

전력용 사이리스터 MCT를 이용한 무접점 직류차단기 Contactless DC Circuit Breakers Using MOS-controlled Thyristors

심동연 · 김천덕 · 노의철 · 김인동 · 김영학 · 장윤석

D. Y. Sim, C. D. Kim, E. C. Nho, I. D. Kim, Y. H. Kim and Y. S. Jang

Key Words : DC Circuit Breaker(직류차단기), MCT(게이트 제어용 사이리스터), Thyristor(사이리스터), ZnO(바리스터), RCD snubber(RCD 스너버)

Abstract : Circuit breakers have traditionally employed mechanical methods to interrupt excessive currents. According to power semiconductor technology advances in power electronic device, some mechanical breakers are replaced with solid state equivalents. Advantages of the contactors using semiconductor devices include faster fault interrupting, fault current limiting, no arc to contain or extinguish and intelligent power control, and high reliability. This paper describes the design of a static $100 \pm 10\%V$ and 0 to 50A DC self-protected contactor with 85A "magnetic tripping" and 100A interruption current at $2.2A/\mu s$ short circuit of load condition using a new power device the HARRIS MCT (600V-75A). The self-protection circuit of this system is designed by the classical ZnO varistor for energy absorption and turn-off snubber circuit ("C" or "RCD") of the MCT.

1. 서 론

현재 널리 보급되어 있는 기존의 직류차단기는 전원장치, 배터리 충전기, 전동차 등에 사용되고 있으며, 이들 차단기의 차단방식은 기계식 접점방식을 이용하고 있다¹⁾. 기계식 접점을 갖는 기존의 직류차단기는 이상전류 차단시 발생하는 아크방전으로 인하여 접점의 손상이 많고 화재의 위험도 있어 내구성 및 신뢰성이 높지 않다. 특히 대용량 전력시스템에 이용할 경우, 절연확보와 기계적 소음 등이 심각한 문제로 대두된다. 또한 기계식 접점방식을 이용한 직류차단기는 이상전류 차단시, 차단시간이 길고 차단전류의 정확한 설정이 어려워 부하단의 보호가 용이하지 않다. 그리고 아크방전으로 인한 접점손상과 여자코일 등의 특성변화가 문제시 된다.

구미 선진국에서는 상술한 기계식 접점방식의 문제점들을 개선하기 위하여 전자식 무접점 방식의 직류차단기 개발에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다^{2,3,6)}. 이와 같은 연구는 전력반도체 소자의

대용량화가 실현됨에 따라 가능하게 되었으며, 대용량 전력용 반도체를 사용한 직류차단기는 이상전류 차단 설정치의 조정밀화, 차단시간의 획기적 단축 등으로 직류차단기의 고성능화, 반영구적 수명, 고신뢰도 확보 및 소형화 등의 장점들을 갖고 있다.

따라서 본 논문에서는 상기와 같은 기계식접점의 직류차단기의 제반 문제들을 개선하기 위한 무접점 직류차단기 개발에 관한 기초연구로써, 대용량 전력반도체 소자를 이용한 100V, 50A급 전자식무접점 직류차단기 개발에 관한 기술적 내용을 다루고자한다. 대전력용 반도체 스위칭소자로서 MCT를 이용하여 무접점 직류 차단기를 설계·제작하고, 실험을 통하여 연구·개발한 차단기의 유용성을 입증하였다.

2. 전자식 무접점 직류차단기의 구성

본 논문에서의 전자식 무접점 직류차단기의 주 차단 스위치로 선택한 반도체 소자는 해리스(Harris)사에서 개발한 게이트 제어용 사이리스터인 MCT(MOSFET Controlled Thyristor)이다⁴⁾.

본 논문에서의 무접점 직류차단기 개발에 관한 설계사양으로는 정격 입력전압은 100V, 전압 변동

접수일 : 1999년 9월 3일

심동연 : Tohoku대학교 Venture Business 연구소
김천덕, 노의철, 김인동, 김영학, 장윤석 : 부경대학교 전기·제어계측공학부

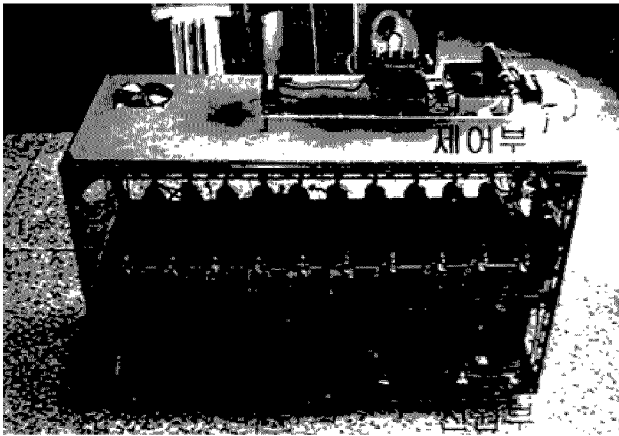


Fig. 1 Experimental set of solid state DC contactor

율은 $\pm 10\%$ 이내이고 상시 정격전류는 10A이다. 부하단락시의 순시 차단전류의 설정은 가변 가능하며, 최대 50A까지 조정 가능하다. 그리고 사용 온도는 섭씨 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 이며, 차단속도는 기계식 접점 방식의 1/1000 이하이다. 본 논문에서 연구 개발한 무접점 직류차단기 및 측정용 시스템을 Fig. 1에 나타낸다.

Fig. 1은 무접점 직류차단기 회로와 실험용 부하단 및 DC 100V, 50A 직류공급 전원장치 등으로 구성되어 있다. 상세한 설계사양을 만족하도록 구성한 무접점 직류차단기 회로의 블록 다이어그램은 Fig. 2와 같다. 차단기의 주차단 스위치로는 전력반도체 소자인 MCT를 이용하고 부하단 단락시의 차단기 보호를 위하여 에너지 흡수 다이오드인

바리스터(ZnO)와 RCD 스너버 회로(snubber circuit)를 설치하여 자체 보호기능을 가지도록 구성하였다.

주차단기인 MCT는 게이트 전압의 제어로 ON/OFF가 가능하며, 게이트 전압의 제어는 전류 모니터용 션트 저항(shunt resistor) 양단의 미소전압 변동을 감지하여 MCT를 구동하도록 설계되어 있다. 게이트 구동부의 회로는 N형과 P형의 상보형 전계트랜지스터(CMOS FET)를 이용하여 각 소자의 게이트입력을 연결하여 입력에 따라 출력이 래치동작을 하도록 구성되어 있다. MCT의 내부 스트레이 입력 커패시턴스와 게이트 저항으로 인한 시정수는 데이터 시트를 참고로 계산한 결과, 약 20nsec 정도이므로 MCT 구동에는 충분한 것으로 사료된다.

제어회로의 구동용 전원은 펄스변조 방식을 이용한 플라이백(Flyback) 직류-직류 변환기를 채용하였다. 직류차단기의 입력 정격전압은 DC 100V이고 전압 변동분은 $\pm 10\%$ 로 가정하였지만, 차단시의 과도전압 변동은 입력전압의 최대 두배 이상이다. 그러므로 과부하시의 전압변동이 직류-직류 변환기의 입력전압에 영향을 주지 않도록, 과도전압 억압회로(transient overvoltage suppression circuit)를 구성하여 안정된 직류전원을 공급할 수 있도록 설계하였다.

또한 부하단이 단락되었을 때, 축적된 에너지의 역유입을 막기 위하여 프리휠링 다이오드를 설치하여 주차단기 회로를 보호할 수 있도록 설계하였다.

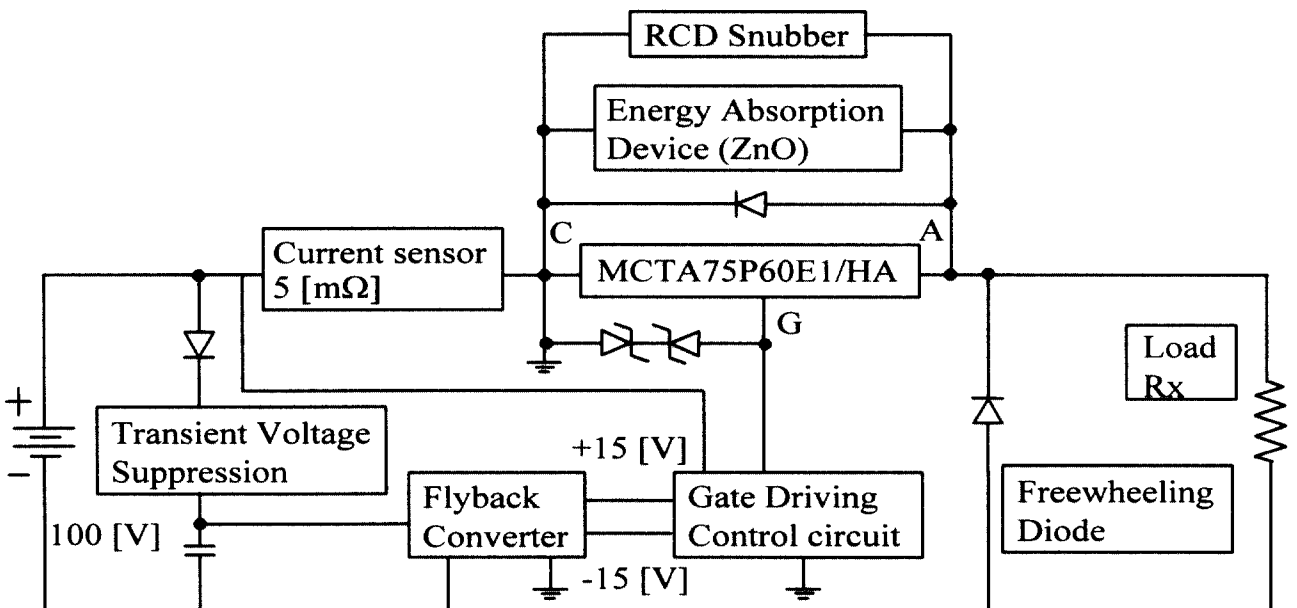


Fig. 2 Block diagram of solid state DC contactor

3. 과전류 감지 및 MCT 게이트 제어

본 절에서는 부하단의 변화로 인한 전류변동을 셉트센서로 감지하여 그 변화를 신호처리한 후, MCT의 게이트 구동부에 신호를 전달하는 제어회로에 관하여 기술한다. 전류감지용 센서와 신호처리부 및 MCT 게이트 구동회로를 제작한 회로를 Fig. 3에 나타낸다. 그리고 각부의 세부적인 회로도는 Fig. 4에 나타내었다.

부하변동시 유입되는 전류변화를 금속저항체인 셉트저항을 이용하여 감지한다. 전류센서는 수mΩ의 저항값을 가지므로 입력전류 변동시 센서양단의 전압변화는 미세하므로 제어신호 처리가 불가능하다. 따라서 충분한 제어입력 전압 V_s 를 공급하기 위하여, TL747을 이용하여 반전형 전치증폭기를 구성하였다.

신호·제어부는 직류차단기의 순시특성을 고려하여 리셋트 기능을 가진 RC적분기를 구성함으로써 적절한 시간지연 특성을 가지도록 설계하였다. 적분기의 입·출력 관계는 식(1)과 같다.

$$V_a = - \int \frac{V_s}{R_3 \cdot C_1} \cdot dt$$

$$= - \frac{V_s \cdot t}{R_3 \cdot C_1} \quad (1)$$

Fig. 4의 회로를 구성하여 각 단자의 출력신호를 조사하여 동작을 확인한 결과를 Fig. 5에 나타

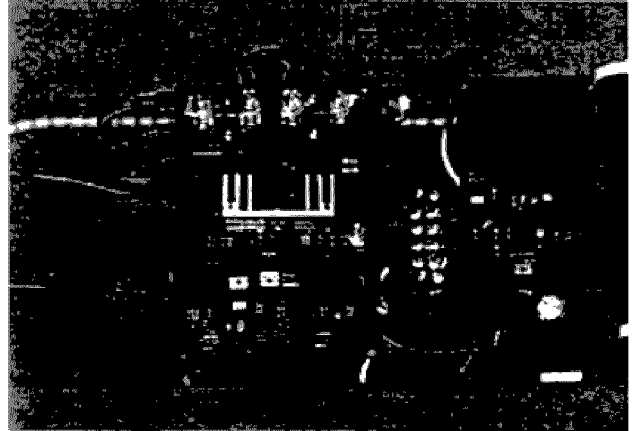


Fig. 3 Switching controller, current sensor and gate driver

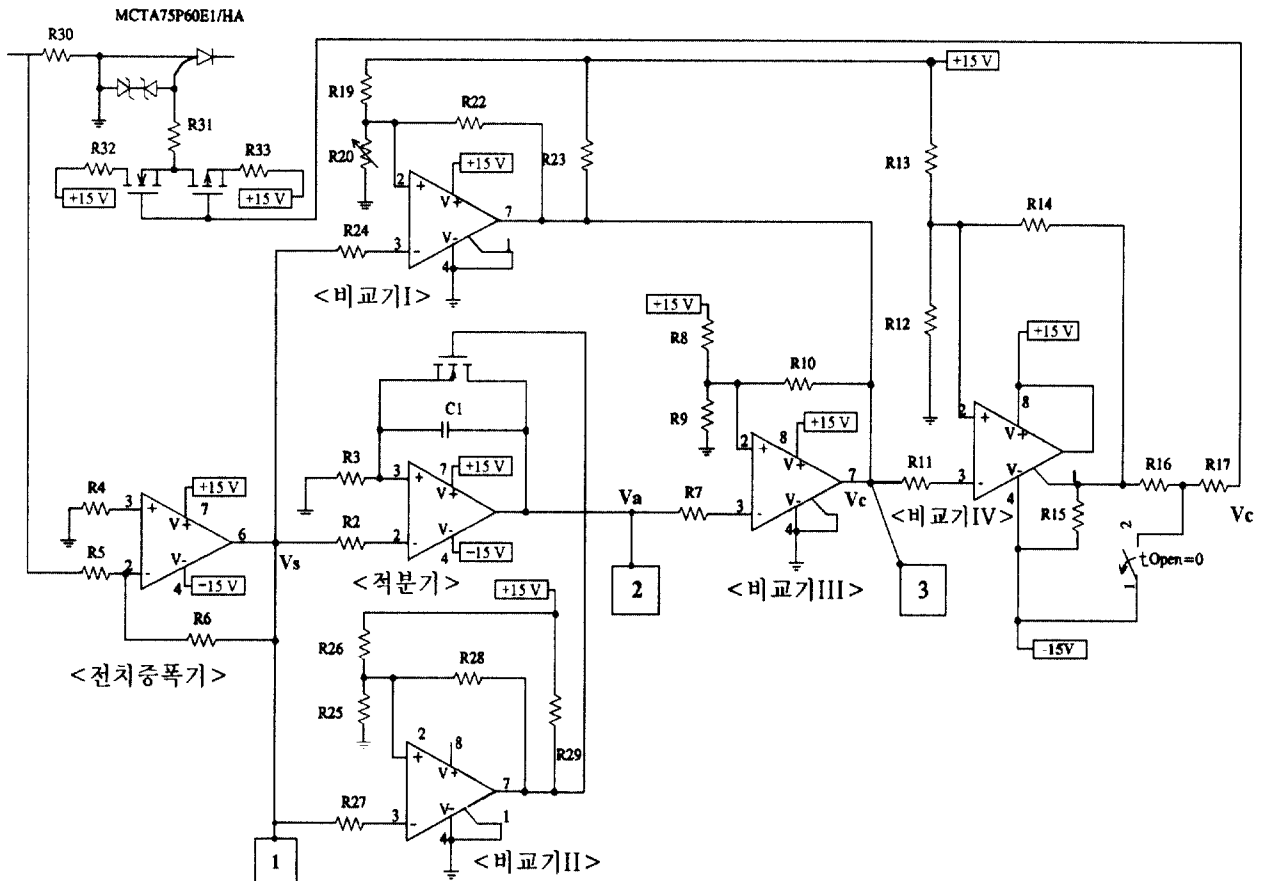


Fig. 4 Control circuit for MCT gate driving

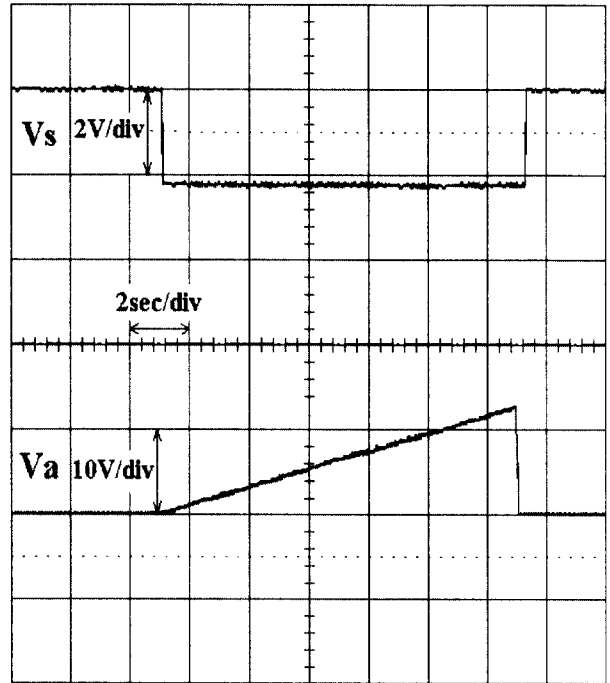
내었다. 측정에 사용한 계측기로는 Lecroy사 오실로스코프(Lecroy 9300 series)와 부하전류 측정을 위하여 Tektronics사의 클램프 미터(AM503B)를 사용하였다. 그리고 측정조건은 Fig. 2에 제시한 전체 개략도에서 입력단을 직류 100V로 인가하고, 부하용량을 조절하여 약 10A의 부하전류가 흐르도록 설정하였다.

Fig. 5(a)는 센서의 출력신호를 전치증폭단으로 증폭한 전압 V_s (단자 1)와 적분기의 출력전압 V_a (단자 2)을 측정된 결과이다. 그리고 Fig. 5(b)는 출력전압 V_a 와 LM311로 비교기 회로를 구현하여 주 차단기인 MCT 게이트 구동제어 신호로 이용하는 출력전압 V_c (단자 3)을 나타내었다. 또한 주 스위치인 MCT를 통과하여 외부 부하에 흐르는 전류 I_{mct} 와 센서감지부의 출력전압 V_s 및 순시 시간지연 특성간의 설계사양에 따른 계산치^{5,7)}와 측정치를 비교하여 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig 6(a)는 부하전류 변화에 따른 전류센서 양단의 전압변화를 표시한다. 그리고 Fig. 6(b)는 갑작스러운 부하변동에 따른 차단기의 순시지연 특성을 나타내고 있다. 각각의 결과들에서 미소한 차를 나타내는 것은 제작에 사용된 회로소자의 유효오차로 인한 것으로 사료된다.

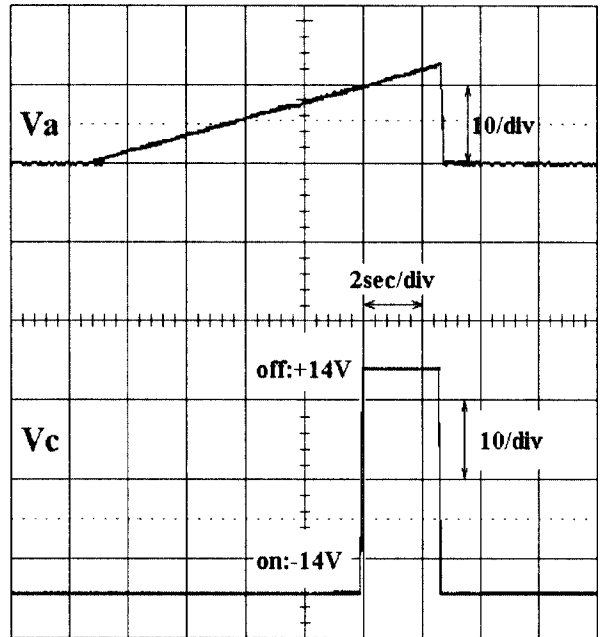
Fig. 4의 제어회로에서 비교기I은 셉트 저항에 의해 감지된 차단기의 전류가 최대 차단전류값 이상일 때, 차단기의 주접점인 MCT를 턴 오프시키는 신호를 발생시키는 기능을 갖고 있다. 또한, 비교기II는 차단기의 전류가 정격전류이하일 때는 MOSFET를 도통하게 하여 적분기의 출력전압을 영으로 출력하게 하며, 정격전류 이상일 때는 MOSFET를 오프시켜 적분기로 하여금 적분하게 하여 차단기로 하여금 시간지연 특성을 갖게 한다. 비교기IV는 MCT구동을 위해 구동신호의 레벨과 극성을 맞추는 conditioning circuit 기능을 갖고 있다.

4. 직류차단실험 및 결과

본 절에서는 직류차단 동작을 하는 MCT의 구동을 제어하는 회로에 관하여 실험한 결과에 대하여 기술한다. 실험에 사용한 입력전원 장치는 교류 100V 전원을 브리지 다이오드를 사용하여 전파정류한 후, 평활회로를 통과시킴으로써 직류 100V, 50A 공급이 가능하도록 전원장치를 설계하였다. 그리고 실제 현장에서 전원선로의 상태에 따라 발



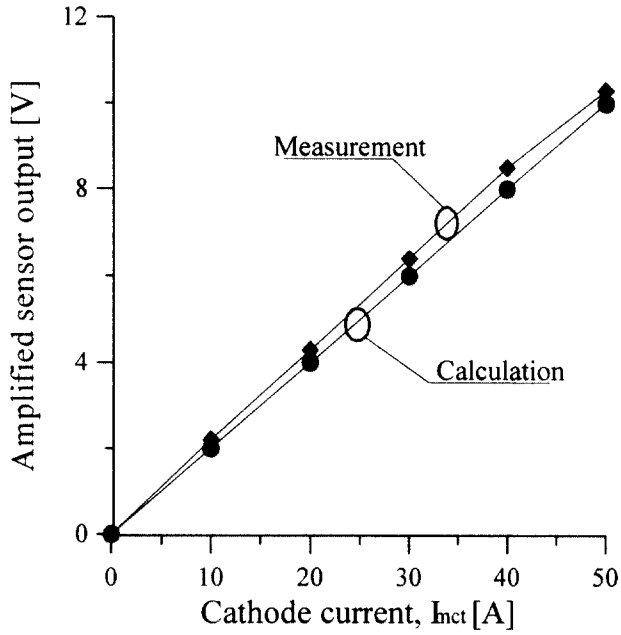
(a) Amplified sensor output (V_s) and integrator output signal (V_a)



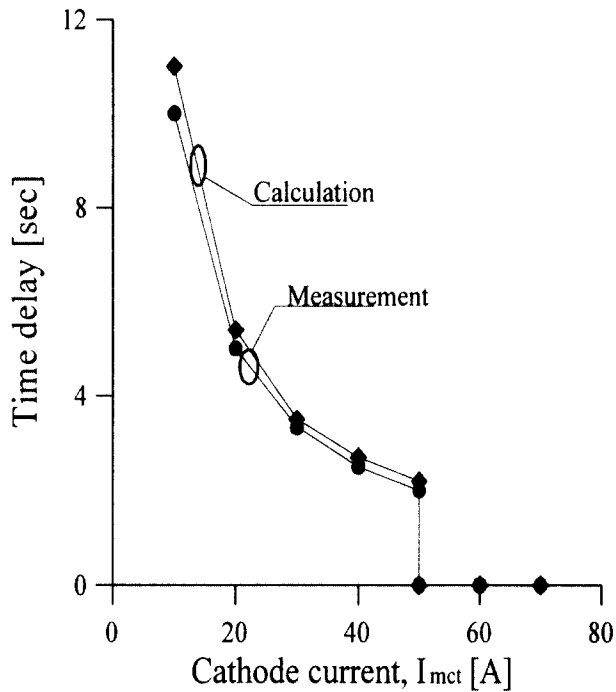
(b) gate driver control signal (V_c)

Fig. 5 MCT gate driver control signals

생되는 라인 인덕턴스 성분도 충분히 고려하여 전원장치를 제작하였다. 출력단의 부하장치는 고전력용 저항들을 병렬로 연결하고 부하용량을 조절할 수 있도록 각각에 스위치를 부착하였다.



(a) Sensor output voltage with the variation of load current



(b) Instant delay characteristic

Fig. 6 Sensor output voltages and instant delay time characteristics according to load current variation

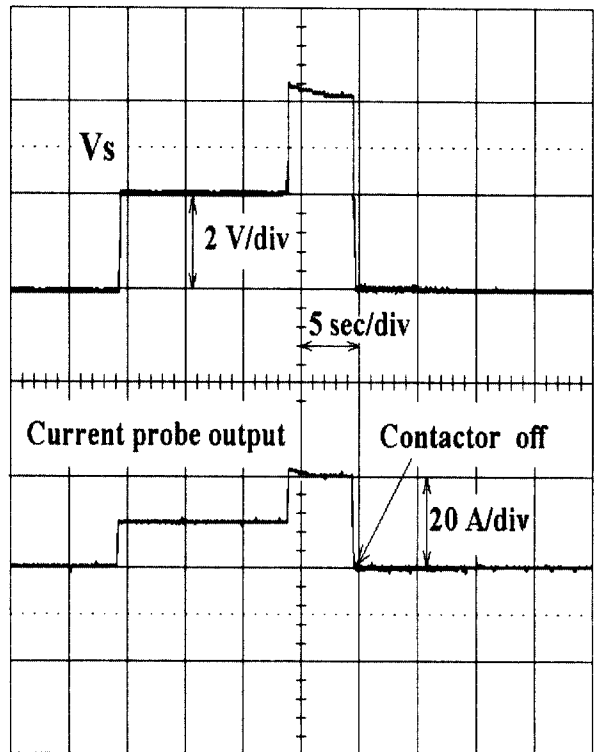


Fig. 7 Dynamic characteristics of DC contactor according to load current variation

본 논문에서 개발한 무접점 직류차단기는 정격 부하전류는 10A이며, 부하종류에 따라 차단전류를 가변하여 설정할 수 있도록 설계하였다. 따라서 동작확인 실험에서는 부하용량을 조절하여 최대 20A의 부하전류가 차단기에 유입될 때, 차단동작이 이루어지도록 제어회로를 설정하여 실험을 행하였다. 측정은 전류센서의 양단전압과 클램프 미터를 이용하여 부하양단에 흐르는 전류를 동시에 기록하였다.

초기의 15초간은 차단기의 입력정격 전류인 10A가 부하에 흐르도록 설정한 후, 부하용량을 조절하여 강제적으로 20A의 과부하 전류가 차단기에 유입되도록 하여 차단기의 차단동작을 확인하였다. 그 결과는 Fig. 7과 같으며, 차단기에 20A의 과부하 전류가 유입되는 시점에서 차단동작이 일어나지 않고 약 5초간의 시간지연을 나타내는 것은 회로설계시 순시지연 특성을 고려하였기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 기계식 접점방식의 차단기의 단점을 개선한 새로운 개념의 전력반도체 소자를 이용한 무접점 직류차단기 개발에 관한 기술

적 내용을 다루었으며, 실제 설계 · 제작한 차단기의 효율성을 동특성 측정실험을 통하여 검증하였다. 그리고 차단속도는 반도체 소자의 스위칭 특성에 따라 결정되므로 기존의 기계식 점접방식의 차단기에 비해 약 1/1000 이하로 고속차단이 가능함을 확인하였다.

향후연구로는 차단제어 회로의 고성능화 및 소형화에 있으며, 산업에 응용가능한 차단기 개발에 있다고 사료된다.

참고문헌

1. R.R.Boudreaux and R.M.Nelms, "Circuit Breaker", IEEE, July 1996
2. 박성수, 김성철, 조무현, 남궁원, "IGBT를 사용한 고전압 스위치에 관한 연구", '96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, July 1996, pp. 556~559
3. 윤재학, 최세경, 정명길, 김종구, "무접점 차단기용 GTO 소자 병렬 운전 연구", '96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, July 1996, pp. 546~549
4. Harris Semiconductor 매뉴얼
5. Pspice ver.7.1 매뉴얼
6. H. I. Wai, "Development of high Voltage Transistor Switches", 日本 電氣學會 論文集 D, 114卷 1号, 平成 6年, pp. 105~106
7. Muhammad H., Rashid, "Spice for Power Electronics and Electric Power", Prentice Hall