# 부하단락이 빈번히 발생하는 경우에 적합한 고압직류 전원장치

노 의 철, 김 인 동
부경대학교 전기공학과

# A high voltage dc power supply suitable for a load having frequent short circuit

Eui-Cheol Nho and In-Dong Kim
Dept. of Electrical Engineering Pukyong National University

**Abstract** - In this paper a new high voltage dc power supply is proposed. The proposed power supply is suitable for a load having frequent short circuit. A spark down occurs frequently in a load such as ion source. To protect the ion source and power supply in case of spark down the fast switch off of the power supply is necessary. The proposed power supply scheme improves the performance, efficiency and reliability of the conventional power supply.

## 1. 서 론

중성입자빔 입사장치용 전원장치와 같이 이온원을 부하로 하는 고전압 (수 kV 이상) 직류전원장치의 경우 이온원 내부에서 spark down이 빈번히 발생하므로 부하단락시 신속한 전원차단 및 단락소멸시 우수한 전원 재투입 성능이 요구된다. 이러한 성능을 얻기 위하여 종래에는 4극진공관을 사용하여 직류출력전원을 차단하였으나 다음과 같은 문제점들이 있어 GTO 사이리스터로 대체되었다[1,2]. 첫째, 부하단인 이온원에서 spark down 발생시 간혹 진공관 내부에서 flashover가 발생하므로 이런 경우 진공관을 보호하기 위해 진공관 전단에 crowbar switch를 추가해야 한다. 둘째, 진공관의 비교적 큰 anode 손실로 인한 온도상승을 제한하기 위한 별도의 수냉설비가 필요하다. 셋째, X-ray 차단을 위한 납차폐 장치가 필요하다. 넷째, 진공관은 비교적 수명이 짧다. 다섯째, 구입 및 유지보수가 어렵다.

진공관이나 GTO 사이리스터를 사용하여 직류 출력전원을 차단하는 방식의 회로구성은 기본적으로 SCR 사이리스터 교류제어기와 승압변압기 및 다이오드 전파정류기로 이루어진다. 그러나 최근에는 GTO 직렬접속 등의 직류측 차단방식에서의 단점을 극복하기 위해 컨버터/인버터를 사용하여 부하단락시 교류측에서 스위치 오프하는 방식이 연구되고 있다[3,4].

본 논문에서는 멀티레벨 컨버터를 활용한 새로운 방식의 고압 전원장치를 제안하여 최근 연구되고 있는 교류측 스위칭 방식의 효율 및 성능을 향상시키고, 또한 전원장치 전체구성을 간단히 하여 코스트 저감과 신뢰도 향상 효과를 얻고자 한다.

## 2. 제안 회로의 구성 및 동작원리

### 2.1 회로구성

그림 1은 3-레벨 컨버터에 제안된 방식을 적용한 회로를 나타낸다. 제안된 회로는 일반적인 3-레벨 컨버터 회로에 스위치 (Sa-Sc, $S_{O1}$, $S_{O2}$, $S_{O3}$, Sdc)가 추가된 형태이다. Sa-Sc는 각각 SCR 사이리스터가 역병렬 접속된 구조로서 교류 입력단 각 상에 설치되며 교류제어기로 동작하는 것이 아니고 단지 스위치 기능을 한다. $S_{O1}$과 $S_{O2}$는 각 출력레벨의 커패시터에 직렬접속되어 부하단락시 턴오프된다. 따라서 부하단락시 커패시터(C1, C2)의 방전을 억제하는 역할을 한다.

Sdc는 PWM 스위치(S11-S34)단과 출력 커패시터(C1, C2)단 사이에 설치하여 부하단락시 턴오프함으로써 인덕터 L의 축적에너지를 Rdc를 통하여 방전하도록 하는 기능을 한다.

제안된 방식은 멀티레벨 컨버터의 레벨수에 관계없이 일반적으로 성립한다. 높은 직류 출력전압을 얻기 위해 레벨수를 증가하는 경우 Sa-Sc, Sdc는 불변이고 출력 커패시터에 직력접속된 So의 개수만 레벨수에 따라 증가한다.

### 2.2 동작원리

그림 2는 그림 1의 회로에서 부하단락시 전원차단을 위한 각 스위치의 스위칭 시퀀스를 나타낸다. 정상동작중 $t = t_1$에서 부하가 단락되면 출력전류 Io는 증가하기 시작하고 $t = t_2$에서 임의의 과전류 설정치에 도달하면 $S_{O1}$과 $S_{O2}$를 동시에 턴오프하여 커패시터의 방전을 차단한다. 또한, 컨버터의 스위치 (S11-S34)를 모두 동시에 턴온하여 출력전류가 교류입력전원에 의해 영향을 받지 않도록 한다. 출력전류가 L-부하-다이오드-Sdc의 루프를 환류하기 시작하면 Sdc를 턴오프하여 L에 축적되었던 에너지를 Rdc를 통해 방전하도록 한다.

컨버터 스위치 (S11-S34)를 모두 동시에 턴온한 후 교류입력 전원을 차단하기 위한 스위칭 시퀀스는 그림 3과 같다. 스위치 S11-S34를 동시에 턴온한 후 $t = t_1$에서 Sa-Sc의 게이트신호를 동시에 오프한다. 그러면 SCR 사이리스터를 통해 흐르는 각 상의 전류는 각각 영으로 감소되는 시점 ( $t_a$, $t_b$)에서 전류의 흐름이 정지한다.

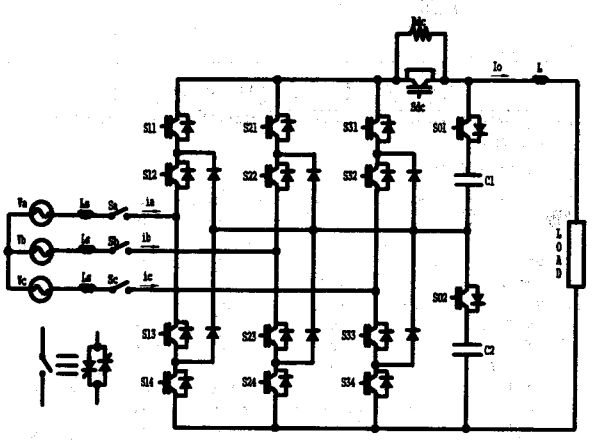


그림 1 3-레벨 컨버터에 제안된 방식을 적용한 회로

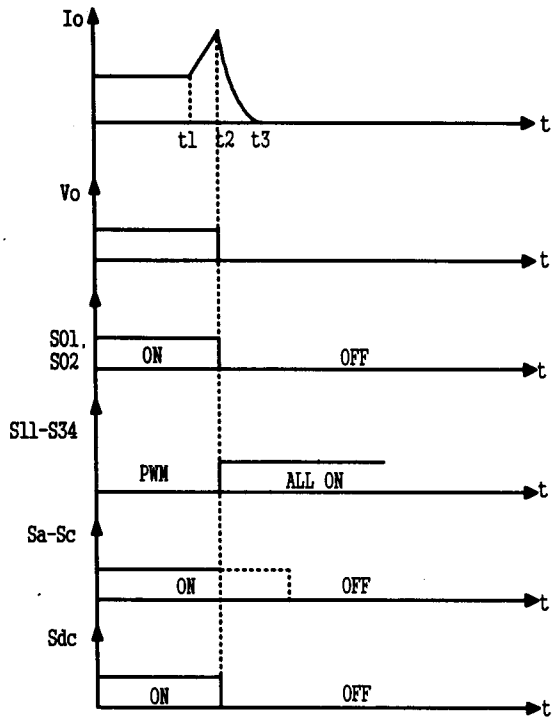


그림 2 부하단락시 전원차단을 위한 각 스위치의 스위칭 시퀀스

### 3. 부하단락시 전원차단 특성

부하가 단락되면 첫째, 출력 커패시터의 방전을 억제하고, 둘째, 직류 출력전류를 감소시키고, 셋째, 교류전원을 차단함으로써 부하인 이온원과 전원장치를 보호하게된다. 직류 출력전류의 감소율은 시정수 $\tau$ =L/Rdc 에 의해 정해지므로 L과 Rdc 값을 적절히 설정한다.

그림 3에서 $t = t_1$ 시점에서 S11-S34가 모두 턴온되면 $i_a$, $i_b$, $i_c$는 다음식과 같이 변한다.

$$i_a = i_a(t_1) + \frac{1}{Ls}\int_{t_1}^{t} v_a\, dt \qquad (1)$$

$$i_b = i_b(t_1) + \frac{1}{Ls}\int_{t_1}^{t} v_b\, dt \qquad (2)$$

$$i_c = i_c(t_1) + \frac{1}{Ls}\int_{t_1}^{t} v_c\, dt \qquad (3)$$

또한 $t = t_a$에서 $i_a$가 영이 되면

$$i_a = 0 \qquad (4)$$

$$i_b = i_b(t_a) + \frac{1}{2Ls}\int_{t_a}^{t} (v_b - v_c)\, dt \qquad (5)$$

$$i_c = -i_b \qquad (6)$$

이다. 그런데 $t_1$은 $t_0$와 $\frac{\pi}{\omega}$ 사이의 임의의 값이므로 Sa-Sc의 턴오프에 의한 전류변화는 60° 마다 동일한 패턴임을 알 수 있다.

그림 4는 $\frac{2\pi}{3} < \omega t_1 \leq \pi$구간에 대해 Sa-Sc의 턴오프 과정에서 각 상의 전류변화를 나타낸다. Iapn, Ibpn,

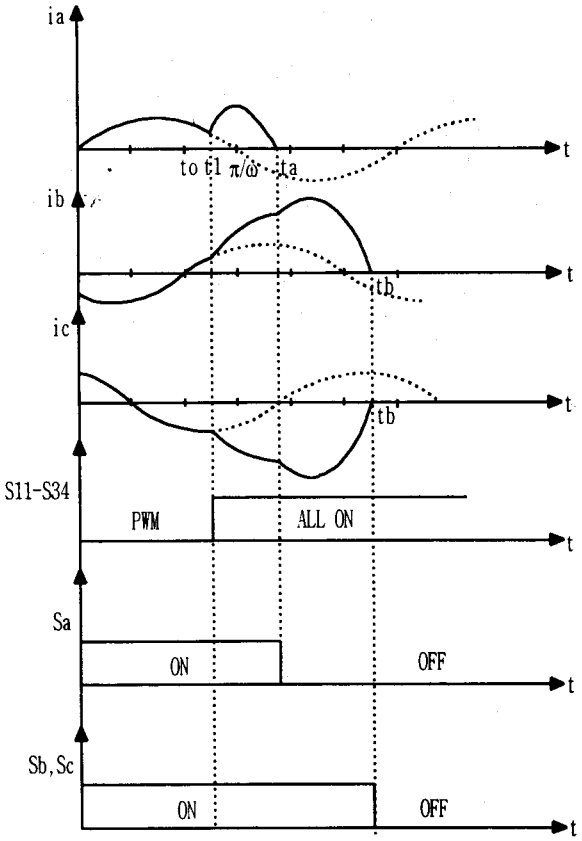


그림 3 부하단락시 각 스위치 상태와 입력교류 상전류 파형

Icpn은 각각 각 상전류의 피크값을 $\frac{V}{\omega L_S}$으로 normalize한 값이다. 교류 입력측 리액터 Ls의 임피던스는 0.1 pu로 하였다.

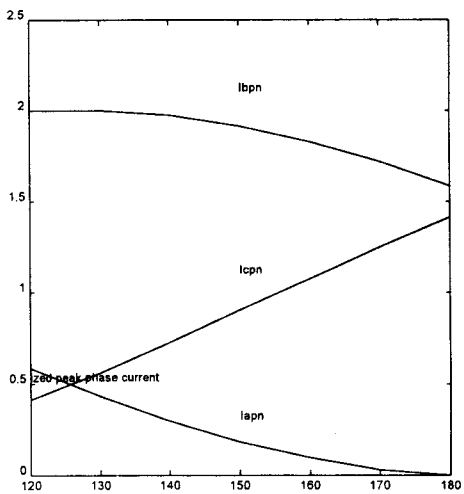


그림 4 $\omega t_1$의 변화에 대한 각 상전류 피크값의 정규화값

## 4. 결 론

본 논문에서는 고압직류 전원장치에서 부하단락이 빈번히 발생하는 경우에 직류전원의 차단 및 재투입 성능이 우수한 새로운 방식의 scheme을 제안하였다.

기존의 인버터 스위칭방식의 고압직류 전원장치가 PWM 컨버터, 인버터, 승압변압기, 다이오드 전파정류기로 구성되는 것에 비하여 제안된 방식은 멀티레벨 컨버터를 기본으로 하여 보조 스위치만 추가되는 형식으로서 그 구성이 매우 간결하다. 따라서 부하단락시 전원차단 성능뿐 아니라 효율, cost, 신뢰도 면에서 향상된 특성을 갖는다. 대용량 전원장치에서 변압기가 차지하는 비중은 가격뿐 아니라 부피와 무게 측면에서도 상당하다. 제안된 방식의 전원장치는 변압기 없이 고압직류출력을 얻을 수 있으므로 장치의 소형, 경량화 측면에서도 매우 유리하다.

## [참 고 문 헌]


[1] Yukio Watanabe, Nagataka Seki, et al., "Acceleration power supply system for neutral beam injector using GTO", IPEC, pp.808-819, 1983.

[2] Y. Suzuki, M. Nito, et al., "A power supply system for a 125 keV/250keV neutral beam injector test stand based on negative ion sources", Fusion Eng. and desigh, vol. 26, pp.535-538, 1995.

[3] R. Claesem and P. L. Mondino, "Neutral beam injection and radio-frequency power supplies", Fusion Tech. vol. 11 pp.141-162, 1987.

[4] C. Jacquot and R. S. Hemsworth, "Conceptual design of a 1 MV, 15 A power supply for the ITER neutral beam injector", Fusion Tech. vol. 16, pp.539-543, 1992.