

에너지 회생 방식 스너버 회로를 갖는 3상 GTO PWM 인버터

°신병철*, 강경호*, 차재현*, 차득근*, 김명현**

* 동의대, ** 부산기능대

Three Phase GTO PWM Inverter Using the Energy Recovery Snubber Circuit

°Shin-byung chul*, Kang-kyung ho*, Cha-jae hyun*

Cha-duk guen*, Kim-myung hyun**

Abstract

This paper is proposed three phase GTO PWM Inverter with energy recovery snubber circuit.

The proposed energy recovery snubber circuit is effective in reduction of the power loss in the Inverter system than asymmetry GTO snubber circuit.

1. 서론

최근의 교류전동기 가변속 구동시스템에 주로 사용되어지고 있는 전력용 반도체 소자는 대용량(4500V, 3000A 등)의 GTO 소자보다는 스위칭 속도가 빠른 IGBT(2100V, 1200A 등) 소자를 사용하는 경향이 점차 늘어나고 있는 추세에 있다. 철도차량용 전력변환 장치의 경우에 있어서도, 근래까지만 해도 독일의 Siemens사, 프랑스의 Jec Alsthom사와 일본의 Toshiba사 등에서는 GTO 소자를 사용했으나, 최근에 들어와서는 IGBT 소자를 이용한 전력변환장치를 개발하여 운전의 효율성을 높이려고 노력하고 있는 실정에 있다. 그러나 국내의 실정은 서울지하철을 비롯한 부산지하철 2호선, 대구지하철 1호선은 GTO 소자를 이용한 전력변환장치에 의해 전인용 3상 유도전동기를 구동하고 있으므로 GTO 소자를 이용한 전력변환장치에 대한 연구는 국내의 실정에 있어서 게을리 할 수 없는 분야라고 사료된다.

GTO를 사용한 인버터 시스템의 스너버 회로는 스위칭시 과도안전조건을 만족시키고, 시스템의 신뢰성 확보를 위해 반드시 필요한 것이다. 그러나 인버터의 용량이 증가할수록 이러한 스너버회로에 의한 전력손실이 시스템 전체의 전력손실 가운데 상당한 부분을 차지하여 전력변환효율을 저감시킨다. 따라서 GTO

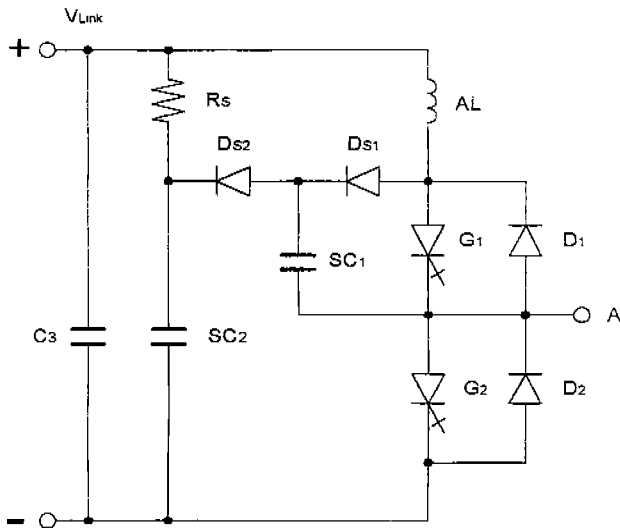
인버터 스너버 회로의 전력손실 감소에 대한 연구는 계속 진행되고 있는 실정에 있다. 본 연구에서는 비대칭 저손실형 스너버 회로를 개선한 에너지 회생형 스너버 회로를 갖는 3상 GTO PWM 인버터의 특성을 고찰해 보고자 한다.

2. 저손실형 Snubber 회로 구성

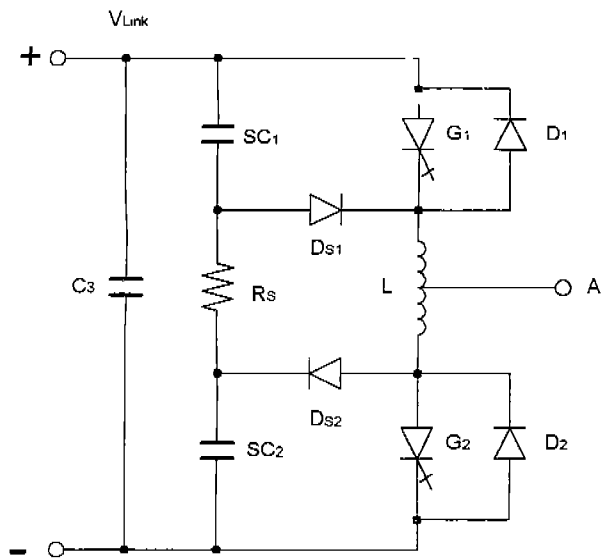
그림 1에 나타낸 스너버 회로는 1개의 저항만으로 구성된 1상분의 것으로 그림 1(a)는 비대칭 스너버 회로를 나타내고, 그림 1(b)는 대칭형 스너버회로 구성을 나타낸다.

그림 1(a)와 같은형의 스너버 회로에서 콘덴서 C_1 은 두 개의 GTO G_1 과 G_2 를 위한 스너버 콘덴서 역할을 한다. G_2 에 대한 스너버 경로는 $SC_1 - D_{S2} - SC_2$ 로 구성되므로 스너버 콘덴서의 효과는 SC_1 과 SC_2 의 직렬조합에 있다. 대개의 경우 $SC_2 = 10SC_1$ 이고 SC_2 양단 전압은 DC Link 전압 V_{Link} 에 의해 측정된다.

비대칭 스너버의 중요한 디자인 목적은 G_2 에 대한 스너버 경로에서 인덕턴스를 최소화 하는데 있다. 비



(a) 비대칭 스너버
(a) Asymmetric Snubber



(b) 대칭 스너버
(b) Symmetric Snubber

그림 1. 저손실형 스너버 회로
Fig 1. Low Loss Type Snubber Circuits

대칭 턴-스너버에 의한 오프 스너버 손실은 종래 방식 스너버 회로에서 발생하는 것보다 단지 $\frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} C V_{dc}^2 f_s \right)$ 정도밖에 되지 않는다. 1.5kV 이상의 대전력 인버터에서는 전체손실에 있어 무시할 수 없는 성분이 된다. 그림 1(a)의 비대칭 스너버회로는 서울지하철의 4, 7, 8 호선과 과천선 그리고 대구

지하철 1호선, 부산지하철 2호선에 적용되고 있다. 그리고 그림 1(b)의 대칭 스너버 회로는 Center-tap으로 결합된 di/dt 제한 목적의 인덕터와 두 개의 스너버 콘덴서가 필요하다. 경로 $C_3-SC_1-R_s-SC_2$ 에서 기생 인덕턴스를 150nH보다 더 줄일수 있다는 것이 이 회로에서는 중요한 의미를 가지며 L이 자기적으로 연결되어 있기 때문에 높은 직렬 인덕턴스는 G_1, G_2 에 di/dt 를 제한하는데 효과적이다.

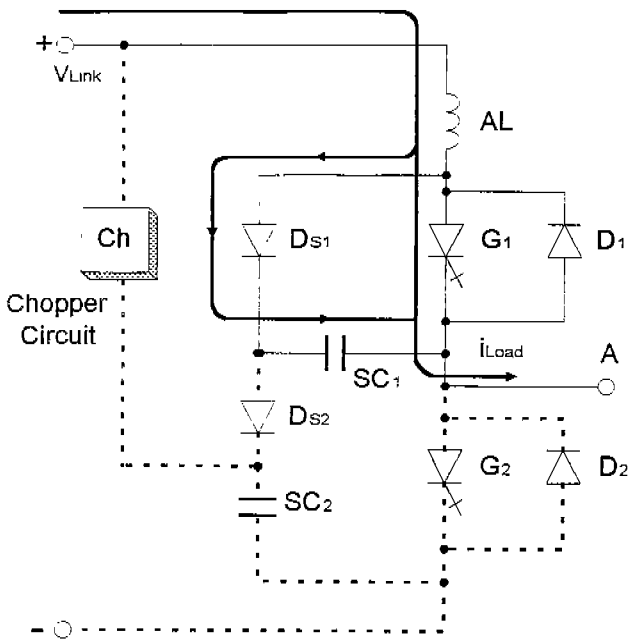
R_s (0.3Ω 정도)가 작기 때문에 스너버 콘덴서 SC_2 는 G_1, G_2 중 어느것 하나라도 턴-오프될 때 dv/dt 를 제한하는데 병렬로 효과적인 동작을 한다.

2.1 제안한 방식의 스너버회로 동작

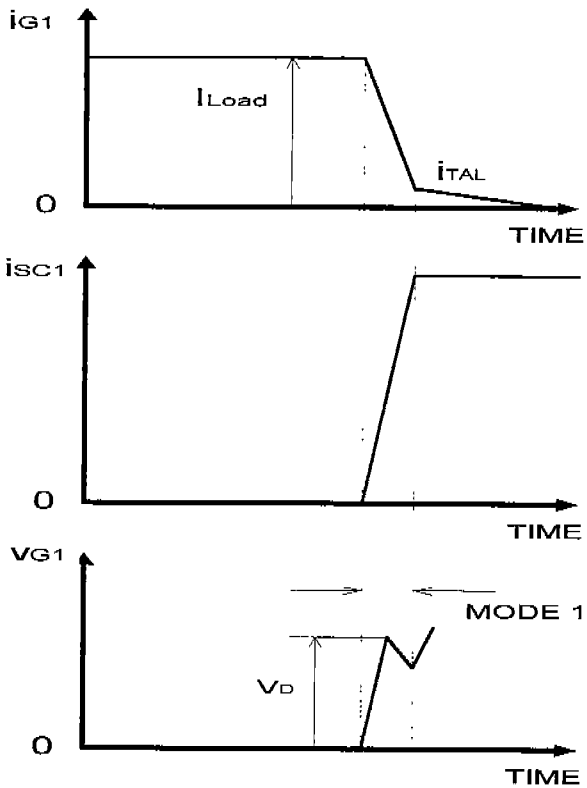
그림 2는 제안한 방식에 있어서 1상분의 스너버회로의 OFF 동작모드 1을 보여준다. 스너버 콘덴서 SC_1 은 턴-오프시 GTO의 dv/dt 상승을 제한하는데 사용되며, dv/dt 는 턴-오프 전류에 비례한다. 콘덴서 SC_2 는 에너지를 충전하는데 사용되며 이 커패시턴스는 주 반도체 스위치 (T_1, T_2, D_1, D_2)에서 발생하는 전압 오버슈트를 제한하는 스너버 콘덴서의 커패시턴스보다 크다. 그림 2(a)와 (b)는 GTO G_1 의 턴-오프(모드 1) 때의 전류 루프와 i_{G1} 과 i_{SC1} 그리고 v_{G1} 의 특성을 각각 나타내고 있다. G_1 의 턴-오프(모드 1) 동안에 부하전류가 G_1 에서 $D_{S1}-SC_1$ 으로 흐른다.

그림 3의 (a)와 (b)는 GTO G_1 의 턴-오프시 모드 2, 모드 3의 동작 특성을 나타내고 있다. 여기서 SC_1 은 V_{Link} (모드 2)까지 충전되며 이 때 SC_2 와 D_{S2} 는 도통되어 (모드 3) D_2 로 부하전류가 흐르게 된다. SC_1 과 SC_2 는 이 콘덴서의 정격에서 AL에 흐르는 전류를 분배하게 되고 $I_{AL}=0, I_{D2}=I_{Load}$ 가 될 때 이 모드는 끝나게 된다.

여기서, $V_{SC2}=I_{Load} \times \sqrt{\frac{AL}{SC_1+SC_2}}$, 모드 3의 시간 T_{mode3} 는 $T_{mode3}=\frac{\pi}{2} \sqrt{AL \cdot (SC_1+SC_2)}$ 이 된다.

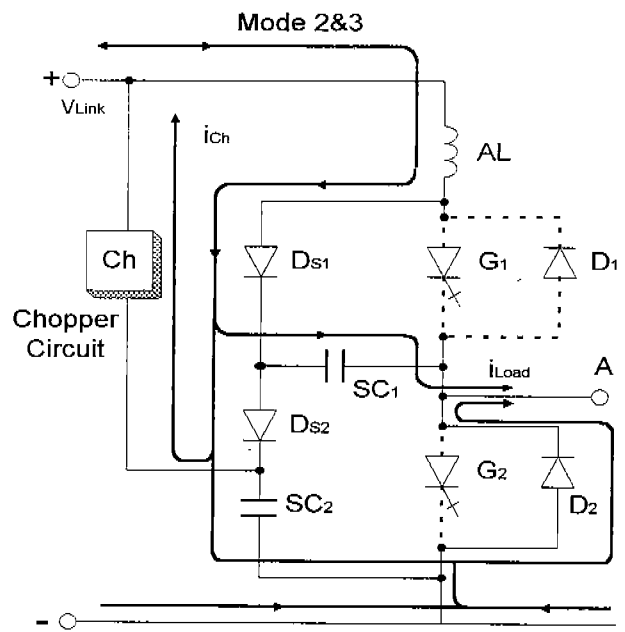


(a) G_1 턴-오프(모드 1) 전류 루프

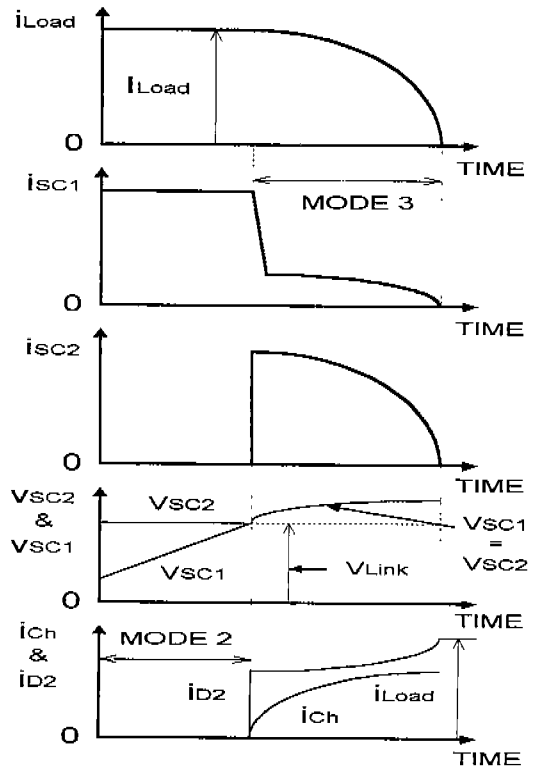


(b) G_1 턴-오프(모드 1) 때의 i_{G1} , i_{SC1} , v_{G1} 의 동작 특성

그림 2. G_1 의 턴-오프(모드 1) 동작
Fig 2. Turn-Off Operations Of G_1
(mode 1)



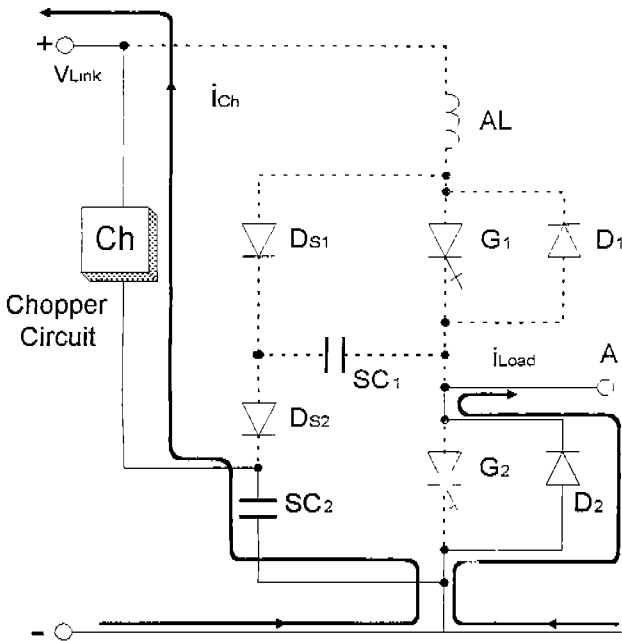
(a) G_1 턴-오프(모드2, 모드 3) 전류 루프



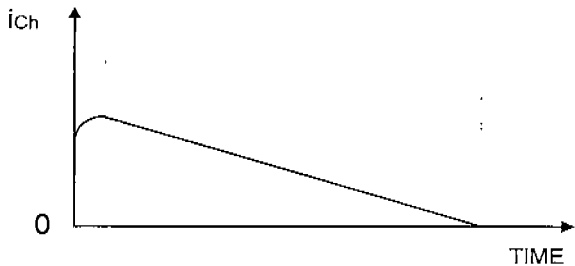
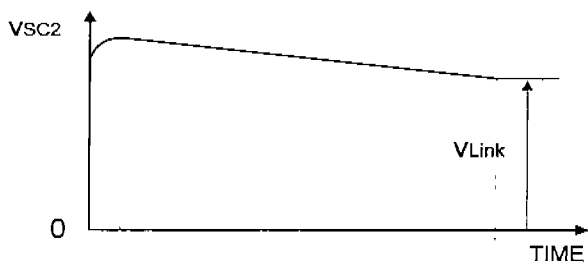
(b) G_1 턴-오프 (모드 2, 모드 3) 때의 i_{Load} , i_{SC1} , i_{SC2} , v_{SC1-2} , i_{Ch} , i_{D2} 의 동작특성

그림 3. G_1 의 턴-오프(모드 2, 모드 3) 동작
Fig 3. Turn-Off Operations Of G_1
(mode 2, mode 3)

그리고 모드 4에서는 부하전류 I_{Load} 가 D_2 를 통해 흐르고, SC_2 는 ASZ를 통해 V_{Link} 전압까지 방전된다. 그 때 SC_2 의 방전시간은 $R_S(\Omega) \times SC_2(F)$ 의 값을 갖는다. 모드 4때의 스너버 회로의 전류루프와 v_{SC2} 및 i_{Ch} 의 특성을 그림 4의 (a), (b)에 각각 나타내었다.



(a) G_1 턴-오프(모드 4) 전류 루프



(b) G_1 턴-오프(모드 4) 때의 v_{SC2} , i_{Ch} 의 동작특성

그림 4. G_1 의 턴-오프(모드 4) 동작
Fig 4. Turn-Off Operations Of G_1 (mode 4)

3. 실험장치 구성 및 결과

그림 5는 에너지 회생방식 스너버 회로를 갖는 GTO PWM 인버터의 회로구성도를 나타낸다. 3상 교류 입력 220(V), 60(Hz)를 받아 3상 다이오드 브릿지로 정류하여 GTO 인버터에 공급하는 것으로 하였다. 전체 시스템의 제어구성도는 그림 6에 나타내었으며, 제어 회로도 는 그림 7에 나타내었다. 그리고 GTO의 driver 회로는 그림 8에 나타내었다. 실험에 이용된 3상 유도 전동기의 정격은 소형 250W, 4극, 1750rpm 농형을 사용하였다. 그림 9는 GTO 소자의 v_{AK} 와 인버터 출력측 전류파형을 나타낸 것으로 실험결과와 특성을 나타내고 있다.

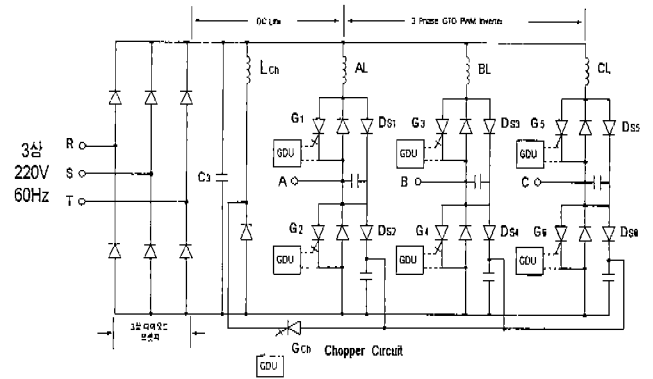


그림 5. 실험회로 구성도

Fig 5. Experimental Configuration Diagram

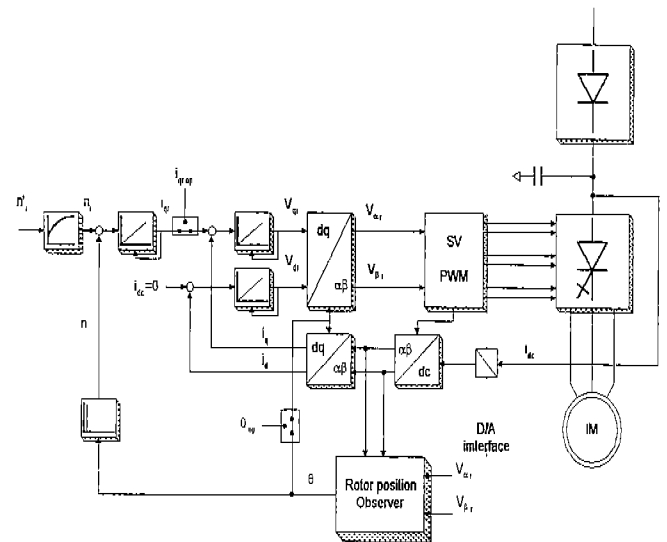


그림 6. 제어구성도

Fig 6. Control Configuration Diagram

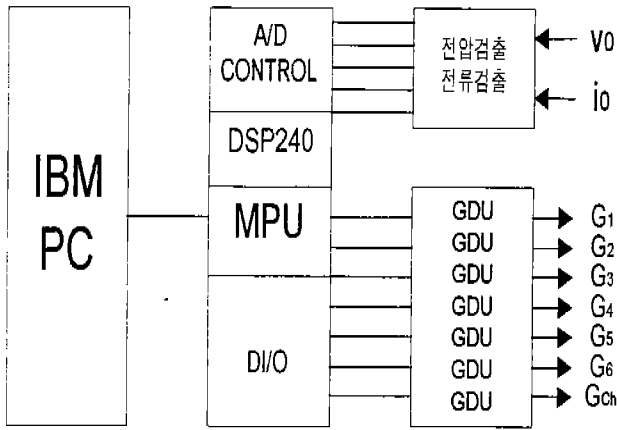


그림 7. 제어회로 블록도
Fig 7. Control Circuit Block Diagram

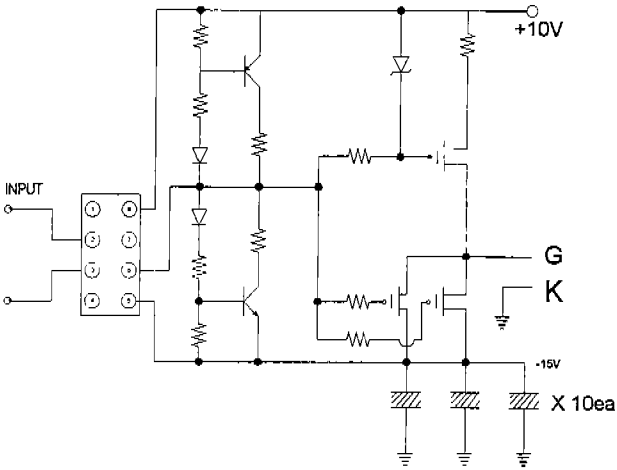


그림 8. GTO Gate Drive 회로
Fig 8. GTO Gate Drive Circuit

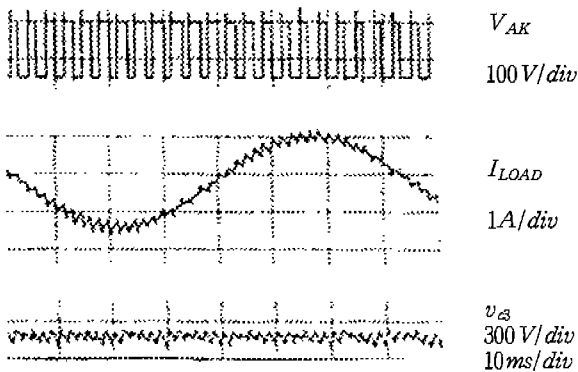


그림 9. 제안한 GTO 인버터의 입력 전압 및 출력전류 파형
Fig 9. WaveForms Of Proposed GTO inverter

4. 결론

이상과 같이 에너지 회생 방식(Chopper) 스너버 회로를 갖는 3상 GTO PWM 인버터의 스너버 동작 특성을 고찰해 본 결과 스너버 동작 모드 3, 모드 4 때에 스너버 콘덴서 C_2 의 전압이 DC Link 전압보다도 높아지는 경향을 볼 수 있었으며, 이 때 C_2 의 전압에 의해 DC Link 쪽으로 스너버 회로의 에너지를 Chopper 회로로 통하여 회생시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서의 실험결과 평가자료는 간단하게 그림 9로 대신하는 것으로 한다.

비대칭 스너버 회로에서는 저항(R_S)에 소비되는 전력이 전체 전력손실량의 약 1% ~ 6%를 차지하지만, 제안한 방식은 이와같은 소비전력을 전원측으로 다시 회생시킴으로써 에너지 절약이 될 수 있다고 사료된다.

참고문헌

- [1] Tony C. Lee, Malik E. Elbuluk, Donald S. Zinger, "Characterization and Snubbing of a Bidirectional MCT Switch in a Resonant AC Link Converter", IEEE VOL. 31, NO. 5, september/october 1995
- [2] 서재평, 이요한, 서범수, 현동석, "3-레벨 GTO 인버터를 위한 새로운 저손실 및 과전압 제한 스너버회로 설계", Trans, KIEE Vol 45, NO. 8. AUG ~ Aug. 1988
- [3] Gisle J. Torvetjonn, Astrid Petterteig, Tore M. Undeland, "Analysis and Measurements on a PWM DC-DC converter with lossless snubbers", 1993 IEEE
- [4] Joachim Holtz, Samir Fahim Salama, and Kari-Heinz Werner, "A NONDISSIPATIVE SNUBBER CIRCUIT FOR HIGH-POWER GTO-INVERTERS, 1987 IEEE