

고전압 변환 비의 자려 발진 DC/DC 컨버터

Self Oscillation DC/DC Converter With High Voltage Step-up Ratio

정용준, 한상규, 홍성수, 정동열, 김진욱*, 이효범*, 노정욱
 국민대학교 전력전자 연구소, 삼성전기 (주) P&M 사업부*

Yong-Joon Jung, Sang-Kyoo Han,

Sung-Soo Hong, Dong-Yeol Jung, *Jin-Wook Kim, *Hyo-Bum Lee, Chung-Wook Roh

Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

Abstract

본 논문은 낮은 입력 DC 전압에서 높은 음의 DC 전압을 출력하는 높은 변환 비의 극성 반전 형 DC/DC 전력 변환 회로에 관한 것으로써, 하나의 스위치, 하나의 인덕터, 그리고 다수개의 캐패시터와 다이오드로 구성된다. 기존의 극성 반전 형 DC/DC 컨버터 회로와 비교하여, 고압 변환 트랜스포머 대신에 인덕터를 사용할 수 있어, 자기 소자의 부피 및 크기는 물론 원가저감이 가능하다. 또한 자려 발진(Self Oscillation) 방식을 사용하여 별도의 제어 IC 가 필요 없으므로, 회로구성이 대단히 간단하고, 저가격의 전원 회로를 만들 수 있다. 또한 다이오드들의 전압 스트레스가 감소하여 저가격 고성능의 고압 변환장치 구현이 가능하다. 제안된 회로의 동작원리를 설명하고, 타당성을 Simulation 및 실험을 통하여 검증한다.

1. 서론

그림1.은 종래의 고압 전원 장치를 위한 극성 반전 형 DC/DC 컨버터 회로의 블록도를 나타낸다. 종래의 회로는 반도체 스위치 하나와 고압 변환 트랜스포머 하나에 다수의 다이오드와 캐패시터로 전력단이 구성되어 있으며, 이른바 Ringing Choke Converter [1]의 회로 구조에 전압 체배기(Voltage Multiplier) 회로[2]를 적용한 구조이다. Ringing Choke Converter 를 사용함으로써, 별도의 제어 IC가 필요하지 않으므로 회로구성이 간단한 저가격의 전원 회로를 만들 수 있다. 또한, 전압 체배기 회

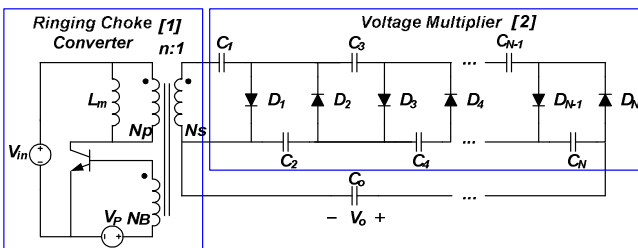


그림1. 기존의 고압전원장치를 위한 극성 반전형 DC/DC 컨버터

로를 적용함으로써 높은 출력 전압 조건하에서도 비교적 낮은 내압의 다이오드 및캐패시터들을 선정하여 적용할 수 있게 된다. 전압 체배기를 적용한 Ringing Choke Converter 방식은 비교적 적은 소자 수로 구성되고 회로 구조가 간단하여, 수 W 급의 낮은 전력 용량의 고압 전원 장치에 널리 사용되고 있다.

하지만, 고압 트랜스포머를 사용함으로써 자기 소자의 부피 및 크기가 커지게 되고, 높은 턴 비로 인한 2차 측의 포유용량 캐패시턴스가 1차 측에 크게 보여 설계상의 어려움이 있으며, 전압 체배기를 구성하는 다이오드와 캐패시터의 전압 스트레스가 커져, 고 내압의 소자를 적용해야 하므로, 고압 전원 장치의 소형화와 경량화 그리고 원가 저감에 장애 요소가 된다.

2. 고전압 변환 비의 자려 발진 DC/DC Converter

그림2.는 낮은 입력 DC전압에서 높은 음의 DC전압을 출력하는 높은 변환 비의 극성 반전 형 DC/DC 전력 변환 회로에 관한 것으로써, 하나의 PNP BJT 스위치, 하나의 인덕터, 그리고 다수개의 캐패시터와 다이오드로 구성된다. 기본적인 회로의 구성은 Buck_Boost Converter를 기본으로 하며, 출력 다이오드 앞단에 다이오드와 캐패시터로 구성된 Voltage Multi Cell을 써서 승압의 효과를 내게 된다. Zener 다이오드 Dz는 스위치 OFF 타임 시 BJT의 Base-Emmitter간에 과전압이 걸리는 것을 방지하기 위한 Protection회로이다.

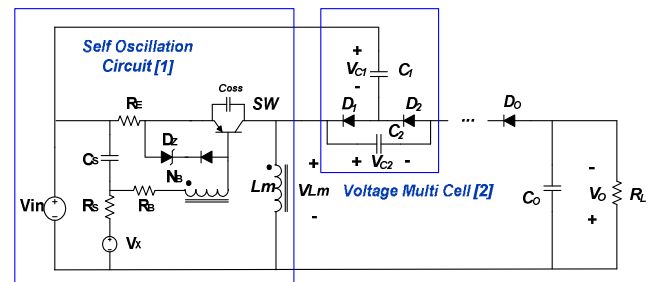


그림2. 고전압 변환 비의 자려 발진 DC/DC 컨버터

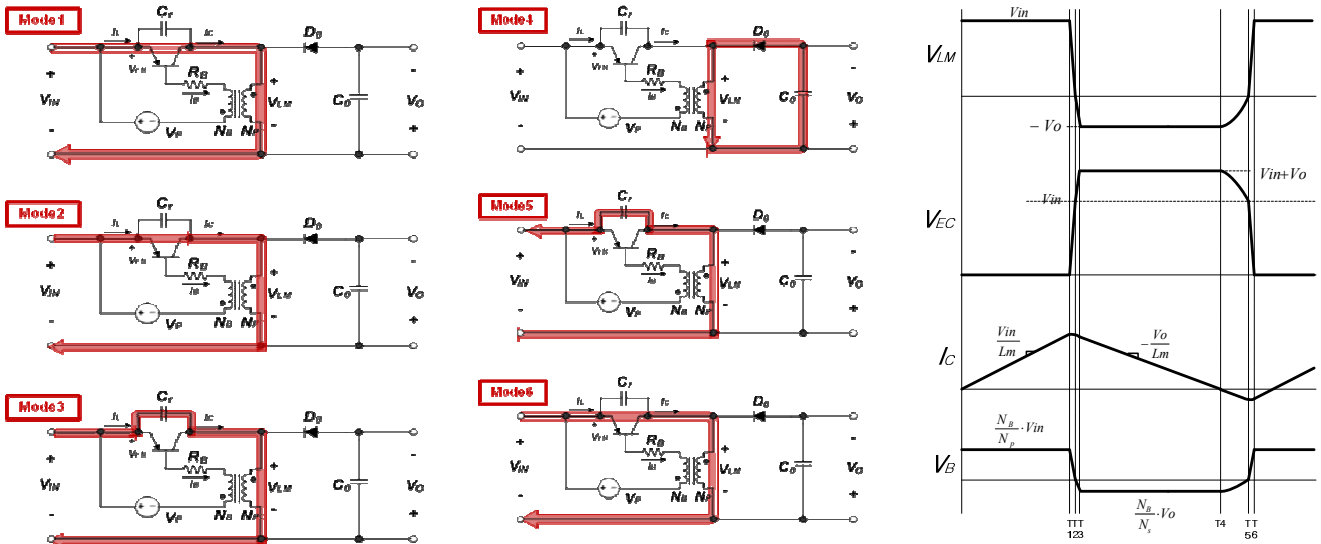


그림3. 제안회로의 동작 원리

2.1 제안회로의 동작 원리

기존 고압 전원 장치를 위한 극성 반전 형 DC/DC 컨버터에서 RCC 방식의 자려 발진 동작을 통해 스위치가 ON/OFF 하게 되는데, 고전압 변환 비의 자려 발진 DC/DC 컨버터회로에 RCC 방식의 자려 발진 원리를 적용하였다. 이해의 편의를 위해 Protection Circuit 및 Voltage Multi Cell 을 생략하고, 간략화하여 동작 원리를 설명한다.

[Mode1~Mode2] PNP 트랜지스터가 온이 되면 그림3.과 같은 전류 패스가 생겨서 인덕터의 양단전압은 V_{LM} 이 걸리게 된다. 턴 비에 따라서 V_B 양단전압에는 $N_B/N_P \cdot V_{IN}$ 의 전압이 걸리게 되고, 출력전압 제어를 위한 적분기의 출력전압 V_f 와 합쳐져서 TR을 계속 턴 온 할 수 있는 V_{EB} 전압이 걸리게 되고 I_B 전류가 흐르게 된다. 이 때 I_C 전류 즉 L_m 축으로 흐르는 전류는 V_{IN}/L_m 의 기울기를 가지고 상승하게 된다.

[Mode3] 그러다가 BJT의 I_C 전류가 점점 커지게 되면 ON영역에서 동작하던 T_r 이 forward active영역으로 들어가게 되고 그에 따라 V_{EC} 전압이 상승하며, V_{EC} 전압이 상승하는 만큼 V_{LM} 양단전압은 줄어들게 된다. V_{LM} 전압이 줄어들게 되면 V_B 전압도 감소하고 I_B 전류도 감소하게 되어 트랜지스터는 턴 오프가 되게 되며, V_{LM} 전압이 0V가 되면 L_m 과 C_r 이 공진을 하게 된다.

[Mode4] V_{LM} 전압이 $-V_O$ 까지 떨어지게 되면 다이오드 D_0 가 도통하여 L_m 에 저장되어 있던 에너지는 출력 측으로 방출을 하게 된다.

[Mode5] L_m 에 있던 에너지가 다 방출하게 되면 즉, I_{LM} 전류가 0이 되면, 다시 C_r 과 L_m 의 공진으로 인해 V_{EC} 전압이 떨어짐에 따라 V_{LM} 전압은 상승하게 된다.

[Mode6] 그 후에 V_{LM} 전압이 0V이상으로 올라가게 되면, I_B - I_C - V_{LM} 의 Positive feedback효과에 의해서 다음과 같이 트랜지스터가 턴 온 하게 된다.

이 자려 발진의 동작원리를 정리하자면, 인덕터 양단에 걸리는 전압을 턴 비로 받아서 PNP트랜지스터의 Emitter와 Base 쪽에 걸어줌으로써 자려 식 발진동작을 하게 되는 것이다.

그림4. 제안회로의 주요 동작파형

2.2 제안회로의 효과

2.2.1 Magnetic 소자의 Size 감소 및 가격 감소

첫 번째 제안회로의 효과로는 Magnetic 소자의 Size 감소로 인한 원가 저감이다. 기존의 Ringing Choke Converter(RCC) 방식의 경우는 고압의 출력전압을 만들어내기 위해서는 고압 트랜스포머가 사용되게 되는데, 이 트랜스포머에 Tertiary Winding(N_B)을 이용해 자려 발진 동작에 이용하게 된다.

하지만 제안된 '인덕터를 이용한 자려 발진 방식'의 경우는 앞의 동작원리에서 설명한 바와 같이 인덕터 양단에 걸리는 전압을 턴 비로 받아서 PNP트랜지스터의 Emitter와 Base 쪽에 걸어줌으로써 자려 식 발진동작을 하게 되는 것이기 때문에, 트랜스포머가 없는 구조가 된다. 이는 고압의 트랜스포머 대신에 인덕터를 사용함으로써 Magnetic소자의 Size 및 가격 감소의 효과를 가져올 수 있으며, 제품의 신뢰성 향상에도 큰 도움이 된다.

실제의 예를 들어보면, 그림5.(a)는 현재 프린터에 사용되는 HVPS회로의 RCC Power Stage 부분이 되겠다. 1차 측과 2차 측 그리고 Tertiary Winding의 턴 비가 ($N_P:N_S:N_B$)가 약 26:1200:4 로써, 고압을 만들어내기 위한 1차 측과 2차 측간의 턴 비가 상당히 높다. 이는 또한 2차 측에 보이는 기생 캐패시턴스 성분이 턴 비의 제곱으로 1차 측에 보이기 때문에 설계상의 어려움이라는 문제점도 나타내고 있다.

하지만 그림 5.(b)의 '인덕터를 이용한 자려 발진 방식'의 경우는 앞의 동작원리에서 설명한 바와 같이 인덕터 양단에 걸리는 전압을 턴 비로 받아서 PNP 트랜지스터의 Emitter 와 Base 쪽에 걸어줌으로써 자려 식 발진동작을 하게 되는 것이기 때문에, 트랜스포머가 없는 구조가 되겠으며, 실제의 회로 구현상에서는 인덕터와 자려 자려 발진 동작을 하기 위한 Tertiary Winding(N_B)의 턴 비가 65 : 10 으로서, 기존의 RCC 방식의 고압 트랜스포머에 발생했던 문제점을 해결할 수 있으며, Magnetic 소자의 Size 및 가격 감소의 효과를 가져올 수 있고, 제품의 신뢰성 향상에도 큰 도움이 된다. (제안된 회로는 트랜스포머가 아닌, 자려 발진 동작을 하기 위한 Tertiary Winding Inductor 로 보는 것이 옳다.)

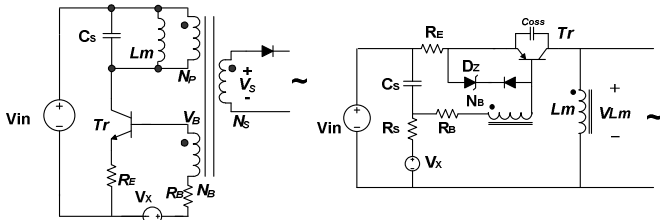


그림 5. 기존의 고압트랜스포머를 이용한 자려 발진방식과(a) 인덕터를 이용한 자려 발진방식(b)

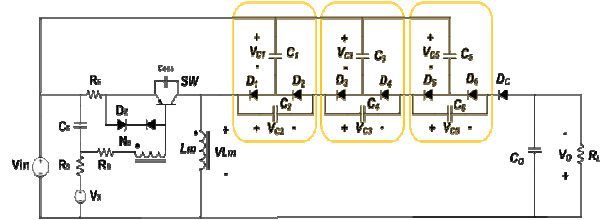


그림 7. 4-Level 자려 발진 DC/DC Converter

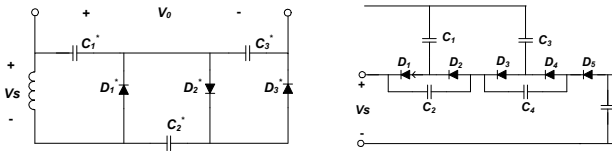


그림 6. 기존의 Voltage Multiplier방식과(a) Voltage Multi Cell(b)

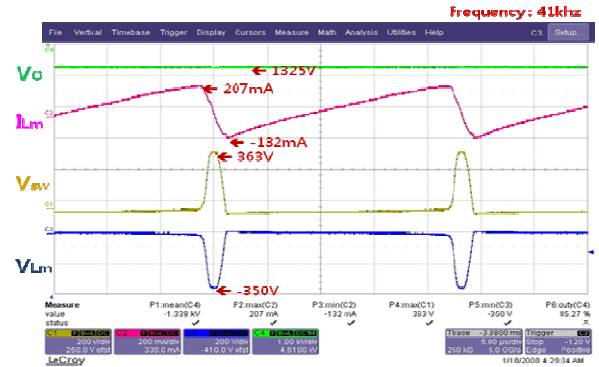


그림 8. 4-Level 자려 발진 DC/DC Converter의 실험결과

	Voltage Multiplier	Voltage Multi Cell
출력전압	$V_o = 3 \cdot V_s$	$V_o = 3 \cdot V_s$
다이오드 개수	3 개 (n 개)	5 개 ((n-1)*2+1 개)
다이오드 내압	$D_1^*, D_2^*, D_3^* = \frac{2}{3}V_o, (\frac{2}{n}V_o)$	$D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 = \frac{1}{3}V_o, (\frac{1}{n}V_o)$

표 1. 기존의 Voltage Multiplier와 Voltage Multi Cell의 비교

2.2.2 반도체 소자의 전압 스트레스 감소

두 번째 제안회로의 효과는 반도체 소자의 전압스트레스 감소이다. 기존의 고압 전원 장치를 위한 극성 반전 형 DC/DC 컨버터의 경우는 그림1.에서 보는 바와 같이 고압의 트랜스포머를 사용한 Ringing Choke Converter(RCC)에 2차 측에는 승압의 효과를 높이기 위한 Voltage Multiplier(전압 체배기)를 사용하게 된다. 본 논문인 고전압 변환 비의 자려 발진 DC/DC 컨버터에서는 승압의 효과를 위해서 그림2.에서 보는 바와 같이 다이오드 2개와 캐패시터 2개를 사용한 Voltage Multi Cell을 사용하게 되는데, Voltage Multiplier와 Voltage Multi Cell을 비교하면서 제안회로의 효과를 설명하도록 하겠다.

그림6.은 기존의 고압 전원 장치를 위한 극성 반전 형 DC/DC 컨버터에 사용되는 Voltage Multiplier와 고전압 변환 비의 자려 발진 DC/DC 컨버터에서 사용되는 Voltage Multi Cell이 되겠다. 이해를 돕기 위해 같은 V_s 전압이 들어가서 $3V_s$ 라는 같은 출력 전압을 내는 경우에 대해서 비교한다. Voltage Multiplier에 사용되는 다이오드의 개수는 3개이며, Voltage Multi Cell에서는 5개이다. 이 때 각각의 다이오드에 걸리는 내압은 Voltage Multiplier의 경우 $2/3V_o$, Voltage Multi Cell의 경우는 $1/3V_o$ 로써 Voltage Multi Cell을 사용한 경우가 Voltage Multiplier를 사용한 경우보다 약 반으로 줄어들게 된다. 즉, 같은 출력전압을 낼 때, Voltage Multi Cell이 Voltage Multiplier보다 다이오드의 개수는 2개가 더 사용되지만, 다이오드의 내압이 반으로 줄기 때문에 가격적인 측면에서 경쟁력이 있을 것으로 판단된다. 그리고 표의 괄호는 N-level에서의 다이오드 개수와 내압을 나타낸 것이다

2.3 제안회로의 실험결과

그림 7.은 제안된 4 Level 자려 발진 DC/DC Converter의 회로도이고 그림 8.은 제안회로의 실험결과이다. 입력전압 24V로 1325V의 출력전압이 나오는 것을 볼 수 있다. 동작 주파수는 41Khz이며, 이는 스위치로 사용된 BJT의 β 값의 Tolerance에 따라 달라질 수 있다. 인덕터로 흐르는 전류, 전압 그리고 스위치 양단 전압을 그림 8.에 나타내었다.

3. 결론

본 논문은 낮은 입력 DC 전압에서 높은 음의 DC 전압을 출력하는 높은 변환 비의 극성 반전 형 자려 발진 DC/DC Converter에 관한 것으로써, 기존의 극성 반전 형 DC/DC 컨버터 회로와 비교하여, 고압 변환 트랜스포머 대신에 인덕터를 사용할 수 있어, 자기 소자의 부피 및 크기는 물론 원가저감이 가능하다. 또한 자려 발진(Self Oscillation) 방식을 사용하여 별도의 제어 IC가 필요 없으므로, 회로구성이 대단히 간단하고, 저가격의 전원 회로를 만들 수 있다. 또한 다이오드들의 전압 스트레스가 감소하여 저가격 고성능의 고압 변환장치 구현이 가능하다. 제안된 회로의 동작원리를 설명하고, 타당성을 Simulation 및 실험을 통하여 검증하였다

이 논문은 삼성전기의 연구비 지원에 의해 연구되었음

참고 문헌

- [1] Billings KH: Switchmode power supply handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, chapter3, pp. 64-107, 1999
- [2] N.Kasa & T.Lida "A Transformer-Less Single Phase Inverter using a Buck-Boost type Chopper Circuit for Photovoltaic Power System" Proceedings of ICPE'98, Seoul, pp.978-981.