

# 단상 브리지리스 배전압 변환기의 역률 개선에 관한 연구

구도연, 김동욱, 임승범, 홍순찬  
 단국대학교 전자전기공학과

## A Study on the Power Factor Improvement of Single-Phase Bridgeless Voltage Doubler Converter

Do-Yeon Koo, Dong-Wook Kim, Seung-Beom Lim, and Soon-Chan Hong  
 Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University

### ABSTRACT

PFC(Power Factor Correction) converters are commonly designed for CCM(Continuous Conduction Mode). However, DCM(Discontinuous Conduction Mode) appears in the input current near the ZCP(Zero Crossing Point) at light loads, resulting in input current distortion. It is caused by inaccurate average current values obtained in DCM. This paper studies a simple digital control scheme that can be operated in both CCM and DCM with minimal changes to the CCM average current control structure.

### 1. 서론

역률개선회로의 제어는 CCM제어와 DCM제어로 나눌 수 있으며 250W 이상의 용량에서는 일반적으로 CCM제어를 사용한다. CCM제어는 정현파인 입력전압의 파형을 기준으로 동상의 입력전류 파형을 만들어 제어하게 되는데 경부하시에 입력전류는 ZCP 부근에서 DCM이 발생하게 된다. DCM이 발생할 경우 입력전류의 왜곡이 발생하게 되어 역률 및 THD의 저하를 피할 수 없게 된다. 이러한 역률 감소 및 THD의 증가를 막기 위해 CCM제어와 DCM제어의 모드절환을 사용하는 방법<sup>[1]</sup>을 고려할 수 있다. 하지만 이러한 혼합제어방식은 제어가 매우 복잡하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 보정계수를 사용하여 CCM제어와 DCM제어의 모드절환이 없는 제어방법을 연구하고 제어기를 설계하고자 한다.

### 2. 모드절환이 없는 CCM/DCM제어

#### 2.1 단상 브리지리스 배전압 변환기의 역률 개선

본 논문에서 사용한 회로는 그림 1과 같은 단상 브리지리스 배전압 변환기이다<sup>[2]</sup>. 브리지리스 배전압 변환기는 브리지 정류회로가 없으므로 다이오드에서의 도통손실 저감을 기대할 수 있다.

단상 브리지리스 배전압 변환기는 CCM제어를 사용하기 때문에 경부하일 경우 ZCP 부근에서 DCM이 발생했을 경우 입력전류 왜곡으로 인해 역률이 저하된다. 따라서 이러한 역률 저하를 최소화 하려면 CCM/DCM 혼합제어가 가능해야 한다.

하지만 CCM/DCM 혼합제어는 제어가 복잡하고 빠른 모드절환이 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 CCM제어로 동작 중 DCM이 발생할 경우 간단히 보정계수를 제어값에 추가하여 CCM제어가 가능한 제어를 단상 브리지리스 변환기에 사용하여 역률을 개선하고자 한다.

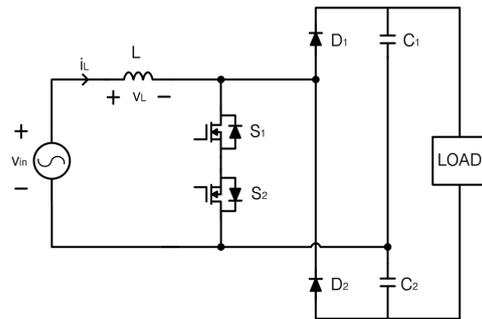


그림 1 단상 브리지리스 배전압 변환기  
 Fig. 1 Single-Phase Bridgeless Voltage Doubler Converter

#### 2.2 입력전류의 DCM 제어

단상 브리지리스 배전압 변환기의 입력전류제어는 평균전류 제어모드를 사용한다. 평균전류모드는 그림 2와 같이 인덕터 전류가 상승하는 구간의 절반에서 샘플링한다.

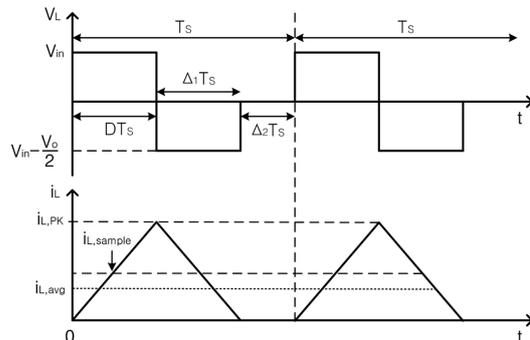


그림 2 DCM에서의 인덕터 전압 및 전류 파형  
 Fig. 2 Inductor Voltage and Current Waveforms in DCM

CCM일 경우 인덕터 전류의 평균값은 샘플값과 동일하지만 DCM일 경우 인덕터 전류의 평균값은 샘플값보다 작다.

CCM에서 인덕터 전류의 샘플값은 식 (1)과 같으며 DCM에서의 인덕터 전류의 평균값은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{L,sample} = \frac{1}{2} i_{L,pk} \quad (1)$$

$$i_{L,avg} = \frac{1}{2} i_{L,pk} \frac{(D + \Delta_1) T_S}{T_S} \quad (2)$$

식 (2)에 식 (1)을 대입하면 식 (3)과 같이 DCM에서 인덕터 전류의 평균값은 CCM에서의 샘플값에  $(D + \Delta_1)$ 을 보정계수로 적용한 형태가 된다.

$$i_{L,avg} = i_{L,sample} (D + \Delta_1) \quad (3)$$

인덕터 전류의 최대값  $i_{L,pk}$ 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며 정리하면 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$i_{L,pk} = \frac{v_{in} D T_S}{L} = \frac{(v_{in} - v_o/2) \Delta_1 T_S}{L} \quad (4)$$

$$(D + \Delta_1) = \frac{D v_o / 2}{v_o / 2 - v_{in}} \quad (5)$$

DCM에서 인덕터 전류 평균값의 보정계수는 식 (6)을 만족한다.

$$(D + \Delta_1) < 1 \quad (6)$$

CCM일 경우에는 보정계수는  $D + \Delta_1 = 1$ 이므로 CCM제어에 영향을 미치지 않는다.

### 2.3 단상 브리지리스 배전압 변환기의 제어

단상 브리지리스 배전압 변환기의 전체 제어기 블록도는 그림 3과 같다.

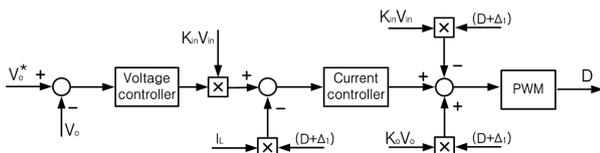


그림 3 제어 블록도  
Fig. 3 Block Diagram of Controller

출력전압 제어를 통해 만들어진 기준전류와 보정계수를 곱한 인덕터 전류의 비교를 통해 전류제어를 하며 CCM일 경우에는 보정계수의 값은 1이므로 일반적인 CCM제어기와 동일한 제어기로 동작한다. 전류제어기는 평균 소신호 모델링 기법<sup>[3]</sup>을 사용하였다. 전류제어기에서 출력된 값에 보정계수가 곱해진 입력전압과 출력전압의 피드포워드 제어값은 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 에 인가된다.

### 3. 시뮬레이션

단상 브리지리스 배전압 변환기의 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

그림 4는 보정계수를 사용한 경우의 전원전압 및 인덕터 전류 파형으로서 부하율은 10%이다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation Parameters

Rated Output Power	$P_{out}$	3kW
Input Voltage	$V_{in}$	220V <sub>rms</sub>
Output Voltage	$V_o$	760V <sub>dc</sub>
Boost Inductor	L	430uH
Output Capacitor	$C_1, C_2$	1360uF
Switching Frequency	$f_s$	40kHz

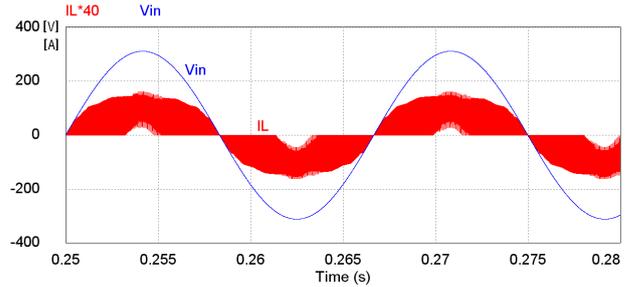


그림 4 10% 부하일 때의  $V_{in}$  및  $i_L$  파형(DCM/CCM제어)  
Fig. 4 Source Voltage and Inductor Current Waveforms at 10% load(DCM/CCM Control)

시뮬레이션 결과 보정계수를 사용한 CCM/DCM제어의 역률은 81%로 CCM제어만 했을 경우보다 역률이 증가하였으며 THD는 70%이다.

### 4. 결론

본 논문은 단상 브리지리스 배전압 변환기의 역률개선을 위하여 CCM/DCM제어에 대하여 연구하였다. 일반적인 CCM제어의 경우 경부하에서는 ZCP 부근에서 DCM이 발생해 CCM제어를 할 경우 입력전류의 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 DCM이 발생시 CCM제어에서 DCM제어로 모드전환 하는 방법으로 제어가 가능하나 스위칭 한 주기 내에 전환이 불가능하고 제어가 복잡하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 DCM이 발생할 경우 샘플값의 에러를 정정해줄 수 있는 보정계수를 CCM제어에 적용하여 모드전환이 없는 CCM/DCM제어에 대하여 연구하였다. 시뮬레이션 결과 보정계수를 사용하였을 때 역률이 개선되었다.

### 참고 문헌

- [1] Koen De Gussemme and David M. Van de Sype, "Digital Control of Boost PFC Converters Operating in Both Continuous and Discontinuous Conduction Mode", 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, 2004.
- [2] John C. Salmon, "Circuit Topologies for Single-Phase Voltage-Doubler Boost Rectifiers", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 8, No. 4, October 1993.
- [3] Shu Fan Lim and Ashwin M. Khambadkone, "A Simple Digital DCM Control Scheme for Boost PFC Operating in Both CCM and DCM", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No. 4, July/August 2011.