

コンデンサ放電による小型回転機の瞬時制動について

知野照信*

Instantaneous Braking of a Small Motor by the Discharge of Capacitors

Terunobu Chino

1. ま え が き

電気計測器類, 医療機器, 各種制御機器など, 従来の電気応用機器に使用される電気応動装置は, 機器の小型化, 高性能化に伴ない自動化の傾向にある。具体例として, 高能率の量産化を必要とする小型捲線器やコンデンサー捲取器などでは, 回転部分の瞬時停止や逆回転が必要である。このためカムの連動によるクラッチ制動をはじめ, 電磁制御器なども併用して機械的停止や逆回転がなされている。本報は, これらの部分を機構的にコンパクトにする手段として小型電動機を活用し, それ自体に発電制動を行なうことにより目的を達した。

従来の発電制動では, 別の直流電源が必要であり, 又, 同期速度の1/10ぐらいまでは制御できずが静止直前には起電力の減少が著しく決定的な制動は得られないことが欠点であった。本制動方法は, 電動機の運転中に電源を整流しコンデンサーを充電し, そのエネルギーを利用することにより別の直流電源を省くことができ, 又機械的制動も電動機自身の中で行ない発電制動における欠点を解決した。瞬時停止に多少問題点があったので, 電動機の停止時間や時間的に遅れをきたす原因などを解明した結果である。コンデンサーを利用した制動は, T. V. Sreenivan⁽¹⁾等の報告がある。

2. 回路と動作原理

本回路は, 図1に示す。単相誘導電動機は, 抵抗分相起動, 定格出力200W, 定格回転数1800R. P. Mの電動機を使用した。

本回路の動作は, 今, スイッチ S_2 の ab 間が閉路されている状態で電動機は運転状態にあり, コンデンサー C は, 整流器 SR , 抵抗 R を通じて電源の最大値まで図の極性に充電されている。 S_2 にて ab より bc に切り換わると C に充電されていた電荷は電動機の主巻線 L を通じて放電され, C の値が $800\mu F$ のとき, 最大値約 $28A$ ぐらいの減衰振動電流が瞬時に流れ電動機は励磁される。そして, 電動機及び負荷の慣性によって発電機となり回転子には交流起電力を生じ, 回転子回路にその速度に相当する周波数の交流が流れ発生起電力を回転子中で消費することにより制動が行なわれる。又, 速度が約半減したときに開いていた遠心力スイッチが戻り, その圧力により機械

* 電気工学科

的制動が行なわれ静止に至る。

1) 発電制動トルク

かご形回転子においては棒数を極対数で割った値を相数とし、各相の導線は1本で構成されているとみることができる。したがってかご形回転子の相数 n は、 $n = \frac{2a}{p}$ 但し a : 棒数

p : 極数
となる。

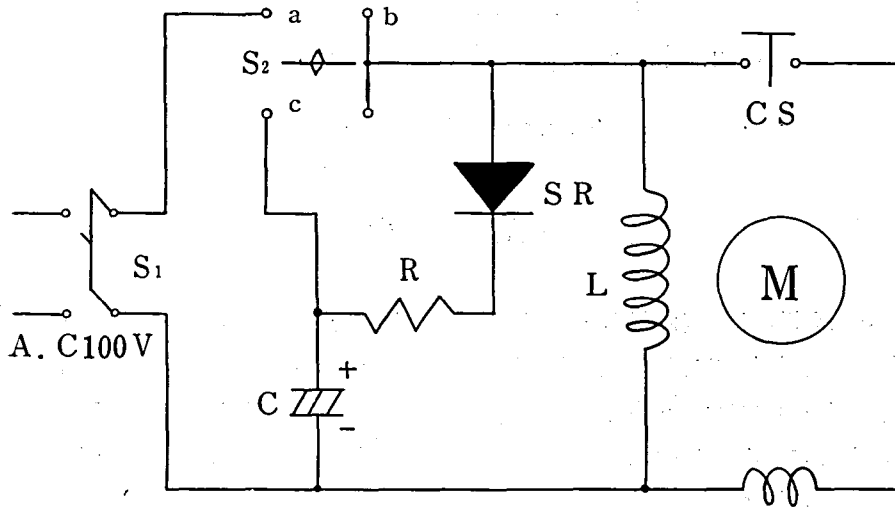


図1 制動回路

そのとき、制動トルクは次の様にして計算される。

図2において、回転子が反時計方向に電気角速度 w で回転しているものとする。固定子と回転子1相の間の最大相互インダクタンスを M とし、相間の軸が θ だけずれたときは $M \cos \theta$ になるものとする。固定子に流す電流を id とすると回転子 $a_1 a_2 \dots a_n$

相の起電力は、

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= M \frac{d}{dt} \cos \theta id \\ e_2 &= M \frac{d}{dt} \cos \left(\theta + \frac{1}{n} 360^\circ \right) id \\ &\dots \dots \dots \\ e_n &= M \frac{d}{dt} \cos \left(\theta + \frac{n-1}{n} 360^\circ \right) id \end{aligned} \right\} (1)$$

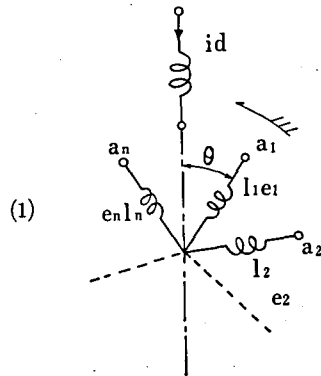


図 2

で求めることができる。

コンデンサの放電電流の平均値を Id とすれば(1)式は、

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= -wMI d \sin \theta \\ e_2 &= -wMI d \sin \left(\theta + \frac{1}{n} 360^\circ \right) \\ &\dots \dots \dots \\ e_n &= -wMI d \sin \left(\theta + \frac{n-1}{n} 360^\circ \right) \end{aligned} \right\} (2)$$

となる。

よって、各相の起電力の実効値 E は、

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega M I d$$

ここで、回転子各相の抵抗を R_2 、各相のリアクタンスを X_2 とすると、各相の電流は、

$$I = \frac{E}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \quad \text{その力率は} \quad \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

となるから消費起電力は n 相分で

$$P_0 = \frac{nE^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2} \quad (3)$$

回転子の機械的角速度は $\omega_r = 2\omega/P$ (P は極数) であるからトルク τ_E は

$$\begin{aligned} \tau_E &= \frac{P_0}{\omega_r} = \frac{1}{\omega_r} \cdot \frac{n(1/2 \omega^2 M^2 I d^2) R_2}{R_2^2 + X_2^2} \\ &= \frac{nP}{4} \cdot \frac{M^2 I d^2}{\frac{R_2}{\omega} + \omega \frac{L_s^2}{R_2}} \end{aligned} \quad (4)$$

但し $L_s = X_2/\omega$

(4)式をみると、制動トルクは励磁電流の2乗に比例し、 ω によって大きく変化し、 $\omega = R_2/L_s$ のときに最大トルクを生ずる。

2. 機械的制動トルク

単相誘導電動機は回転子が静止しているときは二次短絡の変圧器と同様で、回転子にはトルクが働かない。したがって自身で回転を始めることはできないから何らかの方法で起動すればあとは自力で回転することができる。その方法は、主巻線の他に補助巻線をもうけて主巻線と補助巻線の電流に位相差をつけることにより不完全な回転磁界をつくり、回転磁界の方向にトルクを得る。補助巻線は起動時だけ必要で起動後は不必要となるので遠心力スイッチをとおして補助巻線を接続する。このスイッチは回転子が同期速度の70~75%まで加速されたときに切れるようになっているのが普通である。このスイッチの構造を図3のようにすることにより機械的制動を得ている。

機械的制動トルク τ_M は次式で与えられる。

$$\tau_M = R \cdot Q$$

但し R : 制動半径

Q : 制動圧力



図 3 遠心力スイッチの構造

3. 静止時間測定回路

静止時間測定回路は図4に示す。コンデンサー、抵抗、及び電池からなる回路に2個のスイッチをそう入しておく。スイッチ S_1 は電動機のスイッチと連動しており、スイッチ S_2 は電動機が静止すると開かれる構造になっている。 $S_1 S_2$ が閉じている状態でコンデンサー C は電池の電圧 E まで充電されている。今、電動機が電源から切り離されると同時に S_1 は開路され S_2 が開路されるまでの時間、すなわち電動機が静止するまでの時間だけ R を通じて C の電荷が放電される。そのときの C の端子電圧の変化を真空管電圧計で測定することにより静止時間を測定することができる。

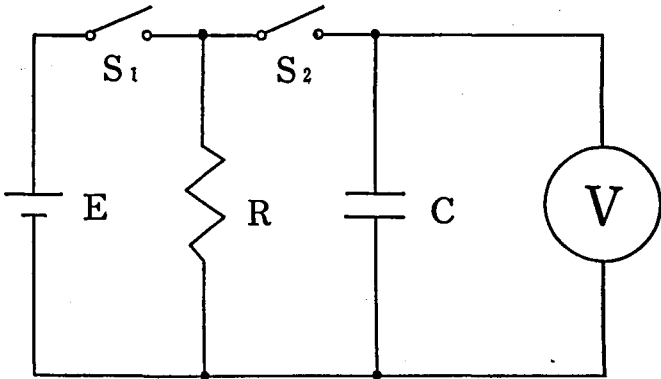


図4 静止時間測定回路

静止時間 Δt は、

$$\Delta t = CR \log \frac{V_0}{V_1} \quad (\text{sec})$$

但し V_0 : 放電前の C の端子電圧

V_1 : 放電後の C の端子電圧

C : コンデンサーの容量 (F)

R : 抵抗の値 (Ω)

で与えられる。

4. 実験結果

図5は、イナーシャをパラメータとしてコンデンサーの容量と静止時間との関係を上記の方法によって測定した結果で10回の平均値をとったグラフである。制動をかけない自然静止の時間は11~12秒である。

図5をみると、コンデンサーの容量が大きくなる程制動効果は良くなり、イナーシャが大きくなる程制動効果は悪くなっている。コンデンサーの容量の小さいときはイナーシャの増大に対して急激に制動効果は悪くなっている。したがって制動効果を良くするにはコンデンサーの容量を大きくイナーシャを小さくしてやれば良い。

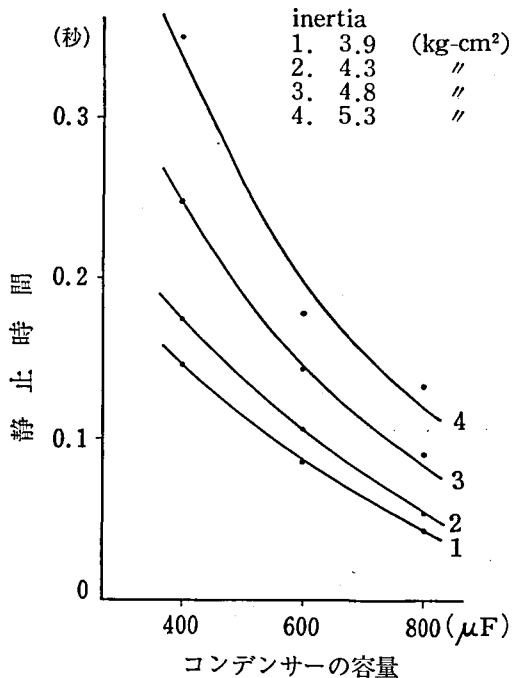


図5 コンデンサーの容量と静止時間

図6は電動機に小型発電機を取りつけ静止の様子をEPR(高感度記録計)で記録させたもので(a)は制動をかけない状態で(b)は制動をかけた状態である。A点で電動機を電源より開路しB点で電動機が静止したことを示している。(a)におけるC点は遠心力スイッチが戻り制動トルクが加わった点を示し、その結果CB間は時定数が短かくなったことを示している。

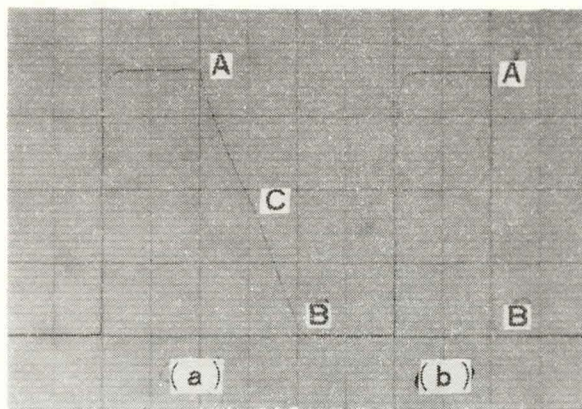
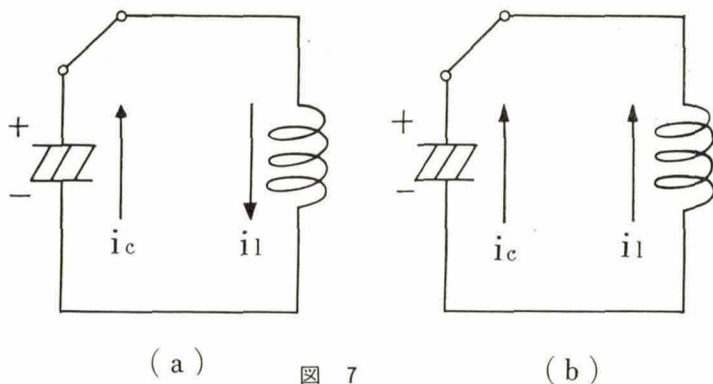


図 6

5. 考 察

シーケンス制御機器として使用する場合、限時開閉接続による瞬時停止や逆回転における時間は画一的であることを必要とするが、本制動方法において多少時間の遅れをとまうことがある。

その原因としてスイッチングの時間の不画一性の影響や電源を切ったときの電動機の主巻線Lの過渡状態の影響などが考えられるが、主に後者の影響が制動効果に大きく左右しているものと考えられる。



主巻線Lを流れる電流が図7の(a)の i_l の矢印の方向の状態のとき、コンデンサーに接続されたとすると、インダクタンスLによって引き続いて矢印の方向へ i_l なる電流が流れるので、コンデンサーの放電電流 i_c と重畳されて制動効果は良くなる。

(b)図の場合は i_l と i_c とが打ち消し合って制動効果は悪くなる。

上記の過渡状態をメモリスコープで示したのが図8である。(a)は回転子の静止状態でのコンデンサーの放電電流波形を(b)~(d)は制動をかけた場合の電流波形である。

(b)は制動効果の良い状態で、電源の負のサイクルから引き続いてコンデンサーの放電電流が流れている。そして、電源を切ってから約30msで静止している。(c)(d)はいずれも制動効果の悪い状態で電源の正のサイクルからコンデンサーに接続され、放電電流を打ち消す結果となっている。

又、電源を切ったからの主巻線Lのインダクタンスによる過渡電流が制動効果に影響をおよぼすことは、電源を切ると同時に主巻線Lを短絡すると制動効果があることが認められるよりも知れる。これは、主巻線Lに蓄えられたエネルギーが放出することにより励磁電流が流れ発電制動⁽²⁾となり制動効果があるものである。

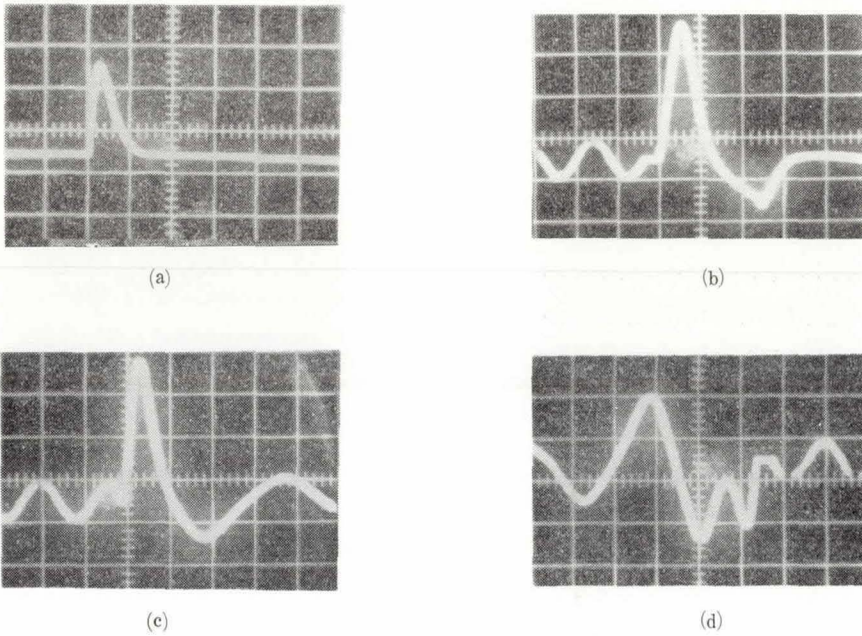


図 8 制動時の電流波形

6. あとがき

小型回転機器をシーケンス制御への応用，コンパクト化することを目的として，小容量の単相誘導電動機を用い，実験及び考察を行ない良い結果が得られたが，静止時間に多少の遅れをきたすことが今後の問題として残る。実際に使用する場合は，要求される条件によるが，かなり優秀な制御が行なえると思う。又，補助巻線の極性を変えることにより逆回転も可能である。

最後に，この研究を終始御援助して下さいました信州大学工学部小木曾敏三郎教授に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) T.V. Sreeivan : Dynamic Braking of 3-phase motors by Capacitors I. E. E p. 279 June 1959
- (2) 竹上・林・本間：昭和42年東海支部連合大会 4a-G-3
- (3) 小木曾・知野：昭和42年東海支部連合大会 3a-G-6
- (4) 小川 信一：電動機制御通論 コロナ社
- (5) 磨部直吉他：電気機器Ⅱ オーム社