

# 복소 라플라스-페이저 변환을 이용한 무선전력전달용 DQ 인버터 해석

이성우\*, 박창병\*, 임춘택\*\*

\*Dept. of EE,

\*\*Dept. of Nuclear and Quantum Engineering KAIST

335 Gwahangno, Yuseong-gu, Daejeon, 305-701, KOREA

## Abstract

자기유도방식 무선전력전달용 DQ 인버터의 정적 동작 특성 및 동적 응답 특성을 해석하는데 복소 라플라스 변환을 페이저 변환된 회로에 적용하는 방법을 사용하였다. 최근에 발표된 복소 라플라스-페이저 변환이론이 교류 컨버터의 동적특성을 해석하는데 있어 실용적으로 아주 유용하다는 것이 연구를 통해서 확인되었다. 기존의 라플라스 변환을 복소수 영역으로 확대한 복소 라플라스 변환을 페이저 변환된 회로에 적용하면 전달함수를 구할 수 있어, 시스템의 안정도 분석과 제어기 설계가 가능해진다. 본 논문에서는 이론식을 유도하고 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

## 1. 서론

스위치의 시변 특성은 스위칭 파워 컨버터의 해석을 어렵게 만든다. 특히 단상, 다상의 AC 컨버터의 경우, 상태공간평균기법, 스위칭함수 푸리에 급수 해석, D-Q 변환 등의 기준에 쓰여왔던 스위칭 컨버터의 해석 기법을 적용하는 데에 한계가 있다. 이를 해결하고자 모든 종류의 스위칭 컨버터에 적용가능한 복소 라플라스-페이저 변환이 제안 되었다[1],[4].

본 논문에서는 복소 라플라스-페이저 변환을 이용하여, 그림. 1과 같은 자기유도방식 무선전력전달용 DQ 인버터의 정적 동작 특성 및 동적 응답 특성을 해석하였으며, 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

## 2. DQ 인버터의 복소 라플라스-페이저 변환

한번에 전체 회로의 전달함수를 구하는 것은 너무 복잡하기 때문에, 크게 2개 회로로 나눴다.

그림. 2 (a)는 DQ 인버터의 1차측 회로이며, 그림. 2 (b)는 복소 라플라스-페이저 변환을 이용하여 나타낸

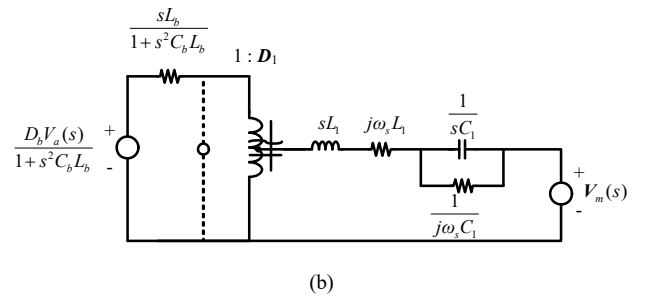
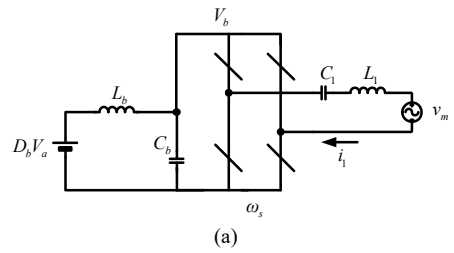


그림. 2 (a) DQ 인버터의 1차측 실제 회로  
(b) DQ 인버터 1차측의 복소라플라스-페이저변환 회로

등가회로 이다.

인버터의 스위치 풀은 복소 턴비  $D_1$  를 가지는 트랜스포머로 모델링이 가능하다 [2]. 그림. 2 (b) 의 회로에서,

$$L_{eq1} = L_1 \left( 1 + \frac{\omega_{r1}^2}{\omega_s^2} \right), \quad X_{eq1} = \omega_s L_1 \left( 1 - \frac{\omega_{r1}^2}{\omega_s^2} \right) \quad (1)$$

$$\omega_{r1} = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad (2)$$

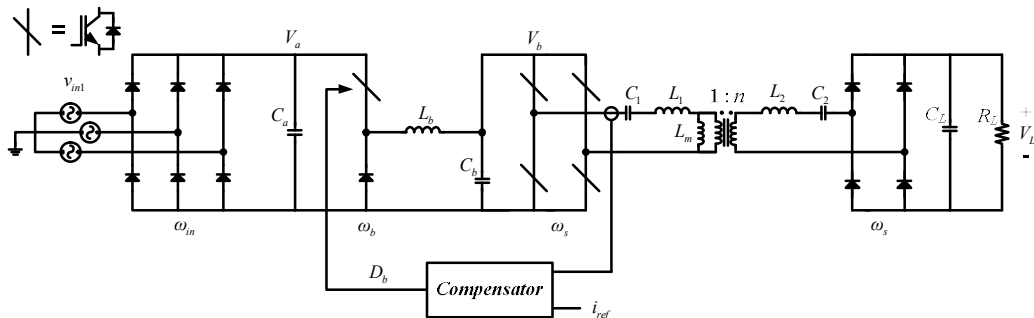


그림. 1. 정전류 컨트롤을 이용한 무선전력전달용 DQ 인버터

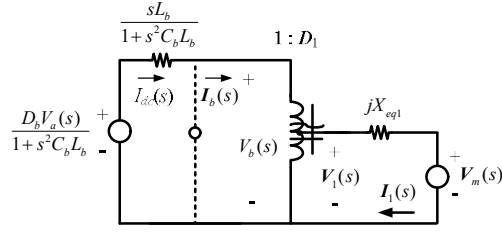


그림. 3.  $\omega_s > \omega_{r1}$  조건에서의 DQ 인버터 1차측의 등가회로

와 같이 정의 할 때,  $\omega_{r1}$  이 인버터의 스위칭 주파수  $\omega_s$  보다 낮을 경우, (1) 에서 볼 수 있듯이  $X_{eq1} \gg L_{eq1}$  의 관계가 성립하게 된다. 따라서 DQ 인버터의 1차측을 그림. 3 과 같이 간단히 나타낼 수 있다[2],[3]. 그림. 3 에서  $V_m(s)$  은 Back EMF 전압이다. 그림. 3의 등가회로에서 DQ 인버터 1차측 전류를

$$I_1(s) = \frac{D_1 D_b V_a(s) - s D_1 L_b I_{dc}(s) - V_m(s)(1 + s^2 C_b L_b)}{j X_{eq1} (1 + s^2 C_b L_b)} \quad (3)$$

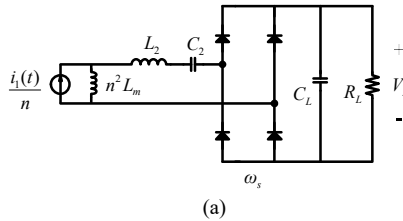
$$I_{dc}(s) = \frac{j X_{eq1} D_1 \{V_m(s) - V_m^*(s)\}}{2 X_{eq1}^2} \quad (4)$$

(3) 과 같이 구할 수 있다.

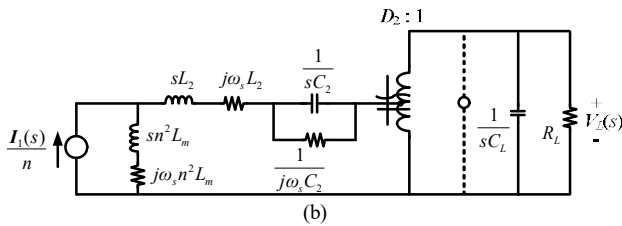
그림. 4 (a)는 DQ 인버터의 2차측 회로이며, 그림. 4 (b)는 복소 라플라스-페이저 변환을 이용하여 나타낸 등가회로 이다. 그림. 4 (c)의 회로에서,

$$L_{eq2} = (n^2 L_m + L_2) \left(1 + \frac{\omega_{r2}^2}{\omega_s^2}\right), \quad X_{eq2} = \omega_s (n^2 L_m + L_2) \left(1 - \frac{\omega_{r2}^2}{\omega_s^2}\right) \quad (5)$$

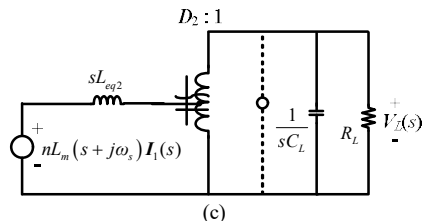
$$\omega_{r2} = \frac{1}{\sqrt{(n^2 L_m + L_2) C_2}} \quad \text{6와 같이 정의 할}$$



(a)



(b)



(c)

그림. 4 (a) DQ 인버터의 2차측 회로  
(b) DQ 인버터 2차측의 페이저 변환 회로  
(c)  $\omega_s = \omega_{r2}$  조건에서의 DQ 인버터 2차측의 등가회로

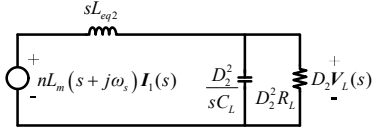


그림. 5  $\omega_s = \omega_{r2}$  조건에서의 DQ 인버터 2차측의 등가회로

때,  $\omega_{r2}$  가 인버터의 스위칭 주파수  $\omega_s$  와 같을 경우, DQ 인버터의 2차측을 그림. 5 과 같이 간단히 나타낼 수 있다[2],[3]. 그림. 5의 등가회로에서 DQ 인버터 2차측 출력 전압을

$$V_L(s) = \frac{n L_m D_2 Z_L (s + j \omega_s) I_1(s)}{s L_{eq2} + D_2^2 Z_L} \quad (7)$$

와 같이 간단히 구할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션을 통한 해석 검증

$$V_a = 340, D_b = 0.5, D_1 = D_2 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}, \omega_b = \omega_s = 2\pi \times 20k \text{ rad/s}$$

$$L_a = 1mH, C_a = 1mF, L_1 = 55.1\mu H, C_1 = 1.32\mu F$$

$$L_m = 1.9\mu H, L_2 = 1.148mH, C_2 = 49.8nF, C_L = 100\mu H, n = 8$$

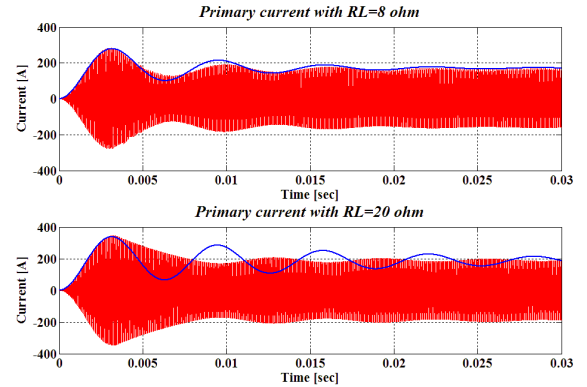


그림. 6 인버터의 transient simulation 과 Phasor transformation 으로 구한 전달함수의 step 응답  
(Red line : Matlab simulink, Blue line : Step response )

인버터를 근사화 하는 과정에서 약간의 오차가 발생하였으나, phasor transformation을 통해 구해진 전달함수가 인버터의 전체적인 응답특성을 잘 반영하고 있다.

### 4. 결론

복소 라플라스-페이저 변환을 이용하면, 복잡한 교류 컨버터를 회로 변환 기법 만으로 정적/동적 응답 특성을 구할 수 있다. 이를 이용하여 무선전력전달에 사용되는 DQ 인버터를 간단한 등가회로로 치환할 수 있음을 보였으며, 전달함수 또한 쉽게 구할 수 있음을 보였다.

### Reference

- [1] C. T. Rim, "Unified General Phasor Transformation for AC Converters," IEEE Trans. Power Electron. (accepted for publication).
- [2] C. T. Rim and G. H. Cho, "Phasor transformation and its application to the dc/ac analyses of frequency phase-controlled series resonant converters (SRC)," IEEE Trans. Power Electron., vol. 5, pp. 201-211, Apr. 1990.
- [3] C. T. Rim, "Analysis of linear switching systems using circuit transformations," Ph.D. dissertation, KAIST, Seoul, Feb. 1990.
- [4] C. T. Rim, "Dynamic Phasor Transformation by Complex Laplace Transformation," IEEE Trans. Power Electron. (submitted for publication).