

새로운 통신전원용 3상 AC-DC Flyback 컨버터 모듈

이종필*, 최주엽**, 윤태웅*

*고려대학교 전기공학과 **한국과학기술연구원 지능제어연구센터

A New Modular 3-phase AC-DC Flyback Converter for Telecommunication

J.P.Lee*, J.Y.Choi**, T.Y.Yoon*

*Dept. of Electrical Eng. Korea Univ. **KIST Intelligent System Control Research center

Abstract - A novel mode of parallel operation of 3-phase AC-DC flyback converter for power factor correction along with tight regulation was recently analyzed and presented. The advantage of the proposed converter does not require expensive high voltage and high current devices that are normally needed in popular boost type 3-phase AC-DC flyback converter is provided for control purposes and also experimental results are included to confirm the validity of the analysis.

력과 출력을 절연시키고 강압(step down) 역할을 한다. 또한 출력단은 병렬로 캐패시터가 구성되어 있다.

2. 본 론

2.1 3상 AC-DC Flyback 컨버터 모델링

제안한 기본적인 하나의 컨버터 모듈은 그림 2와 같다.

1. 서 론

3상 AC-DC 컨버터는 통신전원용과 같은 고전력, 고전압 응용분야에 많이 사용되고 있다. 이런 분야에서 입력 전류의 왜곡 저감, 그리고 단위역률은 필수적인 요건이다. 최근의 연구는 위에서 언급한 요건을 만족시키기 위해 디지털 제어를 이용해서 3상 컨버터를 제어하고 있다.[1,2,3] 그러나 상업적인 측면에서는 디지털 제어 방법이 아날로그 제어방법 보다는 뛰어난 성능을 보이지만 구현하는데 복잡하고 비싸다는 단점이 있다.

제안한 컨버터는 하나의 PWM 전용 칩을 사용해서 단가를 낮추고 뛰어난 성능을 보여준다. 또한 제안한 topology는 3개의 독립적인 modules로 구성되어 있으므로 높은 신뢰성과 쉬운 testing 그리고 간단한 설계를 통해 3상 3선식과 4선식의 시스템에 적용할 수 있다. 기존의 3상 시스템에서는 고전압, 고용량의 스위치 소자를 써야 하는 반면 제안한 컨버터는 각 modules에서 적은 전압과 전류로 분담하는 효과가 있으므로 가격 면에서 훨씬 경제적으로 소자를 결정할 수 있다. 그림 1은 제안한 컨버터의 개략도이다.

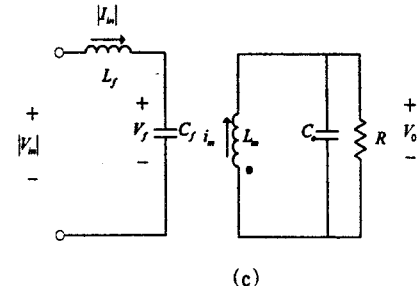
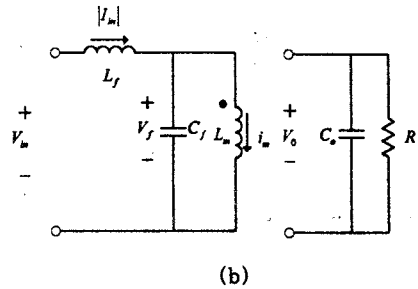
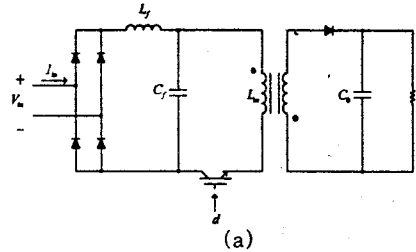


그림 2. (a) 기본적인 flyback 컨버터 모듈
(b) 온시간시 등가회로
(c) 오프시간시 등가회로

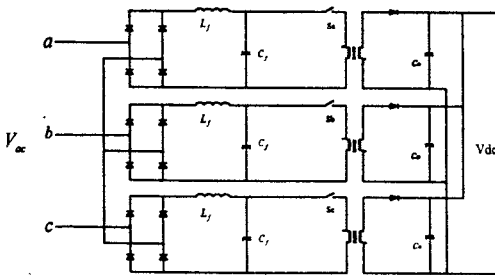


그림 1. 제안한 3-module Flyback 컨버터

고주파 필터가 다이오드 브리지 후단에 연결되어 있다. 그리고 인덕터 성분을 가지고 있는 트랜스포머는 입

상태공간 평균화기법을 사용하여 3상 3 모듈 Flyback 컨버터의 듀티율대 출력전압의 전달함수를 주파수 영역에서 유도해 보면 아래와 같다.

① 스위치가 on일 때
 $x' = A_1x + B_1u$ 이고

여기서 $x = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ V_c \end{bmatrix}$, $u = \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{RC_s} \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

출력방정식은 $v_o = C_1x$ 여기서 $C_1 = [0 \ 0 \ 0 \ 1]$

이다.

② 스위치가 off일 때

$x' = A_2x + B_2u$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C_s} & \frac{1}{C_s} & \frac{1}{C_s} & -\frac{1}{RC_s} \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$C_2 = [0 \ 0 \ 0 \ 1]$

이다.

$$T_s(s) = \frac{V_o(s)}{\Delta(s)} = C_1(sI - A_1)^{-1}(A_1 - A_2)x + (B_1 - B_2)u + [C_1 - C_2]x$$

에 의해서 식을 전개하면 $\frac{R(|v_a| + |v_b| + |v_c|)}{s^2(RL C_s) + s(L + RC) + 3R}$

임을 유도할 수 있다.

여기서 제안한 3상 3-module Flyback 컨버터는 3개의 스위치의 동작이 동시에 켜지고 꺼지며 위에서 구한 전달함수도 DC-DC 컨버터의 형태를 가지므로 일반적인 3상 AC-DC 컨버터에서의 복잡하고 특별한 제어방법보다 DC-DC 컨버터에서 적용한 간단한 제어방법을 사용하여 구현할 수 있다.

그림 3은 컨버터에 적용된 제어 구성도이다.

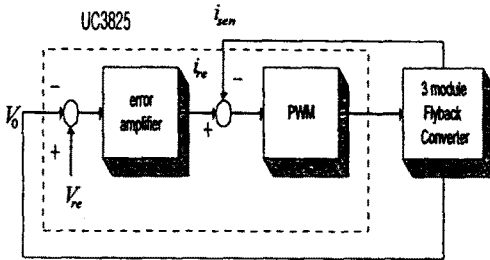
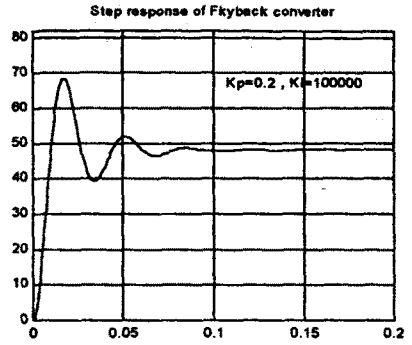
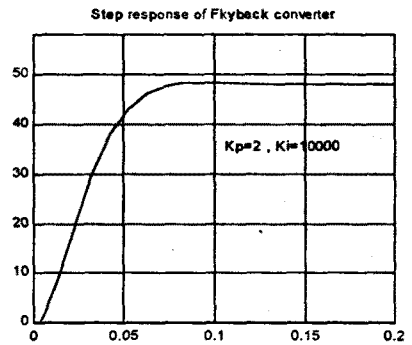


그림 3. 제어 구성도

여기서 오차 보상은 PI 제어를 사용하여 구현하였고 통신전원용이므로 주어진 시스템의 설계요건은 정상상태 오차는 0.4%, 최대 오버슛은 5% 이내이다. 따라서 주어진 컨버터의 PI이득을 정하면 그림4에서 보듯이 P 이득은 2, I 이득은 10000 으로 결정할 수 있다.



(a)



(b)

그림 4. PI 이득값에 따른 flyback 컨버터 응답

2.2 Pspice 모의 실험

본 실험에서 사용한 PWM전용 칩인 UC3825를 Pspice에서 모델링하여 제어를 하였고 제안한 컨버터는 그림 5와 같다.

참고로 본 모의실험은 Pspice 8.0 version 으로 수행하였다. 스위칭 주파수는 100kHz이고 입력전압은 220VAC 출력전압은 48VDC 이다.

그림 5에서는 풀 부하일 때 Pspice에서 회로도이고 이때 역률은 0.995정도이고 입력전류의 THD는 7.55%로 유지되는 결과를 얻을 수 있다.

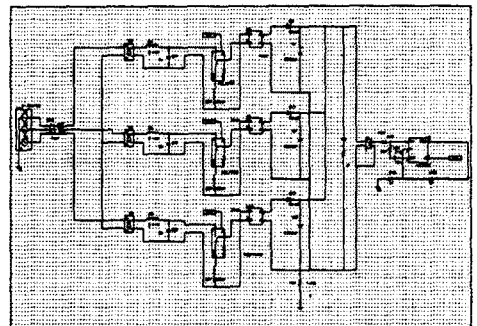


그림 5. 3상 3-module Flyback 컨버터

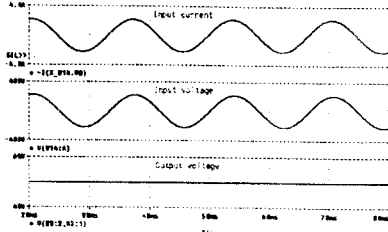


그림 6. 3상 3-module Flyback 컨버터의 입력전압, 전류 및 출력전압 파형 ($V_a=200V/div., I_a=2A/div.$)

2.3 실험 결과

실험조건 및 계측기는 아래와 같다.

- 필터 인덕턴스 (L_f) : 2.5mH.
- 필터 캐패시터 (C_f) : 5 μ F
- 스위치 소자 : APT5012AN
- 스위칭 주파수 (F_s) : 100kHz
- 출력 용량 : 3kW
- AC Power Source/analyzer : HP-6834B
- 오실로스코프 : Tektronix 2440

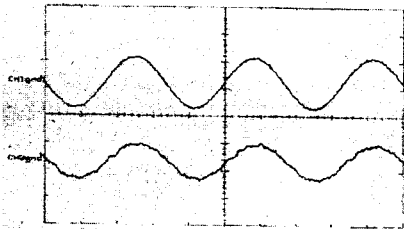


그림7. 3상 3선식 Flyback 컨버터의 입력전압 및 전류 파형 ($V_a=200V/div., I_a=2A/div.$)

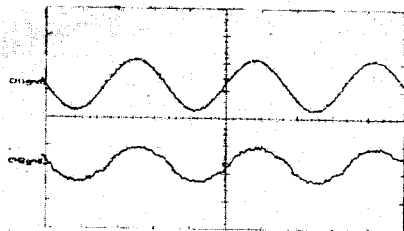


그림8. 3상 4선식 Flyback 컨버터의 입력전압 및 전류 파형 ($V_a=200V/div., I_a=2A/div.$)

3상 3선식으로 회로를 구성하였을 때의 각 모듈의 전류 파형은 그림 7과 같다. 모의 실험에서와 마찬가지로 입력전압과 전류가 단위역률(PF=0.994)을 이루면서 출력전압도 48V로 제어되고 있고 입력전류 THD도 7.8%로 모의실험보다 약간 많은 THD가 실려 나왔지만 거의 같은 결과를 보이고 있다. 또한 그림 8에서 본 3상4선식에서의 입력전압과 전류의 파형도 마찬가지로 역률은 0.990으로 거의 단위역률을 이루지만 THD는 8.5%정도로 3상3선식에 비해 조금은 많은 고조파가 포함 되어있는 결과를 얻을 수 있다.

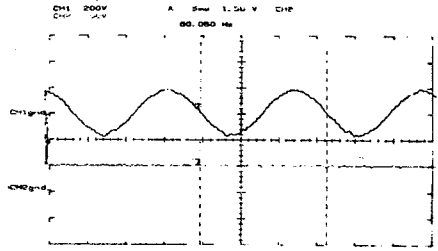


그림 9. 3상 3-module Flyback 컨버터의 입력전압 및 출력전압 파형 ($V_a=200V/div., V_o=50V/div.$)

그림 9는 컨버터를 3상3선식으로 결선하고 부하는 풀부하일 때 출력전압과 입력전압의 파형이다. 그림 9에서 보듯이 48Vdc에 레귤레이션이 잘 이루어지는 것을 볼 수 있다. 3상4선식의 경우도 같은 결과를 얻을 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 모듈화된 3상 AC-DC Flyback 컨버터를 모델링 하였고 DC-DC 컨버터에서 적용되는 간단한 제어방법을 이용해 설계 및 분석하여 3상3선식이나 4선식의 시스템에도 단위역률에 가까운 입력전압과 전류를 얻을 수 있다. 그리고 전류 파형도 왜곡이 거의 없는 정현파에 가까운 전류를 얻을 수 있다. 또한 기존의 3상 AC-DC 컨버터보다 훨씬 간단한 제어 방법으로 구현할 수 있고 컨버터의 모듈화를 통해 경제적으로도 적은 소자수를 사용하여서 시스템의 단가를 줄이는데도 매우 효과적임을 실험 결과들을 통해 알 수 있었다. 그리고 buck, 하프 브리지(half bridge), 풀 브리지(full bridge) 같은 컨버터에서도 제한한 모듈화를 적용할 수 있다. 또한 앞으로 소프트 스위칭기법을 통한 고효율 3-모듈 AC-DC Flyback 컨버터도 연구되어야 할 과제이다.

(참 고 문 헌)

- (1) A. Busse, J. Holtz, "Multiloop control of a unity power factor fast switching ac to dc converter", Proc. of IEEE PESC, pp. 171-179, 1982
- (2) L. Malesani, P. Tenti "Three-phase ac/dc PWM converter with sinusoidal input currents and minimum filter requirements", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-23, no 1, pp. 71-77, 1987
- (3) V. Vlatkovich, D. Boroyevish, "Digital signal processor based control of three-phase, space vector modulated converter", IEEE Trans. Ind. Electron, vol. IE-41, no 3, pp 148-157, 1995
- (4) M.J. Kocher, R.L. Steigerwald, "An AC to DC converter with high quality input waveforms", IEEE Trans. Power Electronics, pp 63-75, 1982
- (5) J.Y. Choi, H.S. Mok, T.Y. Kim, "A single phase/Three-phase compatible soft-switched AC to DC converter", Proc. of seventh European Conference on power electronics and applications, pp 464-469, 1997
- (6) S.Y.R. Hui, H. Chung, "Paralleling power converters for AC-DC step-down power conversion with inherent power factor correction", Proc. of Seventh European Conference on Power electronics and Application, pp. 182-187, 1997