

DTS용 전력계통 시뮬레이터 구성요소 모델링

안선주, 황평익, 임재성, 문승일, 윤용태
서울대학교

PSM Component Modeling for K-EMS DTS

Seon-Ju Ahn, Pyeong-Ik Hwang, Jae-Sung Lim, Seung-II Moon, Yong-Tae Yoon
Seoul National University

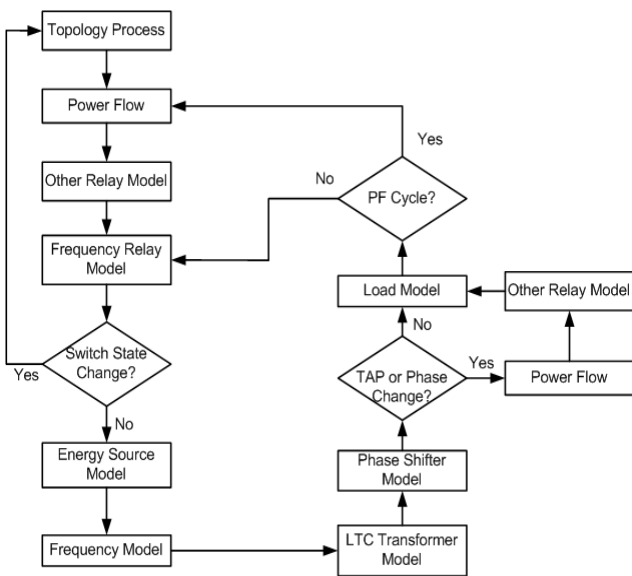
Abstract - 본 논문에서는 한국형 통합 에너지 관리시스템(K-EMS)의 급전원 훈련 시뮬레이터(DTS)에 적용될 전력계통 시뮬레이터(PSM)의 주요 구성요소의 기능 및 주요 입출력 데이터를 정의하고 실제 프로그램 개발을 위해 필요한 DB 설계 방안에 대하여 소개하도록 한다.

1. 서 론

EMS(Energy Management System)의 급전원 훈련 시뮬레이터(Dispatcher Training Simulator, DTS)는 급전원들의 EMS 프로그램에 대한 이해도 및 활용 능력 증진, 비상 상황에서 전력계통의 보호 및 복구 등 안정적인 계통 운영 능력 향상을 위한 훈련 프로그램이다[1]. DTS는 크게 Control Center Model(CCM), Instructor Control(IC), Power System Model(PSM)의 세 가지 주요 기능요소로 구성되어 있다. CCM은 실제 EMS와 동일한 화면 및 조작 기능 등을 훈련원에게 제공함으로써 훈련원이 실제 계통의 EMS의 조작능력 및 계통 운영능력을 기를 수 있도록 해준다. 따라서 CCM은 취득 데이터가 실제 계통 데이터가 아니고 시뮬레이션을 통한 데이터인 점을 제외하면 실제 EMS와 동일한 기능이 구현되어 있어야 한다. IC는 훈련 교관이 훈련에 필요한 시나리오 입력 및 훈련의 진행, 훈련원에 대한 평가 등을 할 수 있는 환경을 제공하여 준다. PSM은 실제 계통을 대상으로 훈련을 할 수 없는 전력계통의 특성상 다양한 계통 상황 및 훈련 시나리오 하에서 훈련원 또는 교관의 조작에 따라 실제 전력계통에서 발생하는 현상을 시뮬레이션을 통해 EMS가 실제 전력계통에서 취득하는 것과 같은 데이터를 제공하여 준다. 본 논문에서는 한국형 통합 에너지관리시스템(K-EMS)의 DTS 프로그램에 적용될 PSM의 세부 구성요소의 특징 및 주요 입/출력 데이터를 정의하고, 이와 관련된 DB 설계 방안에 대하여 간략히 소개하였다.

2. PSM의 주요 기능 및 구성요소

2.1 PSM의 주요 구성 요소



〈그림 1〉 PSM 주요기능 흐름도

그림1은 PSM 주요 기능의 흐름도를 나타내고 있다. PSM은 크게 발전기의 출력량 및 계통 주파수 계산과 관련된 기능과 계통의 모선 전압, 선로 조류 등을 결정하는 조류계산과 관련된 기능으로 구분할 수 있다. 주파수 계산과 관련된 기능은 1초 주기로 계산을 수행하고 조류계산과 관련된 기능은 EMS의 SCADA 데이터 취득 주기에 따라 2초 또는 4초 주기로 계산을 수행한다. 계통 상태 변화에 따른 relay의 동작 또는 급전원, 교관의 수동 조작에 의해 계통의 Switch가 변화하면 topology processor에 의해 새롭게 계통을 구성하고 이에 따라 주파수 및 전압 등을 계산한다. 각 구성요소의 기능에 대한 설명은 3절에서 하도록 한다.

2.2 PSM 구성요소 모델의 구분

PSM의 주요 구성요소 모델은 그 특징에 따라 dynamic model, steady-state model, dynamic time delay를 갖는 steady-state model로 구분 할 수 있다. 각 모델의 특징 및 대표적인 모델의 예가 표1에 정리되어 있다.

〈표 1〉 PSM 구성요소 모델의 구분 및 특징

모델 구분	특징	모델 예
Dynamic model	- 응답속도가 주파수계산주기(1초)보다 느림 - Block diagram 및 미분방정식을 통해 모델링이 이루어짐 - Numerical method를 통해 매 초 계산 수행 - 결과값은 주파수 계산에 반영	- Turbine - Load reference model - Governor 등
Steady-state model	- 조류계산 시 사용하는 기기의 모델링 - 응답속도가 빨라서 1초 이내에 정상상태에 도달하는 기기의 모델링	- 선로 - 변압기 - 부하모델 등
Steady-state model with dynamic time delay	- 조류계산에 사용되는 모델이나 기계적 특성에 의해 응답속도가 조류계산주기 보다 느린 기기의 모델링 - Logical diagram을 이용해 모델링이 이루어짐 - 결과값은 조류계산에 반영	- Tap changer - Phase shifter - Relay - Cold load 등

3. PSM 구성요소의 기능 및 입/출력 데이터

3.1 Energy Source Model

발전기 Energy source의 동적모의를 수행하는 모델로 주요 특징은 다 음 표와 같다. 화력, 수력, 원자력, 가스, 복합사이클 발전 등 에너지원에 따라 각기 다른 모델이 존재한다[2].

〈표 2〉 Energy source model의 구성 요소 및 입/출력 데이터

주요 구성 모델	- Governor load reference model - Governor model - Turbine model - Excitation system model - Power system stabilizer model
입력 데이터	- 계통 주파수 - 유효전력 출력 - AGC 신호 - 유효전력 지령치 (메뉴얼)

	- 단자전압
출력 데이터	- 발전기 기계적 출력 - 단자 전압

3.2 Frequency Model

계통 주파수 모의 및 개별 발전기의 유효전력 출력을 계산하는 모델로 주요 구성요소 및 입/출력 데이터는 다음 표와 같다.

〈표 3〉 Frequency model의 구성 요소 및 입/출력 데이터

주요 구성 모델	- 주파수 계산 모델 - 유효전력 계산 모델
입력 데이터	- 독립계통의 총 부하량 - 부하의 주파수 민감도 상수(D) - Energy source의 출력 - 발전기의 관성상수 (H)
출력 데이터	- 독립계통의 주파수 - 개별 발전기의 유효전력 출력

개별 발전기의 유효전력 출력(P_E)과 계통의 주파수 변동(Δf)은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$P_E = P_T - \frac{d}{dt} E_{\geq n} = P_L + D_{eq} \Delta f$$

$$\frac{d}{dt} \Delta f = -\frac{D_{eq} f_0}{2H_{eq}} \Delta f + \frac{f_0}{2H_{eq}} (P_T - P_L)$$

여기에서, E_{gen} 은 개별 발전기가 가진 운동 에너지, P_T 는 energy source의 기계적 출력, P_L 은 독립계통의 총부하량을 나타내며, D_{eq} 및 H_{eq} 는 독립계통 내의 전체 부하의 등가적 주파수 민감도 상수와 전체 발전기의 등가적 관성 상수를 나타낸다.

3.3 송변전설비 Model

주요 송변전설비의 입/출력 데이터 및 모델특성은 다음표와 같다.

〈표 4〉 주요 송변전 설비의 입/출력 데이터

모델	입력데이터	출력데이터	모델특성
AC line	-	-	S-S
HVDC line	-	-	S-S
변압기	-	-	S-S
Tap changer	- 단자전압	- Tap 위치	T-D
Phase shifter	- 유효전력	- 위상각	T-D
SVC 및 보상기	-	-	S-S
Relay	- 전압 - 전류 - 주파수 - 시간	- 해당 CB의 On/Off 상태	T-D

〈표에서 S-S는 steady-state model, T-D는 time delay model〉

3.4 Load Model

개별 부하의 유, 무효 전력 부하 값을 계산하는 모델로 주요 구성요소 및 입/출력 데이터는 다음과 같다.

〈표 5〉 Load model의 구성 요소 및 입/출력 데이터

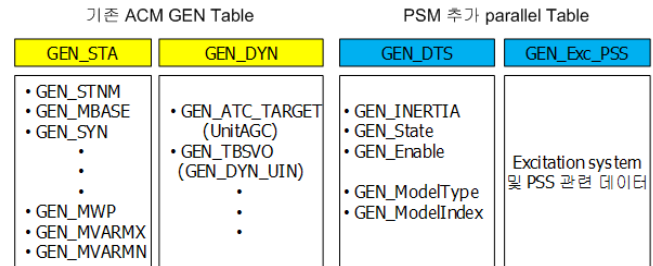
주요 구성 모델	- Conforming load model - Non-conforming load model - Random load model - Cold load model - Generating house load model
입력 데이터	- Load curve - Peak load - 단자 전압 - 주파수 - Model parameter
출력 데이터	- 개별부하의 유, 무효 전력 부하량

4. PSM 모델의 DB 설계 방안

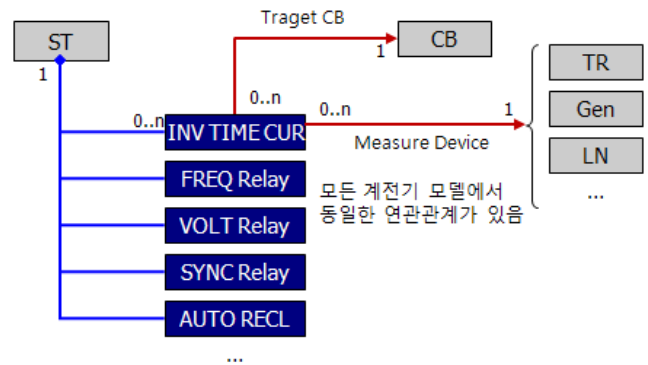
K-EMS의 응용프로그램들은 Application Common Model(ACM) 형태의 DB를 기반으로 하여 개발되고 있다. 따라서 PSM의 각 구성요소들

도 이를 기반으로 한 DB 설계가 이루어져야 하며, 이미 개발된 K-EMS의 계통해석 및 발전계획 응용 프로그램의 여러 구성 요소와의 연관 관계가 정의 되어야 한다. 발전기, 변압기, 선로, 보상설비 등 기존 DB에 존재하는 요소는 기존 DB table에 parallel table의 형태로 필요한 요소를 추가 정의해 주고, Energy source 모델, 부하 모델, Relay 모델 등과 같이 PSM에만 정의되는 요소는 신규 DB table을 추가하고 기존 table과의 연관관계를 정의해 주었다.

그림2와 같이 발전기 Table의 경우 발전기 연결정보, 용량 및 능력곡선 등은 기존의 ACM table의 데이터를 활용하고, 발전기 관성(H), Energy source model과의 연결 관계, excitor 및 PSS 관련 데이터 등은 parallel table로 추가하였다. 그림3에서와 같이 Relay 모델의 경우 각 relay의 특성을 포함하고 있는 신규 DB table을 각각 정의해 주었고, relay가 설치된 Station(ST), relay가 감시하고 있는 기기(TR, Gen, LN 등), relay에 의해 동작되는 Circuit breaker(CB)와의 연결 관계를 정의해 주었다.



〈그림 2〉 Gen Table의 정의



〈그림 3〉 Relay Table 및 기존 구성요소와의 연관 관계

5. 결 론

본 논문에서는 DTS PSM의 주요 구성요소 모델링에 대하여 서술하였다. PSM은 실제 전력계통에서 발생하는 현상을 모의할 수 있도록 Energy source model, Frequency model, 송변전설비 model, Load model 등을 포함하고 있으며 본 논문에서는 각각의 모델에 대하여 세부 구성 요소 및 주요 입/출력 데이터를 정의하였다. 또한 ACM 기반의 DB 설계를 위해 기존 데이터 table과 PSM 추가 구성요소의 연관관계를 정의하는 방안에 대하여 논의하였다.

본 논문은 지식경제부에서 시행한 전력산업 연구개발사업(과제번호 : R-2005-1-398-004)으로 수행되었습니다. 관계자분들께 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] F. Wang, G. Janka, G. Schellstede, "Dynamic power system simulation for real time dispatcher training", Power System Monitoring and Control 3rd International Conference, pp. 109-114, 1991
[2] Korean Energy Management System Technical Specification, 한국전력거래소, 2006