

## 무전극 등의 조광기술 현황

(A Review of Dimming Technology of Electrodeless lamps)

한수빈\* · 박석인 · 정봉만 · 정학근 · 유승원

(Soo-Bin Han · Suck-In Park · Bong-Man Jung · Hak-Gun Jeong · Song-Won You)

### Abstract

This paper reviews the dimming technology of the electrodeless lamp. Frequently used three methods are technologically reviewed and the performances are individually compared. Then, a lot of circuit technology for constructing the power supply are also reviewed and circuit characteristics are discussed.

### 1. 서 론

형광등과 같이 일반적으로 사용하고 있는 램프는 필라멘트나 전극에 의해 발광되는데 이들은 일정 시간이 경과하면 소손되어 수명이 다 되고 이로 인하여 램프를 교체하게 된다. 반면에 전극이 없는 무전극 램프에서는 전극이 없이 전자유도법칙의 원리를 이용하여 가스를 방전시켜 발광한다. 결과적으로 고연색성과 고효율을 겸비한 광원으로 긴 수명을 보장하게 되므로 적용상의 많은 장점을 갖고 있으며 일반 조명용외에 디스플레이 장치의 광원등 정보화사업과 연관되어 적용이 모색되고 있다[1][2].

향후 가능성이 크고 광원기술의 척도로 무전극 램프기술이 평가되기 때문에 많은 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 특히 최근에는 무전극 램프에 대한 조광기술에 대한 연구가 활발하며 이는 다양한 분야에서의 응용을 위해 필요한 기술이다. 따라서 본 논문에서는 최근의 무전극등의 조광기술과 관련된 기술을 검토해보기로 한다. 조광기술로 사용되는 기본적인 3가지 방법에 대한 검토한 후 무전극등 안정기 기술과 조광에 대한 최근의 방식에 대해 소개하기로 한다.

### 2. 조광제어기술의 분류

#### 가. 동작전압의 변화에 의한 방법

인버터의 경우 대부분 정류부에서 정류된 전압을 받아서 동작하게 된다. 따라서 인버터에 공급되는 전압을 변동시키면 결과적으로 인버터의 출력

전압이 변동되어 램프에 공급되는 전압이 변동하게 된다. 결과적으로 램프전류의 값이 변화하게 되므로 인버터의 공급되는 직류전압을 변화시키는 것은 조광의 한 방법이 되게 된다.

그러나 이 경우 조광이 가능한 범위에 제한이 따를 수 있게 된다. 예로서 역올보상회로를 사용한 정류부의 경우는 보통 부스터의 구조를 갖게 된다. 부스트 구조는 출력전압이 반드시 입력전압의 피크값보다 커야 된다. 이 경우 입력전압이 220V가 된다면 최소동작전압은 311V가 되며 입력전압의 10%변동을 감안하면 342V가 될 수 있다. 반면에 부스터 출력전압을 통상 400V 이상으로는 동작시키지 않는데 그 이유는 이 전압이상의 경우 반도체 스위치의 내압이 높아져야 하므로 제조가격의 상승이 불가피하게 되기 때문이다. 따라서 현실적으로 인버터에 공급되는 전압을 변동할 수 있는 범위는 넓지 않기 때문에 조광의 범위가 제한된다.

#### 나. 동작주파수의 변화에 의한 방법

형광등에서 잘 알려진 조광의 방법은 인버터의 동작주파수를 변동시키는 방법이다. 이것은 인버터에 연결되는 매칭회로들의 특성이 주파수에 따라 변화하므로 명확한 방법이 된다. 그러나 만약 안정기에서 1% 정도의 매우 낮은 조광이 되도록 동작해야 한다면 또한 다양한 종류의 램프에 대해 사용하려고 한다면 넓은 주파수영역에서 변화가 가능하여야 한다. 예로서 최소 20kHz에서 200kHz 이상의 주파수까지 동작이 되어야 된다. 그러나 이러한 주파수대역은 EMI문제, 스위칭 손실문제 그리고 마이크로컨트롤러 등 디지털구동방식을 사용할

경우 주파수에 대한 해상도의 문제 등이 발생하게 된다.

다. 펄스폭의 변화에 의한 방법

안정기에서 가장 많이 사용하는 하프브리지 형태의 회로 구조에서 고정된 고주파수의 전원의 발생과 관련하여 펄스폭을 변화시키는 2가지 방법이 있다.

한가지 방법은 하프브리지 스위치들의 온타임(on-time)을 동일하게 변화시키는 방법이고 이 경우 데드타임(dead time)의 변화가 매우 심하게 되어 모든 펄스폭에 대해 영전압 스위칭을 구현할 수는 없다. 또 다른 방법은 하프브리지 스위치들의 온타임을 각 다른 방법으로 변화시키는 것이다. 이 경우 데드타임이 최소로 변화하게 되어 PWM의 설정이 바뀌어도 영전압스위칭이 가능하게 된다.

통상적으로 일반 안정기의 응용에서 듀티비(Duty cycle)는 50%로 설정되지만 듀티비가 바뀌면 RMS전압이 바뀌게 된다. 이 경우 그림 1과 같이 주파수의 변화는 없지만 전압의 크기가 바뀌게 되므로 결과적으로 매칭회로의 주파수 특성에 따라 램프전류가 변동하게 되어 조광이 가능하게 된다.

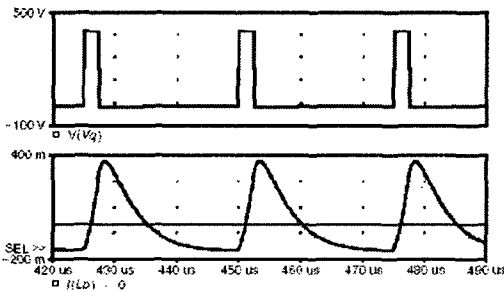


그림 1. PWM 인버터의 듀티비 변화에 의해 램프전류의 변화를 시키는 조광방식  
Fig. 1. Dimming method by changing the duty ratio of PWM inverter output

3. 무전극 램프의 전원장치 기술

무전극 램프의 경우 형광등과 같은 기존의 광원과 관련하여 전원장치에서 가장 다른 점은 높은 점등 주파수에 따른 설계에 있다. 기존의 형광등의 경우 전자식안정기의 경우 20kHz~50kHz의 주파수로 램프를 점등하였는데 무전극 램프의 경우는 엔두라의 경우 250kHz, QL의 경우 2.56MHz,

sulfur lamp의 경우 2.5GHz, 기타 13.56MHz, 200MHz~800MHz에서의 점등시도가 되고 있다.

이 때 문제가 되는 것은 기존의 안정기와 동일한 방식을 사용하는 경우는 이러한 주파수에서는 스위칭 손실의 증가로 인한 문제가 심각하여지기 때문에 반도체소자의 과열에 의한 파괴와 효율의 심각한 저하가 우려된다. 2.5GHz의 주파수로 동작되는 sulfur lamp의 경우는 마그네트론을 사용하며 램프를 구동하지만 그 외의 수십MHz대의 무전극등은 반도체 소자에 의한 고효율 전원방식을 점등장치로 사용한다.

3MHz이하에서의 전원장치는 그림 2와 같이 비교적 형광등용 전원장치와 흡사하게 구성되는 스위치모드방식의 전원을 사용하게 된다. 즉 정류하여 직류전압을 만들고 이를 인버터로 원하는 주파수의 전원으로 교류화하여 램프에 공급하는 방식이다. 상용전원에 대한 역률 및 고주파등의 규제가 보편화되어 있으므로 이를 만족하기 위해서 역률 제어회로를 정류기와 인버터사이에 삽입하게 되는데 역률제어를 용이하게 하는 상용 IC들이 여러 종류가 판매되고 있으므로 이를 이용할 수 있다. 무전극등 인버터의 제어는 기존의 형광등용 안정기용 IC를 그대로 사용하기에는 회로구조 및 주파수 등 여러 조건에서 적합하지 않게 되는 경우가 있으므로 이부분에서는 개발시 개별적 접근이 필요하다.

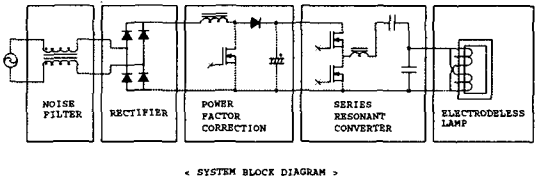


그림 2 SMPS형의 전극 전원장치의 구조  
Fig. 2. SMPS type construction of power supply

3MHz에서 10MHz대의 경우는 스위치모드방식과 선형방식의 증폭기를 사용하는 것이 모두 가능하며 제품마다 그 선택은 각각이다. 선형방식의 증폭기는 기존의 통신용 기기의 rf신호를 발생시키는 기술에서 사용하는 것으로 그림 3과 같이 필요한 주파수의 정현파신호를 오실레이터로부터 발생시키고 이를 증폭기로 증폭시키는 방식이다. 이때 부하에 에너지를 잘 전달하기 위해 인터페이스용 정합회로를 사용하게 된다. 정합회로는 일종의 필터역할을 하게 되면서 어느 주파수에서 증폭이 최대가 되고 나머지 주파수에서는 증폭율이 떨어지게 된다. 이러한 선형방식의 증폭기를 갖는 무전극

전원의 전체구성은 그림 4와 같이 형성되는데 조광은 주파수 변화에 의해 정합회로의 주파수특성에 따라 출력전압이 조절되게 되어 가능하게 된다.

그림 4와 같은 주파수변화에 의한 조광방식은 주파수대가 수MHz이하라면 공진부를 선형증폭기가 아닌 그림 5와 같이 스위치모드방식의 인버터를 사용하여 적용이 가능하다. 스위치모드 방식에서는 반도체 스위치는 on/off로만 동작되지만 선형 전원장치와 동일하게 적합한 정합회로가 필요하게 된다. 그림 5에서 나타난 것과 같이 동일한 인버터에 다양한 정합회로가 가능하며 램프의 임피던스와 관련하여 어느 정합회로가 다른 정합회로보다 효과적일 수 있게 된다. 따라서 정합회로에 대한 고려는 무전극 램프전원장치에서는 매우 비중있는 사항이 되고 있다. 스위치모드 방식에서 전기적인 절연이 필요한 경우는 그림 6과 같이 고주파 트랜스포모를 사용하여 전원장치를 구성하기도 한다. 이 때 고주파와 비교적 높은 전력에서 정상적인 동작이 가능하기 위한 설계 및 제작기술이 또한 중요한 문제가 되고 있다.

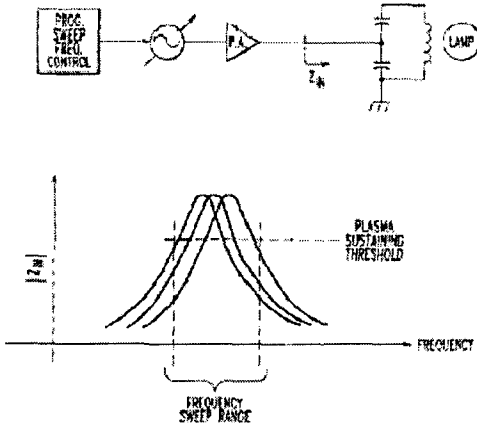


그림 3. 선형증폭기를 사용한 주파수 변화 조광방식  
Fig. 3. Frequency variation dimming method by linear amplifier

효율은 기본적으로 주파수에 따라 달라지지만 수MHz까지의 경우에서는 85-90%가 가능한 것으로 보인다. Fusion lighting에서는 60W급으로 수백MHz로 동작하는 무전극 램프를 개발하기도 하였는데 이 주파수대역에서는 현재기술로는 선형방식의 전원만으로만 전원장치의 구현이 가능하며 효율은 70%대인 것으로 발표되고 있다. 이는 기존의 선형전원장치의 효율보다 좋다고 볼 수 있지만

역시 많은 손실을 감수하여야 하므로 궁극적으로는 무전극 광원이라도 주파수를 높이는 것이 시스템 효율면에서는 반드시 좋은 것은 아닌 결과를 초래할 수 있다.

Endura의 경우는 조광방식은 그림 7과 같이 코아에 또 다른 권선을 감아서 그 권선에 주입되는

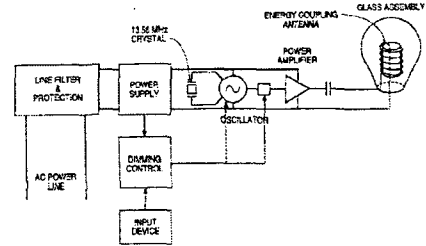


그림 4. 선형증폭기로 구현된 전원장치 구성  
Fig. 4. Power supply construction using linear amplifier method

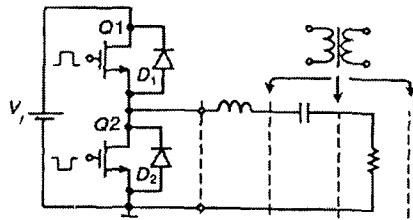


그림 5. 공진방식의 인버터와 임피던스 정합회로  
Fig. 5. Resonant mode inverter and impedance matching circuits

또 다른 전원모듈을 사용하여 램프에 전달되는 에너지를 제어하는 것도 있지만 별도의 전원이 필요한 것이 단점이 될 수 있다.

최근에 가장 중점적으로 연구되는 방식은 하프 브리지의 회로형태에서 펄스폭의 변화를 이용하거나 이를 주파수변조와 함께 사용하는 방식들을 들 수 있다. 그림 8에는 다양한 형태의 방식들에 대한 예를 들었다. 상세사항은 관련 문헌을 참조바란다.

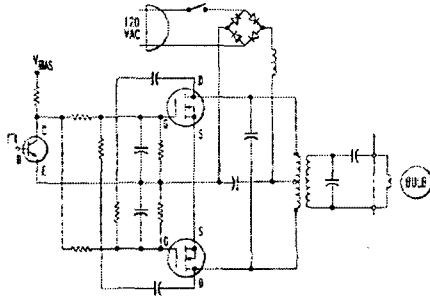


그림 6 고주파 트랜스를 사용한 절연형 전원장치  
Fig. 6. Isolated power circuit using high frequency transformer

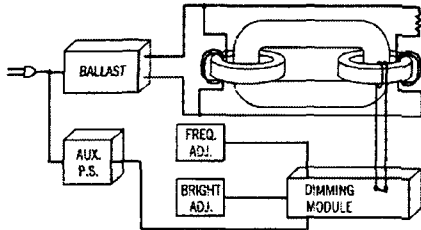
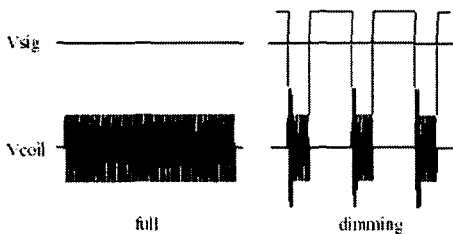
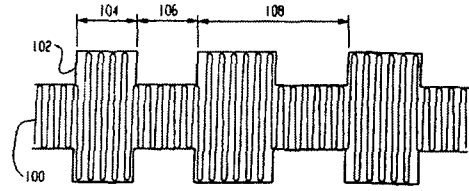


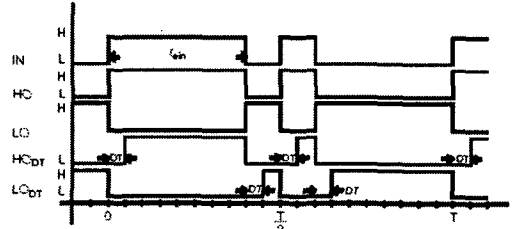
그림 7. Endura 램프의 경우 조광용 전원장치 구조  
Fig. 7. Power supply construction for dimming Endura lamp



(a) 보조 드라이브 구동방식을 이용[3]



(b) 주파수 변조방식을 혼합[4]



(c) 드라이브 패턴을 이용한 듀티비 변화 방식[5]

그림 8 펄스폭 변조의 여러 조광방식  
Fig. 8. Various dimming method based on pulse duty control

#### 4. 결 론

무전극 램프의 조광기술과 관련하여 최근의 다양한 방식을 소개하였다. 이론적으로 분류되는 3가지 방식에 대한 고찰과 함께 실제 제안되고 있는 구체적방식의 기술적 동향에 대해 검토하였다. 전원장치의 경우는 전체 가격과 효율에 결정적인 작용을 하게 되며 다양한 응용을 제고할 수 있으므로 앞으로도 지속적으로 여러 방식이 시도가 될 것이며 조만간 전용 조광용 전원장치가 상용화 될 것으로 보인다.

#### 참 고 문 헌

- [1] "Philips QL lamp systems, Product Information", Philips
- [2] "Osram Endura: Guideline for luminaire manufactures and users", Osram
- [3] H, Kito, et al, "A Study of Electronic Ballast for Electrodeless Fluorescent Lamps with Dimming Capabilities, IEEE, PESC, pp. 889-894, 2001
- [4] L.R.Nerone, "Electrodeless Fluorescent Lamp Dimming System," US Patent 6175198, 2002
- [5] F.Raiser, "Dim The Lights", IEEE, Industry Application Magazine, pp. 54-59, 2002