

# 입력 전류 리플이 없는 브릿지리스 세픽 컨버터

양재원, 도현락  
서울과학기술대학교

## Bridgeless Sepic Converter with Ripple-Free Input Current

Jae-Won Yang, Hyun-Lark Do

Seoul National University of Science & Technology

### Abstract

본 논문은 입력전류 리플이 없는 브릿지리스 세픽 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 브릿지 다이오드를 제거하여 도통손실을 줄이고 결합 인덕터와 보조 캐패시터를 사용하여 입력 전류 리플을 제거하였다. 제안된 회로의 동작원리를 설명하고, 시뮬레이션으로 확인한 후 130[W]급 하드웨어 프로토타입을 이용하여 검증하였다.

### 1. 소개

높은 효율과 낮은 고조파 장애를 가지는 AC-DC 컨버터의 필요성으로 역률 개선 (Power Factor Correction: PFC) 회로가 널리 사용되고 있다. 일반적으로 이러한 역률 개선 회로에는 정류용 브릿지 다이오드를 포함하고 있는데, 이 다이오드를 통해 항상 도통 손실이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 정류용 브릿지 다이오드를 줄이거나 제거한 브릿지리스 컨버터가 최근 소개되어왔다.[1][3]

그 중에서도 브릿지리스 부스트 컨버터는 줄어든 입력 전류 리플의 장점을 가지는 대신, 출력 전압이 항상 입력 교류 전압보다 높아야 된다.[1] 반면에 브릿지리스 벡 컨버터는 출력 전압이 입력 교류 전압보다 낮은 경우에 사용할 수 있지만, 입력 교류 전압이 출력 전압보다 낮은 시간 간격 동안 입력 전류가 흐르지 않게 된다.[2] 이러한 이유 때문에, 브릿지리스 세픽 컨버터가 제안되었다.[3] 하지만, 브릿지리스 세픽 컨버터에서는 입력 전류 리플을 줄이기 위해서 입력측에 인덕턴스가 큰 인덕터를 사용해야 한다.

[3]에 제시된 브릿지리스 세픽 컨버터는 줄어든 소자와 함께 도통 손실도 감소하였지만, 큰 용량의 입력 인덕터를 사용하였다. 게다가 싱글 PWM 신호를 사용하여 한쪽 스위칭 소자의 바디 다이오드를 통한 도통 손실도 발생하였다. 제안된 컨버터에서는 [4]에서처럼 결합 인덕터와 보조 캐패시터를 사용하여 입력 전류 리플을 제거하였다. 그리고 그림 2와 같은 구동신호를 사용하여 입력 전압에 따라 반주기 동안 항상 스위칭 소자의 바디 다이오드로 흐르는 전류를 채널로 전류가 흐르게 함으로써 도통 손실을 감소시켰다. 제안된 회로의 동작특성을 분석하고 실제 하드웨어 실험을 통하여 분석한 회로의 동작특성을 확인하였다. 그리고 기존의 컨버터와 실험을 통하여 효율비교를 하였다.

### 2. 브릿지리스 세픽 컨버터

#### 2.1 제안된 컨버터의 구조

그림 1은 제안된 브릿지리스 세픽 컨버터이다. 입력

인덕터에 추가로  $N_s$ 를 감아서 만든 결합 인덕턴스  $L_c$ 와 시리얼 인덕터  $L_s$ , 그리고 보조 캐패시터  $C_a$ 가 추가되었다. 결합 인덕턴스  $L_c$ 는 자화 인덕턴스  $L_m$ 과  $N_p:N_s(=1:n)$ 의 턴 비를 가지는 이상적인 트랜스포머로 모델링을 하였다. 결합 인덕턴스  $L_c$ 의 누설 인덕턴스는 시리얼 인덕터  $L_s$ 에 포함되었다. 캐패시터  $C_a$ 가 충분히 크다면,  $C_a$ 는 스위칭 주기 동안 전압원  $V_{ca}$ 로 간주할 수 있다. 정상상태에서 인덕터에 걸리는 평균 전압은 0 이어야 하기 때문에, 캐패시터  $C_a$ 에 걸리는 전압  $V_{ca}$ 의 평균은 입력 전압  $v_{ac}$ 와 같게 된다.

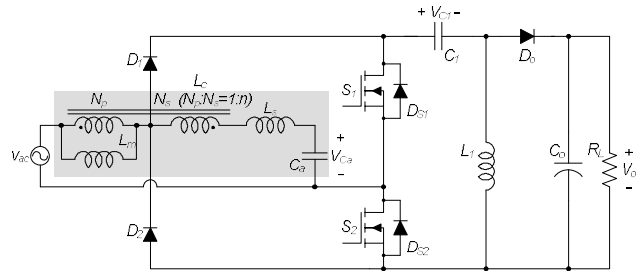


그림 1 제안된 입력전류 리플이 없는 브릿지리스 세픽 컨버터

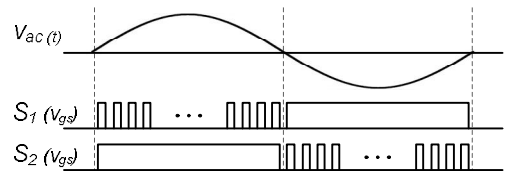


그림 2 입력 전압에 따른 스위칭 소자  $S_1, S_2$ 의 동작 파형

#### 2.2 제안된 컨버터의 동작특성

편의상, 입력 전압의 양의 반주기에 한해서 동작원리를 설명한다. 제안하는 컨버터의 이론적 파형을 그림 3에 나타내었다. 스위칭 한 주기 동안 3개의 동작 모드로 나눌 수 있으며 이를 그림 4에 나타내었다.

**Mode 1  $[t_0, t_1]$  :** 스위치  $S_1, S_2$ 가 모두 On이 되어 자화 인덕턴스  $L_m$ 과 시리얼 인덕터  $L_s$ 에 걸리는 각각의 전압은  $v_{ac}(t_0), (1-n)v_{ac}(t_0)$  이 되어 전류가 증가한다.

$$i_m(t) = I_{m2} + nI_{s2} + \left( \frac{v_{ac}(t_0)}{L_m} - \frac{n(1-n)v_{ac}(t_0)}{L_s} \right) (t - t_0) \quad (1)$$

수식 (1)에서 입력전류 리플은 제거될 수 있고, 다음의 조건을 만족하면 입력 전류는  $I_{m2} + nI_{s2}$  으로 일정해진다.

$$L_s = n(1-n)L_m \quad (2)$$

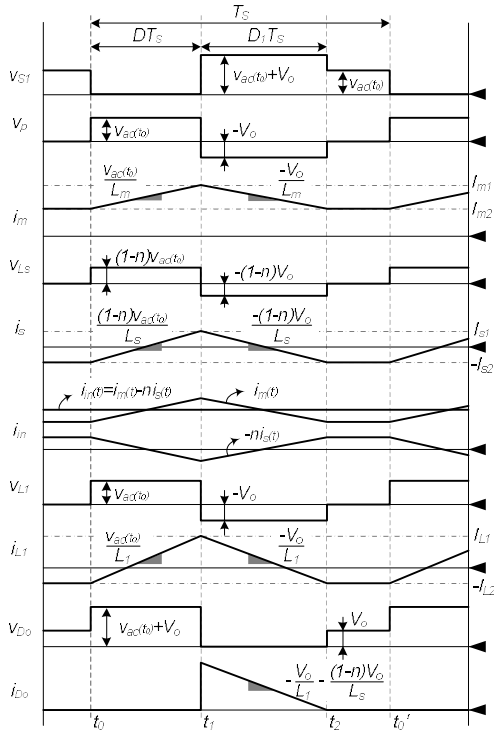


그림 3 제안된 컨버터의 이론적인 파형

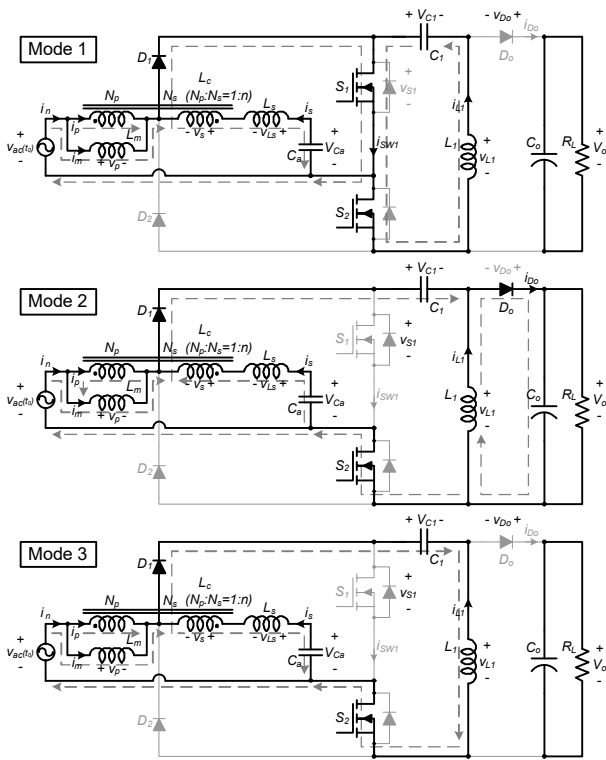


그림 4 제안된 컨버터의 동작모드

**Mode 2** [ $t_1, t_2$ ] : 스위치  $S_1$ 은 Off가 되어  $L_m$ 과  $L_s$ 에 걸리는 전압은 각각  $-V_o$ ,  $-(1-n)V_o$  가 되어 전류가 감소한다.

$$i_m(t) = I_{m1} - nI_{s1} + \left( -\frac{V_o}{L_m} + \frac{n(1-n)V_o}{L_s} \right) (t - t_1) \quad (3)$$

수식 (4)에 의해 수식 (3)의 리플은 제거될 수 있고, 입력 전류는  $Im_1 - nIs_1$  으로 일정해진다.

**Mode 3** [ $t_2, t_0'$ ] : 출력 다이오드에 흐르는 전류  $i_{D0}$ 는 0이 되고, 다이오드  $Do$ 는 Off가 된다. 이 모드에서 인덕터들에 인가되는 전압은 0 이 되며, 입력 전류는  $Im_2 + nIs_2$  으로 일정하게 유지된다.

표 1 실험에 사용한 컨버터의 설계사양

입력전압	90~130 [Vac]	출력전압	100 [VDC]
스위칭 주파수	100 [kHz]	출력전력	130 [W]
$L_m$	600 [uH]	$N_p$	43 [Turn]
$L_s$	127 [uH]	$N_s$	30 [Turn]
$C_a$	0.3 [uF]	$C_f$	0.4 [uF]
$L_l$	63 [uH]	$C_o$	880 [uF]

### 3. 실험결과

표 1은 실험에 사용된 제안된 컨버터의 설계 사양이다. 그림 5는 제안된 컨버터의 동작 파형이다. 입력 전압 및 전류, 스위치  $S_1$ 에 걸리는 전압, 시리얼 인덕터  $L_s$  및 출력 다이오드  $Do$ 에 흐르는 전류를 나타낸다. 실험 결과, 동일한 설계사양으로 [3]에서 제안한 컨버터에서는 약 68%의 입력 전류 리플을 가지는 반면, 제안된 컨버터는 입력 전류의 리플이 완전히 제거되었다. 그리고 결합 인덕턴스와 시리얼 인덕터, 보조 캐패시터의 추가로 도통 손실이 증가하였지만, 스위칭 소자의 바디 다이오드에 흐르는 전류를 채널로 흐르게 함으로써, 효율을 증가시켰다. 그 결과, 기존의 세픽 PFC 컨버터와 비교했을 때, Full 부하에서 최대 1% 효율이 증가하였다. 그리고 역률은 0.995% 이상으로 유사하게 측정되었다.

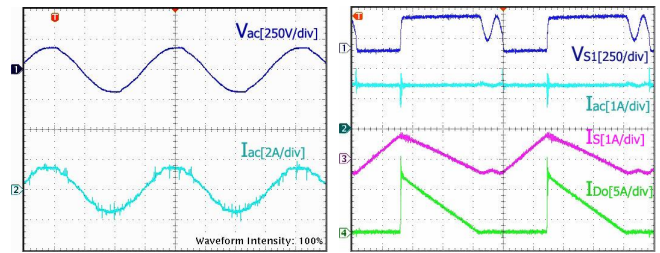


그림 5 제안된 컨버터의 동작파형

### 4. 결론

본 논문에서는 입력 전류 리플이 없는 브릿지리스 세픽 컨버터를 제안하고 이 컨버터의 동작특성과 성능을 실험을 통하여 알아보았다. 보조회로를 통해 입력 전류의 리플 성분을 거의 제거할 수 있었으며, 기존의 브릿지리스 세픽 컨버터보다 향상된 효율을 보임을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

[1] Yungtaek Jang and Jovanovic M.M, "A Bridgeless PFC Boost Rectifier With Optimized Magnetic Utilization," IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 24, No. 1, pp. 85-93, 2009

[2] Yungtaek Jang and Jovanovic M.M, "Bridgeless Buck PFC Rectifier," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo.2010

[3] Mohammad Mahdavi and Hosein Farzanehfar, "Bridgeless SEPIC PFC Rectifier With Reduced Components and Conduction Losses," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 9, pp. 4153-4160, Sept. 2011.

[4] Hyun-Lark Do, "Single-Switch Buck Converter with a Ripple-Free Inductor Current," in Journal of Power Electronics, vol. 11, No. 4, July 2011.