

전력계통 과도안정도 교육을 위한 대화식 컴퓨터 그래픽 소프트웨어 개발

○임 동해, 이 옥화, 신 증린
건국 대학교 전기공학과

Development of An Interactive Computer Graphic Software for the Education of Power System Transient Stability

Dong-Hae Im, Uk-Hwa Lee, Joong-Rin Shin
Dept. of Electrical Engineering Kon-kuk University

Abstract

This paper describes a Transient Stability Education & Training Software that can make the students or beginners easily be familiar with power system stability problems. The Major objective of this study is to provide, for educational purpose, an interactive computer graphic tool that can facilitate power system study in highly user-friendly environment. The proposed software is designed to have the particular features such as follow : simulation with animation of the rotor, useful interactive scheme, various graphic illustrations related to critical factors of the stability, trace function including revival simulation with different processing speed. With these features, the software could be suitable for educational and training of students/beginners in power system stability engineering field.

1. 서론

최근에 컴퓨터 그래픽 기능을 갖춘 전력시스템 해석 패키지 개발에 대한 여러 가지 연구가 보고 되고 있다. 대부분의 연구가 대화식 컴퓨터 그래픽기능을 선호하고 있으며, 그 주된 이유는 시뮬레이션 결과물 그래픽으로 처리함으로써 사용자들에게 결과해석에 대한 빠른 이해를 주며 사용자 및 컴퓨터간의 편리한 통신에 있다. 또한 시스템해석을 사용자위주의 환경에서 할 수 있도록 윈도우형 프로그램을 많이 사용하고 있다. 그러나 이들 대부분은 전력시스템 전 분야에 대한 해석기능을 갖춘 패키지(package)기 때문에, 초보자나 미숙련자들이 이해하기 힘든 안정도에 대한 교육적 효과를 높이는 데는 필요한 좀더 다양한 기능들을 제공하지 못하고 있다[1-3]. 안정도 교육만을 위한 패키지 개발에 대한 연구도 보고되고 있지만 상용 목적을 겸한 것이어서 초보자 이해도 증진면에서는 미흡한 점이 많다[4]. 또한 이들 연구들에서 제공되는 대화식 그래픽기능들은 텍스트 형태의 것으로 단순화된 그래픽 기능을 넘지 못하고 있다[5]. 교육적 효과를 높이기 위해서 좀더 시각적 형태의 생동감 있는 그래픽 처리와 대화식 기능을 갖춘 교육목적 전용의 소프트웨어가 요구된다.

본 논문은 초보자나 미숙련자들이 전력시스템해석의 가장 이해하기 힘든 부분 중의 하나인 안정도해석을 쉽게 이해할 수 있도록 하는 안정도 교육 및 훈련 전용의 대화식 컴퓨터 그래픽기능을 갖춘 소프트웨어 개발을 제시한다. 제시된 소프트웨어의 특징을 요약하면 다음과 같다. 첫째로 전력시스템의 안정도를 사용자가 직관적으로 알 수 있도록 비주얼 그래픽으로 처리된 발전기행태의 동화상을 수반한 시뮬레이션 기능을 개발하였다. 둘째로 시뮬레이션 중간에 사용자가 개입하여 다양한 조건의 전력시스템의 안정도를 모의할 수 있게 하는 인터럽트 기능을 갖춘 대화식 시뮬레이션 기능을 가지고 있다. 셋째로 파일로 저장된 시뮬레이션 결과물을 동영상 같은 그래픽을 사용하여 각기 다른 진행속도로 재현함으로써 과도기간동안에 전력시스템에 물려있는 발전기들의 주요변수들의 시간에 대한 변화과정을 세밀하게 볼 수 있도록 하였다. 네번째로 그래픽 편집기를 통하여

사용자가 마우스를 사용하여 전력시스템을 구성할 수 있는 기능을 제공한다. 이러한 기능들을 적절하게 나타내기 위해서 제시한 소프트웨어를 윈도우즈 프로그래밍으로 구현하였다.

2. 교육용 안정도 해석 소프트웨어 구성 및 하드웨어

개발된 교육용 안정도 해석 소프트웨어의 구성은 크게 아래의 3가지로 이루어진다.

- (a) 조류계산 해석 모듈
- (b) 안정도 해석 모듈
- (c) 대화식 그래픽 사용자 인터페이스

이들은 각각 독립된 모듈로서 아래의 그림1에 보여진 것처럼 서로 유기적으로 연결되어 있다. 따라서 초보자나 미숙련자들은 독립적으로 위의 모듈들을 활용할 수 있다.

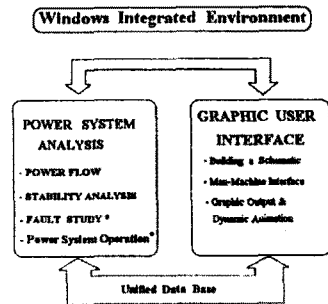


그림 1. 개발된 통합환경의 전체 구성도 (*: 앞으로 개발될 부분)

Fig. 1 Block diagram of integrated environment (*: denotes the modules planned for future enhancement)

2.1 조류계산 해석 모듈

본 모듈은 저차 등에 의하여 이미 발표된 내용[6]을 수정보완한 것으로서, 전력기술의 가장 기본이 되는 조류계산에 대하여 초보자가 자연스럽게 흥미를 가질 수 있도록 간단한 마우스 조작을 통하여 조류계산을 수행할 수 있게 하였다. 또한 계산과정의 이해를 높이기 위해서 조류계산의 중간 수렴 과정을 윈도우를 통하여 표현하는 기능, 조류계산논리의 기본개념, 조류계산 알고리즘의 수렴특성 및 수리적 안정성에 대한 이해를 증진하기 위하여 계산과정속에 사용자가 개입할 수 있도록 하는 Man-Machine Interface(MMI) 기능, 조류계산

결과를 그래픽형태로 처리함으로써 직각적인 이해를 증진시킬 수 있는 기능을 가지고 있다. 그리고 프로그램에서 사용되는 조류계산 알고리즘은 교육목적이 적합한 풀 자코비안 뉴우튼-랩슨(Full Jacobian Newton-Raphson)법을 선택하였다. 조류계산을 수행하기 위해서 사용자는 먼저 파일을 열어서 실행하려는 전력시스템의 모선 데이터, 선로데이터를 불러들인 후 선택메뉴를 클릭하여 최대 반복횟수, 수렴 판정 조건, 전압의 초기치 등을 입력하고 실행키를 누르면 자동적으로 계산과정이 전개되는 그래픽윈도우가 열리고 계산이 수행된다. 따라서 사용자는 윈도우를 통하여 해의 수렴과정을 관찰할 수 있다. 또한 대화식(Interactive)기능을 부가함으로써, 사용자는 "시간 지연"된 해의 수렴과정을 지켜보다가, 마우스를 이용하여 인터럽터 버튼(interrupt bottom)을 클릭하여 수렴과정을 잠시 정지시키고 그 순간의 변수 전압(V), 위상각(δ)값들을 임의로 변경시켜 이 변경된 값들을 이용하여 계속 프로그램을 실행시킬 수 있도록 하였다. 조류계산결과들, 각모선에 대한 전압과 위상각, 발전단의 유효/무효전력, 부하단의 유효/무효전력 등을 테이블형식으로 윈도우를 통하여 출력된다.

2.2 안정도해석 모듈

안정도해석 모듈은 대화식 그래픽 인터페이스 상에서 수행된다. 따라서 그래픽 인터페이스에 제공될 사고시의 발전기의 위상각(machine angles), 발전기 속도(machine speed), 발전단의 출력(machine electrical power output), 발전단 전압의 크기 등을 계산한다. 이러한 안정도계산에 사용될 초기값들은 위의 조류계산 모듈로부터 얻어진다. 그리고 과도 안정도에 사용될 입력데이터들은 조류계산으로부터 얻어진 모선별 전압 및 위상각, 발전단의 유효/무효전력, 부하단의 유효/무효전력들 외에도 전력시스템에 물려있는 모든 발전기들의 과도 리액턴스(transient reactance), 관성상수(inertia constants) 등을 포함하는 발전기 데이터가 필요하다. 이때 발전기에 전달되는 기계적인 입력은 일정하다고 가정한다. 데이터 입력이 완료되면 사용자는 연구대상 시스템에 적용될 사고지속시간, 사고모션, 모션시간, 적분시간간격 등의 사고 시나리오를 작성하여 그래픽 인터페이스를 통하여 소프트웨어에 입력하고 전력시스템의 과도안정도류 계산한다. 여기서 사고는 3상단락사고로 제한한다. 왜냐하면 3상 단락사고는 안정도에 가장 큰 영향을 주기 때문이다. 안정도계산은 다 스텝마다 코번적으로 회로망 계산을 위해서 가우스-사이드(Gauss-Seial) 조류계산이 수행되고 수정된 오일러법(modified Euler's method)을 이용하여 발전기를 나타내는 미분방정식을 푸는 형식으로 진행된다[7]. 계산 가능한 전력시스템의 규모는 20모선, 5대의 발전기까지 가능하다. 서술된 전 계산과정은 대화식으로 구현되어서 사용자는 기초적인 안정도 지식만 가지고서도 쉽게 계산과정을 수행할 수 있고 수행하는 동안에 자연스럽게 과도안정도를 이해할 수 있도록 고안되었다.

2.3 그래픽 사용자 인터페이스

본 연구에서 개발한 그래픽 사용자 인터페이스는 사용자로 하여금 다양한 안정도 문제를 쉽게 학습할 수 있도록 해준다. 특히, 그래픽 및 대화상처리를 통한 다양한 화면구성 및 입·출력 기능과 시뮬레이션 과정속에서 사용자가 개입할 수 있도록 하는 기능들은 본 소프트웨어의 가장 큰 특징이다.

2.3.1 그래픽 편집기

그래픽 편집기 모듈에서 사용자는 새로운 계통을 구성하거나 기존의 계통 구성을 변경할 수 있다. 개발된 그래픽 편집기의 기능은 다음과 같다.

- 그래픽 함수로 등록된 선로, 모선, 변압기등과 같은 전력시스템을 구성하는 요소들을 이용하여 새로운 계통을 구성하거나 현재의 계통을 추가, 삭제, 변경시킬 수 있다.
- 사용자가 구성한 시스템을 글로벌 파일 형태로 저장할 수 있으며 조류계산이나 안정도해석이 필요한 형태로 전력계통 데이터를 저장할 수 있다.

2.3.2 주메뉴

편리한 사용자 인터페이스를 위해 구현한 여러 기능은 풀-다운 메뉴방식으로 구성되어 있다. 이들 메뉴의 대략적인 개요를 살펴보면 다음과 같다.

File 메뉴는 특정 전력시스템을 파일로 부터 읽어들이거나 갱신된 데이터를 파일에 저장할 수 있는 기능을 제공한다. Option메뉴는 다양한 조건하에서 주어진 전력시스템의 동적 특성을 모의하도록 해준다. 특별히 이 메뉴는 시뮬레이션시간(Tmax), 시뮬레이션 시간간격(time step), 그리고 고장모션지정등을 변경할 수 있게 해준다. 또한, 대화식 모의를 위해서 제공된 Interrupt메뉴는 모의 중에 전력시스템 조건을 변경시키기위하여 계산과정중에 사용자가 개입할 수 있도록 해준다. 이 기능으로 사용자는 과도안정도에 대한 개념과 감도에 대한 이해를 쉽게 할 수 있다. Trace메뉴는 과도기간중의 발전기의 회전자 각도, 발전기 전력, 전기각가속도, 그리고 내부전압과 같은 주요 요소들의 변화를 자세하게 관찰할 수 있게 해준다. Help메뉴는 본 연구에서 개발한 소프트웨어를 사용하는데, 필요한 정보를 제공해 준다.

2.4 하드웨어

본 프로그램은 IBM PC 16bit 또는 32bit급을 기준으로 하였고 요구되는 사항으로는 마이크로소프트사의 Window 3.1과 Window 95를 자유로이 사용할 수 있도록 8메가 바이트 이상의 충분한 메모리와 대화상 시뮬레이션과 결과에 대한 그래픽 출력을 위해서 EGA(Enhance Graphic Adapter) 또는 VGA(Video Graphic Array) 등의 컬러 그래픽 카드가 필요하다. 그리고 작업환경이 윈도우 환경이므로 마우스장착이 필수적이다.

3. 사례연구

본 사례연구에서는 3대의 발전기를 포함하는 16모선 전력시스템에 대한 안정도 학습에 대한 전형적인 절차를 보여준다[8].

첫번째 단계는, 그래픽 편집기 모듈을 사용해서 모의하고자 하는 시스템을 구성하는 것이다. 그림2는 그래픽 편집기를 사용해서 시스템을 구성한 예를 보여준다.

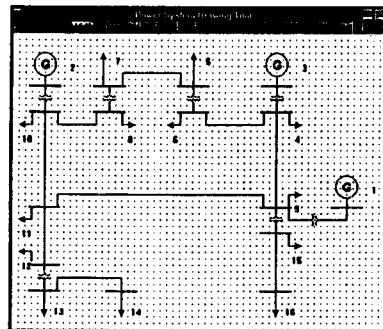


그림 2. 그래픽 편집기에 의하여 구성된 모의 계통도

Fig. 2 The single-line diagram, edited by graphic editor, of a sample system

두 번째 단계는 그래픽편집기에서 구성된 전력시스템에 데이터를 입력하는 것이다. 그림3은 사례연구에서 제시한 전력시스템에 대해서 데이터를 입력한 것을 보여준다.

세 번째 단계로, 안정도 해석을 수행하기 위해서는 전력시스템에 대한 초기상태값들이 필요하다. 이것을 구하기 위해서는, 먼저 조류계산을 수행해야 한다. 조류계산을 실행하기 위해서 사용자가 메인메뉴에서 조류계산창을 열고, 조류계산을 실행시키면 된다.

조류계산이 끝나면, 조류계산결과를 안정도해석을 위해서 저장할 수 있다. 안정도 계산을 수행하기 위해서 사용자는 조류계산결과데이터

Bus	Type	PG	QD	PL	QL	Voltage	Angle	Bus	Gen
1	Gen	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
2	Gen	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
3	Gen	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
4	Load	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Load	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Line	From	To	R (ohm)	X (ohm)	Cap (pF)	Thru	Tap
1	1	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	1	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	2	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	3	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	3	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	4	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	5	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	5	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	6	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	7	8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	8	9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	9	10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

그림 3. 시스템 해석을 위한 입력데이터
Fig.3 Input data windows for system analysis

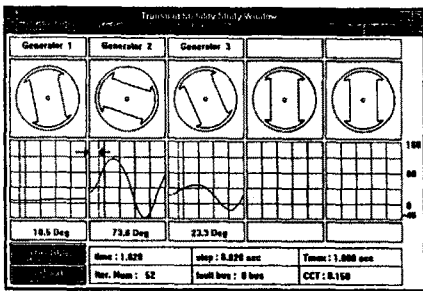


그림 4. 모의 결과 안정한 경우
Fig. 4 Stable case after simulation within fault scenario

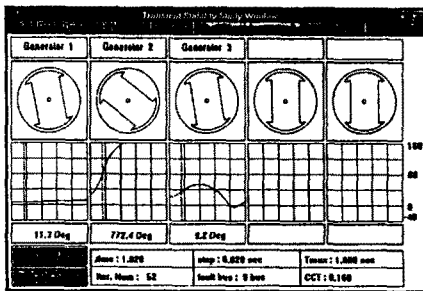


그림 5. 모의 결과 불안정한 경우
Fig. 5 Unstable case after simulation with fault scenario

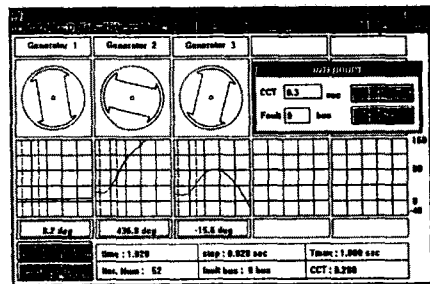


그림 6. 개입후 불안정한 경우
Fig. 6 Unstable case after user's intervene

터와 발전기데이터를 파일로부터 읽어들이고.

본격적인 안정도 모의를 수행하기 위해서 시스템에 대한 사고를 모의하기 위해서 사용자는 고장시간과 사고모션을 조건변경원도우에 지정해야한다. 그림4는 주어진 고장시나리오에대한 파도안정도 모의 실행 과정을 보여준다. 그림4의 화살표는 고장구간을 나타낸다. 특별히 안정도해석모듈에서는 모의실행 시간에 대해서 최전각의 그래프와 동적응답을 보여준다. 그림4에서는 사고가 발생한 2번째 모션의 발전기가 크게 스윙하고 있지만, 시간이 경과함에 따라 안정하게 되고 있음을 보여준다. 그림5는 다른 조건들은 그림4의 것과 같고 사고 해소시간(CT)를 변경했을 때, 모의 결과를 나타낸 것이다. 이 경우에는, 시스템의 2번 모션에 있는 발전기가 불안정하게 됨을 알 수 있다. 그림4와 5에서 나타난 것 처럼, 사용자는 간단한 조작으로 사고해소시간과, 사고모션을 변경해서 다양한 모의를 할 수 있다.

본 소프트웨어의 또다른 특징은 계산도중에 사용자가 계산과정에 개입할 수 있다는 것이다. 즉, 사용자가 안정도 계산을 수행하고 있을 때, INTERRUPT버튼을 누르면, 그림6에서와 같이 사고변경원도우가 나타나게 된다. 그림6은 사용자의 개입 후 모의결과가 불안정하게 된 경우를 나타낸 것이다. 이와같이 사용자가 사고해소시간에 대한 다양한 모의를 함으로써, 사고해소시간이 안정도에 미치는 영향을 알 수 있다.

또 다른 기능으로서 Trace기능이 있다. 이 기능은, 발전기의 주요 요소들에 대한 변화를 자세하게 관찰할 수 있도록 해준다. 안정도 모듈에서는 화면의 제약때문에 발전기의 주요요소들에 대하여 모두 표시하기에는 많은 어려움이 있고, 사용자가 이들 모두를 관찰하기에는 무리가 따르게 된다. 그래서, 사고모의 도중에 각 발전기의 요소들의 변화를 화일에 기록하여 사고모의가 끝난후에 Trace기능을 이용하여 재생하는 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 초보자나 학생들에게 파도안정도 문제를 쉽게 이해시킬 수 있도록 다양한 기능들을 가진 대화식 그래픽 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 MS-Windows에서 실행되고 사용자에게 쉽게 안정도를 학습할 수 있도록 동화상을 수반한 안정도 시뮬레이션, GUI를 이용한 편리한 사용자 인터페이스, 모의 결과에 대한 다양한 표현, 사고모의 재생동과 같은 기능을 제공함으로써 안정도해석에 대해서 효과적인 학습을 할 수 있도록 하였다. 현재 개발된 소프트웨어는 하드웨어적인 제약으로 최대 25모션의 전력시스템에 대해서 동작되고, 최대모의시간도 2초로 제한하였다. 그러나, 앞으로 개발될 소프트웨어는 최대 50모션까지의 전력시스템을 5초동안 모의할 수 있도록 할 것이다.

참고문헌

- [1] D.C. Yu, S.T. Chen, R.F. Biske, "A PC Oriented interactive and graphical simulation Package for power system study", IEEE Trans. on power systems, Vol. 4, No.1, Feb. 1989
- [2] S. Li, S.M. Shahidepour, "An Object oriented power system graphics package for personal computer environment", IEEE Trans. on power systems, Vol. 8, No. 3, Aug. 1993.
- [3] M. Daneshdoost, R. Shaat, "A PC based integrated software for power system education", IEEE Trans. on power systems, Vol. 4, No.3, Aug. 1989.
- [4] Z. Ao, R.J. Fleming, T.S. Sidhu, "A Transient Stability Simulation Package(TSSP) for Teaching and Research purposes", IEEE Trans. on power systems, Vol. 10, No. 1, Feb. 1995.
- [5] R.B. Johnson, M.J. Shunt, B.J. cony, "Improved Simulation Techniques for power system dynamics", IEEE Trans. on power systems, Vol. 3, No. 4, 1988
- [6] 신 중린, 이 옥화, "그래픽을 이용한 대화식 교육용 조류계산소프트웨어 개발", 대한전기학회 논문지 Vol. 43, No. 1, Jan., 1994
- [7] G.W. Stagg, "Computer Methods in Power System Analysis", McGRAW-HILL Company, 1988
- [8] GROSS, "Power System Analysis", John Wiley & sons Inc., 1986.