

## 병렬전력전달 방식에 의한 DC/DC 컨버터의 효율 개선

이성룡, 전철환, 이은철

군산대학교

### An Efficiency Improvement of the Photovoltaic Generation System by Using the PPT based Converter

Seong-Ryong Lee, Chil-Hwan Jeon, Eun-Chul Lee

Kunsan National University

**Abstract** - 본 논문에서는 기존의 DC/DC 컨버터에 특별한 소자의 부가나 가격의 증가 없이 효율을 향상시키기 위한 방안에 대하여 논하였다. 이에 따라 병렬전력전달 방식(Parallel Power Transfer, PPT) 기반 Cuk 컨버터를 제안하였고, 이의 효율 향상 효과를 이론적으로 해석하고, 기존에 널리 사용되고 있는 DC/DC 컨버터와 특성을 비교 분석하였다. 마지막으로 이를 제안된 이론을 기본으로 DC 48V 전원 공급용 시스템을 설계하고, 구성한 다음 PSIM 시뮬레이션을 통해 시스템의 효율 향상 효과와 그 유용성을 입증하였다.

### 1. 서 론

DC/DC컨버터는 가전제품의 소 용량에서부터 산업용의 대용량에 이르기까지 직류전원이 필요한 곳에서는 필수 불가결한 존재로 막대한 시장 규모를 형성하고 있다. 하지만 지금까지 개발된 DC/DC컨버터는 전력변환재어를 위하여 에너지의 전부가 컨버터의 전력 소자를 통과해야만 하기 때문에 전력변환 손실을 피할 수가 없고, 이 손실 전체가 변환기의 효율을 결정한다. 한편, 전기자동차와 같은 이동기기 및 노트북, 휴대폰과 같은 휴대용 기기의 증가 등으로 에너지 사용의 감소와 함께 전력변환기의 효율 향상이 매우 중요한 문제로 대두되고 있으며 그 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 DC/DC컨버터 분야에서도 전력변환 손실을 감소하여 효율을 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 실제로 DC/DC컨버터의 효율 개선을 위하여 ZVT(Zero Voltage Transition), ZCT(Zero Current Transition)등의 방법으로 스위칭 손실을 저감시켜 주는 연구가 진행되어 왔지만 스위치와 공진 소자들이 추가로 필요하게 되어 제어회로로 복잡해지고 제작 단가의 상승을 피할 수 없을 뿐 아니라 공진 소자에 의한 또 다른 손실로 기대만큼의 손실저감효과를 얻기 어렵다.[1],[2],[3]

본 논문에서는 DC/DC 효율 향상방안으로 병렬전력전달방식(PPT)을 적용한 Cuk를 제안하여 소자의 부가적인 추가 없이 효율을 향상시키고 이를 시뮬레이션을 통해 시스템의 효율 향상 효과와 그 유용성을 입증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 PPT기법

그림 1은 PPT기반 DC/DC 컨버터의 개념도이다. PPT기법을 적용하기 위해서는 입·출력 극성이 반대인 컨버터(벽-부스트, Cuk)만이 가능하며, 기존의 컨버터와 소자의 수가 같음을 알 수 있다.[4],[5] 또한 PPT기법을 적용하면 입력에너지 ( $V_I/V_S$ )배 만큼의 전력만으로 출력 전압제어를 수행하여 부하에 전달하게 되고, ( $V_O/V_S$ )배 만큼의 전력은 DC/DC컨버터를 거치지 않고 직접 부하로 전달하게 되므로 스위치 및 전력소자에서 발생하는

손실을 줄일 수 있다.

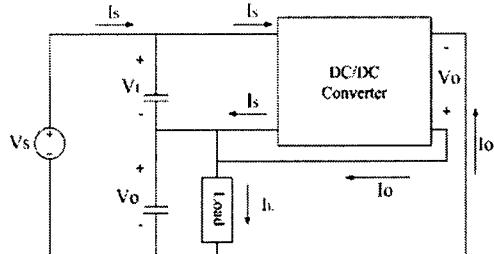


그림1. 병렬전력전달 기반 DC/DC 컨버터의 개념도

Fig. 1. The concept of the PPT based DC/DC converter 따라서 이의 변환 효율은 그림 2와 같고, 식 1과 2를 입·출력 전압의 비로 정리하면 식3과 같다.

$$I_L = I_S + I_O \quad (1)$$

$$\eta = \frac{P_O}{P_S} = \frac{V_O(I_S + I_O)}{V_S \cdot I_S} \\ = \frac{(V_O \times I_S + V_O \times I_O)}{(V_O \times I_S + V_I \times I_S)} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\left(1 + \eta_m \left( \frac{V_I}{V_O} - 1 \right)\right)}{\frac{V_I}{V_O}} \quad (3)$$

여기서  $\eta_m$ 은 DC/DC 컨버터의 효율이다.

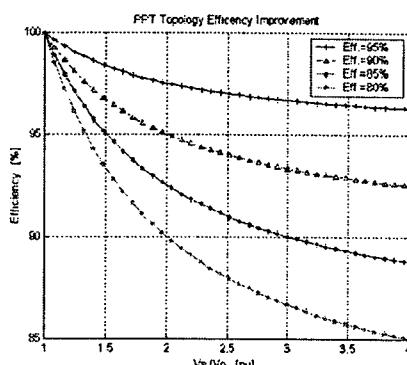
그림 2. 병렬전력전달을 적용한 컨버터의 개선된 효율  
Fig. 2. Improvement in Efficiency with the PPT Technique

그림 2는 DC/DC컨버터의 입·출력 전압의 비( $V_S/V_O$ )

에 따른 시스템의 효율을 상기 식에 의하여 시뮬레이션 한 결과를 보인 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 DC/DC 컨버터의 입력전압이 작을수록 효율이 커짐을 알 수 있고, 이의 효과를 구체적으로 설명하면 변환 효율이 80%인 DC/DC 컨버터인 경우 PPT방식을 적용하면 입·출력 전압 비( $V_S/V_O$ )를 0.25로 제어했을 때 변환 효율이 96% 이상으로 향상됨을 보여준다.

## 2.2 PPT 기반 컨버터

### 2.2.1 PPT Buck-Boost 컨버터

그림 3은 PPT기법을 적용한 벽-부스트 컨버터이다. 기존의 벽-부스트 컨버터에 비해 효율은 증가하지만 입력전압을 나누는 두 개의 커패시터를 통해 발생하는 충·방전 에너지로 인해 출력 전압의 리플이 매우 크므로 큰 출력 전압 리플 제한용 커패시터가 필요한 단점이 있다.

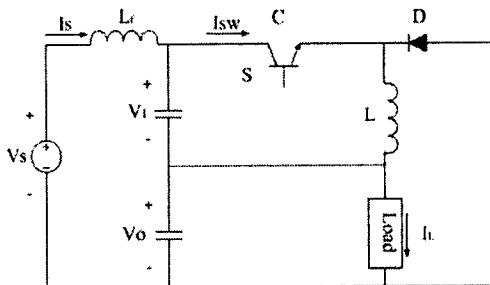
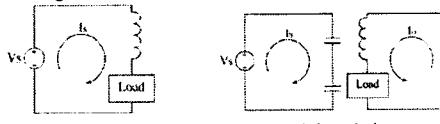


그림3. PPT-벽-부스트 컨버터

Fig. 3. PPT based Buck-Boost converter



(a) 스위치 on

(b) 스위치 off

그림4. PPT-벽-부스트 컨버터의 동작회로

Fig. 4. Operation mode of the PPT-Buck-Boost converter

PPT 벽-부스트 컨버터의 입·출력 전력 및 소자의 정격 용량을 표 1에 나타내었다.

표 1. PPT기반 벽-부스트 컨버터의 입·출력 전력 및 소자의 정격 용량

Table 1. Input, Output and Power Rating for PPT Based Buck-Boost Converter

입·출력 전력	$P_S = V_S * I_S$ , ( $I_{PV} = D * I_S$ ), $P_C = V_I * I_S$
	$P_O = V_O * I_O$ [ $I_O = (1-D) * I_B$ ], $P_{CO} = V_O * I_O$
소자의 정격 용량	Switch : $I_{SW} = I_S / D$ , $V_{SW} = V_I + V_O$
	Diode : $I_D = I_S / D$ , $V_D = V_I + V_O$

### 2.2.2 PPT 기반 Cuk 컨버터

그림 5는 PPT 기법을 적용한 Cuk 컨버터이다. 벽 컨버터 및 벽-부스트 컨버터의 구조와 달리 Cuk 컨버터는 입력 필터를 필요로 하지 않으므로 전체 소자의 수가 많지 않다. 또한 고전압 적용이 가능한 다른 컨버터(벽, PPT-벽-부스트)와 비교하여 가장 높은 효율을 가지며 태양광 발전을 통해 얻어진 에너지의 전압 비( $V_I/V_S$ )만

큼만 컨버터가 담당하므로 소자의 정격 용량을 줄일 수 있어 시스템을 보다 간결하게 만들 수 있다.

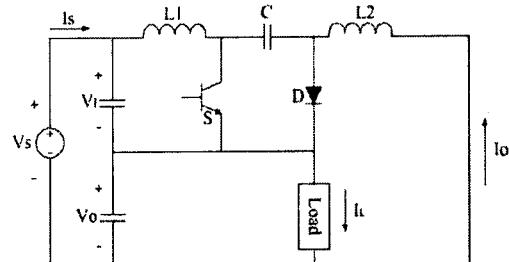
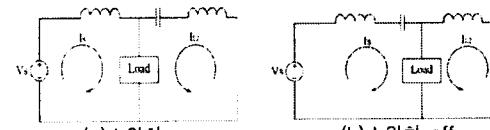


그림5. PPT 기법을 적용한 축 컨버터

Fig. 5. PPT based Cuk converter



(a) 스위치 on

(b) 스위치 off

그림6. PPT 기법을 적용한 축 컨버터의 동작회로  
Fig. 6. Operation mode of the PPT based Cuk converter

PPT-Cuk 컨버터의 입·출력 전력 및 소자의 정격 용량을 표 2에 나타내었다.

표 2. PPT-Cuk 컨버터의 입·출력 전력 및 소자의 정격 용량  
Table 2. Input, Output and Power Rating for PPT based Cuk Converter

입·출력 전력	$P_S = V_S * I_S$ $P_C = V_I * I_S$
	$P_O = V_O * I_O$ [ $I_O = (1-D) * I_B$ ] $P_{CO} = V_O * I_O$
소자의 정격 용량	Switch : $I_{SW} = I_S / D$ , $V_{SW} = V_I + V_O$
	Diode : $I_D = I_S / D$ , $V_D = V_I + V_O$
Inductor :	$I_{L1} = I_S$ , $I_{L2} = I_O$ $V_{L1} = V_{L2} = V_I$ [ $0 < t < DT$ ]
	$V_{L1} = V_{L2} = -V_O$ [ $DT < t < T$ ]
Capacitor:	$V_C = V_I + V_O$ $I_C = I_{L1}$ [ $0 < t < DT$ ]
	$I_C = I_{L2}$ [ $DT < t < T$ ]

## 2.3 시뮬레이션 및 고찰

제안된 PPT-Cuk 컨버터와 기존의 PPT-벽-부스트 컨버터를 48V 전원공급용 시스템 적용하여 효율과 입·출력 전류 및 전압의 특성을 PSIM 프로그램 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 조건은 표 3과 같다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터

Table 3. Parameter of Simulation

파라미터	값
전류 리플	< 5%
입·출력 전압 리플	< 1%
스위칭 주파수	50kHz
스위치 내부 저항	36m
다이오드 전압강하	0.7V
인덕터 내부 저항	0.4/1mH
커패시터 내부 저항	$50 \times 10^{-6} \Omega$
입력 전압	121.1V
출력 전압	48V
부하 용량	1kW

### 2.3.1 PPT Buck-Boost

그림7은 PPT-벅-부스트의 시뮬레이션 파형이다. 인덕터의 값은  $400\mu H$ , 태양전지의 전압을 두 개로 나누는 커패시터는 각각  $300\mu F$ 이며, 그중 부하에 병렬로 연결된 커패시터가 부하의 출력 전압리플 제한용이다. 그림 7에서 PPT-벅-부스트의 인덕터의 전류 리플은 2.9%로 같은 조건에서 일반적인 벅-부스트 컨버터의 전류 리플에 비해 낮은 편에 속하나, 전압의 리플은 16.1%로 설계 조건에 벗어나며, 리플을 줄이기 위해 용량이 큰 커패시터로 대체했음에도 불구하고 리플은 줄어들지 않음을 알 수 있다. 컨버터의 효율은 87.5%로 일반적인 벅-부스트 컨버터에 비해 증가했음을 알 수 있다.

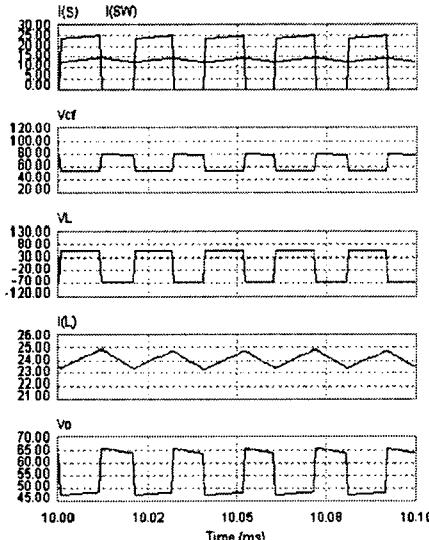


그림7. PPT-벅-부스트 컨버터의 시뮬레이션 파형  
Fig. 7. Simulation waveform of PPT-Buck-Boost Converter

### 2.3.2 PPT Cuk 컨버터

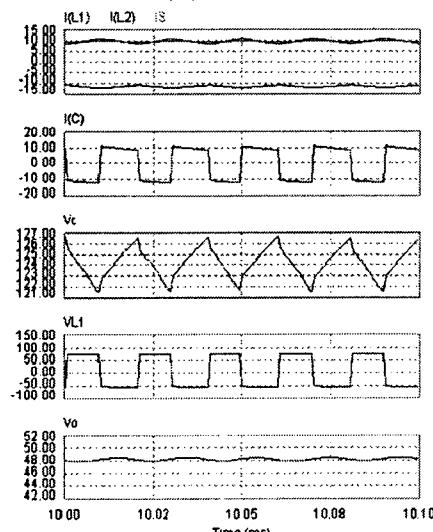


그림8. PPT-Cuk 컨버터의 시뮬레이션 파형  
Fig. 8. Simulation waveform of PPT-Cuk Converter

그림8은 PPT-Cuk의 시뮬레이션 파형이다. 인덕터의 값은  $L1: 115\mu H$ ,  $L2: 50\mu H$ 이며, 태양전지의 출력 전압을 두 개로 배분하는 캐퍼시터의 값은  $10\mu F$ 이다. 그림8에서  $L1$ 의 전류 리플은 13.9%이며,  $L2$ 를 통해 흐르는 전류 리플은 5.7%로 매우 크나 커플드 인덕터( $L1:10\mu H$ ,  $L2:10\mu H$ )를 사용할 경우 그림 9와 같이 출력 전압 및 전류의 리플을 줄일 수 있고 시스템 효율

을 높이는 것이 가능하다. 출력 전압의 리플은 설계 범위인 0.26%이고 부하 전류도 2% 미만이다. PPT-Cuk 컨버터의 효율은 95.5%이다. 또한 커플드 인덕터를 사용한 효율은 97%로 매우 높다.

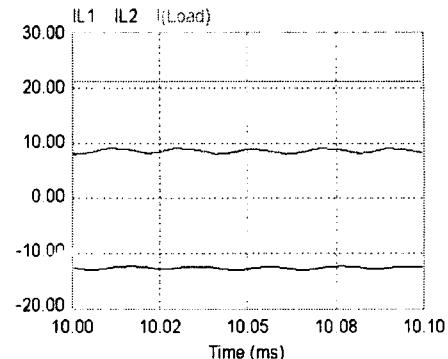


그림 9. 커플드 인덕터를 사용한 PPT-Cuk 컨버터의 전류 리플 비교  
( $L1:10\mu H$ ,  $L2:10\mu H$ )

Fig. 9. Comparison of the current ripple of the PPT-Cuk Converter

## 3. 결 론

본 논문에서는 기존의 DC/DC 컨버터에 소자의 추가 없이 효율 개선이 가능한 PPT 기법을 적용한 Cuk컨버터를 제안하였으며, 본 논문에서 제안한 PPT-Cuk 컨버터를 기존의 PPT 벅-부스트 컨버터와 비교하였으며, 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증한 결과 PPT 벅-부스트 컨버터에 비해 출력 전압의 리플률을 15.84%줄이고 8%의 효율 개선이 가능함을 확인 하였다.

"이 논문은 2005년도 군산대학교 두뇌한국21사업에  
의하여 일부 지원되었음"

## 참 고 문 헌

- [1] C.-J. Tseng and C.-L. Chen, "A novel ZVT PWM Cuk power-factor corrector," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 46, pp. 780-787, 1999.
- [2] C. M. C. Duarte and I. Barbi, "A family of ZVS-PWM active-clamping DC-to-DC converters: synthesis, analysis, and experimentation," presented at Telecommunications Energy Conference, 1995. INTELEC'95., 17th International, 1995.
- [3] D. Maksimovic and S. Cuk, "Switching converters with wide DC conversion range," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 6, pp. 151-157, 1991.
- [4] M. M. Hilali, A. Rohatgi, and S. Asher, "Development of screen-printed silicon solar cells with high fill factors on 100/sql Omega/sq emitters," *Electron Devices, IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 948-955, 2004.
- [5] D. B. Snyman, J. H. R. Enslin, "Novel Technique for improved power conversion efficiency in PV system with battery back-up," INTELEC'91, IEEE, pp. 86-91, 1991.