

MOS 제어 다이리스터의 특성 해석 및 시뮬레이션을 위한 모델

이영국*, 현동석
한양대학교 전기공학과

Switching Characteristics and PSPICE Modeling for MOS Controlled Thyristor

Young-Kook Lee* and Dong-Seok Hyun
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - The MOS-controlled thyristor(MCT) is a new power semi-conductor device that combines four layers thyristor structure presenting regenerative action and MOS-gate providing controlled turn-on and turn-off. The MCT has very fast switching speed owing to voltage controlled MOS-gate, and very low on-state voltage drop resulting from regenerative action of four layers thyristor structure. In addition, because of a higher dv/dt rating and di/dt rating, gate drive circuit and snubber circuit can be simpler comparing to other power switching devices. So recently much interest and endeavor is being applied to develop the performance and ratings of the MCT. This paper describes the switching characteristic of the MCT for its practical applications and presents a model for PSPICE circuit simulation. The model for PSPICE circuit simulation is compared to the experimental result using MCTV75P60F1 made by Harris co..

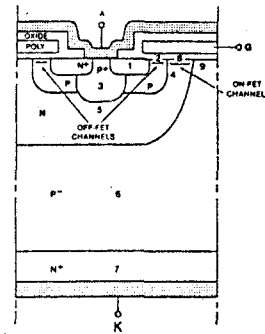


그림 1. P형 MCT의 단위 Cell의 수직구조

1. 서론

최근에 들어 전력용 반도체 소자의 성능이 급격히 향상되고 있다. 그중에서도 기존의 바이폴라 구조와 MOS 게이트 구조 특성을 결합한 소자들의 성능이 비약적으로 발전하고 있는데 MCT는 이러한 유형의 전력용 반도체소자로서 기존의 다이리스터와 MOS게이트가 결합된 구조를 가진다[1]. MCT는 MOS게이트에 전압을 인가함으로써 턴-온과 턴-오프를 조절하는 전압구동방식을 채용하고 있으므로 기존의 MOSFET과 같은 빠른 스위칭 속도를 얻을 수 있고 도통시 전류는 다이리스터의 재생작용에 의하여 형성되므로 소자 양단간의 전압 강하를 최소화시킬 수 있다. 또한 di/dt , dv/dt 정격이 매우 크기 때문에 게이트 구동회로와 스너버 회로가 간단해 지는 장점이 있으며 응용범위가 증가될 수 있다[2]. 하지만 지금까지 제작된 MCT가 대용량 전력변환장치에 이용되기에는 전압, 전류 정격이 크지 못하기 때문에 주로 중소용량 변환장치에 이용되고 있다. 따라서 다른 전력용 반도체 소자에 비해 많은 장점을 지니고 있는 MCT의 전압, 전류 정격을 높이기 위한 노력과 관심이 계속되고 있다[5].

본 논문에서는 실제 MCT응용분야 적용을 위한 스위칭 특성을 P형 MCT를 중심으로 고찰해 보고 회로 시뮬레이션을 위한 PSPICE모형을 제시하고 실제 실험 결과와의 비교, 분석으로 제안한 모델의 타당성을 검증한다.

2. 실제응용을 위한 MCT특성 고찰

2-1. 턴-온 스위칭 특성

그림 1은 P형 MCT의 단위 cell의 수직구조를 보여주고 있다. P형 MCT는 서로 걸연되어 있는 애노드와 게이트 사이에 두 종류의 FET channel이 존재한다. MCT를 턴-온 시키기 위해서는 게이트와 애노드 사이에 음의 전압을 인가 한다. 이 음의 전압으로 인해 ON-FET channel부분에는 p-channel이 형성되고, OFF-FET channel부분에는 전위 장벽에 의한 공핍영역이 형성된다[2]. 이때 애노드와 캐소드 양단에 양의 전압이 인가되어 있다면 애노드에서 정공은 p-channel을 따라 P-층으

로 주입된다. P-층의 정공 농도가 증가함에 따라 캐소드에서 P-층으로 전자가 주입되게 된다. 이러한 과정이 반복되는 재생 작용이 일어나게 되어 다이리스터가 latch되고 MCT는 턴-온이 된다. 앞서서도 언급하였지만 MCT의 턴-온은 초기에 게이트와 애노드 양단의 음의 전압으로 이루어짐으로 턴-온 지연 시간이 짧고 4층 구조의 재생 작용에 의하여 도통시 전류가 형성되므로 전류의 상승 시간이 매우 짧다. 또한 재생 작용에 의하여 P-층의 저항률이 매우 크게 감소하게 되므로 턴-온시의 소자 양단간의 전압 강하도 소자들에 비해 작게 된다. MCT와 유사한 구조를 가진 IGBT의 경우 온시의 전압강하가 MCT에 비해 3배정도가 된다[2]. 실제 MCT는 그림 1에 제시된 단위 cell이 10⁴개 이상 집약되어 있다. MCT는 전압구동소자인 관계로 초기 턴-온시 전류가 몇 개의 단위 cell로 집중되는 현상이 없기 때문에 di/dt 정격이 매우 좋다[2,4].

2-2. 턴-오프 스위칭 특성

P형 MCT의 턴-오프는 크게 두 가지 과정으로 나눌 수 있다. 첫째 다이리스터의 latching이 붕괴되는 것과 둘째 과잉소수 캐리어가 재결합 하는 과정이다[1,2]. 우선 다이리스터의 latching상태를 붕괴시키기 위해서는 다이리스터 부분에 흐르는 전류를 holding전류 이하로 낮추어야 한다. P형 MCT의 게이트와 애노드 양단에 양의 전압을 인가하면 ON-FET부분에 형성되어 있던 p-channel을 붕괴시키고 공핍영역이 형성되어 전류의 흐름을 다이리스터에서 OFF-FET로 전환을 시킨다. 따라서 다이리스터의 latching는 붕괴되고 다이리스터의 전류는 holding 전류이하로 떨어지게 된다. P-층과 N층에 남아 있는 과잉소수 캐리어들은 재결합을 통하여 제거되어야 한다. 이 재결합 현상 때문에 MCT의 턴-오프 시간이 턴-온 시간보다는 상대적으로 길다[2].

P형 MCT의 경우 오프시 전압은 P-층에서 차단을 한다. MCT는 기존의 다이리스터에 비해 dv/dt 정격이 높다. 왜냐하면 ON-FET channel이 차단되어 있기 때문에 공핍영역 형성에 따른 변위전류에 의하여 재생작용이 발생하지 않기 때문이다 [1,4].

3. 회로 시뮬레이션을 위한 MCT PSPICE 모델 및 실험을 통한 검증

3-1. 회로 시뮬레이션 모델

다이리스터를 모델링하는 방법은 크게 세개의 다이오드로 PNP구조를 등가화시키는 방법과 두개의 트랜지스터(PNP, NPN)로 등가화시키는 두가지 방법이 있다. 세개의 다이오드로 다이리스터를 등가화시키는 경우 다이리스터의 물리적 특성에 보다 근사화시킬 수 있다는 장점이 있으나 컴퓨터 계산 시간이 긴 것이 단점이다. 두개 트랜지스터 등가모델의 경우는 다이오드 등가모델보다 다이리스터의 물리적 특성이 자세히 나타나지는 않지만 컴퓨터 계산 시간이 단축된다는 잇점이 있다[5].

본 논문에서는 그림 2과 같은 MCT PSPICE 모델을 제안하고 있다. 그림 2에서 보인 바와 같이 다이리스터 부분은 두개의 트랜지스터(PNP=Q1, NPN=Q2)와 Q2의 베이스에 연결된 전류 제어 전류원(FP)로 구성되어 있다. 또한 ON, OFF-FET는 각각 저항과 커패시터의 병렬회로, 다이오드, ON, OFF시 FET의 전류를 검출하기 위한 영전압원으로 구성되어 있다. ON, OFF-FET의 저항 커패시터 병렬회로는 게이트 구동 회로 신호의 지연 시간을 나타내기 위하여 사용하였다[3]. 커패시터 값의 경우 보통 MCT의 게이트 커패시터 값을 이용할 수 있다. ON, OFF-FET의 다이오드는 각각 온, 오프시 서로간의 전기적 절연을 위하여 사용하였다. 전류 제어 전류원 FP는 $I(FP) = K_0 + K_1 \cdot I(V_{ONFET}) + P_2 \cdot I(V_{OFFFET})$ 의 전류를 Q2의 베이스에 공급하여 다이리스터를 ON, OFF시킨다.

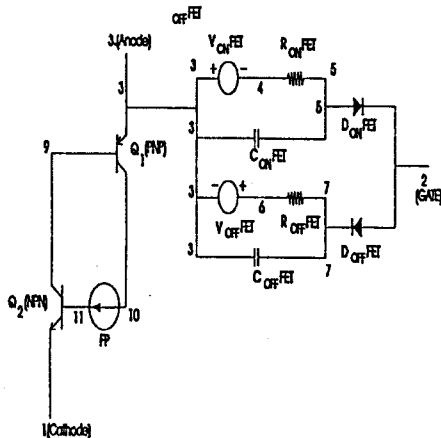


그림 2. 회로 시뮬레이션을 위한 MCT PSPICE 모델

3-2. 회로 시뮬레이션 결과와 실험 결과와의 비교

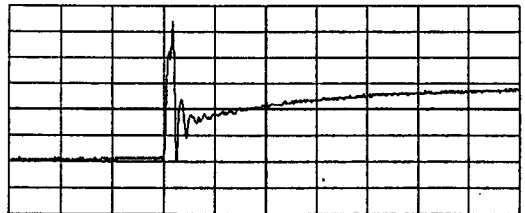
MCT PSPICE 모델을 검증하기 위하여 HARRIS사의 MCTV75P60E1을 사용하여 스위칭 주파수 10KHz, 입력 전압 100V에서 초퍼 실험을 실행하였다. 턴-온시의 과전류는 환류 다이오드의 역회복 전류이고, 턴-오프시의 과전압은 회로상의 누설인덕턴스의 영향으로 발생하는 것이다. 회로 시뮬레이션 상에서는 누설인덕턴스를 무시하였으므로 턴-오프시 과전압은 나타나지 않게 된다. 그림 3. 4에서 보이고 있듯이 MCT모델을 이용한 시뮬레이션 결과가 정적 특성뿐만 아니라 턴-온, 턴-오프시 전류와 전압의 상승률과 하강률이 실제 실험 결과와 매우 근사함을 알 수 있다.

4. 결론

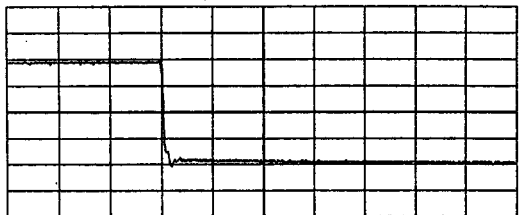
MCT는 다른 소자들에 비하여 많은 장점을 지니고 있는 전력 반도체 소자이다. 따라서 앞으로는 MCT의 사용이 보편화 될 것이라고 생각된다. 본 논문에서는 MCT의 스위칭 특성을 고찰해 보고 이러한 특성에 기반한 MCT의 PSPICE 모델을 제시하였고, 제시한 모델이 실제 실험결과와 매우 근사한 특성을 보임을 검증하였다.

5. 참고 문헌

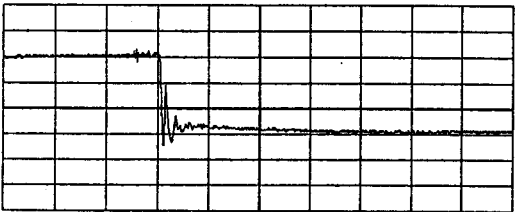
- [1] V.A.K. Temple, "MOS-Controlled thyristors - A New Class of Power Devices," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 33, no. 10, pp. 1609-1618, Oct., 1986.
- [2] Thomas M. Jahns et al., "Circuit Utilization Characteristics of MOS-Controlled Thyristors," *IEEE Trans. on Ind. App.*, vol. 27, no. 3, pp. 589-597, May/June, 1991.
- [3] S. Yuvarajan et al., "Switching characteristics and PSPICE Model of an MCT," *IEEE IAS Conf. Rec.*, pp. 1208-1215, 1993.
- [4] Mariank et al., "Experimental Static and Dynamic Characteristics of MOS-Controlled Thyristor," *IEEE IAS Conf. Rec.*, pp. 1150- 1157, 1992.
- [5] HARRIS SEMICONDUCTOR "User's Guide-MOS Controlled Thyristor," *Harris. co.*, 1993.



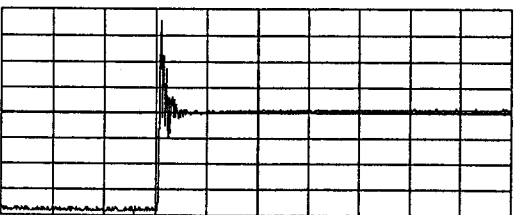
(a)



(b)

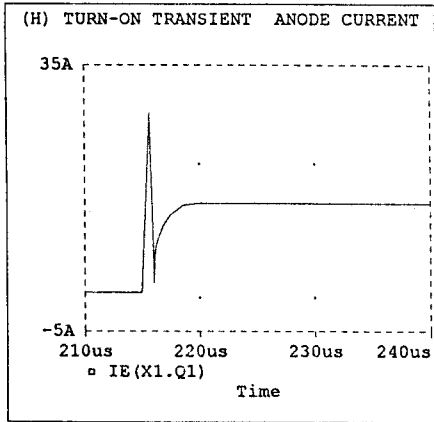


(c)

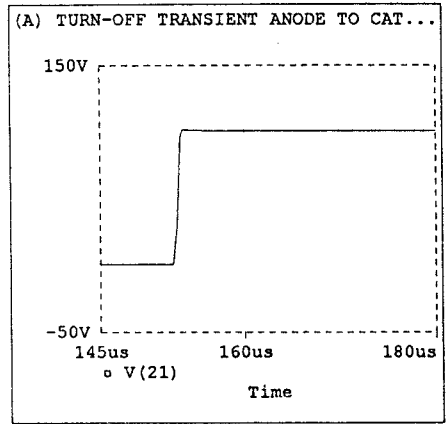


(d)

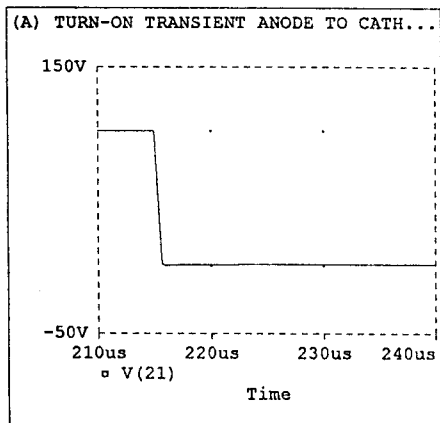
그림 3. 실험결과 (a) 턴-온시 I_A 전류파형 ; 5A/div ; time 5us/div (b) 턴-온시 V_{AK} 전압파형 ; 25V/div ; time 5us/div (c) 턴-오프시 I_A 전류파형 ; 5A/div ; time 5us/div (d) 턴-오프시 V_{AK} 전압파형 ; 25V/div ; time 5us/div



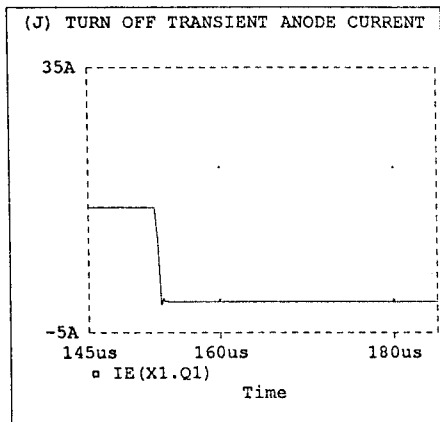
(a)



(d)



(b)



(c)

그림 4. 시뮬레이션결과 (a) 턴-온시 I_A 전류파형 (b) 턴-온시 V_{AK} 전압파형 (c) 턴-오프시 I_A 전류파형 (d) 턴-오프시 V_{AK} 전압파형