

전기자동차의 초퍼제어 방식

정언택* 한경희* 김용주** 이승환*** 김대균** 이완기*
 *명지대학교 **동양공업전문대학 ***충남전문대학

A study on the Chopper Control System of Electric Vehicle

Y. T. CHUNG, K. H. HAN, Y. J. KIM, S. H. LEE, D. G. KIM, W. K. LEE
 MYONGJI UNIVERSITY, DONGYANG TECHNICAL JUNIOR COLLEGE,
 CHUNGNAM JUNIOR COLLEGE

ABSTRACT

In case of chopper control is used for the d.c motor in the electric vehicle(EV) in general step down chopper is used for the driving and the step-up chopper is used for the regeneration.

Bilateral variable ratio chopper system(BVRCS) formed by parallel combination of upper two chopper methods step-down, step-up and step-up/down chopper operations by duty cycle, circuit element and driving condition.

In this paper, BVRCS is proposed for the simulated and experimented control of d.c motor in the EV.

By the result of simulation BVRCS represents same driving power compared to the step-down and excellent braking power compared to the step-up chopper system because of the greater motor current.

1. 서 론

전기자동차에 사용하는 직류전동기를 초퍼 제어 하는 경우 일반적으로 구동시에는 강압초퍼를 채용하고 회생 시에는 승압초퍼를 채용한다.

전류가역초퍼(Chopper)는 위의 두 방식을 병렬 조합한 형태로써 시비율, 회로요소 및 운전조건에 의하여 강압초퍼 동작, 승압초퍼 동작 및 승·강압초퍼 동작을 하게된다.

본 연구에서는 전기자동차에 전류가역초퍼방식을 채용하는 경우 동일 조건에서 전류가역초퍼 방식과 강압초퍼 방식은 구동력이 같고, 전류가역초퍼 방식은 승압초퍼 방식보다 전동기전류가 크므로 제동력이 우수하며, 자동차는 전기철도와는 달리 빈번히 구동·제동동작을 반복하므로 강압·승압의 두 초퍼 방식을 사용 하는 것 보다는 한 주기 내에서 강압·승압의 두 동작을 수행하는 전류가역초퍼 방식이 유리함을 알았다.

2. 전류가역초퍼 방식 (2상한 초퍼회로)

2.1 주회로 및 기본동작

초퍼 동작의 매 주기마다 강압초퍼 동작만을, 승압초퍼 동작만을 또는 승·강압초퍼 동작을 동시에 수행하는 전류가역초퍼 방식은 강압초퍼와 승압초퍼의 두 방식을 병렬로 조합한 형태이다.

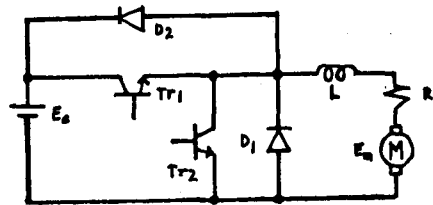


그림 1. 주회로
 Fig 1. main circuit

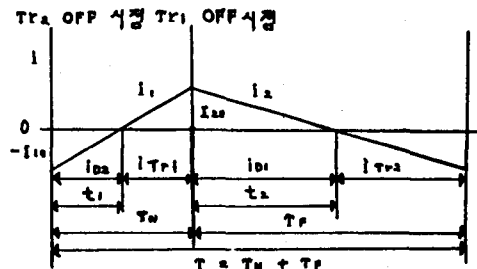


그림 2. 주회로의 전류파형.

Fig 2. current waveform of main circuit. 電流

그림2에서 전류가 正(+)의 방향으로만 흐르는 경우는 강압초퍼의 구동동작을 하고, 전류가 負(-)의 방향으로만 흐르는 경우는 승압초퍼의 회생제동 동작을 하며, 그림에서와 같이 전류가 正·負의 양방향으로 흐르는 경우는 승·강압초퍼 동작을 동시에 수행하므로써, 본 시스템에서의 전동기 전류는 항상 연속인 특징이 있다.

전동기 전류의 평균치를 I_c 라 하면

$$I_c = \frac{1}{T} \int_0^{T_n} i_1 dt + \int_{T_n}^T i_2 dt = \frac{\alpha E_s - E_m}{R} \quad \dots \dots \dots (1)$$

2.2 기본 특성

본 시스템에서의 동작 상태는 시비율, 회로요소 및 운전조건 등에 따라 3가지로 구분되는데, 각각의 동작에 대해 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 구동시 (1상한)

본 초퍼 시스템을 전기자동차에 적용하는 경우 등판길을 올라갈 때와 같이 전동기 회전을 저지하는 힘이 작용할 때나 전동기 회전수를 계속 가속하려고 할 때와 같이 경우는 $\alpha E_s > E_m$ 인 관계가 항상 성립하는 상태로서, 주회로에서 Tr_1 과 D_1 만 동작하는 상태이며 Tr_1 에는 전류 i_1 , D_1 에는 전류 i_2 가 흐른다.

2. 2. 2 회생시 (2상한)

구동 동작과 반대로 등판길을 내려갈 때와 같이 회전을 증가시키는 힘이 작용할 때나 전동기를 계속 감속시키려고 할 때와 같이 $\alpha E_s < E_m$ 인 관계가 항상 성립되는 상태로서 주회로에서 Tr_2 와 D_2 만 동작 하는 境遇이며, Tr_2 에는 전류 i_2 , D_2 에는 전류 i_1 이 흐른다.

2.2.3 구동동작과 회생동작시 (1, 2 상한)

전동기의 회전을 증감하는 작용이 반복될 때로, 속도를 감소시키려 할 때에는 $\alpha E_s > E_m$ 인 관계가 성립되어 구동동작을, 속도를 증가시키려 할 때는 $\alpha E_s < E_m$ 인 관계가 되어 회생제동 동작을 해주기 내에서 동시에 수행하는 경우로 Tr_1 , D_1 , Tr_2 , D_2 모두에 전류가 흐르게 되며 Tr_2 와 D_2 에 흐르는 전류의 평균치는 다음과 같다.

$$I_{Tr2} = \frac{\tau}{T} \left(\frac{E_m}{R} - \frac{E_s}{\tau} \frac{1 - e^{-T/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} \right) \dots (2)$$

$$I_{D2} = \frac{\tau}{T} \left(\frac{E_s - E_m}{R} (1 + \ln \frac{E_s}{E_s - E_m}) - \frac{E_s}{\tau} \frac{1 - e^{-T/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} \right) \dots (3)$$

본 전류가역초퍼 시스템은 위의 세가지 형태로 동작을 하게 되므로 다음과 같은 동작 특성을 나타낸다. 1) 전기자동차를 계속 가속시키는 경우는 항상 $\alpha E_s > E_m$ 의 관계가 성립되어 구동 동작만을 하게 되며, 2) 어떤 속도에서 역학적인 힘으로 속도가 감소하게 되면 $\alpha E_s > E_m$ 이 되어 구동초퍼 동작을 하게되고, 속도가 증가하게 되면 $\alpha E_s < E_m$ 이 되어 회생제동 동작을 하여 감속시키므로써 $E_s < E_m$ 이 되는 일이 발생하지 않고, 3) 감속시키는 경우는 회생제동 동작만을 하는 장점이 있다. 4) 그럼으로 전기철도와는 달리 구동 제동동작을 빈번히 반복하는 전기자동차의 경우는 강압-승압의 두 초퍼 방식을 채용하는 경우와 비교하여 제어성이 우수하게 되며, 강압초퍼 ↔ 승압초퍼로의 전환이 필요없게 되어 많은 전환용 스위치가 필요없게 된다. 또한, 이상의 세가지 동작모드를 고찰한 결과, 본 방식은 L값에 관계없이 전동기전류가 항상 연속하므로 L의 경량화를 도모할 수 있다.

3. 주회로의 출력 특성

전류가역초퍼 방식과 강압초퍼 방식에서의 구동력과, 전류가역초퍼 방식과 승압초퍼 방식에서의 제동력을 고찰하기 위해, 강압초퍼 방식에서의 구동력의 식(4)와 승압초퍼 방식에서의 제동력의 식(5)를 선정 한다.

$$I_P = \frac{1}{T} (f \int_0^{ton} i_{sdt} + f \int_0^{toff} i_{bdt}) = \frac{\alpha E_s - E_m}{R} \dots (4)$$

$$I_R = \frac{1}{T} (f \int_0^{ton} i_{chdt} + f \int_0^{toff} i_{sdt}) = \frac{E_m - (1 - \alpha) E_s}{R} \dots (5)$$

직류 전동기를 회전시키는 구동력은 전동기 전류에 비해 하므로 강압초퍼 방식에서의 전동기 전류의 식(4)와 전류가역초퍼 방식에서의 전동기 전류의 식(1)과는 일치하므로 두 방식에서의 구동력은 동일함을 알 수 있다. 그리고 회생제동시의 제동전력은 일반적으로 식(6)과 같이 표현된다.

$$P_m = E_m \cdot I_m \dots (6)$$

여기에서 I_m 은 전동기(발전기) 전류의 평균치로 승압초퍼 방식에서의 전동기 전류의 평균치(I_R)은 식(5)와 같고, 전류가역초퍼 방식에서 회생제동시 전동기 전류의 평균치(I_c)는 식(2)의 I_{Tr2} 와 식(3)의 I_{D2} 의 합이 된다. 이 두 방식에서 제동력의 크기를 알아보기 위해 E_m 와 α 를 일정하게 놓고 E_s 를 변화시킨 경우 각 방식의 전동기 전류의 평균치를 그림 6에 표시한다.

여기에서 전원 전압 E_s 는 110(V)로 일정하게 유지 하였으며, 시비율 α 를 파라미터로 하여 0.4, 0.6와 0.8의 경우를 계산한 것으로 CRC는 전류가역초퍼를, SUC는 승압초퍼 방식을 표시한 것으로, 이 그림으로부터 전류가역초퍼 방식이 승압초퍼 방식보다 제동력이 큼을 알 수 있다.

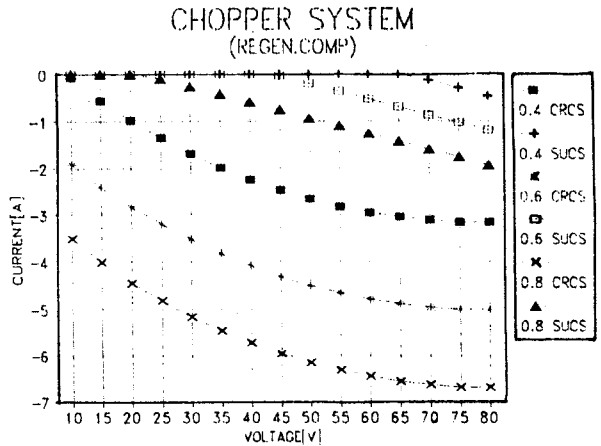


그림3. 전류가역초퍼와 승압초퍼의 출력 특성

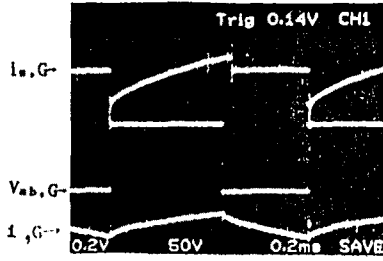
Fig3. output characteristics of bilateral variable-ratio chopper and step-up chopper.

5. 실험 결과 및 고찰

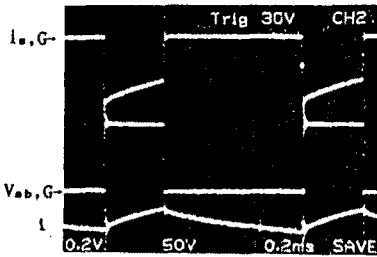
전류가역 초퍼 방식의 기본동작을 확인하기 위하여 Power Tr를 이용하여 그림 1과 같이 주회로를 구성하여 실험을 행한 결과 이론적인 파형과 일치함을 확인하였다. 실험에 사용된 직류기는 타여자 전동기로 정격은 2.2Kw, 100V, 1800rpm 이다. 그리고 평활용 리액턴스 L = 10mH, 각 초퍼의 동작 주파수 f = 800Hz 로써 전원전압 $E_s = 110$ V를 일정하게 유지하여 실험을 하였다.

그림 4는 전류가역일때 시비율의 변화에 따른 전원전류,

부하전압 및 부하전류 파형이며, 그림5는 강압초퍼와 승압초퍼일때의 전원전류, 부하전압 및 부하전류 파형을 나타낸 것이다.



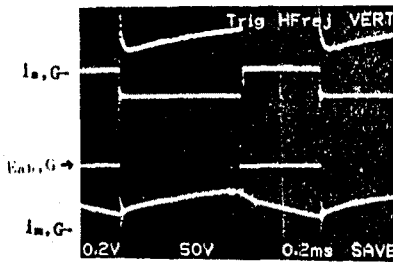
(a) $T_n/T=0.6$



(b) $T_n/T=0.3$

상 : 0.2V/div 0.2ms/div
 중 : 50V/div 0.2ms/div
 하 : 0.2V/div 0.2ms/div

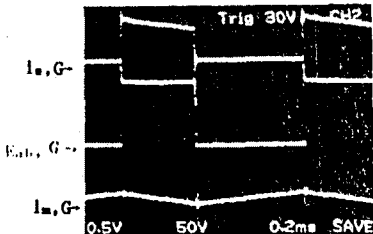
그림 4. 전류가역일때 전원전류, 부하전압, 부하전류 파형
 Fig4. bilateral variable-ratio: The waveform of source current, load voltage and current



$T_n/T=0.6$

상: 0.2V/div 0.2ms/div
 중: 50V/div 0.2ms/div
 하: 0.2V/div 0.2ms/div

(a) 강압초퍼



$T_n/T=0.3$

上: 0.5V/div 0.2ms/div
 中: 50V/div 0.2ms/div
 下: 0.5V/div 0.2ms/div

(b) 승압초퍼

그림 5. 전원전류, 부하전압, 부하전류 파형
 Fig 5. step-down, step-up : The waveform of source current, load voltage and current

6. 결 론

전류가역초퍼 방식을 전기자동차에 적용하는 경우를 가 상하여, 전류가역초퍼를 사용하는 경우와 종래의 강압초 퍼, 승압초퍼를 각 각 독립적으로 사용하는 경우의 특성 을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전기자동차를 계속 가속시키는 경우는 항상 $\alpha E_s > E_m$ 의 관계가 성립되어 구동 동작만을 하게 되며,
- 2) 어떤 속도에서 역학적 힘으로 속도가 감소하게 되 면 $\alpha E_s > E_m$ 가 되어 구동초퍼 동작을 하게되고, 속도가 증가하게 되면 $\alpha E_s < E_m$ 가 되어 회생제동 동작을 하여 감속시킴으로써 $E_s < E_m$ 가 되는 일이 발생하지 않는다.
- 3) 정지시키기 위하여 감속시키는 경우는 회생제동 동작 만으로 동작시킬 수 있는 장점이 있다.
- 4) 그러므로 구동·제동동작을 빈번하게 반복하는 전기자 동차의 경우에는 종래의 강압초퍼와 승압초퍼의 두 방식 을 채용하는것보다 제어면에서 우수함을 알 수 있다.
- 5) 본 방식은 강압초퍼와 승압초퍼를 사용하는 경우와 비교하여 소자수가 증가하는 단점이 있으나, 절한 스위 치가 없게 되고 L의 경량화를 도모할 수 있으므로 장치 의 소형화가 가능하다.

7. 참 고 문 헌

1. 와타나베 외: "미쯔비시 전기 버스용 전기동" 미쯔비 시 전기기보. Vol. 49, NO. 3 (1975).
2. 황영문 외: "전기자동차(EV) 개발" 대한전기학회 추계 학술대회논문집 (1991).
3. 초퍼 제어방식 전문위원회편: "초퍼 제어 핸드북" 일 본전기학회 (1980).
4. 반도체 전력변환방식조사전문위원회편: "반도체 전력 변환 회로" 일본전기학회 (1987).
5. C. KAWAKAMI: "Chopper Circuit with the the Power Regenerative Function" JIEE Vol. 94b, NO. 11, pp. 583-590 (1974).
6. B. H. Smith: "a Simple Bilateral Variable-Ratio DC pulse Converter" IEEE Trans., Vol. IECI-15, NO. 1, pp. 1-5 (1968).
7. B. H. Smith: "Commutation in a Bilateral Variable-Ratio DC pulse Converter" IEEE Trans., IECI-15, NO. 1, pp. 6-11 (1968).
8. S. B. Dewan, G. R. Slemmon & A. Straughen: "Power Semiconductor Drives" p. 127 (1984).