

## Hybrid 검출방식을 적용한 삼상 선로 응답형 DVR(Dynamic Voltage Restorer)

정종규, 한병문  
영지대학교

### Development of Three-Phase Line-Interactive Dynamic Voltage Restorer with Hybrid Detection Method

Jong-Kyou Jeong, Byung-Moon Han  
Myongji University

**Abstract** - This paper describes the development of a three-phase Line-Interactive DVR(Dynamic Voltage Restorer), which is applied to Hybrid detection method and super-capacitor. The operational feasibility was verified through computer simulations with PSCAD/EMTDC software, and experimental will be work with 3kVA prototype. The developed system can compensates the input voltage sag and interruption within 2ms, in which the maximum allowable sensitive load, such as computer, communication equipment, automation equipment, and medical equipment. The developed system has a simple structure to be easily implemented with commercially available components and to be highly reliable in operation.

#### 1. 서 론

넓게 분포된 전력계통은 낙뢰나 스위칭서지에 노출이 빈번하다. 낙뢰나 스위칭서지가 발생하면 타 지역으로의 영향을 차단하기 위해 보호기가 동작되고 해당지역의 전력공급은 순간적으로 차단되며, 고장을 제거한 후 전력공급은 재개된다. 이와 같이 전력공급을 차단하였다가 재개하는 동안에는 순간정전이 발생하여 입력전압에 민감한 부하에 심각한 손해를 유발한다.[1,2]

한편 국내외적으로 산업이 고도화되어가면서 컴퓨터, 정보통신기기, 자동화기기, 의료용기기, 반도체공정과 같이 입력전압에 민감한 부하가 급증하고 있는데 이들 부하들은 높은 신뢰도의 입력전원을 필요로 한다. 순간정전을 보상하기 위해 개발된 전력전자기기를 DVR이라고 하는데 그동안 여러 연구자에 의해 다양한 방식의 연구가 진행되어 왔다. DVR은 에너지저장을 가지고 있어 평소에는 전력을 받아 에너지를 저장하고 순간정전이 발생하면 에너지를 방출하여 보상한다.

슈퍼 커패시터는 최근 들어 사용빈도가 증가하면서 가격이 급격히 하락하고 있으며, 경쟁 대상인 초전도 코일에 비해 규모가 작고, 가격이 저렴하며, 신뢰도가 높은 장점을 갖는다.

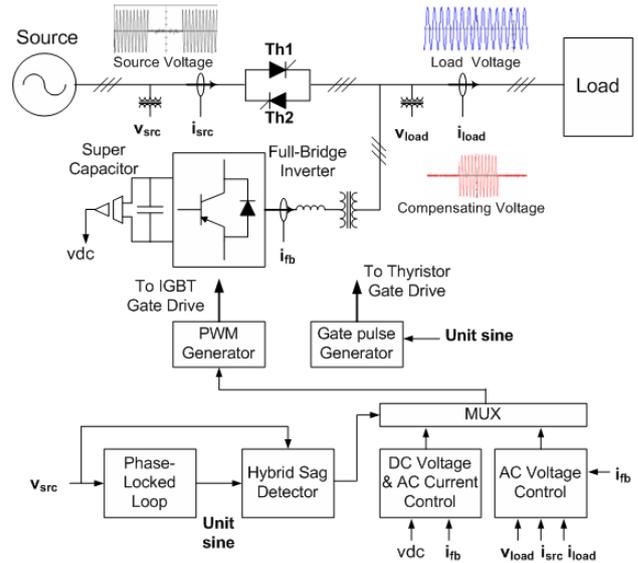
본 논문에서 제안하는 삼상DVR은 선로응동(Line-Interactive)형 UPS(Uninterruptible Power Supply)와 동일한 구조이며, 전압Sag나 순간정전이 발생하였을 때만 지연시간 2ms 이내로 보상이 이루어지도록 설계되어있다. 시스템의 동작은 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션 모델을 개발하여 확인하였고, 하드웨어시스템의 개발을 위해 시제품을 제작했으며, 현재 기본적인 성능실험이 80%정도 이루어졌다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 Line-Interactive 삼상DVR 동작원리

그림 1은 본 논문에서 제안하는 삼상 DVR의 시스템 구성을 나타낸 것이다. 정상시에는 양방향 싸이리스터를 통해 전원에서 부하로 전력을 직접 전달하고, 인버터를 통해 슈퍼 커패시터를 일정한전압이상으로 충전하는 동작을 수행한다. 인버터는 일정전압이상에서 동작을 멈추고, 슈퍼 커패시터에 저장된 에너지를 유지한다. 만약 전원전압에 장애가 발생하면 제어기에서 Hybrid 검출방식을 이용하여 신속하게 검출한 후 슈퍼 커패시터에 저장된 전기에너지를 인버터와 변압기를 통해 부하와 병렬로 주입한다. 이때 주입되는 전압은 양방향 싸이리스터를 차단함과 동시에 부하에 전력을 공급한다. 보상동작에 의해 방전된 슈퍼 커패시터는 전원전압이 회복되면 변압기와 인버터를 거쳐 충전을 하여 다음 전원장애에 동작할 수 있도록 대비한다.

제안하는 삼상DVR은 세 개의 단상 풀브리지 인버터가 각각의 상전압을 제어하고 있으며, 출력전압은 정현파 PWM에 의해 생성하도록 되어 있다. 출력전압이 가능한 정현파를 이루기 위해서 모델레이션 인덱스 변화에 따른 고조파함수를 최소가 되도록 하기 위해 MI가 0.6-0.9이내에서 동작하도록 설계하였다.



〈그림 1〉 제안하는 삼상 DVR의 구성도

에너지저장의 용량은 순간정전의 지속시간과 부하용량에 따라 정해진다. 본 연구에서는 순간정전 지속시간을 4초로 가정하고 부하용량은 3kVA로 가정하였다. 따라서 슈퍼 커패시터가 공급해야 하는 에너지는 12kJ로 설계하였다. 슈퍼 커패시터뱅크는 저장에너지의 크기, 직류링크 전압, 단일 전압전류용량을 고려하여 설계하였다.

〈표 1〉 슈퍼 커패시터의 사양

Items	Characteristics
Rated working voltage	2.7 VDC
Operating temperature	-40 to +60 °C
Nominal Cap. Range	1 to 100F
Capacitance tolerance	-20% to +40%(at 25 °C)

##### 2.2 순간전압강하 및 순간정전 검출

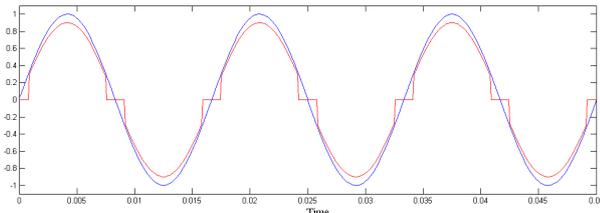
일반적인 한상의 전압은 식(1)과 같이 표현 가능하다.

$$v_s = \sum_{n=1}^N V_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (1)$$

전원전압이 기본파만 있다면 N은 1이고, 그렇지 않으면 N은 1보다 큰 정수가 된다. 전자처럼 기본파만 있다면 전원전압의 순시치만으로도 정확하고 신속한 전압강하 검출이 가능할 것이다. 하지만 일반적인 전원은 후자의 경우가 대부분이므로 고조파에 따른 판단오류를 고려하지 않을 수 없다. 그래서 각 상별로 전원의 전압강하 검출기법으로 순시치 방식과 평균치변화율을 이용한 Hybrid구조를 채택하였다.[3]

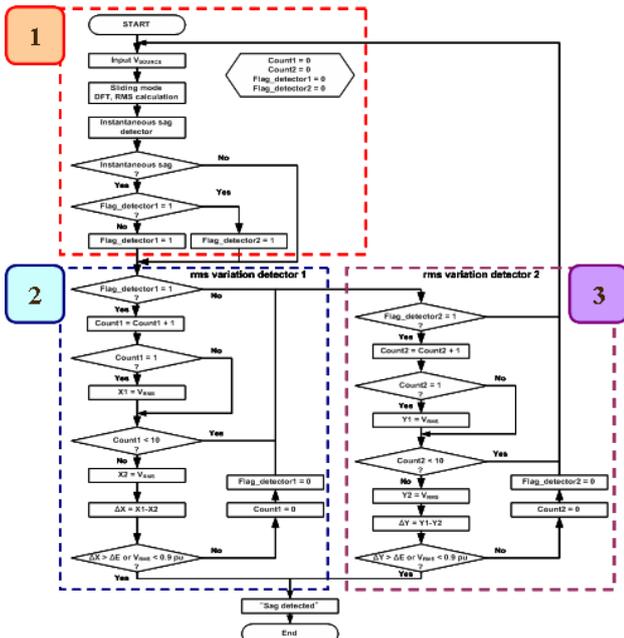
그림 2는 전압강하 또는 순간정전을 감지하기 위한 신호를 전원전압의 순시 p.u값과 같이 보이고 있다. 전압강하검출 임계 순시값은 0차점 부근의 일정영역의 크기가 작기 때문에 전압강하 검출이 무의미할 뿐만 아니라 불가능하므로 0으로 처리하였다. 이때 발생될 수 있는 검출 지연은 각 상별 검출을 통해 해결될 수 있다. 순시치 방식에서는 전원전

압의 순시 절대값이 임계 순시 절대값보다 작아지면 전압강하로 판단한다.



〈그림 2〉 순시적 비교방식

RMS 방식은 순시치방식에 의한 전압강하 판단 후에 정격 주파수 기본과의 rms값이 전압강하로 진행중인지 체크하는 방식으로 구성된다. 전원전압의 기본과 실효치는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 측정하였다.



〈그림 3〉 평균치변화율을 이용한 Sag검출

그림 3은 평균치변화율을 이용한 Sag검출을 블록도로 나타낸 것이다. 1번 블록은 순시치 방식에 의해 Sag를 판단하고, 2번과 3번 블록은 서로의 제어수행 여부에 따라 동작이 결정된다.

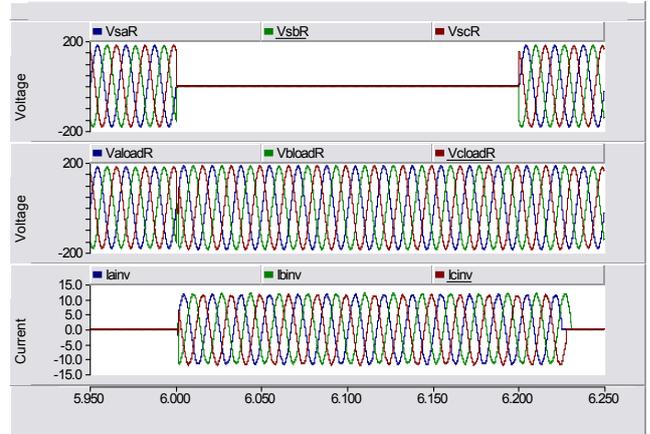
1번 블록은 순시치 방식에 의한 결과인 각 상별 flag\_sag가 트리거되면 2번 블록이 수행중인지 아닌지 검사하여 아니면 수행하도록 first\_sag를 1로 set 시킨다. 2번 블록이 수행중이면 3번 블록을 수행하도록 second\_sag를 1로 set 시킨다. 2번 블록과 3번 블록의 동작원리는 first\_sag 또는 second\_sag가 1로 set되면, 각 상전압의 전압 실효치의 현재값을 저장한 후 설정한 시간이 지난 후에 다시 전압 실효치를 저장한 값의 차가 설정한 제한치보다 크거나 최종 측정된 전압 실효치가 전압강하 판단 설정치보다 작다면 Sag로 판단하는 각 상의 flag\_sag를 1로 set 시킨다. 지금까지 설명한 검출 알고리즘은 각 상전압에 독립적으로 적용되며, 한 상에서 flag\_sag가 1로 set되면 삼상의 양방향 싸이리스터 스위치는 동시에 동작을 멈추고 보상전압이 동시에 주입된다. Sag가 종료되면 각 상별로 전압이 0인 지점에서 각 상의 인버터는 보상동작을 종료한다.

### 2.3 시뮬레이션

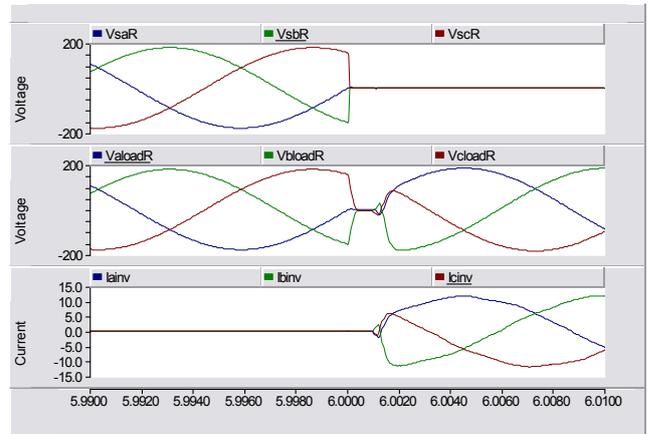
본 연구에서 제안하는 선로응동형 삼상 DVR의 동작을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 가능한 하드웨어 제작을 고려하여 실제에 가깝도록 전력회로와 제어기를 구성하였다.

그림 4의 (a)는 순간정전이 발생하였을 경우 삼상의 전원전압과 부하전압 그리고 인버터가 공급하는 보상전류를 나타낸 것이다. 그리고 (b)는 보상이 시작되는 부분의 파형을 확대한 것이다. 순간정전이 검출되고 전압주입이 이루어지기까지 약 2ms 이내의 지연을 갖는 것을 확인할

수 있다. 그림에는 포함되지 않았지만 순간 전압강하가 발생하였을 경우에도 신속한 검출을 통해 2ms 이내에서 보상전류가 주입되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 제안하는 시스템은 순간정전 발생 시 우수한 보상 성능을 가짐을 알 수 있다.



(a) 순간정전 발생 시 전원전압, 부하전압, 보상전류



(b) 순간정전 시작부분 확대파형

〈그림 4〉 순간정전 발생 시 시뮬레이션 결과

### 3. 결 론

본 논문에서는 Hybrid 검출방식을 적용한 삼상 선로응동형 DVR을 제안하고 그 동작특성을 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션을 실시하여 확인하였다. 또한 논문내용에는 포함되지 않았지만 제품개발을 염두에 두어 시작품을 제작하였으며, 현재 여러 가지 기본 실험을 수행하고 있다.

본 논문에서 개발한 DVR은 선로응동(Line-Interactive)형 UPS와 동일한 구조를 가지며, 순간전압강하나 순간정전이 발생하였을 때만 지연 시간 2ms이내로 신속하게 보상이 이루어지도록 설계되어있다. 그리고 정상시에는 전력이 양방향 싸이리스터를 통해 전원에서 부하로 직접 전달되고 에너지저장용 커패시터의 전압이 기준치 이하일 때만 충전동작을 하도록 설계되어있다.

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

[1] B. Han, B. Bae, H.Kim, S. Baek, "Combined Operation of Unified Power Quality Conditioner with Distributed Generation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.21, No.1, Jan. 2006, pp.330-338  
 [2] N. Woodley, L. Morgan, A. Sundaram, "Experience with an Inverter-based Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.14, No.3, July. 1999, pp.1181-1186.  
 [3] C. Fitzer, M. Barnes, P. Green, "Voltage Sag Detection Technique for a Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Industry Application, Vol.40, No.1, Jan.-Feb. 2004, pp.203-212.