

형광등 안정기 호환형 등가 임피던스 가변방식 LED 구동회로

최 윤, 장두희, 강정일*, 오동성**, 한상규
 국민대학교 POESLA, 삼성전자*, 삼성전기**

Equivalent impedance variable LED driver compatible to florescent lamp ballast

Yoon Choi, Du-Hee Jang, Jeong-il Kang*, Dong-sung Oh**, Sang-Kyoo Han
 Power Electronics System Laboratory, Kookmin Univ., *Samsung Electronics, **Samsung Electromechanics.

ABSTRACT

본 논문에서는 형광등 용 전자식 안정기 호환을 위한 LED 구동회로를 제안한다. 일반적인 전자식 안정기는 기본적으로 부하 전류제어를 하지 않으므로 형광등보다 소모전력이 낮은 LED 구동 시 과도한 전압상승이 발생된다. 따라서 기존의 전자식 안정기 호환용 LED 구동회로의 경우 소자내압을 낮추기 위해 과도한 Damping에 의존하므로 효율이 저조하고 안정기 호환성이 크게 떨어지는 문제점이 있다. 반면 제안된 회로는 별도의 Damping 회로없이 LED 구동회로의 등가 임피던스를 시비율에 따라 가변 함으로써 기존 문제점을 획기적으로 개선할 수 있다. 최종적으로 호환성 및 동작성능에 대한 타당성 검증을 위해 20W급 전자식 안정기에 적용하여 고찰된 실험결과를 제시한다.

1. 서론

기존 형광등 안정기 대체용 LED 구동회로는 LCC 공진형 인버터의 출력인 고주파 교류전압을 정류기와 큰 평활 캐패시터로 정류 및 평활 한 후 이를 입력전원으로 하는 스위칭 전원회로를 사용한다.^[1] 그러나 기존 방식의 경우 큰 평활 캐패시터의 낮은 임피던스에 의해 LCC 공진형 인버터의 안정적인 공진을 보장 할 수 없어 오 동작 및 회로 발전을 유발할 수 있다.^[2] 또한, 특별한 부하전류 제어 없이 특정 출력전력의 형광등을 구동하도록 설계된 안정기를 이용하여 이보다 낮은 전력의 LED 부하를 구동할 경우 입력과 출력 간의 전력 불균형으로 인해 평활 캐패시터의 과도한 전압 상승이 발생하고 이를 해결하기 위해 과도한 Damping회로의 적용이 불가피하여 시스템 효율 저하 및 호환성의 한계를 안고 있다. 따라서 본 논문에서는 상기 문제점들을 개선하기 위해 LCC 공진형 인버터를 분석하고 이를 이용하여 모든 안정기에 호환 가능한 새로운 임피던스 가변방식 LED 구동회로를 제안한다.

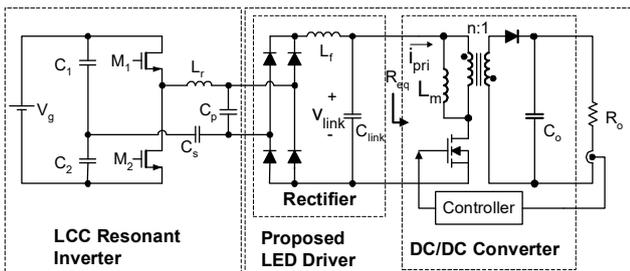


그림 1 제안된 형광등 안정기용 LED 구동회로

2. 제안 형광등 안정기 호환형 LED 구동회로

제안된 형광등 안정기용 LED 구동회로는 그림 1과 같이 정류단과 DC/DC컨버터단으로 구성되며 정류단은 LCC공진형 인버터의 원활한 동작을 보장하기 위해 LC필터가 부가되어 있으며 DC/DC 컨버터로는 절연형 또는 비절연형의 모든 전력변환 컨버터가 위치될 수 있으며 본 논문에서는 DCM으로 동작하는 플라이백 컨버터를 적용하고 있다.

2.1 LCC 공진형 인버터 동작분석

제안된 LED 구동회로의 동작을 설명하기에 앞서 LCC 공진형 인버터와 정류단으로 구성된 전력단의 입출력 관계에 대한 분석이 필요하다. 이를 위해 스위칭 주파수는 f_s 이고 모든 전압 및 전류는 스위칭 주파수의 기본파 성분만 존재하며 필터 인덕터에 흐르는 전류 i_L 는 일정할 만큼 L 는 매우 크다고 가정한다. 위 가정에 따라 LCC 공진형 인버터와 정류단으로 구성된 전력단의 입출력 관계식 $V_{link}(f_s)/V_g$ 을 도출한 후 $V_g=220V_{rms}$, $f_s=47kHz$, $C_s=20.2nF$, $L=2.793mH$, $C_p=5.6nF$ 의 회로 Parameter를 갖는 전자식 안정기의 하나를 예로 들어 출력 부하 저항 R_{eq} 에 따른 출력전력 및 링크전압에 대해 그래프로 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2에서 알 수 있듯이 출력 부하저항이 증가함에 따라 출력 전력은 증가하다가 최대 전력 점을 기준으로 다시 감소하는 특성을 보이고 있다. 따라서 특정 부하전력 (예: $P_A=P_B=80W$)을 출력하기 위한 부하 저항은 R_A 와 R_B 의 2가지 동작 점을 갖게 된다.

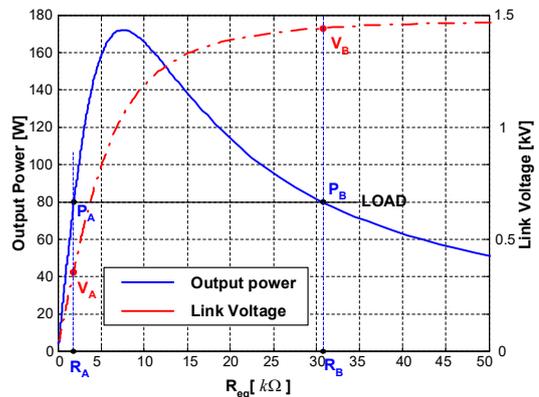


그림 2 LCC공진형 인버터와 정류단으로 구성된 전력단의 출력 부하저항 R_{eq} 에 따른 출력전력 및 링크전압

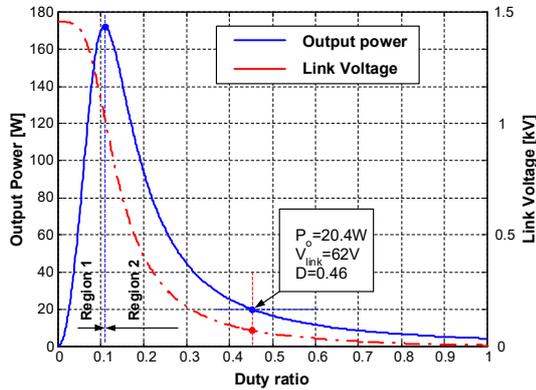


그림 3 플라이백 컨버터의 스위치 동작 시비율에 따른 출력 전력(P_o) 및 출력 링크 전압(V_{link})

만약 부하저항이 R_A 라면 링크전압은 V_A 의 값을 가지게 되고. 이와 동일한 부하전력을 출력하더라도 부하저항이 R_B 라면 링크전압은 V_B 의 높은 전압을 갖게 된다. 따라서 LCC공진형 인버터와 정류단의 후단에 위치할 DC/DC 컨버터의 동작 점인 등가 임피던스 R_{eq} 는 링크전압이 낮도록 R_{eq} 가 작은 영역에서 동작되도록 하는 것이 적합함을 알 수 있다.

2.2 제안된 LED 구동회로의 동작원리

그림 1의 제안된 회로에서 플라이백 컨버터의 스위치가 계속 오프 되어 있을 때 컨버터는 오픈 되므로 무한대의 등가 임피던스 R_{eq} 를 가지며 스위치가 계속 온 되어 있을 경우 컨버터는 단락되므로 R_{eq} 는 매우 작은 값을 가짐을 직관적으로 알 수 있다. 따라서 스위치의 동작 시비율에 따라 R_{eq} 는 매우 작은 값에서부터 무한대까지 조절 할 수 있음을 알 수 있다. 실제 DCM 플라이백 컨버터의 동작 시비율 D 에 따른 등가 임피던스 R_{eq} 는 $R_{eq} = 2L_m/D^2/T_s$ 와 같이 유도된다. 앞서 2.1절에서 고찰된 LCC 공진형 인버터의 일레와 자화인덕터 $L_m = 454\mu H$ 및 스위칭 주파수 $f_{sw} = 80kHz$ 를 갖는 플라이백 컨버터를 이용하여 스위치 동작 시비율에 따른 링크전압 V_{link} 및 최종출력전력 P_o 에 대해 고찰된 이론적 결과는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보인 바와 스위치 동작시비율 $D = 0.11$ 에서 최대전력점을 가지며 이를 기준으로 Region 1과 2로 나뉜다. 또 Region 1에서 D 가 0일때 R_{eq} 는 무한대이므로 링크전압은 최대치를 가지며 D 가 증가함에 따라 R_{eq} 와 링크전압은 감소하고 출력전력은 증가하다가 $D = 0.11$ 에서 출력전력은 최대가 된다. 이후 Region 2에서 D 가 증가함에 따라 R_{eq} 와 링크전압은 감소하고 출력전력은 Region 1과 반대로 다시 감소하는 특성을 보인다. 따라서 2.1절에서 고찰한 바와 같이 전자식 안정기 뒷단에 접속되는 LED구동용 플라이백 컨버터는 소자 전압스트레스를 고려하여 Region 2에서 동작시키는 것이 적합함을 알 수 있다.

2.3 제안된 LED 구동회로의 제어

제안된 LED 구동회로를 Region 2에서 동작 시키기 위해서는 일반적인 컨버터의 제어와는 정반대로 수행해야 한다. 즉 일반적인 컨버터는 출력전력이 지령치보다 높을 경우 스위치 동작 시비율 D 가 작아지도록 하고 반대로 출력전력이 지령치보다 작은 경우 D 가 커지도록 하여 출력전력을 제어한다. 반면 제안된 LED 구동회로는 출력전력이 지령치보다 높을 경우 오히려 D 가 커지도록 하고 출력전력이 지령치보다 낮은 경우 D 가 작아지도록 하여 출력전력을 제어한다.

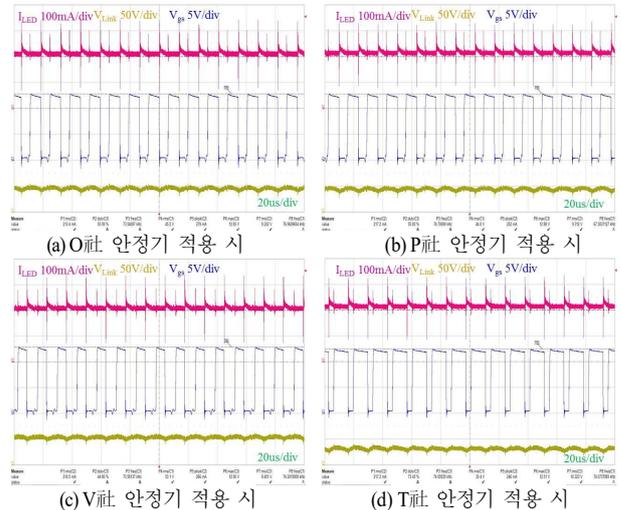


그림 4 제안회로의 안정기호환성 실험결과 주요파형

3. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 LED구동회로의 타당성을 검증하기 위하여 20W급 시작품을 제작하여 유럽형 4가지 안정기에 대한 호환성 테스트를 수행하였다. 출력 LED 사양은 85V/240mA 인 20.4W이다. 그림4는 실험결과 정상상태 각부 주요 파형을 나타낸 것이다. 그림에서 보인 바와 같이 안정기에 관계 없이 LED 전류를 240mA로 일정하게 제어하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 각 안정기에 따라 시비율이 각각 0.55, 0.55, 0.44, 0.77로써 전자식 안정기 LCC 공진형 인버터의 전력단 파라미터 값이 조금씩 다르더라도 LED 구동회로의 제어 선형성을 확보 할 수 있으므로 안정기에 관계 없이 모두 LED 전류를 제어 할 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 형광등용 전자식 안정기 호환을 위하여 임피던스 가변방식 LED 구동회로를 제안하였다. 제안 회로는 LCC 공진형 인버터의 전력단 분석을 통하여 스위치 동작 시비율에 따른 DC/DC 컨버터의 등가 임피던스를 가변하는 방식으로 기존회로의 링크전압 상승 문제를 개선하였으며, 부가적인 댐핑회로가 필요 없는 장점이 있다. 또한 모든 안정기에 호환되는 것을 이론적 분석 및 호환성 테스트 결과를 제시하여 타당성을 검증하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 회로는 모든 전자식 안정기에 대하여 형광등을 대체 할 수 있을 것이라 판단되며 조명산업에서 널리 응용 될 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대한 IT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(NIPA-2013-H0301-13-2007)

참고 문헌

- [1] J. A. Donahue and M. M. Jovanovic, "The LCC inverter as a cold cathode fluorescent lamp driver," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf., 1994, pp. 427-433.
- [2] M.C. Cosby and R.M. Nelms "A resonant inverter for electronic ballast applications", IEEE Transac. on Power Electronics, vol. 41, no. 4, pp.418-425 1994