

# PWM IC 모델링 및 시뮬레이션에 관한 연구

한수빈, 박석인, 정학근, 송유진, 정봉만  
한국에너지기술연구원

## Modeling and Simulation of PWM IC

Soo-Bin Han, Suck-In Park, Hak-Kun Jung, Eu-Gine Song, Bong-Man Jung,  
Korea Institute of Energy Research

### ABSTRACT

PWM IC modeling for single and double output type is performed for converter simulation. The function and performance of a specific IC, UC 3525, is realized in model for real case simulation.

### 1. 서론

PWM IC는 대부분의 컨버터에 있어서 필수적인 부품이다. 컨버터의 복잡한 제어기능을 on-chip화된 IC로 쉽게 제어를 할 수 있게 되어, 보다 콤팩트하고 저가인 제품들이 가능하게 되었다. PWM IC는 제조회사별로 또 그 기능별로 특성이 다르고 또 너무 다양하게 제품화가 되어 적절한 선택이 중요한 상황이 되었다.

전통적인 전력전자의 제품 개발에 있어서 회로 설계과정은 SPICE 등 회로설계 시뮬레이션을 통해서 확정해 나가는 방법을 사용하고 있다. PWM IC의 기능도 여러 형태로, 여러 수준으로 모델링하여 시뮬레이션 할 수 있다. 본 논문에서는 PWM IC의 모델링에 대해서 여러 연구된 방법을 사용하되, 특정 IC의 특성을 반영하여 IC의 동작을 가능한 실제와 근접하게 시뮬레이션할 수 있도록 변형하는 방법에 대해 소개한다. 여러 PWM IC들이 부분적인 성능은 다양하지만 기본적으로 PWM 발생부분은 공통적인 것이기 때문에 이들의 모델링에 대해 중점적으로 고찰해보기로 한다. 모델링 및 시뮬레이션은 Simplorer를 사용하여 구현하였다.

### 2. PWM IC 기능의 모델링

PWM IC에서 가장 중요한 PWM 신호를 내보내는 기능은 PWM 발생기가 담당한다. PWM 발생기

는 그림 1과 같이 하나의 비교기로서 구현이 가능하며, -입력에 톱니파  $V_{saw}(t)$ 가 +입력에는 제어신호  $V_c(t)$ 가 연결된다. 제어신호가 톱니파보다 큰 경우 출력이 high가 작은 경우에는 출력이 low인 PWM 신호  $\delta(t)$ 가 발생된다. 통상적으로 제어신호는 오차증폭기의 출력이 연결된다. 오차증폭기는 실제 제어 대상으로 하는 PWM 컨버터에 따라 다양한 형태로 구현이 된다.

상용화된 PWM IC는 노이즈에 대한 오동작을 방지하기 위해서 double pulse suppression회로를 장착하고 있는데 대부분 그림 2와 같이 RS flip flop을 사용하게 된다. 이 때 RS-FF의 출력이 실제 PWM 제어신호가 되고 중간에 PWM 발생기의 +입력과 -입력은 그림 1의 경우와 바뀌게 됨을 주의해야 한다.

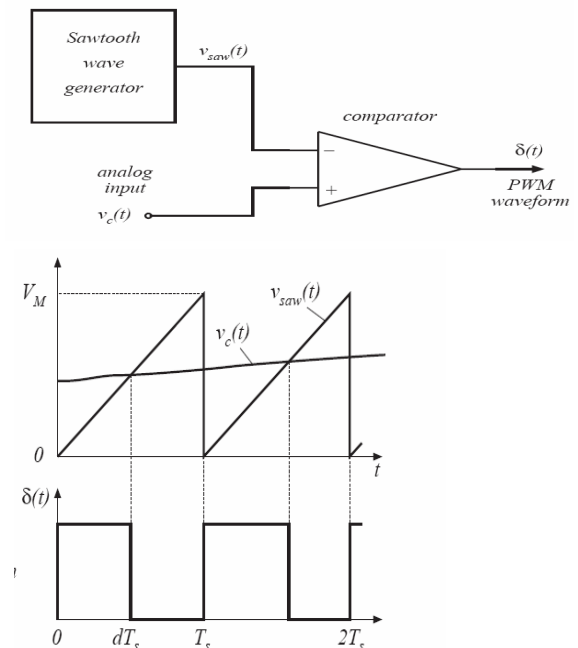


그림 1. PWM 발생기와 관련 파형  
Fig. 1. PWM generator and related waveforms

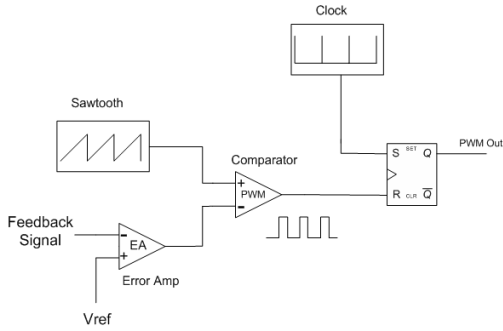


그림 2. 노이즈 방지 기능의 PWM 발생기  
Fig. 2. PWM generator with double pulse suppression

PWM IC는 결국 PWM 발생기의 기능이 구현된다면 모델링에 의한 시뮬레이션이 가능하다. 통상적으로 전류 제한 기능을 포함한 다양한 기능이 PWM IC에 추가되어 있는데, 이러한 기능을 어느 정도 반영하는가는 시뮬레이션의 목적에 따라 결정하면 된다. 예를 들어 PWM 발생 기능과 전류 제한 기능을 구현한다면 그림 3과 같이 모델링을 할 수 있다. 여기에서는 피드백 신호와 명령 신호가 pole zero compensation 기능을 갖는 type 2의 오차증폭기를 통해서 펄스 발생기인 비교기의 입력으로 연결됨을 볼 수 있다. 동시에 RS FF의 reset 입력에 펄스 발생기의 출력과, 전류를 감지하여 기준값 이상이면 보호 신호를 출력하는 전류제한 신호의 출력이 입력됨을 알 수 있다.

이와 같은 모델은 PWM 출력이 1개이므로 buck, boost, buck-boost 그리고 forward 및 flyback에 사용이 가능하지만 push-pull, half bridge 그리고 full-bridge와 같이 2개 이상의 PWM 출력을 요구하는 컨버터에는 사용할 수 없다. 따라서 이들 컨버터에는 그림 4와 같이 PWM 발생기능을 모델링할 수 있다.

### 3. UC3525 IC의 PWM 발생기능 모델링

UC3525는 초기에 나온 PWM IC이지만 지금도 가장 많이 사용되는 IC 중에 하나이다. 이 IC의 내부 구성을 보면 그림 5와 같이 앞에서 언급된 기본적인 PWM 발생 기능이 그대로 포함되어 있다. 따라서 UC3525의 모델은 전 절의 PWM 발생기능을 그대로 사용하되 UC3525의 내부 특성을 반영하는 것이 중요하다.

그림 6은 UC3525의 주요 성능에 대한 파라미터와 그 값이며, 모델링에 직접 고려해야 하는 중요한 파라미터는 PWM 비교기의 입력 threshold 값과 오차 증폭기의 출력 값의 실제 영역이다.

UC3525에서는 통상적인 오차증폭기 출력은 low 값은 0.2V이고 high 값은 5.6V이다. 반면에 PWM 비교기의 입력은 실제 0.9V-3.3V의 유효 영역을 갖는다. 즉 0.9V이하의 PWM의 duty가 0이며 3.3V 이상은 PWM의 duty가 최대 값을 갖게 된다. 따라서 이러한 특성을 PWM 모델에 반영해야 UC3525의 동작 특성이 구현된다.

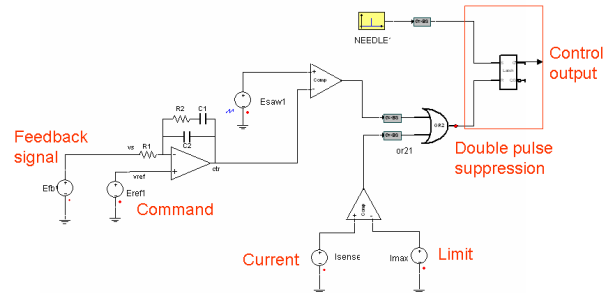


그림 3. Simplorer로 구현한 PWM IC의 모델  
Fig. 3. Simplorer model for PWM generator with current limit

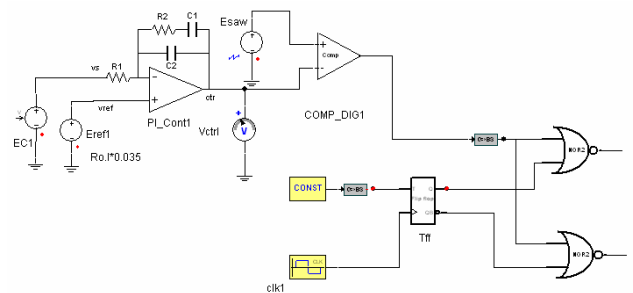


그림 4. Simplorer로 구현한 2 출력 PWM IC의 모델  
Fig. 4. Simplorer model for 2 output PWM generator

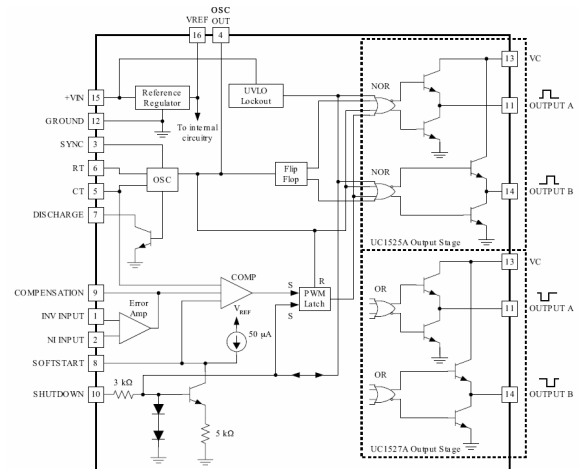


그림 5. UC 3525의 내부 구성도  
Fig. 5. Internal structure of UC3525

ELECTRICAL CHARACTERISTICS:  $V_{IN} = 20V$ , and over operating temperature, unless otherwise specified,  $T_A = T_J$ .

PARAMETER	TEST CONDITIONS	UC1525A/UC2525A UC1527A/UC2527A		UC3525A UC3527A		UNITS		
		MIN	TYP	MAX	MIN		TYP	MAX
<b>PWM Comparator</b>								
Minimum Duty-Cycle				0		0	%	
Maximum Duty-Cycle (Note 6)		45	49		45	49	%	
Input Threshold (Note 6)	Zero Duty-Cycle	0.7	0.9		0.7	0.9	V	
	Maximum Duty-Cycle	3.3	3.6		3.3	3.6	V	
Input Bias Current (Note 5)		.05	1.0		.05	1.0	$\mu A$	
<b>Error Amplifier Section (<math>V_{CM} = 5.1V</math>)</b>								
Input Offset Voltage			0.5	5		2	10	mV
Input Bias Current			1	10		1	10	$\mu A$
Input Offset Current				1				$\mu A$
DC Open Loop Gain	$R_L \geq 10M\Omega$	60	75		60	75	dB	
Gain-Bandwidth Product (Note 5)	$A_V = 0dB, T_J = 25^\circ C$	1	2		1	2	MHz	
DC Transconductance (Notes 5 & 7)	$T_J = 25^\circ C, 30k\Omega \leq R_L \leq 1M\Omega$	1.1	1.5		1.1	1.5	mS	
Output Low Level			0.2	0.5		0.2	0.5	V
Output High Level		3.8	5.6		3.8	5.6	V	
Common Mode Rejection	$V_{CM} = 1.5$ to $5.2V$	60	75		60	75	dB	
Steady-State Regulation	$V_{IN} = 8$ to $18V$	50	60		50	60	mR	

그림 6. UC3525의 주요 성능 파라미터  
Fig. 6. Performance parameter of UC3525

#### 4. UC3525 모델을 이용한 시뮬레이션

그림 7은 UC3525 모델을 이용한 full-bridge 컨버터의 시뮬레이션 회로이다. 컨버터의 출력은 일반 부하와 축전지가 복합적으로 구성된 것으로 시뮬레이션을 하였다. 그림 8은 UC3525의 내부 모델의 파형으로 정확하게 PWM 신호를 발생시킴을 확인할 수 있다. 그림 9는 외부에서 명령신호를 줄 때 명령에 따라 전류를 제어하고 정상상태로 진입하는 동작 상태를 보여준다. 그림 10은 부하의 전류에 해당되는 값으로 인덕터의 전류를 제어하도록 설정된 모드에 대한 동작이다. 부하전류가 증가하면 초기에는 축전지의 전류가 부하전류를 감당하고 이후 점차적으로 컨버터의 출력 전류가 부하전류를 감당하는 동작을 보여주고 있다.

#### 5 결론

본 논문에서는 PWM IC에 대한 모델링과 시뮬레이션을 소개하였다. UC3525의 특성 값을 반영함으로써 실제 IC의 동작에 근접하게 시뮬레이션 할 수 있음을 보였다. 전압제어 모드에 대한 모델만 소개하였으나 다른 제어 모드의 IC에 대해서 유사하게 적용하여 모델링을 할 수 있다. 이러한 특정 IC의 특성을 구현함으로써 실제 최적 설계에 유용하게 사용될 수 있으며 제품의 개발 기간을 단축하는 데 기여할 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] R. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics" Springer, 2001
- [2] C. P. Basso, "Switch-Mode Power Supply: SPICE Simulation and Practical Designs", McGraw Hill, 2008

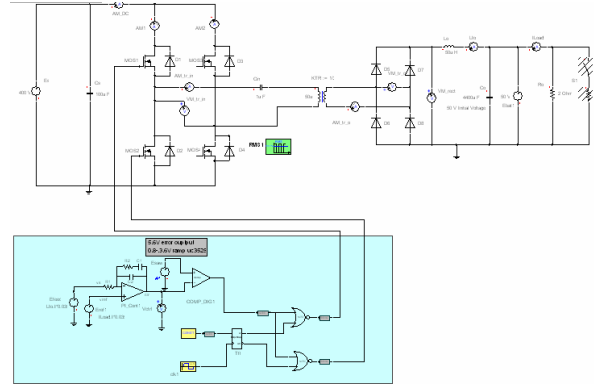


그림 7. UC3525 모델을 이용한 컨버터 회로  
Fig. 7. Converter using UC3525 model

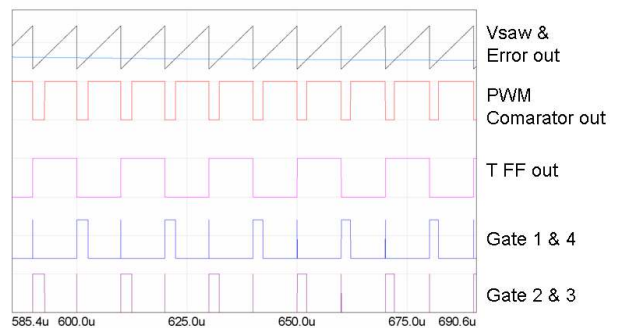


그림 8. UC3525 내부 회로 동작 파형  
Fig. 8. Internal operation waveform of UC3525

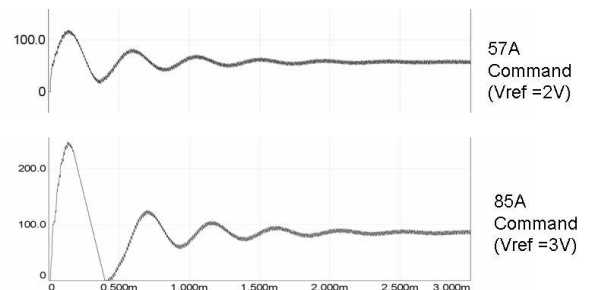


그림 9. 외부 전류 명령에 대한 동작  
Fig. 9. Operation of current command

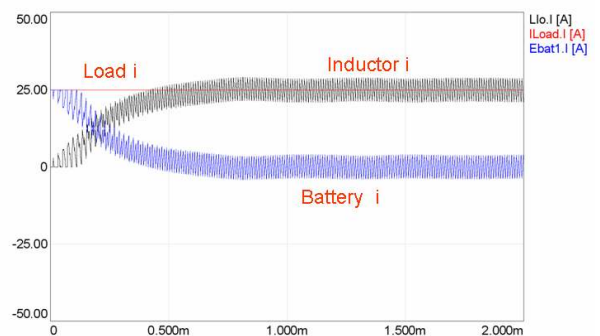


그림 10. 내부 제어 전략에 따른 동작  
Fig. 10. Operation by a internal control strategy