

ZVT 스위칭 기법을 적용한 PFC-인버터

李星龍, 全七煥, 權純信

A Study on the PFC-Inverter with the ZVT-Switching Method

Seong-Ryong Lee, Chil-Hwan Jeon, Soon-Shin Kwon

요 약

최근 들어 인버터 에어컨과 같은 유도전동기 구동 분야에서 인버터에 역률제어회로를 부가한 PFC-인버터에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 이러한 PFC-인버터의 효율을 개선하기 위하여 ZVT 스위칭 기법을 적용하는 방법에 대하여 논하고, 이를 동작 모드에 따른 해석과 함께 최적의 회로를 설계하였으며, 제안된 회로를 시뮬레이션 및 실험을 통하여 그 유용성을 입증하였다.

ABSTRACT

A soft-switching PFC-Inverter for using AC motor drive such as the inverter air-conditioner with single phase medium size is proposed. In order to improve the power factor and the efficiency, in this paper, the ZVT topology in the conventional PFC-Inverter is adopted. So, the operation mode of the proposed ZVT PFC-Inverter is analyzed and the optimum circuit is designed. At last, the PSPICE, PSIM simulation and experiment results are presented in order to verify the validity of the proposed circuit.

Key Words : PFC(Power Factor Correction), ZVT(Zero Voltage Transition), ZVT PFC-Inverter

1. 서 론

최근 들어 인버터 시스템이 그 유용성으로 인하여 작게는 가전 제품에서부터 크게는 산업용기기에 이르기까지 널리 보급되어지고 있다. 일반적으로 인버터는 전원 정류부, 제어부와 인버터부분으로 구성되어 진다. 여기서 단상 중용량의 경우(인버터 에어컨 등), 단상 입력 전원을 콘덴서 입력형 다이오드 정류기에 의하여 정류함으로써 인버터의 DC전원을 얻는 것이 일반적이는데, 다이오드 정류기는 입력전류의 역률과 고조파 발생등의 각종 문제를 발생시킨다. 최근에는 이러한 문제를 해소하기 위하여 인버터에 PFC기능을 갖는 승압형 다이오드 정류기를 적용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{[1]-[5]}

그러나 이러한 PFC-인버터 시스템은 입·출력에서

발생하는 고조파 및 필터 사이즈의 감소를 위하여 주 전력 스위칭 소자의 스위칭 주파수를 높게 제어하는 경향이 있고, 이에 따라 필연적으로 주 전력 스위칭소자의 스위칭손실 증가에 의한 효율 저하 및 스위칭 스트레스에 의한 서지 등의 EMI 문제를 피할 수 없게 된다. 이는 PFC-인버터 시스템을 고효율·고품질화 하기 위해서는 스위칭 손실 및 스위칭 스트레스를 확실하게 저감시키기 위한 소프트-스위칭 기법의 적용이 필요하다는 것을 의미한다.^{[1]-[3]} 본 연구에서는 이상의 문제를 해결하기 위하여 소프트-스위칭기법을 적용한 PFC-인버터 시스템을 제안한다.

그러므로 본 연구에서는 PFC-인버터의 적용대상이 인버터 에어컨과 같은 단상 중용량의 전동기가 주류이기 때문에 전동기의 절연문제 등을 위하여 스위칭 전압의 dv/dt 를 효율적으로 제한할 수 있는 ZVT기법이 효

울적일 것으로 판단되어 PFC와 인버터에 각각 그에 맞는 ZVT기법을 적용하고 각각의 동작 원리를 해석한 다음 최적의 시스템을 설계하였다. 시스템 설계 조건은 용량 3[KW], 입력전압 단상 90-260[V], 출력전압 3상 220[V]이다. 이상의 조건으로 설계된 PFC-인버터는 PSPICE와 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통해 그 유용성을 입증하고, 이들을 결합한 최적의 ZVT PFC-인버터 시스템을 구성하기 위하여 각각의 동작특성을 분석하고 각각 상대 토폴로지와 최적으로 결합할 수 있는 제어 방법을 모색하여 시작품을 제작하였으며, 실험을 통하여 그 유용성을 입증하였다

2. PFC-인버터 시스템

그림 1은 일반적인 인버터 시스템에 PFC 기능을 추가한 PFC-인버터 시스템의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 본 시스템은 기존 인버터의 DC 입력을 얻기 위한 다이오드 정류기 부분에 Boost 타입 초퍼를 부가

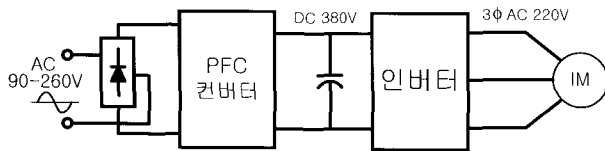


그림 1 PFC-인버터 시스템
Fig. 1 PFC-Inverter system

하고, PFC 기능을 추가함으로써 전원측의 고조파 및 역률을 개선할 수 있다. 그러나 이 시스템을 고효율·고품질화 하기 위해서는 고조파 및 입출력 필터 사이즈 저감을 위한 높은 스위칭 주파수 운전이 필요하고 이에 따라 수반하는 스위칭 손실 및 스트레스 저감을 위해 소프트-스위칭 기법을 적용할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 PFC와 인버터에 각각 ZVT기법을 적용시키는 방법에 대하여 논하고, 그 동작원리에 대하여 설명한다.

2.1 ZVT PFC

기존의 Boost 컨버터는 회로가 간단하고, 역률 개선이 뛰어나지만 입력 고조파 및 필터 사이즈를 감소시키기 위하여 높은 스위칭 주파수로 구동하게 되면 스위칭 스트레스 및 손실을 발생시키기 때문에 이를 개선하기 위해 많은 소프트-스위칭 토폴로지가 연구되고 있고, 이들은 크게 ZCT와 ZVT 토폴로지로 나누어진다. 여기서

ZCT 기법이 주 스위치 턴 온/오프 시 모두 보조스위치를 턴 온 시켜야하는 반면에 ZVT 스위칭 기법은 주 스위치의 턴 온 시에만 보조스위치를 턴-온 하면 되기 때문에 제어가 간단하고, 인버터와 관련해서 스위칭 소자의 dv/dt의 제한을 효과적으로 할 수 있는 장점이 있기 때문에 자체 손실없이 스너버가 가능하여 그 성능이 우수한 G.Hua의 ZVT 토폴로지를 적용^[3]하였으며, 이를

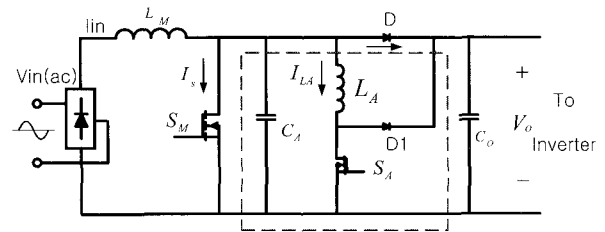


그림 2 ZVT-PFC 회로
Fig. 2 ZVT-PFC circuit

그림 2에 보였다.

그림 2의 점선부분이 ZVT 스위칭을 수행하는 보조공진 회로이고 보조공진용 인덕터 L_A , 보조스위치 S_A , 다이오드 D_1 그리고 공진용 캐패시터 C_A 로 구성되어 있다. 본 연구에서 적용한 ZVT-PFC 회로의 스위칭 동작은 그림 3처럼 4단계의 동작 모드로 나누어지는데, 주 전류 패스는 진한부분이며 방향은 화살표 방향과 같다. 각 모드별 상세한 동작 설명은 그림 4의 스위칭에 따른 전압과 전류 파형과 관련하여 설명한다.

i) 충전 모드 (T0-T1) : 그림 2의 주스위치 S_M 이 턴 온 할 때 ZVT 조건으로 스위칭하기 위해 보조공진용 인덕터 L_A 에 에너지를 충전하는 구간이다. T0전까지 주 스위치와 보조 스위치는 턴-오프 상태이며, 다이오드(D)는 도통 상태를 유지한다. T0에서 보조 스위치가 턴 온 상태가 되면 L_A 의 전류는 선형적인 형태로 증가하게 되며 전류는 입력전류까지 도달한다.

ii) 공진 모드 (T1-T2) : 공진 인덕터 L_A 와 커패시터 C_A 에 의해 공진이 발생하게 되며 이로 인해 L_A 의 전류는 T2까지 계속 증가하게 된다. 또한 공진 커패시터는 주 스위칭 전압(Vds)이 '0' 전압이 될 때까지 방전하게 된다.

iii) 대기 모드 (T2-T3) : L_A 와 C_A 의 공진이 끝나고

L_A 의 전류가 주 스위치의 역병렬 다이오드를 통해 흐르면서 주스위치 S_M 이 턴-온 할때까지 대기하는 기간이다.

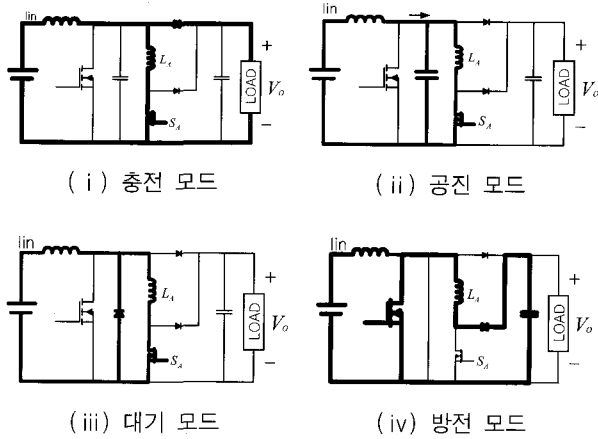


그림 3 ZVT-PFC 회로의 동작 모드
Fig. 3 Operating mode of the ZVT-PFC

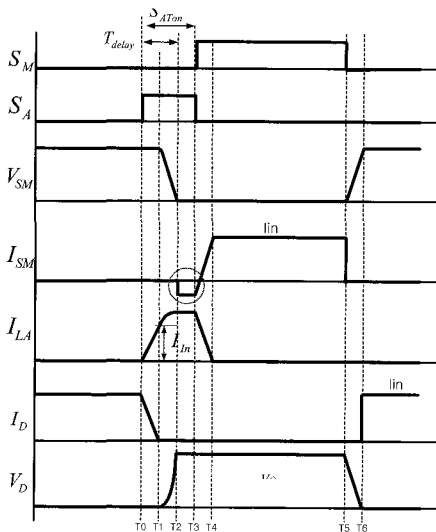


그림 4 ZVT-PFC의 동작 파형
Fig. 4 ZVT operation waveforms of the ZVT-PFC

여기서 주스위치 S_M 의 양단간 전압은 이미 '0'이고 전류는 역병렬 다이오드를 통하여 흐르기 때문에 ZVT 조건을 충족하게 된다. 실제 ZVT 스위칭을 위해서는 L_A 의 충전과 공진에 필요한 기간인 T_{delay} 를 확보하면 되지만 입력 전압 또는 부하에 따라 전류가 변하기 때문에 T_{delay} 가 일정하지 않아 안정된 ZVT 스위칭을 위해서는 적당한 대기 모드의 기간이 필요하다.

iv) 방전 모드 (T3-T4) : T3에서 보조 스위치는 턴-오프 되고 주 스위치는 턴-온 된다. 공진인덕터 L_A 에 저장되었던 에너지는 D1를 통해 부하로 전달되고, 공진 인덕터의 전류는 감소하여 T4에서 턴-오프 되고 이 이후부터 회로의 동작은 Boost 컨버터의 동작과 동일하게 된다.

이상의 4단계 모드를 반복함으로써 주 스위치는 턴-온 되기 전에 보조공진회로에 의해 양단전압을 '0'으로 만드는 ZVT 스위칭을 함으로써 스위칭 손실을 줄이게 된다. 이로 인해 주 스위치에 부담을 주는 전압/전류 스트레스가 감소하는 효과를 얻을 수 있다.

2.2 ZVT 인버터

본 연구에서는 PFC-인버터 시스템용 인버터의 ZVT 스위칭기법으로 다이오드 브릿지타입 ZVT-토폴로지^[5]를 채택하였고, 회로의 구성은 그림 5와 같다.

이는 기존의 ARCP(auxiliary resonant commutated pole)계열 인버터의 단점인 보조공진용 스위치를 6개에서 1개로 감소시켜 회로구성 및 제어가 간단하다는 장점을 갖고 있다. 이 ZVT-인버터는 기존의 인버터에 그림 5의 점선부분과 같이 다이오드 브릿지 회로에 1개의 보조공진 스위치, 3개의 보조공진 인덕터로 구성된다.

이 ZVT-인버터의 동작원리는 다음과 같다. 그림 5의 인버터 주스위치($S_1 \sim S_6$)는 턴-오프 시는 스너빙 캐패시터에 의해 ZVT 조건으로 스위칭되지만 턴-온 시에는 스위칭에 흐르는 전류방향에 따라 ZVT 조건의 충족 여부가 결정된다. 예를 들면 A상 전류 I_A 가 양방향일 경우 S_1 은 스너빙 캐패시터만으로는 ZVT 조건을 만들

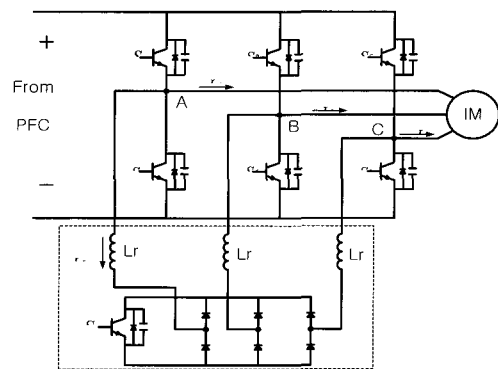


그림 5 ZVT-인버터 회로
Fig. 5 ZVT-Inverter Circuit

어줄 수가 없다. 따라서 이 경우 ZVT 조건을 만족시키기 위해 보조 공진회로를 이용하게 된다. 다시 말하면 인버터가 SVM 제어될 경우 A상 전류 I_A 가 주 전력 스위치 S1, S2, S6를 ZVT 조건으로 턴-온 하기 위해서는 그림 5 점선 부분의 보조 공진회로를 필요로 한다.

여기서 그림 6은 주 전력 스위치 S1의 ZVT 동작 파형을 나타냈다.

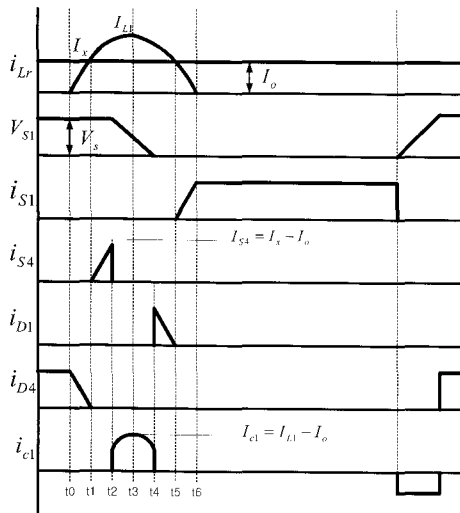


그림 6 ZVT-인버터의 동작 특성
Fig. 6 ZVT operation waveforms of the ZVT-Inverter

그림의 맨 위는 보조 스위치의 턴-온에 따라 흐르는 공진용 인덕터 전류(I_{Lr})와 부하 상전류(I_A)의 파형이며, 다음은 주 전력 스위치 S1의 양단전압 V_{S1} , 주 전류 (i_{S1} , i_{S4} , i_{D1} , i_{D4}) 그리고 스너버 캐패시터의 전류 i_{C1} 의 순으로 파형을 보였다. 여기서 주 전력 스위치의 전압 V_{S1} 은 턴-오프 시에는 스너버 캐패시터에 의해 dv/dt 가 제한되고, 그림 6에서와 같이 턴-온 시는 공진 인덕터와의 공진 에너지에 의해 dv/dt 가 제한되며, 주 전력 스위치의 전류는 턴-온 시에 공진용 인덕터에 의해 di/dt 가 제한됨으로써 효과적으로 ZVT 조건을 만족시키게 된다.

3. 회로 설계 및 구성

본 연구에서 제안한 ZVT PFC-인버터는 크게 3부분으로 나누어지는데, 그림 7에서 보는 것처럼 PFC 회로와 인버터 그리고 이들의 ZVT 스위칭을 위한 보조 공진회로로 구성된다. 여기서 그림 1의 PFC와 인버터의

주 전력 회로는 이미 잘 알려져 있기 때문에 본 연구에서는 PFC-인버터를 ZVT 스위칭 하기 위한 보조 공진회로의 주요 소자(승압용 인덕터 L_M , 공진용 인덕터 L_A , L_r , 공진 커패시터 C_A , C_r 등)의 선정방법 및 회로구성에 대하여 설명한다.

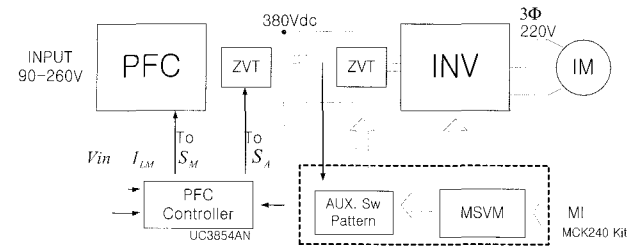


그림 7 제안된 ZVT PFC-인버터 회로의 개요도
Fig. 7 The proposed ZVT PFC-Inverter Block diagram

3.1 ZVT-PFC 회로 설계

본 연구에서 적용한 PFC의 설계조건은 다음과 같다.

- 입력전압 : 90~260Vrms
- 출력전압 : 380Vdc
- 스위칭 주파수 : 50KHz
- 용량 : 3KW

일반적으로 ZVT-PFC는 전류에 따라 공진 조건 등이 영향을 받기 때문에 승압용 인덕터 L_M , 공진 인덕터 L_A 및 커패시터 C_A 등을 적절한 값으로 설계하는 것이 매우 중요하다.

1) 승압용 인덕터 L_M

일반적으로 PFC를 CCM(continuous current mode)으로 동작시키기 위해서는 인덕터의 리플전류 ΔI 가 최소 피크 입력 전류의 2배를 넘어서면 곤란하다. 따라서 승압용 인덕터 L_M 은 최소한 식 (1)을 만족해야 한다.

$$L_M \geq \frac{V_{inmin}(1 - V_{inmin}/V_{out})}{\Delta I \cdot f_{sw}} \quad (1)$$

여기서, V_{inmin} 는 최소 DC입력전압, V_{out} 는 DC 출력 전압 그리고 f_{sw} 는 스위칭 주파수이다.

인덕터 L_M 이 포화현상 없이 선형적으로 동작하기 위해서는 적절한 코어의 선택이 요구된다. 본 연구에서는 고주파수용인 AlliedSignal사의 POWERLITE C-core인

AMCC-32를 사용하였다.^[6] 이 코아의 자속밀도에 의해 리플전류 ΔI 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta I = \frac{\Delta B / B \sqrt{2} \cdot P_{out}}{\eta \cdot V_{in(ac)min}} A \quad (2)$$

여기서 B는 자속밀도이며, η 는 PFC의 효율이고, 본 연구에서는 95%로 설정하고 설계하였다.^[6]

2) 출력 커패시터 C_o

출력 커패시터는 2차 고조파에 의한 출력 리플을 고려하여 설계하여야 한다. 고조파 리플을 2%로 설정하여 설계하면, 출력 커패시터는 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$C_o = \frac{P_o / \eta}{2\pi f_r \cdot V_{oripb} \cdot V_o} \quad (3)$$

여기서 f_r 는 2차 고조파 주파수, V_{oripb} 는 출력전압의 리플의 최대값, P_o 은 출력전력이다.

3) 공진 인덕터 L_A

공진 인덕터의 크기는 주 회로의 다이오드 D가 역회복 현상에 의해 발생하는 di/dt에 의해 실제적인 영향을 받는다. 공진 인덕터가 너무 크게 되면 보조 스위치의 전달 시간이 길어지고, 전달 손실이 증가하게 된다. 일반적으로 보조 공진 인덕터의 상승시간은 선택된 주 다이오드(D)의 역회복시간(t_{rr})의 3배 이내로 제한한다.

따라서 이를 고려하여 공진 인덕터는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$L_A = V_o \frac{I_{inpeak}}{3 \cdot t_{rr}} \quad (4)$$

여기서, I_{inpeak} 는 입력전류의 최대값, t_{rr} 은 다이오드(D)의 역회복 시간을 나타낸다.

4) 공진 캐패시터 C_A

공진 캐패시터 설계시 주 스위치의 내부 커패시터와 보조 스위치의 내부 커패시터를 고려하여야 한다. 공진 회로의 시간을 보조 스위치 온 시간(S_{ATon})중 1/4이라 가정한다면 공진 캐패시터는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\pi}{2} \sqrt{C_A \cdot L_A} = \frac{1}{4} S_{ATon} \quad (5)$$

여기서 보조 공진스위치의 턴-온 시간(T_{on})은 식 (4)

에 의해서 결정되는 공진인덕터 충전시간(T_{01})과 식(5)에 의한 공진 인덕터와 캐패시터의 공진시간(T_{12})의 합보다 반드시 크게 설계해야 한다.

3.2. ZVT 인버터

ZVT-인버터의 보조공진회로는 부하전류에 따라 영향을 받기 때문에 공진을 위한 스너버 캐패시터와 공진 인덕터는 먼저 인버터의 부하전류범위를 결정하고 이에 따라 적절한 값을 설계할 필요가 있다.

1) 스너버 캐패시터 C_r

제안된 ZVT인버터의 스너버 캐패시터와 부하전류와의 관계는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_c = C_r \int_0^t \frac{I_o}{2} dt \quad (6)$$

여기서, I_o 는 부하전류, V_c 는 커패시터 충전전압, Δt_c 는 커패시터 충전시간이다. 본 연구에서는 유도 전동기 절연을 위한 주 스위치의 전압 상승제한(dv/dt)을 IEEE std-522의 기준을 참고하여 dv/dt=220[v/us]로 하였으며, 인버터의 데드타임(dead time)은 2[us]로 설정하였다. 따라서 스너버 캐패시터의 용량은 이들 조건과 식 (6)에 의해 구할 수 있다.

여기서 식 (6)에서 알 수 있는 것처럼 캐패시터의 충·방전 시간은 부하 전류와 반비례 관계이기 때문에 부하 전류가 어느 이하가 되면 충·방전 시간이 길어지고 그로 인해 인버터에 설정된 데드타임보다 커지게 되어 완전한 충·방전이 이루어지지 않아 ZVT 조건을 만족하지 못하고 스위칭시 서지가 발생하는 구간이 발생할 수 있기 때문에 이점을 충분히 고려하여 데드타임을 설정할 필요가 있다.

2) 공진용 인덕터 L_r

제안된 인버터가 공진 구간 동안 완전히 에너지 전환을 하기 위해서는 공진용 인덕터 L_r 의 에너지가 스너버 캐패시터 C_r 의 에너지 보다 충분히 커야 ZVT 조건을 만족할 수 있으며 다음과 같이 표현되어진다.

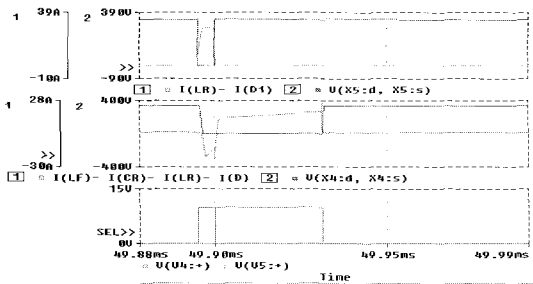
$$\frac{1}{2} L_r I_{toff}^2 \geq C_R (V_s - 2 V_{drop})^2 \quad (7)$$

여기서, I_{toff} 는 공진용 인덕터에 흐르는 최대 전류와 부하평균전류의 차로써 부하 전류가 최대일 때 최소가 된다. 그러므로 I_{toff} 가 최소가 되는 구간에서도 에너지 밸런스 조건을 만족하도록 공진용 인덕터의 값을 설정

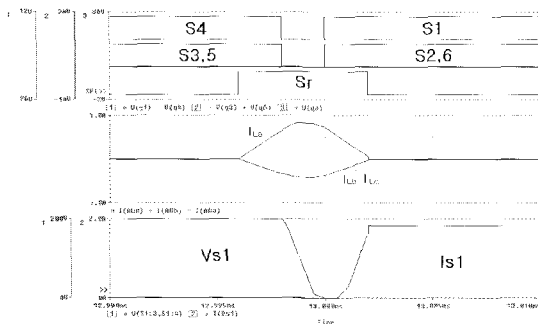
하는 것이 중요하다.

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 연구에서는 3장에서 논의한 설계조건과 방법에 따라 제안된 ZVT PFC-인버터를 설계하였으며 그 결과는 표 1과 같다. 여기서 스위칭 주파수는 스위칭 소자의 스위칭 특성상 MOSFET를 사용한 PFC는 50[KHz], IGBT를 사용한 인버터는 20[KHz]로 하였다. 제시된 설계 데이터의 유용성을 확인하기 위하여 ZVT 스위칭에 대해서는 Pspice로, ZVT PFC-인버터 시스템에 대해서는 Psim으로 설계를 수행하였고, 이를 그림 8에 보였다.



(a) PFC의 주 스위치의 ZVT 스위칭 파형

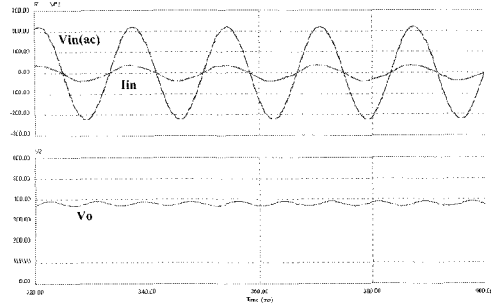


(b) 인버터의 ZVT 동작 파형

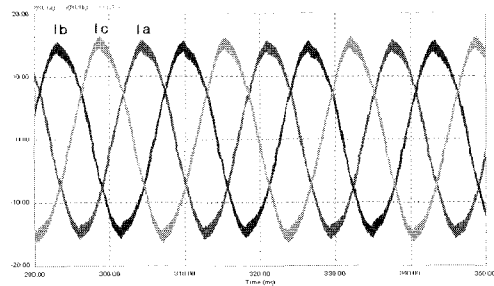
그림 8 PFC 및 인버터의 ZVT 동작 파형
Fig. 8 ZVT switching waveforms of PFC & Inverter

그림 8 (a), (b)는 PFC와 인버터 주 스위치가 ZVT 스위칭하는 파형으로 각각 그림 4, 6과 일치함을 알 수 있으며 실제로 스위칭시 ZVT 조건을 만족할 수 있음을 보여준다.

그림 9는 표1의 설계 데이터에 의해 그림 7과 같은 ZVT PFC-인버터 시스템을 구성하고 PSIM에 의해



(a) ZVT-PFC의 입·출력 파형



(b) ZVT-인버터 출력 전류 파형

그림 9 제안된 ZVT PFC-인버터의 시뮬레이션 결과
Fig. 9 Simulation results of the proposed ZVT PFC-Inverter

시뮬레이션한 결과 파형이다. 그림 9(a)는 PFC의 입·출력 파형으로 그림 윗 부분이 입력 전압과 전류 파형이고, 아래부분이 출력 DC전압이다. 또한 그림 9(b)는 인버터 출력 전류 파형으로 이들은 전체 시스템이 설계 의도대로 잘 운전되고 있음을 보여준다. 이상의 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서 설계한 ZVT PFC-인버터는 적절한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 이 설계 데이터를 근거로 하여 3[KW]용량의 실제 시제품을 제작하였고, 이의 실험 결과를 그림 10, 11에 보였다.

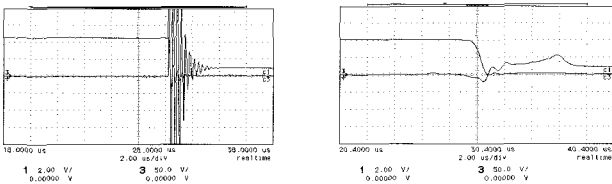
그림 10은 ZVT 스위칭시 인버터의 주스위치의 전압과 전류를 측정된 것으로 그림 10(a)의 하드 스위칭시에 발생하는 서지 전류등의 스트레스를 ZVT 스위칭(그림 10(b))으로 확실하게 저감할 뿐만 아니라 스위칭 손실 또한 감소시킬 수 있음을 보여준다.

그림 11은 본 연구에서 제안한 ZVT PFC-인버터 시스템의 입출력 실험결과 파형을 보인 것으로 입력 측에서 보면, 그림 11(a)과 같은 기존의 콘덴서 입력형 전류 회로에 비하여 본 연구에서 적용한 ZVT PFC 회로(그

표 1 ZVT PFC-인버터 회로의 파라메타

Table 1 The parameters of the ZVT PFC-Inverter

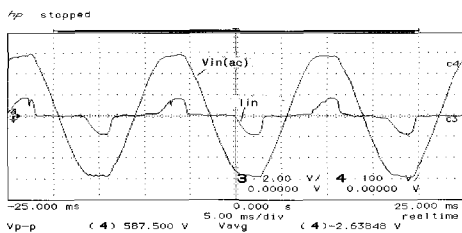
Parameter & Device		Component & Value
P_o (출력전력)		3[KW]
PFC	L_M (승압용 인덕터)	220[uH]
	C_O (출력 커패시터)	1100[uF]
	L_A (공진인덕터)	14[uH]
	C_A (공진 커패시터)	30[nF]
	f_{sw} (스위칭주파수)	50[KHz]
	S_M (주스위치)	APT5010LLC
	S_A (보조스위치)	IRFP460A
	D (주다이오드)	HFA50PA60C
	DI (보조 다이오드)	STTA2006
	Controller	UC3854AN
인버터	L_r (공진인덕터)	100[uH]
	C_r (공진 커패시터)	4.7[nF]
	$S_1 \sim S_6$ (주스위치)	2MB50L-60(Fuji)
	S_r (보조스위치)	2MB50L-60(Fuji)
	f_{sw} (스위칭주파수)	20[KHz]



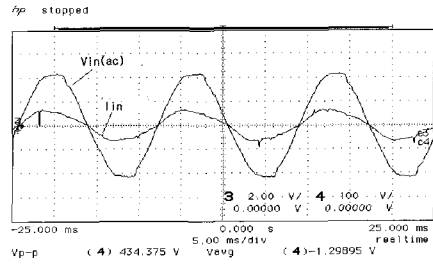
(a) 하드 스위칭시 (b) ZVT 스위칭시

그림 10 주스위치 턴-온시의 전압/전류 파형
Fig. 10 voltage/current waveforms of the main switch(turn-on)

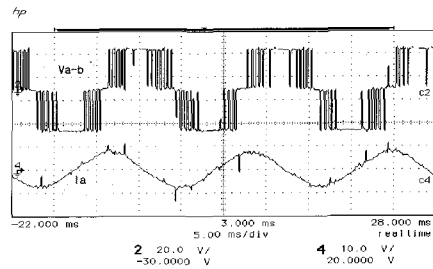
림 11(b))의 입력전류의 역률 및 고조파 개선 효과를 보여준다. 또한 출력 측에서 보면 ZVT-인버터가 기준하드스위칭 인버터에 비하여 손색없이 운전됨을 알 수 있다.



(a) 정류 다이오드 적용시 입력전압/전류



(b) ZVT PFC 적용시 입력 전압/전류



(c) ZVT 인버터 출력 전류/전압

그림 11 제안된 ZVT PFC-인버터의 실험결과
Fig. 11 Experimental Results of the proposed ZVT PFC-Inverter

마지막으로 본 연구에서 적용한 ZVT 스위칭의 효과를 검증하기 위하여 Voltech사의 PM3000A 전력계를 이용하여 1[KW] 부하 시 시스템의 입·출력 및 역률을 측정된 결과를 표 2에 보였다. 표 2에서 알 수 있는 것처럼 기존의 인버터에 PFC회로를 추가함으로써 입력전압의 전 범위(90~260[V])에서 1에 가까운 역률은 유

표 2 제안된 시스템의 효율 및 역률 비교
Table 2 Comparison of the Efficiency & Power Fator

입력전압	하드 스위칭		소프트 스위칭	
	효율	역률	효율	역률
97V	85.7	0.99	88.1	0.99
200V	92.7	0.987	94.5	0.99

지할 수 있었으며, 본 연구에서 제안한 PFC-인버터에 ZVT 스위칭 기법을 적용할 경우 역률은 차이가 없지만 시스템의 효율은 표 2와 같이 입력전압에 따라 개선됨을 알 수 있다. 여기서 입력전압이 낮을 때의 효율이 높을 때 보다 낮은 것은 PFC회로의 기본적인 특성 때문으로 생각된다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 인버터 제어형 에어컨디셔너와 같은 부하에 사용되고있는 PFC-인버터 시스템의 효율을 개선하기 위하여 ZVT 스위칭 기법을 적용하는 방법에 대하여 논하였고, 이를 시뮬레이션을 통하여 설계한 다음 3[KW]의 시작품을 제작, 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전체 시스템에 ZVT 스위칭 기법을 적용하여 주 전력 스위치의 손실을 저감함으로써 기존의 하드 스위칭시 보다 1.8[%]-2.4[%] 정도의 효율을 개선할 수 있었다

2) 인버터의 입력 전원을 ZVT-PFC로 대체하여 입력 전압의 전 범위에서 0.99 정도의 역률을 유지할수 있다.

3) PFC와 인버터가 모두 ZVT 스위칭 되기 때문에 주 전력 스위치의 스위칭 시 발생하는 과전압 또는 과전류를 저감할 수 있다.

이상의 결과로 본 연구에서 제안한 ZVT PFC-인버터의 유용성을 확인하였고, 기존의 하드스위칭 PFC-인버터에 비하여 ZVT를 위하여 단지 2개의 보조 스위치를 추가하면 되므로 가격 면에서도 경쟁력을 가질 수 있으리라 판단된다.

앞으로 고속 스위칭으로 발생하는 회로의 기생 인덕턴스를 감소시키는 방법 및 PFC 측면에서 용량 증설에 따른 주 스위치의 병렬 운전 또는 새로운 토폴로지의 적용 그리고 가격을 고려한 부품의 최적 선정 및 배치 등에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] C. Cuadros, D. Borojevic, S. Gataric, V. Vlatovic, H. Mao, F. C. Lee, " Space Vector Modulated, Zero-Voltage Transition Three-Phase to DC Bidirectional Converter", Conference Records of IEEE Power Electronics Specialists Conference, June 1994, pp.16-23.
- [2] M.M Jovanovic, C. Zhou, P. Liao, "Evaluation of active and passive snubber technique for applications in PFC boost conveter" Sixth International Conference on Power Semiconductors and Their Applications (Electronic '92) Munich, Germany, Nov. 11, 1992
- [3] G. Hua, C.S Leu, F.C. Lee, " novel zero voltage transition PWM converter," IEEE Power Electronics Specialist Conference Record, pp.55-61, 1992
- [4] 문상필, 서기영, 이현우, 김영문. " 역률개선회로를 갖는 에어컨용 전력변환장치", 대한전기학회논문지 49권 5호, pp345- 351
- [5] 이성룡, 고성훈, 송인석, " 유도전동기 구동용 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터" 대한전력전자학회 논문집 Vol. 4, No. 6, 1999, pp561-569
- [6] "METGLAS High Frequency Cores : Application Guide" Technical Bulletin, AlliedSignal, 1996.

저 자 소 개



이성룡(李星龍)

1980년 명지대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 전북대 전기공학과 졸업(박사). 1997-1998년 미국 Virginia Tech 교환교수. 현재 군산대학교 전자정보공학부 부교수.



전칠환(全七煥)

1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1986년 Vanderbilt University 전기공학 졸업(석사). 1990년 Vanderbilt University 전기공학 졸업(박사). 현재 군산대학교 전자정보공학부 부교수.



권순신(權純信)

1974년 5월 28일생. 1999년 군산대 제어계측공학과 졸업. 동 대학원 전자공학과 재학중(석사).