

개선된 전압계측법에 의한 off-line type 동적전압보상기의 개발

한중희* 오중민** 손진근*** 전희중*
 숭실대학교*, 김천대학**, 경원대학교***

Off-line Type Dynamic Voltage Restorer Development by improved Voltage measuring method

Jong-Hee Han*, Joong-Min Oh**, Jin-Geun Shon**, Hee-Jong Jeon*
 Soong-Sil University*, Gim-Cheon College**, Kyung-Won University***

Abstract - 본 논문에서는 효율면에서 많은 장점을 가진 Off-line Type DVR을 개발하는데 있어서 중요한 문제인 순시적 전압강하 및 위상각 검출에 대한 개선된 계측 기법에 관한 연구를 수행하였다. 상시 가동되는 On-line Type과는 다르게 순시적 전압강하나 순간정전이 발생 시에만 동작하는 Off-line Type DVR은 검출부의 정밀함이 전체 시스템의 신뢰도를 결정한다. 따라서, 본 논문에서는 순시적 전압강하 및 위상각 검출에 있어서 개선된 계측 기법을 제시하고, EDLC를 채용한 5[kVA] 용량의 DVR을 개발하여 그 실험 및 검증 결과를 제시한다.

1. 서 론

불과 몇 년 전까지만 하여도 전기 소비자의 주된 관심사는 전력공급의 중단이 없는 지속성이었으나 최근에는 전기품질의 문제가 민감한 관심사항으로 급격히 대두되고 있다. 이러한 전기품질(power quality)문제는 마이크로프로세서에 기반한 전력전자 장비 및 컴퓨터를 위시한 고가의 정밀 제어장비와 의료장비 등 전기적 왜곡에 민감한 정밀 부하 설비의 사용이 급격히 증가하면서 그 관심이 고조되었는데, 이는 전압의 순시적 변동이나 순간 정전 등에 대한 경제적 피해가 매우 크기 때문이다.[1][4]

순시전압강하를 보상하는 방법으로는 무정전전원장치(UPS)를 설치하는 방법이 보편적으로 사용되어져 왔다. 그러나, UPS는 배터리를 사용하기 때문에 주기적인 유지·보수가 필요하며 용량이 제한적이기 때문에 한정된 부하에서만 사용될 수 있다는 단점 등 비용과 효율적인 면에서 많은 문제점을 안고 있어 최근에는 배전계통의 광범위한 구간에서 순시전압강하 보상 등 전력품질 개선을 위한 대책 등이 강구되고 있으며, 그 일환으로 직렬보상장치 또는 동적전압보상기(DVR)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.[3][4]

DVR 시스템은 평상시에는 전기가중충격패시터(EDLC)에 에너지를 저장하고 있다가 순시전압강하 및 순간정전이 발생하는 순간에만 오프라인 방식으로 부속 전압을 보상하는 방식이기 때문에 운전 효율이 높은 효과적인 방식이라는 평가를 받고 있다.

그러나 DVR 시스템이 동작하기 위해서는 순시적 전압강하 및 위상을 검출해 동작 지령을 내려줘야만 한다. 이는 일반적인 전력전자시스템에서의 Custom Power 기기 및 전력변환기기 등에 대한 각종 신호의 계측이 상당히 어려운 문제이듯이 순시적 전압강하 및 위상을 검출하는 것이 시스템의 안정성 및 신뢰도에 큰 영향을 주게 된다. 기존의 평균적 계측기법은 최소 한 주기 정도의 시간이 필요하며, 검출 초기 기간 동안에 한 주기의 시간이 계산될 수 없는 단점 등 기존의 소프트웨어적인 제어 기법에는 절단 오차(Truncation Error)로 인해 오차가 가중되게 된다.

따라서 본 논문에서는 순시적 전압강하 및 위상 검출에 대한 개선된 기법을 제시한다. 이는 순시치 이동 평균법 계측에 의해 실효치 전압 검출을 하고 노이즈를 줄였으며 앞에서 말한 절단오차를 줄이기 위해 실효값을 DC 전압 값으로 변환 검출하는 기법을 제시하고 확인·검증한다.

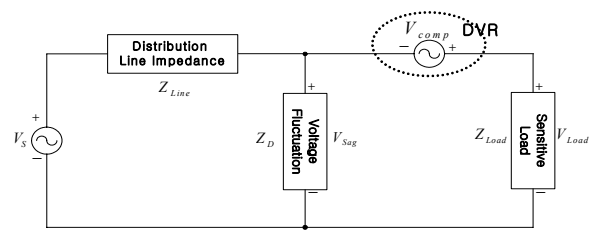
2. DVR 시스템의 등가 모델링과 회로 구성

전압 Sag는 배전계통의 특정 지점에서의 합성 임피던스에 인가되는 전압이 변동하는 것으로, 그 원인은 인근지역에서의 사고나 부하변동으로 인하여 특정 지점에서의 합성 임피던스가 변동하기 때문이라 할 수가 있다.

이를 설명하기 위하여 그림 1과 같은 등가모델로 표현할 수 있다. 부하 측에서 본 계통의 전압을 V_s 라하고, 전송 선로 및 부하 임피던스는 Z_{line} 및 Z_{load} , 부하 인근의 합성 임피던스를 Z_D 라 정의할 때, 정상적인 상태에서는 Z_D 와 Z_{load} 가 적절한 균형을 이루며 Z_{load} 의 양단전압 V_{Load} 가 공칭 전압을 유지하게 된다.

그러나 사고가 발생하게 되면 Z_D 가 짧은 시간 동안 급격하게 변화하

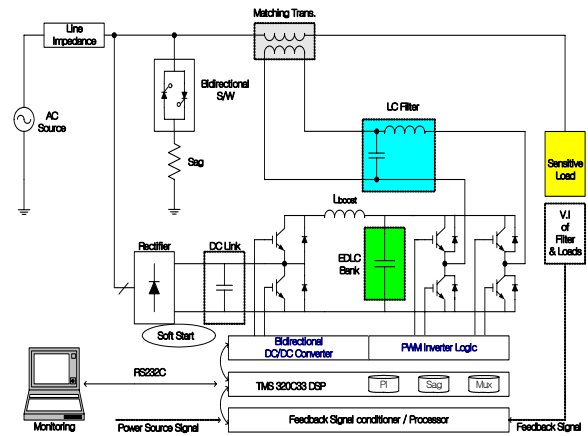
므로 V_{Load} 가 변화하게 되며, 전압 Sag는 Z_D 가 정상상태에 비하여 작아지는 경우로 $Z_D \ll Z_{load}$ 와 같은 관계가 성립되고 많은 전류가 Z_D 를 통하여 흐르게 되어 부하에 공급되는 전력이 감소하고 결과적으로 부하에 인가되는 전압이 낮아지게 된다.



〈그림 1〉 전압 Sag와 DVR의 등가회로

따라서 전압 Sag로부터 민감한 단위 부하 전압을 보상하기 위하여 배전계통과 직렬로 연결된 DVR 시스템은 그림 2와 같이 구성된다. 즉 외란에 의하여 부하에 전압 sag 및 순간 정전이 발생하였을 때 Sag가 발생한 전압에 매칭 변압기를 통해 보상 전압을 배전계통에 더해주는 장치이다.

DVR 시스템의 주된 구성은 1) 필터를 포함한 DC/AC 에너지 변환 부분(인버터 회로) 2) AC/DC 에너지 변환 부분 및 에너지 저장 디바이스(양방향성 DC/DC 컨버터) 3) 전력계통과 연결시켜주는 커플링 부분(직렬 또는 매칭 변압기)으로 크게 나눌 수 있다.



〈그림 2〉 Off-Line Type DVR 설계 시스템의 전체 구성도

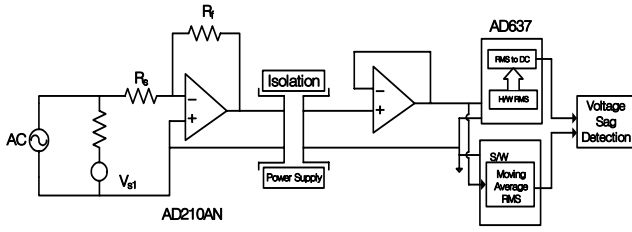
3. 개선된 전압 Sag 및 위상검출 기법

3.1 전압 Sag의 검출

3.1.1 H/W의 구성

Inverter 및 DVR의 보상장치 동작을 위해서는 선로의 전압과 전류를 검출하여 동작 신호를 내보내 주어야 한다. 본 논문의 실험에서는 전압 계측을 위하여 AD210AN을 사용하였고, 전류 계측을 위해서는 LEM사의 LA 25-NP를 사용하여 검출부를 구성하였다.

그림 3은 AD210AN을 사용한 전압 센서의 구성도이다.



〈그림 3〉 절연용 전압센서 및 RMS 검출회로 구성

그림 3에서와 같이 전압 센서는 분압저항을 사용하는 간단한 방식이다. 그러나 제어부의 보호를 위해 계통측과 제어부를 분리할 수 있는 Isolation amplifier를 사용하여야 한다.

Isolation amplifier를 통한 출력전압은 식 (1)과 같다.

$$V_{out} = -R_f \left[\left(\frac{V_s}{R_s} \right) + I_s \right] \quad (1)$$

그리고, AD210AN을 통해 검출된 전압을 소프트웨어적으로 RMS값으로 변환해 줄 경우 아날로그 신호를 디지털화할 때 디지털화된 값이 허용되는 최대값보다 큰 경우에 발생하는 절단 오차(truncation error) 때문에 오차가 가중된다. 이 오차 가중을 방지하기 위해 고정밀도의 Wide-band RMS-to-DC Converter인 AD637를 사용해 RMS값을 DC 값으로 변환해 DSP에 피드백 입력으로 넣어줘야 한다.

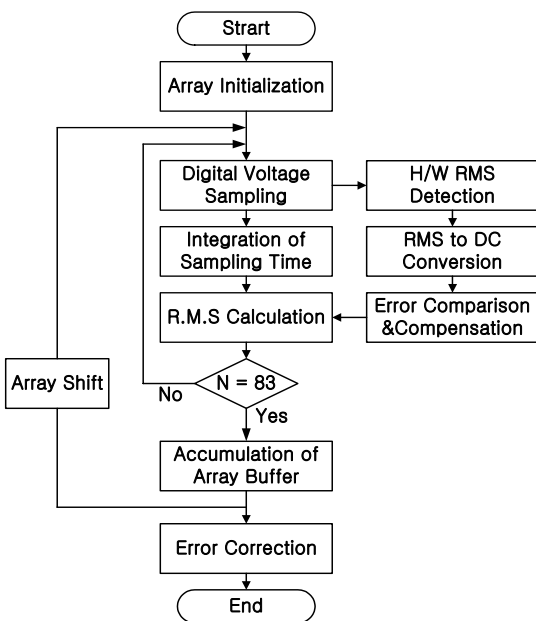
LEM사의 LA 25-NP는 내부 turn ratio에 따라 5[A]에서 최대 36[A]까지의 전류 범위를 가지고 있고, 출력 측의 전압에 의해 측정이 가능한 센서이다.

3.1.2 S/W의 구성

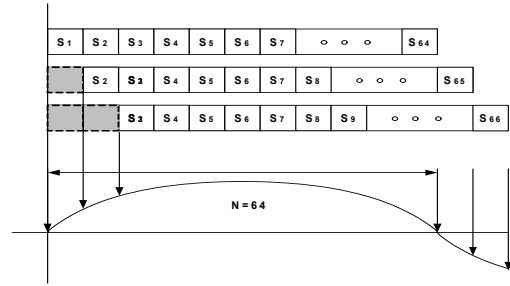
전압 Sag를 디지털로 처리하기 위한 일반적인 기법은 평균치를 이용한 검출 방법이 있다. 그러나 이 방법은 정해진 매 주기마다 샘플링 값을 얻어 전압을 계산하는 방식으로 정확한 검출과 잡음에는 강인한 특성을 가지지만 검출시간이 비교적 길다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 개선된 검출기법 즉, 순시치(Instantaneous value) 이동평균 기법에 의한 전압 실효값의 검출 기법을 생각할 수 있다.

그림 5는 순시적 계측을 위한 디지털 처리의 샘플링 저장 개념도를 나타낸 것이다. 순시적 이동평균 계측기법을 이용하여 교류량을 직류량으로 표현하기 위해서는 실효치 개념의 접근이 필요하며, 계측 값이 순시적 개념을 갖도록 지속적으로 반복하여 검출하도록 한다.

계측값을 디지털적으로 처리하기 위해서는 샘플링 과정을 거치는데 매 샘플링 값마다 평균값을 계산하여 정해진 순서에 따라 직류량을 실효치 개념의 교류량으로 처리하도록 하였으며, 앞에서 말한 절단 오차(truncation error)를 방지하기 위해서 실효치 처리를 소프트웨어적으로 할 뿐 아니라, RMS-to-DC Converter를 이용하여 오차 가중을 방지하였다. 이에 대한 순서도를 그림 4에 나타내었다.



〈그림 4〉 순시적 실효치 이동평균기법의 순서도

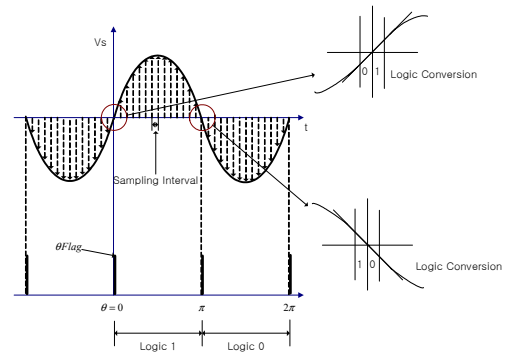


〈그림 5〉 순시적 계측을 위한 샘플링 저장 개념도

3.2 개선된 위상각 검출 알고리즘

본 논문에서 제작·실험한 DVR 시스템은 순시적 전압강하의 검출 알고리즘 및 입력전압의 동기화에 대한 정확한 위상각의 투입이 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 가령, 그림 5에서 설명된 순시적 이동평균 기법은 최초의 샘플링 값이 가장 먼저 삭제되면서 실효치의 계산이 이동하게 되는데, 이 방법 역시 제로 크로싱은 고려되어야 하며, 최초의 반주기 동안에 샘플링 수에 맞는 계산을 위해서는 정확한 제로 크로싱이 고려되어야 한다. 또한 입력전압의 동기화된 DVR 출력전압의 정확한 위상각 투입도 역시 정확한 제로 크로싱이 고려되어야 한다.

따라서, 그림 6과 같은 개선된 알고리즘을 사용하였는데, 이 방식은 위상각 θ 가 0도, 180도, 360도에서 단순히 전압의 크기만을 비교하여 제로 크로싱을 하는 방식을 탈피하여, 그림의 오른쪽과 같이 위상각 θ 가 예지의 순간에 상승 및 하강의 논리를 추가하여 비교하도록 함으로써, 노이즈 등으로 인한 계측에 주 여러 개의 영 전압 검출 등의 오류를 현저히 감소하도록 하였다.



〈그림 6〉 개선된 위상각 검출 알고리즘의 개념도

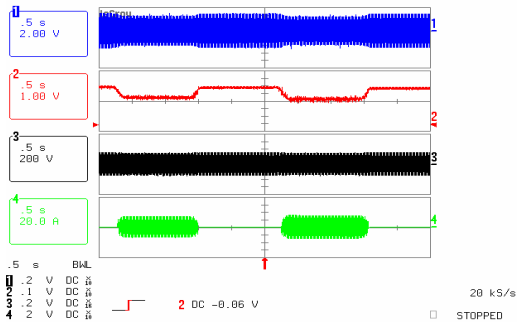
4. 실험 및 결과 고찰

본 개발에서는 5[kVA]의 용량을 가지는 Off-line Type의 DVR 시스템을 제작·실험하였다. 그림 7은 국내의 N사에서 제작된 EDLC의 외형으로 2.7[V], 750[F]의 단위셀 용량을 가지는 EDLC 18개가 직렬로 조합되어 모듈당 45[V], 41.7[F]의 용량을 가지게 되고 이를 직렬로 연결하여 5[kVA]의 부하를 1초 동안 보상하도록 축전시스템이 구성되었다. EDLC 모듈의 왼쪽은 초기 돌입전류를 제한하기 위한 Soft-start 저항을 제어하는 SSR(Solid State Relay)와 EDLC를 충전하기 위한 정류기 인버터 동작을 하는 IGBT의 구성을 볼 수 있으며, 오른쪽에는 매칭 변압기가 설치되어 있다.



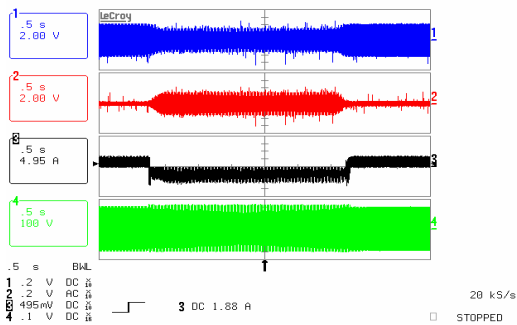
〈그림 7〉 EDLC 모듈과 파워 스택

그림 8은 순시전압강하에 의한 DVR의 동작 과정을 나타낸 것이다. (채널1:AC입력의 전압Sag, 채널2:입력전압의 RMS계산, 채널3:DVR 동작 후 민감부하의 전압, 채널4:인버터가 동작된 후의 보상전류)



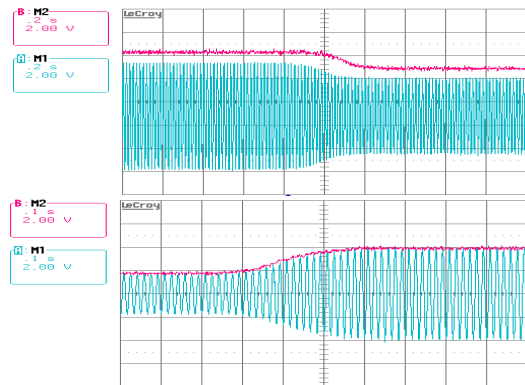
〈그림 8〉 전압 Sag 반복에 의한 DVR의 동작과정

그림 9는 Voltage Sag 발생시 DVR과 컨버터의 동작 과정을 나타내고낸다. (채널1:상용전원의 센싱값, 채널2:PWM의 보상 지령치, 채널 3:EDLC의 충·방전 전류, 채널4:민감 부하 양단의 전압)



〈그림 9〉 Voltage Sag 발생시 DVR과 컨버터의 동

그림 9의 과정은 전원측에서 발생한 Voltage Sag 모형을 가변전원을 이용하여 전압하강 및 전압상승에 맞추어 RMS값으로 계측한 과정을 나타낸 것으로, B채널의 RMS값이 입력전압의 가변에 따라 잘 추종하고 있음을 보여준다.

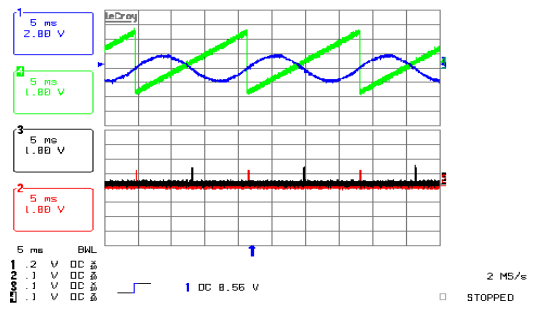


〈그림 9〉 입력전압 가변에 따른 RMS 검출 (위 : 전압하강, 아래 : 전압상승)

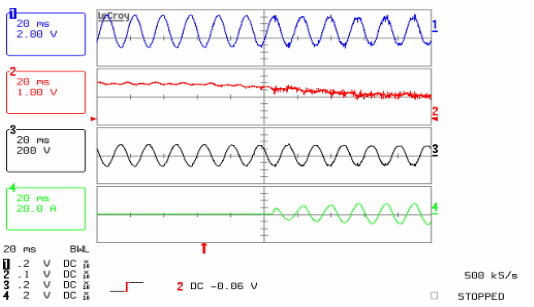
그림 10는 개선된 위상각 검출 알고리즘을 기반으로 구성된 DVR 시스템의 입력전압과 위상검출의 신호 플레그를 나타낸 파형이다.

그림 11과 12는 DVR의 동작이 시작할 때와 DVR의 동작이 중지할 때의 파형확대를 나타낸 것이다. AC 입력에서 전압 Sag가 발생시 EDLC에 저장되어 있던 에너지가 보상전압을 발생시켜 부하 전압에는 입력전압의 Sag가 영향을 끼치지 않고 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

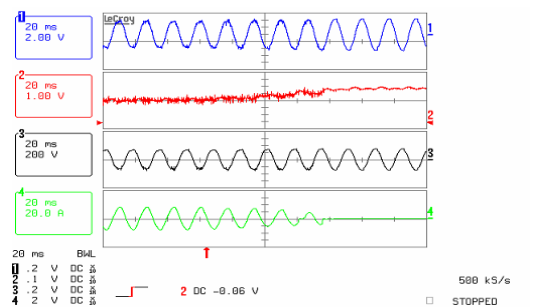
(채널 1 : AC입력의 전압, 채널 2 : 입력전압의 RMS 계산, 채널 3 : 민감부하에서의 전압, 채널 4 : 보상전류)



〈그림 10〉 입력전압과 위상검출의 신호 플레그



〈그림 11〉 DVR 동작 시작시 파형확대



〈그림 12〉 DVR 동작 중지시 파형확대

5. 결 론

최근 배전계통에서 전기 품질의 중요성이 대두되면서 순시적 전압강하 및 순간정전을 보상하기 위해 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 이러한 전압 크기의 변동에 대해서 효율적인 보상 시스템이 DVR 시스템이 효율적이라 알려져 있으며, 본 연구에서는 환경적인 측면에서 많은 장점을 가지고 있는 EDLC를 에너지 저장장치로 이용한 Off-line Type DVR을 개발하였다. 개발된 DVR시스템을 계통에 연계하는데 가장 난점이었던 순시적 전압강하 및 위상각 검출에 대한 개선된 제어 기법을 실험·검증하였고, 이때 절단오차(truncation error)로 인해 발생하던 오차의 가중을 하드웨어 및 소프트웨어의 구성으로 보완하였으며, 이로 인하여 신뢰성을 가지고 있는 시스템을 구현하게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Math H. J. Pollen, Understanding Power Quality Problems, IEEE Press, 1999
- [2] D. Mahinda Vilathgamuwa et al., "Voltage Sag Compensation With Energy Optimized Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans., POWER DELIVERY, Vol.18, NO.3, pp. 928-936, July 2003.
- [3] Y.Sekine et al., "Present state of momentary voltage dip inferences and the countermeasures in Japan", CIGRE 36-206, September 1992.
- [4] W.E.Kazibwe et al. "Power quality : A Review", IEEE Computer Applications in Power, Vol3, No.1, pp39-42, January 1990.
- [5] 손진근 외 3명, 'DVR시스템을 위한 EDLC의 고효율 제어기법', 2006년도 전력전자학술대회 논문집, 2006. 06. 22
- [6] 손진근 외 2명, '동적전압보상기를 위한 정합 변압기의 돌입전류 제어', 전력전자학회 논문지 제11권 제4호, pp21-27, 2006.08.20