

부분공진형 승·강압 초퍼의 새로운 토폴로지

°고강훈, 라병훈, 권순걸, 구현희*, 이현우
 경남대학교 전기공학과, 한국전기연구소*

New topology of Partial Resonant Type Buck-Boost Chopper

°K.H.Ko, B.H.Ra, S.K. Kwon, H.H.Gu* , H.W.Lee
 KyungNam University, Dep. of Electrical Engineering, KERI*

Abstracts-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.

1. 서 론

본 논문에서는 부하의 변화가 심한 산업현장에서 사용되어지는 승강압 DC-DC컨버터에 있어서, 사용되는 스위치들은 Buck-Boost Mode 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 영전압스위칭(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-Off 時

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 Chopper)를 해석하고, 시뮬레이션하였다.

2. 부분공진형 승강압초퍼회로

2.1 일반적인 승강압회로



그림 1 일반적인 승·강압 컨버터회로

기본적인 승·강압컨버터회로는 입력전압의 변동에 대하여 출력전압을 제어하기 위하여 그림 1에 나타낸 것과 같이 에너지 축적용 인덕터를 사용하며, 스위치의 PWM제어에 의해 동작된다.

PWM제어에 의해서 인덕터에 흐르는 전류를 연속모드(CCM : Continuous Conduction Mode) 또는 불연속모드(DCM : Discontinuous Conduction Mode)로 제어할 수 있다. 사용되어진 승강압용 인덕터 L와 평활용 콘덴서 C는 스위칭 S1,S2의 스위칭주파수의 증가에 의해 소형화 될 수 있으며, 가칭 주파수(약 20Hz ~ 20kHz)이상의 스위칭 주파수에서 저잡음화가 가능하다. 그러나 변환기에 사용된 스위치들은 높은 스위칭 주파수에 의해 스

위칭 손실이 크며 많은 스트레스를 받게 되어 변환기의 효율을 현저히 감소시킨다.

승·강압형 컨버터의 PWM제어에서 CCM으로 제어하면 출력전압의 크기는 한정되지 않으나 제어기법에 어려운 문제가 있다. DCM으로 제어할 경우는 승압의 한계는 주어지나 듀티율 일정제어가 가능하므로 제어가 용이하며, 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.

2.2 제안된 컨버터의 주회로

2.1에서의 문제점을 해결하기 위해 그림 2는 부분공진의 기법을 컨버터에 적용한 "부분공진형 승·강압 초퍼"의 회로도이다. 전류불연속모드(DCM)로 동작되며, 스위치 S1, S2의 턴-온, 턴-오프 동작을 부분공진 소프트 스위칭으로 만들어 컨버터의 효율을 증대시킨다.

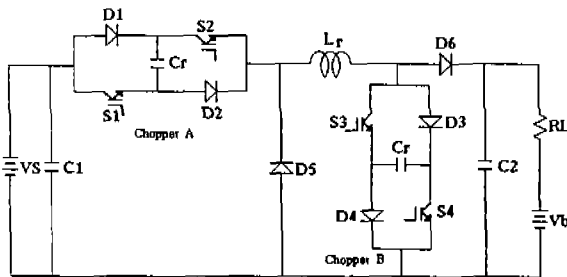


그림 2 소프트 스위칭에 의한 승강압 초퍼회로

그림 2는 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 배로 늘릴 수 있다. 또 스너버 콘덴서는 스위치 턴-온에 의해서 부분공진회로로 되어 축적한 에너지를 입력전원측으로 회생하여 스너버 손실을 줄인다. 충분한 크기의 스너버 콘덴서를 사용하여도 변환기의 효율은 저하하지 않는다.

3. 부분공진형 승강압초퍼 회로해석

3.1 시뮬레이션에 사용된 회로정수

PSPICE 시뮬레이션에 사용된 회로정수를 표 1에 나타내었다.

입력전압 Vs	100V
출력전압 Vcd	100V
공진 인덕터 Lr	65μH
공진 콘덴서 Cr	100nF
평활용 콘덴서 Cd	2200μF
부하저항 RL	10 Ω
스위칭 주파수 fc	20kHz
듀티율 Dc (Ton/Tc)	30%

표 1 시뮬레이션에 사용된 회로정수

3.2 강압동작시 회로

그림3에 나타낸 회로는 강압초퍼회로로 초퍼부 B는 항상 off 상태가 되고, 초퍼부 A가 on, off 스위칭을 하여 강압초퍼로 동작하며 태양전지로부터 축전지에 충전되는 방식의 회로이다. 초퍼부 A가 on 일때는 초퍼부 A-Lr-Vb-Vs의 경로로 전류 i1이 흐르고, 부하에 전압이 인가된다. 다음초퍼부 A가 off되면 L에 축적되었던 에너지가 Lr-Vb-D5-Lr의 경로를 통하여 환류전류 i2가 흐른다. 이 때 전압 방정식은 다음과 같다.

초퍼부 A가 on일 경우 :

$$L \frac{di_1}{dt} = V_s - V_b \quad (6)$$

초퍼부 A가 off일 경우 :

$$L \frac{di_2}{dt} = -V_b \quad (7)$$

3.2.1 각 모드별 해석

부분공진 소프트 스위칭 모드 DC-DC 강압형 컨버터의 주 회로도를 그림 5에 나타내었다. 회로구성은 기존의 강압형 컨버터의 입력측과 부하단 사이에 소프트 스위칭과 강압을 겸하는 공진 회로부를 접속한다.

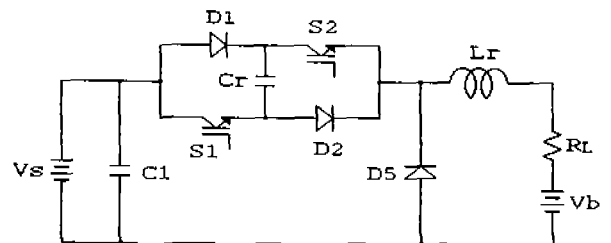


그림 3 부분공진 소프트 스위칭 모드 DC-DC 강압형 컨버터

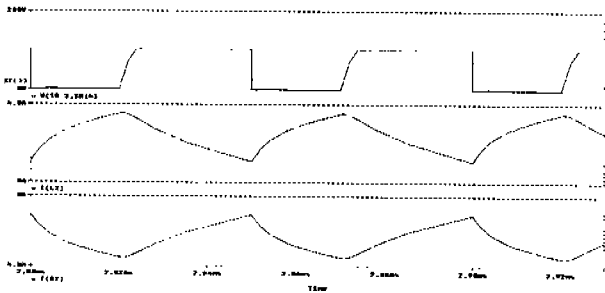


그림 4 강압동작시 각부 시뮬레이션 파형

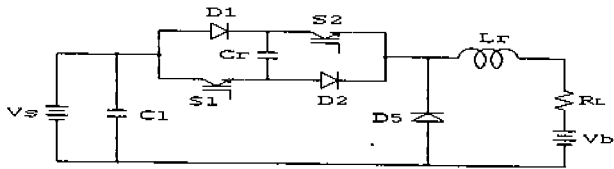


그림 5 부분공진 소프트 스위칭 모드 DC-DC 강압형 컨버터

소프트 스위칭 강압형 컨버터의 회로의 콘덴서 Cr은 스위칭 소자 S1, S2의 턴-오프에 있어서 영전압 스위칭을 실현시키기 위해서 이용되는 스너버 콘덴서이다. 리액터 Lr의 전류를 불연속으로 하는 것에 의해 S1, S2의 턴-온은 ZCS로 동작되고, 턴-오프는 ZVS의 소프트 스위칭 동작을 한다. 이를 모드별로 해석하면 다음과 같다.

● Mode 1 (t0)

초기상태에서는 리액터 Lr에는 전류는 흐르지 않고 콘덴서 Cr에는 Er의 전압이 축적되어 있으므로 스위칭 소자를 동시에 t0에서 턴-온하면 회로방정식은 다음과 같다.

$$E_r = L_r \frac{di_L(t)}{dt} + \frac{1}{C_r} \int i_L(t) dt + E_d \quad (3.1)$$

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

Lr과 Cr은 다음과 같이 공진하고 Cr은 방전을 한다.

$$v_c(t) = (2E_r - E_d) \cos w_r t - (E_r - E_d) \quad (3.2)$$

$$i_L(t) = \frac{2E_r - E_d}{X_r} \sin w_r t \quad (3.3)$$

단, $w_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}$, $X_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}$ 이다.

이 모드는 $v_c(t) = 0$ 으로 되면 종료한다. 이 모드의 기간 T1은 다음과 같다.

$$T_1 = \frac{1}{w_r} \cos^{-1} \left(\frac{E_r - E_d}{2E_r - E_d} \right) \quad (3.4)$$

리액터 전류의 최종값 I1은 다음식으로 주어진다.

$$I_1 = i_L(T_1) = \frac{1}{X_r} \sqrt{3E_r^2 - 2E_r E_d} \quad (3.5)$$

● Mode 2 (t1)

이 모드의 회로방정식은

$$E_r = \frac{L_r di_L(t)}{dt} + E_d \quad (3.6)$$

단, $v_c(0) = 0, \quad i_L(0) = I_1$

이 되고, 리액터 전류 i_L 은 다음과 같이 선형적으로 증가한다. $v_c(t) = 0$

$$i_L(t) = \frac{E_r - E_d}{L_r} t + I_1 \quad (3.7)$$

스위칭 소자를 동시에 턴-오프하면 이 모드는 종료된다. 여기서 스위칭 소자의 ON시간을 T_{ON} 으로 하면 이 모드의 계속시간 T2는 $T_2 = T_{ON} - T_1$ 이고 리액터 전류는 곧 I_2 에 도달한다.

$$I_2 = i_L(T_2) = \frac{E_r - E_d}{L_r} (t_{on} - T_1) + I_1 \quad (3.8)$$

● Mode 3 (t3)

시간 t2에서 스위칭 소자를 턴-오프하면 회로방정식은 다음과 같다.

$$E_r = \frac{di_L(t)}{dt} L_r + \frac{1}{C_r} \int i_L(t) dt \quad (3.9)$$

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

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

로 되고 Lr과 Cr은 다음과 같이 공진해서 Cr이 충전된다.

$$v_c(t) = X_r I_a \sin(w_r t + \theta) + (E_r - E_d) \quad (3.10)$$

$$i_L(t) = I_a \cos(w_r t + \theta) \quad (3.11)$$

$$\text{단, } I_a = \sqrt{I_2^2 + \left(\frac{E_r - E_d}{X_r} \right)^2}$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{E_r - E_d}{\sqrt{X_r^2 I_2^2 + (E_r - E_d)^2}} \right)$$

Cr이 Er까지 충전되면 이 모드는 종료된다. 계속

$$\text{시간 T3는 } T_3 = \frac{1}{w_r} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{E_d}{X_r I_r} \right) - \theta \right\} \quad (3.12)$$

로 되고 리액터 전류의 최종값 I_3 는 다음식으로

$$\text{된다. } I_3 = i_L(T_3) = \sqrt{I_a^2 - \frac{E_d^2}{X_r^2}} \quad (3.13)$$

● Mode 4 (t_4)

t_3 에서 환류다이오드 D가 도통하면 회로방정식은

$$0 = L_r \frac{di_L(t)}{dt} + E_d \quad (3.14)$$

단, $v_c(0) = E_r$, $i_L(0) = I_3$ 로 되며 리액터 전류 i_L 은 부하측으로 흐르고 다음식과 같이 선형적으로 감소한다.

$$v_c(t) = E_r, \quad i_L(t) = \left(\frac{L_r}{E_d}\right)t + I_3$$

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

$$T_4 = \frac{L_r}{E_d} I_3 \quad (3.15)$$

다음에 T_4 에서 리액터 전류 i_L 이 영으로 되고 다음 주기에서 스위칭 소자가 턴-온할 때까지 이 모드는 계속되고 각 값은 다음과 같이 일정하다.

$$v_c(t) = E_r, \quad i_L(t) = 0$$

스위칭 동작의 1주기를 T_b 로 하면 리액터 전류를 불연속으로 하기 위해서는 t_0 에서 t_4 기간이 1주기보다 적게 되는 조건이 필요하다.

3.3 승압동작시 회로

그림 7에서와 같이 병렬로 연결된 부분공진 소프트 스위칭이란 점 이외에 강압형 컨버터와 동일한 구조를 가진다. 초퍼부A는 항상 on상태가 되고, 초퍼부B가 on, off스위칭을 하여 승압초퍼로 동작하며 태양전지로부터 축전지에 충전하는 방식의 회로로서 V_s 와 V_b 의 관계와 I_s 와 I_b 의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$V_s = (1-k)V_b, \quad I_s = 1/(1-k)I_b$$

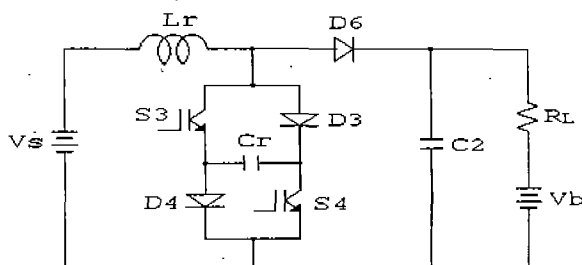


그림 6 부분공진 소프트 스위칭 모드 DC-DC 승압형 컨버터

그림 8은 승압초퍼회로의 동작파형을 나타낸 것이다.

이 논문은 한국과학재단의 '98 핵심전문연구 사업으로 연구되었음.

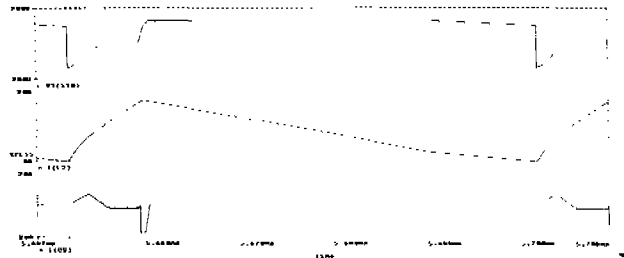


그림 7 승압동작시 각부 시뮬레이션 파형

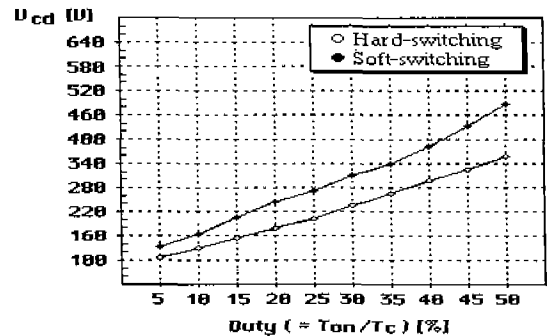


그림 8 듀티율 변화에 대한 출력전압의 변화

4. 결론

부하 변동이 심한 산업현장에 있어서 복잡한 회로가 아닌 단순한 부분공진형 소프트 스위칭을 사용할 경우 종래의 승압전력변환장치보다 전력변환장치에 의한 스위칭 손실을 줄이고 고효율화를 도모할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 실질적으로 높은 주파수를 요구하는 반도체소자의 비용은 기존의 SCR보다 비용이 비싼 편이다. 경제적인 면을 좀더 고려할 수 있게 된다면 실질적인 응용분야는 넓다고 생각된다.

참고 문헌

1. 이현우 등, "태양광 발전을 위한 고효율 전력 변환장치", 전기학회학술논문집, pp.450-452, 1996.7.
2. 이현우 등 : "부분공진 스위칭 모드 고효율 DC-DC부스트컨버터", 전기학회논문지, Vol.45, No.9, pp.1272 -1278, 1996.8.
3. Hyun-woo Lee: "Soft switching buck-boost converter for photovoltaic power generation", '96 Japen Solar Energy Society(JSES) Con. Rec., 1996.10.30.