

2상 2중 초퍼방식에 의한 4상한 동작

정 언 백, 한 경 회, 이 승 환, 오 봉 환, 방 이 석
명 지 대 학 교

Four-Quadrant Operation by the Two Phase
Chopper System with Combined Output.

Y.T.CHUNG, K.H.HAN, S.W.LEE, B.W.OH, L.S.BANG
MYONG-JI UNIVERSITY

1. 서 론

현재 직류전기차를 초퍼제어하는 경우, 4상한 동작을 위한 회로결합상의 많은 접속자를 갖게되어 보수성, 중량성 및 신뢰성이 떨어져서 심취화에 문제가 있다.

이에 대하여 현용의 2상 2중 초퍼방식에서 일반적으로 사용하는 SCR 소자 대신에 역도동 다이오드를 사용함으로써 소자수의 증가없이 구동(→회생제동)의 동작을 게이트신호에 의해 무전점으로 신속하게 전환할 수 있는 방식과 또한 직류전동기로서 본권특성의 마어자기를 사용하여 마어자권선을 별도의 초퍼회로로 제어함으로써 구동(→회생제동) 및 정전(→역전) 동작, 즉 4상한 동작을 게이트신호만으로 제어할 수 있는 방식을 제시하여 그외 동작 및 기본특성을 이론 및 실험적으로 고찰한다.

2. 4상한 초퍼

직류 마어자 전동기를 사용하여, 4상한 동작을 시키기 위한 2상 2중 초퍼방식의 주회로도를 그림 1에 표시한다. 여기에서 E_s 는 전원전압, L_s , C_s 는 전원전류

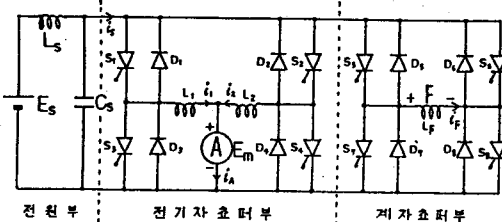
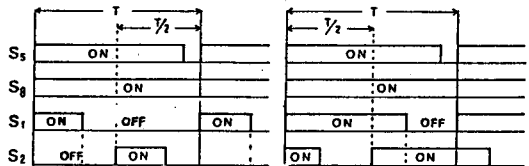


그림 1. 4상한 동작을 위한 초퍼회로의 원리도의 필터용 리액터와 콘덴서, S1 - S8는 다이오드, D1-D8는 다이오드, L1, L2는 평활용 리액터, E_m 은 전기차 A의 유기기전력, F는 마어자권선으로 L_f 는 리액터본이다. 본 방식은 그림에 표시한바와 같이 전원부, 전기차 초퍼부, 계차 초퍼부로 나누어진다. 전기차는 2상 2중 초퍼회로 동작시키고, 마어자권선은 계차 초퍼회로인 단상 초퍼회로로 동작시킨다. 그림에서 다이오드

와 역병렬로 접속된 다이오드는 이와 동소자인 역도동 다이오드를 사용하여 실제로는 소자수가 반감하게 되지만, 동작설명의 편의상 다이오드와 다이오드로 표시하고 있다. 본 방식에 의한 전기차의 운전에서 정전구동, 정전제동, 역전구동, 역전제동의 4상한 동작 모드로의 전환은 전기차 초퍼부 및 계차 초퍼부의 게이트 신호제어에 의해 무전점으로 연속적이고 신속하게 행할 수 있다. 이하 4상한 동작의 원리를 고찰한다.

2.1 정전구동 (1상한 동작)

그림 1의 종합초퍼회로에서 전기차 초퍼부와 계차 초퍼부의 다이오드 역도동부(스위치)가 그림 2와 같이 온·오프(on, off)하는 경우를 정전구동이라 한다.



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

그림 2. 정전(정전)구동시의 스위치 도통상태 시비율 α ($\alpha = t_{on}/T$, T: 단상 초퍼의 동작주기, t_{on} : 초퍼부의 도통기간)가 0.5이하인 경우와 0.5이상인 경우로 나누어 표시했다. 계차 초퍼에서는 S8을 도통상태로 하여 놓고 S5를 온 오프시키는 보통의 계강형 단상 초퍼방식으로 계차 권선 전류 I_f 를 제어한다.

전기차 초퍼에서는 전기차 전류의 맥동을 추가하기 위하여 S1과 S2에 의한 계강형 2상 초퍼로 동작시켜 전기차 양단의 평균전압을 제어한다. 이때의 동작회로도를 그림 3에 표시한다. 또한 $L1 = L2 = L$, $i_1 = i_2$ 의 이상적인 경우로 가정하여 각 스위치의 도통상태에 따른 각부의 전류파형, 즉 평활용 리액터 L1 및 L2에 흐르는 전류 i_1 및 i_2 , 전기차 전류 i_A , 전원전류 i_s 를 시

호프부의 도통상태와 함께 그림 4에 표시한다.

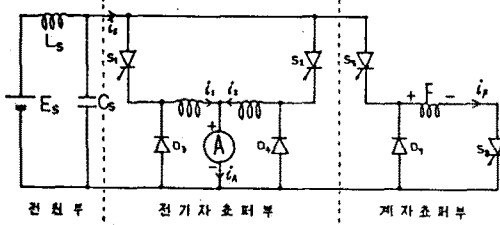


그림 3. 정전구동시의 호프회로

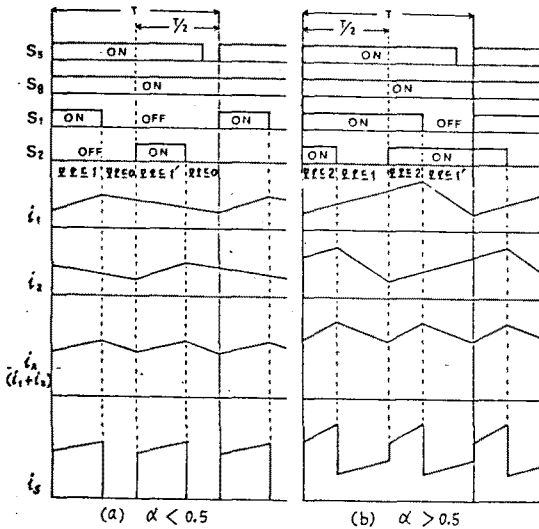


그림 4. 스위치의 도통상태와 각부 파형

여기에서 계자효퍼부의 단상호퍼방식은 잘알려져 있으므로 회로동작은 생략하고, 2상 2중방식의 전기자효퍼부에 대하여 고찰한다. 본방식은 호퍼의 시비율 α 에 따라 4가지 회로로 동작하게 되는데, 그림 4에 표시한 각동작모드에 대한 주회로의 동작회로를 그림 5에 표시한다.

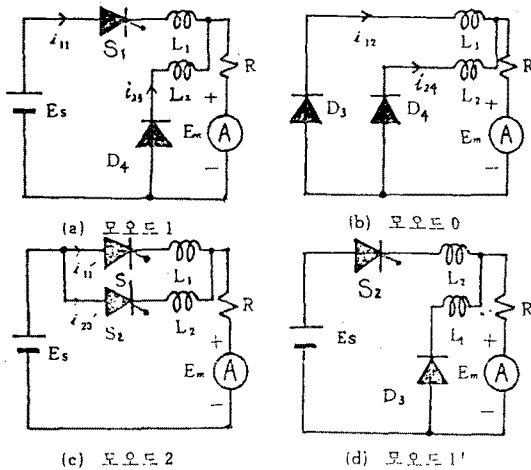
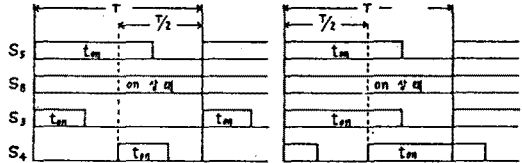


그림 5. 각모드의 동작회로

2.2 정전회생 (2상한동작)

그림 1의 종합호퍼회로에서 각스위치의 그림 6과 같이 온·오프하면 계승형 2상 2중호퍼작용으로 정전회생제동 동작이된다. S1, S2, S6, S7은 동작하지 않으며 이경우의 동작회로를 그림 7에 표시한다.



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

그림 6. 정전회생제동시 스위치의 도통상태

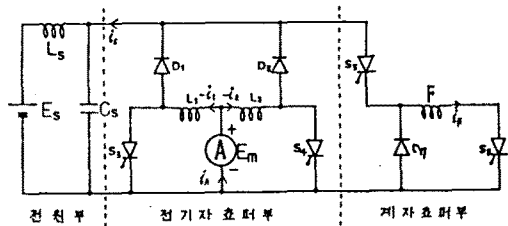
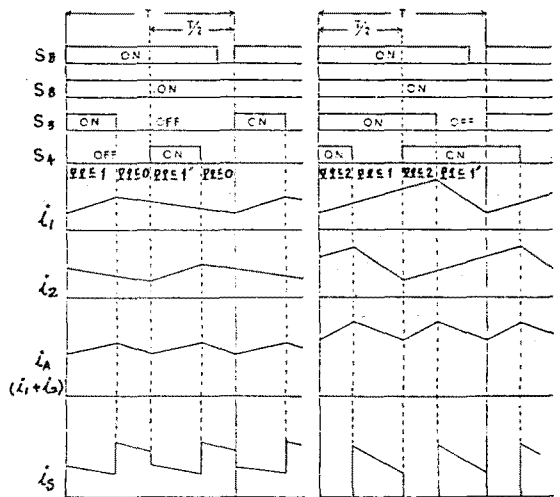


그림 7. 정전회생시의 호퍼회로

또한 정전구동시를 정(正)으로 보았을때 각스위치의 도통상태에 대한 평활용터오퍼 전류 i_1, i_2 , 전기자 전류 i_A , 전원전류 i_S 를 $\alpha < 0.5$ 인 경우와 $\alpha > 0.5$ 인 경우로 나누어 그림 8에 표시한다. 여기에서 전류의 구성은 정전구동시를 정(正)인 경우로, 회생제동시의 전기자효퍼 동작은 구동시의 동작과 매우 유사하여, 시비율 α 에 따라 4가지 동작을 하게되는데, 그림 9에 각동작모드에 대한 주회로의 동작회로를 표시한다.



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

그림 8. 스위치의 도통상태와 각부 파형

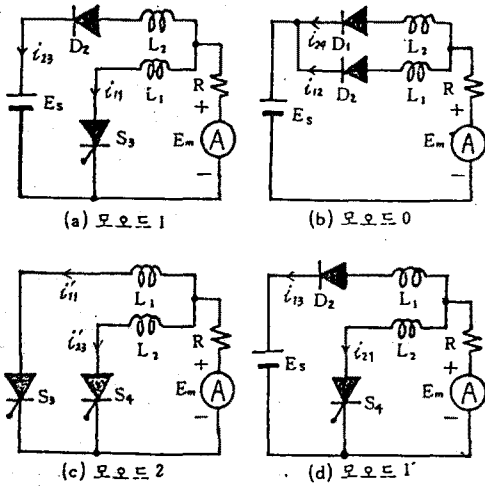


그림 9. 각 모오드의 동작회로

2.3 역전구동 (3상한동작)

1상한동작인 그림 3의 정전구동상태에서 역전구동을 하기 위한 순전모오드는, 일단 2상한동작인 정전회생제동 동작으로 정전구동상태를 중지시킨후 역전구동으로 전환하는 것이 전기자의 과전류방지를 막는 방법이다. 그림 3의 정전구동상태에서 반대방향으로 회전시키기 위한 방법은, 계자전류 i_A 의 방향을 반대하는 방법과, 계자권선전류 i_F 의 방향을 역전시키는 방법이 있다. 이 경우 어느 방법도 가능하지만 일반적으로는 전류용량이 작은 계자전류를 역전시키는 방법이 손실 및 제어상 유리하다.⁽¹⁾ 그림 3의 정전구동상태에서 계자전류 i_F 를 역전시키기 위한 수단으로 그림 10과 같이 S5, S8은 정지상태로 하고, S7를 도통상태로 유지하여 S6를 온-오프 하므로서 역전구동이 가능하다. 이때의 동작회로를 그림 11에 표시한다.

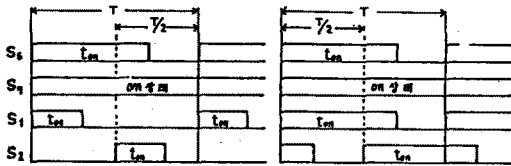


그림 10. 역전구동시의 스위치 도통상태

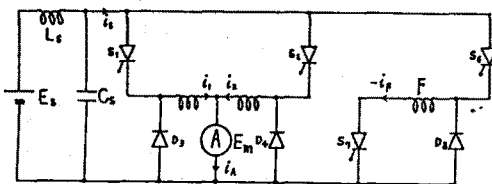


그림 11. 역전구동시의 회로회로

이것은 정전구동시와 비교하여, 계자전류의 방향만이 역전하여 전기자가 반대방향으로 회전하는 것 이외에는

계특성에 있어서 완전히 동일하다.

2.4 역전회생 (4상한동작)

역전회생제동 동작은 역전구동중의 전동기를 발전기로 동작시켜, 관성력에 의해 발전된 에너지를 전원에 회생시킴으로서 제동력을 얻는 동작이다. 이때의 각 스위치의 도통상태를 그림 12에, 동작회로를 그림 13에 표시한다. 이때의 동작은 그림 7의 정전회생시의 동작과 비교할 때 계자전류의 방향만이 반대일뿐 계특성은 완전히 동일하다.

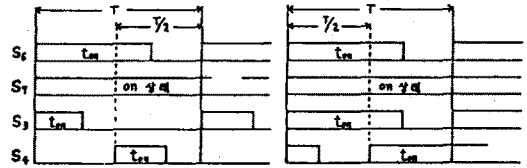


그림 12. 역전회생시 스위치의 도통상태

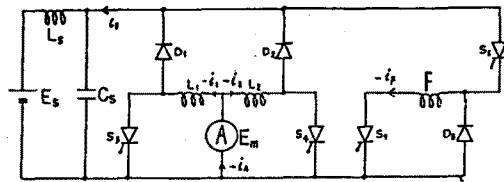


그림 13. 역전회생시의 회로회로

3. 실험 및 고찰

그림 14에 실험에 사용한 회로도도를 표시한다. 전기자회로에는 영도용 다이오스 트랜지스터를 사용하였으며, 계자회로에는 소전류이므로 제어의 편리상 트랜지스터를 사용하였다. 또한 구동동작에서 회생동작으로의 전환과정은 실제의 전기자 혹은 이에 대응하는 실험장치가 필요 하므로 본격적인 실험을 할 수 없었으나 각 상한의 동작이 가능함을 확인하였다. 실험용 회로기는

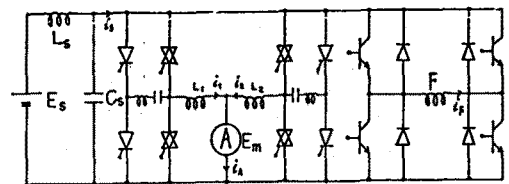
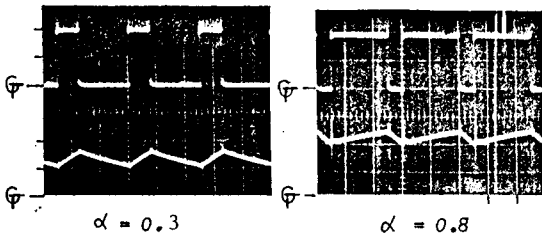


그림 14. 실험회로

마어자기도 정격은 2.2 Kw, 100 V, 1800 rpm 이고 평활용 인덕터는 $L = 42 \text{ mH}$, 각회로의 동작주파수는 $f = 400 \text{ Hz}$, $E_s = 80 \text{ V}$ 로 일정하게 유지하여 실험하였다. 이상의 조건에서 정전구동시 시비율의 변화에 따른 부하전류와 전압의 파형을 그림 15에 표시한다. 그리고 본방식은 작은 전류인 계자전류만을 소용량의 회로로 제어하므로써 4상한 동작을 가능하게 하므로 구동작을 위한 절환용의 많은 접점자를 생략하



상 : 50 V/div
하 : 5 A/div
횡축 : 0.5ms/div

그림 15. 부하전류 및 전압파형

어, 신뢰확 및 경량화에 크게 공헌할 수 있다.

본방식의 운전모드는 정전구동 → 정전회생 →

역전구동 → 역전회생 → 정전구동 (1상동작 → 2상동작 → 3상동작 → 4상동작 → 1상동작)의 순으로 동작하게 된다.

예를 들면 역전구동(후전구동)부터 시작하여 정전구동(정전구동)하는 경우에는, 역전구동에서 정전구동동작

으로 바로 전환하는 것이 아니고, 일단 역전회생계동으로 정지시킨 다음 정전구동을 시작하게 되는 것이다. 이러한 운전때편으로 보통의 자동차와 똑같은 감각으로 4상한 운전이 가능한 것이다.

4. 결론

구동용의 2상 2중 계장효퍼와 회생제동용의 2상 2중 계장효퍼와의 종합회로에 의한 주류타어차기의 4상한 동작을 가능하게 한 본방식은 제어계통이 복잡하지 만, 다음과 같은 특징이 있다.

(1) 역도통다이리스터에 의하여 구동 ↔ 회생의 동작을 소자수의 증가없이 가능하게 하여, 동차접환용의 많은 접촉자를 생략할 수 있다.

(2) 계장효퍼부에서 계장전류의 극성역전 및 전류 제어로서 4상한 동작을 위한 많은 역전기 및 접환용의 접촉자를 생략하여, 경량화와 더불어 보수성이 향상된다.

(3) 타어차전동기의 사용과 전기효퍼, 계장효퍼에 의한 속응성제어에 의해 접착성, 신뢰성 및 경제성이 도모된다.

(4) 효퍼동작에 의한 속응성제어에 의해 스텝리스(Stepless) 제어가 가능하여 승차감 및 신뢰성이 향상된다.

(5) 전기효퍼가 2상 2중방식으로, 전기효퍼의 맥동분이 단상효퍼방식에 비해 1/4로 감소하므로 평활용 인덕터의 감량내지는 생략이 가능하다.

참고 문헌

- (1). R.A.VAN ECK: "The separately excited DC traction motor applied to DC and single phase AC rapid systems and electrified railways. Part I" IEEE Trans. Vol. IGA-7, No.5, (1971).