

부하에 따른 voltage sag의 특성 분석

최현영, 류형선, 오세호, 박정균, 김양모
충남대 전기공학과

Analysis of voltage sag characteristics according to loads

Choi Hyun-Young, Ryu Hyoung-Sun, Oh Se-Ho, Park Jung-Gyun, Kim Yang-Mo.
Dept. of Electrical Engineering Chungnam National University

Abstract- Voltage sags are known as a serious problem causing mal-operation of equipment, process controllers and adjustable-speed drives. In this paper various analysis techniques for voltage sags will be presented : voltage sag characterization, equipment behaviour during voltage sag, stochastic assessment of voltage sags.

And possible solution to voltage sag sensitivity problems are also described.

지만 IEC에서는 voltage dip이라고도 불린다. IEEE Std. 1159-1995에 규정된 voltage sag는 0.5 cycle에서 1분 동안 전력계통에서 전압이 rms값으로 0.1 ~ 0.9 pu 이내로 감소하는 현상이라 정의된다. 좀 더 명확히 말하자면 voltage sag는 전력계통을 구성하는 송전선에 낙뢰 등에 의해 고장이 발생한 경우 고장점을 보호 계전기가 동작하여 차단기로 그것을 전력계통에서 제거하기까지의 사이 시간 내에, 고장점을 중심으로 전압이 저하하는 현상을 말한다. 그 크기는 전체 회로 중 관련된 선로와 기기의 임피던스에 의해 결정된다.

1. 서 론

최근 산업이 급속히 발달함에 따라 많이 보급되어 있는 컴퓨터와 자동화설비는 모두 배전 계통에서 발생하는 과도전압, 순간전압강하, 고조파 등의 교란에 대단히 민감하다. 따라서 이들 교란을 적절히 제거하지 않으면 컴퓨터와 자동화 설비는 고장이나 오동작을 유발하여 막대한 손실을 초래한다. 이와 같은 산업용 뿐 아니라 의료용, 가정용에 이르기까지 모든 장비의 성능 향상과 효율 증대를 위한 고도의 전기장비는 양질의 전력품질이 요구된다.

특히 전원의 순간적인 전압변동이 가장 큰 문제점으로 등장하고 있다. 미국의 NPL(National Power Laboratory)이 1990년부터 1995년까지 미국과 캐나다의 235개 지역에서 측정 조사한 전원장에 데이터에 따르면 전체 전원사고 중 순간전압 강하 (voltage sag)에 의해 발생하는 사고가 약 87%를 차지하며, 순간전압 상승이 7.4%, 정전율이 약 4.7%, 그 밖의 사고가 약 1% 정도로 분석된다.

이 중 가장 큰 비율을 차지하고 있는 순간전압 강하는 컴퓨터나 조명기구, 가정용 기기 같은 민감한 장비에 순간전압 강하로 인한 정전 같은 큰 영향을 미치고 있지만, 현재 우리는 순간전압 강하의 정의나 그 영향에 대한 이론적 정립이 부족한 실태이다.

이에 본 연구는 순간전압 강하의 정의와 종류, 그리고 종류별 부하에 따른 순간전압 강하의 영향, 그리고 순간전압 강하의 대응책에 대해 논의 해 보겠다.

2. 본 론

2.1 voltage sag (순간전압 강하)

통상 배전 계통에서는 하나의 모선에 몇 개의 선로가 병렬로 연결되어 있다. 따라서 단일선로의 고장은 이 선로가 연결된 모선이나 다른 선로에 완전한 전력손실을 주기보다는 순간전압 강하나 과도전압을 유발한다.

순간전압 강하란 송배전 계통의 전압이상현상으로 인한 일시적인 전압강하 현상으로 일반적인 정전현상과는 다르다. 순간전압 강하는 일반적으로 voltage sag라 불리

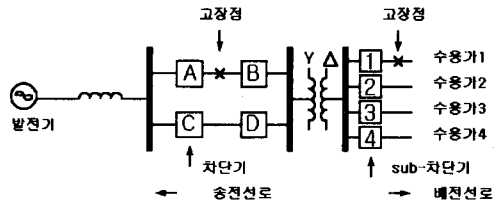


그림 2.1 송배전 계통도

그림 2.1은 송배전 계통도에서 고장이 발생 시에 수용가에서 voltage sag가 어떻게 발생하는지를 보이고 있다. 수용가는 sub-차단기로 연결되어 급전선으로부터 전력을 공급받게 된다. 만약 이 급전선에서 고장이 발생하면, 고장이 발생한 지점은 고속 차단기로 분리되고, 고장선로와 이웃하는 계통선로로 전기를 공급받는 수용가에는 고장이 제거되는 시간동안 voltage sag가 발생할 것이다. 이 고장이 일시적인 것이라면 차단기가 재작동하나, 민감한 부하의 경우는 정지하게 된다. 송배전 계통도에서 좀 더 흔한 문제는 송전 선로에 고장이 발생하거나, 다른 급전선 중 하나의 급전선에 고장이 발생하는 경우이다. 이 경우는 사실상 시스템에서 고장이 발생한 기간동안 voltage sag가 수용가에 나타난다. 이때 고장이 송전선로에서 발생하면 많은 에너지의 누출을 막기 위해서 차단기가 더욱 빠르게 작동해서 보통 전체 고장 감지시간과 차단기 동작소용시간이 3~6 cycle정도 내로 고장선로를 전원으로부터 분리시킨다. 이 voltage sag의 크기와 지속시간은 계통의 어느 부분에서 사고가 발생하였느냐에 따라 다르다.

표 2.1 voltage sag의 종류

Category	지속시간	전압 크기
Instantaneous	0.5~30 cycles	0.1~0.9 pu
Momentary	30 cycles~3s	0.1~0.9 pu
Temporary	3s~1min	0.1~0.9 pu

표 2.1은 지속시간에 따른 voltage sag의 종류를 나타낸 것이다. 이와 같은 voltage sag의 크기는 전압 강하율의 20%이하의 빈도가 전체 발생율의 절반정도를 차지하고, voltage sag의 지속시간이 5~6 cycle이내가 약 60%, 0.2초 이내가 전체 80%를 차지하고 있다. voltage sag의 발생원인은 전력계통을 구성하는 송전선에 낙뢰 등으로 인한 고장이나, 기기 소손, 산불 혹은 전력계통에 1선 지락 사고, 2선 지락 및 단락, 3상 단락사고 등이 있다. 또 전력설비의 대형화에 따라 전동기 용량도 대형화되어 기동 시 발생하는 기동전류로 인해 voltage sag가 발생하기도 한다.

voltage sag의 발생현황은 미국의 경우, sag의 크기가 80~100%가 900회 정도로 가장 많고 60~80%가 500여 회 정도이고, 지속시간은 주로 10cycle 미만임이 통계 치로 나타났다. 일본 역시 sag의 크기가 60% 이하가 주로 나타났으며 지속시간이 9cycle이내임이 나타났다. 위의 결과로부터 현재 일반적으로 사용하는 개인 컴퓨터나 고압 방전등, 전자 스위치 같은 기기 등에 영향을 미치는 sag의 크기가 전압 강하율의 60%이내에 발생하는 것을 알 수 있다.

2.2 Voltage sag가 부하에 미치는 영향

전력은 수용가에 전달될 때까지 발전, 송배전 설비를 거쳐야 하는 특성으로 외부에 노출될 수밖에 없어 각종재해나 자연현상에 의한 고장이 발생하고 있고 차량 충돌, 외부접촉, 고객설비 파급고장 등 다양한 고장요소에 직면해 있다. 특히 순간정전, 순간전압변동 등의 순시 외란은 낙뢰 등 자연현상에 기인되는 경우가 많으며, 그 크기는 작고, 순시적인 현상으로 나타나 정확한 측정이나 진단도 곤란하다. 특히 voltage sag가 영향을 미치는 부하는 voltage sag의 크기나 지속시간에 따라 달라지므로 정확한 통계가 어렵다.

대개 단시간의 sag에 영향을 받는 기기로는 전자개폐기나 응용 가변속 모터 등이 있고, 그 크기에 영향을 받는 기기로는 의료용 전자기기나 컴퓨터 등이 있다.

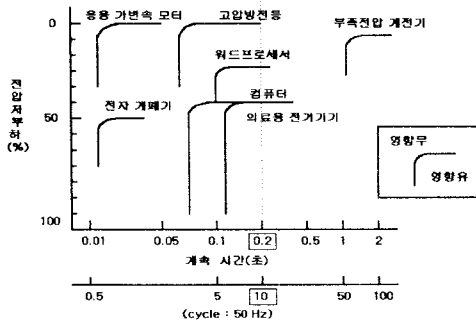


그림 2.2 sag에 영향을 받는 부하

그림 2.2는 sag의 크기와 지속시간에 따라 각각 영향을 받는 범위가 다른 부하들을 나타내고 있다. sag의 크기와 지속시간에 따른 부하들로 인한 피해는 간과될 수 없고, 특히 산업현장의 경우가 그러하다.

컴퓨터나 팩시밀리 같은 OA기기는 10~20%이상의 전압저하가 0.003~0.02s 정도 계속되면 메모리의 손실, 프로그램 오동작, 오제어, 송수신의 정지를 초래하기 쉽다. 일반적으로 많은 컴퓨터는 폭주·오제어를 방지하기 위해 시스템을 일단 정지한 후 다시 시작하고 있다. 공장용 프로세서 제어용 컴퓨터의 경우 정지하면 조업이 부분 정지하기 때문에 피해가 발생한다.

공장 전동기의 대부분이라 할 수 있는 전자개폐기의 경우 50%정도 이상의 전압저하와 0.005~0.02s의 sag

가 계속되면 작동하여 전동기가 정지하여 공장 생산의 정지를 일으킨다.

SCR 등을 사용하고 있는 가변속전동기, 예를 들면 일반산업용 전동기나 엘리베이터용 전동기의 경우는 20% 이상의 전압저하와 0.005~0.02s의 sag가 계속되면 주회로 출력전압이 저하하고 전동기의 회전수가 떨어지게 되며, 제어회로에 이상이 발생하면 전동기는 정상적인 동작을 할 수 없게 된다. 이러한 전동기의 정지로 인해 공장 조업, 엘리베이터 등이 정지하게 된다.

고압 수은등은 20~30% 이상의 전압저하가 0.05~1s 정도 계속되면 소등되고, 곧 전원이 복구되어도 발광관이 냉각되어 재 점등되기까지는 수분에서 실수분이 필요하며 또 안전점등까지는 수분이 필요하게 된다.

전동기 부하가 있는 일반 수용가에도 광범위하게 사용되고 있는 부족전압 계전기의 경우, 일정한 기계적 부하가 접속된 전동기의 단자전압이 저하되면 전동기는 과부하가 되어 전압강하가 커지고 구속상태로 되어 고정자 권선을 손상시킨다. 또 전원 회복 시에는 한번에 다수의 전동기가 가속되고, 이 시동전류는 계통에 큰 동요를 야기하게 되므로 부족전압이 나타나기 전에 필히 전동기를 전원에서 차단하여 보호하여야 한다.

최근 들어 사회의 고도 정보화, 자동차 흐름을 타고 컴퓨터가 확산 보급되고, 산업기술이 급속하게 발전함에 따라 생산제품의 정밀화, 첨단화의 추세가 두드러지고 있다. 따라서 일반가정에서부터 산업계에 이르기까지 voltage sag의 영향이 커져, 전기에 대한 고품질 욕구가 고조되는 반면 전기의 불 완전성으로 인한 직·간접적인 피해로 불만이 증증하는 실정이다.

따라서 정전 시 피해가 우려되는 전기사용자는 경제적 이고 효율적인 전력공급을 위해서 수전 측에 자체적으로 voltage sag에 대한 대응책 마련이 필요하다.

2.3 voltage sag의 해결방안

전력계통이나 수용가에서 voltage sag에 대한 장비의 민감성을 줄이기 위한 방법이나, voltage sag의 빈도 수나 severity를 줄이기 위한 대응책은 몇 가지로 나타난다.

우선, 전력계통 측에서는 향상된 전력공급과 전력 시스템 장비의 경제적인 손상 때문에 사고에 대한 예방을 중요하게 보고 있다. 그렇기 때문에 나무를 정돈하거나, 가공 지선의 설치, 피뢰기 설치, 접지저항 저감, 절연체 청소, 동물접근 금지 보호망, 그리고 설비의 다중화 등의 사고예방 활동을 하고 있지만 전력 계통 측에서 voltage sag에 대한 완전한 대책을 세우는 것은 현실적으로 어렵다.

따라서 수용가 측에서 사고가 발생했을 때 대책을 세우는 것에 더 주력하고 있다. voltage sag 대책을 수립하기 위해서는 장비 내에서, 제어 계통에서, 급전선에서, 수전 측에서의 대책으로 구분될 수 있으며 경제성과 기술성, 현실성을 토대로 수립하여야 한다. sag에 대한 대책으로 수용가 측에 민감한 부하나 비선형 부하를 보호하기 위한 전력 제어기의 사용을 강구한다.

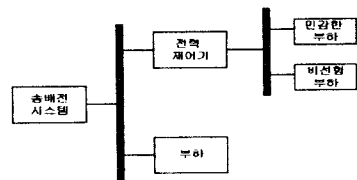


그림 2.3 전력제어장비의 응용

그림 2.3은 전력제어 장비가 일반적으로 사용되는 한 예를 보이고 있다. 전력제어 장비는 민감한 부하를 고조

파나 과도전압 혹은 voltage sag의 영향을 제거하는 역할을 하고 있다. voltage sag에 대응하기 위한 전력제어기, 즉 custom power 장비로는 UPS, DVR, AVR 등이 있다.

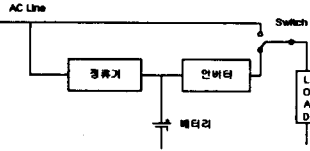


그림 2.3 UPS

그림 2.3은 UPS의 동작원리를 나타내고 있다. UPS (uninterruptable power supply)는 배터리와 인버터 시스템이 민감한 부하에 교류전력을 공급하고 전력회사의 공급선은 배터리를 연속적으로 충전하는데만 사용된다. 만일 전력회사에서 정전이 발생하면 인버터와 배터리 시스템이 전력을 직접부하에 공급할 수 있도록 바이패스 스위치가 연결되어 있다. 이 시스템의 특징은 전력회사가 공급하는 전력과 UPS가 전기적으로 완전히 분리되어 있어 배전 계통에서 발생하는 모든 장애에 대해 완전히 자유로운 전력이 부하에 공급된다. UPS는 정주파수, 정전압을 만들면서 계속 부하에 전력을 공급하는 on-line방식과 전원 장애가 발생할 때만 동작하는 off-line방식이 있다. 그러나 이 시스템은 고가장비이고 배터리의 유지, 보수도 필요하다. 또 부하의 전체용량을 보상하는 전전압 방식을 쓰고 있기 때문에 용량이 크다. 따라서 정전에 대한 대책보다는 전원 트러블의 대부분을 차지하는 voltage sag를 보상하는 연구가 더욱 필요하다. 그래서 본 연구는 DVR(dynamic voltage restorer) 성격을 띠는 고품질 정밀형 voltage sag 보상을 고안하였다.

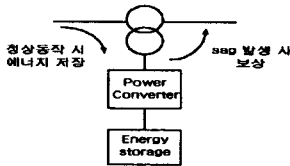


그림 2.4 고품질 정밀형 voltage sag 보상기

고안된 고품질 정밀형 voltage sag 보상장치, 즉 sagcom은 평상시 상용전원으로부터 부하에 전력을 공급하고 voltage sag가 발생할 때 인버터에 콘덴서에 축적된 에너지를 이용하여 전압강하 분만큼의 전압을 발생시켜 상용전원에 직렬로 더해줌으로써 출력전압을 유지시켜 준다.

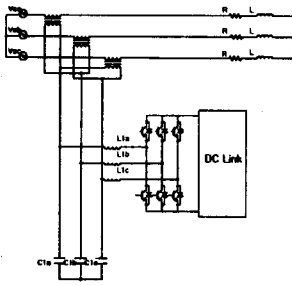


그림 2.5 sagcom 회로도

그림 2.5는 제시된 sagcom의 회로도이다. 인버터에서 발생된 전압은 필터를 거쳐 직렬변압기에 통하여 전원전압에 부속전압을 더하여 준다.

이러한 sagcom은 0.2s동안의 voltage sag를 보상할 수 있어야 하고, 전압강하 분의 60%이하에 대한 보상과 전원주파수와 동기된 전압을 인가하는 조건을 만족해야 한다.

3. 결 론

본 연구는 전력의 고품질과 효율성을 저하시키는 전원 장애 중 단락사고에 의해 순간적으로 전압이 저하되는 voltage sag가 부하에 미치는 영향에 대해 논의 해 보았다. 또 voltage sag에 영향을 받는 부하들이 산업용 뿐만 아니라 일반 가정에서 사용되는 기기로서 전력을 사용하는 user에게 경제적 손실을 가져옴을 알 수 있었다. 이에 voltage sag가 발생 시 이를 보상할 수 있는 보상장치를 고안해 냄으로써 앞으로 고안된 보상장치를 실험을 통한 검증이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 한국과학재단
목적기초연구지원으로 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] ANSI/IEEE Standard 446-1987, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power for Industrial and Commercial Applications, New York: IEEE, 1987, pp.74-75
- [2] M. McGranaghan, D. Mueller, and M. Samotyj, "Voltage Sags In Industrial Systems," IEEE/IASI& CPS Annual Meeting, 1991, 91CH2990-0, pp.18-24
- [3] V.E. Wagner, A.A. Andreshak, and J.P Staniak, "Power Quality and Factory Automation," IAS Annual Meeting, Vol. 35, No. 6, pp. 1391-1396
- [4] Math H. J. Bollen, Member, "The Influence of Motor Reacceleration on voltage sags" IEEE Transactions on Industry Applications, vil. 31, No. 4, July/August 1995