

# 한류형 반도체 교류 차단기 개발에 관한 연구

이우영, 김용주

한국전기연구소 전력기기연구실

## A Study on Development of Current Limiting solid-state AC circuit Breaker

Woo Young Lee, Yong Joo Kim

Korea Electrotechnology Reseach Institute

### ABSTRACT

In this paper we describe the solid-state ac-circuit breaker which has the characteristic of both a half cycle circuit breaker and a current limiting circuit breaker

This circuit breaker has a current limiting resistor in order to surpress the fault current to a certain level and discharge the energy included in circuit inductor.

We explain the effect of circuit parameter on transient phenomena of switch device by using EMTP and finally design the control circuit consisted of synchronous closing circuit, over-current detecting circuit and sensing circuit of rate of rise of fault current.

### I. 서론

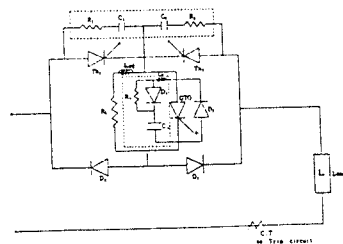
전력용 반도체소자를 switching 소자로 사용한 반도체 차단기는 기존의 기계적 점접차단기가 이북하고자하는 고속 차단, 무 아-크, maintenance-free 등의 이상적 차단기특성을 만족시킬수 있는 많은 가능성을 내포하고 있어 대용량 power 반도체 소자의 제조기술 및 응용기술이 발전함에 따라 관심의 대상이 되어오고 있으며 특히 다빈도, 고속개폐가 필요한곳이나 돌입전류제어를 위한 soft-start 기능이 필요한곳, 전철용 직류차단기 등에 점차 사용되어져가고 있다. 그리고 반도체차단기의 차단방식으로는 교류차단기에서 사고전류 동전후 약 반 사이클이후 차단하는 half cycle 차단방식과 사고전류를 사고직후 차단하는 current limiting

차단방식으로 구분할수 있으며 각각 사고전류의 반 사이클 동전과 회로 에너지 방출을 위한 대책 강구가 수반 되어진다(1)(2).

본 연구에서는 사고전류를 한류시켜 교류전류 zero 점에서 차단하게 하는 half cycle 방식과 current limiting 방식을 절충한 새로운 방식의 차단방식을 선택하였으며 이의 차단시 현상을 EMTP 프로그램으로 모의하여 각 구성 소자 값에 따른 현상을 파악하므로써 반도체 차단기 설계의 기준을 마련하고 이어 차단기 동작에 필요한 control 회로에 관해 살펴보기로 한다.

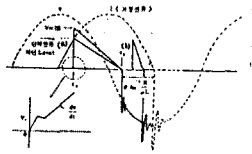
### II. 차단회로의 구조 및 설계

전력용반도체소자를 이용하여 교류용차단기를 구성하는 데는 여러가지 형태의 구조가 있을수 있으나 본 연구에서는 사고전류를 한류시켜 사고전류의 동전을 막고 한류된 전류를 전류 자연영점에서 차단하게함으로 회로에 함유된 에너지가 거의 없는 상태에서 차단할수 있는, half cycle 방식과 current limiting 방식의 혼합적인 방식을 사용하고자하며 이는 주 사고전류 차단소자로 사용되는 GTO소자에 병렬로 한류저항 ( $R_L$ ) 을 결신한 구조로 그림 1과 같이 구성되어진다.



<그림 1> 반도체 차단기 구조

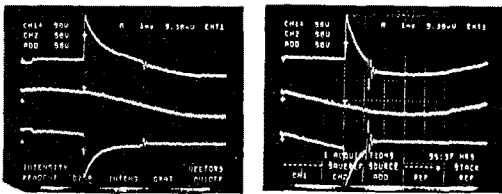
이 반도체 차단기 동작원리를 알아보기 위해 구성된 차단기의 전류차단시 전압, 전류파형을 살펴보면 그림 2와 같이 차단위상에 따른 두가지 형태로 구분할수 있다.



<그림 2> 차단위상에 따른 전압, 전류파형

a) 의 경우는 GTO 차단시 전류크기  $I_a$  에 의해 부하 L에 충전된 에너지가 한류저항  $R_L$  을 통해 방전되는 전류파형과 전원에 의해  $R_L-L$  회로에 공급되는 전류파형이 각각 zero 가 되어 전체전류파형은 Thyristor에 의해 전원전압으로부터  $R_L-L$  에 의한 위상각 변위만큼의 전류 영점에서 차단되어 지므로 한류저항  $R_L$  과 부하 L로부터 차단지점을 결정할수 있고 한류저항  $R_L$  을 부하 L 에 비해 크게 할 경우 전압과 전류위상차가 작아져 차단시 Thyristor 의 과도전압을 감소 시킬수 있다.

b) 의 경우는 GTO 차단전류  $I_a$  와 전원에 의한  $R_L-L$  에 흐르는 전류성분의 구성이 반대가되어 실제전류가 zero 가 되는 점에서 Thyristor 가 차단하게되는 경우로 a) 의 경우 보다 Thyristor 차단시 과도전압에서 차단전류의 기울기  $di/dt$  와 회복전압의 증대로 보다 가혹한 조건이 되어진다. Thyristor 의 사양결과와 snubber 회로 설계에 있어서는 b) 의 경우와 같은 가혹한 경우를 대상으로 실시하며 a), b) 두 경우의 측정된 과도 전압파형은 그림 3과 같다.



<그림 3> 차단위상에 따른 전압, 전류파형의 측정결과

이제 차단기 구성 소자값에 따른 차단현상을 알아보기 위해 먼저 한류저항  $R_L$  의 설계기준과 이의 변화에 따른 차단시 과도전압에 미치는 영향을 살펴보자 앞서 언급한바와 같이 GTO 에 의해 차단된후 회로에 축적된 에너지의 소모를 ZnO와 같은 surge absorber 가 담당하게 되는 current limiting 방식에서 이를 한류저항  $R_L$  로 대체 하여 회로 축적에너지를  $R_L$  을 통해 방전시키는 방식을 고려

하므로써 차단시 과도전압의 형태를 보다 완만하게하여 차단 소자에 미치는 영향을 최소화시키고 따라서 신뢰성있는 차단 성능을 기하고자 본 방식은 도입하였다. 먼저 한류저항  $R_L$  설계시 고려되어야 할 사항을 살펴보자

- 사고발생후 GTO 에 의해 차단된 사고전류는  $R_L$  을 통해 한류되어 Th와 Diode를 통해 약 half cycle 정도 흐르게 되므로 Thyristor와 Diode의 half cycle 동전가능 전류사양치에 따라  $R_L$  을 증감할수 있다.

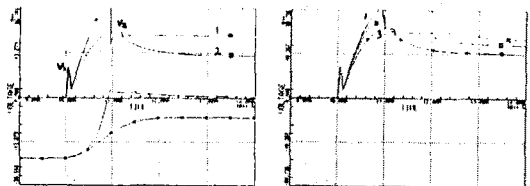
- 사고전류의 GTO 에 의한 차단시점에서 크기는 일정하므로 한류저항  $R_L$  이 커질경우 GTO 양단에 인가되는 과도전압의 크기도  $R_L$  에 비례적으로 커지게되므로 GTO 의 전압특성에 따라  $R_L$  값을 고려하여야 한다.

- 실제  $R_L$  에서는 배선과 저항자체의 잔류 인덕턴스  $L_{rl}$  이  $R_L$  과 직렬결선된 형태로  $L_{rl}$  값이 GTO 에 인가되는 과도 전압 Peak 치에 많은 영향을 끼치므로 가능한한  $L_{rl}$  값이 작아지도록 하는것이 바람직하다.

- 다음으로 한류저항  $R_L$  의 용량과 절연내압에 대해 살펴보면 일반적으로 저항의 용량은 연속정격으로 표시되나 한류저항  $R_L$  은 한류된 전류크기로 반 cycle 동안 동전가능한 용량을 가져야하며 GTO 차단시 발생하는 과도전압을 견딜수 있는 절연내압특성을 지녀야 한다.

한류저항  $R_L$  이 차단시 과도현상에 미치는 영향을 살펴보기위해 GTO 와 병렬로 결선된  $R_L$  의 유무에 따른 과도현상을 그림 4에 나타내었다(3).

그림에서 보는바와같이  $R_L$  이 2Ω일 경우 과도첨두전압치가  $R_L$  이 없는 경우에 비해 약 26% 감소된것을 볼 수 있으며  $R_L$  의 변이에 따른 과도첨두전압치의 변화는 그림 5와 같다.



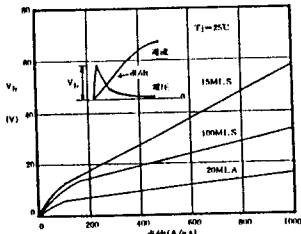
- :  $R_L$  이 없는 경우
- :  $R_L$  이 있는 경우
- :  $R_L = 2 \text{ ohm}$
- :  $R_L = 4 \text{ ohm}$
- x :  $R_L = 8 \text{ ohm}$

<그림 4>  $R_L$  의 유무에 따른 과도현상

<그림 5>  $R_L$  의 변이에 따른 과도전압파형

그러나 초기 과도전압전압치 ( $V_1$ )은  $R_L$ 에 대해 거의 영향을 받지 않으며 이는 snubber 회로로 흐르는 초기전류의 기술기에 의해 선로 잔류인덕터  $L_s$ 로 인해 발생하는 전압이므로 GTO turn-off 시 대부분의 전류가 snubber 회로로 흐르기 때문이다.

$V_1$ 에 대해 여기서 고려치 않은 사항은 Snubber Diode의 순방향과도 특성으로 실  $V_1$  값은 그림 4에 나타난  $V_1$  값에 사용된 snubber diode의 순방향 과도전압의 합으로 나타나게되며 diode의 순방향 과도특성의 일례를 그림 6에 나타내었다(4).

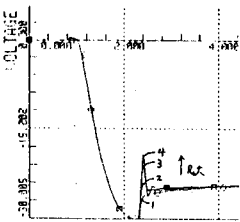


<그림 6> Snubber Diode의 순회복 전압특성

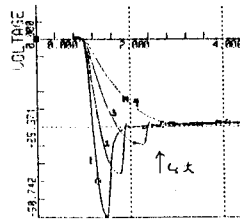
또 snubber diode의 정격전압 선정에 있어 실제 diode 양단에 걸리는 전압을 고려하여야 하며 이는 diode의 역회복특성  $Q_r$ 과 snubber 저항  $R_s$ 의 크기에 많은 영향을 받게되는데  $Q_r$ 과  $R_s$  값이 클수록 snubber diode에 인가되는 전압은 커지므로 snubber diode로는  $Q_r$ 이 작은 Fast Recovery diode를 그리고  $R_s$ 로는 가능한한 작은 값을 사용하는 것이 diode에 인가되는 전압을 작게할수 있다.

$R_s$  값에 따른 diode의 인가전압크기는 그림 7에 나타내었다.

다음으로  $C_s$ 에 대한 과도전압파형의 관계를 살펴보자.



<그림 7>  $R_s$ 에 따른 Diode 인가전압의 변화



<그림 8>  $C_s$ 에 따른 과도전압의 변화

$C_s$ 의 값은  $V_1$ ,  $V_2$ 에 모두 영향을 미치며 이의 관계를 그림 8에 표시하고  $C_s$ 의 크기가 클수록  $V_2$ 가 작아지고 GTO 내부 전력손실이 줄어들어 차단전류의 크기를 크게할수 있으나 turn-on 시 저항  $R_s$ 를 통해 GTO로 방전되는 전류가

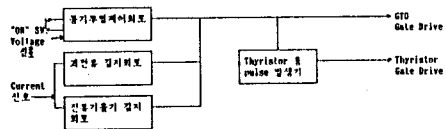
실제 동전전류와 중첩되게되므로 turn-on초기 전류기술기가 GTO 사양치를 만족할수 있도록 설계해야 한다.

II. 차단기 control 회로

본 차단기의 동작조정용 회로는 PT와 CT로부터 전압과 전류 신호를 받아 부하역률에 대한 동기부임제어기능과 과전류 및 사고전류의 전류크기, 상승률을 이용한 차단기능을 보유하며 다음과 같은 세부기능 회로들로 구성되어 있다.

- (1) 부하역률에 한 동기부임제어 회로
- (2) 과전류 sensing 회로
- (3) 사고전류에 대한 전류기술기 감지회로

또 각 기능별 unit 회로로 이루어진 전체회로는 그림 9와 같다.

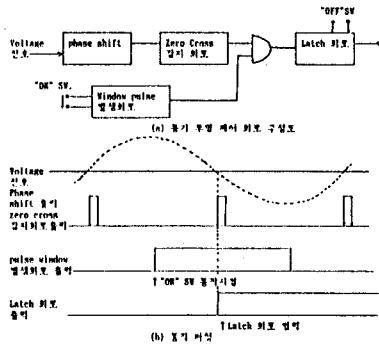


<그림 9> 차단기 동작 조정회로

다음은 각 세부회로에 의한 기능을 살펴보자.

(1) 동기부임제어회로

본 회로는 차단기 투입시 부하특성에 따른 이상과도 전류를 방지하기 위하여 부하역률에 따른 투입각을 제어하는 기능을 가지고 있으며 동작원리는 그림 10과 같다.

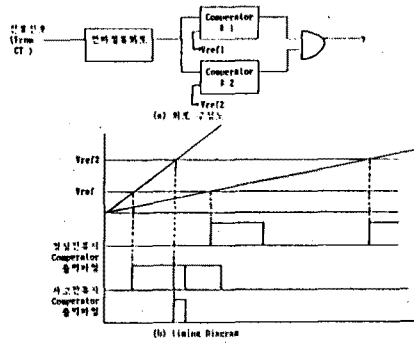


<그림 10> 동기부임 제어회로

PT를 통해서 감지된 주회로 전압신호는 phase shift 회로를 거치면서 부하역률크기만큼 외부조정 에 의해 위상변위가 발생하게 되어 동기부임기능을 기준점유를 만들게 되고 이 변위된 신호가 zero cross 감지회로를 통하여 pulse가 발생되는데 이는 주회로 전압신호 영점에서

부하역률크기 만큼 떨어진 곳에서 발생되는 것이다.

한편 차단기 투입 신호인 "ON" 스위치는 임의의 시점에서 on 되므로 on 시점을 기점으로 약 10ms 정도의 폭을 가진 pulse window 를 발생시키므로 "ON" 스위치의 동작 시간과 상관없이 투입신호가 발생 될수 있게 하였으며 Latch 회로를 통하여 on 상태가 유지될수 있게 하고 여기에 "OFF" 스위치를 부착하여 정상상태에서 차단기를 off 할 수 있도록 하였다.

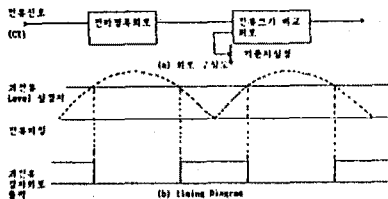


<그림 12> 전류 기술기 감지회로

(2) 과전류 감지회로

차단기 on 상태에서 정격전류 이상의 과전류가 통전될 경우 이를 감지하여 차단기를 off 상태로 만들기 위한 회로로 동작 원리는 다음과 같다.

CT 를 통해 입력된 전류신호는 사고시 극성에 무관하도록 전파정류회로를 거치며 이 전파정류된 전류신호는 과전류 설정기준과 비교되어 이보다 클 경우 과전류로 판정되어 차단기가 off 되도록 그림 11과 같은 과전류 감지로 출력신호가 발생되게 된다.



<그림 11> 과전류 감지회로

(3) 전류기술기 감지회로

차단기 on 상태에서 단락사고가 발생하여 사고전류가 통전되게 되었을때 이를 감지할수 있는 방법으로는 앞서서와 같이 전류크기를 통하여 감지할수도 있으나 또 한가지 보다 신속하게 대처할수 있는 방법은 전류 상승률을 감지함으로써 사고 전류를 가능한 빨리 억제하는것이 보다 효과적인 일이라 할수 있겠다.

과전류 감지회로와 마찬가지로 사고시 극성에 무관하도록 전파정류회로를 통하여 전류신호가 각 comparator 회로로 입력되어 여기서 각각의 설정기준전압 Vref1, Vref2 와 비교되게 된다.

즉 정상전류와 사고전류 신호가 일정한 Vref1, Vref2 에 도달하는데 소요되는 시간은 그림 12에서 보는바와 같이 전류상승률이 다르기 때문에 상당한 차이가 발생하게 되며

이 점을 이용하여 사고전류를 감지하게 된다.

여기서 comparator 출력파형인 pulse 의 폭을 결정하는것은 중요한 요소로 설정기준 전압들의 크기와 감지 전류크기의 상관관계에서 결정되어질수 있다.

설정된 펄스폭에 비해 정상전류일 경우 Vref1 과 Vref2 사이를 통과하는 시간은 상당히 크기때문에 그림에서 보는 바와 같이 펄스파형이 증점되는 부분이 없어 AND gate 의 출력은 low 상태로 유지된다.

그러나 사고전류일 경우 Vref1 과 Vref2 사이를 통과하는 시간이 펄스폭에 비해 짧기때문에 그림과 같은 comparator 의 출력펄스파형이 high 상태에서 증점되는 경우가 발생하여 AND gate 출력에 증점된 시간 만큼의 펄스 파형이 발생하게되며 이 신호가 차단기를 off 상태로 되게 한다.

III. 결론

본 연구에서는 half cycle 차단방식과 current Limiting 차단방식의 혼합형으로 한류저항을 주 전류차단소자와 병렬로 결선하여 사고전류를 전류자연영점까지 제한하고 사고후 약 반 cycle 후 차단하는 구조의 차단기를 소개 하였으며 이 차단기의 사고전류 차단시점을 중심으로 과도 현상을 EMTP 로 모의(5)하여 소자사양설정에 필요한 설계 기준에 대해 언급하였다.

또 반도체 차단기 동작에 필요한 control 회로를 동기투입, 과전류 감지 및 사고전류의 기술기 감지회로로 분류하여 기술하였으며 본문에 포함된 실측 신호의 오실로스코프 사진들은 control 회로 특성소사를 위해 저전압에서 측정된 결과임을 밝혀둔다.

\* 참고 문헌 \*

- (1) 和田雨一, 村井裕, "半導体遮断器의 現狀", 電氣評論, 1980
- (2) K.Kishi, K.Takigami, "Ultra High-Speed Solid-State Circuit Breakers for AC and DC Power Lines", PESC 74 RECORD
- (3) H. Ohashi, "Snubber Circuit for High-Power Gate Turn-Off Thyristor", IEEE Trans on IA, Vol. IA-19 No.4 July/August, 1983
- (4) GTO 技術資料 日本 Inter. Co.
- (5) EMTP RULE BOOK.