

IsSpice를 이용한 대화면 LCD 백라이트 CCFL 모델링

박홍순¹, 이정운¹, 양승학², 임영철¹, 윤창선³

¹전남대학교 전기공학과, ²호남대학교 전기공학과, ³LG 이노텍(주)

Modeling of CCFL for the Large Screen LCD Backlight using IsSpice

Hong-Sun Park¹, Jung-woon Lee¹, Seung-Hak Yang², Young-Cheol Lim¹,
and Chang-Sun Yun³

¹Dep. of Electrical Engineering Chonnam National University

²Dep. of Electrical Engineering Honam University

³LG Innotek Co., Ltd

ABSTRACT

효율적인 LCD Backlight 구동 시스템 설계를 위해서는 CCFL에 대한 전기적 특성 파악이 중요하지만 디스플레이의 대형화에 따라 LCD Backlight 램프는 길어지고 비선형 특성으로 인해 특성 표현이 곤란하여 회로 설계시 간략화된 등가 모델을 사용하게 되어 실제 인버터 제작과정에서 많은 시행착오를 거치게 한다.

회로 설계시 수식모델 적용을 위한 CCFL의 모델이 필요하며, 이러한 모델은 인버터를 효율적으로 설계할 수 있게 하므로 설계에 필요한 시간과 자원 절감을 가능하게 한다.

본 논문에서는 42인치 LCD 구동인버터 설계에 필요한 CCFL의 수식 모델링을 IsSpice를 이용하여 구현하였으며, 회로 시뮬레이션과 실험을 통하여 모델의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

TFT-LCD는 오늘날 핸드폰부터 LCD TV에 이르기까지 많은 전자기기의 주요 디스플레이 장치로 널리 쓰이고 있다. LCD는 PDP나 OLED 처럼 자체 발광 소자가 아니기 때문에 광원 역할을 해주는 백라이트(Backlight Unit)가 필요하다. 이러한 백라이트용 램프로는 현재 냉음극 형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL)가 주를 이루는 가운데, 외부전극 형광램프(External Cathode Fluorescent Lamp, EEFL), LED(Light Emitting Diode) 등을 사용하기도 하다. 작은 화면을 갖는 노트북의 경우에는 램프 1~2개를 도광판과 확산시트를 이용하여 전체 화면에 고른 밝기의 빛을 보낼 수 있지만, 큰 화면을 갖는 TV의 경우에는 그렇지 못하다. 대형화되고 전체 두께는 점점 박막화 되어 집에 따라 모니터 및 TV 내의 백라이트용으로 내장된 냉음극 방전램프도 관직경이 작아지고 있다.

본 논문에서는 LCD TV의 화면이 42인치용이며, 20개의 램프가 균등한 배열로 설치되어 있는 LCD 백라이트를 구동하기 위한 구동 IC를 사용하였으며, 사용된 램프의 길이는 960mm로 상당히 길어서 일반적으로 사용하는 H-L 구동방식이 아닌 H-H 구동방식을 사용하였다. 또한 멀티 램프 구동방식을 채택하여 각 램프의 전류를 균일하게 유지하도록 하여 좌, 우측 휘도가 균일해지도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는 42인치 LCD TV에 사용되는 CCFL의 특성 곡선을 산정하여 실험결과와 시뮬레이션결과를 서로 비교하여 모델링 과정을 분석 및 검증한다.^[1]

2. 냉음극 방전램프의 구조 및 특성

LCD 백라이트 구동용 인버터의 부하로 사용되는 냉음극 방전램프는 고휘도, 고효율, 저소비전력, 장수명, 저발열, 우수한 내구성, 우수한 점등특성등 매우 많은 장점들이 있어 각종 디스플레이의 백라이트, 복사기의 이레이저, 스캐너, 차체 계기 조명용, 각종 조명, 장식용으로 사용되고 있다.



그림 1. 냉음극 방전램프의 구조
Fig. 1 Construction of the CCFL

본 논문에서는 42인치용 LCD TV의 CCFL을 이용하였다. CCFL의 구조를 보면 그림 1과 같이 램프의 양 끝에 전극이 붙어 있으며, 내부에는 일정량의 수은(Hg)과 네온(Ne), 아르곤(Ar)의 혼합가스가 봉입되어 있으며, 양끝엔 니켈(Ni)전극으로 이루어져 있고, 유리관 내벽에는 형광체가 도포되어 있다.

그림 2에서 CCFL의 동작원리를 알 수 있듯이 최초 구동할 때 전극 간에 고전압을 인가하면 관내에 존재하는 전자가 전극(양극)에 이끌리어 고속으로 이동하고 전극에 충돌하여 2차 전자가 방출되어 방전이 개시된다. 방전에 의해 유동하는 전자는 관내에 형광물질을 발광하여 수은전자와 충돌해서 자외선을 발생하고 형광물질을 자극하여 가시광선으로 방출한다. 형광물질을 변경함에 따라, 액정에 알맞은 발광 색을 선택할 수 있다.

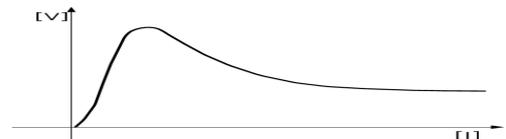


그림 2 CCFL의 전압/전류 특성 곡선
Fig. 2 V-I Characteristics Curve of CCFL

그림 3은 CCFL 분석을 용이하게 하기 위한 등가회로이다. 여기서 Vf1은 램프 초기 점등 후 평균 유지 전압을 나타내고

있으며, 램프의 임피던스 R_l 과 균등한 전압 분배를 위한 밸런스 커패시턴스 C_b 로 구성 되어 있다.

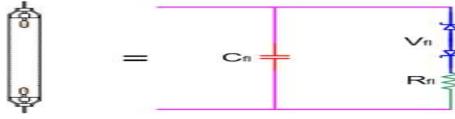


그림 3. CCFL 등가회 모델
Fig. 3 CCFL Equivalent circuit Model

3. 42인치 LCD TV 백라이트용 인버터

3.1 냉음극 방전램프 구동 인버터

램프의 수와 길이가 증가함에 따라 많은 전력을 전달하기 위해 풀-브리지를 사용하였으며, 고압개장전압을 억제하고 램프회로의 균일화 기능이 있으며 대형 LCD용 램프의 안정한 점등과 Transformer와 MOSFET 발열에 우수하며 램프양단의 휘도 편차를 개선하는데 우수한 성능을 보이는 H-H 구동 방식을 사용하였다.

회로의 구성으로는 두 개의 변압기를 직렬로 연결하여 1차측에는 4개의 풀-브리지 구조로 하고 반도체 스위치소자로는 N타입 MOSFET 4개를 이용하였다. 승압용 변압기 그리고 변압기 1차측 인덕턴스와 공진을 위한 직렬커패시터로 구성하였으며, 변압기 2차측은 각 램프에 균등한 전류 공급을 위해 각 램프에 고압 직렬 커패시터를 연결하고, 초기 방전전압과 역률 개선을 위해 고압 병렬커패시터를 연결하였다.

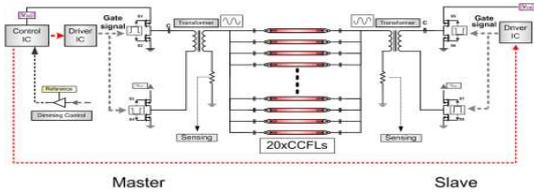


그림 4. 멀티램프 구동 인버터
Fig. 4 Multi-lamp Drive Inverter

램프의 특성이 상이하기 때문에 변압기 2차측과 램프 사이에 직렬 커패시터를 적절한 값으로 삽입함으로써 균등하게 전류를 분배를 하고 있으며, 이는 방전램프의 특징을 이용한 것으로 램프가 점등 시에는 전압이 중요하고 점등 후에는 전류가 중요하기 때문이다. 모든 램프의 임피던스가 조금씩 상이하더라도 전체 흐르는 전류에는 크게 영향을 미치지 못하므로 균등한 전류 분배가 된다.

3.2 풀-브리지 구동 인버터의 동작 원리

설계된 인버터의 동작특성을 스위치 소자의 동작을 기준으로 살펴본다. 정상상태에서 인버터 전력변환회로의 전체적인 동작은 한주기 동안의 스위치 소자의 동작으로 구분한다.

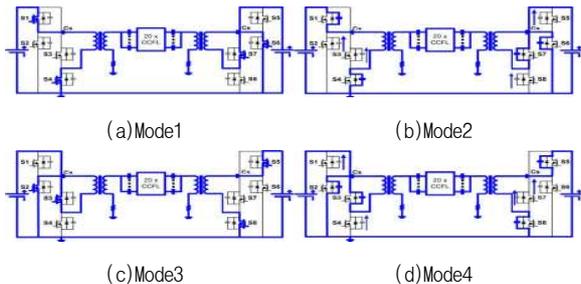


그림 5 인버터의 동작 모드
Fig. 5 Operation mode of the inverter

응용한 풀-브리지 회로는 4개의 동작모드로 나누어 나타낼 수 있다.

모드 1은 Master(램프의 좌측 인버터)의 스위치 소자 S1, S4가 ON이고 S2, S3가 OFF 상태이며, Slave(램프의 우측 인버터)의 스위치 소자 S5, S8이 OFF이고 S6, S7이 ON 상태로 되는 교번동작을 함으로써 변압기로의 전력을 공급하는 모드이다. Master와 Slave 인버터의 스위치 동작으로 생성된 구형파는 승압용 변압기 1차측에 공급된다. 이때 승압용 변압기의 2차측에는 정현파에 가까운 파형이 램프에 인가된다. 램프에 인가되는 Master와 Slave의 전압은 역위상이다.

모드 2는 스위치 소자 S2, S3, S5, S8은 계속 OFF 상태이고 스위치의 기생커패시터에 전압이 방전된다. 이때 S1, S4, S6, S7은 ON 상태에서 OFF 상태로 바뀌고, 스위치의 기생커패시터에 전압이 충전되는 구간이다. 공진소자 C와 L의 역할에 기인하여 정현파 생성에 도움이 되는 양간의 지연이 있다.

모드 3은 모드 1과 반대로 스위치 소자 S1, S4와 S6, S7이 OFF 상태이며, S2, S3와 S5, S8이 동작하는 구간이다.

모드 4는 모드 2와 같으나 스위치 소자 S1, S4와 S6, S7은 계속 OFF 상태이고 S2, S3, S5, S8은 ON 상태에서 OFF 상태로 바뀌는 모드이다.

이상 네가지 모드를 주기마다 반복하면서 변압기에 에너지를 전달하며 냉음극 방전램프를 구동한다.

4. 냉음극 방전램프 모델

본 논문에서 제시한 CCFL의 실효전압과 전류의 특성은 광레벨에서 냉음극 형광램프는 부성 임피던스 특성을 가지며, 그림 6에서 보듯이 전압-전류 곡선의 형태가 된다.

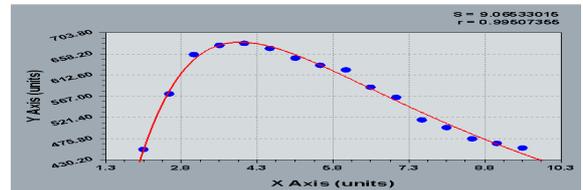


그림 6. CCFL 구동시 전압-전류 곡선

Fig. 6 Voltage-Current Curve for Operating CCFL

출력 전류와 전압의 특성을 Curve Fitting을 이용하여 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$V_{rms} = e^{9.94 - \frac{5.649}{I_{rms}} - 1.446 \ln I_{rms}} \quad (1)$$

고주파수에 동작하는 저항이므로써의 램프 등을 고려한 등가 임피던스는 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$R_{LAMP} = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)로부터 식(3)을 구할 수 있다.

$$R_{Lamp} = \frac{e^{9.94 - \frac{5.649}{I_{rms}} - 1.446 \ln I_{rms}}}{I_{rms}} \quad (3)$$

이때 식 (4)와 같이 램프 전류 I_t 를 사용하여 램프 전압 V_t 에 대한 식을 구할 수 있다.

$$V_t = R_{Lamp} \times I_t = \frac{e^{9.94 - \frac{5.649}{I_{rms}} - 1.446 \ln I_{rms}}}{I_{rms}} \times I_t \quad (4)$$

식 (4)에 의해 CCFL을 모델링하였으며, 순시램프전압 V_t 는 순시램프전류 I_t 와 실효전류 I_{rms} 의 함수로써 구할 수 있으며, 그림 7과 같이 IsSpice로 모델을 만들 수 있다. 그림에서 H1은 이득=1을 갖는 전류제어 전압원으로 순시램프전류를 검출하고, G1은 전압제어 전류원, B8은 식 (4)과 같은 전원을 가지는 전압제어 전압원, E4는 이득=1을 갖는 전압제어 전압원으로 순시램프전압을 출력전압으로 발생한다.

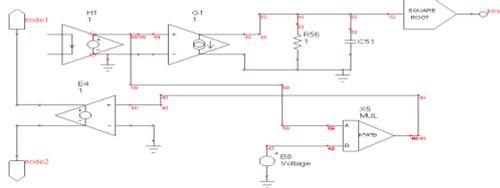


그림 7. CCFL의 IsSpice 모델
Fig. 7 IsSpice Model of CCFL

5. 시뮬레이션 및 실험 결과

CCFL의 모델을 검증하기 위해 제작된 멀티램프 구동 인버터는 다음과 같다.

- Input Voltage : 24Vdc
- Operating Frequency : 65kHz
- Lamp Type : 20EA (Lamp Voltage : 630V ±150V
Lamp Current : 6.5mA ±0.4mA)
- Lamp Dimensions : Length : 960mm
Diameter : 4mm

그림 8은 42인치 LCD TV용 CCFL의 모델을 포함한 풀-브리지 구동 인버터 시뮬레이션 회로이며, 실제 구동회로와 유사하게 하기 위해 보호회로 부분까지 나타내었다.

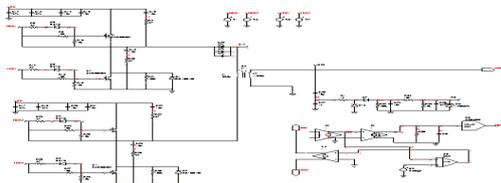


그림 8. 시뮬레이션 회로
Fig. 8 Simulation Circuit

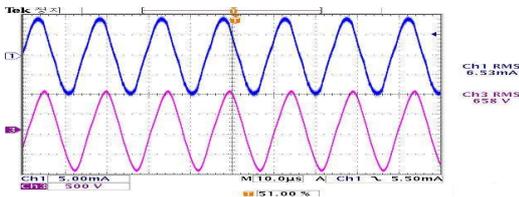


그림 9. 전류(상)-전압(하)
Fig. 9 Current(High)-Voltage(Low)

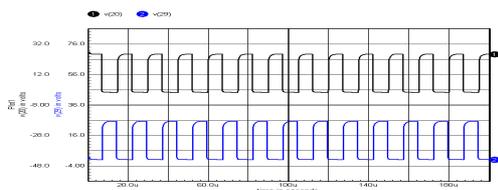
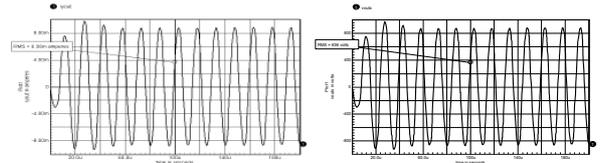


그림 10. 스위칭 파형
Fig. 10 Switching Waveforms



(a) Voltage Waveforms (b) Current Waveforms

그림 11. IsSpice 시뮬레이션 파형

Fig. 11 Simulation Waveforms using IsSpice

그림 9은 실제 제작된 42inch LCD TV 출력 전류와 전압 파형이며, 출력 전압 V_{rms} 은 658[V]이며 출력 전류 I_{rms} 은 6.53mA를 나타내고 있다.

그림 10은 시뮬레이션 회로의 스위칭 파형이며, 그림 11은 회로 시뮬레이션의 출력 전류와 전압의 파형이다. 출력전압 V_{rms} 는 636[V]와 출력 전류 I_{rms} 는 6.36[mA]의 값을 얻었다. 편차를 감안한다면 실제 측정된 파형의 전류, 전압 값이 시뮬레이션한 결과 파형의 형태와 크기가 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 42인치 LCD TV 백라이트용 CCFL 멀티램프 구동 인버터를 설계, 제작하였고, CCFL의 모델링에 관한 연구를 하였다. 실제 회로와 유사하게 구현하기 위해서 42인치 LCD TV 구동 인버터에 포함되어 있는 보호회로를 시뮬레이션에 포함하였다.

회로 시뮬레이션 구현에서 CCFL 측정 값과 시뮬레이션 구현 결과 값이 유사함을 확인하였고, 제작에 앞서 시뮬레이션으로 램프 양단에 전압 파형과 전류 파형을 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 램프의 임피던스에 따른 출력 파형을 유추할 수 있으리라 기대된다.

추후 과제로 회로에서 뿐만 아니라 수식 전문 소프트웨어인 Matlab을 적용하여 회로 검증에 신뢰도를 높일 수 있는 연구가 필요하다.

이 연구에 참여한 연구자는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았다.

참 고 문 헌

[1] Chang-Sun Yun, Hyun-Chang Cho, Dong-Young Huh, Kwang-Heon Kim, and Young-Cheol Lim, "A Study on the CCFL Back-light for Large Size LCD TV", The Korean Institute of Power Electronics, Vol. 11, No. 6, pp.502-507. Dec. 2006.

[2] Kyu-Min Cho, Won-Sik Oh, Gun-Woo Moon, Mun-Soo Park, and Sang-Gil Lee, "A Study on the Equivalent Model of an External Electrode Fluorescent Lamp Based on Equivalent Resistance and Capacitance Variation", Journal of Power Electronics, Vol. 7, No. 1, January, 2007.