2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

복합부하모델의 파라미터 추정을 위한 User Interface 개발

김병호*, 김홍래*, 이병준**, 송화창***
순천향대학교*, 고려대학교**, 서울과학기술대학교***

Developement of User Interface for Parameter Estimation of the Composite Load Model

Byoung-Ho Kim*, Hongrae Kim*, Byoungjun Lee**, Hwachang Song***
Soonchunhyang University*, Korea University**, Seoul National University of Science & Technology***

Abstract - 부하 모델링을 위해서는 구성요소기반 부하모델링과 측정기반 부하모델링 두 가지 방법이 사용된다. 구성요소기반 부하모델링은 모선에 부하의 구성비에 기반으로 하는 부하모델 기법이고, 측정기반 부하모델링은 부하가 설치된 모선의 전압과 소비전력의 측정값으로부터 관계를 수학적으로 모델링하는 기법이다. 본 논문에서는 부하모델을 위해 복합부하모델이 적용되었다. 복합부하모델은 정적부하모델과 동적부하모델을 모두 포함하고 있으며, 정적부하모델로서는 ZIP 모델이 사용되고, 동적 부하모델로는 유도전동기 모델이 사용되었다. 측정기반 부하모델의 파라미터 추정을 위해 TSAT(trensient security assessment tool) 프로그램으로부터 얻은 측정데이터를 이용해 파라미터 추정을 한다. 또한 사용자 편의를 위한 GUI(graphical user interface)의 적용을 통한 부하모델 파라미터 추정 프로그램을 개발하였다.

1. 서 론

전력계통에서 에너지는 발전과 동시에 소비가 이루어진다. 발전기 동특성은 연구가 활발하게 이루어졌지만, 부하의 동특성은 전력계통에서 작은 효과를 가진다는 생각으로 무시되어 왔다. 그러나 부하는 계통에 상당한 영향을 미친다. 과도안정도 부분에서 전력계통의 동특성을 효과적으로 분석하기 위해서 부하는 발전기와 함께 고려할 필요가 있다.

부하의 특성을 수학적으로 표현하는 것은 매우 어려운 일이다. 부하는 매우 다른 동적 특성을 가지는 여러 가지 요소로 구성되어 있다. 게다가 시간에 따라 변화하는 특성을 가지고 있다. 부하모델링을 위해 사용되는 기법에는 구성요소 기반 부하 모델링과 측정기반 부하모델링 두 가지가 있다. 구성요소 기반 부하모델링은 모선에 부하의 구성비에 따른 부하모델링 기법이고, 측정기반 부하모델링은 부하모선에서의 전압과 소비전력의 측정값으로부터 관계를 구하는 기법이다.

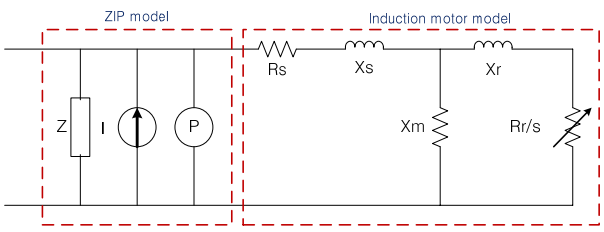
부하 모델링에는 두 가지 중요한 요소가 있다. 첫 번째는 부하의 특성을 나타내는 수학적 모델을 결정하는 것이다. 두 번째는 결정된 수학적 모델의 파라미터를 추정하는 일이다[1].

본 논문에서는 부하모델의 수학적 모델로는 복합부하모델을 사용한다. 복합부하모델은 정적 부하모델과 동적 부하모델을 포함하고 있다. 정적 모델로는 ZIP모델이 사용되고, 동적모델은 유도전동기 모델이 사용된다. 본 논문에서는 측정기반 부하모델의 파라미터 추정을 위해 TSAT 프로그램으로부터 얻은 측정데이터를 이용해 파라미터 추정을 하고, 사용자 편의를 위한 GUI(graphical user interface)의 적용을 통한 부하모델 파라미터 추정 프로그램을 개발을 한다.

2. 본 론

2.1 복합부하모델

정적 부하모델과 동적 부하모델은 부하에 대한 전압의 효과에 따라 구분된다. 부하의 변화가 순시입력전압에 의해 결정되고, 전 시간의 입력전압에 관계가 없다면, 정적 부하모델이 사용된다. 그러나 부하 특성이 전체 시간에 입력전압에 의해서 영향을 받는다면, 동적 부하모델이 사용될 필요가 있다.



〈그림 1〉 복합부하모델

실제의 부하들은 여러 가지 요소들로 구성되어있다. 복합부하모델은 많은 연구자들에 의해 폭 넓게 채택되고 있고, 그림 1에서 보는 것과 같이 정적 부하모델과 동적 부하모델이 통합된 물리적 부하모델로 설명된다. 정적 부하모델은 ZIP 모델로서 표현되고, 동적 부하모델은 유도 전동기모델을 사용한다[2].

2.1.1 ZIP 모델

정적 부하모델로서 사용되는 ZIP 모델은 전압과 소비전력 사이의 수학적 관계식을 아래와 같은 다항식의 형태로 표현할 수 있다[2].

$$P_{zip} = P_0[a_p(\frac{V}{V_0})^2 + b_p(\frac{V}{V_0}) + c_p] \quad (1)$$

$$Q_{zip} = Q_0[a_q(\frac{V}{V_0})^2 + b_p(\frac{V}{V_0}) + c_q] \quad (2)$$

ZIP 모델은 정임피던스(Z), 정전류(I), 정전력(P)으로 구성되어있다. 파라미터는 각 요소의 비율을 정의하는 계수 $a_p, b_p, c_p, a_q, b_q, c_q$이다. 각각의 계수는 $a_p + b_p + c_p = 1$, $a_q + b_q + c_q = 1$의 관계를 가진다.

2.1.2 유도전동기 모델

동적 부하모델은 유도전동기 모델이 사용된다. 정적 부하모델은 대수방정식의 형태를 가지지만 유도 전동기의 모델은 미분방정식과 대수방정식의 형태를 가진다[3].

$$\frac{dE'_d}{dt} = -\frac{1}{T'_0}[E'_d + (X - X')I_q] + w_0 s E'_q \quad (3)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = -\frac{1}{T'_0}[E'_q - (X - X')I_d] - w_0 s E'_d \quad (4)$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{2H}[T_m - T_e] \quad (5)$$

$$I_d = \frac{1}{R_s^2 + X'^2}[R_s(V_d - E'_d) - X'(V_q - E'_q)] \quad (6)$$

$$I_q = \frac{1}{R_s^2 + X'^2}[R_s(V_q - E'_q) - X'(V_d - E'_d)] \quad (7)$$

여기서,

$$T'_0 = \frac{X_r + X_m}{w_0 R_r}$$

$$X = X_s + X_m$$

$$X' = X_s + \frac{X_m X_s}{X_m + X_r}$$

$$T_m = T_{m0}[A(1-s)^2 + B(1-s) + C]$$

R_s : 고정자 저항
X_s : 고정자 리액턴스
X_m : 자화 리액턴스
R_r : 회전자 저항
X_r : 회전자 리액턴스
H : 관성상수

동적 부하모델의 파라미터는 R_s, X_r, X_m, R_r, X_r과 H이다. 여기서, 기계적 토크계수 A는 1.0으로 가정한다.

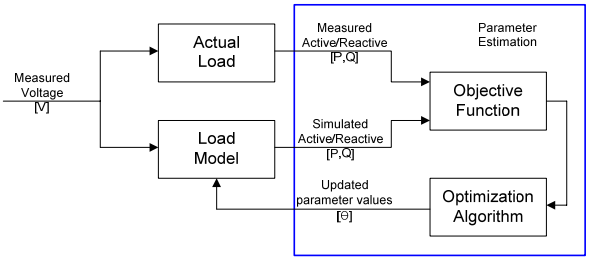
2.2 파라미터 추정

부하모델의 수학적 관계식이 결정되었다면, 파라미터 추정은 다음으로 중요한 부분이다. 본 논문에서는 측정기반 부하모델링 기법이 사용되었다. 구하여야 하는 파라미터는 12개이다. 파라미터를 추정하기 위해서 최소제곱법이 사용되었고, 이는 측정값과 추정값 사이에 에러함수를 최소화 시키는 파라미터를 찾는 방법이다[2].

$$\underbrace{\min_{p\in Z}}\ \varepsilon(p) = \underbrace{\min_{p\in Z}}\ \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{N}[y(k)-\hat{y}(k)]^2 \qquad (8)$$

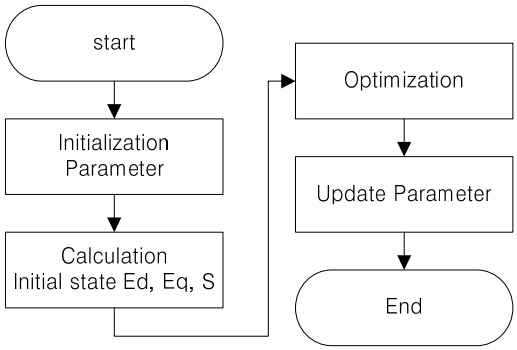
여기서, p는 추정되어야 하는 파라미터 벡터, N은 측정데이터 샘플링 수, Z는 파라미터 공간, $y(k)$는 측정값, $\hat{y}(k)$는 추정값이다.

파라미터 추정 개념을 표현하면 그림 2와 같다[4].



〈그림 2〉 파라미터 추정

최소제곱법은 지역 최소값에 수렴 할 수 있고 파라미터의 초기값에 민감할 수 있다. 하지만 실시간 적용을 위한 빠른 수렴시간을 가지는 특성이 있다. 파라미터 추정의 과정을 순서도로 간단히 나타내면 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.



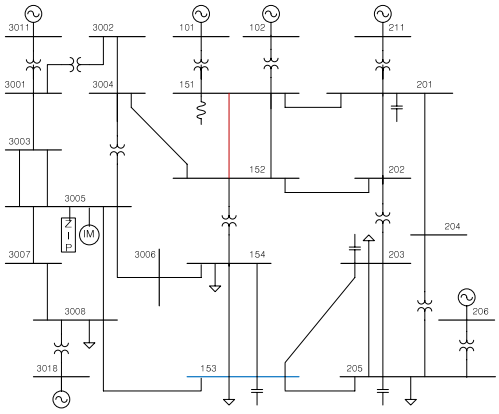
〈그림 3〉 파라미터 추정 순서도

E'_d, E'_q, s의 초기 상태를 구하기 위해 Runge-Kutta법이 사용되었다. 이 초기 상태 값은 초기 파라미터 값으로부터 미분방정식을 풀어서 얻을 수 있다. 식(8)을 만족시키는 파라미터를 찾기 위해 최적화기법 적용을 통해 얻는다.

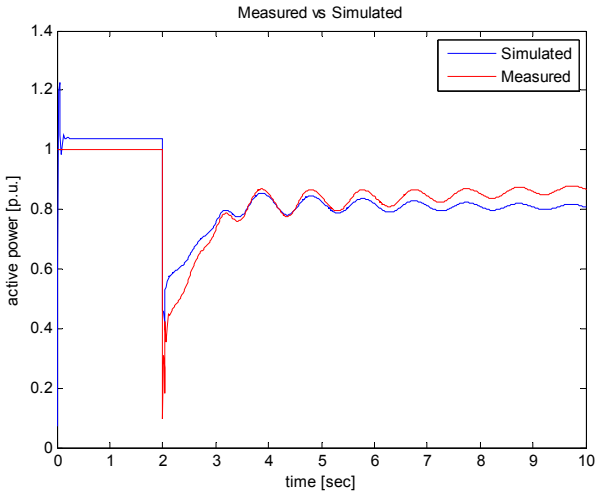
2.3 사례연구

파라미터 추정을 위해 사용된 시험 계통은 그림 4에 나타내었다. 23모선과 6개의 발전기로 구성되어있다. 측정값을 얻기 위해 TSAT 프로그램을 이용해 선로 151-201에 3상 고장을 3주기동안 적용하였다.

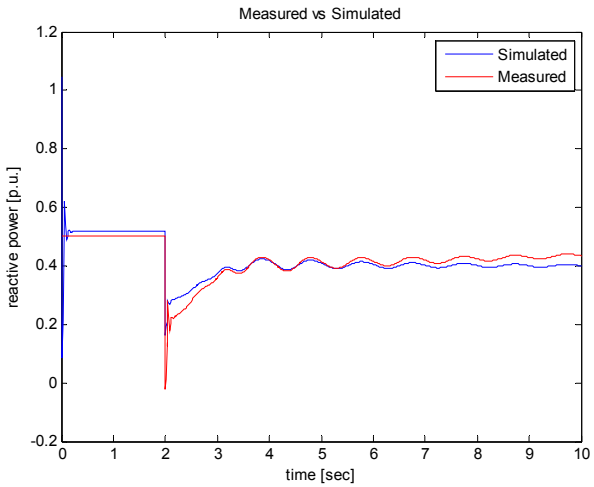
샘플링 데이터는 3005번 모선에서 전압과 유/무효전력을 얻었다. 측정값과 추정값 사이의 비교는 그림 5와 6에 나타내었다. 추정된 파라미터는 표 1에 나타냈다.



〈그림 4〉 시험계통



〈그림 5〉 유효전력

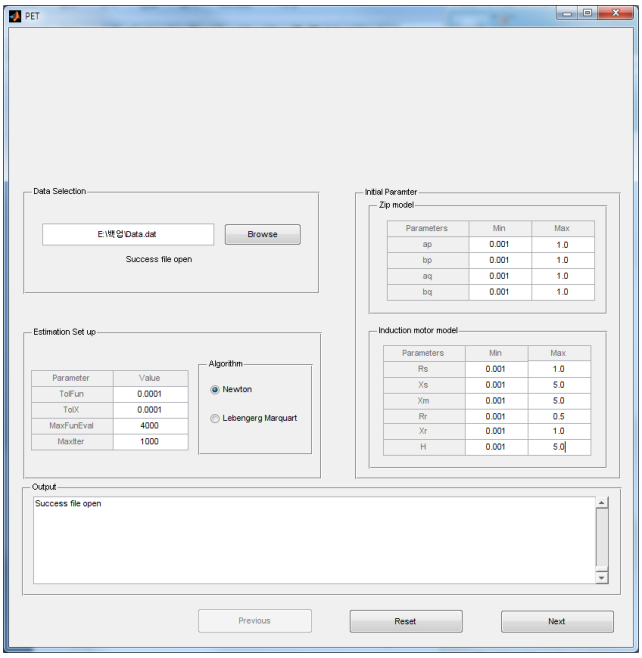


〈그림 6〉 무효전력

<표 1> 추정된 파라미터 결과

Zip model		유도전동기모델	
Parameter	Value	parameter	value
a_p	0.0010	R_s	0.9357
b_p	0.5642	X_s	0.5267
c_p	0.4348	X_m	1.5642
a_q	0.0010	R_r	0.1000
b_q	0.6626	X_r	0.3666
c_q	0.3364	H	3.5000

그림 7은 개발된 파라미터 추정 프로그램의 초기 화면으로 사용자 편의를 위해 GUI(graphical user interface)를 적용하였다.



<그림 7> 파라미터 추정 프로그램

3. 결 론

본 논문에서는 복합부하모델을 위해 필요한 파라미터 추정을 수행했다. 또한 사용자 편의 증대를 위해 GUI를 적용하여 프로그램화 하였다. 파라미터 추정을 위해 최소제곱법이 사용되었고, 이는 초기값에 민감하기는 하나 실시간 파라미터 추정 적용을 위해 빠른 수렴특성을 가지고 있다. 추정 결과 비교에서 추정값과 측정값 간에 oscillation이 나타나기는 하나 비교적 만족할 만한 결과를 보이고 있다. oscillation의 제거를 위해 초기값 선정이 중요한 것으로 보이며, 정도 개선을 위한 연구를 지속적으로 수행 중이다.

[참 고 문 헌]

[1] Ma Jin, "Measurement-Based Load Modeling: Theory and Application", Sci China Ser E-Tech Sci, Vol. 50, No. 5, pp. 606-617, 2007.

[2] EPRI Technical Report, "Measurement-Based Load Modeling", 2006.

[3] Prabha Kunder, "Power System Stability and Control", McGraw -Hill, 1994.

[4] He Renmu, "Composite Load Modeling via Measurement Approach", IEEE Tran. Power Systems, Vol. 21., No. 2., p663-671, 2006.