

SCR を用いたコンデンサ放電による 小型回転機の間欠運転

知 野 照 信*

Intermittent Motion of a small Motor by the Discharge of Capacitors, using SCR

Terunobu Chino

1. ま え が き

機器の自動化に伴い、正確な送り制御や精密な高頻度の間欠運転、正逆運転が必要である。筆者は、コンデンサ蓄積エネルギーの放出による小型回転機の瞬時制動効果について報告した。前報告では制動効果の良い場合と悪い場合とが認められ、停止時間が画一的でなく問題点があった。この原因は切換えスイッチの部分の機械的な動作であるために、電源からの切換えは電源の一サイクルの任意の時点であることおよび切換時間の不画一の影響と結論した。本報告ではこの部分を SCR を用い無接点化し電気的動作にすることにより問題点を解決した。応用例として周期的な間欠正逆運転を行ない良好な結果が得られたので報告する。

2. 回路と動作原理

図1に回転機と制動回路を示す。この回路の動作は、SCR₁ のゲートを直流信号（又は電源と同期したパルス信号）で点弧すると回転機は運転状態となり、コンデンサCは抵抗R整流器SRを通じて図の極性に充電されている。SCR₁ のゲート直流信号をオフにしSCR₁ がターンオフすると回転機は電源から切り離される。同時にSCR₂ のゲートにはR_g, SR_g, SCR₂, Lを通じてゲート電流が流れSCR₂ はターンオンする。SCR₂ がターンオンするとCに充電されていた電荷は、主巻線Lを通じて放電され回転機は励磁される。したがって回転機は自身の有するエネルギーで発電機となり発電制動が行なわれる。

発電制動は回転数が小さくなると制動効果は急激に悪くなり瞬時停止には至らない。そのため本回転機では回転数が約半減すると開いていた起動用リレーが戻り機械的制動が加わるようになっており瞬時停止に至る。そのときの電気的制動トルク τ_E 、機械的制動トルク τ_M は、

$$\tau_E = \frac{n\dot{p}}{4} \frac{M^2 I_a^2}{w + w \frac{L_s^2}{R_2}}$$

ただし n : 回転子の相数

P : 極数

M : 固定子と回転子一相の最大相互インダクタンス

R_2, X_2 : 回転子各相の二次抵抗およびリアクタンス

I_a : コンデンサ放電電流の平均値

w : 電気的角速度 $L_s = X_2 / w$

$\tau_M = R \cdot Q$
 ただし R : 制動半径
 Q : 制動圧力
 となる。

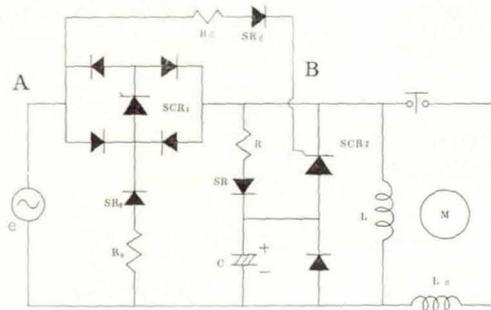


図1 制動回路

SCR_1 のゲート直流信号をオフにしてから SCR_2 がオンになるまでの過程

(i) 図2のbc間で SCR_1 のゲート直流信号がオフになった場合

この場合は、c点まで SCR_1 はオン状態にあり図1のAB間 (SCR_2 のゲート・カソード間)が短絡されているので SCR_2 は点弧されない。c点に至って SCR_1 を流れる電流は零となり SCR_1 はターンオフする。このとき SCR_2 のゲートは順方向電圧となっているからゲート電流が流れ SCR_2 はターンオンし、コンデンサの電荷は放電される。この過渡状態を図3に示す。

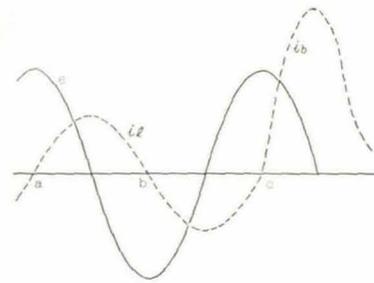


図2

SCR_2 がターンオンすると、 SCR_1 に印加される電圧 V_{SCR_1} は、電圧と電流の位相差が 90° として計算すると

$$V_{SCR_1} = E \cos \omega t - \frac{E e^{-\alpha t}}{\sqrt{1 - \frac{R_0^2 C^2}{4L_0^2}}} \sin(\beta t + \theta)$$

ただし、 L_0 : 主巻線 L のインダクタンス値

R_0 : L の抵抗値

$\alpha = R_0 / 2L_0$

$\beta = \sqrt{\frac{1}{L_0 C} - \left(\frac{R_0}{2L_0}\right)^2}$

$\theta = \cot^{-1}(\alpha/\beta)$

となり、電圧上昇率 dV_{SCR_1}/dt は、

$$\frac{dV_{SCR_1}}{dt} = -\omega E \sin \omega t + \frac{E e^{-\alpha t}}{C \sqrt{\frac{1}{L_0 C} - \left(\frac{R_0}{2L_0}\right)^2}} \sin \beta t$$

となる。図4にその計算値を示す。図4から分るように、 SCR_1 に印加される電圧および電圧上昇率は低く抑えられ充分ターンオフ時間が確保され誤点弧することなく完全にターンオフする。

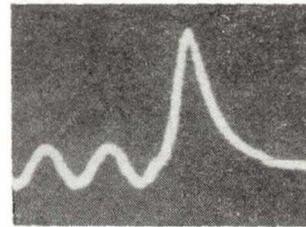


図3 制動時の過渡状態

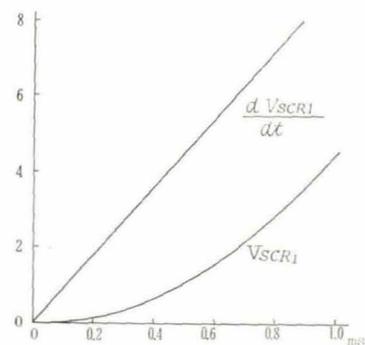


図4 SCR_1 に印加される電圧および電圧上昇率

(ii) 図2のa b間で SCR_1 のゲート直流信号がオフになった場合

この場合は、b点まで SCR_1 はオン状態にあり、A B間が短絡されているので SCR_2 のゲートには電流が流れない。したがって SCR_2 は点弧されない。今、図1の抵抗 R_0 整流器 SR_0 の回路が無い場合を考えてみるとb点で SCR_1 を流れる電流は零となり、 SCR_1 はオフ状態となる。このとき SCR_2 のゲートにかかる電圧は逆方向となっているので、 SCR_2 はターンオンしないでc点でターンオンする。この過渡状態を図5に示す。この状態のときは制動効果が悪いことが認められる。そのため図1のように R_0 、 SR_0 の回路をつくり、電源電圧が SCR_2 のゲートに対して逆方向の期間に SCR_1 の保持電流以上の電流を流しておけば(図6に示す) b点で負荷電流 i_l は零となるが SCR_1 には保持電流以上の電流が流れているので、b点では SCR_1 はターンオフしなく引き続き負荷電流が流れc点に至って制動がかかり図3となる。したがって図2のa b間どの時点で直流信号がオフになっても、c点で制動が行なわれ、また L を流れる電流が零のとき(すなわち L に蓄積されるエネルギーが零のとき)で、 L に蓄積されるエネルギーの影響もなくなり制動効果は画一的となる。しかし、停止時間は最大で電源周波数の逆数の幅 (60Hz の場合約 16.7ms) ができるが実用上ほとんど問題にならないと思う。

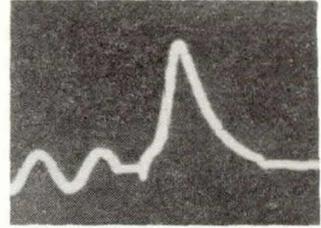


図5 制動時の過渡状態

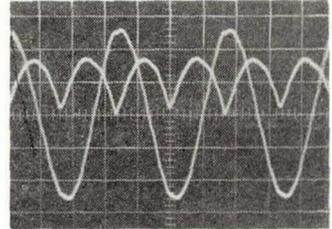


図6 電源電圧および SCR_1 の電流波形

3. 停止時間

前節の τ_E の式において、かご形回転子の二次リアクタンス X_2 は小さいので無視して考えると、次のようになる。

$$\tau_E = \frac{n\phi}{4} \frac{M^2 I_a^2}{R_2} w \quad (1)$$

制動時の運動方程式は、

$$J \frac{dw}{dt} = -\tau w \quad (2)$$

ただし、 J : 電動機軸に換算した合成慣性モーメントとなるから(2)式に(1)式を代入して

$$J \frac{dw}{dt} = -\frac{n\phi}{4} \frac{M^2 I_a^2}{R_2} w \quad (3)$$

となる。(3)式を $w = w_0$ (w_0 : 制動前の角速度) の初期条件で解くと、

$$w = w_0 e^{-\frac{t}{A}}, \quad A = \frac{4JR_2}{n\phi M^2 I_a^2} \quad (4)$$

となる。速度が半減して機械的制動が加わったときを停止とみなして停止時間 (t_1) を計算すると、

$$t_1 = A \ln 2 = \frac{4JR_2}{n\phi M^2 I_a^2} \ln 2 \quad (\text{sec}) \quad (5)$$

となる。 SCR_1 の直流信号オフから制動が行なわれるまでの時間を t_0 とすると、直流信号オフから停止までの時間 T は

$$T = t_0 + t_1 = t_0 + \frac{4JR_2}{nPM^2I_a^2} l n 2 \text{ (sec)} \quad (6)$$

となる。

4. 正逆転回路

単相誘動電動機は補助巻線の極性を変えることにより容易に逆転が出来る。図7に正逆転回路を示す。構成はSCRを用い、ゲートパルスによって補助巻線 L_s を切り換える方法で、今起動時に SCR_{A_1, A_2, B_1, B_2} が点弧されたときを正転とすると、 $SCR_{A'_1, A'_2, B'_1, B'_2}$ が点弧されたときは L_s の極性が反対となり、電動機は逆転をする。

正逆転制御ゲートパルス回路は、ユニジャンクショントランジスタ(UJT)によるし張発振を利用した回路で図8に示す。正逆転切換えは、スイッチ S のオンオフによって行なわれる。今 S がオフのときはトランジスタ T_1 はオフで、コンデンサ C_1 は充電し UJT_1 が動作しトランス T_{r1} にパルスが発生し SCR_{A_1, A_2, B_1, B_2} をトリガーする。 UJT_2 は、 T_2 がオフ T_3 はオンであるから C_2 は短絡されており動作せず T_{r2} にはパルスが得られない。 S がオンのときは、 T_1, T_2 がオン T_3 はオフとなり UJT_2 が動作して T_{r2} にパルスが発生し $SCR_{A'_1, A'_2, B'_1, B'_2}$ をトリガーする。

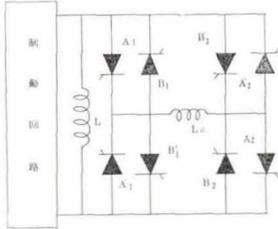


図7 正逆転回路

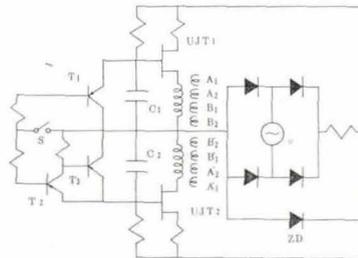


図8 正逆転制御パルス回路

5. 実験結果

回転機は、定格出力200W、回転数1800 R.P.Mの抵抗分相起動の単相誘動電動機を使用した。図9は10秒間隔で運転停止の間欠運転、図10は10秒間隔で正転停止逆転停止の繰返し運転を記録したものである。このときの制動用コンデンサ C の容量は $800\mu F$ で良好な間欠運転が行なわれている。

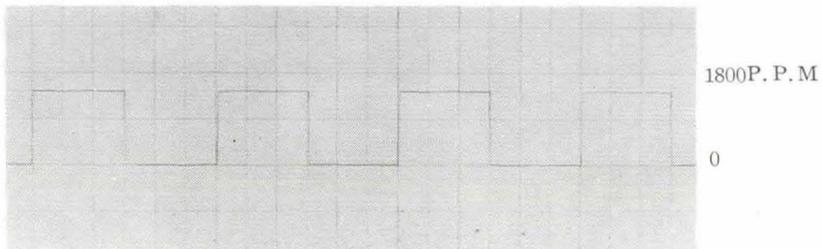


図9 間欠運転

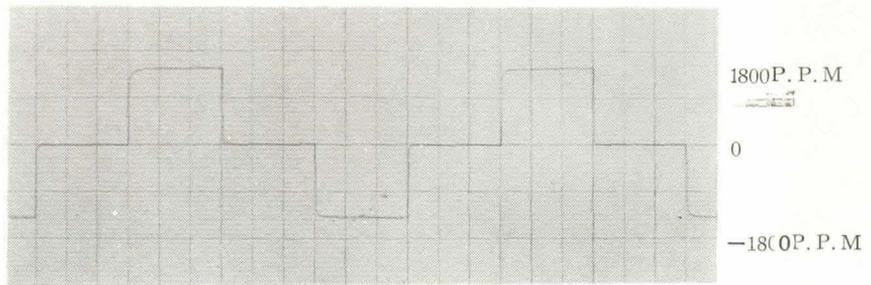


図10 間欠正逆運転

6. あとがき

SCRを用いスイッチ部分を無接点化して、制動がかかる時点を電源と同期化することにより問題点を解決し、停止時間を画一的にすることが出来た。応用例として間欠正逆運転を行ない良好な結果が得られた。

最後に、この研究をまとめるにあたり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感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 小木曾・知野：昭和42年東海支部連合大会 3a-G-6
- (2) 知野・小木曾：昭和44年東海支部連合大会 4p-C-8
- (3) 知 野：長野高専紀要 第2号 1967
- (4) K. Falk : Elektrotech. Z-A, 36. Jahrg., 23. Heft, 12. Nov., 1965

(44. 9. 20 受理)