

# SPICE를 이용한 ACRDCL 인버터의 시뮬레이션 및 설계

한 수빈<sup>o</sup>, 정 봉만, 김 규덕, 최 수현

한국에너지 기술연구소

## Simulation and Design of ACRDCL Inverter Using SPICE

Soo-bin Han<sup>o</sup>, Bong-man Jung, Gyu-duck Kim, Soo-hyun Choi

Korea Institute of Energy and Research

### Abstract

Clamped resonant DC link inverter is analyzed by widely available software such as SPICE. In this paper, the model of ACRDCL which is based on converter switch function rather than actual circuit configuration is used.

Power circuit is modeled by functional transfer function and the controller is based on the macro-model. Computer memory and run time are greatly reduced compared to micro-model. Overall performance including control strategy and harmonic characteristics in the steady state can be analyzed easily.

### I. 서론

공진형 인버터는 기존의 PWM인버터와는 달리 영전압 또는 영전류 스위칭을 하므로 스위칭 손실이 무시할 정도로 작게되며 따라서 고주파수로 동작이 가능하여 고밀도의 전력을 처리할수 있고 효율면에서 개선될수 있는 등의 많은 장점으로 최근까지 다양한 방식의 집중적인 연구가 있었으며 현재까지 제안된 공진형인버터중 가장 실용화에 접근된 topology는 Active Clamped Resonant DC Link(ACRDCL) 인버터이다.[1]

이 ACRDCL 인버터는 다른 공진형 인버터보다 회로적으로 단순하기는 하나 그동작은 역시 수십 KHz로 동작하는 공진의 1주기사이에서 적절하게 인버터의 반도채스위치를 온-오프하여 출력전압의 고조파성분을 최소화 하면서 3상인 경우 부하에 전력을 동일하게 분배 시켜야 하고 최대 공진 피크전압을 제한시키는 등의 정상동작외에 부하의 변화에 대한 과도상태시 빠른 응답으로 동작되도록 하는 제어도 요구하고 있어 실제 성공적인 인버터의 실현에는 많은 어려움이 있다.

최근 여러 컨버터를 SPICE등의 회로 해석 프로그램을 이용하여 동작 분석을 하고자 하는 여러 노력이 있었다. [2,3] 그것은 같은 해석도구로서 소자, 회로, 제어측면등 다양한 관점에서의 해석과 설계가 개별적으로 또는 일체화되어

분석이 가능한 장점이 있기 때문이다.

SPICE등의 도구를 이용한 해석 및 설계에의 응용은 PWM 인버터의 경우와는 달리 공진형 인버터에서는 아직 활발하지 못한 형편으로 본 논문에서는 전압 clamping과 DPM 방식등을 macromodeling을 하여 동작 시뮬레이션 및 설계에 유용하게 사용할 수 있음을 보였다.

### II. 공진형 인버터의 functional model

컨버터내부의 구조와는 상관없이 컨버터의 입출력 특성만을 고려한 기능적 관점에서 컨버터의 전달함수를 정의하고 컨버터의 독립변수로서 종속변수를 계산함으로써 스위칭 컨버터의 동작을 모델링하는 방식이 제안된바 있으며 [4] 이는 기존의 선형시스템에서 정의하는 전달함수가 내부 구조의 시간적인 변화 및 스위칭특성으로 인한 비선형성때문에 스위칭 컨버터에는 적용할수 없는 한계를 극복하기 위한 개념이다.

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

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

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

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

따라서 VSI는 입출력관계는 다음식으로 표현하여

모델링 할수 있다.

출력 (ac) :  $V_o(t) = V_i(t) * S(t)$

입력 (dc) :  $I_i(t) = I_o(t) * S(t)$

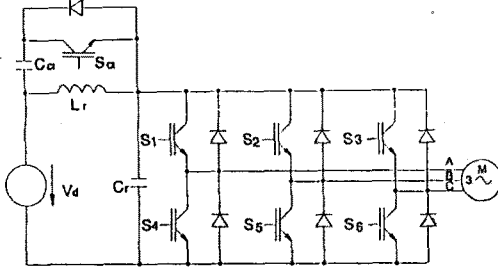
식에서

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

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

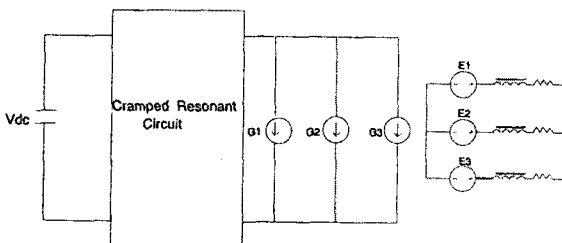
$S(t) = [S_a(t) \ S_b(t) \ S_c(t)]$  : 인버터의 각상에 대한 2level 스위칭함수를 나타내는 벡터

ACRDCL인버터의 구조는 [그림 1]과 같이 기존의 VSI에 공진회로 및 전압 clamping회로가 연결된 구조이다. ACRDCL 인버터는 LC공진회로에서의 최대공진전압이 제한된 값이하가 되도록 전압을 clamping 하므로 이 기능을 갖는 공진회로는 macromodel로 표현하고 clamping 전압과 공진주파수를 파라미터로 하여 구성한다.



[그림 1] ACRDCL 인버터 회로 구조

공진회로 및 clamping회로는 macromodel을 하고 VSI는 위에서 서술된 functional model을 사용하여 모델을 하면 [그림 2]와 같이 모델을 할수 있다. Clamped resonant circuit은 공진회로 LC와 공진을 유지시키기 위한 전류제어용 스위치 그리고 clamping용 스위치와 캐패시터로 구성된다. 이 부분은 2개의 이상적스위치와 제어신호를 얻기위한 비교기를 기본으로 하여 [그림 3]과 같이 구성하여 시뮬레이션할수 있다.



[그림 2] Functional model에 기초한 ACRDCL 인버터 구조

따라서 공진소자 L,C의 값의 영향, Clamping 소자의 영향, 그리고 공진회로에서의 초기전류값의 제어영향등이 분석될 수 있으며 회로의 최적설계값을 도출할수 있게 된다. 비교기는 [그림 4]와 같이 macromodel에 의해서 구현하며 실제 연산증폭기 소자를 이용하는 것과 비교하여 계산시간이 단축되고 계산중의 발산이 일어나는 경우가 적어지게 되는 장점을 얻을 수 있다. 이 수준의 시뮬레이션의 경우는 정확도에 있어서도 실제 소자를 이용하는 경우보다 떨어지지 않는다.

### III. 스위칭 변조제어기 모델과 시스템 종합

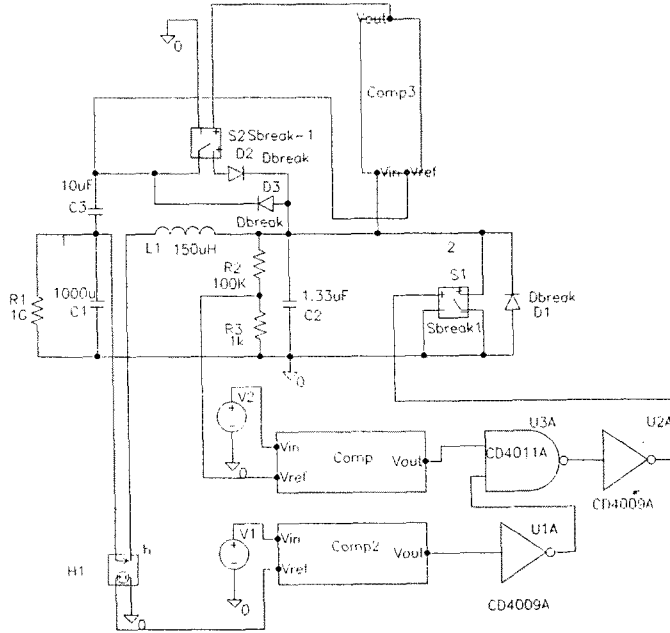
VSI의 중속전원들을 제어하는 신호로 PWM인버터의 경우는 PWM스위칭 함수와 동작모드에 의해 결정되는 2 level 또는 3 level 스위칭함수가 사용된다. ACRDCL인버터는 [그림 2]와 같이 ACRDCL 공진회로와 기존의 인버터의 연결에 [그림 5]와 같이  $\Sigma\Delta M^*$  (Sigma Delta Modulation) 방식의 DPM(Discete Pulse Modulation) 제어장치가 결합된 것으로 볼 수 있다. DPM으로는  $\Sigma\Delta M$ 에 다른 방식도 구현할수 있다.

따라서 ACRDCL 공진형인버터는 VSI의 functional model에 제어장치의 기능을 블록별로 모델링하고 이 블록들을 SPICE의 subcircuit으로 서로 연결함으로써 시스템의 macro-model이 완성된다. ACRDCL 블록모델은 입력으로 저류공진회로에서는 전원을 받고 clamping되는 전압과 공진주파수를 변수로 받아 스위칭 함수의 정보를 DPM제어장치로부터 얻어 출력부하에 전원을 공급하게 되는 VSI의 function 모델에 연결된다. DPM제어장치는 입력신호로는 출력전압의 명령에 해당하는 목표전압의 크기와 주파수를 필요로하며 또한 ZVS스위칭 시점을 얻을수 있도록 공진회로의 zero crossing signal이 동기신호로 사용하기 위해 입력으로 필요하다.

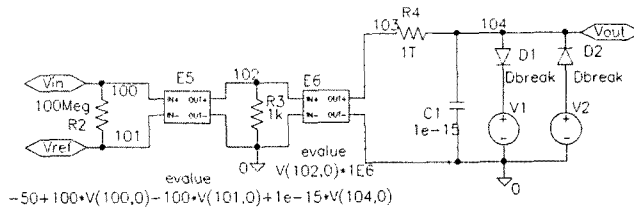
[그림 5]의  $\Sigma\Delta M$ 제어부는 한 상에 대한 제어회로로 기준전압 V1에 대해 출력 전압 Va와의 오차를 적분기를 통한후 비교기로 스위칭 함수값을 결정하고 공진회로의 공진주기에 일치하여 ACRDCL의 스위칭 함수값을 출력한다. 다른 상에 대한 각 상은 기준전압의 120°의 위상차에 대해 같은 회로를 적용하게 된다.

### IV. 결론

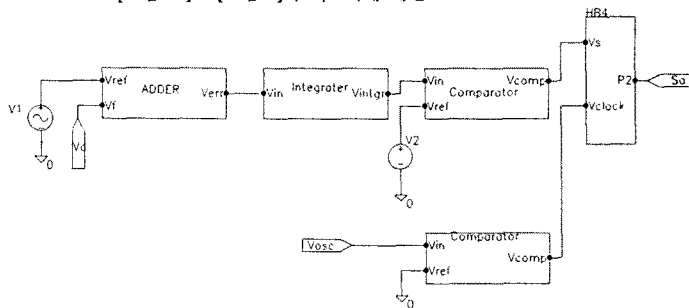
ACRDCL 인버터를 functional model과 macromodel로 시뮬레이션 할수 있음을 제시하였다. 이 방법은 소자의 정확한 모델을 사용하지 않고도 인버터의 여러 동작을 분석할 수 있으며 분석에 필요한 시간이 매우 절약된다. 제어와 전력회로의 복합동작을 시스템 수준에서 파악할 수 있으며 인버터의 적합한 설계에 직접적으로 이용될수 있다.



[그림 3] Clamped resonant circuit의 공진초기전류와 진압제한제어기능을 포함한 동작 모델



[그림 4] [그림 3]의 비교기에 대한 macromodel



[그림 5] ΔM제어부 model (각 부분은 그림4와 같은 방법으로 macromodel됨)

참고문헌

1. D.M.Divan, G.Skibinski "Zero Switching Loss Inverters for High Power Applications," IEEE Trans. IA-25, No4, pp634-643, 1989
2. L. Salazer, P.D.Ziogas, "Simple Models for Spice Assist Power Electronics Circuit Simulation on PC's," IAS88, pp1063-1068, 1988
3. L.Salazer, G.Joos, "Pspice Simulation of Three Phase Inverter by means of Switching funtions," IECON 90, 982-989, 1990
4. E. Wiechmann, P.D.Ziogas, "Generalized Functional Model for Tree Phase PWM Inverter/Rectifier Converters," IAS85, pp984-993, 1985
5. M.H.Kheraluwala, "Delta Modulation Strategies for Resonant Link Inverters", IEEE Trans. PE-5, No2, pp220-228, 1990