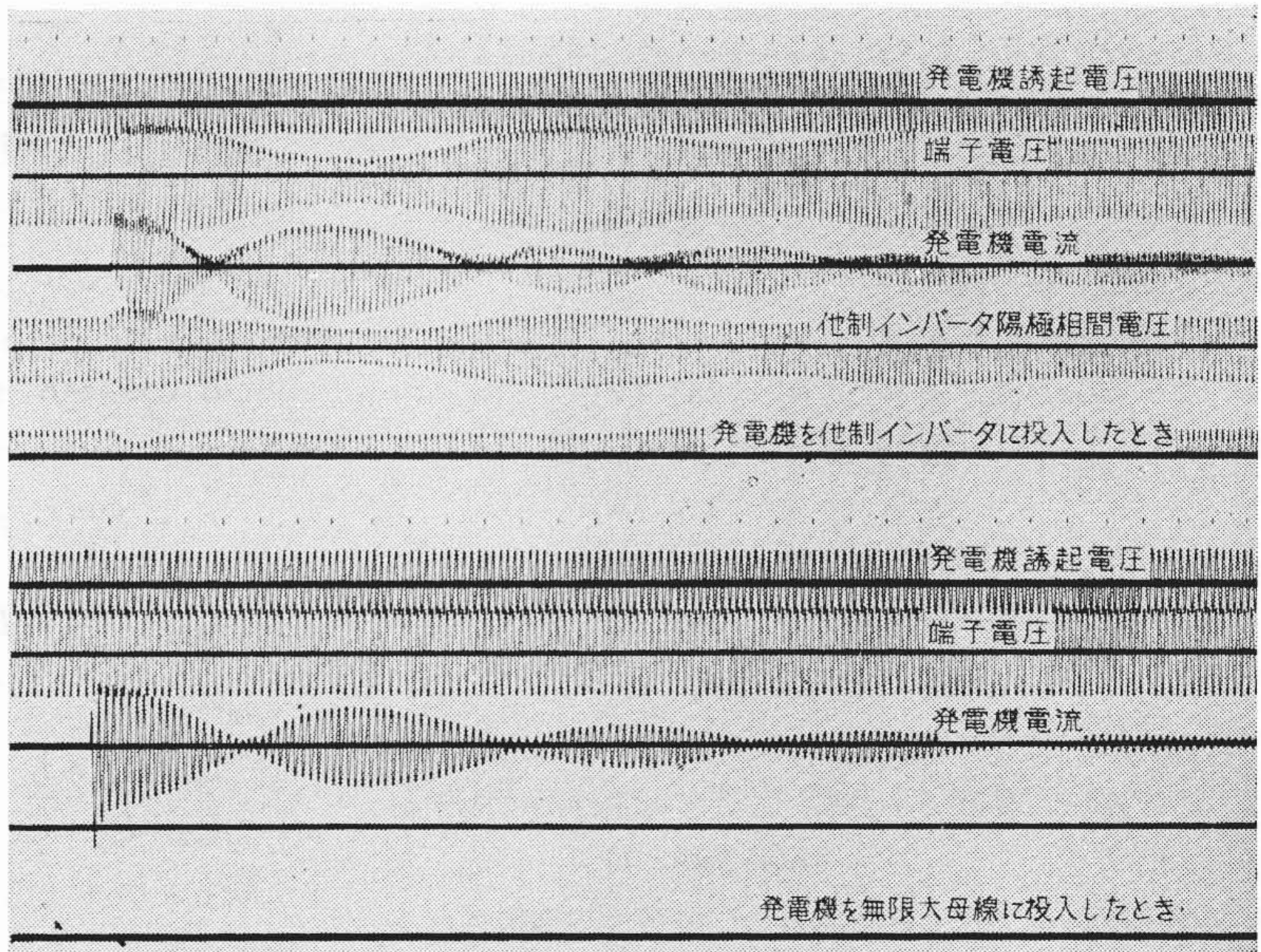


Fig. 15. The Connection of a Synchronous Machine to the Separate Controlled Inverter (above). The Connection of a Synchronous Machine to the Infinite Buss (bottom)



品質管理を誇る



日立テレビブラウン管

21吋, 17吋, 14吋, 12吋, 10吋, 7吋, 普及新型(280 AB₄, HB₄)

日立真空管 日立製作所