

단상전원에 적합한 단일단 및 2단 역률개선회로

김철진*, 유병규*, 김충식*, 김영태**
 한라대학교*, 원주대학**

Two-stage & Single-stage Power Factor Correction circuits for Single-phase Power source

Cherl-Jin Kim*, Byeong-Kyu Yoo*, Choong-Sik Kim*, Young-Tae Kim**
 Halla University*, Wonju College**

Abstract - Conventional Switched Mode Power Supplies(SMPS) with diode-capacitor rectifier have distorted input current waveform with high harmonic contents. Typically, these SMPS have a power factor lower than 0.65. To improve with this problem the power factor correction(PFC) circuit of power supplies has to be introduced. PFC circuit have tendency to be applied in new power supply designs. The input active power factor correction circuits can be implemented using either the two-stage or the single-stage approach.

In this paper, the comparative analysis of power factor correction circuit using feedforward control with average current mode single-stage flyback method converter and two-stage converter which is combination of boost and flyback converter. The two prototypes of 50W were designed and tested a laboratory experimental. Also, the comparative analysis is confirmed by simulation and experimental results.

1. 서론

최근 컨버터 기술과 반도체 및 IC의 고집적화 기술의 발전과 함께 전기기기를 비롯한 여러 산업분야에 응용되는 AC-DC 전력변환기술이 발전되고 있는 추세이다. 그러나 일반적인 스위칭 전원부의 정류회로와 큰 용량의 입력커패시터가 사용됨으로써, 입력전류의 짧은 도통시간으로 인한 펄스성 전류가 전달되고 입력전류의 왜곡과 고조파성분을 수반한 입력이 출력으로 전달됨에 따라 주변기기에 악영향을 미치고 역률은 저하된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 DC-DC 컨버터에 능동 PFC 회로를 보상하는 방안으로 2단 전력단 (Two-stage) 및 단일 전력단 (Single-stage) 역률개선 방식에 대한 연구가 활발해 짐과 더불어 신뢰성을 갖는 기기의 개발이 점차 증대되고 있다.

기존의 단일 전력단은 2단 전력단과 달리 PFC부에 에너지 축적커패시터가 존재하여 출력전압 안정화를 위한 제어부로 인해 출력전압과 Bus전압의 불균형이 발생하고 입력의 변동에 대해서 대응하기 어렵다. 이에 반해 2단 전력단의 경우 두 개의 제어부로 인해 축적커패시터의 Bus전압이 입력변동에 따라 폭넓게 대응할 수 있다.

중래의 2단 전력단에 적용된 Feedforward방식을 이용해서 단일 전력단의 문제점을 다소 해결할 수 있으며 고역률 제어를 수행할 수 있다. 따라서 2단 전력단과 단일 전력단의 보다 객관적인 성능에 대한 비교와 분석이 가능하게 된다.

본 연구에서는 Feedforward제어방식에 의한 평균전류 모드제어로 동작하는 2단 전력단 - Boost방식 PFC단과 Flyback방식 DC-DC단으로 구성 - 및 단일 전력단 Flyback방식 역률개선회로를 대상으로 회로특성을 분석하였다. 역률개선특성 및 고조파를 동일 출력조건에서

비교분석하였으며, 비교분석의 타당성을 실험과 시뮬레이션을 통해서 확인 및 고찰하였다.

2. 역률개선방식

2.1 2단 전력단 (Two-stage) 역률개선회로

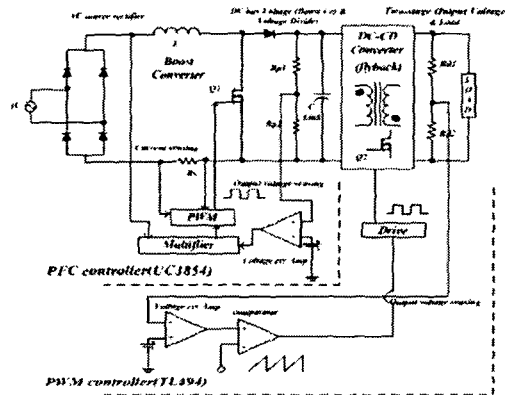


그림 1. 2단 전력단 역률개선회로

그림 1은 Feedforward제어 방식으로 동작하는 2단 전력단 역률개선회로이다. 2단 전력단 역률개선회로는 Boost 컨버터 PFC 회로부와 출력전압의 안정을 위한 DC-DC (flyback) 컨버터가 결합된 두개의 독립적인 전원부와 제어부로 구성된다. 이러한 구조로 인해 회로 전체의 부피가 커지고 부품의 증가로 인한 손실이 발생할 수 있으나, 고 역률개선과 출력전압의 안정성을 보장한다는 점에서 고 전력의 분야에 적합하다.

2.2 단일 전력단(Single-stage) 역률개선회로

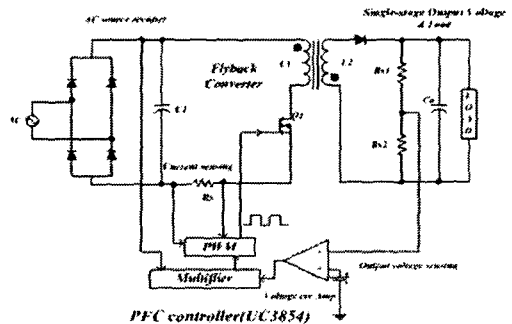


그림 2. 단일 전력단 역률개선회로

그림 2는 Feedforward제어 방식으로 동작하는 단일

전력단 역률개선회로이다. 2단 전력단 역률개선회로와 달리 하나의 전원부와 제어부로 구성되며, 제어부는 역률개선과 출력전압 안정화를 동시에 수행한다. 부피가 작고 부품이 적어서 비교적 저 전력의 응용분야에 유리하다.

3. 설계, 분석 및 해석

3.1 2단 전력단

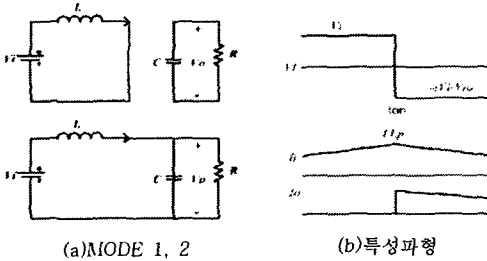


그림 3. 2단 전력단 Boost 컨버터

그림 3은 2단 전력단 Boost단의 CCM 동작모드와 각부의 파형을 나타낸다.

- MODE 1: 스위치 도통시 인덕터L에 에너지가 축적 되고 출력필터 C의 전하는 부하로 방전한다.
- MODE 2: 스위치 차단시 인덕터에 축적되었던 에너지가 출력으로 에너지를 방출한다.

CCM 모드의 동작은 스위칭주기의 시작점에서 인덕터 전류가 0이상이면 지속된다. 식 (1)로 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 \text{MODE 1: } \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_i}{L}, & I_{\max} - I_{\min} &= \left(\frac{V_i}{L}\right)DT_s \\
 \text{MODE 2: } \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_i - V_o}{L}, & I_{\min} - I_{\max} &= \left(\frac{V_i - V_o}{L}\right)(1-D)T_s
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

위 식 (1)로부터 CCM동작($I_{\min} = 0$) 조건을 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$I_{\min} = \frac{V_i}{R(1-D)^2} - \frac{V_i}{2L}DT_s = 0
 \tag{2}$$

3.2 단일 전력단

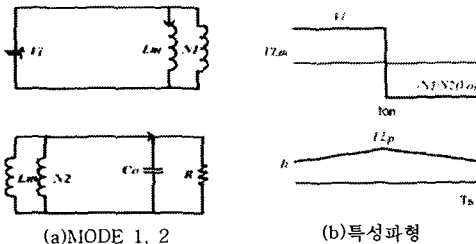


그림 4. 단일 전력단 Flyback 컨버터

그림 4는 Flyback 컨버터의 CCM 동작모드와 각부의 파형을 나타낸다.

MODE 1: 스위치 도통시 자화 인덕턴스 L_m 에 에너지가 축적된다.

MODE 2: 스위치가 차단되면 L_m 에 축적되었던 에너지를 출력으로 방출한다.

CCM 동작에서의 조건은 L_m 의 평균전압이 0인 조건에서 얻어진다. 식으로 나타내면 아래의 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_i t_{on} - \frac{N_1}{N_2} V_o (T_s - t_{on}) &= 0 \\
 \frac{V_o}{V_i} &= \frac{N_2}{N_1} \frac{D}{1-D}; & D &= \frac{t_{on}}{T_s}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

3.2 정상 상태 해석

정류된 입력전압이 $V_m(t) = V_e \sin \omega_L t$ 일 경우 입력전류의 평균값은 식 (4)와 같다.

$$i_{ave}(t) = \frac{1}{2} i_{pk}(t) D = \frac{D^2 V_e}{2f_s L} |\sin \omega_L t|
 \tag{4}$$

입력전력과 출력전력은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 P_m &= \frac{1}{2} V_m i_{ave}(t) = \frac{D^2 V_m^2}{2f_s L} \\
 P_o &= \frac{V_o^2}{R_o}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

2단 전력단과 단일 전력단의 최대 시비율과 최소 입력 전압에서 인덕터 L의 CCM동작 조건은 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L \geq \frac{D^2 V_m^2}{4f_s P_m}
 \tag{6}$$

위 정상 상태 해석을 통해서 입력전압의 시간의 변화에 따라서 전류가 추종하게 되며, 역률과 전류파형 왜곡의 관계를 식 (7)에 나타내었다.(THD: Total Harmonic Distortion)

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}}
 \tag{7}$$

4. 시뮬레이션

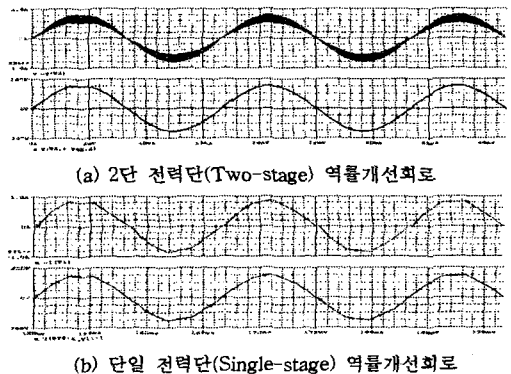


그림 6. 입력전압 및 입력전류의 시뮬레이션 파형

그림 6은 본 연구에서 설계 제작한 역률개선회로의 파라미터들로 시뮬레이션을 구현한 것이다. 시뮬레이션을 수행하기 위해서 Pspice를 사용하였다.

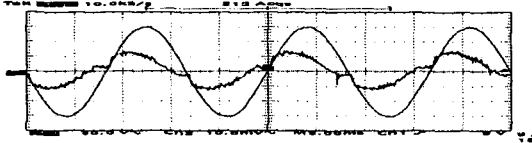
5. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 Feedforward제어 방식을 이용한 2단 전력단 및 단일 전력단 역률개선회로의 비교분석 및 연구를 수행하기 위해 입력전압 110[V], 출력전력 50[W], 출력전압 42[V]에서 동일조건으로 회로를 설계 및 제작하였다. 표 1은 각 방식의 제어 IC와 파라미터의 정격이다.

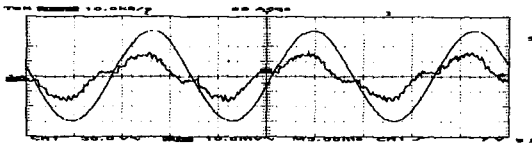
표 1. 역률개선회로의 파라미터와 제어IC

	2 단 전력단(Two-stage)	단일 전력단(single-stage)
PFC Controller	UC3854	UC3854
PWM Controller	TL494	
PFC 스위치	boost 단 3 A / 400 V	6.2 A / 240 V (one switch)
PWM 스위치	DC-DC 단 14 A / 300 V	
반류 다이오드	boost 단 1 A / 400 V	3.5 A / 150 V
	DC-DC 단 2.5 A / 300 V	
Link 커패시터	100 μ F	계기
출력 커패시터	155 μ F	300 μ F

그림 7은 본 연구에서 설계 및 제작한 2단 전력단과 단일 전력단 역률개선회로의 실험을 통한 입력전압 파형 및 전류 파형을 나타내고 있다.



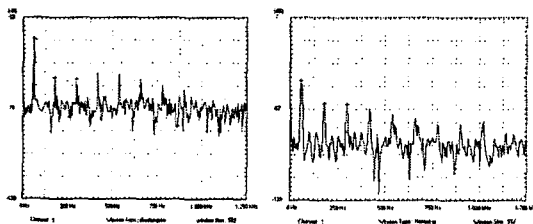
(a) 2단 전력단 역률개선회로 1div / 500A



(b) 단일 전력단 역률개선회로 1div / 500A

그림 7. 입력전압 및 입력전류의 파형

그림 8은 실험장비 DSP oscilloscope를 사용하여 2단 전력단 및 단일 전력단 역률개선회로의 입력전류 고조파를 측정된 결과이다.



(a) 2단 전력단

(b) 단일 전력단

그림 8. 역률개선후의 입력전류에 따른 고조파 분석

실험결과 측정된 THD 수치를 고려하여 각 방식의 역률을 계산하였고, 입력 및 출력의 데이터를 포함한 2단 전력단과 단일 전력단의 효율과 역률을 표 2를 통해 비

교하였다.

표 2. 결과분석에 대한 비교

	2 단 전력단	단일 전력단
THD	6.25 % (15.29 dB)	3.24 % (10.21 dB)
PF	0.9980	0.9993
효율	0.60	0.67

6. 결 론

고역률제어가 가능한 CCM에서 동작하는 2단 전력단 및 단일 전력단 역률개선회로를 동일 출력조건에서 역률 및 효율을 비교분석하였다. 분석의 타당성을 확인하기 위해서 P-spice를 이용하여 시뮬레이션을 제시하였고, 50[W]급 저전력의 각 컨버터를 설계 및 제작하여 실험을 수행하였다.

Feedforward제어에 의한 평균전류모드로 동작하는 2단 전력단과 단일 전력단 역률개선회로의 실험결과 분석을 통하여 역률은 두 방식 모두 고역률제어가 가능하였다. 또한, 효율은 단일 전력단에 비해 2단 전력단이 추가된 회로에 의한 손실로 효율이 약 6%정도의 추가 손실이 발생하는 것을 확인하였고, 두 방식의 부하변동에 따른 출력 전압은 2단 전력단이 안정하게 유지됨에 반하여 단일 전력단은 리플의 발생과 동작영역에 따라 다소 안정도가 저하되는 것을 확인하였다.

향후, 산업에 적용되는 다양한 전력 레벨의 범주에서 적합한 방식의 PFC회로를 적용한 최적화된 하드웨어 설계를 함으로써 고품질의 신뢰성 있는 전원공급 장치를 폭넓게 적용할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jinrong Qian; Qun Zhao; Lee, F.C, "Single-Stage Single Switch Power Factor Correction AC/DC Converter with DC Bus Voltage Feedback for Universal Line Application", IEEE Transactions on power Electronics, vol. 13, (no. 6), IEEE, Nov. 1998, pp. 1079-1088.
- [2] M. Madigan, R. Erickson, and E. Ismail, "Integrated high quality rectifier regulators", in IEEE Power Electronics Specialists Conf., pp. 1043-1051, 1992.
- [3] R. redl, L. Balogh and N.O. Solcal, "A newfamilyof single stage isolated power factor corrector with fast regulation of the output voltage", in proc. IEEE PESC'92 Rec, pp.1137-1144, 1992.
- [4] Sharifipour, J.S. Huang, P. Liao, L. Huber and M. M.jovanovic, "Manufacturing and cost analysis of power factor correction circuits," IEEE Applied Power Electronics Conf.(APEC) Proc., 1997, pp. 490-494
- [5] 김철진 외, "능동 클램프 모드로 동작하는 단일 전력단 AC/DC 컨버터에 의한 역률개선", 대한전기학회 논문지, 50B 8 4, pp. 392-401, 2000.