

송전계통 보호계전기 가변 로직 그래픽 동작 시뮬레이터

김기화\*  
가톨릭상지대학 정보통신계열

민병운, 조필성, 이승재, 강상희, 최면송  
영지대학교 전기공학과

A universal logic graphical simulator for power system protection

K.H Kim\*  
Catholic Sangji College

B.W Min, P.S Cho, S.J Lee, S.H kang, M.S Choi  
Myongji University

**Abstract** - To verify operation of relay is a difficult job for relay engineers. This paper reports the development of logic simulator. Fault data is generated from EMTP and system information generator. The developed system has a universal characteristics that can deal with any relay logic.

1. 서 론

송전계통 보호계전기의 정정은 매우 어렵고 복잡한 계산과 규칙에 의하여 이루어지며 전문가의 작업과정에서도 많은 에러요인을 내포하고 있다. 정확한 보호계전기 정정을 위하여 정정프로그램[1]이 개발되어 정정작업에 따른 에러요인은 많이 감소되었다. 그러나 정정된 보호계전기의 동작은 100%의 정확도를 갖기는 어렵고 이 때문에 보호계전기의 정정과 동작을 확인하는 작업이 필요하며, 이 확인작업 또한 매우 높은 기술과 지식을 요구하는 어려운 작업이다. 이를 해결하는 방법으로 송전계통 보호계전기 시뮬레이터를 적용하여 정정된 값은 모의 실험을 수행하여 해결 할 수 있다. 현재 개발된 시뮬레이터는 보호계전기에서 동작하는 모든 로직을 적용할 수 없어 중요한 로직을 축약하여 적용하였고, 고장데이터도 미리 정해진 데이터 이외엔 사용할 수 없다. 그리고 보호계전기 제작사 혹은 사용자의 로직변경이 발생할 경우 이를 적용할 새로운 프로그램을 제작해야 한다 [2][3][4][5]. 또한 송전계통 시뮬레이터의 가장 중요한 요소인 고장데이터를 생성하는데 어려움이 많았다.

본 논문에서는 송전계통 보호계전기의 동작을 확실한 모의 실험할 수 있도록 사용자가 자유롭게 계통데이터를 CAD형태로 생성할 수 있고, 높은 신뢰성이 확인된 EMTP프로그램[6]을 이용하여 간단하고 정확한 고장데이터가 생성되도록 하는 고장 데이터생성기와 디지털 필터, 보호계전기 동작부, 기존 시뮬레이터 기능에 로직을 사용자의 선택에 따라 마음대로 구현할 수 있는 가변 로직 그래픽 시뮬레이터(ULS: Universal Logic Simulator)를 구성하였다.

2. 본 론

2.1 송전계통 보호계전기 가변로직 시뮬레이터 구성

ULS의 구성은 그림 1과 같이 적용 보호계전기의 정보와 계통 정보를 만드는 계통데이터 생성 모듈과 고장데이터를 생성하는 고장데이터 생성모듈, 계전기 동작을 계산하는 계전기 동작모듈, 가변로직을 발생하는 트립로직 생성 모듈, 계통에서 보호계전기의 동작여부를 모의하는 계통보호 현황부분과 결과출력 부분으로 구성된다. 각 부분의 모든 데이터는 관계형 데이터베이스로 만들어지고, 생성된 데이터베이스는 추가 삭제 및 변경이 가능하도록 되어 있다. 고장데이터생성 모듈은 고장데이터를 생성해주는 EMTP 프로그램 동작부분과 고조파 성분은 제거하여 올바른 계전기의 동작을 하게 하는 디지털 필

터 모듈이 있다. ULS의 수행 결과는 출력화면과 인쇄출력이 가능하며 DATA BASE에 저장되어 보관과 사용이 편리하도록 되어 있다.

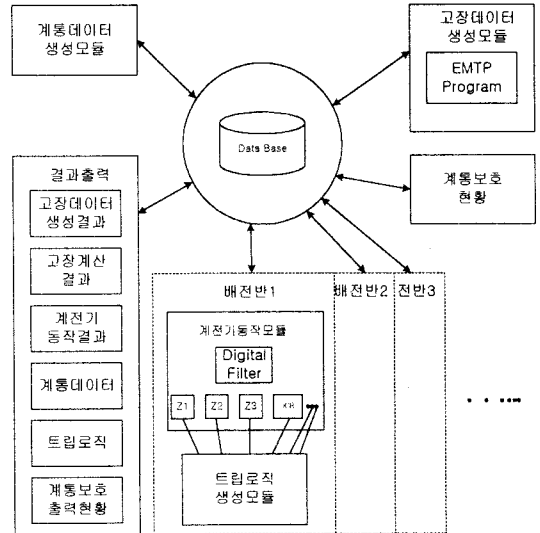


그림 1 가변로직 그래픽 시뮬레이터의 전체 구성도

2.1.1 계통데이터 생성 모듈

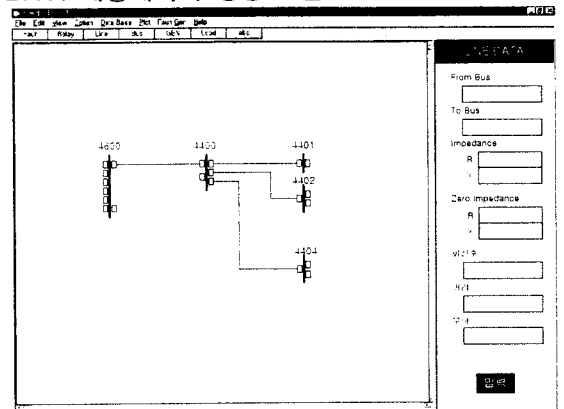


그림 2 계통 데이터 생성 부

송전계통 보호계전기를 모의실험하기 위하여 선로의 계통 데이터가 필요하다. 기존 시뮬레이터에서는 계통에 정해진 데이터를 입력해야하고 임의의 선로등에 적용할 경우 계통데이터를 생성하는 것은 어렵다. 그러나 ULS에서는 버스, 선로, 부하, 발전기등 계통의 연결상태에 따라

상용CAD 프로그램과 같이 각각의 블록으로 붙여 그리기만 하면 계통을 구성할 수 있다. 그림 2와 같이 아

이콘을 선택하면 원하는 데이터를 넣도록 메뉴가 나오고, 입력하면 데이터를 생성한다. 생성된 데이터는 ULS의 데이터 베이스로 옮겨져 저장 및 수정 삭제가 용이하도록 하였다. 각 요소별 계통 데이터의 생성은 버스 이름, 정상 및 영상 임피던스, 회선 수, 거리등의 정보를 가지고 있는 선로 데이터와 발전기 명과 임피던스, 크기, 주파수등의 정보를 가지고 있는 발전기 데이터, 버스 데이터, 부하데이터, 각종 보호계전기 정정값이 들어 있는 보호계전기 데이터등이 있다. 각 데이터를 선택하면 오른쪽에 윈도우에 설정할 값을 넣어주면 데이터로 입력된다.

### 2.1.2 고장데이터 생성모듈

ULS용 고장데이터는 EMTP프로그램, Fault Recorder 등의 데이터로부터 고장 데이터를 얻을 수 있으나 사용자가 편리하게 입력데이터와 환경에 따라 데이터를 얻을 수 있는 EMTP프로그램을 기준으로 구성하였다. EMTP 고장계산은 정해진 형식을 맞추어야 하고, 계산 방식과 데이터의 오류가 만들어질 우려가 있다. 또한 데이터를 계산하여 입력해야 한다. 이 경우 많은 혼란과정을 거친 기술자만이 고장데이터를 생성할 수 있다. 본 연구에서는 어려운 EMTP 입력데이터를 편리하게 생성 할 수 있도록 EMTP입력데이터 생성기를 만들었다. 이 EMTP 데이터 생성기에서는 윈도우 창을 이용하여 쉽게 데이터를 입력할 수 있으며, EMTP데이터의 가장 어려운 부분인 데이터의 자리수를 맞출 필요 없이 자동으로 데이터가 그림 3과 같이 생성되도록 하였다. 또한 원하는 고장 위치를 입력시켜주면 그 지점계통의 고장데이터를 얻을 수 있다. EMTP입력데이터 생성기는 데이터베이스에 저장되어 데이터의 입력과 수정, 삭제, 보관이 자유롭도록 구성되어 있다. 생성된 EMTP고장데이터는 DOS용 프로그램인 EMTP를 윈도우즈 프로그램 중에서 수행하여 결과를 데이터 베이스에 자동으로 옮겨 넣도록 하였다.

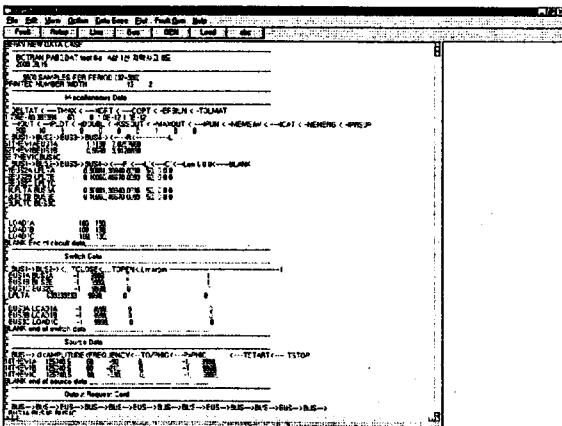


그림 3 EMTP 입력데이터 생성 결과

### 2.1.3 보호 계전기 동작모듈

보호계전기 동작 모듈은 보호계전기와 동일한 동작을 하기 위하여 디지털 필터 부분과 보호계전기 부분으로 분리되며, 각각의 동작을 결합하여 보호계전기를 모의한다.

#### 2.1.3.1 Digital Filter 부

EMTP를 수행한 결과는 고조파를 포함한 데이터이므로 이 데이터는 전류 주파수 성분 이외의 각종 고조파, 지수 함수적으로 감소하는 DC-OFFSET 성분 등에 의해 정확한 임피던스를 표시하는데 어려움이 있으며, 특히 노이즈에 의한 선로임피던스의 변화로 정확한 디지털 보호계전기와 같은 환경을 만들 수 없다. 본 연구에서는

보호계전기와 동일한 조건을 만들기 위하여 보호계전기에서 실제 사용하는 디지털 필터를 적용할 수 있도록 필터부분을 선택할 수 있는 형태로 구성하였다. 본 논문에서는 대표적인 필터인 필터인 DFT(Discrete Fourier Transform) 디지털 필터를 적용하였다. DFT 필터의 주파수 성분의 허수부와 실수부를 나타내면 식 1, 식 2와 같다.

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N f(t_n) \cos(n \frac{\omega_0}{N}), \quad n=0,1,2 \dots$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N f(t_n) \sin(n \frac{\omega_0}{N}), \quad n=0,1,2 \dots$$

(식 2)

전압, 전류의 기본파 추출에 적용하면

$$V^1 = V_r + jV_i, \quad I^1 = I_r + jI_i \text{ 이므로}$$

$$V_i = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N V_n \cos(n \frac{\omega_0}{N}), \quad n=0,1,2 \dots$$

(식 3)

$$V_r = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N V_n \sin(n \frac{\omega_0}{N}), \quad n=0,1,2 \dots$$

(식 4)

식3과 식4에 의하여 전압의 기본파, 고조파등 원하는 파형 데이터를 추출 할 수 있다.

#### 2.1.3.2 보호 계전기 동작모듈

계전기가 올바른 동작을 하는지 여부를 판단하기 위하여 계전기 동작 모듈과 트립 로직을 정확하게 구현해야 한다. 계전기 동작모듈은 고장점까지의 임피던스를 계산하는 부분, 임피던스 동작영역으로 표현된 계전기 특성 Diagram으로 고장점 임피던스를 표정하는 부분, Supervising요소들의 동작 판단부분과 트립로직 부분으로 구성된다. 또한 Supervising요소들의 과전류계전기와 선압계전기의 동작등을 구현하여야 한다. 보호계전기의 기본동작은 실제 보호계전기의 동작과 대부분 동일하도록 계전기에 따라 알고리즘을 선택하도록 하였으며, 계전기 제작사에 따른 디지털 필터와 로직의 차이 같은 것들이 존재할 수 있다. 본 논문에서는 그림 4와 같이 Toshiba사의 MXLIE계전기를 예로 하였다.

#### 임피던스 계산

전압과 전류의 임피던스 특성 값을 구한다.

$$V = V_{phase} - (Z_0 - Z_1) \cdot I_0$$

$$I = I_{phase} + \frac{(Z_0 - Z_1)}{Z_1} \cdot I_0$$

$Z_0$  : 영상분 선로 임피던스

$Z_1$  : 정상분 선로 임피던스

$I_0$  : 영상전류

저항성분과 리액턴스 성분을 측정하면

$$R = \frac{V_{real} \cdot I_{real} - V_{imag} \cdot I_{imag}}{I_{real}^2 + I_{imag}^2}$$

$$X = \frac{V_{real} \cdot I_{imag} + V_{imag} \cdot I_{real}}{I_{real}^2 + I_{imag}^2}$$

#### Supervision 요소

EFH(Earth Fault Overcurrent Element)

선로 허용 전류의 10% 또는 상대단 모선  $\phi - G$  사고시 고장전류의 10%

□ UVH(Undervoltage element)

Carrier Protection의 Blocking이나 Unblocking을 사용하는 Scheme에 사용되어진다.

임피던스 Diagram(그림 4)

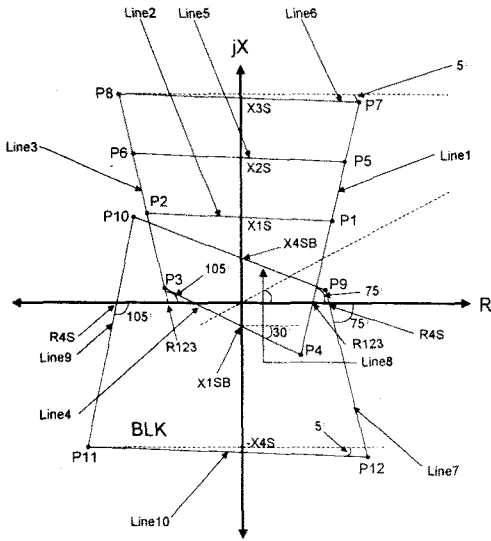


그림 4. MXL1E(S) Impedance Diagram

**Trip Logic 요소**

보호계전기 각각의 요소들에 대한 트립로직을 표현한다. 트립 로직에 의하여 계전기는 동작한다. 트립로직의 원활한 구성이 보호계전기를 동작시키는 가장 중요한 요소가 된다. 현재까지 개발된 Trip Logic은 고정되어 있어 로직의 변화에 대하여 고려할 수 없었다. 또한 한국 전력공사에서도 로직을 변화한 계전기를 설치하는 것은 계전기를 실 선로에 적용하지 않고서는 적용하기 어려웠다.

**2.2 가변 그래픽 트립 로직 생성모듈**

보호계전기의 최종 동작인 트립로직 부분은 각각의 보호계전 요소들의 결합으로 이루어지며, 이 결합 로직은 보호계전기의 특징에 따라 많은 차이가 있다. 제작사에 따라서 정확한 로직을 제공하는 경우도 있고, 간략한 로직을 제공하기도 한다. 보호계전기의 올바른 동작 유무를 확인하기 위하여 로직의 정확한 구현이 필수적이다. 로직의 동작은 기존 보호계전기 시뮬레이터에서는 프로그램내에 정해진 로직만 구현할 수 있었다. 이 경우 로직의 변화를 필요로 하는 계전기 모의 실험이나, 계통 사고 시 사고 원인을 규명하는데 어려움이 있다.

본 연구에서 적용한 보호계전기의 로직은 계전기 동작 모듈의 결과에 따라 그림 5와 같이 Z1S, Z1G, Z2S, Z2G, Z3S, Z3G, Z4S, Z4G, UVH, EFH, OCCR, EFL..... 등 각각의 보호계전 요소들로 이루어지며, 각 보호계전 요소를 CAD의 형태로 마우스로 선택한 후 작업 윈도우에 옮겨 놓으면 보호계전기로 동작하도록 하였다. 각 보호계전 요소를 Line과 Timer, AND, OR, NOT의 게이트로 연결하면 로직이 완성된다. 기존 보호계전기와 차이점은 Timer가 모두 로직으로 구성되어 보호계전 요소 내에는 없다. 로직을 생성하고 시간의 따른 협조 등을 맞추려면 시간의 조정이 필요하며, 시간 조정을 정확하게 맞추기 위하여 보호계전기 외부에 로직의 형태로 구

성하였다.

구현한 트립로직은 데이터 베이스로 저장되어 로직의 수정과 삭제, 저장이 자유롭게 되어 있다.

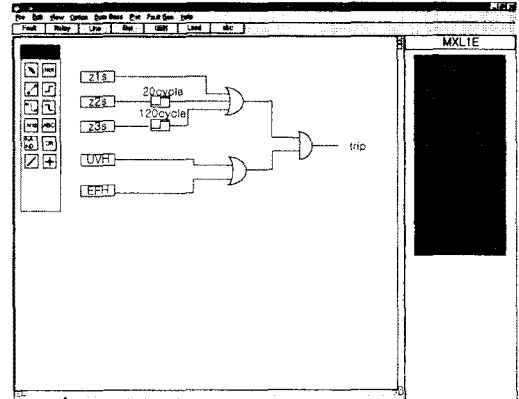


그림 5 가변 그래픽 트립로직 생성기

**3. 결 론**

본 논문에서는 보호계전기 동작을 검증할 수 있는 시뮬레이터(ULS)를 개발하였다. 먼저 계통을 입력하여 자유롭게 표현할 수 있도록 CAD형태의 구현이 가능하도록 계통생성 모듈을 만들었고, 임의로 고장의 형태, 거리 등을 선정하여 고장데이터를 손쉽게 얻을 수 있도록 고장데이터 생성기를 만들었다. 각 계전기 요소를 만들고, 로직을 자유롭게 표현할 수 있도록 가변로직으로 구현하였다. 또한 고장데이터 생성기의 데이터는 EMTP데이터를 사용하므로 이 데이터에는 고조파 성분이 포함되어 있으므로 이를 감소시켜, 디지털계전기와 같은 환경을 만들기 위하여 디지털 필터를 사용하였다. 입력한 데이터는 모두 데이터베이스화하여 입력 및 수정, 삭제가 용이하도록 하였고, 시뮬레이션 결과 및 데이터를 보관하여 사용할 수 있도록 하였다. 우리나라에 적용된 모든 계전기의 데이터를 데이터베이스로 구축하여 적용한다면 종래에는 사고 이전에 찾을 수 없었던 보호계전기의 오부동작 가능성을 찾아낼 수 있도록 하여 계통을 보다 안전하고 신뢰도 높은 운용을 보장할 수 있는 가능성을 보였다. 또한 트립 로직을 자유롭게 변경하여 모의 실험을 통하여 보다 안정적인 보호를 위한 로직을 생성할 수 있을 것이다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 한국전력공사 계통운용처, 계통보호 전산종합 프로그램 개발, 2000
- [2] 이승재, 이종민, "송전선로 보호계전기 그래픽 동작 시뮬레이터", 명지대 산업기술연구소논문집, 2001
- [3] 김기화, 이승재, 최면승, "송전계통 보호계전기 정정값 검증을 위한 고장 시뮬레이터 개발", 대한전기학회논문지, 48권 6호, pp712-718, 1999
- [4] 이승재, 민병운, 최면승, "송전계통 보호계전기 동작시뮬레이터", 명지대학교 산업기술연구소 논문집, pp313-318, 1998
- [5] 이승재, 김국진, 최면승, 강상희, 김효표, "송전계통 선로 보호 계전기동작 진단시스템", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp107-109, 1999
- [6] W. Scott Meyer, Tsu-huei Liu, "EMTP Theory book", BPA, 1995