

PLL-IC による直流電動機精密速度制御 (第2報)

檜崎久矩*・中重文隆**・相島武弘**

DC Motor Precise Speed Control System by Applying PLL-IC (2nd Report)

Hisanori NARASAKI, Fumitaka NAKASHIGE and Takehiro AISHIMA

Abstract

On the preceding paper, the authors expressed the DC Motor precise speed control with PLL-IC and the stability of PLL speed control loop as a sampled data feedback control was emphasized.

This paper (2nd Report) is the research and experimental report on the wide range speed control of DC motor with PLL-IC.

On the stereo turn table drive and the most typical motor speed control with PLL-IC, the speed control range is comparatively small, but on industrial services of motor application wide speed control range is generally expected.

We have developed a new control system, which enables wide range speed control by applying the parallel reference voltage proportional to the setting speed upon the phase comparator output.

In this system, a wide range speed control is roughly operated by the minor speed control loop and only the precise speed control necessitated with motor load torque is executed by the PLL speed control loop.

Accordingly we can decrease the PLL gain and improve the stability of PLL speed control loop.

Two examples, one has an adjustable frequency divider inside of PLL loop and the other outside of PLL loop, are theoretically and experimentally compared.

1. まえがき

電動機速度制御の性能に対する要求は、ますます高度のものになりつつあるが、これにこたえるものとして PLL (Phase locked loop) による速度制御方式がある。第1報に筆者らは、この方式を一般産業用電動機制御に活用する目的で直流電動機の PLL 速度制御系を設計し系の安定性、制御特性、および問題点を明らかにした¹⁾。

しかし、可変速運転に対する速度設定技術に関して速度設定変更方法、複数個の変更箇所などの問題点を残していた。また、PLL 速度制御方式²⁾は、位相制御であるので広範囲に速度を可変することは困難である。

本論文では、PLL 速度制御方式の速度可変の方法特に設定速度比例電圧を位相比較器出力に付加することによる広範囲速度制御方式を紹介し、又サンプル値制御系として安定性の検討も行った。

2. PLL による電動機速度制御系における速度設定変更方法

PLL による電動機速度制御系のブロック図を Fig.1 に示す。電動機速度を可変する方法として、速度検出エンコーダ分周器 2 (Counter 2) の分周比 N_2 を変える方法と、基準側周波数 f_s を可変する方法とが考えられる。

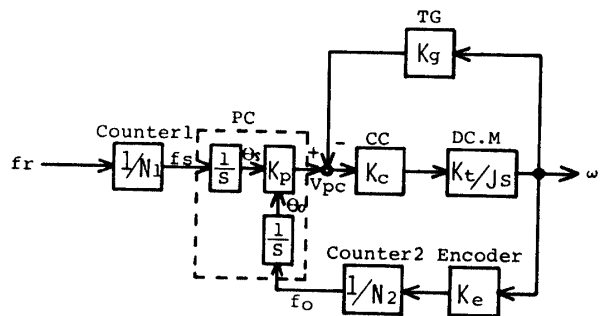


Fig.1 Block diagram of PLL motor speed control system

* 電気工学科
** 大学院電気工学専攻

なお、位相比較器 PC (Phase Comparator) は、デジタル型サンプルホールド方式で鋸歯波を得るのに RC 回路の放電特性を使用しているので基準側周波数 f_s を可変する場合には、その時定数 RC も f_s に比例して設定し直す必要がある。

3. 速度可変の問題点

2で述べた方法では、電動機速度は広範囲に可変できない。このことを、PLL 速度制御系の K-T 特性 (K:ゲイン定数, T:サンプリング周期, $1/f_s$) より考える。

3.1 速度検出エンコーダ分周器の分周比 N_2 を可変する場合

系のゲイン定数 K は、Fig.1より

$$K = K_p \frac{K_c}{K_g \cdot N_2} \tag{1}$$

となり、同期状態 ($f_s = f_0 = \text{一定}$) で PC の出力電圧 V_{pc} と f_s で表わせば、

$$K = K_p \frac{2\pi f_s}{V_{pc}} \tag{2}$$

である。PC の出力特性を、Fig.2 に示している。PC の出力電圧 V_{pc} は、最大 5 [V], 最小約 1 [V] の上限、下限があるので、(2) 式より K の最大値、最小値は、

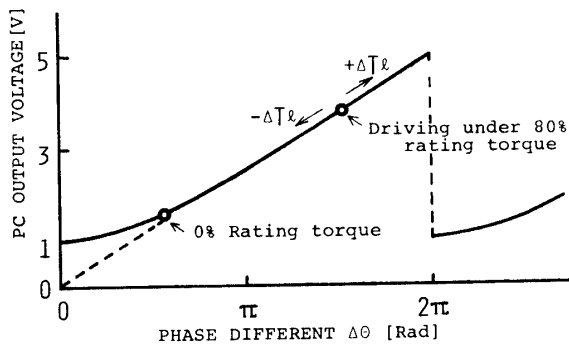


Fig.2 $V_{pc}-\Delta\theta$ characteristic

$$K_{\max} = K_p \frac{2\pi f_s}{V_{pc\min}} \tag{3}$$

$$K_{\min} = K_p \frac{2\pi f_s}{V_{pc\max}} \tag{4}$$

となる。

PLL 速度制御系の K_L-T 特性³⁾は、速度制御系の安定性をサンプル値理論により解析して、サンプリング周期 $T (=1/f_s)$ に対する安定限界ゲイン K_L を求めたものである。

この K_L-T 特性に、(3), (4) 式の $K_{\max}-T$ 特

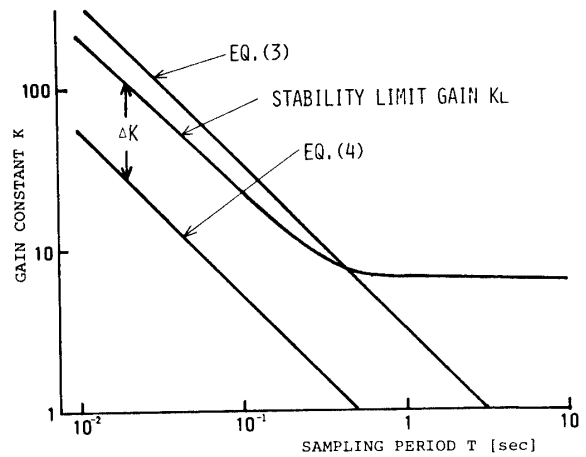


Fig.3 K-T characteristic

性、 $K_{\min}-T$ 特性を付加とすると Fig.3 となる。Fig.3 は、K の可変範囲が $\Delta K (=K_L - K_{\min})$ となっていることを示す。

速度を可変するために、分周比 N_2 を変えれば K と V_{pc} が変化する。ただし、基準側周波数 f_s は一定である。K の可変範囲が、 ΔK なので速度可変範囲は制限される。

3.2 基準側周波 f_s 数を分周比 N_1 により可変する場合

この場合のゲイン定数 K は、系内の定数が変化しないので一定である。ゲイン定数 K は、

$$K = K_p \frac{2\pi f_s}{V_{pc}} \tag{2}$$

であるので、速度を可変するために f_s を大きくすれば V_{pc} も大となり $V_{pc\max}$ をこえると同期がはずれ制御不能となる。 f_s を小さくすれば、サンプリング周期 T が大となり K_L-T 特性から系が不安定となる。

4. 広範囲速度可変方法

3で述べたように、速度可変時に V_{pc} が大きく変化する制御不可能または不安定となるので速度可変範囲を大きくできない。そこで、速度可変に対して V_{pc} の動作点の変化をその線形出力範囲内におさめるために設定速度比例電圧 V_a を V_{pc} に付加する。

4.1 設定速度比例電圧 V_a を加えてエンコーダ分周器の分周比 N_2 を可変する方法

この場合、ゲイン定数 K は

$$K = K_p \frac{2\pi f_s}{V_{pc} + V_a} \tag{5}$$

となる。(1), (5) 式より V_a は

$$V_a = \frac{2\pi f_s K_g}{K_e} \cdot N_2 - V_{pc} \quad (6)$$

となる。\$V_a\$ を分周比 \$N_2\$ すなわち設定速度に比例して (6) 式のように設定する。Fig.4 は、この方法を示したものであり点線で示すところが速度設定変更個所である。

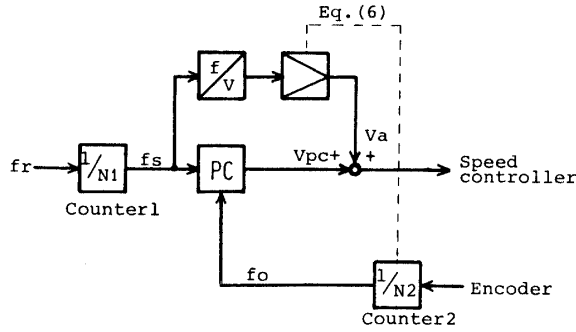


Fig.4 Method of setting speed by Counter 2

4.2 設定速度比例電圧 \$V_a\$ を加えて基準側周波数 \$f_s\$ を分周比 \$N_1\$ により加変する方法

この場合、ゲイン定数 \$K\$ は

$$K = K_p \frac{2\pi f_s}{V_{pc} + V_a} \quad (5)$$

(1), (5)'式より

$$V_a = 2\pi \frac{N_2 K_g}{K_e} f_s - V_{pc} \quad (6)$$

\$V_a\$ を \$f_s\$ に比例して (6)' 式のように設定する。

Fig.5 は、この方法を示したものであり点線で示すところが速度設定変更個所である。なお、位相比較器 PC 内の時定数 RC も変更する。

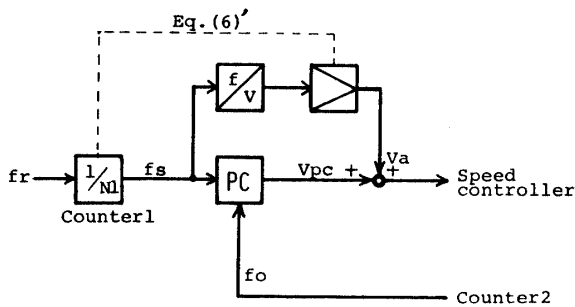


Fig.5 Method of setting speed by Counter1

4.3 \$V_a\$ を付加する意味

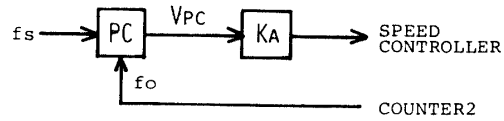
4.1, 4.2とも \$V_a\$ によってオープンループで大まかな速度制御を行い、電動機の負荷変動による速度変動分のみを PLL 制御している。また、(5), (5)' 式で示す様にゲイン定数を下げ PLL 制御の安定性も向上さ

せていることを意味している。これより、Fig.2 で示す \$V_{pc}-\Delta\theta\$ 特性は速度に無関係に負荷トルク [%]-\$\Delta\theta\$ 特性になる。

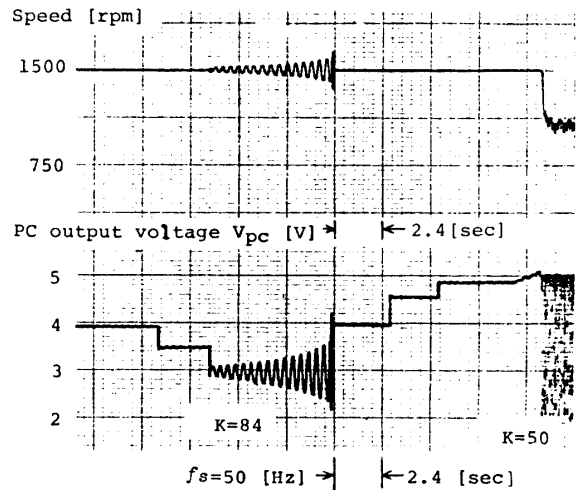
5. 実験結果

5.1 \$L_L-K_{min}\$ 特性および分周比 \$N_2\$ のみ可変 (\$V_a\$ なし) の速度制御結果

Fig.6 (b)は、(a)に示すように位相比較器の PC 出力段に可変ゲインアンプを設けそのゲイン調整によりゲイン定数を変化させ \$\Delta K\$ を実測した一例である。こ



(a) Experimental method



(b) \$V_{pc}-K\$ characteristic

Fig.6 Measurement of \$\Delta K\$ (\$=K_L - K_{min}\$)

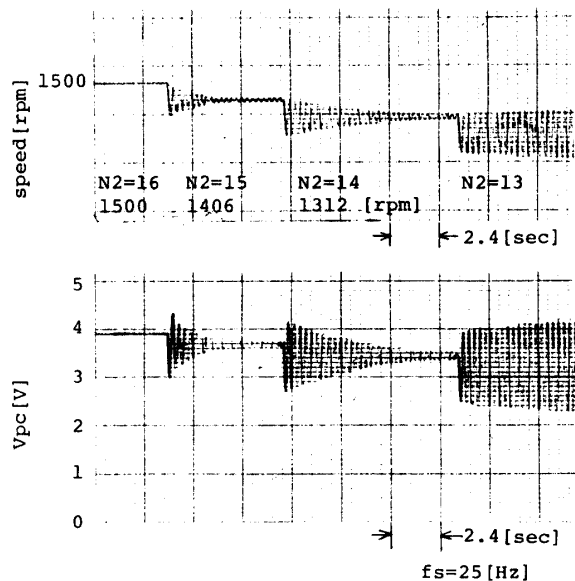


Fig.7 Speed change by counter 2

の場合、速度一定即ち分周比 N_2 一定で制御不能および不安定とはならない K の範囲を求めたものである。すなわち、速度可変に無関係に K がこの範囲内であれば速度可変が可能であることを示す。

Fig.7は、分周比 N_2 だけを変えて速度可変した場合である。分周比を下げていくにしたがって K が大きくなり、ついに K_L オーバーし不安定になっている。これは、分周比 N_2 だけの可変では、速度可変範囲を広くとれないことを示し、3.1 で述べた問題点を示すものである。

5.2 広範囲速度制御 (V_a を付加した場合) 結果

4.1 の方法により速度設定を変更する場合、 N_2 と V_a をロータリースイッチによって同時に切り換えている、この場合の実験結果を Fig.8 (b) に示す。同様に、4.2 の方法により速度可変する場合、 N_1 , 時定数 RC, V_a をロータリースイッチにより可変しその結果を Fig. 9 に示す。電動機速度は、375, 750, 1,500 [rpm] と可変した。Fig.8 (a), Fig.9 (b) に $V_{pc}-\Delta\theta$ 特性を示しているが、広範囲に速度可変しているにもかかわらず V_{pc} の動作点を速度に無関係に設定できている。

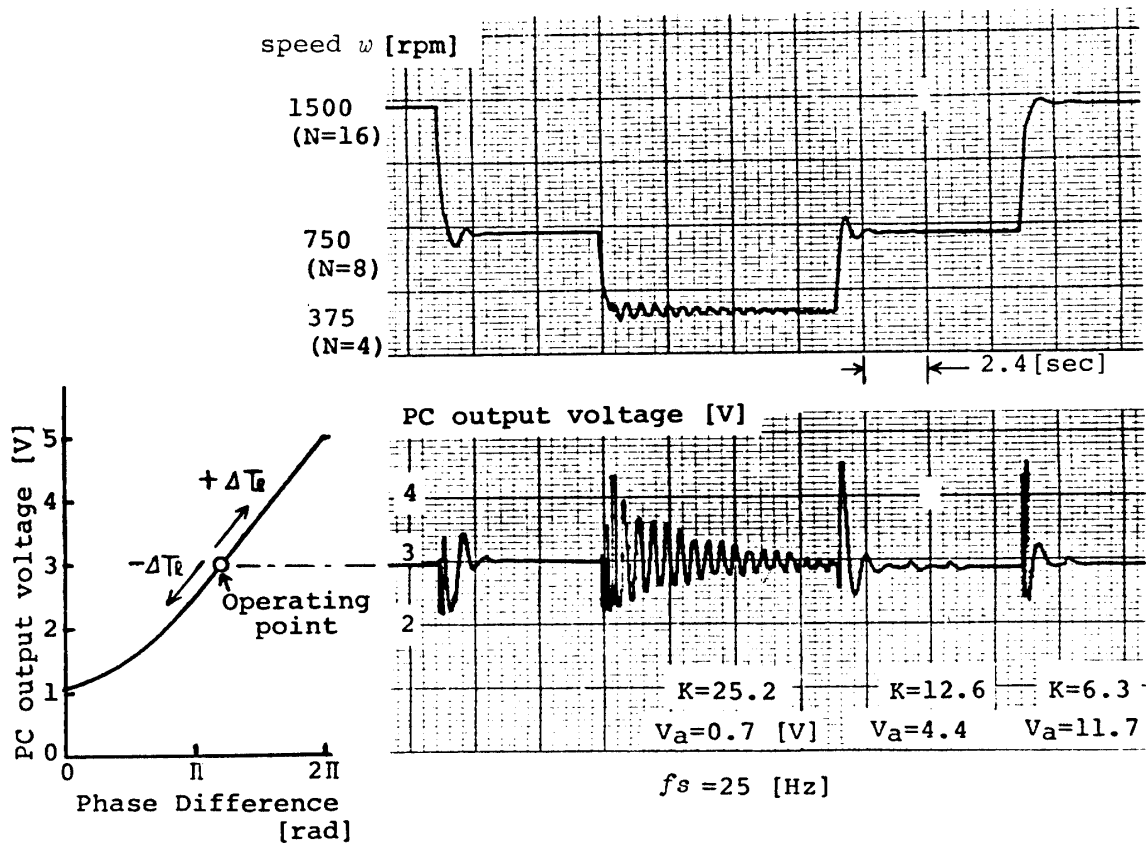
6. 上記2つの広範囲速度可変方法の比較

Fig.10 は、 K_L-T 特性で、2つの速度可変方法の安定性を示している。 N_1 change は、基準周波数 f_s を変化する場合であり、 N_2 change は、エンコーダ分周比 N_2 を可変する場合である。速度が低い場合、 N_1 change, N_2 change においてゲイン定数 K が K_L に近づき不安定になる可能性がある。設定個所を考えると、 N_2 change による速度可変は PC 内の時定数 RC を変更する必要がなく簡単であるといえる。

7. まとめ

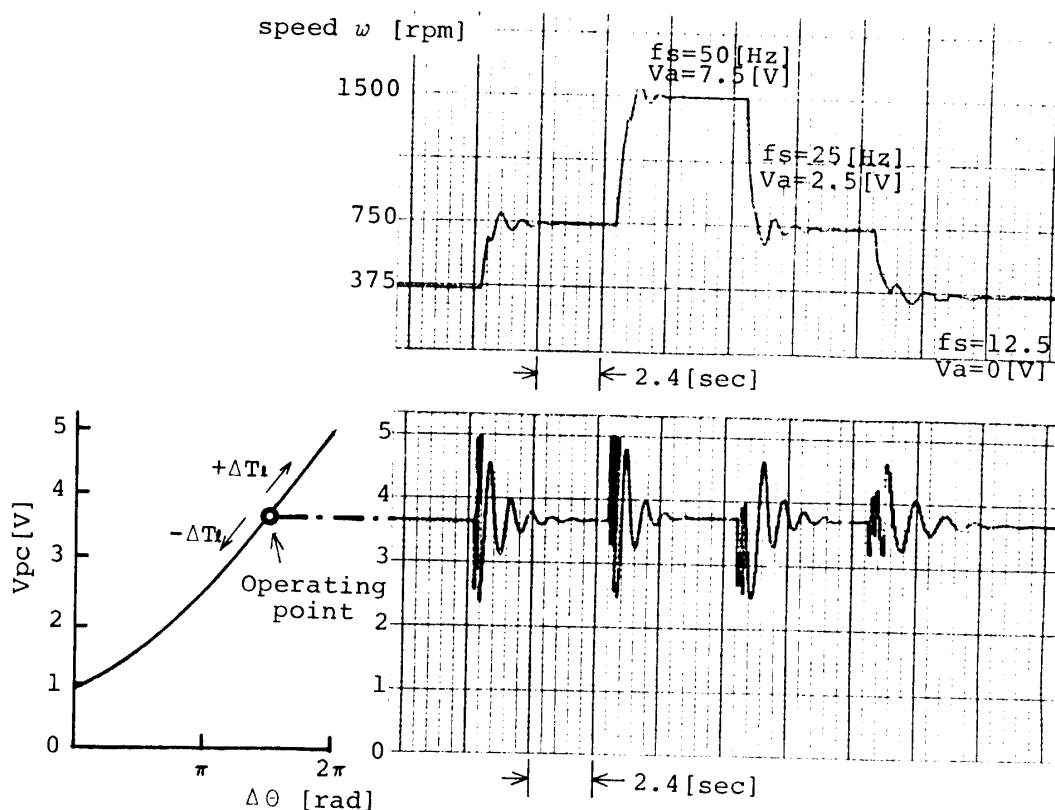
本論文で、PLL 電動機速度制御系における速度可変の方法について検討を行なった。以上の考えをまとめると次の通りである。

1. 速度検出エンコーダ分周器の分周比または基準側周波数だけを可変して速度を可変したのでは、位相比較器の出力に制限があるため速度可変範囲は広くとれない。
2. 速度可変範囲を広範囲にするために、設定速度比例電圧を位相比較器出力に付加するという方法をとった。これは、設定速度比例電圧により速度



(a) $V_{pc}-\Delta\theta$ Characteristic (b) $V_{pc}-\omega$ Characteristic

Fig.8 Speed change by counter 2



(a) $V_{pc}-\Delta\theta$ characteristic (b) $V_{pc}-\omega$ characteristic

Fig.9 Speed change by counter 2

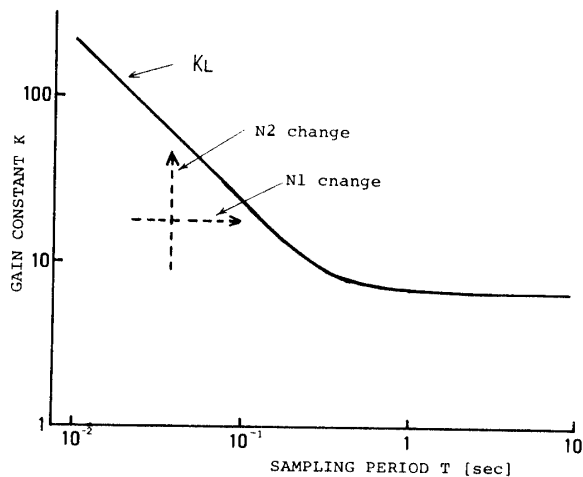


Fig.10 K-T characteristic

制御を広範囲に行ない、PLL 速度制御でトルク変動等による精密速度制御をするようにしたものである。これにより、広範囲に速度可変が可能になった。

3. 設定速度比例電圧によって、系のゲイン定数を

上げる事ができ、系の安定性を向上できた。

以上の結果によって、PLL による電動機の広範囲な精密速度制御が可能になったものとする。

最後に、本研究を行なうにあたって御支援いただいた本学足立宜良助教授、池田技官、前報の筆者の一人である本学大学院卒業生 NGO DINH PHONG 君に深く感謝します。なお、実験その他について何かと御援助いただいた本学卒論生鍋島晋君、竹井敏博、小田宏三君に感謝します。

参考文献

- 1) 橋崎久矩, NGO DINH PHONG: 山口大学工学部研究報告, 29, 2, 39 (1979)
- 2) 井上堅治, 中岡睦雄, 丸橋徹: 回転機研究資料, RM-78-24 (1978)
- 3) 橋崎久矩, NGO DINH PHONG: 第21回自動制御連合講演会講演論文集, 2007, (1978)

(昭和54年10月15日 受理)