

영상성분을 고려한 DVR 기기 해석

論文

51A-4-2

The Analysis of Zero Sequence Components in Dynamic Voltage Restorer System

丁一燁* · 朴相永* · 元東俊* · 文承逸** · 朴鍾根*** · 韓炳文§

(Il-Yop Chung · Sang-Young Park · Dong-Jun Won · Seung-Il Moon · Jong-Keun Park · Byung-Moon Han)

Abstract – The magnitude and phase of the compensating voltage in Dynamic Voltage Restorer (DVR) system depend on the voltage sag in the phases affected by the fault and on the influence of the zero sequence components. If the delta connection of the transformer is used, the zero sequence components do not appear on the load side. But nowadays, Y connected transformers with grounded neutral, that is 3-phase 4-wire system, are usually used. Therefore the zero-sequence components are occurred during faults. The zero-sequence components result in the high insulation costs and the asymmetry of the phase and magnitude of the terminal voltages. In this paper 3 phase 4 wire distribution system and 3 phase 3 wire system are analyzed and characteristics of voltage sag are presented. And this paper proposes the method that can mitigate the zero-sequence under the unbalance faults causing voltage sags and phase angle jumps.

Key Words : Dynamic Voltage Restorer (DVR), Zero-sequence component, Custom Power, Power Quality

1. 서 론

산업용 공장이나 정보를 처리하는 상업용 빌딩 등에서 고품질의 전력에 대한 요구가 증가하고 있다. 이는 수주기 내의 전압 강하나 왜곡에도 생산품의 품질에 큰 영향을 받고, 정보의 손실을 야기하여 막대한 경제적인 손실을 일으키기 때문이다. 1995년 EPR의 보고서[1]에 의하면 미국의 경우 전력 품질의 저하에 따른 경제적 손실이 매년 4천억 달러에 달하는 것으로 알려졌다. 이는 우리나라의 경우도 예외가 아니어서 우리나라 전체의 피해액은 매년 약 2700~6500억원 정도로 추산되고 있다[2].

이에 따라 전력 전자 기술을 이용하여 배전계통에 효과적 전력 수급을 위한 연구 즉 커스텀 파워(Custom Power)에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 가운데 직렬 보상 기기인 DVR (Dynamic Voltage Restorer)은 배전계통에서 가장 빈번히 발생하는 순시 전압강하(Voltage Sag) 및 고조파, 그리고 전압 불평형을 보상하기 위해서 사용되는 기기로 가장 경제적이고 효과적인 보상 기기이다[3]. DVR은 민감한 부하에 직렬로 연결되어 사고 시 전압 강하분과 같은 크기의 전압을 주입하는 보상 기기이다.

현재까지 DVR에 대한 많은 연구가 있어 왔는데 대부분

의 경우 3상 평형 상태를 가정하여 DVR을 설계하였다 [4][5]. 더욱이 대부분의 경우 3상 3선식의 배전계통을 대상으로 하였기 때문에 정상과 역상의 보상만이 가능할 뿐 영상에 대한 보상이 불가능하다[4].

그러나 국내 배전계통은 3상 4선식 Y 결선된 중성선 다음 접지 방식의 배전계통을 주로 사용하고 있다. 3상 4선식의 배전계통에 사고가 발생했을 시에 상당히 큰 양의 영상 성분이 발생한다. 발생한 영상 성분은 부하단 전압의 위상과 크기를 왜곡시키고 선로의 상호 인덕턴스에 의한 전압 강하를 유도한다. 또한 절연에 많은 비용이 들어가게 된다. 따라서 DVR을 설계할 때 영상의 보상에 대한 고려가 필요하다[6].

본 논문에서는 DVR을 포함한 3상 4선식의 배전계통을 모의하고 사고 시에 배전계통에서 발생하는 동적 특성에 대해 모의 실험하였다. 여기에는 사고 모의, 표화 변압기와 리클로저(R/C)에 의한 동특성, 부하 불평형에 따른 효과 등이 포함된다. 또한 구성된 DVR 모델을 통해 기존의 DVR 구성상에서 영상성분을 보상할 수 있는 제어 알고리즘을 살펴보고 실험을 통하여 성능을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 배전계통의 특징

배전계통은 송전 계통과 다른 몇 가지 특징을 가진다. 일반적으로 송전 계통은 네트워크로 구성되어 있으며 송전선의 저항(R)이 유도성 리액턴스(X)에 비해 매우 작은 특징이 있는 반면에, 배전계통은 대부분 방사(radial) 계통으로 구성되어 있고 선로의 R/X 비가 크며 단위 거리 당 퍼센트 임

* 正會員 : 서울大 電氣工學部 博士課程

** 正會員 : 서울大 電氣工學部 副教授 · 工博

*** 正會員 : 서울大 電氣工學部 教授 · 工博

§ 正會員 : 明知大 電氣工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2001年 5月 15H

最終完了 : 2002年 2月 14H

피던스 값이 크다. 따라서 인접 계통에서 지락사고가 발생하였을 때 완전 정전보다는 사고 전 전압의 10% ~ 90% 정도로 떨어지는 순시 전압강하(Voltage Sag) 사고로 나타난다. 한 선로에서 발생한 지락사고가 인근 선로에 미치는 영향을 차단하기 위해서 배전계통에는 리클로저(Recloser)가 설치되어 있어서 사고 발생 시 고장이 순간적으로 차단되므로 짧은 주기의 순시 전압강하가 많이 발생하게 된다.

한편 배전계통은 일반적으로 3상 3선식과 3상 4선식 배전계통으로 구성되어 있다. 3상 3선식은 중성점 비접지 방식으로 영상 회로가 존재하지 않고 단상 지락 사고 시에도 정전이 되지 않는 것이 장점인데 2상 지락 사고 시에는 순간적으로 전압이 크게 상승(Voltage Swell)하여 위험한 상황을 야기할 수 있다.

3상 4선식 계통은 선간 전압과 상 전압을 모두 이용할 수 있기 때문에 전등 및 동력 전력을 동시에 공급할 수 있어, 선로 당 공급 전력의 비가 좋다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점 때문에 현재 대부분의 배전계통에서는 3상 4선식을 채택하고 있으며 우리나라로 과거 22kV의 3상 3선식에서 22.9kV 다중 접지 방식의 3상 4선식 계통으로 거의 바뀌어진 상태이다.

그러나 3상 4선식의 경우 선로의 지락 사고 혹은 불평형 시에 중성선으로 과전류가 흐르는 등 과다한 영상성분(Zero Sequence)이 발생하는 문제가 있다. 영상성분은 부하의 불평형을 일으키며 접지를 통해서 큰 전류를 인가하므로 각종 보호계전기(Relay)의 오동작(Trip)을 일으킨다[7]. 배전계통의 경우 정격 전류의 5% 정도에 해당하는 영상전류가 항상 흐른다고 알려져 있다. 최근에는 상호유도성분과 분포정수상의 커파시턴스가 큰 지중 선로의 사용이 확대됨에 따라 영상성분의 영향이 커지고 있다.

2.2 배전계통의 모델링

그림 1은 본 논문에서 모의한 3상 4선식 배전계통을 보여준다. 전원은 정격 전압 154kV, 정격 전력 10MVA의 전원을 사용하였고, Δ -Y 결선 변압기를 이용하여 22.9kV로 강압하여 주급전선(Feeder)을 구성하였다. 그리고 주급전선을 세 개로 분기하여 역률 0.95, 정격전력이 각각 3, 6, 1MVA인 부하에 연결하였다. 배전선은 공중선 ACSR 160 mm²의 선로 정수를 사용하였고, 데이터는 표 1와 같다. DVR은 정격 전압 22.9kV, 정격 전력 385kVA로 모델링하였다.

한편, 선로 사고가 이웃 선로에 미치는 영향을 줄이기 위해 리클로저(R/C)를 분기선(Lateral Line)이 시작되는 곳에 연결하였다. 리클로저는 듀얼 타임 용량이 있어 다른 보호기기들과 함께 동작해 장시간 사고가 발생하는 지역을 계통으로 분리할 수 있게 설계하였다. 리클로저는 선로에 과전류가 수 주기 이상 흐르게 되면 자동으로 동작하여 사고 선로를 계통에서 분리하며 수 주기 후에 다시 선로를 계통에 연결시키는데 이는 과전류의 발생 원인이 낙뢰와 같이 수 주기 이내에 회복 가능한 사고일 수 있기 때문이다. 다시 선로를 연결시켰을 때도 과전류가 흐르고 있다면 다시 선로를 계통에서 분리한다. 이와 같은 과정을 반복한 후에도 여전히 과전류가 검출되면 리클로저는 사고가 영구적인 것이라 판단하여 선로를 완전분리 시키게 된다[8].

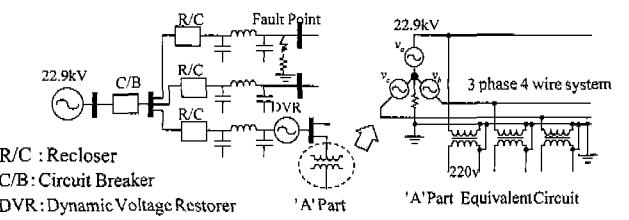


그림 1 전체 배전계통의 구성

Fig. 1 Configuration of overall distribution network

표 1 배전 선로의 파라미터

Table 1 Parameters of distribution line

Parameter	Value
Zero-sequence impedance	R = 0.4252 [ohm/km] L = 2.8370 [mH/km]
Positive-sequence impedance	R = 0.2024 [ohm/km] L = 0.9710 [mH/km]
Line length	10 km

2.3 배전계통의 전압 강하 사고 모의

배전계통에서 지락 사고가 발생하였을 때 인근 선로에서는 순시 전압강하를 경험하게 된다. 그림 2는 방사형 계통에서 지락 사고가 발생하였을 때의 등가회로로, 버스(PCC, Point of Common Coupling)의 공급 전압은 전원임피던스(Z_s)와 사고임피던스(Z_f)의 전압 분배에 의해서 식 (1)과 같이 구할 수 있다[9]. 사고 임피던스(Z_f)는 단위길이 당 선로 임피던스(Ω/km)와 PCC로부터 사고 지점까지의 거리(km)를 곱함으로써 구할 수 있다. 배전계통에서는 선로의 임피던스가 송전 계통에 비해 크기 때문에 선로의 전압이 0으로 떨어지는 사고가 발생하여도 인근 선로에서는 완전 정전이 발생하지 않고 순시 전압강하가 발생하는 것이 일반적이다.

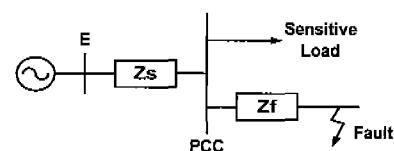


그림 2 배전계통 사고 시 전압 분배 모델

Fig. 2 Voltage divider model with fault

$$V_{PCC} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} E \quad (1)$$

전원임피던스가 R_s+jX_s 이고 사고임피던스가 R_f+jX_f 이라면, 전압 강하와 동반하여 발생하는 전압 위상 변화는 식 (2)와 같다. 식 (2)에 따르면 전압의 위상 변화는 전원 임피던스와 선로 임피던스의 R/X 비가 다르기 때문에 발생한다.

$$\Delta\phi = \arg(V_{PCC}) = \arctan\left(\frac{X_f}{R_f}\right) - \arctan\left(\frac{X_s + X_f}{R_s + R_f}\right) \quad (2)$$

본 논문에서는 그림 1에 표시한 “Fault Point”에 단상 지락 사고를 모의하였다. 사고 과정은 전압이 낮은 곳으로 전파되며 이웃 선로에서는 순시 전압강하가 발생한다. 그림 3은 전압 Sag의 발생 전과 후의 전압 벡터도이다.

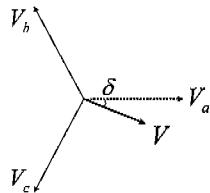


그림 3 전압 Sag의 발생 전과 후의 전압 벡터도
Fig. 3 Vector diagram before and after voltage sag

그림 3에서 순시 전압강하가 발생한 후의 전압은 식 (3)과 같고 이때의 영상성분은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V}_a &= V \cos \delta + j V \sin \delta \\ \dot{V}_b &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} j \sqrt{3} \\ \dot{V}_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} j \sqrt{3} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\dot{V}_0 = \frac{1}{3} (\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c) = \frac{1}{3} (V \cos \delta + j V \sin \delta - 1) \quad (4)$$

기존의 DVR 연구에서는 부하가 멜타 변압기로 연결되어 있다는 가정을 하여 영상성분이 부하까지 전달되지 않는다는 가정을 하였다 [4][5]. 그러나 대부분의 배전계통은 3상 4선식으로 구성되어 있기 때문에 영상성분이 항상 발생한다. 그러므로 부하 전압의 불평형까지 보상하기 위해서는 영상성분을 보상하여 주어야 한다.

2.4 DVR의 기본 동작

직렬 보상 기기인 DVR은 그림 4에 나타낸 것과 같이 직렬 주입 변압기를 통해 배전계통에 연결된다. DVR은 크게 DC 에너지 저장 장치, 전압원 인버터, 고조파 필터 그리고 주입 변압기로 구성된다.

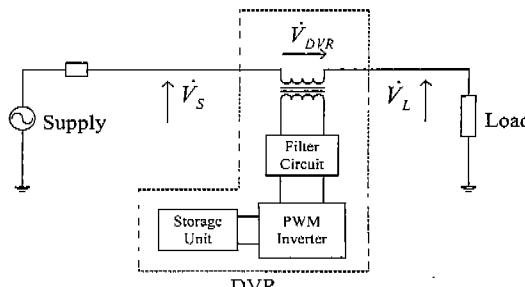


그림 4 DVR의 구성

Fig. 4 Typical schematic of DVR

DVR은 전원 측의 전압 변동이 부하 측에 전달되지 않도록 전압 변동 크기만큼의 전압을 직렬로 삽입해 주는 역할을 한다. 이상적인 DVR의 주입 전압의 식은 (5)와 같다.

영상성분을 고려한 DVR 기기 해석.

$$V_{DVR} = V_{Lpre} - V_s \quad (5)$$

이 때, V_s 는 전원전압, V_{Lpre} 는 사고 전 부하 전압, 그리고 V_{DVR} 는 DVR에서 공급하는 전압의 벡터이다. 즉 DVR은 강화된 전압의 크기만큼을 보상하여 부하에 순시 전압강하의 영향을 줄이는 것이다.

2.5 기존의 DVR 모델과 제어 방법

그림 5는 기존의 DVR 모델로 두 개의 3상 인버터를 이용하여 구성한다[4]. 이 모델은 DVR에 연결되어 있는 부하가 멜타로 연결되거나 중성점 접지가 없는 Y로 연결되었다는 가정 하에 영상에 대한 고려를 하지 않았다. 이는 부하에 접지가 없다면 영상성분이 전달될 수 있는 영상 회로가 존재하지 않기 때문이다. 따라서 기존의 DVR 모델은 3상 3선식의 모델로 제어된다.

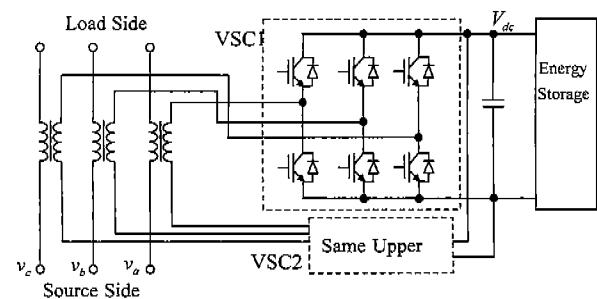


그림 5 기존의 DVR 모델

Fig. 5 Conventional DVR Model

그림 6은 DVR의 기존 제어방법을 보여준다. 부하에 공급되는 3상의 전압을 측정하여 PLL(Phase Locked Loop)과 Park's Transformation을 이용하여 회전 dq 좌표축으로 나타낸다. 여기서 구한 dq 성분의 전압은 정상 상태에서는 일정한 값이고 외란이 발생하면 진동하는 성분이 생긴다. 사고판별기(Fault Detector)에서 사고를 판별하면 사고 이전의 전압(저역 펄스를 통과한 전압)에서 왜곡된 전압(저역 펄스를 통과하지 않은 전압)을 빼서 그 차이만큼을 PWM의 사인 기준파로 보내어 보상한다. 이때 사고 전 전압을 유지하기 위해 사고 전 전압의 위상을 보존(Freeze)하는 과정이 필요하다. PWM 스위칭은 10kHz의 삼각파와 사인 기준파를 이용하여 인버터의 터너프 소자에 스위칭 신호를 보낸다.

그러나 이 방법은 dq 성분만을 가지고 제어하기 때문에 영상성분에 대한 보상이 구조적으로 불가능하다.

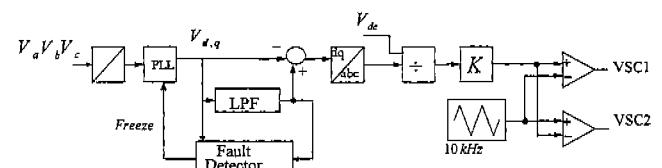


그림 6 기존의 DVR 제어도

Fig. 6 Conventional DVR control scheme

그림 7의 (a)는 A상에 순시 전압강하가 발생했을 때, 공급 전압의 파형이다. 단상 지락 사고가 0.25초에 발생되었고 사고 지점에 연결된 리클로저는 0.30초에 첫 번째 회로 분리 동작을 하고 사고가 끝난 0.35초에 다시 선로를 재투입 한다. 0.25, 0.30, 0.35초에 나타난 고주파의 전압 진동은 변압기의 포화 특성에 기인하는 것으로 선로가 분리되고 차단될 때 변압기에 인가된 전압의 위상에 따라 돌입 전류(In-rush Current)가 발생하기 때문이다. (b)는 기존의 DVR 제어 방법을 사용했을 때 보상된 부하의 전압 파형이다. 앞에서 예상했던 것과 같이 영상을 제거할 수 없기 때문에 3상이 평형을 이루지 못하고 사고가 나지 않은 상에 순시 전압상승(Voltage Swell)이 발생하였다. DVR 보상 후 부하에 남아있는 영상성분은 그림 8과 같다.

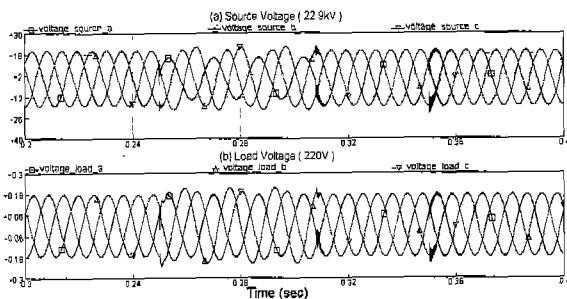


그림 7 기존의 DVR 제어를 이용하였을 때 전압 파형 [kV]

(a) 사고 전압, (b) 보상된 부하 전압

Fig. 7 Voltage waveform using conventional control scheme [kV]

(a) sag voltages, (b) restored load voltages

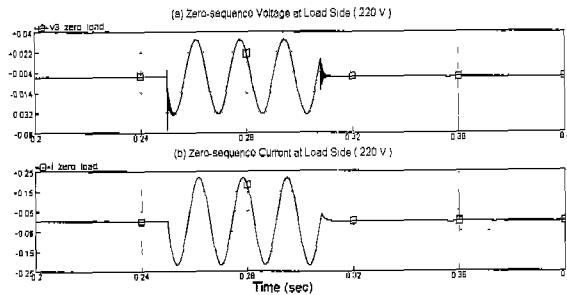


그림 8 기존의 DVR 보상 시의 영상성분

(a) 영상 전압[kV], (b) 영상 전류[kA]

Fig. 8 Zero-sequence components using conventional scheme

(a) zero-sequence voltage[kV], (b) zero-sequence current [kA]

2.6 제안하는 DVR 모형과 제어 원리

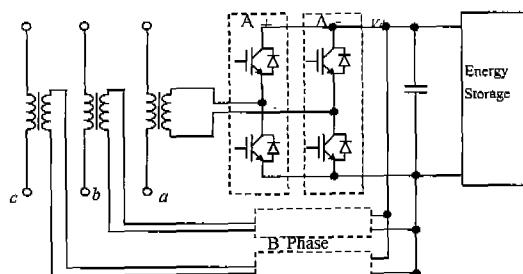


그림 9 3상 4선 식 DVR 모델

Fig. 9 Three-phase four-wire DVR model

제안하는 DVR 인버터는 그림 9에 나타낸 것과 같이 직류 에너지 저장장치를 공유하는 3상 4선 식 인버터이다. 그림 9의 인버터는 그림 5의 인버터와 스위칭 소자의 개수도 같고 소자의 결선도 일치하는 같은 인버터를 3상 4선 식의 관점에서 표현한 것이다.

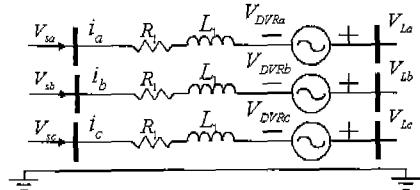


그림 10 3상 4선 식 DVR 모델의 등가회로

Fig. 10 Equivalent model of 3-phase 4-wire DVR system

그림 10은 3상 4선식 DVR의 등가 회로 모델이다. R_1 과 L_1 은 주입 변압기 내부 임피던스에 의한 값으로 이를 보상해 주어야 한다. 그림 10의 등가 회로 모델을 이용하여 DVR의 주입 상 전압을 구해보면 (6)과 같다.

$$\dot{V}_{DVRa} = \dot{V}_{sa} + R_1 \cdot i_a + L_1 \cdot \frac{di_a}{dt} - \dot{V}_{Sa} \quad (6)$$

이를 벡터도로 나타내면 그림 13과 같다. 변압기 내부 임피던스에 의한 강하 성분 때문에 부하 전압을 유지하기 위해서 DVR 출력 전압의 위상과 크기를 변화시켜야 한다. δ 는 순시 전압강하에 의한 위상 변화를 나타낸다.

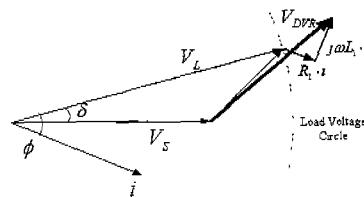


그림 11 DVR 주입 전압의 벡터도

Fig. 11 Phasor diagram of DVR injection voltage

그림 12는 제안한 DVR 인버터의 단상에 대한 제어 알고리즘이다. 다른 두 상의 제어 알고리즘도 그림 12와 같다. 단상에 대한 알고리즘으로 그림 6과 달리 상 전압을 입력으로 받는다. 사고를 판단하는 방법은 기존의 방법과 같다. 그러나 기존의 방법에서는 제어의 편의를 위해 d, q 변환을 하였지만 그림 12에서는 영상을 보상하기 위해서 각 상을 독립적으로 제어한다. 그러므로 DVR에서 보상하는 전압의 합이 0이 되지 않게 할 수 있으며 영상의 보상이 가능하다.

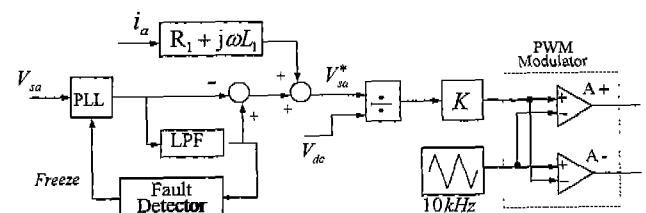


그림 12 제안하는 DVR 제어도

Fig. 12 Proposed DVR control scheme

그림 13의 (a), (b)는 순시 전압강하가 발생한 공급 전압과 DVR에 의해 보상된 부하 전압의 파형을 각각 나타낸다. 사고 시간과 리클로저의 동작 시간은 앞의 경우들과 일치한다. (b)의 부하 전압에서는 기존 DVR을 사용하는 경우 전압이 상승하는 등 불평형이 많이 발생했던 것과 비교했을 때 불평형 성분이 거의 제거되었음을 확인할 수 있다.

그림 14는 본 논문에서 제안한 DVR 제어방식으로 보상하였을 경우의 부하에 대한 영상성분이다. 순시 전압강하가 발생하였을 때, 그리고 리클로저가 동작할 때 각각 파형의 왜곡과 고조파가 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 변압기의 포화 특성 때문에 발생하는 것으로 DVR의 동작과는 무관하게 발생하는 것이다. 따라서 기존의 방법과 비교하였을 때 제안하는 방법의 제어를 통해 영상성분을 제거할 수 있음을 확인할 수 있다.

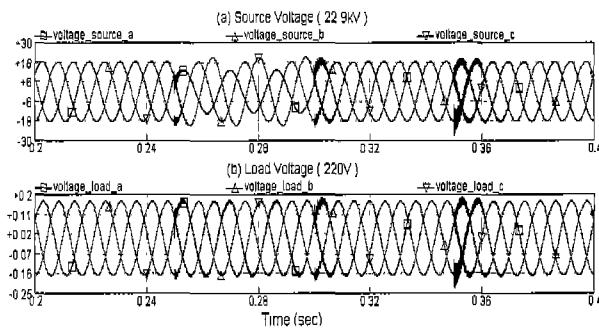


그림 13 제안하는 DVR 제어를 이용하였을 때 전압 파형

(a) Sag 전압 [kV], (b) 보상된 부하 전압 [kV]

Fig. 13 Voltage waveform using proposed DVR control scheme:

(a) sag voltages [kV], (b) restored load voltages [kA]

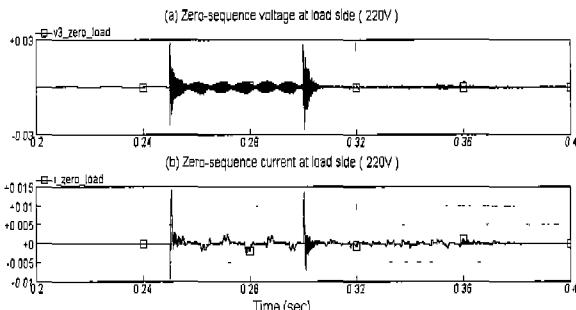


그림 14 제안하는 DVR 보상 후의 영상성분

(a) 영상 전압 [kV], (b) 영상 전류 [kA]

Fig. 14 Zero-sequence components of the load terminal using proposed DVR control scheme

(a) zero-sequence voltage [kV], (b) zero-sequence current [kA]

2.7 제안하는 방식과 기존의 방식 비교

표 2는 제안한 DVR 제어 방식과 기존의 방식을 비교한 것이다. 영상성분의 경우, 기존의 방식에서는 제어할 수 없었지만 제안하는 방식에서는 제어할 수 있었다. 기존의 방법과 제안하는 방식에서 사용하는 인버터의 구조가 동일하므로 인버터의 가격은 같다. 제안한 DVR은 단상에 대한 보상이 가능하므로 3상을 동시에 제어해야 하는 기존의 방법에 비해 효율이 좋다.

영상성분을 고려한 DVR 기기 해석

표 2 제안한 DVR 제어 방법과 기존의 제어 방식 비교
Table 2 Comparison of the proposed DVR control scheme with the conventional control scheme

	제안한 방법	기존의 방법
영장 보상	가능	불가능
인버터 가격	양쪽 모두 같음	
효율	기존의 방식보다 좋음	
제어기	3상 4선식 제어	3상 3선식 제어

2.8 DVR 테스트 모델 및 실험 결과

그림 15는 실험을 위해 구성한 DVR 테스트 모델의 회로도이다. 이 회로는 전압이 70% 강하하였을 때 최대 5A의 전류가 흐르도록 제작되었고 순시 전압 강하는 자기 스위치 (Magnetic Connector)가 닫히는 경우에 발생된다.

이 회로는 위상측정회로(PLL), 제어 기판, 직류 전원(SMPS), 전압원 인버터(VSI), 고조파 필터, 바이패스 회로 그리고 주입 변압기로 구성된다. 위상측정회로에서는 전압의 위상을 측정할 뿐 아니라 전압강하 여부를 판단하여 바이패스 회로에 제어 신호를 보낸다. 만약 전압강하가 발생하면 바이패스 회로가 열리고 EEPROM에 기록되어 있던 PWM 신호가 전압원 인버터의 FET를 스위칭하여 전압을 보상한다.

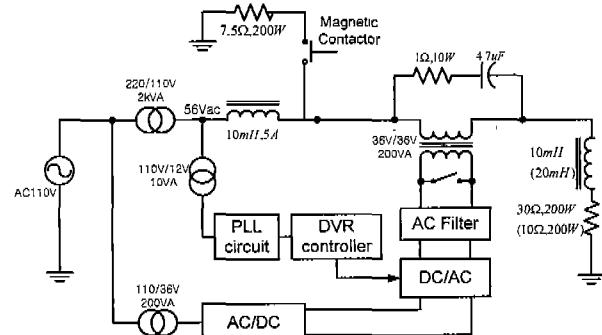


그림 15 DVR 테스트 모델의 전체 회로도

Fig. 15 Diagram of DVR test set

그림 16은 보상 회로의 상세한 회로도로 직류 전원, 전파 인버터 회로, 고조파 필터 그리고 바이패스 회로를 나타내고 있다. 직류 전원 앞에 붙어있는 커�패시터는 고주파 노이즈 성분을 제거하고 FET 회로를 보호하는 역할을 한다.

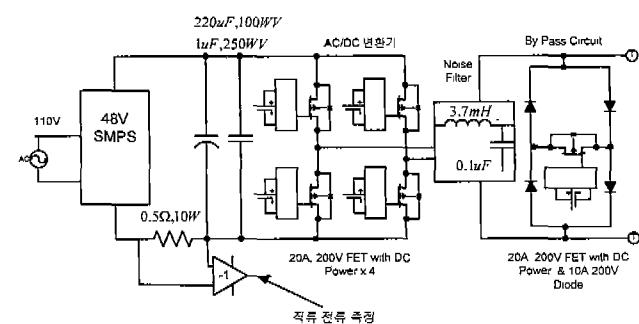


그림 16 DVR 회로도

Fig. 16 Circuit of DVR

그림 17은 순시 전압강하 시 DVR 보상 전과 후의 과정을 보여준다. 비교적 정확하게 전압을 보상하고 있음을 볼 수 있다. 고주파 노이즈와 오차는 주입 변압기 및 선로의 임피던스 보상이 정확하지 않았고 테드타임(Dead-time) 효과와 전압 측정의 오차에 기인하는 것으로 이에 대한 연구가 앞으로 수행되어야 할 것이다.

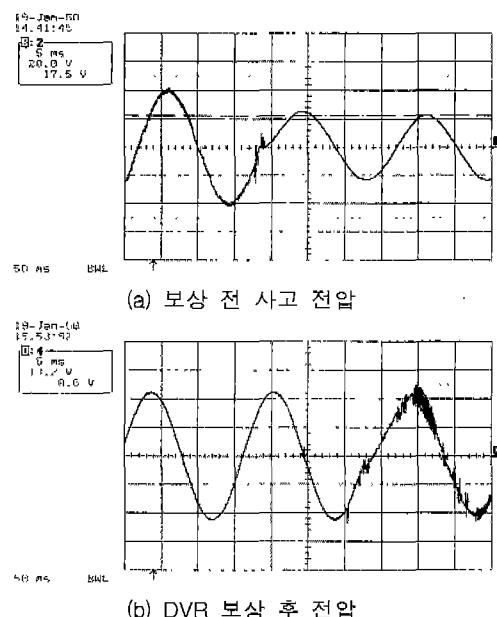


그림 17 테스트 모델을 이용한 전압 보상 결과

Fig. 17 Results of voltage compensation in test model

3. 결 론

본 논문에서는 배전계통을 모델링하여 배전계통의 특성, 순시 전압강하가 발생하는 원인과 그 효과, 그리고 순시 전압강하에 의해 계통에 발생하는 동적 특성을 모의하였다. 그 결과 영상성분이 상당히 발생하는 것을 확인하였고 이 성분이 부하에 공급되는 전압의 평형에 영향을 미쳐 불평형을 야기하는 과정을 분석하였다.

본 논문에서는 기존의 DVR에서 영상성분을 제거할 수 없는 것을 밝혀내고 영상성분을 제거할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안한 알고리즘을 이용하여 모의한 배전계통에서 모의하여 영상성분을 제거할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] "Power Quality in Commercial Buildings," *Electric Power Research Institute (EPRI)*, Palo Alto, California, 1995.
- [2] John S. Hsu, "Instantaneous Phasor Method for Obtaining Instantaneous Balanced Fundamental Components for Power Quality Control and Continuous Diagnostics," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol.13, No.4, Oct. 1998, pp.1494-1500.
- [3] Joan H.R. Enslin, "Unified Approach to Power Quality Mitigation," *Industrial Electronics, Proc. ISIE '98*, on vol.1, pp.8-20.

- [4] K.Chan, and A. Kara, "Voltage sags mitigation with an Integrated Gate Commutated Thyristor based Dynamic Voltage Restorer," *Harmonics and Quality of Power Proc.* vol.1, 1998, pp.561-565.
- [5] Ming Fang, A. I. Gardiner, A. MacDougall and G.A. Mathieson, "A Novel Series Dynamic Voltage Restorer for Distribution Systems," *Proceedings. POWERCON*, vol.1, 1998, pp. 38-42.
- [6] Ding Hongfa, Gao Jun and Duan Xianzhong, "New Concepts of Dynamic Voltage Restoration for Three-Phase Distribution Systems," *Proc. of IEEE PES Summer Meeting*, vol 3. July 2000, pp. 1427-1432.
- [7] 이정환, 변두균, 김창범 "22.9[kV]계통 영상전류 파다발 생에 관한 연구," 1997년 대한전기학회 하계학술대회 논문집(PSP37), pp. 1032-1034
- [8] Sang-Yun Yun, Jung-Hwan Oh, Seong-Jeong Rim and Jae-Chul Kim, "Mitigation of Voltage Sag Using Feeder Transfer in Power Distribution System," *Proc. of IEEE PES Summer Meeting*, vol 3. July 2000, pp.1421-1426.
- [9] Math H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, New York, IEEE Press, 1999.

저 자 소 개

정 일 염 (丁一燁)

전기학회논문지 제50A권 제12호 참조

박 상 영 (朴相永)

전기학회논문지 제50A권 제12호 참조

원 동 준 (元東俊)

전기학회논문지 제50A권 제12호 참조

문 승 일 (文承逸)

전기학회논문지 제49A권 제12호 참조

박 종 근 (朴鍾根)

전기학회논문지 제50A권 제3호 참조

한 병 문 (韓炳文)

전기학회논문지 제50A권 제12호 참조