

# Tap Level 제어 전력 변환기의 권선설계

전중함\*, 이현우  
 대구보건대학\*, 경남대학교

## A winding design of Tap Level Converter

J. H. Chun\*, H. W. Lee  
 Daegu Health College\*, Kyungnam University

### ABSTRACT

In this paper discusses winding method of single phase AC-DC reversible power converter. The reversible power converter driven by multi Tap winding at both side switching control. It has a advantage that simple drive of main switching device, 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 : Tap Level Converter, Current Mode Converter, Multi Level Converter, Reversible Power Converter, 가역 전력변환기)

### 1. 서론

대체 에너지 개발이 활발히 진행 되어지고 다양한 형태의 전력이 생산 되고 있다. 전력 소비형태 또한 다양해지고 있어 전력변환에도 고도의 기술을 요구하고 있다. 근래는 스위칭 기술의 발달로 인하여 직류전력을 교류전력으로 또한 교류전력을 직류전력으로 전력 변환하는 기술이 이미 연구 되고 보편적인 기술로 사용되어지고 있다.<sup>[1][7]</sup>

본 논문에서는 상용주파수 변압기를 사용하는 전력변환기로서 변압기 특성에 근본적인 변화를 주지 않고 스위칭소자를 사용하여 전력을 변환 시키는 기법을 연구했다.

교류변압기에서 1차와 2차가 입력과 출력을 서로 교체 가능한 것과 같은 형태로 교류를 직류를 변환하는 순변환기에서 그 입력과 출력을 서로 교체하여 직류를 교류로 변환하는 역변환기로 작용이 가능하도록 설계한 가역 전력 변환기를 소개하고 일정한 권선의 간격을 유지함으로써 발생하는 특성의 결함을 소개하며<sup>[8]</sup> 근본적으로 양과 정류형태의 Tap 권선을 설계함으로써 개선되는 모양을 입증하려하였으며 이를 실현하기 위한 권선 설계법을 고찰 하고자 한다.

### 2. 전류형 가역 전력변환기

그림 1은 변압기로 결합되는 전류형 다중 가역변환기의 원리를 보여 준다. 이 가역 전력변환기는 직류측과 교류측으로

표현하고 직류측에는 전류방향을 반전시킬 반전용 브리지 스위칭소자 모듈이 구성되고 직류측에는 직류 인덕터가 접속되므로 일정한 전류를 유지할 수 있게 된다. 교류측에서 보면 일반 상용 변압기와 같은 역할을 하게 되어 노이즈나 서지에 강하게 대응 할 수 있다.

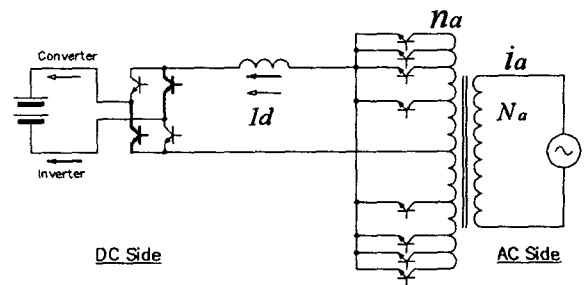


그림 1 전류형 가역 전력변환기의 구성  
 Fig. 1 System of current mode reversible power converter

일반적으로 이상적인 변압기의 기본식으로는  $i_1$ 을 변압기의 1차전류,  $i_2$ 를 2차전류,  $N_1$ 는 1차 권수,  $N_2$ 는 2차 권수,  $a$ 는 권수비라고 하여 식 (1)과 같이 나타낸다.

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

이 기본식에서 1차 전류를 교류측 전류로 2차 전류를 직류측 전류로 표현하여 나타내기 위하여  $i_1 = i_a$ ,  $i_2 = i_d$ 와 같이 대치하면 식 (2)와 같이 되고

$$i_a = -\frac{N_d}{N_a} i_d \quad (2)$$

이것은 변압기를 단순히 1차, 2차를 대신하여 직류측, 교류측이라고 표현한 것뿐이다. 다시 여기서, 직류측 전류를 변하지 않는 직류전류로 표현하려면 직류측 권선을 교류원류에 비례하여 변화시켜야 할 것이다. 고정되어 있는 직류측 권선을 가변권선으로 대치할 수 있다면 직류측 전류를 한주기에 변화가 없는 일정한 고정전류로 대치할 수 있다. 즉,  $N_d \Rightarrow n_d$ ,  $i_d \Rightarrow I_d$ 로 되어서 식 (2)는

$$i_a = -\frac{n_d}{N_a} I_d = -\frac{I_d}{N_a} n_d = B n_d \quad (3)$$

와 같이 표현 할 수 있다. 식 (3)에서 B는 변환 상수로 가정하면 교류측 전류는 직류

측 권선에 비례하도록 표현 할 수 있고 상수는 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{I_d}{N_a} = B \quad (4)$$

순변환기로 작동 할 때에는 가변권선의 정현적인 변화는 교류전원에 동기하여 변화 되어야 한다. 또한 역변환기로 작동할 때에는 정현파로 변화 시켜야 한다.

### 3. 권선설계를 위한 분석

우선 변압기의 직류측 권선을 균등 분할 제어하는 방법으로는 변압기의 다중 권선의 권선비를 인접권선과 비교하여 2배수 혹은 1/2배수의 관계를 갖도록 구성하고 BCD코드 조합법을 사용하여 작은 수의 권선으로 다단계의 권선변화의 효과를 만들어주는 방식을 채택하고 있다. 권선의 단계 수가 많을수록 분해능이 높아진다. 이 경우 균등 다중권선을 정현파에 추종 제어하여 교류측 권선에 흐르는 전류의 형태를 살펴보면 그림 2의 좌측에서 보여준다. 이 경우 정현파를 추종해 가기 위하여서는 위상각 90도 부근에서 스위칭 주기가 길어진다. 이때에는 인덕터의 전류 변화가 가장 급한 때이므로 파형의 왜곡이 크게 된다. 균등 권선으로 제어하면 전류의 Peak값이 상승하고 따라서 전류의 왜곡을 만들어 낸다. 이 전류파형의 순변환기의 경우이다.

우측 전류파형은 새로운 단권 Tap형으로 균등시간으로 스위칭 할 수 있고 이 방법을 채택 했을 때의 교류측 전류파형을 나타내고 있다. 이것으로 Peak값 상승을 감소시켜 전류의 왜곡을 줄일 수 있음 알 수 있다.

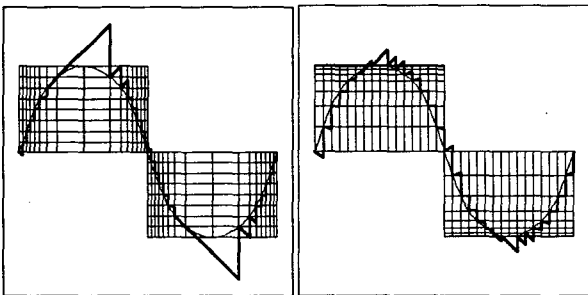


그림 2 순변환기 전류 파형(균등분할 권수비와 위상 균등분할)  
Fig. 2 Current wave form of converter (Equality divide winding turns and Phases)

균등분할 권선제어는 BCD 조합방식을 채용하면 제어회로가 간단하고 변압기의 권선에서 출력되는 전선의 수가 작아 구조가 간단해진다.<sup>[9]</sup>

균등분할 권선 제어법을 정현파 전류에 추종하지 않고 위상각으로 균등 분할제어 한다고 가정하고 최고권선을 1로하여 정현값과의 비교하여 그 차이를 오차값으로 산출해 보았다. 이렇게 산출한 P.U.값의 Data를 그래프로 나타내면 그림 3과 같이 되며 이 그래프에서 (-)오차는 같은 위상각에서 정현값에 비하여 작다는 뜻으로 정현파에 추종제어하면 스위칭 시간 간격이 짧아짐을 의미 한다. 결국 위상각 90도 부근에서 스위칭 주기를 넓히는 이러한 특성은 좋지 않은 특성이다. 위상각 90도 부근의 전류는 직류 인덕터의 전류변화가 가장 심한 구간이므로 스위칭 주기를 짧게 하여 주는 것이 바람직하다.

균등분할권선제어

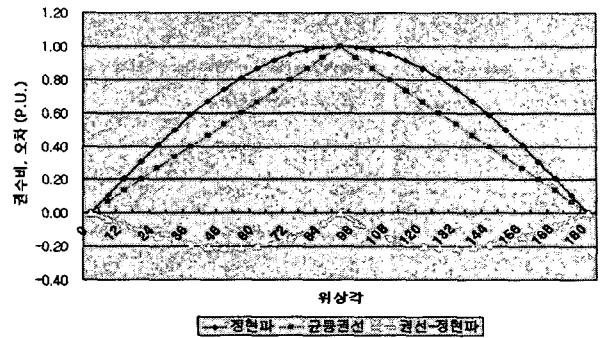


그림 3 균등분할 권수비에 의한 오차율  
Fig. 3 Err ratio of Equality divide winding turns

균등분할 권선제어에서 보면 위상각 45도 이전의 전류지연이 크고 90도 부근에서는 주기가 길어져서 스위칭에 공백이 생긴다. 따라서 전류 Peak치 상승을 초래하는데 이러한 현상을 줄이기 위하여서는 위상각 0도 부근에서 급격히 상승하고 위상각 90도 부근에서 완만히 상승하는 지수 함수적 권선을 구성하고 (+)오차를 가지면서 정현파 추종제어와 동시에 직류전류를 제어하기 위한 제어특성을 고려하는 대수분할 제어를 제안하고자 한다. 이것을 대수분할 권선법이라고 칭하고 새로운 권선 제어법으로 제시한다.

대수분할 권선법은 예상 최대 권선을 미리 정하고 총 권선의 Tap수를 정하게 되면 위상각 90도 부근의 제어 정밀도인 최소권선을 정하게 된다. 이것으로 지수함수의 밑이 결정되면 분할되는 권수가 정해지게 된다. 이 대수 분할 권선법은 제어특성에 순응하여 정현파전류를 추종하면서 직류 전류제어가 용이하다. 이것을 수식으로 나타내기 위하여 Tap의 수효를  $N$ 이라고 하면 Tap 번호  $n$ 은 0에서부터  $N$ 번까지 번호를 갖게 되고 최소 Tap 간의 권수를  $T_0$ 라고 하면  $n$ 번 Tap의 권수  $N_n$ 을 수식으로 나타내면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

여기서  $X$ 는 대수 비례를 위한 지수의 밑으로 한다.

$$N_n = N_{n-1} + T_0 \times X^{N-n} \quad (5)$$

단, 여기서  $N_0$ 은 0이 된다.

표 1 대수 권선의 비례 제어값 실험을 위한 계산표

Table 1 A Table calculation of winding turns for experimentation

$N=15, T_0=2(T), X=1.3, A_n=90 \times \frac{n}{N}, N_n = \frac{N_n}{N_n}(\text{P.U.})$								
$n$	0	1	2	3	4	5	6	7
$A_n(^{\circ})$	0	6	12	18	24	30	36	42
$N_n$	0	79	139	186	222	249	271	287
$N_n(\text{P.U.})$	0.00	0.24	0.42	0.55	0.66	0.74	0.81	0.86
$n$	8	9	10	11	12	13	14	15
$A_n(^{\circ})$	48	54	60	66	72	78	84	90
$N_n$	299	309	316	322	327	330	333	335
$N_n(\text{P.U.})$	0.89	0.92	0.94	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00

위의 대수 관계식을 실험을 위하여 위상각  $A_n = 90 \times \frac{n}{N}$ 로 균등 분할하여 계산에 적용하면된다. 표 1은  $N=15, T_0$

$=2(T)$ ,  $X=1.3$ ,  $A_n=90 \times \frac{n}{N}$ ,  $N_n = \frac{N_n}{N_n}$  (P.U.)인 경우를 계산하여 작성한 권수 Data인 것이다. 표 1의 Data를 바탕으로 위상각과 대수권선을 균등하게 배치하고 권선의 P.U.값으로 나타내어 정현값과의 오차를 함께 그래프로 나타내면 그림 4와 같이 나타난다.

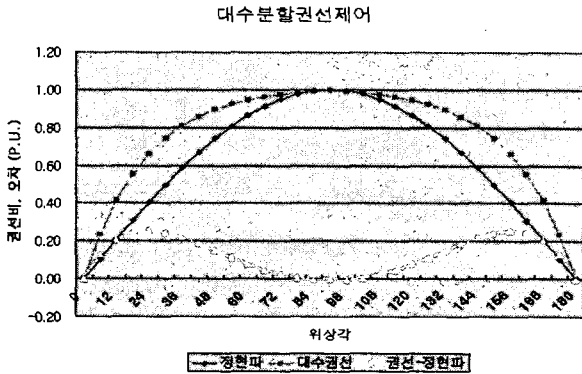


그림 4 대수분할 권수비에 의한 오차율  
Fig. 4 Err ratio of algebraic number divide winding turns

그림 4에서 위상각 45도 이전 부근에서 (+)오차를 가지므로 스위칭 주기가 짧아진다. 이것은 위상각 45도 부근에서 직류전류의 변화가 없는 시점이 되어 좋은 특성을 갖는 것이다. 또한 위상각 90도 부근에서는 전류변화가 가장 급한 때 인데 오차가 0에 가까우므로 파형의 왜곡을 크게 줄일 수 있게 된다.

#### 4. 실험

균등분할 권수비에 의한 전력변환기 실험을 실시하였다. 실험파형은 직류측 전류, 교류측 전류, 제어신호의 BCD신호, 교류전압을 동시에 측정된 분석파형이다. 측정 결과의 그림은 그림 5이며 이미 이전에 연구 발표한<sup>[10]</sup> 가역 전력변환기 실험회로를 사용하였다.

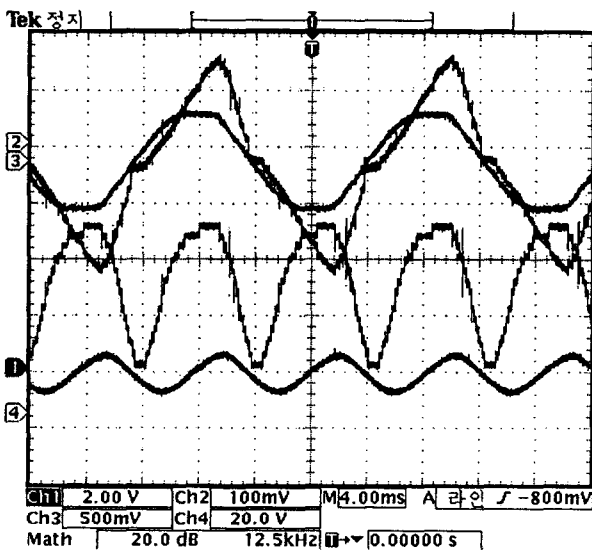


그림 5 3.6A 16.7V 11mH 경우의 파형  
Fig. 5 Waveform at 3.6A 16.7V 11mH

이 실험은 개-루프(Open Loop)로 실험하였으며 4권선 변압기를 사용했으며 3V의 분해능을 가지고 있다.

각부의 파형은 4CH로 동시에 측정하고 전류계는 0.5 급(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. 그림 5의 1번 파형은 모니터 파형을 나타내고 있으며 32스텝의 분해능을 보여 준다. 2번 파형 출력전류를 측정한 것이며 3번 파형은 전원전압을 보여 주고 4번 파형은 직류 출력 전압으로 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 2와 비교해 근사함을 보여준다. 위상각 90도 부근에서 전류 Peak치를 상승시키는 것을 확인 할 수 있다.

#### 5. 결론

1. 권수비를 대수분할법에 의하여 설계함으로써 변환기의 전류 Peak치를 줄이는 효과를 얻을 수 있다.
2. Tap Level 제어함으로써 스위칭소자의 구동이 용이해 졌다.
3. 권선을 2방향 2분할함으로써 스위칭소자의 수가 늘어나서 스위칭 소자 각각의 전력 부담이 줄었다.
4. 대전력 전력 변환기방식으로 채택이 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 Mwyniwiwa, "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, 木野 勉, 山田 一, "單相降壓チョッパ를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] 안일매 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.
- [9] 전중함 "비상용 전원의 구성과 전력 변환기에 관한 연구", 한국화재소방학회 춘계논문발표, pp.298-303, 2006.4.24.