

二相二重초퍼방식에 의한 直流他勵磁電動機의 四象限動作

Four Quadrant Operations of DC Separately-Excited Motor by the Two Phase Chopper System with Combined Output

鄭 然 澤* · 韓 慶 熙** · 金 容 珠*** · 李 丞 桓§ · 方 利 錫§§
 (Yon-Tack Chung · Kyung-Hee Han · Yong-Joo Kim · Seung-Hwan Lee · Lee-Seok Bang)

요 약

電氣車의 直流電動機를 초퍼제어하는 경우, 正轉驅動, 正轉回生制動, 逆轉驅動, 逆轉回生制動의 四象限動作을 필요로 하고 있다. 이 4상한동작을 위하여, 直流他勵磁電動機를 사용해서, 電機子는 2상2중초퍼방식으로, 他勵磁捲線은 勵磁用 單相초퍼방식을 사용하므로써, 各 象限 動作의 전환을 가능하게하였다.

Abstract- In order to control DC motors for electric cars by chopper system, four quadrant operations – forward powering, forward regenerative braking, reverse powering, reverse regenerative braking – are needed. For the four quadrant operations, the separately - excited DC motors are used in this study. The conversion of each quadrant operation has been obtained by 1) adopting the two phase chopper system with combined output for the armature control, and 2) the single phase chopper system for the field control.

1. 서 론

電氣車의 直流電動機를 초퍼제어하는 경우, 驅動時에는 降壓초퍼를 二相二重方式으로, 回生制動時는 昇壓초퍼를 二相二重方式으로 동작시키고 있다

*正 會 員: 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 **正 會 員: 明知大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
 ***正 會 員: 東洋工專 電氣科 教授 · 工博
 §正 會 員: 忠南專門大 專任 講師, 明知大 大學院 電氣工學科 博士 課程
 §§正 會 員: 明知大 大學院 電氣工學科
 接受日字: 1989年 8月 2日
 1次修正: 1990年 3月 23日

다. [1]~[3] 그러나 現用의 2상2중초퍼방식은 소자수의 증가를 억제하기 위하여, 驅動時의 動作回路에서 回生制動時의 動作回路로(또는 회생제동에서 구동동작으로) 轉換할 경우에는 主回路의 접속을 切換하고 있다. 고로, 主回路 切換用의 많은 接觸자를 갖게 되어, 이로 인한 보수성, 증량성 및 신뢰성에 문제가 있다. [4]~[6]

본 논문에서는, 直流他勵磁電動機를 사용하여, 電機子는 昇降壓二相二重초퍼방식으로, 반도체소자로서는 역도통다이리스터를 사용하여, 구동↔회생제동의 전환을 연속적으로 가능하게 하고, 他勵磁捲線은 보통의 單相降壓초퍼방식으로, 勵磁電流

의 크기와 방향을 제어함으로써, 直流直捲電動機의 장점을 얻을수 있으며, 정지직전까지 회생제동이 가능하고, 正轉↔逆轉동작이 가능한 방식을 제시한다. 즉, 구동↔회생제동 및 正轉↔逆轉의 4상한동작을 電機子초퍼회로와 界磁초퍼회로의 게이트신호로 제어할수 있는 방식을 제시하여, 그의 기본동작및 기본특성을 이론및 실험적으로 고찰한다.

2. 四象限초퍼방식

直流他勵磁電動機를 사용하여, 4상한동작을 시키기 위한 종합초퍼회로를 그림1에 표시한다. 여기에서 E_s 는 전원전압, L_s , C_s 는 전원전류의 필터용 리액터와 콘덴서, $S_1 \sim S_8$ 은 다이리스터, $D_1 \sim D_8$ 은 다이오드, L_1 , L_2 는 평활용리액터, E_m 은 電機子A의 誘起起電力, F 는 他勵磁捲線으로 L_f 는 리액터분이다. 본 방식은 그림에 표시한바와 같이 電源部, 電機子초퍼部및 界磁초퍼部로 나누어 진다. 電機子는 主초퍼부인 2상2중초퍼방식으로 동작시키고, 他勵磁捲線은 界磁勵磁장치인 單相초퍼방식으로 동작시킨다. 그림에서 逆並列로 접속된 다이리스터와 다이오드는, 이와 등가소자인 역도통다이리스터를 사용하여 실제로는 소자수가 반감하게 되지만, 동작설명에 편리상 다이리스터와 다이오드로 표시하고 있다. 본 방식에 의한 전기차의 운전에서 正轉驅動, 正轉制動과 逆轉驅動, 逆轉制動의 4상한 동작모드(mode)의 전환은, 電機子초퍼및 界磁초퍼의 게이트신호에 의하여, 無接點으로 연속적이고 신속하게 이행할수 있다. 이하 4상한동작의 원리를 고찰한다.

2.1 正轉驅動(1상한동작)

그림1의 종합초퍼회로에서 電機子초퍼부와 界磁

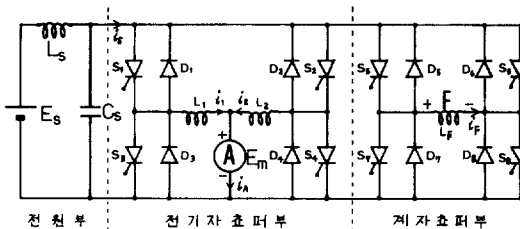


그림 1 4상한 동작을 위한 종합초퍼회로.
Fig. 1 Synthetic chopper Circuit for four quadrant operation.

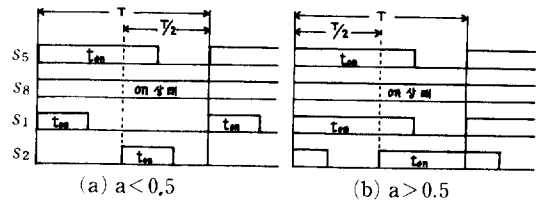


그림 2 正轉驅動時의 초프부 導通상태.
Fig. 2 Conduction-ratio of chopping parts in forward powering.

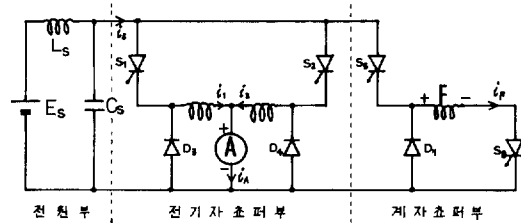


그림 3 정전구동시의 등가회로.
Fig. 3 Equivalent circuit for forward powering.

초퍼부의 다이리스터초프부가 그림2와 같이 온·오프(on·off)되어, 어떤 일정방향으로 驅動되는 경우를 正轉驅動으로 정한다. 主초프부 S_1, S_2 의 時比率 α ($\alpha = t_{on}/T$, T : 단위초퍼의 동작주기, t_{on} : 초프부의 도통기간)가 0.5이하인 경우와 0.5이상인 경우로 나누어 표시했다. 界磁초퍼에서는 S_8 을 도통상태로 하여 놓고, S_5 를 온·오프시키는 방식으로 界磁捲線電流 i_f 를 제어한다. 여기에서 他勵磁捲線은 電機子에 비해 捲線수가 크므로, 이 勵磁電流는 일반적으로 연속이며, 電動機自體에 별로 영향이 없으므로 단상초퍼로 제어한다. [7] 電氣子초퍼에서는 電機子電流의 맥동을 작게하기 위하여 초퍼회로를 S_1 과 S_2 에 의한 降壓形二相二重방식으로 동작시켜 電機子양단의 전압을 제어한다. 이 때의 동작등가회로를 그림3에 표시한다. 또한 $L_1 = L_2 = L$, $i_1 = i_2$ 의 이상적인 경우를 가정하여 각 초프부의 도통상태에 따른 各部의 電流波形, 즉 리액터 L_1 및 L_2 에 흐르는 전류 i_1 및 i_2 , 電機子電流 i_A , 電源電流 i_s 를 時比率 α 가 0.5이하인 경우와 그 이상인 경우로 구분하여 그림4에 표시한다. 여기에서 界磁초퍼부의 단상초퍼방식은 잘 알려져 있으므로 회로동작은 생략하고, 2상2중방식의 전기자초퍼부에 대하여 고찰한다.

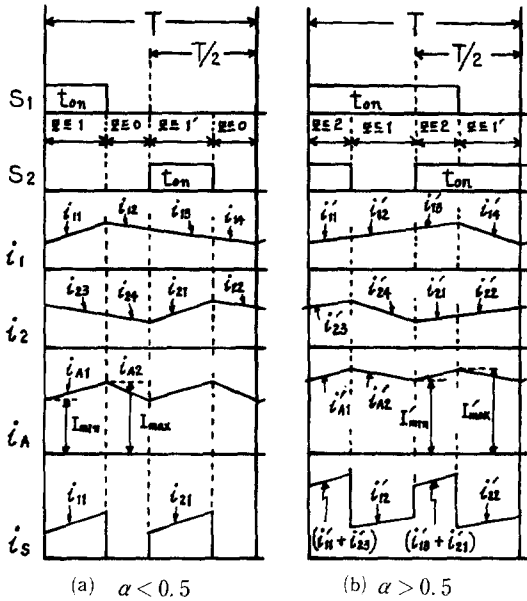


그림 4 초프부의 도통상태와 각부파형.
Fig. 4 Conduction-ratio of chopping Parts and waveforms of each Part.

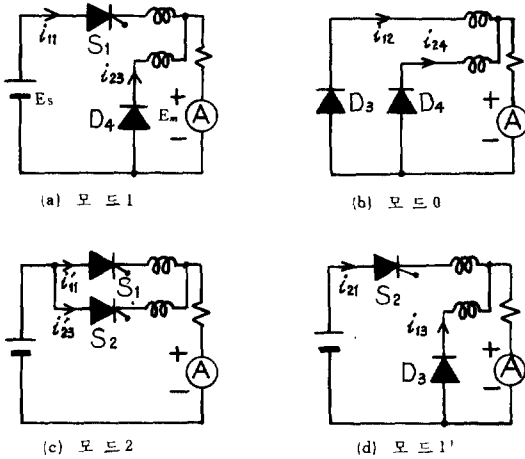


그림 5 각모드의 등가회로.
Fig. 5 Equivalent circuit of each mode.

본 방식은 초프의 시비율 α 에 따라 4가지 회로로 동작하게 되는데, 그림4에 표시한 각 동작모드에 대한 주회로의 등가회로를 그림5에 표시한다. 이하 $\alpha < 0.5$ 인 영역과 $\alpha > 0.5$ 인 영역으로 구분하여 기본동작을 고찰한다.

(a) $\alpha < 0.5$ 의 영역

그림4에 표시한바와 같이 모드1—모드0—모드1'—모드0의 동작을 반복하게 되는데, 모드1인 경우에는 S_1 만이 도통상태이고, 모드0에서는 S_1, S_2 가 모두 오프상태이며, 모드1'에서는 S_2 만이 도통상태로 모드1과 회로조건이 동일하다. 그림5(a)의 모드1에서의 電壓方程式은

$$L \frac{di_{11}}{dt} + Ri_{11} = E_s - E_m \quad (1)$$

$$L \frac{di_{23}}{dt} + Ri_{23} = -E_m \quad (2)$$

이 되며, 그림5(b)의 모드0에서의 전압방정식은 다음과 같다.

$$L \frac{di_{12}}{dt} + Ri_{12} = -E_m \quad (3)$$

$$L \frac{di_{24}}{dt} + Ri_{24} = -E_m \quad (4)$$

여기에서 R 은 L 및 電機子의 저항분이다. 그리고 그림4와 그림5로 부터 전기자전류 i_A 는 $i_A = i_1 + i_2$ 임을 알 수 있다. 그러므로 그림4의 i_{A1} 과 i_{A2} 는 $i_{A1} = i_{11} + i_{23}$, $i_{A2} = i_{12} + i_{24}$ 이다. 식(1)과 식(2)와 식(3)과 식(4)를 취하여, i_{A1} 과 i_{A2} 를 구하면

$$i_{A1} = i_{11} + i_{23} = \frac{E_s}{R}(1 - 2\xi)(1 - e^{-t/\tau}) + I_{min}e^{-t/\tau} \quad (5)$$

$$i_{A2} = i_{12} + i_{24} = -\frac{E_s}{R}2\xi(1 - e^{-t/\tau}) + I_{max}e^{-t/\tau} \quad (6)$$

가 된다. 여기에서 $\xi = E_m/E_s$ 이고, $\tau = L/R$ (시정수)이다. 또한 I_{min} 은 i_{A1} 의 초기치, I_{max} 는 i_{A2} 의 초기치이며, (5)식에서 $t = t_{on}$ 일 때 $i_{A1} = I_{max}$ 이고, (6)식에서 $t = t_{off}$ 일 때 $i_{A2} = I_{min}$ 가 되는 관계로부터 I_{min} 과 I_{max} 를 구하면 다음과 같다.

$$I_{min} = \frac{E_s}{R} \left\{ \frac{e^{-\rho(0.5-\alpha)} - e^{-0.5\rho}}{1 - e^{-0.5\rho}} - 2\xi \right\} \quad (7)$$

$$I_{max} = \frac{E_s}{R} \left\{ \frac{1 - e^{-\rho\alpha}}{1 - e^{-0.5\rho}} - 2\xi \right\} \quad (8)$$

여기에서 $\rho = T/\tau$ 로써 평활계수가 된다. 이 때의 電機子電流의 맥동분을 $\Delta I = I_{max} - I_{min}$ 라 하면

$$\Delta I = \frac{E_s}{R} \left\{ \frac{(1 - e^{-\rho\alpha})(1 - e^{-\rho(0.5-\alpha)})}{2(1 - e^{-0.5\rho})} \right\} \quad (9)$$

이 되며, $\alpha = 0.25$ 에서 최대치를 갖는다. 또한 이 때의 電機子電流 i_A 의 평균치 I_A 는

$$I_A = \frac{2}{T} \left\{ \int_0^{aT} i_{A1} dt + \int_0^{(0.5-a)T} i_{A2} dt \right\} = \frac{E_s}{R}(a - \xi) \quad (10)$$

가 된다. 위식에서 전원전압 E_s 와 전기자전압 E_m 과의 관계는 다음과 같이 된다.

$$E_m = E_s \cdot \alpha - RI_A \quad (11)$$

위 식에서 저항분 R 를 무시하면, 시비율 α 를 0~1까지 제어하므로써 電機子양단에 걸리는 전압 E_m 을 0~ E_s 까지 연속적으로 제어할 수 있다. 다음의 모드1, 모드0의 동작은 모드1, 모드0의 동작과 완전히 동일하여, 電機子電流의 맥동주기는 단위초퍼동작주기의 1/2이 된다.

(b) $\alpha > 0.5$ 의 영역

그림4(b)에 표시한바와 같이 모드2-모드1-모드2-모드1'의 동작을 반복하는데, 모드2는 그림5(c)와 같이 S_1, S_2 가 모두 도통상태이다.

그림5(c)의 모드2에서의 전압방정식은 다음과 같다.

$$L \frac{di_{11}'}{dt} + Ri_{11}' = E_s - E_m \quad (12)$$

$$L \frac{di_{23}'}{dt} + Ri_{23}' = E_s - E_m \quad (13)$$

다음의 모드1에서는 (1), (2)식과 동일형태로 된다. 즉

$$L \frac{di_{12}'}{dt} + Ri_{12}' = E_s - E_m \quad (14)$$

$$L \frac{di_{24}'}{dt} + Ri_{24}' = -E_m \quad (15)$$

이 경우 전기자전류 i_A' 는 그림4(b)로부터 $i_{A1}' = i_{11}' + i_{23}'$ 이고, $i_{A2}' = i_{12}' + i_{24}'$ 가 된다. 식(12)+식(13)과 식(14)+식(15)를 취하여 i_{A1}' 와 i_{A2}' 를 구하면

$$i_{A1}' = \frac{E_s}{R} 2(1-\xi)(1-e^{-t/\tau}) + I_{min}' e^{-t/\tau} \quad (16)$$

$$i_{A2}' = \frac{E_s}{R} (1-2\xi)(1-e^{-t/\tau}) + I_{max}' e^{-t/\tau} \quad (17)$$

가 된다. I_{min}' 는 i_{A1}' 의 초기치, I_{max}' 는 i_{A2}' 의 초기치이다. (20)식에서 $t = \alpha T$ 일 때 $i_{A1}' = I_{max}'$ 이고, (21)식에서 $t = (1-\alpha)T$ 일 때 $i_{A2}' = I_{min}'$ 인 관계로 부터 I_{min}' 와 I_{max}' 를 구하면 다음과 같다.

$$I_{min}' = \frac{E_s}{R} \left\{ \frac{1+e^{-\rho(1-\alpha)} - 2e^{-0.5\rho}}{1-e^{-0.5\rho}} - 2\xi \right\} \quad (18)$$

$$I_{max}' = \frac{E_s}{R} \left\{ \frac{2-e^{-\rho(\alpha-0.5)} - e^{-0.5\rho}}{1-e^{-0.5\rho}} - 2\xi \right\} \quad (19)$$

이 경우의 맥동분 $\Delta I' = I_{max}' - I_{min}'$ 는

$$\Delta I' = \frac{E_s}{R} \left\{ \frac{(1-e^{-\rho(1-\alpha)})(1-e^{-\rho(\alpha-0.5)})}{2(1-e^{-0.5\rho})} \right\} \quad (20)$$

가 되며, $\alpha = 0.75$ 에서 최대치를 갖는다. 이 경우

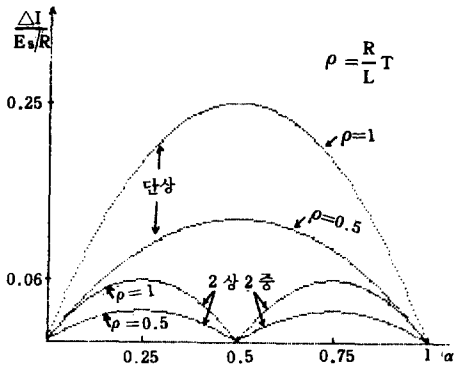


그림 6 電氣子電流의 맥동분.
Fig. 6 The ripple of armature current.

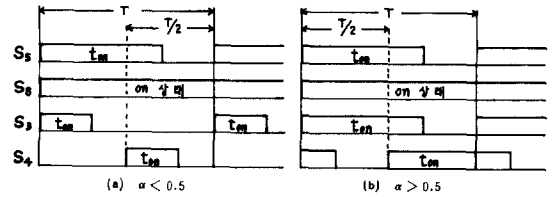


그림 7 正轉再生制動時的 초프부도통 상태.
Fig. 7 Conduction-ratio of chopping parts in forward regenerative braking.

의 電機子電流 i_A' 의 평균치 I_A' 는

$$I_A' = \frac{2}{T} \left\{ \int_0^{(\alpha-0.5)T} i_{A1}' dt + \int_0^{(1-\alpha)T} i_{A2}' dt \right\} = \frac{E_s}{R} (\alpha - \xi) \quad (21)$$

위의 결과로 부터

$$E_m = E_s \cdot \alpha - RI_A' \quad (22)$$

가 된다. 이것은 $\alpha < 0.5$ 의 영역에서의 관계식(11)식과 동일한 것으로 電機子電壓을 제어할 수 있다. 다음에 모드2, 모드1'의 동작은 모드2, 모드1과 같은 조건으로 동일값이 된다.

이상의 고찰사항에서 電機子電流의 맥동분, 즉 $\alpha < 0.5$ 의 영역에서의 (9)식과 $\alpha > 0.5$ 에서의 (20)식을 단상방식과 비교하기 위하여 ρ 를 파라미터로 맥동분과 時比率와의 관계를 그림6에 표시한다. 이 그림에서 평활계수 ρ 가 작을수록 맥동분이 감소함을 알 수 있으며, 단상과 비교하면 최대치가 1/4로 감소함을 알 수 있다.

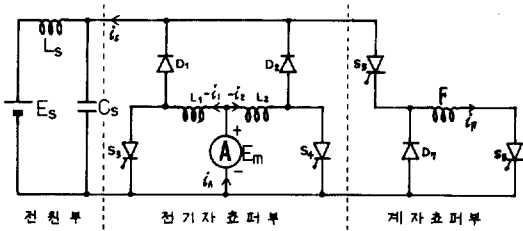


그림 8 正轉回生制動時的 등가회로.
Fig. 8 Equivalent circuit for forward regenerative braking.

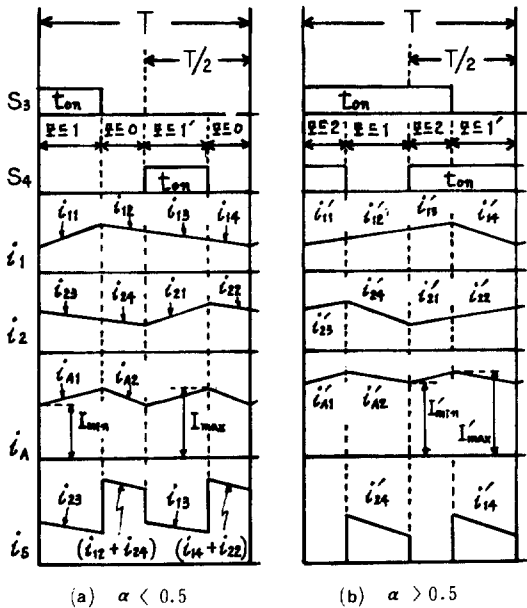


그림 9 초퍼부의 도통상태와 각부파형.
Fig. 9 Conduction-ratio of chopping Parts and waveforms of each Part.

2.2 正轉回生(2象限動作)

그림1의 종합초퍼회로에서 각 초퍼부를 그림7과 같이 온·오프하면, 昇壓形2상2중초퍼작용으로 正轉回生制動動作이 된다. S₁, S₂, S₆, S₇은 동작하지 않으며 이 경우의 동작등가회로를 그림8에 표시한다. 초퍼부 S₃, S₄의 도통상태에 대한 리액터전류 i₁, i₂, 電機子電流 i_A, 電源電流 i_s를, α < 0.5인 경우와 α > 0.5인 경우로 나누어 그림9에 표시한다. 回生制動時的 電機子초퍼동작은 驅動時

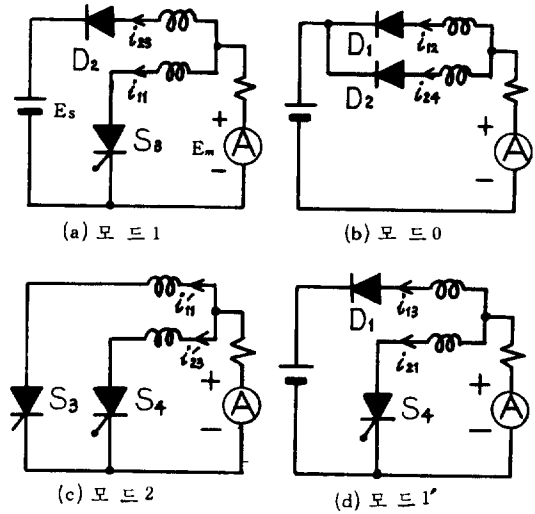


그림 10 각 모드의 등가회로.
Fig. 10 Equivalent Circuit of each mode.

의 동작과 매우 유사하여, 시비율 α에 따라 4가지 동작을 하게 되는데, 그림10에 각 동작모드에 대한 主回路의 등가회로를 표시한다.

(a) α < 0.5의 영역

그림9(a)에 표시한바와 같이 모드1—모드0—모드1'—모드0의 동작을 반복하는데, S₃와 S₄는 昇壓초퍼로 동작하여, 電源에 에너지를 回生하면서 制動力을 얻는다. 모드1인 경우에는 S₃만이 도통상태이고, 모드0는 S₃, S₄가 모두 오프상태이며, 모드1'는 S₄만이 도통상태로 모드1과 회로조건이 같다.

그림10(a)의 모드1에서의 전압방정식은

$$L \frac{di_{11}}{dt} + Ri_{11} = E_m \tag{23}$$

$$L \frac{di_{23}}{dt} + Ri_{23} = E_m - E_s \tag{24}$$

이 되며, 그림10(b)의 모드0에서는

$$L \frac{di_{12}}{dt} + Ri_{12} = E_m - E_s \tag{25}$$

$$L \frac{di_{24}}{dt} + Ri_{24} = E_m - E_s \tag{26}$$

이 된다. 그림9(a)로 부터 電機子電流 i_A는, i_{A1} = i₁₁ + i₂₃이고, i_{A2} = i₁₂ + i₂₄이므로 식(23)+식(24), 식(25)+식(26)을 취하여 i_{A1}과 i_{A2}를 구하면 다음과 같다.

$$i_{A1} = \frac{-E_s}{R}(1-2\xi)(1-e^{-t/\tau}) + I_{min}e^{-t/\tau} \tag{27}$$

$$i_{A2} = \frac{-E_s}{R} 2(1-\xi)(1-e^{-t/\tau}) + I_{max}e^{-t/\tau} \quad (28)$$

여기에서 I_{min} 은 i_{A1} 의 초기치, I_{max} 은 i_{A2} 의 초기치이다. 각각의 초기치를 구하여, 電機子電流의 맥동분 ΔI 를 구하면, 驅動時의 식(9)와 동일하다.

電機子電流 i_A 의 평균치를 I_A 라 하여, 電源電壓 E_s 와 電機子誘起電壓 E_m 과의 관계를 구하면

$$E_m = E_s(1-\alpha) + RI_A \quad (29)$$

가 된다. 여기에서 R 를 무시하면, $E_m < E_s$ 의 영역에서 再生制動이 가능하다. 다음에 모드1'와 모드0에서의 동작은 모드1과 모드0의 동작과 완전히 동일하다. 그러므로 電機子電流는 단위초퍼주기의 1/2주기로 동작하게 된다.

(b) $\alpha > 0.5$ 의 영역

그림9(b)와 같이 모드2-모드1-모드2-모드1'의 동작을 반복한다. 모드2는 S_3, S_4 가 모두 도통상태로써 전압방정식은 그림10(c)로 부터

$$L \frac{di_{11}'}{dt} + Ri_{11}' = E_m \quad (30)$$

$$L \frac{di_{23}'}{dt} + Ri_{23}' = E_m \quad (31)$$

가 된다. 모드1에서는 그림10(a)로 부터

$$L \frac{di_{12}'}{dt} + Ri_{12}' = E_m \quad (32)$$

$$L \frac{di_{24}'}{dt} + Ri_{24}' = E_m - E_s \quad (33)$$

가 된다. 그림9(b)로 부터 電機子電流 i_A' 는, $i_{A1}' = i_{11}' + i_{23}'$, $i_{A2}' = i_{12}' + i_{24}'$ 이므로 식(30)+식(31), 식(32)+식(33)을 취하여 i_{A1}' 와 i_{A2}' 를 구하면 다음과 같다.

$$i_{A1}' = \frac{E_s}{R} 2\xi(1-e^{-t/\tau}) + I_{min}'e^{-t/\tau} \quad (34)$$

$$i_{A2}' = \frac{E_s}{R} (2\xi - 1)(1-e^{-t/\tau}) + I_{max}'e^{-t/\tau} \quad (35)$$

여기에서 I_{min}' 와 I_{max}' 는 각각 i_{A1}' 와 i_{A2}' 의 초기치이며, 이 초기치를 구하여, 電機子電流의 맥동분을 구하면, 驅動時의 식(20)과 동일하다.

이 경우의 電機子電流 i_A' 의 평균치를 I_A' 라 하여, E_m 과 E_s 와의 관계를 구하면, $\alpha < 0.5$ 의 경우와 동일하게 되어,

$$E_m = E_s(1-\alpha) + RI_A' \quad (36)$$

로 되어, $\alpha < 0.5$ 의 영역과 같이 $E_m < E_s$ 의 영역에서 회생제어가 가능함을 알 수 있다.

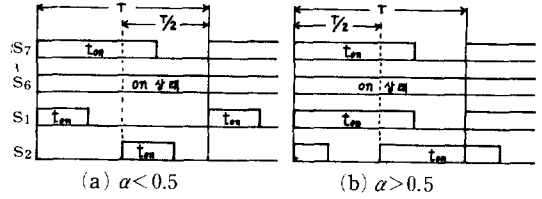


그림 11 逆轉驅動時의 초프부 도통상태.

Fig. 11 Conduction-ratio of chopping parts in reverse powering.

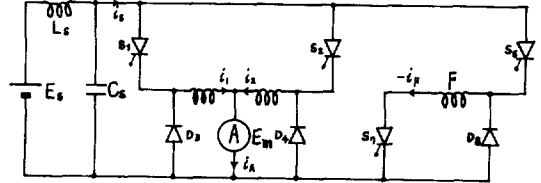


그림 12 逆轉驅動시의 등가회로.

Fig. 12 Equivalent circuit for revers powering.

2.3 逆轉驅動(3象限動作)

1상한동작인 그림3의 正轉驅動상태에서 逆轉驅動을 하기 위한 운전모드는, 일단 2상한동작인 正轉再生制動動作으로 正轉驅動 상태를 정지시킨후 逆轉驅動으로 轉換하는 것이 電機子의 過電流防止上 바람직하다. 그림3의 正轉驅動狀態에서 逆轉驅動을 하기 위한 방법은, 電機子電流 i_A 의 방향을 반대로 하는 방법과, 界磁電流 i_F 의 방향을 逆轉시키는 방법이 있다. 이 경우, 제자권선의 리액턴스에 의한 시정수가 커서 속응성이 떨어지는 약점이 있지만 電流容量이 작은 界磁電流를 逆轉시키는 방법이 손실 및 제어상 유리하다. 그림3의 正轉驅動狀態에서 界磁電流 i_F 를 逆轉시키기 위한 수단으로 그림11과 같이 S_5, S_8 은 정지상태로 하여 놓고, S_7 을 도통상태로 유지하여, S_6 를 온·오프하므로써 逆轉驅動이 가능하다. 이때의 동작회로를 그림12에 표시한다. 이것은 正轉驅動時와 비교하여, 界磁電流만이 逆轉하여 電機子가 반대방향으로 回轉하는 것 이외에는 諸特性에 있어서 완전히 동일하다.

2.4 逆轉再生制動(4상한동작)

逆轉再生制動 동작은 逆轉驅動中の 전동기를 발전기로 동작시켜, 관성력에 의해 발전된 전기에너지를 電源에 回生시킴으로서 制動力을 얻는 동작

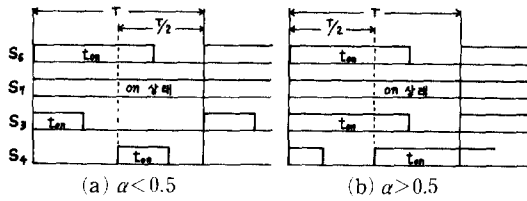


그림 13 逆轉回生制動시의 초프부 도통상태.
 Fig. 13 Conduction-ratio of chopping parts in reverse regenerative braking.

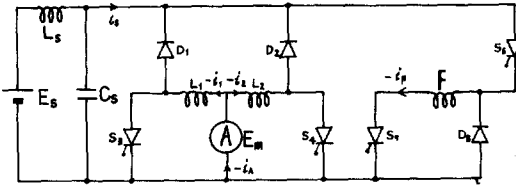


그림 14 逆轉回生制動시의 등가회로.
 Fig. 14 Equivalent circuit for reverse regenerative braking

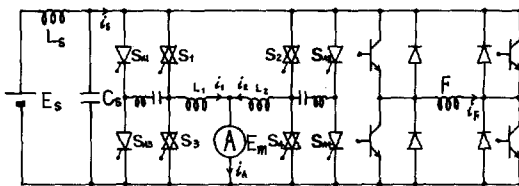


그림 15 실험 회로.
 Fig. 15 Experimental circuit.

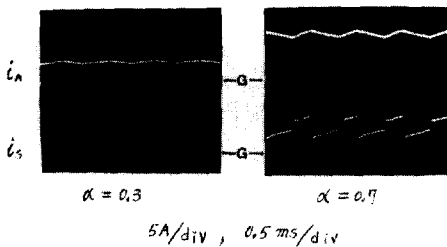


그림 16 驅動시의 作動波形.
 Fig. 16 Operating waveforms in Powering.

이다. 본 방식에서는, 그림13과 같이 초프부를 도 통시키므로써 가능하며, 이 때의 동작회로를 그림

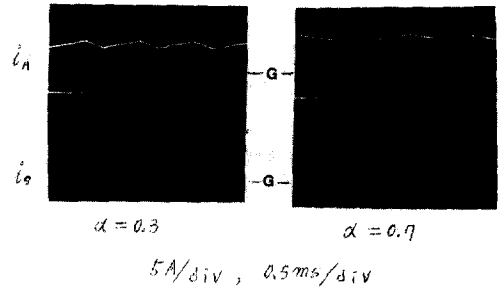


그림 17 回生制動시의 作動波形.
 Fig. 17 Operating waveforms in regenerative braking.

14에 표시한다. 이 때의 동작은 그림8의 正轉回生 制動時와 비교하여, 界磁電流의 방향만이 반대일 뿐 諸特性은 동일하다.

3. 實驗 및 考察

3.1 실험

그림15에 실험에 사용한 主回路를 표시한다. 電 機子초퍼부에는 逆導通다이리스터를 사용하였으 며, 이 逆導通다이리스터를 오프하기 위하여 보조 다이리스터 S_{A1}~S_{A4}를 삽입하였다. S₁을 오프시 키기 위하여 S_{A1}을 점호시키는데 이의 동작원리는 McMurray의 단상인버터회로와 동일하다. 제차 초 퍼부에는 제어의 편리상 電力用트랜지스터를 사용 하였다. 또한 구동동작에서 회생제동동작으로의 轉換과정은, 실제의 電氣車, 혹은 이에 대응하는 실험장치의 未備로 연계적인 실험을 할 수 없었으 나, 各象限의 동작이 가능함을 확인하였다.

실험용 직류타여자전동기는, 2.2KW, 100V, 1800rpm이고, 평활용리액턴스는 12mH, 각초퍼의 동작주파수는 f=400Hz, E_s=90V로 일정하게 유 지하여 실험하였다. 그림16은 正轉驅動時(逆轉驅 動時도 同-), 시비율α에 대한 電機子電流i_A와 電 源電流i_S의 파형으로 그림4의 이론적파형과 일치함 을 알 수 있다. 그림17은 正轉回生制動時(逆轉回 生制動時도 同-), 시비율α에 대한 電機子電流i_A와 電 源電流i_S의 파형으로 그림9의 이론적파형과 일치함을 알 수 있다.

3.2 고찰

直流電動機를 電氣車에 사용하는 경우 直捲機보 다 分捲特性的 電動機를 사용하는 것이, 종합적으 로 점착성(粘着性), 차량성능, 에너지절감, 보수

성, 제어의신뢰성, 속응성등에서 유리하다.[7]~[9] 예를들면, 분捲特性的 他勵磁機는, 直捲機의 장점인 기동토크에 대하여, 기동시 勵磁電流를 최대로 하여 直捲機 정도의 기동토크를 갖게 할 수 있다. 또한 回生制動時에는 勵磁電流 제어에 의하여, 直捲機보다 저속영역까지 回生制動力을 얻을 수 있다. 이것에 본 방식과 같이 작은 電流의 界磁電流만을 소용량의 초퍼로 제어함으로써 4상한 동작을 가능하게 하는 것은, 각 동작절환용의 많은 접촉자를 없이하므로, 回路要素의 간소화 및 경량화에 크게 공헌할 수 있다.

본 방식의 운전모드는 정전구동→정전회생제동→역전구동→역전회생제동→정전구동의 순으로 동작시키면 된다. 예를들면 역전구동으로 부터 정전구동하는 경우에는, 역전구동에서 정전구동동작으로 바로 절환하는 것이 아니고, 일단 역전회생제동으로 정지시킨 다음, 정전구동동작을 시키는 것이다. 본 방식을 전기자동차에 적용하는 경우로 가상하면, 이러한 운전패턴으로 보통의 자동차와 똑같은 운전감각으로 4상한운전이 가능하게 된다.

4. 결 론

直流他勵磁電動機를 사용하여, 電機子초퍼부에서는 역도통다이리스터를 사용하므로써 소자수의 증가없이 驅動用의 2상2중감압초퍼동작과 회생제동용의 2상2중승압 초퍼동작을 할 수 있게 하였으며, 또한 界磁초퍼부에서는 他勵磁捲線電流를 兩方向으로 제어하므로써 4상한동작을 가능하게 하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 電機子초퍼부에는 역도통다이리스터를 사용함에 의하여 구동↔회생제동 절환용의 많은 접촉자를 생략할 수 있다.

(2) 界磁초퍼부에서는 작은 勵磁電流만을 제어하여 4상한동작을 가능케하므로써, 회로절환용의 접촉자를 생략하여, 경량화와 더불어 제어효율이 향상된다.

(3) 直流他勵磁電動機의 사용과 電機子초퍼, 界磁초퍼에 의한 속응성제어에 의하여, 점착성, 신뢰성및 경제성이 향상된다.

(4) 電機子초퍼는 2상2중방식으로 電機子電流의 맥동분이 단상초퍼방식에 비하여 1/4로 감소하므로 평활용리액터의 용량이 경감된다.

本 研究는 韓國科學財團의 1986年度 前半期 研究費支援計劃에 의한 것임을 밝힘과 동시에 關係各位에 감사하는 바입니다.

참 고 문 헌

- [1] チョップ制御方式専門委員會編：“チョップ制御ハンドブック”日本電氣學會發行, 1980年.
- [2] 松野, 高賀, 川井：“今後のチョップ制御電車”東芝レビュー, vol. 30, no.2, 1975.
- [3] 大野, 赤松：“車輛制御多相多重サイリスタチョップ方式の解析”日本電氣學會論文誌, vol. 88, no. 954, 1968.
- [4] 大野, 成戸：“チョップ”日本電氣學會雜誌, vol. 98, no. 5, 1978.
- [5] 石津：“チョップ制御装置(II)”電氣鐵道, vol. 35, no. 1, 1981.
- [6] 成戸, 四方：“電鐵における回生ブレーキ併用チョップ制御装置”三菱電機技報, vol. 53, no. 12, 1979.
- [7] 刈田, 東, 成戸, 金田：“新方式高周波4象限チョップシステム”三菱電機技報, vol. 56, no. 8, 1982.
- [8] 曾根, 横田：“電氣車の粘着特性能評價のためのシミュレーションモデル”日本電氣學會論文誌B, vol. 101, no. 7, 1981.
- [9] R.A. VAN ECK：“The separately excited DC traction motor applied to DC and single phase AC rapid transit systems and electrified railways. Part I” IEEE Trans, vol. IGA-7, no. 5, 1971.