

ZVT 스위칭 되는 전류제어형 양방향 인버터의 구현

李星龍*, 高晟勳, 金成佑

An Implementation of a Current Controlled Bi-directional Inverter with ZVT Switching

S.R. Lee, S.H. Ko, and S.W. Kim

요약

최근에 전력계통의 안정 및 고품질화에 대한 요구가 증대되기 시작하였고, 이에 따라 향상된 전력변환기술과 대체에너지원을 이용한 계통연계형 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 시스템에서의 인버터의 효율은 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 계통연계형 시스템을 고효율화 하기 위한 방법으로 소프트-스위칭 기법이 적용 가능한 전류제어형 인버터를 제안하였다. 또한, 소프트-스위칭 기법을 적용할 수 있는 전류제어 알고리즘과 ZVT 동작원리를 이론적으로 해석하였고 이의 유용성을 시뮬레이션과 실험을 통하여 입증하였다.

ABSTRACT

A single-phase inverter using a diode bridge-type resonant circuit to implement ZVT(Zero Voltage Transition) switching is presented. It is shown that the ZACE(Zero Average Current Error) algorithm based polarized ramp-time current control can provide a suitable interface between DC link of diode bridge-type resonant circuit and the inverter. The current control algorithm is analyzed about how to design the circuit with auxiliary switch which can ZVT operation for the main power switch. The simulation and experimental results would be shown to verify the proposed current algorithm, because the main power switch is turn on with ZVT and the bi-directional inverter is operated.

Key Words : Zero Voltage Transition inverter, Polarized Ramp-time Current Control

1. 서론

최근에 산업이 발전함에 따라 전력계통의 안정 및 고품질화에 대한 요구가 증대되기 시작하였고, 이에 따라 향상된 전력변환기술과 대체에너지원을 이용하여 계통을 제어하기 위한 계통연계형 시스템에 관한 연구

가 활발히 진행되고 있다.

계통 연계형 시스템은 그 기능에 따라 크게 무정전 전원공급장치(Uninterruptible Power Supply), Power Conditioner, DSM(Demand Side Management)으로 구분할 수 있다.

무정전 전원공급장치와 Power Conditioner는 계통에 상관없이 상시 운전해야 하기 때문에 인버터의 효율은 매우 중요하고, DSM의 경우는 분산전원으로 대체에너지를 사용하고 있는데, 지금까지 대체에너지 변환효율이 극히 낮기 때문에 인버터의 효율은 전체 시스템 효율향상에 필수조건이다. 따라서 계통연계형 시스템의 효율을 향상하기 위하여 최근 인버터에 소프트-스위칭

*군산대 전자정보공학부 교수

E-mail : srlee@kunsan.ac.kr

접수일자 : 2002. 1. 7

1차심사요청일 : 2002. 1.17 2차심사요청일 : 2002. 2.28

심사완료일 : 2002. 3.19

기법을 적용하기 시작하였다. 일반적으로 소프트-스위칭 기법은 주 전력 스위치 소자가 스위칭 할 때 발생하는 과전류 및 과전압 스파이크를 제거 또는 감소시킬 수 있기 때문에 기존의 하드-스위칭 기법 보다 스위칭 손실 및 스위칭 시 발생하는 여러 문제점을 제거 또는 감소시킬 수 있다^[1].

한편, 제어방식으로는 계통에 흐르는 전류를 직접 제어할 수 있는 전류제어방식을 주로 사용하는데 대표적인 전류제어방식으로 히스테리시스(Hysteresis) 전류제어기법이 있다. 이 방법은 단순히 기준 전류의 상한 값과 하한 값을 설정하고 이를 비교하여 추종전류가 이들 값 사이에 있도록 스위칭 시키는 방법으로 매우 간단하고 부하조건에 상관없이 강인하고 안정성을 가지고 있기 때문에 널리 이용되고 있다. 그러나 이 방식은 계통과 부하변동에 따라 스위칭 주파수가 아주 민감하게 변동하기 때문에 스위치 소자 사용에 한계가 있고, 출력필터 설계의 어려움 등의 단점과 스위칭 시간을 예측할 수 없기 때문에 소프트-스위칭 기법을 적용하기가 매우 어렵다^[2].

그러므로, 본 논문에서는 계통연계시스템을 고 효율화하기 위해서 필요한 소프트-스위칭 기법의 적용이 가능한 CR-PWM(Current Regulated Pulse Width Modulation) 인버터를 제안하고자 한다. 이를 위해 PRT(Polarized Ramptime)전류제어기법을 적용하는데, 이 전류제어기법은 현재의 기율기 정보를 가지고 다음 주기의 스위칭 시퀀스를 결정하는 알고리즘으로 히스테리시스 전류기법의 좋은 특성은 유지하면서 단점인 가변스위칭 주파수문제를 해결할 수 있다. 또한, 다음 스위칭 시퀀스를 예측할 수 있기 때문에 소프트-스위칭 기법을 적용할 수 있는 장점을 가진다^[1,3].

따라서, 본 연구에서는 소프트-스위칭 기법이 가능한 전류제어형 인버터를 제안하였고, 전류제어 알고리즘과 ZVT동작원리를 이론적으로 해석하고 ZVT 동작을 위한 보조공진회로 적정설계방법에 대하여 논의하였다. 또한, PSIM과PSpice를 이용한 시뮬레이션과 DSP(TMS320C50)를 이용하여 실험하였다. 시뮬레이션과 실험을 통하여 주 전력 스위치가 스위칭시 ZVT로 스위칭하며 CR-PWM 인버터로 운전되고 있음을 보임으로써 제안된 인버터의 유용성을 입증하였다.

2. 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터

현재까지 연구가 진행되고 있는 3가지 타입의 계통연계형 시스템에서 UPS, Power Conditioner 등은 응

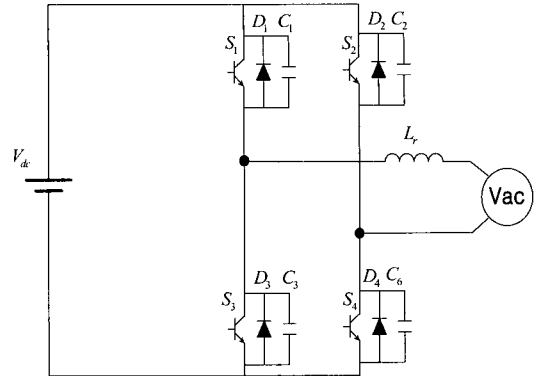


그림 1 계통연계형 전압원 인버터
Fig. 1 Grid-interactive Voltage Source Inverter

답이 빨라야 되고, DSM의 경우는 상대적으로 응답이 느린 대신 부하분담을 위한 분산전원이 필요하다는 점 외에는 서로 많은 공통점을 갖고 있다. 특히 이들 계통연계 시스템은 배터리를 사용하기 때문에 전압원 인버터이어야 하며, 계통의 품질을 향상하기 위하여 제어방식으로는 양방향 제어가 가능한 전류제어방식을 사용해야 한다. 이의 특성이 계통연계 시스템의 성능을 좌우한다는 것을 알 수 있다. 또한, 인버터의 효율이 전체 시스템의 효율 향상에 중요함을 알 수 있다. 따라서 인버터의 효율향상을 위하여 소프트-스위칭 기법을 적용할 필요가 있다.

소프트-스위칭 기법은 DC-DC 컨버터를 중심으로 개발되어 주로 정지형 전력변환장치(Static Power Converter)분야에서 적용되어 큰 성과를 이루었다.

그림 1은 일반적인 단상 전압원 인버터를 상용전원과 병렬로 접속된 형태로 PWM (Pulse Width Modulation)제어방식이 많이 사용되어진다. 단상 전압원 인버터의 구조는 4개의 주 전력 스위치와 4개의 역방향 다이오드 그리고 4개의 스너버 캐패시터로 구성되어진다. 이러한 일반적인 단상 전압원 인버터로는 소프트-스위칭을 할 수 없기 때문에 ZVT 조건을 만족하기 위한 보조회로를 부하단에 추가하여 사용한다.

기존의 ZVT 토폴로지들은 공통적으로 주 전력 스위칭 디바이스의 ZVT 조건을 만족하기 위하여 필요한 보조공진 회로 부문에 과도한 컴포넌트를 추가 사용함으로써 원가 상승 및 제어가 복잡해지는 단점을 가지고 있다^[4,5]. 따라서 본 논문에서는 스위치 컴포넌트를 최소화하기 위해서 제안된 다이오드 브릿지-타입 셀을 이용하여 보조 스위치 하나만을 사용하는 그림 2의 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터를 시스템에 적용하고자 한다^[6].

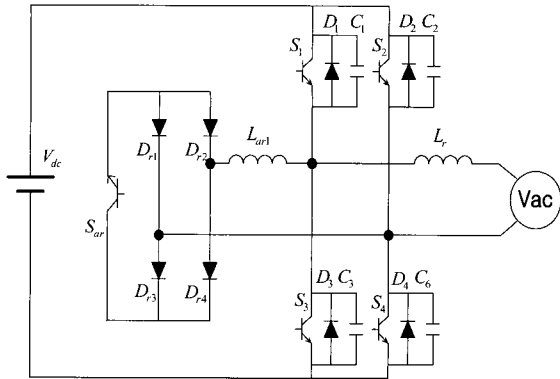


그림 2 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터
Fig. 2 Diode bridge-type ZVT Inverter

그림 2의 다이오드 브릿지-타입 ZVT 토폴로지는 일반적인 단상 풀-브릿지 인버터에 다이오드 브릿지-타입의 보조공진 회로를 출력 단에 연결한 형태로 보조스위치를 하나만을 사용함으로써 원가절감 및 제어의 용이성의 장점을 가진다.

이 토폴로지의 동작원리는 주 스위치가 턴-온 하기 전에 보조공진 회로를 먼저 활성화 시켜 공진 인덕터를 충전한다. 충전된 인덕터 에너지와 스너버 캐패시터는 데드타임 구간에 공진 하여 주 전력 스위치의 양 단간의 전압은 "0" 상태가 되도록 에너지 전환을 하게 되고, 그 후 주 전력 스위치는 ZVT 조건으로 스위칭을 하게 된다. 여기서 보조공진스위치를 주전력스위치가 턴-온하기 전에 먼저 턴-온 시켜야 하기 때문에 주전력스위치의 스위칭 패턴을 예측이 가능해야한다. 그러나, 간단하고 안정성이 뛰어나 주로 사용하는 히스테리시스 기법의 경우 스위칭 시간을 미리 예측하기가 매우 어렵기 때문에 현재까지 ZVT 스위칭기법을 적용하지 못하는 실정이다. 그러므로 본 논문에서는 앞 절의 전류 제어기법 중 히스테리시스 기법의 일종인 PRT(Polarized Ramp Time) 전류제어기법에 주목하고 있다. PRT전류제어기법은 현재의 ramp time을 다음주기의 그 시간으로 결정하는 알고리즘이기 때문에 히스테리시스 전류제어기법의 단점인 가변 스위칭 주파수문제를 해결할 수 있을 뿐 아니라 스위칭 시간을 예측할 수 있기 때문에 ZVT 스위칭 기법이 가능하기 때문에 인버터의 효율향상을 기대할 수 있다.

3. ZVT 인버터의 전류제어 알고리즘

전류제어 알고리즘 중 가장 이상적인 방법으로 ZACE (Zero Average Current Error) 기법이 제시되

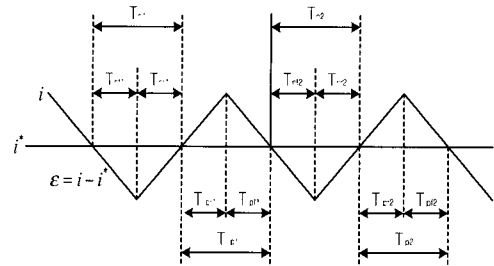


그림 3 전류 오차 신호
Fig. 3 Current error signal

었으며 이를 보완한 많은 알고리즘이 제안되었다. ZACE 타입의 전류제어기법을 이용한 AC-DC PWM 인버터는 제어가 용이하고, 빠른 응답을 가지며 DC 링크전압에 관계없이 독립적으로 AC 전류를 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 이 방법은 계통이나 부하변동에 따라 스위칭 주파수가 가변 되는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Ramp time전류제어기법이 제시되었고 또, 이를 보완한 PRT 전류제어기법이 제시되었다^[1]. 이 기법은 링크 인덕터의 전류와 지령치의 오차 신호만을 이용하여 스위칭 시그널을 결정하는 알고리즘이다.

그림 3은 링크 인덕터에 흐르는 전류 i 와 지령치 전류 i^* 와의 오차 신호를 보여준다. 그림 3에서 지령치 전류를 "0"으로 가정했을 때 T_p 는 인덕터 전류가 "0"보다 위에 있을 때의 시간을 나타내고 T_n 는 전류가 "0"보다 아래쪽에 있을 때의 시간을 나타낸다. 여기서 "0"의 위의 면적과 아래의 면적이 같을 경우 즉, T_p 와 T_n 이 같다면 식 (1)과 같이 스위칭 주파수를 일정하게 할 수 있다.

$$T_p^* = T_n^* = \frac{T_{sw}^*}{2} \tag{1}$$

*: 목표값

PRT 기법의 스위칭은 최근의 "0" 교차점에서 일어나는 전류 오차 신호에 의하여 결정되며 이를 식 (2)와 (3)으로 표현할 수 있다.

$$T_{pr2}^{\#} = \left[\frac{T_{pr1}^{\wedge}}{T_{pl}} \right] \left[\frac{T_{sw}^*}{2} \right] \tag{2}$$

$$T_{nr2}^{\#} = \left[\frac{T_{nr1}^{\wedge}}{T_{nl}} \right] \left[\frac{T_{sw}^*}{2} \right] \tag{3}$$

\wedge : 측정된 값 $\#$: 계산에 의한 값

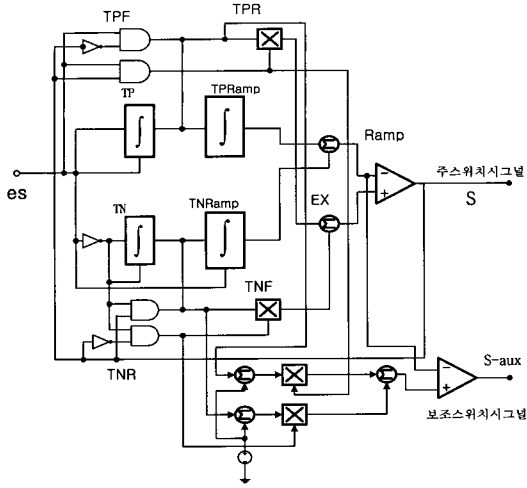


그림 4 PRT-ZVT 전류제어 블록선도
Fig. 4 PRT-ZVT current control block diagram

- *TP : T_p 구간의 시간을 측정할 값.
- *TN : T_n 구간의 시간을 측정할 값.
- *TPR : T_p 구간에서 상승구간을 측정할 값.
- *TNF : T_n 구간에서 하강구간을 측정할 값.
- *TPRamp : T_p 구간에 비례한 기울기를 갖는 ramp를 생성할 값.
- *TNRamp : T_n 구간에 비례한 기울기를 갖는 ramp를 생성할 값.

PRT-ZVT 전류제어 알고리즘 블록선도는 그림 4와 같고 시간에 따른 동작파형을 그림 5에 보였다.

그림 4의 제어 블록선도는 오차 신호를 디지털 신호로 변환한 e_s 와 스위칭 신호 S 를 입력받아 주전력 스위치와 보조공진 스위치의 스위칭 시퀀스를 결정하는 기능을 수행한다. 여기서 TP와 TN는 e_s 의 (+)와 (-)일 때의 면적을 각각 적분하여 기울기를 만들어내는 기능을 수행하고, TPF와 TNR는 e_s 와 스위칭 신호 S 를 입력받아 논리적 연산을 수행하는 기능을 한다. 각각의 제어블럭에 따라 수행하는 기능은 아래에 나타냈다. 따라서 연산된 4가지 파형을 이용하여 다음 단계의 스위칭 신호 S 를 결정할 수 있다. 또한, 주전력 스위칭 신호 S 를 미리 예측할 수 있기 때문에 보조공진 스위칭 신호 S_{aux} 를 턴-온 시키는 시점을 결정할 수 있다.

그림 5에서 맨 위의 파형은 측정된 인덕터 전류(I_L)와 지령치 전류(I^*)를 비교하는 파형으로, 여기서 e_s 는 비교한 오차신호가 (+)이면 '1'이고, (-)이면 '0'을 나타내는 디지털 신호이다. TP와 TN의 동작은 e_s 의 (+)와

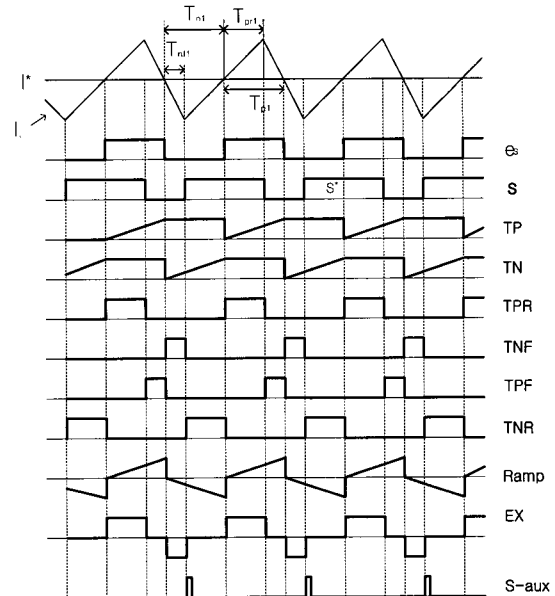


그림 5 PRT-ZVT 전류제어 동작 파형
Fig. 5 Operation waveforms of the PRT-ZVT current control

(-)일 때의 구간을 각각 적분하여 기울기를 만들어 내며, TPF와 TNR 동작은 e_s 와 S 의 논리적 연산을 통하여 T_p 에서의 하강구간과 T_n 에서의 상승구간을 디지털 신호로 변환시킨다. 또한, TPR과 TNF는 e_s 와 S 의 논리적 연산을 통하여 T_p 에서의 상승구간과 T_n 에서의 하강구간을 디지털 신호로 변환시킨다. RAMP의 동작은 TP와 TN의 합을 연산하고, EX는 TPR과 TNF의 합을 연산한다. RAMP와 EX를 비교하여 주전력 스위치 시그널 S 를 생성한다. 즉, T_{p1} 과 T_{n1} 의 정보를 연산하여 다음 스위칭 시그널 S^* 를 만들 수 있다. 여기서 만들어진 S^* 로 주전력 스위치를 바로 턴-온 시키지 않고 먼저 보조공진 스위치 S_{aux} 를 턴-온 시켜 ZVT 조건을 만족한 후에 주전력 스위치를 턴-온 시킴으로써 제안된 인버터는 ZVT로 스위칭을 하게 된다.

4. 전류 제어형 ZVT 인버터

ZVT로 동작하기 위해서는 스위칭을 수행하는 스위치의 양단간의 전압을 "0"V로 만들고 난 후 스위칭 동작을 함으로서 스위칭 중 전압과 전류가 중복되지 않게 되어 스위칭 손실을 최소화하는 것이다. 스위칭 직전에 스위치의 전압을 "0"로 만들어 주기 위한 방법이 공진 인덕터와 스너버 캐패시터에 의한 공진을 이

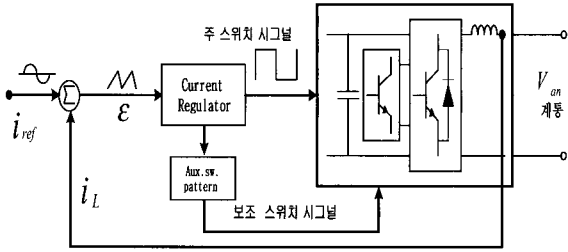


그림 6 전류제어루프를 갖는 인버터 제어블록선도
Fig. 6 Inverter control with current control loop

용한다. 즉, 주 전력 스위치가 ZVT로 턴-온하기 위해서 보조 공진회로를 먼저 턴-온 시키면 공진용 인덕터에 전류가 흐르기 시작하고 에너지 충전기간에 들어가게 된다. 데드타임 기간동안 공진용 인덕터와 스너버 캐패시터에 의해 자연 공진하게 되며 주전력 스위치는 영 전압상태로 되며 이때 주 전력 스위치는 ZVT로 스위칭하게 된다. 제안한 인버터가 ZVT 인버터로 소프트-스위칭 하기 위해서는 스너버 캐패시터와 공진용 인덕터 그리고 이들의 제어 시기가 매우 중요하다.

전류제어루프를 갖는 인버터 제어 블록선도를 그리면 그림 6과 같다

PRT-ZVT 전류제어루프는 내부 제어루프와 외부 제어루프로 이루어져있다. 외부전류제어루프에서는 목표로 하는 지령치 전류 파형을 만들고, 내부전류제어루프에서는 실제 인덕터 전류 i_L 이 지령치 전류파형을 추종하게 하기 위하여 CR-PWM 스위칭 시그널을 생성한다.

본 논문에서 제시한 전류제어형 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터는 단상 풀-브릿지 전압원 인버터, ZVT 동작을 위한 다이오드 브릿지-타입 보조공진회로 그리고 이들의 제어를 위한 제어회로로 구성되며 그림 7과 같다.

제시된 전류제어형 ZVT 인버터의 스위치 소자는 스위칭 속도와 부하를 고려하여 대전력 고주파수 구동이 가능한 차세대 스위치 소자로 부각되고 있는 IGBT(Insulated Gate Bipolar transistor)를 기본으로 구성하였으며 주전력회로 및 보조공진회로는 이미 앞서 기술했기 때문에 제어회로 구성에 대하여만 기술하고자 한다.

본 연구에서는 ZVT-PRT 전류제어 알고리즘의 효율적인 제어, 시스템의 간소화 및 제어성능 향상을 위해 TI사의 TMS320C50 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하였고, 순서도는 그림 8과 같다. 고정 소숫점 DSP인 TMS320C50은 40 MHz의 클럭을 내부에서 2 분주하여 20MHz로 동작한다.

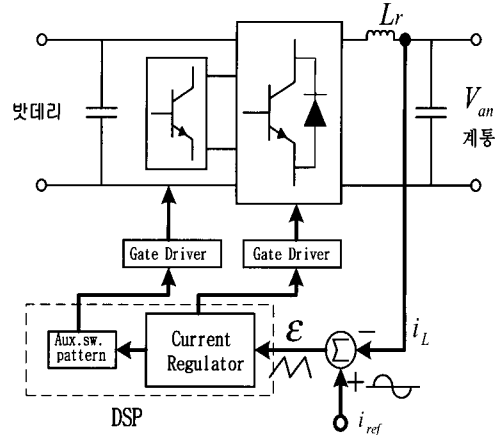


그림 7 전류제어형 ZVT 인버터 구성도
Fig. 7 Schematic diagram of current controlled ZVT inverter

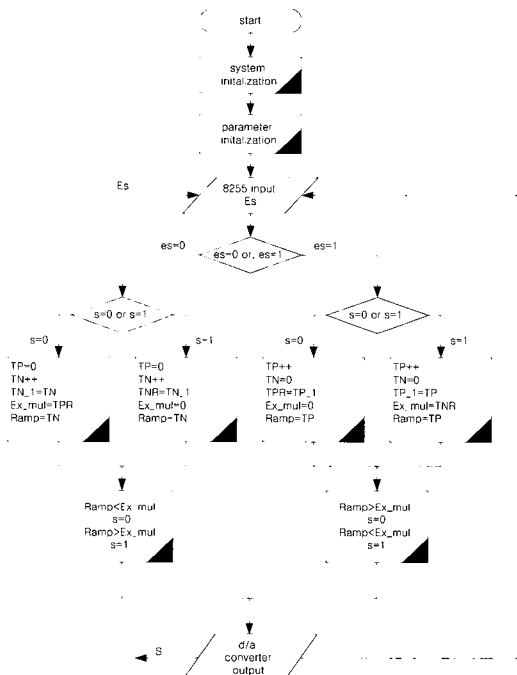


그림 8 PRT-ZVT 전류제어 알고리즘 순서도
Fig. 8 Algorithm flowchart of the PRT-ZVT current control

입력 장치로는 A/D 컨버터 및 외부 인터럽트 그리고 8255A 가 있으며 본 연구에서는 8255A만을 입출력으로 사용하였다. 8255A PPI(Programmable Peripheral Interface)는 인텔 계열 마이크로 프로세서에서 제공하는 범용 병렬 입출력 인터페이스 소자로서 널리 사용되고 있다.

프로그램의 메인루틴은 디지털 입력 장치 8255A를 통해 들어오는 e_s 신호에 따라 2가지 루틴으로 나뉘게 되며, 또한, 각각의 루틴은 S의 값에 따라 다시 두가지로 나뉘게 된다. 즉, 측정된 링크 인덕터 전류와 외부 제어루프에서 만들어진 지령치 전류와의 오차 신호 e_s 와 피드백 된 스위칭 시퀀스 S에 따른 4가지의 경우의 수에 따라 각각의 제어변수를 연산하여 스위칭 시그널을 생성하게 된다.

출력된 스위칭 시그널은 주전력회로 및 보조공진회로의 스위칭 패턴을 생성하기 위한 제어회로의 입력이 되며, 또한 제어회로의 출력은 IGBT 구동에 적합하게 구성된 게이트 드라이버 회로를 통해 최적으로 IGBT를 구동하게 된다.

5. 실험 및 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서 제안한 전류제어형 ZVT 인버터의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였고 조건은 다음 표 1과 같다.

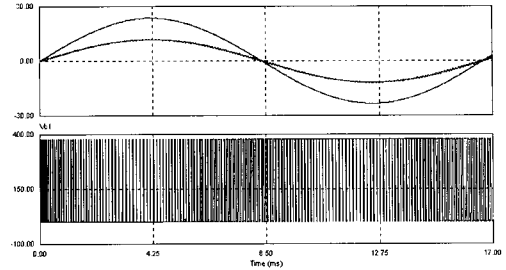
표 1 시뮬레이션 조건
Table 1 Condition of Simulation

Parameter	Value	Parameter	Value
Van	220V	fi	60Hz
Vdc	380V	Lr	20mH
Ia	15A	Lar	20uH
fsw	20kHz	Cr	15nF

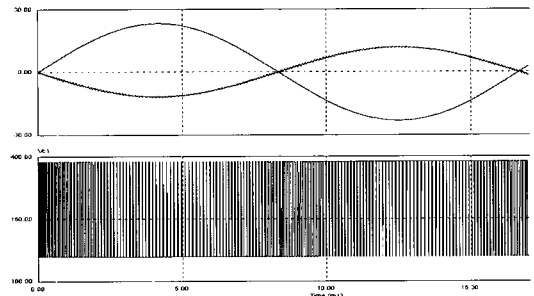
먼저 제안된 ZVT 인버터가 계통연계형에 적합한지 확인하기 위하여 양방향으로 동작하는 시뮬레이션을 하였다.

그림 9의 1 (a), (b)에서 위 시뮬레이션 파형은 전원 전압 과 인버터 출력 단의 인덕터 전류이고 아래 파형은 주 전력 스위치 S1의 양단간의 전압이다. 그림 9(a)에서 전압과 전류는 동위상으로 이때는 인버터 모드로 동작하여 부하에 전력을 공급하고 있음을 알 수 있다. 그림 (b)에서 전압과 전류는 180도 위상 차를 가짐으로써 이때는 컨버터 모드로 동작하여 배터리 충전을 할 수 있음을 알 수 있다.

그림 10은 인덕터 전류의 주파수 스펙트럼으로 PRT 기법을 사용함으로써 고조파 저감 및 스위칭 주파수가 고정됨을 알 수 있다.



(a) 동위상 파형
(a) Waveforms of the same phase



(b) 180도 위상차 파형
(b) waveforms of the phase angle 180.

그림 9 제안된 ZVT 인버터의 전압 및 전류 파형
Fig. 9 Waveforms of the Voltage and Current of the proposed ZVT inverter

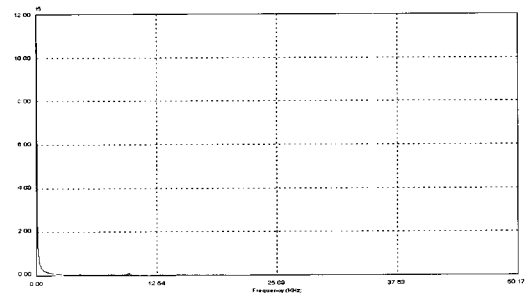


그림 10 전류 푸리에 변환 스펙트럼
Fig. 10 Fourier transform current harmonic spectrums

그림 11은 인버터의 ZVT 동작 파형으로 위 파형은 주 전력 스위치 S1 및 보조공진 스위치 Sr의 스위칭 신호와 그때 흐르는 공진 인덕터 전류이며, 아래 파형은 S1의 양단간의 전압과 흐르는 전류이다. S1의 양단간의 전압이 "0" 상태에서 ZVT로 스위칭 됨을 알 수 있다. 이상과 같이 새로운 전류 제어알고리즘을 적용한 ZVT 인버터를 시뮬레이션을 통하여 양방향 전류 제어가 가능하고, 스위칭 주파수가 고정됨으로서 ZVT 스위칭이 가능함을 알 수 있다.

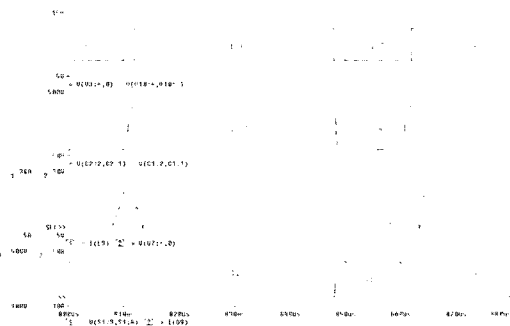
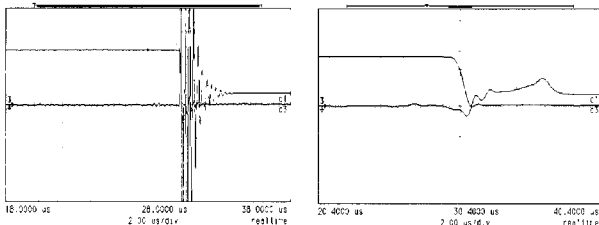


그림 11 인버터의 ZVT 스위칭 동작 파형
 Fig. 11 Waveforms of ZVT operation of the proposed inverter



(a) 하드 스위칭 (턴-온) (b) 소프트-스위칭 (턴-온)
 (a) Hard-Switching (b) Soft-Switching

그림 12 전압 및 전류의 실험 파형
 Fig. 12 Experimental voltage and current waveforms

이상 시뮬레이션을 통하여 확인한 제안된 토폴로지의 유용성을 실제실험을 통하여 입증하기 위하여 확인하기 위하여 ZVT 인버터를 제작하여 실험하였다. 이때 시스템 파라미터는 시뮬레이션 조건과 동일하며, 주전력 및 보조스위치는 IGBT 모듈(2MB50L-60)을 사용하였고, 제어용 프로세서는 DSP(TMS320C50)을 사용하여 실험하였다.

그림 12는 주 전력 스위치 S1의 전압 및 전류파형이며, 그림 13은 입력교류전압과 인버터의 전압 및 전류의 출력파형이다.

그림 12에서 (a)는 기존의 하드-스위칭 방법으로 스위칭 할 때의 파형이고, (b)는 소프트-스위칭 할 때의 주 전력 스위치 S1의 양단간의 전압 및 스위치에 흐르는 전류 파형이며 전압은 100[V], 전류는 2[A] 이다.

인버터에 positive 방향으로 전류가 흐를 때 주 전력 스위치가 턴-오프 할때는 스너버 캐패시터에 의해 자연스럽게 스위치 전압의 dv/dt가 제어되어 ZVT 조건을 만족하기 때문에 본 연구에서는 ZVT 스위칭 효과를 입증하기 위하여 주 전력 스위치가 턴-온 할 때를 측정하였다.

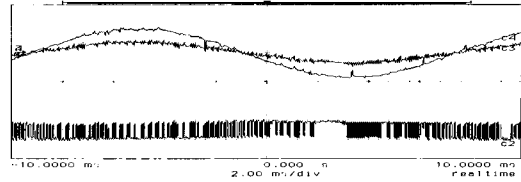


그림 13 제안된 인버터의 전압 및 전류 실험 파형
 Fig. 13 Experimental waveforms of the Voltage and current of the proposed

실험 결과, 하드-스위칭 할 때는 부하전류 때문에 스너버 캐패시터가 스너빙 할 수 없어 주 전력 스위치의 스너버 캐패시터에 전압이 걸려 있는 상태에서 스위치가 턴-온 되어 스위치에 매우 큰 스파이크 전류가 흐르게 되고 또한 회로의 기생 인덕턴스와 결합하여 심한 링킹(ringing)이 발생함을 그림 12(a)에서 알 수 있다. 그러나, 그림 12(b) 에서처럼 소프트-스위칭의 경우, 공진용 인덕터의 공진에너지에 의해 캐패시터가 스너빙하게 되어 스위치 전압이 “0”인 상태에서 턴-온 하게되므로 ZVT 조건으로 운전 할 수 있음을 알 수 있다.

그림 13은 입력교류전압(110V)과 인버터의 전압 및 전류(2A)의 출력파형으로 동위상으로 작동하여 부하에 전력을 공급하고 있음을 알 수 있으며 계통연계형 시스템으로 사용할 수 있음을 보여준다. 다만, 현재 스위치 주파수를 20[kHz] 이상 제어가 어려운데 이는 측정된 전류와 지령치와의 비교기에서 발생하는 시간지연과 사용한 DSP가 교육용이기 때문에 비교적 저속인 입출력장치로 인한 시간지연으로 생기는 문제점으로 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 시스템을 고효율화 하기 위해서 필요한 소프트-스위칭 기법을 적용할 수 있는 전류제어 ZVT 인버터를 제안하였고, 소프트-스위칭 가능한 전류제어 알고리즘과 ZVT동작원리를 이론적으로 해석하였으며 ZVT 동작을 위한 보조공진회로 적정설계방법에 대하여 논의하였다. 또한 PSIM과 PSpice를 통한 시뮬레이션과 DSP를 이용한 실험을 통하여 그 유용성을 입증하였다. 제안된 전류제어 ZVT 인버터는 양방향 전류제어가 가능하므로 계통연계형에 적용할 수 있으며, ZVT로 동작하기 때문에 대체에너지 시스템의 효율 향상이 기대 된다. 또한 ZVT 조건을 만족시키기 위한 보조공진 스위치가 1개만으로도

충분하기 때문에 기존의 인버터와 비교하여도 가격경쟁력을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 제시된 ZVT 인버터가 양방향으로 소프트-스위칭으로 동작하는 것만을 보였다. 따라서 앞서 기술한 계통연계형 시스템에서 필요한 여러 가지 기능에 적합하도록 시스템 제어에 대한 연구를 계속 진행할 예정이다.

본 연구(과제 관리번호:01-010)는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Lawrence J. Borle and Chem V. Nayar, "Ramptime Current Control", accepted to the IEEE Conference on Power Electronics, pp. 828~834, 1996.
- [2] L. J. Borle and C. V. Nayar, "Zero Average Current Error' Controlled Power Flow for AC-DC Power Converters", accepted for publication IEEE Trans. Power Electronics, 1995.
- [3] D. M. Brod and D. W. Novotny, "Current control of VSI-PWM inverters", IEEE Trans. Industry Appl., Vol. 21, No. 4, pp. 562~570, 1985.
- [4] B.M. Song, S.R. Lee, and J.S. Lai, "An Improved Three-Phase Auxiliary Resonant Snubber Inverter for AC Motor Applications", *Conf. Rec. of IEEE PESC*, Hukuoka, Japan, pp. 423~428, 1998.
- [5] Seong-Ryong Lee, "A control Strategy of the Three-Phase Bridge-type ZVT inverter for AC Motor Drive", *Conf. Rec. of ICPE '98*, pp. 529~534, 1998.
- [6] 이성룡, 고성훈, 송인석, "유도전동기 구동용 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터", 전력전자학회 논문지 Vol. 4 No. 6 pp. 561~569, 1999년 12월.

저 자 소 개



이성룡(李星龍)

1958년 11월 30일생. 1980년 명지대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년~1998 Virginia Tech. visiting professor. 2001년 1월~2001년 2월 호주 Curtin University of Technology visiting professor. 1990년~현재 군산대 전자정보공학부 교수. 당 학회 학술위원.



고성훈(高晟勳)

1972년 6월 1일생. 1998년 군산대 제어계측공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자정보공학부 박사과정.



김성우(金成佑)

1974년 1월 6일생. 2000년 군산대 제어계측공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기전자제어공학부 졸업(석사). 2001년~현재 군산 기계공업고등학교 교사.