

회생변압기를 이용한 새로운 전력회수형 풀브리지 컨버터

김종훈, 현병철, 이재문, 조보형, 이동영*
 서울대학교 전기·컴퓨터공학부, 삼성 SDI*

A New DC-DC Full-Bridge Converter with Using Regenerative Transformer

J.H. Kim, B.C. Hyun, J.M. Lee, B.H. Cho and D.Y. Lee*
 Seoul National Univ, Samsung SDI*

ABSTRACT

A novel full-bridge converter with a new energy-recovery driver implemented a regenerative transformer is proposed to improve the efficiency for wide input voltage range and load variation. The main switches achieve ZVS independent of the load current condition. During the free wheeling period, conduction loss is minimized by recovering the circulating energy to the source. The principle of operation, design consideration and experimental result, including efficiency, are presented in the case of large variation of the input voltage or load. A proposed 1kW converter prototype is compared with a PS-FB converter

1. 서론

위상천이 풀브리지 컨버터는 간단한 구조와 영전압(Zero Voltage Switching)의 제어가 용이하여 고전압/대전력용으로 널리 사용되고 있다. 이 컨버터는 래그레그 스위치(S_1, S_2)의 경우 공진인덕터(L_{lk})와 출력필터 인덕터에 저장된 에너지를 이용하여 영전압이 수행되고, 래그레그 스위치(S_3, S_4)에서는 단지 공진인덕터에 저장된 에너지만을 이용하여 영전압이 수행되어 경부하시 영전압 스위칭이 어렵게 된다. 이를 위해 전부하에 걸친 영전압 스위칭이 가능한 회로의 연구가 진행중이다.

본 논문에서는 기존의 풀브리지 컨버터에 부가 공진회로를 연결한 컨버터를 제안한다. 부가회로의 에너지를 이용하여 전 스위치의 영전압스위칭이 가능하며 에너지의 일부를 전원으로 되돌림으로서 기존의 위상천이 풀브리지 컨버터의 효율을 향상시킨다. 제안된 컨버터의 동작원리와 특징을 시뮬레이션과 실험결과를 통해 보인다.

2. 본론

2.1 제안된 컨버터 모드 분석

제안된 위상천이 풀브리지 컨버터를 그림 2에 도시하였다. 부가회로는 스위치(S_a, S_b), 다이오드(D_a, D_b), 회생변압기(RT), 공진인덕터(L_r)로 구성되어 있다. 구간 각 모드별 주요동작은 다음과 같다.

모드 0 ($t \leq t_0$): $t \leq t_0$ 일 때 S_1 은 on, D_3 는 off된다. 출력 인덕터전류 I_o 는 2차 다이오드 D_a, D_b 를 통해 흐른다.

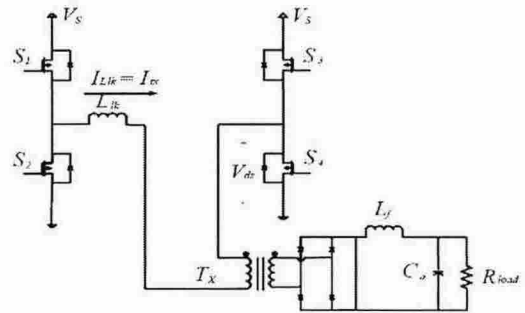


그림 1 기존 위상천이 풀브리지 컨버터
 Fig. 1 Conventional PS-FB converter

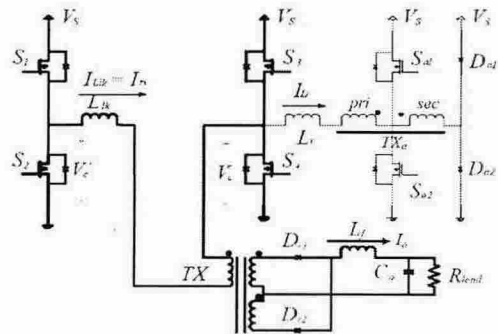


그림 2 제안된 풀브리지 컨버터 회로
 Fig. 2 Proposed FB converter circuit

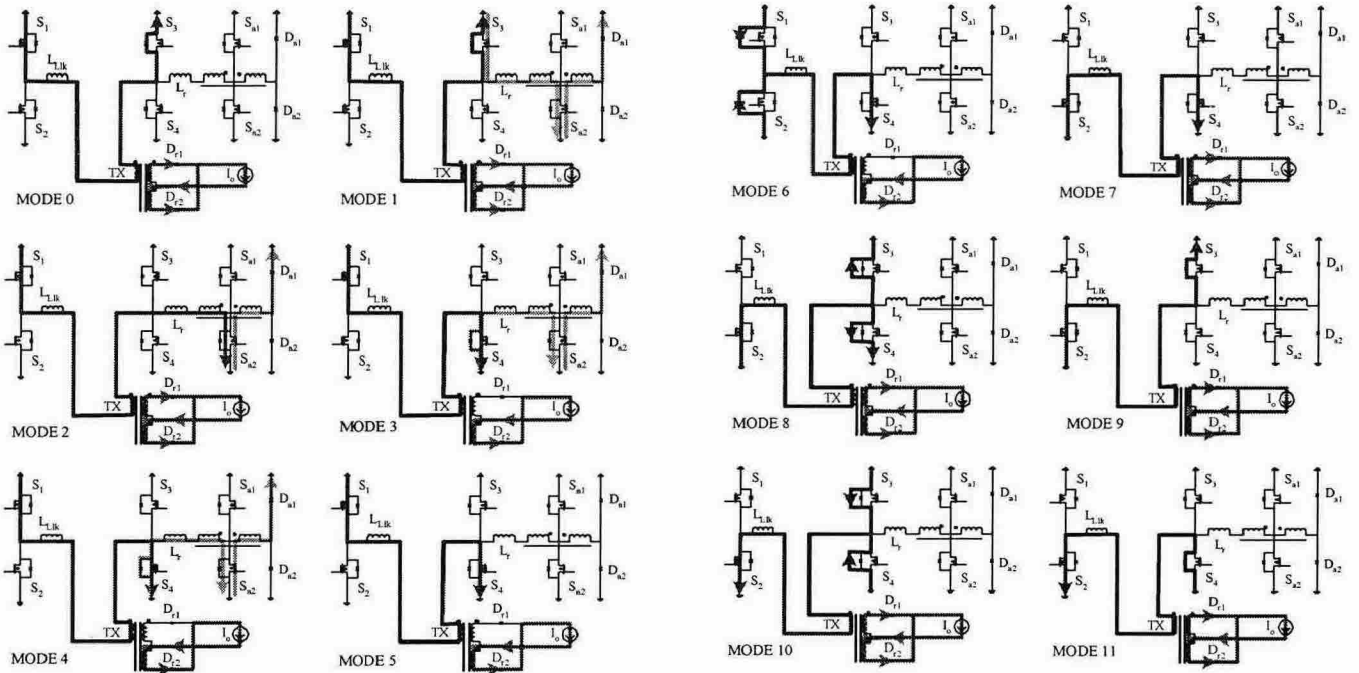


그림 3 각 모드의 등가회로와 흐름도

Fig. 3 Equivalent circuit and conduction path for each mode

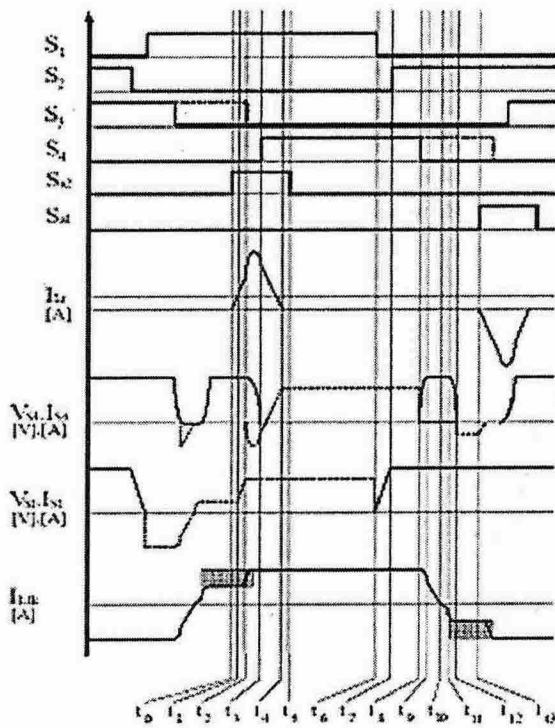


그림 4 제안된 풀브리지 컨버터 파형

Fig. 4 Key waveform of proposed converter

모드 1 ($t_0 \leq t \leq t_1$): 일정한 I_{Llk} 가 흐르며 S_{d2} 가 on될 때 회생변압기 턴비에 의한 전압차이 ($V_s - aV_s$)로 I_{Lr} 이 선형적으로 증가한다. 회생변압기의 전류의 일부를 D_{d1} 을 통해 전원으로 되돌린다.

모드 2 ($t_2 \leq t \leq t_3$): t_2 에서 S_3 가 off되며 L_r 와 스위치 S_1 , S_3 의 기생커패시턴스의 공진이 일어나고 V_{s1} 는 0으로 감소한다. 회생 변압기 턴비를 이용하여 영전압의 조건을 만족시킨다.

모드 3 ($t_3 \leq t \leq t_4$): t_3 일 때 S_4 가 영전압 on되며 I_{Lr} 은 공진을 멈추고 선형적으로 감소한다.

모드 4 ($t_4 \leq t \leq t_5$): I_{Lr} 은 0이 되고 D_d off하며 영전류(Zero Current Switching)를 만족한다.

모드 5 ($t_5 \leq t \leq t_6$): t_5 일 때 S_{d2} 가 0이 되고(영전류) S_1 에서 S_4 로 컨버터의 전류가 흐른다.

모드 6 ($t_6 \leq t \leq t_7$): t_6 일 때 S_1 이 off되며 C_1 이 충전되고 C_2 가 방전된다. 필터인덕터가 충분히 크므로 V_{d2} 는 0으로 감소한다.

모드 7 ($t_7 \leq t \leq t_8$): t_7 일 때 S_2 이 on되어 ZVS를 만족한다. I_{Llk} 이 D_2 에서 S_4 로 흐른다.

모드 8 ($t_8 \leq t \leq t_9$): t_8 일 때 S_4 가 off되고 L_{lk} 과 스위치 S_3 , S_4 의 기생커패시턴스의 공진이 일어나고 V_{s1} 는 V_s 로 증가한다.

모드 9 ($t_9 \leq t \leq t_{11}$): I_{Llk} 은 선형적으로 감소하며 L_{lk} 에 저장된 에너지를 전원으로 되돌린다.

모드 10 ($t_{11} \leq t \leq t_{12}$): t_{11} 일 때 S_3 가 off되고 L_{lk} 과 C_3 , C_4 의 공진이 일어난다. V_{s1} 는 0이 되고 I_{Llk} 이 S_2 에서 D_4 로 흐른다.

t_{13} 이후 S_2 , S_{d1} , S_3 의 수행으로 과정이 반복된다.

2.2 영전압 스위칭 조건

모드 2에서 제안된 컨버터의 레그레그 스위치 (S_4)의 영전압 스위칭이 이루어진다. 이 때 공진 전압, 전류는 다음 식과 같이 표현된다. 영전압 조건은 공진 전압 관계식으로부터 식 (4)와 같이 구해진다. 따라서 회생변압기 턴비인 a 의 값은 0.5 미만이어야 한다.

$$i_{Lk}(t) = +\frac{(\alpha-1)}{\omega(L_k+L_r)} V_S \sin \omega t - \frac{(\alpha-1)V_S}{L_k+L_r} t + I_{Lk0} - \frac{Z}{L_k \omega} (I_{Lk0} - I_{Lr0})(1 - \cos \omega t) \quad (1)$$

$$i_{Lr}(t) = (I_{Lk0} - I_{Lr0}) \cdot \frac{L_k}{L_k+L_r} (1 - \cos \omega t) - \frac{1}{\omega L_r} \cdot \frac{L_k}{L_k+L_r} (\alpha-1) V_S \sin \omega t - \frac{(\alpha-1)V_S}{L_k+L_r} t + I_{Lr0} \quad (2)$$

$$v_c(t) = (I_{Lk0} - I_{Lr0}) Z \sin \omega t + \frac{L_k}{L_k+L_r} (\alpha-1) \cdot V_S (1 - \cos \omega t) + V_S$$

$$v_c(t_3) = 0, i_{Lk}(t_3) = 0, i_{Lr}(t_3) = I_{Lr} \quad (3)$$

where $\omega = \frac{1}{\sqrt{L_r C_e}}, C_e = C_3 + C_4$

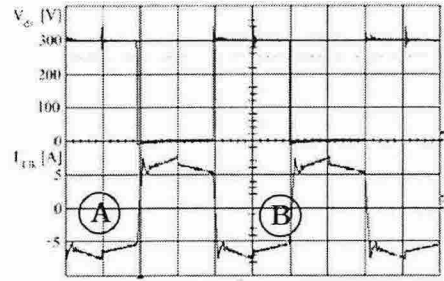
$$\frac{2L_k}{L_k+L_r} (\alpha-1) V_S \leq V_S \quad (4)$$

표 1 제안된 FB 컨버터 회로의 파라미터

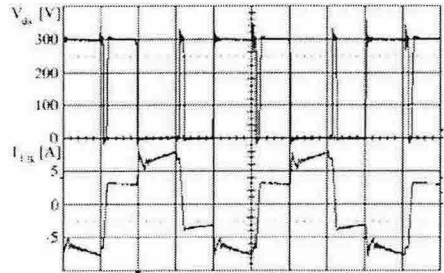
Table 1 Design parameters of the proposed circuit

FB transformer core	PQ4040(32:13)
DC blocking capacitor	4.7 μ F(63V)
Leakage inductance (L_k)	25 μ H
Output filter capacitor (C_o)	44 μ F(250V)
Output filter inductor (L_r)	260 μ H(40A)
Main switch (S_1, S_2, S_3, S_4)	2SK2837(600V,20A)
Rectifier diode (D_{r1}, D_{r2})	FML34S(400V,20A)
Snubber capacitor	0.33 μ F(200V)
Snubber resistor	22k Ω (2W)
Snubber diode	UF5404
Resonant inductor (L_r)	5 μ H
Auxiliary resonant switch (S_{a1}, S_{a2})	SGS10N60RUF
Auxiliary resonant diode (D_{a1}, D_{a2})	MUR860(600V,8A)
Regenerative transformer core (T_X)	PQ2020(7:24)

제안된 풀브리지 컨버터의 실험결과를 그림 5에 도시하였다. 그림5(a)의 ①②에서와 같이, 기존의 PS-FB 컨버터의 I_{Lk} 가 6A일 때 제안된 풀브리지 컨버터의 I_{Lk} 는 3A로 감소된다. 그림 6에서 모든 주스위치의 영전압 특성을 확인할 수 있다. 중부하 이상에서 PS-FB 컨버터와 비교하여 향상된 효율을 그림 7에 도시하였다.



(a)



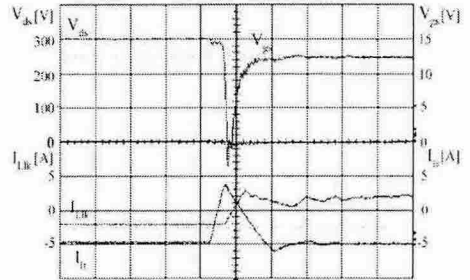
(b)

그림 5 PS-FB와 제안된 FB 컨버터의 실험파형

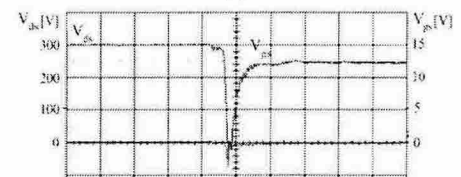
Fig. 5 Experimental waveforms of PS-FB and proposed FB converter ($V_{in}=300V, P_o=1000W$)

(a) I_{Lk} and V_{ds} of S_4 in PS-FB converter

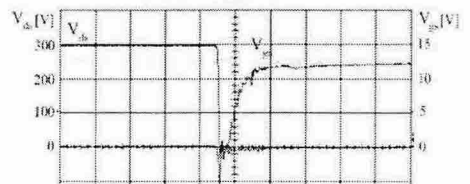
(b) I_{Lk} and V_{ds} of S_4 in proposed FB converter



(a)



(b)



(c)

그림 6 제안된 FB 컨버터의 실험파형

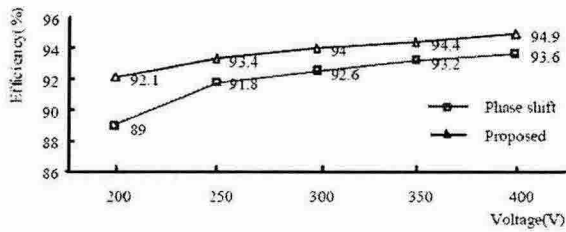
Fig. 6 Experimental waveforms of FB converter

($V_{in}=300V, P_o=1000W$)

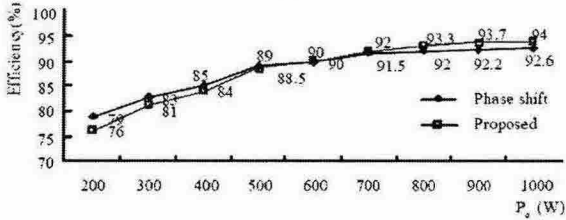
(a) $V_{ds}, V_{gs}, I_{Lk}, I_{Lr}$ of the proposed FB converter

(b) V_{ds} and V_{gs} of lagging-leg switch, S_4

(c) V_{ds} and V_{gs} of leading-leg switch, S_2



(a)



(b)

그림 7 기존의 PS-FB와 제안된 FB 컨버터의 효율

Fig. 7 Efficiency graph of proposed converter with conventional PS-FB converter

($\bar{V}_{in} = 300V$, $P_o = 1000W$)

(a) respond to the input voltage change

(b) respond to the load change

3. 결론

본 논문에서는 기존의 PS-FB 컨버터에 추가적인 공진회로를 연결한 제안된 컨버터를 제안하였다. 공진인덕터는 래그레그 스위치에서 영전압의 수행을 가능케 한다. 이는 스위칭주파수, 회생변압기의 턴비에 관련된다. 전원으로 인덕터전류를 되돌리므로 전부하 상태에서의 도통손실이 감소된다.

이 논문은 삼성 SDI의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] G. Hua, F. C. Lee, "A new class of ZVS-PWM converters" High Frequency Power Conversion Conf. Rec., pp. 244-251, 1991.
- [2] J. Gegner, C. Q. Lee, "Zero-voltage-transition PWM converters using an inductor feedback technique," IEEE Applied Power Electronics Conf. Proc., PP. 862-868, 1994.
- [3] J. A. Sabate', V. Vlatkovic, R. D. Ridley, F. C. Lee, B. H. Cho, "Design consideration for high-voltage high-power full-bridge zero voltage switched PWM converters", Proc. IEEE APEC, pp. 275-284, 1990.
- [4] H. S. Chol, J. W. Kim and B. H. Cho, "Novel-Zero-Voltage and Zero-Current-Switching(ZVZCS) Full-Bridge PWM Converter Using Coupled Output Inductor," APEC 2001. pp. 967-973
- [5] H. S. Chol, J. W. Kim, J. H. Lee and B. H. Cho, "Analysis and Design Consideration of Zero-Voltage and Zero-Current-Switching(ZVZCS) Full-Bridge PWM Converters," IEEE Power Electronics Specialist Conference 2002, Rec
- [6] D. Y. Lee, Jun H. Yang, and B. H. Cho, "Novel Energy-Recovery Driving Circuit for Plasma Display Panel using Regenerative Transformer," PESC 2003, pp. 656-659
- [7] R. W. De Doncker, J. P. Lyons, "The auxiliary resonant commutated pole converter", Conf. Rec. IEEE IAS Annual Meeting, pp. 1228-1235, 1990