

비접촉 변압기의 모델링에 관한 연구

류명효, 차헌녕, 백주원, 유동욱
한국전기연구원

Research on the Modeling of Non-contact Transformer

Myunghyo Ryu, Honnyong Cha, Juwon Baek, Dongwook Yoo
Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

In this paper, the electrical characteristics of the non-contact transformer is presented using conventional coupled inductor theory. In high power applications, the non-contact transformer is so bulky and heavy that it poses some maintenance problems. Therefore it should be divided into some light transformer modules. This paper shows the analytic method of how to measure the parameters of the multiple connected non-contact transformer. The analytical results are verified through measurement.

1. 서 론

비접촉 전력변환 장치(CPTS)는 반도체 라인의 자동 이송장치나 의료기기등 여러 산업용 분야에서 많이 사용되고 있다. 일반적인 비접촉 전력변환 장치는 긴 전력 케이블을 끌고 다니므로 이로 인해 미세한 먼지를 많이 발생시켜 반도체 생산라인에 적용하는 데는 한계가 있다. 반면 비접촉 전력변환 방식은 에너지 전달요소로서 변압기를 이용하여 전기적인 에너지를 자기적인 에너지로 변환시킨다. 이러한 비접촉 방식은 미세먼지의 수를 현격히 줄일 수 있으므로 반도체나 LCD, PDP 생산라인에는 필수적이라 할 수 있다.[1] 그림 1은 긴 1차측 라인트랙을 가진 비접촉 변압기를 나타내었다. 1차측 라인 트랙위에 변압기의 코어가 올려져있고 이 코어가 이동을 하면서 부하에 전력을 공급한다. 2차측 권선은 각각의 변압기 모듈에 감겨져 있다. 비접촉 변압기의 경우 작은 I차 코어 여러 개를 조합을 해서 1차측 트랙에 맞는 E형 코어를 만든다. 이 경우 많은 전력을 공급하기 위해서는 이전보다 더 많은 코어가 필요하므로 변압기의 크기가 커지게 된다. 그러나 변압기의 사이즈가 너무 커지게 되면 실제 장비 제작이나 수리 시 운반상의 어려움이

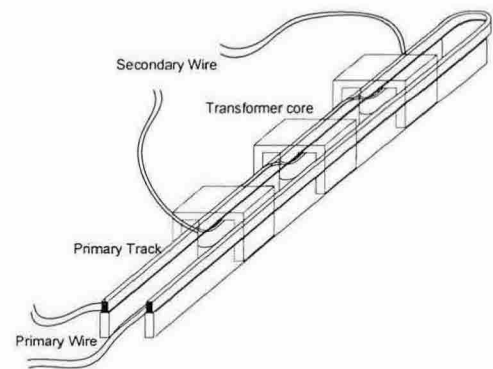


그림 1. 비접촉 변압기

있기 때문에 변압기를 여러 개의 모듈로 나누어서 각각의 모듈의 무게를 줄여야 한다.

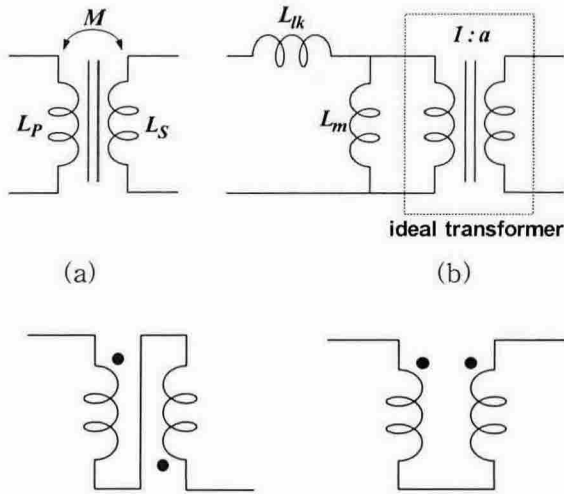
본 논문에서는 이러한 비접촉 변압기를 직렬 또는 병렬연결 한 경우 전체 변압기의 누설 인덕턴스, 자화 인덕턴스, 그리고 변압기의 권선비를 측정하는 방법과 이러한 파라미터들이 변압기의 모듈 수에 따라 어떻게 변하는지를 이론적인 결과와 실험결과를 비교하여 본 논문의 타당성을 검증한다.

2. 비접촉 변압기의 해석

2.1 변압기 모델링

그림 2(a)에 자기적으로 결합된 변압기를 나타내었다. L_p , L_s 는 1차와 2차에서 각각 측정된 자기 인덕턴스(self inductance)이다. 변압기의 상호 인덕턴스(mutual inductance) M 은 그림 (c)와 (d)의 결선 방식과 식 (1)로 부터 구할 수 있다.[2][3] 그림 2(b)는 그림 2(a)를 일반적인 변압기 등가모델로 변환한 그림이다. 변압기의 결합계수(k), 누설 인덕턴스(L_{lk}), 자화 인덕턴스(L_m)는 식 (2)~(4)와 같다. 변압기의 권선비 "a"는 식 (5)로 부터 구할 수 있으며 결합계수가 감소할수록 이 값은 실제 변압기의

권선비와는 달라진다. 비접촉 변압기의 경우 그림 1에서 보듯이 구조상 변압기의 공극이 일반 변압기에 비해 아주 크므로 변압기의 누설 인덕턴스(L_{lk})가 크고, 자화 인덕턴스(L_m)가 작아서 변압기의 결합계수(k)가 아주 작다.



(c) 직렬 연결(L_{ser}) (d) 병렬 연결(L_{par})
그림 2. 변압기 등가회로 모델

$$M = \frac{L_{ser} - L_{par}}{4} \quad (1)$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (2)$$

$$L_{lk} = L_p (1 - k^2) \quad (3)$$

$$L_m = k^2 L_p \quad (4)$$

$$a = \frac{L_s}{M} \quad (5)$$

2.2 비접촉 변압기 파라미터 측정 방법

그림 3은 비접촉 변압기 파라미터 측정을 위한 회로도이다. 비접촉 변압기의 경우 일반적인 변압기와는 달리 1차측 권선의 길이가 아주 길기 때문에 코어 없이도 1차측 권선 인덕턴스(winding inductance) 값이 아주 크다.

그림 3의 T_{out} 은 권선 인덕턴스(L_{wp} , L_{ws})를 포함한 변압기를 나타내었으며, T_{in} 은 L_{wp} , L_{ws} 를 제외한 변압기를 나타내었다. L_1 , L_2 는 코어를 1차 트랙에 올린 상태에서 권선 인덕턴스를 포함한 1, 2차 자기 인덕턴스(self inductance) 값이다. 그림 3으로부터 T_{in} 의 자기 인덕턴스값(L_p , L_s)은 식 (6), (7)과 같다.

$$L_p = L_1 - L_{wp} \quad (6)$$

$$L_s = L_2 - L_{ws} \quad (7)$$

M_{in} 은 T_{in} 변압기의 상호 인덕턴스이고, M_{out} 은 L_{wp} ,

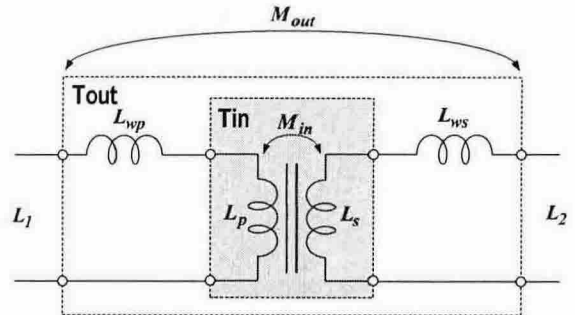


그림 3. 권선 인덕턴스를 포함한 비접촉 변압기

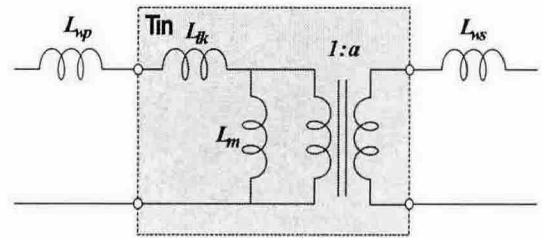


그림 4. 비접촉 변압기 등가회로 모델

L_{ws} 를 포함한 상태에서 측정된 상호 인덕턴스 값이다. M_{in} , M_{out} 은 식 (8), (9)와 같다. 식 (9)에서 보듯이 M_{in} 은 M_{out} 과 동일하므로 식 (6), (7), (8)의 결과로부터 T_{in} 변압기의 파라미터들을 측정할 수 있다.

$$M_{in} = \frac{L_{ser} - L_{par}}{4} \quad (8)$$

$$M_{out} = \frac{(L_{wp} + L_{ser} + L_{ws}) - (L_{wp} + L_{par} + L_{ws})}{4} \quad (9)$$

$$= M_{in}$$

그림 4는 그림 3의 T_{in} 을 그림 2의 변압기 등가모델로 변환한 그림이다. L_{lk} , L_m 은 T_{in} 의 누설 인덕턴스와 자화 인덕턴스를 나타내고, a 는 T_{in} 의 권선비를 나타낸다.

2.3 비접촉 변압기 직렬, 병렬 연결

표 1은 두개의 변압기 모듈을 직렬 연결과 병렬 연결한 경우 변압기 파라미터와 모듈수와의 상관관계를 유도하여 나타내었다. 부하저항(R_L)은 등가 AC저항(R_{ac})으로 나타내었다.[4] 표 1에서 보듯이 변압기의 모듈수가 증가할수록 전체 변압기의 누설 인덕턴스(L_{lk})와 자화 인덕턴스(L_m)는 모듈 수에 비례해서 증가한다. 그러나 변압기의 전체 권선비는 직렬 연결시는 하나의 모듈일때와 동일한 반면 병렬 연결시는 $\frac{a}{N}$ 가 된다. 여기서 N 는 변압기의 모듈수를 나타낸다.

표 1. 변압기 직렬 연결과 병렬 연결

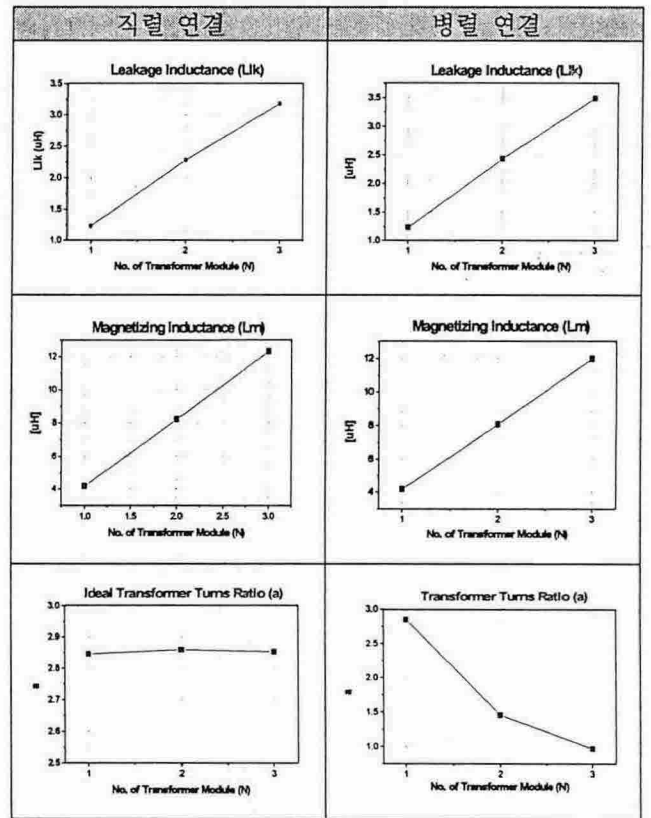
직렬 연결	병렬 연결
$L'_{lk} = 2L_{lk}$ $L'_m = 2L_m$ $a' = a$	$L'_{lk} = 2L_{lk}$ $L'_m = 2L_m$ $a' = \frac{a}{2}$
N개 모듈 직렬 연결시 $L'_{lk} = NL_{lk}$ $L'_m = NL_m$ $a' = a$	N개 모듈 병렬 연결시 $L'_{lk} = NL_{lk}$ $L'_m = NL_m$ $a' = \frac{a}{N}$

표 2는 변압기의 권선 인덕턴스(L_{wp} , L_{ws})를 제외한 상태에서 모듈수의 증가에 따른 비접촉 변압기 파라미터 변화를 앞에서 설명한 수식을 이용하여 측정된 결과이다.

표 2에서 보듯이 실제 측정된 변압기의 누설 인덕턴스, 자화 인덕턴스, 변압기의 권선비가 표 1에서 유도한 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

결국 비접촉 변압기의 한 모듈의 파라미터 값을 구하고 나면 나머지 직렬 또는 병렬 연결된 변압기의 전체 파라미터 값들은 표 1에 나타난 결과를 이용하면 실제 측정을 하지 않고도 그 값을 예측할 수 있다.

표 1. 측정된 비접촉 변압기 파라미터 값



3. 결론

본 논문에서는 비접촉 전력전송장치(CPTS)를 위한 비접촉 변압기의 모델링을 이용하여 여러개의 직렬 또는 병렬 연결된 변압기들의 모듈수의 변화에 따른 변압기의 파라미터의 변화를 이론과 측정을 통해 검증하였다. 이 결과를 이용해 실제 하드웨어 설계시 변압기의 누설 인덕턴스와 자화 인덕턴스 그리고 변압기의 권선비를 예측할 수 있다. 본 논문에서 예측한 결과를 바탕으로 실제 장비 설계시의 가이드 라인을 제시할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 공영수, 김은수, 이현관, "낮은 커플링 변압기를 갖는 비접촉 전원의 개선된 고효율 공진 컨버터," Trans. KIEE, Vol. 54B, No. 1, Jan, 2005
- [2] Byungcho Choi, Jaehyun Noh, Honnyong Cha, Taeyoung Ahn and Seungwon Choi, "Design and Implementation of Low-profile Contactless Battery Charger Using Planar Printed Circuit Board Windings as Energy Transfer Device," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 51, no. 1, Feb. 2004, pp. 7-10.
- [3] G. B. Joung, and B. H. Cho, "An Energy Transmission System for an Artificial Heart Using Leakage Inductance Compensation of Transcutaneous Transformer", in *IEEE Trans, PE*, Vol. 13, 1998
- [4] Robert L. Steigerwald, "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter" *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 3, pp. 174-182, Apr. 1988.