

전력시스템 제어기 튜닝을 위한 IDS 프로그램 개발

김동준\* 김정식\* 문영환  
한국전기연구원, (주) 비트벨리

Development of IDS Program for Tuning Power System Controllers

D.J. Kim J.S. Kim Y.H. Moon

**Abstract** - This paper describes the integrated dynamic stability (IDS) program for tuning the power system controllers, such as PSS, AVR and so on. IDS consists of three modules; power flow module, PWRLF, to calculate large scale power system load flow solutions, IDS/PSS module to calculate eigenvalues and frequency response in the range of frequency from 0.2Hz to 2Hz, and IDS/NEA module to calculate eigenvalues in the range of frequency from 5.0Hz to 55Hz. In addition, IDS provides graphic user interface (GUI) in order to let the user handle and analyze the input data and the results of calculation with convenience.

해석하기 위해서는 IDS/NEA(Novel Eigenvalue Analysis) 모듈을 수행한다.

두 모듈은 동일한 조류계산 입력데이터와 다이내믹 입력데이터를 사용한다. 단, HF 모듈은 선로의 다이내믹을 고려하기 위해서 별도의 선로 데이터를 입력한다. 현재까지는 IDS/PSS 모듈을 이용해서 LF 고유치 해석과 PSS와 AVR 제어정수 등이 튜닝 가능하고, IDS/NEA를 이용해서는 LF모드뿐만 아니라 SSR과 SSO의 고유치 해석만 가능하나, 제어기 튜닝에 대한 알고리즘은 없다. IDS/NEA에는 향후 SSO를 댄핑하기 위한 HVDC 순변환기 보조 댄핑 제어기 설계 알고리즘이 추가 될 예정이다.

1. 서 론

전력시스템의 안정한 운영을 위해서 전력시스템의 제어기 튜닝은 최적 또는 적절하게 튜닝 되어야 한다. 또한, 최근의 환경문제나 전력시장의 도입으로 전력시스템의 안정도 마진이 줄어드는 환경에서 전력제어기의 역할은 더욱 중요하게 되었다. 본 논문은 이러한 전력시스템의 제어기의 정수를 적절하게 튜닝하게 할 수 있는 프로그램 개발에 대해서 기술한다.

제안된 통합된 다이내믹 안정도 (Integrated Dynamic Stability, 이하 IDS) 프로그램은 전력시스템의 대수방정식과 차분 방정식을 직접 선형화 하고 상태 방정식을 유도하여 고유치 해석과 주파수 응답특성을 해석할 수 있다. IDS 프로그램의 구성은 1)대형 전력계통을 해석할 수 있는 조류계산 모듈(PWRLF), 2)저주파(Low Frequency, 0.2-5.0Hz, 이하 LF) 영역을 해석할 수 있는 모듈, 그리고 3)고주파(High Frequency, 5Hz-55Hz, 이하 HF) 영역을 해석할 수 있는 모듈로 구성되어 있다. 그리고 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 IDS 프로그램은 GUI 환경을 제공하며, AVR, PSS, 조속기, HVDC 등의 정수를 튜닝할 수 있고 저주파 공진(Subsynchronous Resonance, 이하 SSR)이나 축비틀림 진동(Subsynchronous Oscillation, 이하 SSO) 등도 해석 가능하다.

본 논문은 먼저 IDS 프로그램의 계산 알고리즘에 대해서 기술하고, 다음으로 데이터 입출력과 계산결과를 시각화 하는 방법을 설명한다.

2. 본 론

2.1 IDS 프로그램 구성

IDS 프로그램은 전력시스템 구성 장치를 직접 선형화 하여 상태행렬을 구성하고 고유치 계산과 주파수 응답특성을 해석할 수 있는 프로그램이다. 본 프로그램에서 사용하고 있는 조류계산 모듈은 상태행렬을 초기화 하는데 조류계산 결과를 제공한다. 계산 알고리즘 구성은 그림 1과 같다. LF 모드를 해석하기 위해서는 IDS/PSS 모듈을 이용하여 다이내믹 안정도를 수행하고, HF 모드를

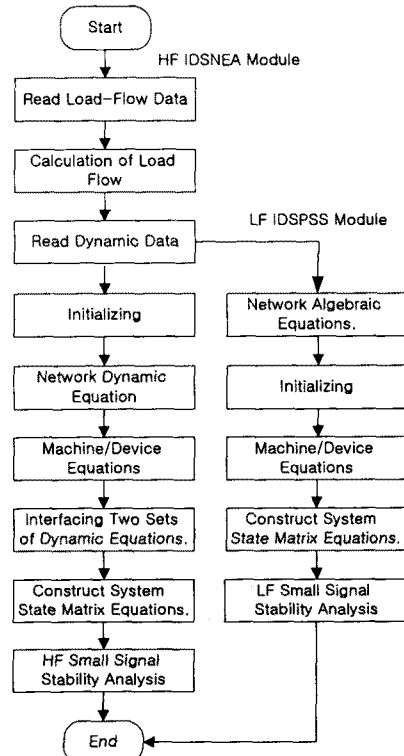


그림 1 IDS 프로그램 알고리즘

2.1.1 조류계산 모듈 (PWRLF)

IDS 프로그램에서 사용된 조류계산 모듈은 대형계통을 해석할 수 있도록 개발된 모듈이다. 데이터 입력은 PSS/E 27 버전의 데이터 입력형식을 사용한다. 조류계산 모듈은 아래와 같은 특징을 갖는다.

- Optimal Ordering
- Sparsity Technique
- Two Terminal HVDC 모델링
- Tap Changing (Fixed or Discrete)
- Q-limit, P-limit
- 전압안정도 모듈과 연결가능 (PoC, CPF)

모선번호의 최적 순서와 NR법의 계산이 스파서티 기법을 사용하기 때문에 전체적으로 계산속도가 빠르다.

### 2.1.2 LF모드 해석용 IDS/PSS 모듈

LF 모드를 해석할 수 있는 IDS/PSS 모듈은 LF 모드의 고유치 해석과 발전시스템의 PSS와 AVR 정수를 튜닝할 수 있는 알고리즘을 보유하고 있고, 선형화된 여자 시스템 모델을 10개, 선형화된 PSS 모델을 3개 가지고 있다. 최대 분석 가능한 차수는 500차이며, 계통상태 행렬은 만차행렬을 사용한다. LF에서 사용한 모델링 방법은 문헌 [1]에 상세히 기술되어 있으므로 본 논문에서는 다시 기술하지 않는다.

### 2.1.3 HF 모드 해석용 IDS/NEA 모듈

IDS/NEA 모듈은 송전선로의 다이내믹을 고려하여 계통상태 행렬을 구성하기 때문에 5Hz-55Hz 대의 모드를 해석할 수 있다. 이 프로그램의 주요 개발 목적은 SSR 해석과 SSO 해석이며, 또한 HF 모드에 대한 댐핑 제어기를 설계하기 위해서 개발되었다. LF 모드 해석 모듈과 같이 최대 차수는 500차이며, 만차행렬(Full matrix)로 상태행렬이 구성된다. 이 모듈의 알고리즘과 SSR 해석 적용사례에 대해서는 문헌 [2]에 자세히 기술되어 있으므로 생략한다.

## 2.2 IDS 프로그램 시각화

본 절에서는 다중문서인터페이스 (Multi-Document Interface, 이하 MDI)로 구성된 IDS 프로그램의 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 이용한 시각화 구현에 대해 설명한다. IDS프로그램의 내부 계산알고리즘은 과학 기술 계산에 적합한 Fortran으로 작성되어 있으나, 사용자 편의를 위한 시각화 구현에 불편한 점이 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 시각화에 적합한 Visual C++(이하, VC++)언어를 사용하여 데이터 입력과 계산결과 등을 시각화 하도록 하였다. 다중언어 프로그래밍에서 하나의 언어는 반드시 주 언어가 되며, 다른 하나는 종속되는 언어가 되어야 한다. 본 프로그램에서 주 언어는 VC++이며, 종속되는 언어는 Fortran으로 하였다. Fortran 언어로 작성된 계산 알고리즘은 Dynamic Link Library(이하, DLL)로 컴파일 되어 VC++에 호출되어 사용된다. 본 논문에서 사용되는 Fortran은 컴팩 사의 Visual Fortran(이하, VF)이며, VC++과 동일한 개발환경 프로그램을 사용한다.

### 2.2.1 COMMON 메모리 공유<sup>[3]</sup>

VC++에서 VF 코드로 작성된 DLL 메모리를 공유하는 것은 데이터의 입출력을 시각화하는데 편리하다. 메모리 공유는 VF에서도 사용가능하고, VC++에서 가능해야 하기 때문에 VF의 COMMON문을 사용하여 메모리를 공유한다. 두 언어에서 메모리를 공유하기 위해서는 별도의 연결코드를 작성해줘야 한다.

VF의 DLL과 VC++과의 메모리 공유 방법은 아래와 같다.

- VF의 DLL에서 전역 변수 지정  
VF에서 COMMON으로 전역 변수를 지정하고 DLLEXPORT 옵션을 이용하여 모듈 밖으로 보낼 수 있게 한다.

형식)

```
COMMON /BUS/ IBUSSEQ(NN), IBUSNUM(NN),
BUSNAM(NN), BASEKV(NN)
!DEC$ ATTRIBUTES DLLEXPORT :: BUS
```

- VC++에서 구조체 지정  
VC++에서는 VF의 COMMON문의 이름을 구조체의 이름으로 설정하여 아래 형식으로 구조체를 만든다. 여기서 주의할 점은 구조체 내의 데이터를 또한 VF에서 정의한 이름과 정의된 순서, 데이터 형식이 같아야 한다.

형식)

```
// CFLOW2 DATA
#pragma pack(2)
extern "C"
{
    // BUS DATA
    __declspec(dllimport) struct BUS {
        int IBUSSEQ[NN],
        IBUSNUM[NN];char BUSNAM[NN][8];float
        BASEKV[NN];
    } BUS;
}
#pragma pack()
```

### 2.2.1 입력 데이터 시각화

조류계산 입력 데이터는 VC++사용자 인터페이스에 의해서 파일이 지정되면 VF에서 읽어 들이고 메모리에 저장한다. 저장된 데이터는 VC++에서 메모리를 참조하여 그림 2처럼 시각화 한다. 다이내믹 입력 데이터도 VF에서 데이터를 읽고 메모리에 저장하면, VC++에서 모선번호에 따라서 발전시스템 모델들을 그림 3처럼 시각화 한다.

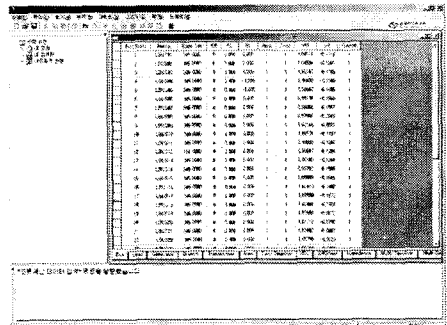


그림 2 39모선 시스템 조류계산 입력데이터 시각화

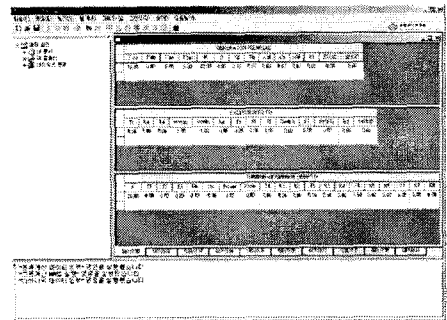


그림 3 39모선 시스템 다이내믹 입력 데이터 시각화

### 2.2.2 분석 결과 시각화

입력된 데이터는 사용자 인터페이스를 통해서 계산 알 고리즘에서 사용된다. 그림 4는 IDS/PSS에 대한 사용자 인터페이스를 보여주고 있다. 조류계산 데이터 파일과 다이내믹 데이터 파일 지정, 그리고 고유치 해석과 주파수 응답특성을 선택해서 해석할 수 있다. 그림 5는 계산된 고유치 결과를 보여준다. 고유치를 그리드 형식으로 해서 제공할 수 있고, x-y축에 그림으로 나타낼 수 있다. x-y 선형그림의 축은 사용자가 재조정할 수 있다. 그림 6은 주파수 응답특성을 보드선도로 나타낸 것을 보여주고 있다. 보드선도는 축의 최소/최대 값을 재조정할 수 있고, 좌표값 추적기능, 다중 보드선도 그리기 등 여러 가지 기능들이 포함되어 있어 사용자가 주파수 응답 결과를 쉽게 분석할 수 있다.

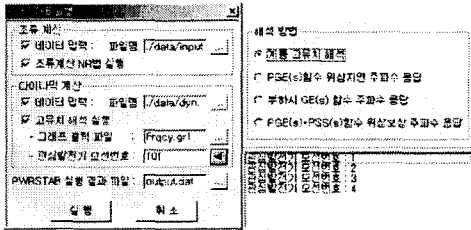


그림 4 IDS/PSS 사용자 인터페이스

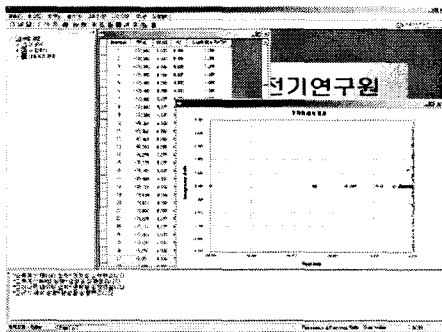


그림 5 고유치 해석결과 시각화

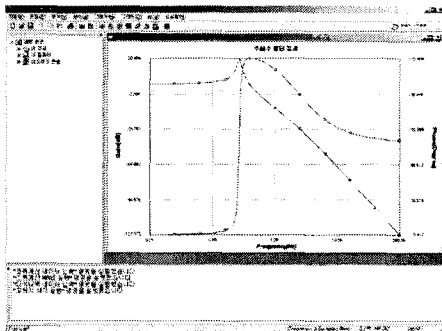


그림 6 주파수 응답특성 시각화

### 3. 결 론

본 논문은 전력시스템의 제어기의 정수를 적절하게 튜닝하게 할 수 있는 프로그램 개발에 대해서 기술하였다. 제안된 IDS 프로그램은 1)대형 전력계통을 계산할 수 있는 조류계산 모듈(PWRFL), 2)LF 모드를 분석할 수 있는 모듈(IDS/PSS), 그리고 3)HF 모드를 해석할 수 있는

는 모듈(IDS/NEA)로 구성되어 있다.

덧붙여, IDS 프로그램은 VF 언어를 사용하여 계산 알고리즘을 구현하였고, VC++ 언어를 사용하여 데이터를 시각화 하였다. 여기서, 두 언어가 편리하게 데이터에 접근하도록 하기 위해서, 본 논문은 데이터를 저장한 메모리를 두 언어가 공유하도록 하는 방법을 제시하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김동준, 문영환, 허진, 신정훈, 김태관, 추진부, "PSS 정수 튜닝을 위한 전력시스템 미소신호 안정도 해석 프로그램", 2003, KIEE Vol. 52A, No. 5, May 2003
- [2] D.J.Kim, H.K.Nam, Y.H.Moon, "Universal SSR Small Signal Stability Analysis Program of Power Systems and its Applications to IEEE Benchmark Systems", Vol.3-A, No. 3, September, 2003.
- [3] Fortran PowerStation Programmer's Guide, Microsoft 1995