

새로운 소프트 스위칭 벡-부스트 초퍼의 해석 및 시뮬레이션

고강훈, 권순걸, \*곽동걸, \*\*이형우, 이현우  
 경남대학교, \*동해대학, \*\*창원기능대

Analysis and Simulation of New Soft Switching Buck-Boost Chopper

K.H.Ko, S.K.Kwon, \*D.K.Kwak, \*\*Hyung-Woo Lee, Hyun-Woo Lee  
 Kyungnam University, \*TongHae College, \*\*Changwon Polytechnic College

**Abstract** - In the buck-boost DC-DC chopper which is used at a certain situation such as in factories where loads often change a lot, the switches in the device make big energy loss in operating at Buck-Boost Mode due to hard switching and are affected by lots of stresses which decrease the efficiency rate of the converter. In order to improve this problem, to decrease the loss of snubber and switching, it has been investigated that zero voltage switching mode and zero current switching mode which make the operation of switches with soft switching. For the more sophisticated and advanced device, this paper is presented the Partial Resonant Soft Switching Mode Power Converter which is adapted the power converter having the partial resonant soft switching mode, that makes switches operate when the resonant current or voltage becomes zero by making the resonant circuit partially at turning on and off of the switches with suitable layout of the resonant elements and switch elements in the converter. Also, this paper includes the analysis and simulation of the Partial Resonant type Buck-Boost Chopper.

Chopper)를 시뮬레이션하였다.

2. 새로운 소프트 스위칭 벡-부스트 초퍼회로

기본적인 승·강압 컨버터회로는 입력전압의 변동에 대하여 출력전압을 제어하기 위하여 에너지 축적용 인덕터를 사용하며, 스위치의 PWM제어에 의해 동작된다. PWM제어에 의해서 인덕터에 흐르는 전류를 연속모드 또는 불연속모드, 경계모드로 제어할 수 있다. 승·강압형 초퍼의 PWM제어에서 CCM으로 제어하면 출력전압의 크기는 한정되지 않으나 제어기법에 어려운 문제가 있으며, DCM으로 제어할 경우는 승압의 한계는 주어지나 듀티율 일정제어가 가능하므로 제어가 용이하다.

그림 1의 부분공진형 승·강압 초퍼에 사용된 승강압용 인덕터 L과 평활용 콘덴서 C는 스위칭주파수의 증가에 의해 소형화 될 수 있으며, 가칭 주파수이상의 스위칭 주파수에서 저잡음화가 가능하다. 일반 변환기에 사용된 스위치들은 높은 스위칭 주파수에 의해 스위칭 손실이 크며 많은 스트레스를 받게 되어 변환기의 효율을 현저히 감소시킨다. 스위치의 턴-온에서 인덕터의 전류가 영이므로 스위치의 턴-온 손실이 없는 장점이 주어진다. 일반적으로 스위치는 턴-오프 손실이 크며, 스위칭 주파수의 증가와 더불어 손실은 더욱 증대되는 문제점이 있다.

1. 서 론

산업자동화 전원장치에는 DC-DC 링크단이 많이 이용되며 부하단의 전압제어범위를 폭넓게 하기 위하여 승·강압 DC-DC 초퍼회로가 많이 이용되고 있다. 산업현장에서 사용되어지는 승·강압 DC-DC컨버터에 사용되는 스위치들은 승·강압모드 동작시 높은 전압 전류에서 하드 스위칭을 하므로 손실이 크고, 많은 스트레스를 받게 되어 변환기의 효율은 감소하게 된다. 이들을 개선하기 위해 스위치의 동작을 소프트 스위칭, 즉 영전압 스위칭(ZVS:Zero Voltage Switching)으로 온·오프 또는 영전류 스위칭(ZCS:Zero Current Switching)으로 동작하게 하여 스위칭 손실 및 스너버 손실을 감소시키는 기법에 대해 연구되어 지고 있다. 이를 개선하기 위해 변환기에 사용되는 스위치 소자들과 공진소자들과의 적정배치에 의해 스위치의 Turn-on, Turn-Off시 공진회로를 부분적으로 형성시켜 공진전류 또는 공진전압이 영으로 될 때 스위치들을 동작시키는 부분공진 소프트 스위칭 기법을 전력변환기에 적용시킨 "부분공진형 승·강압 초퍼(Partial Resonant type Buck-Boost

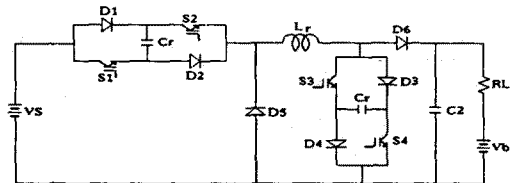


그림 1 소프트 스위칭에 의한 승·강압초퍼회로

그림 1은 부분공진회로부의 강압용 스위칭 소자 S1, S2와 승압용 스위칭 소자 S3, S4와 승강압용 인덕터 Lr 및 스너버 콘덴서 Cr로 구성된다. 스위치 턴-온시 인덕터 Lr의 전류는 영으로 되어 ZCS동작을 하게 되고, 턴-오프시는 콘덴서 Cr의 전압이 영에서 동작하므로 스위치는 ZVS동작을 한다. 그리고 스위치 S1, S2는 듀티율이 일정하므로 같은 주파수에서 스위칭하게 되므로 제어회로가 상당히 간단하고 인덕터 전류가 2개의 회로로 분류되어 같은 용량시의 하드 스위칭보다 전류용량을 늘릴 수 있다. 또 스너버 콘덴서는 스위치 턴-온에 의해

서 부분공진회로로 되어 축적한 에너지를 입력전원측으로 회생하여 스너버 손실을 줄인다. 충분한 크기의 스너버 콘덴서를 사용하여도 변환기의 효율은 저하하지 않는다.

그림 2는 강압동작 특성을 분석하기 위하여 한주기를 4개의 동작모드로 나누어 나타낸 것이다.

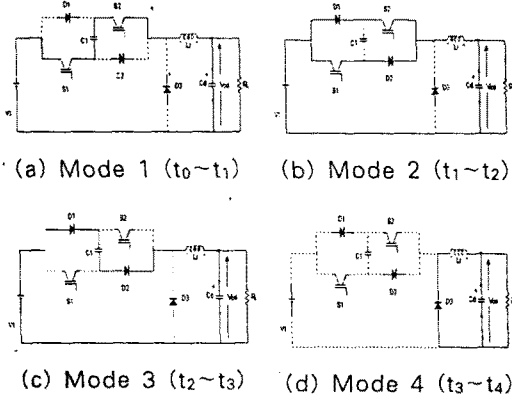


그림 2 강압동작시 스위칭한주기에서 각 동작모드별 등가회로

강압초퍼회로로 S3,S4는 항상 off 상태가 되며, S1, S2가 on, off 스위칭을 하여 강압초퍼로서 동작하게 된다. S1,S2가 on 일때는 S1,S2-Lr-Vb-Vs의 경로로 전류  $i_1$ 이 흐르고, 부하에 전압이 인가된다. 다음 S1,S2가 off되면 L에 축적되었던 에너지가 Lr-Vb-D3-Lr의 경로를 통하여 환류전류  $i_2$ 가 흐른다. 이때의 전압 방정식은 다음과 같다.

$$S1, S2가\ on일\ 경우 : L \frac{di_1}{dt} = V_s - V_b$$

$$S1, S2가\ off일\ 경우 : L \frac{di_2}{dt} = -V_b$$

**Mode 1 ( $t_0 \sim t_1$ )**

초기상태에서는 리액터 Lr에는 전류는 흐르지 않고 콘덴서 Cr에는 Er의 전압이 축적되어 있으므로 스위칭 소자를 동시에  $t_0$ 에서 턴-온하면 회로방정식은 다음과 같다.

$$E_r = L_r \frac{di_L(t)}{dt} + \frac{1}{C_r} \int i_L(t) dt + E_d \quad (1)$$

$$\text{단. } v_c(0) = \frac{1}{C_r} q(0) = E_r, \quad i_L(0) = \frac{dq(0)}{dt} = 0$$

Lr과 Cr은 공진하고 Cr은 방전을 한다.

**Mode 2 ( $t_1 \sim t_2$ )**

이 모드의 회로방정식은

$$E_r = \frac{L_r di_L(t)}{dt} + E_d \quad (2)$$

$$\text{단. } v_c(0) = 0, \quad i_L(0) = I_1$$

이 되고, 리액터 전류  $i_L$ 은 다음과 같이 선형적으로 증

가한다.  $v_c(t) = 0$

**Mode 3 ( $t_2 \sim t_3$ )**

시간  $t_2$ 에서 스위칭 소자를 턴-오프하면 회로방정식은 다음과 같다.

$$E_r = \frac{di_L(t)}{dt} L_r + \frac{1}{C_r} \int i_L(t) dt \quad (3)$$

$$\text{단. } v_c(0) = \frac{1}{C_r} q(0) = 0, \quad i_L(0) - \frac{dq(0)}{dt} = I_2$$

$$i_L(0) = \frac{dq(0)}{dt} = I_2$$

로 되고 Lr과 Cr은 공진해서 Cr이 충전된다.

**Mode 4 ( $t_3 \sim t_4$ )**

$t_3$ 에서 환류다이오드 D가 도통하면 회로방정식은

$$0 = L_r \frac{di_L(t)}{dt} + E_d \quad (4)$$

단.  $v_c(0) = E_r, \quad i_L(0) = I_3$  로 되며 리액터 전류  $i_L$ 은

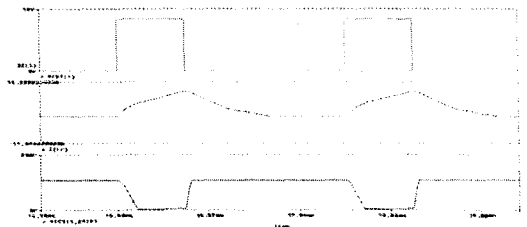


그림 3 스위칭동작에 대한 각부 시뮬레이션 파형

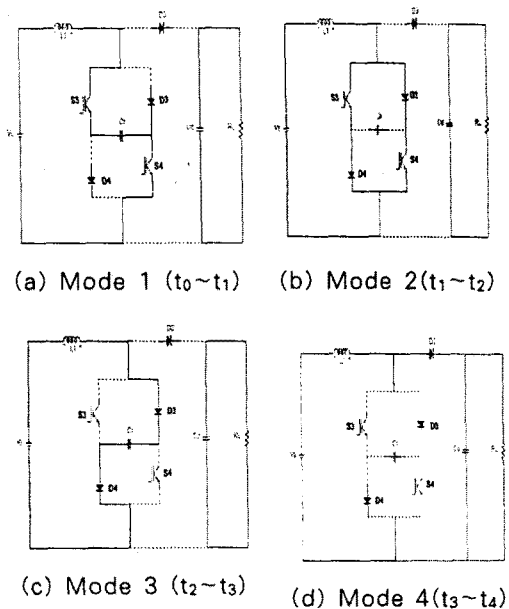


그림4 승압 동작시 스위칭 한주기에서 각 동작모드별 등가회로

부하측으로 흐르고  $v_L(t) = E_r$ ,  $i_L(t) = \left(\frac{L_r}{E_d}\right)t + I_3$ 과 같이 일정하게 된다.

이 모드는 리액터 전류가  $i_L(t) = 0$ 로 되면 끝나고 모드의 기간  $T_4$ 는 다음과 같게 된다.

$$T_4 = \frac{L_r}{E_d} I_3 \quad (5)$$

그림 4에서와 같이 병렬로 연결된 부분공진 소프트 스위칭이란 점 이외에 강압형 컨버터와 동일한 구조를 가진다. S1, S2는 항상 on상태가 되고, S3, S4가 on, off스위칭을 하여 승압초퍼로 동작하여 부하에 전원을 공급하는 회로로서  $V_s$ 와  $V_b$ 의 관계와  $I_s$ 와  $I_b$ 의 관계를 구하면  $V_s = (1-k)V_b$ ,  $I_s = 1/(1-k)I_b$ 가 된다.

#### Mode 1 ( $t_0 \sim t_1$ )

시각  $t_0$ 에서 스위치 S3과 S4를 동시에 턴-온 하면, 회로 경로는  $V_s - L_r - S3 - C_r - S4 - V_b$ 의 직렬공진 회로가 형성된다. 턴-온 직전의 인덕터  $L_r$ 에 흐르는 전류  $i_{Lr}$ 는 영이므로 S3, S4는 ZCS로 동작을 한다. 그리고 전원 전압  $V_d$ 와 콘덴서의 충전전압  $V_{cr}$ (=출력전압  $V_{od}$ )와의 합이 인덕터  $L_r$ 에 인가되어  $L_r$ 와 콘덴서  $C_r$ 는 직렬공진을 하고  $C_r$ 은 방전한다.

#### Mode 2 ( $t_1 \sim t_2$ )

모드 2는 콘덴서 전압  $v_{cr}$ 이 영으로 되어 다이오드 D3, D4가 도통되는 모드이다. 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터  $L_r$ 의 전류는 D3-S3, S4-D4의 두 회로로 분류한다. 이 모드의 기간에서 인덕터  $L_r$ 는 에너지를 축적한다.

#### Mode 3 ( $t_2 \sim t_3$ )

시각  $t_2$ 에서 스위치 S3, S4를 오프하면, 인덕터  $L_r$ 의 전류  $i_{Lr}$ 는 D3-Cr-D4를 통하여 흐르고 인덕터  $L_r$ 와 콘덴서  $C_r$ 는 다시 직렬공진을 하여  $C_r$ 를 충전시킨다. 콘덴서  $C_r$ 와 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진 초기에서 콘덴서  $C_r$ 의 전압이 영이므로 ZVSO 동작된다.

#### Mode 4 ( $t_3 \sim t_4$ )

모드 4는 콘덴서  $C_r$ 의 충전이 끝난 후 다이오드 D3를 통하여 인덕터  $L_r$ 의 전류가 부하측으로 유입되는 모드이다. 이 때의 인덕터 전류  $i_{Lr}$ 는 직선적으로 감소하며, 인덕터 전류가 영으로 되면 이 모드는 끝난다.

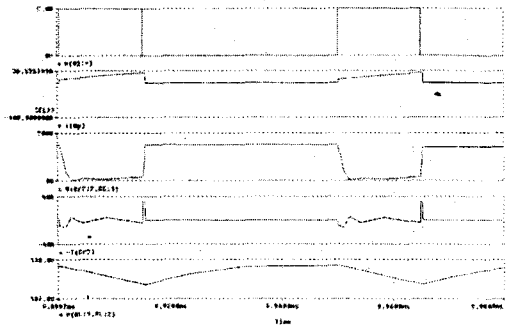


그림 5 스위칭동작에 대한 각부 시뮬레이션 파형

이 논문은 '97 한국학술진흥재단 학제간연구 사업으로 연구되었음.

### 3. 결 론

정전압을 공급하는 회로에 있어서 복잡한 회로가 아닌 단순한 부분공진형 소프트 스위칭을 사용할 경우 종래의 승강압 전력변환장치보다 전력변환장치에 의한 스위칭 손실을 줄이고 고효율화를 도모할 수 있다. 게이트 제어 회로구성에 있어서 DSP, 80196등의 프로세서를 사용하면 신뢰성과 정밀도를 향상할 수 있다. 그러나 실질적으로 높은 주파수를 요구하는 IGBT, GTO등의 반도체 소자의 비용은 기존의 SCR보다 경제적이지 못하다는 것과 프로세서를 통한 제어기기의 보급이 활성화되어 있지 않으므로, 경제적인 면을 좀더 고려할 수 있게 된다. 면 실질적인 응용분야는 확대될 것이다.

### 참 고 문 헌

1. D. M. Devan and G. Skibinski, "Zero-switching loss Inverter for high power applications." IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA25, No. 4, pp.634-643, 1989
2. D. M. Devan, "The resonant DC link converter: a new concept in static power conversion." IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. IA25, No. 2, 1989, pp.317-325
3. 이현우등 : "부분공진 스위칭 모드 고효율 DC-DC부스트 컨버터", 전기학회논문지, Vol.45, No.9, pp.1272 -1278, 1996.8.
4. Hyun-woo Lee: "Soft switching buck-boost converter for photovoltaic power generation", '96 Japen Solar Energy Society(JSES) Con. Rec., 1996.10.30.