

GTO를 이용한 과전압 억제용 크로바 회로

류호선[°], 임익현

Crowbar Circuit for the Overvoltage Protection Using GTO

Ho-Seon Ryu[°], Ick-Hun Lim

Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)

Abstract - In the case of synchronous machines, certain power system disturbances cause current to assume negative values when no static converter is present. But the converter prevents negative current from flowing, so that overvoltages occur. The overvoltages can be effectively limited as crowbar circuit using GTO. The crowbar circuit with current limiting resistor absorbs energy when overvoltage comes from power system repeatedly. The newly proposed circuit is verified through simulation and experiment.

서 론

전력수요가 증대함으로써 대형 화력플랜트 및 원자력 플랜트가 전력공급의 기초가 되었지만 예기치 못한 발전소 고장으로 전력계통의 전원교란이 자주 발생하고 있다. 이런 발전소 정지 현상을 최소로 억제하는 것이 양질의 전력을 공급하는데 필수 불가결한 것으로 간주되고 있으며, 발전소 정지 원인 중에 제어계통의 여자시스템과 과전압에 의한 현상도 목과 할 수 없는 부분이 되었다. 대형 발전플랜트 정지형 여자기와 동기 발전기는 과전압(Over Voltage)에 의해서 손상될 수 있으며, 이 과전압을 근본적 제한을 한다면 충분히 안정적으로 시스템을 운전할 수 있다. 동기기의 경우에 전력 시스템의 외란에 의해서 유도된 계자전류가 음이 되어 정지형 컨버터 존재 시에는 역으로 흐르는 전류를 컨버터가 차단하므로 과전압이 발생하게 된다. 현재 정지형 여자기 시스템은 다음과 같은 부분으로 나눈다.

- ① Excitation Transformer (여자 변압기)
- ② Static Converter (정지형 컨버터)
- ③ Field Suppression Circuit (필드 억제회로)
- ④ Electronic Control System (전자 제어 시스템)

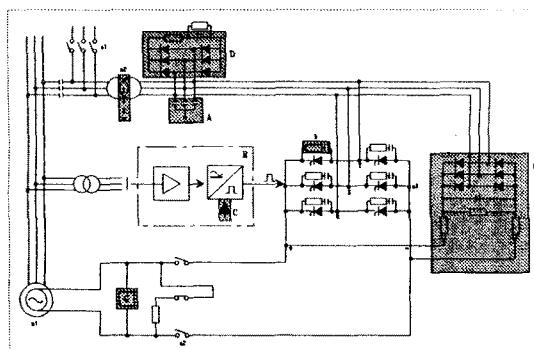
본 논문에서는 여자 시스템 운전중에 동기 발전기의 계자권선과 여자시스템 장치는 과전압에 의해 비보호되어 있는데 과전압을 그 발생위치에 따라 나누어 보고 그원인과 대책을 설명하였으며 특히 DC측에서의 과전압현상이 발생하였을 경우에 GTO의 ON-OFF현상을 이용한 크로바시스템을 제안함으로써 순간적인 서지현상은 물론 이상과전압시에 발전기 및 여자시스템을 보호하기위한 회로를 구성하였다.

1. AC측에서의 과전압

AC측에서의 과전압은 전력시스템의 과도 스위칭 상태나 송전선의 과전압유도에 의해서 발생 될 수 있다. 보통 전송선로는 여자 변압기와 병렬로 연결되어 있는데 기존 형태의 시스템은 동기기의 단자에 설치된 서지 제한기에 의해서 안정한 전압으로 제한된다. 더구나, 전기자 권선의 용량성 성분은 펄스 형태의 전압을 평활 시키는 역할을 한다. 또한 과전압에 대한 보호는 동기기의 전기자 권선에 여자 변압기가 직접 연결되지 않았을 때는 여자 변압기 Lv.자 측에 접지 된 커넥터를 병렬로 연결하거나 여자 변압기 Lv. lv.차 측 사이에 망으로 된 접지선을 연결한다.

2. 여자 변압기의 단락에 의한 과전압

회전자의 높은 인더턴스 값은 주변압기에 어떤 값으로 일정하게 부하전류를 유지하려고 하는데 이 전류의 갑작스런 차단은 과전압을 발생시키는 원인이 되며 또한 무부하 여자 변압기가



m1 : 물기기	A : Earthed Protection capacitors
m2 : 여자기용 변압기	B : Earthed Screen
m3 : 정지형 컨버터	C : Freewheel Command, i.e. blocking of thyristors
m4 : 회로 차단기	D : Decoupled Overvoltage Protection Device
a2 : 필드 제한 저항을 가진 스위치	E : Shunt Circuit
R : 전자제어와 접속회로	F : Summating Network
G : Field Overvoltage Protection	

그림1. 과전압 제한 장치를 가진 여자기 시스템의 기본회로

절연되었을 때, 변압기의 자기에너지로부터 전기에너지로 전환된 에너지가 충분히 큰 콘덴서에 의해서 흡수되지 않으면 과전압을 발생시킨다. 먼저 전력을 송전선으로 공급하고 있을 때 변압기 Lv측 전류의 갑작스런 차단은 AC 차단기가 동작하기 전에 컨버터 측에서의 제어 신호로 프리휠 과정을 시키면 된다. 자기에너지를 전기에너지로 전환된 경우는 여자 변압기의 이 에너지를 h.v측의 브리지 정류기에 연결된 콘덴서에 의해서 잘 흡수 되게 할 수 있다.

3. 전력 반도체 스위칭 소자에 기인한 과전압

다이오드나 싸이리스터들은 정류되는 동안 전류가 갑작스럽게 Zero로 될 때 순간적으로 역으로 전류가 흐르는데 이때 발생된 과전압은 주로 소자의 보호를 위해서 스너버회로를 연결하면 효과적으로 과전압 유기를 억제 할 수 있다.

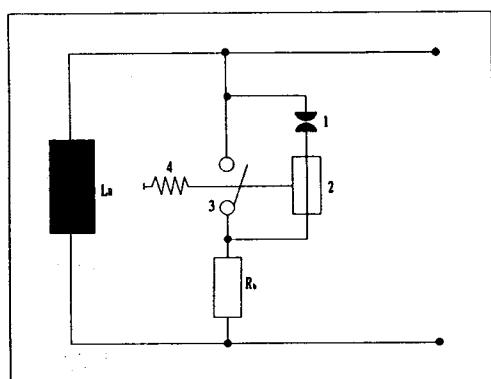
4. DC측에서의 과전압

여자 제어 시스템의 컨버터 전류는 한쪽 방향으로 흐르게 설계되었으므로 컨버터 후단의 DC측에서의 과전압을 다음의 원인에 의해서 주로 역 전류가 흘러 컨버터 양단에 과전압을 유기한다.

① 동기기의 동기 탈조

② 주변압기의 h.v부분의 2상 또는 3상단락.

이런 현상으로 유기된 과전압은 BBC사등에서 제안한 2가지 형태의 과전압 보호회로에 의해서 차단될 수 있는데 첫 번째는 HCK형태로 그림3에서 보는 바와 같이 퓨즈가 과전압에 의해 끊어졌을 때 스프링 동작으로 3번 스위치가 5ms안에 on되어 Rb로 전류가 흐르게 된다. 둘째로 크로바라고 불리는 파워디바이스를 이용하여 차단하는 방법인데 회전계자에 과전압이 유도되기 쉬운 경우에 반영구적인 크로바시스템을 사용하는 것이 일반적이다.



1 : Spark gap

2 : Fuse Wire

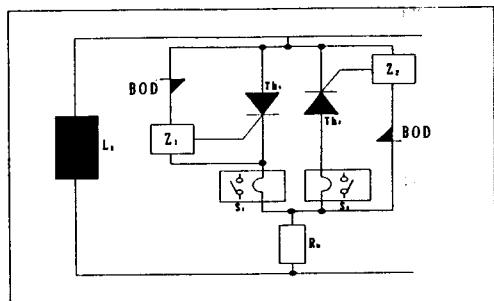
3 : Main Contact

4 : Tensioning Spring

그림 2. HCK형태의 과전압 차단의 기본원리

4.1 전형적인 크로바 회로구조와 동작

크로바 회로의 기본적인 구조는 역병렬로 연결된 싸이리스터와 점호회로로 구성되어 있다. 싸이리스터 점호부의 전류는 각각의 감시 릴레이에 의해서 감시되며 과전압이 유기될 경우 BOD 소자가 도통하여 점호회로부에 전류가 흘러 싸이리스터가 동작하게 된다. 또한 싸이리스터가 도통되었을 때 전류 제한저항 Rb는 과전류 제한 소자로서 동작하게 된다.



LR : Rotor Inductance Rb : Current Limiting Resistor

Z1,Z2 : Firing units Th1,Th2 : Thyristors

S1,S2 : Current Measurement BOD : Breakover Diode

그림 3. 과전압 억제회로인 크로바회로의 기본동작 원리

4.2 제안한 크로바 회로

전형적인 크로바 회로는 BOD를 사용하여 적정전압 이상의 전압이 유기되었을 때 BOD가 동작하여 Thyristor를 도통시켰으나 본회로는 비교기를 사용하여 과전압발생시 센서역할을 하도록 하였다. 그럼 4에서 보는 바와 같이 과전압이 유기되면 비교기의 기준전압 이상이 되었을 때 GTO 가 도통하도록 설계되었다. 이 회로 특징은 비교기 comp1의 입력부에 콘덴서를 설치하여 RC 시정수에 의해서 전압이 상승하도록 하므로서 기준전압 ref1과 비교하는데 comp1은 여자기 시스템 trip 신호와 연결되어 있으므로 과전압 상승으로 인한 trip을 차단하기 위하여 설계되었다. comp2의 비교기는 펄스성 과전압 발생시 GTO를 ON-OFF 하므로서 과전압으로 인한 발전기나 여자기 시스템을 보호하는데 GTO 도통시 과전류 억제용으로 저항을 설치하여 과전류 흐르지 않도록 되어있다.

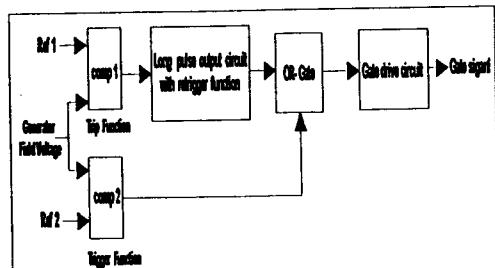


그림 4. 비교기를 이용한 크로바 회로의 블록도

4.2.1 GTO 설정 및 RC 시정수의 결정

크로바 회로의 응답은 계자권선과 컨버터의 각소자에 영향을 미치므로 주의하여 손상되지 않는 범위 내에서 동작하도록 하여야 한다. 크로바 응답기준을 살펴보면,

여기서 $V_{CR\ max}$ = 최대 크로바 응답전압

V_{pref} = 발전기 테스트 전압의 실효치

또한 $V_{CR \max}$ 는 보통 다음식에 의해서 제한된다.

여기서 V_{wp} = 여자 변압기의 상전압

①식과 ②식중 2개의 값중에 적은 값을 기준으로 하여 선택한다. 그리고 최소 응답전압의 기준은 크로바 회로의 동작 없이 최대한 시스템이 이상현상 없이 유지 가능한 전압을 선택하면 다음과 같다.

$$V_{CR\min} \approx 3 V_{wo} \dots \quad (3)$$

또한 초기여자동안 최대전압보다 커야 하므로

$$V_{CR \text{ min2}} \geq V_{RE} \dots \quad \textcircled{4}$$

여기서, V_{RE} : Max-voltage across the field suppression resistor
 최소 용당전압은 ③식과 ④식중 가장 큰값을 최소 기준전압으로 한다. 크로마 회로가 동작하게되는 시점은 위 식을 이용하여 RC의 서정수를 선정한 후 적정 시간에서 동작하도록 설계하면 된다.

4.2.3 시뮬레이션 및 실현 결과

제안된 회로의 시뮬레이션은 Pspice Design Center에서 동작 특성을 확인하였다. GTO의 ON-OFF 특성을 이용하기 위하여 먼저 Comp2부분에서 동작하게 하였고 그후 콘덴서의 전압이 일정치 이상이 되었을 때 GTO를 ON상태로 유지함을 그림5에서 볼 수 있다. 그럼 6은 콘덴서 전압의 상승과 ON-OFF시의 게이트 신호를 실현으로 확인하였고 그림 7은 크로바 회로의 양단전압을 100V로 하여 게이트를 ON-OFF 시켰을 때 과전류 억제용 저항에 나타난 저항을 표시하였다.

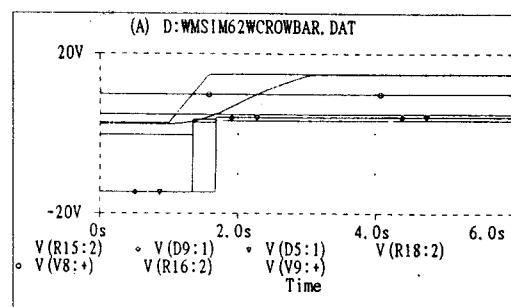


그림 5. 비교기준에 나타난 기준점안과 계약통지후

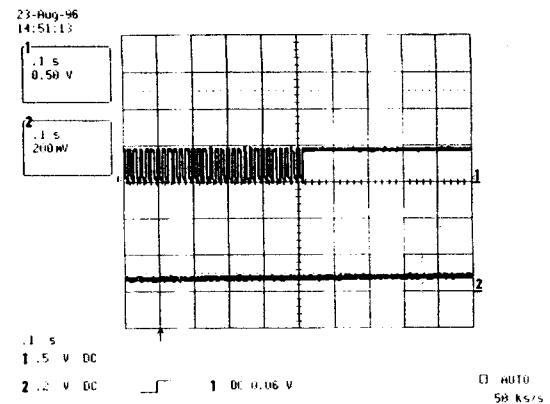


그림 6. 게이트 신호 및 콘덴서의 상승전압

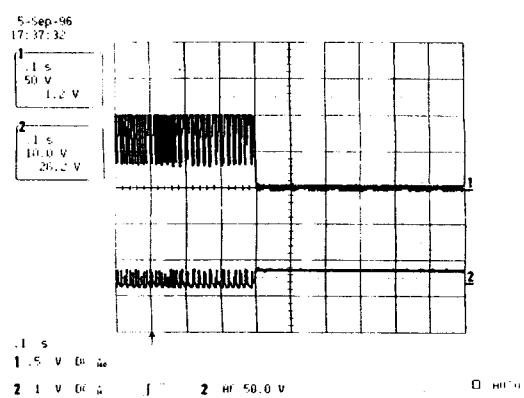


그림 7 GTO ON OFF시의 과전류 억제용 저항에 나타난 전압

결론

본 논문에서는 크로마 회로에 GTO를 적용함으로써 기존의 SCR을 사용하였음 경우에 Turn-On 특성만을 이용하여 에너지가 거의 없는 서지성 전압상승에 대하여 밤전소 TRIP을 하였으나 GTO의 On-Off 특성을 이용하여 밤전소 정지를 최소화 하기 위한 방안을 제안하였고, 에너지가 거의 없는 서지성 전압상승에 대한 대처 효과가 상당히 를 것으로 기대가 된다.

참고 문헌

- [1] H. Herzog and J. Deak, Baden "Protecting the Static Excitation Equipment and Rotor Windings of Synchronous Machines Against Overvoltages." Brown Boveri Rev. 6-82, pp 207-211
 - [2] Herbert M. Lawatsch Janis Vitins, "Protection of Thyristors Against Overvoltage with Breakover Diodes." Vol.24, No. 3, pp 444-448 1988.
 - [3] "Monitor both voltage and current levels to protect your power supply and load" Electronic Design 25, December 6, 1978.
 - [4] George R, Lyuta and Thomas A, Weil "Rapid Recycle Crowbar Circuits." Raytheon Company Wayland, Mass. pp 217-226.