

영상 성분을 고려한 배전 계통용 DVR 해석 및 제어

박상영\*, 정일엽, 문승일, 박종근  
서울대학교 전기공학부

The Analysis and Control of Dynamic Voltage Restorer with Zero Sequence

Sang-Young Park\*, Il-Yop Chung, Seung-Il Moon, Jeong-Keun Park  
School of Electrical Engineering, Seoul National Univ.

**Abstract** - The propose of Dynamic Voltage Restorer(DVR) is the Power Quality controller of very short term (under 10 cycle). In this paper, we propose a model of distribution for zero sequence analysis and DVR for compensation. With EMTDC/PSCAD simulation, we can verify our method and problems of existing method. A new energy optimizing method is also investigation.

1. 서 론

전원 전압의 전력 품질 문제에 대한 관심이 높아지면서, 여러 가지 대비책의 하나로서, 배전계통에 보상 기기를 부착하는 방법이 연구되고 있다.[2-5] 이러한 보상 기기는 3가지로 구분되며, 병렬 기기인 D-Statcon, 직렬 보상 기기인 DVR 그리고, 직렬/병렬 보상 기기인 UPQC (Universal Power Quality Controller) 로 이러한 배전용 보상 기기에 대해서 Custom Power 기라고 부른다.

대표적인 기기 중에 하나인 DVR이 최근에 많이 연구되고 있다. 이러한 DVR 장치는 기본적으로 전압을 전원 전압에 직렬로 전압을 연결하는 장치로, 전원 측의 사고 시에 부하 단의 전압을 일정하게 유지하기 위해, 에너지 저장장치에 저장된 에너지를 부하 단에 공급하는 기능을 한다. 이러한 에너지 저장 장치에 저장된 에너지를 공급하기 위해서는 스위칭 주파수가 매우 높은 대용량의 전력 변환기의 사용이 필수적이고, 이러한 전력 변환기는 매우 손실이 높으며, 전압형 인버터로 구성된다.

이러한 DVR 기기의 특징은 다음과 같다.

- 1) 항상 계통 상에서 사고와 같은 과도 상태에서만 존재하며, 정상적인 경우에는 by-pass된다.
- 2) 기기의 손실이 매우 높은 편이고, 직류 단의 에너지용량의 한계에 의해, 동작 시간을 최소로 억제해야한다.

배전 계통의 특징은 다음과 같다.

- 1) 방사상형(radial)의 계통이 많다.
- 2) 선로의 저항이 크다(송전계통에 비해)
- 3) 지중선이 많다.(용량성 성분 > 유도성 성분)
- 4) 3상 4선식 다중 접지 계통이다.
- 5) 대규모 단독 부하인 경우 영상전류를 차단하기 위해, 델타/Y변압기를 부착한다. (3상 3선식) 위의 특징에 따라, 나타나는 현상은,
- 1) 가까운 거리의 인접계통의 지락 사고에도 전압의

Black-out현상이 적고(선로의 저항이 크다) 전압의 강하로 나타난다.

2) RC(re-closer)동작에 의해, 고장이 순간 차단되는 경우가 많으며, 이 경우, 전압 강하는 순간적이다.

3) 지중선의 경우, Mutual 성분이 공중선보다 크고, 분포정수 상의 C가 매우 크다.

4) 지락 사고 시에 매우 많은 양의 영상성분이 발생하며, 이러한 영상 성분이 흐르는 경우, 접지 전위의 상승이 발생하고, 변압기에 많은 전류를 흐르게 한다.

기존의 연구의 경우, 대형 단독 부하에만 부착하기 때문에, 3상 3선식으로 배전 계통의 영상 성분은 부하 단의 전력 품질에 영향을 주지 않기에 무시해버렸다. 그 이유는 대형 단독 부하는 독립된 Delta-Y강압 변압기에 의해 배전에 부착되기에, 부하 단이나, 변압기가 영상 성분에 영향을 받지 않는다.

본 연구는 배전 계통에서의 영상전류의 발생과 보상을 위한 DVR 장치를 제안하고, 기존의 장치와 비교하고, 에너지 최적주입 방법을 제안하고, 이러한 제안을 EMTDC/PSCAD로 확인 하였다.

2. 본 론

2.1 배전 계통의 구성

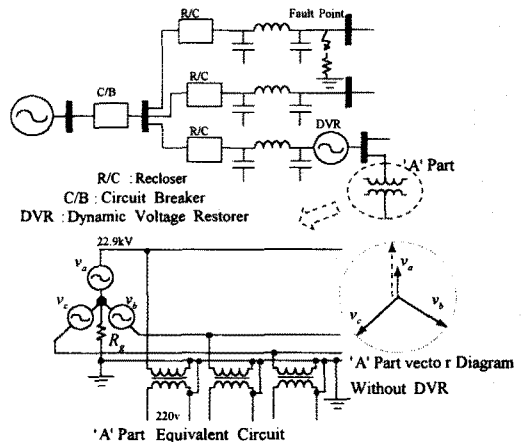


그림 1. 방사형 배전계통과 DVR 부착회로 모형

기존의 방사형 배전 계통은 그림 1과 같은 형태이며, 이러한 3상 4선식 배전계통의 회로 모형은 그림 1의 아래에 나와 있다. 즉, 접지 계통의 다중에 의해, 많은 단상 회로가 존재하며, 이러한 접지 경로는 전압의 불평형

이나 부하의 불평형, 또는 단상 회로의 구성에 의해 접지선에 전류가 흐르게 된다.

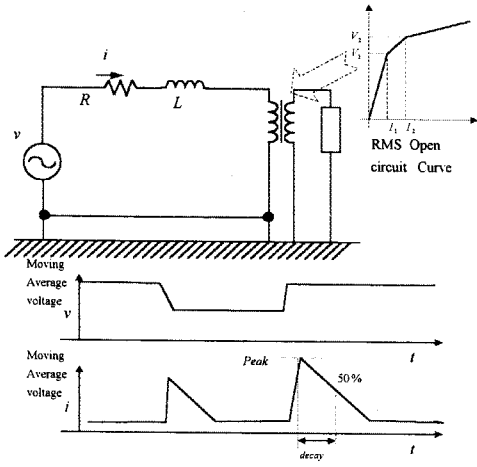


그림 2. Sag시의 포화 변압기 돌입전류 파형

그림 2와 같은 실제의 포화 변압기의 경우, 전압의 Sag에 의해 높은 돌입전류가 발생하며, 이러한 전류는 500kVA급의 변압기 기준으로 160ms 50% sag시에 약 1100% 정도의 전류가 흐른다고 알려져 있다.[1]

## 2.2 일반적인 DVR 기기 {1}

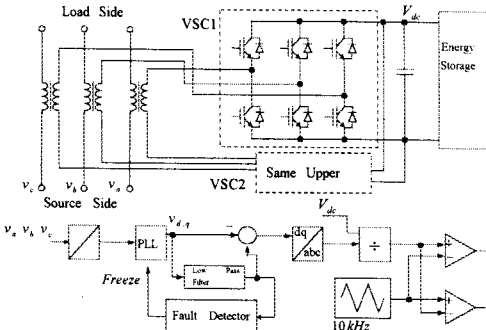


그림 3. 일반적인 DVR 구조 및 제어기

일반적인 형태의 DVR기기의 구조와 제어기는 그림3과 같은 형태로 나타나며, 독립된 2개의 3상 Full-bridge 인버터와 D-Q변환을 사용한 제어기로 구성되어, 전원전압을 감시하는 회로에 의해, 전원에 이상이 발생 시 기준 값으로 전원전압을 보상하는 제어기로 구성되어 있다.

$$v_a = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + v_{Da} + v_{La}$$

$$v_b = Ri_b + L \frac{di_b}{dt} + v_{Db} + v_{Lb}$$

$$v_c = Ri_c + L \frac{di_c}{dt} + v_{Dc} + v_{Lc}$$

$$v_{Da} + v_{Db} + v_{Dc} = 0$$

그림 3과 같은 3상 3선 회로 모형은 그림 4의 동차 Vector도로 나타낼 수 있으며, 이러한 회로 모형해석을 통해, 제어기 구조상 (2)와 같이 영상회로에 대한 보상 불가능 하다.

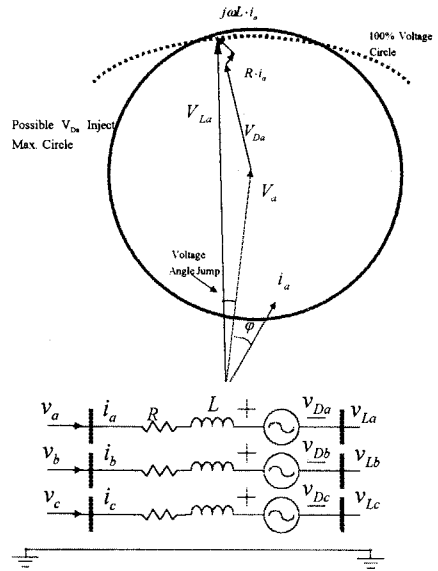


그림 4. DVR의 회로 모형과 Vector도

## 2.3 제안하는 DVR

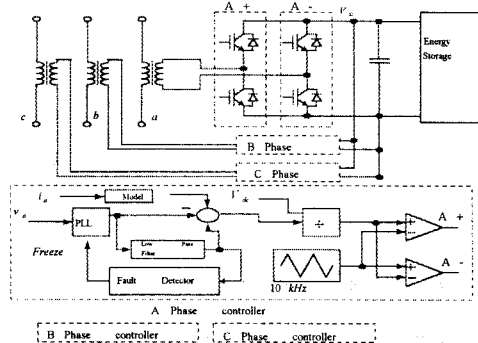


그림 5. 제안하는 DVR 구조 및 제어기

그림 5에 제안하는 DVR 구조 및 제어기가 있으며, 특징은 영상을 보상하기 위해 각 상을 제어하는 형태로 나타난다.

$$v_{Da} + v_{Db} + v_{Dc} \neq 0$$

표 1. 기존의 방법과 제안하는 방법의 비교

	제안방법	기존방법	
영상보상	○	×	6Arm가격
인버터가격	동일 가격	동일 가격	
변압기가격	15% 상승	3상1개 변압기	각상독립제어
효율	우수함		
제어기	구조동일	구조동일	

## 2.4 Simulation 결과

EMTDC/PSCAD를 이용한 소자 단위의 시뮬레이션 결과를 보면 다음과 같다. 이러한 결과는 그림3과 그림 5를 토대로 구성되었으며, 적분 시간은 1usec 단위로 구성하였다. 그림 5와 6에서 보는 바와 같이, 기존의 방법은 1선 지락 시의 원점이동이 발생하고, 제안하는 방법은 영상성분이 보상되어 원점의 이동이 발생하지 않는다.

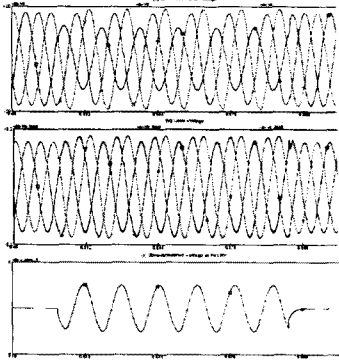


그림 5. 기존의 DVR의 경우(1선 지락)

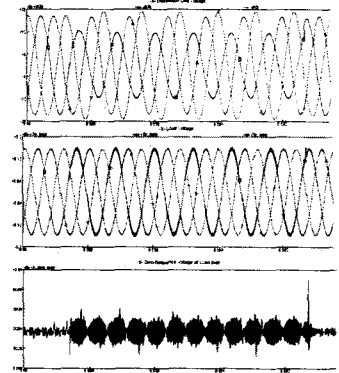


그림 6. 제안하는 DVR의 경우 (1선 지락)

## 2.5 새로운 DVR의 에너지 최적화 방법

DVR 장치는 대용량의 직류 콘덴서를 가지고 있지만, 이것은 매우 짧은 시간 만 사용 가능하며, 에너지의 최적화를 위한 연구가 있었다. [5] 그림 7(a)처럼 주입전압의 각도를 제어하여, 약간의 에너지를 낮추는 방법으로 문제점으로는 부하의 역률이 일정한 관계로, 주입전압을 바꾸어 버리면, 부하 전류의 각도도 일정한 역률에 따라 정해지는 관계로 효과가 매우 제한적이다.

이러한 경우의 전력 방정식은 (3)과 같이 나타난다.

$$P_{DVR} = 3(V_L - V_S)I \cos \phi \quad (4)$$

본 연구에서는 주입 전압을 제한된 범위에서 그림 7(b)처럼 낮게 주입하여, 효과를 내는 방식으로 (5)와 같이 정리되며, EMTDC로 시뮬레이션결과를 그림 8과 같다.

$$P_{DVR} = P_L - P_S = \frac{(a \cdot V_L)^2}{Z_L} \cos \phi - \frac{V_S \cdot (a \cdot V_L)}{Z_L} \cos(\phi - \delta) \quad (5)$$

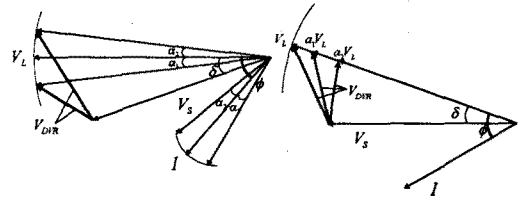


그림 7 기존의 에너지 최적법(a)과 제안하는 방법(b)

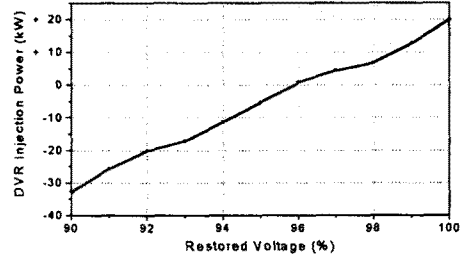


그림 8. 제안하는 방법의 시뮬레이션 결과

## 3. 결 론

본 연구는 배전 계통에서의 영상전류의 발생과 보상을 위한 DVR 장치를 제안하고, 기존의 장치와 비교하고, 에너지 최적 주입 방법을 제안하고, EMTDC/PSCAD 로 확인 하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 배전계통에서 발생하는 돌입전류의 특성분석, 기초전력공학 공동연구소, 98-지-08, 1999.10
- [2] K.Chan, and A. Kara, "Voltage sags mitigation with an Integrated Gate Commutated Thyristor based Dynamic Voltage Restorer," *Harmonics and Quality of Power Proceedings, Proceedings, 8th International Conference On Volume:1*, 1998, pp.561 -565
- [3] Sang-Yun Yun, Jung-Hwan Oh, Seong-Jeong Rim and Jae-Chul Kim, "Mitigation of Voltage Sag Using Feeder Transfer in Power Distribution System," *Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting Conference*, vol 3, July 2000, pp.1421 -1426
- [4] Math H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, New York, IEEE Press, 1999
- [5] M.Vilathgamuwa, A.A.D Ranjith Perera, S.S.Choi and K.J.Tseng, "Control of Energy Optimized Dynamic Voltage Restorer," *Industrial Electronics Society, IECON Proceedings The 25th Annual Conference of the IEEE Volume: 2*, 1999, pp 873 -878 vol.2