

突極性およびDCリアクトルを考慮した 無整流子電動機の解析

An Analysis of Commutatorless Motors with Salient-Pole Structure and Finite Size of DC Reactors

原 島 文 雄 *・羽根吉 寿 正 *

Fumio HARASHIMA and Toshimasa HANEYOSHI

1. ま え が き

直流電動機は制御性の良い高性能可変速電動機であるが、整流子、ブラシによる機械的接触機構であるため、安定な運転を維持するには定期的な保守、点検を行う必要がある。これが現在の直流機駆動システムの最大の短所となっている。一方、交流電動機は構造が簡単で堅固であり、保守は容易であるが、可変速電動機としての適用は限られていた。無整流子電動機はこれらの両者の長所を結び付けた保守の容易な制御性の良い高性能可変速電動機である。

逆起電力転流を行わせる自然転流形無整流子電動機は実用上突極構造のものを用いることが多く、DCリアクトルの値は有限であるために、本文は突極性およびDCリアクトルが互いに影響しあった電動機特性について述べる。また、電動機の動作特性についての計算は状態空間法を用いて詳細に行っている。

2. 解 析

図1はDCリアクトルを考慮したダンパ付き突極無整流子電動機の回路図である。

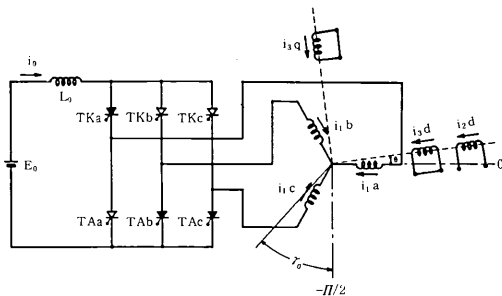


図1 無整流子電動機の回路図

この自然転流形無整流子電動機の回路動作は一動作区間に転流モードと単流モードまたは単流モードとオフ

モードが存在している。この各モードの回路方程式は、 $\alpha - \beta$ 座標系¹⁾で次式のように記述される。

$$PX_j = A_j(t) \cdot X_j \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $j = 1$: 転流モード、 $j = 2$: 単流モード、 $j = 3$: オフモード、 X_j : 状態ベクトル、 $A_j(t)$: 時変係数行列。

また各モードの接続行列は B_{ik} (k から i への接続を示す)で表わす。初めに、 $A_j(t)$ の時変係数項を無視したときの定数行列を D_j とする。この近似方程式の解は状態推移法を用いて簡単に求められる。例えば、一動作区間 T 内に転流モードと単流モードが存在する場合、近似定常解の初期値 X_0 は次式より求められる²⁾。

$$[U - B_{12} \exp \{ D_2 \cdot (T - T_1) \}] \cdot B_{21} \exp (D_1 T_1) X_0 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

さらに、転流モードから単流モードに変わるときの電流条件を付加することによりモードの変わる時刻 T_1 および X_0 が求められる。次に、時変係数形微分方程式(1)の定常解は(2)式より求めた初期値 X_0 からRunge-Kutta-Gill法により繰り返し計算する³⁾。このような手順で計算することにより、(1)式の定常解が比較的短時間に得られた。

3. 計算および実験結果

実験に用いた電動機は、4極、3.7kW定格のダンパ付き突極同期機(回転界磁形)である。この電動機の各定数は電機子巻線 $R_1 = 0.22 \Omega$ 、 $L_d = 10.5 \text{ mH}$ 、 $L_q = 5.93 \text{ mH}$ 、界磁-電機子巻線間 $M_{12} = 0.35 \text{ H}$ 、ダンパ巻線、 $R_{3d}/\omega L_{3d} = 0.137$ 、 $R_{3q}/\omega L_{3q} = 0.149$ 、ダンパ電機子巻線間 $(\omega M_{3d})^2/\omega L_{3d} = 2.46 \Omega$ 、 $(\omega M_{13q})^2/\omega L_{3q} = 1.47 \Omega$ である。DCリアクトルの各端子の実測値は14.4mH、0.16 Ω および123mH、0.43 Ω である。

図2はDCリアクトル14.4mH、回転速度 $N = 1,095 \text{ rpm}$ における電機子電流波形である。図中の実線は計算値および丸印は実測値であり、比較的良く一致している。ここで I_f は界磁電流、 E_0 は直流入力電圧、 r_0 は制御進み

* 東京大学生産技術研究所 第3部

研究速報

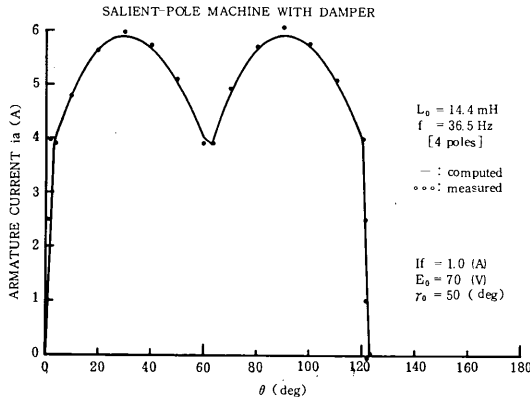


図2 電機子電流波形

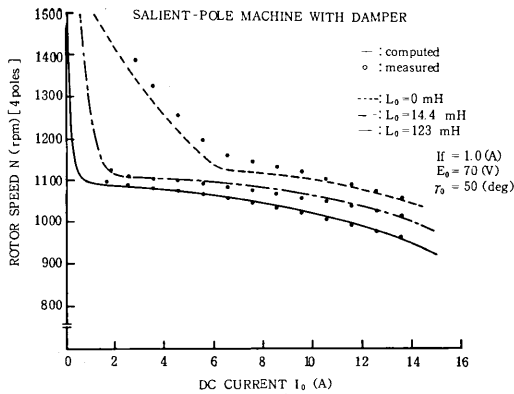


図3 回転速度—直流入力電流特性

角, f はインバータの周波数である。

図3は直流入力電流の平均値 I_0 に対する回転速度 N の特性を示しており、計算値と実測値は比較的良く一致している。従って以後の考察はすべて計算結果によって行い、突極性およびDCリアクトルの特性に与える影響について述べる⁴⁵⁾。

図4は直流入力電流の平均値に対する重なり角および

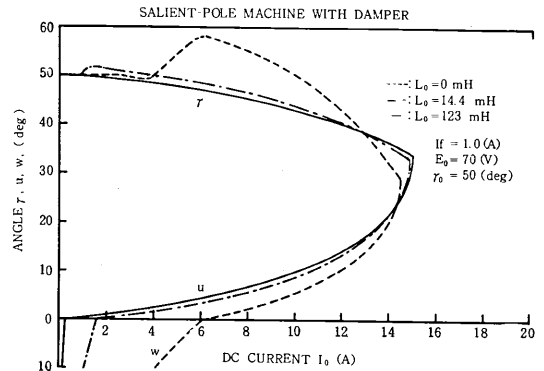


図4 (b) 転流特性

実効進み角を示している。ここで、 u は重なり角、 r は実効進み角、 w は断続角である。突極性がある場合は重なり角を小さくすると共に実効進み角の減少を抑える。従って突極性は転流限界を大きくするように作用している。またDCリアクトルの値が小さくなるほど突極性の強さに関係せず重なり角を小さくすると共に電機子相電圧に含まれる高調波の増加により、電流断続付近で実効進み角を大きくする。しかし直流入力電流の増加によって実効進み角は減少し、転流限界にあまり影響を与えない。次に直流入力電流が連続状態において、突極性はDCリアクトルの値にあまり関係せずに速度変動率を小さくする働きがある。

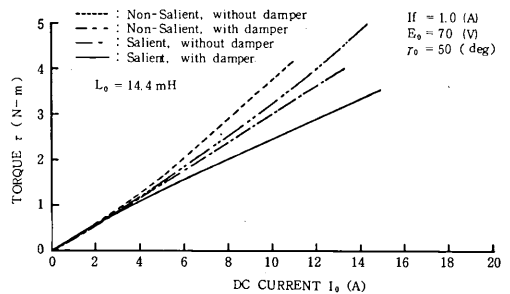


図5 トルク—直流入力電流特性

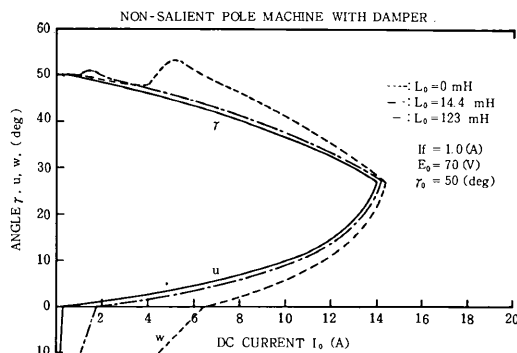


図4 (a) 転流特性

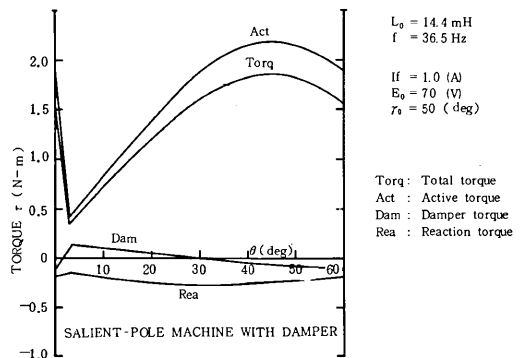


図6 トルク波形

図5はDCリアクトル14.4 mHであるために図2のように脈動している直流入力電流の平均値に対する平均トルクの特性を示している。突極性およびダンパ巻線がある場合は同一直流入力電流に対してトルクを減少している。この理由として次の事が考えられる。図6のように突極性による反作用トルクの平均値は負となり、ダンパ巻線によるダンパトルクの平均値はほぼ零になるためである。

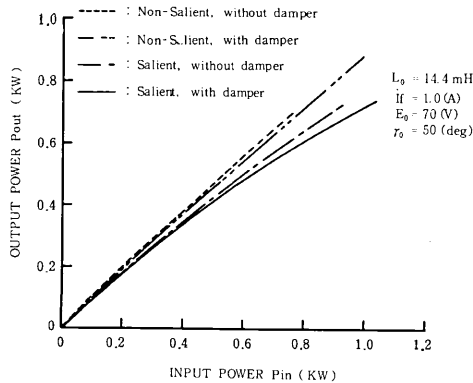


図7 入力-出力特性

図7は直流入力電流が脈動している状態での入力に対する出力の特性を示している。この入力-出力特性に与える突極性およびダンパ巻線の影響は図5のトルク特性に与える影響と同じ傾向を示す。

4. むすび

突極性およびDCリアクトルを考慮した無整流子電動機の回路方程式のような弱い時変係数系を状態空間法を用いて解析する手法について述べ、更に突極性、DCリアクトルおよびダンパ巻線が電動機特性に与える影響について述べた。

(1976年4月19日受理)

参考文献

- 1) 江原, 小山, 原島: 電学誌94-B, 11 (1974)
- 2) 原島: 電学誌解説95, 6 (1975)
- 3) 原島, 羽根吉: シミュレーション技術研究会 vol. III - No. 7 (1975)
- 4) 原島, 羽根吉: 昭和50年電気学会全国大会, No. 917
- 5) 羽根吉, 原島: 昭和51年電気学会全国大会, No. 924

次号予告 (8月号)

退官記念講演

塑性加工とともに40年..... 鈴木 弘

研究解説

イオン結晶の低温塑性とパイエルス力..... { 鈴木 敬愛
金 鉉奎
中村 和夫

研究速報

低速切削における安定性について..... { 近藤 禎孝
佐藤 壽芳

旋削の自励振動における“多重再生効果”について..... { 近藤 禎孝
佐藤 壽芳

サイクロコンバータ回路の入力電流の周波数分布..... { 原島 文雄
稲葉 博
吉田 健

Application of Stable Parameter Identification and Control Scheme for the Classical Lur'e Problem (PART I)..... 福田 敏男

Fatigue Behavior and Uniformly Distributed Cracks of Electrodeposited Iron..... { 松永 正久
萩生田善明

皮膜構造と酸化速度..... { 松永 茂樹
本間 禎一

鋼繊維補強コンクリートの初期ひびわれ強度ならびに伸び能力..... { 趙 力采
小林 一輔

波動エネルギーの地下逸散を考慮した地盤振動の一解析方法..... { 田村重四郎
中村 豊

研究室紹介

藤田研究室..... 藤田 隆史