

Pspice를 이용한 유도전동기 모델링과 전력변환회로 시뮬레이션

서영수*, 백동현**, 조문택***, 이상봉*
 *명지대학교 **경원전문대학 ***대원전문대학

Induction motor Modeling and Converter circuit Simulation using Pspice

Young-Soo Seo*, Dong-Hyun Baek**, Moon-Taek Cho***, Sang-Bong Lee*
 *Myong-Ji Univ., **Kyung-Won College, ***Dae-Won Junior College

Abstract

Pspice is not offered a library of mechanical factor like DC Motor, Induction Motor which is needed in Power Electronics field. Therefore, Induction Motor was made library by Equivalent circuit in this study. This model is applied in Voltage-Type inverter and is investigated its characteristics. IGBT is tested by two methods of Macro and Micro Modeling as semiconductor. PWM signal is used of pulse signal. Voltage and current, speed was simulated for assurance of model.

제 1 장 서 론

PSPICE는 전자분야에서는 풍부한 라이브러리를 제공하고 있지만, 전력전자 분야에서 필요로 하는 직류전동기, 유도전동기 등 기계적인 요소들에 대한 라이브러리를 제공하지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 전력전자분야에서 꼭 필요한 유도전동기를 등가회로에 의해 라이브러리화 했으며, 이 모델을 전압형 인버터에 적용하여 그 특성을 살펴보았다. 또한 IGBT소자의 물리적, 전기적 작용을 미시적인 등가회로로 모델링하여 간단한 특성을 시뮬레이션 했다. 그러나, EVALUATION 버전을 이용하여 복잡한 회로를 시뮬레이션 하기에는 절점의 수가 한정되어 있기에 인버터에는 거시적인 IGBT모델을 이용했으며, 펄스 신호로써는 PWM 발생기를 라이브러리화하여 이용했다. 이러한 유도전동기 모델과 PWM 신호발생기는 사용자가 파라미터 값을 가변할 수 있도록 하였으며, 모델에 대한 확증을 하기 위해 각 단의 전압과 전류, 속도를 시뮬레이션 하였다.

제 2 장 IGBT의 미시적 모델링

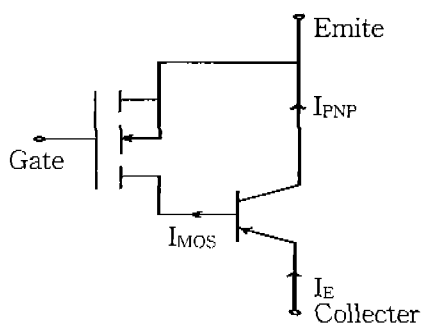


그림 1. IGBT의 기본 등가 회로

IGBT의 동작특성을 해석하는데 있어서 IGBT의 입력단을 MOSFET, 출력단을 p-i-n 다이오드 구조로 해석하는 모델링 방법과 그림 1과 같이 MOSFET소자와 PNP 트랜지스터의 달링턴 결합으로 만드는 방법이 있다. 본 논문에서는 후자의 모델링 방법을 사용하였다. 이때 IGBT에 흐르는 전체 전류 I_E 는 다음으로 표현할 수 있다.

$$I_E = I_{MOS} + I_{PNP} \quad (1)$$

여기서,

$$I_{MOS} = \frac{K_F}{2} (V_{ge} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{ds}),$$

K_F : Transconductance 계수,

V_T : 한계 전압

λ : 채널폭 감소에 대한 파라미터,

V_{ge} : 게이트-에미터 전압,

V_{ds} : 드레인-소스 전압

$$I_{PNP} = \frac{\beta_F}{(1 + \frac{I_C}{I_K})} \times (1 + \frac{V_{EC}}{V_E}) I_B,$$

β_F : 최대이득 = $\frac{I_{CP}}{I_{BP}}$, V_E : 에미터 전압,

I_K : 문턱 전류

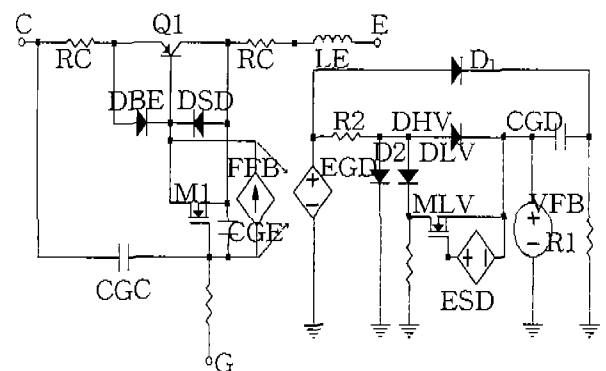


그림 2. 미시적 IGBT 등가 회로

그림 2는 IGBT의 미시적인 PSPICE 등가회로로 특성 시험회로는 그림 3과 그림 4에 나타났다. 그림 3은 저항부하만을 가진 회로로 게이트 저항 R_g 를 가변하였을 때 각 단의 전압과 전류 파형을 해석하였으며, 그림 4는 R-L부하에서 게이트 저항 R_g 를 가변했을 때의 파형들을 해석하기 위한

회로이다.

그림 5, 6은 $R_g = 1, 151, 301, 451$ 로 가변할 때의 애노드 전압, 전류, 게이트 전압, 전류 파형을 나타내었다. 사용한 IGBT는 IR사의 IRG50U의 데이터를 이용하였다. 부하 조건에 대해 게이트 저항 R_g 의 값을 가변할 때 게이트 저항이 클수록 온시간이 지연됨을 볼 수 있다.

그러나 이러한 미시적인 모델을 가지고 복잡한 회로를 해석하게 되면 시뮬레이션 속도 뿐만 아니라 PSpice Evolution을 가지고서는 해석이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 IGBT 모델을 거시적으로 해석하였다.

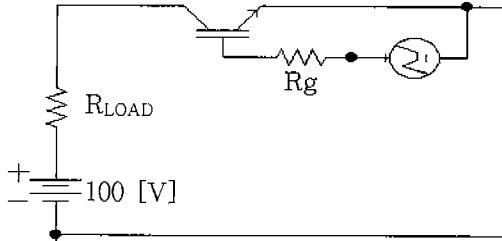


그림 3. 미시적인 IGBT의 PSPICE모델를 이용한 특성시험 회로(R부하)

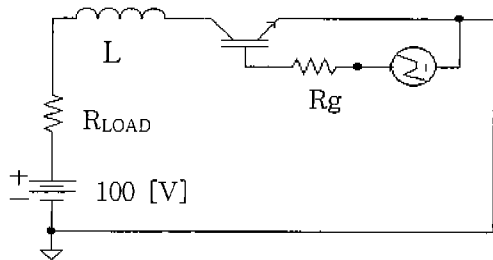
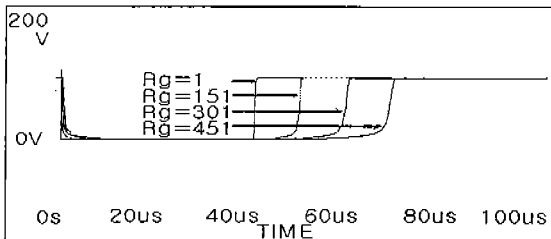
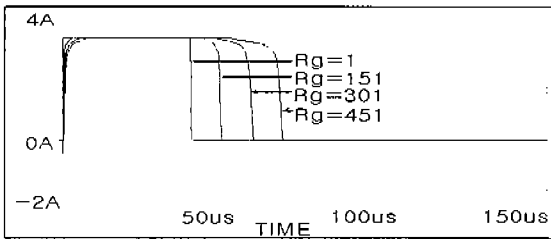


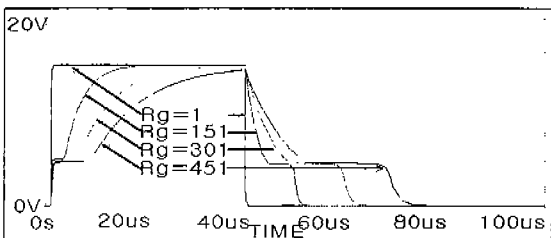
그림 4. 미시적인 IGBT의 PSPICE모델를 이용한 특성시험 회로(R-L부하)



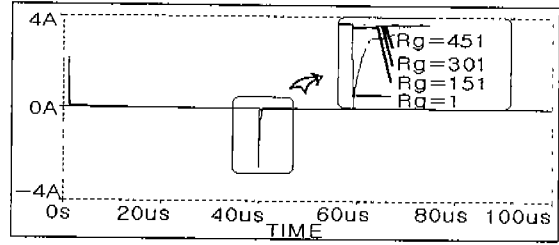
(a)



(b)

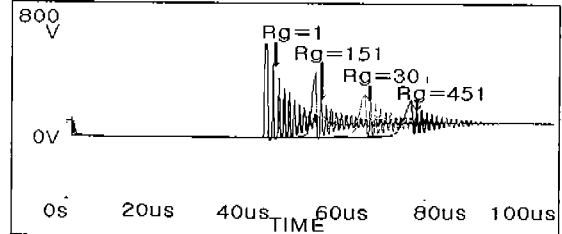


(c)

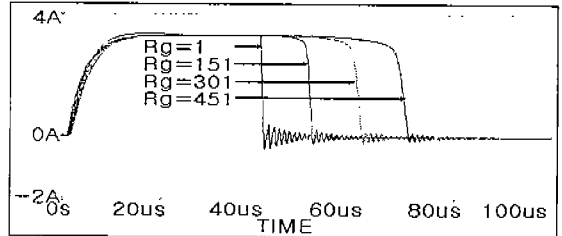


(d)

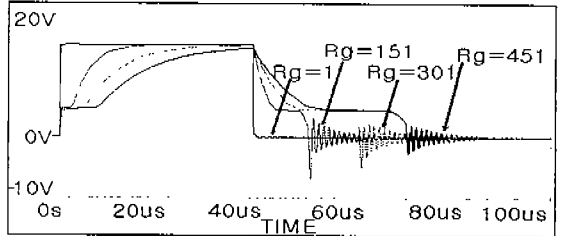
그림 5. 게이트 저항 R_g 를 변화시켰을 때 (a) 애노드 전압 파형 (b) 애노드 전류 파형 (c) 게이트 전압 파형 (d) 게이트 전류 파형



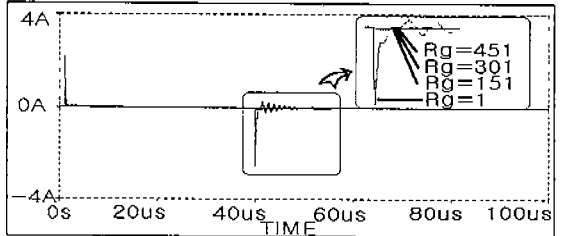
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. 게이트 저항 R_g 를 변화시켰을 때 (RL 부하) (a) 애노드 전압 파형 (b) 애노드 전류 파형 (c) 게이트 전압 파형 (d) 게이트 전류 파형

제 3 장 IGBT의 거시적 모델링

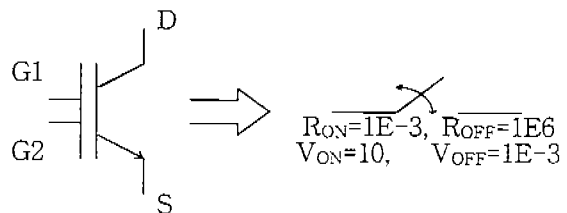


그림 7. IGBT의 거시적 모델

그림 7은 IGBT의 거시적 모델로 간단한 스위치로 동작하도록 하였다. 즉, 턴-온시 저항은 거의 단락된 상태로 보았고, 턴-오프시 저항은 개방된 것으로 보았으며, 턴-온시 구동전압은 10[V]의 전압을 가해주면 되고, 턴-오프시의 전압은 약간의 음의 전압을 가해주면 동작하도록 하였다. 이러한 모델을 사용함으로써 미시적인 모델에 의한 정확성에는 미치지 못하였지만 시뮬레이션 속도가 빠르게 되었다. 그리고 시뮬레이션 결과 미시적 모델과 거의 일치함을 알 수 있었다.

제 4 장 유도전동기의 PSPICE 모델

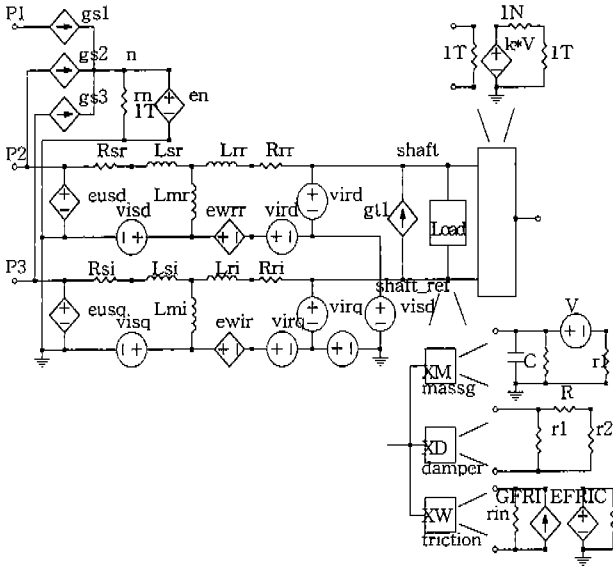


그림 8. 유도 전동기 PSPICE 모델

그림 8은 유도전동기의 미시적인 Pspice 등가회로이다. 이 모델이 사용된 파라미터의 값은 표 (1)과 같다. 유도전동기를 인버터와 같은 반도체 전력변환장치를 사용하여 정현파가 아닌 전원으로 구동하는 것을 해석하기 위해서는 종래의 등가회로에 의한 해석 방법으로는 거의 불가능하다. 여기서는 수학적 표현이 간단하고 물리적인 개념을 쉽게 이해할 수 있는 공간벡터 표현법을 이용하여 정적좌표계에서의 시스템 방정식을 유도하였다.

유도 전동기 파라미터의 값					
Rs	고정자 저항	1Ω	Lr	회전자 인덕턴스	2.5mH
Rr	회전자 저항	1Ω	Jm	관성모우먼트	50u
M	상호인덕턴스	0.1mH			
Ls	고정자 인덕턴스	2.5mH			

표 1. 유도 전동기 파라미터의 값

4.1 고정좌표계에서의 모델링

공간벡터를 사용한 3상 고정좌표계의 고정자 전압방정식과 고정좌표계로 표현한 회전자 전압방정식은 식 (2)와 같다.

$$V_s^s = R_s i_s^s + p\lambda_s^s \quad (2)$$

$$V_r^s = R_r i_r^s + (p-j\omega_r)\lambda_r^s$$

여기서, 쇠교 자속벡터는 다음과 같이 전류벡터

및 인덕턴스로 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \lambda_s^s \\ \lambda_r^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & L_m \\ L_m & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s^s \\ i_r^s \end{bmatrix} \quad (3)$$

이제 식(2)에 식(3)을 대입한 행렬로 표시하면,

$$\begin{bmatrix} V_s^s \\ V_r^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & pL_m \\ (p-j\omega_r)L_m & R_r + (p-j\omega_r)L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s^s \\ i_r^s \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서, 공간벡터를 이용하여 표현한 전압방정식을 α, β 축 변수들로 표시하기 위하여 전개한다.

$$\begin{aligned} V_s^s &= (R_s + pL_s)i_{\alpha s}^s + pL_m i_{\alpha r}^s \\ &= (R_s + pL_s)(i_{\alpha s}^s + j i_{\beta s}^s) + pL_m (i_{\alpha r}^s + j i_{\beta r}^s) \\ &= (R_s + pL_s)i_{\alpha s}^s + pL_m i_{\alpha r}^s \\ &\quad + j[(R_s + pL_s)i_{\beta s}^s + pL_m i_{\beta r}^s] \\ &= v_{\alpha s}^s + j v_{\beta s}^s \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} V_r^s &= (p-j\omega_r)L_m i_{\alpha s}^s + [R_r + (p-j\omega_r)L_r]i_{\alpha r}^s \\ &= (p-j\omega_r)L_m (i_{\alpha s}^s + j i_{\beta s}^s) \\ &\quad + [R_r + (p-j\omega_r)L_r](i_{\alpha r}^s + j i_{\beta r}^s) \\ &= pL_m i_{\alpha s}^s + \omega_r L_m i_{\beta s}^s + (R_r + pL_r)i_{\alpha r}^s \\ &\quad + \omega_r L_r i_{\beta r}^s \\ &\quad + j[-\omega_r L_m i_{\alpha s}^s + pL_m i_{\beta s}^s - \omega_r L_r i_{\alpha r}^s \\ &\quad + (R_r + pL_r)i_{\beta r}^s] \\ &= v_{\alpha r}^s + j v_{\beta r}^s \end{aligned} \quad (6)$$

이를 행렬식으로 표현하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha s}^s \\ v_{\beta s}^s \\ v_{\alpha r}^s \\ v_{\beta r}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & 0 & pL_m & 0 \\ 0 & R_s + pL_s & 0 & pL_m \\ pL_m & \omega_r L_m & R_r + pL_r & \omega_r L_r \\ -\omega_r L_m & pL_m & -\omega_r L_r & R_r + pL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha s}^s \\ i_{\beta s}^s \\ i_{\alpha r}^s \\ i_{\beta r}^s \end{bmatrix} \quad (7)$$

제 5 장 시뮬레이션 결과

그림 9는 거시적 모델링에 의한 IGBT와 미시적으로 모델링한 유도전동기를 사용하였다. 이 인버터 회로에 펄스폭이 180°인 게이트 신호를 주었을 때 각 상의 게이트 신호와 선간 전압, 전류를 살펴 보았다.

그림 11은 PWM을 이용한 인버터 회로이다. PWM 발생기는 삼각파 발생기와 비교기 부분으로 라이브러리화 하여 파라미터 값을 가변함으로 사용자가 원하는 신호를 만들어 낼 수 있도록 하였다. 즉, 삼각파형의 변조파가 정현파형의 신호파를 비교하고 그 논리를 취하면 신호파의 진폭에 따라서 펄스 너비의 등가 전압이 정현파상으로 변조된 출력 파형을 얻을 수 있다. 이 PWM 발생기를 사용하였을 때 펄스폭이 180°인 게이트 신호를 주었을 때 보다 더 정현파에 가까운 평활한 출력을 얻을 수 있었다.

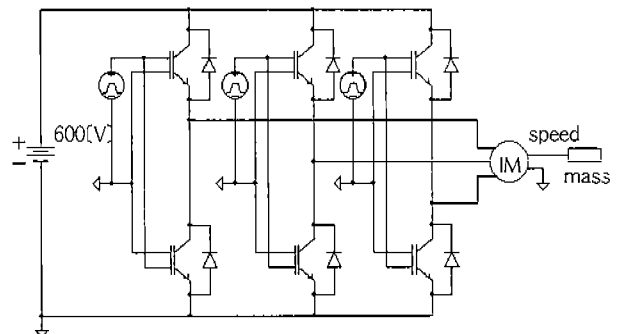


그림 9. 인버터 구동 유도전동기

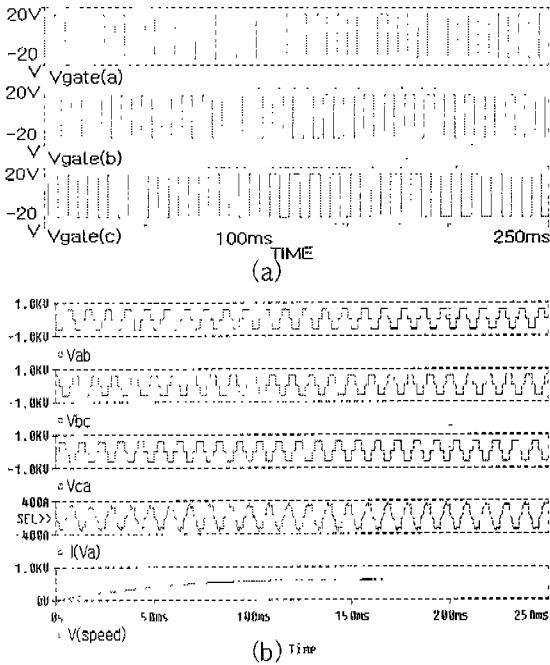


그림 10. 인버터 구동 유도전동기
(a) a,b,c 상의 게이트 신호
(b) 각 선간전압 및 a상 전류, speed 전압

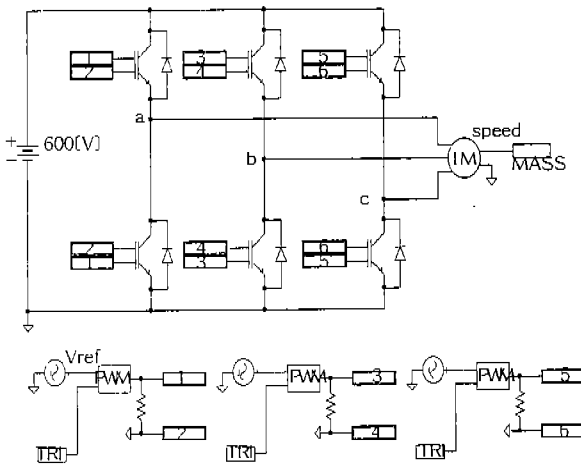


그림 11. PWM을 이용한 유도 전동기

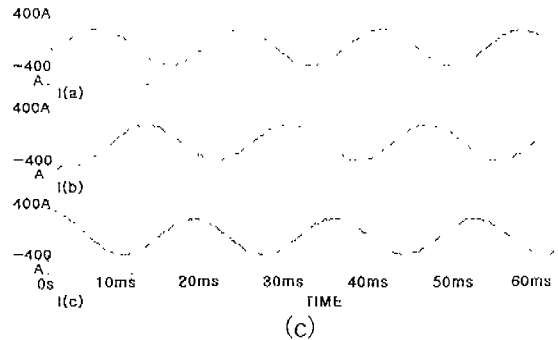
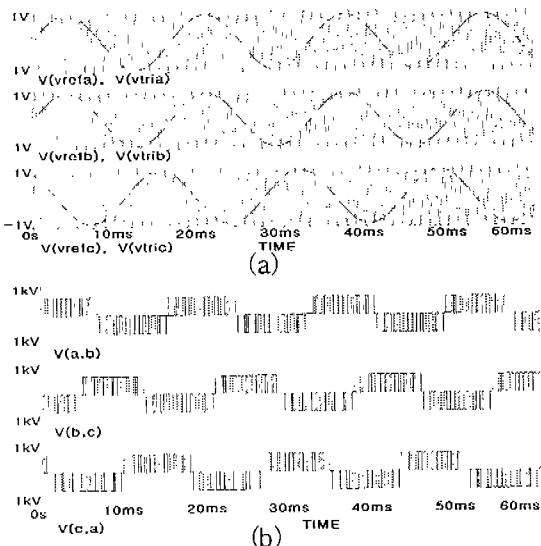


그림 12. PWM을 이용한 유도 전동기
(a) a,b,c 상의 레퍼런스파와 캐리어파
(b) Vab, Vbc, Vca 전압
(c) a,b,c 상의 전류

제 6 장 결 론

Pspice는 사용의 편리함과 풍부한 라이브러리를 제공하는 PC버전 소프트웨어로 인하여 가장 널리 사용되는 회로 해석 시뮬레이터이다. 하지만 Saber와 같은 시뮬레이터와 달리 전력전자 분야에서 필요로하는 기계적 요소들에 대한 라이브러리를 제공하지 못하고 있다.

본 논문에서는 최근 제어기의 발달로 인하여 가변속 전동기의 응용분야에 많이 사용되고 있는 유도 전동기를 공간벡터 표현법을 이용하여 정지좌표계에서의 시스템 방정식을 유도하고, Pspice 라이브러리화 하였다.

또, 이 모델을 전압형 인버터에 적용하여 그 특성을 살펴보았다.

전력용 반도체 소자로는 IGBT를 모델링하여 사용하였다. IGBT는 거시적 모델로 간단한 스위치로 동작하도록 하였다. 이 모델은 미시적인 모델의 정확성에는 미치지 못하지만 빠른속도와 또 실제적 시뮬레이션 결과도 미시적 모델과 거의 일치하였다.

전동기 모델을 시뮬레이션한 결과 각 단의 전압, 전류 파형이 실제 파형과 일치함을 알 수 있었다.

좀더 정확한 결과를 얻고자 한다면 미시적 모델링한 IGBT 소자를 사용하면 될 것이다.

참고문헌

- [1] 서영수 외 4인: "전력용 IGBT의 미시적인 모델링에 의한 소자특성 및 전압형 인버터 시뮬레이션", 전력전자학회 창립기념 논문집, pp.63~66, 1996
- [2] M.Ines castro simas, Moises simoes Piedade, J. costa Freire, "Experimental Characterization of power VDMOS Transistors in Commutation and a Derived Model for computer-Aided Design", IEEE Trans. Power Electronics, vol.r, No.3, pp.371~378, July, 1989
- [3] F.Blaschke, "The principle of field orientation as applied to the new transvector closed loop control system for rotating field machines", siemens review, vol.34, pp.217~221, 1972
- [4] Toshiba GTR module (IGBT) Application.