

회생용 2분할 2상 쇼퍼의 전류분담 특성(電流分担特性)
 Characteristics of Current Division on Two Phase Chopper with
 Two Separate Groups DC Motors in Regenerative Braking

정 연 택
 한 경 희

명 지 대 학
 명 지 대 학

1. 서론

최근, 일정직류전압을 전원으로 하는 전차는 구동식나 회생식을 막론하고, 직류직권전동기(또는 발전기, 이하 직류기라 칭함)를 쇼퍼 제어하는 방식이 많이 채용되고 있다⁽¹⁾. 이 경우 전원전류의 맥동에 의한 유도장해및 전동기전류의 맥동에 의한 정류악화등의 경감을 위하여 그림 1 과 같은 2상 2중쇼퍼 방식(회생용의 경우)이 주로 채용되고 있다. 이 방식

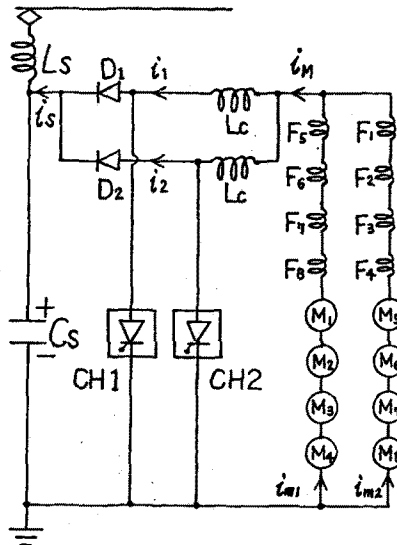


그림 1. 회생용 2상 2중 쇼퍼의 원리도

은 외국외의 경우 많은 사용실적을 갖고 있으며, 기술적으로도 성숙기에 들어있다. 그러나 이 방식은 직권가를 대상으로 한 것으로서 분권특성을 갖는 전동기의 운전은 힘들다.

분권특성의 직류타여자전동기(이하 타여자기

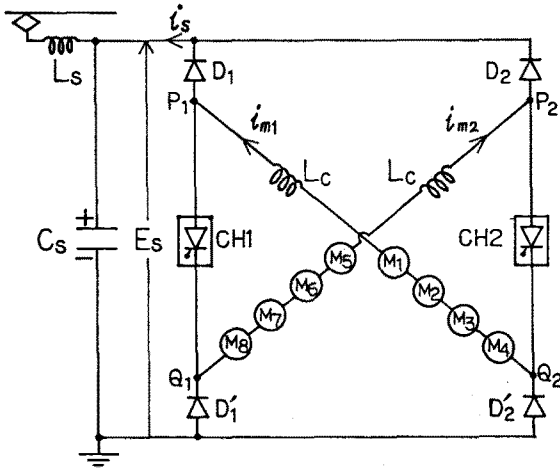
라 칭함)는 타여자전류를 제어함으로써, 직권기가 갖는 장점이 발휘되며, 이 이외에도 직권기에 비하여 점착성이 크고, 고효율이며, 회생제동사는 전기자 전류의 입상(立上) 문제가 없어, 보다 안정한 회생제어가 가능하다. 즉 전차를 경제적으로 안정하게 운전하기 위해서는 타여자가 유리하다⁽²⁾.

전차를 쇼퍼제어하는 경우, 하나의 쇼퍼장치로 복수대의 전동기를 제어하게 되는데, 그림 1의 경우는 8대의 전동기를 4대씩 직렬로 연결한 전동기군(群)의 2군을 병렬로 접속한 예이다. M1 - M8은 전기자, F1 - F8은 직권계자로서, 교차계자(交叉界磁) 접속이다. 이 경우 각 전동기군의 전류 i_{M1} , i_{M2} 는 $i_{M1} \approx i_{M2}$ 로서 전류분담이 균일하게 안된다. 이 이외에도 2상 2중쇼퍼방식은 다음과 같은 결점을 갖고 있다. ① 각상의 전류 i_1 , i_2 는 일반적으로 $i_1 \approx i_2$ 가 되므로, 양전류를 검출하는 DC·CT(직류변류기)를 필요로 하며, 양전류가 같도록 제어할 필요가 있다. ② 평활용 리액터 L_c 에는 단위쇼퍼의 주파수전류가 흘러, i_1 , i_2 의 맥동률이 크다.

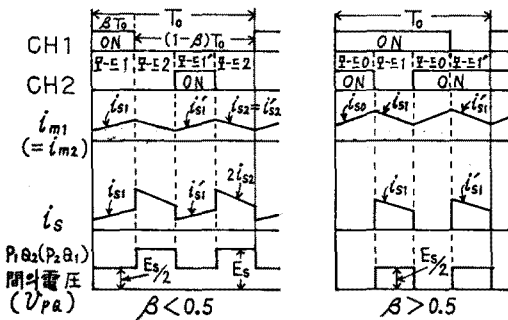
필자는 상기 ①, ②의 결점을 제거하며, 직권기는 물론 분권특성의 전동기의 운전도 가능한 2분할 2상쇼퍼(구동·회생)를 제시한바 있다⁽³⁾. 이번에는 회생제동사의 각 발전기군에 흐르는 전류분담 특성에 대하여 이론 및 실험적 고찰 결과를 자세히 보고한다.

2. 회생용 2분할 2상쇼퍼회로

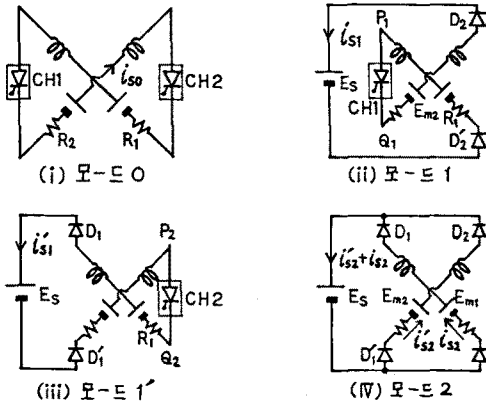
그림2 (a) 에 회생용 2분할 2상쇼퍼의 원리도를 표시한다. 여기에서, E_s 는 할터콘덴서 C_s 양단의 전압, L_c 는 평활용 리액터, CH1, CH2는 전류(電流) 회로를 생략한 쇼퍼, D_1, D_1', D_2, D_2' 는 회생용 다이오드이다. 계자권선은 생략하고 있으나, 직권기, 분권기, 복권기 및 타여자기등 어떤 경우도 이하에 설명하는 원리는 동일하다.



(a). 회생용 2분할 2상쇼퍼의 원리도



(b). 쇼퍼의 導通狀態와各部의波形



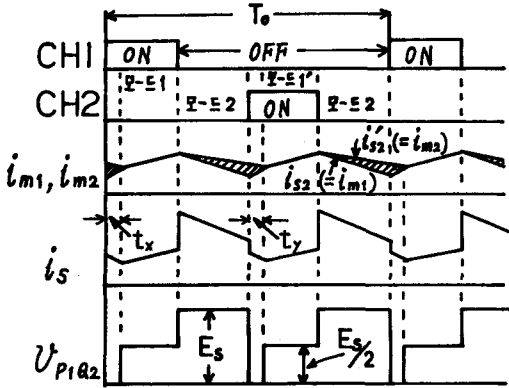
(c). 동작 모드

그림 2

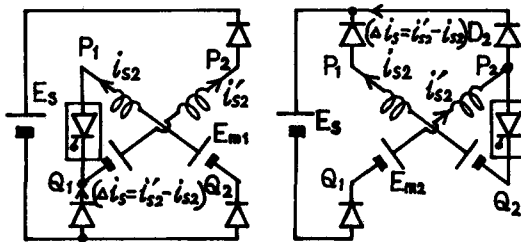
일하다. CH1 과 CH2는 이상적인 쇼퍼라 가정하고, $E_{m1} = E_{m2}, R_1 = R_2, i_{s2} = i'_{s2}, i_{m1} = i_{m2}$ 인 경우의 CH1 과 CH2의 도통기간과, 발전기 전류 $i_{m1} (= i_{m2})$, 전원전류 i_s , 그림 2 (a) 의 $P_1 Q_2$ (또는 $P_2 Q_1$) 간 전압파형을, 시비율 $\beta (= ON/T_0)$ 가 0.5 이하와 이상인 경우로 나누어 그림 2(b) 에 표시한다. 또한 쇼퍼의 온·오프에 따른 동작 모드를 그림 2(c)에 표시한다. $0 \leq \beta \leq 0.5$ 의 영역에서, CH1 과 CH2는 체강쇼퍼로서 작용하며, $0.5 \leq \beta \leq 1$ 의 영역에서는 체생쇼퍼로 동작한다. $E_m \leq E_s$ 의 영역에서 회생제동이 가능하며, V_{pa} (V_{pa} 의 평균치) $= (1-\beta)E_s$ 의 관계가 성립한다.

3. 발전기의 전류분담 특성

그림 2 (c)의 동작모드에서, (i) ~ (iii)의 모드에서는 발전기가 직렬로 접속되어, 각 발전기전류는 항상 같은 값을 갖는다. 그러나, $0 \leq \beta \leq 0.5$ 의 영역에서 존재하는 (iv)의 모드 2의 경우는, 일반적으로 $i_{s2} \neq i'_{s2}$ 가 된다. $E_{m1} \neq E_{m2}$ 의 경우로서, $i'_{s2} > i_{s2}$ ($i_{m2} > i_{m1}$)의 경우를 예로들어 각부의 파형을 그림 3 (a)에 표시하며, 전류평형화기간 t_x 및 t_y 에서의 등가회로를 (b), (c)에 표시한다. 그림 3 (a)에서, CH1이 온 상태인 모드 1에서는 각 발전기간의 전류가 동일하며, 다음에 CH1이 오프하면 양군의 전류는 서로 다른 값으로 감소하여 간다. 다음에 CH2가 온 하면 양군의 전류가 동일하지 않으므로 '즉시 모드 1'로 이행될 수 없다. 그림 3 (c)의 기간 t_y 의 등가회로에서 큰쪽의 전류 i'_{s2} 는 $E_{m2} - P_2 - D_2 - E_s - Q_1 - E_{m2}$ 의 경로로 회생전류를 흘리면서 계속 감소하여 가고, 작은쪽의 전류 i_{s2} 는 $E_{m1} - P_1 - D_2 - P_2 - CH2 - Q_2 - E_{m1}$ 의 경로로 단락되어 전류가 증가한다. 양군의 전류가 동일하게 된 시점에서 D_2 가 오프되고, 모드 1'로 이행하게 된다. 기간 t_x 에 있어서도 t_y 에서와 똑같은 원리로서 전류분담의 평형화를 도모한다. $b = E_{m2}/E_{m1}$ 이라 하고, i_{m1} 의 평균치 I_{m1} 과 i_{m2} 의 평균치 I_{m2} 와의 차 ΔI_m (그림 3 (a)의 사선부분)을 구하면 다음과 같다.



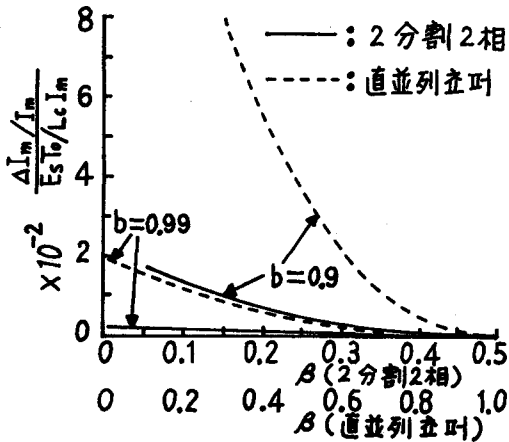
(a) 쇼퍼의 導通상태와 各部의 波形



(b) t_x 의 등가회로 (c) t_y 의 등가회로
그림 3. $i_{m2} > i_{m1}$ 의 경우의 파형과 등가회로

$$\Delta I_m = \frac{E_s T_0}{L_c} \cdot \frac{(0.5 - \beta)^2}{\left\{ \frac{1+b}{2(1-\beta)(b-1)} - 1 \right\}} \quad (1)$$

여기에서, $(I_{m1} + I_{m2})/2 = I_m$ 라 하고 $\Delta I_m/I_m$ 을 불평형률이라 정의하여, $b=0.99$ 와 $b=0.9$ 의 경우의 이론치를 그림 4(a)에 표시한다. 종래의 방식과 비교하기 위하여, 전류불평형화 작용이 있는 직병렬쇼퍼의 불평형률도 함께



(a) 不平衡率(理論值)

표시하였다. 2분할 2상쇼퍼가 훨씬 작은 값을 갖는다. 그림 4(b)에는 본방식의 실험치를 이론치와 함께 표시하였다.

4. 검토

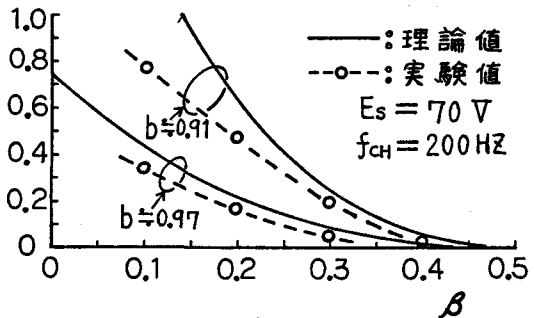
회생용 2분할 2상쇼퍼방식은, 종래의 2상 2중방식에서는 존재하지 않는 발전기전류의 전류평형화 작용이 있으며, 전류불평형률을 고찰한 결과 상당히 작은 값을 갖는 것을 확인했다. 그러므로 교차계자(交叉界磁)제어가 불가능한 본권기나 타여자기의 운전이 가능하다.

본 방식은 문헌(3)에서 지적한바와 같이 2상2중방식에서의 커다란 결점을 제거하며, 제특성에 우수하므로 실용성이 기대된다.

(참 고 문 헌)

- (1) 成戸, 四方, “電鉄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)
- (2) 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)
- (3) 鎌, 林, 上田, “二分割二相チョップの特性”
電氣學會論文誌(B), VOL.102, NO.12 (1982).

2 分割 2 相



(b) 不平衡率(實驗值)

그림 4