옥외 LED 조명을 위한 넓은 출력 전력 범위을 갖는 인터리빙 방식의 단일 전력 Flyback AC-DC Converter

문상철
Division of Electrical Engineering,
KAIST, Daejeon, Republic of Korea

구관본
PCK AE1 Gr., Fairchild Semiconductor
Gyeonggi-do, Republic of Korea

문건우
Division of Electrical Engineering,
KAIST, Daejeon, Republic of Korea

***Abstract*—옥외 LED 조명은 수 많은 응용 분야가 있고, 출력 전력 크기에 따라 전력단이 single-stage 와 two-stage 구조로 나뉜다. Single-stage 구조는 낮은 전력 LED 조명에 적합하지만, 60~70W 이상에서는 효율이 떨어지고 변압기의 크기가 커져서 적용하기가 힘들다. 반면에 two-stage 구조는 보통 큰 전력이 필요한 응용분야에 사용되지만, 낮은 부하에서 낮은 역율을 나타내므로 넓은 출력전력 범위를 갖는 분야에 사용되기 어렵다. 이 문제를 해결하기 위하여 본 논문은 pulse duty cycle, pulse frequency modulation 제어 방법을 갖는 interleaved single-stage flyback AC-DC converter 를 제안한다. 제안된 컨버터는 입력 전압이 낮고 부하가 큰 경우 높은 효율을 보이고, 입력 전압이 높고 부하가 아주 작은 경우에도 높은 역율과 낮은 전류 왜곡을 보인다. 그 결과 하나의 AC-DC 컨버터를 넓은 출력전력 범위를 갖는 LED 조명분야 적용시킬 수 있다. 제안된 컨버터의 타당성을 검증하기 위하여 81W prototype 을 가지고 실험하였다.**

I. INTRODUCTION

요즘 10~200W 급 옥외 조명에 LED 사용이 증가하는 추세이다. 옥외 조명은 AC 전원을 사용하기 때문에 역율 및 고조파 규제를 받는다. 따라서 높은 효율과 역율, 낮은 고조파가 요구된다. Single-stage 전력단 구성은 구성이 간단하고, 비용이 적게 들며, 효율이 비교적 높기 때문에 출력 전력이 낮은 응용 분야에서 많이 사용된다. 그러나 출력 전력이 증가함에 따라서 효율이 감소하고, 트랜스포머 크기가 커져서, 60~70W 이상되는 응용 분야에는 사용하기힘들다. 반면에 two-stage 전력단 구성은 높은 출력 전력에서도 비교적 효율이 높아서 큰 전력을 소화할 수 있다. 그러나 경부하로 갈수록 역율와 고조파가 심하게 나빠지는 단점을 가지고 있다. 옥외 조명은 부하의 전력 범위가 상당히 넓기 때문에 본 논문에서는 넓은 부하범위에서도 높은 효율과 역율, 낮은 고조파를 갖는 새로운 제어 방식의 interleaved single-stage flyback AC-DC converter(ISSF)를 제안한다.

II. THE PROPOSED CONTROL METHOD

제안된 새로운 제어 방식은 그림 1 에서 보여주는 ISSF 컨버터를 넓은 부하범위에서도 높은 역율을 얻을 수 있는 DCM 영역에서 동작시킨다. 또한 제어 방식이 기존의 PWM 제어 방식이 아닌 주파수 변조에 의해 이루어 진다. 주파수 변조 방식도 기존 주파수 변조 방식과는 차이가 있다. 높은 효율을 얻고, 주파수 변동 범위를 줄이기 위해서 MOSEFT 을 구동하는 gate pulse 의 듀티가 스위칭 주파수에 따라 변하는 방식이다. 구체적으로 그림 2 에서 보듯이 입력 전압이 낮고 부하가 큰경우 도통 손실을 줄이기위해서 스위칭 주파수와 듀티를 증가 시킨다. 반대로 입력 전압이 높고 부하가 작은 경우 스위칭 손실을 줄이기 위해서 스위칭 주파수와 듀티를 감소 시킨다. 출력 전력은 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$P_o = \frac{\eta \cdot m \cdot V_{ac}^{\ 2} \cdot D \cdot f_{SW}}{2L_m} \tag{1}$$

여기서, m 은 상수. 식 (1)에서 보듯이 출력 전력이 듀티와 주파수에 비례한다. 그러므로 제안된 컨버터는 DCM 동작으로 높은 역율과 낮은 고조파를 보이고 새로운 주파수 변조방식을 통해 넓은 부하 범위에서 높은 효율을 보여준다.

제안된 방식과 기존의 주파수 제어 방법의 스위칭 주파수 변동 범위는 정격부하에서 각각 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$\Delta f_{proposed} = f_{low} \cdot \left(\left(\frac{V_{in.high}}{V_{in.low}} \cdot \frac{D_{\min}}{D_{\max}} \right)^2 - 1 \right) \tag{2}$$

$$\Delta f_{Conventional\ PFM} = f_{low} \cdot \left(\left(\frac{V_{in.high}}{V_{in.low}} \right)^2 - 1 \right) \tag{3}$$

따라서 제안된 방식의 주파수 변동 범위가 작음을 알 수 있다.

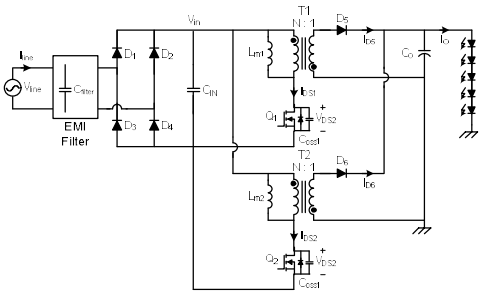


그림 1. Interleaved single-stage flyback converter

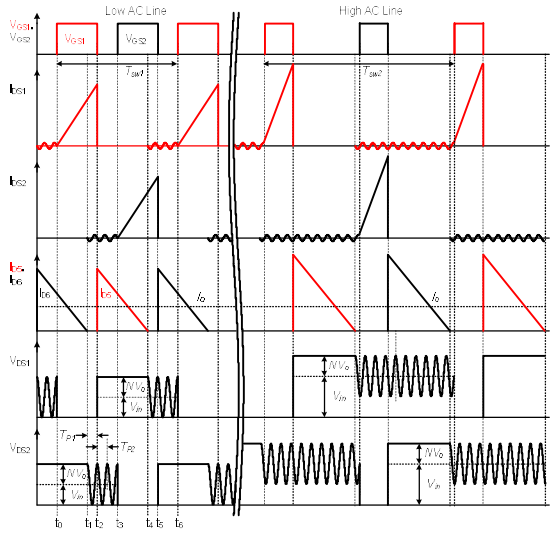


그림 2. Key waveforms of the proposed control method

III. ANALYSIS AND DESIGN CONSIDERATIONS

A. *Input current*

DCM 동작을 하는 제안된 컨버터의 평균 순시 입력 전류를 계산해보면 다음과 같다.

$$I_{ave}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{ac}\sin\omega t}{2L_m} \cdot \frac{t_{on}^{2}}{T_{sw}} \quad . \tag{4}$$

입력 전류가 sine 파 형태를 보여준다. 반면에 CRM flyback 컨버터의 평균 순시 입력 전류는 다음과 같이 주어진다.

$$I_{ave}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{ac}\sin\omega t \cdot t_{on}}{2L_m} \cdot \frac{1}{1+\sqrt{2}V_{ac}\sin\omega t / NV_o} \quad . \tag{5}$$

입력전류의 분모항에 NV_o 에 의한 왜곡 항이 있다. 따라서 제안된 DCM flyback 컨버터가 CRM flyback 컨버터보다 더 좋은 역율과 고조파 결과를 보인다.

B. *Conduction loss comparison*

입력 전압이 낮고 부하가 큰 경우는 도통 손실이 전체 손실의 대부분을 차지한다. 이 상황에서 제안된 컨버터와 고정 주파수 DCM 컨버터의 도통 손실을 표 1 에 비교하였다. 표 1 로부터 제안된 방식이 기존 방식보다 도통 손실이 1/root(k)로 줄어듦을 알 수 있다.

TABLE I. CONDUCTION LOSS COMPARISON AT LOW AC LINE

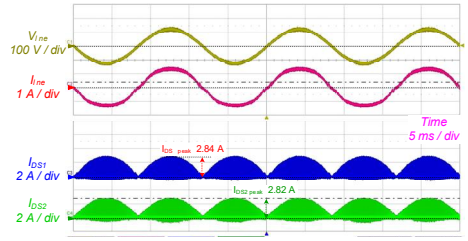
	Conventional method	Proposed method
Freq (Hz)	f_{SW}	$f_1 = k \cdot f_{SW}$
Duty	D	$D_1 = \sqrt{k} \cdot D$
$I_{DS.rms}$ (A)	$I_{DS.rms} = \frac{V_{ac}}{L_m} \cdot T_{on} \cdot \sqrt{\frac{D}{3}}$	$I_{DS.rms1} = I_{DS.rms} / \sqrt{\sqrt{k}}$
P_{loss} (W)	$P_{loss} = I_{DS.rms}^{2} \cdot R_{on}$	$P_{loss1} = P_{loss} / \sqrt{k}$

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

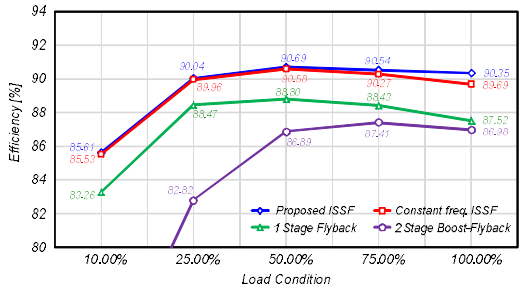
제안된 컨버터의 타당성을 검증하기 위하여 67kHz single-stage DCM flyback, two-stage CRM boost-flyback, 67kHz ISSF 컨버터와 비교하였다. 90Vac-full load 결과를 보면 입력전류는 sine 파를 잘 따라가고 효율도 제안된 컨버터가 90.35%로 가장 높다. 한편 265Vac-10% load 결과를 보면 부하가 매우 낮음에도 불구하고 입력전류가 sine 파를 따라가고 역율도 0.933 으로 높게 나왔다.

V. CONCLUSION

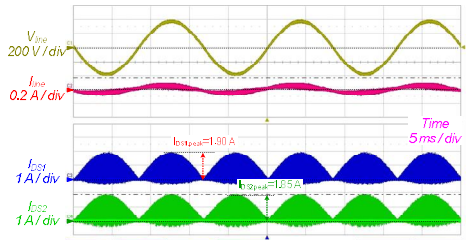
본 논문에서는 pulse duty cycle, pulse frequency modulation 제어 방법을 갖는 interleaved single-stage flyback AC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 넓은 부하 범위에서 높은 역율을 얻기 위하여 DCM 동작을 하고, 입력 전압이 낮고 부하가 큰 경우 도통 손실을 줄이기위해서 스위칭 주파수와 듀티를 증가 시키고, 반대로 입력 전압이 높고 부하가 작은 경우 스위칭 손실을 줄이기 위해서 스위칭 주파수와 듀티를 감소 시킨다. 그 결과 제안된 컨버터는 넓은 부하 범위에서 높은 효율과 역율, 낮은 고조파를 나타내었다. 81W prototype 을 가지고 실험을 통하여 이를 검증하였다. 따라서 제안된 컨버터는 넓은 출력 전력범위를 갖는 LED 조명 응용 분야에 적합하다.



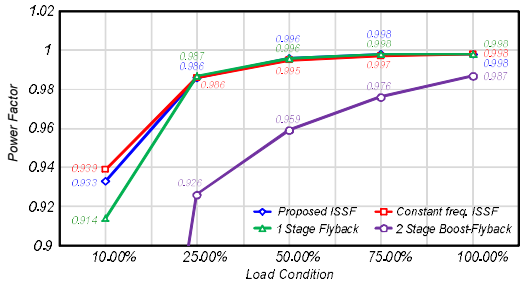
(a) 90 Vac full load condition



(b) Efficiency (90Vac)



(d) 265 Vac 10% load condition



(b) PF (265Vac)

그림 3. Experimental results of the proposed converter

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2012-0000981)

REFERENCES

[1] *Electromagnetic Compatibility (EMC)*, Part 3, International Standard IEC61000-3-2, 2001

[2] Y-C. Chuang, Y-L. Ke, H-S. Chuang, and C-C. He, "Single-stage power-factor-correction circuit with flyback converter to drive LEDs for lighting applications", in *Proc. IEEE Industry Applications Sociery Annual Meeting (IAS)*, 2010, pp.1-9.

[3] R. Redl, and L. Balogh, "Design considerations for single-stage isolated power-factor-corrected power supplies with fast regulation of the output voltage", in *Proc. IEEE Applied Power Electronics Conf.*, 1995, vol. 1, pp.454-458.

[4] L. Huber, and M. M. Jovanovic, "Single-stage single-switch input-current-shaping technique with reduced switching loss," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 15, no. 4, pp. 681-687, Jul., 2000.