

김 성 략*
조 규 형

한국과학 기술원
한국과학 기술원

I. 서론

직류 제어 시스템에서 쇼퍼는 소형의 전기차 뿐만 아니라 대전력 교류 제어에서 역률 개선을 위해서 직류부분을 공급하는 것은 물론이며 70년대 이후 대부분의 지하철에서 안정되게 동작하는 것이 증명되어있다. 특히 스위칭소자로서 자체 오프 능력을 가지는 트랜지스터 보다 사이리스터가 대전력용의 쇼퍼에 우수하다는 것이 알려져 있다.

사이리스터 쇼퍼는 턴오프 방법에 따라 일반적으로 soft type과 hard type로 나눌 수 있다. soft type은 주 사이리스터가 순방향저지 상태를 회복하는 순간에 높은 순방향 전압증가율(dv/dt)이 문제가 되어 소자의 오동작을 유발시키는 반면에 전류(轉流)에 소요되는 콘덴서의 용량이 작으므로 효율이 좋다. 한편 전류(轉流) 과정에서 높은 역방향 전압이 주 사이리스터 양단에 인가되므로 스위칭 손실이 증가

되어 소자의 수명을 단축시키고 방열 장치의 크기를 증대시킨다. (hard type) 본 논문에서는 위의 문제를 극복하기 위해 가포화리액터를 응용한 새로운 쇼퍼 방식을 제안한다.

II. 본론

1. 회로 설명

그림 1에서 보는 바와 같이 이 회로의 구성은 기본적으로 hard type이며 그 특징은 주 사이리스터와 병렬로 부착되어 있는 가포화리액터(Ls)와 전류(轉流) 루프에 직렬로 삽입되어 있는 Lo이다.

Lo를 삽입함으로써 사이리스터 오프시 역전류의 증가율(di/dt)를 억제하여 스위칭손실을 줄일수 있다. 한편 Lo의 삽입으로 인해 공진 루프 전류가 0이 되는 순간의 $\frac{dv}{dt}$ 문제는 피할 수가 없으므로 가포화 리액터 Ls를 도입한다.

제안된 쇼퍼에서의 가포화 리액터의 기능은 첫째, 가포화 리액터 시간지연효과에

의한 전류(轉流) 콘덴서의 용량 감소이며 이로 인해 쇼퍼의 효율과 cost down에 상당한 기여를 한다. 그림 2는 가포화 리액터 L_s 대신에 공심 인덕터를 사용했을 경우 (일반적인 hard type 쇼퍼) 동일한 오프 시간에 대해 제안된 쇼퍼와의 콘덴서 용량을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 비교한 것이다.

여기서 새로운 쇼퍼가 약 $\frac{1}{2}$ 이하의 용량으로 충분하다는 것이 보여진다. 둘째, 가포화 리액터의 비선형 특성으로 인해 L_o 삽입으로 인한 $\frac{dv}{dt}$ 문제를 상당히 완화시켜준다.

그림 3은 페라이트 코어의 B-H 커브를 그린것으로 포화영역으로 들어갈 때의 비선형 특성을 보여준다.

세째, 가포화 리액터의 지연시간의 조절과 공진 회로의 소자들의 선정으로 부하조건이 무부하에서 전부하까지, 또한 입력 전압이 심하게 변동하더라도 회로의 오프 시간 보장을 일정범위 안에 들 수 있으므로 안정된 동작을 보장한다.

이 회로에서 주 사이리스터의 오프 시간은

$$tq = t_s + \sqrt{CK} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{E^2 C}{I^2 K} - \frac{L_o}{K} - \frac{t_s}{\sqrt{CK}}} \right) \quad (*)$$

t_s : 가포화 리액터 (t_s) 지연시간

E : 입력 전압

I_o : 부하 전류

K : 공진루프 전체의 인덕턴스

L_o : 직렬 인덕턴스

로 표시된다.

보다 향상된 회로 구성으로 그림 4의 회로를 제안할 수 있다.

이는 스위칭 손실을 매우 감소시킬 수 있으며 공진 전류가 0가 된 뒤에 발생하는 $\frac{dv}{dt}$ 도 완화시킨다. 이는 공진 루프에 가포화 리액터 L_g 와 저항 R_g 를 추가시킨 것이다.

2. 실험

본 실험은 200V, 8A의 부하조건에서 행하여졌으며

$$t_s = 40 \mu s (50V)$$

$$C = 24 \mu f$$

$$L_o = 17 \mu H$$

$$K = 52 \mu H \text{ 를 사용하여 실험한}$$

결과가 그림 5, 6에 주어진다.

그림 5는 주 사이리스터의 오프과정에서 나타난 양단 전압을 나타내었다.

여기서 일정시간 동안 역방향전압이 인가되고 순방향 저지를 하면서 생겨난 $\frac{dv}{dt}$ 문제가 상당히 완화된 것을 (약 $1.5v/\mu s$) 볼 수 있다.

그림 6은 부하양단 전압으로 가포화 리액터 및 전류(轉流) 과정의 동작으로 인해 전압의 2배까지 올라가는 것을 보여준다.

그림 7은 그림 4의 회로에 대한 파형으로 주 사이리스터 양단 전압이 현저히 줄어들고 $\frac{dv}{dt}$ 가 완화되었음을 보여준다.

여기서 위의 식 (*)에 대해 이론치와 비교해 본다.

지연시간 t_s 는 50V에 대한 것이므로 200V에서는

$$t_s' = \frac{40}{4} = 10 \mu s \text{ 가 된다.}$$

$$t_q = 64 \mu s \text{ 이고 그림 5에서 } 70 \mu \text{sec}$$

로 관측되어 거의 비슷하게 설계할 수 있다는 것을 보여준다.

III. 결 론

본 논문에서 소자의 신뢰도가 그에 따른 시스템 전체의 안정도와 관련하여 가포화 리액터를 응용한 새로운 방식의 쇼퍼 2 type을 제안하였다. 기존의 쇼퍼의 문제, 즉 스위칭 손실과 소자의 $\frac{dv}{dt}$, 부하변동에 무관한 오프시간 보장이 효과적으로 해결됨을 보였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 쇼퍼의 콘덴서 용량이 현저히 줄어 들었다.

본 논문이 대전력 쇼퍼 시스템을 개발하기 위한 사전 지식을 습득하고, 특히 소자의 결정으로 말미암은 여러 물리적인 현상을 이해하는데 큰 도움이 되리라 생각한다.

IV. 참 고 문 헌

1. 김 성탁, 지하철 대전력 thyristor 쇼퍼에 대한 새로운 방식의 설계 및 비교연구, 한국과학기술원 석사 논문 1986
2. Reimers, Design Analysis of Multiphase DC choppers Motor

- Drive, IEEE Trans. Ind. Appl. vol. IA-8 March 1 April, 1972
3. Westinghouse, SCR designer's handbook, 1970.
4. Wood, Nonlinear Reactors as Protective Elements for thyristors Circuits, IEEE Trans. Magnetics, vol. mag-3, Sept., 1967.
5. Barton, Commutation Circuit Optimization for the McMurray inverter, IEEE/IAS Conference, 1979.

V. 부 록

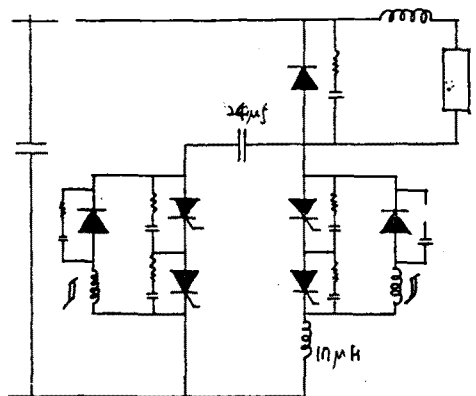


그림 1. 제안된 쇼퍼회로

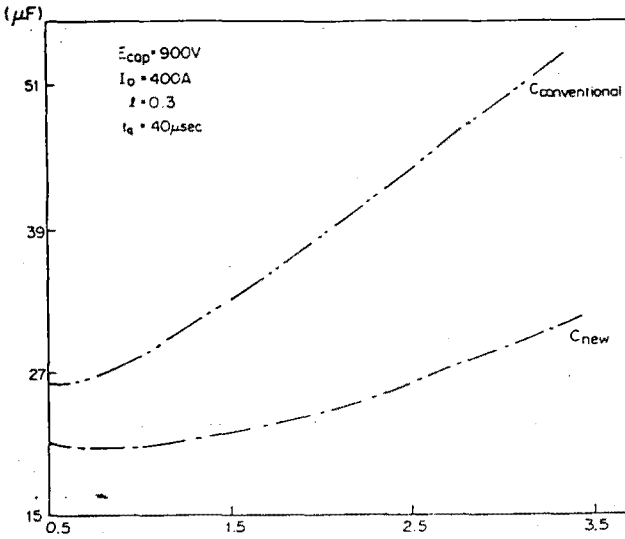


그림 2. 일반적인 hard type과 제안된
쇼퍼와의 콘덴서 용량비교 (900V,
400A, 오프시간 40μs 조건)

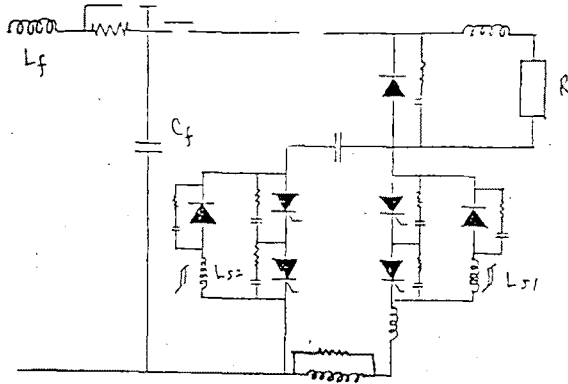


그림 4. 가포화리액터 L_g 와 병렬저항
 R_g 를 추가한 회로

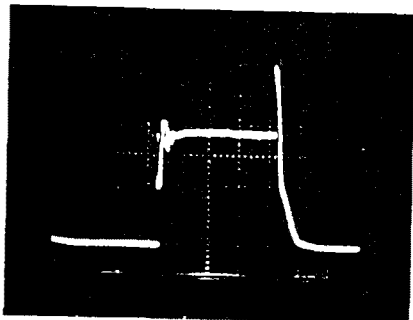


그림 6. 제안된 회로의 부하 전압
(50V/div, 500 μs/div)

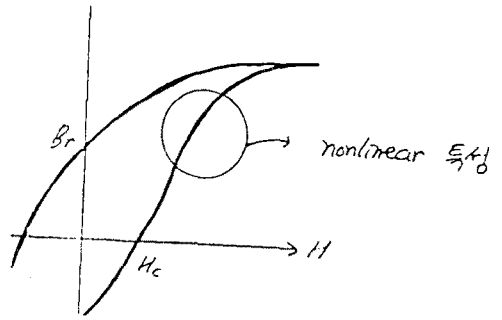


그림 3. 사용된 리액터 코어의 비선형
특성 (B-H 커브)

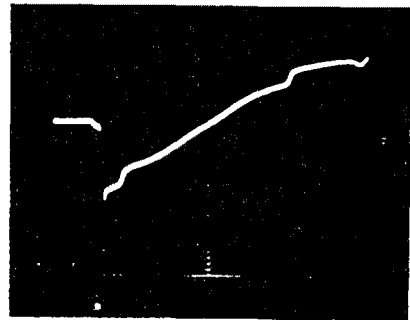


그림 5. 주 싸이리스터 오프과정의
양단 전압 파형
(50V/div, 20 μsec/div)



그림 7. 그림 4의 회로의 구성시
주 싸이리스터 양단 전압
(50V/div, 20 μsec/div, $R_g=8\Omega$,
 $L_g=90\mu H$)