DBpia

임피던스 정합을 이용한 전계결합형 무선전력전송 최적 설계 방법 연구

Optimal Design of Matching Network for Capacitive-coupled Wireless Power Transfer System

저자
(Authors)

최희수, 최성진
Hee-Su Choi, Sung-Jin Choi

출처
(Source)

전력전자학술대회논문집 , 2016.7, 141-142 (2 pages)
Power Electronics Annual Conference , 2016.7, 141-142 (2 pages)

발행처
(Publisher)

전력전자학회
THE KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS

URL

http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06716920

APA Style

최희수, 최성진 (2016). 임피던스 정합을 이용한 전계결합형 무선전력전송 최적 설계 방법 연구. 전력전자학술대회논문집, 141-142.

이용정보
(Accessed)

203.250.84.***
2017/08/01 16:15 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s)and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s)for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

임피던스 정합을 이용한 전계결합형 무선전력전송 최적 설계 방법 연구

최희수, 최성진
울산대학교 전기공학부

Optimal Design of Matching Network for Capacitive-coupled Wireless Power Transfer System

Hee-Su Choi, Sung-Jin Choi
School of Electrical Engineering, University of Ulsan

ABSTRACT

전계결합을 이용한 무선전력전송 시스템은 송·수신부 사이에 형성된 링크 캐패시턴스를 사용해서 에너지를 전송한다. 이러한 용량 리액턴스를 상쇄하기 위한 방안으로 인덕터나 변압기를 응용한 여러 종류의 임피던스 정합구조가 연구되고 있다. 본 논문에서는 다양한 리액턴스 보상 방법에 대한 장·단점을 비교하고 이 중에서 전계결합 시스템에 가장 적합한 임피던스 정합구조를 선정한다.

1. 서론

전계결합 시스템은 그림 1과 같이 송·수신부에 전극을 형성해 캐패시터가 생성되는 원리를 기반으로 무선전력전송을 하는 것으로 DC 형태로 받은 에너지를 AC로 변환시켜주는 송신부와 AC 전압을 DC로 변환시켜주는 수신부로 구성되어 있다. 생성된 캐패시터의 용량 리액턴스는 인덕터의 유도 리액턴스를 사용해 상쇄시키고 변압기의 턴 비를 이용해 시스템의 공진양호도(Q)를 조절한다.

본 논문에서는 기본적인 전계결합 시스템 구조인 직렬 공진형 컨버터(SRC)를 이용한 토폴로지에서 임피던스 정합용 변압기 위치를 이동시킨 토폴로지를 비교한다. 각 토폴로지는 인덕터, 변압기 코어손실(Core loss)과 권선손실(Winding loss)을 고려한 최적 설계를 한다. 이를 통해 얻은 인덕터 및 변압기 부피와 Area Product, 마그네틱 부품의 전체손실(코어손실+권선손실), 인덕터와 캐패시터의 전류 및 전압 스트레스, 시스템 공진양호도(Quality factor[Q])를 비교 분석하여 가장 전계결합 시스템에 적합한 토폴로지를 제시한다.

2. 토폴로지 설계

2.1 설계 전제조건

본 논문에서 사용한 송신부의 구조는 하프브릿지이고 이를 통과해서 나온 AC전압은 V_{in}이라 하고 V_{in}은 식(1)의 첨두치를 가진 구형파와 같이 나타낼 수 있다. 수신부의 구조는 전파 정류기이다. 성능비교를 위해 다음 사항을 가정한다.

- 하프브릿지의 스위칭 손실, 정류기 다이오드 손실, 송·수신부를 연결하는 링크 캐패시터 C_{link}의 손실은 없다.
- 링크 캐패시터(C_{link})는 C_{link1}과 C_{link2}를 직렬 연결한 값으로 100pF으로 고정한다.
- 모든 토폴로지의 출력전력은 5W로 일치시키고 입력전압은 출력전력에 맞게 증가 또는 감소시킨다. 여기서 부하저항(R_L)은 DC기준 20Ω(10V/0.5A)을 가지고 AC기준 부하저항(R_{eq})은 식(2)에 의해 16.2Ω을 가진다.
- 공진 주파수(ω_0)는 사용가능한 범위로 1,000,000 ~ 10,000,000rad/s을 사용한다.
- 인덕터와 변압기 설계에 사용된 도선은 단선으로 구리(copper)를 사용하였다.
- 설계 시, 각 인덕터와 변압기는 전체손실을 최대로 줄이고 전압 및 전류 스트레스를 최소화 하도록 고려한다.
- 토폴로지에 사용되는 변압기는 이상적인 변압기로 누설 및 자화 인덕턴스를 고려하지 않는다.
- 시스템의 공진양호도는 높을수록 시스템이 민감할 뿐만 아니라 전압 스트레스가 공진양호도의 배수로 커진다. 따라서 본 논문에서는 이를 고려해 공진양호도를 최대 '10'으로 잡고 시스템 제어를 고려해 공진양호도의 최소값을 '1'로 정하였다. 만약 시스템을 설계 하였을 때 공진양호도가 '10'보다 크다면 가용주파수 범위 내에서 가장 작은 값을 선정한다.

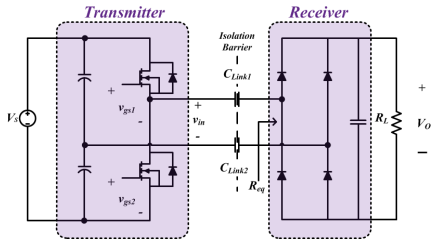

그림 1. 전계결합 시스템의 구조

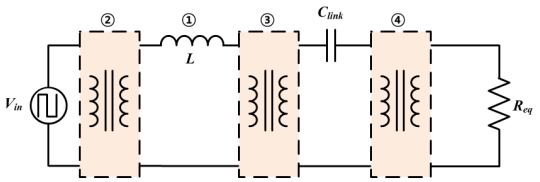

그림 2. 전계결합 시스템의 등가회로

$$V_{in(peak)} = \frac{V_s}{2} \quad (1)$$

$$R_{eq} = \frac{8}{\pi^2} R_L \quad (2)$$

2.2 인덕터만을 이용한 임피던스 정합 설계

그림 2는 그림 1의 등가회로를 나타낸 것으로 인덕터를 이용한 임피던스 정합은 ① 형태를 말한다. 식(3)은 본 시스템의

IP: 203.250.84.*** | Accessed 2017/08/01 16:15(KST)

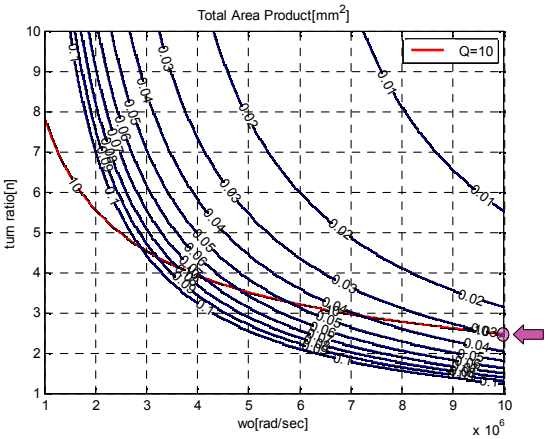

그림 3. ④번 토폴로지 - 주파수와 턴 비에 따른 A.P

공진주파수 식이고 식(4)는 시스템의 공진양호도 식이다. 식(3), (4)에서 알 수 있듯이 주파수가 높아질수록 인덕터의 값은 작아지고 공진양호도도 작아짐을 알 수 있다.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_{link}}} \tag{3}$$

$$Q = \frac{1}{\omega_o R_{eq} C_{link}} \tag{4}$$

2.1절의 공진양호도 전제조건에 의해 주파수는 10,000,000rad/s으로 고정하고 이때의 인덕턴스는 (3)식에 의해 100uH, 공진양호도는 (4)식에 의해 61.68로 설계가 되었다. 인덕터의 코어 사이즈, 전압 및 전류 스트레스 및 전체 손실 등은 표 1에 정리되어 있다.

2.3 인덕터와 변압기를 이용한 임피던스 정합 설계

인덕터와 변압기를 이용한 구조는 그림 2의 ②~④ 형태를 말한다. 먼저 ② 위치에 변압기를 배치하였을 때 1:n(n≥1) 변압기 형태에서는 입력전압이 n배 상승하며 반대로 n:1일 경우에는 입력전압이 n배 감소한다. ② 위치의 변압기는 공진주파수나 공진양호도에 아무런 영향을 미치지 않고 추가적인 부품으로 인한 시스템 크기만 커지므로 본 논문에서는 고려하지 않았다.

③ 위치에 변압기를 배치하였을 때는 공진양호도에 영향은 미치지 못하지만 인덕턴스에 n^2배 만큼 영향을 미친다. n:1변압기에서는 인덕턴스가 n^2배 커지고 인덕터 전압 스트레스가 너무 커서 본 논문에서 고려하지 않았고, 1:n변압기는 인덕턴스가 n^2배 작아지고 인덕터 전압 스트레스도 감소한다. 설계결과 변압기 턴 비는 공진양호도에 아무런 영향도 없기에 턴 비에 자유도가 있다. 여기서는 임의로 턴 비를 1:5로 설정하였고 이때의 공진양호도와 주파수는 ① 형태와 동일하고 인덕턴스는 4uH이다.

④ 위치에 1:n 변압기가 있을 경우에는 공진양호도가 n^2배로 증가해서 본 논문에서 제외 하였고, n:1 변압기의 경우에는 공진양호도가 n^2배로 감소한다. 설계결과 그림 3에서 0.01~0.1까지의 값은 시스템 전체 Area Product를 나타내고 빨간색 선은 10에서의 공진양호도를 나타낸 것이다. 여기서 Area Product를 최소화 하고 공진양호도를 10으로 유지하기 위한 턴 비는 2.5:1이다. 이때의 주파수는 10,000,000rad/s 이고 인덕턴스는 식(3)에 의해 100uH 이다.

표 1. 토폴로지 비교

Topology		①	③	④
Input voltage[V]		10	2	25
Quality factor		61.68	61.68	10
Cap.	voltage[V]	800	800	330
	current[A]	0.8	0.78	0.315
Ind.	voltage[V]	800	158	330
	current[A]	0.8	3.89	0.315
	Core type	EE2532B	EE2532B	EE1616A
	Core vol.[mm^3]	2930	2930	788
	A.P[mm^4]	6487.4	6487.4	910.53
	core loss[W]	0.0179	0.0134	0.0073
	winding loss[W]	0.0179	0.0134	0.0073
	total loss[W]	0.0358	0.0268	0.0146
TX	Core type	N.A.	EE3549S	EE1312S
	Core vol.[mm^3]		10900	487
	A.P[mm^4]		28080	558.4
	core loss[W]		0.0118	0.00045
	winding loss[W]		0.0117	0.00045
	total loss[W]		0.0235	0.0009
total loss[W]		0.0358	0.0503	0.0155
total vol.[mm^3]		2930	13830	1275
total A.P[mm^4]		6487.4	34567.4	1468.93

* A.P = Area Product($A_e \times A_w$), Ind. = Inductor
* TX = Transformer

3. 비교 및 분석

위의 표를 보면 각 토폴로지 별 공진양호도와 캐패시터, 인덕터 각각의 전압 및 전류 스트레스, 시스템 전체 손실, 부피, Area Product를 알 수 있다. 여기서 A_e는 코어의 Effective cross-sectional area, A_w는 Winding area of core를 의미한다. 본 논문에서 코어손실은 수정된 Steinmetz 방정식[1]을 이용하였고 권선손실은 권선 소자인 구리의 표피 깊이(skin depth)와 Dowell 커브[2]를 이용하여 계산하였다. 표에서도 알 수 있듯이 모든 부분에서 가장 좋은 토폴로지는 유일하게 공진양호도가 10이고 마그네틱 소자의 크기와 손실이 가장 작은 ④번임을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 각 토폴로지의 설계 전제조건을 동일하게 일치시켜 설계하고 이를 토대로 각각의 손실, 부피, Area Product, 인덕터와 캐패시터의 전류 및 전압 스트레스를 비교 분석하여 ④번 시스템이 전계결합 시스템에 가장 적합한 임피던스 정합 구조라는 결론을 도출해내었다. 향후 연선(Litz wire)을 이용한 인덕터, 변압기 손실 계산과 인덕터와 변압기를 하나로 만들어 설계한 통합형 변압기를 이에 접목하여 비교 분석할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Ray Ridley, “Magnetics Core Losses,” APEC Industry session on Magnetics, Mar. 2016.
[2] Xi Nan and C. R. Sullivan, “An Improved Calculation of Proximity-Effect Loss in High-Frequency Winding of Round Conductors,” IEEE PESC, vol. 2, pp. 853-860, June 2003.

IP: 203.250.84.*** | Accessed 2017/08/01 16:15(KST)