

결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광 하이브리드 일체형 컨버터에 관한 연구

김혜리^{1,2}, 오광교¹, 차대석¹, 박성준²
 전자부품연구원¹, 전남대학교²

A Study on Wind turbine/Photovoltaic Hybrid Converter Using A Coupled Inductor

Hye Ri Kim, Sung Jun Park
 KETI, Chonnam University

ABSTRACT

최근 화석에너지의 고갈과 환경문제, 그리고 원유가 폭등 등의 이유로 신재생에너지의 혁신적인 기술과 보급이 시급하다. 태양광 및 풍력에너지는 무한정 청정에너지로서 세계적으로 많은 연구개발이 진행되고 있다. 풍력 및 태양광을 같이 병행해 사용하면 기상조건에 대한 상호보완적인 효과를 볼 수 있지만 인덕터가 차지하는 공간이 늘어나 컨버터의 부피가 커지고 비용이 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서는 인덕터 두 개를 하나의 결합 인덕터로 사용한 풍력/태양광 하이브리드 일체형 컨버터를 제안하고, 최적의 결합계수를 선정하여 입력 전류리플의 저감을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

최근에 환경오염 물질 배출의 최소화를 위해 대체에너지의 개발·보급 확대를 추진하고 있다. 풍력 및 태양광 에너지는 보급 증가율이 가장 높은 에너지원이며, 풍력 및 태양광의 하이브리드 시스템은 각각 단독 운전 시와 비교하여 기상변화, 급격한 전압변동에 대해 상호보완적인 효과를 가지고 있다^[1].

하지만 각각의 에너지원에 대해 별도의 컨버터를 구성하면 인덕터로 인해 부피가 커지고 가격이 증가하게 되는데, 결합 인덕터 방식을 사용하여 일체형 컨버터를 구성하게 되면 인덕터의 크기도 줄이고, 입출력 전류리플도 감소하게 되어 출력커패시터의 용량도 감소하게 된다^[2]. 더불어 컨버터에 인터리브드 방식을 적용하게 되면 정상상태 전류리플 감소와 코어 손실, 스위칭 손실을 줄일 수 있다.^[3] 또한 하나의 디지털 제어기로 출력을 제어할 수 있어 시스템의 구조가 간단해져 전력변환기의 소형 및 경량화가 가능하게 된다.

본 논문에서는 결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광 하이브리드 일체형 컨버터를 제안하고 인터리브드 방식을 적용하여 제어한다. 풍력 및 태양광 하이브리드 시스템은 서로 다른 전압이 순서적으로 출력되기 때문에 결합인덕터의 결합계수를 선정하는데 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 전압변동에 따른 결합 인덕터의 최적의 결합계수를 선정하여 이로 인해 기존 방식보다 결합 인덕터 방식의 입력 전류리플이 감소함을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

2. 풍력/태양광 하이브리드 일체형 컨버터

2.1 결합 인덕터를 이용한 일체형 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안하는 결합 인덕터를 사용한 풍력/태양광 하이브리드 일체형 컨버터의 회로도이다. 각각의 풍력용 컨버터와 태양광용 컨버터에 결합 인덕터 하나를 사용하여 기존의 시스템에서 인덕터가 차지하는 공간을 줄이고, 입력전류 리플을 감소시킬 수 있다는 장점을 가진다. 그림 1에서 결합 인덕터는 감극성으로 연결되어 있으며, 스위치 S_1 과 S_2 는 180° 위상차를 가지도록 제어를 한다.

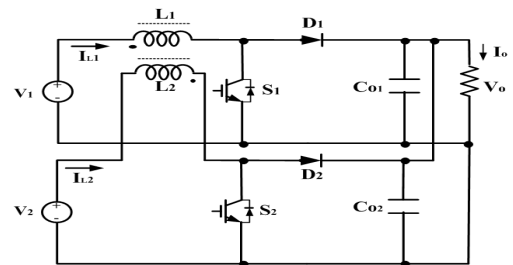


그림 1 풍력/태양광 하이브리드 일체형 컨버터
 Fig. 1 A Wind turbine/Photovoltaic Hybrid Converter

2.2 스위칭 구간에 따른 시스템 해석

결합 인덕터의 자기 인덕턴스는 각각 L_1 과 L_2 이고 상호 인덕턴스는 M 이다. 그림 2에서는 $M1$, $M2$, $M3$, $M4$ 의 스위칭 구간을 나타내며, $M1$ 구간(S_1 ON, S_2 OFF)에 따른 컨버터의 동작모드는 식 (1)과 같이 정리할 수 있다.

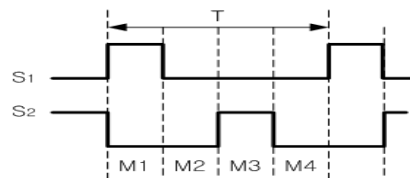


그림 2 스위칭 파형
 Fig. 2 Switching waveform

$$\begin{aligned} V_1 &= L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ V_2 &= L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} + V_0 \end{aligned} \quad (1)$$

2.3 최적의 결합계수 선정

입력 전류 I_{L1} 과 I_{L2} 는 M1과 M3구간에서만 증가하는 것을 알 수 있으며, 입력 전류 리플 값은 다음 식 (2)와 같이 정리할 수 있다.

$$\Delta i_1 = \frac{L_2 V_1 - M(V_O - V_2)}{L_1 L_2 - M^2} D_1 T \quad (2)$$

$$\Delta i_2 = \frac{L_1 V_2 - M(V_O - V_1)}{L_1 L_2 - M^2} D_2 T$$

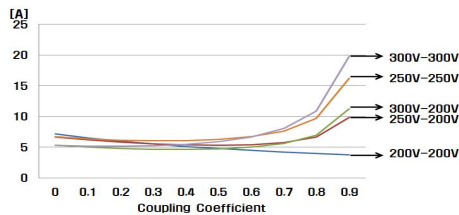
단, $M = k\sqrt{L_1 L_2}$ k : 결합계수

인덕턴스 $L_1 = L_2 = L$ 이고 $M = kL$ 라고 가정을 하면, 다음의 식 (3)과 같다.

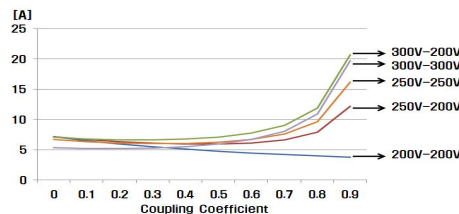
$$\Delta i_1 = \frac{1 - \frac{D_1}{1 - D_1} k}{L(1 - k^2)} V_1 D_1 T \quad (3)$$

$$\Delta i_2 = \frac{1 - \frac{D_2}{1 - D_2} k}{L(1 - k^2)} V_2 D_2 T$$

위의 수식을 통해 입력전류 리플 값은 V_1 , V_2 전압뿐만 아니라 결합계수 k 값에 따라 변하게 됨을 알 수 있다.



(a) L1에 따른 전류리플



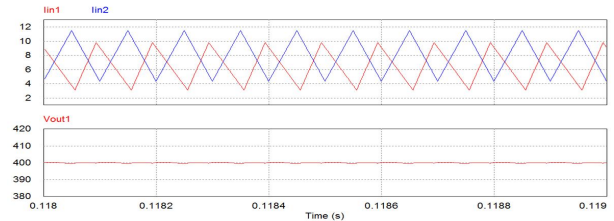
(b) L2에 따른 전류리플

그림 3 전류 리플과 결합 계수와의 관계
Fig. 3 Relation between the input current tripple and the coupling coefficient k

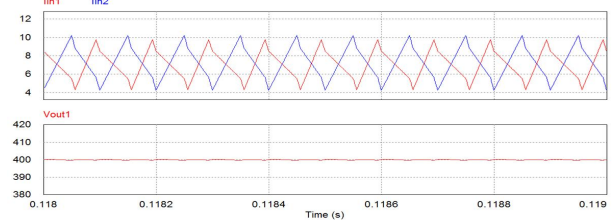
전류리플과 결합계수는 그림 3과 같은 관계를 가지고 있다. V_1 과 V_2 의 값이 변동함에 따라 결합계수를 0.1에서 0.9까지 변화시켜 보았다. (a)와 (b)의 파형을 참고하여 전류 리플이 적은 최적의 결합계수를 0.4로 선정하였다.

3. 시뮬레이션

그림 4는 비 결합 인덕터와 결합 인덕터를 사용 했을 경우에 따른 시뮬레이션을 나타내며 본 논문에서 제안한 방식을 통하여 기존의 방식보다 전류 리플이 1.2A~1.27A로 정도 감소된 것을 확인하였다. 태양광 및 풍력의 전압 범위에 따라 변화하기 때문에 입력 전압이 순시적으로 변화하게 된다. 표1은 다양한 전압 범위에서 전류 리플을 비교한 값이다.



(a) 결합계수가 0인 경우



(b) 결합계수가 0.4인 경우

그림 4 비결합 및 결합인덕터 방식의 인덕터 전류 및 출력전압
Fig. 4 Inductor current and output voltage between non-coupled inductor and coupled inductor

표 1 입력 전압 변화에 따른 전류 리플 비교
Table 1 Comparison of inductor current ripple according to input voltage change

| V_1 V_2 [V] | 기존 방식 | | 제안 방식 | |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Δi_1 [A] | Δi_2 [A] | Δi_1 [A] | Δi_2 [A] |
| 200 200 | 7.14 | 7.14 | 5.1 | 5.1 |
| 250 200 | 6.7 | 7.15 | 5.42 | 5.95 |
| 300 200 | 5.37 | 7.15 | 4.67 | 6.8 |
| 250 250 | 6.7 | 6.7 | 6.05 | 6.05 |
| 300 300 | 5.36 | 5.36 | 5.29 | 5.29 |

4. 결론

본 논문에서는 결합 인덕터를 이용한 풍력/태양광 하이브리드 일체형 컨버터를 제안하였다. 결합 인덕터 하나를 공유함으로써 전체적인 컨버터의 크기를 줄일 수 있으며, 서로 다른 전원에 대하여 수식적인 유도도 결합 인덕터의 최적의 결합계수를 선정하였다. 결합 인덕터를 사용한 방식이 비 결합 인덕터를 사용한 방식보다 입력 전류리플을 줄일 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

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

참고 문헌

- [1] Kurozumi, Kazuhiro *et al.*, “hybrid system composed of a wind power and a photovoltaic system at NTT Kume-jima radio relay station” INTELEC, International Telecommunications Energy Conference 1998, pp. 785-789.
- [2] Guangyong Zhu, “Modeling and design considerations of coupled inductor converters”, IEEE Transation on power electronics, Vol. 26, NO. 5, MAY 2011
- [3] Sayed K.F.A, “Interleaved ZCS boost DC-DC converters with coupled inductor using active edge resonant switch blocks for PV interface”, Electrical Machines and Systems, 2009.