

순간전압강하(Sag)의 상대적 위치 판별 방법

안선주, 원동준, 정일엽, 문승일
 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부

A method to determine the relative location of voltage sag

S.J. Ahn, D.J. Won, I.Y. Chung, S.I. Moon
 Seoul National University

Abstract - To improve power quality, it is important to find the location of disturbance source. This paper presents a method to find the location of disturbance source that leads to voltage sag. The relative location of the source is defined and the method to determine the relative location of voltage sag is proposed. With this method, this paper shows that the location of disturbance source can be identified under distributed monitoring system.

1. 서 론

최근 전기품질은 공급자와 소비자 모두에게 중요한 문제로 대두되고 있다. 소비자는 전기품질 문제로 인한 피해를 최소화하기 위해 적절한 보상 기기를 설치하는 등 전기품질을 개선하기 위한 조치를 취하게 된다. 전력 공급자는 전력 산업의 구조 개편에 따라 공급 전력의 품질이 전력 공급 회사를 평가하는 중요한 기준으로 사용됨에 따라 전기품질 오염의 원인 파악과 책임 규명을 중요시하게 된다. 전기품질을 향상시키기 위해서는 먼저 전기품질 이벤트를 발생시키는 원인을 찾는 것이 매우 중요하다. 전기품질의 오염원을 밝히는 것은 오염원의 위치와 종류를 파악하는 것으로 나눌 수 있는데, 오염원의 위치를 찾게 되면 오염원의 종류를 파악하는 일이 훨씬 용이해 지므로 전기품질 오염원의 위치를 찾는 것이 무엇보다 중요하다. 전기품질 오염원의 위치를 정확하게 찾기 위해서는 다수의 모니터를 계통에 설치하고 여기에서 측정된 데이터를 종합하여 위치를 판단하여야 한다. 오염원의 위치 판별을 용이하게 하는 방법의 하나는 각 모니터에서 전기품질 이벤트를 감지하고 기록할 때 전기품질 오염원의 상대적 위치를 판별하여 함께 기록하는 것이다[1].

선로의 단락 사고, 부하의 증가, 모터의 기동 등의 다양한 원인에 의해서 발생하는 순간전압강하(sag)는 전력 계통에서 가장 빈번하게 발생하는 전기품질 문제 중의 하나이다. 따라서 sag의 발생원인 및 위치를 찾는 것은 전기품질의 향상을 위해 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 본 논문에서는 계통에 설치된 전기품질 모니터에서 측정된 데이터를 이용하여 sag 발생의 상대적 위치를 찾는 방법을 제안하도록 한다. Sag의 주요한 발생원인인 선로 사고와 유도 전동기의 기동 시의 전류, 전압, 유효 전력의 변화 특성을 살펴보고 이를 근거로 오염원의 상대적 위치를 판별하는 방법을 제시한다. 또한 간단한 계통의 예를 통해 각 모니터에서 판별한 상대적 위치 정보를 종합하여 오염원의 위치를 찾는 방법을 제시하도록 한다.

2. 본 론

2.1 분산 모니터링(Distributed Monitoring)

전기품질의 향상을 위해서는 우선 전기품질을 측정, 분석할 수 있는 전기품질 모니터링 시스템이 설치되어야

한다. 특히 전기품질 오염원을 정확히 판별하기 위해서는 다수의 모니터를 계통에 설치해야만 한다. 이처럼 계통의 여러 지점에 모니터를 설치하고 이를 종합하여 전기품질을 측정하는 것을 분산 모니터링 (Distributed Monitoring)이라고 한다. 최근의 PC 기반 네트워크 기술의 발달은 이러한 분산 모니터링 시스템의 구축을 더욱 가속화시켰다[2].

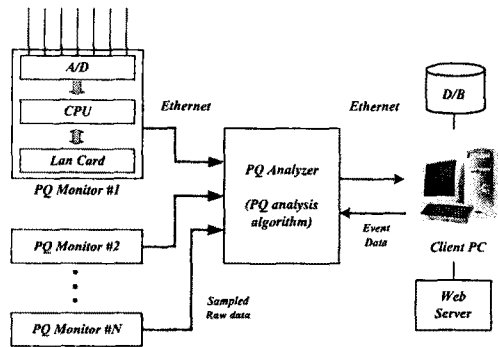


그림 1 분산 모니터링 시스템

그림 1과 같이 여러 지점에 설치된 모니터에서는 계통의 전압 및 전류 값을 측정하여 샘플링한 데이터를 이더넷(Ethernet) 통신을 통하여 어널라이저(Analyzer)로 전송한다. 어널라이저에서는 각 모니터에서 전송된 데이터를 다양한 전기품질 측정 알고리즘을 이용하여 소비자에게 유용한 데이터로 가공하고 그 결과를 인터넷상의 클라이언트 PC를 통하여 디스플레이 한다[3]. 이러한 분산 모니터링 시스템은 여러 지점에서의 전기품질 이벤트를 동시에 측정함으로써 전기품질 이벤트의 위치를 더욱 효과적으로 찾는 데 도움을 줄 수 있다.

2.2 상대적 위치(Up/Down)의 정의

위와 같은 분산 모니터링 시스템이 설치되어 있는 경우 각 모니터에서 측정된 데이터를 이용하여 오염원의 위치를 상대적으로 판단하고, 이 결과들을 종합하면 전체 시스템에서 오염원의 위치를 판별할 수 있다. 전체 시스템의 구성이나 설치된 모니터의 수 등에 따라서 위치 판별의 정확성은 달라지지만 오염원의 위치를 파악하기 위해서는 기본적으로 각 모니터에서 오염원의 상대적 위치를 파악하는 일이 먼저 수행되어야 한다. 따라서 어널라이저에서는 이벤트를 분석할 때 각 모니터에서의 오염원의 상대적 위치를 판별하여 up 또는 down의 판단 결과를 이벤트의 특성에 포함시켜 기록한다. 이 절에서는 이벤트의 상대적 위치 즉, up/down 영역을 정의하도록 한다.

그림 2의 (1), (2), (3) 영역과 같이 모니터가 설치된 하단의 부하나 선로에 오염원이 있을 경우를 down으로 정의한다. 반대로 (4), (5) 영역과 같이 모니터가 설치된

곳보다 상위 즉, 소스에 가까운 방향에 오염원이 위치한 경우나 (6), (7), (8) 영역과 같이 모니터가 직접 관찰하지 않는 부하나 선로 쪽에 오염원이 위치한 경우를 up으로 정의한다.

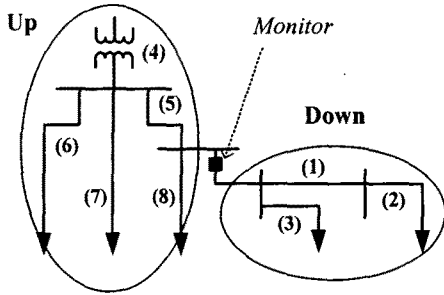


그림 2 Up/down 영역의 정의

오염원의 상대적 위치에 따라서 전압, 전류, 전력 값 등이 다르므로 이 특징을 이용하면 모니터에서의 up/down을 판별할 수 있는데, up/down의 정의에서 볼 수 있듯이 모니터가 관찰하는 하단 영역에 오염원이 위치할 경우의 특징을 판단하기가 더욱 용이하다. 따라서 down일 때의 확실한 특징을 이용하여 down을 판단하고, 그렇지 않은 경우를 up으로 판단한다.

2.3 Up/Down의 판별방법

Sag를 발생시키는 주요한 두 가지 원인은 선로 사고와 유도 전동기의 기동이다. 따라서 이 절에서는 각각의 경우에 sag 동안의 전압, 전류, 유효 전력의 특성을 살펴보고 이 특징을 이용하여 up/down을 판별하는 방법을 제안하도록 한다.

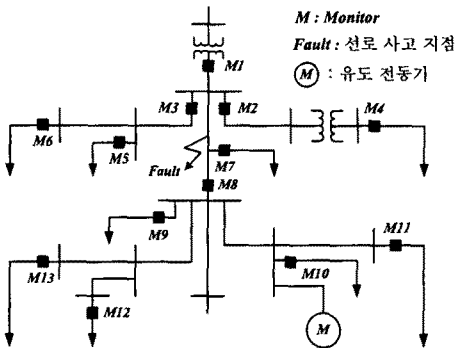
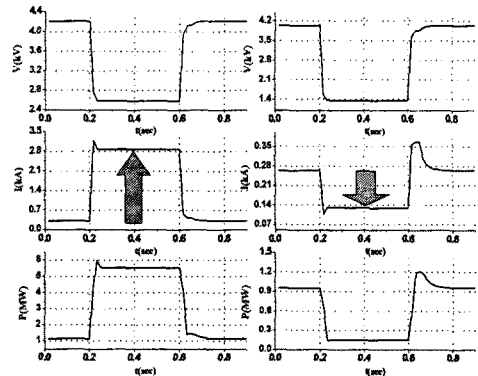


그림 3 IEEE 13 bus 계통도

PSCAD/EMTDC™을 이용하여 그림 3과 같은 IEEE 13 bus 계통을 구성하고, 이를 이용하여 3상 지락 사고와 유도 전동기의 기동으로 인한 sag를 모의하였다.

2.3.1 선로 사고에 의한 sag의 Up/Down 판별방법

선로에서 지락 또는 단락 사고가 발생하게 되면 그곳은 임피던스가 매우 작아지게 되어 주변의 에너지가 사고 지점으로 모이게 된다[4]. 따라서 소스에서 사고지점에 이르는 선로에서는 정상시의 전류의 수배에 이르는 사고전류가 흐르게 되고, 사고지점 이후의 선로와 주변 선로들에서는 전류가 거의 흐르지 않게 된다. 이러한 특징을 이용하면 선로 사고가 원인이 되는 sag의 경우에 up/down을 판단할 수 있다.



(a) Down(M1) (b) Up(M8)
그림 4 선로 사고에 의한 sag 발생시 전압, 전류, 유효전력의 변화

그림 4는 3상 지락사고에 의한 sag 발생시 모니터에 측정된 전압, 전류의 rms 값과 유효 전력의 크기를 나타낸다. (a)는 선로 사고 위치보다 상단에 있어서 상대적으로 down이라고 판별할 M1 모니터에서 측정된 결과이다. 여기에서 down이라고 판별하는 모니터에서는 sag 동안의 전류가 정상시 보다 9배 정도 증가함을 볼 수 있다. (b)는 M8 모니터에서 측정된 결과이며, 이 모니터에서는 up이라고 판단해야 한다. 이처럼 up이라고 판별하는 모니터에서는 전류가 오히려 감소하거나 sag 발생 이전과 비슷한 수준으로 유지된다.

이러한 전류 값의 변화를 이용하여 각 모니터의 정상시 전류의 rms 값을 계산하여 그 크기를 저장하고, sag가 발생한 동안의 전류의 rms 값을 계산하여 이를 정상시의 전류의 크기와 비교하여 up/down을 판별한다. 사고전류와 정상시 전류의 비가 어느 기준(I_{thr})을 넘으면 down으로 판단을 하고, 그렇지 않으면 up으로 판단을 한다. Sag 발생 이전의 전류의 rms 값을 I_{rmsS} , sag 동안의 전류의 rms의 평균값을 I_{rmsF} 라고 하면,

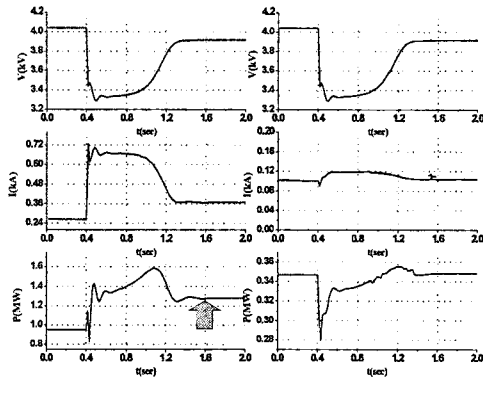
$$\begin{cases} \frac{I_{rmsF}}{I_{rmsS}} > I_{thr} \dots \dots \text{Down} \\ \frac{I_{rmsF}}{I_{rmsS}} < I_{thr} \dots \dots \text{Up} \end{cases} \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 up/down을 판별하는 기준값인 I_{thr} 은 이전에 기록되어 있던 사고전류의 크기의 데이터 등을 이용하여 결정할 수 있으며, 모니터가 설치된 위치에 따라서 다르게 적용될 수 있다. 일반적으로 선로 사고에 의한 사고전류는 정상시 전류의 몇 배~몇 십 배에 달하므로 I_{thr} 은 2 이상의 큰 값으로 정해야 한다.

2.3.2 유도 전동기의 기동에 의한 sag의 Up/Down 판별방법

용량이 큰 유도 전동기가 기동되는 경우나 새로운 부하가 계통에 투입되는 경우에도 sag가 발생한다. 이 경우에도 부하가 증가된 지점이 에너지의 싱크(sink)로 작용하여 주변의 에너지가 이 지점으로 모이게 된다[4]. 그러나 이 경우에는 선로 사고의 경우처럼 모니터에서 측정되는 전류의 크기가 모니터가 설치된 위치에 따라 명백한 차이를 보이지는 않는다. 따라서 유도 전동기의 기동으로 발

생하는 sag의 경우에는 선로 사고가 원인이 되는 경우와는 다른 판별 방법이 필요하다. 유도 전동기의 기동에 의해 발생한 sag의 경우 사고 중의 전류나 전압, 전력 값으로는 이벤트 소스의 방향을 판별하기 어렵기 때문에 이벤트가 끝난 후 정상 상태에서의 특성을 이용하여 판단해야 한다.



(a) Down(M8) (b) Up(M9)

그림 5 유도 전동기의 기동에 의한 sag 발생시 전압, 전류, 유효전력의 변화

그림 5는 유도 전동기가 기동될 때 모니터에 측정된 전압, 전류, 유효 전력의 크기를 나타낸다. (a)는 down 영역에 전동기가 존재하는 M8 모니터에서 측정된 결과이다. 여기에서 볼 수 있듯이 sag 발생 후의 정상 상태에서 모니터를 지나는 전류와 유효 전력이 증가하게 된다. (b)는 M9 모니터에서 측정된 결과이며, 이 모니터의 경우에는 직접 관찰하는 영역에 전동기가 존재하지 않기 때문에 up이라고 판단해야 한다. 이러한 경우에는 사고 후의 정상 상태에서는 모니터를 지나는 유효 전력의 양에 변화가 없음을 볼 수 있다.

위와 같은 특징을 이용하여, 각 모니터의 sag 이전 정상 상태에서 유효 전력 값을 저장하고 sag가 발생한 후에 새로운 정상 상태에서의 유효 전력의 증가량을 계산하여 어느 기준 이상 증가하였으면 down으로 그렇지 않으면 up으로 판단한다. Sag 발생 이전 정상 상태에서의 유효 전력 값을 P_{pre} , sag 발생 이후의 정상 상태에서의 유효 전력 값을 P_{post} 라고 하면,

$$\begin{cases} \frac{P_{post} - P_{pre}}{P_{pre}} > P_{thr} \dots \dots \text{Down} \\ \frac{P_{post} - P_{pre}}{P_{pre}} < P_{thr} \dots \dots \text{Up} \end{cases} \quad (2)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 위에서 up/down을 판별하는 기준인 P_{thr} 은 계통의 부하 용량과 모니터의 설치 위치에 따라 다르게 정할 수 있다. 부하가 새롭게 투입되거나 유도 전동기가 기동되더라도 유효 전력의 크기가 sag 이전 값의 몇 배에 이를 정도로 크게 변하지 않으므로 앞의 (1)의 식과 달리 여기에서는 sag 이후의 유효 전력의 변화량과 sag 이전의 유효 전력의 비를 up/down 판별의 기준으로 한다.

2.4 상대적 위치 정보를 이용한 발생 위치 판별

계통의 구성 상태와 모니터의 설치 위치, 각 모니터에서 판별한 up/down 정보를 종합하면 sag를 발생시킨 원인의 위치를 파악할 수 있다.

그림 6과 같은 간단한 계통의 경우에서, 모니터 M1과 M3에서만 down이라고 판별하였고, 나머지 모니터에서

는 모두 up이라고 판단하였다면 그림에서 굵은 선으로 표시한 부분이 공통으로 해당하는 영역이 된다. 따라서 이 선로 중의 어느 곳에서의 사고로 인하여 sag가 발생하였다고 예측할 수 있게 된다. 계통의 모든 지점에 모니터가 설치되지 않았기 때문에 이 경우처럼 예측된 결과가 하나가 아닌 여러 개로 발생할 수 있다. 이러한 경우에도 모니터에서 측정된 전압, 전류의 크기와 위상각 그리고 선로의 임피던스 등을 이용함으로써 선로 상에서의 보다 정확한 사고 위치를 계산할 수 있다.

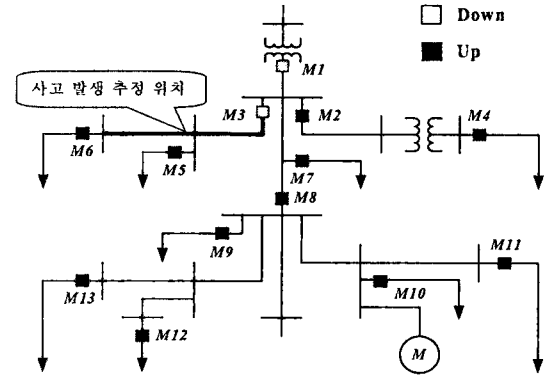


그림 6 Sag 발생 원인의 위치 판별

모니터가 많이 설치되면 sag 발생원의 위치를 보다 정확하게 찾을 수 있겠지만 모니터의 개수에 비례하여 모니터 설치비용이 많이 들게 되는 단점이 있다. 이처럼 경제적인 측면을 고려하면 모니터의 설치 개수는 제한될 수밖에 없으므로 제한된 모니터를 이용하여 오염원의 위치 판별의 정확성을 높일 수 있는 모니터의 설치 위치를 선택하는 것도 또한 중요한 문제 중의 하나가 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 sag가 발생한 경우에 전기품질 모니터에 측정된 데이터를 이용하여 sag 발생 원인의 상대적 위치를 판별하는 방법을 제안하고, 이를 이용하여 전체 계통에서 전기품질 오염원의 위치를 찾는 방법을 제시하였다. 제안하는 방법은 sag의 원인을 크게 선로 사고와 유도 전동기의 기동의 두 가지로 구분하여 오염원의 상대적 위치를 판별하였다. 각각의 경우에 전압, 전류, 유효 전력의 특징을 살펴보고 선로 사고가 원인이 되는 경우에는 sag 동안의 전류의 크기를, 유도 전동기의 기동이 원인이 되는 경우에는 sag 이후의 정상 상태에서의 유효 전력의 크기를 이용하여 up/down을 판별하였다. 마지막으로 각 모니터에서의 up/down 정보를 계통 정보와 모니터 위치 정보와 결합하여 sag의 발생 위치를 판별할 수 있음을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Math H.J. Bollen 외, "Operation of Restructured Power Systems", Kluwer Academic Publishers, 2001
- [2] Ben Byman 외, "Using Distributed Power Quality Monitoring for Better Electrical System Management", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, Issue : 5, pp.1481-1485, 2000
- [3] D.J. Won 외, "Development of Power Quality Monitoring System with Central Processing Scheme", Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE, Vol. 2, pp.915-919, 2002
- [4] Parsons, A.C 외, "A Direction Finder for Power Quality Disturbances Based upon Disturbance Power and Energy", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, Issue : 3, pp.1081-1086, 2000