

전력전자 회로해석을 위한 라이브러리 개발

서영수* 송호빈* 황락훈** 이상용** 김종래** 장병곤** 나승권** 조문택***
 *명지대학교 전기전자공학부 **세명대학교 전기

Library development for power electronics circuit analysis

ung-Soo, Seo* Ho-Bin, Song* Lak-Hoon, Hwang** Sang-Yong, Lee**
 Jong-Lae, Kim** Byung-Gon, Jang** SeYung-Kwon, Na** Moon-Taek, Cho***
 Myong-Ji Univ.* Seimyong Univ.** Dae-Won Technical College***

Abstract - The purpose of this paper is to verify the appropriation of power electronics circuit by applying the most powerful and widely used simulator PSPICE and SIMULINK for adapted variable control technics. Power semiconductor macro modeled by SIMULINK such as DC motor and AC induction motor. Furthermore DC motor & AC induction motor are modeled by PSPICE through their algorithms. For proved these modelings accurate, simulation techniques which are generally used in the field of power electronics circuits are adapted in power electronics and systems

이 회로는 직류전동기의 SIMULINK 적용모델로 PSPICE를 이용한 직류전동기 모델의 결과와 일치함을 알 수 있다. 그림 2는 SIMULINK에 적용해 구성된 직류전동기의 모델을 나타냈으며, 그림 3은 시뮬레이션 결과이다.

1. 서 론

회로 시뮬레이터인 PSPICE는 회로의 소자를 그림으로 그려 처리하는 GUI(Graphic User Interface) 기능이 있어 회로작성과 수행이 용이하고 라이브러리가 풍부하다는 장점 때문에 가장 범용적으로 사용되고 있으나, 제작사인 MicroSim사에서는 전자분야에는 풍부한 라이브러리를 제공하고 있지만, 전력전자 분야에서 필요로 하는 전력용 반도체 소자와 직류전동기, 유도전동기와 같은 기계적인 요소들에 대한 라이브러리를 제공하지 못하고 있다는 단점을 가지고 있다.

그리고 MATLAB의 SIMULINK 시뮬레이터는 전력전자 회로의 제어부를 해석할 때에 다양한 라이브러리를 제공하지만, 전력전자 해석을 위한 라이브러리는 빈약한 상태이다.

본 논문에서는 전력전자 시스템의 특성해석을 전력용 반도체 소자와 전동기를 PSPICE와 SIMULINK를 이용할 수 있는 라이브러리로 만들어 전력전자 회로를 시뮬레이션을 하였고, 실험 파형과 비교하였다.

2. 본 론

2.1 직류전동기의 SIMULINK 모델링

SIMULINK를 이용하여 간단한 직류전동기 모델을 검증하기 위한 회로도모를 그림 1에 나타내었다

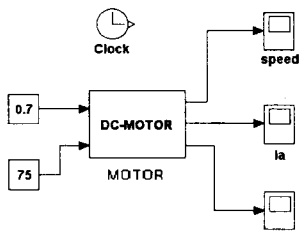


그림 1 직류전동기 모델 검증회로

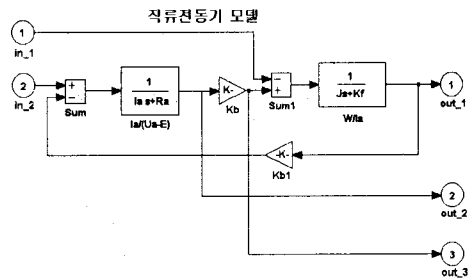


그림 2 직류전동기 SIMULINK 적용모델

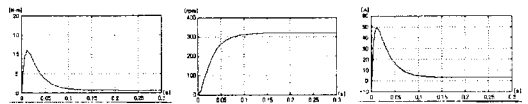


그림 3 시뮬레이션 결과

2.2 직류전동기의 PSPICE 모델링

브러시와 계자권선만 있는 일반 직류기(1축 직류기)와 타려 직류기를 고려하여 d축에는 브러시, q축에는 계자권선만 있는 것으로 하면 이것은 v_{d1}, v_{q2} 성분이 생략되어 다음과 같은 조건이 되어 식 (1)을 구할 수 있다.

$$v_{d1} = v_f, \quad i_{d1} = i_f, \quad i_{d2} = i_a$$

$$R_1 = R_f, \quad R_2 = R_a, \quad L_{11} = L_f, \quad L_2 = L_a$$

$$\begin{bmatrix} v_f \\ v_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_f + \rho L_f & 0 \\ \rho \omega_m M & R_a \omega L_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f \\ i_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $\omega = \rho \omega_m$ 이다.

그리고 토크 T는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = PM(i_{d1} i_{d2} - i_{a1} i_{a2}) = PM i_f i_a \quad (2)$$

식 (2)을 일반 회로방정식으로 바꿔 쓰면, 식 (3)과 식 (4)로 쓸 수 있다.

$$v_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (3)$$

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + P \omega_m M i_f \quad (4)$$

식 (3)은 계차회로의 전압방정식이고, 식 (4)는 전기자 회로의 전압방정식으로 $P\omega_m Mi_f$ 는 유도 기전력을 나타낸 항이다. 따라서 식 (5)와 식 (6)과 같이 유도할 수 있다.

$$P\omega_m Mi_f = P\omega_m \frac{Z}{2\pi a} \psi = K_a \psi \omega_m = E_a \quad (5)$$

$$PMi_f i_a = P \frac{Z}{2\pi a} \psi i_a = K_a \psi i_a = T_a \quad (6)$$

따라서 식 (1)~식 (6)에 의해 PSPICE에 적용하기 위한 라이브러리로 만들면 그림 4와 같다. 그림 5는 직류전동기의 시험 회로이며, 속도와 토크 곡선은 그림 6에 나타냈다.

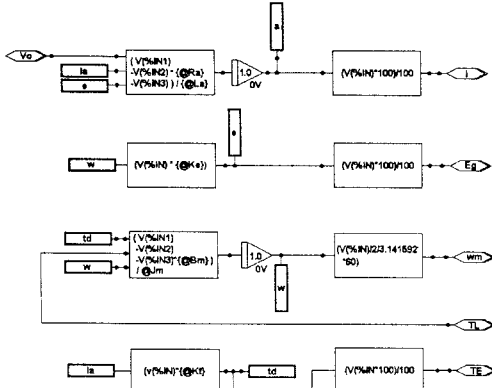


그림 4 직류전동기의 PSPICE 적용모델

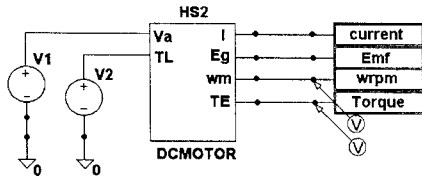


그림 5 시험 회로

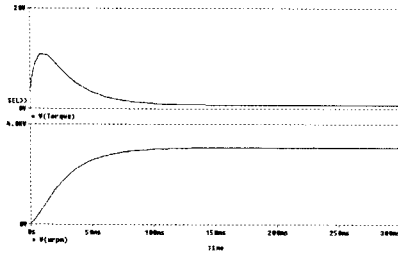


그림 6 토크-속도특성곡선

2.3 유도전동기의 SIMULINK 모델링

유도전동기의 제어에 있어서 정확한 자속의 추정은 매우 중요한 문제이다. 유도전동기가 전압형 인버터에 의하여 구동되는 경우, 정상상태에서 자속벡터는 인가한 주파수, 전압과 입력전류에 의하여 예측이 가능하지만 과도상태에는 누설 리액턴스 강하의 영향으로 자속의 연산이 복잡해지고 이에따라 적절한 자속추정 방법이 요구된다. 유도전동기의 전압방정식은 동기속도로 회전하는 회전기준좌표계에 대하여 식 (7)로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + \rho L_s & \omega L_s & \rho M & \omega M \\ -\omega L_s & R_s + \rho L_s & -\omega M & \rho M \\ \rho M & \omega_s M & R_r + \rho L_r & \omega_s L_r \\ -\omega_s M & \rho M & -\omega_s L_r & R_r + \rho L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \quad (7)$$

전압구동 유도전동기에 대한 방정식은 식 (8)~식 (11)으로 정리할 수 있다.

$$\frac{d\psi_{ds}}{dt} = v_{ds} - T_s' \psi_{ds} + T_{ms}' \psi_{dr} \quad (8)$$

$$\frac{d\psi_{qs}}{dt} = v_{qs} - T_s' \psi_{qs} + T_{ms}' \psi_{qr} \quad (9)$$

$$\frac{d\psi_{dr}}{dt} = -T_r' \psi_{dr} + T_{mr}' \psi_{ds} - \omega_r \psi_{qr} \quad (10)$$

$$\frac{d\psi_{qr}}{dt} = -T_r' \psi_{qr} + T_{mr}' \psi_{qs} - \omega_r \psi_{dr} \quad (11)$$

$$\text{여기서, } T_s' = \frac{R_s L_s}{L_s L_r - M^2}, \quad T_{ms}' = \frac{R_s M}{L_s L_r - M^2}$$

$$T_r' = \frac{R_r L_r}{L_s L_r - M^2}, \quad T_{mr}' = \frac{R_r L_s}{L_s L_r - M^2}$$

상전류는 식 (12)~식 (15)와 같다.

$$i_{ds} = \frac{T_s'}{R_s} \psi_{ds} - \frac{T_{ms}'}{R_s} \psi_{dr} \quad (12)$$

$$i_{qs} = \frac{T_s'}{R_s} \psi_{qs} - \frac{T_{ms}'}{R_s} \psi_{qr} \quad (13)$$

$$i_{dr} = \frac{T_r'}{R_r} \psi_{dr} - \frac{T_{mr}'}{R_r} \psi_{ds} \quad (14)$$

$$i_{qr} = \frac{T_r'}{R_r} \psi_{qr} - \frac{T_{mr}'}{R_r} \psi_{qs} \quad (15)$$

토크는 식 (16)으로 나타냈으며, 속도는 식 (17)로 나타냈다.

$$T = \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) \quad (16)$$

$$\frac{d\omega_m}{d} = \frac{1}{J} (T - T_L) \quad (17)$$

식 (8)을 라플라스변환하면, 식 (18)과 같이 변환되며, 그림 7과 같은 블록도를 구할 수 있다.

$$s\psi_{ds} = v_{ds} - T_s' \psi_{ds} + T_{ms}' \psi_{dr}$$

$$(s + T_s') \psi_{ds} = v_{ds} + T_{ms}' \psi_{dr}$$

$$\psi_{ds} = (v_{ds} + T_{ms}' \psi_{dr}) \cdot \frac{1}{s + T_s'} \quad (18)$$

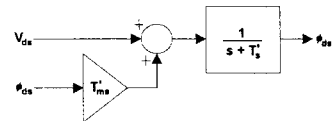


그림 7 전압구동 유도전동기의 고정자 전압 모델링

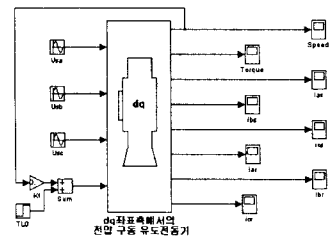


그림 8 전압구동 유도전동기의 SIMULINK 적용모델

그림 8은 SIMULINK적용 모델이며, 시물레이션 결과는 그림 9에 나타났다.

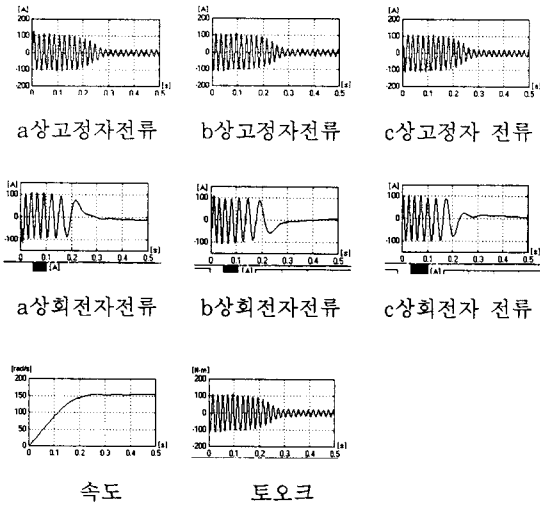


그림 9 시물레이션 특성파형

2.4 유도전동기의 PSPICE 모델링

수학적인 표현이 간단하고 물리적인 개념을 쉽게 이해할 수 있는 공간벡터 표현법을 이용하여 고정자의 정지기준좌표계에서 시스템 방정식을 유도하고 PSPICE를 이용하여 라이브러리로 만들었다. 고정자측 전압방정식을 구하기 위해서 먼저 식 (19)와 같이 각 상의 전압방정식을 놓았다.^{(1),(2)}

$$\begin{aligned}
 v_{as}(t) &= R_s i_{as}(t) + \frac{d\psi_{as}(t)}{dt} \\
 v_{bs}(t) &= R_s i_{bs}(t) + \frac{d\psi_{bs}(t)}{dt} \\
 v_{cs}(t) &= R_s i_{cs}(t) + \frac{d\psi_{cs}(t)}{dt}
 \end{aligned} \quad (19)$$

그림 9는 미시적인 유도전동기 등가회로이다.

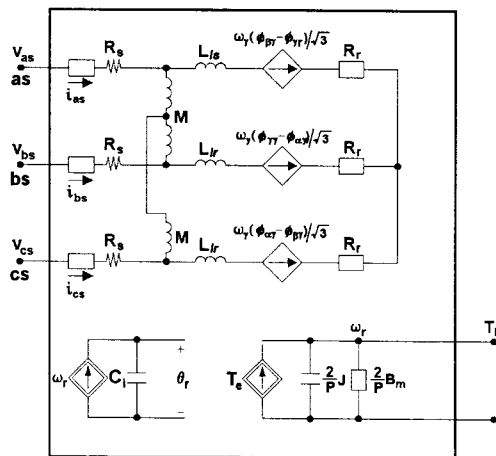
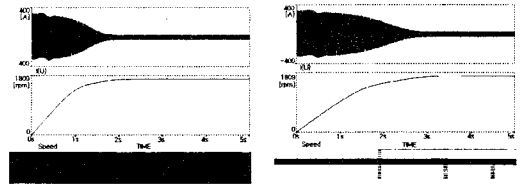
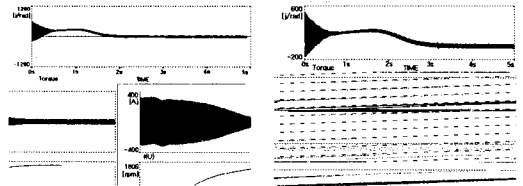


그림 10 유도전동기 PSPICE 적용모델

유도전동기 모델을 3상 PWM인버터에 적용했을 때의 시물레이션 파형을 그림 10에 나타냈다.



부부하시 a상의 전류,속도 부하시 a상의 전류,속도



부부하시 토크 부하시 토크

그림 11 시물레이션 결과파형

3. 결 론

본 논문에서는 전력전자회로의 해석을 위하여 반도체 소자와 기기요소들을 범용적으로 사용되는 시뮬레이터인 SIMULINK와 PSPICE를 이용하여 라이브러리를 개발하여 시물레이션을 하였다.

소자의 동작특성을 파악하기 위해 미시적인 방법을 이용하여 전력용 반도체 소자로써 보편적으로 사용하고 있는 IGBT를 PSPICE로 라이브러리를 개발하여, 그 특성들을 시물레이션하였다. 또한, 거시적인 IGBT모델의 정확성을 입증하기 위해 사이클로컨버터에 적용한 결과, 실험파형과 거의 일치함을 알 수 있었다. 그리고 최근에 제어기의 발달로 인하여 가변속 전동기의 응용분야에 많이 사용되고 있는 유도전동기를 공간벡터 표현법을 이용하여 고정기준좌표계에서 방정식을 유도하여 이를 PSPICE로 라이브러리화 하여 전동기 부하로 가진 전압형 인버터 회로에 PWM신호를 인가하여 시물레이션 하였다.

그러나 다양한 제어기술을 해석하기 위해서는 PSPICE에서는 많은 어려움이 있으므로, 이러한 부분들은 제어기를 설계하는데 강력한 도구인 SIMULINK를 이용하였다. 전력용 반도체소자와 기기요소들을 빠른 수행을 위하여 거시적인 모델링 방법을 이용한 toolbox로 라이브러리화 하였다.

이상의 결과에서 볼 때 개발한 라이브러리는 시물레이션 결과와 실험 결과가 거의 일치함으로써 소자가 정확하게 모델링 되었음을 확인 할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drives", Prentice-Hall, 1986
- [2] W. Leonhard, "Control of Electrical Drives", Springer-Verlog, pp.84~119, 1985
- [3] 서영수 외 2인, "실전 PSPICE", 도서출판 삼보, 1997
- [4] 서영수 외 2인, "전력용 IGBT의 시물레이션과 과도해석", 한국시물레이션학회 논문지, pp.63~66, 1996
- [5] 서영수 외 3인, "고주파 저감을 위한 직접주파수 변환기에 대한 연구", 대한전기학회논문지, pp.1~10, 42권 7호, 1993
- [6] Young-Soo, Seo et, "A Study on Circuit Simulation Using GTO Thyristor Modeling", PCC -Yokohama, pp.557~562, 1993