

직렬-병렬 무선 전력 전송 시스템의 DQ 동기 좌표계 모델

노은충, 이상민, 이승환
서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

DQ Synchronous Reference Frame Model of A Series-Parallel Tuned Inductive Power Transfer System

Eunchong Noh, Sangmin Lee, Seung-Hwan Lee
School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul

ABSTRACT

본 논문에서는 DQ 변환을 적용한 직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계 모델을 제안한다. 무선 전력 전송 시스템은 일반적으로 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-병렬 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 부하 변동을 직접 측정할 수 없어 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 정상상태 제어 시스템을 설계하는 데 집중하여 동특성을 해석하기에는 적합하지 않았다^{[3],[4]}. 따라서 본 논문에서는 직렬-병렬 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.

2. 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계 모델

2.1 무선 전력 전송 시스템의 정지 좌표계에서의 DQ 모델

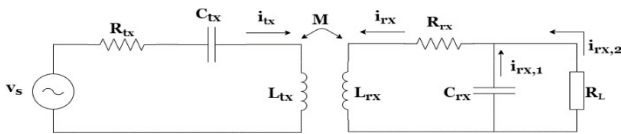


그림 1 직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템 등가회로

직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 등가 회로가 그림 1에 제시되어 있다. 이 때 급전 측과 집전 측의 커패시터와 인덕터가 이루는 공진 회로의 주파수가 입력 전압 v_s 의 주파수와 일치할 경우 급전 측과 집전 측에 흐르는 전류는 기본 파 성분만 존재한다고 가정할 수 있다^[5]. 따라서 그림 1에서의 입력전압과 급전 측 및 집전 측의 전류는 다음과 같이 표현된다.

$$v_s = V_s \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$i_{tx} = I_{tx} \cos(\omega t - \phi_1) \quad (2)$$

$$i_{rx} = I_{rx} \cos(\omega t - \phi_2) \quad (3)$$

상호 인덕턴스 성분 M은 종속 전압원으로 치환 가능하다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$M \frac{di_{rx}}{dt} = M \frac{d}{dt} (I_{rx} \cos(\omega t - \phi_2)) = -\omega M I_{rx} \sin(\omega t - \phi_2) \quad (4)$$

$$M \frac{di_{tx}}{dt} = M \frac{d}{dt} (I_{tx} \cos(\omega t - \phi_1)) = -\omega M I_{tx} \sin(\omega t - \phi_1) \quad (5)$$

그림 1의 등가 회로에서 상호 인덕턴스 성분 M을 종속전압원으로 치환한 회로가 그림 2에 제시되어 있다. 그림 2의 회로를 DQ 모델의 D축 회로라고 가정하고 D축 회로의 전압 전류를 90° lagging 하는 가상의 회로를 Q축 회로라고 가정하자, D축의 회로와 Q축의 회로를 합친 후 오일러의 공식을 적용해 복소수의 형태로 나타내면 그림 3과 같은 무선 전력 전송 시스템의 정지 좌표계에서의 DQ 모델을 얻을 수 있다.

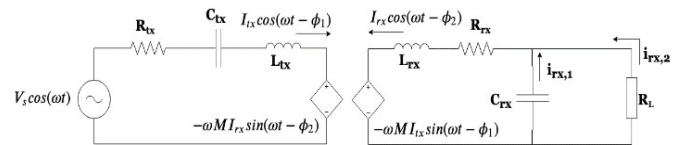


그림 2 직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템 D축 모델

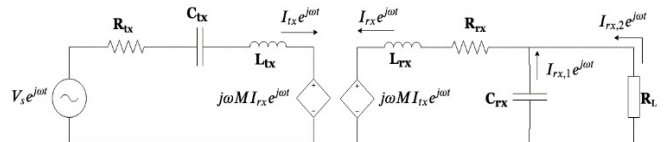


그림 3 직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템 DQ 모델

그림 3의 회로에서 전압과 전류는 ω 의 속도로 회전하는 성분인 $e^{j\omega t}$ 와 그의 크기는 V_s, I_{tx}, I_{rx} 등으로 구성되어 있다. 따라서 위 회로는 직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 정지 좌표계에

서의 DQ 모델이라고 볼 수 있다.

2.2 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계에서의 DQ 모델

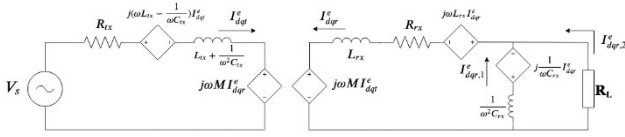


그림 4 직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 동기 좌표계에서의 DQ 모델

그림 3 회로의 모든 전압과 전류에 $e^{-j\omega t}$ 을 곱해주면, ω 의 속도로 회전하는 $e^{j\omega t}$ 성분을 제거해줄 수 있으며, 그림 4와 같은 동기 좌표계에서의 DQ 모델을 얻게 된다. 동기 좌표계에서의 DQ 회로 모델에서 전압 및 전류는 공진 주파수 성분은 없어지고, envelope에 해당하는 low frequency 성분만 남게 된다. 이를 통해 직렬-병렬 공진형 무선 전력 전송 시스템의 전압 및 전류의 동특성의 해석 및 우수한 제어기 설계에 응용 가능하다.

3. 결론

본 논문에서는 무선 전력 전송 시스템의 단상 전압과 급전 및 집전 측의 전류를 DQ 변환하여 과도 상태에서의 전압과 전류의 동특성을 해석할 수 있는 등가 회로 모델을 제시했다. 제안한 등가회로 모델을 이용하면 우수한 동특성을 가지는 무선 전력 전송 시스템의 구현이 가능하다.

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

참고 문헌

- [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] R. W. Erickson and D. Maksimović, Fundamentals of Power Electronics. 2001.