

단상 강압형 정류기의 정현파 입력전류 개선에 관한 연구

정상화, 이현우\*, 서기영\*, 권순걸\*, 김은수\*\*  
 경남전문학교, \*경남대학교, \*\*부산전기학원

A Study on sine-wave Input Current Correction of Single-Phase Buck Rectifier

S.H.Jung\*, H.W.Lee\*\*, K.Y.Suh\*\*, S.K.Kwon\*\*, Y.S.Kim\*\*\*  
 Kyungnam Junior College\*, Kyungnam Univ\*\*, Pusan Electrical Academy\*\*\*

**Abstract** - Input Current Correction of Single-Phase Buck Rectifier is studied in the paper. To sinusoidal waveform the input current with a near-unity power factor over a wide variety of operating conditions, the output capacitor is operated with voltage reversibility for the supply by arranging the auxiliary diode and power switching device. Then the output voltage is superposed on the input voltage during on time duration of power switching devices in order to minimize the input current distortion caused by the small input voltage when changing the polarity. The tested setup, using two insulated-gate bipolar transistors(IGBT) and a microcomputer, is implemented and IGBT are switched with 20(kHz), which is out of the audible band. Moreover, a rigorous state-space analysis is introduced to predict the operation of the rectifier. The simulated results confirm that the input current can be sinusoidal waveform with a near-unity power factor and a satisfactory output voltage regulation can be achieved.

1. 서 론

다이오드 브리지에 승강압(Buck-Boost) DC-DC 컨버터를 중속 접속시킨 단상 정류기는 간단한 회로구성으로 출력전압의 승강압 동작이 가능하다. 이 입력전류를 거의 단위 역률로 유지하면서 정현파상으로 제어하기 위해서 펄스폭을 변조하는 펄스폭 변조방식과 적분기를 이용해서 전류펄스 면적을 비교하여 Buck-Boost 동작을 바꿔가면서 입력전류를 히스테리시스 제어하는 방식이 사용되어지고 있지만 입출력전압의 검출기가 별도로 필요하며, 일반적으로 출력전압 또는 부하가 커짐에 따라 현저한 변형이 생기게 된다. 전원전압 극성반전의 입력전류 변형은 Boost 정류기와 같은 에너지 축적에 이용한 Buck-Boost 정류기에서도 나타난다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 기존의 기본회로에 전압반전기능을 부가한 회로를 구성하였으며, DC-DC변환부에 buck컨버터와 buck-boost 컨버터를 병렬입력, 직렬출력으로 접속하여 한 개의 스위칭소자로 단상 강압형 정류기를 제어하고자 한다. 제안한 회로를 이용하여 정현파 입력전류의 특성 및 과도특성을 파악하고 기존의 회로구성과 비교하여 그 유용성을 증명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 제안한 단상 강압 정류기

그림 1은 일반적인 단상 강압형 컨버터를 나타낸 것이다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 강압형 컨버터회로이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 기존의 강압형 회로에 전압반전기능을 부가한 회로를 추가하였으며, DC-DC 변환부에 buck컨버터와 buck-boost 컨버터를 병렬입력, 직렬출력으로 접속하여 한 개의 스위칭소자인 IGBT로 단상 강압형 정류기를 제어할 수 있다.

그림 2에서 buck 컨버터는  $Q-D_1-L_1-C_1$ 로, buck-boost 컨버터는  $Q-L_2-D_2-C_2$ 의 경로로 각각 구성되어진다. 또한  $D_b$ 는  $L_2$ 의 에너지가  $D_1$ 을 통하여 방전하는 것을 방지하기 위하여 사용하였다. 그리고 L과 C는 스위치 소자의 스위칭에 따라 생기는 고차고주파 전류를 흡수하기 위한 필터이다.

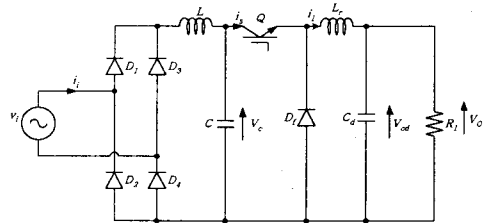


그림 1 기존의 단상 강압 정류기  
 Fig. 1 Conventional Single-Phase Buck Rectifier

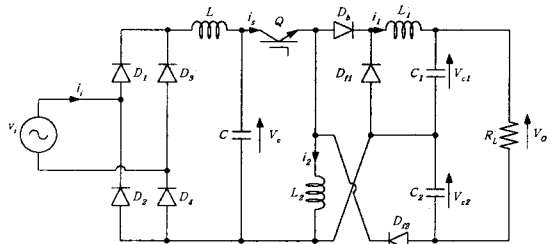


그림 2 제안한 단상 강압 정류기  
 Fig. 2 Proposed Single-Phase Buck Rectifier

본 논문에서는 입력전류를 단위 역률1의 상태에서 정현파상으로 제어하기 위해 펄스면적 변조 방식을 적용한다. 일반적으로 전류검출에서는 스위칭소자 Q에 흐르는 전류가 불연속적이기 때문에 검출회로 및 신호 처리회로에서 잡음이 발생하므로 본 연구에서는 전류검출을  $L_2$

의 삼입점에서 행하는 것으로 한다. 그림 3과 같이 연산 증폭기(OP-AMP)인 적분기(Integrator)와 구성요 (Component)를 이용하여 펄스면적 변조법을 간단히 실현할 수 있다. 또한 기준 전파정류신호  $a^*$ 는 본 구성 요소에서 우선 ROM에 입력한 단위크기의 신호와 비례 적분 미분동작(PID: Proportional Integral and Derivative action)제어기의 출력에 의해 얻는다. 바꿔 말하면 원하는 출력전압을 얻기 위해서  $a^*$ 가 PID 제어기에 의해 자동적으로 조정된다.

이때 각도  $\alpha$ 는 도시한 것처럼 단안정 멀티바이브레이터(Monostable Multiplicator)를 이용해서 설정했다.

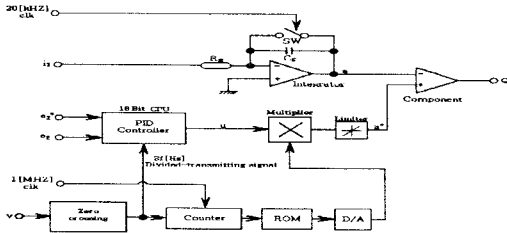


그림 3 전압, 전류제어 블록도  
Fig. 3 Voltage and Current Control Block Diag

단상 시스템은 반 사이클의 동작을 생각하면 충분히 파악할 수 있으므로, 여기서는  $V_s \geq 0$  인 영역을 생각하기로 하고, 스위치소자의 ON, OFF 동작을 수반하는 모드이다. 전원전압의 제로-크로스점부터  $\alpha$ 의 사이는 그림3에 표시된 클록 펄스(Clock Pulse)가 인가될 때마다 Q가 ON 된다.

## 2.2 시뮬레이션결과 및 검토

그림 4는 그림1에 표시된 기존 회로구성을 동작시켰을 때의 동작 시뮬레이션 파형이다. 제한된 회로에 있어서 다이오드는 이상적인 다이오드이고, 제어 스위치는 가변저항의 전압 스위치로 하여 Design center(Version.8.1)로 시뮬레이션 하였다. 표 1은 회로정수들을 나타내었다.

표 1 주 회로정수  
Table 1 Circuit Parameter

Source Voltage	$V = 100$ [Vrms] $f = 60$ [Hz]
Input Filter	$L = 0.944$ [mH] $C = 2$ [ $\mu$ F]
Resonant Inductance	$L1 = 2.07$ [mH] $L2 = 2.08$ [mH]
Resonant Capacitance	$C1 = 2,000$ [ $\mu$ F] $C2 = 2,000$ [ $\mu$ F]
Switching	D.F = 40 [%] $f = 20$ [kHz]
$R_s$	4 [k $\Omega$ ]
$C_s$	4,700 [pF]
Load	20 [ $\Omega$ ]

그림 5에서 전원전압의 극성 반전시 입력전류가 변형되는 것을 알 수 있다. 이것은  $|V|$ 가 작을 때에는 인덕터 전류  $i_s$ 의 증가가 완만하므로  $i_s$ 의 시간 적분치  $a$ 가 전원전압의 제로-크로스부터 어떤 기간 기준치  $a^*$ 에 도달하지 않기 때문이다. 이 기간에 스위치 Q는 OFF 시키지 않고 ON상태를 계속 유지한다.

또한, 입력전류가 정현파에 추종하지 않는 기간은 그림5의 경우 약  $\pi/5$ 이다. 그림 2에 표시된 개선한 회로구성에서 전원전압의 제로-크로스점에서 동작시키는 각도  $\alpha$ 는 효율의 관점에서 가능한 작은 편이 바람직하다. 단,  $\alpha$ 를 이론적으로 도출하는 것은 곤란하다.

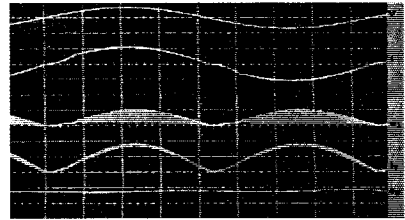


그림 4 기존의 단상 강압 정류기의 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Simulation Waveforms of Conventional Single-Phase Buck Rectifier

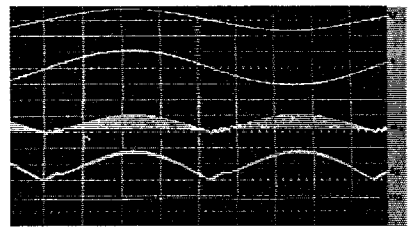


그림 5 개선한 단상 강압 정류기의 시뮬레이션 파형  
Fig. 5 Simulation Waveforms of Improved Single Phase Buck Rectifier

이론적으로 그림 4와 같은 조건 아래서 입력전류를 정현파화 할 수 있는 최소의  $\alpha$ 는  $\pi/5$ 보다 작아야 좋다. 그림 5에서는 필터에 기인하는 것으로 생각되는 약간의 맥동을 제외하고, 그림 4에 표시된 입력전류의 변형이 개선되고 있다. 또한, 그림 4에 표시된 입력전류의 주파수 스펙트럼분석에 의한 변형률은 4.643[%]인데 비해 그림 5의 경우에는 1.149[%]이다. 더욱이, 그림 4에 표시된 기존 회로구성의 입력전류에 포함되는 저차고조파 성분의 기본파에 대한 비율은 표 2이다.

표 2 입력전류의 저차고조파 성분  
Table 2 Low Order Harmonic Content of Input Current

HARMONIC	$a_h/a_1$ [%]	
	CONVENTIONAL SIMULATION ( $I = 7.8(A)$ )	PROPOSED SIMULATION ( $I = 7.9(A)$ )
3	2.5	0.74
5	2.4	0.88
7	2.21	0.29
9	1.63	0.19
11	1.03	0.25
13	0.65	0.21
15	0.29	0.29
17	0.18	0.28
19	0.28	0.23

$a_h$ 는  $h$ 차 고조파전류의 크기,  $I$ 는 입력전류  $i$ 의 실효치

표 2에서 알 수 있듯이 전원전압 제로-크로스 근처의 변형이 특히 제3차, 5차, 7차 고조파를 발생시킨다. 또한 개선한 회로구성의 변형률은 동작조건에 관계없이 대략 1(%)정도로 유지되는 것을 확인했다. 또한, 표 2의 값은 그림 4 및 그림 5에 표시된 입력전류의 주파수 스펙트럼의 분석 및 푸리에급수에 의한 결과를 나타낸 것이다. 표 2에서 알 수 있듯이 개선한 회로에서 기존의 회로보다 저차고조파성분을 충분히 억제할 수 있다. 개선한 강압 정류기의 과도특성으로 알기 위해서는 먼저, 전원전압의 제로-크로스점마다 출력전압  $e_0$ 를 검출하면 식 (1)과 같으며, 이 검출한 출력전압  $e_0$ 를 PID 알고리즘(Algorithm)을 이용하여 시뮬레이션을 하였다.

$$u(nT) = u\{(n-1)T\} + K_P[\epsilon(nT) - \epsilon(n-1)T] + K_I \epsilon(nT) + K_D[\epsilon(nT) - 2\epsilon(n-1)T + \epsilon(n-2)T] \quad (1)$$

단,  $n$  = 자연수

$T$  =  $1/2f$ 와 동등한 샘플링(Sampling)주기

$$(nT) = e_2^* - e_2(nT)$$

$K_P$  = 비례 이득

$K_I$  = 적분 시간

$K_D$  = 미분 시간

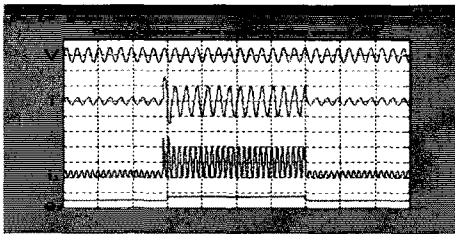


그림 6 전압기준치 변화 때의 과도응답  
Fig. 6 Transient Responses of Time Varying the Voltage Standard Value

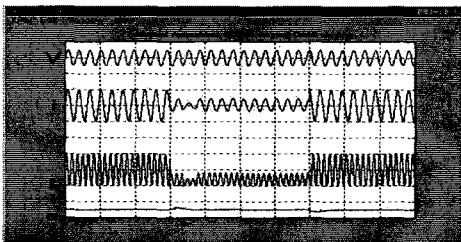


그림 7 부하변화 때의 과도응답  
Fig. 7 Transient Responses of Time Varying the Load

그림 6은 부하저항을  $22[\Omega]$ 로 고정하고 출력전압의 기준치  $e_0^*$ 를 변화시켰을 때의 과도응답이다. 또한, 그림 7에  $e_0^*$ 를  $\lambda=1.5$ 로 되도록 설정한 후, 부하저항을 각각  $22[\Omega]$ ,  $44[\Omega]$ ,  $22[\Omega]$ 로 변화시켰을 때의 과도응답을 표시한 것이다.(단,  $K_P=0.12$ ,  $K_I=0.14$ ,  $K_D=0.08$ 로 설정한다.) 그림 6과 그림 7에서 어느 쪽이나 거의 단위역률 1의 정현파 입력전류를 유지하면서 대략

23사이클로 정정(整定)되어 있다.

### 3. 결 론

이상에서 전압반전기능을 추가하는 것에 의해 전원전압 극성 반전시 입력전류의 변형 최소화를 목적으로 한 단상 강압 정류기의 특성을 시뮬레이션한 결과 본 논문에서 제안한 단상 강압형 AC-DC 컨버터의 회로는 입력 전압전류가 거의 동위상으로 되어 역률의 개선 및 고조파 성분의 저감과 효율이 개선됨을 확인하였다. 또한, 전압기준치의 변화 및 부하의 변화에 대해서도 간단한 PID 제어에 의해서 정현파 입력전류를 유지하면서 개략 2-3사이클로 정정(整定)할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 끝으로, 펄스폭 변조방식을 적용하여 개선된 회로는 입력전류 정현파화를 위한 전압의 검출과 복잡한 연산을 수반하는 펄스폭 변조가 불필요하므로 출력전압의 대폭적인 조정이 필요한 비교적 소용량의 직교 인덕터로서 유용할 것으로 판단된다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-30 018-3)지원으로 수행되었음.

### (참 고 문 헌)

- [1] N. Mohan, T. M. Undeland & W. P. Robbins: "Power Electronics", John Wiley & Sons, Inc., 486 (1989)
- [2] A. R. Prasad, P. D. Ziogas & S. Manias: "A New Active Power Factor Correction Method for Single-Phase Buck-Boost AC-DC Converter", IEEE APEC, 814(1992)
- [3] J.C.Salmon: "Techniques for Minimizing the Input Current Distortion of Current-Controlled Single-Phase Rectifiers", IEEE Trans., PE-8,509(1993)
- [4] O.Miyashita, Y.Nishida, T.Ohnuki, E.Ohtsuji, and T. Haney-oshi: "High Power Factor PWM Rectifiers with an Analog Pulse-Width Predictor", Proc.of IEEE APEC94, pp.563-568(1994)
- [5] 大石岡田石坂 伊藤:改良型單相バックブースト整流器, 平8電氣學會全國大會, No.711
- [6] H. Oishi, H. Okada, K. Ishizaka & R. Itoh: "Single-Phase Switch Mode Rectifier Employing Voltage-Reversal Circuit Switched with a Fixed Frequency", IEE Electr. Power Appl., 142,154(1995)