

PSpice와 Simulink를 이용한 전력전자 시스템 해석에 대한 연구

김무현, 장대웅
나인플러스이디에이(주)

A Study on Power Electronic System Analysis using PSpice and Simulink Co-Simulation

Mu Hyun Kim, Dae Woong Chang
NineplusEDA CO.,Ltd

ABSTRACT

본 논문에서는 전력전자 시스템 해석 시 PSpice와 Simulink를 이용한 Co Simulation방법으로 회로 레벨(Circuit level)을 포함한 시스템 레벨(System level)에서의 시뮬레이션 해석 방법을 제안한다. 일반적인 전력전자 시스템의 설계 방법은 회로 레벨과 시스템 레벨에서 별도로 시뮬레이션하거나 이상적인 모델을 이용하여 시스템을 해석하여 왔으나, 이러한 시스템 설계 방법은 별도의 시제품을 제작하여 측정함으로써 시간과 금전적 손실이 있었다. 이러한 점을 보완하기 위해서 PSpice와 Simulink를 이용한 Co Simulation방법을 제안한다.

1. 서 론

전력전자 시스템은 제어기, 회로 그리고 전자기기와 같이 복합적인 시스템으로 구성되어 있다.

이러한 시스템 해석을 하기 위해서는 시스템 특성에 맞는 툴을 이용하여 시스템 설계를 하는데 MATLAB/Simulink는 다양한 분야의 시스템에 대한 수식화된 모델을 가지고 있으며, 연산 수행과 데이터 분석이 뛰어나 전체 시스템에 대한 해석에 많이 이용되고 있다. 하지만 전기적 특성을 포함한 모델을 제공하지 않기 때문에 회로 레벨에서의 적합하지 않다. PSpice는 회로 시뮬레이션 툴로써 전기적 특성을 가진 Spice모델을 이용하여 시뮬레이션 하기 때문에 실제 하드웨어에 대한 검증이 가능하여 회로 해석에 많이 이용되는 툴이다. 따라서 시스템을 설계하고 검증하기 위해서는 각 시스템에 적합한 툴을 이용한다.^[1]

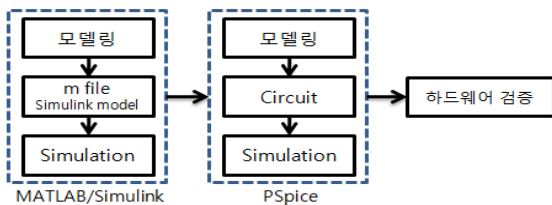


그림 1 전력전자 시스템 설계 블록도
Fig. 1 Block diagram of design of Power Electronics system

그림 1과 같이 일반적인 전력전자 시스템 설계 시에 시스템 설계와 회로 설계가 따로 이루어졌으며, 시스템 설계와 회로 설계 시 각 툴에 대한 시스템의 모델링이 필요하며, 전력전자

시스템에 대한 검증을 위해서는 별도의 하드웨어를 제작하여 검증한다. 그림 1과 같은 설계 방식은 시스템 설계 시 제품이 다양한 기능이 복합적으로 포함되어 복잡해지므로, 개발 주기가 짧아지고 있는 오늘날의 설계 방식과는 맞지 않다.

이러한 점을 보완하기 위하여 Simulink 모델에 전기적 특성을 가진 PSpice 회로를 배치 시켜 시뮬레이션 함으로써 기존의 전력전자 설계 방식보다 좀 더 현실적인 시뮬레이션이 가능할 뿐 아니라, 전력전자 시스템 외에 기계 분야 등과 함께 시뮬레이션이 가능하다. 또한 별도의 하드웨어를 제작하여 전체 시스템을 검증하기 전에 전자 회로의 특성에 의해 발생할 오류를 시뮬레이션을 통해서 찾아낼 수 있다.

본 논문에서는 BLDC 모터 제어를 예로 들어 전력전자 시스템 설계 시 PSpice와 Simulink의 Co Simulation방법을 이용한 설계 방법을 제안하였다.

2. BLDC 모터 제어

2.1 BLDC의 모델링

3상 BLDC의 각상의 임피던스가 동일하고 3상이 평형이라고 가정하면, 전압방정식, 운동방정식, 토크방정식, 그리고 발생토크 및 역기전력의 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$J \frac{dw_r}{dt} = T_e - T_l - Bw_r \quad (2)$$

$$T_e = (e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) / w_r \quad (3)$$

$$T_e = K_T I_s \quad (4)$$

$$E_s = K_E w_r \quad (5)$$

여기서 R은 각 상의 고정자 권선 저항, L은 자기 인덕턴스, M은 상호 인덕턴스, e_a , e_b , e_c 는 BLDC의 역기전력, J는 회전자 관성, T_e 는 모터에서 발생하는 토크, T_l 는 부하토크, B는 점성마찰계수, w_r 은 회전자 각속도, K_T 는 토크상수, K_E 는 역기전력 상수이다.

위의 BLDC에 관한 식과 PI 제어기를 이용한 BLDC 모터의 시스템을 블록도를 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

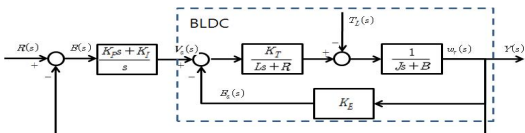


그림 2 PI제어기가 포함된 BLDC 시스템의 블록도
Fig. 2 Block diagram of BLDC system with PI Controller

2.2 Simulink를 이용한 시뮬레이션

Simulink에서 BLDC 모터에 대한 시스템 해석 시 모터에 대한 방정식과 블록도를 바탕으로 Simulink에서 시뮬레이션 함으로써 모터의 제어 특성을 확인 할 수 있다.

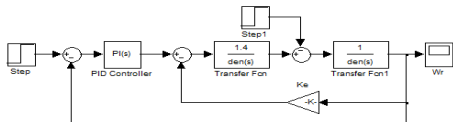


그림 3 Simulink Simulation 모델
fig. 3 Simulink Simulation model

또는 Simulink에서 모터 블록을 이용하여 그림 4와 같이 시스템을 구성하여 시뮬레이션 할 수 있다.

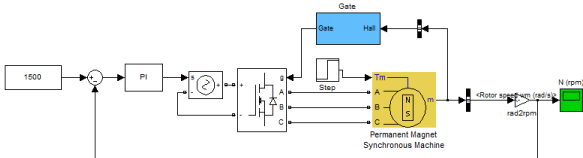


그림 4 Simulink Block을 이용한 Simulation 모델
fig. 4 Simulation model using Simulink Block

하지만 Simulink에서 제공되는 전력전자 소자들은 전기적 특성이 없는 이상적인 모델을 이용하여 해석하기 때문에 시스템에 대한 간략적인 시뮬레이션 결과를 확인 할 수가 있다. 그래서 인버터회로는 별도로 PSpice를 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 전체 시스템에 대한 검증은 하기 위해서는 하드웨어를 제작하여 검증해야 되는 번거로움이 있다.

2.3 PSpice를 이용한 시뮬레이션

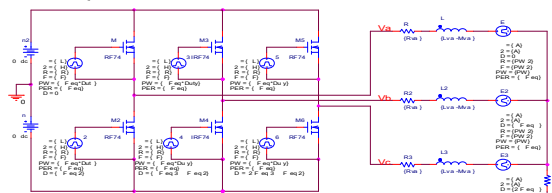


그림 5 BLDC 파라미터가 포함된 PSpice Simulation 모델
fig. 5 PSpice Simulation model with parameter of BLDC

PSpice는 Spice 모델을 이용하여 회로를 시뮬레이션 한다, 하지만 PSpice에서 제공하는 BLDC 제어에 사용되는 인버터를 설계하기 위해서는 그림 5와 같이 인버터 회로와 BLDC 모터의 등가 모델을 만들어 모터의 특정 조건에 대한 PWM과 BLDC의 역기전력 등 신호를 만들어 시뮬레이션 하였다.

3. Co-Simulation^[2]

3.1 PSpice를 이용한 회로 구성

제안하는 방법인 Co Simulation을 하기 위해서는 먼저 회로의 PSpice 해석이 선행되어야 한다.

그림 6과 같이 인버터와 모터모델을 설계하였다.

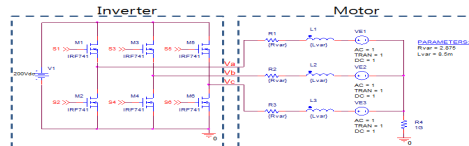


그림 6 PSpice Simulation 모델
fig. 6 PSpice Simulation model

3.2 SLPS를 이용한 Co-Simulation

SLPS는 Co Simulation을 수행할 수 있는 인터페이스 툴로써 입력 신호를 PSpice로 보내며, PSpice Solver로 회로를 해석하게 된다. 해석된 결과는 Simulink로 보내져 시뮬레이션 한다.



그림 7 SLPS 시스템 블록도
Fig. 7 Block diagram of SLPS system

그림 8은 설계된 PSpice 회로를 이용한 BLDC 구동회로이며, 결과는 그림 9와 같으며, SLPS를 이용하면 MOSFET 소자의 전기적 특성도 확인 가능하다.

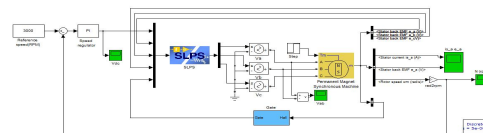


그림 8 SLPS를 이용한 Simulink 모델
Fig. 8 Simulink model using SLPS

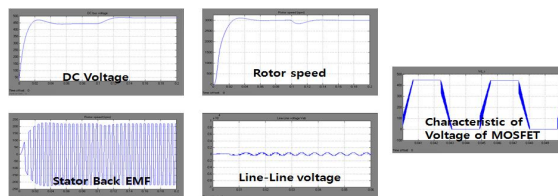


그림 9 BLDC의 전압 및 전류 특성
Fig. 9 Current and Voltage Characteristics of BLDC

4. 결론

본 논문에서는 PSpice와 Simulink의 Co simulation을 이용한 전력전자 시스템 해석에 대하여 기술하였으며, BLDC 제어 시스템을 이용하여 확인하였다. 전력소자의 특성을 가진 회로를 이용하여 시스템 설계함으로써 기존의 설계방식보다 좀더 현실적인 시스템 설계를 할 수 있으며, 시스템에 대한 소자의 전기적 특성을 확인 할 수 있었다. 전기적, 물리적 레벨이 포함된 시스템 레벨에서의 시뮬레이션 함으로써 복잡한 시스템에 대한 시뮬레이션이 가능하였다.

참고 문헌

[1] O.A. Ahmed, J.A.M Bleys, "PSpice and Simulink Co Simulation For High Efficiency DC DC Converter Using SLPS Interface Software", PEMD 2010, pp. 1 6, 2010, April.
[2] SLPS User Guide, Cadence Design Systems, INC.. pp. 71 80, 2007.