

## 능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 역률개선에 관한 연구

최태영\*, 안정준\*, 류동균\*, 이우석\*, 원충연\*, 김수석\*\*  
 \*성균관대학교, \*\*서울산업대학교

### A Study on PFC of Active Clamp ZVS Flyback Converter

T.Y.Choi\*, J.J.Ahn\*, D.K.Ryu\*, W.S.Lee\*, C.Y.Won\*, S.S.Kim\*\*  
 \*Sungkyunkwan Univ., \*\*Seoul National University of Technology.

#### ABSTRACT

This paper analyzed PFC of active clamp ZVS flyback converter by adding two method PFC (Power Factor Correction) circuit - Two-Stage and Single-Stage. It improves on Flyback converter's disadvantage - loss increasing by switching, noise increasing, high voltage stress of switch - by adding active clamp circuit. Simulation results show to improve the input PF of 300W ZVS flyback converter by adding Single-Stage, Two-Stage PFC circuit.

#### 1. 서 론

기존의 플라이백 컨버터는 고주파 스위칭에 의한 손실증가, 노이즈 발생, 스위치의 높은 전압 스트레스 등 많은 문제점을 가지고 있다. 그리고 이러한 단점들을 소프트스위칭 기법을 도입하여 문제점들을 개선할 수 있었다.<sup>[1]</sup>

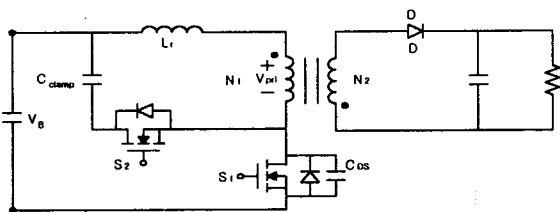


그림 1. 능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터

하지만 다이오드 정류기의 입력커패시터에 의해 생기는 폭이 좁은 전류파형으로 인하여, 낮은 PF와 입력 전류에 포함된 고조파에 의해 다른 장치로의 전원공급에 영향을 미치는 문제점이 있다. 이미 역률개선을 위한 연구의 대표적인 것으로

Two-Stage 방식의 Boost컨버터, 단상 반브리지 컨버터가 있다.

Two-Stage 방식은 Boost컨버터와 같은 단순한 PFC회로를 이용하여, 일정한 DC전압을 만들고, 이것을 다시 절연트랜스를 갖는 DC/DC컨버터를 통해서 출력전압을 얻는 방식이다.

이러한 컨버터의 장점은 역률 보상과 출력 전압 제어가 각각 독립적이라는 것이나, 소자수가 많아 부피가 크고 전체시스템이 복잡하고, 효율이 낮다는 단점을 가지고 있다.

이와 반대로 Single-Stage방식은 하나의 전력단으로 입력역률보상뿐만 아니라, 출력전압도 제어가 가능하다. 역률 보상과 출력전압제어가 하나의 제어부를 가지고 있어서 소자수가 적고, 전체시스템이 간단하여, 원가가 낮고, 효율이 높다는 장점이 있지만, Two-Stage방식과 비교할 때 역률개선의 정도는 낮다. 하지만 IEC-61000-3-2 규격에는 따를 수 있다.<sup>[2],[3]</sup>

#### 2. Two-Stage 방식에 의한 역률개선

그림 2는 Two-Stage방식의 기본구조이다. 이러한 Two-Stage 방식은 두 개의 독립된 제어부가 역률보상과 출력전압제어를 한다는 특징이 있다. 역률보상 제어부는 센싱된 입력전압의 모양을 입력전류가 추종하는 방식으로 제어한다.

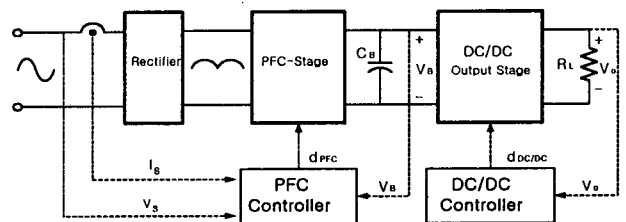


그림 2. Two-Stage PFC컨버터의 기본구조

전류제어방식중 하나인 일정주파수 전류제어방식은 매 일정 주기마다 전류가 증가하는 방향으로 스위치를 턴온 시키고, 이 경우에 인덕터에는 에너지가 축적되고, 입력전류의 크기( $i_s$ )는 전류 기준치( $i_{ref}$ )에 도달할 때까지 증가하게 되고 커패시터는 방전하게 된다. 입력전류가 기준치에 도달하게 되면 컨버터 출력단인 직류측으로 다이오드를 통해 인덕터에 축적된 에너지를 공급하는 제어방식이다. 에너지의 전달 모드에서 입력전류의 크기가 부하 전류의 정격치 보다 큰 경우 커패시터는 충전되며, 일정 시간마다 스위치를 턴온 시키므로 일정 주파수 제어가 이루어지게 된다.

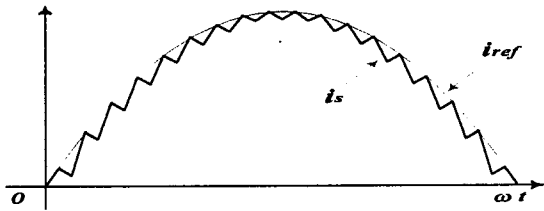


그림 3. 일정주파수 전류제어

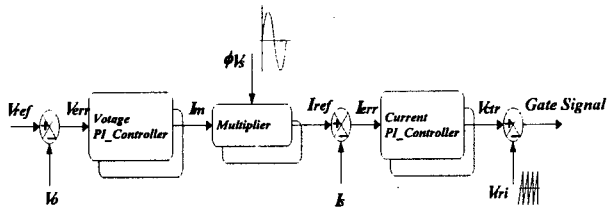


그림 4. PFC Stage의 제어 블록도

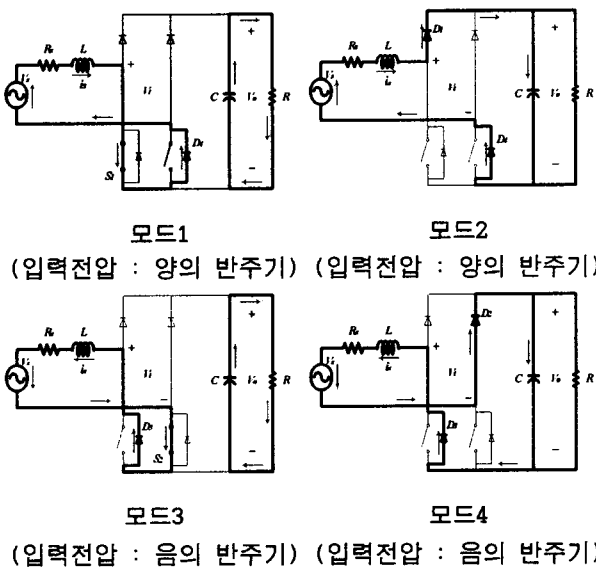


그림 5 단상 하프 브리지 각 모드별 분석

그림 5는 Two-Stage 방식으로 이용되는 단상 하프 브리지 컨버터의 동작모드이다. 모드1은 입력전압이 양의 반주기 일 때 입력전류가 스위치  $S_1$ 과 다이오드  $D_4$ 에 의해 형성되는 경로를 통해 양의방향으로 급격히 상승하게 되고 인덕터  $L$ 에 에너지를 축적되게 한다.

모드 2에서는 축적된 에너지가 다이오드  $D_1$ 과  $D_4$ 로 이루어지는 경로를 통해 커패시터  $C$ 와 부하로 에너지가 전달 되는 것을 나타내고 있다.

모드 3과 모드 4에서는 입력전압은 음의 반주기일 경우이며, 양의 반주기일 경우와 동일한 동작을 하게 된다. 그림 6은 Two-Stage 방식의 입력전압, 전류모양과 각 Stage의 스위치 듀티 사이클이다.<sup>[4]</sup>

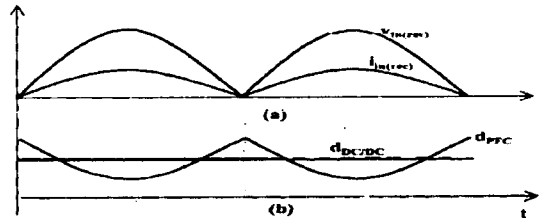


그림 6. Two-Stage PFC컨버터의 이상적파형

(a) 정류된 입력전압, 입력전류  
(b) PFC Stage와 DC/DC컨버터의 듀티사이클

### 3. Single-Stage 방식에 의한 역률개선

그림 7은 Single-Stage 방식의 기본구조이다. Single-Stage 방식은 하나의 제어부가 역률보상과 출력전압을 제어한다는 특징이 있다.

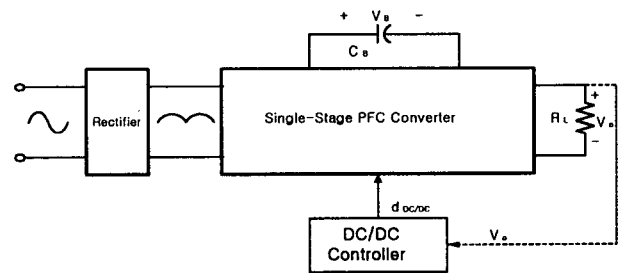
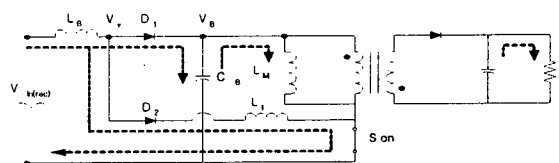


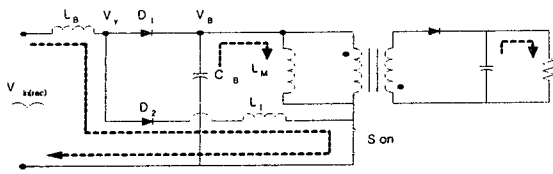
그림 7. Single-Stage PFC컨버터의 기본구조

그림 8은 본 논문에서 쓰인 Single-Stage 방식이고, 각각의 동작모드별로 나타내었다. 이 방식은 Two-Stage 방식과 같은 별도의 전류제어기가 필요없이, 삽입된 인덕터( $L_f$ )에 의해 입력역률을 개선할 수 있다. 즉, 삽입된 인덕터가 입력전압의 순시 크기에 따라 유효듀티비를 가변하여 입력전류를 분할함으로써 연속모드에서 역률이 개선된다.

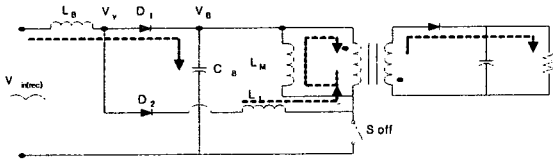


모드 1( $t_0 \sim t_1$ ) :  $L_B$ 에서  $L_f$  전류의 전류(Commutation)

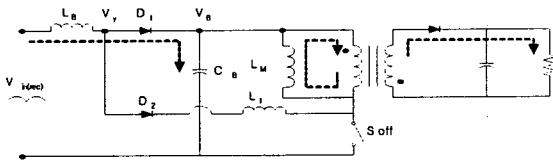
그림 8. 제안된 Single-Stage 방식과 각 모드 분석(계속)



모드2( $t_1 \sim t_2$ ) :  $V_{in}$ 에 의해  $L_B$ 와  $L_1$ 에 에너지 충전



모드3( $t_2 \sim t_3$ ) :  $L_B$ 와  $L_1$ 의 충전된 에너지 방전



모드4( $t_3 \sim t_4$ ) :  $L_1$ 의 충전된 에너지 방전완료

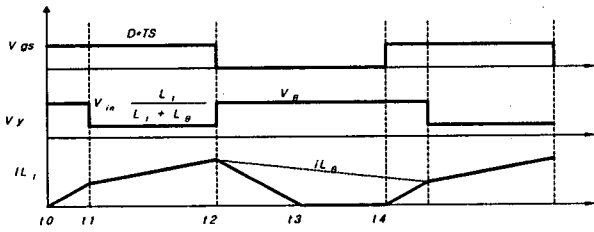


그림 9. PFC 회로의 각부 파형

동작상태는 능동클램프회로를 제외한 PWM플라이백 컨버터에 의한 4개의 모드로 구분한다. 스위치 S에 의해서 턴온이 되면  $I_{L1}$ 이  $I_{LB}$ 에 이르는 시간  $t_1$ 까지 계속 도통한다. 이 시점에서의 노드전압

$$V_Y = \frac{L_1}{L_1 + L_B} \times V_{in(rec)}$$

의 시간은 순시입력전압  $L_1$ ,  $V_{in}$ 에 의해 결정된다. 그리고 이때  $D_1$ 방향으로는 전류가 흐르지 않게 된다.  $t_1 \sim t_2$ 까지는  $V_{in}$ 에 의해  $L_B$ ,  $L_1$ 에 에너지가 충전되고,

$t_1 \sim t_2$  시간은 식  $\frac{L_1}{L_1 + L_B} \times V_{in(rec)}$ 에 의해 정

해진 모드 1 기간을 제외한, 스위치 S가 턴 온 되기 전까지의 기간이므로, 입력전압  $V_{in}$  순시치와  $L_1$ 의 크기에 의해서 정해진다.

그리고 순시입력전압이 증가하면 모드 2의 기간도  $V_Y$ 의 평균치로 증가한다. 결국, 유효 듀티비구간인 모드2 구간은 입력전압이 높으면 부스트인덕터  $L_B$ 의 유효듀티비  $D_{eff}$ 는 감소하고, 낮으면 증가하게 되어 Two-Stage의 듀티비의 증감과 같은 효과를 가지게 된다.  $t_2 \sim t_3$ 에서는 S가 오프되면  $L_B$ 와  $L_1$ 에 충전된 에너지가 방전한다. 동시에 역기전력에 의해서 자화인덕턴스에 축적된 에너지가 출력으로 방출하기 시작한

다. 모드 4는  $L_1$ 의 에너지가 모두 방출했을 경우이다.<sup>[2],[5]</sup>

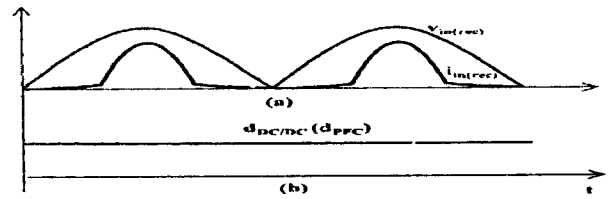


그림 10. Single-Stage PFC컨버터의 입력전압,전류  
(a) 정류된 입력전압,입력전류  
(b) 스위치 S의 듀티사이클

#### 4. 시뮬레이션 및 결과

능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 역률개선 및 유효성을 검증하기 위해서 시뮬레이션 (PSIM VER.4.1)을 수행하였다. 본 논문에서는 입력 AC 110V, 유효전력 300W급의 컨버터를 설계하여, 입력전압, 입력전류파형과 PFC회로 각부파형, 그리고 입력전류의 IEC-61000-3-2등급과 비교한 그래프를 나타내었다.

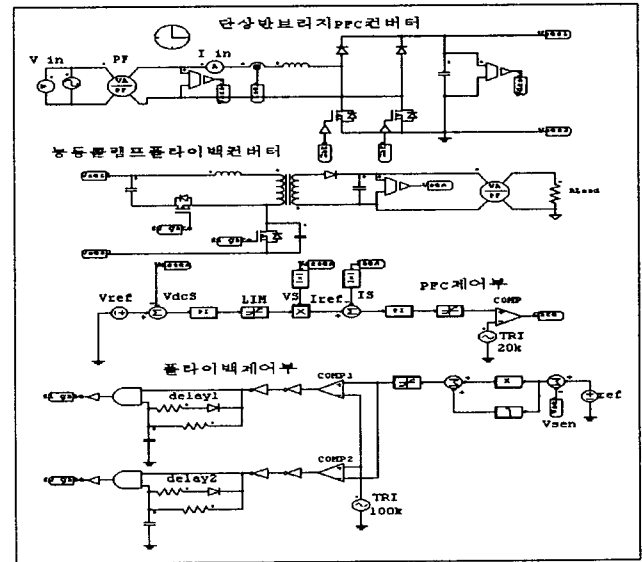


그림 11 Two-Stage방식에 의한 시뮬레이션

입력전압 교류110[V], 평활용커패시터( $C_B$ ) 양단전압 190[V]가 걸린다는 가정하에 수행하였고, 그림 14는 전류제어기를 통해 전류제어가 이루어짐을 보이고 있다.

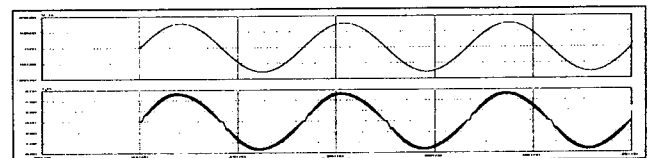


그림 12 입력전압,전류 파형 (PF:0.98)

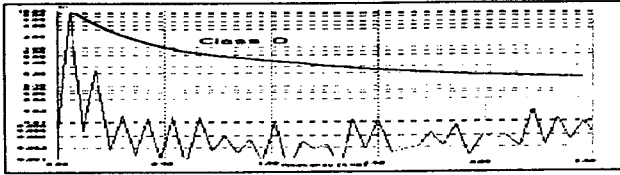


그림 13 고조파 분석 및 IEC-61000-3-2규격 비교

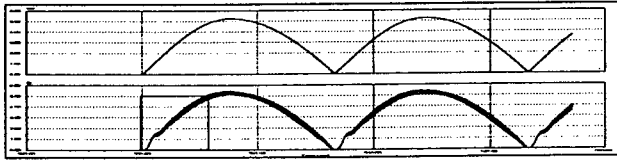


그림 14 Iref와 Is의 파형

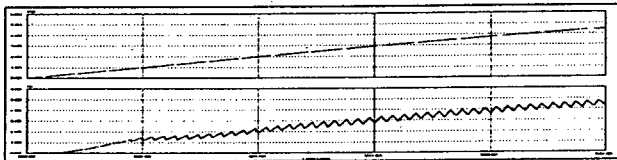


그림 15 Iref와 Is 확대한 파형

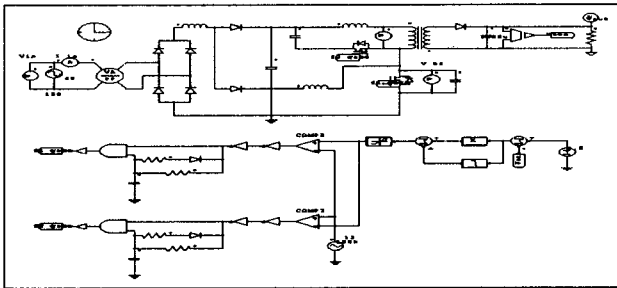


그림 16 Single-Stage방식에 의한 시뮬레이션

다이오드 정류기와 Bulk커패시터 사이에  $L_1(30\mu F)$ ,  $L_B(500\mu F)$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ 를 추가하여, 역률개선을 보였다. 그림 18, 19는 각부의 파형이고 입력순시전압이 높을때와 낮을때를 나타내고 있으며  $D_{eff}$ 가 변화함을 알 수 있다.

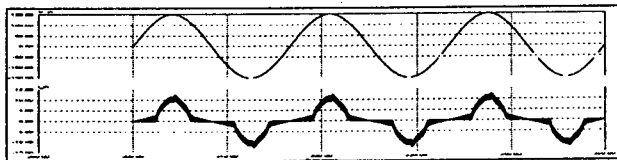


그림 17 입력전압, 전류 파형 (PF:0.89)

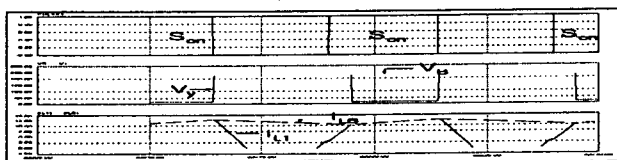


그림 18 SW1신호,  $V_y$ ,  $V_B$ ,  $I_{L1}$ ,  $I_{LB}$  파형  
(순시입력전압이 높을때)

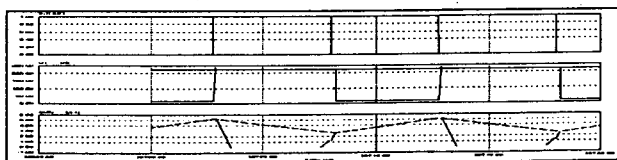


그림 19 SW1신호,  $V_y$ ,  $V_B$ ,  $I_{L1}$ ,  $I_{LB}$  파형  
(순시입력전압이 낮을때)

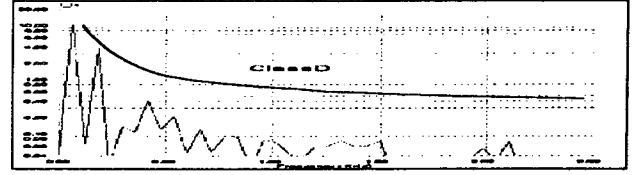


그림 20 고조파 분석 및 IEC-61000-3-2규격 비교

## 5. 결 론

본 논문에서는 300W급 액티브 클램프 플라이백컨버터를 Single-Stage와 Two-Stage방식에 의해 역률개선, 고조파분석을 하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 역률개선면에서 Two-Stage방식이 우수한 성능을 나타냈지만, PFC 스위치와 제어부의 추가에 따른 저효율 때문에, 소전력용보다는 대전력용에서 유리하다.
- 2) Single-Stage방식은 소자수가 적어 효율이 높고, IEC 61000-3-2 고조파규정에 적합하지만, 역률개선의 한계와 Bulk커패시터 DC전압의 크리플 때문에, 대전력용으로 쓰이는데는 한계가 있다.

향후, 실제 하드웨어를 제작하여, 능동 플라이백 컨버터의 역률개선을 검증하고자 한다.

이 논문은 에너지관리공단의 에너지 절약과제 지원에 의하여 연구되었음 (2000.5 ~ 2002.4)

## 참 고 문 헌

- [1] 김준호 외 5인, "반도체 플라즈마 용융장치용 고출력 능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터 설계에 관한 연구" 전력전자학회 하계학술대회 pp. 400~403, 2000, 7.
- [2] Electromagnetic Compatibility. Part 3: Limits-Sect. 2: Limits for Harmonic Current Emission (Equipment Input Current  $\leq 16A$  Per Phase), IEC 61000-3-2
- [3] Jindong Zhang, Milan M. Jovanovic, and Fred C.Lee, "Comparison Between CCM Single-Stage And Two-Stage Boost PFC Converters" APEC '99. Fourteenth Annual, pp. 335~341 vol. 1, 1999, 1.
- [4] 이태원, "단상 반 브리지형 컨버터를 이용한 TIG 용접기의 역률 개선" 성균관대학교 석사학위 논문, 1999.
- [5] 김태진 외 4인, "단상 역률개선형 Single-Stage AC/DC Forward Converter" 전력전자학회 하계학술대회 pp. 396~399, 2000, 7.