가변밴드폭 전류 연속모드로 동작하는 고역률 단상 Boost Converter의 파라메타 산정에 관한 연구

윤병한*, 권 순재**, 유동욱***, 김 철우*
* 부산 대학교, ** 부산 공업대학교, *** 전기 연구소

Parameter Calculation of HPF Single Phase Boost Converter Operated by Variable Hysteretic Current Mode Control

Byung-Han Yun*, Soon-Jae Kwon**, Dong-Wook Yoo***, Cheul-U Kim*
* Pusan Univ., ** Pusan Inst.Univ., *** KERI

Abstract - Single phase AC to DC Boost-converter which is controlled with a variable hysteretic current mode for improvent of input power factor makes high power factor possible. Power Factor correction circuit can be identified with a determination of each parameters. A simaluation and experment result to load and parameter variation is examined.

1. 서론

최근에와서는 전력용 FET소자가 고속화 되고 고밀도화 됨에 따라 수백~수천KHz 범위의 Switching Regulator가 극소형으로 실현화된 단계이다. 그러나 KW급 이상의 고출력 고주파 전원장치에서는 교류전원을 정류한 DC Link형이 주로 사용되고 있다. 고주파 전원장치는 DC Link를 중심으로 1차측을 상용교류라 할 때 고주파 인버어터와 이에 연결된 부하는 2차측에 해당하는 전력변환장치라 볼 수 있다. 따라서 2차측의 부하조건에 따라 필요한 전력과 주파수가 결정되면 이에 해당하는 전력을 1차측인 상용교류전원이 공급해야한다. 그러나 다이오드 정류회로로 구성되는 DC Link 때문에 교류입력 전류는 의형파가 되어 교류입력 역률이 매우 낮아진다. 그러므로 전력변환장치의 교류입력역률을 최대한 개선하고 교류입력 전류를 거의 정현파로 유지한다는 것은 에너지 절감이란 관점에서 매우 중요하다.[1),2),3)]

본 연구에서는 단상 Boost Converter의 출력조정과 동시에 입력전류가 상전압과 동상에 가장 가까운 정현파가 되도록 하기 위해 Variable Hysteretic Current Mode로 제어회로를 구성하여 단상 교류입력역률을 1에 가깝게 유지할 수 있도록 시스템의 파라메타 산정을한다. 제시된 파라메타에 의해 시뮬레이션과 실험을 통하여 이를 확인코져 한다.

2. 회로구성 및 기본동작 개념

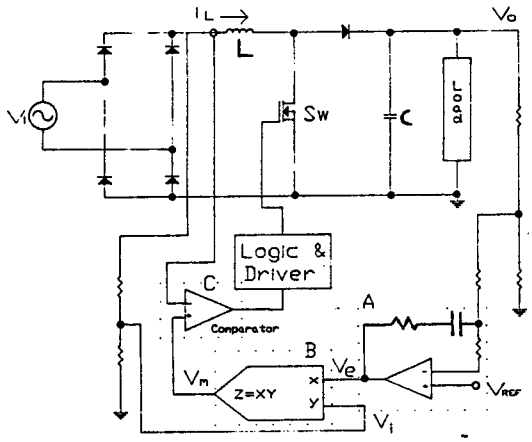

그림 1. 단상 부스터 콘버어터의 주회로 구성

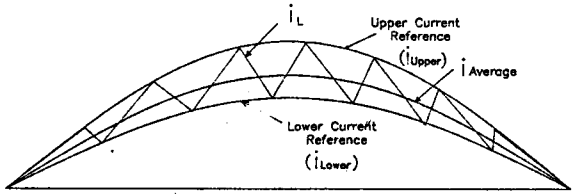

그림 2. 가변 밴드폭에 의한 기본동작 파형

그림 1은 가변 전류밴드폭 모드로 동작하는 단상 부스터 콘버터의 주회로 구성을 나타내며, 출력전압 V_o와 V_{ref}에 의한 Error전압 V_e와 입력전류 V_i의 곱으로 그림 2에서 정류전압과 동위상의 지령전류에 inudctor전류가 추종해 가록 스위치의 On,Off시간을 결정한다. 이때 평균 inductor전류는 $I_{average}$가 된다. 지령전류의 리플 Δ는 다음과 같다.

$$V_e = V_{ref} + Z_f/Z_i(V_{ref} - V_o) \quad ---(1)$$

$$\Delta = \delta \sin \omega t \quad ---(2)$$

$$(\delta = I_{up} - I_{low})$$

여기서 I_{up}, I_{low}는 각각 상위,하위 지령전류의 Peak치 이다.

3. 파라메타 산정

가. Inductor

입출력 관계식에서

$$(V_p \sin \omega t)t_{on} = (V_o - V_p \sin \omega t)t_{off} \quad ---(3)$$

으로 쓸 수 있고, 식(3)의 양변에 $1/T_s$를 곱하여

$$d(t)V_p \sin \omega t = (V_o - V_p \sin \omega t)(1 - d(t)) \quad ---(4)$$

$$d(t) = 1 - \frac{V_p \sin \omega t}{V_o} \quad ---(5)$$

식(5)와 같이 Duty비를 알 수 있다. 또한 스위치의 On-time은 식(6)으로 계산된다.

$$t_{on}(t) = \frac{\delta L}{V_p - \omega L I_{upper} \cot \omega t} \quad ---(6)$$

식(6)에서 정류전압의 Peak치 부근에서 t_{on}은

$$t_{on} = \delta L / V_p \quad ---(7)$$

으로 근사화 될 수 있다. 식(5)와 식(7)에서 inductor 값은 출력전압,입력전압,요구되는 최소 스위칭 주파수, 출력전력,전류 리플분에 의해서 산정할 수 있다. 순시 전류의 최대값 $I_{peakmax}$는 식(8)과 같다.

$$I_{peakmax} = \frac{\sqrt{2} \cdot W \cdot (200 + a)}{\eta \times 200 \cdot V_{rms}} \quad (8)$$

W : 출력 전력

a : 전류 리플분(%)

η : 효율 (0-1)

나. output capacitor

출력전압의 유지시간을 나타내는 출력단의 전해 콘덴서의 값 C는 식(9)로써 구할 수 있다.

$$C = \frac{2P_o t_{hold}}{[V_o^2 - (V_o(1-\alpha))^2] \cdot \eta} \quad (9)$$

t_{hold} : 전압 유지 시간

α : 전압 변동율(0-1)

η : 효율(0-1)

다. 보상 계수

정상상태시 출력전압의 변동과 부하변동에 대한 전압보상기의 출력에대해서 입력전류의 응답특성과 출력전압에 대한 결과로 나타난다. 보상회로의 출력 V_e와입력전류의 곱으로 나타나는 전류지령으로 역률1를 유지하기 위해서는 응답속도에 제한이 따르게 된다. 보상계수 k_i 및 k_p선정에 따른 전류지령의 변화를 실시간 시뮬레이션을 통해서 본 전류,전압, V_e의 출력파형에서 입력전류의 왜곡 정도와 출력전압의 응답은 그림 3과 같다.

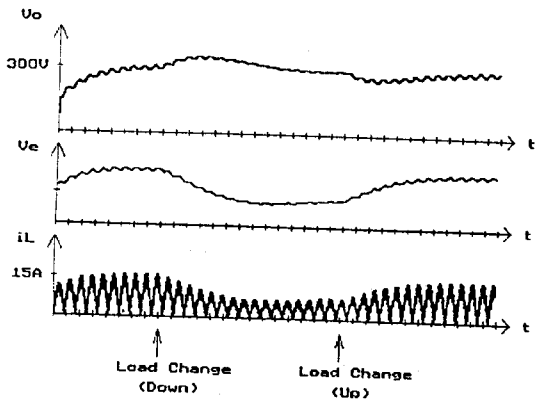

그림 3. 시뮬레이션 결과

4.실험 결과

앞서 기술한 내용에서 얻은 각 파라메타의 값에 대한 실험파형은 그림 4,5와 같다.
1Kw 저항부하에 대하여 정상상태에서 시뮬레이션에서 입력 역률 1에 가까운 보상기를 설계하여 실 실험에 의한 결과 스위칭 주파수는 40k~80k정도 범위에서 구동하였다.

Vin_rms = 110 V Vo = 300V DC
L = 480uH C = 470uF

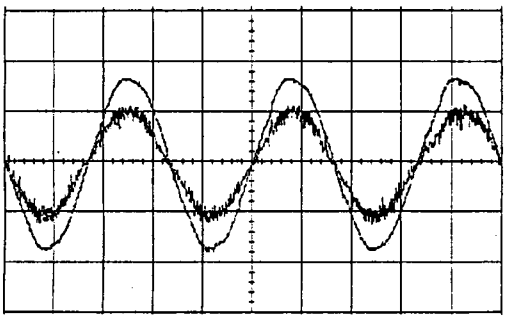

그림 4. 입력전압 및 전류파형

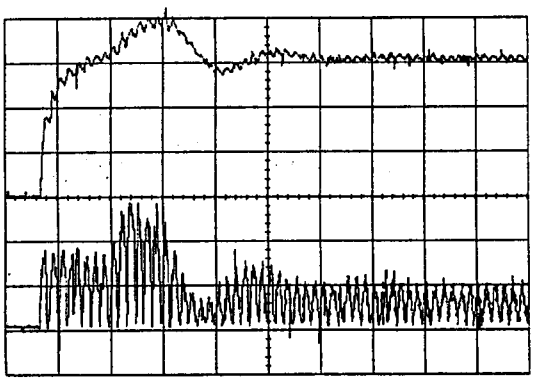

그림 5. 추력전압 및 Inductor 전류파형

5. 결론

시뮬레이션에서 입력 역률 1에 가까운 보상기를 설계하여 실 실험에 의한 결과 스위칭 주파수는 40k~80k정도 범위에서 구동하였다. 입력 역률이 90%이상 되며 부하변동에 대하여 응답특성과 전압변동은 7% 정도로 나타났다. 저항부하에 대하여 분석한 내용 및 실험결과에서 실시간 시뮬레이션한 결과와 비교할 때 비교적 잘 추종하였지만 일정부하에 대한 분석이 뒤따라야할 것으로 본다.

참고 문헌

1. C.Zhou and M.M.Jovanovic "Design Trade-Offs Continuous Current Mode Controlled Boost Power-Factor Correction Circuits", VPEC'92 pp57-67, 1992

2.W.Tang,F.C.Lee and R.B.Ridley, "Small-Signal Modeling of Average Current-Mode Control", Applied Power Electronics Conference Proceeding, pp.747-755, 1992

3. James B. Williams, "Design of Feedback Loop in Unity Power Factor AC to DC Converter", PESC'89, pp.959-967, 1989

4. Chen Zhou,Raymond B.Ridley,andFred C.Lee, "Design and Analysis of A Hysteretic Boost Power Factor Correction Circuit", PESC'90, pp.800-807, 1990

5. Kalyan K.Sen Alexander E.Emanuel,"Unity Power Factor Single phase Power Conditioning", PESC'87, pp.516-524, 1987