

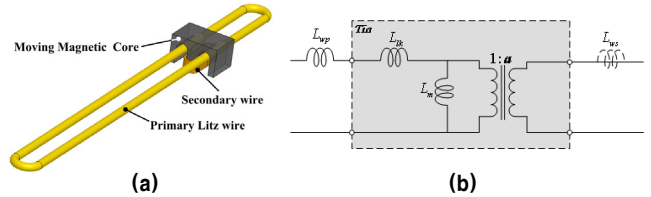
부상 / 추진 시스템용 비접촉 전력 전달 장치의 출력 특성 해석

장석영*, 고경진*, 최장영*, 조한욱**, 성호경**, 김일중***
 충남대학교*, 한국기계연구원**, 호서대학교***

Characteristics Analysis of Contactless Power Transfer Device for Levitation / Propulsion System

Seok-Myeong Jang*, Kyoung-Jin Ko*, Jang-Young Choi*, Han-Wook Cho**, Ho-Kyung Sung**, Il-Joong Kim***
 Chungnam National University*, Korea Institute of Machinery & Materials**, Hoseo University***

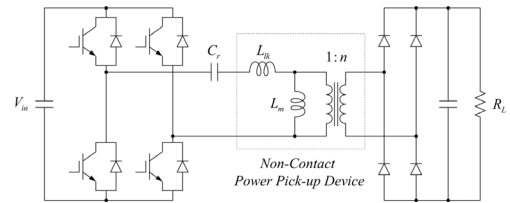
Abstract - Recently, contactless power transfer system is widely used in many industry applications such as automated guided vehicles and medical applications. In this paper, we derived electrical parameters and analyzed output characteristics of contactless power transfer device with resonant converter for levitation / propulsion system. And, the characteristics analysis results are satisfied with output required specifications of analysis model.



<그림 1> 비접촉 전력 전달 장치의 (a)구조 및 (b)등가회로

1. 서 론

최근 비접촉 전력 전달 장치는 반도체 공정과 같은 이송시스템 및 stocker 시스템 등 많은 산업분야에 사용되고 있다 [1]-[6]. 일반적으로 전력전달시스템은 부하에 전력을 공급하기 위하여 긴 전선을 사용하거나 접촉식 팬타그래프를 사용하는데 이는 전선과 기구표면 사이의 기계적 마찰로 인한 유지·보수의 문제를 발생시키고 기존 접촉식 전력 전달장치는 접촉에 의한 미세분진등을 유발하게 된다 [1][2]. 특히 반도체 공정과 같이 미세한 분진만으로도 큰 문제를 야기할 수 있는 미세공정 분야에서 전력전달시에는 비접촉 전력 전달 시스템의 응용은 필수적이다. 또한 이를 부상/추진 시스템에 적용한다면 접촉에 의한 마찰 및 손실 그리고 유지·보수에 따른 문제점을 거의 이상적으로 줄일 수 있다. 그래서 현재 이 시스템의 연구가 국내에서도 공진형 컨버터 개선연구와 더불어 매우 활발히 진행되고 있다 [3]-[6]. 따라서 본 논문에서는 제작된 비접촉 전력 전달 시스템의 특성을 해석하고 이 해석법을 기반으로 이 시스템의 설계에 적용하고자 한다. 우선 비접촉 전력 전달 장치를 3차원 유한요소해석을 사용하여 회로정수를 도출하고 등가회로로 모델링하여 이 등가회로로부터 도출된 특성식으로부터 출력 특성 해석을 수행하였다. 비접촉식 전력전달 시스템의 구조는 일반적으로 그림 1 (a)와 같이 1차측에 litz 권선을 사용하며 2차측은 E-core 형태의 변압기 철심과 권선으로 구성된다.



<그림 2> 풀브리지 직렬 공진 컨버터를 사용한 비접촉 전력전달 시스템

2. 출력 특성 해석

2.1 비접촉 전력 전달 시스템의 등가회로모델

일반적으로 비접촉 전력전달 시스템은 2차측 변압기와 1차측 권선 사이에 큰 공극이 존재하기 때문에 2차측 변압기의 누설인덕턴스는 자화인덕턴스보다 훨씬 크다. 이는 결합계수 특성을 나쁘게 함으로써 전체 시스템 효율을 저하시키게 된다. 따라서 누설 인덕턴스의 역효과를 최소화하기 위하여 비접촉 전력전달 시스템에서는 풀브리지 공진 컨버터가 사용되며 비접촉 전력전달시스템을 해석 및 설계하기 위해서는 공진 컨버터의 해석과 더불어 2차측 변압기의 정수들을 도출해야 한다. 따라서 우선 인덕터 이론을 이용하여 변압기의 전기적 특성을 해석하고자 한다. 그림 1 (b)는 2차측 변압기의 등가회로를 나타내며 등가회로에서 보여주는 회로파라미터는 식 (1)에 의해 정의된다 [1][2].

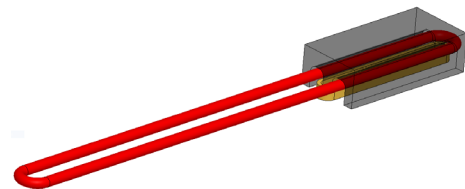
$$a = L_2 / M \tag{1.a}$$

$$k = M / \sqrt{L_1 L_2} \tag{1.b}$$

$$L_k = L_1 - M/a \tag{1.c}$$

$$L_m = M/a = L_1 k^2 \tag{1.d}$$

여기서 a, M, L1, L2, Lk, Lm 은 각각 1차측 및 2차측 권선비, 상호인덕턴스, 1차측 권선의 자기 인덕턴스, 2차측 권선의 자기 인덕턴스, 누설 인덕턴스 및 자화 인덕턴스를 나타낸다. 그림 2에서 권선비 a는 이상적인 경우 식 (1.a)와 같지만 실제의 경우 식 (1.b)로 표현되는 결합계수 k로 인해 실제적인 권선비와 같지 않게 된다. 또한, 누설 인덕턴스는 1차측 권선의 인덕턴스 Lwp와 변압기 철심의 누설 인덕턴스 Lk로 나눌 수 있



<그림 3> 유한요소해석모델

으므로 결과적으로 변압기의 선형 특성해석을 수행 할 수 있게 된다. 여기서 변압기 코어의 누설인덕턴스와 자화 인덕턴스 및 1차측 권선의 누설 인덕턴스는 3차원 유한요소 해석법을 이용하여 구하였다. 그림 2는 풀브리지 직렬 공진컨버터가 사용된 비접촉 전력 전달 시스템을 보여준다. 여기서 자기적으로 결합된 코일은 누설인덕턴스, 자화인덕턴스 및 권선비 a를 갖는 일반적인 변압기 모델로 대체되었다.

2.2 입력 및 출력 사양

표 1은 해석 대상인 비접촉 전력 전달 시스템의 입력과 출력 사양을 보여주며 여기서 출력 전압의 경우 컨버터 없이 단순히 정류만 하였을 때의 값으로 요구사양에 따라 승압형 혹은 강압형 컨버터를 설치하여 전압을 조절할 수 있다.

<표 1> 입력 및 출력 측 사양

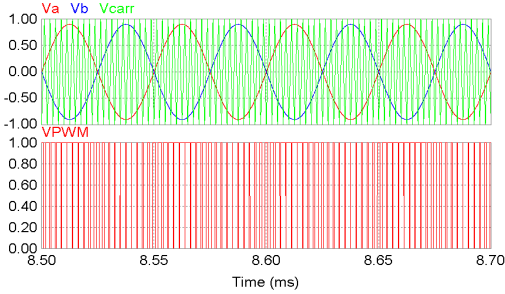
입력 측 인버터		출력 측 컨버터	
입력 전압	300 Vdc	출력 전압	60 Vdc
입력 주파수	20 kHz	출력 전력	1.5 kW

2.3 등가회로의 회로파라미터 도출

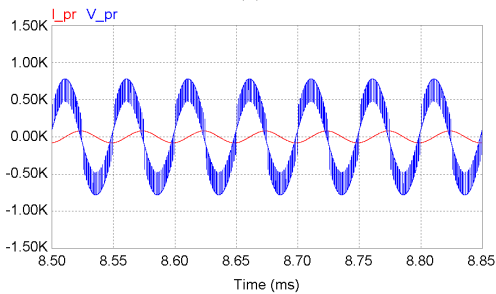
앞서 언급하였듯이 등가회로의 파라미터 즉, 1차측 및 2차측의 저항, 누설 및 자화인덕턴스, 턴수는 그림 3의 유한요소해석모델로부터 3차원 해석을 통해 얻어졌으며 이는 표 2에 나타나있다.

〈표 2〉 도출된 변압기 정수들

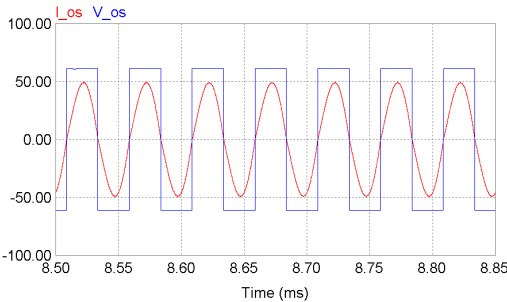
1차측 정수		2차측 정수	
저항	47.5mΩ	저항	20m
누설 인덕턴스	72uH	누설/자화 인덕턴스	1.2uH/25uH
턴 수	8	턴 수	12



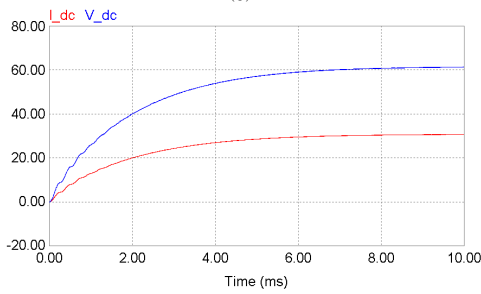
(a)



(b)



(c)

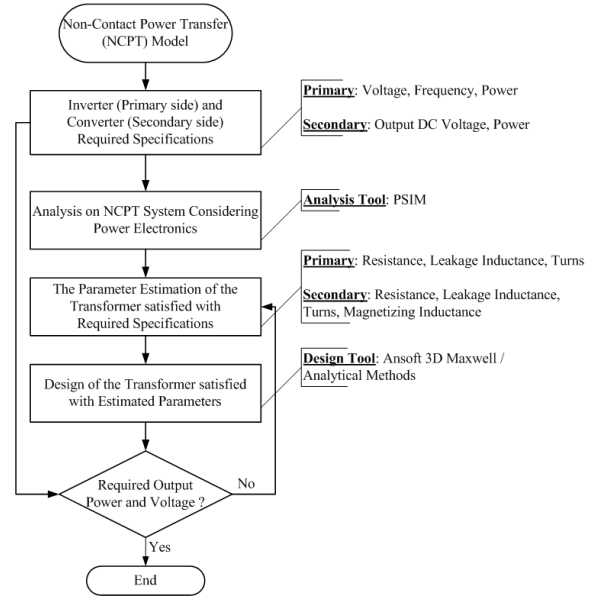


(d)

〈그림 4〉 등가회로의 시뮬레이션 각부 파형: (a) 스위칭 주파수, (b) 변압기 입력 전압, (c) 변압기 출력 전압 및 (d) 정류기 출력전압

2.4 시스템의 등가회로 해석

2.2절에서 유한요소해석에 의해 얻어진 표 2의 회로정수로부터 그림 2의 비접촉 전력전달시스템의 등가회로를 해석하면 그림 4의 등가회로에 대한 시뮬레이션 각 부 파형을 얻어낼 수 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 입력 PWM 기본과 주파수는 20kHz, 삼각과 주파수는 400kHz 이며 입력 직류전압은 300Vdc 이다. 그림 4에서 알 수 있듯이, 출력 전력은 정류기 앞 단이 약 2kW이고 정류기 출력단은 약 1.85kW로 해석 모델의 정격 사양에 부합함을 알 수 있다. 이로부터 유한요소해석 및 등가회로 해석에 의한 특성해석법의 타당성을 입증할 수 있다 [1][2]



〈그림 5〉 비접촉 전력전달시스템 설계를 위한 플로우차트

2.5 비접촉 전력 전달 장치의 설계

그림 5는 비접촉 전력 전달 시스템 설계를 위한 플로우차트를 보여준다. 그림 5에서 보여지는 바와 같이 논문에서 제시한 해석법을 사용하여 비접촉 전력 전달 장치의 설계를 할 수 있는데 먼저 인버터의 입력 사양과 컨버터의 출력 사양이 정해지면 이를 비접촉 전력전달 변압기와 결합하여 회로해석을 수행하고 정해진 입력에 대해 요구 출력이 나오도록 1차측 및 2차측 회로정수를 결정하게 된다. 결정된 회로정수는 2차측 변압기의 설계요구 사양이 되며 결정된 회로정수를 만족하는 변압기를 3차원 유한요소 해석방법을 이용하여 설계하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 litz 1차측 권선, 변압기 코어, 2차측 권선 그리고 공진형 컨버터를 갖는 비접촉 전력 전달 장치의 출력 특성 해석을 수행하였다. 3차원 유한요소해석법을 이용하여 회로정수를 도출하였고 도출된 회로 정수로 이 시스템을 등가회로로 모델링하였다. 본 논문에서 해석결과가 실제 해석모델의 출력요구사양과 일치함을 확인하였고 이로부터 본 논문에서 제시된 해석법의 타당성을 입증하였다. 현재 이 시스템의 연구는 공진형 컨버터의 개선과 더불어 그 연구가 활발히 진행되고 있다. 향후 이 해석법을 기반으로 변압기 코어의 형태 그리고 1차측, 2차측 권선의 위치에 따른 특성해석을 수행함으로써 그림 5에서 제시되었던 설계 플로우차트를 기반으로 좀더 나은 특성을 갖는 시스템 설계에 적용할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Myunghyo Ryu, Honnyong Cha, Yonghwan Park, Juwon Back, "Analysis of the contactless power transfer system using modelling and analysis of the contactless transformer," Industrial Electronics Society, pp. 7, Nov., 2005
- [2] Myunghyo Ryum, Yonghwan Park, Juwon Baek, Honnyong Cha, "Comparison and Analysis of the Contactless Power Transfer Systems Using the Parameters of the Contactless Transformer," Power Electronics Specialists Conference, pp. 1-6, June, 2006.
- [3] 노성찬, 김은호, "다중일차권선 비접촉변압기를 이용한 비접촉 전원 시스템의 공진주파수 추적에 관한 연구," 대한전기학회논문지, Vol. 55B, No. 3, pp. 182-188, 2006.
- [4] 공영수, 김은수, 이현관, "낮은 커플링 변압기를 갖는 비접촉 전원의 개선된 고효율 공진 컨버터," 대한전기학회논문지, Vol. 54B, No. 1, pp. 33-39, 2005.
- [5] 이현관, 공영수, 김은수, 조정규, "3레벨 LCLC 공진 컨버터를 적용한 비접촉 전원," 전력전자학술대회 논문집, pp. 102-105, 2005.
- [6] 황계호, 김동희, "비접촉 전원장치에 적용한 LCC형 고주파 공진 DC/DC 컨버터에 관한 연구," Journal of the Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Vol. 21, No. 6, pp. 55-64, 2007.