기술
동향

# 전력품질과 동적 순간전압강하 보상기의 적용 (하)

김지홍 · 이상동 · 김명찬
이현원 · 이준엽
현대중공업(주) 기전연구소

## 5. 전력품질 향상을 위한 CUSTOM POWER 기기

### 가. CUSTOM POWER 기기

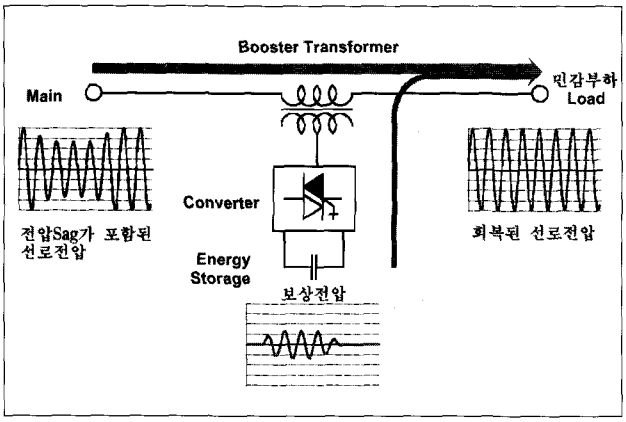
전력품질을 향상시키기 위한 기존의 방법으로는 커패시터의 용량 증가나 대용량 UPS의 설치 등이 있지만, 이러한 방법은 기기 자체의 비용 증대와 효율이 낮은 단점이 있다. 따라서 전력외란에 민감한 부하전원과 대용량 부하전원의 개선을 위해서는 기기에 공급되는 전원의 품질이 개선될 수 있는 전력장치를 사용하는 것이 바람직한데, 이를 위해 GTO, IGBT, IGCT 등의 반도체 스위칭 소자를 이용한 CUSTOM POWER 기술을 바탕으로 한 전력품질 개선 기기들이 개발되고 있다. CUSTOM POWER 기술은 배전계통에서의 전압제어, 위상평형, 급전선 사이의 고속전력전송, 고장전류 제한, 고조파 억제 등의 기능을 통해 산업용, 상업용 수용가에 양질의 전력 공급을 가능케 한다. 대표적인 CUSTOM POWER 기기로는 수용가에 연결되어 있는 급전선에 사고가 발생하여 전력공급이 중단되려 할 때 부하를 사고가 나지 않는 급전선으로 신속하게 전환함으로써 수용가에 공급되는 전력이 끊기지 않게끔 하는 SSTS(Solid State Transfer Switch)와 변압기를 통해 배전 급전선에 병렬로 연결하여 전압의 순간적인 급강하 또는 급상승 그리고 고조파 등과 같은 외란에 대하여 선로전압과 90도의 위상차가 나는 전류의 유입을 통해 무효전력을 제어함으로써 전압 및 역률을 조정하는 기능을 하는 DSTATCOM (Distribution Static Synchronous Compensator), 급전 선로에 직렬로 연결된 변압기를 통해 전압을 주입함으로써 수용가의 전압을 안정하게 유지해 주는 DVR (Dynamic Voltage Restorer) 등이 있다.

전력품질의 문제 중 산업용 수용가에 가장 큰 영향을 미치는 순간전압강하를 보상하는 문제에 있어, DVR은

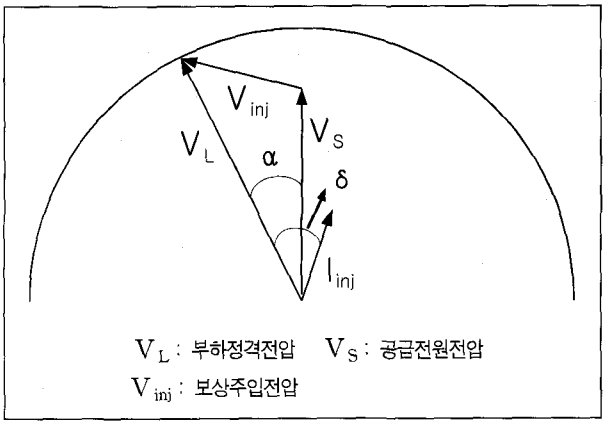
〈표 6〉 전력품질 개선을 위한 CUSTOM POWER 기기의 적용

| Mitigation Device | Sags | Interruptions | Swells | Transients | Harmonics | Notches | Voltage Fluctuation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DVR | V | | V | V | V | | V |
| DSTATCOM | | | | V | | | V |
| STS | V | V | V | | | | |
| UPS | V | V | V | | | | |

DVR : Dynamic Voltage Restorer　　DSTATCOM : Distribution STATic synchronous COMpensator
SSTS : Solid State Transfer Switch　　UPS : Uninterruptible supply




〈그림 7〉 배전계통에 적용된 DVR의 기본 동작




〈그림 8〉 DVR의 동작 특성

순간전압강하 발생시에만 동작하므로 항상 정격으로 동작하는 UPS에 비해 에너지 효율이 우수하며(UPS: 100% 부하시 최대 92%, DVR: 정상 운전시 98.5%), 선로의 전압 측정에 따라 보상이 필요한 순간전압강하의 범위를 제한할 수 있으며, 상위 전원 공급 선로 또는 개별 민감부하 전원 등 선택적인 설치가 가능하다. 또한 보상시에 전압보상제어가 복잡한 DSTATCOM에 비해 제어 알고리즘이 간단하다는 장점을 가진다(표 6 참조).

## 나. 동적 전압강하 보상기 (DVR: Dynamic Voltage Restorer)

DVR은 대용량 부하의 투입이나 인접계통의 사고시 발생하는 전압의 순간 급강하 또는 급상승으로부터 민감한 부하를 보호하기 위해 선로에 직렬로 연결된 변압기를 통해 전압을 주입함으로써 수용가의 전력품질을 개선시키는 장치이다(그림 7 참조).

DVR은 DC 저장장치와 스위칭소자를 이용한 컨버터가 직렬변압기를 통해 선로에 직렬로 연결되는 구조를 가지고 계통전압을 계속적으로 감시하며, 외란이 발생하여 전압 파형에 왜곡이 생기면 이를 보상하기 위한 전압을 3개의 단상 변압기를 통해 신속하게 투입함으로써 부하 전압을 일정하게 유지하는 기능을 한다. 보통 외란에 대해 반주기의 응답특성을 가지며 현재 2~10MVA 급의 DVR이 상용화되고 있다.

DVR의 동작특성은 그림 8에 나타나 있는데, DVR 출력 전압은 부하정격전압과 전압 강하된 공급전원전압의 벡터차로 결정되며, 직렬변압기를 통해 선로에 이를 주입하여 부하전압을 보상하게 된다.

DVR의 적용시에는 기본적인 계통의 구성요소에 대한 분석과 함께, 보호를 필요로 하는 최대부하용량과 부하의

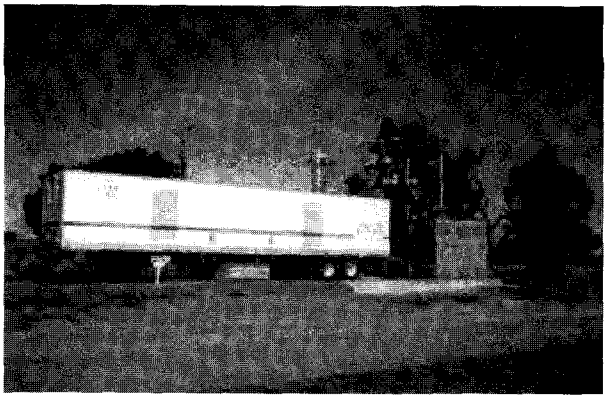
역률, 최대 단상 및 3상 순간전압강하의 크기와 지속시간, 정상상태에서 허용 가능한 최대전압강하분, 주입변압기의 단락 임피던스, 주입변압기의 결선방법, 커패시터 뱅크의 용량 등을 고려하여야 한다. 또한 부하의 종류에 따라 순간전압강하의 크기, 위상이동, 파형의 영향이 다르므로 이에 따른 패러미터 선택이 필요하며, 순간전압강하 복구시에 AC 모터와 변압기에 흐르게 되는 돌입전류에 의해 DVR의 전력용 반도체의 전류 제한폭을 초과하여 부하측에 순간전압강하가 연장되는 문제가 발생하지 않도록 Bypass회로를 설치하고, 2상 이상의 복합적이고 다양한 형태의 순간전압강하에도 보상을 수행할 수 있도록 각 상을 독립적으로 다루는 제어회로를 구성하여야 한다.

## 다. DVR 설치 운용 현황

세계 최초의 DVR은 Westinghouse와 EPRI가 공동개발하여 Orian Rugs사에 설치하였으며, 50%의 순간전압강하를 보상할 수 있도록 설계되었고 시스템의 보호를 위해 Bypass 회로를 설치하였다. 1998년 발생한 35건의 순간전압강하 중에서 10건에 대해 보상을 성공적으로 수행하였다. 실제 사이트에 적용한 결과, 지속적인 모니터링을 통한 수용가 기기의 순간전압강하에 대한 특성파악의 필요성이 제기되었다. 이후 반도체산업, 제지산업 등 전압의 변동에 민감한 기기가 포함된 자동화설비를 사용하는 산업용 수용가의 순간전압강하 보상에 대한 요구가 높아짐에 따라 ABB, SIEMENS(SIPCON:

〈표 7〉 DVR 적용 실례

| Powercor Ltd. Australia(1997) | |
|---|---|
| 적 용 사 | Bonlac Foods Ltd.(milk powder production facility) |
| 배전계통구성 | 6개의 22kV/415V line |
| 순간전압강하 원인 | 전송선의 storm and birds nesting |
| 플랜트 총부하 | 5MVA at 0.8 pf |
| 생산에 피해를 주는 순간전압강하 수 | 20~25회/년 |
| 적용 DVR | ·용량: 2MVA<br>·에너지 저장장치 용량: 600kJ, 25cycle(0.5sec)<br>·보상전압: 5,080V(40%) |
| 경제성 평가 | ·5시간 정지시 손실 평가액 총 87,000$(Australian $): 원자재손+생산손+노동손<br>·DVR에 의해 1년 8개월간 44회 sag보상(1995년 3월~1997년 1월),<br>총 141시간, 2,453,400$ cost saving<br>·1.3 백만$/년 Cost Saving 가능 |
| Salt River Project Distribution System in Phoenix, Arizona | |
| 적용사 | μ-processors manufacturing facility<br>(Silicon Wafer→Doping→Etching→Baking→Packaging) |
| 배전계통구성 | 3개의 69kV/12.47kV line |
| 순간전압강하 원인 | 전송선의 Lightning |
| 플랜트 총부하 | 45MVA at 0.8~1.0 pf |
| 생산에 피해를 주는 순간전압강하 수 | 140회/년 |
| 적용 DVR | ·용량: 6MVA(3*2MVA) 2개<br>·에너지 저장장치 용량: 1,800kJ/DVR, 20cycle(1/3sec)<br>·Feeder전압: 12.47kV(L-L), 7.2kV(L-G)<br>·TR 용량: Tap 1(17MVA) - 2.5kV(L-G, 35%)<br>Tap 2(20MVA) - 2.2kV(L-G, 30%)<br>Tap 3(23MVA) - 19kV(L-G, 26%)<br>Tap 4(26MVA) - 1.7kV(L-G, 23%)<br>·주입전압: 23, 26, 30, 35% on 26, 23, 20, or 17 MVA taps |
| 경제성 평가 | ·Voltage Sag Event의 90% 제거<br>·투자 회수 기간: 2년 이하 |

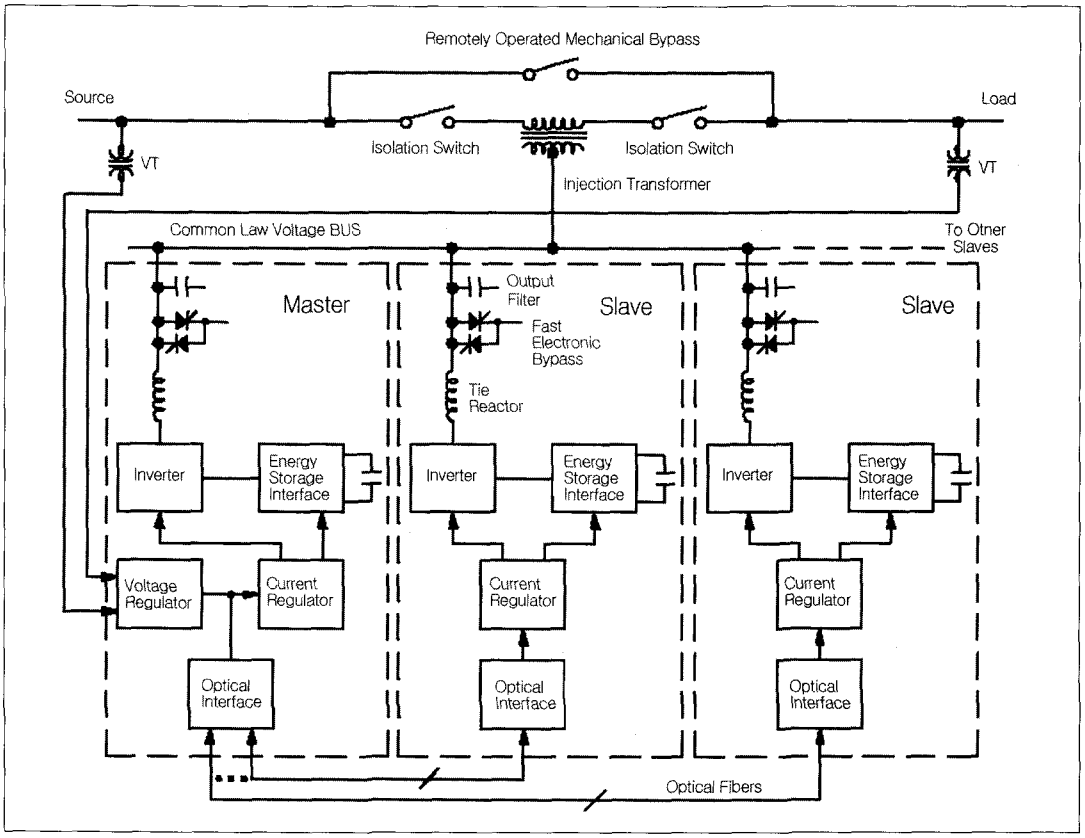


〈그림 9〉 Bonlac Foods Ltd.에 설치된 DVR

Siemens Power Conditioner)에 의해 호주, 플로리다, 스코틀랜드 등에 DVR을 설치 운용되고 있으며, 경제성 평가를 통해 DVR의 유용성이 입증되었다. 실제 플랜트에 설치되어 운용되고 있는 DVR 적용 실례를 표 7에 나타내었다(그림 9, 10 참조)

## 6. 맺음말

산업용 부하 외란에 아주 민감한 기기와 자동화설비의 급증에 따라 전력품질(Power Quality) 문제에 대한 요구가 높아져 가고 있다. 전력품질의 문제 중에서 산업용 수용가에 막대한 손실을 가져오는 순간전압강하(Voltage Sag)에 대해 다수의 연구단체 및 전력회사가 계통의 전압변동을 지속적으로 모니터링하고 있으며, 이를 평가하기 위한 지수들이 제시되고 있다. 이러한 순간




〈그림 10〉 Salt River Project 배전계통의 반도체플랜트를 위한 모듈형 DVR

전압강하를 보상하기 위해 SIEMENS와 ABB는 DVR을 개발하여 설치 운용하고 있으며, 수년간의 운용을 통해 경제성이 입증되고 있다. 현재 국내의 열악한 전력품질 문제로 큰 경제적 손실을 입고 있는 반도체 산업체에서 DVR의 도입이 적극적으로 검토되고 있고, 그 경제에 따라 앞으로의 시장은 더욱 확대될 것으로 보인다. 이에 당사는 전력변환장치 사업경험과 축적된 기술을 활용하여 현재 DVR의 개발을 진행중이며, 가까운 시일내 수 MVA급의 대용량 DVR 개발이 완료되어 실 사이트에 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌


1. M. McGranaghan, "Overview of Power Quality Standards", Electrotek Concepts, Inc.
2. David Mueller and Jeffrey Lamoree, "Detecting, Identifying, and Correcting Power Quality Problems", Electrotek Concepts
3. IEEE P1409 Draft 3, "Trial Use Guide for Application of Power Electronics for Power Quality Improvement on Distribution Systems Rated 1kV through 38kV", Working Group on Distribution Voltage Quality, Feb, 2000
4. 김형준, 허성일, 김성희, 안복신, "배전용 FACTS 기기 개발동향(1)- CUSTOM POWER 기기의 개발 현황", 전기학회지, 제47권, 제3호, pp. 32~36, March 1998
5. ANSI/IEEE Std. 446-1987, "IEEE Recommended Practice for Emergency Standby Power, Systems for Industrial and Commercial Applications" (IEEE Orange Book), p.75
6. Information Technology Industry Council, "ITIC(CBEMA) Curve Application Note", Technical Committee 3 of ITIC
7. SEMI Draft Doc. 2844A - rev.10/15/98, "Provisional Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity"
8. IEEE Std. 1346-1998, "IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment"
9. Math H. J. Bollen, "Stochastic Assessment of Voltage Dips in Large Transmission Networks Theory and Case Study", CIGRE, 1998
10. Daniel Sabin, "Indices Used to Assess RMS Voltage Variations", Electrotek Concepts, Inc.
11. D. L. Brooks, R. C. Dugan, Marek Waclawiak, Ashok Sundaram, "Indices for Assessing Utility Distribution System RMS Variation Performance", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 13, No. 1, pp.254~259, Jan. 1998
12. F. W. T. Davenport, "Voltage Dips and Short Interruptions in Medium Voltage Public Electricity Supply Systems", UNIPEDE/DISDIP Report, 1990
13. A. Sundaram, "EPRI Reliability Benchmarking Application Guide for Utility/Customer PQ Indices", Final Report, Sep. 1999
14. http://www.eskom.co.za
15. A. Detloff, D. Sabin, and F. Goodman, "Administering Voltage Sag Agreements with Automotive Manufacturing Customers at Detroit Edison" Proceedings of PQA North America, 1999
16. C. Greiveldinger, F. Habozit, B. Hyon and J.L. Javerzac, "New Quality Contracts in France", PQA '94 Proceedings E-101
17. Roger Bergeron, "CEA 220 D 711 Power Quality Measurement Protocol; CEA Guide to Performing Power Quality Surveys", Canadian Electrical Association, 1996
18. Neil H. Woodley, Dr. Tevfik, "Voltage Sag and Swell Mitigation Using a Static Series Compensation Devices", SIEMENS AG
19. Neil H. Woodley, L. Morgan, A. Sundaram, "Experience With An Inverter-Based Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, July 1999
20. Eric John, "Experience with a Static Series Compensation Device(DVR) at a Semiconductor Facility", ABB Power T&D Company Inc., April 1999
21. K. Chan, A. Kara, "Voltage Sags Mitigation with an Integrated Gate Commutated Thyristor based Dynamic Voltage Restorer", 8th International Conf. on Harmonics and Quality of Power, pp.14~16, Oct. 1998
22. IEEE P1409, "Custom Power Technology Development List", Distribution Custom Power Task Force, Dec. 1999
23. Dr. Thomas Baldwin, "Voltage Sag Analysis for Making Economic Decisions on Mitigation Solutions", ABB Power T&D Company, IEEE PES Summer Meeting, pp.482~483, 1999