

조명 제어용 LLC 공진형 하프브리지 컨버터 변압기 설계 특성

임성진*, 김창선*, 유진호**, 천승환**
 목포대학교*, (주)도올정보기술**

The Transformer Characteristics of LLC Resonant Half-Bridge Converter for Universal Lighting control system

Lim Seongjin*, Kim Changsun*, You Jinho**, Cheon Seunghwan**
 Mokpo National University*, Doul Infotech**

Abstract - In case of the power conversion converter for driving the Lighting control system, the input voltage widens from 90 V_{rms} to 264 V_{rms} . Among various methods, LLC half-bridge converter has wide input regulation range and limited switching frequency control range and ZVS is possible for even non-loaded case. Also, the converter can be applied for Universal Lighting control system. In this paper, the transformer design is studied. The efficiency measured is up to 90%.

1. 서 론

조명 제어 시스템 구동을 위한 전력변환 컨버터의 경우 프리 레귤레이션 이터인 역률개선 회로로 인해 DC전력변환 컨버터의 입력전압이 약 385 V_{DC} 에서 동작하게 되고, 전과정류를 적용할 경우 입력은 90 V_{rms} ~ 264 V_{rms} 의 넓은 입력전압 범위를 갖는다. 넓은 입력전압 범위에서는 소형화의 지표인 전력밀도와 효율을 높이기 위한 설계가 용이하지 않다. 여러 회로 방식 중 LLC 하프 브리지 컨버터는 넓은 입력 레귤레이션 범위와 제한된 스위칭 주파수 제어 범위를 가지고 있으면서 무부하에서도 ZVS가 가능하다. 또한 회로 내에 주파수로 인한 기생 요소들을 이용하여 ZVS 영역에서 동작을 시킬 수 있기 때문에 조명 제어용 컨버터로써 유용하다. 따라서 본 논문에서는 조명 제어용으로 역률개선회로를 적용한 LLC 공진형 하프 브리지 컨버터에 있어서, 전력변환 소자 중 가장 중요한 변압기 설계에 대해 고찰하였다. 170W급의 설계를 통하여 EER3944코어를 사용하였으며 설계 검토결과 효율은 90%로 측정되었다.

2. 본 론

<표 1> 설계 사양

input, V_{in}	: 385[V]
output, V_o	: 24[V]
Output Current, I_o	: 7[A]
Frequency, f_s	: 80[kHz]
Efficiency, η	: 80%
Output power, P_o	: 170[W]
Regulation, α	: 1%
Diode Voltage, V_d	: 1[V]
Operating flux density, ΔB	: 0.26[T]
Total period, T	: 12.5[μ sec]
Maximum on time, t_{on}	: 6.25[μ sec]
maximum on duty ratio, D_{max}	: 0.5

1. 2차측의 최대 피상 전력을 구하면

$$P_o = I_o(V_o + V_d) \sqrt{2} = 7(24+1)(1.41) = 246.75[watts] \quad (1)$$

2. 전체 전력을 구하면

$$P_t = P_o \left(\frac{1}{\eta} + 1 \right) [watts] = 246.75 \left(\frac{1}{0.8} + 1 \right) [watts]$$

$$= 555.1875[watts] \quad (2)$$

<표 2> EER3944 core data

L_e	10.22[cm]
A_c	1.227[cm ²]
A_e	1.25[cm ²]
A_w	3.01[cm ²]
A_p	1.17[cm ⁴]
MPL	10.2[cm]
K_u	0.40
MLT	8[cm]
K_f	4.0 (square wave)

3. 전체 2차측 부하 전력을 구하면

$$P_o = I_o(V_o + V_d) = 7(24+1) = 175[watts] \quad (3)$$

4. 1차측 평균 전류, I_{in} 을 이용하여 1차측의 전류 실효치는

$$I_{in} = \frac{P_{to}}{V_{in} \cdot \eta} = \frac{175}{385 \cdot 0.8} = \frac{175}{308} = 0.568[A]$$

$$I_p = 2I_{in} = 2 \cdot 0.568 = 1.14[A] \quad (4)$$

5. 1차측 평균 전압, V_p 를 구하면

$$V_p = \left(\frac{V_{in}}{2} \right) (2D_{max}) - (I_p R_Q) [volt] = \left(\frac{385}{2} \right) (2 \times 0.5) - (1.14 \times 0.84) [volt] = 191.54[watts] \quad (5)$$

6. 1차측 턴수를 구하면

$$N_p = \frac{V_p \times 10^4}{K_f B_m f_s A_c} = \frac{191.54 \times 10^4}{4 \times 0.26 \times 80000 \times 1.227} = 18[turn] \quad (6)$$

7. window utilization, $K_u=0.4$ 를 이용 전류 밀도 J를 구하면

$$\begin{aligned}
J &= \frac{P_t \times 10^4}{K_f K_u B_m f_s A_p} [\text{amps/cm}^2] \\
&= \frac{555.19 \times 10^4}{(4.0)(0.4)(0.26)(80 \times 10^3)(1.17)} [\text{amps/cm}^2] \\
&= 142.58455 \approx 142.5 [\text{amps/cm}^2]
\end{aligned} \tag{7}$$

8. 1차측 실효 전류, I_p 를 구하면

$$\begin{aligned}
I_{p(rms)} &= \frac{I_p}{\sqrt{2D_{max}}} [\text{amps}] \\
&= \frac{1.14}{\sqrt{2 \times 0.5}} [\text{amps}] \\
&= 1.14 [\text{amps}]
\end{aligned} \tag{8}$$

9. 1차측의 I_p 와 J로 1차측 동선의 단면적 A_{wp} 를 구하면

$$\begin{aligned}
A_{wp} &= \frac{I_p}{J} [\text{cm}^2] \\
&= \frac{1.14}{142.5} [\text{cm}^2] \\
&= 0.008 [\text{cm}^2]
\end{aligned} \tag{9}$$

10. 표피 효과에 의한 ac손실을 줄이기 위하여 USTC선 선택.

$$\begin{aligned}
&\text{AWG No.18} \\
&\text{Bare, Aws(B)} = 2.3(\text{mm}) \\
&\mu\Omega/\text{cm} = 210
\end{aligned} \tag{10}$$

11. 1차측 동선의 저항, R_p 를 구하면

$$\begin{aligned}
R_p &= MLT(N_p) \left(\frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) (10^{-6}) [\Omega] \\
&= 8(18)(210)(10^{-6}) [\Omega] \\
&= 0.03024 [\Omega]
\end{aligned} \tag{11}$$

12. 1차측 동선 손실, P_p 를 구하면

$$\begin{aligned}
P_p &= I_{p(rms)}^2 R_p [W] \\
&= (1.14)^2 (0.03024) [W] \\
&= 0.039 [W]
\end{aligned} \tag{12}$$

13. 2차측 턴수를 구하면

$$\begin{aligned}
N_s &= \frac{N_p (V_o + V_d)}{V_p} \left(1 + \frac{\alpha}{100} \right) [\text{Turns}] \\
&= \frac{18(24+1)}{191.54} \left(1 + \frac{1}{100} \right) [\text{Turns}] \\
&= 2.37 \approx 2 [\text{Turns}]
\end{aligned} \tag{13}$$

14. 2차측 동선의 단면적, A_{ws} 는 허용전류가 출력 전류를 포함하기 때문에 1차측 동선과 같은 AWG NO.18를 선택하였다.

$$\begin{aligned}
&\text{AWG No.18} \\
&\text{Bare, Aws(B)} = 1.02(\text{mm}) \\
&\mu\Omega/\text{cm} = 210
\end{aligned} \tag{14}$$

15. 2차측 동선 저항, R_s 를 구하면

$$\begin{aligned}
R_s &= MLT(N_s) \left(\frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) (10^{-6}) [\Omega] \\
&= 8(2)(210)(10^{-6}) [\Omega] \\
&= 0.00336 [\Omega]
\end{aligned} \tag{15}$$

16. 2차측 동선 손실, P_s 를 구하면

$$P_s = I_{p(rms)}^2 R_p [W]$$

$$\begin{aligned}
&= (7)^2 (0.00336) [W] \\
&= 0.165 [W]
\end{aligned} \tag{16}$$

17. 전체 동선 저항, P_{cu} 는

$$\begin{aligned}
P_{cu} &= P_p + P_s \\
&= 0.039 + 0.165 \\
&= 0.204
\end{aligned} \tag{17}$$

18. 자속 밀도, B_{ac} 를 구하면

$$\begin{aligned}
B_{ac} &= \frac{V_p \times 10^4}{K_f f A_c N_p} [\text{tesla}] \\
&= \frac{186.8 \times 10^4}{(4.0)(80000)(1.227)(18)} [\text{tesla}] \\
&= 0.26 [\text{tesla}]
\end{aligned} \tag{18}$$

19. kg당 와트, WK를 구하면

$$\begin{aligned}
WK &= 3.18 \times 10^{-4} (f)^{1.51} \times (B_{ac})^{2.747} [\text{watts/kilogram}] \\
&= 3.18 \times 10^{-4} (80000)^{1.51} \times (0.26)^{2.747} [\text{watts/kilogram}] \\
&= 198.97 [\text{watts/kilogram}]
\end{aligned} \tag{19}$$

20. 코어 손실, P_{fe} 를 구하면

$$\begin{aligned}
P_{fe} &= \left(\frac{\text{milliwatts}}{\text{gram}} \right) (W_{tfe}) \times 10^{-3} \\
&= 198.97 \times 66 \times 10^{-3} \\
&= 13.13
\end{aligned} \tag{20}$$

21. 변압기 전체 손실, P_{Σ} 를 구하면

$$\begin{aligned}
P_{\Sigma} &= P_{fe} + P_{cu} \\
&= 13.13 + 0.204 \\
&= 13.336
\end{aligned} \tag{21}$$

3. 결 론

공진형 컨버터들은 입력전압이 높으면 전압스트레스도 높아지게 되며, 스위치의 전도손실도 따라서 증가하게 된다. 또한 전압스트레스 문제, 변압기 포화등 여러 문제가 야기 된다. 본 논문에서는 조명제어용 LLC 공진형 하프브리지 컨버터 설계에 있어서 변압기 특성에 대해 실험하였으며 주 스위치의 전압스트레스를 최적으로 선정하기 위하여 듀티(D)와 턴비(N)의 값을 적절하게 선정하였다. 변압기의 턴비와 전류의 관계가 효율에 영향을 주기 때문에 자화 인덕턴스 값을 적절하게 선정하여 24V/170W정격의 컨버터를 제작, 실험하여 조명제어용 LLC 공진형 하프브리지 회로의 타당성을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Colonel Wm. T. McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook", 1988.
[2] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이," 성안당 1993.