

無整流子電動機の動特性の伝達関数 モデルによる解析

Analysis of Dynamic Performance of Commutatorless Motor
by Transfer Function Model

原島 文雄*・内藤 治夫*

Fumio HARASHIMA and Haruo NAITOH

1. はじめに

無整流子電動機に関する研究は、その定常特性については多くの結果が得られているが¹⁾、動特性に関するものはまだ少ない。しかし、無整流子電動機は本来可変速電動機であるので、その動特性を明らかにしておくことは、重要である。更に、従来の自動制御理論による取扱いを可能にするために、無整流子電動機を伝達関数で表現することが望ましい。

本文では、非突極形無整流子電動機の伝達関数モデルを導出している。そして無整流子電動機の動特性に大きな影響を与えるダンパ巻線の効果について、伝達関数モデル及び数値計算により、考察を加えている。

2. 伝達関数モデルの導出^{2,3)}

まず回転速度を一定として、電気的動特性に着目した伝達関数モデルを導くことを考える。無整流子電動機の動作モードには、転流モードと単流モードの二つがある。この二つのモードの継続時間を簡単な解析解で定めるのは難しいので、伝達関数を導くに当たっては、他励変換器の理論に基づき、転流現象を等価的に表現して動作モードは単流モードのみであるとする。この等価的な抵抗を導入した上で、単流モードでの電動機の方程式をサイリスタの点弧間隔に亘って平均して、ラプラス変換すると、直流入力電圧の増分 ΔE_0 から平均直流入力電流の増分 $\Delta \bar{I}_0$ 迄の伝達関数 $G_I(s)$ は、(1)式となる。

$$G_I(s) = \frac{\Delta \bar{I}_0}{\Delta E_0} = \frac{L_3 s + R}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (1)$$

ただし、 $a_2 = L \cdot L_3 - 2 M'_{13}{}^2$ 、 $a_1 = R_{eff} \cdot L_3 + R_3 L$ 、 $a_0 = R_{eff} \cdot R_3$ 、 $L = L_0 + 2 L_1 + 3 L_2$ 、 $R_{eff} = R_0 + 2 R_1 + 3 \omega \sigma L_c / \pi$ 、 $\sigma = 1 - M'_{13}{}^2 / L'_1 \cdot L_3$ であり、添字 0, 1, 3 は、各々、直流リアクトル、電機子巻線及び、ダンパ巻線を表す。

ΔE_0 から平均出力トルクの増分 $\Delta \bar{T}_{org}$ 迄の伝達関数 $G_T(s)$ は、(2)式で与えられる。

$$G_T(s) = \frac{3\sqrt{2} M'_{12} I_f \cos \gamma_0}{\pi} G_I(s) \quad (2)$$

ただし、 I_f は界磁電流、 γ_0 は設定制御進み角である。以上の伝達関数から、無整流子電動機の等価回路は、図1となる。

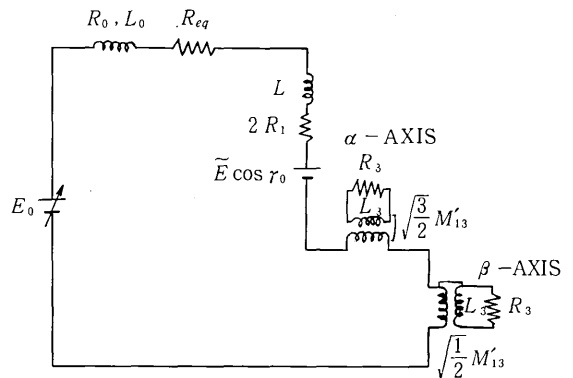


図1 非突極形無整流子電動機の等価回路

次に、機械的動特性も含めた伝達関数モデルを考える。(1)式の係数の中で、 R_{eff} は電動機の回転速度に依存する量を含んでいるが、 R_{eff} 全体としては、その速度依存性は小さい。従って、 R_{eff} を一定と近似して、機械系の伝達関数を $G_{EM}(s)$ とすると、機械系を含めた伝達関数モデルは、図2のブロック図で表現できる。

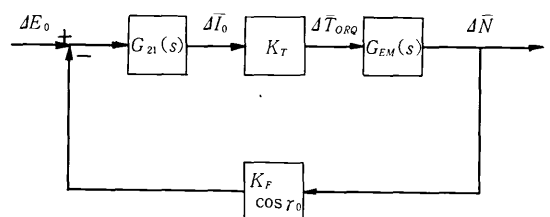


図2 機械系を含めた伝達関数モデルのブロック図

*東京大学生産技術研究所 第3部

3. 厳密解と伝達関数モデル

状態推移法に基づく数値計算による厳密解と、先に得られた伝達関数モデルを比較する。図3は平均直流入力電流の周波数応答、図4は平均出力トルクのステップ応答の比較を示している。これらの図から、伝達関数モデルと厳密解はよく一致することがわかる。

4. ダンパ巻線の動特性への影響⁴⁾

ここではダンパ巻線の応答速度に与える影響につき述べる。ダンパ巻線の定数としてはダンパ巻線の時定数と、電機子巻線との結合係数 k の二つの量を取り上げた。

図5に、平均直流入力電流 \bar{I}_0 のステップ応答の整定時間 $T_{90,1}$ と、 T_{dw}/T_{dwo} との関係を k^2 をパラメータとして示した。図中 T_{dw} はダンパ巻線時定数、 T_{dwo} は供試機(3.7KW, 4極, 100V定格の同期電動機)の時定数で、 $T_{dwo} = 22.5$ m secである。 $T_{90,1}$ は \bar{I}_0 の過度値が整定値の90%に達するまでの時間で、この値を系の整定時間とした。

この図から、 k^2 が大きい程応答が遅くなること、及び T_{dw}/T_{dwo} の値が0.5~0.9の所で応答が最も遅くなり、その値より大きくなって小さくもなっても応答が遅くなること分かる。

以上の結果を伝達関数モデルにより考察してみよう。まず k^2 についてであるが、 k^2 は下式を満たす。

$$k^2 = \frac{M_{13}^2}{L_1 L_3} \quad (3)$$

$$\sigma = 1 - k^2 \quad (4)$$

(4)式と(2)式中の R_{eff} を見れば分かるように k^2 と R_{eff} は反比例の関係にあり、 k^2 が大きくなるほど、系の実効抵抗が減少して応答が遅くなること分かる。

次にダンパ巻線時定数についてであるが、図6は $G_I(s)$ の極と零点の配置と、 T_{dw}/T_{dwo} が0.9~1.0を越えると、零点が原点に近い方の極に急速に接近してその影響を弱め、かわって原点より遠い方の極が系の応答を支配するようになる。この傾向が、図5のダンパ巻線時定数と整定時間との関係によく現れている。

NON-SALIENT POLE MACHINE WITH DAMPER WINDINGS
 AVERAGE OUTPUT TORQUE (N-m) $E_0: 70 \div 73$ V, $L_0 = 14.4$ mH, $I_f = 1.0$ A, $r_0 = 50.0$ deg.
 FREQ = 35.5 Hz

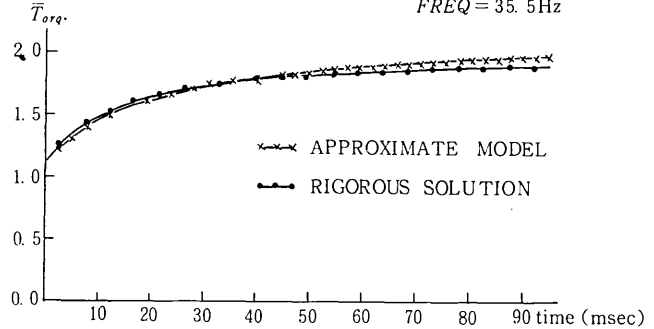


図3 伝達関数モデルと厳密解による ΔT_{orq} のステップ応答の比較

NON-SALIENT POLE MACHINE WITH DAMPER WINDINGS
 $E_0 = 70 + 2 \sin \omega t$ V; $L_0 = 14.4$ mH; $I_f = 1.0$ A; $r_0 = 50.0$ deg.
 freq = 35 Hz.

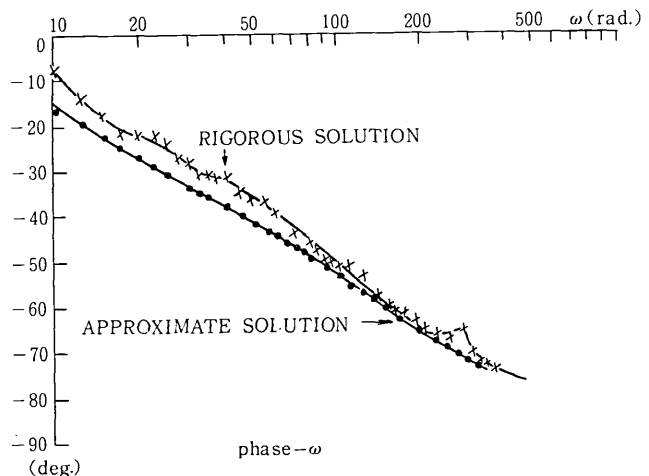
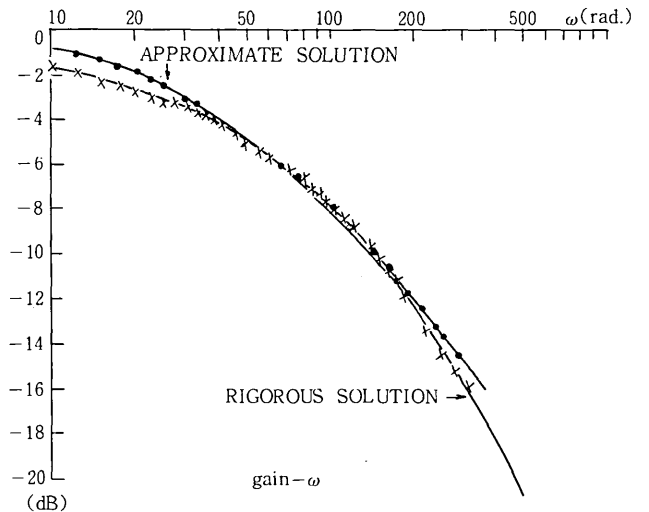


図4 伝達関数モデルと厳密解による ΔI_0 の周波数応答の比較

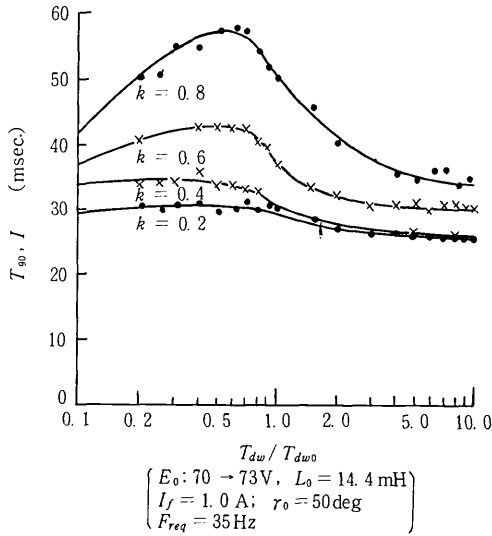


図5 ダンパ巻線の結合係数をパラメータとした
整定時間と時定数の関係

5. むすび

本文では、非突極形無整流子電動機の伝達関数モデルを、その平均的動作に着目して導出した。得られたモデル

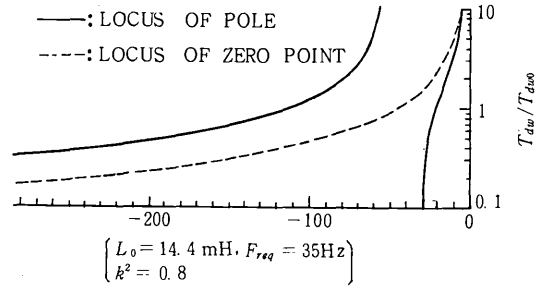


図6 T_{dw}/T_{dwo} に対する $G_I(s)$ の根の配置

ルは数値計算による厳密解とよく一致した。

また、ダンパ巻線定数の動特性に与える影響についても数値計算によって解析を行った。その結果は、先に得られた伝達関数モデルにより、明確に説明された。

(1977年9月21日受理)

参考文献

- 1) 江原, 小山, 原島 電学誌94-B, 11 (1974)
- 2) 原島, 内藤 IFAC Symposium Preprints pp369-378 (1977)
- 3) 内藤, 原島, 郷田 昭和52年電気学会全国大会 875
- 4) 内藤, 羽根吉, 原島 昭和52年電気学会全国大会 874

正 誤 表 (11月号)

頁	段	行	種 別	正	誤
613	左		図 1	図1の縦軸1の右にスケールを入れる	脱 落
644	左		図 (Fig. 4 (1))	$X = -110$	$X^- - 110$
647	左	↓4	本 文	$\sqrt{u^2}/\bar{U}_\infty$	$\sqrt{u^2}/\bar{U}_\infty$
"	"	↓8	"	$\sqrt{u^2}/\bar{U}_\infty$	$\sqrt{u^2}/\bar{U}_\infty$
"	右	↓4	記 号	$\sqrt{u^2}$	$\sqrt{u^2}$
"	"	↓5	"	$\sqrt{w^2}$	$\sqrt{w^2}$