

승압형 AC/DC 전력 변환기의 해석

박상영 박인규* 강영석** 박종근*

*서울 대학교 전기공학과 **한전 기술연구원

Analysis of Step-up AC/DC Converter

S.Y. Park I.G. Park* Y.S. Kang** J.K. Park*

*Dept. of Electrical Eng. SNU **KEPCO Research Center

Abstract

Recently, Power Electronics system increase makes harmonics and low input power factor problem. In this paper present new analysis method of PWM Boost AC/DC Converter. This PWM AC/DC Converter is capability of unity power factor, control of DC side voltage level, generation, and near sinusoidal current in 3-phase line. The control of this type of converter is widely discussed. And this paper propose new phase convert function and analysis in steady state of system to obtain amplitude and phaser of switching function. This switchig function is general solution and it can use in high power approach. And this control method show the clear meanig of control variable. This paper propose new analysis method of Boost AC/DC Converter of steady state and 3-phase 2KW experimental system show its validity.

1. 서론

최근에 와서 반도체 전력기술의 발달로 여러 분야에 반도체 전력기기를 사용함에 따라 이러한 반도체 전력기기에 의한 고조파 발생의 문제를 전력의 품질 개선이라는 필요성과 에너지 절약이라는 필요성 때문에 연구할 필요가 생겼다. 전전압이 임피던스가 크거나 큰 고조파 전류가 흐르는 경우 이 전류로 인해 전전압 자체의 고조파 함유율이 커지게 된다. 이러한 경우 수용가는 여러가지 기기의 손상이나 수명단축의 영향을 받을 수 있다. 반도체 전력기기의 역률이 낮기 때문에 필요 없이 고조파 역률이 낮은 경우가 생기는 것을 방지할 필요도 있다.

이러한 문제의 해결책으로 두가지 방법이 있을 수 있는데 필터를 부착하는 방법과 원천적으로 고조파를 발생하지 않는 전력변환기를 만드는 방법이 있다. 필터 부착법은 대규모 수용가나 전력계통 부하에서 유용한 방법이고 새로운 변환기를 만드는 방법은 새로운 부하에 유용한 방법이다.

이 논문에서는 새로운 전력 변환기 중에서 대용량 기기에 사용할 수 있는 승압형 AC/DC 변환기에 대해 연구하고자 한다. [1][2]

이 방식은 대용량화를 목적으로 전류 제어방식이 아니므로 제어에 좀더 정확한 해석을 필요로 하게 된다. 지금까지의 방식은 위상 (phase)과 진폭크기 조정법 (amplitude control)을 사용한 방식으로 해석, 제어되며 이 방식은 직류측의 전류를 인버터 출력전압의 위상을 조정으로 조정하며 직류측의 전압을 변조율 (modulation index)을 조정하므로 조정하다. 승압정류와 발전을 하나의 기제로 하고 역률이 거의 '1'이고 입력전류의 왜률 (distortion factor)이 낮은 방식이다.

이번 연구의 목적과 필요성은 다음과 같다.

- 1) 기기의 고조파 전류 발생의 최소화 되는 변환기
- 2) 입력 역률의 '1'에 가까이 유지
- 3) 승압된 직류전압을 얻으므로 교류전압의 강하시 대처능력 강화
- 4) 에너지의 흐름을 전전압, 부하측으로 자유롭게 바꿀 수 있는 변환기
- 5) 대용량화가 가능한 기기 (전류제어 장치는 고려하지 않는다.)
- 6) 전력변환기의 해석적인 정상상태 제어식 유효성 검증

이상의 목적으로 연구를 하였다.

하지만 이것과 유사한 여러 연구들이 있어 왔다. 이 논문에서는 조금 더 정밀한 해석을 하려고 했으며 실험을 통해 그 해석의 정확성을 확인하려 한다.

본 논문에서는 기존의 방식을 해석하고 승압형 AC/DC 변환기를 사용하는 방식을 해석적으로 분석하려고 시도하고 새로운 정상상태 제어식을 얻은 후 그 제어식을 사용하여 2KW 3상 승압형 AC/DC 변환기를 제작하여 그 특성을 확인하였다.

II. 동작원리 해석

1. 지금까지 나온 방식 연구.

지금까지 나온 방식의 해석방식은 크게 두가지로 분류되는데 하나는 인버터를 일반적인 발전기로 해석하여 전압/전류의 벡터도에서 전원과의 연결을 2개의 발전기의 병렬운전으로 해석하는 방식[1][3][4]과 스위칭 함수로 전력변환기를 모델링하여 해석하는 방식[2][5]으로 나타난다.

즉, 전력변환기를 완전히 발전기와 동가로 놓고 출력전압이 거의 정현이라고 가정 한 후에 조정 가능한 2개의 변수인 인버터측의 출력전압 변위(phase)와 변조율(amplitude)를 조정하여 직류측 전압과 출력전류를 가변시켜 필요한 직류전압과 역률을 유지한다.

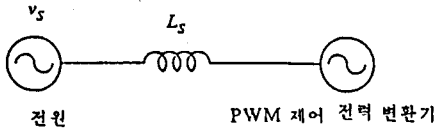


그림 1 통과회로

스위칭 함수로 전력변환기로 모델링하는 방식은 위의 방식보다 좀더 정확한 모델을 사용하는 관계로 좀더 정확한 결과를 나타낸다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션에 사용하기가 편하다. 다만, 시변 모델로 스위칭 함수를 나타내므로 정상상태의 제어식이 사용하기 복잡하다.

2. 제안하는 제어식과 해석방식

여기서는 위에서 설명한 스위칭 함수로 전력변환기를 모델링하는 방식과 유사한 방식을 사용지만 좀더 정확한 손실모델과 해석을 사용하며 이 해석 방식은 매우 유용하여 이것 외에 여러기기도 사용할 수 있다.

2.1 구성

그림 2 에 승압형 변환기의 구성을 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 승압형 변환기는 그림 3과 같은 전압원 전력 변환기의 교류측이 승압용 인덕터 L_s 를 통해 교류 전원과 연결되고, 전력 변환기의 직류측이 출력 필터 C 를 통해 직류 부하에 연결되는 구조를 갖는다.

2.2 기본 동작 원리

승압형 정류기는 승압형 직류 조류의 개념이 정류기로 확장된 것인 바, 전력 변환기의 교류측 free-wheeling 동안에 승압용 인덕터 L 에

전원의 에너지를 축적하였다가 스위칭을 통해 직류측으로 강제 배출함으로써 승압 효과를 얻는 것이 기본 동작 원리이다.

2.3 전압원 전력 변환기의 회로 모형

그림 2의 전력 변환기는 상 변환함수(phase convert function) $C_a(t), C_b(t), C_c(t)$ 의 개념을 사용하면 다음과 같은 전압-전류의 관계를 갖는 일종의 회로 요소로 파악될 수 있다.

$V_D(t) \geq 0$ 인 경우에 한하여,

$$\begin{bmatrix} v_a(t) \\ v_b(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_a(t) \\ C_b(t) \\ C_c(t) \end{bmatrix} [v_D(t)] \quad (1)$$

$$[i_D(t)] = [C_a(t) \ C_b(t) \ C_c(t)] \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

단, $C_a(t)+C_b(t)+C_c(t) = 0$ 여기서, 상 변환 함수 $C_a(t), C_b(t), C_c(t)$ 는 그림 3에서의 트랜지스터의 도통 상태에 따라 표 1과 같은 값을 갖는다.

모드	도통된 TR들	$C_a(t)$	$C_b(t)$	$C_c(t)$
1	1,4,6	2/3	-1/3	-1/3
2	3,2,6	-1/3	2/3	-1/3
3	5,2,4	-1/3	-1/3	2/3
4	3,5,2	-2/3	1/3	1/3
5	1,5,4	1/3	-2/3	1/3
6	1,3,6	1/3	1/3	-2/3
0	1,3,5	0	0	0
0	2,4,6	0	0	0

표 1 전압원 전력 변환기의 상 변환 함수의 값

2.4 회로 방정식

식 (1)을 이용하여 그림 2 의 교류측 페로 방정식을 세우면 다음과 같다.

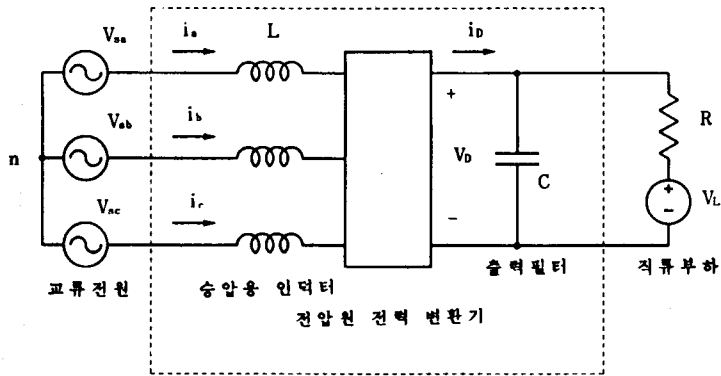


그림 2 승압형 변환기의 구성

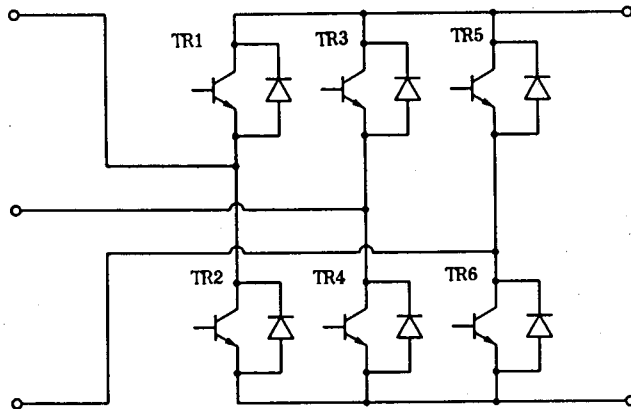


그림 3 전역용 트랜지스터로 구성된 전압원 전력 변환기

$$L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{an}(t) \\ v_{bn}(t) \\ v_{cn}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_a(t) \\ C_b(t) \\ C_c(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_D(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

그리고, 식 (2)를 이용하여 그림 2의 직류측 마디 방정식을 세우면 다음과 같다.

$$C \frac{dv_D(t)}{dt} + \frac{v_D(t) - V_L}{R} = [C_a(t) \ C_b(t) \ C_c(t)] \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.5 정상상태 해석

평형, 정상상태 하에서 식 (3)을 $V_{an}(t) = V_s \sin(\omega t)$ 를 기준으로 한 크기 페이서 (Magnitude Phasor) 식으로 바꾸면 다음과 같다.

$$j\omega L \dot{I}_a = V_s - \dot{C}_a V_D \quad (5)$$

식 (5)에서 $\dot{I}_a = a + jb$, $\dot{C}_a = c + jd$ 로 표기하여 a 와 b 를 구하면 다음과 같다.

$$a = -\frac{V_D}{\omega L} d \quad (6)$$

$$b = +\frac{V_D}{\omega L}c - \frac{V_s}{\omega L} \quad (7)$$

입력 전류 i_a 의 역률을 1로 하기 위해서는 $b=0$ 이어야 하며, 따라서 직류측 단자 전압은 V_D 로 하기 위해서는 변환함수 C_a 의 실수부 c 는 다음식을 만족하여야 한다.

$$c = \frac{V_s}{V_D} \quad (8)$$

그런데, 상 변환 함수의 펄스 폭 변조에서 c 의 최대값은 2π 이며, 이때 V_D 는 최소값 $V_s\pi/2$ 를 갖는데, 이 값은 통상의 다이오드 정류기의 출력값과 같다. 따라서, c 가 최대값 2π 보다 작은 경우에는 다이오드 정류기의 출력값 보다 큰 승압 정류가 이루어진다.

한편, 식 (4)는

$$\begin{bmatrix} C_a(t) & C_b(t) & C_c(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} = \frac{3}{2}(ac + bd) \quad (9)$$

의 관계와 식 (6), (7)을 이용하면 다음과 같이 된다.

$$V_D = -\frac{3RV_s}{2\omega L}d + V_L \quad (10)$$

따라서, 직류측 단자전압을 V_D 로 하기 위해서는 변환함수 C_a 의 허수부 d 는 다음 식을 만족하여야 한다.

$$d = -\frac{2\omega L}{3RV_s}(V_D - V_L) \quad (11)$$

그러므로, $V_D \geq V_s\pi/2$ 인 V_D 에 대하여 식 (8)과 식 (11)로부터 얻어지는 변환 함수를 정현 펄스폭 변조하여 전력 변환기의 트랜지스터를 제어하면 입력 전류의 역률이 1인 승압 정류가 이루어진다는 결론을 얻는다.

III. 실험구현

이제까지의 설명한 수식을 확인을 위해서는 기기로 구현할 필요가 있다. 따라서 2KW급 시스템을 제작 하였다.

제어기는 PC-base의 off-line PWM 발생기를 사용하였고 승압 인덕터는 10 mH의 3상 인덕터, 파워 트랜지스터는 600V 50A 급의 일반용 트랜지스터, 직류측 콘덴서는 9600 μF (450WV), 직류 부하는 6 KW 60 Ω 을 사용하였다.

IV. 결론

이 논문에서는 승압형 AC/DC 변환기의 새 해석법을 제시하고 그 해석을 통해 제어식을 얻어 그 제어식을 바탕으로 실험을 통해 새 해석법의 정확성을 확인 하였다. 다만 데드타임(dead time)이 전력기의 대용량화를 위해 대단히 큰 때문(=40us)에 실험시에 약간의 오차가 생겼다.

이 논문의 결과는 다음과 같다.

승압형 AC/DC 변환기의 새로운 정상상태 해석방식을 제시 하였다.

대용량화를 목표로 한 제어를 제작하고 스토리지 타입(storage time)이 긴 소자를 사용하여 실제로 제작, 해석의 정확함을 확인 하였다.

V. 참고문헌

- [1] E.Wernckinck, A.Kawamura, R.Hoft, "A High Frequency AC/DC converter with unity power factor and harmonic distortion," PESC 18th, pp. 264-270, 1987
- [2] R.Wu, S.B.Dewan, G.R.Slemon, "Analysis of an AC to DC Votage Source converter using PWM with phase and amplitude control," IAS Annual 1989, pp. 1156-1163
- [3] S.Manias, A.R.Prasad, P.D.Ziogas, "A 3-phase inductor Fed SMR converter with high frequency isolation, high power density and improved power factor," PESC 18th, pp. 253-263, 1987
- [4] L.Moran, P.Ziogas, G.Joos, "Design aspect of synchronous PWM rectifier-inverter systems under unbalanced input voltage condition," IAS Annual 1989, pp. 877-884
- [5] R.Wu, S.B.Dewan, G.R. Slemon, "A PWM AC to DC converter with fixed frequency," IAS Annual 1988, pp.706-711