

가역전력변환기 구동의 절연에 관한 연구

전중합, 이현우, 다니구찌

대구보건대학, 경남대학교, 일본대판공대

The study of isolation driver for Reversible Power Converter

J. H. Chun, H. W. Lee, Katsunori Taniguchi

Daegu Health College, Kyungnam university, Osaka Institute of Technology

**Abstract** - In this paper discusses isolation driver of single phase AC-DC reversible power converter The reversible power converter 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)

한기라 할 수 있다. 이에 본 논문에서 소개되는 가역 전력 변환기는 컨버터로 사용되어질 때는 1차 전류의 파형의 왜곡 문제를 근본적으로 개선하고 인버터로 작동 될 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 전원 전류를 제어하는 다중레벨제어(Multi-level PWM)방식 컨버터에 관해서는 이미 수차례 발표된 적이 있다.[8],[9]

본고에서는 다권선 변압기 이용 다중레벨 인버터와 컨버터를 단일 회로에서 구성함으로써 AC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터 양방향 전력변환 기능을 가능케 한다. 이때 사용되는 스위치소자는 그 배치에 따라 절연을 달리 하게 되는데 이것의 여러 경우를 제시하고 비교 분석함으로써 그 특성을 연구하였다.

1. 서론

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

AC/DC 컨버터의 주요형태는 2차 직류출력특성을 향상 시키는데 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 대비하는 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 거듭되어지고 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 변

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.

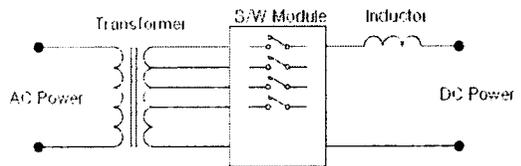


그림 1 가역 전력변환기의 원리  
Fig.1 Principle of Reversible Power Converter

이상적인 변압기의 관계식을 나타내면

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

이 되고 여기서  $i_1, i_2$ 는 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. 원리에서 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 정현파 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.

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

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

그림 2는 AC/DC 3중 레벨 컨버터 기본구성으로서 각각의 권선마다 스위치 소자 1개와 브리지 정류기 1개 및 환류다이오드 1개가 필요하게 된다. 스위치를 제어하는 방법으로 BCD 코드 조합방식을 채용하면 제일 낮은 권수를 1로 했을 때 1,2,4배의 권수로 조합하게 되고 16단계의 계단과 전류를 발생 시킬 수 있게 된다. 각각의 권선에서 발생되는 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 만족 시킬 수 있게 된다. 이때 직류 인덕터의 인덕턴스 값은 충분히 커야하며 부하의 맥동성분을 담당하게 된다.

### 4. DC/AC 다중레벨 인버터

그림 3은 DC/AC 3중 레벨 인버터로서 기본적으로는 다중 레벨 컨버터와 같이 교류측은 변압기를 직류측은 다중 권선과 인덕터를 가진다. 다중 레벨 인버터는 다중 레벨 컨버터와는 달리 양방향 스위치를 사용하여야 하고 상변환 단상 브리지 인버터를 갖게 된다.

### 5. 가역 전력 변환기의 회로의 설계

인버터의 구조와 컨버터의 구조가 기본적으로 같으므로 컨버터의 정류부분을 분리하여 일괄 정류하게 하면 각각의 권선에는 그림 4와 같이 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 권선 마다 스위치소자가 4개씩 필요하게 된다. 이렇게 하여 구성된 가역전력 변환기의 구성도는 그림 5와 같이 된다.

각각의 스위치 소자  $cspl,2,4,8$ ,  $csn1,2,4,8$ ,  $fsp1,2,4,8$ ,  $fsn1,2,4,8$ 은 컨버터/인버터-정방향/부방향에 따라 그 상태를 달리하게 된다.

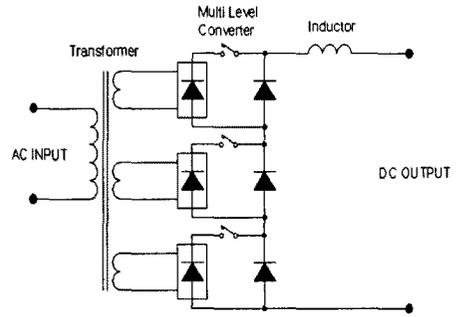


그림 2 AC/DC 다중레벨 컨버터  
Fig. 2 AC/DC Multi level Converter

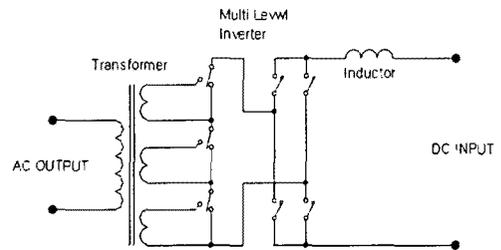


그림 3 DC/AC 다중레벨 인버터  
Fig. 3 DC/AC Multi level Inverter

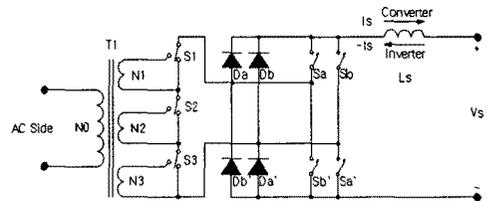


그림 4 다중레벨 가역 전력변환기  
Fig. 4 Multi level Reversible Power Converter

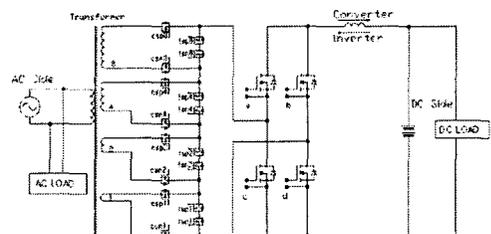


그림 5 가역 전력 변환기의 스위치 구성  
Fig. 5 Reversible Power Converter System

레벨 조합신호 CC는 4비트 BCD 코드화 된 신호이다. 이신호는 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 동작할 경우 정현파 신호 발생기에서 신호를 받아야 한다. AD 컨버터의 입력 전압과 출력 신호 4개를 그림 6에서 보여 준다.

CC는 식(3)의 교류 전원의 정현신호  $\sin(\omega t)$ 를 전파로 정류한 신호와 동기 되어진 디지털 신호를 볼 수 있다. CC의 반전 신호C/C는  $\text{fsn1} \sim 8$ ,  $\text{fsp1} \sim 8$ 에 해당하는 신호로 반전되어 공급되는 것을 의미 한다.

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

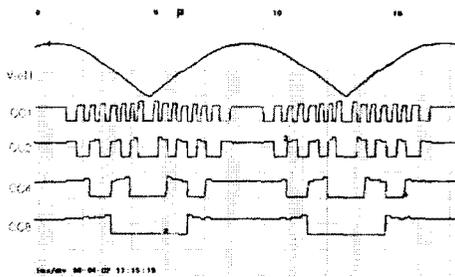


그림 6 4비트 BCD 스위치제어 신호  
Fig. 6 4Bit BCD Code Switch Signal

## 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 1에 나타낸다. 4권선 변압기를 사용했으며 3V의 분해능을 가지고 있다.

표 1 부품의 사양  
Table 1 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 4CH로 동시에 측정이 가능하고 전류계는 0.5급(Class)를 전압은 0.3급 계측기이다. 전압 파형을 측정하기 위하여 신호 절연장치(Isolator)를 사용하였으며 전류측정을 위하여 크랩프(Clamp)식 절연 프로브(Probe) 및 신호 증폭기를 사용했다.

그림 7은 인덕터 400mH일 때 각부의 파형을 보여 주고 있다. 1번은 전원파형이 4비트 코드로 변환한 것을 확인하기 위한 디코드(decode) D/A 변환하여 모니터한 파형이며 14스텝(step)을 보여 주고 있다. 2번 파형은 입력 전류를 측정한 것이다. 3번 파형은 전원전압을 보여 주고 있으며 1번 파형과 비교하여 분해능을 관찰 할 수 있다. 4번 파형은 직류 출력전압이며 맥동성분을 확인하

고 있다.

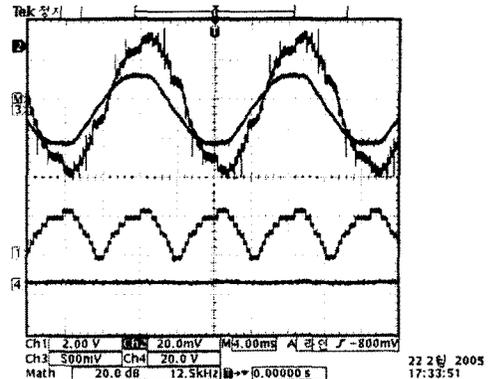


그림 7 1.5A 2.6V 400mh 경우의 파형  
Fig. 7 Waveform at 1.5A 2.6V 400mh

## 7. 결론

본 논문에서 다중레벨 가역 전력변환기를 설계함에 있어 다수의 스위치 소자를 구동하기 위하여 필요한 절연 전원의 수를 최소화하고 구동논리의 일관성을 얻으려고 하였으며 이것을 실험을 통하여 입증하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. n중 레벨 가역전력 변환기의 경우  $4(n+1)$ 개의 스위치 소자를 필요로 한다.

2. n중 레벨 가역전력 변환기의 경우  $n+4$ 개의 절연 전원을 필요로 한다.

가역전력 변환기는 장래에 연료전지와 같은 대전력 직류 에너지원을 얻을 수 있을 때 두 가지(AC/DC) 전원 상용화에 대하여 자유함을 가져다 줄 것이다.

## [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壓コンデンサ電壓特性解析", 電気學會研究會資料, SPC-98-10
- [6] 奥井 芳明, 水野 勉, 山田 一, "單相降壓チョッパを多重化した三相高力率コンバータの過変調特性", 電気學會研究會資料, SPC-97-37, 1997
- [7] 안일배 전중함, 이영호, 서기영 이현우, "단상 다중 조합제어 멀티레벨 컨버터의 해석과 시뮬레이션", 대한전기학회 추계학술발표대회 논문집, pp.355-357, 1999.11.20
- [8] 박성우 전중함, 이현우, "M소자  $2^M$  레벨 컨버터의 고조파 비교분석", 전력전자학회 정기총회 및 발표대회 논문집, pp.227-230, 1999.11. 27.