

**직렬보상을 이용한 전력품질 보상장치에 관한 연구**

김지원\*, 전영환\*, 진진홍\*, 박동욱\*, Yu Kunshan\*\*  
 \*한국전기연구소, \*\*EPRI of China

**A Study on Power Quality Equipment using Series Compensation**

JiWon, Kim\*, YeongHan, Chun\*, JinHong, Jeon\*, DongWook, Park\*, Yu Kunshan\*\*  
 \*KERI, \*\*EPRI of China

**Abstract** - 동일한 변압기에서 인출된 서로 다른 선로 중 한 곳에서 지락이나 단락등의 사고가 발생하면, 고장 선로 뿐 아니라 주변선로에도 사고가 제거되기 전까지 전압강하 현상이 발생하게 된다. 근래에 들어서 이러한 현상에 의한 피해사례가 많이 보고되고 있으며, 전력공급자나 수용가에서도 이 문제에 대해 높은 관심을 보이고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제에 대한 대책으로 직렬변압기를 통하여 전압을 주입함으로써 부하에 항상 안정적인 전압을 공급할 수 있는 순간전압 보상장치에 대하여 연구하였다. 본 논문에서는 입력 전압의 peak값을 검출하여 직렬 주입될 전압의 크기와 위상을 구하는 방식을 사용하였고, 20kW급 prototype을 제작하여 실험을 수행하였다.

때, 식(1)에서  $V_m$ 를 구하면, 계통전압과 위상이 같은 정규화된 sine 파형을 얻을 수 있다.

$$V_s(t) = V_m \sin(\omega t + \theta) \quad (1)$$

식 (1)에서  $V_m$ 은  $V_s(t)$ 의 기울기의 부호가 변하는 순간 즉,  $V_s(t)$ 의 미분값이 0이 되는 순간의  $V_s(t)$ 의 절대값이 된다. 이렇게 구한  $V_s(t)$ 의 peak값을  $V_{md}$ 라고 하면, 우리는 식 (2)와 같은  $V_s(t)$ 의 정규화된 값을 얻을 수 있다.

$$V_{sn}(t) = \frac{V_m}{V_{md}} \sin(\omega t + \theta) \approx \sin(\omega t + \theta) \quad (2)$$

**1. 서 론**

근래에 들어서 전력의 품질에 민감한 산업용 부하가 증가하는 추세에 따라 전력사업자 뿐만 아니라 수용가들의 전력 품질에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 전력 품질의 문제는 전류품질과 전압품질로 나누어 생각할 수 있는데, 이중 산업용 수용가의 가장 큰 문제점은 기기의 재가동이나 생산품의 불량률 증가를 유발하게 되는 순간 전압강하등의 전압품질 문제이다(1). 순간 전압강하는 주로 계통의 사고나 부하의 기동시 발생하는 돌입 전류에 의해 발생하며, 선로의 상전압 강하, 위상 변화 등으로 그 효과가 나타나게 된다. 전압품질 문제에 의한 경제적 피해액은 상당한 수준이며, 실례로 미국의 경우 전체 산업에서 전력품질 문제에 의해 1년간 발생하는 손실이 약 \$26억 정도로 추산되고 있다(2). 국내에서는 아직까지 정확한 피해 조사가 이루어지지 않고 있지만 신문지상의 보도에 따르면 우리나라 반도체 산업에서만 연간 2,000억원의 손실이 발생하는 것으로 추정되고 있다. 본 논문에서는 이러한 순간 전압강하에 대한 대책으로 직렬전압 주입 방식에 의한 순간 전압강하 보상장치에 관한 연구를 수행하였다. 본 논문에서 연구한 순간 전압저하 보상장치는 계통에 전압을 주입하여 전압 sag와 같은 순간적인 외란이 계통에 발생하더라도 부하에 항상 안정적인 전력을 공급하도록 하는 장치이다. 순간 전압강하 보상장치의 동작 원리는 내부적으로 가지고 있는 전압 기준치와 실제 계통 전압을 비교하여 그 차이만큼의 전압을 본 장치에서 계통에 주입함으로써 계통 외란에 대해서도 부하에는 항상 안정적인 전력이 공급되도록 하는 것이다(3). 본 논문에서는 이 기기에 대한 동작 알고리즘을 제시하고 20kW급 Prototype을 제작하여 실제 실험을 통하여 그 기능을 확인하였다.

여기서  $V_{md}$ 는  $V_s(t)$ 의 반주기마다 갱신되기 때문에 계통전압에 DC offset이 없다고 가정하면, 이론적으로 계통전압에 변동이 있는 경우 반주기 동안의 오차를 갖는 내부 기준전압을 식 (3)과 같이 얻을 수 있다.

$$V_{ref}(t) = V_{pre} V_{sn}(t) \quad (3)$$

여기서  $V_{pre}$ 는 내부적으로 미리 설정한 부하전압의 크기이다.

따라서 순간전압저하 보상장치에서 공급하여야 하는 보상전압은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_c(t) = V_{ref}(t) - V_s(t) \quad (4)$$

여기서 계통에 직렬로 연결된 변압기의 2차측에는 계통전압과 위상이 180° 차이가 나는 전압이 걸리게 되고 그 전압을  $V_{drop}(t)$ 라고 하면, 이 전압을 보상해 줌으로써 최종적인 인버터 출력전압 커맨드는 식 (5)와 같이 구할 수 있다(4).

$$V_{command}(t) = V_{ref}(t) - V_s(t) + V_{drop}(t) \quad (5)$$

본 논문에서는 식 (5)의 커맨드를 이용하여 open loop 제어를 이용하였다. 그림 1에 제어블록도를 나타내었다.

**2. 본 론**

**2.1 직렬주입 전압 생성**

본 논문에서는 제어기 내부 기준전압을 설정하기 위해서 계통전압의 peak값을 검출하여 계통전압을 정규화시키는 방법을 이용하였다. 계통전압이 식 (1)이라고 할

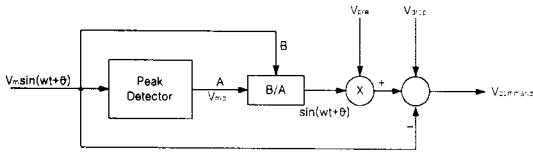


그림 1. 제어블록도

Fig. 1. Block diagram of control scheme

## 2.2 시스템 구성

본 논문에서는 실험을 위하여 20kW급 순간전압 강하 보상장치 prototype을 제작하였다. 본 논문에서 제작한 시스템은 IGBT-based 3상 인버터와 DC link 전압 공급을 위한 DC-DC 컨버터로 구성된다. 제어기로는 TI사의 TMS320C32 DSP를 이용한 제어보드를 사용하였다.

### 2.2.1 Power Stack 구성

그림 2에 전체시스템의 구성도를 나타내었다.

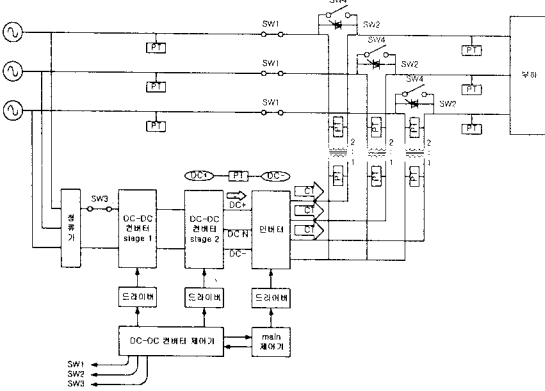


그림 2. 전체시스템 구성도

Fig. 2. Diagram of the total system

그림 2에서 보듯이 전체시스템의 전력회로 부분은 3상 인버터와 DC-DC 컨버터로 구성된다.

직렬변압기의 변압비는 1:2로 구성하였고, DC link 전압은 600[V]를 유지하도록 하였다. 장치의 고장시 부하에 계속 전원을 공급할 수 있도록 하기 위하여 bypass 스위치를 구성하였다. Bypass 스위치는 고속의 동작을 위하여 반도체 소자를 이용하여 구성하였으며, 만일의 경우에 대비하여 기계적인 스위치도 병렬로 연결하였다.

보상장치의 DC-DC 컨버터는 계통전압을 정류하여 원하는 DC link 전압을 얻을 수 있도록 하기 위하여 boost 방식을 이용하였으며, DC-DC 입력 전압 범위는 200 ~ 600[V]까지 허용된다.

3상 인버터는 split-capacitor 형태로 구성하여 각 상을 독립적으로 제어할 수 있도록 하였으며, 출력전압의 리플을 최소화 하도록 L-C 필터를 설계하여 부착하였다. 인버터의 IGBT 구동 드라이버는 각 상의 PWM 신호에 dead time을 줄 수 있도록 하였으며, 각종 보호 알고리즘도 첨가하여 제작하였다.

그림 3에 제작된 순간전압 강하 보상장치의 사진을 나타내었다.

### 2.2.2 DSP 제어기 구성

순간전압 강하 보상장치의 주 제어기로 사용된 DSP 제어기는 매우 빠른 동작 속도와 고정밀도를 갖는 제어기로 24개의 아날로그 입력 channel과 4개의 아날로그 출력 channel을 보유하고 있으며, 20개의 디지털 입/

출력 채널을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 14개의 아날로그 채널을 사용하여 계통전압, 인버터 출력전압, 부하전압, 인버터 출력전류 그리고 DC link 전압과 전류를 센싱하며 2개의 디지털 채널을 이용하여 MC와 bypass 스위치를 구동한다. 제어기의 PWM 출력은 광케이블을 이용하여 IGBT 드라이버로 연결된다. 그림 4에 제작된 DSP 제어기의 사진을 나타내었다.

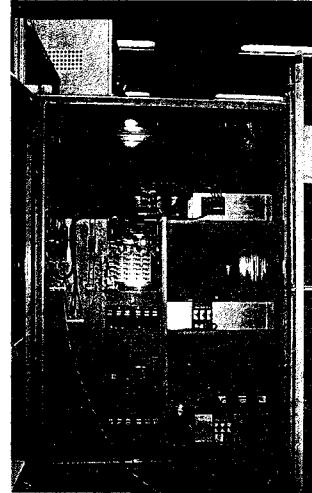


그림 3. 제작된 순간전압 강하 보상장치

Fig. 3. Photo of the compensation equipment of the instantaneous voltage drop

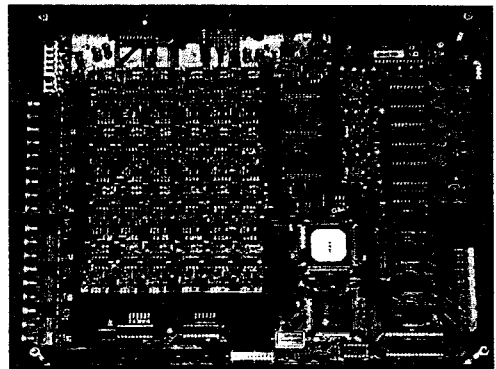


그림 4. 제작된 DSP 제어보드

Fig. 4. DSP control board

## 2.3 실험결과

본 논문에서는 3상 슬라이드스틀을 이용하여 계통전압을 변화시켜 계통전압이 정상전압의 약 40% 정도 떨어지는 경우 보상장치의 보상기능을 확인하였다. 그림 5에 실험결과를 나타내었다. 그림 5에서 Ch. 1은 계통전압을 나타내고 Ch. 3은 부하전압을 나타낸다. 그림 5에서 보듯이 계통전압이 40%까지 강하하는 경우에도 부하전압은 거의 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

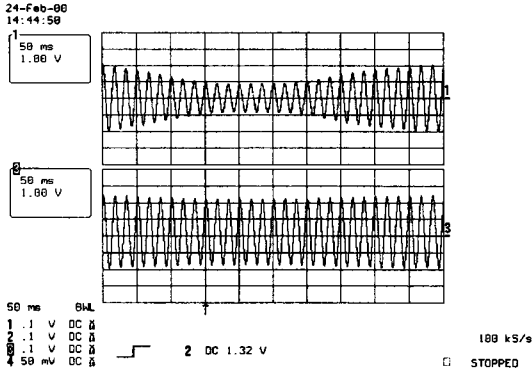


그림 5. 계통전압이 약 40% 강하한 경우 보상결과  
 Fig. 5. Compensation result : 40% voltage drop

그림 6은 계통전압이 약 60%로 강하한 경우의 실험 결과를 나타내었다. 그림 6에서 Ch. 1은 계통전압, Ch. 2는 제어전압 그리고 Ch. 3은 부하전압을 나타낸다.

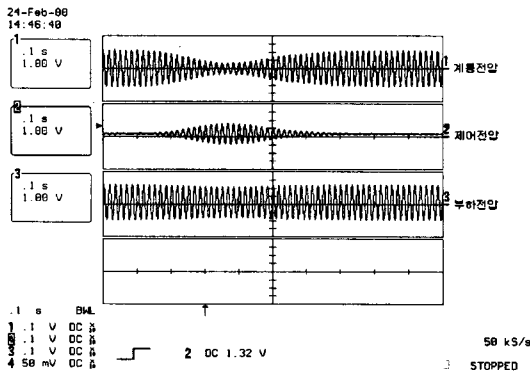


그림 6. 계통전압이 60% 강하한 경우 실험결과  
 Fig. 6. Compensation result : 60% voltage drop

그림 5와 6에서 보듯이 계통전압이 강하하는 경우 보상장치의 보상에 의해 부하전압은 항상 거의 일정하게 유지되는 것을 확인하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 계통전압의 peak값을 검출하는 방법을 이용하여 직렬주입분 전압 커맨드를 구하는 방법을 제시하고 20kW급 순간전압강하 보상장치의 prototype을 제작하여 제시된 알고리즘에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유효성을 확인하였다. 앞으로의 과제는 실제 계통에 사고를 모의하여 이 경우에 대한 보상기기의 기능을 확인하는 것과 피드백 제어를 통하여 보상기기의 성능을 개선하는 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] N. H. Woodley, L. Morgan, A. Sundaram . "Experience With An Inverter-Based Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, July 1999
- [2] K. Chan, A. Kara, "Voltage Sags Mitigation with an Integrated Gate Commutated Thyristor based

Dynamic Voltage Restorer", 8th International Conf. on Harmonics and Quality of Power, Oct. 14-16, 1998

[3] R. J. Nelson, N. H. Woodley, D. G. Ramey, E. M. Gulachenski, "Requirments for Dynamic Voltage Restoration to Relieve Distribution System Voltage Sag", American Power Conference, April, 1995

[4] 김지원 외 4인, "순간전압 보상장치에 관한 연구", 전력계통연구회 춘계학술대회, 1995년 5월