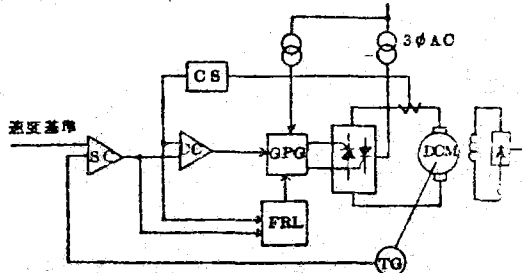


まえがき

現在サイリスタレオナードによる直流電動機はアナログ制御であり、コンパクトで安定した良好な性能を有し、最も多く用いられている。更に高精度化を目指す場合にはデジタル制御のPLL制御方式が研究開発され一部実用化されている。また半導体集積技術の進歩によりマイクロプロセッサが誕生し、その急速な性能向上に伴ないあらゆる分野へ普及してきた。各種電動機に際しても、一部デジタル制御の置換としてのマイクロプロセッサの応用が取り扱われる。同時により広い応用への研究が2～3年前から発表されている。本文ではサイリスタレオナードによる直流電動機の速度制御の現状と上記の新しい制御方式について紹介する。

1. サイリスタレオナード速度制御の現状
 図1-1に現在のアナログ式速度制御回路を示す。電流マイナーループを有しコンパクトで良好な特性を有し、長年の実績がある。一般用途では複数台のモータを速度差を持たせ運転し、その速度差を精密に保つことが要求される場合がある。そのような場合はドリフトによる速度への影響が無視できないのでアナログ速度ループの外側にドリフト補償用のデジタル制御ループを追加することもある。



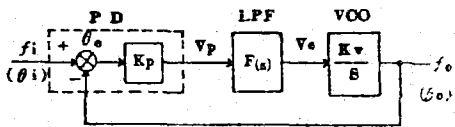
SC: 速度コントローラ TG: 速度発電機 GPG: ゲートパルス発生機
 CC: 電流コントローラ CS: 電流センサ FRL: 電流逆起動ロック

第1-1図 アナログ速度制御回路

2. PLL制御

PLL (Phase-Locked Loop) は従来から通信の分野では良く使用されている。最近回路がIC化されて使い易くまた安価に入手できるようになったため電動機の世界でも、いろいろな分野でその利用が広まっている。

図2-1にその原理図を示す(1)。ここでPDは位相検出器で2つの入力信号の位相差 θ_e に比例した電圧 V_p を出力する。LFFはローパスフィルタであり V_p に含まれるリップルを除き平滑化し、かつ帯域特性を決定する。VCOは電圧制御発振器で入力 V_e に応じた周波数出力を発生する。デジタル式の位相検出器を使用したPLLでは速度基準クロックパルスとモータ速度検出のパルスのタイミングが毎サイクル一致するように、すなわち毎サイクルの位相が一致するように動作する。



PD: 位相検出器
 LFF: ローパスフィルタ
 VCO: 電圧制御発振器

図2-1 PLL原理図

このループが周波数の変化に対して追従するためには制御系はⅡ型以上でなければならない。VCOは出力周波数 f_o に対しては比例であるが出力位相 θ_o に対しては積分系($\theta_o = \int f_o dt$)となるためローパスフィルタ $F(s)$ は通常Ⅰ型にする。

PLLを使用した直流電動機は速度制御ではVCOが直流電動機であると考えれば良い。PLL制御では速度検出に速度発電機を用いず回転数に比例したパルス周波数を発生するセンサを使用するため、直線性が良くドリフトがない。また位相を制御するので位相のドリフトやオフセットによる速度への影響はなくなる($f_e = \theta_e / dt = 0$)。以上のように速度センサの精度が良いこと及び位相制御を行なっていることが高精度の速度制御が可能なる理由である。

PLLをモータ速度制御に使用すれば、一台のモータ速度を基準とした複数台モータの精密調整

回転や、高精度基準クロック信号との同期運転が可能である。

PLLを使用するには次のような特有の問題について注意しなければならない〔2〕。

- (1) 入力信号に含まれる高調波に位相同期しないこと。
- (2) ロックレンジ (Lock Range または Hold-in Range) PLL が位相同期状態を維持できる周波数範囲を意味する。モータの速度制御ではその制御範囲となる。
- (3) キャプチャレンジ (Capture Range または Pull-in Range) PLL が位相同期外れの状態から同期状態に引き込むことが可能な周波数範囲を意味する。モータ速度制御では、速度基準クロックや負荷の変化に対し系の応答遅れにより過渡的に同期外れを生じても再び位相同期状態に戻ることができる運転速度範囲となる。

これらの問題点に対処できる機能を備えた位相検出器やVCOなどのICおよびこれらを一体化したIC等が数年前から容易に入手できるようになっている。その位相検出器用ICを使用した例を図2-2(3)および図2-8(4)に示す。前者はフィードバックループに挿入したプログラマブルカウンタにより段階的に速度を可変にしている。後者は回路をデジタル化している。電圧同期したデジタル正弦関数を得るためPLL周波数シンセサイザ回路とリードオンリーメモリ(ROM)を使用している。また前記PLL周波数シンセサイザの使用により交流電源の歪に対するサイリスタ点弧角の安定度が向上している。

3. デジタル制御

デジタル回路はアナログ回路に比べて温度変化や経年変化による影響がない、直線性が良い、再現性があるなどその他多くの利点を有し、これらの特徴を活かした精度の高い制御回路も考えられる。しかしフィードバック制御に応用するには次のような問題点がある。

- (1) アナログ制御で行なわれているようなPID制御や進み・遅れ補償などの演算あるいはこれらに類した機能を持たせるとき、回路上複雑となる。
- (2) 従って速度制御ループの内側にマイナーループを有するような多重フィードバック制御回路を構成することは回路が一層複雑化し実現が困難である。

以上のような理由から現在のアナログ制御をデジタル化することは難しく、研究発表されている論文も少ない。図8-1にデジタル制御回路の例を示す〔5〕。

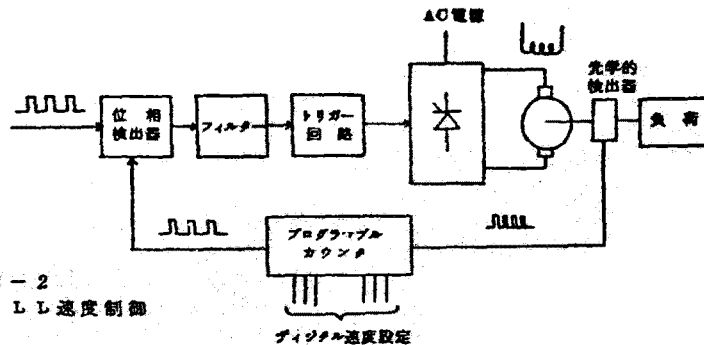


図2-2 PLL速度制御

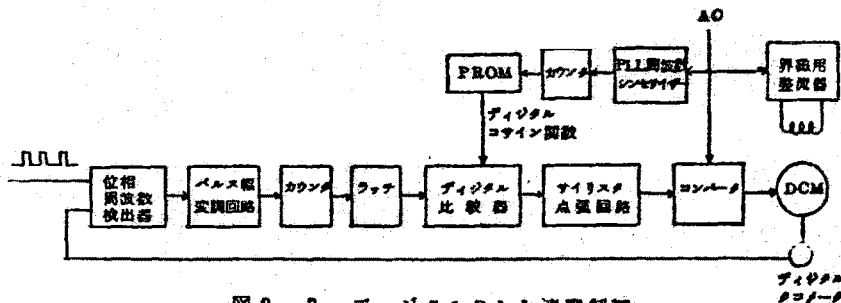


図2-3 デジタルPLL速度制御

1) デジタルタコメータでモータ回転数をパルスカウントし、2進数値としてモータ速度を検出する。
 2) 設定速度と検出速度を比較し補正方向(加速、減速、維持)を決める。3) 速度差の検出。4) 速度差に比例した量だけアップダウンカウンタの値を増減する。5) カウンタの値をD/A変換し更に電圧増幅してモータの端子に加える。200rpmから5000rpmまで運転し、速度誤差は最大速度の±2%以下を得たと報告されている。

サイリスタレオナードではゲートパルス位相制御回路のデジタル化やアナログ速度ループの外側に設けられるドリフト補償用ループなど部分的なデジタル化に止まるであろう。

4. マイクロプロセッサ制御

従来のアナログやデジタル制御ではその機能が部品間の固定配線によって構成される。一方マイクロプロセッサによる制御ではメモリに書き込まれたプログラムという無形のものでその機能が構成される。このように機能形態に本質的な違いがあるためにデジタル回路の持つ利点に加えてマイクロプロセッサ制御は次のような特徴を有する。

- 1) コンピュータとしての機能を有するため、演算の高度化とそれに伴う性能の向上。
- 2) 機能の変更、追加がソフトウェアの変更だけで良く、ハードウェアの変更を伴わないのでフレキシビリティに富む。
- 3) 機能が高度な割にそれらが占める面積(メモリの占有面積)が少なく、今後の半導体集積技術の進歩により周辺回路も含めて更に縮小し得ることが期待できる。
- 4) 8項と同様の理由で部品数が減少し、信頼性が向上する。

上記のような利点を有することから、マイクロプロセッサの近年の性能向上、一層の集積化、使い易さの向上および低価格化に伴って各種モータドライブの専用コントローラとして応用の可能性が高まり、この2~3年研究発表が目立っている。表4-1はサイリスタレオナードによる直流電動機速度制御について、現在のアナログ制御の有する機能と、将来必要とされる機能をあげ、その中でマイクロプロセッサが分担する機能範囲に応じて0からⅤまでレベル区分したものである。レベル0は現在のアナログ制御、レベルⅤはマイクロプロセッサ制御による最終目標である。この区分はマイクロプロセッサによるプログラムの処理速度により決まる。各制御機能中最も高速性を要求されるのはGPGであり次いで順にCC、SCおよび界磁制御、ドリフト補償の順である。従ってレベルが高いほどプロセッサとしてはプログラムを高速に処理できるものでなければならぬ。レベルⅢのもの構成を図4-1に示す。この場合性能の良いデジタル式GPGと直結できる実用化するためにはこのレベル以上のものでなければならぬ。

現在最もポピュラーな8ビット1チップのマイクロプロセッサは、その命令セットの中に乗除算を持たないのでソフトウェアで乗除算を行ない、また制御精度上ソフトウェアで16ビット演算を行なわなければならない。そのためプログラム実行時間中で乗除算の占める割合が相当大きくなるに従ってデジタル乗除算用LSIを用いる必要がある。1チップマイクロプロセッサで、16ビット、乗除算可能なものができればレベルⅢのものは非常に簡単なハードウェア構成で実現できる。またビットスライスの高速マイクロプロセッサを用いてレベルⅣ相当のものを実現した研究も報告されている〔6〕。

表4-1の中での機能6、7、8は各レベルに応じて部分的にマイクロプロセッサの分担機能として取り込むことができるであろう。そのうち、故障検出、保護、故障診断等の機能は別のマイクロプロセッサを使用し、制御用のものと分離した方が信頼性の面から良いと思われる。

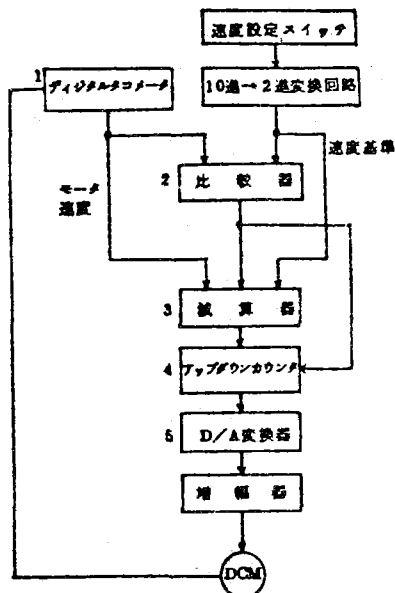


図 8-1 デジタル速度制御

5. まとめ

PLLは製紙用など高精度速度制御に有効である。ACモータ制御では既に実用化されている面もあり、実用化に問題はない。

デジタル回路は現アナログ制御の部分的あるいは追加的な活用に止まるであろう。

今後期待されるのはマイクロプロセッサによる制御である。その特徴を充分生かすにはマイクロプロセッサ自体の今後の性能（特に命令実行速度）の向上による面もあるが、次のようなものがあげられる。

- 1) 計算の高度化に伴なり制御性能の向上
 - 非線形制御、予測制御、最適化制御等の導入
 - ロジックシーケンス（起動、停止、コンバータの順逆切替等）、故障検出、保護機能の取込み。
 - 故障診断や制御定数のオートチューニングなどのインテリジェント化による保守、調整の省力化。
- 2) フレキシビリティ
 - ハードウェアの標準化により用途によるハードウェアの特殊性をなくする。
 - 更にレオナード以外の他機種とのハードウェア共通化により、少量生産のデメリットの打破
- 3) コンパクト化と信頼性向上

あとがき

現在のアナログ制御に代わってマイクロプロセッサを使用した新しい制御方式の導入により、より高性能でインテリジェント性を備えた信頼性の高い直流電動機駆動システムが実現しうることを期待している。

参考文献

- 1) Semiconductor Application Seminar, "PLLとその応用", セトローラ セミコンダクタ ジャパン株式会社
- 2) D.H. Smithgall, "A phase-Locked Loop Motor Control System", IEEE Trans. IECI, Vol. 22, No.4, Nov. 1975, PP. 487-496.
- 3) H. Le-Hay, "A Synchronous Thyristorized DC Motor Drive", IEEE IAS '77 Annual, PP. 491-496.
- 4) B.K. Bose and K.J. Jantzen, "Digital Speed Control of a DC Motor with Phase-Locked Loop Regulation", IEEE Trans. IECI, Vol. 25, No.1, Feb. 1978, PP. 10-18.
- 5) T.J. Maloney and F.L. Alvarado, "A Digital Method for DC Motor Speed Control", IEEE Trans. IECI, Vol. 22, No. 1, Feb. 1976, PP. 44-46.
- 6) K. Kamiyama, et al., "Microprocessor-Controlled Fast-Response Speed Regulator for Thyristorized Reversible Regenerative DCM Drives", IEEE IECI '78 Proceedings-Industrial Applications of Microprocessors, March 20-22, 1978, PP. 216-222.

	1	2	3	4	5	6	7	8
機能	ソフト補償	SC	CC	GPG	界磁制御	リベラント	故障検出保護	故障診断オートプログラム
0	D	A			M	A, D	無	
I	M	A						
II	不用	M	A	M				
III	不用	M	M	D	M			
IV	不用	M	M					
V	不用	M			M			

表4-1 A:アナログ
マイクロプロセッサの D:デジタル
分担する機能の拡大 M:マイクロ
プロセッサ

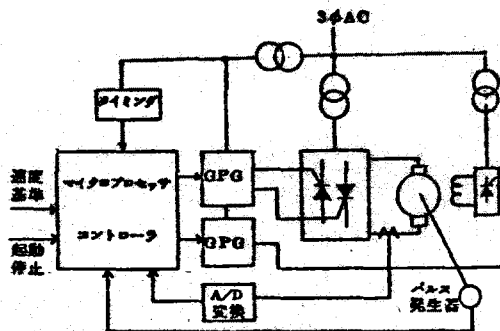


図4-1 レベルⅢ マイクロプロセッサ
速度制御