

엘리베이터 카 보조 전원을 위한 비접촉 전력전송 시스템

임응규*, 노성찬*, 김수홍*, 김지민*, 김윤호*, 김은수**
중앙대학교*, 전주대학교**

Contactless power system for the elevator's car auxiliary power

Eung-Kyo Lim, Sung-Chan Rho, Soo-Hong Kim, Ji-Min Kim, Yoon-Ho Kim, Eun-Soo Kim
CHUNG-ANG University Power-Electronics, Jeon-Ju University

ABSTRACT

엘리베이터는 산업의 발전과 각종 건물의 고도화와 더불어 발전하여 왔다. 엘리베이터는 사람 또는 화물을 수송할 수 있는 카를 전동기를 통하여 견인하는 방식으로, 이동하는 카 내부에 전등 부하를 비롯한 공조시설, 제어설비 등 다양한 부하들이 존재한다. 지금까지의 엘리베이터는 전선을 사용하여 움직이는 카에 전원을 공급하는 방식을 사용함으로써 부대설비가 복잡하여 지고 시공상에 어려움이 존재한다. 본 연구에서는 부대설비를 간소화하고 유지보수의 편리함을 제공하기 위하여 비접촉 전원장치를 이용한 이동하는 카에 전원을 공급하는 방식을 제안하고, 비접촉 전원장치에 사용되는 인버터와 변압기를 설계하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하였다.

1. 서론

엘리베이터는 이동하는 카에 사람 또는 화물을 탑승하고 이를 전동기를 사용하여 견인하는 운송장치이다. 엘리베이터는 견인 전동기에 로프를 연결하여 엘리베이터 카를 견인하는 방식을 주로 사용하고 있다. 또한 카 내부에는 조명설비, 공조설비, 제어장치 등이 존재하여 이동하는 카 내부에 안정된 전원의 공급이 필요하다. 지금까지는 엘리베이터 카 내부에 조명과 공조설비, 제어설비를 위하여 제어실에서 케이블을 이용하여 직접 전원을 공급하는 방식을 주로 사용하고 있다. 이러한 방식을 사용할 경우 이동하는 카에 전원 케이블과 제어케이블 등을 매달고 다니는 형태로 설비가 복잡하고, 이로 인한 고장발생이 우려된다. 따라서 엘리베이터 카에 사용되는 전원과 제어설비를 비접촉식 전원설비와 무선 제어방식을 사용할 필요가 있다.

본 논문에서는 이동하는 엘리베이터 카에 조명을 비롯한 각종 부대설비에 사용되는 전원을 비접촉 전원장치를 사용함으로써 엘리베이터의 시설을 단순화 시키고, 유지보수를 간소화를 이루고자 한다. 이를 위하여 비접촉 전원장치에 사용되는 고주파 공진형 인버터와 비접촉 변압기를 설계하고, 이를 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하고자 한다.

2. 비접촉 전원장치

2.1 고주파 공진형 인버터

비접촉 전원시스템이란 전력을 공급하는 유도결합의 원리를

사용하여 에너지를 전달하는 장치로 선형유도 변압기, 인버터 등으로 구성되어 있다. 선형유도 변압기는 공극에 의하여 1차측과 2차측이 기계적으로 분리되어 있으며, 수십에서 수백미터에 이르는 긴 1차권선과 그 일부를 2차권선이 결합하는 형태를 가지고 있다. 선형유도변압기의 1차측 권선은 일반적으로 코어를 사용하지 않는 공심으로 이루어져 있으며 에너지 전송효율을 증대시키기 위하여 고주파 인버터와 연결되어 있다. 비접촉 전원장치에 사용되는 인버터는 에너지 전력변환 효율을 증대시키기 위하여 공진형 인버터를 사용하였, 결합계수가 낮은 비접촉 변압기의 유효 에너지 전력전송효율을 증대시키기 위하여 공진 주파수와 스위칭 주파수가 동일하게 동작할 수 있도록 제어하였다. 따라서 이동하는 부하에 기계적으로 분리된 변압기를 통하여 전력을 전송함으로써 부하가 이동하면서 비접촉 변압기의 공극이나 결합계수의 변화로 인하여 공진 인덕턴스의 변화가 발생할 수 있다. 공진 주파수가 변화하면, 인버터는 영전류 스위칭을 할 수 없게 되어 에너지 변환효율이 낮아진다. 따라서 이러한 단점을 개선하기 위하여 공진 주파수 추척하여 제어함으로써 변화하는 공진 주파수에 따라 스위칭 주파수도 함께 변화시킴으로써 전력변환 효율을 극대화 하는 방안을 사용하였다.^[3] 또한 인버터의 직류 백크단을 Z-source 형태로 구성함으로써 인버터의 고조파 함유율을 감소시키고, 큰 공진전류로 인한 직류 전원의 불안정을 해소하는 방안을 사용하였다. 그림1은 비접촉 전원설비의 구성도이다.

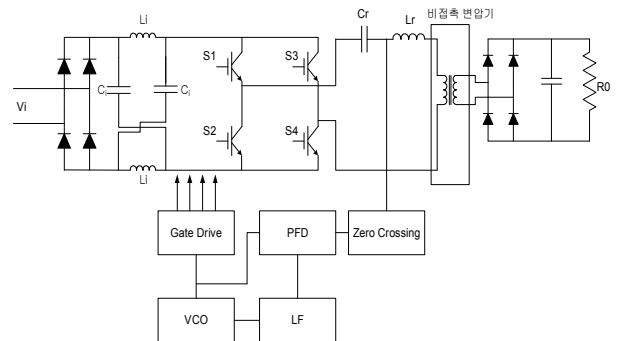


그림 1 비접촉 전력전송 시스템 구조
Fig. 1 Configuration of CLPS

2.2 비접촉 선형 변압기

비접촉 전원장치에 사용하는 비접촉 선형유도 변압기는 아래와 같은 특징을 갖는다.^[2]

- 큰 누설 인덕턴스를 갖는 1차 권선과 1차 권선의 일부에 이동하면서 결합하는 2차 권선을 갖는다.
- 선형유도 변압기에 사용하는 전원은 고주파전원을 일반적으로 사용함으로 표피효과를 가지고 있다.
- 1차 권선과 2차 권선은 분리가 가능하며, 공극에 의하여 분리되어 있다.
- 1차 권선과 2차 권선은 큰 공극으로 분리되어 있어 큰 자화전류를 필요로 한다.

엘리베이터에 사용하는 비접촉 변압기는 1차측에 고주파 전력을 공급하고 있어 1차 측에 코어를 사용할 경우 코어손실과 시공상의 경제적인 문제가 발생한다. 또한 공심코일을 설치할 경우 전력전송효율이 낮아지는 단점이 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 1차코일 아래에 2차 코어와 결합할 수 있는 성층 철심을 지지대 형태로 설치하여 자로 저항을 감소시키는 방법을 사용하였다. 그림2는 본 논문에서 제안하는 비접촉 변압기의 형태를 나타낸 것이다.

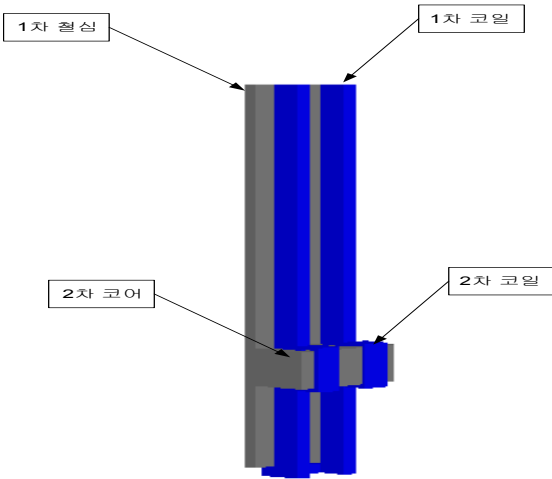


그림 2. 비접촉 변압기 구조
FIG. 2 Configuration of Contactless transformer

다음 식들은 하나의 1, 2차 변압기 등가모델의 파라미터를 나타내고 있다.

$$R_m = R_{mFe} + R_{mg} = \frac{l_{Fe}}{\mu_r \cdot A_{Fe}} + \frac{g}{\mu_0 \cdot A_g} \quad (1)$$

- R_m : 자기저항, R_{mFe} : 철심의 자기저항
- R_{mg} : 공극의 자기저항, l_{Fe} : 철심자로의 길이
- A_{Fe} : 철심자로의 단면적, g : 공극의 길이
- A_g : 공극의 단면적

$$L_{11} = \frac{N_1(\Phi_{L1} + \Phi_{m1})}{i_1} \quad (2)$$

$$L_{22} = \frac{N_2(\Phi_{L2} + \Phi_{m2})}{i_2} \quad (3)$$

$$L_{12} = \frac{N_1\Phi_{m2}}{i_2} \quad (4)$$

2.3 고주파 공진형 인버터

비접촉 전력전송장치에 사용되는 비접촉 변압기가 큰 공극을 가지므로 누설자속이 크고, 자화전류가 크므로 에너지 전달 효율이 낮아 이를 극복하기 위하여 비접촉 전원장치용 인버터는 고주파 공진형 인버터를 주로 사용한다[1]. 본 연구에서는 비접촉 변압기의 인덕턴스를 공진 인덕턴스로 하는 직렬공진형 인버터를 사용하였으며, 2차측이 이동하면서 변화하는 공진 인덕턴스를 추종하여 언제나 공진 주파수와 스위칭 주파수가 동일한 방법으로 제어되는 방안을 사용하였다. 또한 인버터의 직류 입력단을 Z-source 형태로 구성함으로 인버터의 고조파 함유율을 저감시키고 직류 입력전원의 안정화가 이루어 질 수 있도록 하였다. 반주기 동안의 인버터 동작을 나타내는 등가회로는 그림 3과 같다.

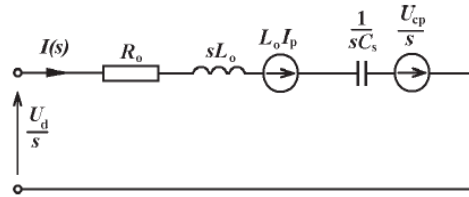


그림 3. 공진형 인버터 등가회로
FIG. 3. Equivalent Circuit of Resonant inverter

등가회로에서 공진 인덕턴스에 흐르는 전류의 초기값은 I_p 이고 공진커패시터의 초기전압은 $-U_{cp}$ 이다. 즉 $t = 0$ 에서 $i(0) = I_p$ 이고, $u_c(0) = -U_{cp}$ 이다.

인버터는 $R_0 < 2\sqrt{\frac{L_0}{C_s}}$ 의 조건하에서 감쇄진동이 발생한다. 따라서 부하에 흐르는 전류와 커패시터 양단전압은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$i(t) = e^{-\alpha t} \left[I_p \cos \omega_0 t + \left(\frac{U_d + U_{cp}}{\omega_0 L_0} - I_p \frac{\alpha_0}{\omega_0} \right) \sin \omega_0 t \right]$$

$$u_c(t) = U_d + -e^{-\alpha t} \left\{ (U_d + U_{cp}) \cos(\omega_0 t) + \left[(U_d + U_{cp}) \frac{\alpha_0}{\omega_0} - \frac{I_p}{\omega_0 C_s} \right] \sin(\omega_0 t) \right\} \quad (5)$$

여기서 $\alpha_0 = \frac{R_0}{2L_0}$ 이고, $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_s} - \alpha_0^2}$ 이다.

2.4 시뮬레이션 결과

그림4는 맥스웰을 이용하여 제안된 비접촉 변압기의 자속밀도를 시뮬레이션한 결과를 보여준다. 시뮬레이션 조건은 1차 코일에 50[A]의 전류를 흐르게 하였으면 2차 코일에는 전류를 인가하지 않았다. 시뮬레이션 결과 1차 코어나 2차 코어는 자기포화가 발생하지 않았으며, 2차에 철판을 배치하지 않은 변압기에 비하여 높은 전력전송 효율을 보였다. 시뮬레이션 결과 비접촉 변압기 1차권선과 2차 권선의 결합계수는 0.33으로 나타났다. 또 권선의 Turn수를 1차권선은 10회, 2차권선은 20회로 하였을 때 자기 인덕턴스는 35[μH], 상호인덕턴스는 22[μH]인 것으로 나타났다.

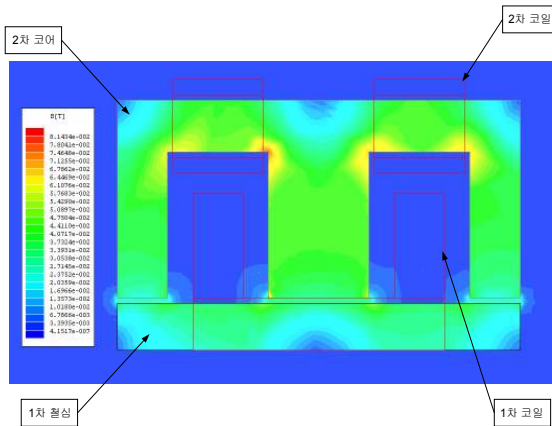
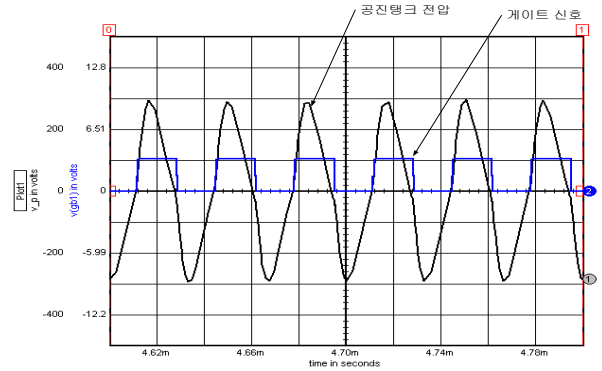


그림 4. 비접촉 시뮬레이션
Fig. 4 Simulation of Contactless transformer



(b) 공진탱크 단자전압과 게이트 신호
(b) Resonant tank Voltage and gate signal
그림 6. 비접촉 전력전송 시스템 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result of CLPS

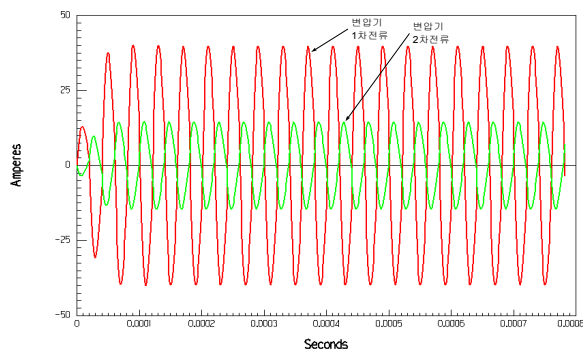


그림 5. 비접촉 변압기전류
Fig. 5 Current of Contactless transformer

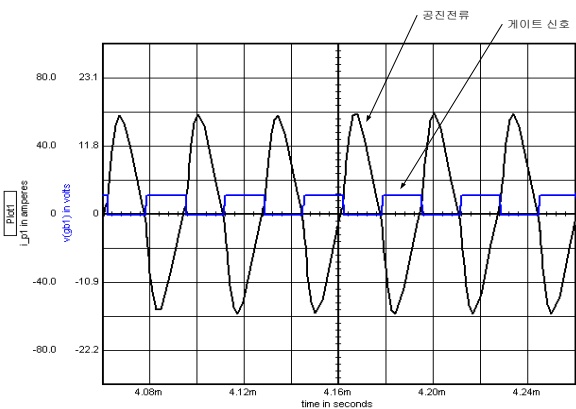
3. 결론

본 논문은 엘리베이터 카 보조전원을 위한 비접촉 전력전송 시스템에 관하여 시스템을 설계하고 시뮬레이션을 시행한 결과를 나타낸 것이다. 비접촉 변압기의 전력전송 효율을 향상시키기 위하여 비접촉 변압기의 1차측에 철심코어를 설치하여 변압기의 자기저항을 감소시키기 위한 방법을 사용하였다. 1차 권선은 공심코어를 이용하여 자속을 발생하고, 이 자속을 2차 코어가 결합할 때 결합효율을 증대시키기 위하여 1차권선의 아래에 철심을 설치하여 자기저항을 감소시키는 방법을 사용하였다. 또한 이동부하에 대하여 전력을 전송하는 시스템으로 공진 파라미터가 변화하는것에 대하여 이를 추적하고 언제나 영전압, 영전류 스위칭이 이루어지도록 인버터를 제어하였다. 이와 같이 설계하여 맥스웰과 ICAP4를 사용하여 시뮬레이션한 결과 공진주파수 29.8[kHz]에서 비접촉 변압기 1차측 공진전류가 36.5[A]이고 비접촉 변압기 2차측 부하전류는 14.5[A]의 전류가 흐름을 알 수 있었다. 또한 전력전송효율은 약 52[%]로 나타났다.

이 논문은 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2005-000-11173-0) 지원으로 수행되었음.

그림 5는 비접촉 변압기의 1차 및 2차측전류파형을 보여주고 있다. 그림 6은 제안된 비접촉 전력전송시스템의 시뮬레이션 결과 파형을 보여준다. 앞에서 언급된 변압기의 조건을 이용하여 부하저항 10[Ω]에 연결하여 ICAP4로 시뮬레이션한 결과 공진전류는 약 순시값 50[A]의 공진 전류가 공진 탱크에 흐르고, 공진 주파수를 추적하여 언제나 영전압, 영전류 스위칭이 이루어 짐을 확인하였다.

참고 문헌



(a) 공진전류와 게이트 신호
(a) Resonant current and gate signal

[1] Yoshiji Hiraga, "Decentralized control of machines with the use of inductive transmission of power and signal", Industry Applications Society Annual Meeting, 1994., Conference Record of the 1994 IEEE, 2-6 Oct. 1994 Page(s):875 - 881 vol.2
[2] Yong Xiang Xu, "Modeling and Controller Design of ICPT pick-ups", Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 3, 13-17 Oct. 2002 Page(s):1602 - 1606 vol.3
[3] 노성찬, 김윤호, "다중일차권선 비접촉 변압기를 이용한 비접촉 전원시스템의 공진주파수 추적에 관한 연구" Trans. KIEE. Vol. 55B. No. 3