

## Dynamic Voltage Restorer Prototype 개발

김지원\*, 전영환\*, 진진홍\*  
\*한국전기연구소 FACTS & PQ 연구그룹

### Development of the Dynamic Voltage Restorer Prototype

Ji-Won, Kim\*, Yeong-Han, Chun\*, Jin-Hong, Jeon\*  
\*FACTS & PQ Research Group, KERI

**Abstract** - 산업의 발달과 각종 기기의 고도화 및 정밀화에 의하여 전원에 민감한 기기들이 많은 산업 현장에 사용되게 되었다. 이러한 민감한 기기는 입력 전원에 매우 민감하여 일반적인 정전뿐만 아니라 순간적으로 입력전압의 크기가 작아지는 순간전압강하에도 큰 영향을 받게된다. 본 논문에서는 전원측에서 순간전압강하가 발생하는 경우 부하에 영향을 미치지 않도록 하는 DVR에 대해서 제어알고리즘을 제시하고 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

로 연결되는 직렬변압기 및 bypass 스위치로 구성된다. 그림 (1)에 전체시스템의 구성도를 나타내었다.

## 1. 서 론

산업의 발달과 각종 기기의 고도화 및 정밀화에 의하여 전원에 민감한 기기들이 많은 산업 현장에 사용되게 되었다. 이러한 민감한 기기는 입력 전원에 매우 민감하여 일반적인 정전뿐만 아니라 순간적으로 입력전압의 크기가 작아지는 순간전압강하에도 큰 영향을 받게된다. 실제적으로 국내외적으로 각 전력회사에서는 정전을 관리지표로 삼아서 관리함으로써 예고되지 않은 정전현상은 현격하게 줄어들었다. 그러나 계통에서 불의의 사고가 발생하는 경우 계전기가 동작하여 사고를 차단하기까지의 시간동안은 정전이 아니더라도 순간적으로 전압강하 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상에 대처하기 위하여 현재까지는 USP가 널리 사용되어 왔다. 그러나 UPS는 기본적으로 정전에 대비한 장치로 순간전압강하가 발생하는 경우에도 입력전원을 차단하고 UPS가 모든 부하를 담당하게 된다. 실제적으로 50%의 전압강하가 발생하는 경우 UPS는 100%의 전력을 부하에 공급해야 한다. 예를 들면 100kVA의 부하가 연결된 곳에 UPS를 설치하려면 최소한 부하와 같은 용량인 100kVA의 UPS를 설치해야한다. 그러나 앞에서 설명한 바와 같이 실제로 문제가 되고 있는 것은 정전보다는 순간적인 전압강하 현상인데 이를 위해서 부하용량의 100%되는 기기를 설치하는 것은 효율적이지 못하다. Dynamic Voltage Restorer(DVR)는 이러한 문제에 효율적으로 대처하기 위한 기기로 입력전압에서 강하된 부분만큼의 부족한 부분만 공급하도록 하는 장치이다. 즉 입력전압이 50% 강하했을 때 UPS와 같이 입력전원을 차단하고 100%의 전원을 공급하는 대신 입력전원에 나머지 50%의 전압을 더해서 부하에 항상 일정한 크기의 전압을 공급하도록 하는 장치이다. 이렇게 동작하는 DVR의 경우 전압강하분만 보상하기 때문에 UPS에 비해 용량이 현격하게 줄어들 수 있다는 장점이 있다. 따라서 DVR이 상용화될 경우 기존의 UPS 시장을 상당 부분 대체할 수 있는 기기이다.

## 2. 본 론

### 2.1 DVR prototype의 설계 및 제작

본 논문에서 개발한 DVR의 prototype은 크게 3상 인버터와 DC-DC 컨버터 그리고 연계장치로 구성되어 있다. 3상 인버터는 각 상을 독립적으로 제어할 수 있도록 하기 위하여 'split-capacitor' 형태로 구성하였으며, DC-DC 컨버터는 인버터의 DC link 전압을 유지하기 위해 사용된다. 연계장치는 스위칭 노이즈를 없애기 위한 L-C 필터와 계통에 직렬

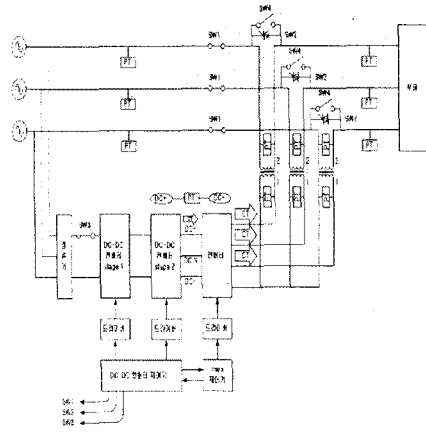


그림 1. 전체시스템 구성도

DC-DC 컨버터는 승압형 컨버터로 보통 입력전원의 2가지 승압하여 쓰는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 DC link 전압을 600[V]로 설정하였고, 입력 AC 전원의 50%까지 전압강하가 발생하는 것을 모의하였기 때문에 그림 (1)에서 보듯이 DC-DC 컨버터를 2 stage로 구성하여 최대 입력 DC 전압의 4배까지 승압하여 사용할 수 있도록 하였다. 그림 (2)에 본 논문에서 제작한 DVR prototype의 사진을 나타내었다.

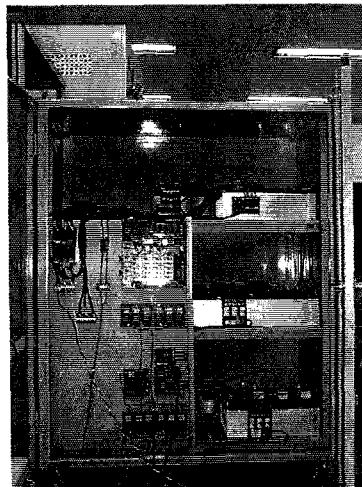


그림 2. 제작된 DVR의 prototype

DVR prototype의 제어기로는 TI사의 DSP를 이용하여 제어보드를 설계 및 제작하였다. 그림 (3)에 본 논문에서 제작한 제어기의 사진을 나타내었다.

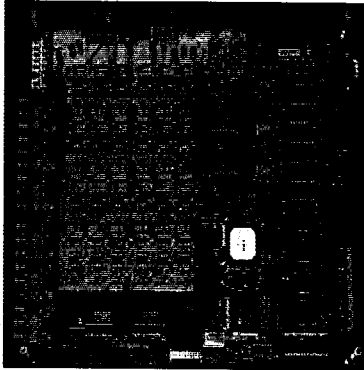


그림 3. 제작된 DSP 제어기

## 2.2 DVR 제어 알고리즘

본 연구에서는 제어기 내부 기준전압을 설정하기 위해서 계통전압의 peak값을 검출하여 계통전압을 정규화 시키는 방법을 이용하였다. 계통전압이 식 (1)이라고 할 때, 식(1)에서  $V_m$ 을 구하면, 계통전압과 위상이 같은 정규화된 (normalized) 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, 식 (2)와 같은  $V_s(t)$ 의 정규화된 값을 얻을 수 있다.

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

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 DVR에서 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  $180^\circ$  차이가 나는 전압이 걸리게 되고 그 전압을  $V_{drop}(t)$ 라고 하면, 이 전압을 보상해 줌으로서 최종적인 DVR의 출력전압 커맨드는 식 (5)과 같이 구할 수 있다.

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

그림 (4)에 DVR의 제어 블록도를 나타내었다.

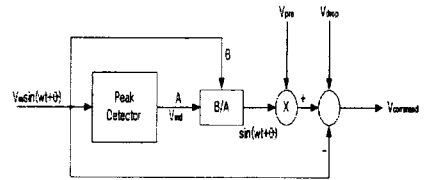


그림 4. 제어 블록도

실험에 있어서는 그림 (4)에서 얻은 커맨드를 이용하여 비례제어기를 이용하여 피드백 제어를 하도록 하였다.

## 2.3 시뮬레이션

본 논문에서는 앞에서 제시한 제어 알고리즘의 검증을 위해서 PSCAD/EMTDC를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 (5)에 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 PSCAD/EMTDC의 시스템 모델을 제시하였다.

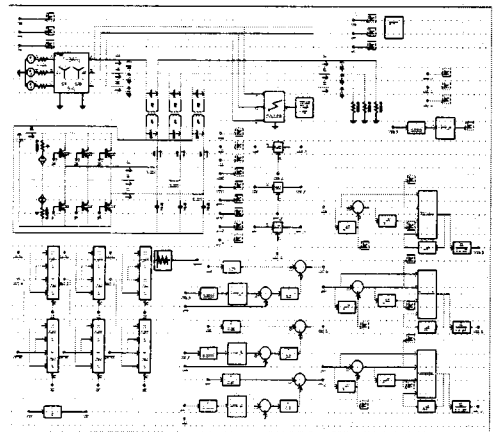


그림 5. DVR의 컴퓨터 시뮬레이션 회로

본 논문에서는 1선 지락 사고를 모의한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 (5)에서 동일 변압기에서 인출된 서로 다른 선로중 하나의 선로에서 1선 지락 사고를 모의하여, 다른 선로에 전압강하 현상이 발생하도록 하였다.

그림 (6)에 순간전압강하 발생시 보상결과를 나타내었다.

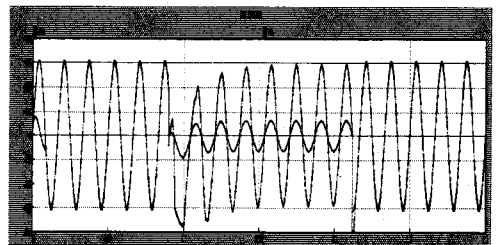


그림 6. 순간전압 강하 발생시 보상결과

그림 (6)에서 보듯이 계통전압에 순간전압강하 현상이 나타나는 경우 DVR의 동작에 의하여 부하전압은 약간의 transient를 갖지만 대체적으로 일정한 크기의 전압을 유지하는 것을 알 수 있다. 그림 (7)에는 계통측 전압과 부하측 전압에 대한 RMS값을 나타내었다. 그림 (7)에서 보듯이 DVR의 동작으로 인하여 부하전압은 약간의 transient를 갖지만 항상 일정한 크기의 RMS값을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

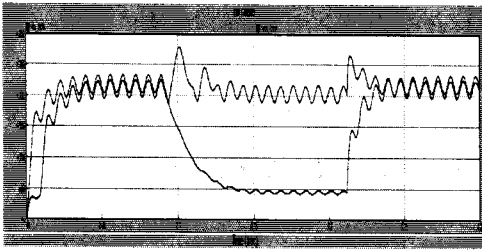


그림 7. 계통전압과 부하전압의 RMS 값

### 2.3 실험

본 논문에서는 계통의 고장으로 인한 순간전압 강하를 모의하기 위해 그림 (8)과 같이 모의 순간전압 강하장치를 구성하였다. 그림 (8)의 모의 순간전압 강하장치는 3상을 독립적으로 50%와 80%의 순간전압 현상을 모의 할 수 있는 장치로 변압기의 tab-change를 이용하여 장치를 구성하였다.

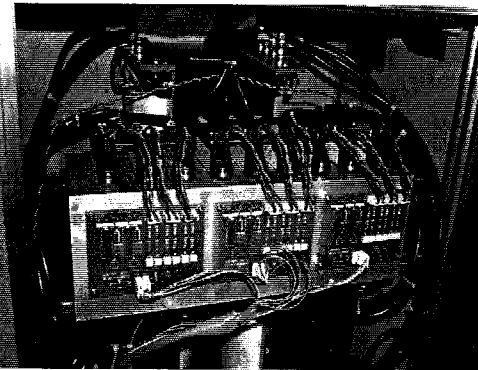


그림 8. 순간전압 강하 모의장치

본 논문에서는 약 0.7(sec) 정도의 시간동안 50%의 순간전압 강하를 모의하고 이때 DVR의 동작으로 부하전압의 크기가 유지되는 것을 확인하였다. 그림 (9)와 그림 (10)에서는 각각 DVR의 보상 결과를 나타내고 있다. 그림 (9)는 시간축을 길게 한 경우의 파형을 나타내고 있으며, 그림 (10)은 계통에 순간전압강하가 발생하여 DVR이 보상에 들어가기 시작할 때의 파형을 확대한 것이다. 그림 (9)와 (10)에서 첫 번째 그림은 계통전압, 두 번째 그림은 인버터의 출력전압, 세 번째 그림은 부하전압 그리고 마지막 그림은 Peak 검출 결과를 나타내고 있다. 그림 (9)에서 살펴보면 부하전압의 크기가 계통전압이 50%까지 강하된 경우에도 90% 이상을 유지하고 있는 것을 알 수 있으며, 그림 (10)에서 보듯이 DVR의 보상시작 순간에서의 transient를 제외하면, 대체적으로 파형도 양호한 것을 알 수 있다.

본 논문에서의 실험시 부하로 pentium급 컴퓨터를 연결하여 실험을 하였다. 실험결과 50%의 순간전압 강하가 발생할때에는 컴퓨터가 재부팅 되었지만, DVR을 설치하여 보상하는 경우에는 아무 이상 없이 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 계통의 사고나 고장에 의해 순간전압강하가 발생하는 경우 연결된 부하에 영향을 미치지 않도록 하는 DVR의 prototype 시스템을 개발하였다. 시뮬레이션과 실험결과 개발된 DVR prototype은 계통에 50%의 순간전압 강하가 발생하더라도 부하에 영향을 미치지 않도록 부하전압의 크기를 유지할 수 있음을 확인하였다.

앞으로의 과제는 정확한 모델링과 최신 제어이론을 이용한 시스템의 성능향상과, 현장에 적용 가능한 대용량 시스템에 대한 연구를 수행하는 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Mauricio Aredes, Edson H. Watanabe, "New Control Algorithm for Series and Shunt Three Phase Four Wire Active Power Filters", IEEE Trans. on PD, Vol.10, No.3, July, 1995
- [2] N. H. Woodley, L. Morgan, A Sundaram, "Experience with an Inverter Based Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on PD, Vol.14, No.3, July 1999
- [3] R. J. Nelson, N. H. Woodley, D. G. Ramey, E. M. Gulachenski, "Requirements for Dynamic Voltage Restoration to Relieve Distribution System Voltage Sags", American Power Conference, April, 1995
- [4] K. Chan, A. Kara, "Voltage Sags Mitigation with an Integrated Gate Commutated Thyristor Based Dynamic Voltage Restorer", 8th Intern. Conf. on Harmonics and Quality of Power, October 14-16, 1998

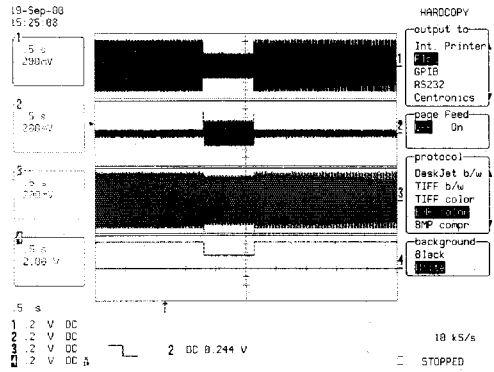


그림 9. DVR의 보상실험 결과

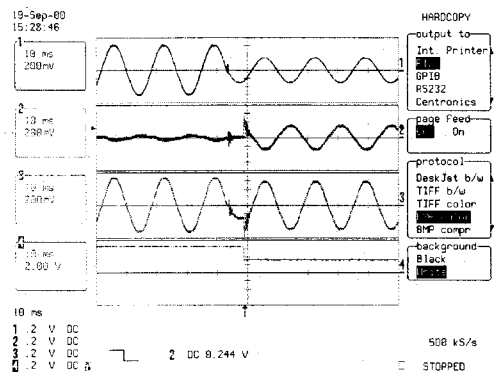


그림 10. DVR 보상시 전압파형