

노트북 컴퓨터 어댑터용 능동 클램프 포워드 컨버터 변압기 특성

윤 경 현, 김 창 선
목포대학교 전기공학과

The Transformer Characteristics of the Active Clamp Forward Converter for Notebook Computer Adapter

YOON Kyounghyun, KIM Changsun
Dept. of Electrical Eng. Mokpo National University

ABSTRACT

The active clamp forward converter provides zero voltage switching and low voltage stress in wide input voltage range. It has a high efficiency at a high switching frequency and the clamped energy is recovered to the input stage. It is available for the power adaptor circuit of notebook computer. The adaptor with 19.5V/200W output power is designed for notebook computer. Specially, it is considered the transformer properties of the converter in design process. The organized process is checked by the validity from the test of the active clamp forward converter.

1. 서 론

액티브 클램프 포워드 컨버터는 넓은 입력전압범위에서 영진압 스위칭과 저전압 스트레스의 특성을 갖고 있다. 클램프된 에너지를 입력전원으로 회생시키기 때문에 고주파 스위칭 주파수에서도 높은 효율을 유지한다. 이러한 특징으로 인해 노트북 컴퓨터의 전력 어댑터 회로로 이용이 가능하다. 노트북 컴퓨터의 어댑터용으로 입력전압과 출력은 19.5V/200W로 설계하였다. 본 논문에서는 컨버터 설계에 있어서 중요한 변압기 특성에 대해 고찰하였고 설계과정을 정리하였다. ^{[1][2]}

2. 본 론

2.1 능동 클램프 포워드 컨버터의 최적 변압기 설계

표 1 변압기 설계 사양

Table 1 Transformer design specification

input, Vin	120~400[V]
output, Vo	19.5[V]
Output Current, Io	6.15[A]
Frequency, fs	150[kHz]
Efficiency, η	98%
Output power, Po	120[W]
Regulation, α	1%
Operating flux density, ΔB	0.1[T]

core material, Ferrite TP4A (TDG), EFD 30

Maximum flux, Bmax = 510mT

Initial permeability, u= 2400 (From datasheet)

변압기를 최적으로 설계하려면, core loss와 wire loss를 줄여

야 한다. 액티브 클램프 포워드는 ZVS 를 만족하기 위하여 반드시 Lm값을 적정하게 선정해주어야 한다. Lm값은 또한 변압기 1차측의 턴수와 정비례하기 때문에 Lm값을 크게 하면 Wire loss도 따라서 커진다. 또한 Wire loss를 줄이기 위해서는 1,2차의 선경도 너무 가늘게 할 수 없기 때문에, Lm을 만족하고 Wire loss도 적게 하는 동시에 코어의 Window area의 크기 등 여러 가지를 고려하고 시행착오를 거친 후에 타협적으로 EFD30코어를 선택하게 되었다.

1, 출력전류와, 출력전압으로 output power, Po를 구하면

$$P_o = I_o(V_o + V_d), [watts] \\ = 124.23, [watts] \quad (1)$$

2, 입력 power Pin는

$$P_{in} = \frac{P_o(1.1)}{\eta}, [watts] \\ = 139.44, [watts] \quad (2)$$

3, Ku=0.29를 이용하여 전류밀도 J를 구하면,

$$J = \frac{2P_{in}\sqrt{D_{max}}(10^4)}{fA_c\Delta BW_aK_u}, [amps/cm^2] \\ = 435.028, [amps/cm^2] \quad (3)$$

4, duty와 input 전압으로 구한 1차측의 전류 실효치는

$$I_p = \frac{P_{in}}{V_{in}\sqrt{D_{max}}}, [amps] \\ = 1.42, [amps] \quad (4)$$

5, 1차측 전류실효치와 전류밀도로 1차측 동선의 단면적 Aw(B)를 구하였다.

$$A_{\phi(B)} = \frac{I_p}{J}, [cm^2] \\ = 0.0016, [cm^2] \quad (5)$$

6, ac손실을 줄이기 위하여 USTC선을 선택하였다.

USTC Wire 0.01cm (6)

$$A_{wB(0.01cm)} = \frac{\pi D^2}{2} = 0.000157 [cm^2]$$

$$NS_p = \frac{A_{\nu(B)}}{A_{wB(0.01cm)}} = 20.788 \cong 21$$

7, 다음으로 동선의 길이 당 저항값을 구하면,

USTC 0.01cm × 20 (7)

$$A_w = \frac{\pi D^2}{2} = 1.5708 \times 10^{-8} m^2$$

$$dc1wire(\Omega/m) = \frac{\rho}{A_w} = 1.0975 \Omega/m$$

$$dc1wire(\Omega/m) = \frac{\rho}{20 \cdot A_w} = 0.54875 \Omega/m$$

$$= 548.75 \frac{\mu\Omega}{cm}$$

8, 1차측 동선의 길이에 의해 저항 Rp를 구하면,

$$R_p = (MLT)(N_p) \left(\frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}), [ohms] \quad (8)$$

$$= 0.1177, [ohms]$$

9, 1차측 전류와 저항으로 구한 동선손실은

$$P_p = I_p^2 R_p, [watts] \quad (9)$$

$$= 0.24, [watts]$$

10, 우선 2차측 턴수를 구하였다.

$$N_s = \frac{N_p(V_o + V_d)}{D_{(max)} V_{in(min)}} \left(1 + \frac{\alpha}{100} \right), [Turns] \quad (10)$$

$$= 9.895 \cong 10, [Turns]$$

11, 2차측의 전류 실효치는

$$I_s = \frac{I_o}{\sqrt{2}}, [amps] \quad (11)$$

$$= 4.35, [amps]$$

12, 전류밀도와 2차측 전류실효치로 동선단면적을 구하였다.

$$A_{w(B)} = \frac{I_s}{J}, [cm^2] \quad (12)$$

$$= 0.01, [cm^2]$$

13, ac손실을 줄이기 위하여 USTC선을 선택하였다.

USTC Wire 0.01cm (13)

$$A_{wB(0.01cm)} = \frac{\pi D^2}{2} = 0.000157 [cm^2]$$

$$NS_p = \frac{A_{\nu(B)}}{A_{wB(0.01cm)}} = 63.69 \cong 60$$

14, 동선의 단위길이당 dc저항을 구하였다.

USTC 0.01cm × 60

$$A_w = \frac{\pi D^2}{2} = 1.5708 \times 10^{-8} m^2$$

$$dc1wire(\Omega/m) = \frac{\rho}{A_w} = 1.0975 \Omega/m$$

$$dc1wire(\Omega/m) = \frac{\rho}{60 \cdot A_w} = 0.0183 \Omega/m$$

$$= 183 \frac{\mu\Omega}{cm}$$

(14)

15, 2차측 동선길이에 2차측 동선의 저항값을 구하였다.

$$R_s = (MLT)(N_s) \left(\frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}), [ohms] \quad (15)$$

$$= 0.01, [ohms]$$

16, 2차측 동선저항값과 2차측 전류실효치로 2차측 wire loss를 구하였다.

$$P_s = I_s^2 R_s, [watts] \quad (16)$$

$$= 0.19, [watts]$$

17, 1차측과 2차측의 wire loss 총합은 전체 동선 loss이다.

$$P_{cu} = P_p + P_s \quad (17)$$

$$= 0.43, [watts]$$

18, core loss vs flux density 도표로 Core loss를 구하였다.

Bm이 100mT 일때 core loss 는 0.47W이다.

19, 변압기의 전체 loss는

$$P_{\Sigma} = P_{fe} + P_{cu}, [watts] \quad (18)$$

$$= 0.9, [watts]$$

3. 결론

공진형 컨버터들은 입력전압이 높으면 전압스트레스도 높아지게 되며, 스위치의 전도손실도 따라서 증가하게 된다. 더욱이 넓은 입력전압 범위의 입력전압을 가질 때 컨버터의 듀티(D)의 변화 범위도 커지면서 전압스트레스 문제, 변압기 포화등 여러 문제가 야기 된다. 본 논문에서는 넓은 입력범위에서 최적화로 동작하고, 효율을 최적화하기 위하여 변압기의 최적화 설계를 제안하였다. 19.5V/120W정격의 컨버터를 제작, 실험하여 액티브 클램프 포워드 회로의 타당성을 입증하였고 90%이상의 효율을 얻을 수 있었다. 각종 분석을 통하여 주 스위치의 전압스트레스를 최적으로 선정하기 위하여 듀티(D)와 턴비(N)의 값을 적절하게 선정하였으며, 변압기의 턴비와 전류의 관계가 효율에 영향을 주기 때문에 자화 인덕턴스 값을 적절하게 선정하였다. Delay time을 계산하여 주 스위치의 확실한 ZVS동작을 확보하였다.

참고 문헌

[1] Hee Jun Kim, F.C.Lee, C.S. Leu, Farrington, "Clamp mode zero-voltage-switched multi-resonant converters," IEEE PESC' 92, pp.58~84, 1992.

[2] B.Carsten, "Design techniques for transformer active reset circuit at high frequencies and power levels," in proc. HFPC, 1990, pp.235-246.