

역률개선용 단상 브리지리스 배전압 변환기의 구현

구도연, 임승범, 서영민, 홍순찬
단국대학교 전자전기공학과

Implementation of Single-Phase Bridgeless Voltage Doubler for Power Factor Correction

Do Yeon Koo, Seung Beom Lim, Young Min Seo, and Soon Chan Hong
Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University

ABSTRACT

역률개선용 변환기는 입력전류를 교류전원과 동상으로 제어하여 다이오드 정류기에 비해 역률을 개선하고 THD를 저감시킬 수 있다

본 논문에서는 단상 역률개선용 배전압 변환기를 IP 제어기와 Anti Wind up Control을 사용하여 출력전압의 크기를 안정되게 제어하며 PI 제어기와 Anti Wind up Control을 사용하여 입력전류가 입력전압과 동상이 되도록 제어한다. 또한 Duty ratio Feed Forward Control을 사용하여 디지털 제어에 의한 진상현상을 저감시킨다.

본 논문에서는 소형화와 경량화가 가능하고 출력전압이 높은 역률개선용 단상 브리지리스 배전압 변환기를 구현한다.

1. 서론

역률개선용 변환기는 입력전류의 위상을 교류 입력전압과 동상이 되도록 제어하고 입력전류의 모양을 정현화하여 역률을 개선한다. 따라서 다이오드 정류기에 비해 입력전류의 최대값을 작게 하고 전력 공급능력을 향상시켜 에너지 손실을 줄이고 전원에 고조파 장해를 최소화할 수 있다.

단상 역률개선용 변환기는 2개의 출력커패시터의 공통점을 교류전원의 중성점과 묶어 소용량이지만 높은 입력전압을 요구하는 부하를 위해 사용한다. 변환기는 부스트 토폴로지를 사용하여 입력전류를 연속으로 제어할 수 있고 정현적인 입력전류 파형을 만들 수 있다.

본 논문에서는 1단 방식을 사용하여 전력회로에서의 손실이 적어 전력변환 효율이 높고 소형화와 경량화가 가능하며 높은 출력전압을 갖는 역률개선용 단상 브리지리스 배전압 변환기를 구현한다.

2. 제안한 역률개선용 배전압 변환기

2.1 단상 브리지리스 배전압 변환기

본 논문에서 사용한 회로는 그림 1과 같은 단상 브리지리스 배전압 변환기이다^[1]. 일반적으로 사용하는 정류용 브리지 다이오드를 제거하고 두 개의 능동스위치를 사용하였다. 두 개의 능동스위치 S_a , S_b 는 각각 교류전원의 양의 반주기와 음의 반

주기에 동작하여 교류를 정류하며 스위칭 동작을 한다. 따라서 두 개의 능동 스위칭소자를 사용하더라도 스위치 이용률이 한 개의 능동 스위칭소자를 사용한 것과 같아 스위칭 손실이 동일하고 스위칭 손실에 의해 발생하는 열을 두 개의 스위치가 분담하므로 방열설계가 용이한 장점이 있다^[2].

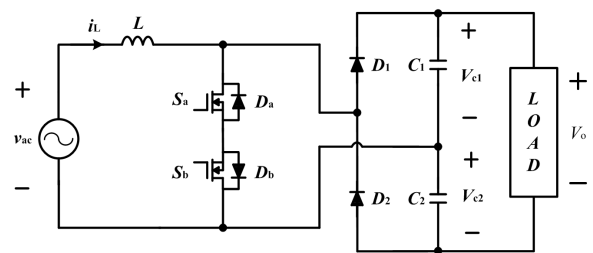


그림 1 단상 브리지리스 배전압 변환기
Fig. 1 Single-Phase Bridgeless Voltage Doubler

2.2 변환기의 제어

단상 브리지리스 배전압 변환기의 제어블록도는 그림 2와 같다. 출력전압 제어는 PI(Proportional Integral) 제어기에 비하여 같은 이득값에서 오버슈트가 적게 일어나 안정된 제어가 가능한 IP(Integral Proportional) 제어기를 사용하였으며 적분기의 포화방지를 위해 Anti Wind up Control을 사용하였다.

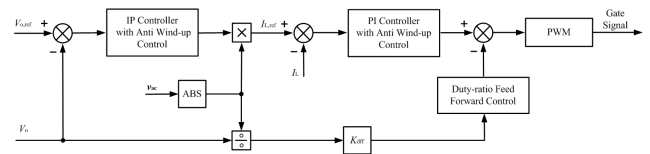


그림 2 제어 블록도
Fig. 2 Block Diagram of Controller

입력전류 제어는 교류전원의 위상과 동상으로 제어하기 위해 PI 제어기를 사용하였다. PI 제어기는 빠른 응답속도를 가지므로 입력전류가 교류전원과 위상이 동상이 되도록 하여 역률을 개선할 수 있다. PI 제어기에도 출력전압 제어와 동일하게 Anti Wind up Control을 사용하여 적분기의 포화를 방지하였다. 또한 DSP를 사용한 디지털 제어의 경우 제어기의 대역폭을 높이기 어렵기 때문에 입력전류의 진상현상(Phase Leading Effect)을 막기가 쉽지 않다^[3]. 이러한 진상현상은 입

력전류의 고조파를 발생시키는 원인이 되어 역률을 저하시킨다. 그리고 입력전압과 스위치 전압사이에는 인덕터가 존재해 이로 인해 발생하는 위상차에 의해 ZCP(Zero Crossing Point)에서 Cusp Distortion이 발생하여 입력전류의 THD(Total Harmonic Distortion)가 증가하므로 역률을 저하시킨다^[4]. 이 문제들을 극복하기 위해 전류제어 신호에 Duty ratio Feed Forward Control을 사용한다.

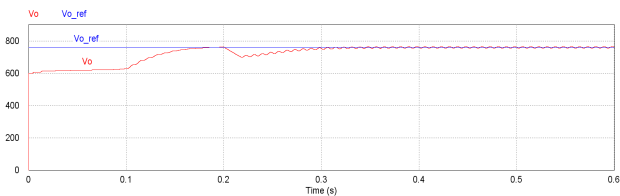
3. 시뮬레이션 및 실험결과

위에서 언급한 제어방식을 사용한 단상 브리지리스 배전압 변환기에 대하여 Powersim사의 PSIM으로 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 DSP(TMS320F28335)등을 이용하여 실험장치를 구성하고 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 및 실험에 사용한 파라미터는 표 1과 같다.

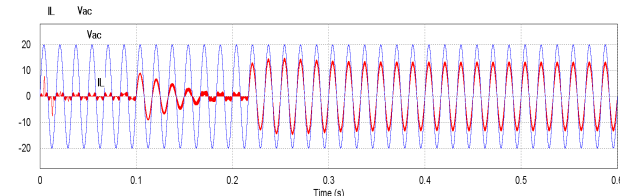
표 1 시뮬레이션 및 실험 파라미터
Table 1 Simulation and Experiment Parameter

Rated Output Power	P_{out}	2[kW]
Input Voltage	V_{in}	220[V _{rms}]
Output Voltage	V_o	760[V _{dc}]
Boost Inductor	L	760[uH]
Output Capacitor	C_1, C_2	1360[uF]
Switching Frequency	f_s	40[kHz]

그림 3은 출력전압 및 입력전류에 대하여 0.2[sec]까지 무부하로 동작하고 이후부터 2[kW] 부하로 동작하도록 시뮬레이션 하였다. 0.2[sec] 이후 출력전압의 크기가 일정하게 유지되고 입력전류의 위상이 입력전압과 동상이 됨을 알 수 있다.



(a) 기준 출력전압 $V_{o,ref}$ 과 실제 출력전압 V_o



(b) 입력전류 I_L 과 입력전압 V_{ac}

그림 3 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Simulation Waveform

그림 4는 단상 브리지리스 배전압 변환기의 구현을 위한 실험장치이다.

그림 5는 2[kW] 부하에 대하여 실제 출력전압 v_o 및 기준 출력전압 $V_{o,ref}$, 입력전류 i_L 및 입력전압 V_{ac} 의 정상상태 파형이다. 실험을 통해 v_o 가 $V_{o,ref}$ 를 잘 추종하고 있으며 입력전류 i_L 은 입력전압 v_{ac} 의 위상과 동상을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

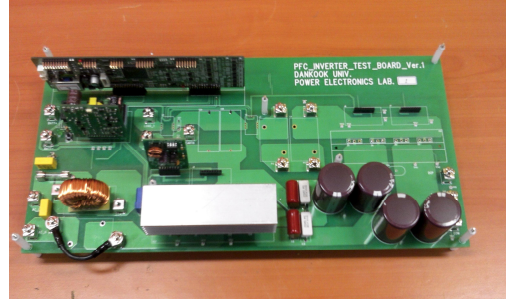


그림 4 실험장치
Fig. 4 Experiment Setup

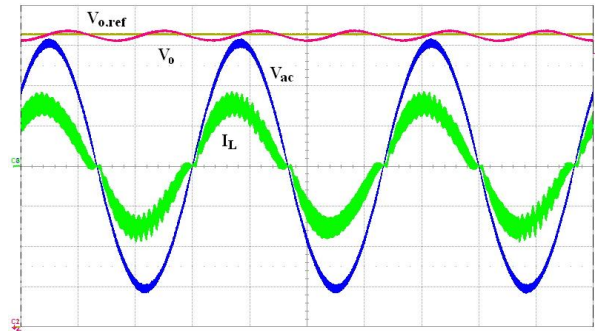


그림 5 실험 결과(V_o : 50[V/div](offset : -600[V]), I_L : 10[A/div], Time : 5[ms/div])

Fig. 5 Experimental Results

4. 결론

본 논문에서는 역률개선용 단상 브리지리스 배전압 변환기를 구현하였다. IP 제어를 사용하여 출력전압의 크기를 안정하게 제어하였으며 PI 제어를 사용하여 입력전류가 교류전압과 위상이 동상이 되도록 제어하며 Duty ratio Feed Forward Control을 사용하여 진상현상을 저감하였다. 그리고 각각의 제어기는 Anti Wind up Control을 사용하여 적분포화를 방지하였다. 시뮬레이션과 실험을 통해 변환기의 안정된 정상동작을 확인하였다. 실험에서 역률은 0.985, THD는 9.7%로 측정되었다.

참고 문헌

- [1] John C. Salmon, "Circuit Topologies for Single Phase Voltage Doubler Boost Rectifiers", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 8, No. 4, October 1993.
- [2] Yong Li and Toshio Takahashi, "A Digitally Controlled 4 kW Single Phase Bridgeless PFC Circuit for Air Conditioner Motor Drive Applications", IPEMC(Power Electronics and Motion Control Conference) Proc., 2006.
- [3] 구대관, 지준근, 차귀수, 임승범, 홍순찬, "단일 스위치 배전압 방식의 단상 PFC 컨버터의 동작 특성", 전력전자학회 논문지, 제16권 제6호, 2011. 12.
- [4] Koen De Gussemme and David M. Van de Sype, "Digital Control of Boost PFC Converters Operating in Both Continuous and Discontinuous Conduction Mode", IEEE Power Electronics Specialists Conference Record, Aachen, Germany, 2004.