

플라이백 컨버터에서 누설인덕턴스 저장에너지의 새로운 회복회로

정용채*
*남서울대학교

A Novel Recovery Circuit of a Leakage Inductance Stored Energy in Flyback Converter

Yong-Chae Jung*
*Namseoul University

ABSTRACT

Nowadays, more than ever before, many researchers are paying attention to raising the efficiency of a power converter. In Flyback converter, the resistor of RCD snubber consumes the stored energy in leakage inductor. It plays a role in degrading the overall system efficiency.

Thus, in this paper, a novel energy recovery circuit of Flyback converter is proposed to improve the efficiency. The operational principle of the proposed circuit is explained in detail. And, it is verified through the simulation results.

1. 서 론

직류전원회로로 가장 많이 사용되는 것은 SMPS (Switch Mode Power Supply)이다. 특히, 150[W] 이하의 낮은 전력용으로는 플라이백 컨버터가 주로 사용된다^[1].

플라이백 컨버터의 동작을 자세히 살펴보면 트랜스포머의 자화 인덕터를 에너지 저장소자로 활용하고 있다. 저장된 에너지는 스위치가 오프 되었을 때 이차측으로 전달된다. 하지만 누설 인덕터에 저장된 에너지는 이차측으로 전달되지 못하고 저항에서 열로 모두 소모한다. 이런 용도로 사용되는 것이 RCD 스너버이다^[2].

고효율 전원회로를 구성하려면 저항에서 소모되는 이 에너지를 줄여야 한다. 그러기 위한 방법으로 이 에너지를 입력전원으로 되돌리는 방법이 있다. 이러한 분야의 연구가 최근까지 활발히 연구되고 있다^[3-5]. 하지만 이러한 방식들은 에너지를 되돌리기 위해서 첨가되는 부품이 많은 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 첨가되는 부품을 최소화 하면서 누설 인덕터에 저장된 에너지를 출력측으로

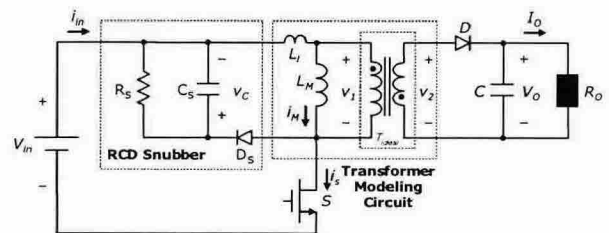


그림 1. 기존의 RCD 스너버를 갖는 플라이백 컨버터

전달할 수 있는 새로운 방식의 에너지 회복회로를 제안한다. 이 회로의 동작원리를 자세히 알아보고 시뮬레이션을 통해서 동작을 확인한다.

2. 기존의 RCD 스너버 회로

그림 1은 플라이백 컨버터에 트랜스포머의 모델링 회로와 RCD 스너버를 적용한 회로이다. 트랜스포머의 모델링 회로는 이상적인 트랜스포머 T_{ideal} 과 자화 인덕터 L_M 그리고 누설 인덕터 L_s 로 구성되어 있다. 이 때 이차측의 누설 인덕터는 작기 때문에 무시하였다. 이차측으로 전달되지 않는 누설 인덕터에 저장된 에너지는 RCD 스너버의 커패시터에 저장했다가 저항으로 소모시켜서 제거한다.

이 회로의 동작을 간단히 설명하면 다음과 같다. 먼저 스위치가 켜지면 누설 인덕터와 자화 인덕터에 입력전압이 걸려서 선형적으로 증가하는 전류가 흐른다. 정해진 온 시간이 지나면 스위치가 꺼진다. 이때 자화 인덕터에 흐르던 전류는 이상적인 트랜스포머의 일차측으로 흐르고, 이는 이차측의 전류를 발생시키며, 이차측으로 자화 인덕터에 저장된 에너지를 전달한다. 하지만 누설 인덕터에 흐르던 전류는 RCD 스너버의 D_s 와 C_s 를 통해서 흐르며 누설 인덕터에 저장된 에너지가 스너버 커패시터 C_s 로 전달된다. 누설 인덕터의 전류가 영이 되면 스너버 다이오드 D_s 는 꺼지고, 스너버 커패시터에

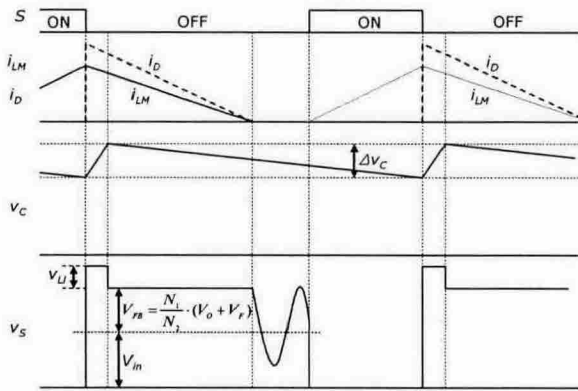


그림 2. 기존 플라이백 컨버터의 동작파형

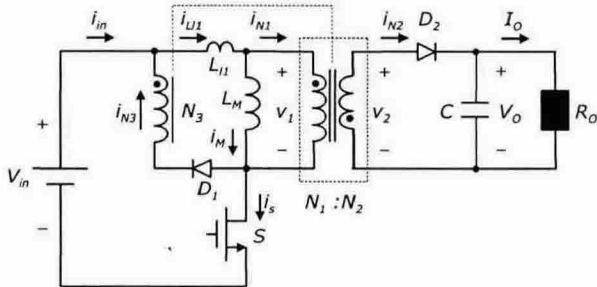


그림 3. 제안된 플라이백 컨버터용 에너지 전달회로

증가된 에너지는 스너버 저항 R_S 를 통해서 소모한다.

그림 2는 기존의 RCD 스너버를 갖는 플라이백 컨버터의 동작파형으로 불연속모드로 동작할 때의 경우이다. 스너버 커패시터의 전원은 일정한 평균값을 가지며 스위치 오프 시 짧은 시간동안 충전된다. 나머지 시간은 RC 방전을 하게 된다.

3. 새로운 누설 에너지 회복회로

그림 3은 본 논문에서 제안하는 새로운 개념의 플라이백 컨버터용 에너지 전달회로이다. 기존의 RCD 스너버 대신에 트랜스포머 권선 N_3 과 다이오드 D_1 이 첨가되었다. 여기서 트랜스포머 권선 N_3 은 일차측 권선 N_1 보다 약간 크면 된다.

그림 4는 제안된 회로의 동작모드별 전류 흐름도이다. 이 중 (a)-(b)-(c)는 N_1 과 N_3 의 턴수비가 적절한 경우이고 (d)-(e)-(f)-(g)는 N_1 과 N_3 의 턴수비가 큰 경우이다. N_1 과 N_3 의 턴수비가 큰 경우는 스위치가 켜져 있을 때 D_1 도 켜져서 누설 인덕터의 전류가 자화 인덕터의 전류보다 커진다.

그림 5는 불연속 모드에서 동작할 때의 동작파형이다. 이 동작을 정리해보면 다음과 같다. 스위치가 켜졌을 때 누설 인덕터와 자화 인덕터에 에너지를 저장했다가, 스위치가 꺼지면 세 번째 권선 N_3 를

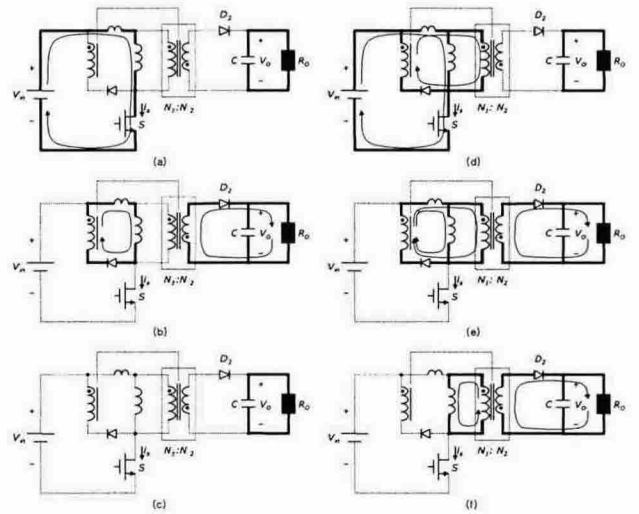


그림 4. 동작모드별 전류 흐름도

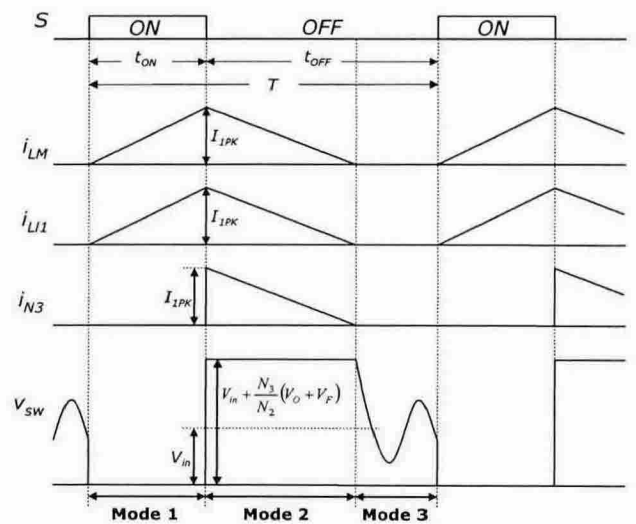


그림 5. 제안된 회로의 동작파형(불연속 모드)

통해서 이차측으로 에너지를 전달한다. 이런 동작을 통해서 누설 인덕터에 저장된 에너지는 저항에서 소모되는 것이 아니라 이차측으로 전달됨으로써 효율을 상승시키는 역할을 한다.

스위치가 켜져 있을 때 D_1 이 켜지지 않는 조건은 다음 식 (1)과 같다.

$$N_3 \leq \frac{L_M + L_D}{L_M} \cdot N_1 \quad (1)$$

단, 각 스위칭 소자는 이상적이라고 가정한다. 하지만, 실제적으로는 다이오드 D_1 의 순방향 회복 전압 (Forward Recovery Voltage) 때문에 계산치 보다는 좀 더 커도 된다. 또한, 이 값이 너무 작으면 누설 인덕터에 흐르는 전류가 모두 영으로 감소되지 않을 수도 있으므로 식 (1)에서 최대값을 취하는 것이 바람직하다.

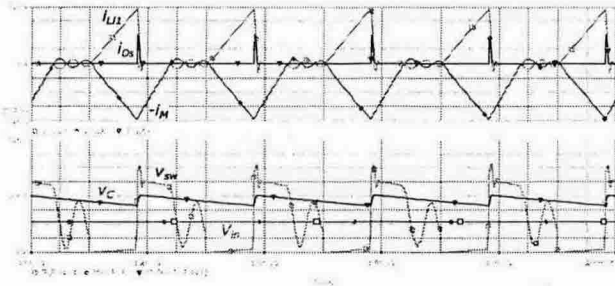


그림 6. RCD 스너버를 갖는 플라이백 컨버터의 동작파형

표 1. 모의실험 적용값

항 목	설 계 값	비 고
입력전압	110[V _{dc}]	85[V _{ac}]-마진
출력	12[V] / 2.55[A]	
누설 인덕턴스	16[μH]	
자화인덕턴스	404[μH]	
RCD Snubber	C _s =10[nF] R _s =10[kΩ]	

4. 모의실험결과

앞에서 언급한 동작을 확인하기 위해서 모의실험을 하였다. 모의실험 프로그램은 OrCAD PSpice Ver. 9.1을 사용하였다.

모의실험결과의 정확도를 확인하기 위해서 제안된 회로를 모의실험하기 전에 기존에 잘 알려져 있는 RCD 스너버 회로를 갖는 플라이백 컨버터의 동작을 먼저 확인해 보았다.

표 1의 값들을 적용하여 모의실험 한 결과가 그림 6에 보이고 있다. 대략 1[μsec]의 짧은 시간동안 RCD 스너버의 D_s를 통해서 누설 인덕터에 저장된 에너지가 스너버 커패시터 C_s로 전달되는 것을 볼 수 있다. 스너버 커패시터의 전압 v_C는 나머지 구간동안 방전을 하고 있다. 자화 인덕터의 전류 i_M이 영이 되면서 스위치 전압 v_{SW}는 진동현상을 보이는데 이는 트랜스포머의 일차측 인덕턴스와 스위치의 출력 커패시턴스 사이의 기생공진에 의한 현상이다.

그림 7은 제안된 회로의 모의실험 파형으로 트랜스포머 권선 N₃와 트랜스포머 권선 N₁과의 비를 식 (1)을 이용하여 103 : 100으로 선정하였다. 이 그림을 보면 누설 인덕터에 흐르는 전류의 모양이나 자화 인덕터에 흐르는 전류의 모양은 같다. 이는 스위치의 온 오프에 따라서 누설 인덕터와 자화 인덕터는 같은 방향의 같은 전류가 흐른다는 것을 말한다. 즉, 스위치 온 시 저장된 에너지가 스위치

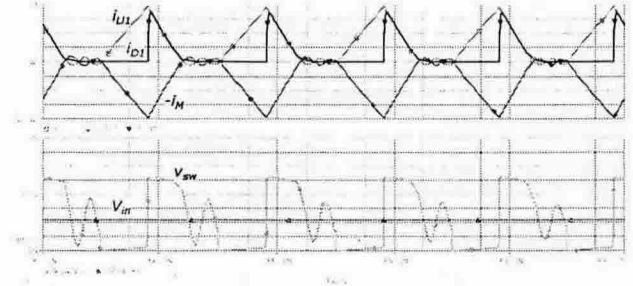


그림 7. 제안된 회로의 동작파형 (N₃:N₁=103:100)

오프 시 이차측으로 전달된다.

5. 결 론

본 논문에서는 고효율 전원회로를 구성하기 위한 방안으로 새로운 방식의 에너지 전달방식을 가지는 플라이백 컨버터를 제안하였다. 기존의 플라이백 컨버터는 누설 인덕터에 저장된 에너지를 저항으로 소모시켜서 효율저하를 가져왔다. 하지만 제안된 방식에서는 누설 인덕터에 저장된 에너지조차 이차측으로 전달하고 있기 때문에 최상의 효율을 가지는 전원회로를 구성할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위해서 PSpice를 이용하여 모의실험을 한 결과 앞에서 제안하고 동작을 알아본 내용이 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 향후에 본 논문에서 제안된 회로를 직접 구성하여 실험을 통해서 효율개선효과를 확인할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 정용채, "절연형 SMPS의 종류 및 동작원리", 월간 전자부품, 2005년 5월호, pp.118-125.
- [2] 전자기술연구회 편, "전원회로 설계 마스터", 도서출판 기문사, 2002년 4월.
- [3] Keming Chen, Ahmed Elasser and D. A. Torrey, "A Soft-Switching Active Snubber Optimized for IGBTs in Single Switch Unity Power Factor Three-Phase Diode Rectifiers", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 10, pp. 446-452, Jul., 1995.
- [4] Jagjitpati Shukla and B. G. Fernandes, "A Novel Active Resonant Snubber for Single Switch Unity Power Factor Three-Phase Diode Rectifiers", *IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference*, Vol. 4, pp. 3818-3823, Jun., 2004.
- [5] 귀안 진룡, 웅 다 예프, "플라이백 컨버터를 위한 누설에너지 회복 시스템과 누설에너지 회복방법", 대한민국의특허, 특2002-0074203. (PCT/EP2001/13306)