

변전소 상태추정 및 고장 측정기기의 검정 시뮬레이터에 관한 연구

이홍재* 왕인수* 김용한* 박성민* 강현재**
 *광운대학교 전기공학과 **한국전력 중부전력소

A Study on the Substation Simulator for the State Estimation and the Bad Measuring Devices Detection

H. J. Lee* I. S. Wang* Y. H. Kim* S. M. Park* H. J. Kang**
 *KwangWoon Univ. **KEPCO

Abstract - The modern power system including lots of measuring devices and controller is large and complex total information system. A Lot of data and system information are transmitted to operators, and analysing these information and system management is very important. Recently, GUI(Graphic Users Interface) is emphasized as a method that operators carry out their duties, effectively.

In this paper, a simulator that can show state estimation and detection of bad measuring devices is introduced for domestic 154kV/22.9kV distribution substations. C language and Visual Basic is used for this simulator, and TCP/IP is adopted to consider connection with a power system.

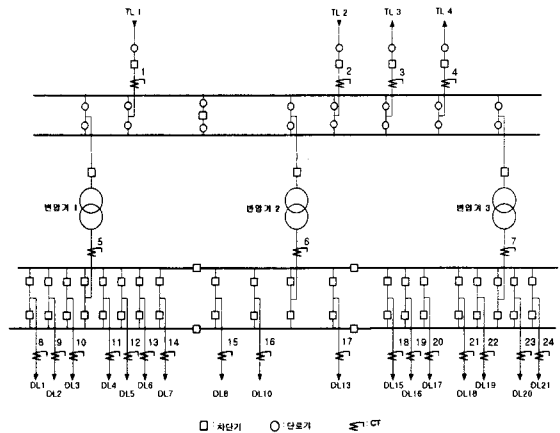


그림 1. 송포 변전소의 단선결선도

대상 변전소의 구성 세부 내역은 다음과 같다.

- 154kV 송전선로 - 4 line
- 22.9kV 배전선로 - 17 line
- 주 변압기(45/60MVA) - 3기
- 계측기용 CT 용량 - 송전선로 : 800/5
 - 주변압기 : 2000/5
 - 배전선로 : 600/5

1. 서 론

전력 수요 증가에 의한 전력시스템의 비대화는 사회가 급속도로 발전함에 따라 피할 수 없는 상황이다. 이러한 상황에서 에너지의 확보, 전력시스템의 안정한 운용과 효율성을 위하여 여러 가지 제반 설비들이 증가하고 있다. 또한 세계 각국에서는 전력시스템의 원활하고 안정적인 운용을 위한 자동화 시스템의 구현에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 전력시스템의 자동화를 위해 다각적으로 연구를 수행하고 있다. 특히 변전소는 전력시스템의 계층 구조 중에서 최하층 부분으로서 계통의 원활한 운용을 위하여 우선적으로 자동화가 진행되어야 할 부분이다.

현재 세계적으로 변전소의 완전 자동화를 위하여 다양한 운용 시스템을 도입하여 사용하고 있으며, 국내에서도 변전소 무인화 사업, 지능적 운용에 관련된 연구가 활발히 수행되고 있다. 이와 같은 상황에서, 현재 사용하고 있는 시스템의 성능 평가 및 현재 진행중인 시스템의 실계통 적용가능성을 검증할 수 있는 정밀한 변전소 시뮬레이터의 확보는 변전소 무인 자동화 연구의 진행에 있어 가장 기본적인 부분이라 할 수 있다.

본 논문에서는 국내 이중화 모선 구조의 154kV급 배전 변전소를 대상으로 한 변전소 상태변수 추정 및 검정 시뮬레이터를 개발하였고, 추후 전력시스템과의 연계를 고려하여 TCP/IP를 사용하였다. 또한 이식성과 GUI를 위하여 Windows상에서 C 언어와 Microsoft Visual Basic을 사용하여 개발하였다.

2. 본 론

2.1 변전소 시스템의 구조

그림 1은 본 논문에서 적용한 계측기 검정 시뮬레이터에서 이용된 154/22.9kV급 배전 변전소인 송포 변전소의 단선 결선도이다.

2.2 불량데이터 검정 시뮬레이터의 구조

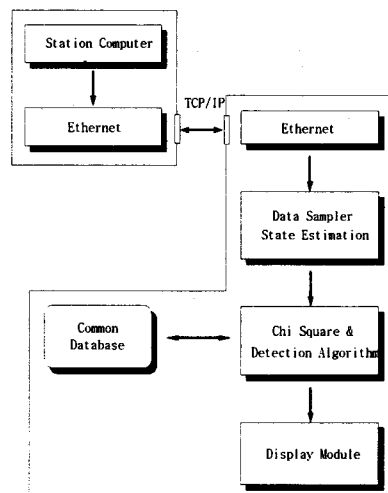


그림 2. 계측기 검정 시뮬레이터의 구조

본 논문에서 개발한 계측기 검정 시뮬레이터의 구조는 그림 2와 같다. 시뮬레이터는 크게 TCP/IP를 기점으로 변전소 측정값을 전송하는 보조 시스템(Sub System)과 전송된 데이터를 기반으로 계측기의 상태를 추정하는 주 시스템(Main System)으로 구성되어 있다. 또한 주 시스템은(Main System)은 전송된 계측기의 데이터에 대한 상태 추정값과 실 측정값을 기반으로 Chi Square Test를 시행하여, 불량 데이터를 내포한 계측기를 Detection하는 고장진단 모듈과 주 시스템의 화면에 측정값, 추정값, 고장 진단 등을 Display 하는 모듈로 구성되어 있다. 주 시스템과 보조 시스템은 100Mbps LAN망에 연결되어 있는 PIII Computer를 이용하였다.

2.3 Chi Square Test 및 Detecting 알고리즘

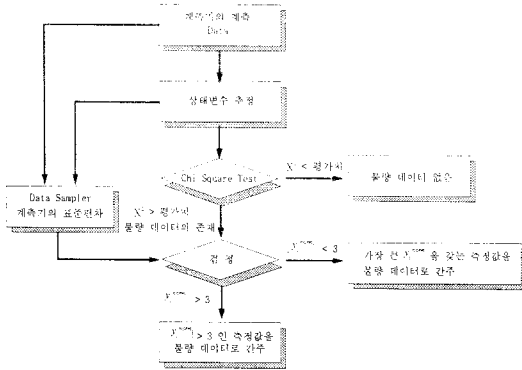


그림 3. 본 시뮬레이터에 적용된 검증 절차

본 논문에서 개발한 불량 데이터 검정 알고리즘의 전체 흐름도는 그림 3과 같다. 상태변수 추정 결과를 Chi Square Test에 적용시켜 불량 데이터의 존재 여부를 확률적으로 판별하고, 각 측정기기의 y_i^{norm} 을 구하여 어떤 측정값이 불량 데이터인지를 판별할 수 있도록 하였다.

다음의 수식은 불량데이터를 검증하기 위하여 표준화된 오차를 구하는 과정이다.

$$y_i^{norm} = \frac{z_i^{meas} - f_i^{est}}{\sigma_{yi}}$$

y_i^{norm} : 표준화된 오차

f_i^{est} : 상태변수 추정 결과치

σ_{yi} : 표준편차

σ_{yi} 는 다음과 같다.

$$\sigma_{yi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 (Z_i - F_i)^2}{8}}$$

여기서, σ_{yi} 는 9개의 표본 데이터를 사용하였으며, 각 표본에 있어 24개의 측정값과 추정값의 차이를 Z_i 로, 측정값과 추정값의 차이의 평균을 F_i 로 표현하였다.

확률적으로 $|y_i^{norm}| > 3$ 인 측정값을 불량 데이터로 간주하며, $|y_i^{norm}| < 3$ 의 경우에 있어 대상 데이터의

$J(x)$ 값이 평가치 이상이면 가장 큰 y_i^{norm} 을 갖는 측정값을 불량 데이터로 간주한다.

2.4 Graphic Users Interface

개발된 계측기 검정 시뮬레이터는 사용자의 편의를 위하여 시뮬레이터의 상태와 진단결과를 시각적으로 용이하게 식별하기 위해 GUI로 개발되었다.

다음의 그림 4는 본 논문의 변전소 시뮬레이터의 단선도를 나타내고 있다.

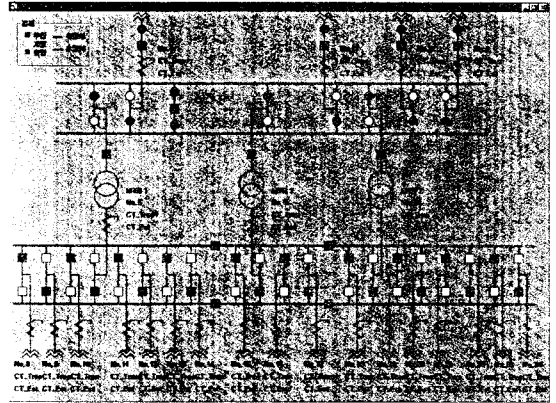


그림 4. 계측기 검정 시뮬레이터의 초기화면 (변전소 시뮬레이터의 단선도)

상기의 검정 시뮬레이터는 부 시스템으로부터 전송된 계측기의 데이터를 실시간으로 상태 추정한 후 이를 기반으로 고장진단 결과 및 계측값과 추정값을 자동적으로 출력한다. 또한 각각의 계측기 불량데이터 내포 상태에 따라 색상을 지정하여 표현함으로써 사용자가 시뮬레이터의 고장진단 결과를 쉽게 이해하도록 하였다.

- 각 차단기와 각 단로기의 상태(투입/개방/트립)
(투입: 푸른색, 개방: 흰색, 트립: 붉은색)
- 각 CT의 상태
(정상: 푸른색, 비정상: 붉은색)
- 각 계측기들의 측정값 및 추정값을 실시간 표현
(푸른색: 측정치, 붉은색: 추정치)
- 시뮬레이터의 상태와 진단 결과를 각각의 메시지창을 통해 표현

3. 사례 연구

3.1 시뮬레이션 데이터

입력 데이터는 계측기에서 측정된 전류값으로 보조 시스템(Sub System)을 통해 주 시스템(Main System)으로 전송된다. 본 사례연구에서 사용된 데이터는 송포 변전소의 실제 데이터이며, 계측기의 표준편차를 구하기 위해 9개의 연속된 데이터를 설정하였고, 여기서 구해진 표준편차를 가지고 그림 5의 데이터 군에 적용하였다.

3.2 고장 진단

본 사례연구에 사용된 송포 변전소의 실제 데이터 적용시 다음의 계측기는 고장 가능성을 내포하고 있다. 확률적으로 표준화된 오차가 절대값 3을 넘었을 경우를 측정값을 불량 데이터로 간주하지만 아래의 경우처럼 표

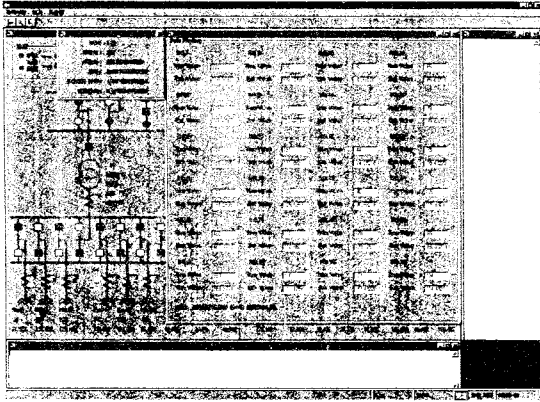


그림 5. 계측기 검정을 위한 데이터

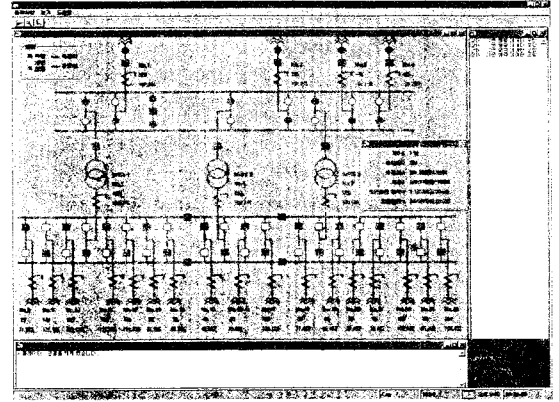


그림 6. 시뮬레이터의 고장 진단 결과

준화된 오차가 절대값 3이하이며, 대상 데이터의 $J(x)$ 값이 평가치를 넘는 경우는 가장 큰 표준화된 오차를 갖는 측정값을 불량데이터로 간주한다.

다음의 표 1은 계측기 중 표준화된 오차가 큰 계측기들이다.

표 1. 대상 데이터의 표준화된 오차

CT	표준화된 오차
No 1	1.7817
No 2	1.7817
No 3	1.7817
No 4	1.7817

전송된 데이터를 기반으로 상태추정 및 Chi Square Test를 실행한 후 측정값 중 불량 데이터가 존재한다고 판단되면, 주 시스템은 이를 감지하여 불량 데이터 검정을 수행하게 된다. 불량 데이터의 검정이 완료되면 계측기의 측정치와 추정치, 그리고 검정 결과를 화면에 출력하게 된다.

불량 데이터를 포함하는 계측기 전류값을 바탕으로 그림 6은 계측값의 이상 여부를 GUI에서 비주얼화 하였으며, 계측기 값의 이상 여부에 따라 불량 데이터 검정 결과를 오른쪽의 메시지 창을 통해 화면에 출력 처리한다.

4. 결 론

본 논문에서는 국내의 154kV 배전 변전소인 송포 변전소의 실측 데이터를 기반으로 상태변수 추정과 Chi Square 이론을 적용한 불량 데이터 검정 시뮬레이터를 개발하였으며, CT 4기의 표준화된 오차를 산출하여 불량 데이터를 내포한 계측기의 고장 진단을 시행하였다.

본 논문의 시뮬레이터는 향후 변전소 자동화 및 고장 계측기 검정에 유용하게 적용 될 수 있으리라 본다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. P. Sakis, Fan Zhang, "Multiphase Power Flow and State Estimation for Power Distribution Systems" IEEE Trans. on PWRs, Vol. 11, No. 2, pp. 939-946, May 1996.
- [2] Ke Li, "State Estimation for Power Distribution System and Measurement Impact", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 11, No. 2, pp. 911-916, May 1996.
- [3] C. N. Lu, J. H. Teng, et al., "Distribution System State Estimation", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 10, No. 1, pp. 229-240, Feb. 1995.
- [4] J. F. Dopazo, O. A. Klitin, A. M. Sasson, "State Estimation for Power Systems: Detection and Identification of Gross Measurement Errors", Proceedings 8th PICA Conference, Minneapolis, June 1973
- [5] R. L. Lugtu, D. F. Hackett, K. C. Liu, D. D. Might, "Power System State Estimation: Detection Of Topological Errors", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-99, No. 6, Nov/Dec, 1980
- [6] W. H. Edwin Liu, Swee-Lian Lim, "Parameter Error Identification and Estimation in Power System State Estimation", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 10, No. 1, Feb. 1995