

전원 전압 및 변압기 권선비에 따른 면광원의 방전특성 분석

김우섭, 백종복, 박종후, 조보형
서울대학교 전기,컴퓨터공학부

Discharge Characteristics of the MFFL between High Voltage Source and Low Voltage Source using the Transformer

W.S. Kim, J. B. Back, J. H. Park and B. H. Cho
Power Electronics System Laboratory, Seoul National Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 구동전압 인가 방식에 따른 면광원의 방전특성에 대해 분석한다. 2kV이상의 고전압 전원장치의 직접 이용은 구성 소자의 전압 스트레스를 증가시키며 가격 상승의 원인이 된다. 100~400V대의 전원장치에 변압기를 적용하여 구동전압을 인가하게 되면 전원 및 구동회로의 간략화를 도모할 수 있으나 변압기의 영향으로 인한 전이 지연시간, 파형왜곡의 영향으로 방전 불안정 및 광효율 저하를 야기할 수 있다. 전원 출력전압 및 변압기의 권선비에 따른 직접구동과의 비교연구를 통하여 최적 설계 방안을 도모한다.

1. 서론

에너지 효율과 친환경성이 국제사회의 화두로 떠오른 현재, 백열등의 저효율과 형광등의 수은규제등은 새로운 광원 소자에 대한 연구를 촉진시키고 있다. 면광원 소자는 과거 광원소자의 대체, 효율향상뿐 아니라 벽또는 바닥형 조명으로의 변화같은 건축 디자인의 변화와 같은 파생효과도 기대된다. 그림 1에 도시된 무수은 면광원램프(Mercury Free Flat Lamp, MFFL)는 높은 광효율과 확산판의 제거, 친환경성등의 장점으로 연구가 활발히 진행되고 있다^[1~2]. 현재 long-gap discharge와 short-gap discharge에 대한 방전특성 연구가 진행중이며 안정성 및 구동전압에서는 short-gap discharge구조가, 상품성에서는 long-gap discharge구조가 우세하다. 하지만, 수백V~수kV의 높은 구동전압은 오방전문제와 더불어 MFFL구동회로 연구에 있어 주요 문제가 되고 있으며, 이를 타개하기 위한 구동장치 개발이 필요하다. Charge-pump방식을 이용하여 1/2의 구동전압을 이용하는 구동장치가 연구되었으나 여전히 수kV의 전압이 요구되고 있다.^[3] 플라이백 변압기를 이용한 구동장치의 경우, 변압비를 이용으로 인해 낮은 입력전압이 필요하지만 전력변환 효율문제가 대두된다.^[4] 한편, 변압기의 이용은 기생성분의 영향으로 인해 파형의 왜곡을 야기할 수 있으며 램프 방전에 있어서 입력구동파형과 왜곡 파형으로 인한 영향을 고려해야 한다.

본 논문에서는 포워드형 변압기를 이용한 경우에 대한 면광원의 방전 특성에 대해 기술한다. 변압기의 기생성분이 파형 왜곡에 미치는 영향과 고전압 소자 이용에 따른 비용상승, 스위칭 손실등에 대한 영향을 분석한다. 권선비에 따른 직접구동

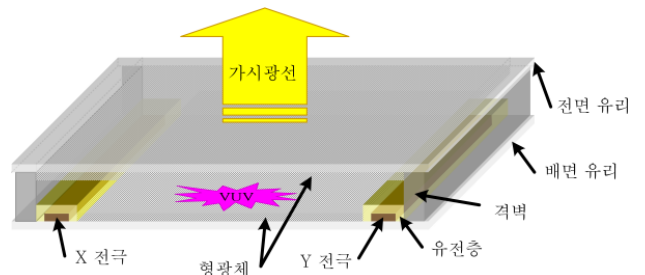


그림 1 무수은 면광원 구조도
Fig. 1 Structure of Mercury Free Flat Lamp

과의 비교연구를 통하여 최적 설계 방안을 도모한다.

2. 변압기 기생소자에 따른 파형 왜곡

그림 2(a)에 변압기의 기생성분에 대해 도시하였다. 1,2차 누설인덕턴스와 자화 인덕턴스 뿐 아니라 절연과 권선간에 존재하는 기생 캐패시턴스뿐 아니라 도선 저항성분이 존재한다. 방전소자의 경우 구형구동파형 인가시에 구형파의 상승구간에서 대부분의 방전이 일어나므로, 이 구간에서 작용하는 변압기 기생소자에 대해 2(b)에 도시하였다. 램프 방전이전에는 용량성 성격을 띤 높은 저항을 갖는 부하로 생각할 수 있으므로, 2차측은 단락된 것으로 생각할 수 있다. 따라서 1차측의 저항, 누설인덕턴스 및 기생 용량, 자화인덕턴스가 구동파형에 영향을 미치며, 구형파 인가시 출력전압파형은 식(1)과 같이 표현된다.

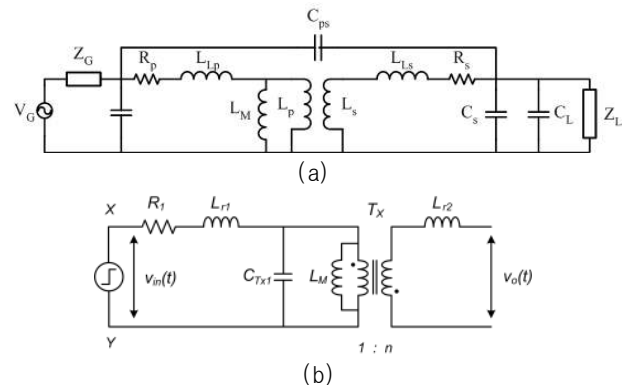


그림 2 기생성분을 포함한 변압기 전기적 모델; (a) 기본형, (b) 상승구간시
Fig. 2 Electrical transformer structure

$$v_o(t) = \frac{2n}{\sqrt{L_{r1}C_{Tx1}}} V_S \left(1 - \left(1 + \frac{t}{\sqrt{L_{r1}C_{Tx1}}} \right) e^{-\frac{t}{\sqrt{L_{r1}C_{Tx1}}}} \right) \quad (1)$$

고압 변압기 또는 다량의 권선수가 아닌 경우, C_{Tx1} 은 매우 작은 값을 가지므로 누설 인덕턴스와 및 자화 인덕턴스가 파형 왜곡도에 가장 큰 영향을 준다. 그림 3에 인덕턴스 변화에 따른 출력파형 시뮬레이션 결과를 도시하였다. 용량성 부하의 특성으로 인해 전력회수회로를 적용하였으며, 공진에 의해 상승과 하강구간이 형성되도록 회로를 구성하였다. 이상적인 경우 (3(a)) 왜곡없는 깨끗한 구형 파형이 인가되나, L_r 을 증가시킬 경우에 있어 변압기와 패널이 항상 연결되어 있으므로 기생성분과의 공진 현상이 발생한다. 도선저항성분에 의해 감쇠시간이 결정되긴 하지만 구형파의 오버슈트로 인해 패널의 오방전 및 수명 단축의 영향이 있다. 자화인덕턴스가 작아지면 패널 부하 용량과 병렬공진을 발생시키므로 파형은 더욱 왜곡되게 된다. (3(c)). 또한 자화인덕턴스로 인해 패널에 전압이 인가되지 않아야 할 시기에도 공진현상이 발생하며 이로 인해 설계값과 다른 구동이 야기된다.

한편 그림 1과 같이 long-gap 구조의 MFFL의 경우 전극간 거리가 멀고, 전극이 서로 마주보는 단면적은 작은 경우에 해당한다. 등가용량은 단면적에 비례하고 거리에 반비례하므로 12인치 패널의 경우 수십pF정도가 계측된다. 따라서 용량성 부하의 에너지 회수회로를 도입할 경우 공진 시간 조절을 위해 직렬공진 인덕터를 추가시키게 되는데, 10~100kHz의 구동주파수를 가정할 때, 이 값이 수mH이상이 되어야 함을 알 수 있다. 공진 인덕터의 크기 증가는 코어 크기 증가와 함께 권선수의 증가로 도통손실을 야기하며, 변압기 적용의 경우보다 큰 손실을 초래하게 된다.

변압기 설계시의 고려사항을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 2차측에서 바라본 자화인덕터스의 값은 패널 용량 및 2차측 기생 용량에 대해 구동주파수보다 공진주기가 10배 이상 되도록 설계해야 휴지기에서 영향을 주지 않는다.
- 누설 인덕턴스에 의한 overshoot현상은 구동전압대비 입력 전압 감소의 효과를 거둘 수 있지만 crest factor를 고려하지 않을 수 없으므로 변압기 결합비를 높게 가져가는것이 좋다.
- 기생용량은 변압기 권선수와 비례하므로 permeability가 높은 코어를 사용하면서 실권선수를 낮추는 것이 바람직하다.
- 주파수 특성뿐만 아니라 2차측 절연파괴를 고려한 코어소재를 설정한다.
- 결선시 1차측 0전위와 2차측 0전위가 가깝도록 결선하는것이 절연파괴를 감소시킬 수 있다.

3 실험 결과

2장에서 기술한 고려사항을 토대로 변압기를 설계하여 직접 구동의 경우와 함께 그림 4에 도시하였다. 직접 구동의 경우 2kV대에서의 MOSFET소자가 존재하지 않기 때문에 바디다이오드가 없는 IGBT에 외부 다이오드를 추가하였으며, 변압기의 경우 200V대의 MOSFET와 함께 EI30코어를 이용하여 구현하였다. 두 구동회로 모두 에너지 회수를 위한 ZVT네트워크를 추가하였다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 직접 구동시 강한

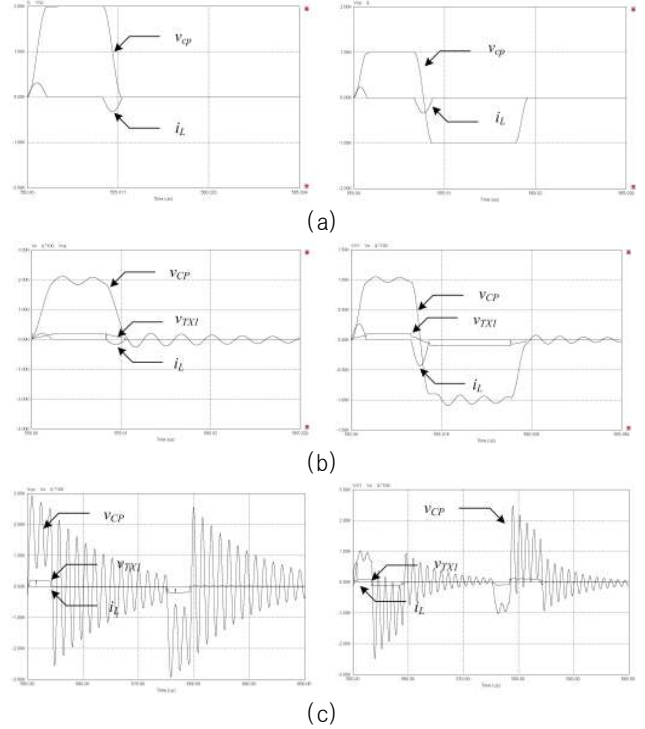


그림 3 기생성분에 따른 파형 왜곡도
Fig. 3 Output voltage waveforms w.r.t. parasitic component

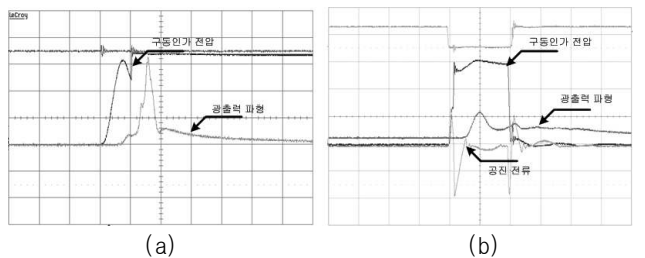


그림 4 기생성분에 따른 파형 왜곡도
Fig. 4 Output voltage waveforms w.r.t. parasitic component

방전이 형성되는데 디스플레이용 패널에 비해 상대적으로 구동주파수가 낮아서 플리커링 현상이 생겨날 수 있다. 이에 비해 변압기를 사용할 경우 침투치는 작으면서 넓은 범위의 광출력이 형성되는데 변압기적용에 따른 지연시간과 구형과 경사도의 완만화가 영향을 주는 것으로 분석된다. 1:10변압기를 이용한 경우 방전시작이 150V정도에서 형성된 반면 직접구동시에는 1.4kV에서 시작되었다. 변압기 인가시 1차측에서의 천이 시간을 동일하게 가져가더라도 변압기 기생성분으로 인해 인가되는 구형파의 슬랩에 영향을 주며 이는 방전특성에 영향을 주는 것으로 분석된다. 방전 품질대비 가격과 전원장치 및 구동소자의 실효성을 고려하면 변압기 구동회로가 직접구동회로보다 경쟁력이 있는 것으로 관측된다.

4. 결 론

무수은 면광원은 뛰어난 방전특성을 가지고 있지만 높은 방전개시전압으로 인해 구동회로의 전압스트레스를 증가시킨다. 변압기를 적용한 구동장치는 가격 및 효율적인 측면에서 우수하지만 방전특성을 감소시키는 단점이 있다. 본 논문에서는 변압기를 이용한 구동장치 설계에 따른 영향과 고려사항을 기술하였다. 이를 통해 설계된 변압기를 실제 패널 실험을 통하여 방전 특성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Ikeda, T. Shiga, S. Mikoshiba, M. Tsuchiya, and S. Shinada, "Mercury-Free, Simple-Structured Flat Discharge LCD Backlights Ranging from 0.5 to 5.2-in. Diagonals," SID Symposium Digest, 2000, pp.938-941
- [2] J. K. Lee, T. J. Kim, H. Y. Jung and K. W. Whang, "High Efficiency Mercury-Free Flat Light Source for LCD Backlighting", SID Symposium Digest, 2005, pp.1309-1311.
- [3] J. H. Jang, S. H. Kang, K. I. Lee and J. Y. Lee, "Charge-Pump High Voltage Inverter for Plasma Backlight with Current Injection Method", The trans. of KIPE, vol. 12, No. 5, October 2007.
- [4] J.H. Park, I. K. Lee, B. H. Cho, J.K. Lee, and K. W Whang, "High Efficiency Inverter Systems for Driving Mercury-free Flat Fluorescent Lamps", PCC2007, 2007, pp.717-719