

고압 전력변환장치를 위한 전력용 스위칭 반도체 소자의 특성

서범석^o 심은용 조순봉 현동석
(한양대) (한양대) (현대중전기) (한양대)

Characteristics of power switching semiconductors for high voltage power converters

Beom-Seok Seo^o Eun-Yong Shim Sun-Bong Cho Dong-Seok Hyun
(Han Yang Univ.) (Han Yang Univ.) (Hyun Dai Elec.Co.) (Han Yang Univ.)

ABSTRACT

Series connection of power switching semiconductor elements is unavoidable when a high voltage convertor is aimed. However, it is important to equalize distribution of turn-off voltage because the switching elements have different characteristics.

In this paper optimal switching control algorithm is proposed so that series connected power switching semiconductor elements can be always switched simultaneous turn-on and turn-off.

있으나 이는 스니버회로의 스니버 콘덴서 용량이 큰 값을 전제로 하고 있기 때문에 스위칭손실의 증가와 가격 및 설치공간면에서 불리함을 초래하게 된다.

본 연구에서는 직렬접속된 전력용 스위칭 반도체 소자의 스위칭특성에 무관하게 각소자의 전압분배가 보다 균등하게 동시에 항상 이루어 질 수 있도록 최적화된 보정제어신호를 구현하였고 실제계에서 부수적으로 수반되는 불균등 분배전압이 최소화 됨으로서 스니버 콘덴서 용량 또한 최소화 되어 S.Saadate, R. Le Doeuff의 걸점을 보완 할 수 있었다. 또한 여기에서 제안된 보정제어신호 구현을 위한 제어 알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 SPICE 를 이용, 시뮬레이션 하였고 실제 실험장치를 구성하여 이의 결과를 제시하였다.

1. 서론

문명의 발달, 산업발전에 따른 규모 확장등에 기인되어 부하의 대용량화가 요구되면서 전력변환장치 또한 이에 부합될 수 있도록 대용량화 되는 추세이다. 따라서 이의 실현을 위하여 현재 고압, 대전류용의 전력용 스위칭 반도체 소자의 개발에 많은 연구를 하고 있으나 불행하게도 아직까지는 이와 같은 요구에 충족할 만한 결과를 가져오지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 이와 같은 전력용 스위칭 반도체 소자의 제한성을 직렬 또는 병렬접속을 피하므로써 고압내지는 저압용 대용량 전력변환장치의 실현이 가능케 된다. 따라서 고압용 전력변환장치를 실현함에 있어서 S.Saadate, R.Le Doeuff⁽¹⁾⁽²⁾ 가 제안한 종래의 방법으로는 소자의 스위칭 특성이 유사한것을 선별하여 이들을 직렬 구성하고 점호 및 소호시 각소자의 불균등 전압을 최소화하며 소자 양단간에 스니버회로를 두어 여분의 불균등 전압을 흡수하도록 하고

2. 전력용 반도체 소자의 스위칭 특성

고압 전력변환장치에 사용되는 반도체 소자의 스위칭 특성은 소자의 안정동작 관점에서 매우 중요하다. 이러한 소자의 스위칭 특성은 점호시의 지연시간 (t_d) 과 상승시간 (t_r) 그리고 소호시의 축적시간 (t_s) 및 하강시간 (t_f) 으로 표현되며 이는 도핑농도, 접합부온도, 부하전류 그리고 공핍층의 전하축적량 등에 좌우된다. 그림 1 은 스니버회로를 부가한 POWER TRANSISTOR 의 스위칭특성을 나타낸다. 베이스에 전류 I_{B1} 이 인가된 후 t_d 만큼 지연뒤 TRANSISTOR 는 도통하기 시작하고 스니버콘덴서의 방전전류에 의한 영향으로 TURN-ON 시 전류 SPIKE 가 발생한다. 한편, TRANSISTOR 의 TURN-OFF 는 베이스의 역바이어스 전류 I_{B2} 를 인가함으로써 시작되며 TURN-OFF 가 완결되면 부하전류가 스니버콘덴

서에 축적되어 전압 SPIKE 를 일으킨다. TURN-ON 과 TURN-OFF 시간이 상이한 소자를 직렬연결하여 사용할때 실제로 야기되는 주된 문제점은 TURN-OFF 시 t_s 의 차이로 나타나는 소자 양단간에 걸리는 전압분배의 불균등이다. 지연시간의 소자간 차이는 축적시간의 경우보다 직 1/2 이상 아니라 TURN-ON 시에는 부하 인덕턴스에 의하여 전류 상승이 제한되는 반면 TURN-OFF 시 먼저 차단된 소자에 걸리는 SPIKE 전압을 감당할 수 있는 스너버 콘덴서의 선택은 스위칭시간과 콘덴서용량이 제한된 현실을 감안하면 매우 어렵기 때문이다.

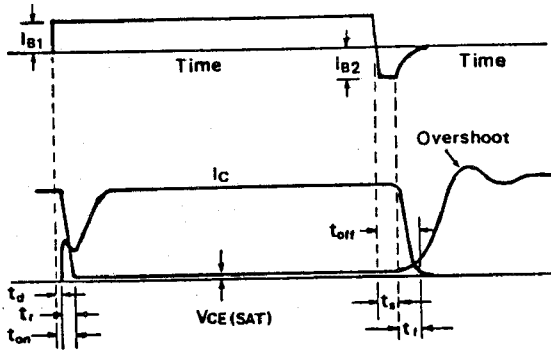


그림 1. TRANSISTOR 의 스위칭 특성

3. GATE 신호의 제어 알고리즘

고압형 전력변환장치의 구성은 먼저 스위칭 특성이 비슷한 소자를 선별함으로써 스위칭 동작의 차이를 감소시키는 동시에 스너버회로로써 이를 보완하는 방식이 일반적이다. 또한 보다 균등한 전압분배를 목적으로 스위칭 소자에 병렬로 균등화저항을 부가하기도 한다. 그러나 이러한 방식은 스너버 회로와 균등화저항에 의한 전력손실이 크게될 뿐 아니라 회로를 구성하는 소자의 용량이 하드웨어적으로 결정됨으로써 전력변환장치의 안정한 동작영역이 제한된다.

본 연구에서는 하드웨어적인 전력변환장치의 단점을 개선하기 위하여 스위칭 소자의 GATE 신호를 제어함으로써 고유의 특성차이에도 불구하고 동일한 스위칭 동작을 얻을 수 있는 GATE 신호의 제어알고리즘을 제시한다.

그림 1 에 나타난 바와같이 TURN-OFF 전압은 축적시간의 종료후부터 상승하기 시작한다. 따라서 소자의 동일한 TURN-OFF 동작은 각소자의 축적시간 종료시점을 동기화 시점으로써 얻을 수 있다. 한편, 소자의 축적시간은 GATE 에 역바이

어스 전류가 인가된 시점으로부터 TURN-OFF 전압이 상승하기 시작하는 시점의 차이로 정의됨으로 TURN-OFF 전압을 검출함으로써 파라미터 변동에 관계없이 소자의 축적시간을 알 수 있게된다. 그리고 전압검출과 동시에 다시 ON 신호를 인가하여 각 소자의 ON 상태를 유지시키고 축적시간을 고려하여 각각의 소자에 대한 GATE 의 역바이어스 인가 시점을 계산, 인가하게된다. 이러한 GATE신호 제어알고리즘의 블록선도와 각 신호파형이 그림 2 와 그림 3 에 나타나 있다.

본 연구의 제어알고리즘에서는 TURN-OFF 시점을 일치시키고자 하는 기준시간이 설정 되어야 하며 가장 긴 축적시간의 2배를 기준시간으로 정하였다.

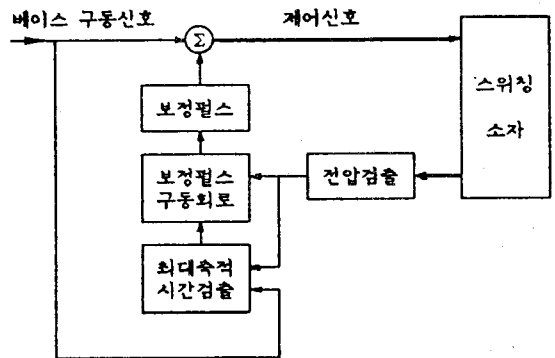


그림 2. GATE 제어신호를 위한 블록선도

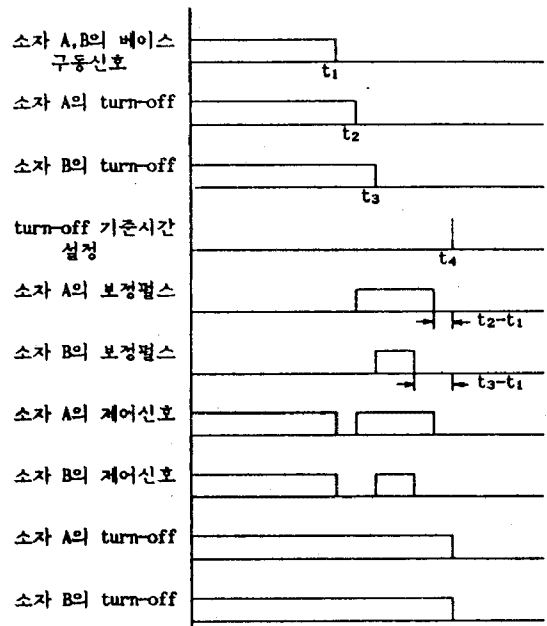


그림 3. GATE 제어신호에 대한 신호파형

4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구를 위한 시뮬레이션은 MOTOROLA 제품인 MJ10007 과 MJ13333 두 소자의 모델을 사용하였다. 그림 4 와 그림 5 는 각 스위칭 소자에 동일한 GATE 신호를 인가하여 얻은 시뮬레이션 결과로써 축적시간이 1.4 μ sec 정도의 차이가 나타나며 과도 및 정상상태에서 각 소자에 걸리는 TURN-OFF 전압에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 그림 5 는 정상상태에서 전압분배가 균등하게 이루어지도록 하기위해 1K Ω 의 균등화 저항을 연결한 경우이다. 본 연구의 GATE신호 제어방법을 적용한 경우 그림 6 및 그림 7 과 같이 두소자의 축적시간오차가 0.3 μ sec 정도로 줄어들어 거의 동시에 TURN-OFF 가 이루어지고 있으며, 전압분배에 있어서도 훨씬 양호한 결과를 나타내고 있다.

Voltage distribution without C.P.

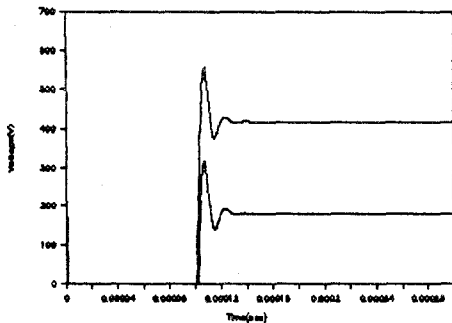


그림 4

Voltage distribution without C.P.

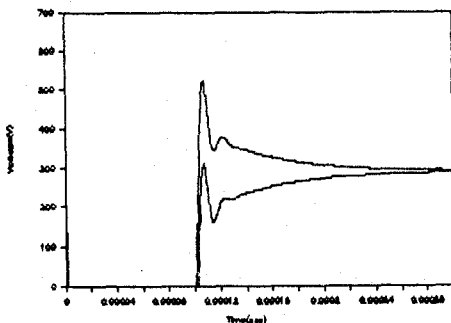


그림 5

Voltage distribution with C.P.

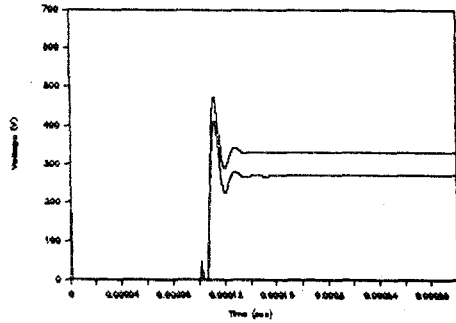


그림 6

Voltage distribution with C.P.

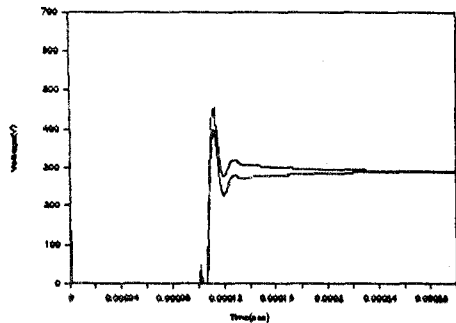


그림 7

5. 실험결과 및 고찰

(실험 1)

축적시간의 차이가 큰 두 소자를 직렬연결하고 스너비 회로를 부가한 초퍼회로를 가지고 실험을 하였다. 역시 축적시간이 짧은 소자가 전압차단을 먼저하기 시작하여 다른 소자 보다 3배 이상의 전압 피크치를 나타내었다. 그리고 정상상태의 전압분배에 있어서도 큰 불균형을 보이고 있다.

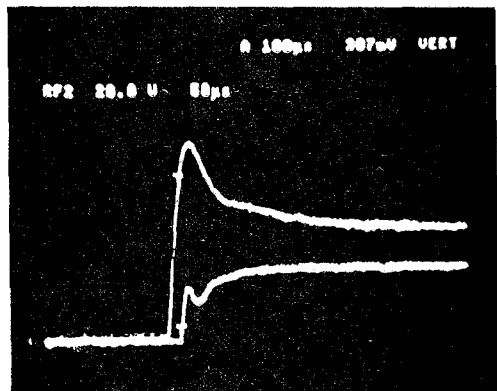


그림 8. 실험 1의 전압분배

(실험 2)

실험 1의 조건에서 각소자 양단에 균등화 저항을 연결하였다. 결과로서 TURN-OFF 시간이 짧은 소자의 양단에 순간적으로 높은 전압이 유기되나 정상상태에서는 두소자에 똑같이 전압분배가 이루어 졌다. 본 실험에서는 각소자의 누설변화를 억제하기 위해 충분한 전류가 흐르도록하는 균등화 저항(470 Ω)이 너무작아 정상상태의 전압분배는 빨리 이루어 졌으나 완전한 전압차단을 하지는 못했다.

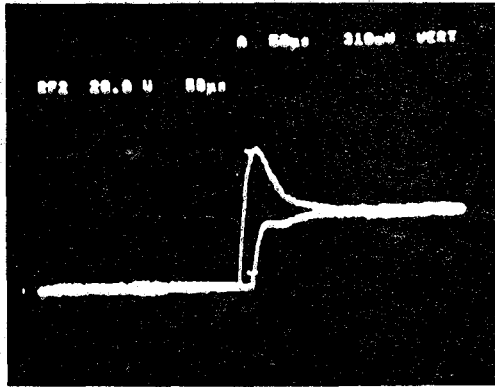


그림 9. 실험 2의 전압분배

(실험 3)

본 연구의 GATE신호 제어방법을 적용하여 실험을 하였다. 그림 10에서 처럼 직렬연결한 두 소자의 TURN-OFF 시간이 거의 일치하여 마치 한개의 소자가 스위칭작용을 하고 있는 결과를 보이고 있다. 제어회로의 구성과 베이스구동회로의 지연시간으로 인해서 전압이 상승하다 떨어지는 현상이 나타났으나, 이는 하드웨어 구성 기술의 보완으로 개선될 수 있으리라 본다.

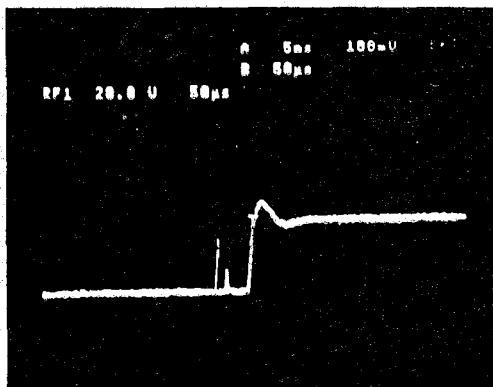


그림 10. 실험 3의 전압분배

본 실험의 결과를 비교 분석하면 표 1과 같다. 사용 전압은 90V 이고 GATE 신호를 제어한 결과의 전압 피크치를 기준으로 회로 구성에 따른 TURN-OFF 시 전압상승을 정규화 값으로 나타내었다.

표 1. TURN-OFF 전압

	스너버 회로	균등화 저항	GATE신호 제어	TURN-OFF시 전압피크치
실험 1	有	無	無	2.13
실험 2	有	有	無	1.51
실험 3	有	有	有	1

본 연구방법을 사용한 결과 TURN-OFF 시 소자 양단간의 전압상승을 효과적으로 제한할 수 있었다.

6. 결 론

GATE신호 제어알고리즘을 제시하고 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 입증하였다. 연구결과, 경부하에서부터 과부하에 이르기까지 광범위한 운전영역을 갖는 고압 전력변환장치가 안정하게 운전하기 위해서는 하드웨어적인 방법보다는 GATE신호의 제어에 의한 방법이 보다 효율적임을 알 수 있었다. 앞으로 본 연구방법을 TRANSISTOR 뿐만 아니라 GTO 소자를 대상으로도 연구를 계속하고자 한다.

7. 참고 문헌

1. S.SAADATE,R.LE DOEUFF " A 4000V-800A GTO CHOPPER FOR TRACTION APPLICATIONS " EPE Aachen,1989
2. S.SAADATE,R.LE DOEUFF " HIGH VOLTAGE CHOPPER FOR ELECTRICAL TRACTION APPLICATION USING SERISE CONNECTION OF LARGE GTO THYRISTERS " IEEE,1989
3. ANDREJAK JEAN-MARIE, LES CURE MARC " HIGH VOLTAGE CONVERTERS PROMISING TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS " EPE ,1987
4. JEAN-MARIE ANDREJAK, " EVOLUTION OF HIGH POWER DRIVES FOR HIGH SPEED INDUCTION MOTORS " EPE Aachen,1989
5. MILAN KUBAT " POWER SEMICONDUCTORS " P186 - P224