

새로운 공진기 구조와 주파수 최적화 관련 무선전력전송기술

안덕주, 홍성철

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

Wireless Power Transfer with Novel Resonator Structure and Frequency Optimization

Dukju Ahn, and Songcheol Hong

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

ABSTRACT

공진기 공진주파수와 인버터 스위칭 주파수를 최적화하는 이론에 대해 설명한다. 제안된 방법론을 이용하여 1차측 끼리 혹은 2차측 끼리 자기적으로 결합된 경우의 주파수 조절에 대해 설명한다.

1. 서론

무선전력전송 시스템을 구성하는 데 있어서 스위칭 주파수 그리고 공진주파수를 결정하는 것은 중요하다. 하지만, 이러한 주파수들이 어떠한 기준에 의해서 결정되어야 하는지는 잘 정리되어 있지 않다. 이 논문에서는 각 주파수들이 어떤 기준으로 결정되어야 하는지, 그리고 1차측 공진기들끼리 혹은 2차측 공진기들끼리 원치 않는 결합이 존재하는 경우에는 주파수 조건이 어떤 식으로 바뀌어야 하는지를 설명한다. 또한 1차측과 2차측 사이에 추가적인 공진기가 도입될 때 주파수 조절을 통한 시스템 성능개선을 논의한다.

2. 기본 주파수 조건

1개의 1차측, 1개의 2차측으로 구성된 무선전력전송 시스템의 등가회로는 그림 1과 같다. 이 때, 1차측의 AC source가 보는 output impedance는 다음과 같다.

$$Z_{out} = R_{TX} + j\omega L_{TX} \left(1 - \frac{\omega_{TX}^2}{\omega^2}\right) + \frac{\omega^2 k^2 L_{TX} L_{RX} / R_{RX}}{j \frac{\omega L_{RX}}{R_{RX}} \left(1 - \frac{\omega_{RX}^2}{\omega^2}\right) + 1} \quad (1)$$

여기서 R_{TX} 는 1차측의 전체 기생저항, ω_{TX} 와 ω_{RX} 는 각각 1차측과 2차측의 LC 공진주파수, ω 는 인

버터 스위칭 주파수, k 는 magnetic coupling 계수이다. k^2 항을 포함한 term을 reflected impedance라고 하며, 여기서 소모된 전력은 실제로 2차측으로 전달된 전력과 동일하다. 따라서 주어진 1차측의 기생저항 조건 하에서 reflected resistance를 크게 하는 것이 고효율을 달성하는 핵심 요건이다. 식 (1)을 보면 스위칭 주파수가 2차측 공진주파수와 동일할 때 reflected impedance의 실수부가 최대가 되고 허수부는 0이 됨을 알 수 있다. 즉 $\omega = \omega_{RX}$ 일 때 최대 효율 조건이 된다.

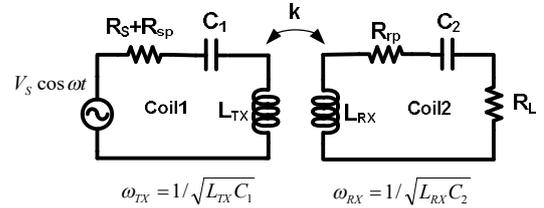


그림 1 무선전력전송 시스템 등가회로

실수부가 최대화 된다 하더라도 인버터 출력 impedance에 커다란 허수부가 존재하게 되면 출력 파워가 낮아지게 된다. 따라서 $j\omega L_{TX}(1 - \omega_{TX}^2/\omega^2)$ term을 제거해야 한다. 그러기 위해서는 1차측의 공진주파수를 스위칭 주파수와 같게 설정해야 한다. 즉 $\omega_{TX} = \omega = \omega_{RX}$ 가 되어야 한다.

3. 2차측 끼리 결합이 있는 경우

2차측 끼리의 결합이 존재하는 경우의 AC source에서 보이는 output impedance는 다음과 같다.

$$Z_{out} = R_{TX} + j\omega L_{TX} \left(1 - \frac{\omega_{TX}^2}{\omega^2}\right) + \frac{2k^2 \omega^2 L_{TX} L_{RX} / R_{RX}}{\frac{j\omega L_{RX}}{R_{RX}} \left(1 + k_{RX} - \frac{\omega_{RX}^2}{\omega^2}\right) + 1} \quad (2)$$

따라서 reflected impedance의 실수부를 최대화 하기 위해서는, 즉 최대 효율을 얻기 위해서는

$$\omega = \frac{\omega_{RX}}{\sqrt{(1+k_{RX})}} \quad (3)$$

의 조건을 만족하여야 한다. 이 때에도 임피던스의 허수부분 $j\omega L_{TX}(1-\omega_{TX}^2/\omega^2)$ 는 제거되지 않는다. 따라서 (3)의 조건하에서 최대 전력전달을 하려면

$$\omega_{TX} = \frac{\omega_{RX}}{\sqrt{(1+k_{RX})}} \quad (4)$$

의 조건이 필요하다.

정리해 보면 2차측의 공진주파수가 기준이 되는데, 2차측끼리의 커플링에 의한 영향 만큼 주파수를 조절해야 한다는 것이다.

1차측끼리의 커플링이 있는 경우도 위의 방법과 비슷한 과정으로 풀이가 가능하며, 그 때의 결과는

$$\omega = \frac{\omega_{TX}}{\sqrt{(1+k_{TX})}} = \omega_{RX} \quad (5)$$

이다.

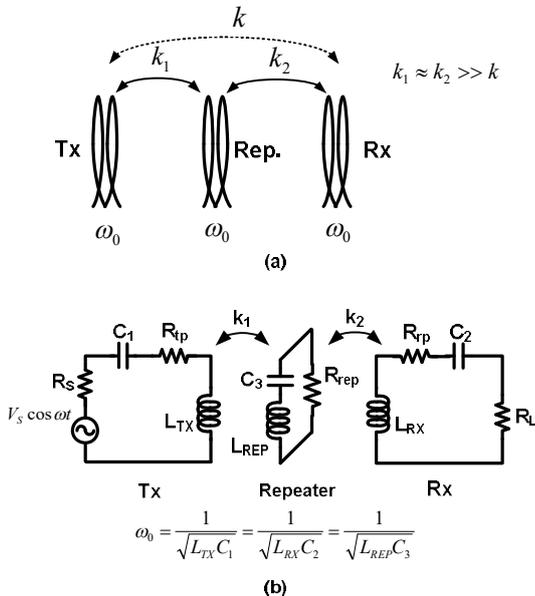
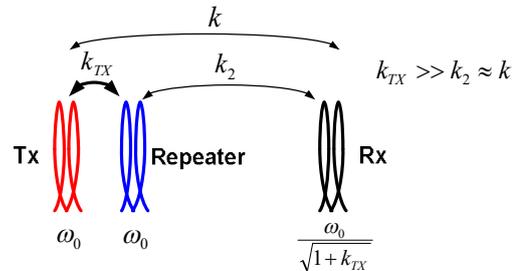


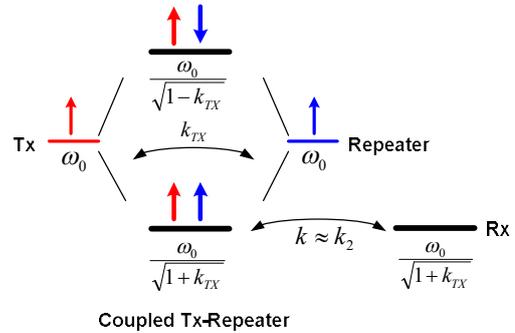
그림 2 중간 공진기가 있는 경우의 무선전력전송

4. 1차측과 2차측 사이에 중간 공진기가 있는 경우

1차측과 2차측 사이에 추가적인 중간 공진기를 삽입하면 전송거리를 늘릴 수 있다. 이 때 중간 공진기의 최적 위치는 매우 좁은 범위에 위치하게 된다. 중간 공진기의 위치가 자유롭게 변화하더라도, 특히 중간 공진기가 1차측 혹은 2차측에 매우 가깝게 위치하더라도 일정한 성능을 유지하도록 하기 위해서는 공진 주파수 또는/그리고 스위칭 주파수가 조절되어야 한다.



(a) A repeater is placed (biased) close to Tx



(b) Relative resonant frequency locations

그림 3 중간 공진기가 1차측으로 치우쳤을 때의 주파수 조절원리

5. 결론

1개의 1차측과 2차측의 있을 때의 주파수 조건들을 정리하고, 이것들을 바탕으로 2개의 1차 혹은 2차측 끼리 결합되어 있을 때의 주파수 조건들을 유도하였다.

참고 문헌

- [1] Dukju Ahn and Songcheol Hong, "Effect of Coupling between Multiple Transmitters or Multiple Receivers on Wireless Power Transfer," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, to be published.
- [2] Dukju Ahn and Songcheol Hong, "A Study on Magnetic Field Repeaters in Wireless Power Transfer," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, to be published.