

Hybrid검출방식을 적용한 삼상 선로 응동형 DVR(Dynamic Voltage Restorer) 개발

논 문
58-10-18

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

정 종 규* · 한 병 문†
(Jong-Kyou Jeong · Han-Byung Moon)

Abstract - This paper describes the development of a three-phase line-interactive dynamic voltage restorer with hybrid detection method, which is composed of three H-bridge inverter modules and super-capacitors. The operational feasibility was verified through computer simulations with PSCAD/EMTDC software, and experimental works with a 3kVA prototype. The developed system can compensate the input voltage sag and interruption within 2ms. The maximum allowable duration of voltage interruption is about 4 seconds. The developed system can be effectively used to compensate the voltage interruption in the sensitive load, such as computer, communication devices, and automation devices, 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.

Key Words : Voltage sag, Interruption, Line-Interactive, DVR(Dynamic Voltage Compensator), RMS variation detector, DFT(Discrete Fourier Transform)

1. 서 론

넓은 지역에 걸쳐 분포된 전력계통은 낙뢰나 스위칭서지에 노출이 빈번하다. 낙뢰나 스위칭서지가 발생하면 타 지역으로의 영향을 차단하기 위해 보호기를 동작시켜 해당 지역의 전력공급을 순간적으로 차단하고 고장을 제거한 후 전력공급을 재개한다. 따라서 전력공급을 차단하였다 재개하는 동안에는 순간정전이 발생하여 입력전압에 민감한 부하에 막대한 손해를 유발한다.[1,2]

순간정전을 보상하기 위해 개발된 전력전자기기를 DVR이라고 하는데 그동안 여러 연구자에 의해 다양한 연구가 진행된 바 있다. DVR은 에너지저장을 가지고 있어 정상상태에서는 전원에서 전력을 받아 에너지저장에 저장하고 순간정전 발생 시에는 에너지저장에 저장되어 있는 에너지를 방출하여 보상한다. 그동안 커패시터, 초전도코일, 플라이휠 등이 에너지저장으로 연구에 검토되어왔다.[3,4]

수퍼커패시터는 기존의 전해커패시터에 비해 에너지저장 밀도가 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 수퍼

커패시터에 비해 가격은 저렴하나 충전속도가 아주 느려 DVR에는 적용이 불가능하다.[5]

기존의 DVR은 순간적인 전압강하 성분만을 직렬주입 변압기와 인버터를 사용하여 보상하는 구조로 UPS에 비해 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 직렬주입 변압기의 사용으로 인해 1차 측 단락사고 시 DVR의 보호, 정확한 보상시점 감지의 어려움, 역률제어의 난이성 등의 문제점을 가지고 있다. 또한 기존 DVR의 전압강하 검출 기법은 평균치 검출방법을 주로 사용하였다. 이러한 평균치 기법은 정확한 검출과 잡음에는 강인한 특성을 가지지만 검출에 최소 1/4주기 이상의 긴 시간을 필요로 하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서 제안하는 DVR은 이러한 단점을 극복하기 위하여 선로응동(line-interactive)형 UPS(Uninterruptible Power Supply)와 동일한 구조로 되어 있으며, 개선된 검출 기법 즉, 순시치 비교방식과 RMS변화율 비교방식을 함께 이용하는 Hybrid 검출 방식을 적용하였다. 따라서 전압sag나 순간정전이 발생하였을 때만 지연시간 2ms 이내로 보상이 이루어지도록 되어 있어 운전효율이 높은 효과적인 방식이다. 그리고 정상시에는 전력이 전원에서 부하로 직접 전달되고 에너지저장용 커패시터의 전압이 기준치 이하일 때만 충전동작을 하도록 설계되어있다. 시스템의 동작은 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션모델을 개발하여 확인하였고 하드웨어시스템의 개발을 위해 시작품을 제작하고 다양한 실험을 통해 성능을 검증하였다. 또한 제안된 알고리즘의 타당성을 높이기 위해, 실험에 적용된 전원전압은 3차고조파가 4.75%, 5차고조파가 3.41%, 7차고조파가 0.7% 포함된 것을 사용하였다. 위의 수치는 실제 삼상 계통전원을 측정하여 고조파분석을 실시한 내용이다.

* 준 회원 : 명지대 공대 전기공학과 석사과정
† 교신저자, 시니어회원 : 명지대 공대 전기공학과 교수 · 공박
E-mail : erichan@mju.ac.kr
접수일자 : 2009년 8월 20일
최종완료 : 2009년 9월 10일
※ 본 논문은 본 학회 2009년 하계학술대회 학술위원회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회 심사 후 본 논문에 게재 되었음.

2. Line-Interactive DVR

2.1 동작원리

그림 1은 본 논문에서 제안하는 삼상 DVR의 시스템 구성을 나타낸 것이다. 정상시에는 양방향 싸이리스터를 통해 전원에서 부하로 직접 전력을 전달하다가 전원전압에 장애가 발생하면 제어기가 이를 신속하게 검출한 후 슈퍼커패시터에 저장된 전기에너지를 3개의 H-브리지 인버터와 변압기를 통해 부하와 병렬로 주입한다. 전원전압장애의 검출은 각 상 전압에 독립적으로 제안된 알고리즘을 적용하여 이루어진다. 삼상전원전압 중 한상의 전원전압에 장애가 발생하면 삼상의 양방향 싸이리스터 스위치를 모두 차단하고 부하에 전력을 공급하도록 한다. 이를 통해 어떤 순간에 발생한 전원전압장애도 지연시간 2ms이내에 보상이 가능하도록 하였다. 방전된 슈퍼커패시터는 전원전압이 회복되면 변압기와 인버터를 거쳐 충전을 하여 다음 전원장애에 동작할 수 있도록 대비한다.

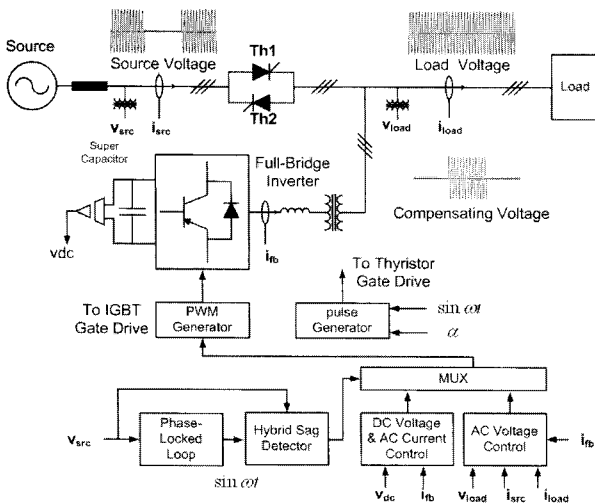


그림 1 제안하는 삼상 DVR의 구성도
Fig. 1 Configuration of proposed three-phase DVR

제안하는 DVR은 3개의 H-브리지형태의 단상인버터를 이용하여 삼상전압의 각 상전압을 제어하도록 되어있으며 출력전압은 정현파 PWM에 의해 생성하도록 되어 있다. 출력전압이 가능한 정현파를 이루기 위해서 MI(Modulation Index)변화에 따른 고조파분석을 실시하여 보상구간에서 고조파함유율이 최소가 되도록 하기 위해 MI가 0.6-0.88이내에서 동작하도록 설계하였다.

에너지저장의 용량은 순간정전의 지속시간과 부하용량에 따라 정해진다. 본 연구에서는 순간정전 지속시간을 4초로 가정하고 부하용량은 3kVA로 가정하였다. 따라서 슈퍼커패시터가 정전 시 공급해야 하는 에너지는 12kJ로 설계하였다. 슈퍼커패시터뱅크는 저장에너지의 크기, 직류전압, 단일전압전류용량을 고려하여 설계하였다.

본 연구에서는 Korchip사의 슈퍼커패시터를 단일소자로 구성하여 에너지저장뱅크를 설계하였는데 자세한 전기적특성은 표 1에 나타내었다.

표 1 슈퍼커패시터 사양

Table 1 Specification of supercapacitor

Items	Characteristics
Rated working voltage	2.7 VDC
Operating temperature	-40 to +60oC
Nominal Cap. Range	1 to 100F
Capacitance tolerance	-20% to +40%(at 25 C12oC)

슈퍼커패시터뱅크는 동작성과 확장성을 고려하여 최대저장용량의 20%를 사용하는 것으로 설계하였다. 최대전류는 최대전력을 방출할 때 흐르고, 뱅크에 걸리는 최소전압은 최대방출전력과 전류용량을 고려하여 결정하였다.

슈퍼커패시터는 8%의 여유를 고려하여 2.7V 최대동작전압에서 92%인 2.5V를 사용하는 것으로 하였고 최소전압은 2.0V로 정하였다.

따라서 최소직류링크전압과 단일소자의 최소동작전압, 그리고 충분한 동작여유를 고려하여 슈퍼커패시터100개를 직렬로 연결하여 제작하였다.

2.2 순간전압강하 및 순간정전 검출

삼상전원전압 중 한 상의 전원전압은 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 순시치로 정확하고 신속한 전압강하 검출이 가능할 것이다. 하지만 일반적인 전원은 후자의 경우가 대부분이므로 고조파에 따른 판단오류를 고려하지 않을 수 없다.

그래서 삼상 전원의 각 상전압의 전압강하 검출기법으로 순시치 비교방식과 RMS변화율 비교방식, 이 2가지를 혼합한 하이브리드 구조를 채택하였다.[6,7]

2.2.1 순시치 비교방식

그림 2는 전원장애를 감지하기 위한 신호를 전원전압과 같이 보이고 있다. 검출한 전원전압은 순시공칭전압 피크값을 이용하여 식(2)와 같이 순시 pu값으로 변환된다.

$$v_{s,pu} = v_s / v_{sp, rated} \quad (2)$$

전압강하검출 임계 순시값은 0교차점 부근의 일정영역은 크기가 작기 때문에 전압강하 검출이 무의미할 뿐만 아니라 불가능하므로 0으로 처리하였다. 전압강하 검출 임계 순시값을 $v_{sagdetect}$ 라고 정의하면 전원전압의 위상에 따라 이 값은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$v_{sagdetect} = \begin{cases} sag_pu * \sin epll, & \theta_1 \leq \theta \leq \pi - \theta_1 \\ 0, & -\pi + \theta_1 \leq \theta \leq -\theta_1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

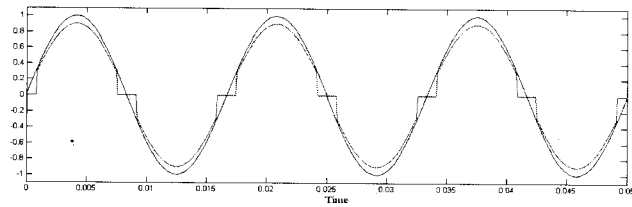


그림 2 순시치 비교방식

Fig. 2 Instantaneous Value Comparison Method

순시치 비교방식을 위해 p.u로 변환된 전원전압과 전압강하 검출 임계 순시값을 그림 2에 도시하였다. 전원전압의 순시 절대값이 임계 순시 절대값보다 작아지면 순시치 전압강하로 판단한다. 그리고 순시치 비교방식에 의한 전압강하 판단은 RMS변화를 비교방식 적용을 위한 트리거 역할을 하게 된다.

2.2.2 RMS변화율 비교방식

RMS변화를 비교방식은 순시치 비교방식에 의한 전압강하 판단 후에 정격 주파수 기본파의 RMS값이 전압강하로 진행 중인지 체크하는 방식으로 구성된다. 전원전압의 기본파 실효치는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 측정하였다.

전원전압 $v(t)$ 를 푸리에 시리즈로 표현하면 식(4)와 같다.

$$v(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_0 t \quad (4)$$

$n=1$ 일 때 실수부와 허수부로 나누어 기본파의 크기를 구한다. n 이 1일 때의 계수는 다음과 같다.

$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \cos \omega_0 t dt: v(t) \text{의 Real} \quad (5)$$

$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \sin \omega_0 t dt: v(t) \text{의 Imaginary} \quad (6)$$

식 (5), (6)을 DFT하면 다음과 같다.

$$a_1 = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=0}^N v\left(t - i \frac{T}{N}\right) \cos\left(2\pi \frac{i}{N}\right) \quad (7)$$

$$b_1 = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=0}^N v\left(t - i \frac{T}{N}\right) \sin\left(2\pi \frac{i}{N}\right) \quad (8)$$

$$v_s^{1st} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad (9)$$

식 (7)과 (8)의 결과인 a_1 과 b_1 으로 식 (9)를 통해 전원전압 기본파의 크기인 v_s^{1st} 를 계산한다.

그림 3은 순시치 비교방식과 RMS변화율 비교방식1, RMS변화율 비교방식2로 구성되어 있는 Hybrid검출방식의 구조를 나타내고 있다. 그림에서 1번 블록은 순시치 비교방식을 나타내고, 2번 블록은 RMS변화율 비교방식1을 나타내며, 3번 블록은 RMS변화율 비교방식2를 나타낸다. 전원전압은 순시치 방식, sliding-window DFT연산, 그리고 기본파의 RMS연산알고리즘에 의해 계속적으로 연산되고, 검출

알고리즘은 연산된 값을 이용해서 순간전압강하와 순간정전을 검출하고 있다. 만약 순간전압강하가 검출되면, RMS변화율 비교방식1이 선택되고 현재 시점의 RMS값을 $X1$ 에 저장한다. 이어서, RMS변화율 비교방식1은 전원전압의 RMS값 연산을 8번의 제어주기 동안 수행한 후 $X2$ 에 저장한다. 이렇게 $X1$ 과 $X2$ 를 구하는 시간은 약 0.8ms가 소요된다. 왜냐하면 제어기의 제어주기가 100us이기 때문이다. 저장된 $X1$ 에서 $X2$ 를 빼면 RMS변화율을 연산할 수 있고, 만약 RMS변화율 ΔX 가 sag판단 기준값인 ΔE 보다 크거나, 최종 측정된 전원전압 RMS값이 0.9보다 작다면 제안된 검출 알고리즘은 sag로 판단한다. sag판단 기준값인 ΔE 는 $n\pi + 20^\circ$ 에서 발생한 0.9 sag에서 연산된 RMS변화율의 최소값에 의해 정해진다.

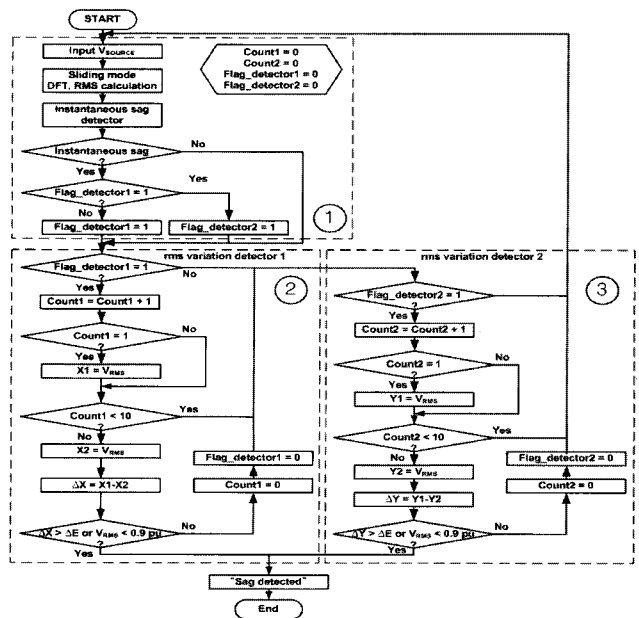


그림 3 Hybrid검출방식을 이용한 순간정전 검출 알고리즘
Fig. 3 Hybrid detection method for voltage interruption

만약 RMS변화율 비교방식1이 동작하고 있는 동안에 순시치 방식에 의해 sag가 다시 검출된다면 RMS변화율 비교방식1로만 구성된 검출 알고리즘에서는 0.8ms이내에 RMS변화율을 판단할 수 없다. 이 점을 해결하기 위해서 RMS변화율 비교방식2를 RMS변화율 비교방식1과 병렬로 구성하여 RMS변화율 비교방식1이 동작하고 있는 동안에 순시치 비교방식에 의해 검출된 sag에 동작하도록 설정하였다. 그러므로 두 개의 RMS변화율 비교방식은 서로 상보적으로 동작하고 서로의 역할을 보충한다.

제안된 삼상DVR은 검출 알고리즘을 이용하여 신속하게 sag검출을 함으로서, 2ms이내에 보상동작을 완료하도록 하였다.

2.3 Thyristor 스위치 동작

개발한 시스템은 sag 발생 시 삼상전원전압 차단을 위해 3개의 양방향 사이리스터를 사용한다. 하나의 양방향 사이

리스터 스위치의 동작을 살펴보면, 정상시에는 ON상태를 유지하다가 전원전압강하가 발생하면 보상을 위해 전원을 차단하는 역할을 수행한다.

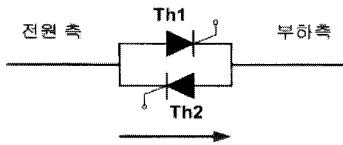


그림 4 사이리스터 양방향 스위치
Fig. 4 Thyristor back-to-back switch

그림 4는 사이리스터 양방향스위치의 구조를 나타낸다. 그리고 두개의 사이리스터를 각각 Th1과 Th2로 명명하였고 그것들의 게이트 신호를 그림 5와 같이 생성하였다.

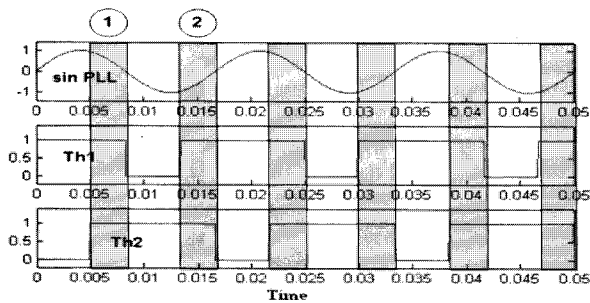


그림 5 사이리스터 스위치 게이트펄스 공급
Fig. 5 Gate pulse supplying for thyristor switch

사이리스터는 전상 부하와 지상부하 모두 전원전압과 동일한 형태의 전원을 공급해야 한다. 이를 위해 Th1과 Th2의 게이트 신호는 1.5π 동안 ON상태를 유지한다. 이렇게 될 경우 한 주기에 두 번 각각 0.5π 씩 2개의 스위치에 ON신호가 1로 유지된다. 그 영역을 그림 5에 표시하였다. 그리고 0.5π 에서 π 까지를 구간 1, 1.5π 에서 2π 까지를 구간 2로 구분하였다.

사이리스터는 전류가 역으로 흘러야 꺼지므로 꺼지지 않은 상태에서 인버터가 보상을 시작하면 인버터 출력전류는 부하가 아닌 전원 측으로 가게 된다. 이렇게 될 경우 임피던스가 상당히 작기 때문에 과전류에 의해 인버터가 소손될 뿐만 아니라 부하 측에도 충분한 전압이 형성되지 않게 된다. 이를 방지하기 위해서는 스위치를 강제로 끈 후에 전압 보상 동작이 이루어져야 한다.

그림 5에 보면 구간 1의 경우 Th1과 Th2의 게이트 신호는 ON이다. 이 상태에서 sag가 발생하게 되면 전원전압은 양의 전압이었고 인버터 출력전압 또한 양의 전압을 출력할 것이다. sag 검출 이후에 사이리스터 게이트 신호는 꺼지만 즉시 보상이 들어가게 되면 Th1은 인버터 출력전압에 의해 꺼지고 Th2는 도통이 된다. 이러한 이유로 역조류가 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 전원전류를 검출한 후 구간1과 2에서는 2개의 스위치를 모두 끄는 기능이 추가되어야 한다.

식 (10)은 전류 변화량에 따른 인버터 출력전압을 나타내는 수식이다.

$$v_{inv} = L \frac{\Delta I_{inv}}{T} + v_{src} \tag{10}$$

sag가 발생하면 발생시점의 전원위상과 전원전류를 이용하여 인버터 전압 주입시 전류의 방향과 같은 스위치를 끄는 동작을 수행하게 된다. 식 (11)은 스위치를 끄기 위한 인버터 출력전압 산출 식이다.

$$v_{inv} = v_{src} K_T + L \frac{I_{src}}{K_T T} \tag{11}$$

여기에서 v_{inv} 는 인버터 출력전압, K_T 는 변압기 턴수비, L 은 연계용 리액턴스와 변압기 누설 리액턴스의 합, T 는 제어연산주기, I_{src} 는 sag 발생시점의 전원전류이다. 이렇게 연산된 v_{src} 는 인버터 최저 출력전압으로 나누어서 사이리스터를 끄기 위한 시간을 연산한다. 또한 이렇게 인버터가 스위치를 끄기 위해 전류를 주입해도 변압기 특성으로 인한 마진을 고려하여 인버터는 SCR을 끄는 동작을 수행한다. 이 동작은 Th1과 Th2의 ON 신호가 겹치는 구간에만 적용된다.

2.4 전압제어

sag가 발생하면 2.3절에서의 역조류 방지 전압 발생 후 계통의 공칭전압의 크기의 전압을 출력하여야 한다. 일반적인 P제어를 수행할 경우 정상상태 에러가 발생하며 과형 또한 부하의 형태에 따라 왜곡될 수 있다. 이렇게 될 경우 커패시터 전류를 이용한 PD제어 방식이 가장 과형의 왜곡을 차단할 수 있는 방식이다. 인버터의 출력단에는 연계용 리액터와 필터용 커패시터가 LC필터 역할을 수행하게 된다. 이것은 인버터출력의 고조파를 차단하기 위함이다. 일반적인 P제어 방식을 사용할 때 인버터 출력전압이 Step으로 주입될 경우 오버슈트와 오실레이션에 의해 과형이 왜곡되고 안정된 전압을 주입할 수 없다. 이를 위해 커패시터의 전류를 검출하여 그것의 미분값을 주입함으로써 출력전압의 왜곡을 차단할 수 있다. 또한 도달시간도 단축이 가능하다. 하지만 부하의 경·중에 따라 출력전압의 정상상태 에러가 발생하므로 부하전류의 크기를 이용하여 연계 변압기에 따른 전압강하 정도를 연산하여 기준 전압에 보상함으로써 PD제어의 단점을 극복하였다. 그림 6은 개발한 DVR에 적용한 전압제어기의 블록도이다.

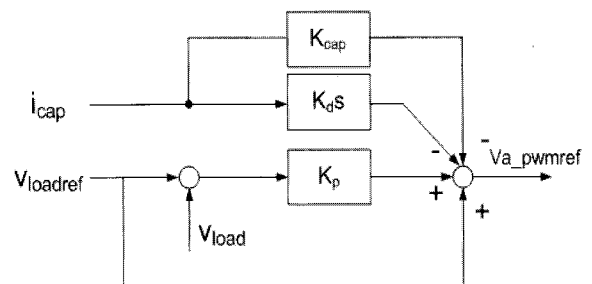


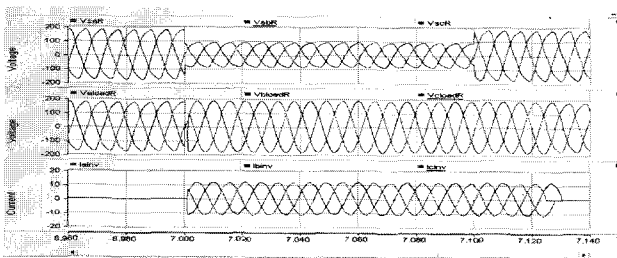
그림 6 인버터 출력전압 제어기
Fig. 6 Inverter output voltage control

3. 시뮬레이션

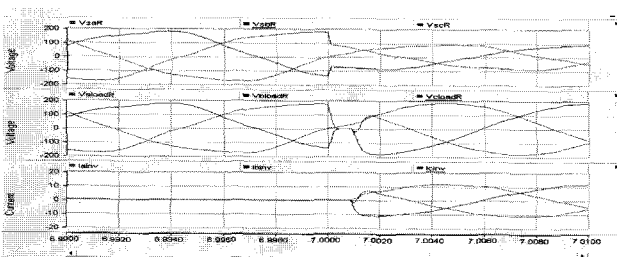
본 연구에서 제안하는 삼상 선로 응동형 DVR의 동작을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 가능한 하드웨어 제작을 고려하여 실제에 가깝도록 전력회로와 제어기를 구성하였으며 특히 제어기는 하드웨어 제작 시 DSP 보드로 구현을 고려하여 PWM 펄스 발생과 제어동작에서 발생하는 지연을 실제 상황과 동등하게 표현 가능하도록 C 프로그램으로 만든 사용자정의 모델로 개발하였다. 표 2는 시뮬레이션에서 검증한 3kVA 용량 삼상 선로 응동형 DVR의 시스템 파라미터를 나타낸 것이다.

표 2 시스템 파라미터
Table 2 System Parameters

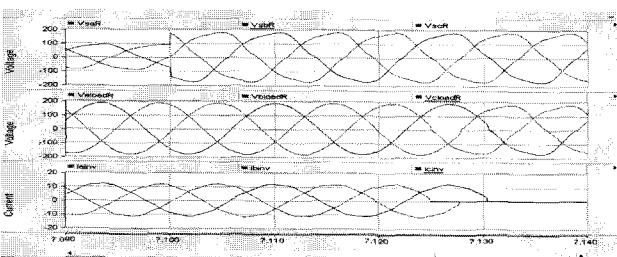
정격전압	220V
정격 주파수	50Hz, 60Hz
정격 용량	3kVA
DC 커패시터	1.0F
변압기	3kVA, 220:220V
IGBT	600V, 200A
스위칭주파수	10kHz



(a) Sag 발생 시 삼상전원전압, 부하전압, 보상전류



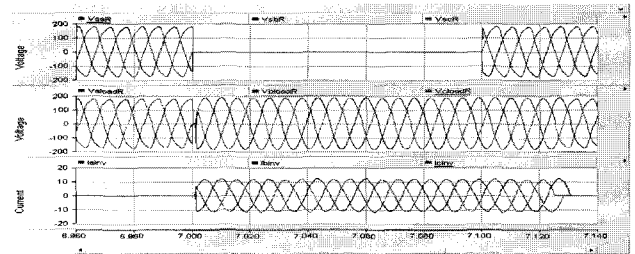
(b) Sag 시작부분 확대 파형



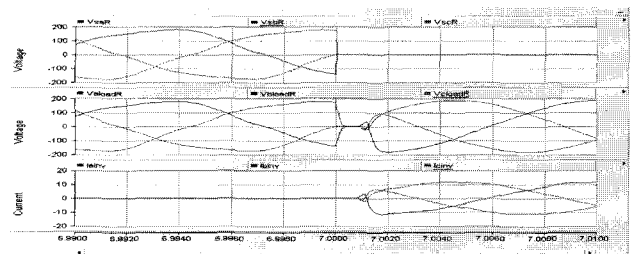
(c) Sag 종료부분 확대 파형

그림 7 순간전압강하 발생 시 시뮬레이션 결과
Fig. 7 Simulation results for voltage sag

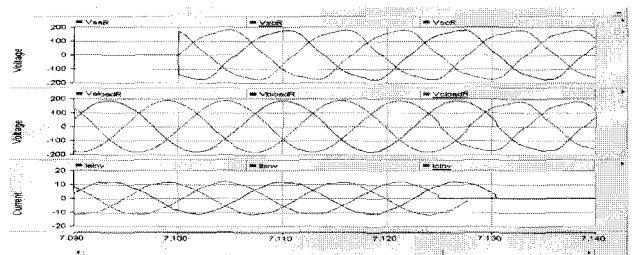
그림 7의 (a)는 50% 순간전압강하가 발생하였을 경우 삼상전원전압과 삼상부하전압 그리고 인버터가 공급하는 삼상보상전류를 나타낸 것이다. 그리고 그림 7의 (b)와 (c)는 보상이 시작되는 점과 종료되는 점의 파형을 확대한 것이다. 순간전압강하가 검출되고 전압주입이 이루어지기까지 약 2ms 이내의 지연을 갖는 것을 알 수 있다. 또한 전원전압이 원상 복귀되고 약 20ms 후에 전압주입을 하던 인버터가 차단됨을 알 수 있다. 따라서 제안하는 시스템은 순간전압강하 발생 시 우수한 보상성능을 가짐을 알 수 있다.



(a) 순간정전 발생 시 삼상전원전압, 부하전압, 보상전류



(b) 순간정전 시작부분 확대 파형



(c) 순간정전 종료부분 확대 파형

그림 8 순간정전 발생 시 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Simulation results for voltage interruption

그림 8의 (a)는 순간정전이 발생하였을 경우 전원전압과 부하전압 그리고 인버터가 공급하는 보상전류를 나타낸 것이다. 그리고 그림 8의 (b)와 (c)는 보상이 시작되는 점과 종료되는 점의 파형을 확대한 것이다. 순간전압강하가 검출되고 전압주입이 이루어지기까지 약 2ms 이내의 지연을 갖는 것을 알 수 있다. 또한 전원전압이 원상 복귀되고 약 20ms 후에 전압주입을 하던 인버터가 차단됨을 알 수 있다. 따라서 제안하는 시스템은 순간정전 발생 시 우수한 보상성능을 가짐을 알 수 있다.

4. 프로토타입 제작 및 시험

시뮬레이션 결과를 바탕으로 3kVA 하드웨어 프로토타입을 제작하고 그 동작을 실험으로 검증하였다. 그림 9는 제작한 삼상 DVR의 사진을 나타낸 것이다. 하드웨어 시스템은 크게 6-leg 인버터모듈과 양방향 싸이리스터 스위치, 전압주입용 삼상변압기, 에너지저장용 슈퍼커패시터뱅크, 게이트드라이브, DSP controller로 구성되어 있다.

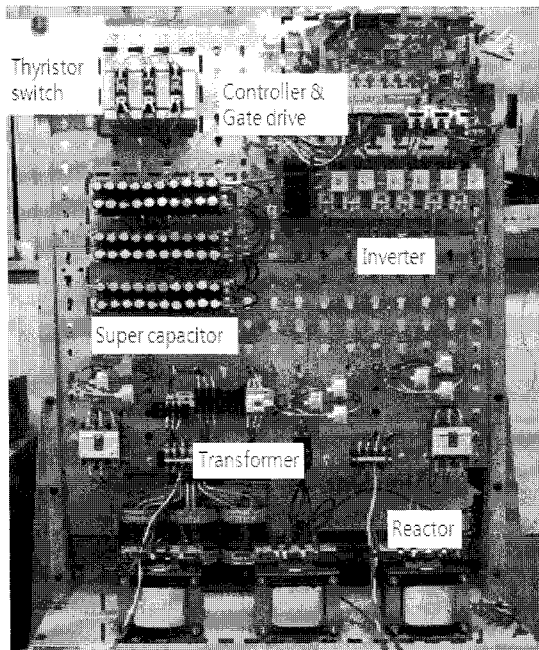


그림 9 개발한 삼상 DVR 시작품
Fig. 9 Prototype of developed three-phase DVR

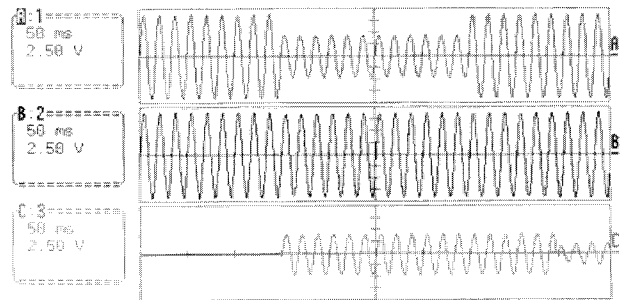
실험을 위해 전원전압의 sag와 정전을 모의 발생하는 별도의 삼상 전원 모의장치를 사용하고 부하는 3kVA의 용량의 저항부하와 유도부하를 개발한 DVR과 결합하여 실험을 실시하였다.

개발한 DVR 시스템의 가장 큰 특징은 신속한 전압회란의 검출인데 이를 위해 2절에서 설명한 알고리즘을 실시간으로 구현하기 위해 고속연산이 가능한 마이크로프로세서를 필요로 한다. 또한 시스템의 동작 상태를 감시하기 위한 디스플레이에 다양한 정보를 실시간으로 연산하고 표시하기 위해서는 고성능 마이크로프로세서를 필요로 한다. 개발된 시스템에서는 TI사에서 제공하는 DSP 칩인 TSM320vc33-150을 기반으로 하는 새로운 제어보드를 설계 제작하여 사용하였다.

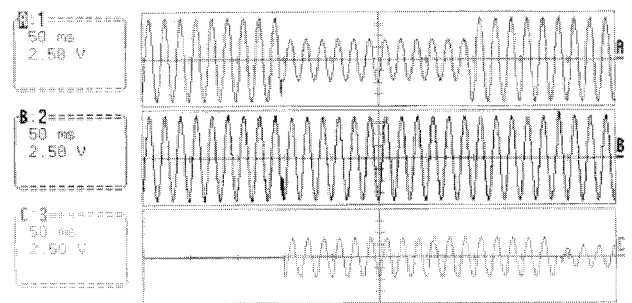
개발된 시스템은 전원 투입과 동시에 전원전압의 주파수를 연산하여 정격 주파수를 자동으로 설정하도록 되어 있으며 모든 동작은 자동으로 동작하도록 구현하였다.

그림 10의 (a)는 50% 순간전압강하가 발생하였을 경우 A상의 전원전압과 부하전압 그리고 인버터가 공급하는 보상전류를 나타낸 것이며, (b)는 B상, (c)는 C상의 전원전압과 부하전압 그리고 인버터가 공급하는 보상전류를 나타내는 것이다. 그리고 그림 10의 (b)는 보상이 시작되는 점의 파형을 확대한 것이다. 순간전압강하가 검출되고 전압주입이 이

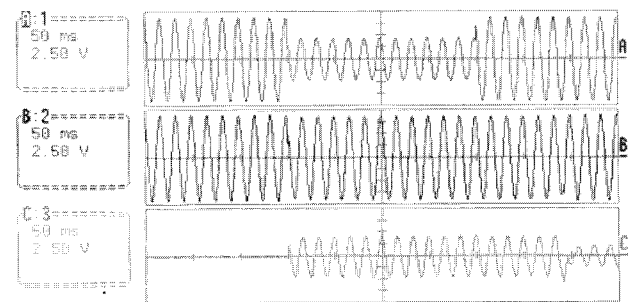
루어지기까지 약 2ms 이내의 지연을 갖는 것을 알 수 있다. 또한 전원전압이 원상 복귀되고 약 100ms 후에 전압주입을 하던 인버터가 차단됨을 알 수 있다. 따라서 제안하는 시스템은 순간전압강하 발생 시 우수한 보상성능을 가짐을 알 수 있다.



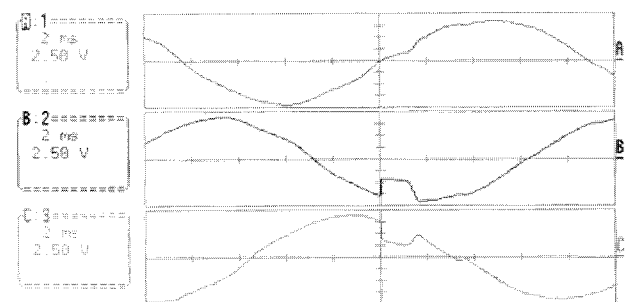
(a) sag 발생 시 A상 전원전압, 부하전압, 보상전류



(b) sag 발생 시 B상 전원전압, 부하전압, 보상전류



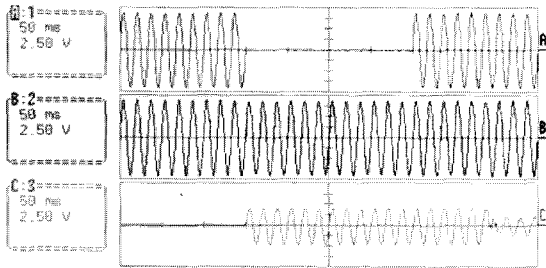
(c) sag 발생 시 C상 전원전압, 부하전압, 보상전류



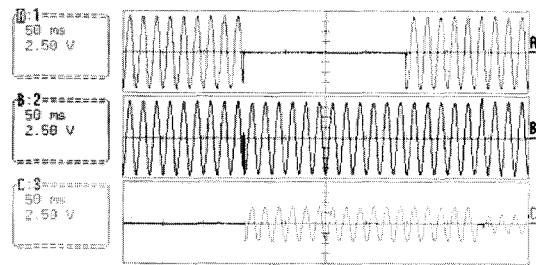
(d) 삼상부하전압의 sag 시작부분 확대 파형

그림 10 Voltage sag 발생 시 실험 결과
Fig. 10 Experimental results for voltage sag

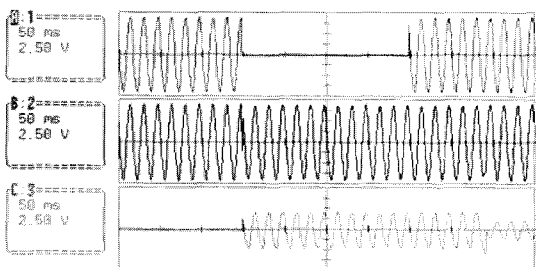
그림 11의 (a)는 순간정전이 발생하였을 경우 A상의 전원전압과 부하전압 그리고 인버터가 공급하는 보상전류를 나타낸 것이며, (b)는 B상, (c)는 C상의 전원전압과 부하전압 그리고 인버터가 공급하는 보상전류를 나타내는 것이다. 그리고 그림 10의 (d)는 보상이 시작되는 점의 파형을 확대한 것이다. 순간전압강하가 검출되고 전압주입이 이루어지기까지 약 2ms 이내의 지연을 갖는 것을 알 수 있다. 또한 전원전압이 원상 복구되고 약 100ms 후에 전압주입을 하던 인버터가 차단됨을 알 수 있다. 따라서 제안하는 시스템은 순간정전 발생 시 우수한 보상성능을 가짐을 알 수 있다.



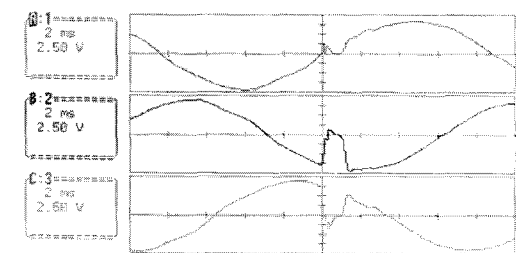
(a) 순간정전 발생 시 A상 전원전압, 부하전압, 보상전류



(b) 순간정전 발생 시 B상 전원전압, 부하전압, 보상전류



(c) 순간정전 발생 시 C상 전원전압, 부하전압, 보상전류



(d) 삼상부하전압의 순간정전 시작부분 확대 파형

그림 11 순간정전 발생 시 실험 결과

Fig. 11 Experimental results for voltage interruption

5. 결 론

본 논문에서는 수퍼커패시터를 이용한 삼상 선로용동형 DVR을 제안하고 그 동작특성을 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션을 실시하여 확인하였다. 또한 제품개발을 염두에 두어 시작품을 제작하고 다양한 실험을 실시하여 순간정전과 전압sag에 대해 보상이 가능한 하드웨어 프로토타입을 개발하였다.

본 논문에서 개발한 DVR은 선로용동(line-interactive)형 UPS(Uninterruptible Power Supply)와 동일한 구조로 전압 sag나 순간정전이 발생하였을 때만 지연시간 2ms 이내로 보상이 이루어지도록 설계되어 있다. 그리고 평상시에는 전력이 전원에서 부하로 직접 전달되고 에너지저장용 커패시터의 전압이 기준치 이하일 때만 충전동작을 하도록 설계되어 있다.

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

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

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, pp.330-338, Jan. 2006.
- [2] N. Woodley, L. Morgan, A. Sundaram, "Experience with an Inverter-based Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.14, No.3, pp.1181-1186, July 1999.
- [3] C. Zhan, V. Ramachandaramurthy, A. Arulampalam, C. Fitzler, S. Kromlidis, M. Barnes, N. Jenkins, "Dynamic Voltage Restorer based on Voltage-Space Vector PWM Control", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.37, No.6, pp.1855-1863, Nov.-Dec. 2001.
- [4] M. Newman, D. Holmes, J. Nielsen, F. Blaabjerg, "A Dynamic Voltage Restorer with Selective Harmonic Compensation at Medium Voltage Level", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.41, No.6, pp.1744-1753, Nov.-Dec. 2005.
- [5] S. Choi, B. Li, D. Vilathgamuwa, "Design and Analysis of the Inverter-side Filter used in the Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No.6, pp.1058-1066, Nov. 2002.
- [6] C. Fitzler, M. Barnes, P. Green, "Voltage Sag

Detection Technique for a Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Industry Application, Vol.40, No.1, pp.203-212, Jan.-Feb. 2004.

- [7] R. Naidoo and P.Pillay, "A New Method of Voltage Sag and Swell Detection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.22, No.2, pp.1056-1063, April 2007.

저 자 소 개



정 종 규 (鄭 鍾 圭)

1981년 3월 21일생.
2008년 명지대 전기공학과 졸업.
현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



한 병 문 (韓 炳 文)

1953년 7월 5일생.
1976년 서울대 전기공학과 졸업.
1988년 미 아리조나주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
미 Westinghouse중앙연구소 선임연구원.
현재 명지대 전기공학과 교수.