

가역 전력변환기의 인버터 설계

(A Inverter Design of Reversible Power Converter)

전중함* 이현우** 백수현*** 곽동걸****

대구보건대학* 경남대학교** 동국대학교*** 동해대학교****

J. H. Chun, H. W. Lee, S. H. Baek, D. K. Kwak

Daegu Health College, Kyungnam university, Dongguk University, Donghae University

Abstract

In this paper discusses single-phase DC-AC Inverter design of reversible power converter that driven by binary combination at different transformer winding ratio by BCD code level. It has a advantage that constructs a control system simply and obtain load current of good quality without filter circuit and free from noise or isolation for lower switching frequency. In this research, study on current type converter and inverter circuit that consist for possibility of AC-DC/DC-AC multi-level reversible converter.

Key Words : BCD Level Converter, Reversible Power Converter, 가역 전력변환기

1. 서론

교류를 직류로 변환한 컨버터(Converter) 기술과 직류를 교류로 변환하는 인버터 기술은 회전기에 의한 전력변환을 시작으로 지금까지 많은 응용분야에 적용 되어 왔다. 현재는 전력 스위치 소자의 발달로 인하여 정지형 전력변환기의 응용이 활발해 졌다. 교류를 직류로 변환하는 전력변환기는 작게는 정류기에서 시작하여 고속 스위칭 기술을 이용한 고성능 SMPS에 이르기까지 다양한 기술형태로 발전해왔다.[1],[2],[3]

AC/DC 컨버터의 주요형태는 2차 직류출력특성을 향상시키는데 주안점을 두는 경우와 1차 입력 전원특성을 고려한 시스템(System)으로 크게 2가지로 분류 할 수 있다. 전자는 2차 직류전압의 안정화, 다출력화, 출력의 다양화, 절연화에 그 목적을 둔다. 그러나 근래에는 전원전압의 형태가 다양화되고 있고 대전력을 요구하는 경우가 많으며 EMI 규제 등이 강화되어 입력전류의 정현화, 입력전압의 자유화, 내노이즈화, 저노이즈화에 목적을 두게 되는 후자의 경우를 많이 연구하게 된다.

또한 DC/AC 인버터의 경우에도 PWM 스위칭 방법 등이 보편화 되어 전동기구동용 뿐만 아니라 교류 안정화 전원을 위한 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency)나 정전을 대비하

는 UPS등에 많이 응용되고 있다. 전동기 구동용 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터의 경우 절연 없이 범용으로 사용되어진다.[4],[5],[6],[7]

컨버터나 인버터는 서로 독립되어 발전이 거듭되어 지고 있다. 전력 변환 용량이 대용량화 될수록 기술적 난이도를 보이고 있다. 특히, 최근 종합적인 에너지원의 개발에 관심이 많아지고 있으며 그중 연료 전지 등의 개발은 에너지 문제를 해결할 만한 기대를 갖게 한다. 따라서 대용량의 AC/DC 및 DC/AC 전력변환 장치가 필요성을 갖게 되고 양방향 전력변환기는 필수 불가결한 변환기라 할 수 있다. 이에 본 논문은 전력용량의 대형화에 순응하며 역변환이 가능한 대용량 가역 전력변환기를 소개하고자 한다. 가역 전력변환기는 컨버터로 사용되어질 때는 1차 전류의 파형의 왜곡 문제를 근본적으로 개선하고 인버터로 작동될 때는 절연변압기로서 출력 전압을 제어할 수 있는 좋은 특성을 갖고 있다.

정현파 교류 파형을 개선하는 데에 있어 능동적인 방식이 아니라 입력 전압의 순시값을 디코드(Decode)하는 방법을 사용하고 펄스(Pulse)수와 폭이 각각 다른 PWM 컨버터를 다중으로 조합함으로써 전원전류를 제어하는 다중레벨제어(Multi-level PWM)방식 컨버터에 관해서는 이미 수차례 발표된 적이 있다.[8],[9]

본고에 소개될 가역 전력변환기는 이와 같이 발표된 다중레벨 컨버터 기능에 양방향 스위칭 소자를 사용하여 인버터 기능을 갖게 함으로써 교류측은 변압기권선으로 되어 있으며 직류측은 BCD 코드(Binary Coded Decimal Code)의 스위칭 소자로 구성되어 있는 시스템이다.

2. 권선의 순시제어

가역 전력변환기의 구성은 그림 1과 같으며 교류측은 다중 권선의 변압기로 구성되어 있으며 직류측은 인덕터와 직렬로 접속되어 있고, 스위칭 모듈에 의하여 변압기 직류측 권선을 변화시키므로 일정한 직류전류를 교류 순시값에 추종하도록 하는 구조이다.

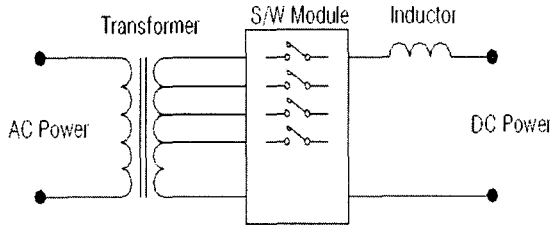


그림 1 가역 전력변환기의 원리
Fig.1 Principle of Reversible Power Converter

이상적인 변압기의 관계식을 나타내면

$$i_1 = -\frac{N_2}{N_1} i_2 = -\frac{1}{a} i_2 \quad (1)$$

이 되고 여기서 i_1, i_2 은 각각 변압기의 1차와 2차권선의 전류 순시치이며 N_1, N_2 는 각각 변압기의 1차 2차 권선수이다. 즉 1차 전류는 2차전류에 종속되어 있다. a 는 $a=N_1/N_2$ 로서 권수비이다. 그림에서 사용하는 변압기는 양방향으로 사용하는 변압기이고 교류측과 직류측으로 구분한다. 직류측은 다권선의 구조를 갖고 있다.

식(1)에서 직류측 권선수를 순시제어 하도록 순시값 n_s 로 표현하고 직류측 평균 전류를 I_s 라고 표현하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 i_0 는 교류측 전류 순시값이며 이 값은 n_s 와 I_s 에 종속된다. n_s 값을 교류측 전원 전압과 동기 시켜 제어 하면 전류가 순시값에 추종하여 항상 단위역율을 갖게 되는 가역 전력 변환기를

구현할 수 있게 된다.

$$i_0 = -\frac{n_s}{N_0} I_s \quad (2)$$

이 식에서 직류 측 리액터의 크기를 크게 하면 전류 I_s 는 일정하게 되고 교류측 권수 N_0 가 일정하므로 직류측 권선 n_s 을 식(3)과 같이 순시값으로 변환 하면 교류측 전류 i_0 는 n_s 에 비례하게 된다. 이 n_s 를 정현적으로 제어 하면 교류를 직류로 변환하는 컨버터의 경우 정현과 전원전류를 실현 할 수 있고 직류에서 교류로 변환하는 인버터도 실현 할 수 있게 되어 양방향의 전력 변환기를 구현할 수 있을 것이다. 이때의 순시 권수 n_s 는 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$n_s = N_M \sin(ut) \quad (\text{Turn}) \quad (3)$$

여기서 N_M 은 최대 권수이고 다권선의 조합으로 실현할 수 있다. 이러한 가역 전력 변환기는 변압기와 같이 입출력을 서로 교환할 수 있게 된다.

3. AC/DC 다중레벨 컨버터

다중레벨 컨버터는 기본구성이 각각의 권선마다 스위칭 소자 1개와 브리지 정류기 1개 및 환류다이오드 1개가 필요하게 된다. 그림 2는 3중레벨 컨버터를 나타낸다.

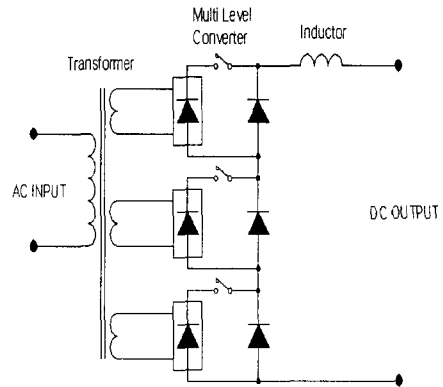


그림 2 3중 레벨 컨버터
Fig. 2 Three Level Converter

그림에서 식(3)에서 나타내어진 권수의 최대값 N_M 는 3권선의 모든 권수를 합한 것이 되며 스위칭 소자의 조합으로 권수를 제어하게 된다. 스위칭에

의하여 만들어진 권선의 순시값은 전원에 동기되어 정현적으로 제어하게 된다.

스위치를 제어하는 방법으로 BCD 코드 조합방식을 채용하면 제일 낮은 권수를 1로 했을 때 1,2,4배의 권수로 조합하게 되고 16단계의 계단과 전류를 발생시킬 수 있게 된다.

각각의 권선에서 발생하는 전류를 정류하여 스위칭 함으로서 직류측 인덕터에는 단일 방향의 전류가 출력된다. 스위칭 소자를 권선의 비에 따라 적절하게 조합하는 방법으로 전원 전압에 동기하여 스위칭 함으로서 변압기 2차에 일정한 직류 성분의 전류가 흐름에도 불구하고 교류의 조건을 만족시킬 수 있게 된다. 이때 직류 인덕터의 인덕턴스 값은 충분히 커야하며 부하의 맥동 성분을 담당하게 된다.

4. DC/AC 다중레벨 인버터

가역 전력변환기에 사용되어 지는 다중레벨 인버터는 기본적으로는 다중 레벨 컨버터와 같이 교류측은 변압기를 직류측은 다중 권선과 인덕터를 가진다. 다중 레벨 인버터는 다중 레벨 컨버터와는 달리 양방향 스위치를 사용하여야 한다.

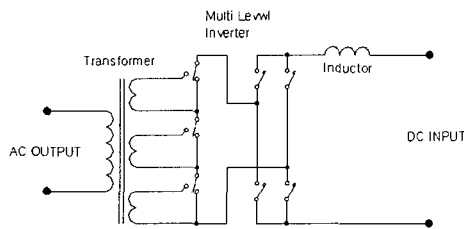


그림 3 3중 레벨 인버터
Fig. 3 Three Level Inverter

양방향 스위치를 사용한 3중 레벨 인버터 구성을 그림 3에서 보여 준다. 양방향 스위치를 토글 스위치로 하고 직류측에는 극성 반전용 인버터가 삽입된다. 이와 같은 구성된 인버터는 컨버터와 결합됨으로서 가역 전력변환기를 구성할 수 있게 된다.

5. 가역 전력 변환기의 회로의 설계

인버터의 구조와 컨버터의 구조가 기본적으로 같으므로 컨버터의 정류부분을 분리하여 일괄 정류하게 하면 각각의 권선에는 양방향 스위치를

구성하여야 하므로 환류 다이오드 또한 스위치 소자로 대체하여야 한다.

따라서 컨버터에서는 권선마다 스위치 브리지 정류소자 1개와 환류 다이오드 1개가 필요하지만 가역 전력 변환기의 경우에는 권선마다 스위치 소자가 4개씩 필요하게 된다. 이렇게 하여 구성된 가역전력 변환기의 구성도는 그림 4와 같이 된다.

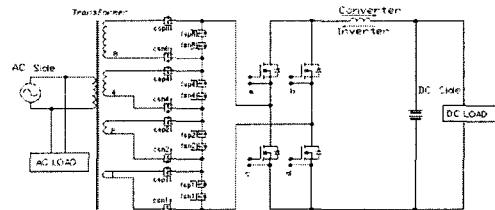


그림 4 가역 전력 변환기의 구성
Fig. 4 Reversible Power Converter System

각각의 스위치 소자 csp1~8, csn1~8, fsp1~8, fsn1~8은 컨버터/인버터-정방향/부방향에 따라 그 상태를 달리하게 되는데 그 동작 상태는 표 1과 같다. 표에 나타난 기호의 설명은 표 2에 다시 자세히 설명한다.

표 1 가역 전력변환기의 스위치 동작표
Table 1 Switch-State Logic Table

Switch \ State	csp 1~8	csn 1~8	fsp 1~8	fsn 1~8	a	b	c	d
converter (+)	CC	1-OFF	ON	2-OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
converter (-)	1-OFF	CC	2-OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
inverter (+)	Dn't C (OFF)	ON	Dn't C (OFF)	C/C	ON	OFF	OFF	ON
inverter (-)	ON	Dn't C (OFF)	C/C	Dn't C (OFF)	OFF	ON	ON	OFF

표 2 동작 표시 설명
Table 2 Switch-State detail description

1-OFF	Short When Polarity not Combination with trans.
2-OFF	Short Any time
Dn't C	Don't Care(OFF)
csp1,2,4,8	Control Switch Positive
csn1,2,4,8	Control Switch Negative
fsp1,2,4,8	Freewheel Switch Positive
fsn1,2,4,8	Freewheel Switch Negative
a,b,c,d	Inverter Switch
CC	Control PWM
C/C	Inverting Control PWM

표에서 1-OFF, 2-OFF Don't C 모두 각각의 경우는 다르나 모두 OFF로 동일하였을 때 문제가 발생하지 않는다. 다만 여기서 고찰하고자 하는 것은 동작 상태를 엄두에 두고자 함이다. 여기서 CC는 4비트 BCD 코드화 된 신호이다. 이 신호는 4개의 신호가 디지털 4비트로 처리되어 각각의 해당 스위치를 구동 하게 된다. 이 신호는 컨버터의 경우는 입력 교류전원 전압의 전파 정류하여 4비트 AD컨버터(Analog-Digital Converter)의 입력이 된다. 그러나 인버터로 동작 할 경우 정현파 신호 발생기에서 신호를 받아야 한다. AD 컨버터의 입력 전압과 출력 신호 4개를 그림 5에서 보여 준다.

CC는 식(3)의 교류 전원의 정현신호 $Sin(\omega t)$ 를 전파로 정류한 신호와 동기 되어진 디지털 신호를 볼 수 있다. 표에서 C/C는 fsn1~8, fsp1~8에 해당하는 신호로 반전되어 공급되는 것을 의미한다.

이 신호는 인버터로 구동될 경우 인덕터의 전류를 환류 다이오드를 통하여 흐르면서 권선에 전류를 흘리기 위하여 OFF하여야 하고 따라서 필요한 신호는 반전되어야 되기 때문이다.

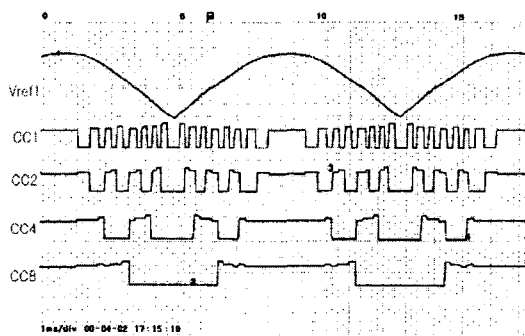


그림 5 4비트 BCD 스위치 제어 신호
Fig. 5 4Bit BCD Code Switch Signal

그림 6은 4중 가역 전력변환기의 교류측 전류가 32단계임을 시뮬레이션으로 보여 준다. 이것은 4비트의 경우이며 3권선 3비트의 경우는 16단계의 계단파를 보여 줄 것이며 5권선 5비트 다중으로 하였을 때는 64단계의 계단파 전류를 만들어 낼 것이다.

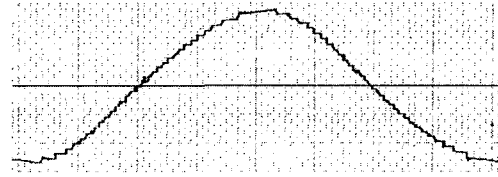


그림 6 가역 전력 변환기의 교류 전류
Fig. 6 AC Current of Reversible Power Converter

6. 실험결과 및 고찰

가역 전력변환기를 구성 하기위한 실험회로를 컨버터 모드에서 실시하였다. 이 실험은 개-루프(Open Loop)로 실험하였으며 컨버터 모드 실험에 사용한 구성부품의 사양은 표 3에 나타난다. 4권선 변압기를 사용했으며 3V의 분해능을 가지고 있다. 인덕터(Inductor)는 2개의 값으로 실시하여 그 변화를 관찰하였다.

표 3 부품의 사양
Table 3 Partial Specification

Transformer	
Input Voltage	220V
Frequency	60Hz
Capacity	1,000VA
2nd Turn Number	4
2nd Voltage	3V, 6V, 12V, 24V
The others	
Switching Device	IRF540
Inductance	400mH OR 11mH
DC Load	AC Incandescent light bulb

실험에 사용한 계측기는 표 4에 나타난다. 파형은 4CH로 동시에 측정이 가능하고 전류계는 0.5급(Class)를 전압은 0.3급 계측기이다. 전압 파형을 측정하기 위하여 신호 절연장치(Isolator)를 사용하였으며 전류측정을 위하여 크램프(Clamp)식 절연 프로브(Probe) 및 신호 증폭기를 사용했다.

표 4 측정 장치의 사양
Table 4 A measuring instrument Specification

Waveform Instrument (Tectronix)	TDS3034 4CH
	A6909 Isolator
	AM503B Amplifier
	A6302 Current Probe
Current Instrument	HWA SHIN DC AMPERES
Voltage Instrument	FLUKE 77 Multimeter

그림 7은 1번 파형은 모니터 파형을 나타내고 있으며 32스텝의 분해능을 보여 준다. 2번 파형 출력전류를 측정한 것이며 3번 파형은 전원전압을 보여 주고 4번 파형은 직류 출력전압으로 직류측 인덕턴스를 11mH로 하고 전원 전압파형에 가장 근접하도록 스위칭 하였을 때 출력 전압이 16.7V, 전류가 3.6A로 측정되었다. 이 그림에서 전류파형이 최대값 부근에서 상승하게 되는 것을 관측 할 수 있다.

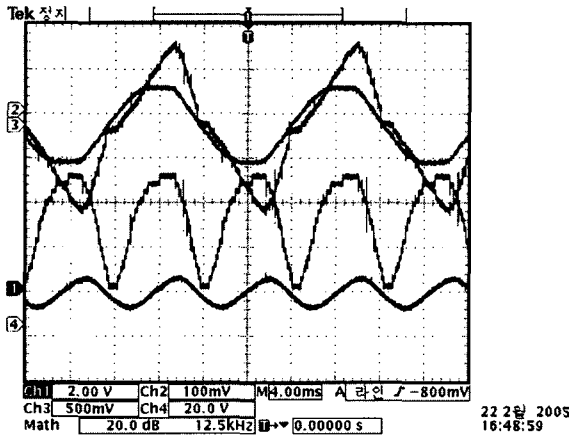


그림 7 3.6A 16.7V 11mH 경우의 파형
Fig. 7 Waveform at 3.6A 16.7V 11mH

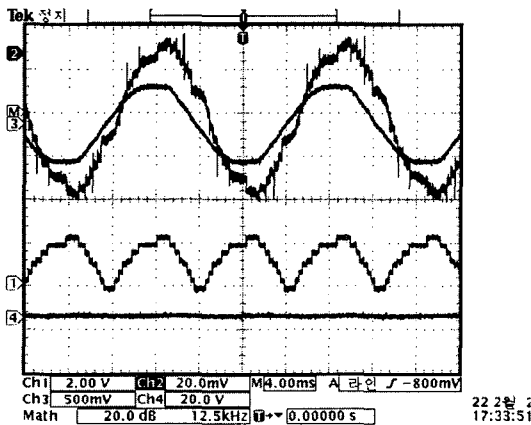


그림 8 1.5A 2.6V 400mh 경우의 파형
Fig. 8 Waveform at 1.5A 2.6V 400mh

그림 8은 다시 11mH의 인덕터를 400mH로 교체 사용하고 스위칭 레벨을 16스텝 정도로 낮게 했을 때의 파형이다. 이때 출력전류와 전압이 각각 1.5A 2.6V로 나타났는데 이것은 출력의 리플

(Ripple) 전압은 현저히 사라짐을 보여 주지만 큰 전압강하를 가지므로 인덕턴스의 용량이 충분히 큰 것을 요구함을 알 수 있게 된다. 따라서 변압기 2차 권선수를 충분히 높여 주어야 한다.

7. 결론

본 논문에서 제시한 가역 전력변환기의 실험으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 변압기를 사용하여 가역 전력변환이 가능해졌다.
2. 컨버터의 경우 직류의 리플 전압과 인덕터의 크기는 반비례한다. 따라서 변압기 2차 권수와 인덕터 값을 충분히 높여 주어야 교류 직류측 전류가 개선되어 진다.
3. 변압기 2차측의 스위칭 소자를 다중으로 분할함으로 소자 1개가 담당하는 스위칭 전력은 작아지고 상대적으로 대용량화 할 수 있다.

장래에 연료전지와 같은 대전력 직류 에너지원을 사용하게 될 경우 교류에서 직류로 또는 직류에서 교류로 가역 전력변환 되어야 하는 문제를 해결하는 기초가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R.W.Menzies, "ADVANCED STATIC COMPENSATION USING A MULTILEVEL GTO THYRISTOR INVERTER", IEEE'94 Tran Power Delivery Vol.10, no.2, April 1995
- [2] Kimura, Matsumoto, Morizame, Taniguchi, "Control strategy for multilevel converter applied for electric power system", 7th Application Proceeding, pp85-288
- [3] Bakari Mwinyiwiwa, "Multimodular Multilevel Converters with Input/Output", IEEE Tran Vol.33, No.5, Sep 1997.
- [4] 大西徳生, "多機能高品質單相PWM制御電源", IEE Japan, Vol. 115-D, No.1, 1995
- [5] 松本 晃, 木村 紀之, 森實 俊充, 谷口 勝則, "二重化マルチレベル変換器の分圧コンデンサ電圧特性解析", 電氣學會研究會資料, SPC-98-10
- [6] 奥井 芳明, 水野 勉, 山田 一, "單相降壓チョップパを多重化した三相高力率コンバータの

過變調特性”, 電氣學會研究會資料, SPC-97-37, 1997

[8] 안일매 전중함, 이영호, 서기영 이현우, “단상 다중 조합제어 멀티레벨 컨버터의 해석과 시뮬레이션”, 대한전기학회 추계학술발표대회 논문집, pp.355- 357, 1999.11.20

[9] 박성우 전중함, 이현우, “M소자 2^M 레벨 컨버터의 고조파 비교분석”, 전력전자학회 정기총회 및 발표대회 논문집, pp.227-230, 1999.11. 27.