

Feedforward제어 방식을 이용한 역률개선회로의 비교분석

김철진**, 장준영**, 유병규**, 이달은*, 백수현*
 한라대학교**, 동국대학교*

Comparative analysis of power factor correction circuit using Feedforward

Cheri-Jin Kim**, Jun-Young Jang**, Byeong-Kyu Yoo**, Dal-Eun Lee*, Soo-Hyun Baek*
 Halla University**, Dongguk University*

Abstract - Conventional Switched Mode Power Supplies(SMPS) with diode-capacitor rectifier have distorted input current waveform with high harmonic content. 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. Specially, to the reduce size and manufacture cost of power conversion device, the single-stage PFC converter is increased to demand as necessary of study.

in this paper, The comparative analysis of power factor correction circuit using Feedforward control with average current mode flyback converter(single-stage) and boost converter(two-stage). Also, the validity of designed and manufactured high power factor flyback converter and boost converter is confirmed by simulation and experimental results.

의 특성 및 고조파를 비교 분석하였다. 또한 분석의 타당성을 입증하기 위해 설계 및 제작한 두 컨버터의 시뮬레이션과 실험을 통해 비교 고찰하였다.

1. 서론

최근 IC의 고집적화에 따른 기술적 진보에 맞춰 각종 전자기기의 소형·경량화 추세가 빠르게 진전되고 있다. 이에 수반하여 이러한 기기에 안정된 전압을 공급하기 위한 전원부는 대부분이 커패시터 입력방식을 채택하고 있어 입력전류 형태는 펄스성 전류이므로 입력전압의 왜곡과 입력전류의 고조파 성분으로 인해 주변기기에 악영향을 미치게 되고 낮은 역률을 갖게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 스위칭 전원의 DC-DC 컨버터에 능동 역률 보상을 하는 방안으로 단일 전력단(Single-stage) 역률개선방식과 2단 전력단(Two-stage) 역률개선방식에 대한 연구와 더불어 고신뢰성을 갖는 기기의 개발에 대한 요구가 증가되고 있는 추세이다.

기존의 단일 전력단 역률개선방식은 DC-DC 컨버터에 부스트 컨버터를 삽입하여 전압제어 방식을 통해 역률을 개선하였으나 이 경우 회로의 비선형성과 회로변수의 변화 또는 외란의 영향으로 인해 전달 특성이 변화하게 되면 원하는 제어성능을 유지할 수 없게 되는 단점이 존재한다. 반면, 2단 전력단 역률개선방식의 경우 전류제어루프와 출력전압의 안정화를 위한 전압제어루프로 구성되어 최대 출력전류가 제어전류에 의해 직접 결정되므로 스위치 소자의 최대전류를 직접 제어할 수 있어 전원개통의 전류파형 왜곡현상 및 고조파 저감 최소화와 출력전압 안정화 등 고성능의 기능을 가지며, 운전시 각 컨버터의 과전류 보호가 용이하며, 공통의 제어신호에 의한 복수의 컨버터의 병렬 운전이 가능하다는 장점을 갖는다.

본 연구에서는 feedforward제어방식을 이용한 Two-stage 역률개선회로와 Single-stage 역률개선 회로

2. Feedforward제어 방식 역률개선회로

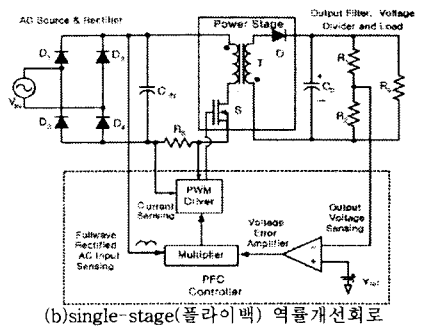
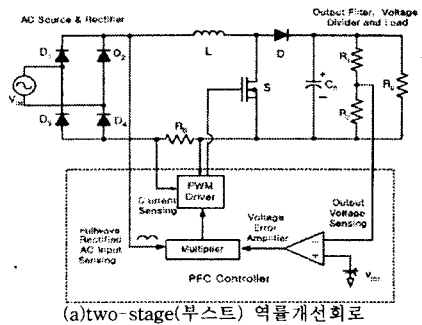


그림 1. Feedforward제어 방식 역률개선 회로

그림 1의 (a)와 (b)에 Feedforward제어 방식을 갖는 two-stage 역률개선회로와 single-stage 역률개선회로의 개념도를 제시한다.

two-stage 역률개선회로는 크게 부스트방식 역률개선 회로부와 dc-dc 컨버터부 두개의 독립적인 전원부와 제어부를 갖는 반면 single-stage 역률개선회로의 경우 역률개선과 출력전압 안정화를 위한 하나의 제어부를 갖는다. 역률개선의 수행은 내부 전류제어를 설정함으로써 일정 주파수의 클로로 스위치를 동동시키고 스위칭 전류 또는 인덕터 전류가 설정 전류 i_c 에 도달한 순간에 스위치를 차단시키는 전류제어방식으로 평균전류모드제어에 의해 입력 전류의 파형을 입력전압 파형에 추종하게끔 제어함으로써 역률개선과 출력전압 안정화를 병행한다.

3. 설계 및 해석

3.1 two-stage 역플래시회로

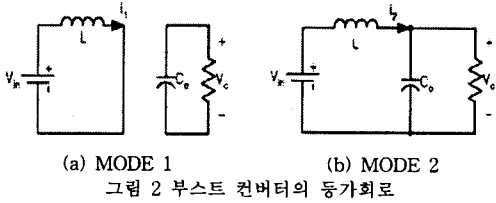


그림 2는 플라이백 컨버터의 스위치 S가 ON, OFF시 MODE1, MODE2의 각 상태를 나타내는 등가회로이다.

MODE1 : 스위치 S가 도통일 때 인덕터 전류에 의해서 인덕터 L에 에너지가 축적되고 다이오드 D는 차단된다. 이때 출력측에서는 출력필터 C의 전하가 부하저항을 통하여 방전된다.

MODE2 : 스위치 S가 차단되면 L에 축적되었던 에너지는 환류 다이오드 D를 통하여 출력측으로 방출된다.

정류된 선간전압이 $V_m(t) = V_c |\sin \omega_L t|$ 일 경우 입력 전류의 평균값은 식 (1)과 같다.

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

입력전력과 출력전력은 식 (2)와 같다.

$$P_m = \frac{1}{2} V_m i_{ave}(t) = \frac{D^2 V_m^2}{2 f_s L} \quad (2)$$

$$P_o = \frac{V_o^2}{R_o}$$

효율을 100%로 가정, V_m 이 일정한 값으로 유지될 경우 CCM동작 조건은 식 (3)과 같다.

$$V_o \geq \frac{1}{1-D} V_m \quad (3)$$

최대 시비율과 최소 입력전압에서 인덕터 L의 CCM동작 조건은 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L \geq \frac{D^2 V_m^2}{4 f_s P_m} \quad (4)$$

3.2 single-stage 역플래시회로

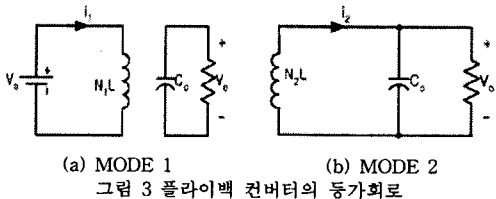


그림 3은 스위치 S가 ON, OFF시 부스트 컨버터의 MODE1, MODE2 각 상태를 나타내는 등가회로이다.

MODE1 : 스위치 S가 도통하면 1차 권선에만 전류가

0에서부터 선형적으로 증가하여 자화 인덕턴스에 의해 에너지가 축적된다. 트랜스 2차 권선에는 1차와 반대 극성의 전압이 유도되므로 다이오드 D는 역 바이어스 되어 차단되고 2차 권선에는 전류가 흐르지 않는다.

MODE2 : 스위치 S가 차단되면 2차 권선에는 전 상태와 반대 극성의 전압이 유도되며, 다이오드를 도통 시킴으로써 트랜스의 자화 인덕턴스에 의해 축적된 에너지를 출력으로 방출시킨다.

V_o 가 일정한 값으로 유지될 경우 CCM동작 조건은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_o \geq \frac{N_2}{N_1} (1-D) V_m \quad (5)$$

최대 시비율과 최소 입력전압에서 인덕터 L의 CCM동작 조건은 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L \geq \frac{D^2 V_m^2}{4 f_s P_m} \quad (6)$$

3.3 평균전류모드제어

전류모드제어방식에서는 $D > 0.5$ 인 경우 스위칭이 반복됨에 따라 컨버터 동작이 불안정하게 되므로 그림 4에서와 같이 기울기가 m 인 rmap 파형을 설정전류(제어전류) i_c 에 중첩시켜 불안정 현상을 제거하여 컨버터가 안정하게 동작되도록 제어하고 있으며, 이때 부스트 컨버터와 플라이백 컨버터의 1차단 평균전류 i_{1ave} 는 다음 식 (7)로 구해진다.

$$i_{1ave} = i_{2ave} = i_c - (m + \frac{m_1}{2}) d T_s \quad (7)$$

$$i_{1ave} = \frac{N_2}{N_1} i_{2ave} = i_c - (m + \frac{m_1}{2}) d T_s$$

그림 4는 평균전류모드제어의 이론파형이다.

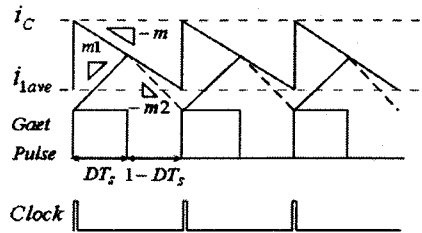


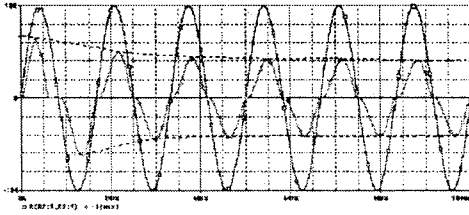
그림 4 평균전류모드제어의 이론파형

또, 정상상태시 2차단의 평균전류는 다음 식(8)과 같다.

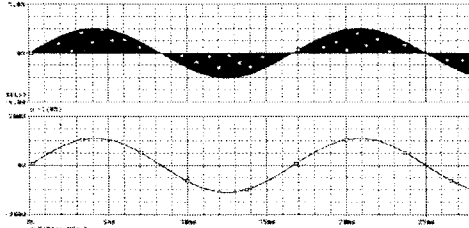
$$I_2 = I_c - n (m + \frac{m_1}{2}) D T_s \quad (8)$$

$$I_2 = \frac{N_2}{N_1} I_c - n (m + \frac{m_1}{2}) D T_s$$

그림 5는 본 연구에서 설계 및 제작한 Feedforward 제어 방식 역플래시회로의 파라미터로 시뮬레이션을 수행한 입력전압 및 입력전류의 파형이다.



(a) 부스트 컨버터



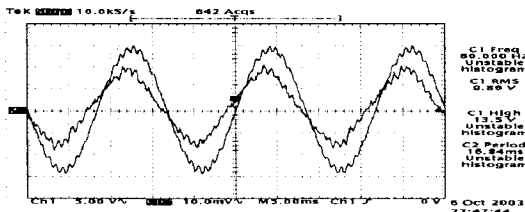
(b) 플라이백 컨버터

그림 5 입력전압 및 입력전류의 시물레이션 파형

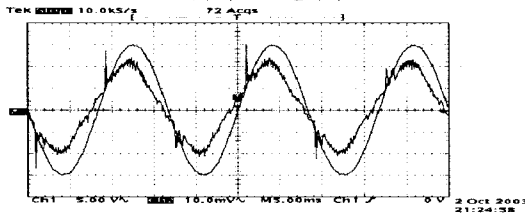
4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 Feedforward제어 방식을 이용한 single-stage 및 two-stage역률개선회로의 고조파 비교 분석을 수행하기 위해 입력전압 110[V], 출력전력 100[W], 출력전압 320[V]의 파라미터로 회로를 설계 및 제작하였다.

그림7은 본 연구에서 설계 및 제작한 부스트 컨버터와 플라이백 컨버터의 실험을 통한 입력전압 파형 및 전류 파형을 나타내고 있다.



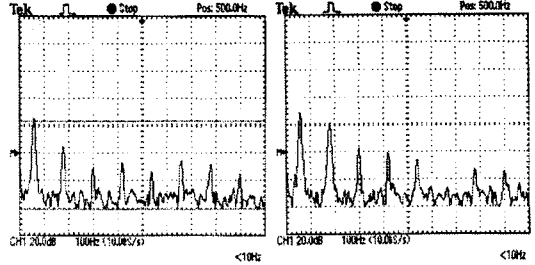
(a) 부스트 컨버터



(b) 플라이백 컨버터

그림 7 입력전압 및 입력전류의 파형

그림 8은 실험장비 Digital oscilloscope를 사용하여 two-stage 및 single-stage 역률개선회로의 입력전류 고조파를 측정된 결과이다.



(a) 부스트 컨버터 (b) 플라이백 컨버터

그림 8 역률개선후의 입력전류에 따른 고조파 분석

실험 측정결과 부스트 컨버터의 고조파 함유율은 3고조파-44.8[dB], 5고조파-32.8[dB], 7고조파-35.2[dB]를 나타내었으며, 플라이백 컨버터는 3고조파-56.8[dB], 5고조파-44.8[dB], 7고조-37.6[dB]를 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 Feedforward제어 방식을 이용하여 평균전류모드제어로 역률개선을 수행하는 부스트 컨버터 (two-stage) 역률개선회로와 플라이백(single-stage) 컨버터 역률개선회로의 고조파를 비교분석 하였다. 분석의 타당성을 확인하기 위하여 Pspice로 시물레이션을 수행 하였으며, 출력전력100[W], 출력전압 320[V]에서 안정화 되는 부스트 컨버터와 플라이백 컨버터를 설계 및 제작 하였으며, 실험을 통하여 feedforward제어 방식 역률개선회로의 고조파를 분석하므로써 고역률, 저고조파 특성을 확인하였다.

향후, feedforward 방식 부스트 컨버터와 플라이백 컨버터의 다중루프 해석과 루프이득의 주파수 분석을 통하여 고품질의 전원공급장치의 입력단에 유용하게 응용될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. redl, L. Balogh and N.O. Solcal, "A newfamily of single stage isolated power-factor corrector with fast regulation of the output voltage", in proc. IEEE PESC'92 Rec, pp.1137-144, 1992.
- [2] 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", IEE E Transactions on power Electronics, vol. 13, (no. 6), IEEE, Nov. 1998. pp. 1079-1088.
- [3] M. Madigan, R. Erickson, and E. Ismail, "Integrated high quality rectifier regulators", in IEEE Power Electronics Specialists Conf., pp. 1043-1051, 1992.
- [4] L. Rossetto, G. Spiazzi, P. Tenti, "Control techniques for power factor correction converters", Department of Electronics and Informatics, University of Padova, Via Gradenigo 6/a, 35131 Padova-ITALY.
- [5] 김철진 외, "능동 클램프 모드로 동작하는 단일 전력단 AC/DC 컨버터에 의한 역률개선", 대한전기학회 논문지, 50B-8-4, pp. 392-401, 2000.