

2상한 층페에 의한 전기자동차의 4상한 운전

신중한^{oo}, 성낙규^o, 이승환^{oo}, 강승욱^{ooo}, 김용주^{oooo}, 한경희^{oo}

*명지대학교, **충남전문대학, ***상지전문대학, ****동양공업전문대학

Four Quadrant Drives of Electric Vehicle by Two Quadrant Chopper

Jong-Han Shin^{oo}, Nark-Kuy Sung[†], Seung-Hwan Lee[‡],
Seung-Wook Kang^{***}, Yong-Joo Kim^{****}, Kyung-Hee Han^{*}

*Myong Ji University, **Chung Nam Junior College, ***Sang Ji Junior College, ****Dong Yang Junior College

ABSTRACT

In this paper, bilateral variable-ratio dc chopper system for electric vehicle is proposed. We present the method which is able to simplify the main synthetic chopper circuit by selecting among the forward powering, forward regenerative braking, backward powering, and backward regenerative braking only by control signal. By conducting the experiment with separately excited dc motor, it is confirmed that two quadrant chopper can drive four quadrant operation.

1. 서론

최근 가솔린자동차에 의한 환경공해와 석유자원의 한계성에 따른 유가의 고가화에 의해 전기자동차의 필요성이 날로 증대되어 우리나라에서도 국책사업의 일환으로 전기자동차의 개발을 급히 서두르고 있다.[1],[2]

전기자동차를 효율화하는 경우 기동토크가 크고 제어성이 우수한 직류직권전동기를 사용하는 경우가 많으나 경제적으로 운영하기 위해서는 직류직권전동기에 비해 점착력이 크고, 보수성이 양호하며, 에너지절약면에서 분권 특성의 직류타여자전동기가 우수한 것으로 보고되고 있다. [3]

본 논문에서는 빈번하게 구동과 제동을 반복하는 전기 자동차를 제어하기 위해, 강압초퍼와 승압초퍼를 병렬로 조합한 2상한 초퍼(전류가역초퍼)방식에 직류타이어자전동기를 사용하여 전진구동, 전진회생제동, 후진구동, 후진회생제동의 4상한 원인이 가능하도록 하였다.

2. 회로구성 및 동작원리

그림 1은 전기자동차의 4상한 운전을 위한 종합효과회로이고, 그림 2에는 종합효과회로에서의 전동기전류파형을 나타내었다.

본 방식은 시비율 α (= T_N/T), 회로요소 및 운전조건 등에 따라서 강압초퍼동작만 하는 경우가 있고, 승압초퍼동작만 하는 경우도 있으며, 강압초퍼와 승압초퍼동작을

한 주기 내에서 동시에 수행하는 경우도 있어서 전동기전
률은 여소이 특징이 있다

일반적인 동작원리를 살펴보면 다음과 같다. IGBT1에 ON신호를 주면 Es-Ls-IGBT1-L-R-A-Es의 경로를 통해 전류 i_1 이 흐르고, 이 상태에서 IGBT1을 OFF하고, IGBT2에 ON신호를 주면 IGBT1에 흐르는 전류는 0이 되

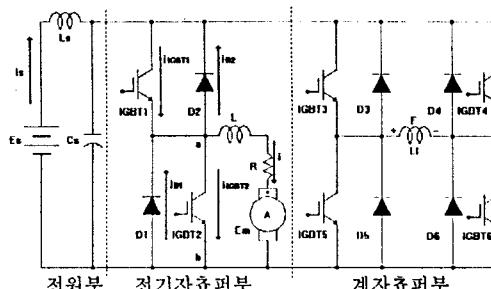


그림 1 4상학 운점을 위한 종합초평회로

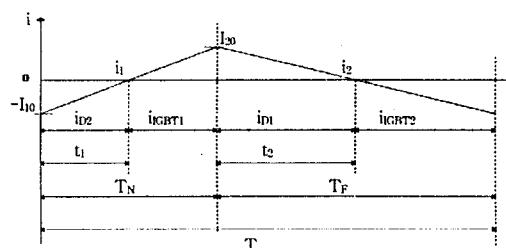


그림 2 종합회로의 전류파형

지만, L에 흐르고 있던 전류는 0이 되지 않고, L-R-A-D1-L의 경로를 통해 전류 i_2 가 흐르게 된다. 전류 i_2 가 시간이 경과함에 따라 점차로 감소하여 0이 된 시점에서 IGBT2가 도통되어 i_2 의 방향과 역방향으로 전류 $-i_2$ 가 L-IGBT2-A-R-L의 경로를 통해 흐르게 된다. IGBT1이 OFF한 시점으로부터 T_F 시간 후에 IGBT2를 OFF시키고 IGBT1에 ON신호를 주면 IGBT2에 흐르는 전류는

류는 0이 되지만 L에 흐르고 있던 전류는 0이 되지 않고 L-D2-Ls-Es-A-R-L의 경로를 통해 i_1 이 회생하게 되며, 전류 i_1 이 0이 된 시점에서 IGBT1이 다시 도통되어 Es-Ls-IGBT1-L-R-A-Es의 경로로 전력을 공급하게 된다.

그림 2에서 전동기 전류 i 의 평균치 I_m 을 구하면

$$I_m = \frac{1}{T} \left(\int_{T_n}^T i_1 dt + \int_{T_n}^T i_2 dt \right) = \frac{\alpha E_s - E_m}{R} \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 이 전류가 (+)값이면 구동동작을, (-)값이면 회생동작을, 한 주기내에서 (+), (-)의 두 값을 갖는 경우는 구동·회생동작을 하게 된다. 각각의 경우들을 살펴보면 아래와 같다.

2.1 구동동작(1상한)

본 쇄퍼시스템을 전기자동차에 적용하는 경우 가속할 때 혹은 등판길을 올라갈 때와 같이 전동기회전을 저지하는 힘이 작용할 때 $\alpha E_s > E_m$ 인 관계가 항상 성립하는 상태로서, IGBT1과 D1이 동작하고 구동동작만을 하게 되는 경우이다. 이때의 도통상태 및 각부의 파형을 그림 3에 나타내었다.

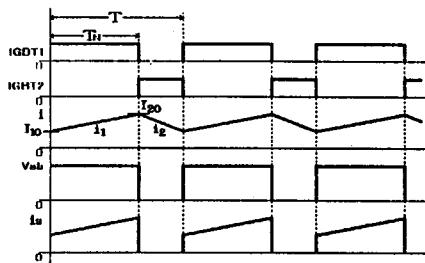


그림 3 구동시 스위치의 도통상태 및 파형

2.2 회생동작(2상한)

구동동작과 반대로 감속하는 경우나 등판길을 내려갈 때와 같이 회전을 증가시키는 힘이 작용할 때는 $\alpha E_s < E_m$ 의 관계가 항상 성립하는 상태로서, IGBT2와 D2가 동작하고 회생제동동작만을 하게 된다. 이때의 도통상태 및 각부의 파형을 그림 4에 나타내었다.

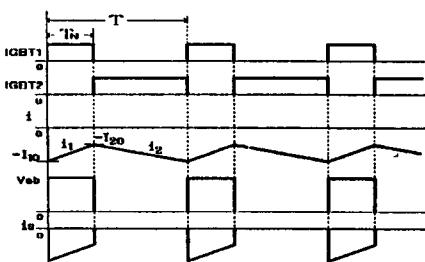


그림 4 회생시 스위치의 도통상태 및 파형

2.3 구동·회생동작(1, 2상한)

전동기의 회전을 증감하는 작용이 반복될 때로, 속도를 감소시키려 할 때에는 $\alpha E_s > E_m$ 인 관계가 되어 구동동작을, 속도를 증가시키려 할 때에는 $\alpha E_s < E_m$ 인 관계가 되어 회생제동동작을 한 주기내에서 동시에 수행하는 경우로 IGBT1, D1, IGBT2, D2 모든 소자에 전류가 흐르게 된다. 이때의 스위치의 도통상태 및 각부의 파형을 그림 5에 나타내었다.

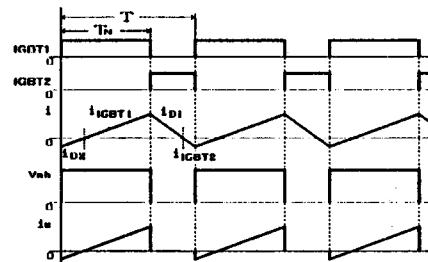


그림 5 구동·회생시 전류흐름도와 각 부 파형

2.4 4상한 운전

그림 1의 계자초퍼부는 강압초퍼로서 전동기의 전진·후진운전을 가능하게 한다. 계자전류의 크기와 방향을 임의로 제어할 수 있으므로 기동시에 직권기 정도의 큰 기동토크를 얻을 수 있고, 고속영역에서의 약제자제어는 물론, 회생제동시, 계자자속을 크게하여 저속영역에서도 직권기보다 큰 제동특성을 얻을 수 있다.

그림 6에는 전진·후진운전을 위한 계자초퍼의 스위칭상태를 보여주고 있다. 예를 들어 그림 6(a)와 같이 스위

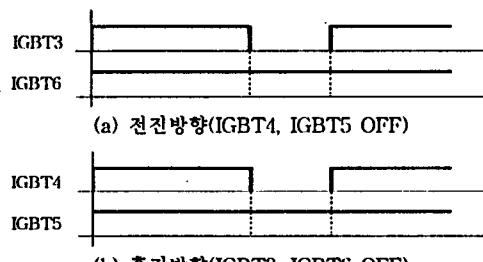


그림 6 전진·후진시 계자초퍼부의 스위칭상태

칭한 경우를 전진방향이라 하면, 그림 6(b)의 경우에는 계자전류가 그림 6(a)와는 반대의 방향으로 흘러 전동기는 역회전하게 된다. 즉, 전기자초퍼부인 2상한 쇄퍼(전류가 역초퍼)의 IGBT1과 IGBT2의 도통시간을 제어함으로써 그림 6(a)의 상태에서는 전진구동, 전진회생제동을 하고, 그림 6(b)의 상태에서는 후진구동, 후진회생제동을 할 수 있다.

3. 출력특성

직류전동기를 회전시키는 구동력은 전동기전류에 비례하므로 강압초퍼방식과 2상한 초퍼(전류가역초퍼)방식에서의 전동기구동전류는 식(1)과 같이 동일하므로 두 방식의 구동력은 같은 것을 알 수 있다.

회생제동시의 제어전력은 일반적으로 식(2)와 같이 표시된다.

$$P_m = E_m \cdot I_m \quad (2)$$

여기에서 E_m 은 전동기의 역기전력, I_m 은 전동기(발전기)전류의 평균치이다. 승압초퍼 방식에서의 전동기전류 평균치와 2상한 초퍼(전류가역초퍼)방식에서의 회생제동시 전동기전류의 평균치 크기를 알아보기 위해 E_s 와 α 를 일정하게 하고 E_m 을 변화시킨 경우 각 방식의 전동기전류의 평균치를 그림 7에 표시한다. 여기에서 전원전압 E_s 는 90[V]로 일정하게 유지하였으며, 시비율 α 를 파라미터로 하여 0.4, 0.6, 0.8의 경우를 계산한 것으로 2상한 초퍼(전류가역초퍼)방식이 승압초퍼방식보다 제동력이 더 큼을 알 수 있다.

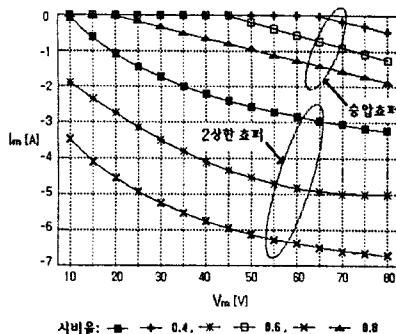


그림 7 승압초퍼와 2상한 초퍼(전류가역초퍼)의 제동특성

4. 제어시스템 구성

2상한 초퍼에 의한 4상한 운전시스템의 제어 블록도는 그림 8과 같다.

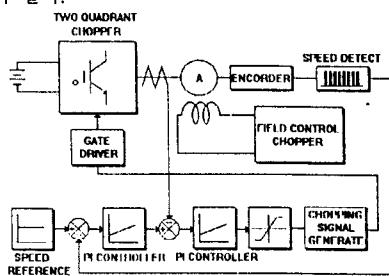


그림 8 제어 블록도

5. 실험결과 및 고찰

그림 1의 종합초퍼회로에 그림 8과 같은 제어시스템을 구성하여 4상한 동작을 실험하였다. 실험에 사용한 타이

자전동기의 정격은 1.5[kW], 90[V], 20[A], 1750[rpm]이고, $L = 10[mH]$, 초평주파수는 4[Hz]로 하였다.

그림 8은 $\alpha = 0.6$ 일때의 구동시 전압, 전류파형이고, 그림 9는 $\alpha = 0.2$ 일때의 회생시 전압, 전류파형이며, 그림 10은 구동시의 $\alpha = 0.6$ 에서 급격히 $\alpha = 0.2$ 로 변화시켜 구동과 회생을 동시에 수행하는 경우의 전압, 전류파형으로 앞에서 살펴본 이론적인 파형과 일치함을 확인하였다.

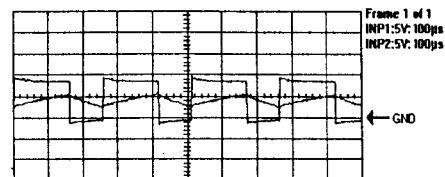


그림 8 구동시 전압, 전류파형

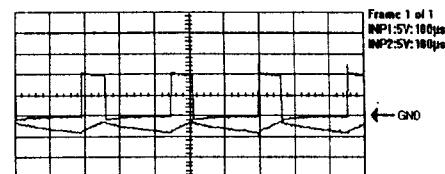


그림 9 회생시 전압, 전류파형

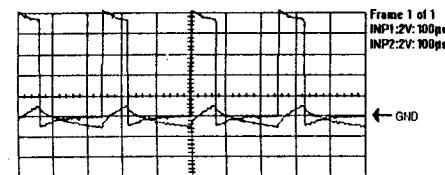


그림 10 구동·회생시의 전압, 전류파형

위와 같은 실험파형으로부터, 계자초퍼부를 그림 6과 같이 제어함으로써 전기자동차의 4상한 운전을 할 수 있다는 것을 확인하였다.

6. 결 론

구동과 제동을 번번히 반복하는 전기자동차에 2상한 초퍼를 적용할 경우, 구동동작, 회생동작, 구동·회생동작이 한 주기내에서 이루어지고, 또한 계자전류 제어로 회전방향을 조절함으로써 전진구동, 전진회생제동, 후진구동, 후진회생제동의 4상한 운전이 용이함을 보였다.

참고문헌

- [1] 임성기:“전기자동차개발”, 전기학회지 VOL.41,NO.12.1992.12.
- [2] 오성철, 하희두:“전동기자동차용 전동기 및 제어기”, 대한전기학회지 1993.1.
- [3] 韓慶熙:“車輛用電動機の新しいチョッパ制御方式の研究”, 1982,名古屋 大學工學部 學位論文.