고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로

김원호, 강유리, 김종수, 류홍제, 임근희, *조민환, *함병호
한국전기연구소, *한국중공업

A Gate Driver for the High Voltage Thyristor-Diode Switch

W. H. Kim, I. Kang, J. S. Kim, H. J. Ryoo, G. H. Rim, *M. H. Cho, *B. H. Ham
KERI, *KHIC

Abstract - Many semiconductive switches are operated in series for high voltage operation. The same number of gate drivers are needed to control all the switches, hence, the drivers cause high cost and system complexity

In this study, a simple and low cost gate driver for high voltage thyristor-diode switches is investigated. This gate driver can operate several high voltage thyristor-diode switches at the same time.

1. 서 론

본 논문은 간단하면서도 가격 절감 효과를 얻을 수 있는 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로에 관한 것이다. 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치(Thyristor diode switch : 이하, TDS)는 싸이리스터와 이 싸이리스터에 역병렬로 연결된 다이오드가 1개의 모듈을 이루며 제어 대상인 전압의 정격에 따라 직렬로 여러 개를 스택(stack)화하여 전체적인 1개의 스위치를 구성한다. 1개의 TDS를 여러개 직렬로 연결할 경우 개수는 직렬 연결될 전체 모듈 양단에 인가되는 최대 전압에 의해 결정된다.

TDS를 온, 오프 제어하기 위한 제어기는 크게 2가지 부분으로 분리되는데 먼저, TDS를 온, 오프하는 신호를 만들어내는 제어 회로와 이 제어 회로에서 발생된 신호를 절연시켜 최종적으로 TDS의 싸이리스터 게이트(gate)에 온, 오프 신호를 전달하는 회로이다. 제어회로는 통상 ±15V 정도로 구동이 가능하고 온, 오프 신호도 ±15V 정도이나 TDS의 양단에는 고압(최대 2kV)이 걸린다. 따라서, 이 제어 신호를 바로 구동신호로 사용할 경우 TDS가 스위칭 중에 파손되는 등의 문제가 발생하면 고압 써지(serge) 성분이나 대전류가 제어 회로로 침입하여 제어회로 전체를 파손시킬 수 있다. 그러므로, 제어 회로의 보호를 위해서는 반드시 제어 회로와 TDS와의 절연이 필요하다.

현재 주로 사용하는 절연용 구동회로는 광파이버(fiber optics)를 사용하는 방식인데 이는 스위칭 소자 각각에 대해 구동회로가 독립적으로 필요하며 제작가도 아주 높은 단점이 있다. 따라서, 고압 제어를 위해 많은 TDS가 필요하면 그에 따라 제작 가격도 높아진다. 또 다른 방식으로, 고압 절연 펄스 변압기를 사용하여 구동 회로를 구성하는데 고압 절연 펄스 변압기의 일차 권선은 직렬로 연결되고 이차 권선들은 TDS의 게이트(gate) 및 애노드(anode) 단자와 병렬로 연결되어 있다. 이 경우도 TDS의 개수 만큼 변압기가 필요하므로 전체 구동회로의 크기와 무게가 문제가 된다.

본 논문은 상기와 같은 문제점을 해결한 것으로 제어회로에서 나온 신호를 1개의 구동 회로를 통해 여러개의 스위치를 구동할 수 있도록 하는 회로이다.

2. TDS 구동 회로

그림 1.은 TDS의 구조를 보여주는 것으로 동작은 A의 전위가 높다고할 경우, SCR을 온시키면 전류의 흐름이 A에서 B로 SCR을 통해서 생기며 반대로 B의 전위가 높을 경우 SCR을 온시켜도 SCR은 켜지지 않으며 전류는 B에서 A로 다이오드를 따라 흐른다. 따라서, 외부의 회로 구성을 적절히하여 A와 B의 전위가 번갈아가며 높아지게 한다면, A의 전위가 높을 때는 SCR을 온시켜서 전류의 흐름이 A에서 B로 흐르다가 B의 전위가 높아지면 SCR은 역전압에 의해 오프되고 전류는 다이오드를 통하여 B에서 A로 흐르게 된다.

그림 2.는 TDS를 구동하기 위한 구동회로를 나타낸다. 이 구동회로는 고장 감지를 알 수 있는 LED와 전압 스파이크 방지용 스너버 회로 및 절연 변압기가 포함된다. 일반적으로 TDS의 수가 증가하면 그림 2.와 같은 구조의 구동회로가 같은 수 만큼 필요하지만 라운드 코아(round core)의 2차측에 여러개의 그림 2.와 같은 구동회로를 연결하여 한 개의 구동회로로 여러개의 스위치를 구동할 수 있다.

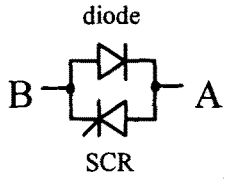

그림 1. Thyristor Diode Module의 구조

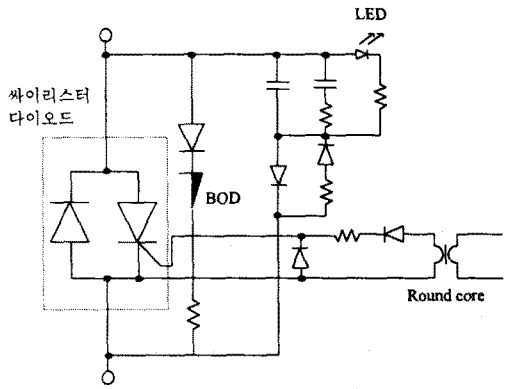

그림 2. TDS용 구동회로

3. TDS 구동 회로의 구조

본 논문에서 제안하는 구동회로를 적용하는 경우에 대해 스택화되어 직렬 연결된 TDS 고압 스위치가 K개의

모듈로 구성되며 각 모듈에 포함되는 TDS의 수는 m개인 경우를 예로든다. 그런데, 이 m개의 스위치 소자 구동을 1개의 고압 절연 펄스 변압기로 구동함으로서 전체적인 구동 회로의 크기와 가격 및 이 스위치를 필요로 하는 고압 전원 장치의 부피, 무게를 대폭 줄였다.

고압 절연 펄스 변압기는 라운드 코아(round core)형이며 K개의 각 모듈에 포함되는 m개의 TDS 수는 이들을 동작시키기 위하여 고압 절연 펄스 변압기에 각각 m개의 1, 2차 권선이 필요하다. 고압 절연 펄스 변압기의 크기는 1, 2차 권선의 절연 전압 크기에 따라 달라진다. 또한, 각 모듈에 포함되는 m개의 TDS 수는 고압 절연 펄스 변압기 2차측 권선들의 절연 및 각 TDS 사이의 절연에 따라 달라질 수 있는데 실제 큰 영향을 미치지 않는다. 싸이리스터의 최고 정격 전압이 1kV이라고 보면 TDS 모듈의 소자수는 4~5개 정도면 전력 정격이 충분하다. 그러므로, 고압 절연 펄스 변압기의 수와 구동회로의 수를 4~5배 줄일 수 있고 무게와 크기도 3~4배 줄일 수 있는 것이다.

그림 3.은 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로의 전체 회로 구성도를 나타낸다. 그림에서 한 개의 싸이리스터(T1)와 역병렬로 연결된 다이오드(D1)가 1개의 TDS를 구성하며 4개의 TDS가 1개의 TDS 모듈을 구성하는 경우를 예로 들었다. 만약, 전체 스위치 모듈이 제어하려는 전압이 80kV이고 1개의 TDS 전압 정격이 1kV라고 할 때 최소한 80개 이상의 TDS를 직렬로 연결하여 사용해야 한다. 이 경우에 고압 절연 펄스 변압기는 최소 20개가 필요하다. 그림에서 고압 절연 펄스 변압기의 1차측 양단의 제어 신호 전압 V_{gate}는 K개의 모듈로 분배되므로 한 모듈의 1차측 전압은 V_{gate}/K이다.

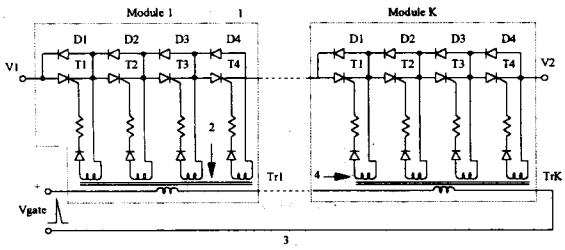

그림 3. 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로의 전체 회로 구성도

그림 4.는 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로의 고압 절연 펄스 변압기와 1차 권선과의 구성을 나타낸 것이다.

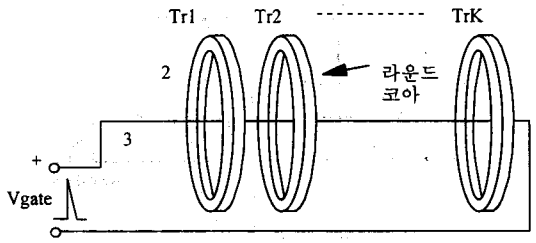

그림 4. 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로의 고압 절연 펄스 변압기와 1차 권선과의 구성도

그림에서 보는 바와 같이 고압 절연 펄스 변압기의 크기는 1, 2차 권선의 절연 전압 크기에 따라 달라진다. 또한, 각 모듈에 포함되는 m개의 TDS 수는 고압 절연 펄스 변압기 2차측 권선들의 절연 및 각 TDS 사이의 절연에 따라 달라질 수 있는데 실제 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서, 각부의 절연 거리만 최적으로 유지할 수 있으면 구동회로는 최대한으로 최적화가 가능하다.

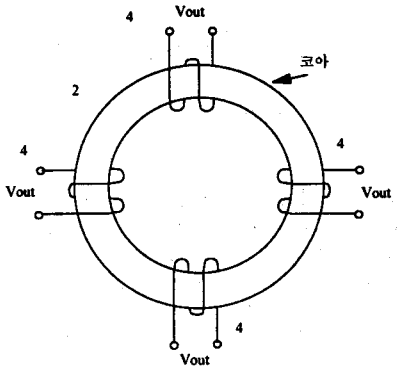

그림 5. 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로의 고압 절연 펄스 변압기와 2차 권선과의 구성도

그림 5.는 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로의 고압 절연 펄스 변압기와 2차 권선과의 구성을 나타낸 것으로 그림에 나타낸 바와 같이 2차 코일은 4개이고 각 코일의 양단에 인가되는 전압 V_{out}은 $V_{gate}n_2/Kn_1$이다. 여기서, n_1은 고압 절연 펄스 변압기 1차측 권선의 턴(turn) 수이며 n_2는 고압 절연 펄스 변압기 2차측 권선의 턴(turn) 수이다.

그림 5.는 구조적인 설명을 위해 편의 상으로 그린 그림으로서 실제 2차측 출력 전압의 모양을 동일하게 하기 위해서 고압 절연 펄스 변압기 m개의 2차 권선들은 4개의 권선을 한 개의 묶음으로하여 코아의 원둘레를 따라 시작부분부터 마감 부분까지 감는다.

그림 4.와 그림 5.에서 1차 권선 및 2차 권선의 턴(turn) 수는 고압 절연 펄스 변압기 1차측 전압과 2차측 전압의 크기를 고려하여 결정한다. K개의 각 모듈에 포함되는 m개의 스위치 소자수는 소자가 필요로하는 전력 정격과 관련되므로 고압 절연 펄스 변압기의 설계 여부에 따라 m개의 스위치 소자 수는 얼마든지 조정이 가능하다.

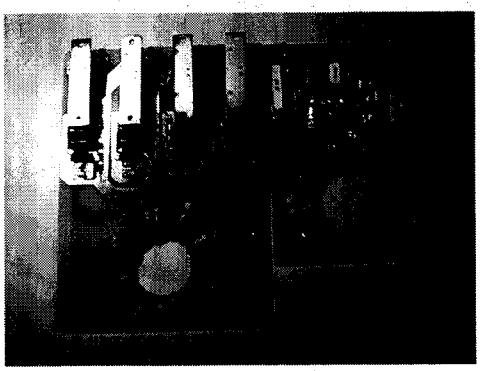

그림 6. 구동 회로 비교

그림 6.은 1개 스위치 구동형(오른쪽)과 4개 스위치 구동형(왼쪽) 회로를 실제 사용하고 있는 것으로 비교한 것이다. 4개 스위칭용 구동회로는 크기가 2배정도로 크지만 실제 다수를 연결하여 제작하는 경우는 시스템의

부피를 줄이며 큰 가격 절감이 가능하다.

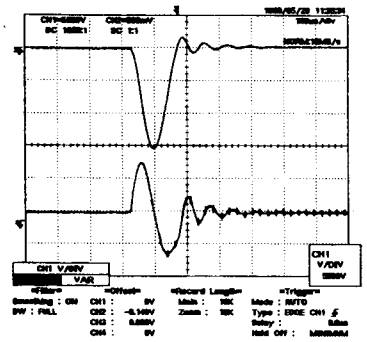

그림 7. 펄스 전압 발생 파형

그림 7.은 4개 스위치 구동형 회로로 실제 시험한 펄스 전압 파형이다. 상부가 펄스 전압이며 하부는 펄스 전류 파형으로서 직렬 구동이 정상적으로 발생되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 간단하면서도 가격 절감 효과를 얻을 수 있는 고전압 싸이리스터 다이오드 스위치 구동회로에 관한 것으로 직렬 연결된 TDS 구조를 K개의 모듈로 구성하며 각 모듈에 포함되는 TDS의 수는 m개로 한다. 그런데, 이 m개의 스위치 소자 구동을 1개의 고압 절연 펄스 변압기로 구동하여 전체적인 가격과 부피, 무게를 대폭 줄였다. 고압 절연 펄스 변압기는 라운드 코아(round core)형이며 K개의 각 모듈에 포함되는 m개의 스위치 소자수는 소자가 필요로하는 전력 정격과 관련되므로 고압 절연 펄스 변압기의 설계 여부에 따라 m개의 스위치 소자 수는 얼마든지 증가가 가능하며 그에 비례하여 고압 절연 펄스 변압기의 크기가 커지지만 구동회로의 크기와 무게 및 가격의 감소가 더욱 크다.

[참 고 문 헌]

[1] R.M. Fhrlich at al. "AC Electrostatic Precipita--tion", IEEE Massachussetts Institute of Tec--hnology, Bambridge, MA, pp1211~1214, 1984

[2] 火力原子力發電技術協會, "火力發電所環境保全技術, 設備", vol. 41, no. 6, pp779~794, 1990

[3] G. H. Rim, W. H. Kim, J. S. Kim, "A Semi-Pulse Power Supply for Wide-Pitch Electrostatic Precipitators on a 500MW Power Plant", in IEEE ICPE '95 Conf. Rec., pp. 610-615.

[4] G. H. Rim, W. H. Kim, J. S. Kim, "Investigations of Flow and Collection Efficiency in Wide-Duct Electrostatic Precipitator", in IEEE ICPE '95 Conf. Rec., pp. 720-724.