

PWM Chopper에 依한 直流直捲電動機의 制御回路에 關한 研究

論 文

26~3~5

A Study of D.C. Series Motor Control Circuit by Pulsewidth Modulated Chopper

任 達 鑄* · 張 虎 聲**
(Dal Ho Im, Ho Sung Chang)

Abstract

The choice of control method and circuit must be decided after a broad inspection with the characteristics of load and control elements as well as that of electric and mechanical nature.

In the present study, Pulse width modulated (PWM) SCR chopper was chosen and for the electric commutation, Jones' forced method was taken because of its having enough reverse bias energy.

Objectives of experimentation by this system are;

- 1) the condition of SCR as a gate trigger pulse.
- 2) the observation of phenomena at the time of forced commutation
- 3) the experimentation on characteristics of speed control by PWM chopper.

Above experimentation shows good characteristics, however, in the limit of narrow gap between the ON and OFF pulses, a complete control was not possible. So, that must be the point to be studied further alone with the harmonics influence.

I. 緒 論

Chopper制御는 電力 또는 電壓을 周期的으로 開閉하여 一定區間에서 時間比에 의한 平均值을 制御하는 方法이며 SCR과 같은 非線形 電力用 制御素子(Thyristor)를 使用하면 電力效率은 勿論 制御 性能까지도 向上되는 利點이 있다.

Chopper의 時間比를 決定하는 制御 形式으로는 SCR의 通電幅을 一定하게 하고 周波數를 變化시키는 PFM 方式과 周波數를 一定하게 하고 通電幅을 變化시키는 PWM 方式으로 大別되지만 PFM 方式은 周波數에 따른 高調波 周波數의 變化로 高調波 電流의 除去가 어렵고 至 制御 範圍가 높은 쪽에서 高速의 Turn off時間을 갖는 素子가 要求되므로 一般的으로는 PWM 方式을

採擇하는 것이 바람직하다. 또한 PWM 方式은 基本周波數가 一定하므로 誤動作, 發熱, 通信에의 誘導障害等을 일으키는 高周波 電流를 除去하는 Filter의 設計가 쉽고 制御回路의 構成이 간단해 진다⁽¹⁾. 그러나 이와 같은 Chopper制御方式은 幅조는 周期를 制御하기 위해 SCR의 自己維持效果(Self Holding Effect)를 回復하여 주어야 하므로 直流의 경우에는 SCR에 逆Bias를 걸어주는 強制轉流法(Forced Commutation)을 使用한다⁽²⁾.

轉流回路의 方式과 條件은 制御性能을 좌우하는 대단히 中要한 要素이므로 負荷의 特性, 電流, 電壓等 廣範圍하게 檢討하여 設計하지 않으면 SCR의 Turn Off에 失敗하게 된다.

強制轉流에는 여터가지 方法이 있으나 比較的 逆Bias Energy를 充分히 確保하는 Jones 方式이⁽³⁾ 安全할 것으로 思慮된다.

Jones' Chopper는 Cathod Pulse形과 類似하는 密結

* 正 會 員 : 漢陽工大 教授 · 工博(當學會 總務理事)

** " : 漢陽大 大學院

接受日字 : 1977年 4月 4日

合單捲變壓器를 使用하므로 負荷電流의 增加에 따라 昇壓作用에 의해 Condenser에 充電되는 電壓이 增加하므로 大電流時에 逆 Bias時間이 길어지며 充電 Energy를 常時確保하므로 始動이 安定되는 特徵이 있다. 따라서 本 研究의 目的是 PWM chopper 制御를 Jones 方式에 의해 設計하고 直流直捲 電動機의 速度制御를 實現하므로서 制御回路 및 Pulse 發生回路의 最適化值을 實驗으로 決定하여 制御特性의 改善을 模索하는데 있다.

이와같은 制御技術은 特히 Chopper와 같이 高速動作을 하는데의 SCR素子發熱問題 또는 Turn Off特性의 變化等을 細明하게 되고 無停電 電源裝置, 無整流子 電動機 및 Cycroconverter의 制御等에도 같은 理論으로 適用될 것으로 思慮된다.

2. 高調波動作으로 인한 Switching損失

SCR 内部에서 發生되는 热損失은 接合部의 溫度를 대단히 높힌다. 特히 Chopper는 Switching 頻度가 높으므로 接合部의 溫度가 局部的으로 上昇하여 制御能力을 充分히 發揮하지 못하거나 급기야 素子가 永久히 破壊되어 버리는 경우도 있다.

따라서 Chopper에서는 통상 使用狀態의 定格외에 Switching되는 순간에서의 電力損失도 考慮하여 充分한 放熱과 素子에 負擔을 주지 아니하도록 可能한 모든 保護 조치를 취하여야 한다.

一般的으로 Chopper回路에서 發生하는 電力損失은 方形波 電流에 대한 平均值로 計算하여 充分한 容量의 素子를 選定한다.

① Chopper 方形波 順電流에 依한 電力損失

Chopper의 통상 动作에서 흐르는 順電流에 依한 Joule热損失로 나타나며 가장 比率이 높은 損失이다. 지금 順電流의 波形이 그림 1과 같은 方形波라면

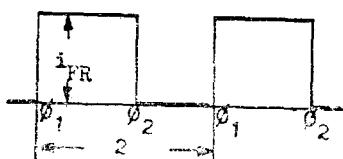


그림 1. PWM 順電流

Fig. 1. PWM forward current

$$P_F = \frac{1}{2\pi} \int_{\phi_1}^{\phi_2} i_{FR} \cdot v_{FR} \cdot d\phi \quad (1)$$

$$= \frac{\phi_2 - \phi_1}{2\pi} i_{FR} \cdot v_{FR} \quad (2)$$

여기에서 半導體 Diode의 通電狀態에서의 電流는

$$i_{FR}' = A \cdot e^{-\frac{q \cdot v_{FR}'}{2kT}} \quad (3)$$

여기에서 A : 素子에 의해 定해지는 定數

k : Boltzmann의 定數

T : 接合部의 絶對溫度 [°K]

q : 單位電荷 [Coul]

$$\frac{q \cdot v_{FR}'}{2kT} = \log i_{FR}' - \log A \quad (4)$$

$$\therefore v_{FR}' = K \log i_{FR}' + \varphi \quad (5)$$

$$\text{여기에서 } K = \frac{2kT}{q}$$

$$\varphi = -K \cdot \log A$$

(5)式에 SCR 電極部分의 抵抗 R 의 電壓降下도 있으므로 ($i_{FR} \cdot R$)

$$\therefore v_{FR} = \varphi + K \cdot \log i_{FR} + i_{FR} \cdot R \quad (6)$$

(2)式과 (6)式에 依해 全體電力損失은

$$P_F = \frac{\phi_2 - \phi_1}{2\pi} i_{FR} (\varphi + K \log i_{FR} + i_{FR} \cdot R) \quad (7)$$

(7)式은 平均順電流가 一定하여도 通電期間 $\phi_2 - \phi_1$ 을 制御하므로서 負荷의 平均電力이 制御됨을 보인 것이다.

② Switching時의 時間의 經過에 依한 電力損失
SCR의 turn-on되는 Switching時의 電流, 電壓은 時間의 經過에 따라 指數函數에 近似하여 變化하므로⁽⁴⁾

$$\begin{cases} i = i_{FR} (1 - e^{-t/t_c}) \\ v = v_{FR} (e^{-t/t_c}) \end{cases} \quad (8)$$

여기에서 i_{FR} : Turn-on 후의 Anode 電流

v_{FR} : Turn-on 후의 A-K 電壓

t_c : 上昇時定數

따라서 1回의 Switching에서 生기는 電力損失은

$$P_{ON} = \int_0^\infty i_{FR} \cdot v_{FR} \cdot dt \quad (9)$$

$$= i_{FR} \cdot v_{FR} \int_0^\infty e^{-t/t_c} (1 - e^{-t/t_c}) dt \quad (10)$$

$$= \frac{i_{FR} \cdot v_{FR} \cdot t_c}{2} [W \cdot S] \quad (11)$$

여기에서 $tr = 2.2t_c$ 으로 (11)式은

$$P_{ON} = \frac{i_{FR} \cdot v_{FR} \cdot tr}{4.4} \quad (12)$$

따라서 Chopper의 反復周波數를 f 라면

$$P_{ON} = \frac{i_{FR} \cdot v_{FR} \cdot tr}{4.4} \cdot f [W \cdot S] \quad (13)$$

가 되어 이 損失은 Chopping周波數에 따라 增加되므로 ripple의 영향이 없는 한 可及的 낮은 周波數로 動作시키는 것이 바람직하다.

3. Turn-Off 特性의 變化

SCR의 Turn off時間은 SCR의 順電壓降下에 크게 영향을 받는다. 일률적으로 말하기는 어려우나高速SCR은 그림 2에서 보는바와 같이 電壓의增加에 따라 Turn Off時間이增加하는 경향을 보인다.

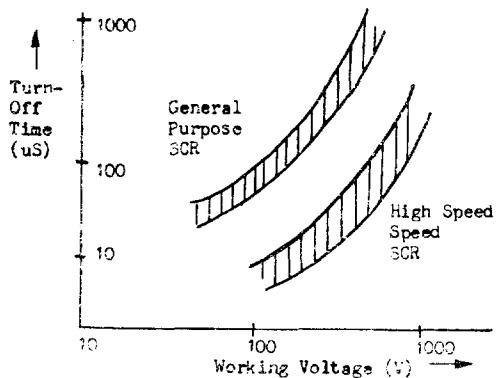


그림 2. 電壓과 Turn-Off時間의 관계

Fig. 2. Working voltage to turn off time relations

따라서一般的으로 SCR의 轉流時의 印加 逆電壓을 50[V] 程度以上으로 規定하므로 SCR을 保護할 目的으로 使用되는 逆並列 接續의 Diode나 R-C直列回路인 Snubber回路等에 依해 Turn off時間이 길어지게 되므로 注意를 要한다. SCR Chopper에서는 轉流를 目的으로 逆Bias를 공급하는 경우에 이들回路에서 Energy가 吸收되므로 사용하는 SCR이 Surge電壓이나 dV/dt 에 感應 정도로 時定數를 작게 設定해야 한다.

4. Chopper 制御裝置

Chopper制御回路의 基本概念 및 動作은 그림 3에 보였다.

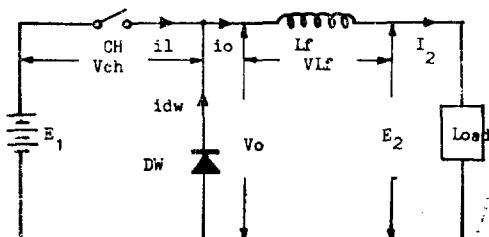


그림 3-a. Chopper의 動作概念圖

Fig. 3-a. Chopper Operation

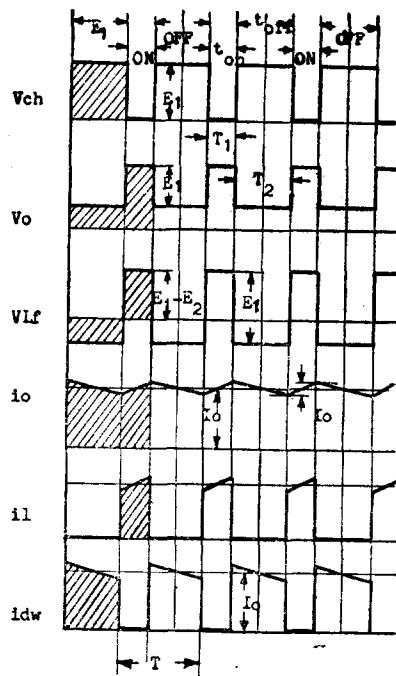


그림 3-b. 各部의 動作波形

Fig. 3-b. Timing Chart

그림에서 Chopper Switch CH를 連續的으로 ON-OFF하면 ON의 경우에 電源 E_1 에서 Chopper 및 Reactor L_f 를 通하여 負荷에 전력이 供給되는데 이 때의 電壓, 電流는

$$\begin{cases} v_o = E_1 \\ i_i = I_0 \end{cases} \quad (14)$$

다음에 CH가 OFF되면 L_f 를 通하여 흐르던 電流는 Reactor作用에 依하여 還流(Free Wheeling) Diode (D_w)를 通하여 흐르게 되므로

$$\begin{cases} v_o = 0 \\ i_i = 0 \end{cases} \quad (15)$$

따라서 CH를 連續的으로 빠르게 ON-OFF하면 出力은 (14), (15)式에서 E_1 과 零 사이를 變化하는 方形波 pulse가 되므로 이 때의 電壓, 電流는

$$E_2 = \bar{v}_o = \frac{\text{ton}}{\text{ton} + \text{toff}} \cdot E_1 = \frac{\text{ton}}{T} \cdot E_1 = \alpha \cdot E_1 \quad (16)$$

$$I_2 = \bar{i}_i = \frac{\text{toff}}{\text{ton} + \text{toff}} \cdot \bar{i}_o = \frac{\text{ton}}{T} \cdot I_2 = \alpha \cdot I_2 \quad (17)$$

여기에서 T : ton+toff(周期)

α : ton/T(反復時間比)

(17), (18)式은 Chopper의 Switching動作에 依存

平均電壓 또는 平均電流를 制御할 수 있는 原理를 보인 것으로 Chopping의 時間比에⁽⁵⁾ 依한 PWM과 PFM의 制御例를 그림 4에 보였다.

그림에서 알 수 있듯이 PWM은 ripple含有量이 많으므로 可及的 高速으로 動作되는 것이 要求되나 實際에는 SCR의 特性上 Turn Off 時間이 制限되고 또 電動機와 같이 Heavy Reactor이며 慣性이 큰 負荷에서는 ripple이 그다지 影響을 미치는 것이 아니므로 Chopping 周波數를 200Hz—2KHz 程度⁽⁶⁾에서 設定하는 것이 바람직하다.

① 回路方式의 選定

SCR의 Turn Off特性은 印加 逆電壓에 依해 크게 變化한다. 轉流方式에 있어서도 自然轉流되는 交流位相制御에서는 Turn Off되는 時間이 數百 μs 以上 要求되나 強制轉流方式을 使用하면 逆轉流의 促進作用에 依해 불과 數十 μs 程度로 Turn Off 時間을 短縮시킬 수 있다⁽⁷⁾. 그러므로 安全한 轉流를 期待하기 위해서는 Jones'方式의 強力한 逆Bias 電壓을 考慮하게 되는 것이다.

② 設計에 對한 考察

Chopper制御는 高速 Switching을 하므로 SCR自體의 Inductance에 依해 生기는 異常電壓, 電流 및 逆回復時間中에 内部에서 Carrier 薪積效果에 依한 過大한 Surge 電壓으로 부터 SCR을 保護하여야 하며 特히 負荷의 性質이 誘導性 Impedance를 갖는 경우에는 負荷로 부터 過度現象이 나타나므로 回路設計時나 制御時에 이點에 對한 充分한 考慮를 하여야 한다. 그러나 이러한 一般的의 措置는 이미 製造會社에서 適定한 吸收回路 滅滅回路 等을 指定하여 주므로 本研究의 實驗에는 이를 回路를 適用하고 研究의 主眼點을 Chopping作用을 確實하게 하기 위한 回路定數의 最適條件를 實驗으로 決定하는데 두었다.

지금 P_0 [W]의 電動機를 Chopper에 依해 制御한다면 定常負荷電流 I_0 [A]는

$$I_0 = \frac{P_0}{\eta \cdot E_{dc}} [A] \quad (19)$$

여기에서 η : 電動機의 効率

E_{dc} : 直流電源電壓[V]

따라서 始動時 回轉子拘束 最大電流 $I_{0\max}$ [A]는

$$I_{0\max} = 2I_0 [A] \quad (20)$$

이때 使用하는 主 SCR의 turn off時間이 t_q [μs]라면 t_q 時間 以上을 逆 Bias하기 위한 轉流 Condenser의 容量 C_0 [μF]는

$$C_0 = K \frac{I_{0\max}}{E_{dc\min}} \cdot t_q [\mu F] \quad (21)$$

여기에서 K : 最惡條件일 때의 安定率(1.5~2.0)

$$E_{dc\min} = \eta \cdot E_{dc} [V]$$

따라서 出力電壓을 制御할 수 있는 最小 pulse幅⁽⁸⁾

$$T_{\min} = -\frac{v_0}{E_{dc}} \cdot T \quad (22)$$

여기에서 T : Chopper의 周期

v_0 : 出力電壓

$$\therefore T_{\min} > \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_0}$$

의 條件이어야 하며 充分한 充電을 하기 위한 安定度를 2倍 程度로 하면

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{L_2 \cdot C_0} \quad (23)$$

따라서 (23)式으로부터

$$L_2 = \frac{T_{\min}^2}{4\pi^2 C_0} \quad (24)$$

따라서 轉流 Condenser C_0 의 充電電壓 V_c [V]

$$V_c = \frac{N_2}{N_1} \cdot E_{dc}$$

$$\text{또한 } \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}, \quad N_1 = \frac{N_2}{\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}}$$

$$\therefore L_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot L_2 \quad (25)$$

그러므로 Auto Trans를 成層鐵心으로 設計하는 경우 鐵心 끝 部分에 Air gap을 두면

$$N_2 = \frac{L_2}{38.7 \cdot A} [A] \quad (26)$$

여기에서 A : 鐵心의 有効斷面積[cm²]

따라서 (24), (25)式의 Inductance가 龄和되지 않기 위한 磁心材質의 磁束密度 B

$$B = \frac{2.3 E_{dc} \sqrt{L_2 \cdot C_1}}{N_1 \cdot A} [\text{Gau}\beta] \quad (27)$$

以上에서 轉流回路의 各素子定數가 算出되었다.

한편, turn off되는 瞬間에 電動機로부터 發生하는 逆起電力吸收用 Free Wheeling Diode의 最大平均電流, 電壓은

$$\begin{cases} I_{DF(max)} = \frac{1}{4} I_{0\max} \\ V_{DF(DF)} \leq E_{dc} + I_{0\max} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \end{cases} \quad (28)$$

昇壓用 Diode에 결리는 peak 逆電壓은 L_1 , L_2 의 昇壓에 比例하므로

$$\begin{cases} V_{DF(DO)} = \frac{N_2}{N_1} V_{RM(DF)} [V] \\ I_{D0} = f(C_0 E_{dc} + 2I_{0\max} \sqrt{L_1 \cdot C_0}) \end{cases} \quad (29)$$

이때에 補助 SCR의 Turn off되는 瞬間 轉流 Condenser C_0 의 放電電流에 依해 初期電流 上昇率(di/dt)

가 급격히 증가됨을防止하기 위하여 약간의 Reactor를直列接續한다.

$$L_0 = \frac{V_{c1}}{(di/dt)} [\mu\text{H}] \quad (31)$$

以上으로 부터設計된 Chopper制御裝置의 定數는 表 1과 같으며 保護要素를 鮑含한 回路는 그림 5에 보였다.

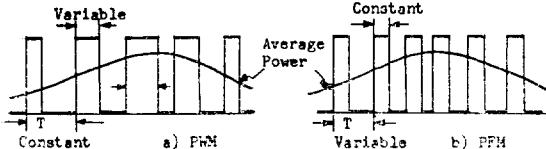


그림 4. 平均電力制御の 方式

Fig. 4. Average power control method

表 1.

主 SCRm	補助 SCRs	轉流回路	D_0	D_F
$E_{dc}=100[\text{V}]$	$V_{DM}=291[\text{V}]$	$C_0=14.8[\mu\text{F}]$	$I_{D0}=1.43[\text{A}]$	$I_{DF}=11[\text{A}]$
$I_0=22.2[\text{A}]$	$I_s=1.43[\text{A}]$	$L_1=270[\mu\text{H}]$	$V_{RM}=1455[\text{V}]$	$V_{RF}=291[\text{V}]$
$I_{0max}=44.4[\text{A}]$		$L_2=1670[\mu\text{H}]$	$t_r=1.5[\mu\text{s}]$	$t_f=0.2[\mu\text{s}]$
$t_q=20[\mu\text{s}]$	$t_q=20[\mu\text{s}]$	$N_1=8\frac{1}{4}\text{回}$		
$L_0=6[\mu\text{H}]$	$L_0=6[\mu\text{H}]$	$N_2=42\text{回}$		
		$B=878 \text{ Gau} \beta$		
SH50H14	SH16H14	S_i+N_i	IS 1835×2	IN3893

③ 動作解析

그림 5에서 SCRm이 Trigger되면 SCRm의 Turn on되어 負荷에 電流가 流れ게 되고 卷數比(n_2/n_1)에 比例한 電壓이 C_0 에 그림과 같은 極性으로 充電하여 D_0 에 依해 그의 電位를 維持한다. 다음, 補助 SCRs가 Trigger되면 C_0 에 充電된 電壓은 SCRs를 通하여 放電되면서 L_0 와의 共振作用에 依해 (+)의 半周期동안 SCRm을 逆 Bias하므로 SCRm을 轉流시킨다.

이때 SCRm의 dv/dt 및 di/dt 는

$$\begin{cases} dv/dt = I_{0max}/C_0 = 2.9[\text{V}/\mu\text{s}] \\ di/dt = E_{dc}/L_1 = 0.37[\text{A}/\mu\text{s}] \end{cases} \quad (32)$$

또한 C_0 에 逆 Bias되는 時間은

$$t_c = E_{dc} \cdot C_0 / I_{0max} = 34[\mu\text{s}] \quad (33)$$

이 되므로 轉流는 確實하게 이루어 졌음을 알 수 있다⁽⁹⁾.

다음에 共振電流의 (-)周期로 가는 동안 SCRs는 維持電流 以下로 되어 逆 Bias 되므로 이때의 dv/dt ,

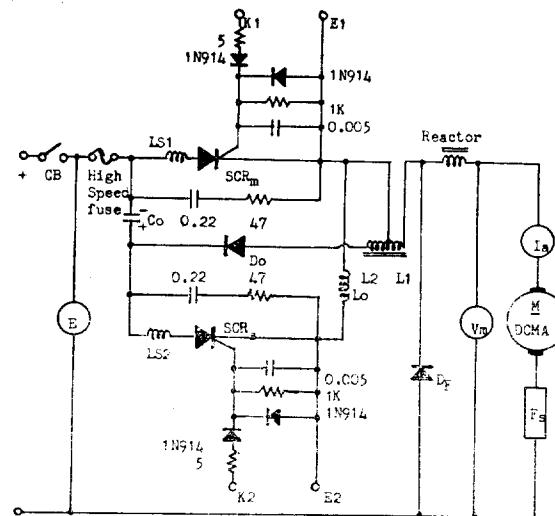


그림 5. Jones' Chopper 回路

Fig. 5. PWM Jones' chopper control circuit

t_c 는

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V_{DM}(s)}{\sqrt{L_2 \cdot C_0}} = 1.84[\text{V}/\mu\text{s}] \quad (34)$$

$$t_c = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_2 \cdot C_0} = 248[\mu\text{s}] \quad (35)$$

가 되어 補助 SCRs도 確實히 轉流됨을 알 수 있다. 따라서 計算에 依한 動作을 實測에 比較하여 亂으로서 定數의 變化에 따른 動作을 解析할 수 있다.

5. Gate Trigger Pulse 發生回路

本 實驗에 使用된 Pulse發生回路는 그림 6과 같이 設計되었으며 動作의 安定과 信賴性을 向上시키고 輕量化하기 위해 IC(Integrated Circuit)化하였다.

發振은 U.J.T를 利用하여 Emitter의 Slope電壓에 基準電壓을 設定하여 Threshold點에서 Comparating 시키므로 位相을 制御하도록 하였다. 이때 U.J.T의 Emitter 入力의 靜特性은⁽¹⁰⁾

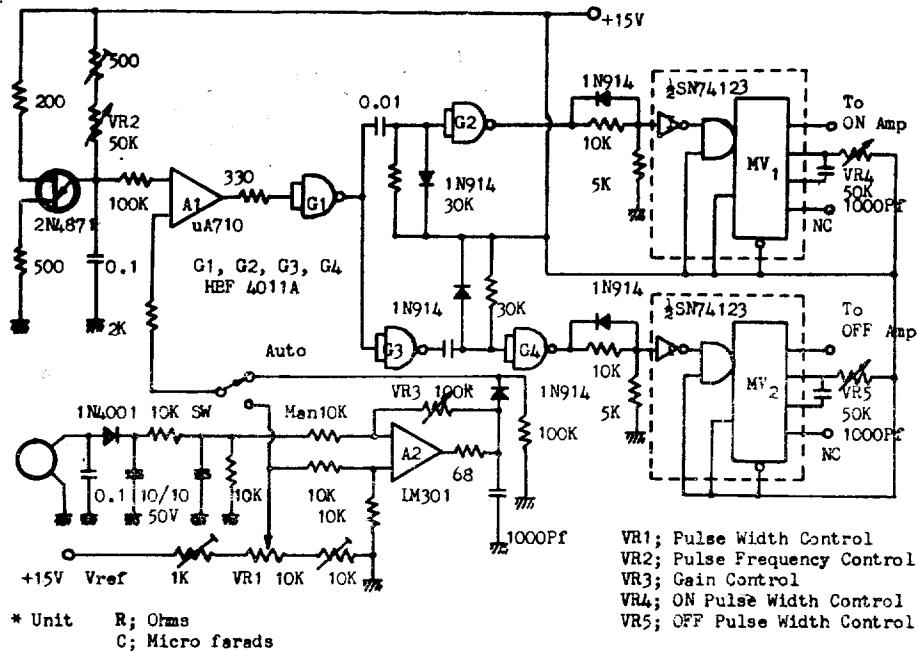


그림 6. 펄스 發生裝置의 回路
Fig. 6. Control pulse generation circuit

$$V_E = \eta V_{BB} + V_D = V_p \quad (36)$$

여기에서 η ; Stand off Ratio (0.47~0.75)

$$= \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

V_D =接觸部의 順電壓降下

$$V_{BB} = V_{B2} - V_{B1}$$

이므로 R_{B1} 을 變化시켜 Chopping周波數를 變化시킬도록 하였다. Comparating出力은 方形波이므로 微分回路에서 각各 上昇과 下降에 對한 Pulse를 만들어 G_5 , G_6 에서 波形整形을 빙계되는데 이것은 一종의 Delay Multivibrator로 Positive의 入力 Pulse를 R-C時定數에⁽¹¹⁾ 依해 Delay幅을 可變시킬 수 있으므로 R 을 變化시켜 SCR의 Trigger Pulse幅을 決定하도록 한다.

이때, MV의 Trigger Pulse幅은

$$t_w = 0.28 R_T C_T (1 + 700/R_T) [\text{sec}] \quad (37)$$

으로 주어진다.

6. 實驗方法 및 結果

① ϕ -V 特性

電動機의 機械負荷는 發電機를 直結시키고 여기에 抵抗負荷를 接續하여 換置하므로서 可變되도록 하고 定格을 維持시킨 후에 모든 Chopper位相角에서 比較

的 安定한 轉流가 이루어지는 Chopper周波數를 Timer Counter로 測定하였다.

이때 轉流現象은 高速의 Peak電壓이므로 Oscilloscope에 의한 觀測으로 解析하였는데 結果는 <图선-1>과 같이 比較的 好은 直線性을 보였으나 10% 이하 및 10% 이상의 幅度(Interval) 혹은 幅度에 서는 轉流不安이 있었다.

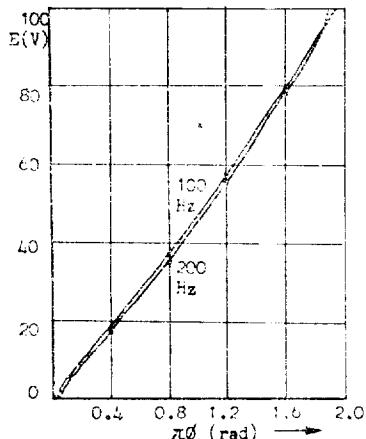
② I_a -N, I_a -T 特性

Chopping周波數를 ripple이 느껴지지 않는 程度로 낮추어 轉流不安의 要素를 살펴보았다. 一定負荷에서 轉流現象은 安定되어 있었으나 負荷變動이 生기면不安하여 지므로 100[Hz] 근처에 고정시키고 電氣負荷를 變化시켜 I_a 를 一定間隔으로 設定하므로서 電流에 對한 Torque, 回轉特性을 測定한바 <图선-2>와 같이 好은 特性을 나타내어 SCR에 依한 無損失 電壓制御가 잘實現됨을 알았다.

또한 Oscilloscope에 依한 電氣轉流의 波形을 觀測한 結果 Chopping區間이 좁은 範圍로 절수록 電流Energy의 大소 減小를 보였으나 轉流作用은 安定되어 있다. 이와같이 Chopper 強制轉流의 諸現象을 Oscilloscope에 依해 動作特性을 解析할 수 있었으며 <图線-1>은 $f_c=100\text{Hz}$, $\phi=1.0\pi$ 일 때의 轉流波形을 보인

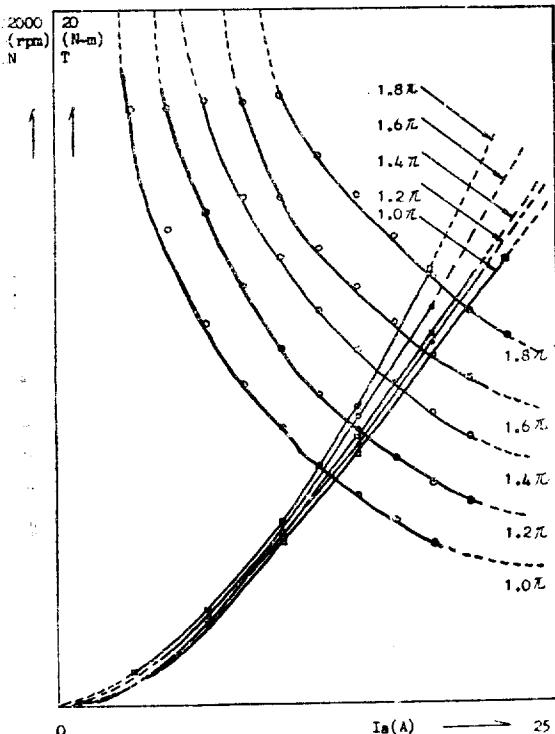
것이다.

이때 Range는 $50V/cm$ 로서 概略的으로 測定된 轉流電壓은 通常 充電時에 $200[V]$ 이상, Reverse Bias時의 Peak 電壓은 $300[V]$ 以上으로 比較的 充分한 Energy를 確保함을 알수 있다. 轉流電壓이 計算과 차이가 있는 것은 轉流 Diode의 逆回復時間이 있기 때문으로 思慮된다.



곡선 1. 位相角一側御電壓 特性

Curve 1. Phase angles vs control voltage spec.



곡선 2. 電流—Torque 回轉數 特性

Curve 2. Amature current vs torque, speed spec.

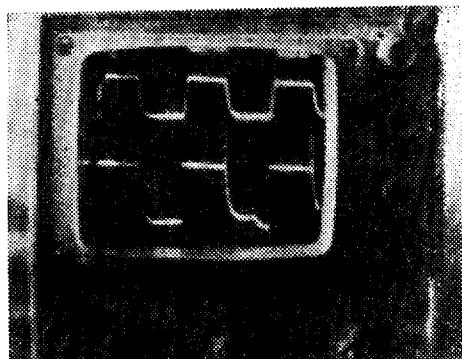


사진 1. Ch 1; 直流電動機의 入力電壓波形

Ch 2; 轉流回路의 轉流 Condense兩端의 電壓波形

Picture 1. Ch 1; Voltage waveform across DC motor

Picture 1. Ch 2; Voltage waveform across condenser in the commutation circuits.

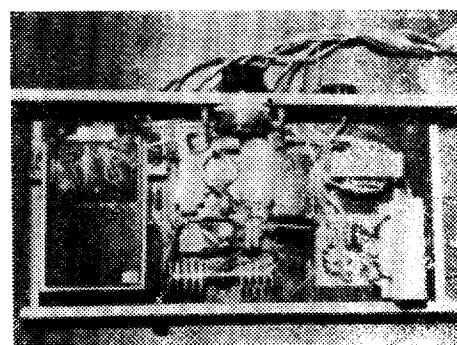


사진 2. 制御裝置 및 Pulse 發生裝置

Picture 2. Pulse generator Jones' chopper system



사진 3. 電動機—發電機의 結合

Picture 3. Motor-Generator set under tested

사진 2는 實驗에 使用된 Chopper 制御 및 Gate Trigger Pulse 發生裝置를 보인것으로 小形 輕量으로製作되었다.

사진 3은 制御對象인 M—G Set이며 2HP의 直捲電動機와 1HP의 分捲發電機를 使用하였다.

7. 結論

PWM에 의한 Jones' Chopper 制御裝置를 半導體化하여 直流直捲電動機의 速度制御를 實現하였으며 Chopper에 使用되는 素子 및 Trigger Pulse, 轉流回路의 定數 等이 制御特性을 決定하는 要素임을 알았다. SCR 및 Diode 等은 모두 高速形이 要求되었으며 Chopper 周波數는 낮게 選定하는 것이 制御效果를 向上시켰다.

實測으로 決定된 回路의 條件으로는

① Chopper周波數는 100[Hz]~400[Hz]範圍內에서 가장 安定했다.

② Gate trigger는 電力의 增加보다 幅을 3~4배 넓혀주는 것이 安定했다.

③ 轉流回路의 逆 Bias 電壓을 供給하는 時間은 素子의 turn off 時間보다 充分히 길게 設計되어야 한다.

④ SCR의 Turn off 時間은 耐壓의 2배 程度 比例하여 增加한다.

⑤ Snubber 回路는 逆電壓을 吸收하므로 Chopper 設計時에는 必要以上 크게 選定하지 말아야하며 誘導逆電壓이나, Brush 等의 影響을 測定한 후에 決定하여야 한다.

等의 結論을 얻을 수 있었으며 回路에서의 高調波電流가 미치는 여러 現象, Chopper의 多相多重와 함께 研究되어야할 調題로 思慮된다.

参考文獻

- 1) 河野薰勝; “サイリスタの 應用裝置(電子科學シリーズ No. 49) pp. 68~74, 產報, 1973
- 2) J. Inagaki, K. Kniyoshi, S. Tadakuma “Commutators get the Brush off” IEEE Spec. No. 6 pp. 52~58 June 1973
- 3) K. Heumann; “Pulse Control of DC and AC by Silicon Controlled Rectifiers” IEEE Trans. Communication and Electronics CE-83 No. 73 pp. 390~399 July, 1964
- 4) 築地謙次 “SCR とその 應用” pp. 30~37 日刊工業新聞社 1975
- 5) Peter Hartigan; “A Pulsewidth-Modulated DC to DC Converter that Utilizes a Small Number of Components Trans. AES-8 pp. 9~12, Jan 1972.
- 6) Alexander Kusko; “Solid-state Motor-Speed Controls IEEE Spec. No. 10 pp. 50~55, Oct. 1972
- 7) 小津厚; “サイリスタ應用”(電子科學シリーズ No. 33 pp. 237~250 產報 1972
- 8) 官入庄太; “サイリスタ應用 ハントブック” pp. 192 ~218 日刊工業新聞社 1968
- 9) B. Szabados “A Load Insensetive Chopper” IEEE Trans. IECI-22 No. pp. 31~34 Feb. 1975
- 10) Jacob Millman and Hebert Taub “Pulse, Digital and Switching Waveforms McGraw-Hill 1965
- 11) Alvin, W. Moore “Phase locked loop for Motor-Speed Control” IEEE Spec., No. 4 pp. 61~67, 1973