

전기자동차 제어를 위한 전류가역초퍼 방식

정 언 택, 한 경 희, 강 승 욱, 이 승 환\*, 전 대 현  
 명지 대학교                      충남전산전문대학\*

Bilateral Variable-Ratio Chopper System  
 for Electric Motorcar Control

Yeon-Tack Jung, Kyung-Hee Han, Seung-Wook Kang,  
 Seung-Hwan Lee\*, Dae-Hyun Jun

Myungji University      Chung Nam Junier College of Computer Science\*

ABSTRACT

Bilateral Variable-Ratio chopper system performs Step-down chopper and Step-up chopper operations automatically every operating period of the chopper. The Ratio between Step-down chopper and Step-up chopper operations is determined by a Time-ratio and the circuit elements.

In this paper, we suggest that this chopper system can operate variable speed control of the electric motorcar when it is applied to the electric motorcar.

1. 서    론

산업문명의 발달과 함께 가솔린 엔진 자동차의 급속한 보급에 따라 자동차 공해가 심각한 사회 문제로 대두 되고 있다. 이에 따른 대책으로는 본질적으로 배기가스를 발생 하지않고 또한 소음도 현저하게 적은 전기자동차가 유력한 후보로 등장하게 되었다.<sup>(1)</sup>

현재 전기자동차의 속도제어는 거의 직류초퍼 제어방식을 채용하므로써 무접점, 속응성, 고효율 및 연속성에서 우수한 특징을 갖고 있으나 에너지원인 축전지 자체의 문제로 아직 일반화되지 못하고, 특수 영역에서만 국한적으로 사용되고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup> 고성능의 축전지 개발을 위하여 선진제국에서 활발한 연구가 진행되고 있어 멀지 않은 장래에 실용성이 강한 축전지가 개발되리라 기대된다. 전기자동차에 사용되는 직류전동기를 초퍼 제어하는 경우, 구동시에는 강압초퍼를 채용하고, 회생시에는 승압초퍼를 채용하는데 구동에서 회생제동으로 또는

회생제동에서 구동으로의 동작은 초퍼회로를 전환하는 방법을 이용하고 있다. 이와같은 방법은 어떤 일정 기간 계속 주행 하다가 일정 장소에서 정지하는 전철과 같은 궤도차에는 적절하지만, 수시로 구동과 제동동작을 불규칙하게 빈번히 반복하는 전기자동차의 경우에는 부적합하다.

이상과 같은 건지에서 전기자동차의 속도 제어용 초퍼로서 초퍼동작 주기의 매 주기마다, 강압초퍼와 승압초퍼의 동작이 자동적으로 수행되며, 강압초퍼 동작과 승압초퍼 동작의 비율은 시비율과 초퍼 시스템의 회로 요소에 의하여 결정되므로써 전기자동차를 연속적으로 가변속 제어 할 수 있는 전류가역 초퍼방식에 대하여 기본동작을 고찰한다.

2. 기본동작

전기자동차의 속도제어용 초퍼로서 초퍼동작 주기의 매 주기마다 강압초퍼와 승압초퍼의 동작을 자동적으로 수행하는 전류가역 초퍼회로의 기본적인 주회로를 그림1에 나타내었다. 여기에서  $E_s$ 는 전원전압,  $E_m$ 은 전동기의 역기전력,  $Tr_1, Tr_2$ 는 쇼트부,  $D_1, D_2$ 는 환류용 다이오드,  $L$ 은 평활용 리액터이다.

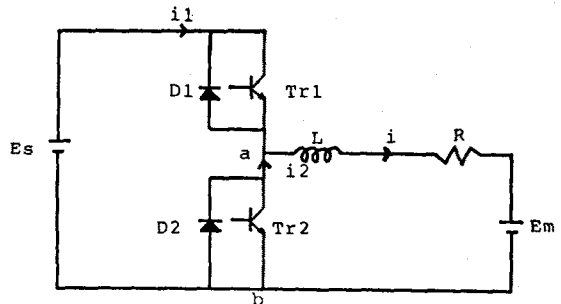


그림1. 주 회로

그림1에서 나타난 주회로에서 Tr1에 ON신호를 주면 Tr1-L-R-Em-Es-Tr1의 경로를 통해서 전류  $i_1$ 이 흐르는 상태에서 Tr1을 OFF하고, Tr2에 ON신호를 주면 Tr1에 흐르는 전류는 0이 되지만 L에 흐르고 있던 전류는 0이 되지 않고, L-R-Em-D2-L의 경로를 통해 전류  $i_2$ 로서 흐르게 된다. 이때 Tr2에는 ON신호가 주어지지만 초기에 흐르던 전류  $i_2$ 가 역으로 작용하고 있으므로 Tr2에는 전류가 흐르지 않는다.

따라서, 전류  $i_2$ 는 시간이 경과함에 따라 점차적으로 감소하여 0이 된 시점으로 부터 그림1에 표시한 전류의 방향과 역방향으로, 전류  $i_2$ 가 Tr2-Em-R-L-Tr2의 경로를 통해 흐르게 된다.

Tr1이 OFF한 시점으로 부터  $T_f$ 시간 후에 Tr2를 OFF시키고 Tr1에 ON신호를 주면 Tr2에 흐르는 전류는 0이 되지만 L에 흐르고 있던 전류는 0이 되지 않고 L-D1-Es-Em-R-L의 경로를 통해 전류  $i_1$ 으로서 회생 하게 된다.  $i_1$ 은 시간과 함께 감소하여 0이 된 시점으로 부터 그 전류의 방향을 역전하여 Tr1을 통해 전류  $i_1$ 이

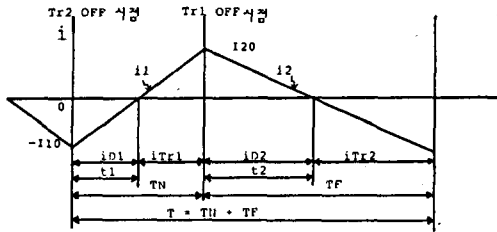
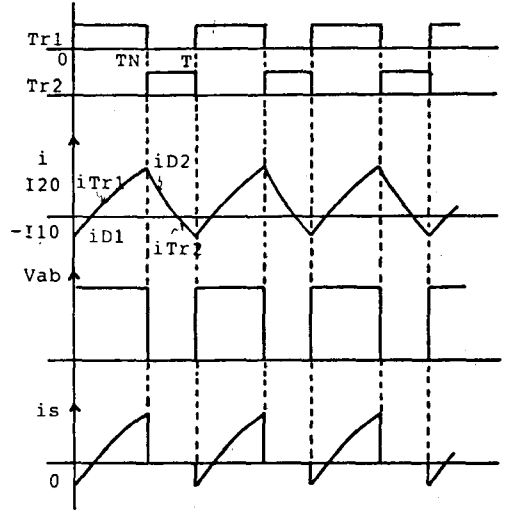


그림2.  $i_1, i_2$  파형

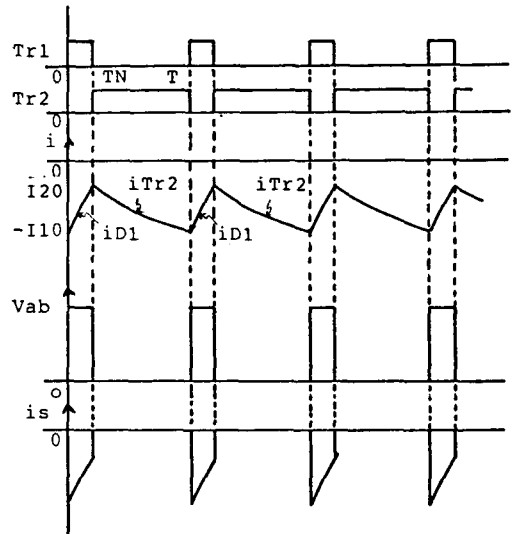
흐른다. 위의 동작을 반복하여 구동과 회생제동 동작을 연속하여 수행하므로써 전기자동차를 연속적으로 가변속 제어 할 수 있다. 그림2는 주회로의 전류변화와 시간과의 관계를 나타낸 것이고, 그림3은 스위치의 도통상태 및 각부파형을 나타낸 것이다.

트랜지스터, 다이오드를 이상적인 소자라고 할때, Tr2가 OFF한 시점을  $t=0$ 라고 하고, 동작상태가 정상상태에 달한 때의 전류  $i_1, i_2$ 는 소자의 턴-온, 턴-오프시간, 순간압강하등을 생각하면 다음식과 같이 표시할 수 있다.

Tr1이 ON, Tr2가 OFF하고 있는 기간의 전류



(a)



(b)

그림3. 게이트 신호 및 각부 파형

$$i_1 = \frac{E_s - E_m}{R} - \frac{E_s}{R} \left( \frac{1 - e^{-t/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} \right) e^{-t/\tau} \quad (1)$$

$$i_2 = -\frac{E_m}{R} + \frac{E_s}{R} \left( \frac{1 - e^{-t/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} \right) e^{-t/\tau} \quad (2)$$

여기에서  $\tau = L/R$ ,  $T = T_N + T_F$ ,  $T$ 는 초퍼주기,  $T_N$ ,  $T_F$ 는 Tr2, Tr1의 OFF기간이다.

Tr1, Tr2가 OFF한 시점의 전류는 식 (1)에  $t=T_N$ 일때  $i_1 = 120$ , 식 (2)에  $t=0$ 일때  $i_2 = -110$ 의 관계를 각각 대입하고, 120와 -110에 대해서 풀면

$$-I10 = -\frac{Em}{R} + \frac{Es}{R} \left( \frac{e^{-Tf/\tau} - e^{-T/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} \right) \text{-----}(3)$$

$$I20 = -\frac{Em}{R} + \frac{Es}{R} \left( \frac{1 - e^{-Tf/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} \right) \text{-----}(4)$$

이 된다.

리액터 전류의 맥동분  $\Delta I$ 는

$$\Delta I = \frac{Es}{R} \frac{(1 - e^{-Tf/\tau})(1 - e^{-T/\tau})}{(1 - e^{-T/\tau})} \text{-----}(5)$$

이 된다.

전동기의 역기전력  $Em$ 과 리액터  $L$ 에는  $Tr2$ 의 OFF기간에  $i1$ ,  $Tr1$ 의 OFF기간에  $i2$ 의 전류가 흐르며, 이 때의 전류 평균치를  $Id$ 라고 하면

$$Id = (Es \frac{TN}{T} - Em) / R \text{-----}(6)$$

이 된다.

위의 (6)식에서  $Es \cdot TN/T$ 은  $Tr1$ 의 ON, OFF에 의해서, 전원  $Es$ 에 의해 a-b간에 나타나는 평균전압이다.

$Em < Es \cdot TN/T$ 의 경우는 전원전압  $Es$ 로부터 부하측  $Em$ 에 에너지를 공급하는 경우로 (구동방향),  $Em > Es \cdot TN/T$ 의 경우는 전동기 역기전력  $Em$ 으로부터 전원측  $Es$  (회생 방향)에 에너지를 회생한다. 그림4는 전력의 전송방향 및 그 크기를 알아 보기 위해  $Es$ 와  $TN/T$ 를 일정하게 놓고,  $Em$ 을 변화시킨 경우, 부하측  $Em$ 에 흐르는 평균치 전류  $Id$ 를 나타낸 것으로서 본 쇼퍼방식의 출력특성에 대한 개요를 파악 할 수 있다. 즉,  $Em$ 의 변화에 대하여 전력의 전송 방향 및 그 값은, 작은 전류 범위에서도 원활하게 변화하는 것을 볼 수 있다.

본 시스템에서 주 회로적으로 결정된 전류는 3가지의 상태로 존재 하는데 각각의 경우에 대한 각 소자에 흐르는 전류는 다음과 같다.

1)  $Es \cdot TN/T > Em$ 의 경우

이 상태는 전원측  $Es$ 로부터 부하측  $Em$ 의 방향에 전력이 전송되고 있는 구동상태로서  $Tr1$ 과  $D2$ 에만 전류가 흐른다.  $Tr1$ 에는 전류  $i1$ ,  $D2$ 에는 전류  $i2$ 가 흐르고 그 전류 평균치를  $I_{Tr1}$ ,  $ID2$ 라 하면

$$I_{Tr1} = [ \frac{Id \cdot TN}{T} + \frac{Es}{R} \{ \frac{TN \cdot TF}{T^2} - \frac{\tau}{T} * \frac{(1 - e^{-Tf/\tau})(1 - e^{-T/\tau})}{(1 - e^{-T/\tau})} \} ] \text{-----}(7)$$

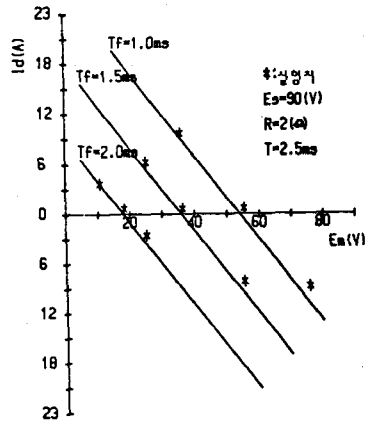


그림4. 주회로의 출력 특성

$$ID2 = [ \frac{Id \cdot TF}{T} - \frac{Es}{R} \{ \frac{TN \cdot TF}{T^2} - \frac{\tau}{T} * \frac{(1 - e^{-Tf/\tau})(1 - e^{-T/\tau})}{(1 - e^{-T/\tau})} \} ] \text{-----}(8)$$

이 된다.

2)  $Es \cdot TN/T < Em$ 의 경우

이 상태는 부하측  $Em$ 으로부터 전원측  $Es$ 의 방향으로 전력이 전송되고 있는 회생제동상태로서  $Tr2$ 와  $D1$ 에만 전류가 흐르고 있는 상태이다.  $Tr2$ 에는 전류  $i2$ ,  $D1$ 에는 전류  $i1$ 이 흐른다. 그 평균치 전류를  $I_{Tr2}$ ,  $ID1$ 이라 하면

$$I_{Tr2} = [ \frac{Id \cdot TF}{T} - \frac{Es}{R} \{ \frac{TN \cdot TF}{T^2} - \frac{\tau}{T} * \frac{(1 - e^{-Tf/\tau})(1 - e^{-T/\tau})}{(1 - e^{-T/\tau})} \} ] \text{-----}(9)$$

$$ID1 = [ \frac{Id \cdot TN}{T} + \frac{Es}{R} \{ \frac{TN \cdot TF}{T^2} - \frac{\tau}{T} * \frac{(1 - e^{-Tf/\tau})(1 - e^{-T/\tau})}{(1 - e^{-T/\tau})} \} ] \text{-----}(10)$$

이 된다.

3)  $Es \cdot TN/T > Em$ 의 경우 (구동상태)와

$Es \cdot TN/T < Em$ 의 경우 (회생제동상태)에는

$Tr1$ ,  $Tr2$ ,  $D1$ ,  $D2$  모두에 전류가 흐르게 된다.

$Tr1$ 에는 전류  $i1$ ,  $Tr2$ 에는 전류  $i2$ ,  $D1$ 에는 전류  $i1$ ,  $D2$ 에는 전류  $i2$ 가 흐르는데 각 소자의 전류평균치는 다음과 같다.

Tr1 기간 :  $t1 = \tau \log Es(1 - e^{-\tau/t}) / (Es - Em) * (1 - e^{-\tau/t}) < t$

$$I_{Tr1} = \frac{\tau}{T} \left\{ \frac{Es - Em}{R} \left( \frac{\tau}{T} - 1 - \log \frac{Es}{Es - Em} \right) * \frac{1 - e^{-\tau/t}}{1 - e^{-\tau/T}} + \frac{Es}{R} \left( \frac{e^{-\tau/t} - e^{-\tau/T}}{1 - e^{-\tau/t}} \right) \right\} \text{-----(11)}$$

D2기간 :  $TN < t < TN + t2 (= \tau \log Es(1 - e^{-\tau/t}) / Em(1 - e^{-\tau/T}))$  일때

$$I_{D2} = \frac{\tau}{T} \left\{ - \frac{Em}{R} \left( 1 + \log \frac{Es}{Em} * \frac{1 - e^{-\tau/t}}{1 - e^{-\tau/T}} \right) + \frac{Es}{R} \left( \frac{1 - e^{-\tau/t}}{1 - e^{-\tau/T}} \right) \right\} \text{-----(12)}$$

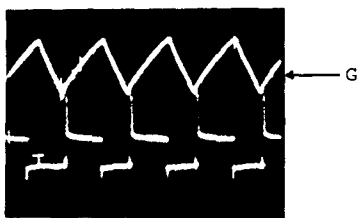
Tr2기간 :  $TN + t2 (= \tau \log Es(1 - e^{-\tau/t}) / Em(1 - e^{-\tau/T})) < t < T (= TN + Tf)$  일때

$$I_{Tr2} = \frac{\tau}{T} \left\{ - \frac{Em}{R} \left( \frac{Tf}{\tau} - 1 - \log \frac{Es}{Em} \frac{1 - e^{-\tau/t}}{1 - e^{-\tau/T}} \right) - \frac{Es}{R} \left( \frac{e^{-\tau/t} - e^{-\tau/T}}{1 - e^{-\tau/t}} \right) \right\} \text{-----(13)}$$

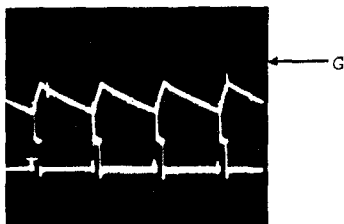
D1기간 :  $0 < t < t1 (= \tau \log Es(1 - e^{-\tau/t}) / (Es - Em)(1 - e^{-\tau/T}))$  일때

$$I_{D1} = \frac{\tau}{T} \left\{ \frac{Es - Em}{R} \left( 1 + \log \frac{Es}{Es - Em} \right) * \left( \frac{1 - e^{-\tau/t}}{1 - e^{-\tau/T}} \right) - \frac{Es}{R} \left( \frac{1 - e^{-\tau/t}}{1 - e^{-\tau/T}} \right) \right\} \text{-----(14)}$$

그림1에서와 같이 본 쇼퍼 방식을 구성하여 실험한 결과 다음과 같은 파형을 얻을 수 있었다.

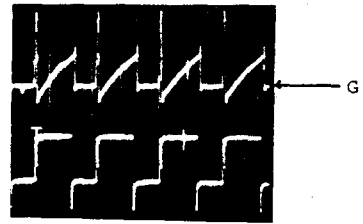


TN/T = 0.6

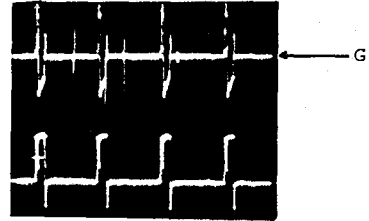


TN/T = 0.2

사진1. 부하전류 및 전압



TN/T = 0.6



TN/T = 0.2

사진2. 전원전류 및 부하전압

3. 결론

전류가역쇼퍼 회로를 전기자동차에 적용하는 경우를 가상하여 검토한 결과, 쇼퍼의 시비율과 쇼퍼회로의 요소에 의하여 결정 되는 구동동작과 회생제동 동작을 반복 하므로써 직류전동기의 속도를 가변 할 수 있음을 이론 및 실험적으로 확인 하였다.

정격 속도 이상의 고속 영역에서의 동작 상태와 강압쇼퍼와 승압쇼퍼를 독립적으로 사용하는 경우와의 효율성 비교등, 연구과제가 남아 있다.

4. 참고문헌

1. 와타나베 외 : " 미쯔비시 전기 버스용 전기동 " ' 미쯔비시 전기기보, Vol. 49, No. 3 (1975)
2. 일본전기학회 : " 쇼퍼제어 핸드북 " 음사 (1980)
3. C. KAWAKAMI : " Chopper Circuit with the Power Regenerative Function " JIEE Vol. 94B, NO. 11 pp. 583 (1974)
4. B.H. Smith : " A Simple Bilateral Variable-Ratio DC pulse Converter " IEEE Trans., Vol. IE-CI-15, NO. 1, pp. 1 (1968)
5. B.H. Smith : " Commutation in a Bilateral Variable-Ratio DC pulse Converter " IEEE Trans., Vol. IE-CI-15, NO. 1, pp. 6 (1968)