

回轉子 초퍼로 制御되는 슬립·링 誘導電動機의 動特性

Dynamic Performance of Rotor Chopper Controlled Slip-Ring Induction Motor

白 壽 鉉*

東國大工大

1. 序 論

슬립·링 誘導電動機 回轉子에 外部抵抗을 挿入 가변하면 슬립-토포크 特性은 比例推移하게 되므로 이러한 特性을 이용하여 起動토포크를 증대시키거나, 언고자 하는 速度 및 토포크를 일정하게 유지시키기 위한 방법 등이 요즈음에도 많이 쓰여지고 있는 실정이다.

더우기 回轉子에 적절한 임피던스를 挿入하면 抵抗을 가변시키므로서 一定起動토포크, 一定速度 特性 등을 얻기 위한 많은 研究들이 試圖된 바 있다.

그러나, 슬립·링 誘導電動機의 가장 간단한 速度制御方法은 回轉子 抵抗을 가변시키므로서 이룩할 수 있다. 誘導電動機에서 回轉子 抵抗을 변화시키면 同期速度 이하의 넓은 범위에 걸쳐 速度 변화를 얻을 수 있으며, 작은 起動 電流로 큰 起動토포크를 얻을 수 있다.

그러므로, 큰 起動電流 때문에 給電線路에 심한 영향을 미치는 경우와 일정 速度 및 일정 토포크를 요구하는 電動機 特性을 간편하게 얻고자 하는 경우 回轉子 抵抗 변화에 의한 誘導電動機는 유력하게 쓰여지며 起動토포크가 크고, 빈번한 起動이 요구되고 빠른 可減速度를 필요로 하는 鑄造, 製鐵工場의 捲上機 및 크레인과 같은 應用面에 사용되고 있다.

중래의 回轉子 抵抗은 수동조작에 의한 계단변화를 주게 되므로 時間應答이 늦고 速度변화가 심하므로 바람직한 機械의 出力을 얻을 수가 없었다.

그러나, 최근에 이르러서는 電力用 半導體의 눈부신 발전에 힘입어 중래의 回轉子 抵抗변화에 의한 電動機 運轉에서 문제되었던 난점을 극복할 수 있게 되었다.

이와 같이 바람직하지 못한 난점은 슬립·링 誘導電動機 回轉子에 3相 브리지 整流回路와 초퍼로 制御되는 外部抵抗을 연결하므로써 해결할 수가 있다.

P. C. Sen은 回轉子 초퍼로 制御되는 誘導電動機 特性을 等價回路 모델을 써서 해석하였으나, 回轉子 脈動成分 처리 및 초퍼회로에 대한 상세한 규명이 없었고, G. K. Dubey는 초퍼회로의 多様な 素子算定을 圖式的으로 해석하고 設計過程을 제시하였으며 回轉子 초퍼회로에 轉流作用을 보완하기 위하여 轉流회로에 補助電源을 사용한 바 있다.

S. S. Kelkar는 轉流회로에 補助電源을 사용하는 경우 단점인 電力損失을 줄이기 위한 개선된 초퍼회로를 발표한 바 있으나 制御 범위가 축소되는 결함이 있었다.

M. Sakui 등은 精密等價回路를 써서 電動機 特性을 구하고 W. J. Louw 등은 2個의 極點을 갖는 간단한 閉루우프 制御를 試圖한 바 있다. 그밖에 이分野에 관한 많은 研究가 발표된 바 있으나 대부분의 研究들은 回轉子 초퍼로 制御되는 誘導電動機 特性에 관한 것이었고, 閉루우프 制御系 구성을 시도한 課題들은 별로 없는 형편이며 閉루우프 制御系에 대해서 발표한 研究文獻들은 制御系の 구성이나 理論 解析에 있어 미흡한 점이 있다고 생각되어진다.

그러므로, 本 研究에서는 閉루우프 制御系를 設計 試作하여 이 制御系의 動的 모델을 전개, 이론 계산으로 구한 過渡應答 特性과 그 비교 검토하는데 力點을 두었다.

2. 閉루우프 速度制御系の 구성

전체적인 閉루우프 制御系는 그림 1과 같이 블록線圖로 표시된다. 3相 슬립·링 誘導電動機의 回轉子側에는 필터와 초퍼회로가 연결되어 있으며 速度饋還信號를 얻기 위해 電動機와 同一軸에 타코계네레이터를 연결하였다.

한편, 直流회로에 小抵抗을 直列로 연결시켜 回轉子電流를 검출했다.

초퍼회로의 듀티週期는 電流制御器의 出力電壓 e_1 의 변화에 따라 制御되도록 하였고 電氣動力計를 電動機 同一軸에 연결하여 負荷를 변화시켰다.

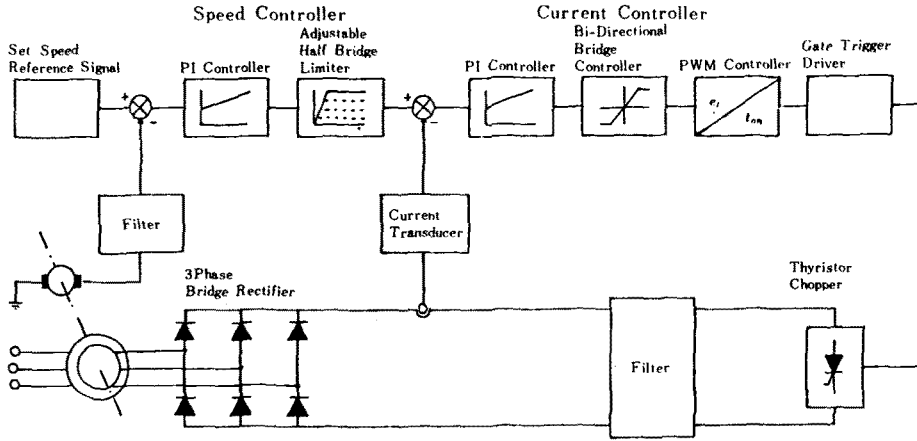


그림 1 슬립·링誘導電動機의閉루우프制御系

3. 小信號動搖에 대한動的 모델

(1) 閉루우프制御系の傳達函數

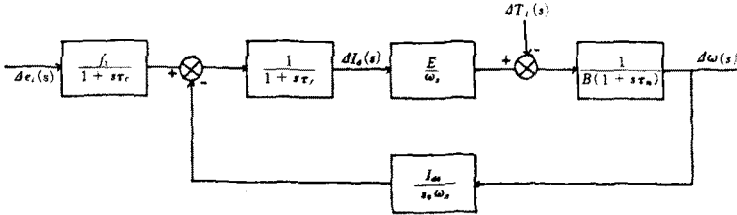


그림 2 초퍼로制御되는 슬립·링誘導電動機의小信號블록線圖

$$\frac{\Delta I_d}{\Delta e_c}(s) = \frac{f_i(1+s\tau_m)}{(1+s\tau_r)(1+s\tau_m)+K_{ev}}$$

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta e_c}(s) = \frac{[E/(\omega_s \cdot B)] \cdot [f_i/(1+K_{eb})]}{(1+s\tau_i)(1+s\tau_i)(1+s\tau_m)}$$

(2) 閉루우프制御系の傳達函數

가. 電流制御 루우프만을 갖는 경우

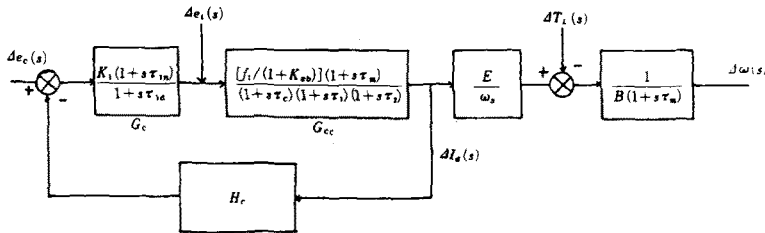


그림 3 電流制御 루우프의 블록線圖

$$\frac{\Delta I_d}{\Delta e_c}(s) = \frac{G_c(s) \cdot G_{cc}(s)}{1+G_c(s) \cdot G_{cc}(s) \cdot H_c}$$

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta e_c}(s) = \frac{\Delta I_d}{\Delta e_c}(s) \cdot \frac{E}{\omega_s} \cdot \frac{1}{B(1+s\tau_m)}$$

$$= [K_1 f_i / (1+K_{eb})] (1+s\tau_{id}) (1+s\tau_m) \cdot [(1+s\tau_c) (1+s\tau_i) (1+s\tau_d) + f_i / (1+K_{eb})]^{-1} (1+s\tau_m)(1+s\tau_m) H_c \cdot K_1^{-1}$$

$$= G_c \cdot \frac{E}{\omega_s} \cdot \frac{1}{B(1+s\tau_m)}$$

나. 電流制御와 速度制御 루우프를 갖는 경우

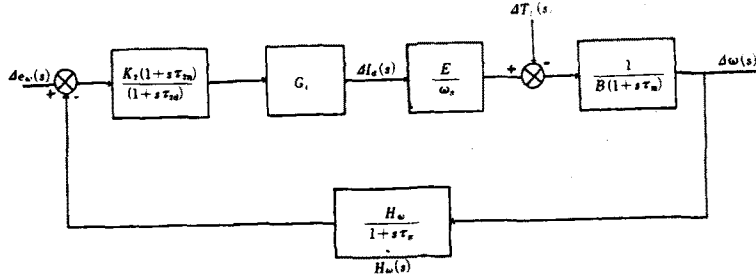


그림 4 속도제어 루우프의 블록 선圖

$$\frac{\Delta I_a(s)}{\Delta e_\omega(s)} = \frac{\omega_s \cdot B \cdot G_{c\omega} \cdot G_i (1 + s\tau_m)(1 + s\tau_R)}{B \cdot \omega_s (1 + s\tau_m)(1 + s\tau_R) + E \cdot H_\omega \cdot G_{c\omega} \cdot G_i}$$

$$\frac{\Delta \omega(s)}{\Delta e_\omega(s)} = \frac{E \cdot G_{c\omega} \cdot G_i (1 + s\tau_R)}{B \cdot \omega_s (1 + s\tau_m)(1 + s\tau_R) + E \cdot H_\omega \cdot G_{c\omega} \cdot G_i}$$

4. 動特性的 算出에 要求되는 數值

定常狀態 動作點 근방에서의 電動機의 小信號 動特性을 얻기 위해 이론計算 및 實驗에서 택한 定常狀態 動作點 및 이에 따라 결정되어야 할 制御系統 各要素의 設計 數値는 다음과 같다.

i) 動作點에서의 電動機 速度: 1080(rpm)

電動機의 슬립: 0.4

回轉子 回路의 直流側 平均電流: 8.4(A)

초퍼의 온 週期: 2(ms)

ii) PWM에 가해지는 電壓 e_c 에 따라 변하는 펄스 폭 t_{om} 의 關係

$$T: 5 \text{ (ms)} \quad t_i: 2.5 + 1.2 e_i \text{ (ms)}$$

따라서 $\Delta t_i / \Delta e_i = 1.2 \text{ (ms/V)}$ 최대 허용 e_i 의 변화범위: $\pm 2 \text{ (V)}$

iii) 各 制御系統 要素의 利得과 時定數

$$H_c: 0.01 \text{ (V/A)} \quad H_\omega: 0.0159 \text{ (V/rps)}$$

$$K_1: 1.03 \quad K_2: 1.08$$

$$\tau_{1n}: 6.99 \times 10^{-4} \text{ (s)} \quad \tau_{2n}: 3.66 \times 10^{-4} \text{ (s)}$$

$$\tau_{1d}: 7.2 \times 10^{-4} \text{ (s)} \quad \tau_{2d}: 0.044 \times 10^{-3} \text{ (s)}$$

$$\tau_c: 2.5 \times 10^{-3} \text{ (s)} \quad \tau_R: 0.0235 \text{ (s)}$$

$$\tau_m: 0.078 \text{ (s)}$$

5. 結 論

본 연구에서 小信號 동요 모델로 구한 해석법은 슬립·링 誘導電動機의 動特性을 究明하는데 有用한 手段이 됨을 알 수 있었으며 좀더 양호한 速度變動率과 速應性を 갖도록 閉루우프 制御系를 모델로 전개하여 動的應答를 계산한 결과는 實驗結果와 거의 일치하였다.

動的應答 特性은 速度와 電流階躍을 갖는 경우 速應性이 많이 개선되었으며 比例積分制御器의 성능에 따라서는 速度變動率을 거의 없앨 수 있음을 알 수 있었다.

그러므로, 回轉子 초퍼로 制御되는 슬립·링 誘導電動機는 閉루우프 制御系로 할 경우 비교적 정밀도가 낮고 起動토크가 크게 요구되는 호이스트 電動機, 크레인용 電動機 등에 적용이 될 것이며 閉루우프 制御系로 구성할 경우 速度 制御의 정밀도가 높게 요구되는 응용분야에 적절히 쓰여질 수 있다고 판단된다.

參考文獻

1. N. S. Wani and M. Ramamoorthy, "Chopper Controlled Slip-Ring Induction Motor," IEEE Trans., Vol. IECI-24, No. 2, pp. 153-161, 1977.
2. S. S. Kelkar and S. K. Pillai, "A Modified Rotor Chopper for Speed Control of Slip-Ring Induction Motors," Proceedings of the IFAC Symposium on Control in Power Electronics and Electrical Drives, Dusseldorf, pp. 557-574, 1977.
3. Masaaki Sakui et al., "Characteristics of Wound Rotor Induction Motor Using Rotor Chopper Control," JIEE (Japan), Vol. 98, pp. 947-953, 1978.
4. 白壽鉉, 李成範, "回轉子 초퍼로 制御되는 誘導電動機의 實驗의 考察," 대한전기학회 전기기기 연구회, Vol. 7, No. 1, pp. 8~12, 1981
5. 白壽鉉, "슬립·링 I·M의 回轉子 結合回路 解析 및 速度 制御 範圍 改善에 관한 研究," 대한전기학회 전기기기 연구회, Vol. 7, No. 2, pp. 15~20, 1981.