

윈도우즈 기반의 저주파수 계전기 작동 모의 프로그램의 개발

한태경 김진호 전영환 양정재 박종근
 서울대학교 경원대학교 홍익대학교 한국전력거래소 서울대학교

Development of Windows-based Under-Frequency Relay Simulation Program

Hahn, Tae-Kyung Kim, Jin-Ho Chun, Young-Hwan Yang, Jung-Jae Park, Jong-Keun
 Seoul Nat'l Univ. Kyungwon Univ. Hongik Univ. Korean Power eXange Seoul Nat'l Univ

Abstract - 국내 계통의 부하가 꾸준히 증가하면서 기존의 저주파수계전기의 운용방식으로는 계통사고시에 효과적인 계통보호를 위한 적절한 양의 부하차단이 이루어지기 어렵게 되었다. 본 논문에서는 저주파수계전기의 운용계획을 수립하는데 있어서 필요한 정보를 동시에 통합적으로 볼 수 있고 사용자의 계획상의 자유도와 이용 편리성을 높인 윈도우즈 기반의 모의 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램을 이용하여 대형 계통에서 보다 효과적인 저주파수계전기의 운용이 이루어 질 수 있을 것으로 예상된다.

1. 서 론

저주파수 계전기는 발전기나 선로의 탈락 등의 이유로 시스템 주파수의 심각한 저하가 있을 때에 부하를 차단함으로써 추가적인 발전기의 탈락과 계통의 붕괴를 방지하는 역할을 한다. 해마다 전력소비의 증가로 년평균부하 및 년최대부하가 꾸준히 증가하고 있으며 그 부하특성 뿐만 아니라 부하를 공급하기 위한 발전기의 종류도 다양해졌다.[1] 따라서 사고가 발생했을 때 부하차단을 할 주파수를 다양화하고 부하차단의 양을 상황에 따라 적절하게 조절할 필요가 있다. 하지만 기존의 저주파수 계전기 운용모의 프로그램에서는 이러한 상황을 적신히 고려하지 못하기 이에 대한 개선이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 저주파수계전기 운용에 필요한 정보를 한 화면에서 통합적으로 볼 수 있어 의사결정을 쉽게 할 수 있고 부하차단조건을 자유롭게 추가할 수 있어 보다 유연한 저주파수계전기 운용의 결과를 예측할 수 있고 윈도우즈 컨트롤을 이용하여 사용자 인터페이스를 개선하였다. 그리하여 보다 프로그램의 편의성을 높였다. 본 프로그램의 사용으로 실무자의 업무 효율 향상시킬 수 있고 보다 상세하고 정확한 부하차단 방식 검토 가능하고 발전기의 주파수 특성정수(KG), 부하의 주파수 특성정수(KL)를 검토하여 보다 개선된 정수를 적용한 정확한 저주파수 차단 장치 설정이 가능할 것으로 예상된다.

2. 본 론

2.1 개발목표

본 프로그램은 다음과 같은 기능을 가지도록 하였다.

- (1) Windows xp Version 이상에서 구동이 가능
- (2) 계통검토용 타 프로그램과 연동 가능
- (3) 주파수 차단단계 확장
- (4) 주파수 변화율(df/dt)에 따른 부하차단량 변화
- (5) 주파수 모의시간 확장
- (6) 주파수 모의 결과 그래픽 기능 강화.

2.2 수학적 모델

본 프로그램에 적용되는 수학적 알고리즘은 다음과 같다. [2]

2.2.1 스윙 방정식

1기의 동기기의 회전속도(ω_m)의 변화는 스윙방정식으로부터 다음과 같이 정해진다.

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_o = T_m - T_e \tag{2.1}$$

$J[kg \cdot m^2]$ 는 회전모멘텀이고 $T_o[N \cdot m]$ 는 가속토크, T_m 은 기계적 토크, T_e 는 전기적 토크이다.

규정속도(ω_m^0)와 발전기의 정격용량(S_{rate})으로 표준화하면 J 는 다음과 같이 상수 $H[sec]$ 가 된다.

$$H[sec] = \frac{1}{2} J \omega_m^0 [MW \cdot sec] / S_{rate} [MVA] \tag{2.2}$$

H 는 규정속도로 회전할 때 에너지를 정격용량으로 나누어 표준화한 값으로 정의된다.

토크와 전력은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$P = \omega T$$

위의 관계를 이용하여 정리하면

$$2H \frac{d\bar{\omega}_r}{dt} = \frac{T_o}{S_{rate}/\omega_m^0} = \frac{T_m - T_e}{S_{rate}/\omega_m^0} = \frac{1}{\omega_m/\omega_m^0} \frac{P_m - P_e}{S_{rate}} \tag{2.3}$$

$$= \frac{1}{\omega_r} (\bar{P}_m - \bar{P}_e)$$

$$\bar{\omega}_r = \frac{\omega_m}{\omega_m^0}, \bar{P}_m = \frac{P_m}{S_{rate}}, \bar{P}_e = \frac{P_e}{S_{rate}}$$

\bar{P}_m, \bar{P}_e 에서 규정속도(ω_m^0)로 유지되다가 변화가 생기는 경우를 가정하면

$$\bar{P}_m^0 = \bar{P}_e^0 \tag{2.4}$$

$$\bar{P}_m = \bar{P}_m^0 + \Delta \bar{P}_m \tag{2.5}$$

$$\bar{P}_e = \bar{P}_e^0 + \Delta \bar{P}_e \tag{2.6}$$

$$2H \frac{\Delta \bar{\omega}_r}{\Delta t} = \frac{1}{\omega_r} (\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e) \tag{2.7}$$

다기시스템에서는 다음과 같이 H 를 구한다.

$$H_{sys} = \frac{\sum H^i \times S_{rate}^i}{\sum S_{rate}^i} \quad (2.8)$$

2.2.2 기계적 토오크의 변화

기계적 토오크는 발전기의 조속기의 Droop상수와 시정수(T)에 의해서 제어된다.

$$\Delta \bar{P}_m = -\frac{1}{R} \frac{1}{1+T_s} \Delta \bar{\omega}_m = K_G \frac{1}{1+T_s} \Delta \bar{\omega}_m \quad (2.9)$$

발전기 정수(K_G)는 Droop상수의 역수로 정의된다. 발전기 정수는 p.u.값을 p.u.값으로 나눈 것이므로 단위가 없다.

다기 시스템에서 발전기 정수는 다음과 같다.

$$K_G = -\frac{1}{R_{eq}} = -\sum \frac{1}{R^i} \quad (2.10)$$

2.2.3 전기적 토오크의 변화

전기적인 토오크는 발전 및 부하의 변동과 부하의 주파수 반응의 특성에 의해서 정해진다.

$$\Delta \bar{P}_e = \frac{P_G - P_L(1+K_L \Delta \bar{\omega}_m)}{S_{rate}} = \frac{P_G - P_L}{S_{rate}} - \frac{P_L}{S_{rate}} K_L \Delta \bar{\omega}_m$$

$$K_L = \frac{\Delta P_L / P_L}{\Delta \bar{\omega}_m} \quad (2.11)$$

부하정수(K_L)는 주파수 변화율에 대한 부하의 변화율로 정의된다. 부하정수는 p.u.값을 p.u.값으로 나눈 것이므로 단위가 없다.

2.2.4 최종주파수

시스템주파수의 최종변화는 다음과 같이 정해진다.

$$2H \frac{\Delta \bar{\omega}_r}{\Delta t} = \frac{1}{\omega_r} (\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e) = 0$$

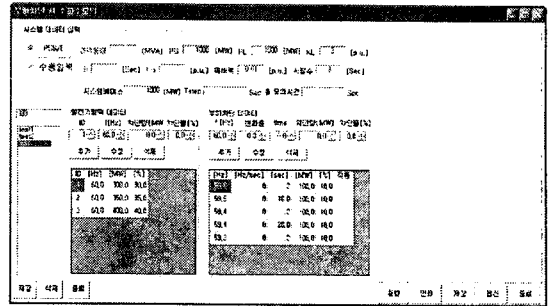
$$\Delta \bar{\omega}_r = \frac{(P_G - P_L) / S_{rate}}{K_G + \frac{P_L}{S_{rate}} K_L} = \frac{\bar{P}_G - \bar{P}_L}{K_G + \bar{P}_L K_L} \quad (2.12)$$

2.3 프로그램 개선

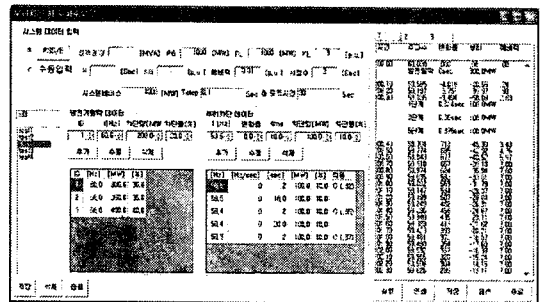
프로그램은 다음과 같은 개선점이 있다.

2.3.1 운영체제

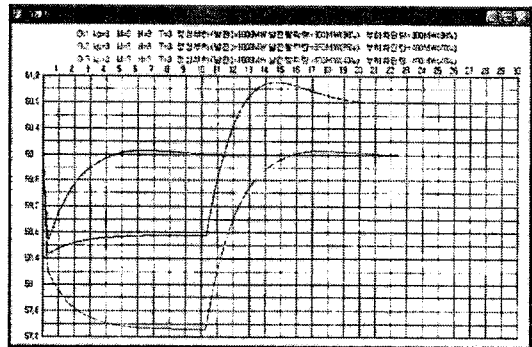
개선된 프로그램은 윈도우즈 .NET Framework 2.0이상이 설치되어 있으면 실행이 가능하다. 이전 프로그램에서는 방향키를 통한 이동과 직접입력 값만이 유효했지만 윈도우즈 환경에서는 마우스를 이용한 이동 및 다양한 컨트롤 일 통한 값 입력이 지원된다. 또한 데이터 입력, 모의실행, 모의결과를 한 화면에서 다 처리할 수 있다. 따라서 차단단계의 작동여부와 시간 등을 즉시 확인할 수 있다. 그래프에도 모의 전체의 주요정보와 차단량과 비율을 표시하였다.



〈그림 2.1〉 윈도우 컨트롤의 사용



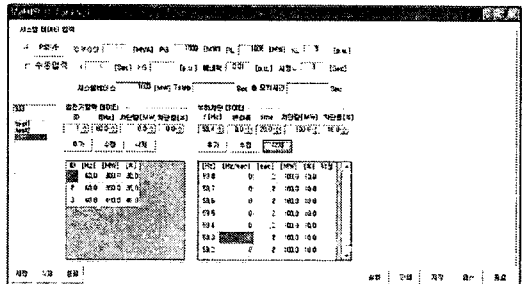
〈그림 2.2〉 실행결과표시(주화면)



〈그림 2.3〉 실행결과표시(그래프)

2.3.2 차단단계입력

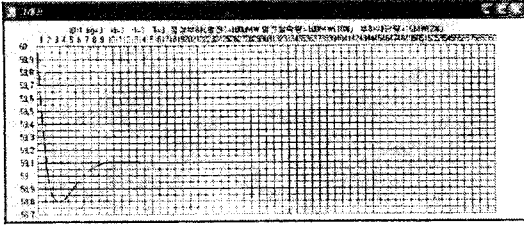
개선된 프로그램은 주단계 및 후비단계와 상관없이 원하는만큼 추가가 가능하다. 입력값수에는 제한이 없으며 우측의 스크롤바를 통하여 원하는 곳으로 이동할 수 있다.



〈그림 2.4〉 차단단계입력

2.3.3 모의시간

개선된 프로그램은 초단위로 모의시간을 지정할 수 있다. 시간변화량도 자유롭게 조절할 수 있다.

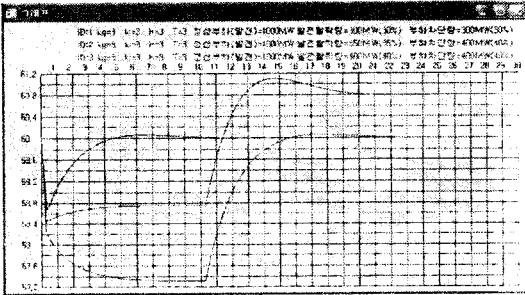


〈그림 2.5〉 모의시간지정(60초)

2.3.4 그래픽

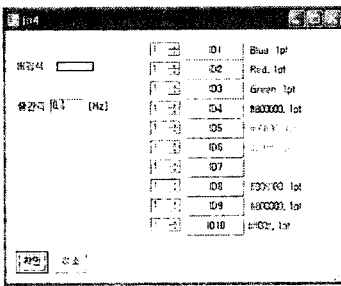
개선된 프로그램은 다음과 같은 그래픽기능이 추가되었다.

(1) 창의 크기를 자유롭게 조절할 수 있고 최대, 최소주파수를 그 안에 표시할 수 있다.

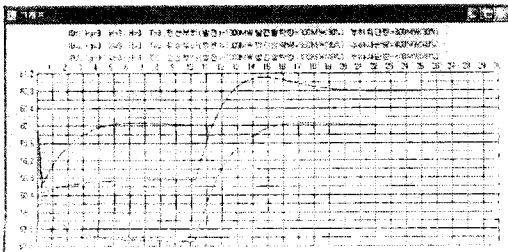


〈그림 2.6〉 - 창크기조절(가로로 넓은 형태)

(2) 배경색상과 선색상, 선굵기, 눈금간격을 자유롭게 설정할 수 있다.

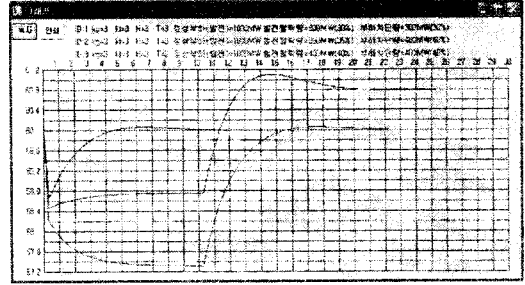


〈그림 2.7〉 화면표시옵션선택



〈그림 2.8〉 화면표시옵션적용

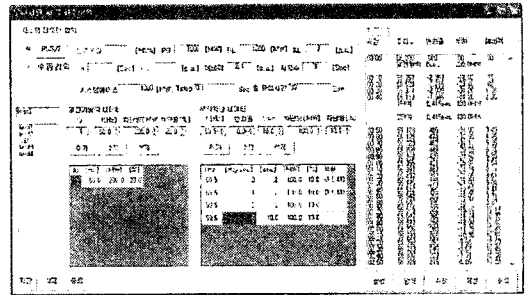
(3) 그래프에 '복사' 단추와 '인쇄' 단추를 추가하여 그래프를 클립보드에 복사하거나 프린터로 바로 인쇄할 수 있다.



〈그림 2.9〉 그래프의 클립보드 복사와 인쇄

2.3.5 df/dt기능

개선된 프로그램에서는 주파수 변화율에 따라 차단량을 달리할 수 있다.



〈그림 2-10〉 주파수변화율에 따라 차단량 변화

2.3.6 타 프로그램 연계

개선된 프로그램에서는 PSS/E로부터 데이터를 읽어올 수 있고 모의결과를 .csv파일로 저장이 가능하며 Excel에서 편집이 가능하다.[3]

3. 결 론

본 연구에서는 계통의 주파수 하락시 계통의 보호를 위한 저주파수 계전기 운용계획 수립에 있어서 사용자에게 통합적인 정보를 제공하고 사용자의 입력의 자유도와 편리성을 높인 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램의 활용으로 보다 효율적인 계획의 수립이 가능할 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 에너지 통계연보, 에너지 경제연구원, 2006
- [2] Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw Hill, 1994
- [3] PSS/E 30.2 Operation Manual, SIEMENS, 2006