

기초연구용 전력시뮬레이터

이승근* 박종근* 김남호** 장상호***

* 서울 대학교 전기공학과 ** 강원대학교 전기공학과 *** 화신 엔지니어링

POWER SYSTEM SIMULATOR FOR BASIC RESEARCH

S.K.LEE* J.K.PARK* N.H.KIM** S.H.JANG***

* SEOUL NAT'L UNIV. ** KWANGWON NAT'L UNIV. *** Hwasin Eng.

ABSTRACT

AS THE POWER SYSTEM BECOMES LARGER AND MORE COMPLICATED, THE NUMBER OF UNEXPLAINABLE FAULTS IS INCREASING. IN ORDER TO EXPLAIN THESE FAULTS, NUMEROUS AND VARIOUS DATA ARE NEEDED. BUT THESE DATA ARE NOT READILY AVAILABLE FROM THE FIELD TEST, SO SHOULD BE OBTAINED FROM THE SIMULATOR WHICH CAN SIMULATE THE POWER SYSTEM EXACTLY AND EASILY. IN THIS PAPER, A DIGITAL SIMULATOR WHICH IS APPROPRIATE FOR THIS PURPOSE IS DEVELOPED. THIS SIMULATOR IS DIVIDED INTO THREE PARTS : DIGITAL SIMULATION PART, D/A CONVERSION AND CONTROL PART AND AMPLIFIER PART. AND, THE FUNCTION OF THE SIMULATOR AND THE FUTURE RESEARCH AREA ARE DISCUSSED.

1. 시뮬레이터 개요

전력 계통이 대규모화되고 구성이 복잡화됨에 따라 계통에 발생하는 사고 내용도 다양해지는 추세에 따라 각종 연구실험이나 실제계통 모의 적용시험을 위한 사고 형태를 실제계통에서 임의로 발생시키는 것은 거의 불가능하다. 각종 실험조건을 용이하게 얻는 방법으로는 전력계통을 정확하게 모의할 수 있는 시뮬레이터(Simulator)를 사용하는 것이 좋은 해결책이 될 수 있는데 본 연구에서는 이와 같은 목적에 사용되는 디지털 시뮬레이터를 개발하였다.

순번	해석수단	요 소		현재기술의 특징 및 향후 전망
		발전기	회로망 송전선	
1	아날로그 (회전기)	회전기	LRC회로	(현재) - 소규모 계통용 - 회전기 정수 변경 곤란 - 운용 요원이 다수 필요
2	기 존 에 의 한 아날로그 (경지식)	연산소 자	LRC회로	(현재) - 대규모 계통용 - 발전기 정수 변경 가능 - 운용 요원 보통 필요 (향후전망) - 각종 정수 자동 설정 - 회로망 구성의 완전 자동화
3	방식 하이브리드	디지털 연산	LRC회로 전자회 로	(현재) - 발전기 모의 기능 불충분 - 발전기 정수 설정을 원격으로 가능 - 운영요원은 보통 필요 (향후전망) - 발전기 모의 기능 향상
4	디지털 해석 방식	디지털 연산	디지털 연산	(현재) - 해석대상 시간영역에 따라 프로그램을 선택 사용 - 운영요원은 소수 필요 (향후전망) - 슈퍼컴퓨터의 이용 - 실시간 연산

표 1-1 전력계통 해석수단별 특징⁽¹⁾

위의 표1-1 에서와 같이 전력 계통 해석수단별 특징을 보면 디지털 해석 방식이 향후 개발 및 보완에 아날로그 방식보다 용이하다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터를 이용하여 전력계통의 각종 사고를 모의 계산한 후 사고의 전압, 전류 데이터를 실제계통 조건에 맞도록 증폭한 후 시험 대상 설비에 공급하는 방법을 도입하였다. 또한, 본 시뮬레이터는 전력 계통 모의를 위하여 세계적으로 널리 쓰여지고 있는 미국 BPA의 과전압 해석용 EMTP (Electro Magnetic Transients Program)를 사용하여 계산의 정확도를 높였고, EMTP 입력을 그래픽 모드상에서 용이하게 처리할 수 있도록 하여주는 EMTP Interactive program인 EASS와 D/A 변환 장치 및 제어 프로그램등은 자체 개발하였다. 그리고 본 시뮬레이터의 성능은 그림 1-1에서의 써지(SURGE) 해석, 고조파 연구, 축 공진 및 일부분의 전력동요까지 포함할 수 있다. 향후 H/W와 S/W의 보완으로 전력 동요, 전압 불안정, 주파수 해석 및 경제 효과등에 대하여도 모의 가능하도록 기능을 향상 시킬 계획이다.

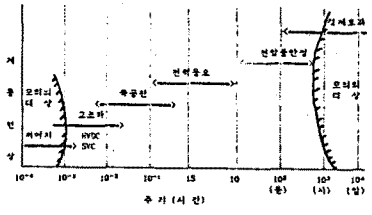


그림 1-1 전력 계통 현상과 변동주기⁽¹⁾

2. 시뮬레이터의 구성

본 시뮬레이터는 크게 기능별로 Digital 모의부, D/A 변환부 및 증폭부 등으로 구분된다.

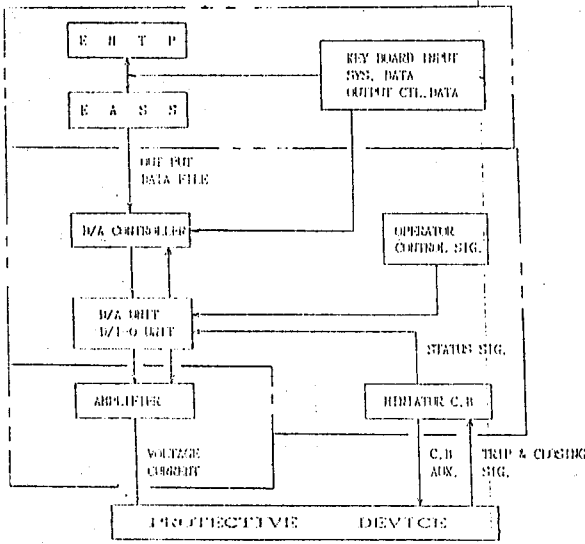


그림 2-1 SIMULATOR의 구성⁽²⁾

2.1 Digital 모의부

32bit 컴퓨터에 탑재된 EMTP를 운용하는 부분으로써 EMTP와 EASS등의 소프트웨어로 구성되어 있는데, 계통 구성 및 계통 데이터를 입력하고 EMTP를 작동시켜 모의 계통의 최대 7개 지점의 전압, 전류의 디지털 데이터를 얻을 수 있다.

2.2 D/A 변환 및 제어부

D/A conversion 모듈과 증폭기를 상호 연결시켜주면서 실 계통 조건과 맞는 환경을 모의하는 소프트웨어로 구성되어 있어, Analog simulation을 위한 제어기능을 수행한다.

2.3 증폭부

컴퓨터에서 출력되는 미세한 신호(± 5V)를 실제 실험에 소요되는 대응량 전압, 전류로 증폭시켜주는 부분으로 제어부분에서 설정된 PT, CT비에 해당하는 정격전압, 전류가 2차측에 발생한다.

3. 시뮬레이터의 기능

3.1 EMTP 모의

3.1.1 계통 사고 모의 계산

EMTP를 이용하여 단상 또는 3상 전력 계통의 임의의 사고를 모의한다. 본 시뮬레이터에서는 기본적으로 EMTP의 모든 기능이 사용가능하다. 즉 3상 전력계통의 모의에 있어서 선로 정수의 대칭 또는 비대칭 입력이 가능하고, 사고 지점의 선택이나 사고 발생시간의 제어, 각종 스위치의 개폐시간 제어등이 가능하다.

3.1.2 EASS 프로그램

EMTP입력 데이터 화일을 자동적으로 생성해주는 프로그램으로 사용자는 OrCAD 상에서 모의 대상 계통을 도시하고 각 전력소자들의 데이터를 입력하여 주면 EMTP작업이

가능하도록 EMTP입력 데이터 화일이 생성된다.

현재까지 개발된 EASS로 처리 가능한 설비는 송전선로, 발전기, 변압기, 차단기 및 모터등이다. 그러나 ARC 저항은 스위치와 선형 저항의 조합으로 모의가 가능하다.

3.2 제어기능

3.2.1 SIMULATION 출력제어

EMTP로부터 얻어지는 최대 7개 지점의 3상 전압, 전류 데이터를 각 그룹별로 Analog증폭부에 임의 할당이 가능하며, Analog 출력의 크기를 CT와 PT비율에 맞게 조정하여 준다.

3.2.2 PT 위치 제어

계통에 설치되어있는 PT가 모선에 있는가 혹은 차단기 후면(선로측)에 설치되어 있는가에 따라서 전압의 출력을 차단기 개폐와 상호 연동시켜주는 기능과, 선로의 재폐로 연동 실험등에 사용된다.

3.2.3 차단기 ON/OFF 제어

Analog Simulation중에 관련 차단기 동작을 모의할 수 있도록 하여 실험의 효율성을 높였고, 차단기의 차단은 3상 차단 및 단상 차단이 가능하도록하여, 다양한 실험이 가능토록 하였다. 또한 차단기의 동작에 의한 차단기 보조 접점(52A, 52B)등을 별도로 구비하여 실험 대상 기기의 Interface가 가능하다.

3.2.4 사고 지속 시간의 제어

사고 지속 시간을 최대 10초까지 조정 가능하도록 하였으며, 순간 사고 및 영구 사고들을 선택 모의하도록 하였으므로 선로 사고시의 재폐로 연동 실험이 가능하다.

3.2.5 사고직전의 부하 상태 모의

사고 발생전의 정상 조류 상태를 모의하는 기능으로 시뮬레이터는 정상 운전 상태를 운전자의 별도지시가 없는 한 연속으로 모의하도록 하였다. 이는 시험 대상 기기의 연속 운전시의 안정성 여부 판정 및 실험 직전의 과열 상태모의를 위한 기능으로, 모든 실험의 기기 온도가 cold 상태와 warming up 상태의 결과가 상이하므로 가급적 실제 상황과 가깝게 주위 조건을 유지하도록 하였다.

3.2.6 반복 모의 제어

동일한 사고를 운전자의 요구에 따라 2차, 3차 등의 연속적인 모의를 할 수 있어, 보호 계전 장치의 성능시험이나 type 실험등과 같이 여러번의 모의가 요구되는 실험이 가능하다.

3.3 증폭기

D/A converter와 연결되어 시험 대상 설비에 전압, 전류를 공급하는 증폭기는 계통에 설치되어있는 PT, CT 비율에 맞추어 사고시의 전압, 전류로 증폭하게 된다.

3.3.1 출력 Level

전압 증폭기는 출력 Level이 63.5V로서 실제 PT의 2차 정격상전압에 해당된다. 전류 증폭기의 출력 level은 최대 50A로서 실 계통에 설치되어있는 CT의 2차측 정격 전류의 10배에 해당된다.

전압, 전류 증폭기의 경우 순간적인 150% Over Scale을 허용하도록하여, 과도 현상시의 peak치 모의에 제한을 받지 않도록 하였다.

3.3.2 주파수 특성

증폭기의 주파수 특성은 1KHz까지는 0.3dB 감쇄되고 2KHz까지는 0.5dB가 감쇄된다.

3.3.3 증폭기 CHANNEL의 TEST

시험 대상 기기와의 연결선 관계등을 실 모의전에 파악 하고자 할때 각 channel별로 test할수 있도록 하였으며 이때의 출력은 전압 20V, 전류 10A의 출력을 얻게된다.

4. 사례 연구

4.1 DC-OFFSET 이 과전류 계전기의 보호협조에 미치는 영향 [3]

이 논문에서는 비대칭 고장전류에서 OFFSET을 추출하고 이러한 OFFSET을 고려했을때 과전류 계전기의 동작시간을 정확히 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하여 보호협조에 미치는 OFFSET의 영향을 해석함으로써 OFFSET이 협조실패의 원인이 될 수 있음을 규명하였다. 본 논문의 모의는 그림 4.1-1과 같다.

이 실험에서는 주어진 TMS(시간 배수 정정값)와 PSM(고장 전류의 PICK UP 배수값)에 대하여 OCR이 동작하기 시작하는 순간부터 동작 신호를 발생할때까지의 시간을 측정하였다.

결과는 그림 4.1-2와 같다.

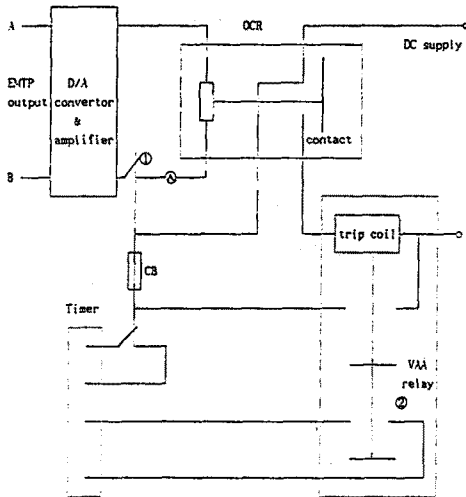


그림 4.1-1 계전기 동작시간 측정용 실험 장치의 회로도

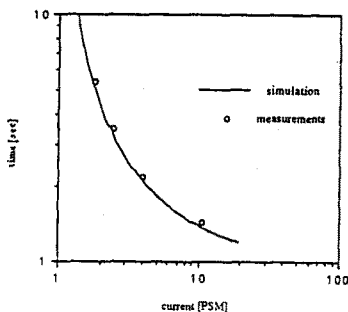


그림 4.1-2 실험결과와 시뮬레이션결과와의 동작시간 비교

4.2 SUBSYNCHRONOUS RESONANCE 적용사례 [4]

미국 동부지역의 장거리 송전계통에서 안정도 증진 및 송전 능력을 향상하기 위하여 직렬 콘덴서를 설치하여 선로 보상을 실시하였다. 그러나 계통의 3상 단락에 의하여 송전단 발전소의 터빈 발전기 축이 파손되는 사고를 경험하였다.

그림 4.2-1과 같이 계통을 모의하여 SSR이 일어나는 것을 SIMULATOR에서 확인하였다. 결과는 그림 4.2-2와 같다.

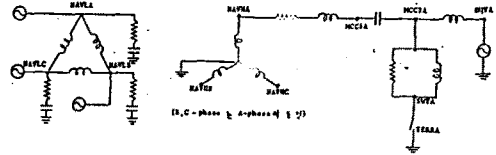


그림 4.2-1 SSR 모의 대상 계통

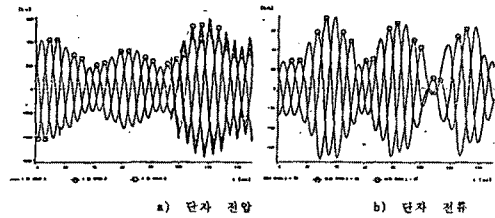


그림 4.2-2 발전기 단자 전압 및 전류

4.3 변전소 보호 제어를 위한 디지털 시스템 개발 프로젝트 적용사례 [5]

송전선 보호용 디지털 계전기의 특성을 측정하기위하여 시뮬레이터를 사용하였다. 시험 내용은 트립 영역의 위상 특성 측정 및 zone 1, zone 2의 구별을 위한 트립 로직 검사로 대별된다. 위상 특성 검사를 위하여는 정상상태 데이터의 위상을 바꾸어가며 트립 영역을 찾아내는 것이었는데, 시험 결과 트립 영역의 위상이 5도씩 이동되어 있는 것을 발견할 수 있었다. 이와같은 현상은 디지털 계전기의 임피던스계산이 정수 연산이고 Look-Up Table을 만들때의 오차와 계전기의 CT, PT의 위상특성이 일치하지 않는데 원인이 있다.

zone 구별시험에서는 zone 1 말단의 고장과 zone 2 시작 지점의 고장을 비교했는데 둘다 zone 1 고장으로 인식하는 문제점이 발견되었다. 이는 트립 로직상에서 트립카운트를 계산하는 방법에서 zone 1에 비중을 더 많이 두는데 그 원인이 있었다.

5. 향후 연구 및 개선 방향

5.1 H/W기능

현재 사용중인 80386 CPU의 동작 속도를 향상시켜 다양한 프로그램의 개발 및 사용이 가능하도록 한다. 차후 Work Station급의 컴퓨터를 도입할 예정이다.

5.2 S/W기능

5.2.1 EASS기능 보완

EASS 기능에 보완하여야 할 사항은 :

- 비선형 소자의 처리 기능
- Tacs 기능
- Inverter 및 DC Line 처리 기능 등이다.

5.2.2 S/W 기능 추가

- MMI 기능 보강
- S/W의 통합 환경 개발
- FACTS에 적용할 S/W개발

5.3 증폭 기능

전류 증폭기의 성능을 CT 2차측 정격 전류의 20배인 100A 수준으로 향상시키고 주파수 특성도 10KHz 범위까지 -0.5dB 이내로 성능을 개선시킬 필요가 있다. 주파수 특성을 개선시키기 위해서는 현재의 H/W 및 S/W의 개발이 우선되어야 하므로 장기적인 연구개발이 필요하다.

5.4 향후 연구 계획

5.4.1 CT 포화가 차등 계전기에 미치는 영향에 관한 연구^[4]

CT가 포화되어 2차 전류가 왜곡되었을때 차등계전기가 오동작하게 된다.

왜곡된 2차전류로부터 왜곡되지 않는 2차전류로 복원하는 알고리즘을 개발하고 이에 대한 실험을 SIMULATOR를 통하여 검증한다.

5.4.2 계통 축약기법을 이용한 시뮬레이터구성^[6]

전력계통에서 발생하는 과도현상을 정확하게 해석하기 위해서는 해석 대상계통에 대한 자세한 모델링이 필요하다. 그러나 일반적인 전력계통은 아주 복잡한 대형 시스템이므로 이의 자세한 표현은 매우 큰 계산 부담과 노력이 필요로 하게 된다. 따라서 전력계통에서의 과도현상 해석시에는 해석 대상 계통의 일부 또는 대부분을 타당한 기준에 의거 간단한 회로로 표현하는 등가 축약 기법이 요구된다. 이 등가 축약 기법을 모듈화하여 시뮬레이터에 설치한다.

5.4.3 고조파가 계전기에 미치는 영향에 관한 연구

기준에는 고조파를 무감쇠로 보고 계전기에 미치는 영향을 연구하였으나 실 상황에서는 고조파가 시간에따라 감쇄되므로 고조파의 감쇄가 보호협조에 미치는 영향에 대하여 연구하고 이를 시뮬레이터를 통하여 검증한다.

6. 참고문헌

- [1] "일본 전력계통 시뮬레이터 운전현황"
1992.12 전력 제9권4호
- [2] EMTP 활용 DIGITAL SIMULATOR MANUAL
- [3] "DC-OFFSET이 과전류 계전기의 보호협조에 미치는 영향" 1993 - 김남호 박사 학위 논문
- [4] "CT 포화에 무관한 디지털 전류 변성 알고리즘" 1993 - 강용철 석사 학위 논문
- [5] "변전소 보호 제어를위한 디지털 시스템 개발"
1992. 9 한국 전력 공사 기술연구원
- [6] "과도 상태 해석을 위한 계통 축약법: 계통함수를 이용한 시간 영역 해석법" 1991 대한 전기학회 하계학술대회 - 홍준희 강용철 조경래 박종근
- [7] "전력계통 과도해석 프로그램의 이론및 활용에 관한 연구" 1991, 한국 전력 공사 기술연구원
- [8] EMTP MANUAL
- [9] OrCAD MANUAL