

무선 전력 전송 시스템의 DQ 동기 좌표계 모델

이상민, 이승환

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과

DQ Synchronous Reference Frame Model of An Inductive Power Transfer System

Sangmin Lee, Seung-Hwan Lee

School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul

ABSTRACT

본 논문에서는 DQ 변환을 적용한 직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계 모델을 제안한다. 일반적으로 무선 전력 전송 시스템의 경우 급전 측과 집전 측에 단상 전류가 흐르기 때문에 제어에 어려움이 있다. 따라서 정상 상태의 전압 및 전류의 수식을 이용하여 부하에 전달되는 전압 및 전류의 크기를 제어하는 경우가 많다. 따라서 과도 상태의 전압 및 전류의 동특성이 원하는 특성과 다르게 나타날 수 있다. 본 논문에서는 직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 단상 전압 및 전류를 DQ 변환하여 과도 상태 및 정상 상태의 전압 및 전류의 동특성을 해석할 수 있는 등가 회로 모델을 제시한다.

1. 서론

무선 전력 전송은 급전 측에 흐르는 전류에서 유도된 자기장을 이용하여 물리적으로 단절된 집전 측에 전압을 공급한다. 무선 전력 전송 시스템을 이용하면 시스템의 유지 보수 비용을 절감할 수 있고, 사용자의 편의성을 증대시킬 수 있다는 장점이 있어, 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다^{[1][2]}. 무선 전력 전송 시스템은 결합 인덕터를 사용하므로 급전 및 집전 측의 전압 및 전류의 동특성을 해석하는 데 어려움이 있다. 해석을 간편하게 하기 위해 무선 전력 전송 시스템의 다양한 모델이 연구되었지만, 이 모델들은 무선 전력 전송 시스템의 제어 시스템을 설계하는 데 집중하여 동특성을 해석하기에는 적합하지 않았다^{[3],[4]}. 따라서 본 논문에서는 직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 단상 전압 및 전류를 DQ 변환하여 과도 상태 및 정상 상태의 전압 및 전류의 동특성을 해석할 수 있는 등가 모델을 제시한다^[5].

2. 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계 모델

2.1 무선 전력 전송 시스템의 정지 좌표계에서의 DQ 모델

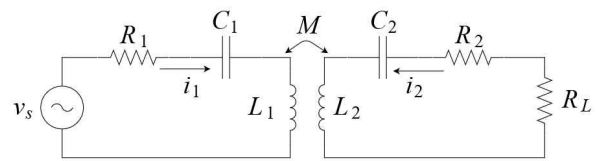


그림 1 직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템 등가 회로

직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 등가 회로가 그림 1에 제시되어 있다. 급전 측과 집전 측의 커패시터와 인덕터가 이루는 공진 회로의 주파수가 입력 전압 v_s 의 주파수와 동일하면, 입력 전압과 급전 및 집전 측에 흐르는 전류는 기본파의 성분만 존재한다고 가정할 수 있다^[6]. 따라서 입력 전압과 급전 및 집전 측의 전류는 다음과 같이 표현된다.

$$v_s = V_s \cos(\omega t) \tag{1}$$

$$i_1 = I_1 \cos(\omega t - \phi_1) \tag{2}$$

$$i_2 = I_2 \cos(\omega t - \phi_2) \tag{3}$$

위 수식들을 그림 1에 대입하면 정지 좌표계에서의 D축 모델을 얻을 수 있다. 또한 Q축은 D축과 90도의 위상 차이를 가지므로, D축 모델의 전압 및 전류에 대해 90도 위상 지상하는 전압 및 전류를 설정하면 정지 좌표계에서의 Q축 모델을 얻을 수 있다.

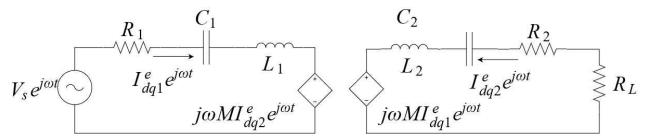


그림 2 직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 정지 좌표계에서의 DQ 회로 모델

도출된 정지 좌표계에서의 DQ 모델의 전압 및 전류를 잘 알려진 오일러 방정식을 통해 복소수의 형태로 변환하면, 그림 2와 같은 무선 전력 전송 시스템의 정지 좌표계에서의 DQ 모델을 얻을 수 있다.

2.2 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계에서의 DQ 모델

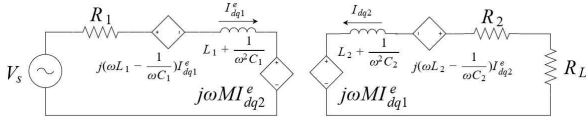


그림 3 직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계에서의 DQ 회로 모델

그림 2의 회로에서 $e^{j\omega t}$ 는 시간에 대해 공진 주파수를 가지는 사인 함수 형태로 변하는 성분을 의미한다. 따라서 이 성분을 제거해 주면 그림 3과 같은 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계에서의 DQ 모델을 얻을 수 있다. 동기 좌표계에서의 DQ 회로 모델에서 공진 주파수를 가지는 AC 전압 및 전류는 정상 상태에서 DC 전압 및 전류로 변환된다. 이를 통해 직렬-직렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 전압 및 전류의 동특성을 해석할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에는 무선 전력 전송 시스템의 단상 전압과 급전 및 집전 측의 전류를 DQ 변환하여 과도 상태 및 정상 상태의 전압과 전류의 동특성을 해석할 수 있는 등가 회로 모델이 제시되어 있다. 동기 좌표계에서의 DQ 회로 모델은 공진 주파수를 가지는 AC 전압 및 전류를 DC 전압 및 전류로 변환하여, 전압 및 전류의 동특성을 해석하는 데 이점이 있다.

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업의 지원을 받아 수행되었음. (2017R1C1B5074047)

참 고 문 헌

- [1] S. H. Lee, B. S. Lee, and J. H. Lee, "A New Design Methodology for a 300-kW, Low Flux Density, Large Air Gap, Online Wireless Power Transfer System," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 52, no. 5, pp. 4234 - 4242, 2016.
- [2] K. Agarwal, R. Jegadeesan, Y. X. Guo, and N. V. Thakor, "Wireless Power Transfer Strategies for Implantable Bioelectronics," IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 2017.
- [3] H. Hao, G. A. Covic, and J. T. Boys, "An Approximate Dynamic Model of LCL- T Based Inductive Power Transfer Power Supplies," IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 10, pp. 5554 - 5567, 2014.
- [4] S. Wang, B. Wei, C. Gao, and C. Xu, "Modeling and Control Methods of Dynamic Wireless Power Transfer System," pp. 1 - 4, 2017.
- [5] S. H. Lee et al, "Method and Apparatus for Current Control Using Synchronous Coordinate Dq Modeling of Wireless Power Transmission System", KOREA Patent 1,017,552,990,000, filed September 24, 2015, and issued April 4, 2017.
- [6] R. W. Erickson and D. Maksimović, Fundamentals of