

# 다양한 전력전자 Simulation Tool을 이용한 스위스 정류기 모델링

장영호, 이중재, 강명균  
 미림씨스콘 기업부설연구소

## Simulation of Swiss Rectifier using Variable Platforms

Ying Hao Zhang, Joong Jae Lee, Myeong Kyun Kang  
 Milim Syscon Co., Ltd

### ABSTRACT

본 논문은 다양한 전력전자 시뮬레이션 툴을 사용하여, 여러 환경에서의 결과 값을 비교하였다. 각 시뮬레이션 툴의 결과 값을 통해 보다 효율적인 시뮬레이션 방식을 제안한다. 사용된 모델은 5kW급의 출력전력인 스위스 정류기(Swiss Rectifier)이며, 각기 다른 시뮬레이션 툴인 PLECS, PLECS Blockset, Simulink, PSIM을 이용해 검증하였다. 제안된 방법을 통해 각 시뮬레이션 툴의 장점과 성능을 입증하고자 한다.

### 1. 서 론

최근 전력전자 시장에는 비용절감 및 신뢰성 향상에 대한 요구가 증대되고 있으며, 이에 따른 사전 테스트 시뮬레이션이 더욱 중요해지고 있다. 이러한 유저들의 요구에 맞춰 시중에는 다양한 전력전자 시뮬레이션 툴이 발매되어 있다. 전력전자 시뮬레이션 툴은 저마다의 기능과 장점을 가지고 있으며, 다양한 환경에서 사용되고 있다. 유저 요구에 적합한 시뮬레이션 툴을 선정하기 위해서는 많은 것이 고려되어야 한다.

본 논문에서는 각기 다른 시뮬레이션 툴로 하나의 모델을 테스트 하고, 그 결과를 비교해 각 시뮬레이션 툴의 장점과 특성을 알아보고자 한다. 사용된 시뮬레이션 툴은 PLECS, PLECS Blockset, Simulink, PSIM 이며, 같은 조건에서 테스트를 진행하였다.

### 2. 본 문

#### 2.1 스위스 정류기 회로 설계

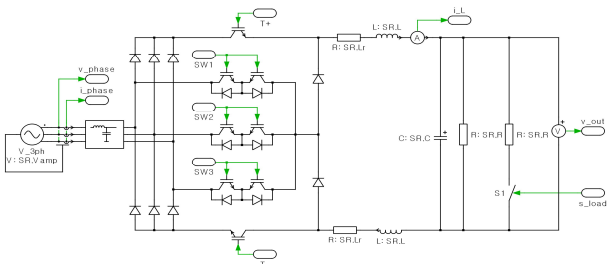


그림 1 PLECS 회로  
 Fig. 1 PLECS Circuit

Fig. 1 회로는 PLECS로 구현한 SR(Swiss Rectifier) 회로이다. AC DC 단방향 3상 벡 컨버터 5kW급의 출력전력인 스위스 정류기를 설계 하였다.

SR은 DC 측에 두 개의 고속스위치(T+,T-)와 3상 다이오드브리지 정류기로 구성된다. IGBT(SW1 SW3)로 이루어진 Common Emitter는 전류 주입 회로를 구현하는 데 사용된다. 전류가 비활성 위상에 들어가기 위해, 고속스위치를 제어함으로써 전류주입 회로는 Line Frequency 보다 두 배로 스위칭 된다. 또한, LC 입력필터는 그리드 전류의 고조파 노이즈를 감소시키기 위해 고주파 전류 고조파를 필터링 하기 위해 설계하였다.

#### 2.2 제어 회로 설계

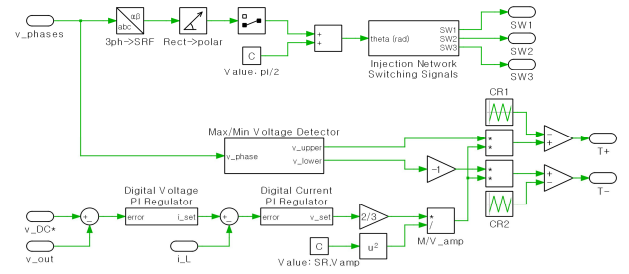


그림 2 PLECS 제어회로  
 Fig. 2 PLECS Controller

스위스 정류기의 제어부는 두 파트로 나누어진다. Injection network 제어와 고속스위칭 제어이다. 위상각 정보는 Injection network 스위치를 위한 스위칭신호를 생성하는데 사용되는 Look up Table에 공급된다.

SR의 고속스위치는 내부전류루프 및 외부전압루프의 직렬 디지털제어기를 사용하여 제어 할 수 있다. SR의 출력전압과 기준 전압을 비교함으로써 나온 전압오차는 디지털전압 PI Regulator에 공급하고 전류 기준값을 발생한다. 측정된 인덕터 전류와 전류 기준값을 비교함으로써 나온 에러는 전압 기준값을 생성하는 디지털전류 PI Regulator에 공급된다. 이 전압 기준값은 주어진 변조지수(M)으로 변환된다.

$$M = \frac{2}{3} \left( \frac{V_{set}}{V_{amp}} \right) \quad (1)$$

여기서  $V_{set}$  는 전류 Regulator에 의해 생성된 전압 setpoint 이고,  $V_{amp}$  는 3상 계통전압의 피크 값이다. 3상 전압 측정은 순간 최대 및 최소 위상전압 ( $V_{upper}$  및  $V_{lower}$ )을 결정하기 위해 사용된다. 이는 고속스위치의 듀티 사이클을 정하기 위해 변조 지수와 함께 사용된다. 듀티 사이클은 각각  $a^+$ 와  $a^-$ ,  $T^+$ 와  $T^-$  로 주어진다.

$$a^+ = M(V_{upper}/V_{amp}) \quad (2)$$

$$a^- = M(V_{lower}/V_{amp}) \quad (3)$$

### 2.3 시뮬레이션 결과

Fig. 3 회로는 PLECS를 이용한 시뮬레이션 회로이다. 출력필터 커패시터는 시스템이 정상상태에 도달 후 최초 10ms 동안 충전된다. 시작할 때 돌입전류가 출력전압 및 부하의 변화가 입력 필터의 공진 주파수를 자극 하고, 이때 전류 파형을 볼 수 있는 진동이 발생한다.

Fig. 4와 Fig. 5는 시뮬레이션 과정을 나타낸다. Fig. 4는 커패시터 전압과 인덕터 전류 파형이며, Fig. 5는 그리드 전류와 전압 파형이다.

$T=0.1$ 초에서 출력 기준전압  $450V_{DC}$ 로 이동하며, 출력커패시터는 시스템이 새로운 정상상태에 도달 후 4ms에 걸쳐 충전된다.

$T=0.25$ 초 출력 기준전압  $450V_{DC}$ 에서 유지되고 부하가 절반으로 줄어든다. 커패시터는 2ms 동안 방전되고 정상상태에 도달할 때 로드와 그리드 범위에서 위상 시프트를 저장한다.

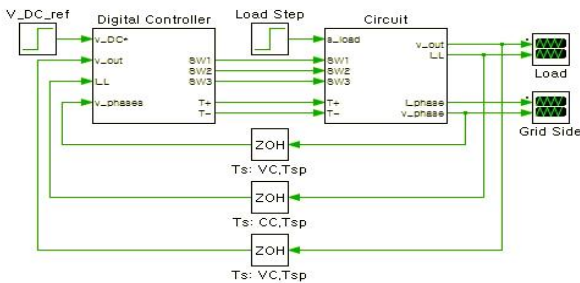


그림 3 PLECS 시뮬레이션 회로  
Fig. 3 PLECS simulation Circuit

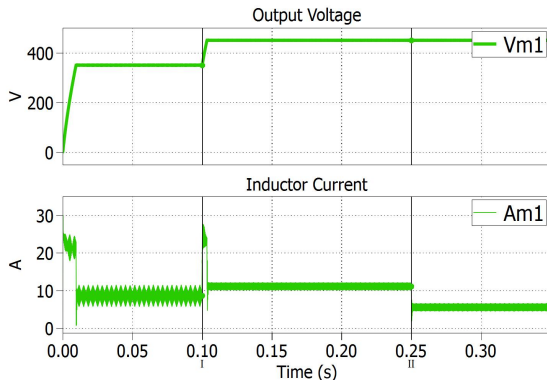


그림 4 Load 전압 전류 파형  
Fig. 4 Load voltage and current waveform

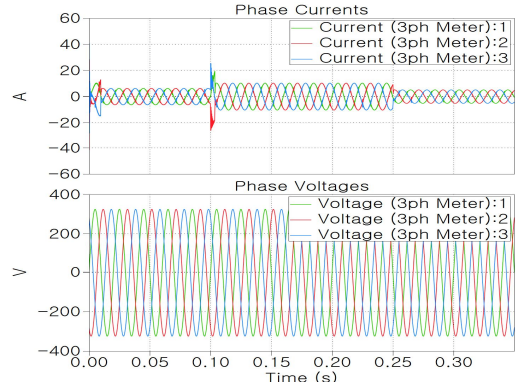


그림 5 계통측 전압 전류 파형  
Fig. 5 Grid Side voltage and current waveform

## 3. 결론

### 3.1 Co-Simulation with simulink

PLECS와 Simulink의 연동 시, Power circuit은 두 회로로 나누어지게 된다. 전기회로(PLECS)와 제어기(Simulink) 부분이다. PLECS와 Simulink의 연동을 위해 특별히 설계 되었다.

### 3.2 User interface of the programs

PSIM 보다 PLECS, Simulink는 스위칭 제어 설계가 간단하며 보다 많은 라이브러리가 제공된다.

이상적인 조건에서 시뮬레이션은 PLECS가 뛰어나다. 하지만 Simulink의 일반 소자는 PSIM과 PLECS의 스위칭 디바이스를 포함하고, 다른 소프트웨어의 일반 소자보다 다양한 파라미터 값을 입력 할 수 있어 실제적인 조건에서 시뮬레이션 시 장점이 있다.

### 3.3 Run time of the simulation

동일한 조건에서 시뮬레이션 타임이 0.35s일 때, 각 소프트웨어의 시뮬레이션 속도는 PLECS가 가장 빠르고(6.3s), PLECS Blockset이 가장 느렸다(18s). 그 이유는 PLECS Blockset은 자체 Solver가 아닌 Matlab Solver를 이용하기 때문이다.

PSIM은 PLECS와 거의 동일한 시간이 소요됐으며(7.8s), Simulink의 경우 PLECS Blockset 보다 2s 빠르게 동작하였다(16s).

## 참고 문헌

- [1] Soeiro, T.B.; Friedli, T.; Kolar, J.W., "Swiss rectifier A novel three phase buck type PFC topology for Electric Vehicle battery charging," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2012 Twenty Seventh Annual IEEE, pp. 2617-2624, 5-9 Feb. 2012.
- [2] Dmitry Baimel, Raul Rabinovici, Senior Member IEEE and Sam Ben Yakov, Member IEEE, Electrical and Computer Eng. Dept., Ben Gurion University; Beer Sheva, Israel "Simulation of Thyristor Operated Induction Generator by Simulink, PSIM and PLECS" Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines, Paper ID 1430.