

전력전자회로의 시뮬레이션을 위한 라이브러리개발

서영수*
*명지대학교 전기공학과

조문택**
**대원과학대학 전기과

Library Development for Power Electronics Circuit Simulation

*Young-Soo, Seo
*Myong-Ji University

**Moon-Taek, Cho
**Dae-Won Science College

Abstract - Power semiconductor macro modeled by SIMULINK such as diode, thyristor. Loads are modeled by SIMULINK and PSPICE through their algorithms. For proved these modeling accurate, simulation techniques which are generally used in the field of power electronics circuits are adapted in power electronics and systems

1. 서론

전력전자는 전기, 전자, 반도체, 전기기계, 제어 등 다양한 분야가 망라되어 이루어진 학문분야이다. 또한 전력용 반도체 소자와 마이크로 프로세서의 발전, 그리고 새로운 제어이론 등으로 급속한 발전과 그 응용분야가 확대되고 있다. 이러한 급속한 발전과 응용분야의 확대는 경험과 이론에 바탕을 둔 시스템 설계방식보다 개발시간의 단축과 비용의 절감을 위하여 정확한 시뮬레이션을 통한 설계방식을 선택하는 것이 바람직한 요구이다. 특히 이 가운데에서도 전력용 반도체 소자를 이용한 전력변환 회로설계와 전기기기의 응용분야인 전력전자 분야에서 중요한 요구사항이다.

회로 시뮬레이터인 PSPICE(Professional Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)는 회로의 소자를 그림으로 그려 처리하는 GUI(Graphic User Interface) 기능이 있어 회로작성과 수행이 용이하고 라이브러리가 풍부하다는 장점 때문에 가장 범용적으로 사용되고 있으나, 제작사에서는 전자분야에는 풍부한 라이브러리를 제공하고 있지만, 전력전자 분야에서 필요로 하는 전력용 반도체 소자에 대한 라이브러리를 제공하지 못하고 있다는 단점을 가지고 있다.

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

본 논문에서는 PSPICE를 이용하여 전력전자 소자를 거시적인 모델로 모델링 하였으며, 정확성을 입증하기 위하여 실험파형과 비교하였다.

또한 PSPICE를 이용하여 게이트단의 펄스신호는 PWM 발생기를 모델링 하였으며, 이러한 모델은 사용자가 파라미터 값을 가변할 수 있도록 하였다.

2. 전력용 반도체 소자의 모델링

2.1 다이오드의 SIMULINK 모델링

그림 2-1과 같이 다이오드를 이상적인 스위치 SW와 직렬인덕턴스 L_D 로 대체한다면, 다이오드 전류 i_D 는 $i_L(t)$ 의 파형과 거의 일치하며, 이 때 $i_L(t)$ 는 식 (2-1)로 나타낼 수 있으며, 전력용 반도체 소자에 대한 턴-온 시간 t_{on} 은 턴-온 전류 $i_L(t)$ 가 0부터 정상상태

전류 I_L 의 90[%]에 도달할 때까지 요구하는 시간으로 정의한다. 결과적으로 식 (2-2)와 같다.

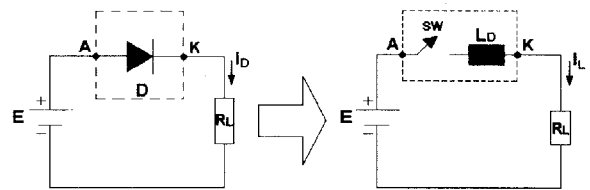


그림 2-1 다이오드 모델
Fig. 2-1 Diode model

$$i_L(t) = I_L \left(1 - e^{-\frac{R_L}{L_D} t} \right) \tag{2-1}$$

여기서, $I_L = \frac{E}{R_L}$ 이다.

$$i_L(t = t_{on}) = 0.9 I_L \tag{2-2}$$

식 (2-2)을 식 (2-1)에 대입하면 식 (2-3)이 되며, 이를 간단하게 정리하면 직렬 인덕턴스의 값을 식 (2-4)와 같이 계산할 수 있다..

$$i_L(t = t_{on}) = 0.9 I_L = I_L \left(1 - e^{-\frac{R_L}{L_D} t_{on}} \right) \tag{2-3}$$

$$L_D = \frac{E \cdot t_{on}}{2.3 I_L} \tag{2-4}$$

따라서, 애노드 전류 i_A 는 식 (2-5)로 표현되며, 이 식으로부터 다이오드의 아날로그 표현은 그림 2-2에 나타낼 수 있으며, 등가저항 R_D 를 고려하면 식 (2-6)과 같이 표현되고 이 때 SIMULINK 모델은 그림 2-3에 나타냈다.

$$i_A = \frac{1}{L_D} \int (V_A - V_K) dt \tag{2-5}$$

$$i_A = 0$$

$$\frac{di_A}{dt} = \frac{1}{L_D} (V_{AK} - R_D \cdot i_A) \tag{2-6}$$

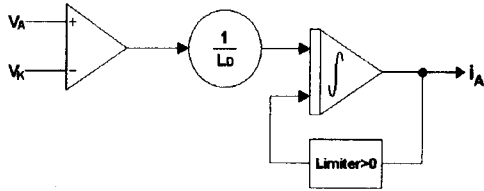


그림 2-2 리미터 적분기를 가진 다이오드 모델
Fig. 2-2 Model of a diode with a limiter integrator

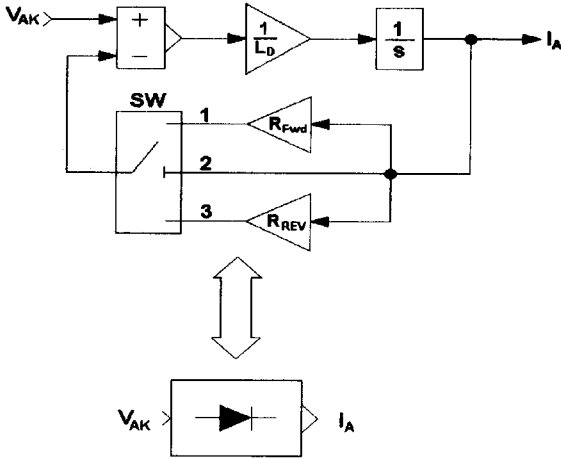


그림 2-3 다이오드의 SIMULINK 모델
Fig. 2-3 SIMULINK model of diode

2.1 SCR의 SIMULINK 모델링

이 모델은 다이오드의 모델과 거의 유사하다. 더욱이 식 (2-7)을 실현하기 위하여 트리거링과 저지는 논리회로를 포함하여 나타낸다. 따라서, 식 SCR 모델은 그림 2-4와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I_A &= 1 & i_{TH} > i_h \text{ 일 때} \\
 V_G &= 1 & V_{GK} > V_{GKmin} \text{ 일 때} \\
 V_{AK} &= 1 & V_{AK} > 0 \text{ 일 때}
 \end{aligned}
 \tag{2-7}$$

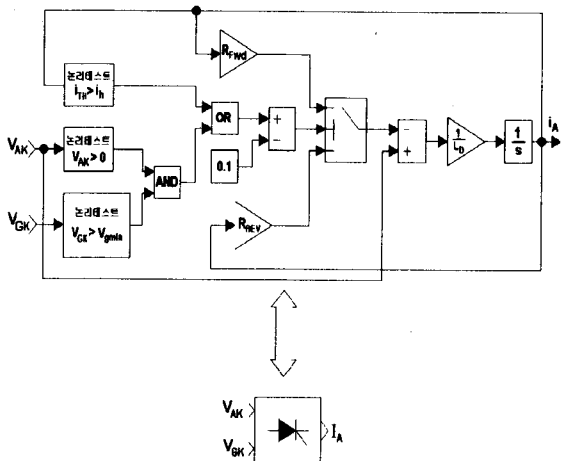


그림 2-4 SCR의 SIMULINK 모델
Fig. 2-4 SIMULINK Model of SCR

2.3 IGBT의 거시적 모델링

미시적인 모델은 정확한 소자의 특성을 알 수 있는 반면에 복잡한 회로에 이를 적용시키면 많은 절점 수의 연산으로 인하여 시뮬레이션 속도가 저하된다는 단점을 가지고 있다. 반면에 거시적인 모델은 매우 정확하지는 않지만 수행시간이 빠르다는 장점을 가지고 있다.

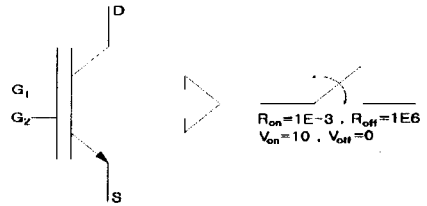


그림 2-5 IGBT의 거시적 모델
Fig. 2-5 Macro model of IGBT

2.4 PWM 발생기 모델링

PWM 발생기는 그림 2-6에 나타난 것과 같이 삼각파 발생기와 비교기 부분으로 라이브러리화 하여 파라미터 값을 가변함으로써 다양한 신호를 만들어 낼 수 있도록 하였다.

삼각파 발생기는 PSPICE의 내부 라이브러리 VPULSE를 이용하여 1[V]에서 -1[V]사이의 진폭을 갖는 삼각파를 발생하도록 하였다.

비교기는 저항 rin에 걸리는 전압, 즉 sin파와 삼각파 발생기의 삼각파를 비교하여 sin파의 값이 삼각파의 값보다 큰 값이면 1, 적은 값이면 -1을 갖는 종속전압원 Epwm의 값으로 제어되는 종속전압원 egate로 구성되어 있다. 또 종속전압원 egate는 사용자가 원하는 크기의 출력전압을 나타낼 수 있도록 파라미터 값을 입력하도록 구성하였다. 그리고, Vref는 sin파를 발생하여 비교기 부분에 입력하도록 하였다.

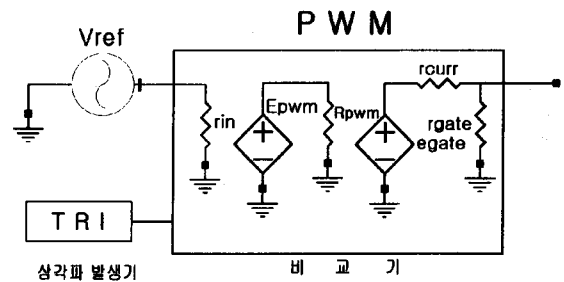


그림 2-6 PSPICE의 PWM 발생기 적용모델
Fig. 2-6 PWM generator application model of PSPICE

2.5 IGBT 모델의 시뮬레이션 및 실험결과

거시적으로 모델링한 IGBT의 적용모델로 PSPICE를 이용한 시뮬레이션 파형과 실험 파형을 비교하였다.

주 회로 구성은 그림 2-7과 같이 순환 전류형 싸이클로컨버터의 기본원리를 바탕으로 2개의 IGBT를 역 직렬로 연결하여 양방향 제어를 함으로써 CON-P와 CON-N의 기능을 같이 할 수 있도록 구성하였고, 컨버터 두 대를 병렬로 연결하여 CON I의 스위칭 턴-온 시간의 시작점보다 CON II의 스위칭 턴-온 시간의 시작

점을 $\theta_p/4$ 만큼 뒤지게 게이팅 펄스를 발생하여 CON I의 출력 전압의 파형에 CON II의 출력 전압 파형이 서로 엇갈리게 하여 보다 정현파에 가까운 출력 전압 파형을 만들어 고조파 저감 및 출력 주파수를 높이는 방법을 사용하였다.

시스템의 전원 전압은 110[V], 부하의 리액턴스와 저항은 각각 5[mH], 80[Ω]으로 실험하였다.

그림 2-8의 (a)와 (b)는 출력 주파수가 180[Hz]인 경우의 출력전압, 전류파형의 시뮬레이션 파형과 실험파형이며, 그림 2-9의 (a)와 (b)는 출력 주파수가 480[Hz]인 경우의 출력전압, 전류파형의 시뮬레이션 파형과 실험 파형이다.

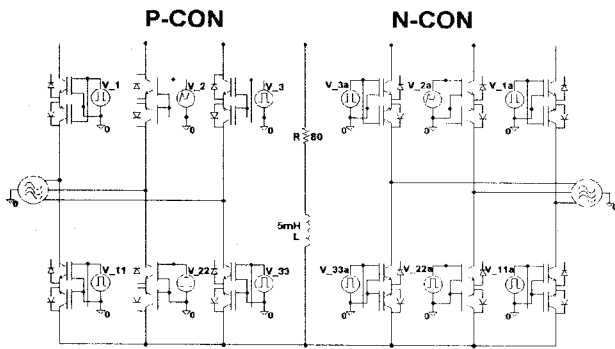
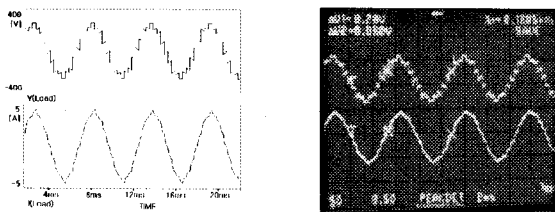
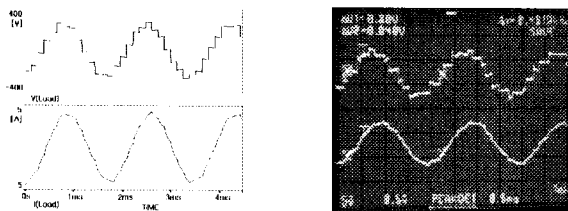


그림 2-7 사이클로컨버터의 PSPICE 모델
Fig. 2-7 PSPICE model of cycloconverter



(a) 출력전압, 전류 파형 (b) 출력전압, 전류 파형
그림 2-8 시뮬레이션과 실험의 출력 파형

Fig. 2-8 Output waveform of simulation and experiment



(a) 출력전압, 전류 파형 (b) 출력전압, 전류 파형
그림 2-9 시뮬레이션과 실험의 출력 Fig. 2-9 Output waveform of simulation and experiment

Fig. 2-9 Output waveform of simulation and experiment

3. 결 론

본 논문에서는 전력전자회로의 해석을 위하여 반도체 소자를 시뮬레이터인 SIMULINK와 PSPICE를 이용하여 라이브러리로 개발하여 시뮬레이션을 하였다.

전력용 반도체 소자로서 보편적으로 사용하고 있는 IGBT를 PSPICE로 라이브러리를 개발하여, 그 특성들을 시뮬레이션하였다. 또한, 거시적인 IGBT모델의 정

확성을 입증하기 위해 사이클로컨버터에 적용한 결과, 실험파형과 거의 일치함을 알 수 있었다. 그리고, 다양한 제어기술을 해석하기 위해서는 PSPICE에서는 많은 어려움이 있으므로, 이러한 부분들은 제어기를 설계하는데 강력한 도구인 SIMULINK를 이용하였다. 전력용 반도체소자들의 빠른 수행을 위하여 거시적인 모델링 방법을 이용한 toolbox로 라이브러리화 하였다.

이상의 결과에서 볼 때 본 논문에서 제안한 SIMULINK와 PSPICE에 적용을 위하여 개발한 라이브러리는 시뮬레이션 수행함으로써 소자가 정확하게 모델링 되었음을 확인 할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 서영수 외 3인, "고조파 저감을 위한 직접주파수 변환기에 대한 연구", 대한전기학회논문지, pp.1~10, 42권 7호, 1993
- [2] 서영수 외 2인, "전력용 반도체소자(IGBT) 열적특성 시뮬레이션", 한국화재·소방학회, pp.28~39, 1996
- [3] 서영수 외 4인, "전력용 IGBT의 미시적인 모델링에 의한 소자특성 및 전압형 인버터 시뮬레이션", 전력전자학회 창립기념 논문집, pp.63~66, 1996.
- [4] 서영수 외 2인, "전력용 IGBT의 시뮬레이션과 과도해석", 한국시뮬레이션학회 논문지, pp.63~66, 1996
- [5] 서영수 외 2인, "PSPICE를 이용한 회로해석과 시뮬레이션", 생능출판사, 1994
- [6] 서영수 외 2인, "실전 PSPICE", 도서출판 삼보, 1997
- [7] 김성균, "저/고 주파수 Cycloconverter에 관한 연구", 석사학위논문, 1992.