

새로운 자력식 DC-DC 컨버터

이성주, 안태영
 청주대학교 전·정·반공학부

Novel Self-Excited DC-DC Converters

Soung-Ju Lee, Tae-Young Ahn
 School of ESC&C Eng., Chongju Univ.

Abstract - This paper presents novel self excited DC-DC converters such as Buck-boost type, Buck type and also non-inverting Buck-boost type. The proposed converters has the following advantages: simple topology, small number of circuit components, easy control methode. Therefore, these converters are suitable for the portable appliances with battery source. Theoretical analysis and experimental results for 50W class Buck-boost type self oscillation DC-DC converter have been obtained, which demonstrate the high efficiency and good performance.

1. 서론

최근 개인용 정보처리기기 및 정보통신기기 분야의 급속한 발달과 함께 관련 시스템은 더욱 소형·경량화가 요구되고 있는 실정이다. 특히 이동성과 기동성이 요구되는 휴대용 기기인 경우에는 배터리와 같이 한정된 전력으로 동작하는 경우가 대부분이다. 따라서 한정된 전력을 여러 형태의 안정된 전력의 형태로 변환시켜주는 전원장치 분야에서는 고효율 및 소형·경량화 기술이 필수적이다. 일반적으로 시스템이 배터리를 입력으로 하고 있는 경우, 입력과 출력이 전기적으로 절연할 필요가 없고, 따라서 대부분 비절연형의 회로방식을 채택하고 있다⁽¹⁾. 또한 휴대형 전자기기의 경우, 정해진 배터리의 이용 효율을 높이기 위해 시스템의 소비전력을 제한했기 때문에 시스템에 전력을 공급하는 전원장치에서도 소용량이면서 고효율의 특징이 요구된다. 그러나 일반적인 전원장치의 구조는 전력변환을 담당하는 DC-DC 컨버터 부분과 출력전압이나 전류를 안정하게 제어시키는 제어회로로 구성되어 있기 때문에 회로가 복잡하고, 제조원가가 높아지며, 전용의 제어용 반도체를 사용하기 때문에 넓은 동작온도와 같은 환경에서 제품의 신뢰성을 높일 수가 없다.

한편, RCC (Ringing Choke Converter) 및 Royer와 같은 자력식 회로방식은 스위칭 동작과 출력전압 제어가 간단한 회로에 의해 구현되기 때문에 별도의 제어용 IC가 필요하지 않아서 저가의 전원장치에 널리 사용되고 있다⁽²⁻⁴⁾. 그러나 이러한 회로방식은 변압기의 1차와 2차가 전기적으로 절연되어 있어서 변압기 구조가 복잡해지고, 특히 Royer 회로인 경우 스위치가 2개이기 때문에 전체 회로가 복잡해지는 단점이 존재한다. 따라서 기존의 자력식 컨버터는 교류전원을 입력으로 하거나, 입력출력 전압차이가 높은 전원장치 회로방식에 적합하지만, 배터리를 입력으로 하는 전자기기의 전원장치에는 부적합하다.

본 논문에서는 휴대형 전자기와 같은 소용량 전원장치에 적합한 새로운 자력형 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안된 회로는 크게 강압형, 승강압형 및 비반전 승강압형과 같이 세 개의 회로방식으로 나눌 수 있으며, 한 개의 인덕터로 구성되기 때문에 회로구성이 간단해진다. 우선 세 개의 회로방식 중, 승강압형 회로방식에 대한 등가회로를 유도하고, 정상상태 해석을 하였으며, 출력전압을 안정시키기 위한 제어회로를 구성하였다. 끝으로 50W 급 자력식 승강압형 컨버터를 제작하여 실험한 결과, 입력전압과 부하변동에 대해 출력전압이 일정하게 유지되었으며, 이때 측정된 전력변환 효율이 정상범위에서 85%이상 되었고, 최대 90%로 측정됨으로서 고효율·소형·경량 전원장치에 적합하다는 것을 보였다.

2. 새로운 자력식 DC-DC 컨버터

그림 1에 본 논문에서 제안한 새로운 자력식 DC-DC 컨버터의 기본회로방식이 나타나 있다. 제안된 회로는 입력출력 전압비와 출력전압의 극성에 따라 크게 승강압형, 강압형 및 비반전 승강압형과 같이 세 종류로 나눌 수 있다. 기본적인 회로구성 방법은 다음과 같다. 우선, 그림 1의 (a)와 (b)의 승강압형과 강압형의 경우, 회로 내에 존재하는 인덕터에 권선을 추가하여 주스위치를 사용된 MOSFET의 게이트 단자에 전압원으로 인가하였다. 또한 회로가 처음 기동할 때 필요한 기동저항 R_g 가 입력전압과 게이트 사이에 존재하게 하였다.

그림 1의 (a)는 출력전압이 입력전압 극성이 반대인 승강압형이기 때문에 음의 출력전압을 얻을 수 있지만, 정극성의 출력을 얻기 위해서는 적합하지 않다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 그림 1의 (c)에 강압형 회로와 승압형 회로를 인덕터로 결합시킨 비반전 승강압형 회로를 나타내었다. 그림에서 중앙의 인덕터는 두 개의 권선을 추가하였고, 각각의 강압형과 승압형 스위치를 동작시키기 위한 게이트 구동 권선으로 사용하였다. 이때 기동저항 R_g 는 두 개의 스위치 중, 강압형 쪽 스위치의 기동용으로 사용하였다.

위와 같은 방법을 이용하면, 자력식 승압형 회로의 구성도 가능하지만, 실제로는 다음과 같은 이유 때문에 정상적인 회로동작이 불가능하다. 처음 승압형 회로에 전원이 인가되면, 인덕터와 다이오드를 통하여 에너지가 출력에 전달되면서 인덕터의 전류가 부하저항에 의해 정상상태에 도달해 있기 때문에 스위칭 동작에 필요한 전압 펄스를 얻지 못하고, 결국 스위칭 동작이 불가능해진다.

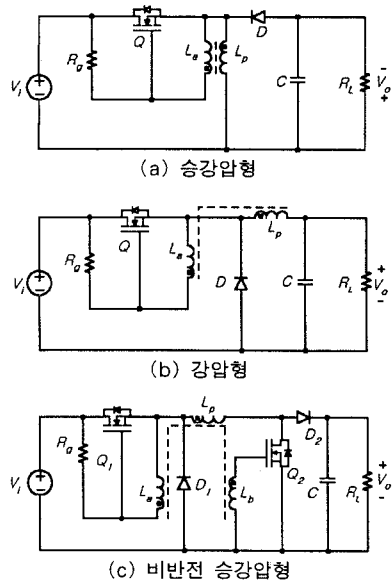


그림 1. 자력식 DC-DC 컨버터의 기본회로

3. 자력식 승강압형 DC-DC 컨버터

본 논문에서는 그림 1에 나타나 있는 세 개의 자력식 DC-DC 컨버터 회로방식 중에서, 비교적 회로가 간단하면서도 음의 출력 전압을 얻을 수 있는 승강압형 회로방식을 선택하여 동작원리와 기본 특성을 파악하기 위해 정상상태 해석을 하였다. 우선 그림 1의 (a)에 나타나 있는 자력식 승강압형 회로는 정상상태에서 그림 2와 같은 동작회로로 변환시킬 수 있다. 이때 등가회로는 다음과 같이 두 가지 가정을 하였다. 첫째로 반도체 스위치 소자는 이상적인 스위치로 동작하며, 둘째로 출력단의 커패시터 C 의 용량과 R_L 의 시정수에 비해 동작 스위칭주기가 무시할 정도로 작기 때문에 정전압원 V_o 로 등가화 하였다.

그림 3은 스위치가 턴 온 및 턴 오프되었을 때 각각의 등가회로를 나타내었다. 또한 그림 4에는 자력식 승강압형 회로가 정상상태에서 동작하는 경우 주요부분의 전압과 전류 파형을 이론과 실험으로 나타내었다. 정상상태에서 컨버터의 동작은 다음과 같이 설명된다.

【스위치 온 상태】

처음 회로에 입력전압 V_i 가 인가되면 기동저항 R_p 를 통해 전류가 MOSFET의 게이트의 기생 커패시터에 흐르게 되고, 스위치는 t_0 에서 턴 온 된다. 스위치 Q 가 턴 온 되면 그림 3의 (a)와 같이 인덕터 L_p 와 L_s 에 전압이 유가 되고, L_s 에 의한 Q 의 게이트 전압 V_{GS} 에 의해 스위치는 더욱 가속화하여 포화영역으로 들어가게 된다. 이때 다이오드 D 는 역바이어스 상태이므로 턴 오프된다. 인덕터에는 일정한 입력전압이 인가되기 때문에 전류는 일정한 기울기를 갖고 상승하게 되며 각 부분의 전압과 전류는 다음과 같다.

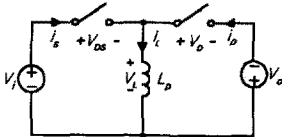
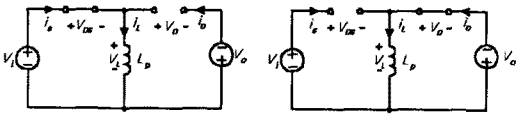
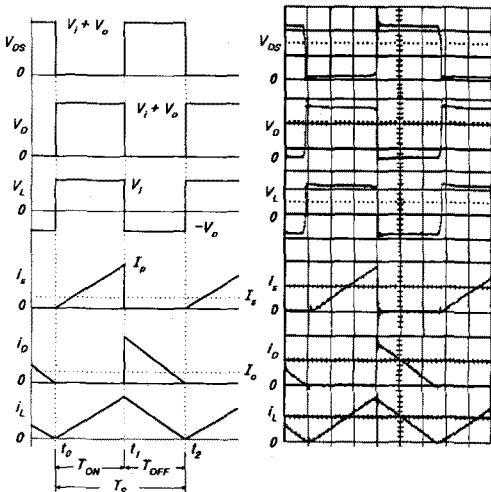


그림 2. 정상상태 등가회로



(a) 스위치 ON 상태 (b) 스위치 OFF 상태

그림 3. 정상상태 등가회로



(a) 이론 파형 (b) 실험 파형
그림 4. 정상상태 동작 파형

$$v_D = V_o + V_i \quad (1)$$

$$v_L = V_i \quad (2)$$

$$v_L = L_p \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

한편 스위치 Q 를 통해 흐르는 전류 i_s 도 직선적으로 증가하며 이때 i_s 는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$i_s = V_{GS} \times g_{FS} \quad (4)$$

단, g_{FS} 는 MOSFET의 forward transconductance이다.

다음 식 (4)에 의해 스위치 Q 는 더 이상 포화영역에서 동작하지 못하고 활성영역으로 이동하여 Q 의 드레인-소스 전압인 V_{DS} 을 증가시키게 된다. 또 V_{DS} 에 의하여 L_p 와 L_s 에 걸리는 전압이 낮아지는데, 결과적으로 Q 의 V_{GS} 를 낮추게 되어 스위칭은 t_1 에서 턴 오프하게 된다.

【스위치 오프 상태】

스위치가 t_1 에서 턴 오프하게 되면, 그림 3 (b)와 같이 다이오드가 도통하여 출력단에 전류를 공급하고 다이오드의 전류 i_D 가 0이 되면 이때 L_p 에 역기전력이 발생하게 되며, 그 전압이 L_s 에 유가 되어 다시 스위치 Q 를 턴 온 시킴으로서 스위칭 동작을 반복하게 된다.

이때 주요 부분의 전압, 전류는 다음과 같이 유도된다.

$$v_D = 0 \quad (5)$$

$$v_L = -V_o \quad (6)$$

$$v_L = L_p \frac{di_L}{dt} \quad (7)$$

또한 입력전압 V_i 와 출력전압 V_o 는 인덕터 전압의 평균값을 0라고 가정하면 다음과 같이 시비율 D 의 함수로 구할 수 있다.

$$D = \frac{V_o}{V_i + V_o} \quad (8)$$

단, 시비율 D 는 다음 식과 같이 스위치의 한 주기 T_s 와 온 시간 T_{ON} 의 비로 정의한다.

$$D = \frac{T_{ON}}{T_s} \quad (9)$$

한편 전류 i_s 의 최대치 I_P 는 부하전류 I_o 와 시비율 D 에 의존하며, 컨버터의 전력변환 효율이 100%라고 가정하면, I_P 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_P = \frac{2 I_o}{1 - D} \quad (10)$$

식 (3)으로부터 스위치 온 시간 T_{ON} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{ON} = \frac{L_p I_P}{V_i} \quad (11)$$

따라서 식 (8)-(11)로부터 스위칭주파수 f_s 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_s = \frac{V_i^2 V_o}{2 L_p I_o (V_i + V_o)^2} \quad (12)$$

식 (12)에서 입력전압 V_i 와 출력 부하전류 I_o 변동에 대해 출력전압 V_o 를 일정하게 하기 위해서는 스위칭주파수 f_s 를 변화시켜야 한다는 것을 알 수 있으며, 이때 출력 부하전류 I_o 와 스위칭주파수 f_s 는 반비례한다.

4. 실험 결과

제안한 자력식 승강압형 컨버터를 검증하기 위하여 최대출력이 50W급인 컨버터를 제작하여 실험을 하였다. 실험에서 사용된 컨버터의 입출력 사양은 다음과 같다.

- 입력전압범위 : 40 - 60V
- 출력 전압 : 50V
- 출력 전류 : 0.1 - 1A
- 최대 출력 : 50W
- 최소 스위칭주파수 : 약 50kHz

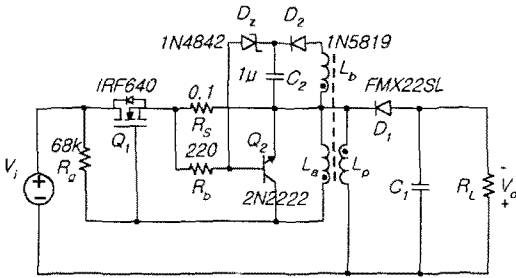


그림 5. 자력식 승강압형 컨버터의 실험회로

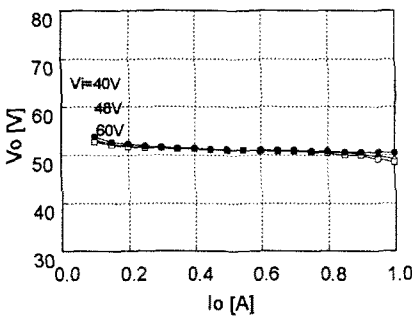


그림 6. 제어회로가 추가된 부하특성 (측정값)

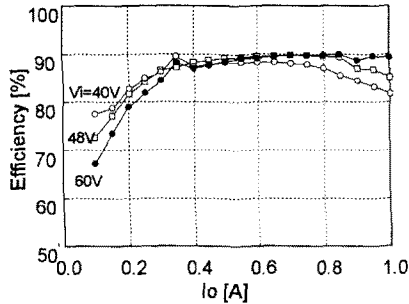


그림 7. 전력변환효율 (측정값)

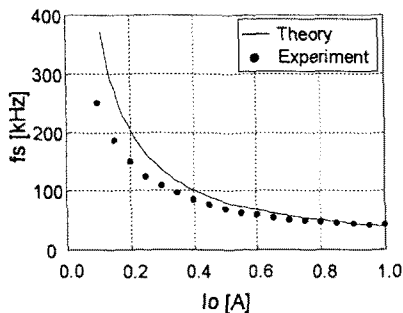


그림 8. 부하전류와 스위칭주파수의 관계

본 논문에서 실험한 실험회로가 그림 5에 나타나 있다. 그림 5의 실험회로는 그림 1의 기본회로에 두 개의 회로가 추가되었다. 우선 트랜지스터 Q_2 는 저항 R_S 를 통해 흐르는 전류가 일정할 값 이상 증가하게 되면, 턴오프하게 되며, 따라서 기본적으로는 과전류 보호기능을 한다. 둘째로 컨버터의 출력전압을 안정시키기 위해서 그림 6과 같이 인덕터 L_p 에 권선 L_b 와 커패시터 C_2 를 추가하여 커패시터 C_2 의 전압이 출력전압 V_o 와 비례하도록 하였다. 다음 비례된 전압은 정전압 다이오드 D_2 를 거쳐서 트랜지스터 Q_2 의 베이스에 연결되었기 때문에, 커패시터 C_2 의 전압이 D_2 의 게너전압보다 높아지게 되면 트랜지스터 Q_2 가 턴은 되어 주스위치 Q_1 이 턴오프되면서 출력전압이 낮아지게 된다.

위의 제어방법을 이용한 실험회로의 부하특성이 그림 6에 나타나 있다. 실험회로는 일정한 입력전압이 각각 40, 48, 60V로 인가된 상태에서도 출력전압은 부하변동에 대해 50V로 비교적 일정하게 유지되고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 같은 조건에서 컨버터의 전력변환 효율을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 효율 특성에서 알 수 있듯이 컨버터의 출력이 높아질수록 효율도 비례하고 있으며 정상범위에서 85%이상, 최대 90%의 비교적 높은 효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 8에는 일정한 입력전압이 인가되어 있는 경우, 부하변화에 대한 스위칭 주파수를 식 (12)에서 얻은 이론 값과 실험 값을 비교한 결과를 나타내었다. 그림으로부터 두 개의 결과가 비교적 잘 일치하고 있다는 것을 알 수 있고 따라서 정상상태 해석의 타당성을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서 휴대용 전자기기와 같은 소용량 전원장치에 적합한 새로운 자력형 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안된 회로는 크게 강압형, 승강압형 및 비반전 승강압형과 같이 세 개의 회로방식으로 나눌 수 있었으며, 한 개의 인덕터로 구성되기 때문에 회로구성이 간단해진다는 것을 보였다. 제안된 회로의 유용성을 살펴보기 위해 우선 세 개의 회로방식 중, 자력식 승강압형 DC-DC 컨버터에 대한 등가회로를 유도하였고, 정상상태 해석을 하였으며, 출력전압을 안정시키기 위해서 인덕터에 권선을 추가하여 출력전압 제어회로를 구성하였다. 끝으로 50W급 자력식 승강압형 DC-DC 컨버터를 제작하여 실험한 결과, 입력전압과 부하변동에 대해 출력전압이 안정되었으며, 이때 측정된 전력변환 효율이 정상범위에서 85%이상 되었고, 최대 90%의 높은 효율을 나타냄으로서 고효율·소형·경량요구되는 휴대용 전자기기용 전원장치에 적합하다는 것을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 안태영, "새로운 Watkins-Johnson 공진형 DC-DC 컨버터," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, F권, pp. 1860~1862, 1998.
- [2] K. Watanabe, S. Takeshi, I. Norigoe and R. Hiramatsu, "Self running converter utilizing partial resonance," IEEE INTELEC '88, pp. 186-193, 1988.
- [3] W. J. Gu, K. Harada, "A novel self-excited forward DC-DC converter with zero voltage switched resonant transitions using a saturable core", IEEE Trans. Power Electronics, vol. 10, no 2, pp. 131-141, March 1995.
- [4] Márcio Almeida C6, etc, "High power factor electronic ballast operating in critical conduction mode," IEEE Trans. Power Electronics, vol. 13, no 1, pp. 93-101, January 1998.