

직렬 연결된 GTO로 구성된 멀티레벨 인버터에 적합한  
새로운 회생 스너버에 관한 연구

채 균, 조 국춘, 정 구호, 류 태하, 조 규형  
한국 과학 기술원 전기 및 전자공학과

A Novel Regenerative Snubber suitable to Multi-Level  
Inverters with Series-Connected GTOs

G. Chae, Guk C. Cho, Gu H. Jung, Tae H. Ryoo, Gyu H. Cho

Department of Electrical Engineering  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

ABSTRACT

A simple regenerative snubber structure is proposed, which is applicable to multi-level inverter with series-connected GTOs for high power applications. The novel snubber structure can solve large energy loss problems and guarantee safe operation of power converter can be achieved. The proposed new snubber has the potential of high performance and high reliability and is particularly suitable to high power and multi-level application with series connected power devices. The snubber voltage and current waveforms are analyzed and shown the simulation and experimental results for a GTO 3-level inverter circuit with inductive load.

key word: regenerative snubber, multi level inverters, series connected GTOs.

I. 서 론

현재 대전력, 고전압 시스템의 개발 부문 중 컨버터 분야에서 사용하고 있는 스위칭 소자로는 IGBT, GTO 등을 들 수가 있는데 그 중 특히 GTO가 거의 대부분을 차지하고 있

다. 고전압과 고전류에서의 동작이 가능한 반면 GTO의 특성상 스위칭시의  $dv/dt$ ,  $di/dt$ 를 제한하기 위한 스너버 회로를 부가하여야 한다. 하지만 스너버 회로 자체의 손실이 대용량으로 갈수록 커져서 전체 시스템의 효율을 저하시키게 되는 문제점이 생긴다. 따라서 스너버 에너지를 전원부로 회생을 시키거나 다른 방법으로 그 에너지를 활용하기 위한 회생 스너버의 연구가 활발히 진행되어 오고 있다.

대용량으로 시스템의 규모가 커짐에 따라 GTO가 견디게 되는 전압, 전류의 크기가 점점 증가하여 되는데 지금 상용화되고 있는 GTO의 정격 4500V/3000A급으로는 적용이 어렵게 된다. 따라서 스위칭 소자를 직렬 연결하여 사용하고 있으며 앞으로 직렬 연결된 소자의 수는 더 증가할 추세에 있다. GTO가 직렬 연결됨에 따라 그에 따른 스너버의 연구도 같이 병행이 되어야 한다. 하지만 지금까지 직렬 연결에 따른 스너버의 연구가 제대로 이루어지지 않은 실정이다.

스위칭 소자의 전압 스트레스를 감소시키고 시스템의 출력 하모닉 성분을 줄이기 위해 멀티 레벨 구조의 인버터가 적용이 되고 있다. 기존의 멀티 레벨 인버터에서는 3-레벨을 많이 사용하고 있다. 하지만 멀티 레벨 구조에서의 최적의 스너버 구조가 아직 제시되지 않았으며 특히 GTO를 직렬 연결하여 멀티 레벨 구조로 시스템을 구성할 경우에 적합한 스너버는 아직 연구 발표된 예가 없다. 앞으로 시스템의 규모가 점차 증가함에 따라 GTO뿐 아니라 다른 스위칭 소자의 직렬 연결이 불가피하다는 점을 감안한다면 그에 따른 스너버의 연구도 필수적으로 행해져야 할 수

있다.

위에서 설명한 여러 가지 문제점을 감안하여 본 논문에서는 직렬 연결된 GTO를 사용한 멀티 레벨 인버터에 적합한 새로운 회생 스너버를 제시할 것이며 안정적인 스너버 동작을 확인하기 위하여 시뮬레이션과 간단한 실험을 할 것이다. 또한 제시한 회생 스너버의 효용성과 미래의 대용량 전력 시스템의 개발에 어떠한 도움이 될지를 전망하여 보도록 하겠다.

## II. 기존 스너버와 제안된 스너버의 고찰

그림1은 현재 3-레벨 인버터에서 사용되고 있는 일반적인 스너버 구조이다. 이 구조는  $L_s1, L_s2$ 와  $C_{s1}, C_{s2}$ 로  $di/dt, dv/dt$ 를 제한하고 있는데  $L_s1$ 은  $S1$ 과  $S3$ 의  $di/dt$ 를 제한하고  $L_s2$ 는  $S2$ 와  $S4$ 의  $di/dt$ 를 제한한다. 같은 원리로  $C_{s1}$ 은  $S1$ 과  $S3$ 의  $dv/dt$ 를 제한하고  $C_{s2}$ 는  $S2$ 와  $S4$ 의  $dv/dt$ 를 제한한다. 스너버 커패시터  $C_{s1}$ 과  $C_{s2}$ 의 에너지는  $C_{z1}$ 과  $C_{z2}$ 로 모아 DC/DC 컨버터를 통해 회생시키는 방식을 사용하고 있다. 하지만 중간 두 GTO  $S2, S3$ 의  $dv/dt$ 는 간접 스너버 작용을 하게 되어 OFF시 GTO에 무리한 초기 전압 스파크를 발생시킬 수 있으며 전체 시스템이 완전 오프 상태에 있다가 가동상태로 들어갈 때 중간 두 GTO에 최대 2Es 만큼 걸리게 되는 것이 실험적으로 나타나게 되었다. 따라서 이런 구조의 스너버는 시스템의 기계적인 배치로 기생 인덕턴스를 최대한 줄일 수 있는 방향으로 설계를 하여야 한다. 또한 GTO를 직렬로 연결하여 이와 같은 형태의 3-레벨 구조의 스너버를 사용한다면 위의 현상은 더 심각해짐을 알 수 있으므로 새로운 형태의 스너버 연구가 필요하게 된다. 그림 2에 제안된 새로운 스너버 형식을 나타내었다. 제시된 그림 2는 3개의 GTO가 직렬로 연결된 3-레벨 인버터의 3상 구조 중 1-pole만을 나타낸 것이다. 구조를 잠시 살펴보면 각 3개로 직렬 연결되어 구성된 GTO 모듈의 스너버는 그 옆에 각각 붙어 있는 다이오드와 커패시터로 구성되어 있고 각 스너버 커패시터의 스너버 에너지는 GTO가 터온되었을 때 에너지를 모으는 커패시터  $C_T, C_{z1}, C_{z2}$ 로 넘어가게 된다. 양의 레벨에 해당하는 스너버 커패시터  $C_{s1-3}$ 의 에너지는  $L_s1$ 과의 공진 작용으

로  $C_{z1}$ 으로 회생이 되고 영의 레벨에 해당하는 스너버 커패시터  $C_{s4-9}$ 의 에너지는  $L_s2$ 의 공진으로  $C_T$ 로 넘어간다. 마찬가지로 음의 레벨에 해당하는 스너버 커패시터  $C_{s10-12}$ 의 에너지는  $L_s2$ 와의 공진으로  $C_{z2}$ 에 에너지가 넘어간다. 상하의 두 커패시터  $C_{z1}, C_{z2}$ 와 다이오드  $D_{b1}, D_{b2}$ 는 에너지를 모으기 위함과 GTO가 터온되었을 때 충전되는 스너버 커패시터의 전압 상승을 클램핑하는 역할도 담당하게 된다. 이는 각 스너버 커패시터의 전압이 부하전류의 크기와 시스템의 회로 정수의 크기에 따라 올라가는 정도가 다르기 때문에 그 상승폭을 제한하기 위한 것이다. 각각 모아진 에너지는 여러 가지 방법으로 전원부로 회생이 되거나 다른 방법으로 활용이 된다. 기존의 3-레벨 인버터에서 사용한 스너버 방식에서 나타난 경로에 의한 잔류 인덕턴스의 영향과 스너버 다이오드의 순방향 회복 현상을 해결하였으며 대용량에서의 스위칭 소자의 직렬 연결에 적합한 새로운 스너버 구조라는 점에서 이 방식이 최적의 구조라고 할 수 있다.

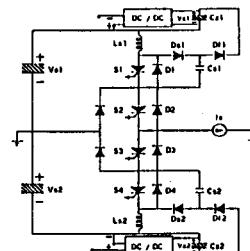


그림 1

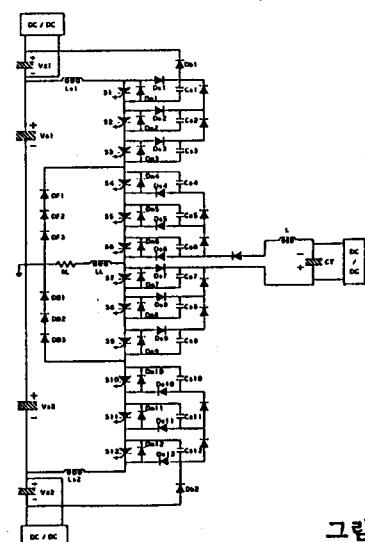


그림 2

### III. 시뮬레이션 및 실험

제안된 시스템의 동작을 해석하고 이를 확인하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 하였는데 전체 3상 인버터중 한 상에 해당하는 1 pole의 prototype 실험 세트를 만들어 확인하였다. 부하 전류의 방향과 각 스위치의 상태에 따라 해석할 수 있는 경우가 12가지가 되는데 이들 경우에 대해 본 논문에서는 기존의 3-레벨 인버터구조에서 문제시 되었던 음의 부하전류에 대해 영전위에서 양전위로의 전환인 경우를 다루었다. 각 모드별 해석을 생략하고 이에 대한 시뮬레이션과 실험 결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 실험에서 사용한 조건을 보면 다음과 같다.

DC 링크 전압: 1400V      부하전류: 28A  
스너버 커패시터: 1.1uF Ls1,Ls2:50uH L: 120uH  
스너버 다이오드: DSDI35-08A  
GTO: GFF90B12

그림 3은 영전위에서 양전위로 전환시 각 스위칭 동작을 하는 스위치의 전압과 스너버 커패시터 전압과 그에 해당하는 각 소자의 전류를 보이고 있다. 그림 4는 이에 해당하는 실험 파형을 제시하고 있는데 시뮬레이션 결과와 거의 일치하고 있다.

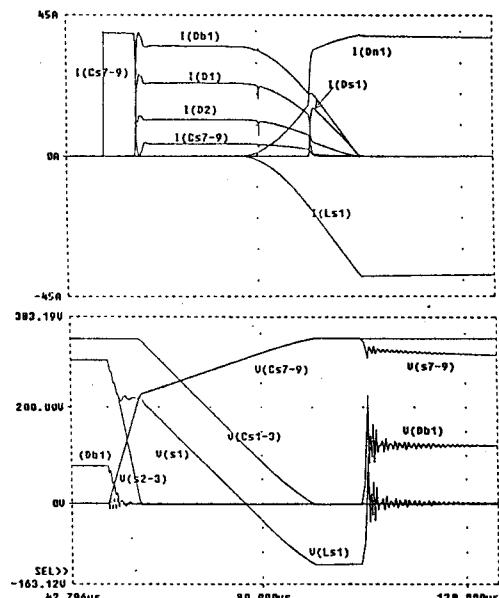


그림 3

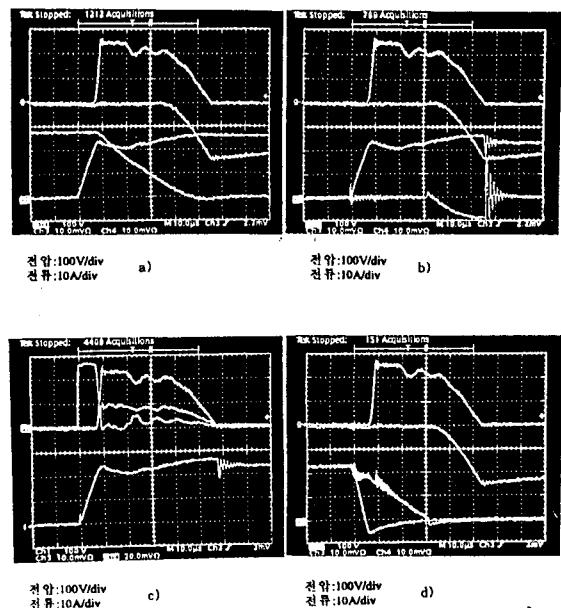


그림 4

### IV. 결 론

본 논문에서는 새로운 스너버 회로로서 직렬 연결된 GTO로 구성된 멀티 레벨 인버터에 적합하게 제안되었다. 이상의 연구과정에서 살펴본 결과 본 논문에서 제안된 새로운 스너버 구조는 앞으로의 대용량 멀티 레벨구조의 인버터나 그 용용분야에서 안정된 스위칭 동작을 보장하고 시스템의 대부분의 손실을 나타내는 스너버 회로의 에너지를 회생하는데 있어서 중요한 역할을 할 것이라고 전망이 된다. 현재까지 멀티 레벨 구조에 있어서의 최적의 스너버 구조가 제시되지 않았다는 점을 감안한다면 제안된 구조는 멀티 레벨 구조의 시스템 개발에 많은 도움이 되리라 생각이 된다. 특히 앞으로 개발이 가속화될 FACTS(Flexible AC Transmission System)의 연구에 큰 역할을 하리라 전망이 된다.

### V. 참고 문헌 (REFERENCE)

- [1] S.Irokawa, T.Kitahara, F.Ichikawa, T.Nakajima "A New Snubber Energy Recovery Method for Voltage Source Self-Commutated Converters", IPEC-Yokohama1995, pp1572-1577
- [2] 한국 전력 공사, "3.3kV 1M VAR Static VAR Compensator 개발에 관한 연구(2차년도 중간 보고서)"
- [3] 이 영배, "대용량 3-레벨 GTO 인버터를 위한 개선된 회생 스너버", KAIST 석사 학위 논문, 1992