

결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광용 컨버터의 성능개선에 관한 연구

김혜리^{***}, 차대석^{*}, 김수용^{*}, 박성준^{**}
전자부품연구원^{*}, 전남대학교^{**}

A Study on Performance Improvement of Wind turbine/Photovoltaic Converter Using A Coupled Inductor

Hye Ri Kim^{***}, Dae Seak Cha^{*}, Su Yong Kim^{*}, Sung Jun Park^{**}
KETI^{*}, Chonnam University^{**}

ABSTRACT

본 논문에서는 결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광용 컨버터를 제안한다. 입력의 전류리플을 최대치로 감소할 수 있도록 최적화된 결합계수를 선정하였고 인덕터의 결합계수를 조절하기 위한 코어의 구조뿐만 아니라 공극의 길이, 턴 수를 조절하여 결합 인덕터의 설계와 제작을 수행하였다. 본 논문의 풍력과 태양광용 컨버터에 있어서 각각의 인덕터 2개를 적용하는 것과 단일의 결합 인덕터를 적용 하는 것에 대해 비교검증의 실험을 수행하였다. 또한 결합계수의 변화에 따라 입력 전류의 리플이 최소화되는 값을 실험을 통해 확인하고 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

지구온난화 이슈로 인해 전세계는 대체에너지를 통한 에너지 지원 확보에 총력을 기울이고 있다. 풍력 및 태양광 에너지는 수요가 가장 높으며 서로 상반되는 기상 특성을 상호보완적으로 활용할 수 있다. 신재생 에너지를 이용한 복합발전시스템에서 중요한 것은 에너지 발생원에 대한 고효율 및 저가격화의 전력변환회로이며 다양한 토폴로지 연구가 진행되고 있다. 이중 인터리브 방식의 위상차 발생으로 전류 간 상쇄효과에 기인하여 전류 리플크기를 줄일 수 있다. 하지만 각각의 에너지원에 대해 별도의 컨버터를 구성해야 하며 복합발전시스템에서 큰 부피와 무게를 차지하는 인덕터, 커패시터인 수동소자에 의해 가격도 증가하게 되고 입력리플전류의 영향으로 효율을 저감시키게 된다^[1].

본 논문에서는 자기적 성질을 이용하여 공극과 턴 수를 고려한 인덕터를 설계함으로써 크기를 줄이고 입력 리플전류를 줄일 수 있는 적절한 결합계수를 선정하여 결합 인덕터를 제작할 수 있으며 풍력/태양광용 컨버터에 적용하여 실험 및 분석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광용 컨버터

그림 1은 본 논문에서 결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광용 컨버터의 회로 및 주요 동작파형이다. 스위치 S_1 과 S_2 의 180° 위상차로 입출력 전류의 리플을 저감할 수 있다. 결합 인덕터의 경우 감극성으로 연결하여 회로를 구성한다.

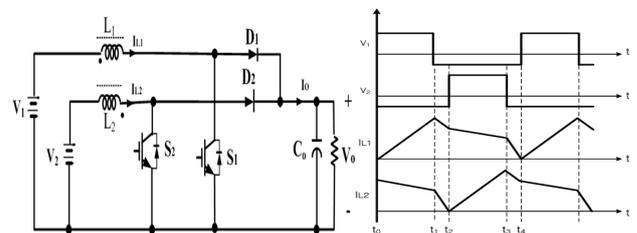
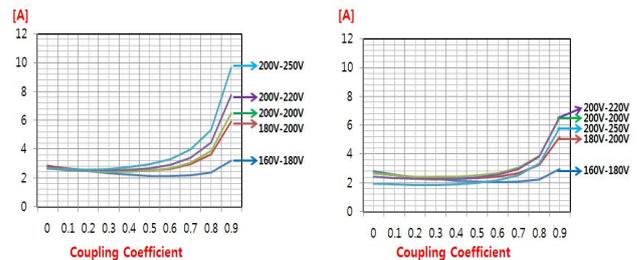


그림 1 결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광용 컨버터 회로 및 주요 동작파형

Fig. 1 Circuit and theoretical waveforms of Wind turbine/Photovoltaic converter using coupled inductor

2.2 결합계수와 입력 리플전류와의 관계

그림 2는 V_1 과 V_2 의 값이 변동함에 따라 결합계수 k 를 0에서 0.9까지 변화시켜 인덕터에 흐르는 리플전류 Δi_1 , Δi_2 의 변화량을 보여주고 있다. (a)와 (b)의 파형을 확인하여 결합계수 k 가 0일 때의 리플 전류보다 적은, 최적의 결합계수로 0.3을 선정하였다.



(a) L_1 의 리플전류 Δi_1 (b) L_2 의 리플전류 Δi_2

그림 2 입력 리플전류와 결합 계수와의 관계

Fig. 2 Relation between the input current ripple and the coupling coefficient k

2.3 결합 인덕터 설계

일반적으로 결합계수 k 를 낮추기 위해 outer leg에 공극을 주는데 이러한 구조는 공극을 동일하게 제작하는 것의 어려움과 비용문제가 있으며 코어의 재사용에 대한 용이성이 낮아진다. 입력 리플전류를 감소시킬 수 있는 방법으로 결합계수 조절뿐만 아니라 극성을 조절하는 방법이 있다. 감극성으로 연결하여 전계 전류의 변화율이 기존의 일반 인덕터를 사용하였을 때의 전류 변화율보다 작게 하여 리플전류가 줄어들게 한다.

그림 3은 제안하는 결합 인덕터의 코어 구조와 자속 이동 경로를 나타내고 있다.

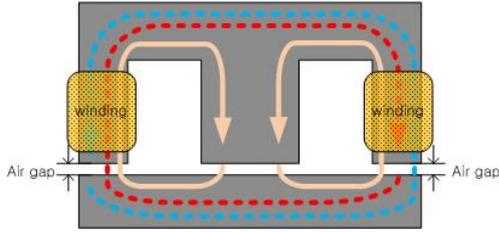


그림 3 결합 인덕터의 코어 구조와 자속 이동 경로
Fig. 3 Core structure and flux path of the coupled inductor

가장 이상적으로 단면적이 분포하여 손실이 적고 보빈과 쉽게 결합할 수 있는 페라이트 재질을 사용하였으며 코어의 크기를 결정하기 위한 Area Product(A_p)의 접근법인 식 (1)을 사용하여 페라이트 코어 E118을 선정하였다.

$$A_p = \frac{L L_L^2}{B_m J K_u} \cdot 10^4 \text{ [cm}^4\text{]} \quad (1)$$

인덕턴스 $L_1 = L_2 = L$, outer leg의 자화 릴럭턴스 $R_1 = R_2 = R$, outer leg에 감은 턴 수 $N_1 = N_2 = N$ 이라고 가정하고 제안하는 결합 인덕터의 릴럭턴스 등가 모델 해석을 통하여 식 (2)~(5)를 얻을 수 있다. 코어에 감은 턴 수와 공극의 길이를 변화시켜 최적의 결합 계수 k 를 0.3으로 갖는 결합 인덕터를 설계할 수 있다.

$$L = \frac{N^2 \cdot (R + R_c)}{R \cdot (R + 2 \cdot R_c)} \quad (2)$$

$$k = \frac{R_c}{R + R_c} \quad (3)$$

$$R = \frac{l_o - l_g}{\mu_r \cdot \mu_o \cdot A_o} + \frac{l_g}{\mu_o \cdot A_g} \quad (4)$$

$$R_c = \frac{l_c - l_g}{\mu_r \cdot \mu_o \cdot A_c} + \frac{l_g}{\mu_o \cdot A_g} \quad (5)$$

표 1은 제안하는 코어 구조의 파라미터 값을 나타내고 있으며 이 파라미터 값을 위의 식에 대입하면 $k=0.3$, $N=40.5$ [turn], $l_g=0.22$ [mm]의 설계 값을 가지며, 실제 제작한 결합 인덕터는 $k=0.29$, $N=43$ [turn], $l_g=0.22$ [mm]의 값을 가진다.

표 1 제안하는 코어 구조의 파라미터
Table 1 Parameter of proposed core structure

Material of core		Ferrite	
Inductance	L	2.8	[mH]
Magnetic path length of outer leg	Io	15.222	[cm]
Magnetic path length of center leg	Ic	10.422	[cm]
Relative permeability	μ_r	1284	
Space permeability	μ_o	$4\pi \cdot 10^{-7}$	
Cross sectional area of outer leg	Ao	6.13	[cm ²]
Cross sectional area of center leg	Ac	12.27	[cm ²]

3. 실험 결과

본 논문의 실험을 위해 결합 인덕터 및 풍력/태양광용 컨버터를 제작하였고, 표2와 같은 조건으로 실험을 수행하였다.

표 2 실험 조건

Table 2 Experimental parameter

항 목	사 양	단 위
Input voltage (풍력)	V_1	200 [V]
Input voltage (태양광)	V_2	250 [V]
Output voltage	V_o	320 [V]
Switching frequency	f_s	10 [kHz]
Output power	P_o	1000 [W]

그림 4는 표2의 실험조건에 따라 시험한 결과 파형으로서 각각의 인덕터 2개를 적용했을 때의 입력 리플전류는 $\Delta i_1=2.96$ [A], $\Delta i_2=1.68$ [A]을 가지며, 결합계수가 0.3인 결합 인덕터를 사용하였을 경우 입력 리플전류는 $\Delta i_1=2.72$ [A], $\Delta i_2=1.52$ [A]을 가진다. 결과적으로 결합 인덕터 방식이 기존 인덕터 방식보다 리플전류가 0.16~0.24[A]정도 감소함을 확인 하였다. 그림 5는 제작한 풍력/태양광용 컨버터 시험환경이다.

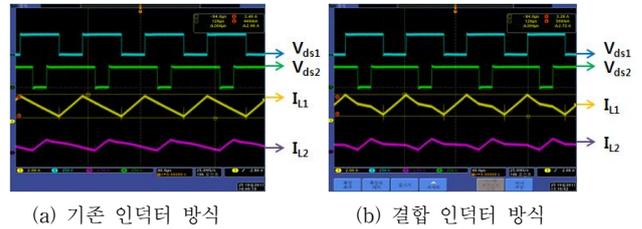


그림 4 결합방식에 따른 전압 전류 파형

Fig. 4 Voltage and current waveforms according to coupling scheme



그림 5 결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광용 컨버터 시험환경
Fig. 5 Test environment of wind turbine/photovoltaic converter using a coupled inductor

4. 결론

본 논문에서는 기존 별도로 제작된 두 개의 인덕터를 사용한 풍력/태양광용 컨버터의 부피와 단가를 줄이기 위해서 하나로 통합된 결합 인덕터를 설계하고 제작하였으며, 실제 파워보드에 적용하여 실험을 수행하였다. 실험 결과 기존 인덕터보다 최적화된 결합계수 0.3인 결합 인덕터를 적용한 방식의 입력 리플전류가 8~10[%]가 줄어들음을 확인하였다. 향후 결합인덕터의 열적 및 기구적 최적화와 컨버터의 동특성 관련된 부분에 대해서 추가적인 연구를 수행할 예정이다.

본 논문은 “이종 전기차 스마트 충전시스템 및 하이브리드 일체형 전력 모듈 개발” 과제 지원으로 연구되었음

참고 문헌

[1] Jong Pil Lee, “Analysis and Design of Coupled Inductors for Two Phase Interleaved DC DC Converters” Journal of Power Electronics, Vol. 13, No. 3, pp. 339-348 May 2013