

승압용 커패시터를 이용한 단상 배전압 AC-DC 컨버터

°정상화, 김상돈, 이수흠, 이현우, 전중환, 정기환
 경남전문대학교, *경남애니메이션고등학교, **경남대학교, ***대구보건대학, ****영진콘트롤

The Single-Phase Voltage-Doubler AC-DC Converter by using a Boost Capacitor

°S.H.Jung, S.D.Kim, S.H.Lee, H.W.Lee, J.H.Chun, K.H.Chung
 Kyungnam Junior College, *Kyungnam Animation High School, **Kyungnam University,
 Taegu Health College, *Youngjin Control Co., Ltd.

Abstract - A conventional AC-DC boost converter has much variation of input current as more increased the load or output voltage by the hysterical control method that is comparing area of current pulse by using PWM method and integration to sinusoidal input current.

To improve the problems, in this paper, we propose the single-phase voltage doubler AC-DC converter circuit using the capacitor for boost: confirm characteristics of normal and transition state by using simulation, be stabilized voltage of doubler capacitor for boost, and Identify to get the sinusoidal input current with unity power factor.

1. 서 론

최근 자동화 기기의 급속한 발전과 더불어 전기기기에 서도 고성능화도 한 단계 발전해 소형, 저소비형, 고효율형으로 제어성이 높은 제품이 개발되어 가전기기를 중심으로 보급이 확산되고 있다. 이러한 기기들은 내부의 전자회로를 구동하기 위하여 직류전원을 필요로 하게 되므로 교류를 직류로 변환하는 정류회로를 사용하고 있다. 그러한 정류회로는 대부분 커패시터 입력 방식을 사용하고 있기 때문에 활발히 논의되고 있는 역률저하, 고조파 발생의 문제의 핵심이 되고 있다. 또한 이러한 역률저하의 문제점을 해결하기 위하여 단상 승압형, 혹은 강압형 AC-DC 컨버터를 사용하여 역률개선(PFC : Power Factor Correnction)에 힘쓰고 있기도 하다.^{(3),(4),(5)}

하지만, 기존의 승압용 AC-DC 컨버터는 입력전류를 거의 단위 역률로 유지하면서 정현파상으로 제어하기 위해 펄스폭을 변조하는 펄스폭 변조방식(PWM : Pulse Width Modulation)과 적분기(Integrator)를 이용해서 전류 펄스 면적을 비교하여 승압(Boost) 및 강압(Buck) 동작으로 입력전류를 히스테리시스(Hysteresis) 제어하는 방식이 사용되어지고 있지만 입출력 전압의 검출기가 별도로 필요하며, 일반적으로 출력전압 또는 부하가 커짐에 따라 현저한 변형이 생기게 된다.^{(1),(2)}

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 1에 나타낸 단상 승압형 컨버터의 역률개선효과와 더불어 그림 2에 나타낸 기존의 단상 배전압 정류회로의 효율성을 검토하여 그림 3에 나타낸 승압용 커패시터를 이용한 새로운 단상 승압형 배전압 AC-DC 컨버터 회로(Single-Phase Voltage-Doubler AC-DC Booster Converter)를 제안하고자 한다.

본 논문에서는 제안한 회로의 동작 및 제어에 관하여 설명하고 실험을 통하여 과도응답 특성을 확인하고, 컨버터 회로에서 승압용 배전압 커패시터 전압을 충분히 평등화 시키고, 거의 단위 역률에 가까운 정현파 입력전류가 얻는 것을 목적으로 한다.⁽⁶⁾

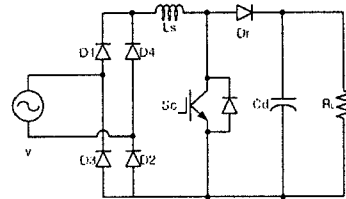


그림 1. 기존의 단상 승압형 AC-DC 컨버터 회로
 Fig. 1. Single-phase boost AC-DC converter

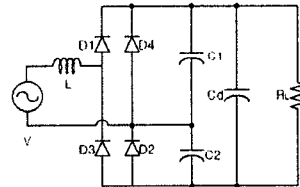


그림 2. 기존의 단상 배전압 정류회로
 Fig. 2. Single-phase voltage doubler rectifier circuit

2. 본 론

2.1 단상 배전압 승압형 AC-DC 컨버터

그림 1에 기존의 단상 승압형 AC-DC 컨버터를 나타낸다. 이 컨버터는 주로 입력 역률개선을 목적으로 주로 사용되는 회로로 전류불연속 혹은 연속모드의 제어 스위치 Sc를 펄스폭 변조 기법에 의하여 역률개선 효과를 가진 승압형 컨버터이다.

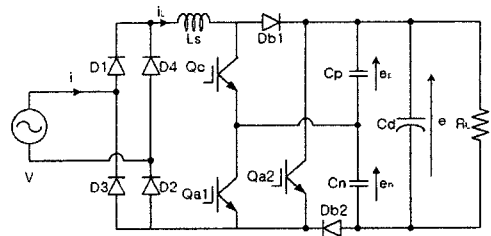


그림 3. 제안하는 단상 배전압 AC-DC 컨버터 회로
 Fig. 3. Single Phase voltage doubler AC-DC converter

그림 2는 일반적인 커패시터 입력형 단상 배전압 정류 회로이다. 이 회로는 배전압 커패시터 C1, C2와 입력 리액터 Ls의 공진에 의하여 입력역률을 개선하려고 하고 종래의 배전압 회로보다 작은 용량의 배전압 커패시터를 적용할 수 있다는 장점을 가진 회로이다. 하지만 입력역률 개선효과가 그다지 좋지 않다는 점과 두 개의 배전압 커패시터의 전압 불균형에 따른 단점을 가지고 있기도 하다.

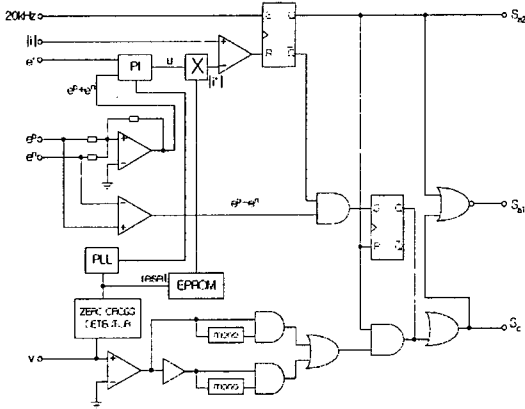


그림 4. 전압, 전류 제어 블록 다이어그램
Fig. 4. Voltage and current control block diagram

본 논문에서는 승압형 컨버터의 스위칭 동작에 의해 기존의 커패시터 입력형 배전압 정류회로의 입력 역률을 개선하고, 배전압 회로가 가진 배전압 회로가 가진 장점을 충분히 활용하면서 배전압 커패시터의 전압 불균형 현상을 평등화 시킬수 있는 승압형 단상 배전압 AC-DC 컨버터를 제안한다.

그림 3에 제안하는 컨버터의 주회로를 나타내었다. 단상 배전압 AC-DC 컨버터의 주회로는 다이오드 브리지 D1-D4에 승압용 리액터 Ls, IGBT 스위치 Qc, Qa1, Qa2 및 배전압용 커패시터 Cp, Cn와 출력 평활용 커패시터 Cd로 구성 된다. 여기서, 다이오드 Db1, Db2는 각각 Cp, Cn의 단락방지용으로 사용된다.

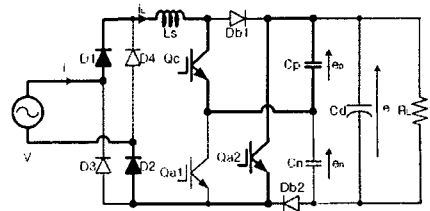
2.1.1 회로의 제어 및 동작

제안한 단상 승압형 배전압 AC-DC 컨버터의 동작은 전원전압 v 가 정(+)일 경우, 전원전압 v 가 제로 크로스점에서 $\pi/2$ 의 기간에서는 그림 5(a)에 나타난 것과 같이 스위치 Qc, Qa2를 온하고, 배전압 커패시터 Cp의 단자전압 e_p 는 $v-D1-Ls-Qc-Cp-Qa2-D2$ 의 경로에서 전압을 인가시키고, 입력전류 i 의 상승을 보조한다. 또한, 전원전압 v 가 $\pi/2$ 에서 다음의 제로 크로스점까지의 기간에서는 그림 5(b)에 나타난 것과 같이 스위치 Qa2가 온되며 전류는 $v-D1-Ls-Db1-Qa2-D2$ 의 경로로 증가한다.

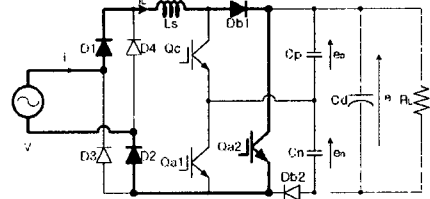
이때, 만일 전류 $|i|$ 가 지령값 $|i^*|$ 도달하면, 배전압 커패시터 단자전압 e_p, e_n 의 대소 관계에 의해 회로동작을 전환한다. 즉, $e_p < e_n$ 일 때는 그림 6(a)에 나타난 것과 같이 스위치 Qa1을 온해서 $v-D1-Ls-Db1-Cp-Qa1-D2$ 의 경로로 커패시터 Cp를 충전하고, $e_p > e_n$ 일 때는 그림 6(b)에 나타난 것과 같이 스위치 Qc를 온해서 $v-D1-Ls-Qc-Cn-Db2-D2$ 의 경로로 커패시터 Cn을 충전한다. 이상의 동작에 의해 배전압 출력전압이 얻어진다.

2.1.2 실험 및 응답특성

제안한 단상 승압형 배전압 AC-DC 컨버터의 회로동작과 역률개선 효과를 확인하기 위하여 프로토타입을 제작하여 실험하였다. 표 1에 시뮬레이션에 사용된 회로정수를 나타내었다. 여기서, E는 출력전압 e 의 평균값이 된다.

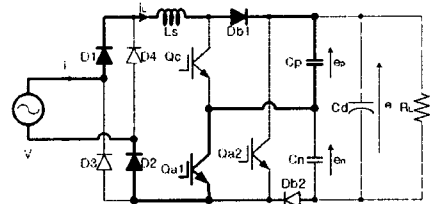


(a) $0 \sim \pi/2$ 기간

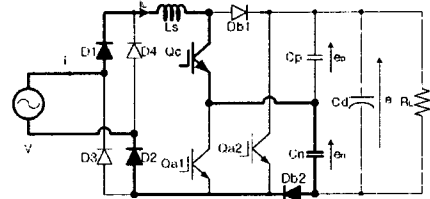


(b) $\pi/2 \sim \pi(0)$ 기간

그림 5. 전원전압에 따른 회로의 동작
Fig. 5. Circuit Operation by source voltage



(a) $e_p < e_n$ 인 경우



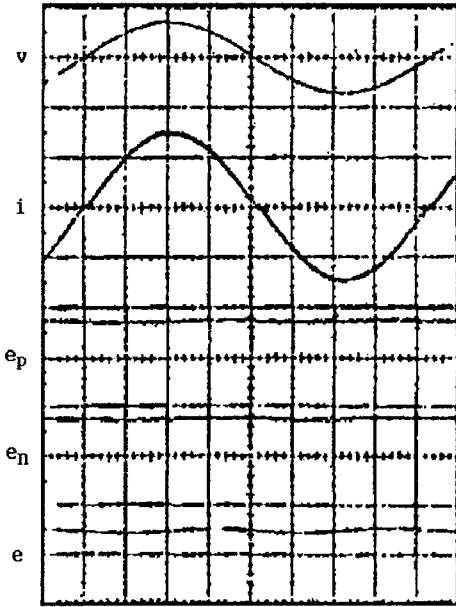
(b) $e_p > e_n$ 인 경우

그림 6. 배전압 커패시터의 충전,방전 동작
Fig. 6. Charging and Discharging on voltage doubler capacitor

표 1. 프로토타입 회로정수
Table 1. Circuit parameters of prototype

항목	회로정수
입력전압 v	단상 50[V] 60[Hz]
승압용 리액터 Ls	2.204[mH]
배전압 커패시터 Cp, Cn	220[uF]
출력 평활용 커패시터 Cd	1000[uF]
부하저항 RL	50[Ω]
스위칭 주파수 fs	20[kHz]
승압비 $\lambda = E/v$	3

그림 7에 실험결과 파형을 나타내었다. 전원전압 v 와 입력전류 i 의 파형에서 알수 있듯이 입력역률은 거의 단위역률로 정현파상으로 제어되고 있으며, 배전압 커패시터의 단자전압 e_p, e_n 은 충분히 평등화되고 있음을 볼수 있다.



$v, e_p, e_n, e = 100V/DIV$
 $i = 10A/DIV, Time = 2ms/DIV$

그림 7. 실험 결과 각부 파형
 Fig. 7. Waveform of experimental result

그리고, 제안한 컨버터의 과도응답특성 실험을 실시하였다. 그림 8은 부하저항을 $20(\Omega)$ 로 고정하고 출력전압의 기준치 e_0^* 를 변화시켰을 때의 과도응답이다. 또한, 그림 9에서는 부하저항을 $20(\Omega) \rightarrow 40(\Omega)$ 로 변화시켰을 때의 과도응답을 표시한 것이다. 그림 8과 그림 9에서 어느 쪽이나 거의 단위역률의 정현파상의 입력전류를 유지하면서 대략 2~3사이클로 정정(整定)되어 있음을 볼수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 단상 승압형 컨버터의 역률개선효과와 더불어 단상 배전압 정류회로의 효율성을 점목하여 승압용 커패시터를 이용한 새로운 단상 승압형 배전압 AC-DC 컨버터 회로를 제안하였다.

그리고 회로의 실험을 통하여 제안한 컨버터의 입력역률이 정현파상의 단위역률로 제어되고 있음을 알수 있었으며, 과도응답 특성 실험을 통하여 우수한 응답특성을 가지고 있음을 확인하였다. 또한, 컨버터 회로에서 승압용 배전압 커패시터 전압의 평등화 시킬 수 있었다.

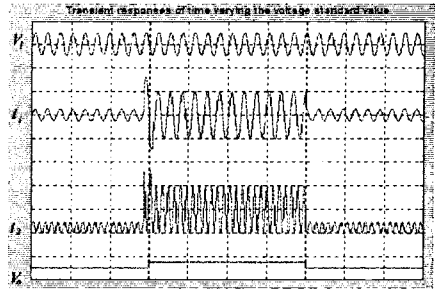


그림 8. 전압기준치 변화 때의 과도응답
 Fig. 8. Transient responses of time varying the voltage standard value

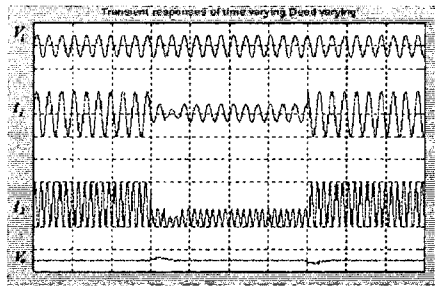


그림 9. 부하변화 때의 과도응답
 Fig. 9. Transient responses of time varying the load

본 논문은 한국과학재단 특정기초연구 (1999-2-302-014-3)지원으로 수행되었음

[참 고 문 헌]

- [1] J.C.Salmon, "Performance of A Single Phase PWM Boost Rectifier Using Hysteresis Current Control," EPE91 Proc, pp4-384~4-389
- [2] Fujiwara and Nomura, "A Power Factor Correction for Single-phase Diode Rectifiers without Employing PWM Strategy", IPEC Yokohama, pp.1501- 1506, 1995
- [3] K.Fujiwara and H.Nomura, "Improvement of Current Waveform for 200V Input Single-phase Rectifier Using Modified Voltage-doubler Circuit", Proceedings of Power Conversion Conf.-NAGOAKA, pp.897-900, 1997
- [4] J.C.Salmon, "Techniques for Minimizing the Input Current Distortion of Current-Controlled Single-Phase Rectifiers", IEEE Trans, PE 8,509, 1993
- [5] O.Miyashita, Y.Nishida, T.Ohmuki, E.Ohtsuji, T.Haneyoshi, "High Power Factor PWM Rectifiers with an Analog Pulse-Width Predictor", Proc.of IEEE APEC94, pp.563-568(1994)
- [6] H.Kiyotake, T.Egashira, K.Ishizakam R.Itohm H.Okada, "A Configuration of Single-Phase Voltage Doubler Rectifier with Balanced Capacitor Voltage", 2002 IEE Japan, 4-029 pp.42, 2002.3.26