

GUI기법을 이용한 Load Flow 교육용 시뮬레이터 개발

문정환, 김영용, 장세환, 류승오, 박준호
부산대학교

Development of Load Flow simulator for the Educational Program using GUI

Jeong-Hwan Moon, Young-Yong Kim, Se-Hwan Jang, Seung-Oh Ryu, June-Ho Park
Pusan National University

Abstract - This paper presents a Windows graphic developed by the authors for the education and training of power system. Object-oriented programming is a major trend in computer software because it increases flexibility of large-scale software systems. An efficient platform for power system simulation applications has been proposed. This paper presents an intuitive Windows-based program for the power system analysis. The advantages of the object-oriented approach are demonstrated with an implementation of the graphical program. It provides a graphical interface for designing the one-line diagram of the bus and analyzing the output of the simulations. A graphical editor to visually edit the power system, diagram, results processing and exporting and graphic presentations.
Index Terms - Power system, Load flow, education and training, GUI, graphic, simulation

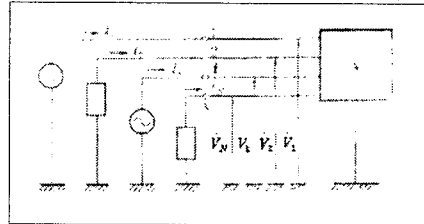
프로그램의 전체적인 수학적 계산부분을 처리하였다. Visual Basic은 프로그램에서의 입출력, 전압크기, 유효 전력의 흐름등의 그래픽부분을 처리하였다.

2.2 전력조류계산

전력 계통은 발전기, 변압기, 송전선로, 무효전력 보상 장치, 능동 및 수동부하 등 수많은 설비로 운전된다. 발전된 전력을 전력계통을 통하여 수용가에 유효전력과 무효전력을 정격의 전압과 주파수로 신뢰성있게 공급하기 위해 전력조류해석은 필수적이다. 전력조류해석은 계통의 운용뿐만 아니라 전원계획, 송전선로확장 등을 위해 필요한 분석기법이며 안전한 계통 운용을 위한 기본사항이다. 전력조류해석에 의해 제공되는 정보는 각 보선의 전압 크기와 위상각, 각 송전선로의 유·무효전력 조류 및 전력계통의 송전손실 등이다.

2.2.1 모선의 정식화

다음 그림은 n모선 계통의 다모선 계통을 나타낸다.



[그림.1] 전력 계통의 개요도

1. 서 론

전력 시스템에서 계통을 확장하고 효율적으로 운영하기 위해서는 프로그램을 통한 시뮬레이션이 필요하다.

최근 전력 시스템 해석을 위한 프로그램들은 그 구성과 시뮬레이션 결과를 보여주는 방법에 있어 많은 변화가 나타나게 되었으며 특히, 교육용 프로그램을 필두로 하여 단순 텍스트 위주(DOS환경)에서 GUI(Graphical User Interface)를 사용한 마이크로소프트(MS)사에서 개발한 컴퓨터 운영체제인 윈도우즈(Windows) 기반 응용 프로그램으로 바뀌기 시작하였다.

전력 시스템 분야의 공부하는 학생의 교육과정에서는 Load Flow 분야를 공부하게 되며, 이 분야는 전력 시스템을 공부하는 학생에게는 중요한 부분이다. 그리고 현재 대부분의 현장 및 대학에서는 교재 위주의 교육으로 실제 공부하는 학생들이 좀 더 쉽게 이해 할 수 있게끔 visualization으로 표현하는 프로그램을 만드는 것이 본 논문의 요지이다.

Load Flow의 이론적인 부분을 실질적으로 좀 더 쉽게 배우고 한 눈에 전력의 흐름, 전압의 크기등을 확인 할 수 있게끔 Load Flow 교육용 소프트웨어 개발 연구를 하게 되었다.

본 논문에서는 전력시스템의 운용 및 확충계획 수립시 기본이 되는 전력조류계산을 3,6,30모선을 단선도에서 실행하는 교육용 소프트웨어를 개발하였다.

2. 본 론

2.1 프로그램 구조

개발에 사용된 프로그래밍어는 Visual C++와 Visual Basic을 사용하였다. Visual C++언어를 사용하여 객체지향 프로그래밍(Object Oriented Programming)개념으로

- 각 모선으로부터 계통에 유입하는 전류 : $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_N$
- 각 모선의 전압 : $\dot{V}_1, \dot{V}_2, \dots, \dot{V}_N$
- 다음의 회로 방정식이 성립

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = Y_{11} \dot{V}_1 + Y_{12} \dot{V}_2 + \dots + Y_{1i} \dot{V}_i + \dots + Y_{1N} \dot{V}_N \\ \dot{I}_2 = Y_{21} \dot{V}_1 + Y_{22} \dot{V}_2 + \dots + Y_{2i} \dot{V}_i + \dots + Y_{2N} \dot{V}_N \\ \vdots \\ \dot{I}_i = Y_{i1} \dot{V}_1 + Y_{i2} \dot{V}_2 + \dots + Y_{ii} \dot{V}_i + \dots + Y_{iN} \dot{V}_N \\ \vdots \\ \dot{I}_N = Y_{N1} \dot{V}_1 + Y_{N2} \dot{V}_2 + \dots + Y_{Ni} \dot{V}_i + \dots + Y_{NN} \dot{V}_N \end{cases} \quad (1)$$

윗 식은

$$\dot{I}_i = \sum_{j=1}^N Y_{ij} \dot{V}_j \quad (k=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

$\dot{I}_{bus} = Y_{bus} V_{bus}$ (Y : 모선 어드미턴스 행렬)

· $V_i = |V_i| e^{j\theta_i}$, $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$, $Y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij}$ 로 정의

· 앞의 전류와 전압의 관계식을 이용하여 조류를 구하면

$$S_i = V_i \dot{I}_i^* \quad (3)$$

$$= \dot{V}_i \sum_{j=1}^N (\dot{Y}_{ij} \dot{V}_j)^* = \sum_{j=1}^N (\dot{Y}_{ij}^* \dot{V}_j^*) \quad (4)$$

$$\dot{I}_i^* = \sum_{j=1}^N [Y_{ij} \angle \gamma_{ij} V_j \angle \delta_j]^* = \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \angle (-\delta_j - \gamma_{ij}) \quad (5)$$

δ_j : j번째 모선 전압의 위상각

γ_{ij} : 모선 i와 j간의 상호 어드미턴스의 위상각

식 (5)을 식 (3)에 대입함으로써 i번째 모선에서 송전 계통에 주입되는 복소전력의 일반식을 구할 수 있음.

$$S_i = V_i \dot{I}_i^* = V_i \angle \delta_i \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \angle (-\delta_j - \gamma_{ij}) \quad (6)$$

또는

$$\dot{S}_i = V_i \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \angle (\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (7)$$

윗식의 양변에 모두 복소량이 포함되어 있으므로, 유효전력과 무효전력으로 나누어 쓰면

$$P_i + jQ_i = V_i \left\{ \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) + j \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \right\} \quad (8)$$

윗 식을 실수부와 허수부로 분리

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (9)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (10)$$

2.2.2 Load Flow 계산 문제

조류계산이란 전력계통의 각 모선에서의 전압의 크기와 위상각을 결정하고, 이들로부터 전송선로의 유효 혹은 무효 전력의 값을 찾아내는 문제로 요약할 수 있다. 계통의 모선은 일반적으로 3가지 형식으로 분류하며, 각 모선의 특징은 아래와 같다.

① 부하모선(load bus) : P-Q 모선이라고도 부르며, 유효전력과 무효전력이 지정되고, 모선에서의 전압의 크기와 위상은 미지값이 된다.

② 발전기 모선(generator bus) : 일반적으로 P-V모선이라고 하며, 유효전력과 전압의 크기를 지정할 수 있고, 무효전력과 전압의 위상이 미지값이 된다.

③ 기준모선(slack bus 또는 swing bus) : 전력계통에서 발생하는 전력손실을 충당하고, 각 모선전압의 위상각에 대한 기준을 제공하기 위한 모선이다. 이 모선에서의 전압의 크기와 위상각은 결정되어야 있으며, 이 모선에 연결된 발전기가 계통에 공급할 유효전력 및 무효전력의 값이 계산하여야 할 미지변수 값이 된다.

조류계산을 하기 전에는 각 모선의 전압을 알 수가 없으므로 전력계통의 전력손실을 알 수가 없다. 이는 모든 모선에서 유입되는 전력을 고정시킬 수 없다는 의미이므로, 이 경우 발전기 모선 중 하나를 지정하여, 모선에 유입되는 전력을 지정하지 않음으로써 계통에서 발생하는 전력손실을 충당하도록 한다. 이와 같은 역할을 하기 위해 지정된 모선이 기준모선이며, 일반적으로 발전량이 가장 큰 발전기 모선을 기준모선으로 지정한다.

이 모선의 전력은 지정된 값이 아니라, 모든 전력량을 다 계산한 후에 그 결과를 바탕으로 계산된 전체 계통에서의 전력손실을 고려하여 결정하게 된다. 또한 조류해석을 위해서는 계통의 기준 위상이 필요하므로, 기준모선의 위상을 일반적으로 0°로 둔다. 따라서, 전압의 크기와 위상은 기준모선에서 지정된 값이 되지만, 유효전력과 무효전력은 조류해석이 수렴된 이후에 결정된다.

조류계산 문제에서 모선 종류별 기지량과 미지량을 일관정리해 보면 표 1과 같다.

모선 종류	기지량	미지량
부하 모선	P, Q	V, δ
발전기 모선	P, V	Q, δ
기준 모선	V, δ	P, Q

[표.1] 모선 종류별 기지량과 미지량

P : 유효전력

Q : 무효전력

V : 전압

δ : 위상각

2.3 Load Flow 해 찾는 과정

1. 데이터를 기초로 모선 어드미턴스 행렬 Y_{Bus} 의 모든 원소를 계산

2. 슬랙 모선에서는 $\bar{V} = 1 \angle 0(p.u)$ 를 가정하고, 슬랙 모선 이외의 나머지 모선들의 전압, 위상각을 적당히 가정

3. 이 가정한 전압 V 와 Y_{Bus} 를 사용해서 식 (9),(10)에 대입하여 P_i 와 Q_i 값을 계산한 후, 계산한 값과 미리 주어진 값들을 비교하여 편차를 계산

4. 3번 단계에서 계산된 차이가 해에 가깝게 보정할 수 있는 방법을 고안.

(계산 method : Gauss iteration, Gauss-Seidel iteration, Newton-Rhapson 방법등)

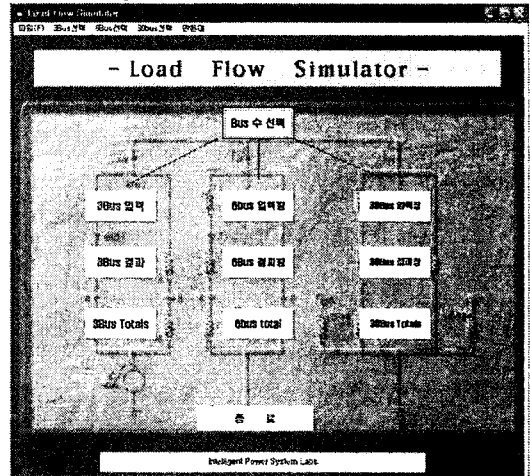
이 방법을 사용함으로써 미리 주어진 유효,무효 전력 값과 계산된 값의 차이를 빠른 속도로 점점 편차를 줄임

5. 미리 정해진 유효,무효 전력값과 계산된 값의 편차가 최소가 될 때 까지 이상의 단계를 반복하여, 앞서 가정한 모선 전압의 수정값이 전력 조류 방정식의 해가 됨

2.4 실제 프로그램

(1) 메인 화면

3,630bus중 선택하여, 각각의 시뮬레이션 입력창과 결과창, 그리고 마지막에 테이블 형식으로 System Total을 선택할 수 있도록 만들었다. 프로그램 계산 method는 Newton-Rhapson방법을 사용하였다.



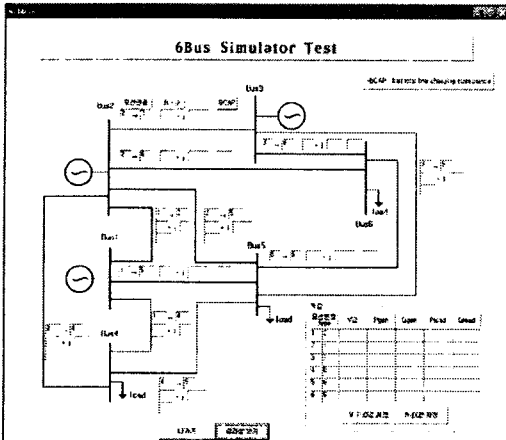
[그림.2] Load Flow Simulator 메인 화면

(2) 6bus 입력창

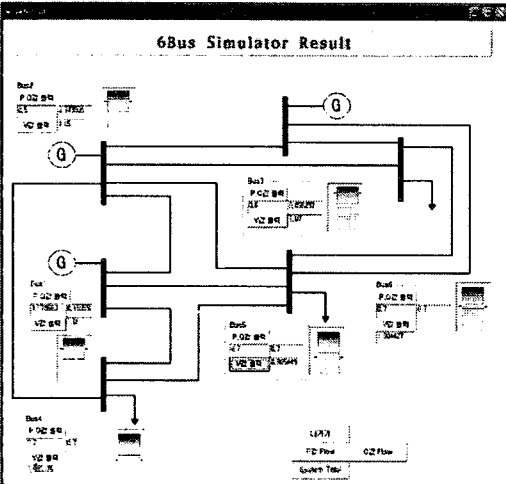
[그림.2]에서 6bus를 선택하여 Load Flow문제의 기지값을 입력한다.

· 각 모선에 필요한 V, δ , P, Q입력

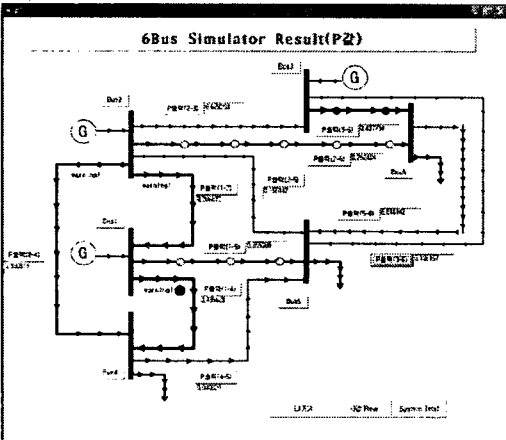
· 라인에 대한 R, X, BCAP(half total line charging susceptance)값 입력



[그림.3] Load Flow Simulation 6bus 입력창
 (3) 각 모선에서의 P, Q, V값 결과창
 모선전압이 높을수록 위쪽(붉은색)으로 표시, 낮을수록 밑쪽(노란색)을 표시하도록 하였다.



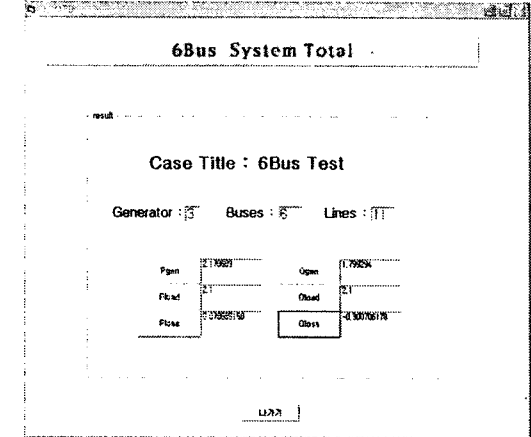
[그림.4] 각 모선에서의 P, Q, V값 출력창
 (4) 각 라인의 유효전력(P) 흐름
 유효전력이 많이 흐를수록 라인의 굵기가 굵어지며, 노란색, 빨간색으로 위험성을 경고하였다.



[그림.5] 각 라인의 유효전력(P) 흐름

(5) 6bus System Total

[그림.6]에서는 3bus에서의 전체 유효전력 발전량(Pgen)과 유효전력 load(Pload), 그리고 유효전력손실(Ploss)을 나타내어 전체적인 값을 한 눈에 볼 수 있다.



[그림.6] Load Flow Simulation System Total

3. 결 론

본 논문에서는 전력계통에 사용되는 Load Flow에 대해 3,6,30모선에 대해 GUI기법을 이용해 실제 그래픽으로 표현하여 전압의 크기, 전력의 흐름등을 볼 수 있는 프로그램을 만들어보았다. 다양한 그래픽 기능이 부가되어 사용자로 하여금 전력계통의 Load Flow에 대한 기본 개념 및 물리적인 이해를 손쉽게 이해하고 결과를 실제 그래픽으로 표현하여 사용자가 쉽게 알아 볼 수 있도록 하였다.

본 연구에서 개발된 소프트웨어는 대학에서의 전력계통 교육용 프로그램 또는 전력 산업의 현장에서 미숙련자의 전력계통 기초기술 습득을 위한 훈련용 프로그램으로써의 역할을 할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행된 과제(R-2005-7-054)임.

[참 고 문 헌]

- [1] Allen J.Wood, "Power Generation, Operation, And Control", John Wiley & Sons Inc, pp104-124, 1996
- [2] I.Dzafic, M.Glavic, and S.Tesnjak, " An Object-Oriented Graphical Package for Power System Simulation and Analysis", IEEE MELECON, pp835-839, May 2004
- [3] S.Islam, Nurul Chowdhury, "A Case-Based Windows Graphic Package for the Education and Training of Power System Restoration", IEEE Transactions of power system, vol.16, pp181-187, May 2001
- [4] 김재현, "객체지향기법을 이용한 전력계통 해석을 위한 그래픽 소프트웨어 개발", 대한전기학회논문지;전력기술부문 A, 1229-2443, pp418-425, 2006
- [5] 황인준, 김건중, 김규왕, 신만철, 오성균, "그래픽 인터페이스를 통한 조류계산 설계", 대한전기학회, pp126-128, 2004
- [6] 신중린, 이옥화, 임동해, "그래픽통합환경을 갖춘 전력시스템 해석과 운용을 위한 교육 및 훈련용 패키지", Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers Vol. 12, pp45-53, May 1998