

LED용 고효율 SMPS 개발에 관한 연구

곽동걸*, 이봉섭*, 최신형*, 박영직**
강원대학교*, (주)서광이에스**

A Study on Development of High Efficiency SMPS used in LED

Dong Kurl Kwak*, Bong Seob Lee*, Shin Hyeong choi*, Young Jic Park**
Kangwon University*, SKES co.**

ABSTRACT

Recently, the demand of LED(light emitting diode) lighting is gradually enlarged by governmental saveenergy policy, which the LED lighting has been established compulsorily in new buildings, public institutions, and residential installations etc.. The LED lighting is driven by SMPS (switching mode power supply). The SMPS requires high efficiency because the SMPS changes a commercial ac power source to low voltage dc power source. Harmonic components that occur in the conversion process of SMPS decrease system power factor and deal great damage in electric power system.

To improve such problems, this paper proposes a SMPS of high efficiency. The switching devices in the proposed SMPS are operated by soft switching technique using a new quasi resonant circuit. The input ac current waveform in the proposed SMPS becomes a quasi sinusoidal waveform proportional to the magnitude of input ac voltage under constant switching frequency. As a result, the proposed SMPS obtains low switching power loss and high efficiency, and its input power factor is nearly in unity.

1. 서론

최근 유가의 급등과 기후변화협약에 의한 에너지 절감 방안으로 정부에서는 LED를 신성장동력 전략산업으로 지정하여 집중적으로 지원해 나갈 계획을 갖고 있는 것으로 보도된다. 특히 에너지 소비가 많은 산업용의 전광판 및 간판, 교통신호 등의 경우도 기존의 백열등 또는 형광등을 대신하여 전력소비가 적고 발광 휘도가 높은 LED 조명등으로 대체하여 에너지 절감 효과를 기대하고 있다. 그러나 LED 조명은 상용 교류전원(ac)을 저압 직류전원(dc)으로 변환하는 SMPS에 의해 구동되므로, 전원측 입력역률을 저하시켜 전력계통에 나쁜 영향을 주는 문제점이 발생한다. 이는 SMPS 내의 정류회로로써 커패시터 입력형 정류회로가 대다수 사용되고 있어, 이러한 회로의 입력전류는 입력전압의 피크 부분에서 흐르는 펄스형으로 되어 입력역률이 낮으며 많은 고조파성분이 포함된 전류를 발생한다. 또한 최근 태양광 발전, 연료전지, LED 디스플레이 등 신재생 녹색에너지의 개발과 더불어 전력품질 개선을 위한 사회적 관심이 증대되고 있으며, 특히 교류를 직류로 변환하는

전력변환장치에 사용되는 정류회로의 역률개선과 고조파제어 등의 과제개선이 중요한 과제로 부여되고 있다. 최근 이를 해결하기 위해 교류 입력단 정류회로에 승압, 강압 또는 승강압 초퍼를 접속해서 입력전류를 유사 정현파형으로 제어시켜 파형 개선을 이루어 입력역률을 단위역률로 개선하는 PFC (power factor correction)용 SMPS들이 연구된다. [1],[2]

본 논문에서는 고효율과 고역률을 위한 새로운 SMPS를 제안하여 그 실용성에 대해 검토하고자 한다. 제안한 SMPS는 유사공진회로에 의해 소프트 스위칭 기법으로 동작되고, 입력전류는 전류불연속 제어에 의한 교류 입력전압의 크기에 비례한 유사 정현파형으로 주어진다. 또한 제안한 SMPS는 LED 자체 소손 및 잦은 단락회로에 의한 SMPS를 보호하기 위하여 LED 조명과 SMPS를 절연형으로 설계된다. 그 결과 제안한 SMPS는 낮은 스위칭 손실로 고효율을 얻을 수 있으며, SMPS의 입력역률은 거의 단위역률로 되는 장점을 가진다.

2. 고효율 SMPS 회로설계 및 동작원리

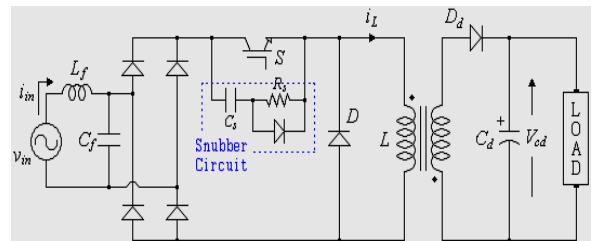


그림 1 기존의 절연형 SMPS 주 회로도

F g 1 M a c c u of co ve o a o a ed SMPS

그림 1은 기존의 절연형 SMPS의 주 회로도를 나타낸다. 기존의 절연형 SMPS는 교류입력 전원에 다이오드 전파정류기와 에너지 축적용 인덕터 L 을 이용하여 스위치 S 의 PWM 제어에 의해 실현된다. 스위치 S 의 동작은 인덕터 전류를 불연속적으로 제어하는 전류불연속모드(DCM) 방식으로 제어된다.

DCM제어에 의해 스위치의 턴 온 동작은 영전류에서 이루어져 스위치의 턴 온 손실이 없는 장점이 있다. 또한 고주파 스위칭 동작이 가능하여 필터 설계를 소형화할 수 있는 이점이 주어진다. 그러나 스위치의 턴 오프 동작은 스위칭 시점의 최대 인덕터 전류에서 동작하는 하드 스위칭으로 되므로 고주파 스위칭과 더불어 스위치 손실과 스트레스가 증대되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 기존의 절연형 SMPS에서 나타나는 효율

감소의 문제점을 해결하고, 더욱 높은 역률을 얻을 수 있는 고효율의 SMPS를 제안하고자 한다. 그림 2는 제안한 고효율 절연형 SMPS를 나타낸다.

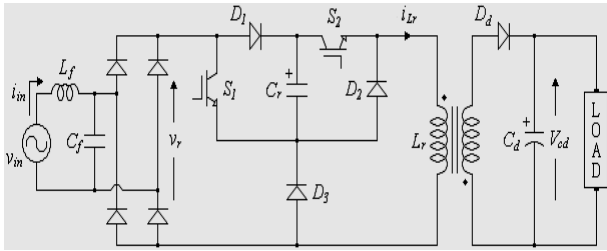


그림 2 제안한 절연형 SMPS 주 회로도
Fig 2 Main circuit of proposed isolated SMPS

회로구성은 기존의 절연형 SMPS의 입력측과 부하측 사이에 소프트 스위칭을 위한 유사공진 회로부를 접속한다. 유사공진 회로부는 승강압용 인덕터 L_r 과 기존의 스위치 보호용으로 이용되는 스너버 회로의 스너버 커패시터 C_r 과 제어소자들로 구성된다. 제안한 SMPS는 일정 스위칭 주파수에 의한 전류불연속모드로 동작되며, 그리고 사용된 제어소자 S_1, S_2 의 턴 온, 턴 오프 동작은 소프트 스위칭으로 되어 변환기의 효율을 증대시킨다. 공진용 소자로 이용된 스너버 커패시터 C_r 은 축적된 에너지를 손실없이 입력측으로 유입시켜 입력전류를 상승시키게 된다. 그 결과 입력전류의 고조파 성분이 감소되어 기존의 SMPS와 비교하여 역률을 더욱 증대시키는 특징을 가진다.

3. 제안한 SMPS 동작원리 및 시뮬레이션 결과

그림 3은 스위칭 1주기(T_s)에 대한 동작모드별 등가회로를 나타낸다. 정류기 출력전압 $v_r = v_{in} = V_m \sin \omega_s t$ 이다.

유사공진 회로부의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2 는 오프이며, 커패시터 C_r 에는 정류된 전압 v_r 로 충전되어 있다.

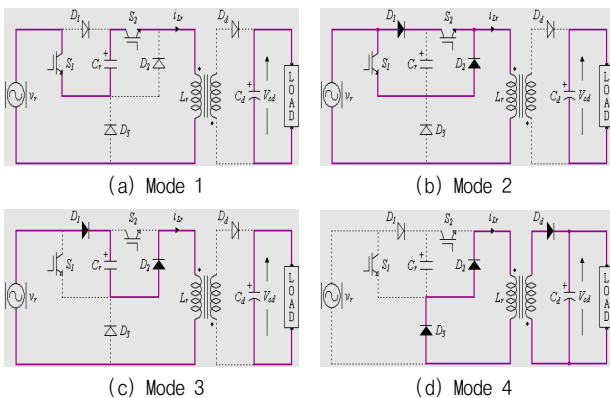


그림 3 스위칭 1주기에 대한 동작모드별 등가회로
Fig 3 Equivalent circuit mode waveform

Mode 1 ($T_1, t_0 \sim t_1$)

시각 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 동시에 턴 온하면, 회로경로는 $v_r + S_1 C_r S_2 L_r v_r -$ 의 공진회로가 형성된다. 스위치 턴 온 직전의 인덕터 L_r 에 흐르는 전류는 영이므로 S_1, S_2 는 ZCS로 동작을 한다. 이 모드는 C_r 의 전압이 영으로 되면 종료된다.

Mode 2 ($T_2, t_1 \sim t_2$)

이 모드는 커패시터 전압 v_{cr} 이 영으로 되어 다이오드 D_1 과 D_2 가 도통되는 모드이다. 제어소자들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 S_1, D_2, D_1, S_2 로 분류되고 인덕터 L_r 은 에너지를 축적한다.

Mode 3 ($T_3, t_2 \sim t_3$)

시각 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 오프하면, 전류 i_{Lr} 은 D_1, C_r, D_2 를 통하여 흐르고 L_r 과 C_r 은 다시 공진회로가 되어 C_r 을 충전시킨다. C_r 와 병렬로 배치된 스위치 S_1, S_2 의 턴 오프 동작은 공진 초기에서 커패시터 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다. 이 모드는 커패시터 전압 v_{cr} 이 정류기 전압 v_r 로 충전되면 끝난다.

Mode 4 ($T_4, t_3 \sim t_4$)

이 모드는 커패시터 C_r 의 충전이 끝난 후, 다이오드 D_3 을 통하여 인덕터 L_r 의 에너지가 부하측으로 전송되는 모드이다. 인덕터 전류 i_{Lr} 이 영으로 되면 이 모드는 끝난다.

제안한 SMPS의 스위칭 동작에 대한 각부의 시뮬레이션 동작파형을 그림 4에 나타낸다. 그림 4에는 듀티율 30%인 스위칭 1주기에 대한 시뮬레이션 파형으로 앞서의 이론적 해석의 타당성을 입증시킨다.

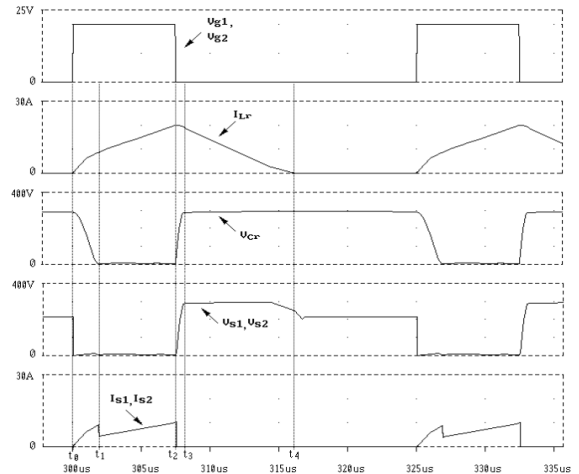


그림 4 스위칭 1주기에 대한 시뮬레이션 파형
Fig 4 Simulation waveform one cycle

4. 결론

본 논문에서는 LED 조명에 적용되는 새로운 절연형 SMPS를 제안하여, 기존의 SMPS에서 나타났던 효율 및 역률 감소의 문제점을 해결하였다. 제안한 SMPS는 기존의 SMPS에 스위치 보호용으로 사용되는 스너버회로를 소프트 스위칭을 위한 유사공진회로로 설계하여 회로구조가 간단하였으며, 소프트 스위칭에 의해 SMPS의 효율을 증대시켰다. 더욱이 공진용 커패시터의 축적된 에너지의 입력측 유입으로 인해 저차 고조파 성분이 감소되어 입력역률이 더욱 증대되었다.

참고 문헌

- [1] D.Sadarnac, etc., "The double discontinuous mode operation of a converter : A method for soft switching", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 2, pp. 453-460, 2004.
- [2] D.K.Kwak, etc., "A Study on High Efficiency Boost DC-DC Converter of Discontinuous Current Mode Control", Trans. KIEE, Vol. 54B, No. 9, pp. 431-436, 2005.