

SCR을 이용한 電氣自動車の 速度制御裝置의 設計와 試作

논문
24~6~2

A New Design of the SCR type Speed Controller for the Battery Powered Electric Vehicles

黃 熙 隆*
(Hee Yeung Hwang)

Abstract

A new design method for the SCR-Chopper type speed controller of the battery-powered vehicles was developed.

The conventional speed-controllers were either inductance type or contact type using resistance. In the new method, a photocoupler was used in sensing the control currents and a noncontacting type photo-conductive device (CDS) was used in making acceleration.

Experiments using these new devices showed encouraging results.

1. 緒論

電氣自動車는 1873년에 英國人에 依하여 試作되었으나¹⁾ 電源用蓄電池가 너무 무겁고, 一充電走行距離가 짧으며, 充電時間이 길고 制御裝置가 잘 開發되지 않아서 近來까지 別로 實用化되지 못하였으나 石油波動으로 인한 油價의 폭등, 有害排氣가스 오염에 의한 公害 등의 문제로 電氣自動車の 필요성이 다시 대두되어 近來先進各國에서 다부어 開發에 힘쓰고 있다.

一般으로 電氣自動車の 構成은 그림 1과 같이 되어 있는 바, 이中 종래의 制御裝置는 악세러레이타로서 接觸可變式抵抗을 使用하여 왔는데²⁾ 이거은 機械的衝擊으로 인한 接觸不良 등의 문제점이 많고, 電動機電流

10)를 쓴 電流出裝檢置를 導入하여 새로운 制御裝置를 研究하였다.

이 制御裝置의 一般的인 設計方法을 導出하였고 이 方法에 따라 分數馬力直流直卷電動機用 制御裝置를 設計試作하고 實驗을 行하였다.

2. 設計條件

電氣自動車の 制御裝置를 設計하려면 먼저 電源과 驅動用電動機가 決定되어야 하는데 本 研究에서는

- (1) 電源 : 單獨電池
- (2) 電動機 : 直流直卷電動機
- (3) 電動機速度 : 1펄스기간 一定
- (4) 制御 : 악세러레이타패턴에 따른 定電流制御

인 경우에 對하여 取扱하였다. 走行用 制御裝置는 電流制御式 方式을 擇하였다. 制御은 機械的制動으로 하기로 한다.

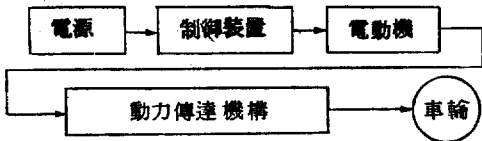


그림 1. 전기자동차의 구성
Fig. 1. System diagram of battery powered

의 檢出은 抵抗降下法 또는 磁電增幅器를 使用하여 왔는데 前者는 主回路와 制御回路의 直接接觸된 缺點이 있고 後者는 正確도가 別로 좋지 않은 문제점이 있다. 本 研究에서는 光導電素子를 使用한 非接觸形 악세러레이타와 光結合絶緣素子(Optically coupled isolator)

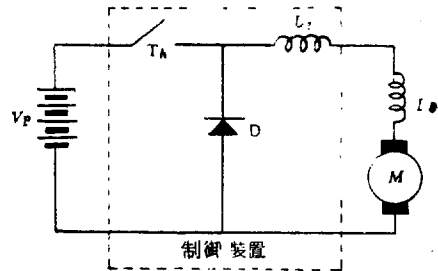


그림 2. 速度制御裝置
Fig. 2. Speed controller

*正會員·서울工大 助教授
接受日字 : 75年 9月 15日

그림 2는 理想的인 電氣自動車の 速度制御裝置 構成圖이다^{7), 8), 11), 12)}.

3. 制御裝置設計

3-1. 電氣制御式 制御裝置의 構成

그림 2. 에 電動機 M의 負荷가 결정되면 電動機가 내어야 할 토크가 결정되게 되는데 이 토크를 發生 시키려면 電動機에 이에 해당하는 電流를 흘려 주어야 한다. 그런데 電氣電壓이 일정한 상태에서 전동기에 任意的 一定電流를 흘리려면 싸이리스터 Th로서 電動機의 電流를 빠른 速度로 斷續(on-off)하여 얻는 方法이 가장 바람직하다. 즉 軟세레레이타로 願하는 一定 電流의 上限値와 下限値를 設定하고 전동기의 瞬時電流가 이 範圍內에 있도록 制御하는 것이다^{3), 15)}. 그림 3은 이 定電流制御式 制御裝置의 電流波形이다.

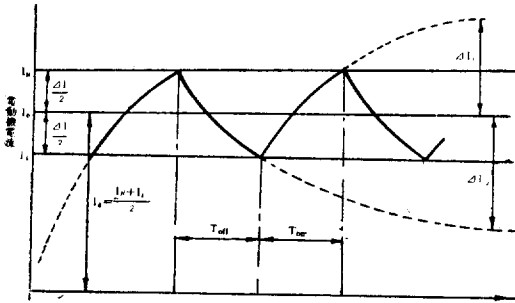


그림 3. 制御器의 電動機電流波形
Fig. 3. Motor current wave-form with current control

그림 4는 이 制御裝置의 構成圖이고 그림 5는 速度 制御裝置의 主回路圖이다^{2), 6)}

여기서 C는 整流콘덴서이고 L1 및 L2는 콘덴서 C의 逆充電인덕턴스이다. 또 抵抗 R은 SCR1이 通電時間이 긴 경우 콘덴서 C의 電荷가 自己放電하여 充電電壓이 감소하는 것을 防止한다.

3-2. 外部인덕턴스 Ls(External Inductance)와 電流幅(Current Width)

그림 5에서 印加電壓 v는

$$v = e_s + e_b + ir_t + L_s \frac{di}{dt} + N_s \frac{d\phi}{dt} + nK_s \phi \dots \dots \dots (1)$$

이다 一般的으로 直卷電動機에서는

$$\phi = C_0 + C_1 i + C_2 i^2 + C_3 i^3 \dots \dots \dots (2)$$

로 놓을 수 있다.
 式(1) 및 式(2)를

$$i = I_0 + \Delta i \dots \dots \dots (3)$$

$$v = V_0 + \Delta v \dots \dots \dots (4)$$

로 하여 微小信號線型化하면

$$\Delta v = R_t \Delta i + L_t \frac{d\Delta i}{dt} \dots \dots \dots (5)$$

$$V_0 = e_s + e_b + I_0 r_t + E_0 \dots \dots \dots (6)$$

이 된다. 여기서

$$R_t = r_t + nK_s (C_1 + 2C_2 I_0 + 3C_3 I_0^2) \dots \dots \dots (7)$$

$$L_t = L_s + N_s (C_1 + 2C_2 I_0 + 3C_3 I_0^2) \dots \dots \dots (8)$$

$$E_0 = nK_s (C_0 + C_1 I_0 + C_2 I_0^2 + C_3 I_0^3) \dots \dots \dots (9)$$

$$I_0 = \frac{I_H + I_L}{2} \dots \dots \dots (10)$$

이다.

그림 3에서 電流가 I_L일 때 $\Delta i = -\frac{\Delta I}{2}$ 인 경우 이므로 (5)式을 풀면

$$\Delta i = \Delta I_1 - \left(\Delta I_1 + \frac{\Delta I}{2} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \dots \dots \dots (11)$$

이고 여기서

$$\Delta I_1 = \frac{V_B - V_0}{R_t}, \tau = \frac{L_t}{R_t}, \Delta I = \frac{I_H - I_L}{2}$$

이다. 電流가 I_H 되었을때 回路를 開放(off) 시키면 電流는 다시 감소하는데 電流가 通한 期間을 計算하여 보면

$$T_{on} = \tau \ln \frac{\Delta I_1 + \frac{\Delta I}{2}}{\Delta I_1 - \frac{\Delta I}{2}} \dots \dots \dots (12)$$

가 된다. 電流가 I_H로 부터 감소하여 I_L 가 되면 回路는 다시 通電(on) 되는데 電源으로부터 電流가 흐르지 못한 동안의 電流 및 期間(T_{off})을 計算하여 보면

$$\Delta i = -\Delta I_2 + \left(\Delta I_2 + \frac{\Delta I}{2} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \dots \dots \dots (13)$$

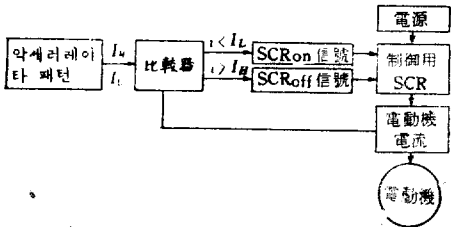


그림 4. 定電流制御器의 블럭 線圖
Fig. 4. Block diagram of current controlled controller

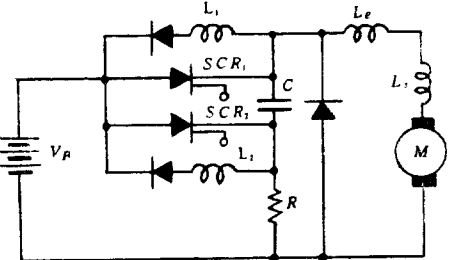


그림 5. 制御器의 主回路
Fig. 5. Main circuit diagram of controller

$$T_{off} = \tau \ln \frac{\Delta I_2 + \frac{\Delta I}{2}}{\Delta I_2 - \frac{\Delta I}{2}} \dots\dots\dots(14)$$

가 된다. 여기서

$$\Delta I_2 = \frac{V_0}{Rt}$$

이다. 이 回路에서 스위칭 주파수(Switching Frequency)는

$$f = \frac{1}{T_{on} + T_{off}} [Hz] \dots\dots\dots(15)$$

가 된다. 그림 6은 ΔI 가 一定할 때 V_0 變化(或은 n)에 따른 이 制御器의 스위칭 주파수 f 와 스위칭 시간을 그린 것이다¹⁾.

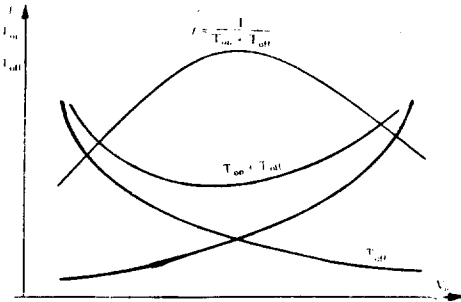


그림 6. 制御器의 스위칭 周波數와 스위칭時間
Fig. 6. Switching frequency and switching time

最大스위칭 주파수 f_m 은 $V_0 = \frac{V_B}{2}$ 일 때가 되는데

$$f_m = \frac{V_B}{4L_1\Delta I} [Hz] \dots\dots\dots(16)$$

가 된다.

整流用콘덴서를 使用한 SCR 쇼퍼에서는 스위칭 주파수가 增加하면 整流損失(Commutating Loss)이 增加하여 보통 最大 스위칭 주파수 300(Hz)를 잡고 있다¹⁵⁾

그러므로 f_m 이 定해지면

$$L_1\Delta I \geq \frac{V_B}{4f_m} \dots\dots\dots(17)$$

가 되도록하여야 한다.

式(17)에서 L_1 가 定해지면 外部인덕턴스 L_s 는

$$L_s = L_1 - N_s(C_1 + 2C_2I_0 + 3C_3I_0^2) \dots\dots\dots(18)$$

이 된다.

3-3. 最低通電時間(Minimum 'on' time)

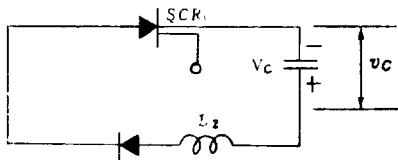


그림 7. SCR₁ 開放時콘덴서 C의 充電狀態
Fig. 7. Charge of capacitor with SCR₁ open

그림 5와 같은 SCR 쇼퍼에서 最小通電時間은 整流 콘덴서 C를 逆으로 充電하는데 要하는 時間에 依하여 결정된다.

SCR₁이 開放되어 있을 때 콘덴서 C는 그림 7과 같이 充電되어 있는데 SCR₁이 通電되면

$$v_C = V_C \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} \sin(\beta t + \theta) \dots\dots\dots(19)$$

이다. 여기서 $\theta = \tan^{-1} \frac{\beta}{\alpha}$, $\alpha = \frac{R_2}{2L_2}$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{L_2C} - \left(\frac{R_2}{2L_2}\right)^2}$$

R_2 : 逆充電回路의 抵抗

V_C : 콘덴서 初期充電電壓

이다. 콘덴서가 最大로 逆充電되었을때의 時間 T 및 電壓은¹³⁾

$$T = \frac{\pi}{\beta} \dots\dots\dots(20)$$

$$v_{cm} = V_C e^{-\frac{\alpha}{\beta} \pi} \dots\dots\dots(21)$$

이다 式(21)에서

$$\left| \frac{v_{cm}}{V_C} \right| = e^{-\frac{\alpha}{\beta} \pi} \dots\dots\dots(22)$$

이고 이값은 클수록 좋다. 이값을 0.9 이상으로 하려면

$$\left(\frac{R_2}{2L_2}\right)^2 < 0.001 \frac{1}{L_2C} \dots\dots\dots(23)$$

$$\text{즉 } Q > 16 \dots\dots\dots(24)$$

이어야 한다.

$$\text{여기서 } Q = \frac{\omega_2 L_2}{R_2}, \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2C}}$$

이다.

式(23)을 式(20)에 代入하면

$$T \approx \pi \sqrt{L_2C} \dots\dots\dots(25)$$

가 된다.

3-4. 電流測定裝置

從來의 電流制御式 速度制御裝置에서 電動機電流測定은 直流抵抗法과 磁氣增幅器法이 主로 使用되어 왔다. 前者의 경우는 전동기 회로와 제어장치가 電氣의 으로 함께 接續되어 있는 것이 缺點이고 後者の 경우는 測定誤差가 比較的 많은 것이 缺點이다. 本研究에서는 電流測定을 光結合絕緣素子(optically-coupled isolator FCD 810)¹⁶⁾를 利用하였다. 그림 8.은 이를 利用한 電流測定回路圖인데 負荷電流 $i=0$ 일때 $i_d = I_{d0}$, $i_c = I_{L0}$ 라 하면

$$E_0 = E_C - I_{L0}R_L$$

되게 하여 $e=0$ 가 되게 한다.

그림 9는 그 等價回路인데 負荷電流가 흐르면 發光

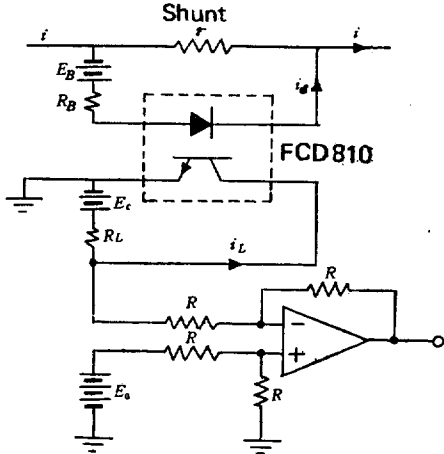


그림 8. 光結合絶緣素子를 利用한 電流測定裝置
Fig. 8. Current detecting device using optically coupled isolator

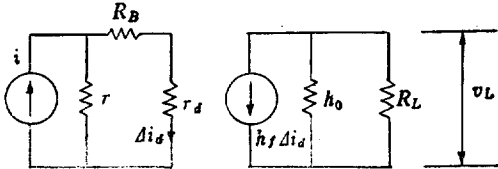


그림 9. 光結合絶緣素子の 等價回路
Fig. 9. Equivalent circuit of optically coupled isolator.

다이오드電流 및 光트랜지스터 出力 電壓의 變分은

$$di_d = \frac{r}{R_B + r_a + r} i$$

$$v_L = -\frac{h_f R_L}{1 + h_o R_L} \cdot \frac{r}{R_B + r_a + r} i$$

가 된다. 그림 8에서

$$e = -v_L$$

$$= \frac{h_f R_L}{1 + h_o R_L} \cdot \frac{r}{R_B + r_a + r} i$$

이다.

3-5. 악세러레이타(Accelerator)

電流制御式速度制御裝置에서 악세러레이타의 役割은 制御電流의 上限値와 下限値를 定해주는 것이다. 從來의 이와 같은 用途의 악세러레이타는 接觸式可變抵抗을 使用하여 왔는데 이것은 機械的衝擊으로 因한 接觸不良의 問題가 있어 지양되고 있다.

(a) 악세러레이타

本 研究에서는 非接觸式可變抵抗으로서 光導電素子(Photo. conductive cell-Cadmium sulfide)를 使用하였다. 이 素子の 抵抗은

$$R = k \frac{L - r'}{A} \quad [\Omega]$$

가 된다. k 와 r' 은 常數이고 L 은 照度, A 는 照射面積인데 여기서 照度を 一定하게 하고 照射面積을 可變하여 抵抗을 變化시키는 方法을 택하였다. 그림 10은 악세러레이타의 構造인데 발로 페달을 밟으면 照射面積 A 가 變化하여 抵抗이 變化한다.

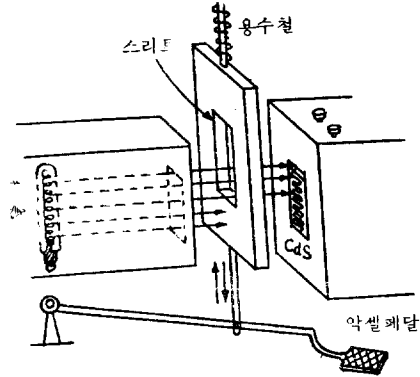


그림 10. 악세러레이타의 구조
Fig. 10. Schematic diagram of accelerator

(b) 電流幅設定

電流幅을 주는 方法에는 크게 나누어 두가지 方法이 있다.

(1) 一定電流幅制御

制御할 電流幅을 平均電流에 關係없이 일정하게 하는 方法이다. 그림 11-(a)는 이 回路圖이다. 여기서 V_L 및 V_H 는 I_L 및 I_H 의 기준치가 되며

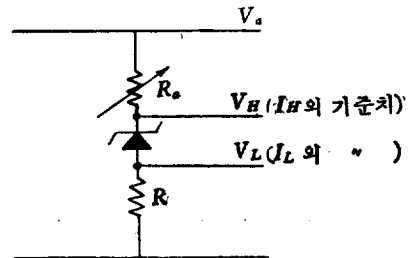


그림 11-(a). 一定幅 악세러레이타
Fig. 11-(a). Accelerator with constant current width

$$V_L = \frac{R(V_a - V_s)}{R_o + R}$$

$$V_H = V_L + V_s$$

가 된다. 그림 11-(b)는 R_o 變化에 對한 V_H , V_L 의 變化를 그린 것이다. 즉

$$V_H - V_L = V_s \text{ (일정)}$$

V_s 를 一定하게 하면서 負荷電流의 平均値를 變化시킬수 있다.

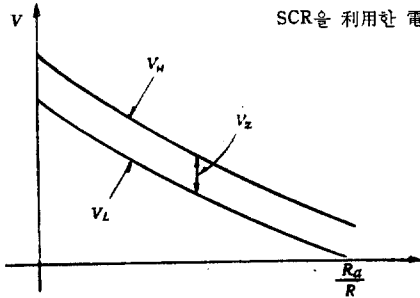


그림 11-(b). 액세러레이타의 특성곡선
Fig. 11-(b). Characteristics curve of accel.

(ㄴ) 可變電流幅制御

負荷의 平均電流變化에 따라 電流幅을 變化시키는 方法인데 한가지 例로서 電流幅을 平均電流에 比例하여 變化시키는 方法이 있다. 卽

$$\Delta I = kI_0, \quad 0 < k < 1$$

인 경우이다. 그림 12(a)는 이것의 回路圖인데

$$V_H = \frac{R_H + R_L}{R_a + R_H + R_L} V_a$$

$$V_L = \frac{R_L}{R_a + R_H + R_L} V_a$$

이다. 그림 12(b)는 R_a 變化에 따른 V_H, V_L 의 變化를 그린 것이다. 이 그림을 보면 平均電流가 많은 때는 電流幅이 커지고 平均電流가 적을 때는 電流幅이 감소함을 알 수 있다.

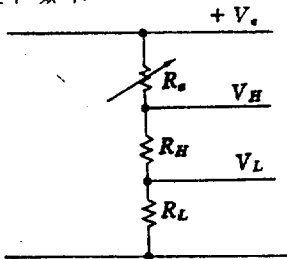


그림 12-(a). 可變電流幅 액세러레이타
Fig. 12-(a). Accelerator with varying current

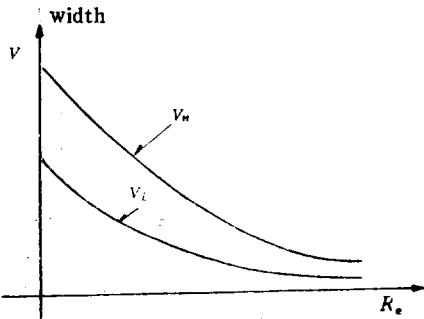


그림 12-(b). 可變電流幅액세러레이타 R_a 對 電壓 特壓特性曲線
Fig. 12-(b). Characteristic curve of accel.

R_H 또는 R_L 의 값을 變化시키면 電流幅을 變化시킬 수 있다.

4. 設計例와 試驗

電氣自動車原動機로서의 直流直卷電動機는 22[V], 8 [A], 2,500[rpm]의 것을 使用하였고 電源은 蓄電池 대신 3 相全波整流를 한 直流 47[V]를 使用하였다.

그림 13은 이 電動機의 無負荷飽和曲線이다. 여기서 電壓, 電流, 速度, 磁束等은 電動機의 定格을 基準으로 하여 單位法(per unit)을 使用하였다.

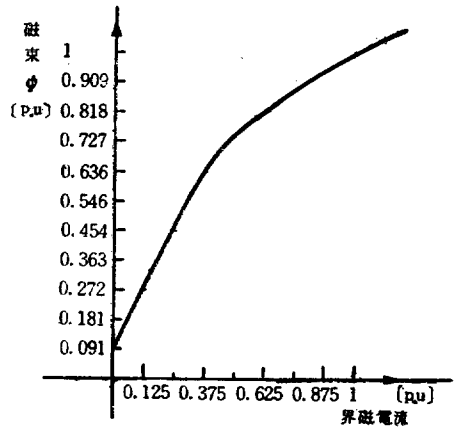


그림 13. 電動無負荷飽和曲線
Fig. 13. No load saturation curve of motor.

電動機電機子, 直卷界磁卷線, 電流檢出用分流器 (shunt), 外部인덕턴스 및 接觸線의 全抵抗이 2.6[Ω] 外部인덕터의 인덕턴스는 17.6[mH]이었다. 여기서 $R_t = 0.945 + n(1.82 - 1.76I_0 - 0.083I_0^2)$ [p.u] $L_t = 0.0064 + 0.0053(1.82 - 1.76I_0 - 0.083I_0^2)$ (p.u) 이다.

그림 14는 SCR 초퍼 回路인데 整流콘덴서는 4[μF] 인덕턴스는 10[mH]이었다. 콘덴서가 逆充電되는 時間은

$$T = \pi \sqrt{10 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^{-6}} = 0.63 \text{ [mS]}$$

이고 이것은 主回路의 時定數(여기서는 $\frac{L_c}{r_t}$ 로 보았음)

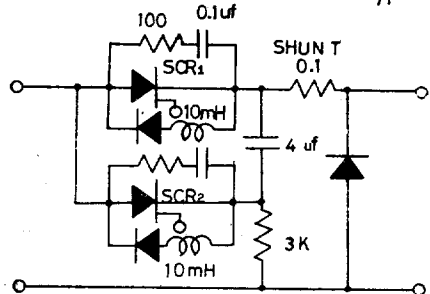


그림 14. SCR 초퍼회로
Fig. 14. S.C.R. chopper circuit

6.7[mS]의 約 $\frac{1}{10}$ 程度로 하였다. 電流幅율 2[A]로 하는 경우 最大스위칭 주파수(여기서는 L_e 만 고려하였음)는

$$f_m = \frac{47}{4 \times 17.6 \times 10^{-4} \times 2} = 334[Hz]$$

이다. 實際로 電動機의 인덕턴스까지 考慮한다면 이것 보다 적어진다.

그림 15는 電流檢出裝置, 악세러레이타, 비교기 및 펄스發生回路의 設計例이다. 이中 FCD810(光結合絶緣素子)의 定數는 入力 抵抗 $r_o[\Omega]$, 出力어드미턴스

$$h_o = 0.05[m\Omega], \text{ 電流增幅率 } h_f = 0.23\text{이다.}$$

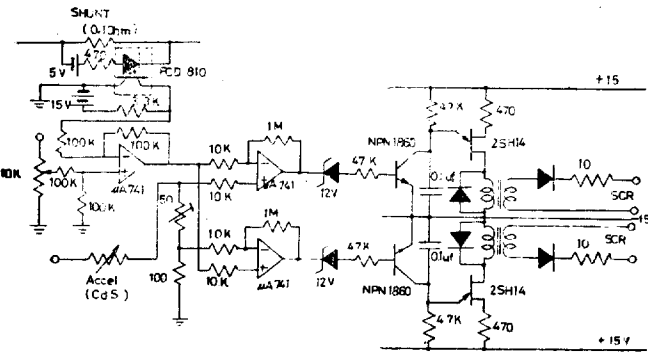


그림 15. 制御器의 設計例
Fig. 15. Sample design of controller

그러므로 電流檢出裝置의 出力 e 는

$$e = \frac{0.23 \times 3.3 \times 10^3}{1 + 0.05 \times 10^{-3} \times 3.3 \times 10^3} \times \frac{0.1}{470 + 10 + 0.1} \times i \approx 0.135i$$

이다.

악세러레이타의 抵抗은 露出面積을 $A[\%]$ 라 할 때

$$R = \frac{100}{A[\%]} [K\Omega]$$

이 되도록 하였다.

그림 16은 $I_0 = 4[A]$, $\Delta I = 2[A]$ 로 하였을 때 回轉速度對 T_{on} , T_{off} 를 求한 것이다. 理論值(實線)와 實測值(Δ 와 破線)가 잘 부합되고 있음을 알 수 있다.

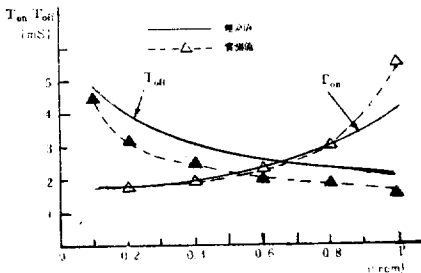


그림 16. 試作制御裝置의 速度對 T_{on} , T_{off} 特性
Fig. 16. Switching on, off charact. of sample designed controller

그림 17은 위의 경우 $T_{on} = 1.5[mS]$, $T_{off} = 5.4[mS]$ 일때의 電動機電流波形이다. 그림 18은 本 研究에서 製作한 速度制御裝置이다.



그림 17. 電動기 전류파형 $T_{on} = 1.5[mS]$, $T_{off} = 5.4[mS]$

Fig. 17. Current wave form with $T_{on} = 1.5[mS]$, $T_{off} = 5.4[mS]$

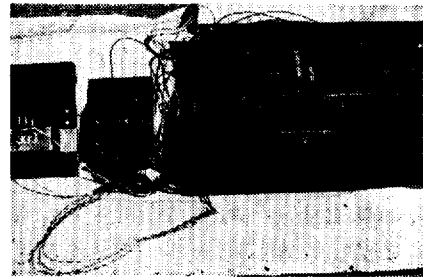


그림 18. 設計例의 사진(속도제어장치)

Fig. 18. Sample design of speed controller

5. 結論

本 研究은 電流檢出裝置로서 光結合絶緣素子를, 악세러레이타의 裝置로서 光一導電素子를 새로 導入利用한 SCR 制御式 電氣自動車의 速度制御裝置의 設計方法을 導出하고 이에 따라 制御裝置를 試作하였으며 이를 試驗하였는바 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 光結合絶緣素子(Optically coupled isolator)를 自動車用電動機負荷電流 피드백에 使用함으로써 直流電流가 正確히 檢出되었고 主回路와 制御回路를 電氣的으로 잘 絶緣시킬수 있었다. 이 方法은 磁氣의 方法에 依한 것보다는 設計가 容易하고 製作이 簡便해지고 補修가 간단해진다.

(2) 光一導電素子 악세러레이타를 使用함으로써 機械的衝擊에 견딜수 있는 無接點 악세러레이타를 考察하였다.

(3) 界磁回路의 勵磁特性을 動作點附近에서 微小信號線型化한 모델을 使用하였기 때문에 本設計方法의 理論的結果가 試作한 速度制御裝置의 試驗結果와 잘 一致하였다.

謝意

本 研究은 1974年 文敎部 學術研究補助費에 依하여

이루어진 것으로 感謝를 드리며, 本 研究에 始終協助해 주신 本學의 韓松暉教授와 여러 資料를 提供해 주신 科學院 朴松培教授 및 李光遠氏와 實驗, 試作에 協助해 준 本科大學院學生들에게 깊은 감사를 드립니다.

記號說明

V_B : 蓄電池電壓
 L_e : 外部인덕턴스(External Inductance)
 L_s : 直卷界磁卷線의 인덕턴스
 I_H : 電動機制御電流上限值
 I_L : 電動機制御電流下限值
 i : 電動機電流
 R : 充電電壓減 v_1 , 防止用抵抗
 C : 整流用커패시턴스
 L_1, L_2 : 整流用인덕턴스
 ΔI : 制御電流幅
 T_{off} : 開路時間
 T_{on} : 通電時間
 ΔI_1 : 通電電流飽和值
 ΔI_2 : 開路電流飽和值
 e_s : SCR電壓降下
 e_b : 부러쉬電壓降下
 N_s : 直卷卷線의 卷回數
 n : 回轉數
 ϕ : 界磁磁束
 C_0, C_1, C_2, C_3 : 磁束係數
 L_t : 等價인덕턴스
 R_t : 等價抵抗
 K_e : 電動機定數
 τ : 電動機의 時定數
 f : 스위칭周波數
 v_c : 整流用콘덴서電壓
 V_c : 整流用콘덴서初期充電電壓
 T : 逆充電時間
 R_2 : 逆充電回路의 抵抗
 r_a, R_B, h_f, h_o : FCD의 定數
 r : 電動機電流檢出用分流器抵抗
 R_L : FCD의 負荷抵抗
 I_{d_0} : FCD 負荷電流零일때 r_a 에 흐르는 電流
 k, r' : 光導電素子(CdS)定數
 L : 照度
 A : 照射面積
 V_a : 약세러레이타電源電壓
 R_a : 약세러레이타制御抵抗(電流幅調整用半固定)
 V_a : 제너다이오드電壓

參考文獻

- 1) 服部正策 '燃料電池/電氣自動車', 橫川書房, 1973年度 pp.281~287.
- 2) Toshitaro J. Takeuchi, 'Theory of SCR Circuit and Application to Motor Control' Tokyo E.E. College Press, 1968, pp.248~272.
- 3) 李光遠, 'A Variable Inductance Accelerator for Electric Powered Vehicle' 1975. 8. 1 全州學術發表(產學協同세미나)
- 4) P.W. Franklin, 'Theory. of the D.C Motor Controlled by Power Pulses-Part I Motor Operation' pp.229~255 P.A.S Jan/Feb. 1972 Vol. PAS-91 IEEE.
- 5) G.N.Revankar, "Digital computation of SCR Chopper Circuits," IEEE Trans. Ind. Electron. Contr. Instrum. Vol. IECI-20 No.1 pp.20~23 Feb.1973.
- 6) William H.Morman, "50-KW Thyristor DC-to-DC Converter," IEEE Trans. Indus. Applic. Vol. IA-8, No.5 pp.617~623, Sep./1972.
- 7) James J.Gumbleton, "Special Purpose Urban Cars" SAE 690461(1969).
- 8) A.W.Hartman "Controllers for Electric Cars" SAE 690127(1969).
- 9) Victor Wouk "Design of Electric Automobile Employing Ni—Cd Batteries" Gulton Industries SAE 690545(1969)
- 10) 稻垣他 "사이리스터 모터의 電氣自動車에의 應用" OHM Journal pp.28~30 1970. 3
- 11) 三浦, 市村, 柳田 "사이리스터의 電氣自動車에의 應用" 電氣計算(臨時增刊 40號 pp.266~271) 1972.
- 12) 北村俊一, "사이리스터 活用自由自在" 誠文堂新光社 pp.67~75 1970.
13. 丁性桂·金俊鉉: 過渡現象: pp.26~28, 文運堂, 1966.
- 14) Gordon J.Murphy, "Considerations in the Design of Drive System for On-the-Road Electric Vehicles," Proc. of IEEE, Vol. 60 No.12Dec. 1972.
- 15) Byrne, J.V. and Lacy, J.G.: "Compatible Controller-motor System for Battery Electric vehicle," Proc. IEEE, 117(2)369~376(1970)
- 16) Optically-coupled Isolator FCD-810, Fairchild, Semicond.