

프로세스버스 기반의 차동보호계전 IED의 위상각 차 보상장치 및 방법에 관한 연구

한정열, 심응보, 안용호, 김용학, 이유진  
한국전력공사

A study on differential protection IED based on process bus for transmission line and the method of phase difference compensation

Jeong-Yeol Han, Eung-Bo Shim, Yong-Ho An, Yong-Hak Kim, You-Jin Lee  
KEPCO

**Abstract** - 최근 IEC61850 기반의 변전소 자동화 시스템의 구축이 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 한국전력공사를 중심으로 총 3차의 시범사업을 진행하였고, 현재 4차 시범사업을 추진 중이다. 2005년 한국전력공사 주관으로 수행중인 연구과제의 성과물로 송전선로 보호용 IED를 제외한 보호, 제어 IED의 국산화가 완료되어, 외산 IED와 함께 4차 시범사업에 활용되고 있다. 그러나 현재까지 국내에서 추진되고 있는 변전소 자동화 시스템은 스테이션버스 레벨의 시스템이며, IEC 61850기반 프로세스버스 레벨의 시스템 구축을 위한 연구는 아직 진행 중에 있다. 본 논문에서는 프로세스버스 레벨의 송전선로보호를 위해 선행되어야 할 문제점에 대해 논하고, 그 중 차동보호계전에 필요한 프로세스버스 기반의 위상각 차 보상장치 및 방법을 제시한다.

IED(Intelligent Electronic Device)는 전력산업 분야에서 사용되는 용어로서, 일반적으로는 디지털 기술로 구현된 지능형 전자 장치를 의미하며, 보다 상세하게는 전력 계통의 각 설비들에 대한 보호, 계측, 감시 등의 기능을 수행하고, 이 기능 수행과 관련된 정보를 통신을 이용하여 외부 송수신할 수 있는 기능을 구비한 장치를 의미한다. 또한 IED는 전력기술에 IT기술을 융합시킨 지능화된 디지털 장치로서 Smart Grid와 Smart SAS(Substation Automation System)을 구현하기 위한 핵심 장치이다.

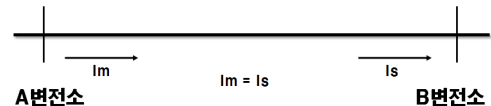
1. 서 론

2.2 송전선로보호용 차동보호계전 기능 개요

최근 IEC61850 기반의 변전소 자동화 시스템의 구축이 국내·외적 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 한국전력공사를 중심으로 총 3차의 시범사업을 진행하였고, 현재 4차 시범사업을 추진 중이다. 이러한 변전소 자동화는 기존의 장비들을 통신 기능이 내장된 고성능 마이크로프로세서 기반의 IED(Intelligent Electronic Device)로 대체함으로써 가능해졌다. 2005년 한국전력공사 주관으로 수행하고 있는 국책과제의 결과물로 현재 송전선로 보호용 IED를 제외한 보호 및 제어 IED의 국산화가 완료되었으며, 외산 IED와 함께 4차 시범사업에 도입되었다. 그러나 현재까지 국내에서 구축하고 있는 변전소 자동화 시스템은 스테이션버스 레벨의 시스템이며, IEC 61850기반 프로세스버스 레벨의 시스템 구축을 위한 연구는 아직 진행 중에 있다. 프로세스버스를 송전선로보호에 IED를 적용할 경우 CT, PT로부터 아날로그 신호를 직접 받아들이는 후 자체적으로 정해진 샘플링속도로 샘플링 과정을 수행하여 디지털 데이터로 변환하던 기존 방식과 달리 프로세스버스를 사용하는 경우 IED는 직접 샘플링과정을 수행하지 않고 이미 디지털 데이터로 변환된 샘플링 값을 수신하기 때문에, 각 신호에 대한 샘플링속도 및 샘플링타이밍이 서로 상이할 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 프로세스버스기반의 송전선로보호요소 중 차동보호계전에 필요한 위상각 차 보상장치 및 방법을 제안한다.

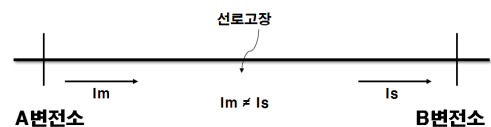
가정이나 공장 또는 빌딩 등에 전력을 공급하기 위한 전력 시스템은 전력을 생산하는 발전소, 전력을 수송하는 송전선로, 전력을 필요한 크기로 변성하는 변전소, 및 필요한 각 지역으로 전력을 배분하는 배전선로 등으로 이루어진다. 변전소는 변압기, 모선, 선로, 차단기 등의 전력설비로 구성된다. 변압기에서는 전송되는 전압의 크기를 변성하고, 모선에서는 송전선로를 연결하며, 차단기에서는 선로의 전력 흐름을 차단하는 역할을 수행한다. 이때, 전류차동보호 기능은 송전선로 보호를 위한 주 보호 방식으로 사용되며 보호계전의 원리는 다음과 같다. 송전선로는 그림 2에서와 같이 한 변전소(송전단 변전소)에서 시작하여 그 다음 변전소(수전단 변전소)까지 연결되는데, 송전선로가 정상 상태인 경우에는 송전단 변전소에서의 신호와 수전단 변전소에서의 신호가 같다.

2. 본 론



<그림 2> 정상 상태의 송전 선로

그러나 그림 3에서와 같이 송전선로 상에 고장이 발생하면, 송전선로의 양단인 송전단과 수전단에서의 전류가 같지 않고 전류차가 생기게 된다.

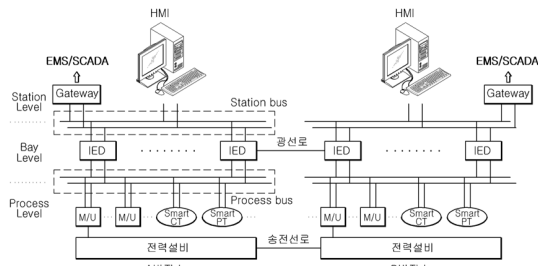


<그림 3> 고장 상태의 송전 선로

2.1 IEC61850 기본 구성

IEC61850은 변전소 자동화 시스템 구성을 위한 국제표준으로 큰 특징은 구리선을 이용하여 전력설비 데이터를 전송하던 방식에서 이더넷 통신망을 이용하여 전송한다는 것이다. IEC61850 변전소 자동화 시스템을 구성하는 통신 레벨은 아래 그림과 같이 Station Level과 Bay Level 그리고 Process Level과 같이 크게 3개 부분으로 나누며 변전소간 통신은 IED간 직접 통신 방식을 택하거나 Pitr과 같은 별도의 통신장비를 이용할 수 있다.

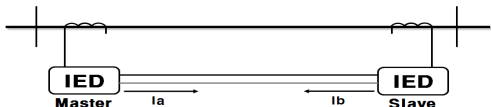
위와 같은 원리를 이용하여 보호계전 기능을 수행하기 위해 송전선로 보호용 차동보호계전 시스템은 그림 4와 같이 구성할 수 있다. 그림 4와 같이 송전선로의 양단에 IED를 하나씩 설치하고 이 두 IED를 통신으로 연결할 수 있다. 그리고, 각 IED는 자신이 계측한 비교 대상 신호 값을 통신을 이용하여 상대단 IED로 전송하고, 자신이 계측한 신호 값과 상대단 IED로부터 수신한 신호 값을 비교하여 일정 수준 이상 차이가 나타나면 선로 고장이 발생했다고 판단한다.



<그림 1> IEC61850 기본구성

이 때 신호 값을 정확하게 비교하기 위해서는 일반적으로 아래와 같은 두 가지 조건을 충족시켜야 한다.

- 비교 대상 신호 값을 읽는 시점을 송전선로 양단의 IED에서 동일하게 한 후 해당 신호 값을 처리한다.
- 각 IED에서 신호 값을 비교할 때 같은 시점에 읽어서 처리한 신호를 비교한다.



<그림 4> 송전선로보호용 차동보호계전 구성

### 2.3 Process bus 적용 시 고려사항

전력계통에 사용되는 차동보호계전 방식에서 프로세스버스를 적용하지 않는 경우 IED는 계기용 변류기(CT), 계기용 변압기(PT)로부터 아날로그 신호를 직접 받아들인 후, 자체적으로 정해진 샘플링속도(sampling rate)로 샘플링(sampling)과정을 수행하여 디지털 데이터로 변환하여 사용한다. 또한, 이러한 변환과정을 거친 신호들은 샘플링 타이밍(sampling timing)이 모두 동일하다. 반면, 프로세스버스를 이용하는 송전선로보호용 차동보호계전 방식의 경우 IED가 직접 샘플링 과정을 수행하지 않고, Merging Unit이나 smart 타입의 CT, PT에서 샘플링된 디지털 데이터를 프로세스버스를 통해 값을 수신하기 때문에, 각 신호에 대한 샘플링 속도 및 샘플링타이밍이 서로 상이할 수 있다는 문제점을 갖고 있다. 송전선로 고장을 판단하기 위한 비교 대상 신호 값의 샘플링속도와 샘플링타이밍 차이는 차동보호계전 방식에서 비교대상인 두 신호에 대한 페이지를 계산했을 때 두 신호의 위상각이 동일하여 위상각 차가 전혀 없다고 하더라도 계산상으로는 위상각 차를 발생시키게 된다. 따라서 이러한 계산 상 위상각 차를 없애는 방법을 적용하는 것이 필요하다.[1] 이를 해결하기 위해서는 두 신호의 샘플링속도의 최대공약수를 구하여 1주기를 이 최대공약수로 나눈 결과 값을 페이지 계산 간격으로 결정하고, 이 페이지 계산 간격에 따라 페이지 계산 시점이 되면 두 신호에 대한 페이지를 계산해야 한다.

위 내용을 송전선로보호용 차동보호계전 입장에서 보면 두 가지로 요약된다. 하나는 송전선로 양단의 샘플링속도를 두 IED가 모두 알고 이 값들의 최대공약수를 각 IED가 계산해서 가지고 있어야 한다는 것이다. 이를 위해서는 자단의 IED에 입력되는 샘플 값의 샘플링속도 검출이 선행되어야 한다. 그리고 다른 하나는 두 IED가 각각 비교 대상 신호에 대한 페이지를 계산하게 되므로, 이 두 IED가 페이지를 계산하는 시점을 동일하게 만들어야 한다는 것이다. 이렇게 해야만 비교 대상이 되는 두 신호를 마치 한 IED가 처리하는 것과 같은 효과를 낼 수 있다.

### 2.4 위상각 차 보상 방법

송전선로 보호를 위해 사용되는 프로세스버스기반의 IED를 사용할 경우 발생하는 위상각 차 보상을 위해 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 제시한다. 첫째, 프로세스버스를 통해 자신에게 입력되는 전류 신호의 샘플링 속도 자동 검출한다. 둘째, 자단의 샘플링 속도를 상대단에게 전송하여 공통 시간간격을 계산하고 공통 시간간격에 맞춰 이벤트를 발생하여 이벤트 발생 시점을 공통 페이지 계산시점으로 정한다. 셋째, 공통 페이지 계산시점에 양단의 IED 각각에서 계산된 값에 address를 부여하여 공통 페이지 계산시점 address 동기화 기능 수행한다. 마지막으로 상대단 IED로부터 페이지를 수신하면 수신한 페이지와 같은 address를 가지는 자신의 페이지의 벡터 합을 계산하고 이 벡터의 합의 페이지를 계산하여 얻은 위상각을 샘플링타이밍 차이에 의해 발생하는 계산 상 위상각 차로 간주 후 보상을 시행한다.

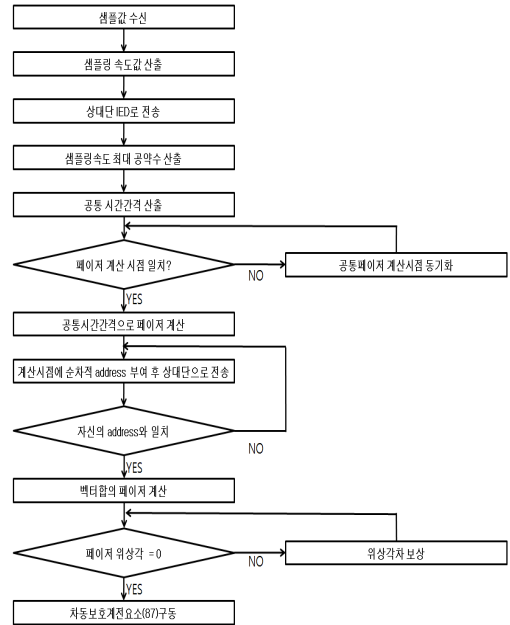
앞에서 언급한 방법을 보다 상세히 나누면 아래와 같이 총 10단계의 과정을 거쳐 보상을 시행하게 되며, 그림 5와 같은 위상각 차 보상 알고리즘에 대한 순서도를 가지게 된다.

- ① 송전선로 양단의 IED는 프로세스버스 인터페이스를 통해 자신에게 입력되는 전류 신호의 샘플 값이 0이면서 0이상으로 변하는 시점간의 샘플 값을 카운트하고 일정주기 동안 동일한 방법으로 카운트한 값이 연속해서 동일한 값으로 측정될 경우 그 값을 입력신호의 1주기당 샘플링 속도로 결정하고 검출된 샘플링 속도 값을 송전선로 상대단 IED로 전송한다.
- ② 송전선로 상대단 IED의 1주기당 샘플링 속도를 받으면, 자신의 1주기당 샘플링속도와 상대단 IED의 1주기당 샘플링속도의 최대공약수에 해당하는 값을 구하고, 이 값을 공통 샘플링속도로 결정한다.
- ③ 공통 샘플링속도가 결정되면, 신호 1주기에 해당하는 시간을 이 공통 샘플링속도로 나눈 값을 계산하여 이 결과 값을 공통 시간 간격으로 결정한다.
- ④ 공통 시간 간격이 결정되면 이 시간 간격에 맞춰 인터럽트(interrupt)와 같은 이벤트를 발생시키고, 이 이벤트 발생 시점을 공통 페이지 계산시점으로 정하고 차동보호계전을 위해 사용되는 신호의 페이지를 계산한다.
- ⑤ 최초 동작 시에 상기의 공통 페이지 계산 시점은 송전선로 양단의 두 IED에서 서로 다를 수 있으므로, 이 공통 페이지 계산 시점을 일치시키기 위해서 공통 페이지 계산 시점 동기화 기능을 실행한다.
- ⑥ 공통 페이지 계산 시점 동기화 기능을 실행하여 공통 페이지 계산시점을 일치시킨 후에는 1주기 동안의 각 공통 페이지 계산 시점에 대해 순차적인 address를 부여하고, 상대단 IED도 같은 공통 페이지 계산시점에 같은 페이지를 부여할 수 있도록 공통 페이지 계산 시점 address 동기화 기능을 실행한다.
- ⑦ 공통 phasor 계산 시점 address 동기화까지 완료된 후에는 공통 페이지 계산 시점에 계산된 페이지에 address를 부여한 후 상대단 IED로 전송한다.
- ⑧ 상대단 IED로부터 페이지를 수신하면 수신한 페이지와 같은 address

를 가지는 자신의 페이지와 수신한 페이지의 벡터 합을 계산하여 이 벡터 합의 페이지를 계산하고, 이 벡터 합의 페이지 위상각은 송전선로 양단에서 비교용 신호에 대한 샘플링타이밍 차이에 의해 발생하는 계산 상 위상각 차로 간주한다.

⑨ 상기와 같은 방법으로 계산 상 위상각 차를 검출하고, 차동보호계전 기능 수행 시 상기 계산 상 위상각 차만큼을 보상한다.

⑩ 고장판단 및 페이지 계산을 위해 변전소 양단의 IED는 전압/전류의 벡터값을 가진 GOOSE 메시지를 이용, 이더넷 망을 통해 통신하며 통신된 정보를 IED내에서 내부 로직으로 처리한다.



〈그림 5〉 위상각 차 보상 알고리즘 순서도

### 3. 결 론

본 논문에서는 프로세스버스 기반의 송전선로 보호를 위해 사용되는 차동보호계전 IED에서 발생할 수 있는 디지털 데이터의 샘플링속도와 샘플링타이밍의 차이에 대해 설명하고 이로 인해 발생하는 위상각 차 보상방법을 제시하였다. 현재 국내에서 추진 중인 IEC61850기반 변전소 자동화 시스템은 모두 스테이션버스 기반의 시스템으로 프로세스버스 기반의 풀 디지털 변전소 자동화 시스템의 구축을 위해서는 본 논문에서 언급한 문제점 이외에도 실제 아날로그 데이터를 Merging Unit의 샘플링 및 샘플링 데이터 전송 주기의 결정, 프로세스버스를 사용할 경우 추가적으로 발생하는 네트워크상의 로드의 해결, IED 및 기타 변전 설비의 신뢰성 제고 등 등 추가적인 연구가 계속 진행되어야 한다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(R-2005-1-395-001)

### [참 고 문 헌]

- [1] 안용호, 김용학, 장병태, 이남호, 한정열, 심음보, 문상용, "Process Bus용 송전선로보호 IED 개발", 전기학회학술대회, pp.614-615, 2010
- [2] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850-9-2, Communication networks and systems in substations - Part 9-2: Specific Communication Service Mapping(SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3, IEC, 2006