

구동용 4분할 2상 쇼퍼방식에서의 전류분담특성

( Characteristics of Current Division in Two Phase Chopper System with Four Separate Groups of D.C Motors in Powering )

저 언 택 (명지대학교)  
 한 경 희 (명지대학교)  
 김 용 주 (동양공전대)  
 오 봉 환\* (명지대학교)

1. 서론

일정전압전압을 전원으로 하는 전기차는 구동시는 물론 회생제동시에도 쇼퍼제어 방식을 취하고 있다. 이 경우 한대의 쇼퍼장치로서 복수대의 전동기를 일괄하여 제어하게 되는데, 현재 실용화되어 있는 2상 2중쇼퍼방식에서는 복수대(작수)의 전동기를 2군(Group)으로 분할하여, 2군의 전동기군을 병렬로 고정접속하는 방식을 취하고 있다. (1) (2) 그러므로 각 전동기군의 전류분담이 균일하게 되지 않아 전류-속도특성이 수하(垂下) 특성이 된류직권전동기 이외의 본권특성의 운전은 어렵다. (3) (4)

한편, 전기차를 경제적으로 운전하기 위해서는, 고정차속, 보수성 및 성능저하등의 필요성이 높아지고 있어, 직류직권기 대신에 교류기 및 직류타여자기를 사용하려는 움직임이 활발하다.

필자들은 기존(既存)의 수전설비 및 전동기를 사용하여 종래의 2배의 전동기를 구동하는 방식으로서 구동용 4분할 2상 쇼퍼방식을 제안한바 있다 (5), 이번에는 상기 쇼퍼방식이 본권특성의 전동기 운전도 가능함을 고찰하기 위하여, 각 전동기군의 전류분담 특성에 대하여 이론적으로 해석하였기에 이에 보고 한다.

2. 구동용 4분할 2상 쇼퍼방식의 전류분담특성

4대의 직류타여자 전동기를 4분할하여 접속한 4분할 2상 쇼퍼의 주회로도를 그림 1에 표시한다. 각 스위치  $S_1, CH_1, S_2, CH_2$  를 동시에 온(on), 오프(off) 시키며 이것과 반주기만큼 늦은 위상

에서  $S_3, CH_3, S_4, CH_4$  를 동시에 온, 오프 시킴으로써 2상으로 동작시킨다.

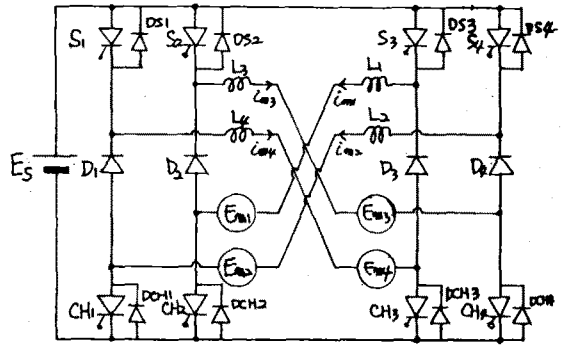


그림 1. 4분할 2상 쇼퍼의 주회로도

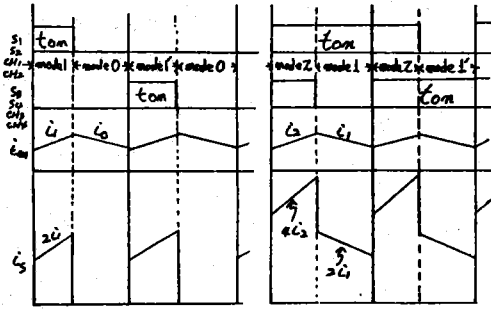
먼저 이상적인 경우로서  $E_{m1} = E_{m2} = E_{m3} = E_{m4} = E_m$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L$ , 저항분 = 0 라 가정하여 스위치  $S_1 \sim S_4$ , 쇼퍼부  $CH_1 \sim CH_4$  의 도통상태에 따른 전원전류  $i_s$  와 전동기전류  $i_m (= i_{m1} = i_{m2} = i_{m3} = i_{m4})$  을 시비율  $\alpha (= \frac{t_{on}}{T})$  가 0.5 이하인 경우와 0.5 이상인 경우로 나누어 그림 2에 표시하고, 그에 따른 동작모-드를 그림 3에 표시한다.

양 영역에서 전원전압  $E_s$  와 전동기전압  $E_m$  의 관계는  $E_m = \alpha \cdot E_s$  가 성립하고,  $\alpha$  를 0 ~ 1 까지 변화 시킴에 따라 전동기에 걸리는 전압을 제어할 수 있다.

다음은 전류분담특성을 고찰하기 위하여  $E_{m1} > E_{m2} > E_{m3} > E_{m4}$  로 가정하고,  $E_{m2}/E_{m1} = b_2$

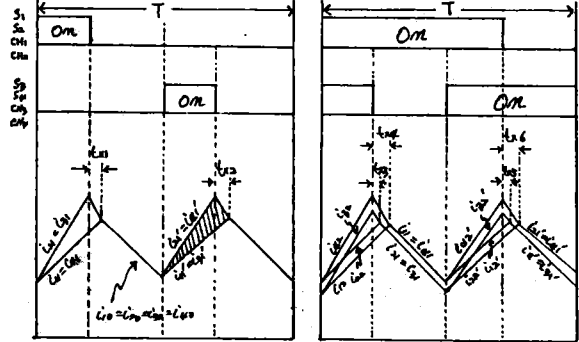
$E_{m3}/E_{m1}=b_3, E_{m4}/E_{m1}=b_4$  가 등차급수적으로 다른 경우를 예로 하여 고찰한다.

$CH_4$ 가 오프상태인 모드 0에서는 각 전동기군의 전류가 같은 값으로 감소하며  $CH_3, CH_4$ 가 온,  $CH_1, CH_2$ 가 오프하면 전류는 서로 다른 값으로 증가하여 간다.



(a)  $\alpha < 0.5$  (b)  $\alpha > 0.5$

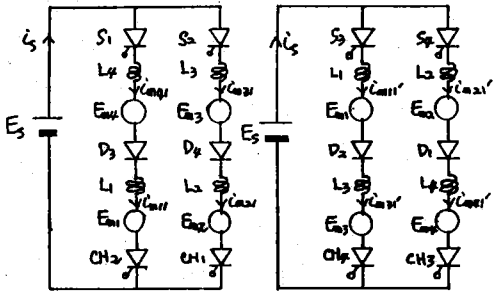
그림 2. 스위치 도통상태와 각부 파형



(a)  $\alpha < 0.5$

(b)  $\alpha > 0.5$

그림 4. 전동기 전류의 파형



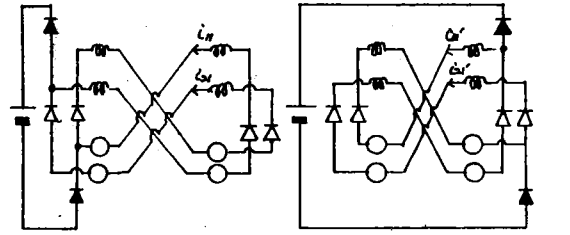
(a) 모드 1

(b) 모드 1'

(c) 모드 0

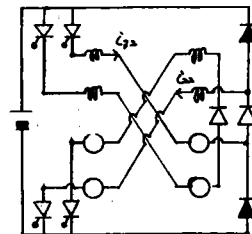
(d) 모드 2

그림 3. 각 모드-드의 등가회로

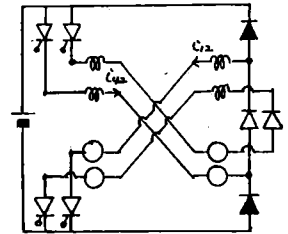


(a)  $t_{x1}$  등가회로

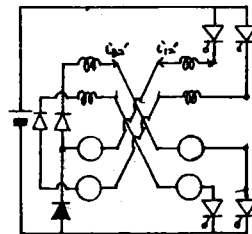
(b)  $t_{x2}$  등가회로



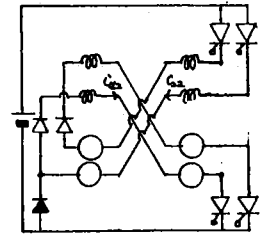
(c)  $t_{x3}$  등가회로



(d)  $t_{x4}$  등가회로



(e)  $t_{x5}$  등가회로



(f)  $t_{x6}$  등가회로

그림 5. 전류 평형화기간의 등가회로

그림 3(c)의 모드 0에서는 전동기가 주류로 접속되어 전류는 같은 값을 갖는다. 그러나(a), (b), (d)모드에서는 전동기가 병렬로 접속되어 일반적으로 전류가 같지 않게된다.

이경우의 전동기 전류의 파형을  $\alpha < 0.5$  와  $\alpha > 0.5$ 로 나누어서 그림 4에 표시하고 그에따른 전류 평형화기간의 등가회로를 그림 5에 표시한다.

(1)  $0 \leq \alpha \leq 0.5$

그림 5의  $t_{x2}$  등가회로에서  $CH_1, CH_2, CH_3,$

다음에  $CH_1, CH_2, CH_3, CH_4$  가 모두 오프 하더라도 양극의 전류가 동일하지 않으므로 즉시 모드 0로 이행될수 없다. 그림 5의 (b) 회로에서 큰쪽의 전류  $\dot{I}_{m21} = \dot{I}_{m41}$  는  $E_{m2} - D_1 - E_{m4} - D_3 - D_5 - E_5 - DCH_4 - D_6 - E_{m2}$  로 감소하고 작은쪽 전류  $\dot{I}_{m11} = \dot{I}_{m31}$  는  $E_5 - DS_3 - E_{m1} - D_2 - E_{m3} - DCH_4 - E_5$  의 경로로 전류가 증가한다. 양극의 전류가 동일하게된 시점에서  $DS_3, DCH_4$  는 오프되고 모드 0로 이행하게된다. 기간  $t_{x1}$  에서도  $t_{x2}$  와 같은 원리로 전류분담의 평형화를 도모한다.  $\dot{I}_{m4}$  의 평균치를  $I_{m4}$ ,  $\dot{I}_{m1}$  의 평균치를  $I_{m1}$  이라 할때 양평균치 전류의 차  $\Delta I_m$  (그림 4의 사선부분)을 구하면 다음과 같다.

$$\Delta I_m = \frac{E_s T}{L} \frac{\alpha^2 \sigma (1 - b_2 + b_3 - b_4)}{4 \{ 1 - \sigma (1 - b_2 + b_3 - b_4) \}} \quad \text{--- (1)}$$

여기에서  $\sigma$  는  $\sigma = \frac{E_{m1}}{E_s}$  이다.

(2) 0.5 ≤ α ≤ 1

그림 5의 등가회로에서  $CH_1, CH_2$  가 온하고  $CH_3, CH_4$  가 오프상태인 모드 1에서 2상으로 동작하는 전동기전류  $\dot{I}_{m21} (= \dot{I}_{m11}), \dot{I}_{m31} (= \dot{I}_{m31})$  은 서로 다른 값으로 감소하다가  $CH_1, CH_2, CH_3, CH_4$  가 모두 온상태인 모드 2에서는 각 전동기 전류  $\dot{I}_{m1}, \dot{I}_{m2}, \dot{I}_{m3}, \dot{I}_{m4}$  가 서로 다른 값으로 증가하므로 다음에  $CH_1, CH_2$  가 오프하고  $CH_3, CH_4$  가 온상태로 되더라도 즉시 모드 1로 이행되지 않는다. 그림 5의  $t_{x5}$  등가회로에서 큰쪽의 전류  $\dot{I}_{m31}$  는  $E_{m3} - CH_4 - DCH_2 - D_2 - E_{m3}$  로 전류가 감소하고, 작은쪽의 전류  $\dot{I}_{m11}$  는  $E_5 - S_3 - E_{m1} - DCH_2 - E_5$  의 경로로 증가한다. 양 전류가 동일하게 되는 시점에서  $DCH_2$  는 오프되고 모드 1로 이행하게 된다. 기간  $t_{x3}, t_{x4}, t_{x6}$  에서도 같은 원리로 동작하며 전류분담의 전류평형화를 도모한다. α < 0.5인 경우와 마찬가지로  $\dot{I}_{m4}$  의 평균치를  $I_{m4}$ ,  $\dot{I}_{m1}$  의 평균치를  $I_{m1}$  이라 할때 양평균치 전류의 차  $\Delta I_m$  을 구하면 다음과 같다.

$$\Delta I_m = \frac{E_s T}{L} \left[ \sigma \left\{ \frac{b_1 b_4}{\rho} - \frac{1 + b_2 - 2b_4}{\rho} \alpha + \frac{b_2 - b_3}{\rho} \frac{t_{x1}}{T} - \frac{\alpha (1 - b_1) t_{x2}}{2} + \frac{(1 - b_3)(1 - 2\sigma) t_{x3}}{\rho} + \frac{b_1 b_4 - 2b_2 t_{x4}}{4} - \frac{1 - b_4}{2} \frac{t_{x5}}{T} \right\} + \frac{1}{4} \alpha - \frac{1}{8} \frac{t_{x1}}{T} + \frac{\alpha t_{x2}}{2} - \frac{1 - 2\alpha}{\rho} \frac{t_{x3}}{T} - \frac{1 - 2\alpha}{4} \frac{t_{x4}}{T} + \frac{1}{2} \frac{t_{x5}}{T} + \frac{1}{4} \left( \frac{t_{x3}}{T} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{t_{x4}}{T} \right)^2 \right] \quad \text{--- (2)}$$

전압비를 파라메타로 하여 불평형율과 시비율 α 와의 계산예를 그림 6에 표시한다.

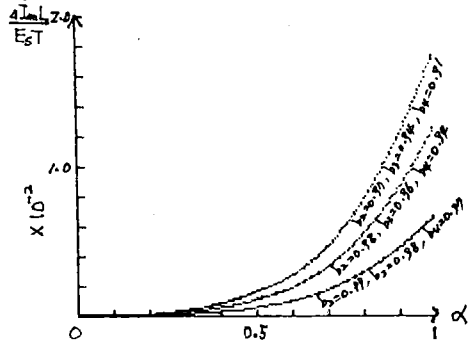


그림 6. 불평형율 (이론치)

3. 검토

구동용 4분할 2상 초퍼방식에 의한 직류전동기의 전류분담특성을 고찰한 결과, 본 방식은 2분할 2상 초퍼방식과 유사한 원리로서, 전류평형화 작용이 양호하여, 전류불평형율이 작으므로 본 권특성의 전동기 운전도 가능함을 알았다. 금후 전원전압의 고조파성분 및 실험적 고찰이 과제이다.

4. 참고 문헌

- (1) 大野, 赤松: "車兩制御用 多相多重サイリスチョッパ 방식의 解析" 電氣學會, vol. 88-3, No. 954, (1968)
- (2) 成戸, 四方: "電鉄におけり 回生ブレーキ併用チョッパ制御装置" 三菱電機技報, vol. 53, No. 12, (1971)
- (3) R.A. VAN ECK: "The Separately Excited D.C Traction Motor Applied to D.C and Single phase A.C Rapid Transit system and Electrified Rail ways, Part 1" IEEE Trans, vol. 19A-7, No. 5, (1971)
- (4) 紙谷編: "電動機制御システム" 電氣學院發行 (1978)
- (5) 정연택, 한경희, 권홍주, 이영일: "구동용 4분할 2상 초퍼방식" 전력전자연구회, 8-3-10 (1984, 11)