

同期電動機の同期化現象に関する研究 (第3報)

武田 郁夫

三浦 五郎*

(昭和45年4月28日受理)

Studies of the Pulling-into-Step Phenomenon of a Synchronous Motor. (Part 3)

by Ikuo TAKEDA and Goro MIURA

Abstract

In the previous papers^{1),2),3)} we handled concerning the critical condition of pulling into step for a salient-pole machine in case of ignoring the field time constant. By using the phase plane analysis and a digital computer, we verified that the best and the worst switching angles of D.C excitation are exactly 0 and π radian respectively when the field time constant is ignored.

In this paper, we discussed the phenomenon with taking into consideration the field time constant. First, an induction motor action before the switching of D.C excitation is analyzed in order to decide the initial conditions of the pulling into step.

Secondly, we pointed out that H. E. Edgerton's definition with respect to the synchronization is unsatisfactory because phase angles to be pulled in are restricted between 0 and π adjacent of its initial angle. We newly defined the synchronization after the repetition of swings for N times.

Thirdly, we discussed qualitatively the best switching angles and the effect of the field time constant upon the synchronization.

Lastly, we showed the method to obtain a parameter chart for pulling into step after one swing, the results of which are compared with experiments. We arrived at the conclusion that Edgerton's differential equation is not satisfactory to represent completely the effect of the field time constant.

1. 緒 言

前報^{1),2)}においては、界磁の時定数を無視した場合の同期電動機の引き込み現象について位相面解析を行ない、同期引き込み条件をデジタル計算機によって理論的に求め、また近似理論式を算出し、実験結果と照合した。ついで、界磁の時定数を無視した場合の同期化時の最適位相角および最悪位相角は、正しく位相角が 0 [rad] および π [rad] であることを位相面解析

* 静岡大学工学部電気工学科教授

より理論的に証明し、あわせてその結果を利用して、動揺回数を一回と制限した場合の同期引き入れ条件の厳密値をデジタル計算機によって求めた。本報では、前報の結果を基礎として発展させ、以下の3項目について報告するものである。

1. 界磁の時定数を考慮した場合の突極機の引き込み現象を、位相面解析より定性的に考察する。
2. 界磁の時定数を考慮した場合の動揺回数を一回と制限したときの同期引き入れ条件を、デジタル計算機を利用し種々のパラメータについて求める。
3. 界磁の時定数を考慮した場合の同期引き込み実験を行ない、理論値と比較検討する。

2. 励磁投入前の誘導電動機動作時の動揺

界磁の時定数を無視する場合は、任意の初期値で励磁投入した後に何回も動揺を繰り返しながらいつかは同期化する条件について考察するため、取り得る励磁投入時の初期値がどこに存在するかということは考慮する必要がなく、しかも振動の回数に制限がないので、励磁の時間遅れも無視してさしつかえない。しかし、時定数を考慮した際の同期引き入れについて考察し、最適位相角および最悪位相角について吟味するならば、取り得る初期値の存在領域を確認し、振動回数を考慮に入れて検討せねばならない。それゆえ、ダンパ巻線によって同期電動機が誘導電動機動作をしている際の、すなわち励磁投入前の状態の動揺について、前もって明らかにせねばならない。

励磁投入前の同期電動機の動揺方程式は、

$$\frac{d^2\theta}{d\tau^2} + k(1-b \cos 2\theta) \frac{d\theta}{d\tau} + g \sin 2\theta = \beta \quad (1)$$

で表わされる。

2.1 突極機の場合

(1)式において、 $\theta' = 2\theta$ とおき、両辺を g でわると

$$\frac{1}{2g} \frac{d^2\theta'}{d\tau^2} + \frac{k(1-b \cos \theta')}{2g} \frac{d\theta'}{d\tau} + \sin \theta' = \frac{\beta}{g} \quad (2)$$

となる。

$$\tau' = \sqrt{2g} \tau, \quad k' = k/\sqrt{2g}, \quad \beta' = \beta/g$$

とおくと、(2)式は

$$\frac{d^2\theta'}{d\tau'^2} + k'(1-b \cos \theta') \frac{d\theta'}{d\tau'} + \sin \theta' = \beta' \quad (3)$$

で表わされる。

この式は前報で取り扱ってきた非線形常微分方程式と同様な取り扱いができる。すなわち

a) $\beta' \geq 1$ の場合

位相平面に特異点は存在せず、任意の初期値より出発したトラゼクトリはすべて、あるリミットサイクルに収束する。

b) $\beta' < 1$ の場合

位相平面に特異点が存在し、任意の初期値より出発したトラゼクトリがすべて、いつかは同期化するような b, β' に対する臨界の相対制動係数 k'_{crit} を決めることができる。

このように突極機の場合には、任意の初期値より出発したトラゼクトリが反作用トルクだけで同期化してしまふことがありうる。したがって、もし $k' \geq k'_{crit}$ ならば、励磁投入前に反作用トルクの大きさと負荷で定まる安定特異点に収束しており、励磁を投入すると、特異点の位置がずれるため若干の動揺をともしないながらもすぐ同期化してしまふ。

一方同期電動機の励磁投入後の動揺方程式は、 $g=0$ の場合

$$\frac{d^2\theta}{d\tau^2} + k(1-b \cos 2\theta) \frac{d\theta}{d\tau} + \sin \theta = \beta \quad (4)$$

で表わされる。

前報¹⁾において、 $g=0$ における b をパラメータとした β と臨界値 k_{crit} の関係は種々求められている。その結果によると、 k_{crit} はあまり b に関係しない。それゆえ、(3)式と(4)式は、 b の係数が $\cos \theta'$, $\cos 2\theta$ と異なっているが、ほとんど同一の結果を生ずる式と考えてよい。したがって $b=0$ とおいた同筒機の場合の k_{crit} と β の関係がわかれば、 k'_{crit} と β' との関係もほぼ正確に推定できると考えられる。前報²⁾において求めた円筒機の数値実験式を(3)式について適用すると

$$k'_{crit} = 0.775 \sin^{-1} \beta' \quad (5)$$

を得る。

k_u を反作用トルクのみで同期化する臨界の相対制動係数とすれば

$$k'_{crit} = \frac{1}{\sqrt{2g}} k_u \quad (6)$$

の関係が成立する。(6)式を(5)式に代入することにより

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{2g}} k_u &= 0.775 \sin^{-1} \left(\frac{\beta}{g} \right) \\ k_u &= 0.775 \sqrt{2g} \sin^{-1} \left(\frac{\beta}{g} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

を得る。

ゆえに $\beta/g \geq 1$ のとき、あるいは $\beta/g < 1$ でも $k < k_u$ のときには、励磁投入前の同期電動機はリミットサイクルを有する。これを後述の説明のため誘導機リミットサイクルと呼ぶことにする。励磁投入する際の θ , $v = d\theta/d\tau$ の初期値はこの誘導機リミットサイクル上の各点となる。同期機のリミットサイクルと同じように、誘導機リミットサイクルの v は正で、かつ、そ

の最大値は有限であり、位相面上で $v_{\text{mean}} = \beta/k$ なる横軸平行線に巻き θ の正方向に右進することがわかる。

2.2 円筒機の場合

この場合は、 $g=b=0$ なるゆえ

(1) 式は

$$\frac{d^2\theta}{d\tau^2} + k \frac{d\theta}{d\tau} = \beta \quad (8)$$

で表わされる。 $d\theta/d\tau = v$ に関する微分方程式に書き直すと

$$\frac{dv}{d\tau} + kv = \beta \quad (9)$$

この式は線形であるので簡単に解けて

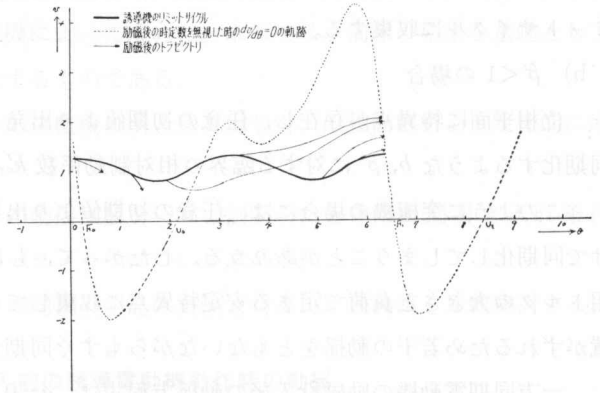
$$v = \frac{\beta}{k} + ce^{-k\tau} \quad (10)$$

c : 任意定数

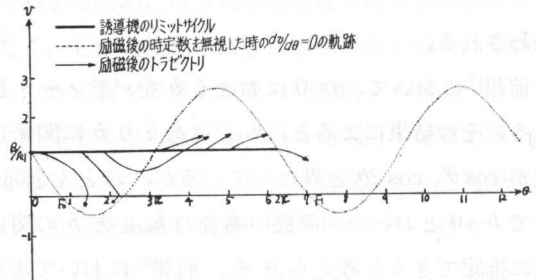
励磁投入前で定常状態になると

$$v = \frac{\beta}{k} \quad (11)$$

となり一定値となる。したがって誘導機リミットサイクルは直線を示す。ゆえに励磁投入の際の θ, v の初期値は $v = \beta/k$ なるこの直線上の各点となる。第1図, 第2図は誘導機リミットサイクルを示したものである。



第1図 誘導機リミットサイクル (突極形)



第2図 誘導機リミットサイクル (円筒形)

3. 界磁時定数を考慮するときの突極形同期電動機の同期化現象に対する考察

突極形同期電動機の界磁の時定数を考慮した同期化現象を、Edgerton は近似的に次式のように表わしている⁴⁾。

$$\frac{d^2\theta}{d\tau^2} + k(1-b \cos 2\theta) \frac{d\theta}{d\tau} + g \sin 2\theta + \sin \theta (1 - e^{-\alpha\tau/T_d'}) = \beta \quad (12)$$

ここで T_d' : 短絡過渡界磁時定数 [sec]

系が非オートノマスであるときは位相面による詳細な考察はかなり困難である。しかし(12)式のような単純な時間遅れの場合には、位相面を利用して定性的に同期化現象の説明ができると考えられる。

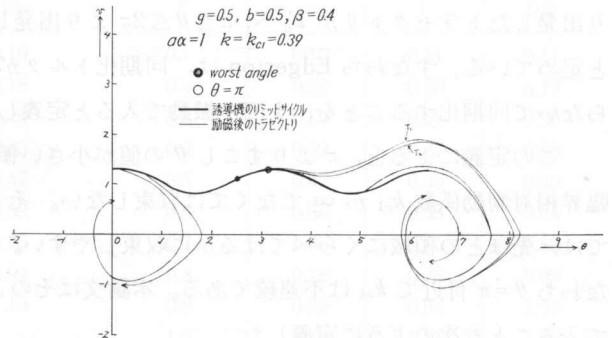
2.1節で述べたように励磁投入時の θ , $d\theta/d\tau$ の初期値は, (1)式より決まる誘導機リミットサイクル上の各点であり, 2π を周期としているので, 励磁投入時の位相角の領域を $0 \leq \theta \leq 2\pi$ として考察してよい。また前報²⁾で述べたように N 回の動揺回数で入ることを, $F_N = F_0 + 2N\pi$ ($N=1, 2 \dots \infty$)以内に収束することと定める。(1)式において励磁投入後時間が経過すれば, 励磁の時間遅れが解消されるので, 同期化するまでの設定動揺回数が大きいときほど引き込み条件に与える時定数の影響が小さくなる。したがって動揺回数に制限を加えないときには, 引き込み条件は時定数がない場合のそれと全く一致する。

いま $0 \leq \theta \leq \pi$ の領域で励磁投入したならば, 励磁投入後 θ が同領域に留っているまでの間は $(1 - e^{-\alpha\tau/T'_d}) \sin \theta \geq 0$ なるゆえ, 誘導機リミットサイクルの下側に表われ出力が増大し回転子は加速されるが, 時間遅れのため同期化力は十分に出ないため時定数を無視した場合に比べてあまり速度は上昇しない。しかも次の領域 $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ に達したならば, $\alpha\tau/T'_d$ が非常に小なるときを除けば, もはや時間遅れが解消し, 速度が急激に落ちるため同期化には悪い条件となる。

θ が $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ の領域で励磁投入したならば, トラゼクトリは $(1 - e^{-\alpha\tau/T'_d}) \sin \theta \leq 0$ なるゆえ, 誘導リミットサイクルの上側に表われるが, 時間遅れのためあまり速度は減少せず, さらに次の領域 $2\pi \leq \theta \leq 3\pi$ で急激に速度が上昇することがわかる。そのため同期化しやすい領域といえる。

前報²⁾で述べたように時定数が0のときは, 最適位相角 $\theta=0$ から出発したトラゼクトリは電動機領域で十分加速され同期化しやすい状態となる。一方, 最悪位相角 $\theta=\pi$ からのトラゼクトリは逆に十分減速される。このため, 最適位相角からのトラゼクトリと最悪位相角からのトラゼクトリとは, 相当に同期化に難易がある。それゆえ, 時定数を0とおいたときより少しばかり時定数が大きくなってくると, 励磁投入初期角 θ の違いによる同期化の難易の差が少しずつ目立たなくなってくるのが推定される。このように, あまり時定数が大きくないときには, 励磁投入初期角 θ の同期化の難易に与える影響度はそれほど顕著でなくなると考えられる。

以上の考察および時定数を無視したときの最悪位相角が π であることを考慮すると, $\alpha\tau/T'_d$ が比較的大であるときの最悪位相角は $0 \leq \theta \leq \pi$ に存在し, かつ $\theta = \pi$ 付近に存在すると思われる。以上のことを示す位相面図を第3図に示した。同図で $\alpha = 1/T'_d$ であり, k_{c1} は1回の動揺後に同期化する臨界相対

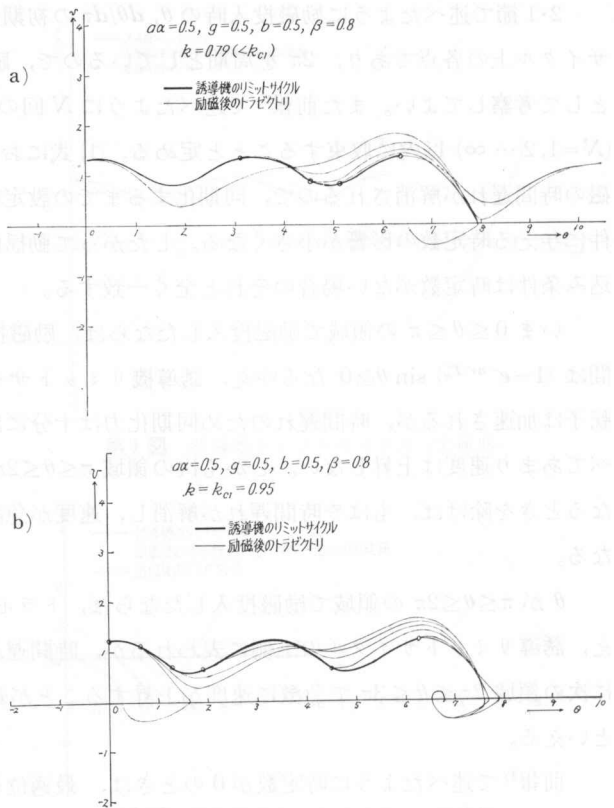


第3図 時定数の影響が小さいときの位相面図の例 ($k = k_{c1}$)

制動係数 k の値である。トラゼクトリ T_1 は最悪位相角から出発したもので、 π より出発させたトラゼクトリ T_2 とほとんど一致する。

一方、 α/T_a' が非常に小さくなると、すなわち時定数が非常に大きくなると、時間遅れが容易に解消されないため同期化力が成長するのに非常に時間がかかり、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ より出発したトラゼクトリはほとんど励磁投入前の収束トラゼクトリに沿って $\theta = 2\pi$ までくる。次の $2\pi \leq \theta \leq 3\pi$ の加速領域では励磁投入後、より多くの時間を経過したトラゼクトリの方がより加速され同期化しやすい。それに対して $\theta = 2\pi$ 付近にて励磁投入されたトラゼクトリはあまり加速されないので同期化しにくい。すなわち最悪位相角は $\theta = 2\pi$ 付近の発電機領域に移動すると考えられる。しかし

振動の回数を1回と制限されていると、この最悪位相角付近からのトラゼクトリは非常に同期化しにくい。この様子を第4図 a), b) の位相面図に示した。



第4図 時定数の影響が大きいときの位相面図の例

4. 同期化するまでの振動回数

Edgerton の場合は、1回の振動で入るということをたとえば第1図において、 $0 \leq \theta \leq \pi$ より出発したトラゼクトリが F_0 へ、 $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ より出発したトラゼクトリが F_1 へ収束することと定めている。すなわち Edgerton は、同期化トルクが負の領域である発電機領域を一度も通らないで同期化することを、1回の振動で入ると定義した。

この定義によると、 π よりすこし θ の値が小さい領域では不当に入りにくい領域となり、臨界相対制動係数 k_{cr} が ∞ でなくては収束しない。そして π よりすこし θ の値が大きい領域では、先ほどの領域にくらべてはるかに収束しやすい。したがって k_{cr} は有限の値をとる。すなわち $\theta = \pi$ 付近で k_{cr} は不連続である。本論文はそのような不都合を除くために、1回の振動で入ることを次のように定義した。

$0 \leq \theta \leq 2\pi$ から出発したトラゼクトリが、第1図で F_0 ($0 < (F_0 \text{ の } \theta \text{ 座標}) < 2\pi$) か、または発

電機領域を1つはさんで $F_1(2\pi < (F_1 \text{ の } \theta \text{ 座標}) < 4\pi)$ のどちらかに収束すれば、1回の振動で入ったとする。

この定義を拡張して、一般に N 回の振動で入るということを、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ から出発したトラゼクトリが、 $\theta = 2(N+1)\pi$ 以内の安定特異点に収束すると定義する。

5. 界磁の時定数を考慮するときの1回の振動で同期化する臨界相対制動係数

前報²⁾で述べたように、界磁時定数を無視した場合の1回の振動で同期化する臨界値 k_{c1} の算出には、最悪位相角は $\theta = \pi$ であるので、もし $\theta = \pi$ より出発したトラゼクトリが1回の振動で収束すれば、他の $0 \leq \theta \leq 2\pi$ より出発したトラゼクトリはすべて1回で収束する。したがって、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ の任意の初期値より出発したトラゼクトリが、すべて1回で収束する臨界の k_{c1} を求めるには、 g, b, β を固定し任意の k を選ぶ。そのときの誘導機リミットサイクル上で $\theta = \pi$ の点よりトラゼクトリを出発させ、1回の振動で収束すれば k を減少し、収束しなければ k を増加し、再び計算を繰返し臨界の k_{c1} を求めることができる。

時定数を考慮するときの1回の振動で同期化する臨界値 k_{c1} の算出の場合には、時定数を無視するときとほとんど同じ手法によるが、時定数を考慮した場合には、最悪位相角があらかじめはっきりわかっていないので、 $\theta = \pi$ より出発したトラゼクトリだけで調べることができない。それゆえ、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ のあらゆる初期値から出発したトラゼクトリで調べて、すべての初期値ごとにその初期値に対する臨界の k を定め、その中の最大値が臨界値の k_{c1} 、そのときの初期角が最悪位相角となる。実際の計算にあたり、 0.2π ごとに調べた結果を第1表より第4表、第5図、第6図に示した。これより時定数を無視した場合と比較すると、 $A = a\alpha = a/T'_d$ の値が2まではほとんど時定数の影響はなく、 A がそれ以下になると影響大になり、入りにくくな

第1表 $b \cdot g \cdot \beta \cdot A$ に対する k_{c1} の値
($g=0, b=0$)

β	A		
	∞	1	0.5
0.1	0.12	0.10	0.10
0.2	0.20	0.18	0.18
0.3	0.28	0.26	0.26
0.4	0.36	0.34	0.35
0.5	0.44	0.43	0.47
0.6	0.53	0.51	0.59
0.7	0.63	0.61	0.75
0.8	0.74	0.73	0.93
0.9	0.88	0.91	1.19
0.99	1.10		

第2表 $b \cdot g \cdot \beta \cdot A$ に対する k_{c1} の値
($g=0.25, b=0.5$)

β	A		
	∞	1	0.5
0.1	0.13	0.11	0.11
0.2	0.22	0.20	0.19
0.3	0.30	0.28	0.28
0.4	0.39	0.37	0.38
0.5	0.47	0.45	0.50
0.6	0.56	0.55	0.64
0.7	0.66	0.65	0.80
0.8	0.78	0.78	0.99
0.9	0.92	0.96	1.23
1.0	1.10	1.21	1.59
1.09	1.45		

第3表 $b \cdot g \cdot \beta \cdot A$ に対する k_{c1} の値
($g=0.5, b=0.5$)

β	A		
	∞	1	0.5
0.1	0.15	0.13	0.12
0.2	0.24	0.22	0.21
0.3	0.33	0.30	0.30
0.4	0.41	0.39	0.39
0.5	0.50	0.48	0.51
0.6	0.59	0.57	0.64
0.7	0.68	0.67	0.78
0.8	0.79	0.77	0.95
0.9	0.90	0.92	1.14
1.0	1.03	1.10	1.36
1.1	1.20	1.32	1.65
1.2	1.43	1.62	2.06
1.29	1.85	2.19	

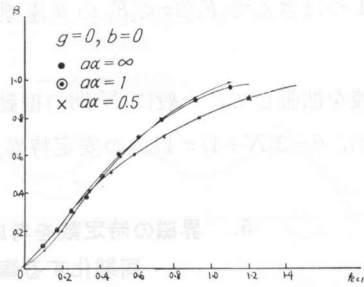
第4表 $b \cdot g \cdot \beta \cdot A$ に対する k_{c1} の値
($g=0.75, b=0.5$)

β	A		
	∞	1	0.5
0.1	0.16*	0.14	0.13
0.2	0.25	0.23	0.21
0.3	0.34	0.31	0.30
0.4	0.42	0.39	0.39
0.5	0.50	0.48	0.49
0.6	0.59	0.56	0.61
0.7	0.67	0.65	0.74
0.8	0.77	0.75	0.88
0.9	0.87	0.87	1.03
1.0	0.98	1.01	1.20
1.1	1.10	1.17	1.40
1.2	1.24	1.35	1.63
1.3	1.41	1.58	1.92
1.4	1.64	1.87	2.32
1.5	2.05	2.40	

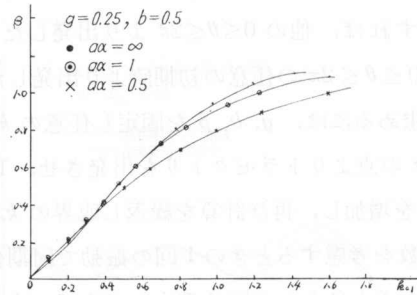
* 誘導機収束トラゼクトリの消失

る。とくに負荷比 β が大になるほど、影響大であることがわかる。

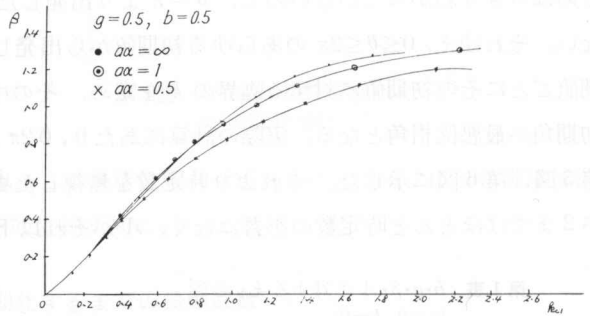
この最悪位相角付近から出発したトラゼクトリを制限回数内で同期化させるため、 k を増していくと、



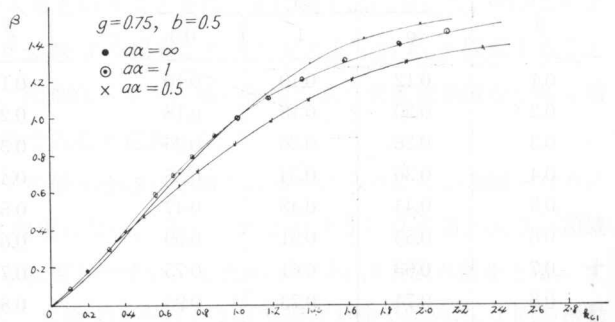
第5図 円筒形における時定数の影響を考慮した β と k_{crit} の1回で入る関係



(a)



(b)



(c)

第6図 突極形における時定数の影響を考慮した β と k_{crit} の1回で入る関係

$\beta/g \geq 1$ のときは誘導機リミットサイクルが消滅することはないが、 $\beta/g < 1$ のときは、 $k \geq k_u = 0.775\sqrt{2g} \sin^{-1}(\beta/g)$ になると、誘導機リミットサイクルが消滅する。この例は第4表に*の印で示されている。このことは、実際の同期電動機において a/T'_a が非常に大きいとき、ある制限回数内で同期化させたい場合、つぎつぎと負荷を軽くしなければならないが、その条件を満たすためには、反作用トルクだけで入るほどの小さい負荷にしなければならないことを示している。振動の制限回数が2, 3, ... と増えるにしたがい、たとえ a/T'_a が大きくても、同期化するまでに十分時間が経過できるので、同期化条件を与える時定数の影響が薄れてくる。すなわち制限回数が無限回ならば、同期化条件に時定数は何ら影響を及ぼさない。

6. 界磁時定数を考慮するときの1回の振動で入る 臨界条件を求める実験

実験装置ならびに結線図は、前報²⁾におけるものと全く同様のものを使用して実験を行った。

この実験においては時定数 a/T'_a をまず設定する。

$$A = \frac{a}{T'_a} = \frac{\sqrt{\frac{P_j}{P_M}}}{T'_a} \quad (13)$$

ここで

R_f : 界磁巻線抵抗 [Ω]

R : 界磁そう入抵抗 [Ω]

とすれば

$$(R_f + R) T'_a = r_f T'_a = 1.7 \quad [H] \quad (14)$$

なる実験式が実験結果より得られた。ここで供試突極形同期電動機の定数を代入することにより

$$\left. \begin{aligned} g &= \frac{1}{2} \frac{V}{E} \\ r_f &= \frac{AE\sqrt{2g}}{8.62} \quad [\Omega] \\ R &= \frac{AE\sqrt{2g}}{8.62} - R_f \quad [\Omega] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

なる関係式を導くことができる。

したがって、初め g と A を定めこれを固定する。この値に対して任意の公称線間誘導起電力 E を定めると、(15)式より R , V が決まる。一方無負荷飽和曲線から E に対応する界磁電流 I_f が定まるので、界磁印加電圧 e_f が決まる。すなわち、 A と g を定めると、供与端子電

圧 V , 界磁印加電圧 e_f , 界磁そう入抵抗 R_f のすべてが定まる。

この条件のもとで、供試機の界磁を短絡して誘導機として任意の負荷を負わせて運転させ、同期速度付近になったとき励磁を加えて1回の動揺で同期に入るか否かをまず調べる。1回で同期に入らない場合は負荷を減少させて同期化するまで実験を繰返し、同期に入った際その負荷を微少に変化させて臨界の負荷を定める。そのときの誘導機としての速度の平均、すなわちすべりの平均をタコジェネレータより測定する。なお同期引込みが1回の振動の後になされたかは、すべりと内部相差角の実験値より位相面図を描いて判定した。

パラメータ g, A を定めれば、 k および β の算出は次式によって示されるように、前報²⁾ によって示された式と同一なる式より得られる。

$$\left. \begin{aligned} k &= 4.14 \times \frac{N_a \cdot \tau}{\sqrt{EV} \Delta N} \times 10^{-6} \\ \beta &= 1.27 \times \frac{N_a \cdot \tau}{EV} \end{aligned} \right\} (16)$$

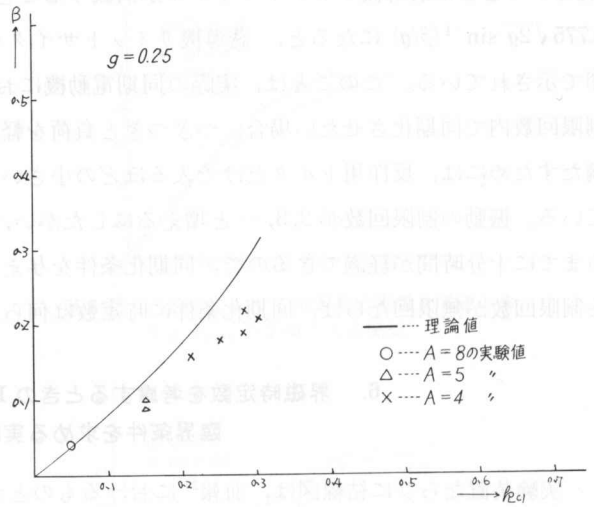
ここで

N_a : 電気動力計の速度 [rpm] ΔN : 同期速度一回転速度 [rpm]

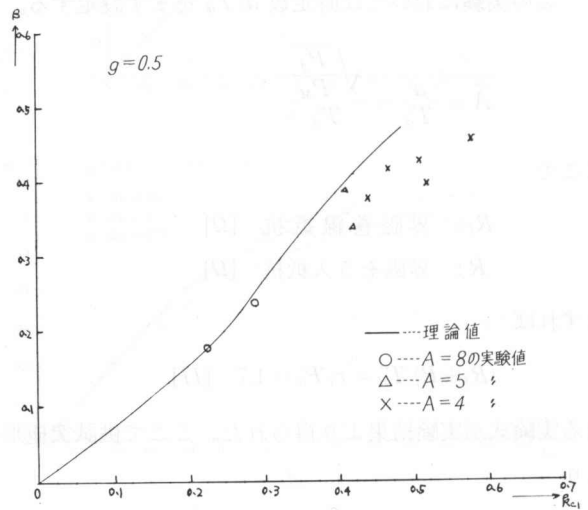
かくして得られた実験結果と理論値との比較を第7図に示した。

7. 実験結果に対する検討

実験結果に示されているように、無限回で同期化する場合に比べ理論値との差がとくに β の大きいところで大きくなるのがわかる。これは1回の振動の間の急激な過渡現象を示す同期化現象の方程式としては、Edgertonの近似方程式は十分だと言いにくく、この式より求め



(a)



(b)

第7図 実験値と理論値の比較

た k_{c1} の理論値と実験値の k_{c1} の誤差が若干大きくなることを示している。この点については、Edgerton の方程式を訂正したものについて現在研究中である。

なお第7図に示されているように、実験値は時定数 $a/T'_a = A$ が 8, 5, 4 の3種の場合について行なった。理論値もそれに対応して計算したが、 $a/T'_a = A = \infty$ の場合の理論値にほとんど一致し、その曲線上にのっている。図にその曲線が実線で示されている。

8. 結 言

本研究より、明らかになったおもな点は次のとおりである。

1) 振動回数を制限した同期引込みを考察する場合には、励磁投入時初期値が問題となるが、励磁投入前の同期電動機の動作を考察することにより、励磁投入時初期値は誘導機リミットサイクル上の各点であり、突極機の場合にはパラメータの値により、この誘導機リミットサイクルが消滅し、反作用トルクだけで同期化される場合があり得ることを理論的に指摘した。このような具体的な数値例を第4表の*印で示した。

2) Edgerton は、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ より出発したトラゼクトリがすべて1回で収束するためには、たとえば第1図において、 $0 \leq \theta \leq \pi$ のときには安定特異点 F_0 に、また $0 \leq \theta \leq 2\pi$ のときには安定特異点 F_1 に収束することを、1回で同期化することと定義しているが、この定義によると、 $\theta = \pi$ 付近で臨界相対制動係数 k_{c1} に不連続を生ずることを位相面解析から指摘した。そのため、われわれは1回の振動で入ることを、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ から出発したトラゼクトリが $0 < \theta < 2\pi$ の安定特異点か、または、発電機領域を1つはさんだ $2\pi < \theta < 4\pi$ の安定特異点に収束するものとし、 N 回の振動で入るということを、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ から出発したトラゼクトリが、 $\theta = 2(N+1)\pi$ 以内の安定特異点に収束するものと定義した。

3) 界磁時定数を考慮した場合の励磁投入時位相角が同期化現象に与える影響について、位相面解析により定性的に吟味し、時定数 a/T'_a が比較的大であるときの最悪位相角は $0 \leq \theta \leq \pi$ に存在し、かつ $\theta = \pi$ 付近であること、また時定数 a/T'_a が非常に小なるときには、最悪位相角が $\theta = 2\pi$ 付近の発電機領域に移動することを指摘した。

4) 界磁の時定数を考慮するときの1回の振動で同期化する臨界の k_{c1} を算出する方法を示し、かつ計算結果のチャートを示した。このチャートを時定数を無視した場合と比較すると $A \approx 2$ まではほとんど時定数の影響はなく、 A がそれ以下になると影響は大になり入りにくくなる。とくに負荷比 β が大になるほど影響大である。

5) 界磁の時定数を考慮する場合の1回で同期化する場合の実験結果を示し、これより無限回で同期化する場合に比べて理論値との差が若干大きくなっているものがあることがわかった。これより1回の振動の間の急激な変化を伴う同期化現象の方程式は、Edgerton の近似方程式によっては十分に表わされないことが推定される。

終りに本研究は筆者の一人武田郁夫が昭和42年度内地研究員として、また昭和43年度および昭和44年の7月より8月までの研修期間に、静岡大学工学部電気工学科第二講座三浦研究室において、三浦五郎教授の御指導のもとに行なったものであり、本研究の一部は昭和42年、44年度電気4学会東海支部連合大会^{5),6),11)}、昭和43年、44年度電気4学会連合大会^{7),9)}、昭和43年、44年北海道支部連合大会^{8),10)}で発表済みである。本研究に際し共に研究してきた袴田宏氏、大学院修士一年青津広明君、実験および計算に協力して下さった三浦研究室の各位に心より感謝の意を表します。

文 献

- 1) 武田郁夫・三浦五郎：同期電動機の同期化現象に関する研究（第1報），昭和42年。
- 2) 武田郁夫・三浦五郎：同期電動機の同期化現象に関する研究（第2報），昭和43年。
- 3) 三浦五郎・武田郁夫・袴田 宏：突極形同期電動機の同期引入れ条件について，電気学会雑誌，Vol. 89-5, No. 968.
- 4) H. E. Edgerton and P. Fourmarier: "The Pulling into Step of a Salient-Pole Synchronous Motor." T.A.I.E.E., 1931, p. 769.
- 5) 三浦五郎・武田郁夫・袴田 宏：“突極形同期電動機の同期化現象の解明”。昭和42年度電気四学会東海支部連合大会講演論文集，p. 291.
- 6) 三浦五郎・武田郁夫・袴田 宏：“位相面解析による突極同期電動機の同期化現象”。昭和42年度電気四学会東海支部連合大会講演論文集，p. 292.
- 7) 三浦五郎・武田郁夫・袴田 宏：“突極形同期電動機の同期化現象の解明”。昭和43年度電気四学会連合大会講演論文集 [II]，p. 536.
- 8) 三浦五郎・武田郁夫・袴田 宏：“同期電動機の同期化時投入位相角の最適値および最悪値（界磁の時定数を無視するとき）”。昭和43年度電気四学会北海道支部連合大会講演論文集，p. 45.
- 9) 三浦五郎・武田郁夫・袴田 宏：“界磁時定数の影響を考慮するときの突極同期電動機の引込み限界”。昭和44年度電度四学会連合大会講演論文集，p. 672.
- 10) 三浦五郎・武田郁夫・青津広明・佐藤和雄：“突極形同期電動機の制動係数に関する考察（誘導機動作時と同期引入れ時の比較）”。昭和44年度電気四学会北海道連合大会講演論文集，p. 55.
- 11) 三浦五郎・武田郁夫・青津広明・佐藤和雄：“突極形同期電動機の同期引き入れに関する界磁時定数の影響（第1報）”。昭和44年度電気四学会東海支部連合大会講演論文集，p. 22.