

# SPICE 시뮬레이션을 위한 공진형 인버터 모델링 연구

한수빈<sup>o</sup>, 정봉만, 신동열, 최수현  
한국에너지기술연구소

## Resonant Inverter Modeling for SPICE Simulation

Soo-bin Han<sup>o</sup>, Bong-man Jung, Dong-ryul Shin, Soo-hyun Choi  
Korea Institute of Energy and Research

### Abstract

Resonant Inverter is analyzed by means of widely available software such a SPICE. In this paper, macro-model of RDCLI is used which is based on converter switch function rather than actual circuit configuration.

Computer memory and run time are greatly reduced compared to micro-model by using macro-model. System overall performance including control strategy and harmonic characteristics can be analyzed easily. This method is suited for stead state analysis and transition analysis at system level.

### I. 서론

최근 인버터를 SPICE등의 회로 해석 프로그램을 이용하여 동작 분석을 하고자 하는 여러 노력이 있었다 [1,2]. 그것은 같은 해석도구로서 소자, 회로, 제어측면등 다양한 관점에서의 해석과 설계가 개별적으로 또는 일체화되어 분석이 가능한 장점이 있기 때문이다.

인버터에 사용되고 있는 다이오드 트랜지스터, SCR등 반도체 소자의 스위칭 특성을 모두 고려한 micromodel을 사용하게 될때는 시스템수준에서의 동작시뮬레이션을 하기에는 너무 많은 memory와 계산시간이 필요하게 된다. 이 micromodel은 전력회로 소자의 드라이브회로나 스너비회로와 같은 소자의 특성에 매우 예민하게 작동되는 동작을 시뮬레이션하기에는 적합하나 전력변환회로 시스템측면에서 반도체 소자는 거시적으로 볼때 단순한 스위치로서 작용한다고 보아도 전체적인 동작파악에 큰 문제가 되지않으므로 시스템수준에서는 비효율적이 된다. 따라서 시스템전체의 특성분석에서는 주요특성을 거시적으로 고려한 macromodel에 의한 방법이 효과적이다.

공진형 인버터는 기존의 PWM인버터와는 달리 영전압 또는 영전류 스위칭을 하므로 스위칭 손실이 무시할 정도로 적게되며 따라서 고주파수로 동작이 가능하여 고밀도의 전력을 처리할수 있고 효율면에서 개선될수 있는 등의 많은 장점으로 최근 집중적인 연구[3,4]가 있었으나 SPICE등의 도구를 이용한 해석 및 설계에의 응용은 PWM 인버터의 경우와는 달리 찾아보기가 어렵다.

공진형 인버터의 경우도 SPICE를 유용하게 적용할 수 있으며 본 논문에서는 인버터를 거시적으로 본 general function model[5]을 기초로 하여 RDCLI(Resonant DC Link Inverter)의 동작을 macromodel화 하는 연구를 수행하였다.

### II. 인버터의 function model

기존의 선형시스템에서 정의하는 전달함수는 내부 구조의 시간적인 변화 및 스위칭특성으로 인한 비선형성때문에 스위칭 컨버터에는 적용하기에 매우 제한이 되어 왔다. 그러나 컨버터내부의 구조와는 상관없이 입출력의 특성만을 고려한 기능적 관점에서는 컨버터의 전달함수를 정의하면 컨버터의 독립변수로서 종속변수를 계산할 수 있다.

$$TF = \frac{\text{컨버터의 종속변수 (전류/전압)}}{\text{컨버터의 독립변수 (전압/전류)}}$$

VSI(Voltage Source Inverter)의 경우는 독립변수는 입력측에서는 dc link 전압이고 출력측에서는 부하전류로 보므로 기능적인 전달함수는 출력전압과 입력전압의 비로 정의할수 있다.

$$S = \frac{V_o}{v_d} = \frac{[V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}]}{v_d}$$

따라서 VSI는 그림 1로 모델링되고 입출력관계는 다음식으로 표현된다.

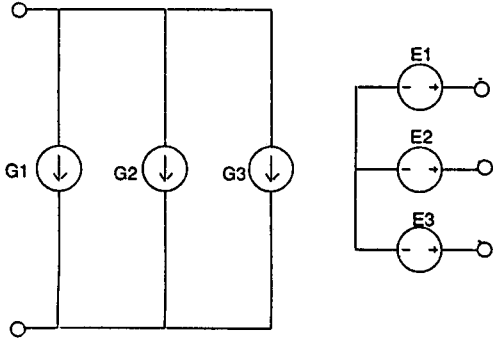
출력 (ac) :  $V_o(t) = V_i(t) * S(t)$   
 입력 (dc) :  $I_i(t) = I_o(t) * S(t)$

식에서

$V_o(t) = [V_a(t) \ V_b(t) \ V_c(t)]$  : 인버터 삼상출력전압의 순시값을 나타내는 벡터

$I_o(t) = [I_a(t) \ I_b(t) \ I_c(t)]$  : 인버터 삼상출력전류의 순시값을 나타내는 벡터

$S(t) = [S_a(t) \ S_b(t) \ S_c(t)]$  : 인버터의 각상에 대한 2level 스위칭함수를 나타내는 벡터



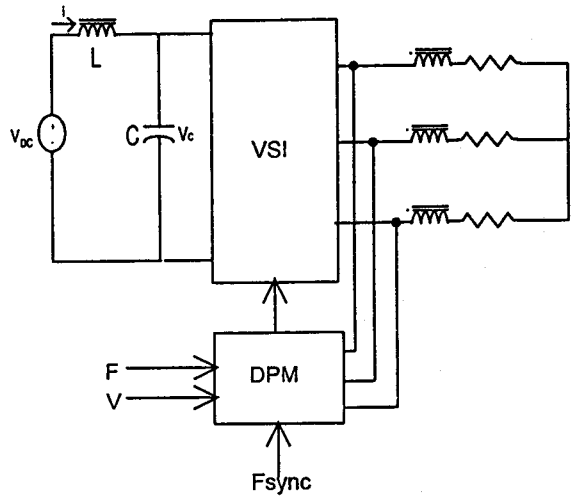
[그림 1] Functional transfer function에 의한 VSI의 모델

### III. 공진형 인버터의 macro-model

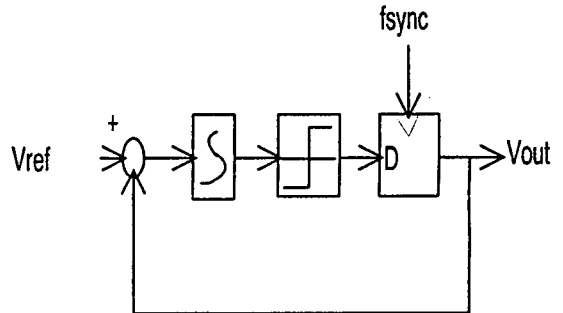
스위칭 컨버터의 기능적 특성위주의 관점에서 본 generalized function model은 컨버터를 voltage controlled voltage sources와 current controlled current source가 입출력단자로 연결된 multi-port 회로로 구성된 것으로 묘사한다.

이 중속전원들을 제어하는 신호로 PWM인버터의 경우는 PWM스위칭 함수와 동작모드에 의해 결정되는 2 level 또는 3 level 스위칭함수가 사용되었다. RDCL인버터는 [그림 2]와 같이 공진회로와 기존의 인버터의 연결에 [그림 3]과 같은 방식의  $\Sigma\Delta$  (Sigma Delta Modulation) 방식의 DPM(Discete Pulse Modulation) 제어장치가 결합된 것으로 볼 수 있다.

따라서 RDCL 공진형인버터는 VSI의 functional model에 제어장치의 기능을 블록별로 모델링하고 이 블록들을 SPICE의 subcircuit으로 서로 연결함으로써 시스템의 macro-model이 완성된다. VSI블록모델은 입력으로 직류공진회로에서는 전원을 받고 스위칭 함수의 정보를 DPM제어장치로부터 얻어 출력부하에 전원을 공급하게 된다. DPM제어장치는 입력신호로는 출력전압의 명령에 해당되는 목표전압의 크기와 주파수를 필요로 하며 또한 ZVS스위칭 시점을 얻을 수 있도록 공진회로의 zero crossing signal이 동기신호로 사용되기 위해 입력으로 필요하다.



[그림 2] RDCL 공진형인버터의 기능별 블럭도



[그림 3]  $\Sigma\Delta$  제어 방식

[그림 3]의  $\Sigma\Delta$  제어부의 macromodel은 각 구성 기능을 [그림 4]와 같이 회로의 sub-macromodel의 결합으로 구성되며 이와 같이하여 각부의 영향을 고려한 제어부의 기능을 분석할 수 있게 된다. Summer 회로는 [그림 4-a]와 같이 두개의 입력에 대해 출력이 다음식이 되도록 nonlinear polynomial voltage controlled voltage source를 이용하여 구현시킨다.

$$V_o = K_1 * V_{in1} + K_2 * V_{in2}$$

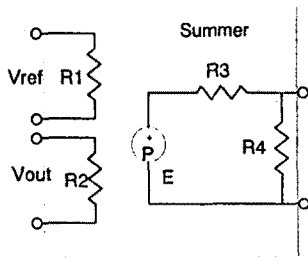
적분기는 [그림 4-b]와 같이 기본적으로 RC회로에 동작되고 입출력특성은 다음식과 같다.

$$E_{out} = -\frac{1}{C_1 \cdot R_2} \int V_{in} \cdot dt$$

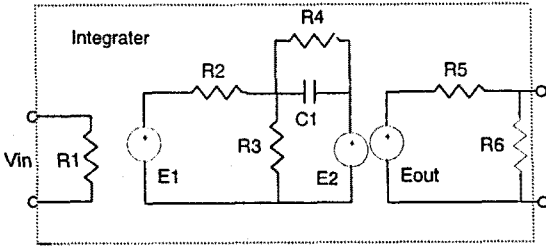
비교기는 [그림 4-c]와 같이 구성되며 다음식과 같이 동작되게 된다.

$$V_o = V_1 \quad \text{if } V_{in} > 0 \\ = V_2 = -V_1 \quad \text{if } V_{in} < 0$$

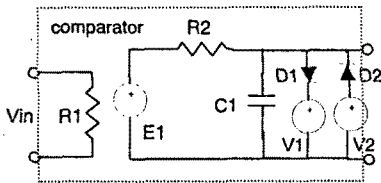
Flip-Flop기능은 [그림 4-d]와 같은 sample/holder 기능을 갖는 회로를 이용하여 구현하며 polynomial voltage controlled current source가 sampling동안은 전류원이 on되고



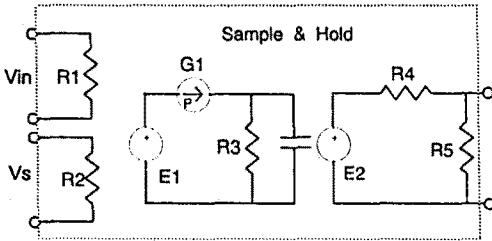
(a) Summer



(b) Integrater



(c) Comparator



(d) Flip-flop

그림 4  $\Sigma\Delta\text{M}$  각 기능의 macromodel

hold기간동안은 off되어 캐패시터에 전압이 저장되어 유지되도록 동작한다.

$$I(G1) = V_{in} * V_s$$

#### IV. 결론

Macromodel은 micromodel과 비교하여 SPICE 시뮬레이션을 수행할때 3배이상의 계산속도 단축 및 필요로 하는 기억장치의 용량감소결과를 얻을수 있으므로 매우 긴 계산시간이 소요되는 스위칭컨버터의 거시적인 특성을 분석하고자 할 때에 매우 효율적이다.

공전형인버터의 macromodel은 인버터회로부는 functional model에 의해서 제어부는 각 기능을 구현할수 있는 회로 모델을 이용함으로써 가능하다. 이 방식은 인버터가 전류형이나 전압형이거나 모두 적용할수 있으며 모든 제어방식에 대해서도 적용가능하다. 본 논문에서는  $\Sigma\Delta\text{M}$ 에 의해 동작되는 RDCL형 인버터에 대한 macromodel작업을 한 예로 제시했다. 추후 여러제어 방식을 사용한 공전형 인버터성능의 평가에 대한 적용결과가 발표될 것이다.

#### 참고문헌

1. L. Salazar, P.D. Ziogas, "Simple Models for Spice Assist Power Electronics Circuit Simulation on PC's," IAS88, PP1063-1068, 1988
2. L. Salazar, G. Joos, "Pspice Simulation of Three Phase Inverter by means of Switching funtions," IECON 90, '982-989, 1990
3. D.M. Divan, "The Resonant DC Link Converter - A New Concept i Static Power Conversion," IA-25, No2, pp317-325
4. Y. Murai, T.A. Lipo, "High Frequency Series Resonant DC Link Power Conversion", IEEE IAS88, pp772-779, 1988
5. E. Wiechmann, P.D. Ziogas, "Generalized Functional Model for Tree Phase PWM Inverter/Rectifier Converters," IAS85, pp984-993, 1985