

H-브리지 인버터와 슈퍼커패시터로 구성된 단상 DVR(Dynamic Voltage Restorer)의 개발

이동근, 이두영, 양승철, 배병열, 한병문
명지대학교

Development of Single-Phase DVR(Dynamic Voltage Restorer) Composed of H-Bridge Inverter and SuperCapacitor

Dong-Geun Lee, Doo-Young Lee, Seung-Chul Yang, Byung-Yeol Bae, Byung-Moon Han
Myongji University

Abstract - This paper describes the development of a single-phase DVR(Dynamic voltage Restorer), which is composed of H-bridge inverter and super-capacitors. The operational feasibility was verified through computer simulations with PSCAD/EMTDC software, and experimental works with 3kVA prototype. The developed system can compensate the input voltage sag and interruption within 2ms, in which the maximum allowable duration of voltage interruption is 1.5 seconds. It can be effectively used to compensate the voltage interruption in the 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

국내외적으로 산업이 고도화하면서 컴퓨터, 정보통신기기, 자동화기기, 의료용기기, 반도체공정과 같이 입력전압에 민감한 부하가 급증하고 있는데, 이들 부하들은 24시간 연속적으로 동작하기 때문에 고 신뢰도의 입력전원을 필요로 한다.

순간정전을 보상하기 위해 개발된 전력전자기기를 DVR이라고 하는데 그동안 여러 연구자에 의해 다양한 연구가 진행된 바 있다. DVR은 에너지저장을 가지고 있어 정상상태에서는 전원에서 전력을 받아 에너지저장장치에 저장하고 순간정전 발생 시에는 에너지저장에 저장되어 있는 에너지를 방출하여 보상한다. 그동안 커패시터, 초전도코일, 플라이휠 등이 에너지저장장치로 연구에 검토되어왔다.

슈퍼커패시터는 기존의 전해커패시터에 비해 에너지저장밀도가 대단히 높고 최근 들어 사용빈도가 증가하면서 가격도 급격히 하락하고 있다. 따라서 경쟁 대상인 초전도코일에 비해 냉각설비가 필요하지 않아 규모가 작고 가격이 저렴하며 신뢰도가 높은 장점을 갖는다. 한편 배터리는 슈퍼커패시터에 비해 가격은 저렴하나 충전속도가 아주 느려 DVR에는 적용이 불가능하다.

본 논문에서 제안하는 DVR은 선로용동(line-interactive)형 UPS(Uninterruptible Power supply)와 동일한 구조로 전압 Sag나 순간정전이 발생하였을 때만 보상이 이루어지도록 설계되어 있다. 시스템의 동작은 EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션모델을 개발하여 확인하였고 하드웨어시스템의 개발을 위해 시작품을 제작하고 다양한 실험을 통해 성능을 검증하였다.

2. 본 론

그림 1은 본 논문에서 제안하는 단상 DVR의 시스템 구성을 나타낸 것이다. 평상시에는 양방향 싸이리스터를 통해 전원에서 부하로 직접 전력을 전달하다가 전원전압에 장애가 발생하면 제어가 이를 신속하게 검출한 후 슈퍼커패시터에 저장된 전기에너지를 H-브리지 인버터와 변압기를 통해 부하와 병렬로 주입한다. 이때 주입된 전압은 양방향 싸이리스터를 차단함과 동시에 부하에 전력을 공급한다. 방전된 슈퍼커패시터는 전원전압이 회복되면 변압기와 인버터를 거쳐 충전을 하여 다음 전원장애에 동작할 수 있도록 대비한다.

출력전압이 가능한 정현파를 이루기 위해서는 모듈레이션인덱스 변화에 따른 고조파분석을 실시하여 보상구간에서 가능한 고조파함유율을 최소가 되도록 설계하였다.

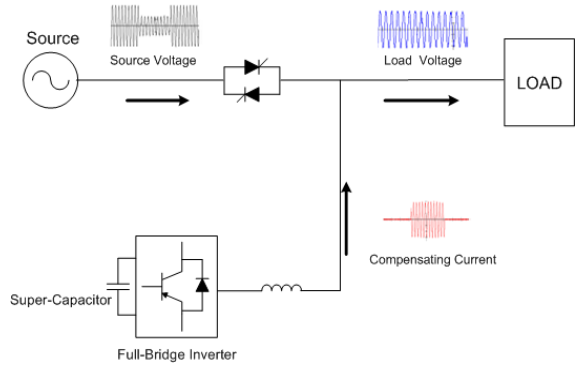


그림 1. 단상 DVR시스템 구성도

일반적인 단상 전원 전압은 식(1)과 같이 표현 가능하다.

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

전원 전압이 기본파만 있다면 N은 1이고 그렇지 않으면 N은 1보다 큰 정수값이 된다. 전자처럼 기본파만 있다면 전원 전압의 순시치만으로 정확하고 신속한 전압강하 검출이 가능할 것이다.

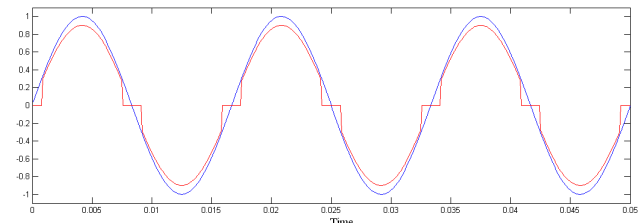


그림 2. 순시적 비교방식

하지만 일반적인 전원은 후자의 경우가 대부분이므로 고조파에 따른 판단오류를 고려하지 않을 수 없다.

그리하여 단상 전원의 전압 강하 검출기법으로 그림2의 순시적 방식과 전원 전압의 평균치 개념방식 이 2가지를 혼합한 형태의 하이브리드 형태를 채택하였다.

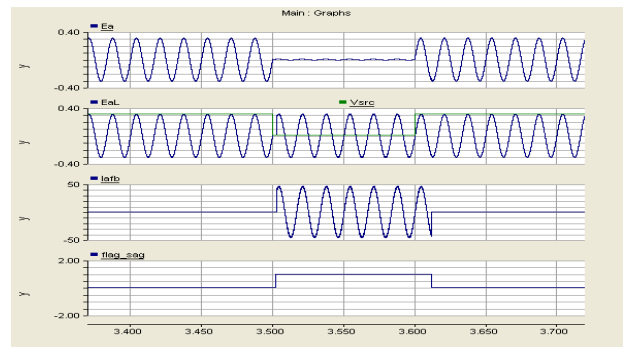


그림 3. 시뮬레이션 결과

고안한 하이브리드 형태의 전압강하 검출 기법의 타당성을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 회로는 그림 1과 같이 구성하였으며 전원전압은 220V, DC 충전 전압은 140V 이다. 그림 3의 파형을 통해 전압강하 검출 및 보상이 신속히 이루어짐을 확인할 수 있다.

시뮬레이션에서 검증한 알고리즘의 실적용 타당성을 확인하기 위해 프로토타입을 제작하여 실험을 실시하였다.

슈퍼커패시터뱅크는 저장에너지의 크기, 직류링크전압, 단일전압전류용량을 고려하여 설계하였다. 본 연구에서는 Korchip사의 슈퍼커패시터를 단일소자로 구성하여 에너지 저장뱅크를 설계하였는데 자세한 전기적특성은 표1에 나타내었다.

슈퍼커패시터뱅크는 동작성과 확장성을 고려하여 최대저장용량의 25%를 사용하는 것으로 설계하였다. 최대전류는 최대전력을 방출할때 흐르고 뱅크에 걸리는 최소전압은 최대방출전력과 전류용량을 고려하여 결정하였다.

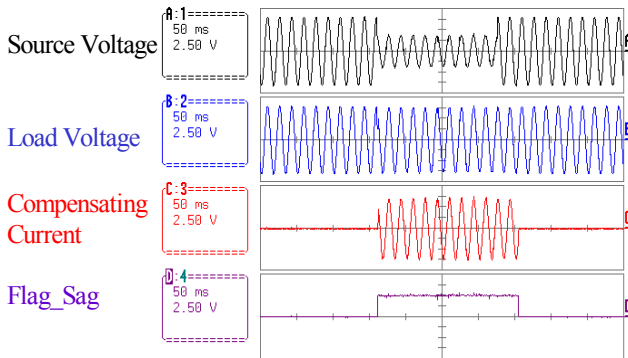
슈퍼커패시터는 10%의 여유를 고려하여 2.7V 최대동작전압에서 90%인 2.34V를 사용하는 것으로 하였고 최소전압은 2.1V로 정하였다.

따라서 최소직류링크전압과 단일소자의 최소동작전압, 그리고 충분한 동작여유를 고려하여 60개를 직렬로 연결하여 제작하였다.

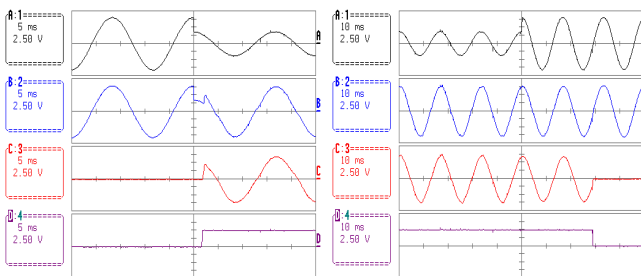
표1. 슈퍼커패시터의 사양

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 C12°C)

그림 4와5는 DVR(Dynamic Voltage Restorer)동작을 확인한 실험파형이다. 그림 4는 전원전압의 Sag 발생시 보상전류와 부하에 공급되는 전압파형을 나타낸다. 여기서 부하전압은 전원전압의 sag에도 불구하고 그림 4(a)와 같이 부하에는 정상적인 전압이 공급됨을 볼 수 있다. 그림 4(b)는 Sag 발생시와 종료시의 확대파형을 나타낸다.



(a) Sag 발생시 전원전압, 부하전압, 보상전류 파형



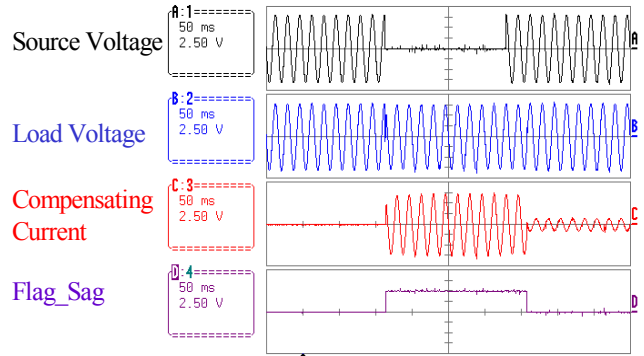
(b) Sag 발생시 및 종료시 확대파형

그림 4. DVR의 Sag보상

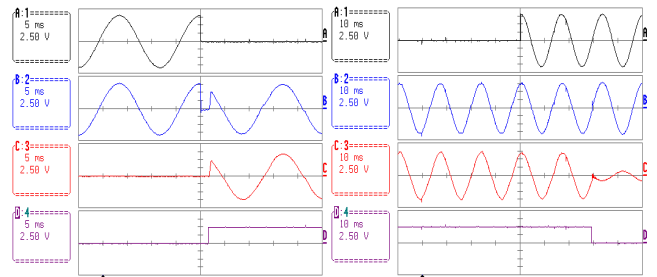
그림 5는 전원전압의 순간정전 발생시 보상전류와 부하에 공급되는 전압파형을 나타낸다.

앞서 Sag보상과 마찬가지로 전원전압의 순간정전 발생시에도 부하에는 정상적인 전압이 공급됨을 볼 수 있다

그림 5(b)는 순간정전 발생시와 종료시의 확대파형을 나타낸다.



(a) 순간정전 발생시 전원전압, 부하전압, 보상전류 파형



(b) 순간정전 발생시 및 종료시 전압의 확대파형

그림 5. DVR의 순간정전보상

이상의 실험으로 개발된 DVR(Dynamic Voltage Restorer)이 Sag와 순간정전의 보상기능을 충실히 수행함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 H-브리지 인버터와 슈퍼커패시터로 구성된 단상 DVR을 제안하고 그 동작특성을 EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션모델을 개발하여 확인하였고, 시작품을 제작한 후 다양한 실험을 실시하여 순간정전과 전압Sag에 대해보상이 가능한 하드웨어시스템을 개발하였다.

본 논문에서 제안하는 DVR은 선로응동(line-interactive)형 UPS(Uninterruptible Power supply)와 동일한 구조로 전압Sag나 순간정전이 발생하였을 때만 보상이 이루어지도록 설계되어있다. 그리고 정상시에는 전력이 전원에서 부하로 직접 전달되고 에너지저장용 커패시터의 전압이 기준치 이하일 때만 충전동작을 하도록 설계되어있다.

본 논문에서 개발한 DVR은 입력전압에 민감하고 24시간 연속적으로 동작하기 때문에 고 신뢰도의 입력전원을 필요로 하는 컴퓨터, 정보통신기기, 자동화기기, 의료용기기, 반도체공정에 효율적으로 활용가능하다.

[참 고 문 헌]

- [1] F. Z. Peng, J. S. Lai, "Dynamic performance and control of a static var compensator using cascade multilevel inverter," IEEE/IAS Annual Meeting, pp.1009-1015, San Diego, CA, Oct. 6-10, 1996.
- [2] J. S. Lai, F. Z. Peng, "Multilevel converters-A new breed of power converters," IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 32, pp. 509-517, May/June 1996.
- [3] B. Han, S. Baek, H. Kim, J. Choo, G. Jang, "Novel unified power flow controller based on H-bridge modules," Elsevier Science Journal, Electric Power System Research, Vol. 70, pp. 64-75, May, 2004.
- [4] G. Joos, X. Huang, B. Ooi, "Direct-Coupled Multilevel Cascaded Series Var Compensator," IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 34, No. 5, pp.1156-1163, September/October 1998.