

## 무선전력전송에서 직렬-병렬결합공진회로 직렬공진점의 효과적리용

김진국, 로춘환

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《선진과학기술을 받아들이기 위한 사업을 적극적으로 벌려야 하겠습니다.》(《김정일선집》  
증보판 제15권 499페이지)

무선전력전송기술은 전력을 도선이 없이 공간으로 전달하는 첨단과학기술의 하나이다. 최근에 이 기술분야에서는 직렬-병렬결합공진회로를 리용하여 전력전송의 성능을 개선하기 위한 연구[1-3]가 활발히 벌어지고있다. 그러나 선행연구[1, 3]들에서는 직렬-병렬결합공진회로의 병렬공진점연구가 다수를 차지하고 직렬공진점의 리용에 대한 연구는 거의 진행되지 않았으며 직렬공진점과 관련한 연구[2, 3]들에서도 이 공진점의 특성과 리용에서의 최적화에 대하여서는 밝히지 못하였다.

론문에서는 직렬-병렬결합공진회로 직렬공진점의 특성을 밝히고 그것을 무선전력전송에서 효과적으로 리용하기 위한 최적화설계방안에 대하여 고찰하였다.

### 1. 직렬-병렬결합공진회로 직렬공진점의 특성

그림 1에 직렬-병렬결합공진회로를 보여주었다.

이 회로의 완전저항은

$$Z = R + j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_s} + \frac{1}{1/(j\omega L_p) + j\omega C_p} \quad (1)$$

과 같이 표시되는데 유도도비와 용량비를 각각  $x = L_s/L_p$ ,  $y = C_s/C_p$ 로 표시할 때 완전저항값이 최대로 되는 병렬공진점 1개( $\omega_p$ )와 완전저항값이 최소로 되는 직렬공진점 2개( $\omega_l$ ,  $\omega_h$ )를 다음과 같이 얻을수 있다.

$$\omega_p = 1/\sqrt{L_p C_p} \quad (2)$$

$$\omega_l = \sqrt{\frac{xy + y + 1 - \sqrt{(xy + y + 1)^2 - 4xy}}{2xy}} \cdot \omega_p = \alpha \cdot \omega_p \quad (3)$$

$$\omega_h = \sqrt{\frac{xy + y + 1 + \sqrt{(xy + y + 1)^2 - 4xy}}{2xy}} \cdot \omega_p = \beta \cdot \omega_p \quad (4)$$

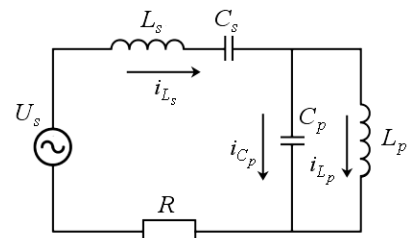
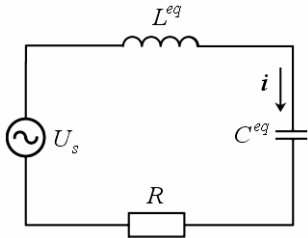


그림 1. 직렬-병렬결합공진회로

직렬-병렬결합공진회로는 직렬공진점에서 그림 2의 직렬공진회로와 같은 특성을 나타내며 그때 등가유도도와 등가용량은 다음과 같이 표시된다.

$$L_j^{eq} = L_p \left[ x + \left( \frac{1}{1 - \omega_j^2 / \omega_p^2} \right)^2 \right] \quad (j=l, h) \quad (5)$$

$$C_j^{eq} = \frac{1}{\omega_j^2 L_j^{eq}} \quad (j=l, h) \quad (6)$$



이때 이 공진회로의 기본특성을 결정하는 품질인자( $Q$ )는 다음과 같이 결정된다.

$$Q = \left[ x + \left( \frac{1}{1 - \omega_j^2 / \omega_p^2} \right)^2 \right] \cdot \frac{\omega_j L_p}{R} = \sigma_j \cdot Q_p \quad (j=l, h) \quad (7)$$

그림 2. 직렬공진점에서 직렬-병렬결합공진회로의 등가회로

여기서  $Q_p = \omega_j L_p / R$ 는 직렬-병렬결합공진회로 병렬공진 부분회로의 품질인자이며 전체 회로의 품질인자는  $Q_p$ 와  $\sigma_j$ 에 관계된다.  $x$ 와  $y$ 값의 변화에 따르는  $\sigma_j (j=l, h)$ 값

은 그림 3과 같다.

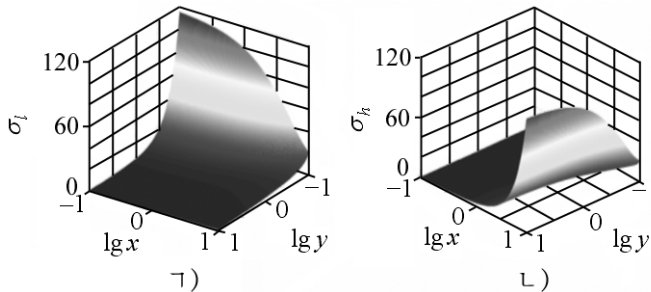


그림 3.  $x$ 와  $y$ 값의 변화에 따르는  $\sigma_j(l, h)$ 값

그림 3에서 보는바와 같이 낮은  $x$ 와  $y$ 값에서는 낮은 직렬공진점( $\omega_l$ )이 높은 품질인자를 가지며 높은  $x$ 와  $y$ 값에서는 높은 직렬공진점( $\omega_h$ )이 높은 품질인자를 가진다는 것을 알 수 있다. 무선전력전송의 측면에서 볼 때 공진회로의 높은 품질인자는 상대적으로 먼 전송거리에서 큰 전송전력과 높은 전송효율을 보장할 수 있게 한다. 그러므로 낮은  $x$ 와  $y$ 값을 가진 직렬-병렬결합공진회로의 낮은 직렬공진점과 높은  $x$ 와  $y$ 값을 가진 직렬-병렬결합공진회로의 높은 직렬공진점은 높은 성능의 무선전력전송을 실현할 수 있는 조건을 제공한다.

## 2. 직렬-병렬결합공진회로기반 무선전력전송체계의 최적구조

자기공진식무선전력전송에서는 전송공진회로와 접수공진회로의 유도선률들사이 공진 결합을 통하여 전기에너지가 전송된다. 그런데 직렬-병렬결합공진회로의 전송회로와 접수회로는 각각 2개의 유도선률( $L_s$ 와  $L_p$ )을 가지므로 가능한 결합방식은 총 4가지( $L_s - L_s$ ,  $L_p - L_p$ ,  $L_s - L_p$ ,  $L_p - L_s$  결합)가 존재하고 매 결합방식에서 에너지전송특성은 차이나게 된다.

결합방식에 따르는 전체 체계(전송회로와 접속회로의 총체계)의 총품질인자는 다음과 같이 결정된다.

$$Q_T = \begin{cases} \frac{x}{x + \gamma_j^2} \cdot \sqrt{Q_{i,TX} Q_{i,RX}} & (L_s - L_s) \\ \frac{\gamma_j^2}{x + \gamma_j^2} \cdot \sqrt{Q_{i,TX} Q_{i,RX}} & (L_p - L_p) \\ \frac{\sqrt{x} \gamma_j}{x + \gamma_j^2} \cdot \sqrt{Q_{i,TX} Q_{i,RX}} & (L_s - L_p) \\ \frac{\sqrt{x} \gamma_j}{x + \gamma_j^2} \cdot \sqrt{Q_{i,TX} Q_{i,RX}} & (L_p - L_s) \end{cases} \quad (8)$$

여기서  $\gamma_j = \frac{1}{1 - \omega_j^2 / \omega_p^2}$  ( $j=l, h$ ) 이고  $Q_{i,TX}$  와  $Q_{i,RX}$  는 각각 전송회로와 접속회로의 품질인자들이다. 높은 품질인자를 가지는 전송회로와 접속회로들은 보통  $x$  보다 큰  $\gamma_j$  값을 가진다. 그러므로 총품질인자는  $L_p - L_p$  결합에서 가장 큰 값을 가지게 되며 따라서 전력 전달성능이 가장 좋은 최적의 구조는  $L_p - L_p$  결합구조로 된다.

### 3. 실험결과 및 해석

직렬-병렬결합공진회로들의  $L_p - L_p$  결합구조체계가 낮은  $x$  와  $y$  값의 회로배치의 낮은 직렬공진점에서 그리고 높은  $x$  와  $y$  값의 회로배치의 높은 직렬공진점에서 높은 총품질인자를 가지고 체계의 높은 전력전송성능을 보장해주게 된다.

여기서는 실험적으로 검증된 최적화체계의 전력전송성능을 표준전력전송체계인 직렬-직렬공진무선체계의 성능과 대비하게 된다. 실험에서는 권회수가 10이고 회전평균반경이 약 10cm인 평판라선선로를 전송선로로 하고 나머지보조선료들은 작은 실토리모양으로 다심선들을 감아 만들었다. 기본전송선로의 유도도는  $28\mu\text{H}$  이고 보조선로들의 유도도는  $4\mu\text{H}$  였다. 콘덴사들의 용량값은 병렬콘덴사가  $64\text{nF}$ , 직렬콘덴사가  $9.7\text{nF}$ 로서  $x$  와  $y$  값은 각각 0.14, 0.15이다.

직렬-병렬결합공진회로에 기초한 무선전력전송체계와 표준직렬-직렬공진무선전력전송체계의 거리에 따르는 전송전력과 효율곡선은 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는바와 같이 직렬-병렬결합공진회로에 기초한 무선전력전송체계는 표준직렬-직렬공진무선전력전송체계에 비하여 훨씬 성능이 높았다. 저항값이 작은 경우에는 물론 저항이 큰 경우에도 직렬-병렬결합공진회로에 기초한 무선전력전송체계는 표준직렬-직렬공진무선전력전송체계에 비하여 거의 10배나 넘는 전송거리를 보여주고있다.

또한 충분한 크기의 전력을 전송하는 점에서도 상대적으로 높은 에너지효율을 보장할수 있다.

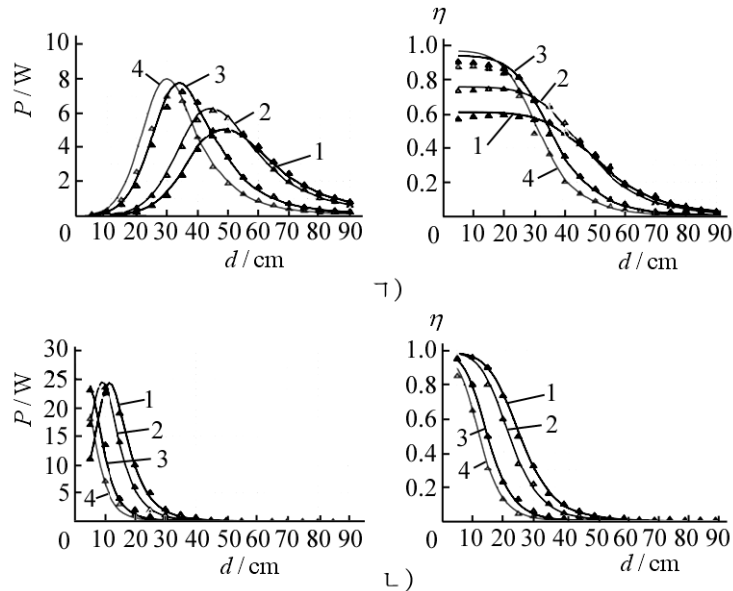


그림 4. 직렬-병렬결합공진회로에 기초한 무선전력전송체계(Γ)와 표준직렬-직렬공진 무선전력전송체계(L)의 거리에 따르는 전송전력과 효율곡선  
 실선-리론값, △-측정값, 1-4는  $R_L$  값이 각각 5, 10, 50, 100Ω 인 경우

## 맺 는 말

직렬-병렬결합공진회로에 기초한 최적화된 무선전력전송체계를 제안하여 보다 긴 전력전송거리에서도 전력전송효율의 감소를 줄이고 충분한 전력을 전송할수 있게 하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. J. Thrimawithana, U. K. Madawala; IEEE Trans. Power Electron, 28, 10, 4681, 2013.
- [2] T. Kan et al.; IEEE Trans. Power Electron, 32, 2, 1638, 2017.
- [3] Q. Zhu et al.; IEEE Trans. Ind. Electron, 63, 10, 6557, 2016.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

## Effective Use of Direct Resonance Point of Direct-Parallel Combination Resonance Circuit in Wireless Electric Power Transmission

Kim Jin Guk, Ro Chun Hwan

We studied the properties of the direct resonance point in the direct-parallel combination resonance circuit and considered the optimum design proposal to use this point in wireless electric power transmission effectively.

Key words: direct-parallel, resonance circuit