

제강 초퍼 (구동시)  $\leftrightarrow$  극성 반전형 초퍼 (회생시)의 총합 주 회로

**Synthetic Main Circuit for Step-Down Chopper (in Powering)  
 $\leftrightarrow$  Polarity Reversion type Chopper (in Regenerative Braking)**

직 압	역 기 동	태 회 전	방 명 명	지 지	대 대	하 하
이	중	출	명	지	대	하
강	승	속	명	지	대	하

1. 서 론

전기차(전차, 전기 자동차 등)의 직류 전 동기를 초퍼 제어하는 방식은, 저항기에 의한 제어 방식에 비해, ① 저항에 의한 손실이 없으므로 열 발산이 없고 고효율이다. ② 회생 제동이 가능하기 때문에 에너지 절약이 가능하다. ③ 아크레스(arcless), 스텝레스(STE Pless)로 제어가 가능하여 신뢰성이 높다. ④ 무접점이기 때문에 보수성이 향상된다. ⑤ 초퍼 주파수를 사이리스터 특성치에 맞추어 높게 할 수 있어 속응성 및 연속성에 우수하다. 등의 커다란 장점을 갖고 있다는 것은 잘 알려져 있다. (1)(2) 지하철을 비롯한 근거리용 전차에 가장 많이 채택되고 있는 것은 2상 2중 초퍼 방식으로, 제강 초퍼를 이용하고 있는 구동시에는 커다란 문제점은 없으나, 일반적으로 체승 초퍼를 이용하고 있는 회생시에는 회생 영역의 확대, 회생율의 향상 및 주회로의 간소화 등의 문제점이 있다. (2) 회생 영역에 있어, 특히, 전차의 경우 고속시의 발전기(전동기)의 발생 전력은 대략  $n = (\text{제동시의 속도}) / (\text{정격 속도})$ , 배가 되며, 최고속시에는 이  $n$ 가 2를 넘는 것이 보통이다. (1) 그러나, 체승 초퍼의 경우는, (전원 전압)  $\geq$  (발전기 전압)의 영역, 즉 정격 속도 이하의 영역에서 회생 제어가 가능한 방식이다. 그러므로 정격 속도 이상의 영역에서 회생 제동을 가능케하기 위한 방법으로 여러 가지 방식이 제안되어 있다. 그중 가장 유효한 방법으로서 양계자 전이 방식(

弱界磁制御 方式)이 실용화 되어 있으나 제 동력에 한계가 생기며, 최약계자율(最弱界磁率)은 약 40% 정도이므로, 회생 영역의 충분한 확대는 안되고 있는 실정이다.

이에 대하여 극성 반전형(極性反轉型) 초 퍼를 회생 제동에 채용하는 경우, 전동기 측 에 필터용 콘덴서가 필요하고, 내압이 높은 소자가 필요하며, 회생율이 약간 저하하는 단 점을 가지고 있으나, 회생 영역의 문제를 완 전히 해결할 수 있다. (3)(4)

전기 자동차는 전차에 비해, 차내에 축전지 를 사용하므로, 전동기의 정격 전압은 비교적 낮고(300~500V), 유도 장애에 염려가 없으 므로, 소자의 내압 관계가 해결되며, 단상 초 퍼 방식의 이용이 가능하다. 그리고 차도(車 道)는 궤도(軌道)보다 경사가 급하여  $n = 2$  이상의 경우가 많고, 구동 $\leftrightarrow$ 제동의 운전동 작이 빈번하므로 고속으로 전환할 필요가 있다. 이 상의 관점에서 전기 자동차의 회생 제동에는 체승 초퍼 보다 극성 반전형 초퍼 방식이 유리한 면이 있다. (4)

본 연구에서는, 상기 개념에 의해 구동시에는 제강 초퍼를, 회생시에는 극성 반전형 초 퍼를 사용하는 경우를 대상으로 하였을 때, 구동, 회생의 동작을 주 회로(主回路)의 접속 을 바꾸지 않고 게이트 신호만으로써 행할 수 있는 회로 방식의 일례를 제시, 그의 동작 을 검토하는 것이 목적이다.

동작 회로

전류 회로를 포함한, 구동용인 제강 초퍼의 주 회로를 그림 1 (a) 에, 회생용인극성 반전형 초퍼의 주 회로를 그림 (b) 에 표시한다. 소자 수의 증가를 최소한으로, 상기 양 방식을 1개의 초퍼 회로로 구성시킨 것을 그림 2 (a) 에 표시한다. 그림 1의 (a) 또는 (b) 회로와 비교하여 사이리스터 1개와 다이오드 2개가 증가하는 단점이 있다. 그러나, 그림 2 (b), (c) 와 같이 게이트 신호만을 변경시키므로써 구동↔회생의 동작을 고속으로 간단하게 전환할 수 있는 이점을 갖는다. 구동시 (그림 1 (a)) 의 경우를 예로 들어 전류(電流)시의 각 부의 파형을 그림 3에 표시한다. 보조 사이리스터 2개를 사용하므로써 사이리스터의 턴. 오프 시간이 범용의 반발 펄스식 전류 회로 보다 LC 공진 전류의 반 주기 ( $\pi\sqrt{LC}$ ) 만큼 빠르므로, 최소 시 비율을 그만큼 작게 할 수 있다.

### 3. 기본식

(1) 제강 초퍼: 그림 1 (a) 에서, 초퍼부  $S_M$  가 온.오프 시의 전압 방정식은, 온 일때의 전류를  $I_1$ , 오프 일때의 전류를  $I_2$  라 하면, 온 일때:  $L \frac{di_1}{dt} + R I_1 = E_s - E_m$ , 오프 일때:  $L \frac{di_2}{dt} + R I_2 + E_m = 0$ , 상기 식에서  $R = 0$  이라 하여,  $E_s$  와  $E_m$  와의 관계를 구하면,

$$E_m = E_s \cdot \frac{t_{on}}{T} = E_s \cdot \alpha \quad \text{--- ①}$$

가 된다.  $\alpha$  를  $0 \sim 1$  까지 변화시키므로써 전동기에 걸리는 전압을  $0 \sim E_s$  까지 제어할 수 있다.

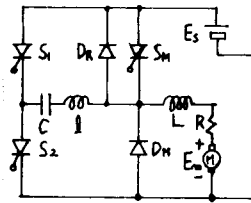
(2) 극성 반전형 초퍼: 그림 1 (b) 에서 초퍼부  $S_{R1}$  온.오프시의 전압 방정식은 다음과 같다. 온 시의 전류를  $I_1$ , 오프시의 전류를  $I_2$  라 한다면, 온 일때:  $L \frac{di_1}{dt} + R I_1 = E_m$ , 오프 일때:  $L \frac{di_2}{dt} = -E_s$  가 된다. 위 식에서  $R = 0$  이라 하면

$$E_m = \frac{(1-\alpha)}{\alpha} E_s \quad \text{--- ②}$$

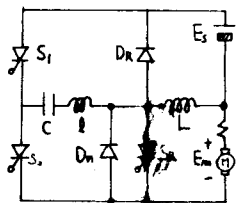
를 얻는다.  $E_m$  가  $E_s$  보다 작고, 크고에 관계없이, 즉  $E_m \leq E_s$  의 모든 영역에서 회생 제동이 가능하다.

### 4. 검토

회생 영역에 제한이 없는 극성 반전형 초퍼 회로와 구동용의 제강 초퍼와의 총합 회로 (그림 2) 를 제시하여, 게이트 신호만 에 의하여 구동↔회생의 동작이 가능함을 실험적으로 확인하였다. 회생용의 극성 반전형 초퍼는 제강 초퍼 방식과 비교할 때,  $E_s > E_m$  의 영역에서 회생용 및 제동력이 수 배 정도 떨어진다. 그러므로  $E_s > E_m$  에서는 제강 초퍼로써 운전하는 것이 유리하므로, 3개의 초퍼회로의 총합 회로를 고안하는 것도 의의 있는 일로 사료되며, 금후의 과제이다. 극성 반전형 초퍼에 의한 회생 제동은, 전동기 측의 단순 전류 방지를 위하여 다용량의 콘덴서를 필요로 하는 것인데 (여기에서는 생략하였음), 펄스 전압용 전동기의 개발이 추진되고 있다고 하며, 이것이 개발되면 극성 반전형 초퍼의 이용 가치는 한층 높아질 것으로 기대된다.



(a) 제강초퍼 (구동용)



(b) 극성반전형 (회생용)

여기에서,  $E_s$ : 전원 전압

$E_m$ : 전동기의 역전압 (발전기의 발생 전압)

L: 평활용 리액터

$S_M$ : 구동시의 주 사이리스터

$S_R$ : 회생시의 주 사이리스터

$S_1, S_2$ : 보조 사이리스터

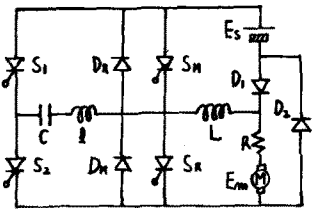
$D_R, D_M$ : 다이오드

R: 전기사 회로의 전 저항

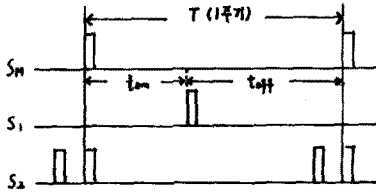
C: 전류용 콘덴서

l: 전류용 리액터

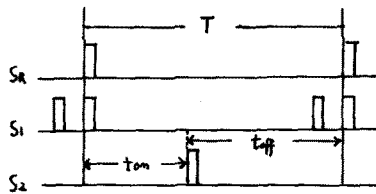
그림 1. 전류(電流) 회로를 포함한 제강 초퍼와, 극성 반전형(極性反轉型) 초퍼



(a) 총합 회로



(b) 구동시의 게이트 신호



(c) 회생시의 게이트 신호

그림 2. 총합 회로 및 게이트 신호

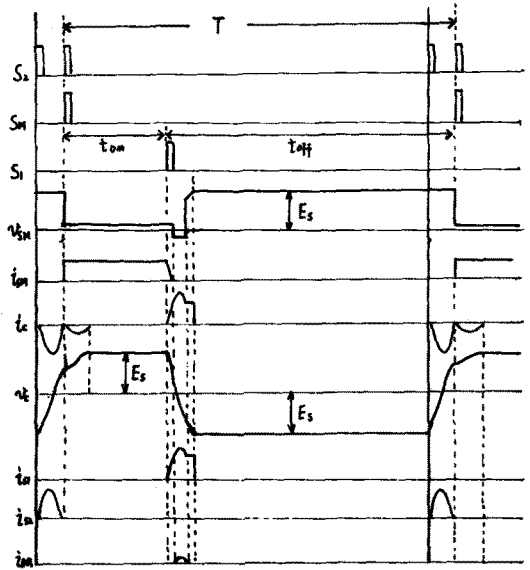


그림 3. 컨버터의 각부파형

참고 문헌

- ① 톨프바 제어 방식 専門委員会編, 톨프바 제어 핸드북, (日本)電氣学会, 1980, P.30.
- ② 松野, 古賀, 川井, “今後の 톨프바 제어 電機” 東芝レビュー, VOL. 30, NO. 2 (1975-2)

- ③ B. BERMAN, “Design Consideration pertaining to a Battery Powered Regenerative System” IEEE TRANS. Vol. IA-8 (1972-3/4)
- ④ 韓, 林, 上田, “極性反転型 톨프바による 回生領域의 拡大”, 日本電氣学会 論文誌(B), Vol. 103, No. 5, (1983-5)