

マイクロ・プロセッサによるSCR静止レオナード系の デジタル制御システムについて

菅 井 雅 周*

As A Microprocessor - Controlled Digital System of SCR static Leonardo method.

Masahiro SUGAI

要 旨

電動機の可変速駆動技術は、半導体即ちSCRによる電力変換装置の発達により格段の進歩を遂げ、さらに最近のIC技術を含むマイクロ・プロセッサが制御技術回路と回転機を直結し、種々の検出信号、あるいは制御指令信号を操作する完全デジタル制御システムに移り変わり、もはや研究開発の段階を終え実用化の域に達した。

本研究においては、その実用性、速応性、さらにその制御精度を考慮しつつデジタル・サイリスタ・レオナード方式の試作運転を行い良好な結果が得られたので、ここに報告する。

1. システムの運転について

電動機のトルク特性式は、

$$T_m = K\phi I_a$$

加速度・トルク—慣性関係式は

$$T_a = T_m - T_e = (GD^2/375) \frac{dN}{dt}$$

T_m ；電動機発生トルク T_a ；加速度トルク

T_e ；負荷トルク GD^2 ；はずみ車効果

電動機を始動（加速・減速）する場合、負荷トルクの他に慣性体を加速する加速トルクを要する。

急速な加速には、電機子電流 I_a を増せば良いが、始動電流を大きくすると、電源や他の負荷に電圧変動による悪影響を与えたり、電機子巻線や負荷に機械的衝激（ショック）をも与える。又、直流機は、整流子を有するので電機子回路に流し得る始動電流値は一般に平均電流で定格の125%程度である。

$$K\phi I_a = (GD^2/375) \frac{dN}{dt} + T_e$$

とすると、定速度運転時は、

$$K\phi I_a = T_e$$

なる様、電機子電流を一定に保つ、今、負荷トルクが ΔT_e 増加したとすると、

$$\Delta T_e = (-GD^2/375) \frac{dN}{dt}$$

となり、電動機速度は低下する。

よって、速度を一定に保つには、電機子電流を $\Delta I_a (= \Delta T_e / K\phi)$ だけ増し、負荷トルクの増加分を補償しなければならない。

又、速度指令値が変り、電動機を加速する時には、 $K\phi I_a > T_e$ の状態にして、加速トルクを与えてやれば良い。

I_a が大きい程、敏速な加速が可能であるが、電動機に流しうる電流には制限がある。

2. デジタルPI制御について

1. で述べたシステムの運転を自動的に行う為のPI制御アルゴリズムの一般式は、

* 講師 電気工学科

$$Y = K \left(E + \frac{1}{T_i} \int E dt \right)$$

Y ; 出力操作量 E ; 偏差 (設定値と測定値)
 K ; 比例ゲイン T_i ; 積分時間

第一項の P 動作は偏差に比例した操作量の決定であるが、これだけでは定常位置偏差を零にすることが出来ない為、その改善を計る為 I (積分) 動作 (第二項) が加えられる。

T_i は積分時間であるが、 T_i が小程、同じ偏差に対し強い修正動作が働く。しかし、あまり小さくすると安定性が損なわれる。この為、 P (比例)、 I (積分) だけでは、安定性が不十分で、ゲインが上げられぬ場合、これに D (微分) 動作を加え

$$Y = K \left(E + \frac{1}{T_i} \int E dt + T_D \frac{dE}{dt} \right)$$

T_D ; 微分時間

となり制御操作出力 Y は P と I と D なる各動作パラメーターからなる次式と考えられる。

$$Y = Pa + Ib + Dc$$

$$\Delta Y = P (\Delta e_N + I e_N + D \Delta^2 e)$$

ΔY ; 制御操作出力値の単位時間の変化分

Δe_N ; e の単位時間の変化分

e_N ; 設定値-測定値

$\Delta^2 e$; Δe の単位時間の変化分

上式をマイクロ・コンピュータで行わせる為、デジタル系に置き換えると

$$Y_n = K \left(E_n + \frac{1}{T_i} \sum_{t=0}^n E t \right)$$

これを微分し速度型に変形すると

$$\Delta Y_n = K \left\{ (E_n - E_{n-1}) + \frac{1}{T_i} E_n \right\}$$

速度制御ループでは

$$Y_n = I t \quad (\text{電流指令値})$$

$$E_n = N t - N_n \quad (\text{回転数設定値 - 回転数測定値})$$

であるから、

$$\Delta I t = K p (N_{n-1} - N_n) + K (N_t - N_n) \quad (a)$$

K_p , K ; 定数

N_t ; 回転数指令値 N_{n-1} ; 前回の回転数

N_n ; 現在の回転数 ΔI_t ; 電流指令値

となる。

電流制御ループでは、速度制御ループにより、電流指令値 ΔI_t が与えられるが、電機子電流をこの値に制御するには、

$$e_o + R a i_a + L a \frac{d i_a}{dt} = v_a$$

e_o ; 逆起電力 i_a ; 電機子電流

R_a ; 回路抵抗 L_a ; 回路インダクタンス

v_a ; 電機子電圧

であるから、電機子電圧 v_a を調整すれば良い。

上文による説明と同様に PI 制御を行い、微分し速度型に変形すると

$$\Delta Y_n = K \left\{ (E_n - E_{n-1}) + \frac{1}{T_i} E_n \right\}$$

$$Y_n = V_t \quad (\text{電圧設定値})$$

$$E_n = I_t - I_n \quad (\text{電流指定値 - 測定電流})$$

よって $\Delta V_t = K_p (I_{n-1} - I_n) + K_i (I_t - I_n) \quad (b)$ となる。

点弧角制御においては、電流制御ループにて電圧設定値が定まれば

$$V_t = 1.35 v \cos \alpha \quad (v; \text{電源電圧})$$

$$\alpha = \cos^{-1} (V_t / 1.35) \quad (c)$$

により、サイリスタの点弧角が決定される。

(a), (b), (c) 式の電流制御、電圧制御、点弧角制御の三つの機能を併せ持つ演算式を、一度点弧信号を発生してから、次の点弧信号を発生させるまでの時間、即ち単相 50 HZ にては半周期 10 ms, 三相にては 3.3 ms 間で行うことは不可能である。

その為、あらかじめ $\alpha = \cos^{-1} (V_t / 1.35 v)$ に相当するカウント数を記憶しておき、 V_t が決定次第、直接その値を引き出せる様にしておくものとする。

又、駆動状態から回生状態への移行には、コンバーター側からインバーター側への整流器ブロックの切換が必要となり、回路の短絡防止の為、回路電流をサイリスタの保持電流以下として消弧する為、整流器出力電圧を電機子逆起電力以下の状態にて平滑リアクトル etc による持続電流の消滅を待ち、回路電流が零になった事を確認後、サイリスタの点弧信号を消弧し、切換えるべき整流器ブロックに点弧信号を与え回生運転を開始する。

3. 基本動作原理

図. 1 による本システムは、電動機の回転速度 ω_m を決定する要素即ち、電圧制御法、抵抗制御法、界磁制御法の中、電機子電圧を出力電流と回転数とからデジタル PID (比例積分微分) 制御に置き換えた速度調整演算を行い点弧角 α の再決定を PIC (8259) からなる割込処理にて可能にしている。

2. 試作器の動作制御システムについて

電源からの入力としての単相交流電圧を P. T (パワートランス) を介し、LM301AH からなる零クロス回路にて電源電圧の正負で立上り立

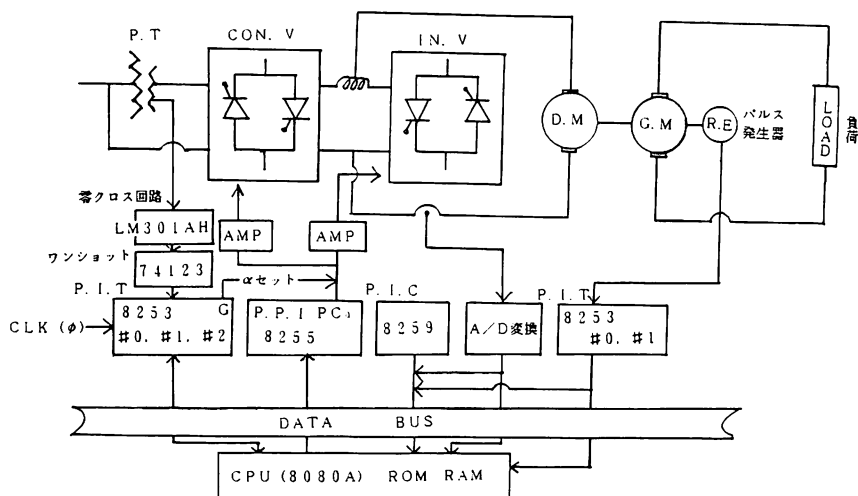


図 1. μ プロセッサによるデジタルSCR静止レオナード・システム

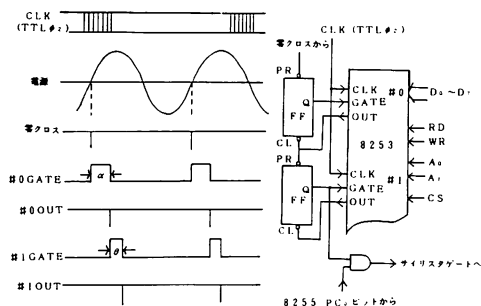


図 2 動作原理図

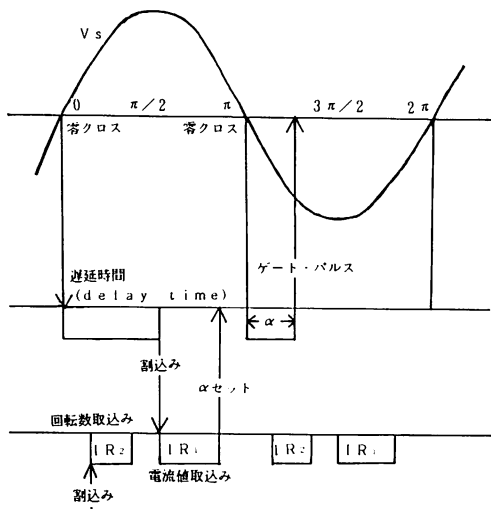


図 3 割込み信号処理とタイムチャート

下る半周期相当の幅広の矩形波を形成する。

この矩形波をSN74123からなるワンショットマルチ回路を通し電源電圧の零クロス点での幅の狭いトリガパルスとする。

図. 2・3にてSN7474のフリップフロップを介したこのトリガパルスによるデジタル信号は、ここでPIT (8253) の#0, #1の書き込み値である点弧角 α , パルス幅 θ (共に下位FF, 上位FF迄 2^{16} 個の書込可能) を形成する。

図. 4 によるメインループとしての速度制御ループでは、R・E (ロータリ・エンコーダ) からPIT (8253) に速度の実際値をPIC (8259) なる割込コントローラを介し取り込み、速度の指令値と比較し、サイリスタの点弧角 α をPID制御により再決定する。

マイナーループとしての電流制御ループでは、電流の実際値をこれ又、PIC8259なる割込コントローラにてA/D変換器を通し取り込み、電機子回路の時定数補償、過電流保護、そして転流失敗、短絡の防止 etc の安全運転の為の整流器切換 (零点検出) の役割を担う。

PPI (8255) の PC_0 ビット目をセット・リセットする事により、モーター加速用のコンバータ動作か、回生制動用又は逆転用のインバータ動作かを振り分け任意の時点でサイリスタ・ゲートをフォトカプラを通し絶縁・増幅し点弧させるものである。

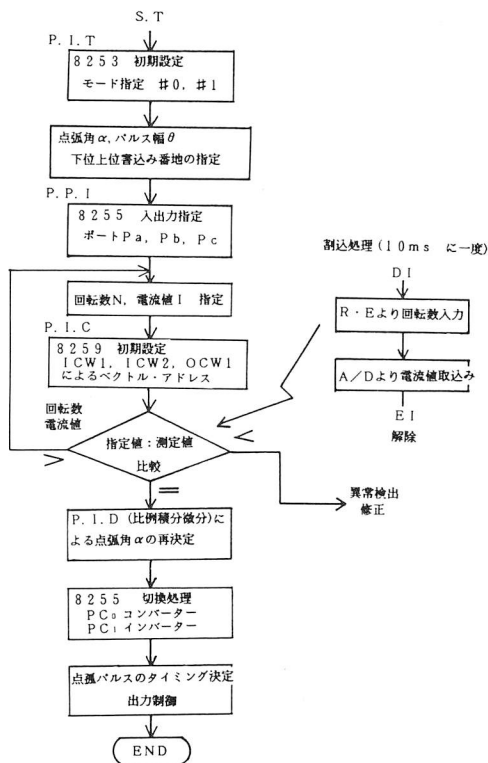


図4 general - flowchart

4. 制 御 波 形

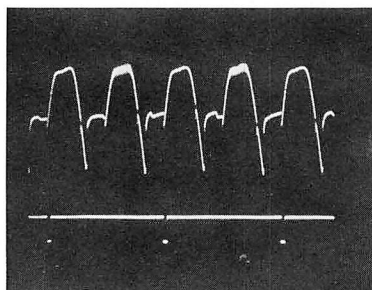
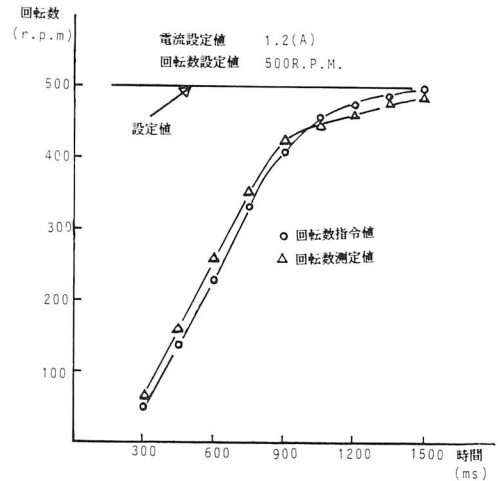
α - Vin
点弧角 入力電圧

図5 始動試験 (0~500 r. p. m)

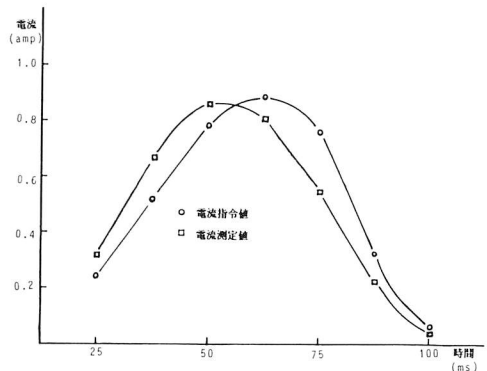
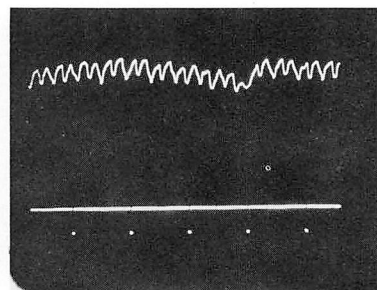


図6 加速試験 (300~700 r. p. m)

α - Vont
点弧角 負荷電圧

5. 結 言

始動時の加速における測定値のバラつきは、電圧一点弧角のテーブル ($V-\alpha$) 作成時の定数として $L=\infty$ と仮定した事による誤差である。

又、図の加速試験における電流値の立上りの遅

れは、PI制御上のパラメーター定数Kを、加速時、減速時(回生時)にて同一定数Kなるパラメータを使用した事に起因し、再考慮し、最適化を計る必要がある。

システムとしては、速度制御、電流制御共、PID制御を行い、目標値がプログラミングにて自

由に制御出来、又、割込処理により、複数の制御の同一処理が可能であるばかりでなく、PIT(8253)からなる下位FF、上位FF即ち、半周期で 2^{16} 個の点弧角 α 、パルス幅 θ が得られる高精度なDDCシステムであると言える。

本システムは、苫小牧高専紀要第16号、情報処理教育研究会(59年)発表のデジタルSCRレオナード方式の完全デジタル化システムとして改良、改善設計し、実用化を目指したものである。

文 献

- 1) 情報処理教育研究会(59年)菅井
- 2) 苫小牧高専紀要第16号 菅井
- 3) 電気四学会北海道支部大会 '78 菅井
- 4) 苫小牧高専紀要第14号 菅井
- 5) マイクロコンピュータシステム
マニュアル全巻 NEC(日本電気)
(昭和59年11月30日受理)

