

無整流子電動機の動特性と伝達関数モデル

Dynamic Performance and Transfer Function
Model of Commutatorless Motors

原島文雄*・内藤治夫*・羽根吉寿正*

Fumio HARASHIMA, Haruo NAITO and Toshimasa HANEYOSHI

1. ま え が き

無整流子電動機の定常特性に関する研究は多くなされているが、¹⁾²⁾ 無整流子電動機は、本来可変速電動機であるので動特性をも解析しておくことが必要である。また、無整流子電動機は制御系の中に組み込まれ、閉ループを構成して使用されることが極めて多い。そこで、無整流子電動機をある程度簡単な形の伝達関数で表現しておくことが望ましい。このような理由により、本研究は数値計算及び実験により、無整流子電動機の動特性を詳しく解析するとともに、無整流子電動機の伝達関数を導出することを目的としている。

動特性には機械的動特性と電気的動特性の二つがあるが、後者の応答速度は前者のそれに比べかなり速い。従って、これら二つの動特性は別々に分けて考察されることが可能である。機械的動特性は、電動機のトルク-速度曲線と負荷のトルク特性とから比較的簡単に求められる。一方、電気的動特性は無整流子電動機の回路構成が複雑であることや転流等の現象に大きく影響されるために、容易には求められない。そこで本研究では、まずこの電気的動特性を明らかにしていくことに主眼を置いている。

2. 回路構成、観測座標系³⁾、及び回路方程式

図1に無整流子電動機系の基本的構成を示す。図中、制御整流器の出力電圧は脈動成分を含むが、その周波数は一般に大きいので大部分直流リアクトル L_0 により平滑され電動機の特長へはほとんど影響を与えない。従って、制御整流器は可変直流電圧源とみなして、以後取り扱う。

電動機の回路方程式は、基本的には二軸理論に基づき、二次元の直交座標系を用いて表現される。⁴⁾ また、無整流子電動機は転流モードの後に単流モードが続く動作パターンかまたは、単流モードの後にオフ・モードが続く動作パターンを点弧パルスが加えられるごとに繰り返し、

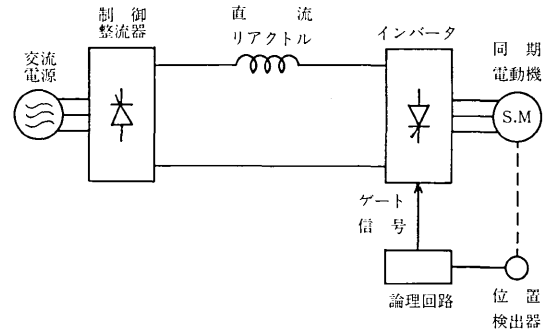


図1 無整流子電動機の基本構成

電子巻線電流ベクトルは一つの動作パターンが終了するごとに、 $\pi/3$ ずつ回転する。従って、サイリスタに点弧パルスが加えられるごとにステップ状に $\pi/3$ ずつ回転する座標系(α - β 座標系)で現象を観測すれば、各回転ごとに同じパターンが繰り返し観測される。そこで、この α - β 座標系を用いれば、状態変数の各モード間の接続を適当に行なうことにより、電気角で $\pi/3$ 幅の期間での現象を解析すれば無整流子電動機の動作をすべて明らかにできる。上記の理由により、今後は α - β 座標系を用いて解析を進めていくことにする。

次に、各モードにおける回路方程式を導くのであるが、本文では無整流子電動機が正常に動作している領域、すなわち、入力電流 I_0 が断続しない場合について考える。従って、考慮せねばならない動作モードは、単流及び転流モードである。この二つのモードの回路方程式は(1)式の形の状態微分方程式として記述できる。

$$\left. \begin{aligned} P\mathbf{X} &= \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{X} : \text{転流モード} \\ P\mathbf{X} &= \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{X} : \text{単流モード} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、 $P = d/dt$, $\mathbf{X} = \text{Col}(i_{1\alpha}, i_{1\beta}, i_{2\alpha}, i_{2\beta}, i_{3\alpha}, i_{3\beta}, E_0)$, $\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2$ は係数行列

3. 無整流子電動機系の電気的動特性の数値計算方法及び計算結果

ステップ応答の電気的動特性を求めたい場合には、過渡入力の入力時点における定常解の状態変数を先に求め、

*東京大学生産技術研究所 第3部

研究速報
及び単流モードの回路構成は互いに異なるので、各モードでの時定数を求め、それを適当に結合せねばならないが、各モードの継続時間を簡単な解析解で定めることは極めて難しいので、何らかの近似が必要である。ここでは他励変換器の理論によって、転流現象を等価的な抵抗で表現する方法を用いることにした。⁶⁾ 従って、この理論によって逆変換器を表現すれば、無整流子電動機系全体は、図6の等価回路で表現できる。

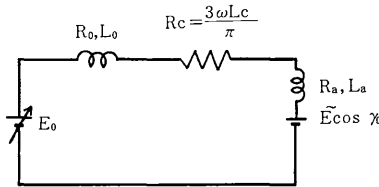


図6 等価回路

このようにして、入力電圧の増分 ΔE_0 から平均直流入力電流の増分 $\Delta \bar{I}_0$ までの伝達関数 G_{IE} は、(2)式で与えられる。

$$G_{IE}(S) = \frac{\Delta \bar{I}_0}{\Delta E_0} = \frac{1}{LS + R} \quad (2)$$

ここで、 $L = L_0 + L_a$, $L_a = 2l_1 + 3L_1$, $R = R_0 + R_a + 3\omega L_c / \pi$, $R_a = 2R_1$, $L_c = l_1 + 3/2 L_1$, R_0, L_0 は直流リアクトルの抵抗、インダクタンス, R_1, l_1, L_1 は電機子巻線-相分の抵抗、漏れインダクタンス及び、有効インダクタンス, γ_0 は設定制御進み角。

一方、同期機のトルク方程式は、次式となる。

$$\text{Torq} = M'_{12} (i_{2\alpha} i_{1\beta} - i_{2\beta} i_{1\alpha}) \quad (3)$$

(3)式に $i_{2\alpha} = I_f \cos \theta$, $i_{2\beta} = I_f \sin \theta$, $i_{1\alpha} = \sqrt{3}/2 I_0$,

$i_{1\beta} = I_0 / \sqrt{2}$ を代入して

$$\text{Torq} = \sqrt{2} M'_{12} I_f I_0 \cos(\theta + \pi/3) \quad (4)$$

I_0 と $\cos(\theta + \pi/3)$ との相関が、かなり小さいという関係を用いて(4)式を $\theta = -(\pi/2 + \gamma_0)$ から $\theta = -(\pi/6 + \gamma_0)$ まで平均すると

$$\overline{\text{Torq}} = (3\sqrt{2}/\pi) M'_{12} I_f \cos \gamma_0 \cdot \bar{I}_0 \quad (5)$$

となる。従って、 ΔE_0 から平均トルクの増分 $\Delta \overline{\text{Torq}}$ までの伝達関数、 $G_{IT}(S)$ は、(2)式と(5)式から(6)式となる。

$$G_{IT}(S) = \frac{\Delta \overline{\text{Torq}}}{\Delta E_0} = \frac{3\sqrt{2} M'_{12} I_f \cos \gamma_0}{\pi (LS + R)} \quad (6)$$

正 誤 表 (11月号)

頁	行	種別	正	誤
463	下1	次号予告	大蔵研究室 …………… 大蔵 明光	複合材料技術センター …………… 山田 嘉昭

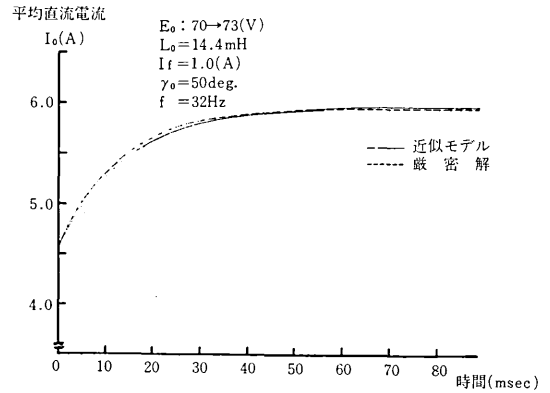


図7 近似モデルと厳密解の比較

ただし、 M'_{12} は電機子-界磁巻線間の相互インダクタンス, I_f は界磁電流。

図7はダンパ巻線の無い非突極機の場合の平均直流入力電流のステップ応答について、近似モデルと厳密解の比較を示している。

5. 結 び

以上、本文では無整流子電動機の電氣的動特性について、応答速度に主眼を置いた解析をし、ダンパ巻線や直流リアクトルが応答速度に与える影響を明らかにした。また、伝達関数モデルを導き、ダンパ巻線無し非突極機については厳密解とよく一致する伝達関数モデルが得られた。今後は、ダンパ巻線付き突極機の伝達関数モデルを導出しようと考えている。(1976年9月20日受理)

参 考 文 献

- 1) 江原, 小山, 原島: 電気学会論文誌, Vol. 94-B, (昭49-11)
- 2) 羽根吉, 原島: 昭和51年電気学会全国大会 (924)
- 3) 原島, 羽根吉: 電学誌, Vol 96, No 5, p 66 (昭51-5)
- 4) W. J. Gibbs: Electric Machine Analysis Using Matrices (1962)
- 5) 内藤, 羽根吉, 原島: 昭和51年電気学会全国大会 (931)
- 6) サイリスタ・エレクトロニクス (サイリスタ装置) p 9 丸善 (昭49)