

계통선 연결형 인버터 시스템 구성에 관한 연구

조기연, 유동욱, 김은수, 배진호*

한국전기연구소 영남대학교*

A PWM Controlled High Frequency Link Inverter for Utility Interface Application

Kee-Yeon Joe Dong-Wook Yoo Eun-Soo Kim Jin-Ho Bae*

(KERI, Univ. of Yeong Nam)*

Abstract

In this paper, full bridge inverter with IGBT is proposed. By Controlling phase angle difference between 2 arms, PWM controlled high frequency link inverter has VWF capability

For the slmplicity, flexibility and compactness of control circuit, 16 bit single chip microcontroller 8797 BH is used and its characteristic is examined through experiment.

1. 서론

계통선 연결형 인버터는 적용 회로 Topology가 일반적으로 VWF 기능을 갖는 정현파 PWM 인버터가 응용되고 있으나, 최근에는 전력 밀도의 증대, 장치의 소형화, 저 소음성, 전기적 절연등의 이유로 TRHFI (Twin Resonant High Frequency Inverter) 연구가 활발하다.

TRHFI 구성은 부하의 접속상태에 따라 PLRI (Parallel Load Resonant Inverter)로 나눌 수 있으며 TRHFI 회로 Topology는 공진용 콘덴서나 공진용 리액터가 두개씩 적용 되어 장치 구성이 커지고 특히 원리적으로 각 ARM의 부하전력 분담이 균등하지 않다는점 등의 결점이 있다.

본 연구에서는 상기 결점을 개선키 위해 기존회로 Topology의 하나인 Full-Brige 회로 구성에서 자기 소호형 소자 (IGBT)를 적용하고 각 ARM의 상호간에 위상상차각을 부여하므로써 인버터 내부에 VWF 제어 기능을 갖는 단일 PWM 제어형 VWF 고주파 Link 공진형 인버터 구성을 시도 하였다.

제어 회로 구성은 회로의 유연성, 정확성, 소형화등을 위해 16 bit Single-Chip Micro Controller 8797BH를 사용하였다.

2. 직렬 공진형 Full Bridge 고주파 인버터

2.1 동작 원리

그림 2-1은 본 연구에서 제안하고 있는 전압형 직렬 공진형 Full-Bridge 고주파 인버터이다.

종래의 Full-Bridge 구성의 전압형 공진형 인버터의 회로 구성과 동일한 형태이지만 PWM 제어를 실현하기 위해 스위치 S1~S4는 자기 소호형 소자 즉 IGBT를 이용하고 있다.

그림에서 L, C는 공진용 리액터, 콘덴서이다. 고주파 공진형 인버터의 부하는 동가저항으로서 실제적으로는 정합용 변압기를 통해 2차측에 접속된다.

다이오드 D1~D4는 전력 회생용으로 사용된 역병렬 다이오드이다.

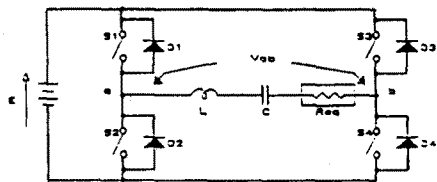


그림 2-1 직렬 공진형 Full-Bridge 고주파 인버터 회로도

그림 2-2는 제안된 인버터를 단일 PWM 제어방식으로 운전시키기 위해 각 스위치 (S1~S4)에 공급되는 구동 신호의 타이밍 시퀀스이다.

S1 과 S4 혹은 S2 와 S3가 ON 상태가 되는 경우는 위상상차각 $\phi = 0^\circ$ 의 경우로서 그림 2-1에 표시된 L-C-R 양단에 인가되는 전압 V_{ab} 는 전원 전압 (E)와 동일한 값이 된다.

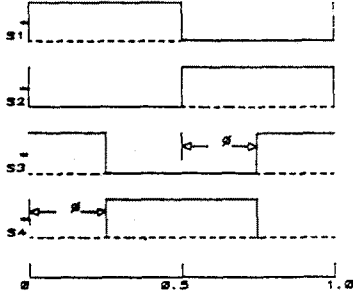


그림 2-2 구동회로 Timing도

S1과 S2에 대해 동기되면서 S3와 S4의 위상상차각 ϕ 를 S1과 S2에 대해 상대적으로 ϕ 를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 연속적으로 Shift시키면 L-C-R 양단에 걸리는 전압 V_{ab} 는 PWM으로 제어되는 출력 전압을 얻는다.

이러한 원리에 따라서 제안된 회로는 PWM 제어 기능을 고주파 공진형 인버터 회로 내부에서 구현한 회로 방식이다.

본 회로에서 회로 공진 파라메타 (L, C)에 의한 회로의 고유 주파수 (f_r)과 게이트에 의해 공급되는 인버터 회로의 동작 주파수 (f_o)와의 크기에 따라 동작 상태는 유도성 동작 혹은 용량성 동작으로 구동도 가능하다.

2.2 주회로 Simulation

주회로 특성을 분석코저 회로 Simulation에 적용된 제반 값들은 다음과 같다.

주회로 공진 주파수 : 21.6KHz 공진용 커패시터 : 1.26 μ F
 공진용 리액터 : 43 μ H 부하저항 : 5 Ω
 주회로 소자 : MOSFET

그림 2-3은 회로 Simulation에 사용된 주회로이다.

그림 2-3의 주회로에서 C1과 RS1 등은 MOSFET의 확실한 ON, OFF를 위한 Gate의 보조 회로이다.

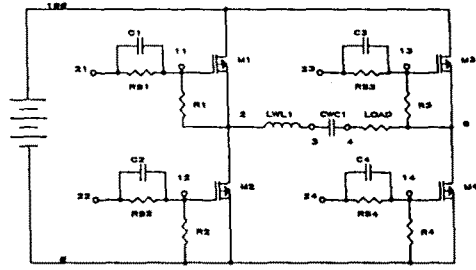


그림 2-3 시뮬레이션 주회로도

그림 2-4는 위상상차각 ϕ 의 변화에 대한 부하저항의 소비 전력 (실효치) 즉 인버터의 출력 특성을 나타낸다.

여기서 위상상차각 $\phi = 0$ 일때의 출력을 100으로 기준하였으며 μ 는 $\mu = \text{회로의 운용 주파수 } f_o / \text{회로의 공진 주파수 } f_r$ 로 정의하였다.

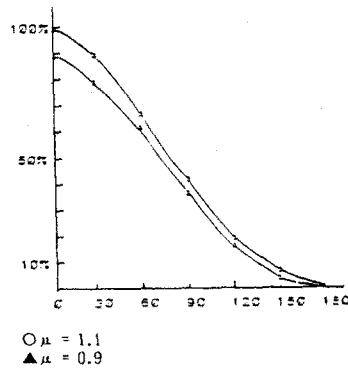


그림 2-4 위상상차각 ϕ 에 대한 출력 특성

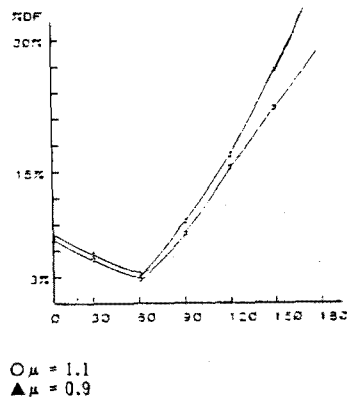
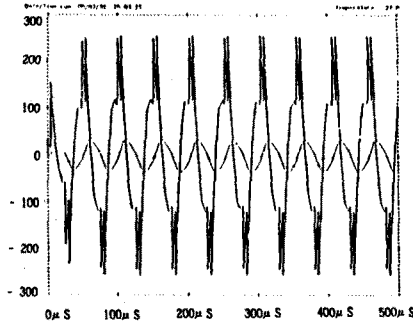


그림 2-5 위상상차각 ϕ 에 대한 출력 전압 왜형률

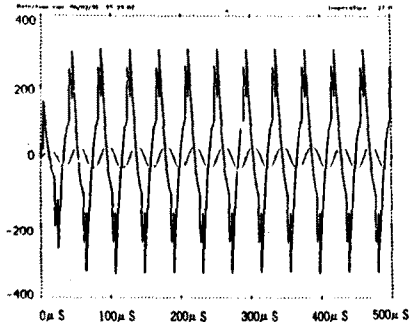
그림 2-4의 출력 특성은 제어 회로 구성에서 위상상차각의 Data의 값인 Look up Table의 Data를 결정하는데 기초 자료로 제공된다.

그림 2-5는 위상상차각 ϕ 에 대한 인버터 출력 전압의 왜형음을 나타낸다.

그림 2-6 (a), (b)는 위상상차각 $\phi = 30^\circ$, $\mu = 0.9$ 일때 $\phi = 30^\circ$, $\mu = 1.1$ 일때의 각각 공진형 리액터 전압 파형과 부하 전류를 Simulation한 결과이다.



(a) $\phi = 30^\circ$ $\mu = 0.9$



(b) $\phi = 30^\circ$ $\mu = 1.1$

그림 2-6 리액터 전압 파형과 부하 전류 파형

3. 계통선 연결형 인버터 시스템 설계

3.1 인버터 시스템 구성과 동작원리

본 연구에서 구성한 계통선 연결형 인버터의 개념적인 전체 변환 처리 파형과 인버터 시스템은 그림 3-1과 같다.

계통선 연결형 인버터 시스템은 고주파 인버터, 정류, Filter, 극성 분배 스위치로 구성된다.

고주파 인버터부는 2.1과 같은 동작 원리에 따라 기준 ARM인

전력용 반도체 S1, S2에 대해 상대 ARM인 전력용 반도체 S3, S4의 위상상차각 ϕ 를 정현파 진폭에 대응 되도록 변화시킴으로서 21.6KHz의 Carrier 주파수를 60Hz에 진폭 변조 시킨 전압 파형을 얻는다.

정류부에서는 진폭 변조된 고주파 전압 파형을 고주파 다이오드를 이용해 단상 전파 정류 시키고, Filter부에서는 변조를 위한 Carrier 주파수를 고주파 콘덴서로 Bypass 시킨다.

극성 분배 스위치에서는 120 Hz의 맥류 전압을 60Hz의 정, 부극성을 갖는 AC 전압으로 변환시킨다.

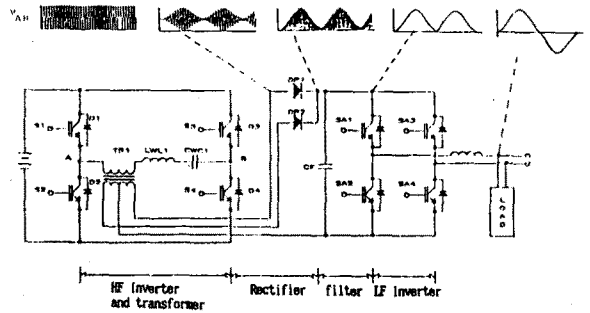


그림 3-1 인버터 시스템 구성

그림 3-2는 제어 회로의 Block 선도이다. 전력 계통 전압은 PT를 통해 제어 회로에 입력되어 60Hz의 구형파로 변환된 후 PLL (Phase Lock Loop) 주파수 선풍회로를 통해 계통 주파수가 360 세배된 Pulse 신호 (21.6KHz)로 변환 된다.

60Hz 구형파 신호는 Single-chip μ -Processor인 8797BH의 포트 P 2.3핀에 공급되어 Program의 초기 Start 시점을 제공하고 EXT INT 핀에도 공급되어 인터럽트 7을 여기시켜 계통 전압과 동기된 Timing을 계속적으로 제공한다. 계통 전압이 360 세배된 신호는 HSI 핀에 연결되어 프로그램에 Look up Table로 저장된 위상상차각 Data를 출력 포트에 출력시키는 인터럽트 4를 발생시킨다.

또 주회로의 기준 ARM이 되는 전력용 반도체 스위치 S1과 S2의 Gata 구동 회로 입력으로 공급된다.

출력된 위상상차각은 다음번에 값이 새로 Loading 될때까지 LATCH 된다. 위상상차각은 10 bit로 구성되며 위상상차각의 분해능은 $\frac{1}{2^{10} \times 2.16 \times 10^3} = 45\text{ns}$ 이다. 비교기는 10 bit의 위상상차각 값과 22MHz로 구동되는 2진 Counter 값을 비교하여 값이 되는 시점에서 출력이 High인 신호가 출력 된다.

비교기에서 출력된 신호는 Pulse 정형 회로를 통해 주회로의 상대 ARM인 S3, S4의 Gate 구동회로 입력 신호로 공급된다. 그림 3-3는 위상상차자 $\phi = 50$ 일때 제어회로에서 Gate Pulse Timing도 이다.

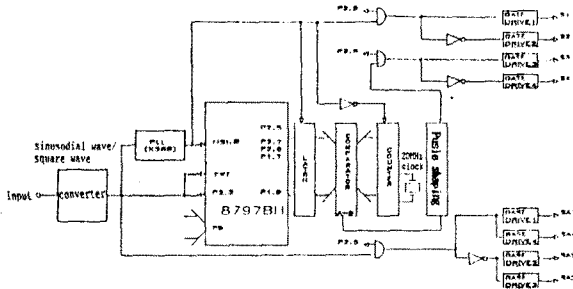


그림 3-2 제어회로 블록도

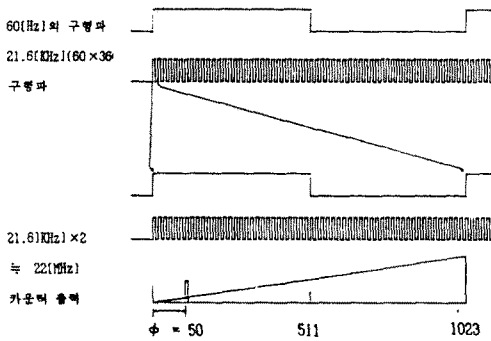


그림 3-3 $\phi = 50^\circ$ 일때 Gate Pulse Timing도

4. 실험 및 고찰

제 3장에서 기술한 전압형 직렬 공진형 Full Bridge 고주파 인버터를 적용하였다. 주회로 소자는 MG 50HZYS1으로서 600V, 50A, IGBT이다. Switching Time이 최대 4.5 μ S로서 본 회로의 최대 운용 주파수인 21.6KHz 적용은 충분하다.

공진용 콘덴서는 PP 콘덴서로서 그 용량은 1.24 μ F 이며 공진용 리액터는 IDK H7CI E-I 코어를 사용하여 Litz Wire로 4 Turn으로 구성하였다. 매칭용 변압기는 IDK H7CI E-I 코어를 사용하였으며 1차 턴수는 4 Turn 2차 턴수는 20 Turn \times 2로서 Center Tap 방식이다. 파형 정형을 위해 0.1mm 공극을 두었다. Litz Wire에 절연 튜브를 피복시켜 사용하였으며 2차 축을 센타 코어 내측에 권선하고 1차축을 센타 코어 외측에 권선하였다.

매칭용 변압기의 누설 인덕턴스 값은 2 μ H이며 공진용 리액터의 인덕턴스 값은 42 μ H로서 전체 인덕턴스 값은 44 μ H이다.

부하 양단의 출력 전압과 출력 전류 파형이 매우 양호했으며 매칭용 변압기 2차측 출력파형은 전형적인 진폭 변조 파형이었다.

고주파 정류부의 Carrier 주파수는 전파 정류 되었으므로 43 KHz의 값을 갖는다.

측정된 파형들은 이론적인 Simulation 결과와 일치됨을 알 수 있었다.

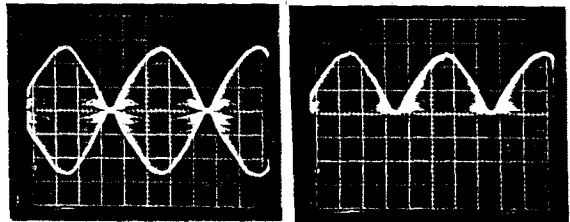


그림 4-1 매칭용 변압기 출력파형 그림 4-2 고주파 정류부 출력파형 50V/DIV, 2ms/DIV

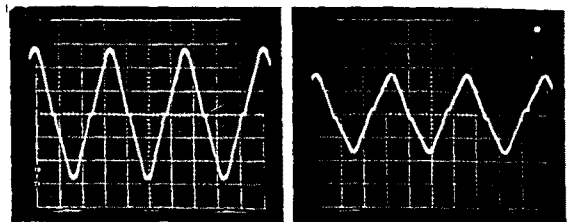


그림 4-3 부하 전압 파형 그림 4-4 부하 전류 파형 50V/DIV, 2ms/DIV

그림 4-5는 인버터 출력 파형의 0 ~ 25KHz 범위의 주파수 Spectrum을 나타낸다.

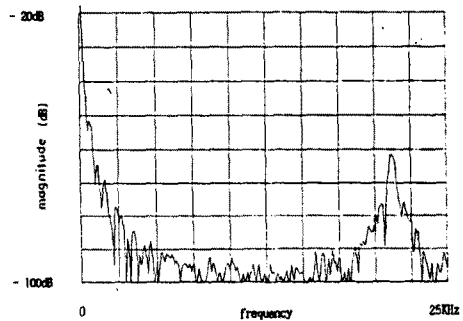


그림 4-5 인버터 출력전류의 주파수 Spectrum (0~25KHz)

인버터의 고조파는 전체적으로 -50dBV 이하이며 Carrier 주파수인 21.6KHz 부근값이 -60dBV 정도로서 그 특성이 우수하다. 이러한 고조파 값은 전력변환에 따르는 파형 개선용 Filter의 용량을 감소 시킬 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 대체 에너지 개발 분야에 있어서 DC 발전 시스템에 필수적으로 적용되는 전력변환장치 구성에 대해 연구 하였다. 인버터 주회로 구성에 대한 이론적 해석과 Simulation을 행하여 인버터를 설계 제작하였으며 이 인버터를 이용하여 계통선 연결형 인버터 시스템을 구성하였다. 제어회로는 16 bit μ -Processor를 적용하여 구성하였다. 주요 연구 성과는 다음과 같다.

가. 새로운 회로 Topology를 제안하여

- 1) 기준 TRHFI 방식의 결점인 각 ARM간의 전력 부담의 불평형이 해소 되었으며
- 2) 공진용 콘덴서, 공진용 리액터 수가 1/2로 줄어 들었다.

나. 제어회로 구성을 16 bit μ -Processor로 구성하여 회로의 유연성을 증대시키고 제어장치의 정확도가 향상되고 소형화를 이룰수 있었다.

다. 프로그램의 수행 시간이 25 μ S로서 최대 허용 수행 시간 46 μ S 이내의 수행이 가능했다.

라. 인버터의 주회로 운용 주파수를 21.6KHz로 함으로서 소음 특성이 우수하다.

마. 공진형 인버터 회로 기술이 적용되므로 전도성 노이즈 발생이 작으며 고조파 특성이 매우 우수하였다.

향후 더욱 연구가 요구되는 분야는 Look up Table 값의 최적 값을 구하여 출력 파형의 고조파를 극소화 시키는 분야로 지적 된다.

참고문헌

1. 동력자원부 에너지 관리공단 "대체 에너지 기술 개발의 범국가적 연구 사업 실시 계획" 자료집 (I) 1990.
2. ALAN COCCON, Slobodancuk and R.D Middle brook "High-Frequency Isolated 4KW Photovoltaic Inverter for Utility Interface" PCI/MOTOR-CON September (1983) Proceedings pp 39 ~ pp 59
3. P. Savary, M. Nakaoka, and T. Maruhashi "Noble Type of High-Frequency Link Inverter for Photovoltaic Residential Applications" IEE Proceedings VOL 133, Pt. B, No 4, July 1986.
4. V.T Ranganathan, Phoivos D. Ziogas, Victor R Stefanovic "A DC-AC Power Conversion Technique using Twin Resonant High-Frequency Links" IEEE Trans. On Industry Applications. VOL IA-19 No 3, MAY/JUNE 1983.
5. P. Savary, M. Nakaoka and T. Maru hashi "Resonant Vector Control Basa High Frequency Inverter" Power Electronics Specialists Conference Record Toulouse, France, June 1985. pp 204~213
6. A.K.S Bhat, S.B. Dewan "DC-TO-Utility Interface Sine-wave Resonant Inverter" IEE Proceedings VOL 135. Pt. B, No 5, September 1988.