

해 탐색기능을 고려한 전력조류의 GUI에 관한 연구

A study on the GUI of load flow of power system considering function of searching solutions

이회영(Hee-Yeong Lee)¹⁾

요약

본 논문에서는 해 탐색을 위한 데이터분석 기능을 강화한 개선된 GUI기반의 전력계통의 조류해석 도구를 제시하였다. 제시한 툴은 전력계통의 조류계산의 교수 및 학습을 돕는 효과적인 도구이다. 이 소프트웨어는 Asymetrix사의 ToolBookII으로 개발하였으며 명칭을 PFGUI(Power Flow GUI)로 정하였다. PFGUI는 상정사고해석 기능은 물론 다양한 부하레벨의 계산결과를 데이터베이스에 저장하여 탐색하고자 하는 해를 신속하게 검색하는 데이터베이스 기능을 갖도록 하였다. PFGUI는 계통도상에서 조류계산의 시스템 데이터를 입력하고 손쉽게 모선의 전압과 전력, 선로조류에 대한 결과도를 확인 할 수 있도록 입력매개변수와 그 결과간의 관계성을 테이블 형태가 아닌 시각적인 그림으로 보여 주기 때문에 전력계통학습에 친화적인 툴이다. PFGUI는 선로전압조정기, 콘덴서, 부하레벨, 선로탈락 등의 다양한 형태의 영향을 손쉽게 파악할 수 있다. 제안된 PFGUI는 Ward-Hale 6-Bus 계통을 연구대상으로 하였다.

Abstract

This paper presents improved teaching and learning GUI for easily analysis tool of load flow of power system with database function for searching solution. In this paper includes not only contingency analysis function but also searching function of conditional solution sets from database of solution for various load levels. The GUI is friendly for study for power system operation and control because picture provide a better visualizing of relationships between input parameters and effects than a tabula type result. This GUI enables topology and the output data of load flow for line outages to be shown on same picture page. Users can input the system data for power flow on the the picture and can easily see the the result diagram of bus voltage, bus power, line flow. It is also observe the effects of different types of variation of tap, shunt capacitor, loads level, line outages. Proposed GUI has been studied on the Ward-Hale 6-Bus system.

논문접수 : 2004. 10. 11.

심사완료 : 2004. 10. 22.

1) 정회원 : 전주공업대학 컴퓨터정보과

* 본 연구는 전주공업대학 2004년도 학술연구조성비의 지원으로 수행한 것으로 지원되었음.

1. 서론

전력계통의 안정운용을 위해 전력조류해석에 대한 중요성이 크게 인식되고 있다. 전력계통 분석과 학습을 돕기 위하여 전력계통운용 상태를 시각화 한 프로그램들이 속속 개발되어 왔다[1-8]. 여기서는 전력조류, 전압, 기타 파라메타를 나타내기 위하여 강화된 GUI를 이용하였고, Mahadev와 Christi의 경우 “task adaptive visualization법을 이용하였으며 선로부하 변화를 나타내기 위하여 변화에 대응하는 선로폭과 색상을 사용과 발전기의 출력한계를 나타내기 위하여 원형태의 도형을 제시하였다.[4]

최근에는 멀티미디어 저작도구인 ToolBook을 활용하여 전력계통 연구의 근간이 되는 전력조류계산을 위한 해석과 실습을 위한 PFGUI 툴이 제시 되었다[10]. 본 연구에서는 과거에 제안된 방식에 다양한 부하레벨을 상정하여 계산결과를 데이터베이스에 저장하여 탐색하고자 하는 해를 신속하게 검색하는 기능을 포함한 개선된 GUI를 제안하였다. 연구에서는 6모선 계통을 대상으로 전력방정식을 푸는데 필요한 데이터를 계통도상에서 입력하고, 선로탈락 상정을 버튼 객체를 눌러 구사하였으며 조류계산 결과도 계통도에 표시되도록 하므로서 계통 연구자가 친근감을 가지고 편리하게 이용할 수 있도록 하였다

2. 본론

2.1 전력조류계산

일반적으로 모선 k 의 전압이 V_k 이며 외부로부터 전류 I_k 가 주입되고 있을 경우 전력

$$W_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \quad (1)$$

$$= \sum_{m=1}^n V_k Y_{km}^* V_m^* \quad (k=1,2, \dots, n)$$

이 주입되며 이것을 어드미턴스와 전압을 극좌표 표시(polar form)로 변환하면

$$Y_{km} = Y_{km} e^{j\theta_{km}}$$

$$V_k = V_k e^{j\delta_k}$$

$$V_m = V_m e^{j\delta_m}$$

$$(k, m = 1, 2, \dots, n)$$

$$W_k = V_k I_k^* = \sum Y_{km} V_k V_m e^{j(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})} \quad (2)$$

으로 표시된다. 여기서 유효전력과 무효전력은

$$P_k = \sum_{m=1}^n V_k V_m Y_{km} \cos(\delta_{km} - \theta_{km})$$

$$Q_k = \sum_{m=1}^n V_k V_m Y_{km} \sin(\delta_{km} - \theta_{km})$$

$Y_{k,m}$, θ_{km} : 모선 k 와 m 사이의 선로에 대한 상호 어드미턴스의 크기, 각도 V_k , δ_k : 모선 k 의 전압의 크기, 위상각 δ_{km} : $\delta_k - \delta_m$ 로 된다.[6]

전력 방정식에서 전력은 전압의 2차식 또는 삼각함수를 포함하는 비선형으로식으로 주어지기 때문에 실제의 계산에서는 반복계산법을 이용하여 미지수에 적당한 초기값을 설정하여 전력방정식으로부터 근사해를 구하고 다시 이것을 전력 방정식에 대입하여 보다 정도가 좋은 근사해를 구한다. n 개의 모선의 경우 전력 방정식은 모선전압에 관한 $2n$ 개의 연립 비선형 방정식으로 정식화 되는데 각 모선의 유효전력, 무효전력, 전압, 상차각(P_n , Q_n , V_n , δ_n)의 4개의 변수를 포함하므로 이 중 $2n$ 개의 변수값을 지정하면 나머지 변수의 값은 풀리게 된다. 일반적으로 전력계통에서는 발전기 라든가 부하가 접속된 모선의 전압, 또는 전류가 주어진다는 것은 극히 드물고 보통 우리가 알게 되는 것은 발전기출력, 발전기 전압의 크기이며, 부하모선에서는 부하가 실제로 소비하고 있는 유효전력과 무효전력이다. 따라서 조류계

산은 이들 기지량을 사용하여 지정된 운용조건을 기초로 전력계통내의 남은 미지 변수를 수치적으로 결정해 나가는 것이다.

2.2 활용한 저작도구

본 연구에서는 뛰어난 기능과 사용자에 대한 편리성 때문에 본 연구의 패키지 개발의 틀로서 ToolBook을 선택하여 사용하였다. ToolBook은 윈도우 어플리케이션을 개발할 수 있는 소프트웨어로서 GUI, Event driven 프로그래밍의 특징을 지니고 있어 다른 윈도우어플리케이션과의 인터페이스 성능이 뛰어나고 시간과 노력이 절약된다. ToolBook은 멀티미디어 콘텐츠 제작목적으로 주로 사용하기 때문에 Graphical User Interface 요소를 강화하는 어플리케이션의 생성에 뛰어난 기능을 갖고 있다.[9]

ToolBook은 편집과 실행 양쪽의 영역전환이 자유스러운 구동환경을 제공하며 ToolBook의 Drawing Tool의 경우는 그래픽(graphic), 버튼(Button), 필드(Fields)와 같은 비주얼 인터페이스 어플리케이션 생성에 사용된다. OpenScript형식의 ToolBook 프로그래밍 언어를 사용하면 어플리케이션에 포함되는 객체의 속성(behavior)을 구체적으로 기술할 수도 있으며, 예로서 사용자가 어떤 어플리케이션에 있는 버튼(Button) 객체를 클릭 했을 때 반응 동작을 OpenScript로서 정의할수 있다. 사용자가 데이터를 입력하면 출력이 그래픽형식으로 나타나는 어플리케이션의 경우 ToolBook의 실행(run)모드에서 편리하게 구현 할 수 있으며 컴퓨터 화면에 객체를 표시하거나 마우스 클릭동작 및 키동작(keystroke) 여부를 검출하기 위하여 윈도우환경과 연동하여 모든 작업을 처리한다. ToolBook은 또한 객체지향환경(Object-Oriented environment)으로서 button, fields, graphics, viewers, page, background s 등의 모든 비주얼 요소를 객체(objects)로 취급한다. 모든 객체는 객체의 출현 및 특성을 정의하는 속성집합(properties set)을 갖는다.

ToolBook의 저자레벨(Author level)에서 개발된 어플리케이션은 Drawing과 프로그래밍 tool을 포함하며 새로운 Books을 생성하면 pages상에서 객체의 생성 및 수정이 가능하고 OpenScript로 프로그램을 작성할 수 있다. 반면에 사용자는 개발 tool이 나타나지 않고 어플리케이션 실행에 필요한 모든 tool을 포함하는 ToolBook의 독자레벨(Reader level)에서만 어플리케이션을 실행 할 수 있다. 사용자는 특정 pages로 이동(navigate), pages를 추가, type, edit, fields의 text 포맷 print 등의 기능활용과 Open Script program을 실행 할 수 있다. ToolBook은 쉽게 C, C++등 다른 언어로 작성된 프로그램과의 연동이 자유로워 더욱 효과적인 GUI기반의 프로그램을 개발할 수 있는 특징을 지닌다.

2.3 새로운 GUI의 구조와 정보흐름 다이어그램

제시한 GUI는 멀티미디어 틀북 환경하에서 개발하였으며 주로 전력계통 조류분석을 위한 개방적이고 친근한 Graphical 툴로서 주요 특징은 다음과 같다.

- (1) 전력계통의 온라인 다이어그램위에서 데이터 입출력이 가능하다.
- (2) 다른 멀티미디어 어플리케이션과 전력응용 프로그램들을 이 인터페이스에 쉽게 연결시킬 수 있다.

PFGUI의 구성과 정보 흐름은 다음 그림1과 같다.

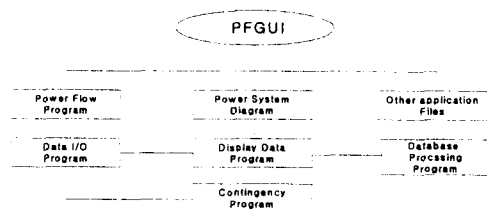


그림 1. PFGUI의 구성과 정보흐름도

Fig. 1. Architecture and information flowchart of PFGUI

Power Flow Program : 조류계산 프로그램으로 계산에 필요한 데이터는 모선전력 지정치를 계통도상에서 받아 Data I/O 프로그램을 거쳐 입력된다. 조류계산 프로그램은 독립적으로도 실행될 수도 있다.

Data I/O Program : 조류계산실행과 관련된 입 출력자료를 계통도상에 나타내기 위한 자료 변환프로그램인 textrd.exe, textwt.exe으로 C언어로 작성 하였다.

Line Contingency Program : 선로의 탈락을 상정하고 선로데이터의 변환과 입력자료에 반영되도록 하기위한 변환프로그램인 lout.exe을 C언어로 작성 하였다.

Power System Diagram : 각 모선과 선로 및 변압기의 구성 상태를 나타내는 전력 계통도로서 ToolBook의 툴 팔레트를 사용하여 작성 되었다.

Display Data Program : 조류계산후에 얻어지는 각 모선전압및 모선전력과 선로조류를 계통도위에 나타내기 위해 ToolBook을 사용하여 작성되었다.

Database Processing Program : 다양한 부하레벨을 상정하여 계산한 조류계산 결과를 데이터베이스에 저장하여 탐색하고자 하는 해를 신속하게 검색하도록 하는 모듈로 ToolBook의 기능을 이용 작성되었다.

Other appliication files : 기타 관련 응용프로그램과 연결을 위한 파일

2.4 PFGUI에 대한 기능

PFGUI는 PC윈도우환경에서 동작하며 3MB의 기억공간을 점유하고 그 기능은 다음과 같다.

1. PFGUI는 ToolBook 파일로서 PFGUI를 소개, 조류계산개요, 시험계통도, 계통 데이터 입력화면, 조류계산 및 계산결과를 각각 표시하기 위하여 GUI를 사용하였으며 그 초기화면을 그림2에 보인다.

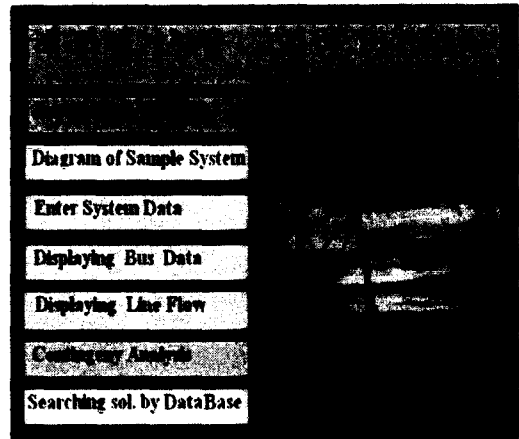


그림 2. PFGUI의 Main 화면
Fig. 2. Main screen of PFGUI

시험계통은 조류계산에서 널리 사용하는 6모선 7라인의 WARD-HALE계통을 사용하였으며 발전기모선, 부하모선, 발전기, 선로, 변압기 등의 심볼은 단선도로 표시하였다. 각각의 페이지에서 객체 버튼의 클릭 이벤트에 대해 조류계산모듈, 선로조류 및 모선데이터 데이터표시모듈, 상정사고모듈등이 실행되도록 ToolBook스크립트로 종속 관계를 지정하였다.

2. 선로의 과 부하상태나 각모선의 전압상태를 연구 분석할 수있도록 하기 위하여 선로에 설치된 변압기나 부하모선에 무효전력 보상용 커패시터뱅크값은 직접 그림3과 같은 계통 데이터 입력 화면에서 해당 필드에 대응하는 전력계통 파라메타를 입력 하도록 하였다. 입력의 loading은 독자모드에서만 이루어진다.

계통 다이어그램 함께 주어지는 입력 데이터는 전력조류계산 시뮬레이션을 위한 데이터 집합을 생성한다.

2. 선로의 과 부하상태나 각모선의 전압상태를

연구 분석할 수 있도록 하기 위하여 선로에 설치된 변압기나 부하모선에 무효전력 보상용 커패시터뱅크값은 직접 그림3과 같은 계통 데이터 입력 화면에서 해당 필드에 대응하는 전력계통 파라메타를 입력 하도록 하였다.

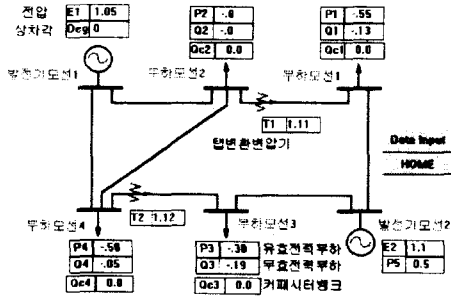


그림3. Input Data 화면
Fig. 3. Screen of Input Data

입력의 loading은 독자모드에서만 이루어진다. 계통 다이어그램 함께 주어지는 입력 데이터는 전력조류계산 시뮬레이션을 위한 데이터 집합을 생성한다.

3. 계통의 모선지정 데이터의 입력이후에 입력자료파일 middat.txt 안에 저장된다. 전력조류계산 프로그램의 실행에 필요한 최종 데이터 파일 lofl.in은 textwt.exe화일에 의하여 선로 임피던스 데이터파일 lfdat.txt과 middat.txt화일을 이용하여 준비된다. 조류계산은 PFGUI에 링크된 기존의 전력조류 프로그램 화일 lofl.exe을 통해서 수행되며 모선 데이터 출력 페이지, 선로전력출력 페이지에서 “Run LoadFlow”버튼을 선택하므로써 실행되도록 스크립트 하였다.

4. 각 선로탈락의 사고를 상정하기 위하여 버튼객체를 계통도의 선로옆에 배치하여 선로탈락을 상정하도록 하였으며 탈락 선로의 임피던스를 무한대에 가까운 큰 값으로 변경하여 탈락시의 조류계산이 이루어지도록 하였다. LO~6OUT.exe는 실제 선로탈락을 가정하는 실

행파일로서 선로 탈락시 해당 선로임피던스가 조정된 조류계산 입력데이터파일을 생성하는 역할을 해준다.그림 4는 상정사고 해석을 위한 그림이다.

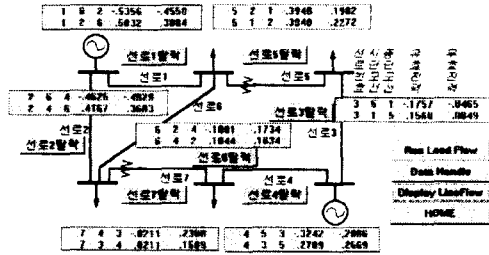


그림4. 선로의 상정사고 분석화면
Fig. 4. Analysis screen of lines contingency

5. 전력조류계산을 통해서 얻어지는 결과는 모선자료(전압 및 상차각, 모선전력)출력 페이지, 선로전력출력 페이지에 분리되어 도시된다. 각 페이지의 보턴의 스크립트는 사용자에게 출력데이터를 화면에 표시하기 위해서 실행되는 이벤트를 기술해준다. 모선과 선로출력의 예는 그림5와 그림6에 각각 보인 바와 같다.

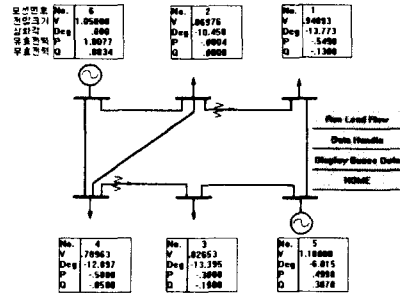


그림5. 모선의 출력 자료화면
Fig. 5. Screen of Output data for Buses

그림5에서 “Data Handle” 버튼은 실행화일 textrd.exe의 실행을 위해 스크립트되며 조류계산 프로그램의 실행후 생성되는 출력데이터화일 lofl.out화일로 부터 모선 출력데이터 화면에 나타내기 위한 6개의 모선별 기초데이터 화

일 volou1.txt ~ volou6.txt과 7개의 선로별 기초데이터파일 flowou1.txt ~ flowou7.txt을 생성하는 기능을 갖는다. "Display Buses Data" 버튼은 volou1.txt ~ volou6.txt파일의 내용을 계통도 위의 해당 모선의 필드에 나타내도록 스크립트 되었다.

그림6은 선로 출력 데이터를 나타내는 화면이다. 여기서 선로별 전력 데이터자료를 갖고있는 기초데이터파일 flowou1.txt ~ flowou7.txt을 계통도 위의 해당 선로의 필드에 나타내도록 하는 기능을 갖는 "Display LineFlow" 버튼을 제외하고는 각각의 버튼의 기능은 그림5의 경우와 동일하다.

그림6의 선로전력필드에 나타낸 데이터는 시단과 종단모선에서의 선로전력을 분리시켜 표시하므로써 송전손실에 기인한 전력량을 계산할 수 있도록 하였다.

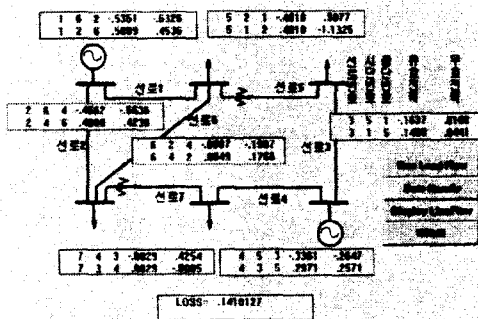


그림6. 선로의 조류 화면
Fig. 6. Screen of power flow for lines

2.5 PFGU의 효용성

본 연구에서 개발한 PFGUI는 전력계통해석에 있어서 조류계산의 기본개념을 교육하는데 효과적이다. 본 패키지를 전력계통을 수강하는 학생들에게 교육용으로 사용하여본 결과 긍정적인 좋은 반응을 얻었다. 그 이유로는 시각적인 요소로 표현되어 사용하기 쉽고 조류계산시 계통도 상에서 조류의 흐름과 해를 탐색하는데 있어서 추가된 데이터베이스 기능을 활용할 수 있는 편리함 때문이었다. 특히 조류계

산의 해중에서 특정조건에 맞는 조류해를 신속히 탐색하여 계통운영에 미치는 총체적 영향을 한눈에 파악 할 수 있도록 하여 운용은 물론 계획을 위한 좋은 학습용도구로 입증되었다. 이 패키지는 PC에서 실행되며 윈도우 운영체제에서 사용이 가능하고 실행버전으로 만들어져 관심있는 사용자는 비용 부담없이 사용가능하다. 본 연구에서 제안한 PFGUI를 사용하여 다양한 부하레벨에서 송전손실 최소인 경우의 탐색결과의 일례를 나타내면 그림7과 같다.

조류상태 CASE NO.	3	송전손실	0.1414465
모선NO	전압	상차각	유효전력
1	1.05812	-18.889	-5.495
2	.95454	-8.197	-.0062
3	.83378	-8.864	-.3068
4	.87318	-9.781	-.5888
5	1.13888	-2.856	.4999
6	1.15888	.008	.9917

그림7. 손실최소에 대한 조류탐색 화면
Fig. 7. Screen of power flow for searching by loss minimum

3. 결론

전력계통 연구나 설계시 선로 탈락과 같은 상정사고의 계통상태는 물론 다양한 부하레벨을 상정하여 계산한 결과를 DB에 저장한후 손실등을 질의 조건으로 주어 탐색하고자 하는 해를 신속하게 검색하도록 확장 개선된 PFGUI를 제시 하였다. 전력계통의 선로탈락의 구현이 버튼을 클릭하는 것으로 간단하게 이루어지며, 파라메터도 계통도위에서 입력되고 시각적으로 표시된다. 계산결과는 원인과 영향의 관계성을 나타내기 위하여 계통도와 함께 표시되어 사용자의 이해를 더욱 손쉽게 하였다.

[참 고 문 헌]

1. D. C. Yu, H. Liu "A GUI Based Visualization Tool for Sequence Networks",IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 1, February 1998.
2. Weiguo Xing, Yixin Yu," A PC-based distribution automated mapping/facility management system",Electrical Power& Energy Systems, vol. 20, No.6 pp405-409, 1998
3. T. J Overbye et al, "Visualizing Power System Operations in the Restructured Environment",IEEE Computer Applications in Power", pp53-58, January 1997.
4. P.M. Mahadev, R D. Christie, "Minimizing User Interaction in Energy Management Systems: Task Adaptive Visualization", IEEE Trans. on Power Systems, Vol11, No.3, August 1996.
5. J.A. Huang, F. d. Galiana, "An Integrated Personal Computer Graphics Environment for Power System Education,Analysys,and Design", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.6, No.3, August 1991.
- 6.K. Ghoshal, L. D. Dougla, "GUI Display Guidelines Driving Winning SCADA Projects" IEEE Computer Applications in Power, January 1994.
- 7.G. P. de Azevedo et al,"Enhancing the Human Computer Interface of Power System Application", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.11, No.2, May 1996
- 8.A guide to Creating Interactive Applications ToolBook II, Asymatrix Corporation, 1996.

이회영



1981 숭실대학교 공업교육과 졸업
1983 고려대학교 전기공학과 대학
원(석사)
1992 고려대학교 전기공학과 대학
원(박사)
1988-현재 전주공업대학 컴퓨터
정보과 교수

관심분야 : 인공지능 및 PC인터페이스
멀티미디어 콘텐츠