

## 보호계전기를 이용한 전기품질 감시 기법 연구

배영준, 임성일, 최인선, 이승재, \*김정한, \*김병진  
 명지대학교 차세대전력기술연구센터, \*현대중공업

### Using Protective Relaying for Power Quality Monitoring

Bea Y J, Lim S I, Choi I S, LEE S J, \*Kim J H, \*Kim B J

Myoungji University Next-Generation Power Technology Center, \*Hyundai Heavy Industries Co.LTD

**Abstract** - Power quality monitoring system is devoted to more concern than before, because the innovation of industrial technology needs more accurate instruments and more advanced power quality. Therefore, this paper is proposed to use digital protective relays for power quality monitoring. In addition, taking power quality events, Electrical magnetic phenomenon of IEEE std 1159, proposing that adaptive power quality event list consider limitation memory capacity and signal processing ability of protective relay. The prototype S/W of power quality analysis is also developed. Especially this prototype S/W analysis scheme is verified through many kinds of power quality events (gathering protective relay data) in EMTP simulation.

#### 1. 서 론

최근 전력전자 기기의 사용 및 생산공장의 유도전동기 사용 등에 의해 전압이 순간적으로 상승하거나 강하하는 등 이상전압의 발생으로 전력품질이 저하되고 있다. 또한 정보·통신·제어기술의 발달과 기술혁신에 따라 순간적인 전압변동과 파형 외곽에 민감한 IT나 컴퓨터 등 고정밀, 고성능 기기들에 대한 전력공급에 있어서 전력 품질은 중요한 관심 사항이 되었다. 그리고 최근 전력산업의 민영화 체제로 전환됨에 따라 수용가의 전력 선택이 가능하게 되어 전기사용자의 전력품질에 대한 욕구도 다양화 및 고급화가 되는 추세이다. [1] 이에 따라 본 논문에서는 전기품질 감시에 있어서 전력시스템의 중요 개소에 광범위 설치되어 있는 보호계전기를 이용한 전기품질감시 방법에 대해 기술하였다. 보호계전기는 전력시스템에서 중요한 구성 요소이며, 피보호 설비에 병렬로 연결되어 있다. 또한 보호계전기의 핵심 기술인 마이크로 프로세서와 정보통신 기술의 발전은 보호계전기의 기능을 강화시켜 부하의 변화 및 계통 고장시 전압 및 전류 파형을 측정하여 저장하는 등 부과적 기능을 추가할 수 있게 하였다. [2] 본 논문에서는 보호계전기의 신호처리 능력에 있어서 전기품질감시의 적합성과 제한된 메모리를 이용하여 이상전압 데이터를 저장하는 기법에 대해 검토하였다. 특히 IEEE Std 1159에서 정의한 전기품질관련 현상을 정리했으며, 이 현상 중 보호계전기 신호처리 능력 및 메모리 용량을 고려하여 판단 가능한 전기품질 항목을 선정하였다. 또한 이 항목의 적합성을 검증하기 위하여 프로토타입 전기품질분석 프로그램을 개발하였으며, 이 프로그램에 전기적 현상에 대한 EMTP 모의 데이터를 시뮬레이션하여 보호계전기에서 취득한 데이터를 활용한 전기품질감시의 적합성을 판단하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 전기품질이란

전기품질의 정의는 산업의 변화에 따라 조금씩 차이가 있지만, IEEE Std 1159에서는 "특정 시간에 전력계통 임의의 장소에서 전압과 전류의 모양을 결정짓는 전자적 현상"이라 매우 광범위하게 정의했다. 실제적으로 전기품질은 소비자측의 손해나 전력계통 장비의 어떤 전기적 장애를 분석하기 위하여 다루어 졌다. 전기품질은 이러한 전기적 장애에 대한 기록 데이터를 분석하여 장애 요인을 분석하는데 주로 사용되며, 전형적으로 사고 후 분석으로 이루어 진다. 그리고 전기품질분석은 전기품질 감시를 통하여 더 좋은 품질의 전기를 공급하는데 그 목적이 있다. 이런 전기품질을 저해시키는 전기적 현상에 대한 구분은 IEEE Std 1159와 519에 잘 정의되어 있다. IEEE Std 1159에서는 전압의 변동, 매우 짧은 시간동안에 발생하는 Transients, 순간전압강하(Sags), 순간전압상승(Swells), 전압상승(Overvoltage), 전압강하(Undervoltage), 순간정전(Interruption), 고조파(Harmonics), 전압불평형(Voltage Imbalance), 주파수변동(Frequency Variation) 등의 정의 및 전기적 현상이 전력계통에 미치는 영향 등에 대한 내용이 포함되어 있으며, IEEE Std 519에서는 전력계통 Harmonic Disturbance에 대한 내용이 자세히 나와있다. [3][4]

표1. 전기품질현상 요소 (IEEE std 1159)

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5ns rise	< 50ns	
1.1.2 Microsecond	1µs rise	50ns-1ms	
1.1.3 Millisecond	0.1ms rise	> 1ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5kHz	0.3-50ms	0-4pu
1.2.2 Medium frequency	5-500kHz	20µs	0-8pu
1.2.3 High frequency	0.5-5MHz	5µs	0-4pu
2.0 Short duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5-30cycles	0.1-0.9pu
2.1.2 Swell		0.5-30cycles	1.1-1.8pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5cycles-3s	< 0.1pu
2.2.2 Sag		30cycles-3s	0.1-0.9pu
2.2.3 Swell		30cycles-3s	1.1-1.4pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3s-1min	< 0.1pu
2.3.2 Sag		3s-1min	0.1-0.9pu
2.3.3 Swell		3s-1min	1.1-1.2pu
3.0 Long duration variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1min	0.0pu
3.2 Undervoltages		> 1min	0.8-0.9pu
3.3 Overvoltages		> 1min	1.1-1.2pu
4.0 Voltage imbalance		steady state	0.5-2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0-0.1%
5.2 Harmonics	0-100th	steady state	0-20%
5.3 Interharmonics	0-6kHz	steady state	0-2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broad-band	steady state	0-1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25Hz	intermittent	0.1-7%
7.0 Power frequency variations		< 10s	

표 1은 대한 IEEE std 1159에서 정의한 전기적 현상에 대한 범주를 보여준다.

## 2.2 보호계전기를 이용한 전기품질감시

### 2.2.1 보호계전기 활용시 이점

보호계전기는 전력계통 전반에 설치되어 있으며 지속적으로 전압, 전류를 체크하여 고장을 검출한다. 이런 점을 이용한다면 보호계전기를 전기품질감시 장치로서 활용이 가능하다. 그러나 보호계전기를 이용한 전기품질감시는 완벽한 수단은 아니다. 하지만 현재 전력계통 전반에 설치되어 있는 보호계전기에서 취득한 데이터를 이용하여 전기품질분석을 한다면 별도의 추가 장비 없이 적은 비용으로 전기품질감시를 할 수 있다. 그리고 현재 사용되고 있는 계전기의 활용도 역시 높일 수 있다. 또한 계전기에는 항상 통신 네트워크와 연결되어 있어 언제든 시스템과 필요 데이터를 획득할 수 있다. 즉 전기품질감시를 위하여 네트워크 및 통신망의 활용도를 높일 수 있으며, 과도한 시스템과 유지비를 축소시킬 수 있다.[2]

### 2.2.2 보호계전기의 제약 조건

현재 사용되고 있는 대부분의 디지털 보호계전기는 각 주기 당 32번의 샘플링, 즉 1920(Hz) 간격으로 데이터를 취득한다. 이 경우 필터링과 노이즈, 중복효과에 의해서 16차 Harmonic까지만 판단이 가능하다. 그리고 IEEE std 1159에서 정의한 전기적 현상 중 극히 짧은 시간 동안 발생하는 Transient Impulsive와 Oscillatory 및 Notching, Noise 등의 현상은 판단이 불가능하다. 또한 보호계전기에 내장되어 있는 메모리는 약 2~4M 정도로 저장공간이 매우 작으므로 장시간의 데이터 저장이나 저장이 불가능하여 고장이나 전기품질을 저해시키는 현상 발생시 선택적 데이터 저장 및 축약 저장방법이 필요하다.

### 2.2.3 보호계전기의 감시 항목 선정

보호계전기의 샘플링 간격과 저장공간을 고려하면 IEEE std 1159에서 정의한 전기적 현상 중에서 판단 가능한 항목을 선정할 수 있다.

표 2. 보호계전기 감시 항목

Categories	
Short duration variations	Sag
	Swell
	Interruption
Long duration variations	Interruption, sustained
	Undervoltages
	Overvoltages
Voltage imbalance	
Waveform distortion	Harmonics
Power frequency variations	

표 2는 보호계전기에서 취득한 데이터를 전기품질분석에 이용할 경우 IEEE Std 1159에서 정의한 전기적 현상 중 분석 가능한 항목을 선정하여 나타낸 것이다.

### 2.2.4 보호계전기의 전기품질감시 유용성

일반적으로 보호계전기는 높은 주파수 성분에 대한 데이터를 취득할 수 없으며, 제한된 메모리로 인하여 데이터 저장시 최적의 상태로 저장해야 한다. 하지만 이 데이터만으로도 이전의 전력품질의 기준이었던 전압변동, 주파수 변동 등의 기본 전력품질 요소 이외에도 새로이 부각되고 있는 순간전압강하(Sag), 순간전압상승(Swell), 순간정전(Interruption), 고조파(Harmonics) 등의 판단이 가능하다. 또한 추가 설비 없이 현재 구성된 네트워크를 통하여 보호계전기의 전압, 전류 데이터를 취득할 수 있다.

## 2.3 보호계전기의 데이터 저장 기준

보호계전기의 제한적인 메모리 용량을 감안하여 지속적으로 계속되는 전압, 전류에 대해서 전기품질 저해 요소 발생시 지속시간, 발생횟수, 계속값 등을 저장해야 하는데 이런 정기적인 데이터를 저장하고 분석하여 문제점을 파악하기 위해서는 데이터의 최적화 및 데이터 축약 저장방법이 필요하다. 일차적으로 전압의 실효치가 1.1pu 이상이거나 0.9pu 이하일 경우에 데이터를 저장 기준으로 하여 데이터를 저장하고, 전기품질 저해 현상이 1초 이내 동안 지속될 경우 계전기 각 샘플링 값 전체를 저장하는 스냅샷 방법으로 저장한다. 지속시간이 1초 이상일 경우 변화되는 실효값과 지속 시간 그리고 하모닉 변화율을 저장하는 방법이 있다.

## 2.4 사례연구

### 2.4.1 EMTP 모의

보호계전기에서 취득한 데이터를 이용하여 각 현상을 판단하기 위하여 순간전압강하(Sag), 순간전압상승(Swell), 순간정전(Interruption) 등의 현상에 대해 모의 하였다. 순간전압강하(Sag)는 같은 모선에서 인출된 다른 회선 중 한 회선에 중부하를 연결하여 다른 회선의 같은 상에서 순간전압강하(Sag) 현상을 모의 했다. 순간전압상승(Swell)의 경우는 같은 모선에서 인출된 회선 중 한 회선의 지락고장시 타회선 같은상의 전압이 상승하게 되는 경우이며, 순간정전(Interruption)은 한 회선 지락고장시 리클로저 동작으로 순간 고장을 제거 순시재폐로가 성공 했을 때 나타나는 현상으로 모의 했다.

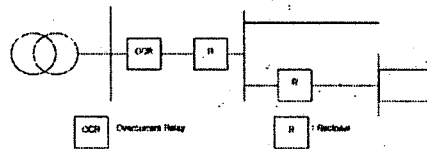


그림 1 모의 계통도

그림 2, 3, 4는 모의 결과이다. 결과 데이터는 보호계전기의 보편적인 샘플링 간격인 각 사이클당 32번 데이터를 저장하는 것을 기준으로 하였으며, 20사이클을 기본으로 하였다.

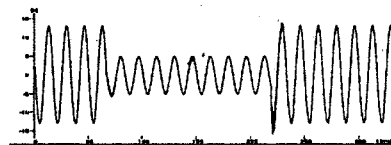


그림 2 순간전압강하(Sag)

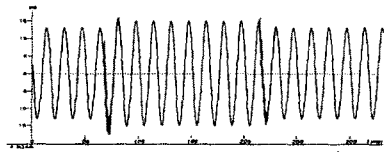


그림 3 순간전압상승(Swell)

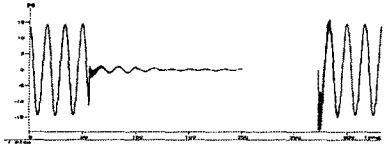


그림 4 순간전압강하(Interruption)

### 2.4.2 보호계전기 데이터 검증

EMTP 모의 결과 데이터를 이용하여 전기품질요소를 판정하기 위한 전기품질분석 소프트웨어 프로토타입을 개발하였다. 그림 5는 전기품질분석 소프트웨어 프로토타입 메인화면이다. 그림 5에서 위쪽 윈도우는 EMTP 모의에서 취득한 이상전압 발생시 저장된 데이터 파형을 보여주며, 아래쪽 윈도우는 전압 데이터 값의 실효값 변동을 볼 수 있도록 하였다.

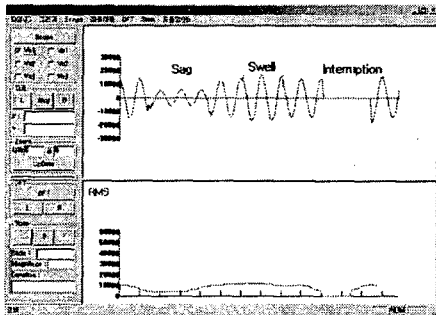


그림 5 전기품질분석 소프트웨어

그림 6은 각 한 사이클당 DFT를 통한 고조파 함유율을 보여준다. 보호계전기 샘플링 간격은 각 사이클당 32번을 기준으로 하였으므로 15고조파 성분까지만 나타났다.

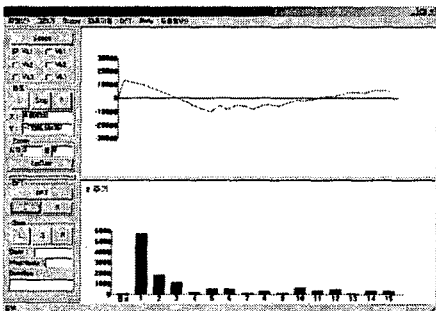
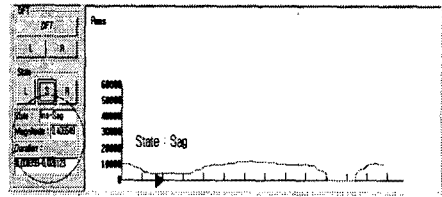
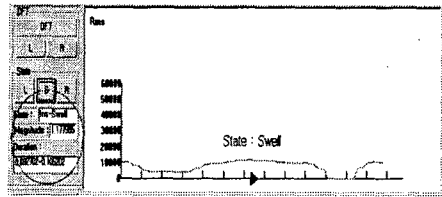


그림 6 DFT를 통한 Harmonics 분석

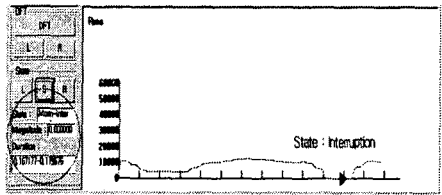
그림 7은 보호계전기를 통하여 이상전압 발생시 저장된 데이터를 이용하여 전압의 실효치의 변화에 따른 전압의 상태 및 실효치 크기, 이상전압의 지속시간을 분석해주는 기능을 보여준다.



(a) 전기품질분석(Sag)



(b) 전기품질분석(Swell)



(c) 전기품질분석(Interruption)

그림 7 전기품질분석

그림 7은 보호계전기에서 추출한 데이터를 분석하여 IEEE Std 1159에서 정의한 전기적 현상을 분석할 수 있음을 보여준다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 보호계전기의 전기품질감시장치로서 적합성에 대해 알아보았다. 보호계전기의 샘플링 간격과 제한된 메모리의 제약 조건하에서 IEEE Std 1159에 정의된 각 현상 중 보호계전기가 판단 가능한 전기품질 현상 항목을 선정하였으며, EMTP 모의를 통하여 보호계전기에서 취득한 데이터를 기반으로 전기품질요소 판정 여부 및 적합성에 대해서 알아보았다.

#### [감사의 글]

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램과 현대중공업의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 황병준, "PQM(Power Quality Monitoring) 시스템 運營技術의 適用", 전기학회월간지, 51권 8호, 26-32, 2002
- [2] David G Hart, "Tapping Protective Relays for Power Quality Information", IEEE Computer Applications in Power, Volume: 13 Issue: 1, 45-49, Jan. 2000
- [3] IEEE Standards Coordinating Committee, "IEEE std 1159-1995", IEEE Standards Board, Nov 1995
- [4] IEEE Standards Coordinating Committee, "IEEE std 519-1992", IEEE Standards Board, April 1993