

## 새로운 소프트 스위칭형 DC-DC 컨버터의 해석

°곽동걸 서기영 권순걸 이수흠 이현우  
경남대학교

### Analysis of Novel Soft Switching DC-DC Converter

°Dong-Kurl Kwak Ki-Young, Suh Soon-Kurl, Kwon Soo-Heum, Lee Hyun-Woo, Lee  
KyungNam University

#### Abstract

In this paper, the authors propose a so-called new soft switching circuit topology. The resonant circuit in new converter implements zero-current and zero-voltage for power switches without increasing voltage/current stresses.

The proposed converter are deemed most suitable for high-power applications where the power switching devices are used.

Some simulative results on computer are included to confirm the validity of the analytical results.

#### 1. 서론

공진형 소프트 스위칭 기술은 저손실, 저잡음의 고주파 스위칭 동작이 가능하게 되어 한층 높은 변환 스위칭 주파수를 채용함에 따라서 전원장치의 소형, 경량화할 수 있다.<sup>1,2)</sup> 현재 공진회로를 이용하여 전압 또는 전류가 영으로 될 때에 각 스위치들을 동작시켜 스위칭 손실 및 서어지 전압의 저감을 목적으로 한 공진형 컨버터들이 제안되고 있지만,<sup>3,4)</sup> 공진회로부 내의 스위치의 수가 증가되어 스위칭의 시퀀스가 복잡하고, 공진부에서의 손실이 크며, 특히 출력전류를 증가 시킬 경우는 효율이 현저히 저하하는 문제가 있다.

본 논문에서는 공진회로부의 간단한 회로구성과 소자들의 적정배치에 의한 소자들의 용량분담을 줄이고, 손실을 줄일 수 있게 한다. 그리고 공진회로부는 공진과 승압을 겸하는 리액터와 공진용으로 사용될 스너비 콘덴서를 이용하여 승압과 소프트 스위칭을 동시에 이루며, 스너비 콘덴서의 에너지는 전원측으로 회생되어 효율을 증가시킬 수 있다. 그리고 제안된 공진회로부의 가제이 소자들은 해석과 시뮬레이션 결과에 의하여 전부 ZVS, ZCS가 됨을 확인하였다.

#### 2. 제안된 컨버터의 주회로

그림 1에 주회로구성을 나타낸다. 회로구성은 입력측과 부하단 사이에 소프트 스위칭과 승압을 할 수 있는

공진 회로부를 접속한다.

공진회로부는 스위칭 소자 두개와 승압용(&공진용) 리액터와 로스레스 스너비 콘덴서로 구성되며, 스위치(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>)의 동작을 보면, 스위치의 턴-온은 리액터 L<sub>r</sub>의 전류가 제로이므로 ZCS(Zero-Current-Switching)로 되고 턴-오프는 C<sub>r</sub>의 전압이 제로로 될 때 동작하므로 ZVS (Zero-Voltage- Switching)로 된다.

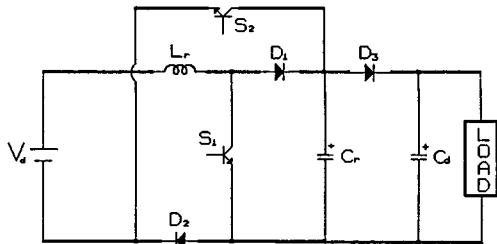


그림 1. 제안회로

#### 3. 제안된 회로의 동작원리

출력 부하측 인덕턴스가 공진용 인덕턴스와 비교하여 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기 동안에는 부하를 정전류원 I<sub>o</sub>로 보는 것이 가능하다. 그림 2에 각 동작모드를 나타낸다.

공진회로부의 초기조건으로 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>는 오프, C<sub>r</sub>에는 평활용 콘덴서 전압 V<sub>cd</sub>로 충전되어 있다.

< 모드 1 ; T<sub>1</sub>, t<sub>0</sub> < t ≤ t<sub>1</sub> >

이 모드는 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 동시에 온하는 기간으로서 턴-온 직전의 전류는 제로이므로 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>는 ZCS 동작을 한다. 그리고 전원전압 V<sub>d</sub>와 출력전압 V<sub>cd</sub>와의 합이 L<sub>r</sub>에 인가되어 L<sub>r</sub>와 C<sub>r</sub>는 공진하고 C<sub>r</sub>가 방전한다. 이때 공진 리액터의 저항을 제로라 가정하면, 스너비 콘덴서의 전압 v<sub>cr</sub>는 식 (1)과 같이 방전하고, 리액터 L<sub>r</sub>에 흐르는 전류 i<sub>Lr</sub>는 식 (2)와 같이 증가한다. v<sub>cr</sub>=0로 될 때 이 모드는 끝나며, 식 (3)은 이 모드의 기간이고, 식 (4)는 모드 1이 끝날 때의 리액터 전류이다.

$$v_{cr} = (V_d + V_{cd}) \cos \omega t - V_d \quad \text{----- (1)}$$

$$i_{Lr} = \frac{V_d + V_{cd}}{X} \sin \omega t \quad \text{----- (2)}$$

$$T_1 = \sqrt{L_r C_r} \cos^{-1} \left( \frac{V_d}{V_d + V_{cd}} \right) \quad \text{----- (3)}$$

$$I_1 = \frac{1}{X} \sqrt{V_{cr}^2 + 2V_d V_{cd}} \quad \text{----- (4)}$$

여기서

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad , \quad X = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}$$

< 모드 2 ;  $T_2, t_1 < t \leq t_2$  >

모드 2는  $v_{cd}=0$ 로 되면  $L_r$ 의 전류는  $S_1$ - $D_2$ ,  $D_1$ - $S_2$ 의 두 회로로 분류한다. 이 모드의 기간에  $L_r$ 는 에너지를 축적한다. 이 때의 리액터 전류는 식 (5)와 같이 직선적으로 증가한다.

$$i_{Lr} = \frac{V_d}{L_r} t + I_1 \quad \text{----- (5)}$$

$$T_2 = T_{on} - T_1 \quad \text{----- (6)}$$

$$I_2 = \frac{V_d}{L_r} T_2 + I_1 \quad \text{----- (7)}$$

$T_2$ 는  $S_1, S_2$ 를 오프하기 까지의 시간으로 식 (6)과 같다.

< 모드 3 ;  $T_3, t_2 < t \leq t_3$  >

이 모드는  $S_1, S_2$ 를 오프하는 모드로서  $L_r$ 의 전류는  $D_1$ - $C_r$ - $D_2$ 를 통하여 흐르고  $L_r$ 와  $C_r$ 는 공진하고  $C_r$ 를 충전시킨다. 이때 스위치들은 ZVS의 동작을 한다. 이 모드에서의 스버너 콘덴서의 전압은 식 (8)과 같으며, 리액터  $L_r$ 에 흐르는 전류  $i_{Lr}$ 는 식 (9)와 같다.

$$v_{cr} = V_d + \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_a \sin(\omega t + \theta) \quad \text{----- (8)}$$

$$i_{Lr} = I_a \cos(\omega t + \theta) \quad \text{----- (9)}$$

콘덴서의 전압이  $V_{cd}$ 로 될 때 이 모드는 끝나며, 이 모드의 기간  $T_3$ 는 식 (10)이며, 리액터의 최종전류  $I_3$ 는 식 (11)과 같다.

$$T_3 = \sqrt{L_r C_r} \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{V_{cd} - V_d}{\sqrt{V_d^2 + \frac{L_r}{C_r} I_2^2}} - \theta \right) \right\} \quad \text{---(10)}$$

$$I_3 = I_2 \cos \omega T_3 + \sqrt{\frac{C_r}{L_r}} V_d \sin \omega T_3 \quad \text{-- (11)}$$

여기서

$$I_a = \sqrt{\frac{C_r}{L_r} V_d^2 + I_2^2}$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( -\frac{V_d}{\sqrt{V_d^2 + \frac{L_r}{C_r} I_2^2}} \right)$$

< 모드 4 ;  $T_4, t_3 < t \leq t_4$  >

모드 4는 리액터  $L_r$ 에 흐르고 있는 전류는 부하측으로 유입되고 직선적으로 감소한다. 이 모드는  $i_{Lr}=0$ 가 되면 끝난다. 이 모드에서 전류  $i_{Lr}$ 는 식 (12)과 같으며, 이 모드의 기간  $T_4$ 는 식(13)과 같다.

$$i_{Lr} = \frac{V_d - V_{cd}}{L_r} t + I_3 \quad \text{----- (12)}$$

$$T_4 = \frac{L_r}{V_{cd} - V_d} I_3 \quad \text{----- (13)}$$

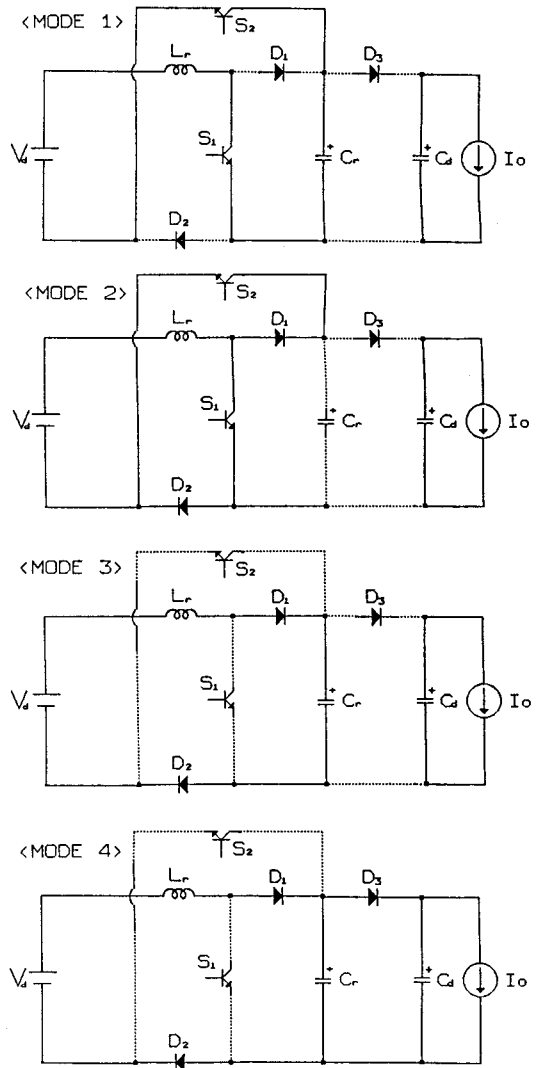


그림 2. 동작원리

#### 4. 제안된 DC-DC 컨버터의 시뮬레이션

공진 회로부의 스위치 동작에 대한 각부 동작파형을 그림 3에 나타낸다. 제어 스위치는 가변저항 스위치로 가정하고 그 외 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션에 있어서 회로 정수들을 표 1에 표시한다.

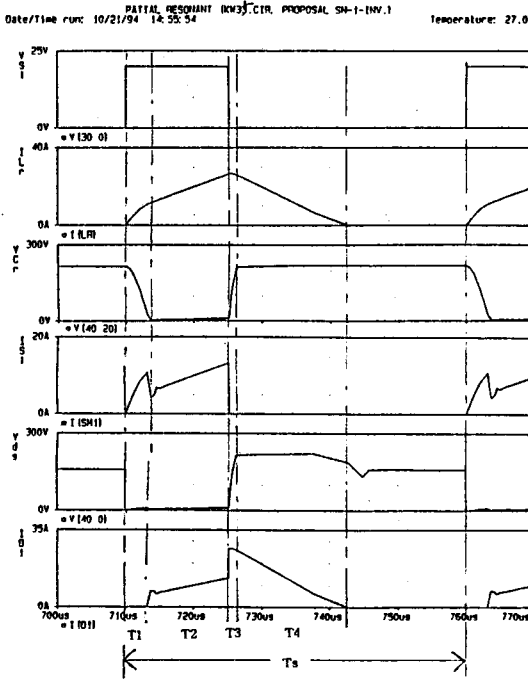


그림 3. 각 모드의 동작파형

표 1 시뮬레이션에 사용된 회로정수

입력전압 $V_d$	100V
공진 인덕턴스 $L_r$	70 $\mu$ H
공진 콘덴서 $C_r$	100nF
부하전류원 $I_o$	3A
스위칭 주파수 $f_s$	20kHz

그림 3에는 각 모드의 구간에 대해서 나타내고 있으며,  $t_0$ 에서 스위치를 온하면  $C_r$ 이 방전하고  $t_1$ 에서  $v_{cr}=0$ 로 된다.  $t_2$ 에서 스위치를 오프 하면, 입력전류에서  $C_r$ 이 충전하여  $t_3$ 에서  $v_{cr}=V_{cr}$ 로 된다.  $t_4$ 는  $i_{Lr}$ 이 제로로 되는 시각이다.  $T_s$ 는 스위치 동작의 1주기를 나타낸다.

#### 5. 결론

소프트 스위칭과 승압을 동시에 이루는 공진 회로부를 구성하여 해석하고, 시뮬레이션에 의한 공진 동작을 확인하였다.

또한, 제안된 공진회로부는 승압 초퍼로서 동작되며, 사용된 전체의 가제어 소자들은 ZVS, ZCS로 스위칭됨을 알았으며, 또한 스너비 콘덴서를 공진용으로 이용한 것으로 스너비 콘덴서의 전하를 진원으로 되돌려 스너비 손실이 발생하지 않으므로 효율이 우수하다.

교류를 입력으로 할 때, 본 제안 회로는 리액터 전류가 불연속으로 되므로 듀티율 일정의 스위칭 동작으로 입력전류 파형의 개선을 도모 할 수 있어 고효율로 동작된다.

#### 참고 문헌

- (1) Gyu H. Cho etc : "Novel Soft Switching PWM Converter Using A New Parallel Resonant DC-Link", IEEE PESC'91, pp.241-247 (1991)
- (2) L.D.Salazar, G.Joos, P.D.Ziogas : "A LOW LOSS SOFT SWITCHING PWM CSI", IEEE PESC Proceeding pp.1098-1140 (1992)
- (3) R.W.DeDonker, J.P.Lyons : "The Auxiliary Resonant Commutated Pole Converter", IEEE-IAS Conference Proceedings 1990, pp.1228/1235 (1990)
- (4) 광동길, 이현우 : "단상 컨버터의 부분공진 회로", 대한전기학회 추계학술대회논문집, pp.129-131 (1993)
- (5) 광동길, 이현우 : "스너비 콘덴서를 이용한 부분공진형 PWM 컨버터", 대한전기학회 서부경남지부 춘계 학술대회논문집, pp.58-61 (1994)