



無段変速同期機の動特性(3)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 近藤, 修 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3484

無段変速同期機の動特性 (III)

近 藤 修

Dynamic Characteristics of the Variable Speed Synchronous Machine (III)

Osamu Kondo

Abstract

In this paper, the author discusses the nonlinear characteristics of the variable speed synchronous machine, especially the nonlinear stability of the system when a large load torque is suddenly applied to its shaft.

Generally, a system containing synchronous machine has inherently the trouble of step out on the operation because of power angle characteristics of the machine, so the variable speed synchronous machine could not get rid of this phenomena since its main machine is synchronous machine.

The moment of inertia of the revolving stator and magnetic flux of the auxiliary machine which are important to design and operation of the system affect the nonlinear stability of the system. These effects are investigated by using an analogue computer.

The results of the analysis are as follows.

(1) Nonlinear stability of the system depends mainly on the responsibility of the revolving stator and the energy absorbed into the auxiliary machines.

(2) Under the condition $I_s \leq I_r$, where I_s is the moment of inertia of the revolving stator and I_r is the moment of inertia of the rotor of the system, the nonlinear stability limit agrees with the steady state stability limit of the system.

1. ま え が き

前報^{1),2)}迄無段変速同期機の線形動特性を論じて来たが、この第3報では、非線形動特性、特に負荷トルクの突然、大幅な印加による非線形安定性を取扱う。

一般的に、同期機を含む系統は、同期機の出力対内部相差角特性により、本質的に同期外れ、脱調の可能性を秘めているが、無段変速同期機においても、その主機が同期機であるから、この現象から逃れることは不可能で、これがこの系の設計上、運転上の一問題点となるものと考えられる。この系は固定子回転という特殊性があり、又固定側、回転子側に夫々補助機が直結されるという比較的複雑な構成になっているから、これらが非線形安定性に如何に影響するかを調査する必要がある。特に同期機における過渡安定度等の非線形動揺には、回転体の慣性エネルギーと電源よりの流入電力とのエネルギー授受が主役となっているから、固定子回

転によるエネルギーの授受の変化を知る必要があり、又補助機の存在は、一般的に、動揺時の制動トルクを増大させるから、そのエネルギーの吸収、放出と共に、何等か、非線形安定性に影響していると考えられる。

以上の見地から、この報告では、固定子側、回転子側の慣性モーメント及び両補助機の界磁束をパラメータとして、負荷トルクの階段的变化に対する安定限界値を求め、このときの各量の変動も同時に考察した。解析の手法は前報と同様アナログ計算機を用い、各数値は試作実験機のものを採用し、適宜その大きさを変更している。

2. 負荷トルク急変時のアナログシミュレーション

2-1 ブロック線図

系の動特性を記述する方程式は前報¹⁾の通りであるが、それらには主同期機の電圧平衡式が含まれていない。然し、非線形動特性が対象となるような、所謂大域的考察に於いては、主同期機の電氣的動特性をも包含しなくては、精確、完全な解析は不可能である。例えば或る定態値から出発して、非線形過渡状態を経過し、次の定常状態に落ち着く現象を完全に解析するためには、主同期機のトルク特性を内部相差角のみの関数として、動揺中一定の形と仮定することには問題がある³⁾(図-3参照)。然し、従来の過渡安定度理論の如く、動揺の1サイクルで安定か、不安定かを決定する様な現象に限定するならば、以前からの手法がそのまま踏襲でき、基礎方程式は形を変えることなしに、此の報告の主題である、負荷トルク急変時の非線形安定性の解析に、有効に活用できる。図-1は系の非線形動特性を表現するブロック線図であり、非線形要素 $f(\delta)$ は主同期機の過渡トルクであり、動揺中一定とする。図よりエネルギー、

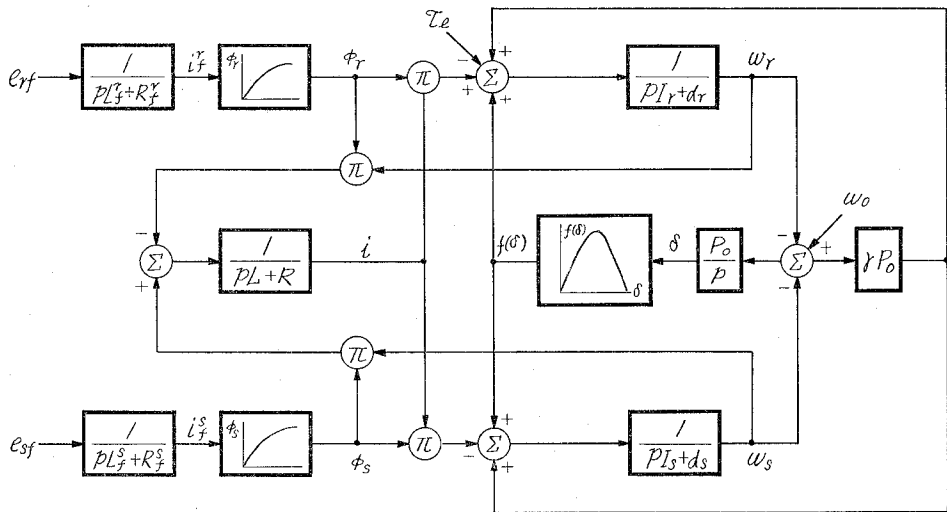


図-1 非線形動特性のブロック線図

信号の流れ及び主機、補助機の個々の動作特性、相互の関連が明らかとなろう。尚補助機の磁気回路の非線形性は、図の様に、無負荷飽和特性より求められる ϕ - i_f 特性を用いる。又図では負荷トルク、補助機界磁電圧が独立入力として用いられているが、夫々の解析条件によって、入力信号或いは外乱として作用することは前報同様である。

2-2 負荷トルク急変時のシグナルフローグラフ⁴⁾

負荷トルクが急激、かつ大幅に変化する場合の系特性は、動揺の期間中、 e_{rf} 、 e_{sf} が共に一定と考えられるから、図-1 に於いて、 i 、 ϕ_r 、 ϕ_s に関する積の要素は消滅し、ブロック線図は著しく単純化される。これをシグナルフローグラフで表現したものが、図-2 であり、これは前報のものとはほぼ同様であるが、 δ ノードの次に $f(\delta)$ の演算ブランチが入っているのが異なる。

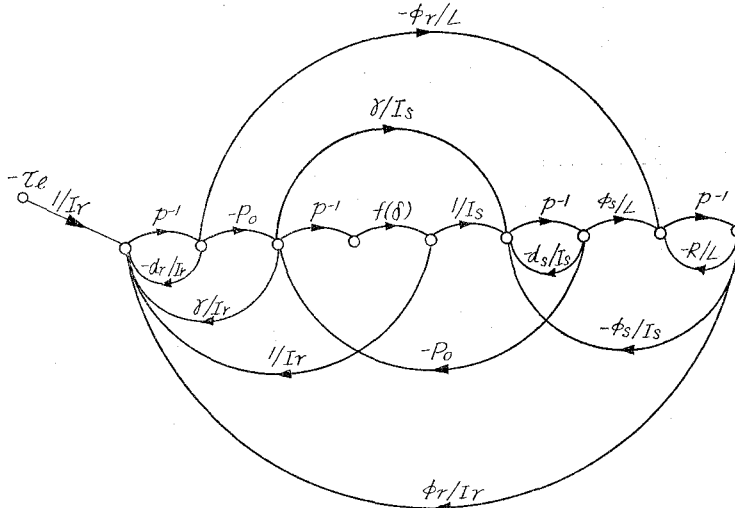


図-2 負荷トルク変化時のシグナルフローグラフ

2-3 演算条件及びアナログ計算機演算図

演算条件としては、定格運転にある系の負荷トルクが、 $t=0$ で段階的に変化するととして、此の時の各量の変動特性と安定限界の印加トルク値を求める。定格運転時に於ける各変量の初期値は基礎方程式により計算される。

$$\omega_{r0} = \frac{(\alpha_s R + \phi_s^2) \omega_0 - R f(\delta_0)}{\alpha_s R + \phi_s^2 + \phi_r + \phi_s} \doteq \frac{\phi_s^2 \omega_0 - R f(\delta_0)}{\phi_s (\phi_r + \phi_s)} \quad (1)$$

$$\omega_{s0} = \frac{\phi_r \phi_s \omega_0 + R f(\delta_0)}{\alpha_s R + \phi_s^2 + \phi_r \phi_s} \doteq \frac{\phi_r \phi_s \omega_0 + R f(\delta_0)}{\phi_s (\phi_r + \phi_s)} \quad (2)$$

$$I_0 = \frac{(\phi_r + \phi_s) f(\delta_0) - \alpha_s \phi_r \omega_0}{\alpha_s R + \phi_s^2 + \phi_r \phi_s} \doteq \frac{f(\delta_0)}{\phi_s} \quad (3)$$

$$\tau_{70} = \frac{(\phi_r + \phi_s)^2 f(\delta_0) + (\alpha_r + \alpha_s) R f(\delta_0)}{\alpha_s R + \phi_s^2 + \phi_r \phi_s} - \frac{(\alpha_r \alpha_s R + \alpha_r \phi_s^2 + \alpha_s \phi_r^2) \omega_0}{\alpha_s R + \phi_s^2 + \phi_r \phi_s} \doteq \frac{(\phi_r + \phi_s) f(\delta_0)}{\phi_s} \quad (4)$$

近似式は機械的制御係数 α_r, α_s を無視して得られ、実用上精度は十分である。尚上式の各記号及び以下に用いられる各記号は特に指摘しない限り前報と同様である。主機の発生トルクは図-3で示しているが、 $f(\delta)$ としては過渡トルクの曲線を用いる。従って $f(\delta_0)$ の値は実際の定常値より若干大きくなる。図-4 にアナログ計算機の演算回路図の一例を示す。尚ここで $f(\delta)$ 曲線は折線関数発生器により近似されるが、分割は δ について $0 \sim \pi$ 区間を8分割している。

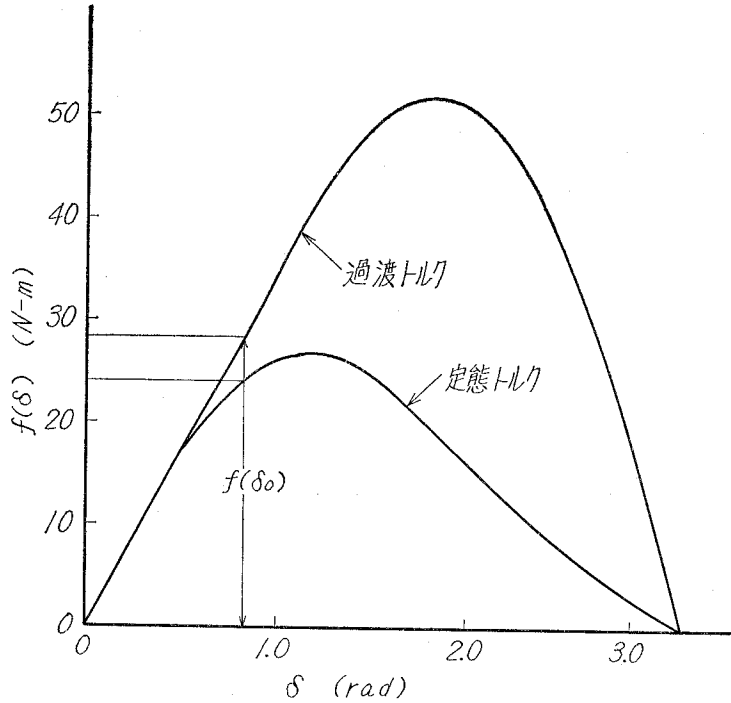


図-3 主同期機内部相差角対トルク曲線

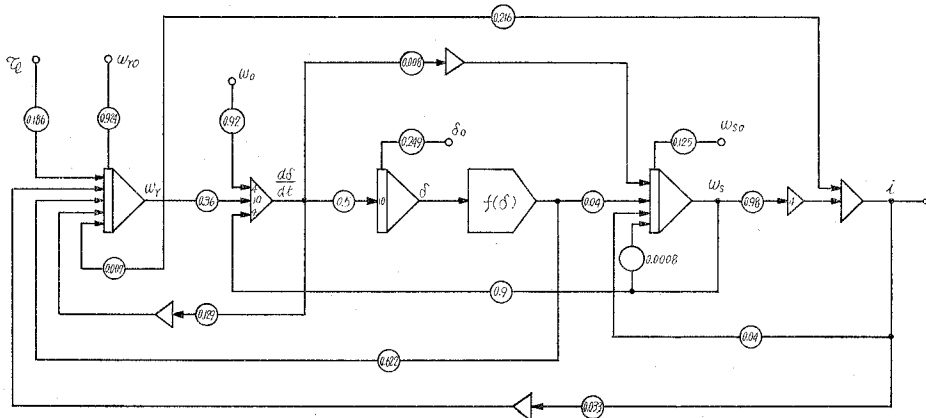


図-4 負荷トルク変化時のアナログ計算機演算図

3. 演算結果

図-5は、主機の固定子を拘束し、かつ、 $\phi_r = \phi_s = 0$ とした場合、即ち、普通形同期電動機としての、非線形応答であり、参考資料として用いられるが、安定限界付近の変動特性を示している。図-3を参考にして、動揺1サイクルの内部相差角の最大変位は、初期値に対して、略2.67倍となり、主機発生トルクはその頂上値を過ぎ、回転子の慣性エネルギーの減速による放出分を電磁的ポテンシャルエネルギーに変え、これを“ばね”として再び安定領域に戻る。引続き数回の動揺の後定常状態に落ち着くが、前章で述べた通り、過渡から定態に移る現象は、主機の電気的動

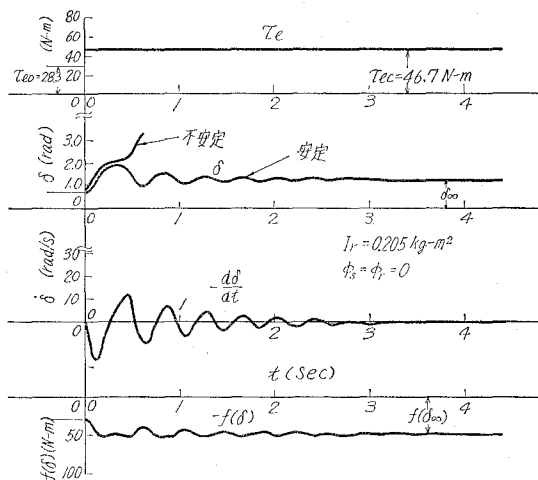


図-5 負荷トルク変化時の非線形特性 (固定子拘束)

特性が考慮されなければならず、動揺終期の波形は一応の目安としての意味しか持っていない。然し図の不安定時の波形に明らかな様に脱調現象は動揺の1サイクル以内に起きるから、安定限界の印加トルク τ_{ic} を決定するため $f(\delta_\infty)$ と δ_∞ の値は価値がある。図の場合には $\tau_{ic}/\tau_{i0} \doteq f(\delta_\infty)/f(\delta_0) \doteq 1.65$ 、 $\delta_\infty/\delta_0 \doteq 1.8$ となっている。

3-1 補助機界磁束変化時の影響

図-6、図-7、図-8は供試機の設計諸定数を変更することなく、表-1の初期条件の下で定格、無段変速運転している系に突発的に負荷トルクを増大させたときの安定限界付近の非線形応答であるが、図、上から、主機内部相差角、その変化速度、主機発生トルク、回転子側、固定子側角速度の順になっている。ここでは補助機界磁束の変化に対する安定限界負荷トルクの決定、各変数の応答の調査が行なわれている。表-1より、固定子側慣

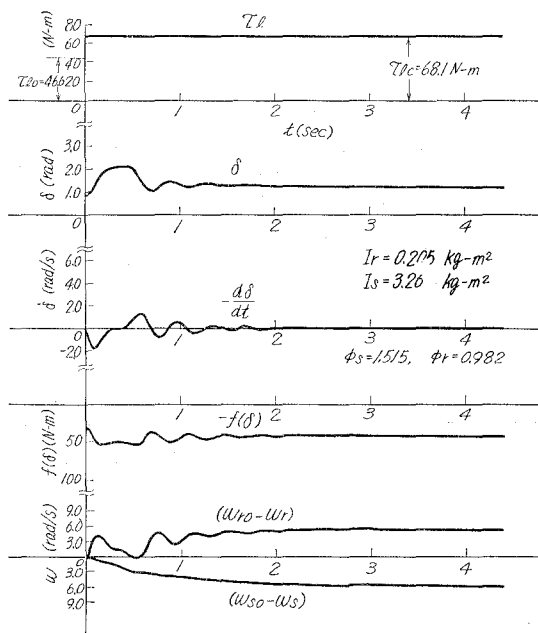


図-6 負荷トルク変化時の非線形応答

性モーメントは回転子側慣性モーメントの約16倍であり、主機内部相差角の動揺は殆んど回転子側の振動に依存していると予想されるが、各図より（特に角速度応答曲線より）この考えの正しさが確認される。このことは、非線形安定性に対して、ほぼ固定子拘束時と同様であることを示しているが、一方両補助機の存在は動揺時の制動トルクの増大をもたらすので、安定性に若干の差異が生じてくる。即ち図-6では $\tau_i/\tau_{i0} \div 1.74$ となり固定子拘束、 $\phi_r = \phi_s = 0$ より僅かであるが安定性は増大している。然し ϕ_r の増加 ($\phi_s = \phi_{smax}$)、即ち主機回転子角速度の初期値の低下と共に安定領域での動揺の減衰が大になるに反して、 τ_{ic}/τ_{i0} の値が小になる。図-9は $\phi_s = \phi_{smax}$: 一定の下で ϕ_r を変化した場合の ϕ_r 対 τ_{ic}/τ_{i0} 等を図示したものであるが、 ϕ_r の増加と共に τ_{ic}/τ_{i0} の値は可成り低下する。同図には動揺前後の負荷出力比 P_{ic}/P_{i0} も画

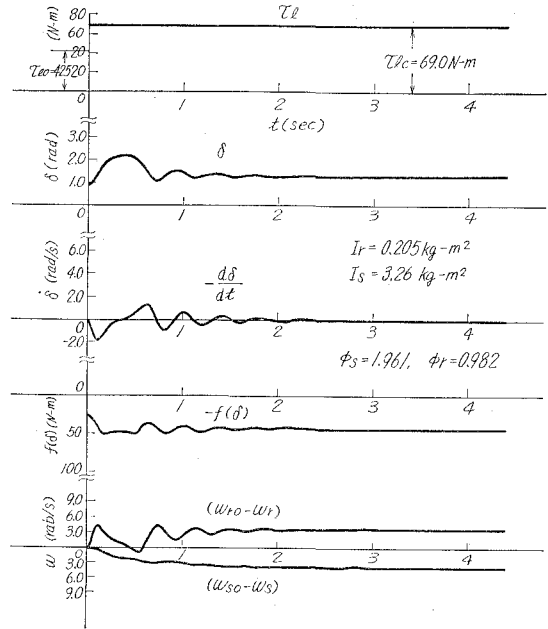


図-7 負荷トルク変化時の非線形応答

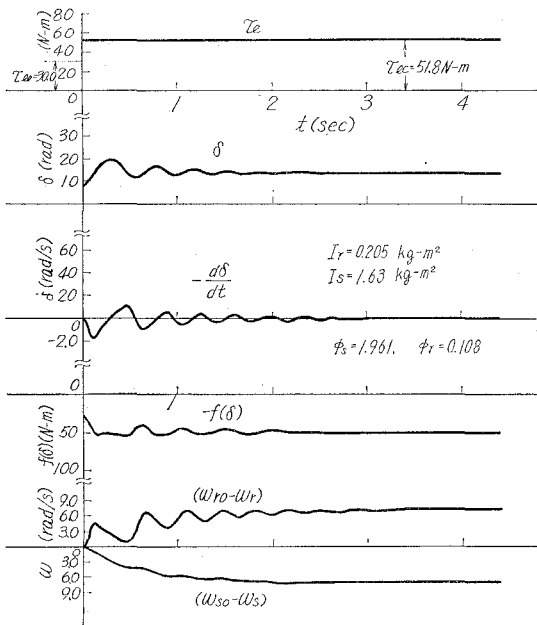


図-8 負荷トルク変化時の非線形応答

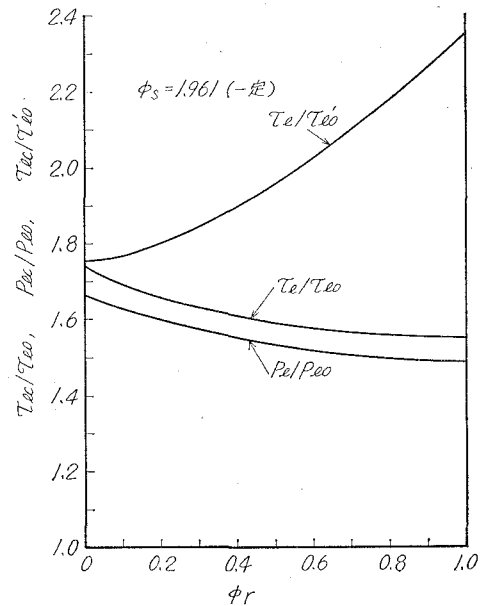


図-9 回転子側補助機界磁束と安定性との関係

表-1 演算初期条件

番号	I_s (kg-m ²)	I_r (kg-m ²)	ϕ_s	ϕ_r	$f(\delta_0)$ (N-m)	τ_{l0} (N-m)	ω_{s0} (rad/s)	ω_{r0} (rad/s)	備考
1	3.26	0.205	1.961	0.108	28.3	30.0	18.7	138.3	
2	3.26	0.205	1.961	0.982	28.3	42.5	59.7	97.3	
3	3.26	0.205	1.515	0.982	28.3	46.6	73.0	84.0	

かれているが、負荷トルクの場合と同様の傾向を示している。補助機界磁束と制動力の関係は、既に前報で述べた通り、 ϕ_r の増加は一般的に制動力の増加となるが、このことは非線形時にもよく保たれていることは上各図より明らかである。見掛上、 ϕ_r による制動力の増加は非線形安定性に何等の寄与をもしていなかに見えるが、このことについては次章でふれることにする。尚基準とした τ_{l0} の値は(4)式より ϕ_r の任意の値に対して $(\phi_r + \phi_s)f(\delta_0)/\phi_s$ となっているから、図-3の $f(\delta)$ の曲線は同一 δ に対して、 $(\phi_r + \phi_s)/\phi_s$ 倍に拡大され、従ってこの曲線に沿って変化が進行すると考えねばならない。図-9の τ_{lc}/τ'_{l0} はこの考えで整理した曲線で、 τ'_{l0} は $\phi_r=0$ に対する値、 τ_{lc}/τ_{l0} は減少するが、安定限界負荷トルク値は、当然のことであるが、著しく増大していることに着目されなければならない。

3-2 慣性モーメント変化による影響

図-10、図-11、図-12は初期条件を表-1のIと同じくし、固定子側慣性モーメントを変化した場合の非線形応答である。図-10では $I_s/I_r \div 8$ であり、内部相差角の変動波形は前節のものと同差がないが、固定子側角速度の波形に若干振動成分が加って来て居り、又 τ_{lc}/τ_{l0} の値も僅かではあるが増加している。図-11は $I_r = I_s = 0.205 \text{ kg-m}^2$ の場合であるが、固定子側慣性モーメントの影響は大きく現れて居り、突発的な負荷トルク増加に対して、内部相差角は僅かに動揺を示すが、直ちに定常状態に落ち着き、安定限界印加トルクは略過渡トルクの頂上に一致している。固定子側は回転子によく追従していることがわかる。図-12は $I_s/I_r \div 0.15$ とした場合であり、内部相差角の動揺は略完全に消滅し、固定子側の追従性も十分良好である。以上のように I_s の減少は非常に効果的である

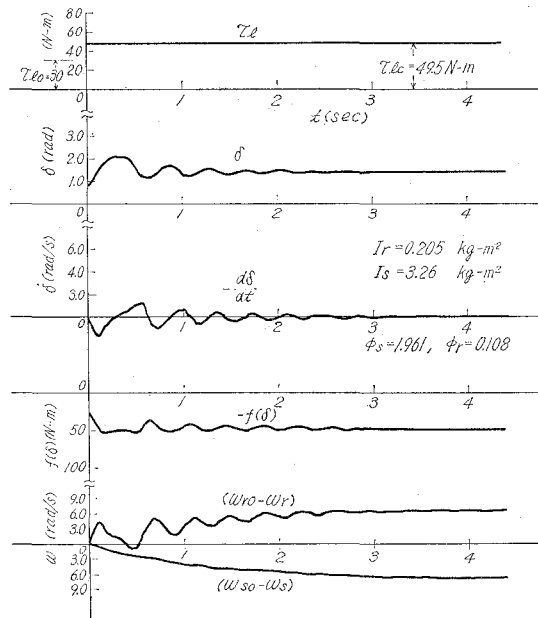


図-10 負荷トルク変化時の非線形応答

が、 ϕ_r の値が大になると $I_r=I_s$ の条件でも、振動成分の減衰は小さくなり、 τ_{ic}/τ_{i0} の値も若干低下する。回転子側慣性モーメントの値が大きくなると、同一 $f(\delta)$ に対して、一般的に振動の減衰は小さくなるが、安定限界印加トルク値は低下しない。図-13は $I_r=2.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ とし、更に $I_r=I_s$ とし、且つその他の条件は図-10の場合と同様にし、演算した結果である。内部相差角の動揺は消えていないが、その波形は可成り特異性が見られる。即ち、前述の諸例に於いては動揺の1サイクル目に最大値に達し、そこで安定か否かが決定されたが、この場合は、ゆるやかに振動しつつ、サイクル毎にその極大値が増大し、遂に安定限界値に達している。 I_s の増加と共にこの現象は著しくなるが、特に安定性の低下とはならず、むしろ ϕ_r , ϕ_s の変化に鈍感になる等有利な傾向が得られた。

図-14は回転子側慣性モーメントを基準として、 I_s/I_r と τ_i/τ_{i0} との関係を表

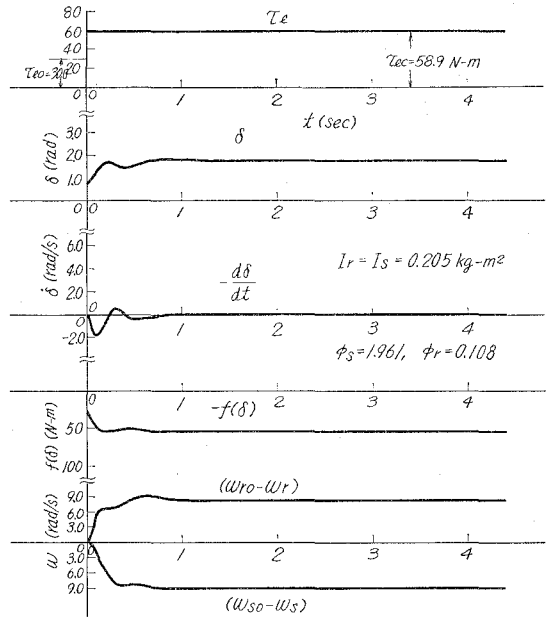


図-11 負荷トルク変化時の非線形応答

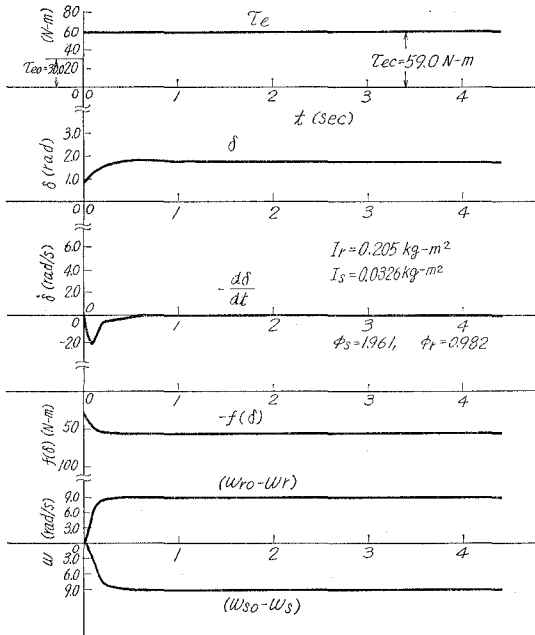


図-12 負荷トルク変化時の非線形応答

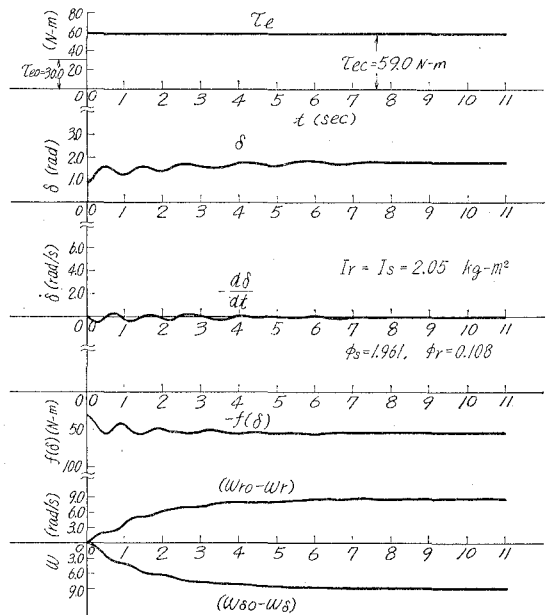


図-13 負荷トルク変化時の非線形応答

したものであるが、 $I_s/I_r \doteq 16$ から I_s を減少するにつれて、最初 τ_{ic}/τ_{i0} の値はゆるやかに大きくなり、 $I_r \simeq I_s$ 付近で急激に大となり $I_r \geq I_s$ では最大な一定値に保つ、このときの安定限界印加トルクは主機発生トルクの頂上値と略一致している。 I_s/I_r と τ_i/τ_{i0} との関係は ϕ_r 、 ϕ_s 或は基準となる I_r の値によって異なることは上述の通りである。以上、非線形安定性に影響の大きい補助機界磁束、慣性モーメントことについての演算結果を紹介して来たが、その他のパラメータ、即ち、電氣的制動係数、補助機電機子回路の抵抗等の影響は比較的小さく今回は取り上げなかった。

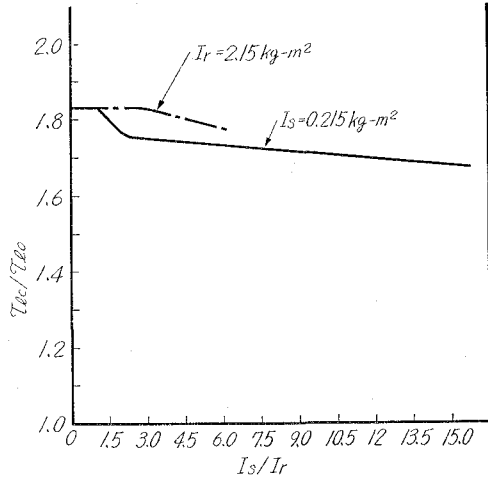


図-14 慣性モーメントと安定性の関係

4. 演算結果の考察

前章で運転時の可変パラメータである補助機界磁束及び設計寸法で定まる慣性モーメントが非線形安定性に如何に影響するかを述べたが、特に、固定子側慣性モーメントの効果は著しく、この現象は固定子回転構造を有する無段変速同期機の特有性と考えられる。以下、前章の

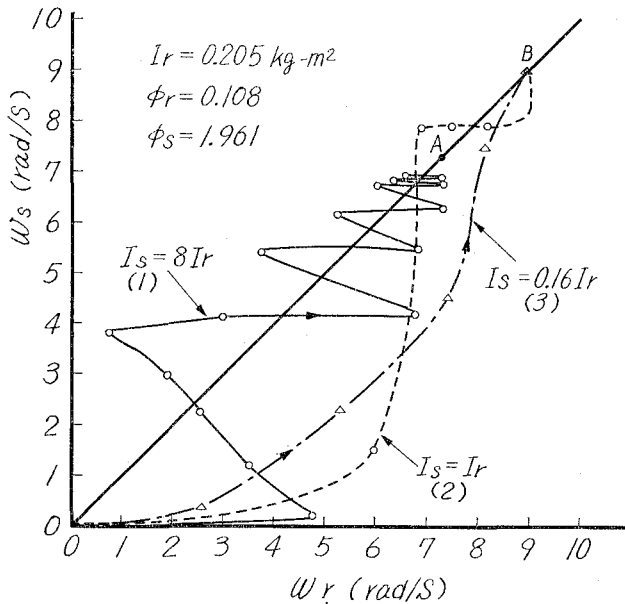


図-15 回転子側、固定子側の角速度変化の関係

演算結果について、若干の定性的な考察を試み、現象の物理像を明確にする。さて負荷トルクが増加すると、系の発生トルクとの差を生じ、回転子側は慣性エネルギーを放出しつつ減速するが、この減速によって主機内部相差角は増大し、電源の流入電力が増加し、回転子側の減速をゆるめる様に働く、一方固定子側は主機トルクの増加によって、直結補助機の反抗トルクに打勝って加速し、この加速は内部相差角の増加を打消す向きにある。負荷トルク増加時に上述のような現象が系内部に起ってい

るから、回転固定子が回転の移動に対して、素早く追従する程、回転子の動揺、従って内部相
 差角動揺の振幅が小さくなり、安定性は向上するであろう。図-15 は時間の推移と共に両角速
 度が如何なる関係で変動するかを示したものであるが、これは又回転固定子の追従性も明らか
 にする。即ち、固定子が完全に回転子の動揺に追従する場合 ($I_s=0$)、両者の関連を示す曲線
 は、原点を通り、横軸と45度の角度をなす、O-A-B直線になるが、追従性の悪い程、同一
 ω_s の値に対して ω_r の変動が大になる。曲線(1)は $I_s/I_r=8$ の場合、固定子はゆるやかに加速
 し、回転子がそれを中心として振動をし、ついにA点に収斂する。曲線(2)、曲線(3)と固定
 子側慣性モーメントが小になる程、初期の追従がよくなる。又(2)曲線がOAB線より上方へ
 出るのは固定子側の加速のためであり、回転子側の加速を妨げていることがわかる。

回転固定子は、内部相差角の増大、即ち主機発生トルクの増加によって、固定子側補助機
 の反抗トルクの間差が生じ加速される。加速を表現する式は、基礎運動方程式の固定子側ト
 ルク平衡式より

$$I_s \frac{d\omega_s}{dt} + \phi_s i = f(\delta) \quad \because \alpha_r = \alpha_s = 0, \quad \gamma = 0$$

と補助機電機子回路の電圧平衡式より

$$i = \frac{1}{R} (\phi_s \omega_s - \phi_r \omega_r) \quad \because L = 0$$

又、両角速度の間に

$$\omega_r \doteq \omega_s - \omega_r$$

の関係が成立つから、以上の3式より

$$I_s \frac{d\omega_s}{dt} + \frac{\phi_s(\phi_r + \phi_s)}{R} \omega_s = f(\delta) + \frac{\phi_r \phi_s}{R} \omega_0 \quad (5)$$

を得る。この式より、 $f(\delta)$ の時間に対する変化が決定されると、固定子側角速度の変化、従っ
 てその追従性も明確にされる。定性的には(5)式より求められる ω_s の時定数

$$\tau = I_s R / \phi_s (\phi_r + \phi_s) \quad (6)$$

の大小によっても追従性についての目安が得られる。即ち、 I_s 、 R が大なる程、 ϕ_s 、 ϕ_r が小な
 る程 τ は大となり、追従性が悪い。ここで、前章 ϕ_s 一定、 ϕ_r 変化時の演算結果は ϕ_r が大な
 る程安定性が低下し、一見矛盾があるようであるが、これは、 ϕ_r の増加のため固定子側角速度
 の変化幅が小となり、同一負荷トルク変化に対して、慣性エネルギーが減少するためであり、同
 一初期値に対して ϕ_r 、 ϕ_s のより小なる組合せでは振幅が大きくなり安定性が増大する結果が得
 られている。然し(5)、(6)式より得られる結果では固定子の追従性の完全な解決は出来ない。

例えば $f(\delta)$ の時間変化は動揺の極く初期には回転子側の減速によって定まり、以後固定子側の

変動とも関連するからである。従って実際には回転子側慣性モーメントの影響も考え、(6)式より得られる時定数は、回転子側の動揺も考慮した相対的な評価がされねばならない。

次に動揺中のエネルギー配分が安定性に影響を及ぼすものと考えられるか、これも定性的解明のためエネルギー収支の式を求めて見よう。基礎方程式中回転子側トルク平衡式の両辺に ω_r' を乗じて変形すれば、

$$I_r \frac{d}{dt} \left(\frac{\omega_r'^2}{2} \right) + \alpha_r \omega_r \omega_r' - \gamma \omega_r' \frac{d\delta}{dt} - \omega_r' f(\delta) + \phi_r \omega_r' i = -\tau_l \omega_r' \quad (7)$$

同様に固定子側トルク平衡式は

$$I_s \frac{d}{dt} \left(\frac{\omega_s'^2}{2} \right) + \alpha_s \omega_s' \omega_s - \gamma \omega_s' \frac{d\delta}{dt} - \omega_s' f(\delta) + \phi_s \omega_s' i = 0 \quad (8)$$

(7), (8) 式を加え積分して

$$\begin{aligned} I_r \int_0^{\frac{\omega_r'^2}{2}} d \left(\frac{\omega_r'^2}{2} \right) + I_s \int_0^{\frac{\omega_s'^2}{2}} d \left(\frac{\omega_s'^2}{2} \right) + \int_0^t (\alpha_r \omega_r' \omega_r + \alpha_s \omega_s' \omega_s) dt - \gamma \int_0^t (\omega_r' + \omega_s') \frac{d\delta}{dt} dt \\ - \int_0^t (\omega_r' + \omega_s') f(\delta) dt + \int_0^t (\phi_r \omega_r' i - \phi_s \omega_s' i) dt = - \int_0^t \tau_l \omega_r' dt \end{aligned} \quad (9)$$

一方主機内部相差角と角速との間の関係式より

$$(\omega_r' + \omega_s') = -\frac{1}{p_0} \frac{d\delta}{dt} \quad (\because \omega_r' = \omega_{r0} - \omega_r, \quad \omega_s' = \omega_{s0} - \omega_s)$$

更に補助機電機子回路の電圧平衡式より

$$L \frac{d}{dt} \left(\frac{i^2}{2} \right) + Ri = \phi_s \omega_s' i - \phi_r \omega_r' i = p_s - p_m \quad \because Ri^2 \gg L \frac{d}{dt} \left(\frac{i^2}{2} \right)$$

これらの式を用いて(9)式を書直して

$$\begin{aligned} I_r \int_0^{\frac{\omega_r'^2}{2}} d \left(\frac{\omega_r'^2}{2} \right) + I_s \int_0^{\frac{\omega_s'^2}{2}} d \left(\frac{\omega_s'^2}{2} \right) + \int_0^t (\alpha_r \omega_r' \omega_r + \alpha_s \omega_s' \omega_s) dt + \gamma \int_0^t \left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2 dt + \int_{\delta_0}^{\delta} f(\delta) d\delta \\ + \int_0^t (p_s - p_m) dt = - \int_0^t \tau_l \omega_r' dt \end{aligned} \quad (10)$$

又は、機械的、電氣的制動係数を無視して

$$\frac{I_r}{2} \omega_r'^2 + \frac{I_s}{2} \omega_s'^2 + \int_{\delta_0}^{\delta} f(\delta) d\delta + \int_0^t (p_s - p_m) dt = - \int_0^t p_l dt \quad (11)$$

となる。ここで $p_l = \omega_r' \tau_l$ である。(10) 或いは(11)式は動揺時のエネルギーの放出、吸収を示す。所謂、エネルギー積分であり、(10)式左辺第1項は回転子側の放出エネルギー、第2項は固定子側の吸収する慣性エネルギー、第3項は主機の発生する機械的エネルギー、そして第4項は両補助機の吸収、放出する機械的エネルギーの差、即ち、補助機電機子回路の銅損を表して

いる。負荷トルクの変動に対して、回転子側、固定子側は上式に従って夫々慣性モーメントによって、減速のエネルギー放出と、加速のエネルギー吸収を行なうが、無段変速運転に於いては、変動の前後に於いて、角速度の値が異なり((4)式参照)、動揺の前後に於いて角速度が同期速度に一致する、普通形同期機と、エネルギー放(吸)出の機構が若干異なってくる。即ち、無段変速運転では回転子側の放出エネルギーは凡て内部相差角増大のため費されたのではなく、それ自身の角速度が最終値へ向って減少するために必要なことである。固定子側でもこのエネルギー吸収の機構は同様である。従って両者のエネルギーの放(吸)出は、本質的に、無振動の成分を含んでいることに注目されなければならない。この振動的なエネルギーと無振動的なエネルギーの放(吸)出は定量的に算定することは困難であるが、固定子側の追従性が良い程無振動分が優勢になると思われる。

次に固定子側に吸収されるエネルギーは又兩補助機によって吸収、放出される分を含んで居り、固定子側補助機によって吸収されるエネルギーは一部電機子内銅損として失われ、残り回転子側補助機を通じて再び負荷軸に戻され、回転子側の減速を抑制する向きに作用する。この固定子側補助機によるエネルギー吸収は非弾性的に行なわれるが、このエネルギー吸収の形は又安定性の増大に役立つものである。このことを確認するための、固定子側のエネルギー吸収が弾性的に行なわれるようなモデルについての演算結果では、固定子側の追従性が十分高いにもかかわらず、振動の吸収が行なわれず、安定性は減少することが明らかになった。従って補助機の非弾性的エネルギーの吸収による、固定子側の追従性と相俟って、安定性の増大は、無段変速同期機の特徴の一つと見なされる。

補助機の非弾性エネルギー吸収と固定子側の慣性エネルギー吸収の大きさもまた安定性に影響を及ぼす。例えば前章での ϕ_s 一定、 ϕ_r 増加による安定性の低下は、 ϕ_r 増加によって、 ω_s の変化が小となり、角速度の変動に対して、慣性エネルギーの吸収が小となり、同時に非弾性エネルギーの吸収も小さくなったためと考えられる。これは又、 ϕ_r 、 ϕ_s の増加によって、固定子角加速度は大きくなるが、逆に、その角速度の変化幅が小になるためとも考えられる。

む す び

無段変速同期機の諸特性の長所^{1),2),5)}、そして構造上の問題点は、結局回転固定子の存在によるものであり、此の報告で述べて来た非線形安定性についても、主としてその存在に依存するものである。比較的限定された範囲における解析であったが、一般的に以下の如く要約されよう。

(1) 非線形安定性に影響する大きな要素は、固定子側の回転子側角速度変化に対する追従性であり、これが大きい程安定性は向上する。

(2) 上記の追従性は固定子側慣性モーメントと回転子側慣性モーメントの比によって決ま

り、この比が同一であっても固定子側慣性モーメントの吸収エネルギーが大きくなると追従性は低下する。一般的に $I_s/I_r \leq 1$ の条件では、急速に安定性が向上し、安定限界印加トルクは主機発生トルクの頂上に一致する。又回転子側角速度の初期値が小になる程、一般的、安定性が低下の傾向にあるが、 ϕ_r, ϕ_s の絶対値が小さくなると、此れも改善される。

(3) 両補助機によって行なわれるエネルギー吸収は非弾性的であり、この作用と固定子側の追従性が相補って安定性向上に結びついている。

以上の要約は明らかに無段変速同期機の固有の特性によるものであり、系設計の重要な因子となろう。線形動特性に於いて述べた通り、系の速度応答特性を良好ならしめるためには、両慣性モーメントの和を小さくする、特に $I_s \gg I_r$ の条件では I_s を小にするのが効果的であるが、このことは上述より明らかな様に非線形安定性の向上に役立つものである。又特に大きな慣性モーメントを持つ負荷駆動の際は明らかに安定性は良好になる。

此の報告は負荷トルク急変時の非線形安定性のみを対象として来たが、更に多機問題、始動同期問題にも容易にその手法は拡張できるものであり、そこでも固定子回転による有効性は同様に保持されるものと考えられる。これらの問題の解明、或いは主機の電氣的動特性をも含めた非線形特性の解析等は別の機会に譲る。

終りに日頃御指導、御援助を頂いている本学図所忠則教授、大窪協教授に深謝の意を表します。

(昭和45年5月20日受理)

文 献

- 1) 近藤 修：室工大研報, 6, 2, 187 (1968).
- 2) 近藤 修：室工大研報, 6, 3, 393 (1969).
- 3) 広瀬敬一・清水照久：電気機器 I, p. 303 (オーム).
- 4) 富成 襄：自動制御, 8, 5, 38 (1961).
- 5) 図所忠則・近藤 修・伊達隆三：電気学会雑誌, 87-4, 774 (1967).