

IGBT를 이용한 형광등 백라이트 제어기 특성

(Characteristics of fluorescent lamp back light controller using IGBT)

가출현* · 김순기

(Chool-Hyun Ka · Soon-Gi Kim)

신성대학 디지털전기계열

요약

IGBT를 이용한 형광등 백라이트 제어기를 설계 제작하여 특성 실험을 한 결과, 타 방식의 백라이트 제어기 비하여 고효율, 고역률, 고품질의 특성을 가지는 한편, 스위칭 시에 발생하는 피크 전류 및 노이즈로 인한 인접 전기전자기에 영향을 미치지 않도록 함으로써 안정성이 뛰어나며, 또한 기존의 슬라이다스를 이용한 전원장치를 대체하는 한편 원격제어를 손쉽게 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

또한 본 제어기는 제로크로싱 동기를 채택하여 온·오프 시에 발생하는 피크 전류를 방지함으로써 제품의 안전성을 극대화시킬 수 있는 장점을 가지고 있어 차후 산업용 전원 장치 및 각종 가변 전원을 필요로 하는 대상에도 광범위하게 응용될 수 있을 것이다.

1. 서론

본 논문은 PWM(Pulse Width Modulation) 및 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 혼합방식의 전압·전류 피드백형 형광등 백라이트 제어기에 관한 것이다. 공급전원을 전파정류 시킨 후 직류를 평활 시키지 않은 라인에 4개의 스위칭 소자를 직·병렬로 접속시킨 스위칭부와 전압 조절 명령에 따른 듀티율을 가지는 펄스발생 및 펄스주기를 조절할 수 있는 듀티 제어부, 전원전압의 제로점을 동기 시키기 위한 제로크로싱 동기부, 전원전압의 동기신호를 검출하기 위한 전원동기 검출부, 듀티비 제어부에서 발생된 신호와 제로크로싱 동기신호와 전원동기 검출신호를 논리곱 시키기 위한 논리회로부, 논리회로부의 신호를 받아 스위칭 신호를 발생하는 스위치구동부, 스위칭부의 출력전압에서 고조파를 제거하기 위한 고조파제거 필터부, 전압조절기의 온·오프 시에 안전성을 기하기 위한 소프트스타트, 소프트스톱 제어부, 출력전압의 안정성을 위한 전압 및 전류의 피드백 제어부와 전력전자 부하의 고조파 전류와 EMI를 최소화시키기 위한 전원 필터부로 구성된 형광등 백라이트 제어기의 특성에 관하여 연구하였다.

2. 본론

2.1. 회로 구성

먼저 LC 고조파 제거 필터부 앞단의 전압 v_s 는 스위칭소자 S_1, S_2 또는 스위칭소자 S_3, S_4 가 온되어 있는 상태라면 $v_s = v_i$ 이고, 반대로 스위칭소자 S_1, S_2, S_3, S_4 가 오프 되어 있다면 $v_s = 0$ 이 된다.

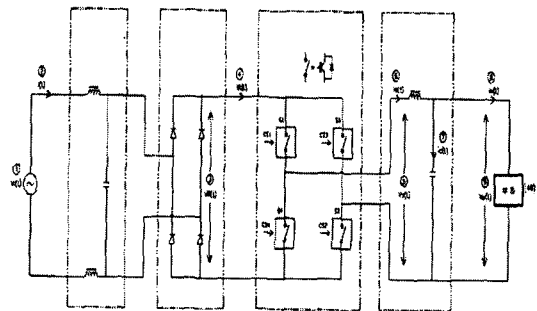


그림 1. 스위칭 개념도

그림 1에 스위칭 개념도를 나타내었다. 상기 스위칭소자 S_1, S_2, S_3, S_4 의 스위칭 주기 T 에 대하여 듀티율(duty ratio) D 가 일정하다면 v_s 는 입력 전압 v_i 와 동일한 기본 주파수 성분을 갖는 신호 및 스위칭으로 인한 잡음 성분으로 구성될 것이다.

여기서 스위칭에 의한 잡음 성분은 기본 주파수 성분보다 매우 높은 주파수를 갖고 있으므로 LC 고조파 제거 필터부에 의해 고조파가 제거되어 이상적인 경우 출력전압은 식(1)과 같다.

$$v_o = Dv_i \tag{1}$$

출력전류 i_o 는 부하가 순수한 저항성분만을 포함하고 있다면 그림 4에 도시된 파형과 같다.

그리고 인덕터에 흐르는 전류 i_L 는 $0 \leq t \leq DT$ 구간에서 리플성분을 무시하면 식(2)와 같다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_i - v_o}{L} = (1-D) \frac{v_i}{L} \quad (2)$$

스위칭소자 $S_1 \sim S_4$ 의 스위칭으로 인한 인덕터 전류 i_L 의 리플 성분은 식(2)에 의해 상승 및 하강을 반복하며 그 값은 식(3)으로 표시된다.

$$\delta i_L = \frac{(1-D)DT}{L} v_i \quad (3)$$

한편, $DT \leq t \leq T$ 구간에서는 인덕터 전류는 식(4)와 같이 된다.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L} v_o = -\frac{D}{L} v_i \quad (4)$$

이 구간 역시 식(4)와 같이 하강 및 상승을 반복하며 스위칭으로 인한 리플성분은 식(3)과 동일하게 나타나는 것으로, 결국 입력전압 v_i 와 듀티율 D 가 동일하다면 한 주기(T)동안 인덕터 전류의 상승값과 하강값은 같게 된다.

정상상태에서 커패시터가 이상적인 필터로 동작할 경우 인덕터 전류 중 입력 주파수와 동일한 성분인 기본파 전류는 모두 출력 부하에 전달하고, 스위칭으로 인한 리플성분(δi_L)만을 모두 흡수하게 되며, 이 경우 커패시터 전류 i_C 는 인덕터 전류 i_L 의 리플성분이 되므로 스위칭 한 주기 동안 커패시터 전류의 변동은 식(5) 및 (6)과 같다.

$$i_C = \frac{2t-DT}{2DT} \delta i_L \quad (0 \leq t \leq DT \text{ 구간}) \quad (5)$$

$$i_C = \frac{1-2t+DT}{2(1-D)DT} \delta i_L \quad (DT \leq t \leq T \text{ 구간}) \quad (6)$$

따라서, $i_L = i_o + i_C$ 이므로 각 구간별 인덕터 전류는 수식 7 및 8과 같다.

$$i_L = i_o + \frac{2t-DT}{2DT} \delta i_L \quad (0 \leq t \leq DT \text{ 간}) \quad (7)$$

$$i_L = i_o + \frac{1-2t+DT}{2(1-D)DT} \delta i_L \quad (DT \leq t \leq T \text{ 구간}) \quad (8)$$

정상상태에서 출력전압 v_o 는 스위칭으로 인한 리플 성분을 무시한다면 식(1)과 같지만, 리플 성분이 존재하며 그 값은 식(9)와 같다.

$$\delta v_o = \frac{(1-D)DT^2}{8LC} |v_i| \quad (9)$$

즉, LC값이 클수록 그리고 T값이 작을수록 출력전압의 리플 성분은 작은 값이 되고, 그림 2, 3에서 이상 유도된 수식을 파형으로 예시하고 있다.

앞에서 설명한 것과 같은 전압조절기 구현 원리

에 착안하여 설계한 전압 조절기의 구성 및 동작을 그림 4와 같다.

전원 필터부는 전원공급 라인을 통해 인입되는 전류의 고조파 성분제거와 전자파 간섭을 제거하며 역률을 향상시키게 되며, 전파 정류부는 입력 라인의 정현파 전압을 전파 정류시키는 작용을 하게 된다.

전파 정류부에서 정류시킨 후 직류 평활 시키지 않은 라인에 4개(단상) 또는 6개의 (삼상)스위칭소자($S_1 \sim S_4$ 또는 $S_1 \sim S_6$)를 직·병렬로 접속시켜 구성한 스위칭부의 스위칭 소자($S_1 \sim S_4$ 또는 $S_1 \sim S_6$)는 스위치 구동부에서 인가되는 스위칭신호($CS_1 \sim CS_4$ 또는 $CS_1 \sim CS_6$)에 의해 온·오프 된다.

또한 고조파 제거 필터부는 스위칭부에서 스위칭소자($S_1 \sim S_4$ 또는 $S_1 \sim S_6$)가 온·오프 작동할 때 발생하는 잡음을 제거하여 안정된 전압을 부하에 공급하도록 한다.

본 논문의 듀티 제어부는 사용자로부터 입력되는 전압 조절 명령에 따른 듀티율을 가지는 구형파 펄스를 발생하여 출력하게 되며, 또한 구형파 신호의 주기도 변화시킬 수 있도록 구성되어 있는 것으로, 듀티 제어부의 듀티율의 변화에 따라 스위칭부의 스위칭신호($CS_1 \sim CS_4$ 또는 $CS_1 \sim CS_6$)를 제어하여 스위칭 소자($S_1 \sim S_4$ 또는 $S_1 \sim S_6$)의 온·오프 시간이 변화되며, 이에 따라서 부하에 공급되는 전압레벨을 변화시킬 수 있다.

제로크로싱 동기부는 운전신호를 가하면 신호를 가한 시점에서 전압 조절기가 동작하지 않고, 입력전원의 제로점을 찾아서 동작 신호를 발생하도록 하여 피이크 전류 및 과도전압 발생을 방지하는 기능을 갖게 되며, 전원 동기 검출부는 입력 전원 파형의 정(Positive) 동기신호와 부(Negative)동기신호를 검출하는 기능을 갖는다.

논리 회로부는 듀티 제어부와 입력전원의 제로크로싱 동기부의 출력 그리고 전원 동기검출부에서 검출된 입력전원 파형의 정(+)동기 신호와 부(-)동기 신호에 일치하는 논리곱 신호를 출력하여 입력전원과 출력 전원을 동위상으로 동기시키는 기능을 갖게 된다.

스위치 구동부는 상기된 논리회로부에서 출력시키는 논리곱 신호를 받아 스위칭 신호($CS_1 \sim CS_4$ 또는 $CS_1 \sim CS_6$)를 발생하는 기능을 가지며, 상기된 스위칭 신호($CS_1 \sim CS_4$ 또는 $CS_1 \sim CS_6$)는 스위칭부에 인가되어 스위칭 소자($S_1 \sim S_4$ 또는 $S_1 \sim S_6$)를 교호적으로 온·오프 제어하게 된다.

즉 스위치 구동부는 논리 회로부에서 출력되는

논리곱 신호에 따라 서로 다른 논리레벨을 가지는 스위칭 신호(CS₁~CS₄ 또는 CS₁~CS₆)를 출력하게 된다. 다시 말해 단상에서 스위칭 신호 CS₁, CS₂가 논리 하이(High)이면 스위칭 신호 CS₃, CS₄는 논리 로우(Low) 신호가 출력되게 함으로써 스위칭소자 S₁, S₂는 스위칭 온상태가 되고, 스위칭소자 S₃, S₄는 스위칭 오프상태가 되도록 한다.

한편 스위칭부와 고조파제거 필터부에는 온도와 열을 검출하는 온도과열검출소자를 설치하여 이상 온도상승을 검출하게 하고, 스위치 구동부에는 스위칭 소자 이상 검출부를 구성하여 스위칭 소자의 이상을 검출하게 하며, 상기 온도과열 검출신호와 스위칭 이상 감지신호 및 운전신호로 인가되는 작동 정지신호를 제어로직 차단부에서 감지하여, 어느 하나라도 신호가 인가될 경우는 논리회로부의 구동을 정지시킴으로서 이상상태가 발생하는 것을 방지하여 안정된 작동이 이루어질 수 있도록 한다.

또한 전압 검출부와 전류 검출부는 입력전원의 전압과 전류를 검출하여 입력전원 전압의 변동 및 부하변동에 따른 출력전원의 안정성을 확보하기 위하여 출력전압을 검출하여 전압루프 PI 제어부에 피드백 시키고, 부하 전류의 변화량을 검출하여 전류루프 PI제어부에 피드백 시켜 안정된 폐루프 제어기법을 구현함으로써 각종 부하에 능동적으로 안정감 있게 대응할 수 있는 조절기능을 갖는다.

소프트스타트, 소프트스톱 제어부는 전원 장치에서 운전 신호가 인가됨과 동시에 외부출력 설정기의 변화량에 따라 천천히 출력전압이 증가 또는 감소 되도록 듀티비를 증가 또는 감소시켜 부하에 급격한 충격을 완화하도록 한다.

2.2. 백라이트 제어기 제작 및 특성 실험

FMG2G50US60 IGBT(600V, 50A)를 사용하여 형광등 백라이트 제어기를 제작 하였다. IGBT 드라이버는 CHM4001을 사용하였으며, Reactor는 20mH 15A를 사용하였다. 실험은 출력측 캐패시터의 용량을 0.1, 0.22, 0.33, 1, 2.2, 3.3 μ F로 변화 시키고, 스위칭주파수를 10, 12, 14, 16, 18, 20kHz로 변화시켜 가면서 Power Analyzer와 오실로스코프를 이용하여 제 특성을 측정하였다.

주파수 변화에 따른 조도의 변화는 출력측 캐패시터의 용량이 클수록, 스위칭 주파수가 높을수록 좋은 특성을 나타내었고, 역률은 스위칭 주파수의 변화에는 거의 무관하고, 출력 캐패시터의 용량에 크게 의존하여 캐패시터 용량이 클수록 역률이 높음을 나타내고 있다. 전압 왜율은 스위칭 주파수의

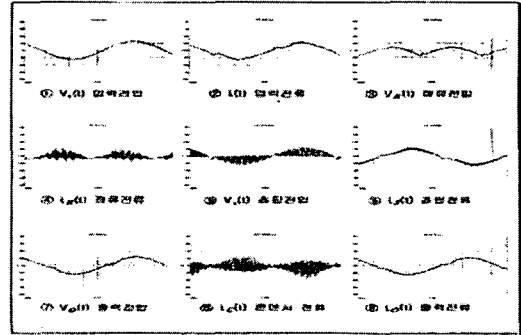


그림 2. R부하시 파형

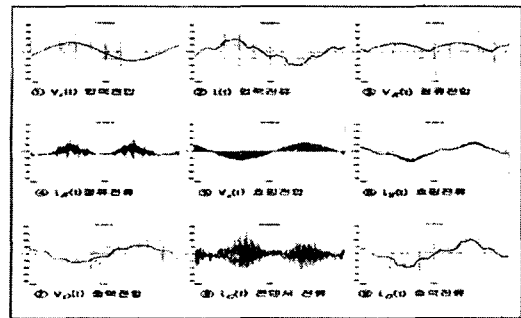


그림 3. L부하시 파형

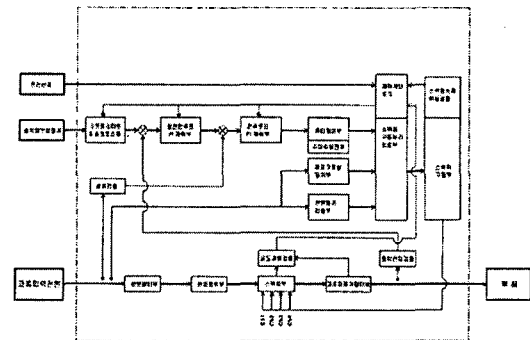


그림 4. 형광등용 백라이트 전압제어기 계통도

감소에 따라 약간 낮게 나타났으며, 출력 캐패시터의 용량이 감소함에 따라 전압 왜율은 낮게 나타났다. 고조파 전압도 스위칭 주파수가 14kHz 부근에서 가장 낮게 나타나고, 출력 캐패시터의 용량에 반비례하는 특성을 나타내었으며, 전류왜율은 스위칭 주파수에 거의 무관하고 출력 캐패시터 용량에 반비례하는 특성을 보였다. 그림 2, 3은 R, L 부하시 파형이며, 그림 5와 그림 6은 각각 주파수 변화에 따른 조도 특성 및 역률특성이며, 그림 7은 주파수 변화에 따른 전압 왜율을 나타내었다.

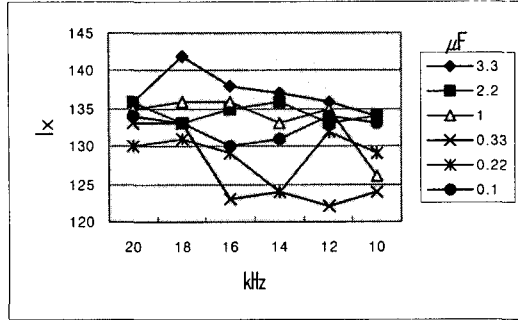


그림 5. 주파수 변화에 따른 조도 특성

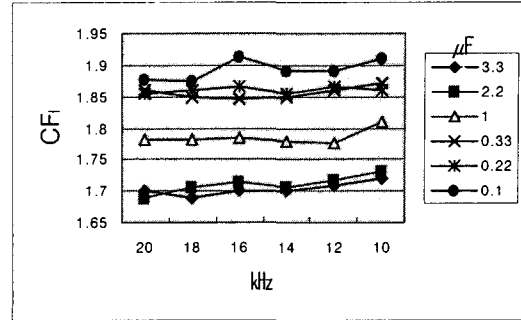


그림 9. 주파수 변화에 따른 전류파고율 특성

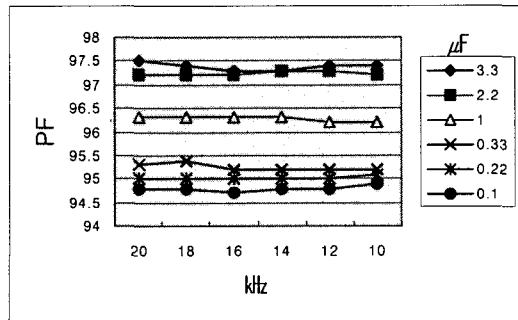


그림 6. 주파수 변화에 따른 역률 특성

그림 8은 주파수 변화에 따른 고조파 전류 특성을 나타내었으며, 그림 9는 주파수 변화에 따른 전류파고율 특성을 나타내었다.

3. 결론

본 제어기는 PWM 및 PAM 혼합방식의 전압, 전류 피드백형 형광등 백라이트 제어기로서, 타 방식의 백라이트 제어기 비하여 고효율, 고역률, 고품질의 특성을 가지는 한편, 스위칭 시에 발생하는 피크 전류 및 노이즈로 인한 인접 전기전자기에 영향을 미치지 않도록 함으로서 안정성이 뛰어나며, 또한 기존의 슬라이더를 이용한 전원장치를 대체하는 한편 원격제어를 손쉽게 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

또한 본 제어기는 제로크로싱 동기를 채택하여 온·오프 시에 발생하는 피크 전류를 방지함으로써 제품의 안전성을 극대화시킬 수 있는 장점을 가지고 있어 차후 산업용 전원 장치 및 각종 가변 전원을 필요로 하는 대상에 광범위하게 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

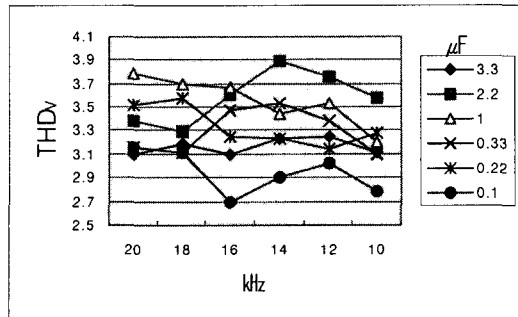


그림 7. 주파수 변화에 따른 전압 왜율 특성

참고 문헌

- [1] 이진우, 인덕터 안정기용 형광램프 모델링, 조명 전기설비학회논문지, Vol.18, No.1, pp.9~14, 2004.
- [2] 김태우, 진기호, 강안중, 김학성, 새로운 ZVZCS PWM Boost 컨버터, 전력전자학회논문집, pp.327~331, 2003.
- [3] Peek, S.C. and Spencer, D.E., A differential equation for the fluorescent lamp, J. of IES, Vol.63, No.4, pp.157~165, Apl. 1968.

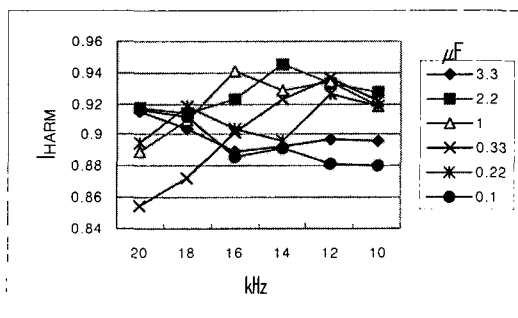


그림 8. 주파수 변화에 따른 고조파 전류 특성