

CNT 전계방출용 펄스전원장치 개발에 관한 연구

김정훈\*, 정해만\*\*, 류명효\*\*\*, 김종현\*\*\*, 유동욱\*\*\*, 김희재\*  
 부산대학교 전기공학과, (주)에어텍 시스템, 한국전기연구원

A study on the development of pulse generator system for CNT field emission

Jeong-hoon Kim, Hye-man Jung, Myung-hyo Ryu, Jong-hyun Kim, Hee-je Kim, Dong-wook Yoo  
 Pusan national university, Airtec system co.,ltd., K.E.R.I.

**Abstract** - 본 논문에서는 고효율 고휘도의 신광원을 개발함에 있어, 전계방출(Field Emission) 원리를 이용하여, 이미터로서의 성능이 입증된 CNT(Carbon Nanotube, 탄소나노튜브)를 이용한 평판 형태의 신개념 램프에 대한 펄스전원장치에 대한 연구를 하였다. 특히, Triode형 CNT 램프 구동을 위해서는 캐소드(cathode)와 게이트(gate) 사이에서 양방향(Bi-polar) 저전압 펄스가 필요하고 애노드(anode)에 직류 고전압이 필요하여 이를 위한 저전압 펄스 및 직류 고전압 전원장치에 대한 개발을 연구하였다.

1. 서 론

고효율 고휘도의 신광원을 개발함에 있어, 진공 중에서 끝이 뾰족한 도전성 이미터(emitter)에 전기장이 인가되었을 때, 전자가 방출되는 전계방출원리를 이용하여, 그 이미터로서의 성능이 가장 우수한 것으로 입증된 CNT를 이용한 평판형태의 신개념 램프에 대한 펄스전원장치에 대한 연구를 하였다. 이러한 CNT 신광원은 원리상 저소비전력형 고효율 광원으로 적합함은 물론이고, 기존의 형광등과는 달리 전압인가 즉시 발광이 가능하며, 전압 또는 전류량의 조절에 의해 밝기의 조절(dimming)이 용이하며, 수은을 함유하고 있지 않아 향후 규제가 예상되는 형광등을 대체할 친환경적 광원으로 기대를 얻고 있다. CNT 신광원의 형태는 평판형(flat), 발브형(bulb), 직관형(cylinder) 등 다양한 형태로 개발이 가능하며, 본 논문에서는 개발의 완료시에 여러 측면에서 가장 파급효과가 클 것으로 예상되는 평판형램프에 대한 펄스전원장치의 개발에 대한 연구를 하였다.

CNT 면광원 전극 구조에는 Diode형과 Triode형의 두 가지 형태가 있으나, 본 논문에서는 Triode 형에 대한 최적구동용 펄스전원을 연구하였다. Diode형에서는 구동을 위해 애노드와 캐소드에 단방향(Uni-polar) 고전압 펄스가 필요한 반면, Triode형에서는 캐소드와 게이트사이에는 양방향 저전압 펄스가 필요하고 애노드에 직류 고전압이 필요하여 이를 위한 저전압 펄스 및 직류 고전압 전원장치에 대한 개발을 연구하였다[1].

2. CNT 램프 구동용 펄스전원 시스템 구성

2.1 고압 DC 전원

CNT 램프를 구동하기 위한 Triode형 펄스 전원에서는 애노드와 캐소드 사이에 인가하는 고압 DC 전원으로 사용된다.

고압 DC 전원을 만들기 위해서 일반 상용 전원을 정류하여 DC 전원을 만들고 이를 고주파 스위칭을 이용

하여 고주파 AC 전압으로 변환한 후에 고주파 고압 트랜스포머로 승압하여 정류하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 고주파 트랜스포머를 사용하므로 기존의 저주파 트랜스포머에 비하여 부피를 크게 줄일 수 있는 이점이 있다. 아래 그림 1은 고압 DC 전원의 전체 블록도를 나타내고 있다.

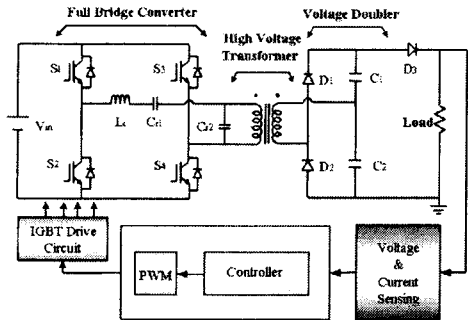


그림 1. 고압 DC 전원 전체 블록도

고압 DC 전원을 구현하기 위하여 그림 2와 같이 직병렬 공진 풀브릿지 컨버터(full-bridge converter)를 적용하였다.

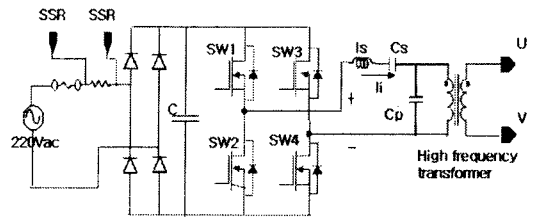


그림 2. 직병렬 공진 풀브릿지 컨버터

본 논문에서는 단상 220V 입력전원을 정류하여 310Vdc의 DC-link 전압을 생성하고 이 DC전압을 인버터 입력전압으로 사용하였다. 인버터는 600V/20A급의 MOSFET 스위칭을 사용하여 단상 풀브릿지를 구성하였으며, 가변 주파수 제어 방식을 적용하여 고압 DC 출력 전압을 제어하도록 하였다. 후단에는 공진을 위한 LC가 삽입되어있어 변압기의 기생성분과 함께 인버터가 직병렬공진 형태로 동작하도록 하였고, 그로 인해 인버터의 각 스위칭들이 ZVS로 동작하도록 하여 스위칭 손실을 최소화하고 EMI 문제도 최소화하였다[2].

전원장치에서의 고주파 고압 트랜스포머를 설계하기 위하여 일반적인 트랜스포머 설계법을 이용하였다. 1차

측의 전압 강하율을 5%정도로 감안 했을 때, 고주파 고압 변압기의 1차측 권선수를 선정하기 위하여, 아래 식(1)을 이용하였으며,

$$n_1 = \frac{(V_1 - 0.05 V_1)}{4.44 f B_s S_c} \times 10^8 \dots\dots\dots(1)$$

2차측 권선수를 선정하기 위하여, 아래 식(2)를 이용하였다.

$$n_2 = \frac{(V_2 + 0.05 V_2)}{V_1 / n_1} \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $B_s$ :포화 자속밀도(Gauss),  $S_c$ :코어 단면적( $cm^2$ ),  $C_o$ :계수,  $P$ :전력(W),  $\alpha$ :코어의 질량/권선의 질량,  $d$ :전류밀도 ( $A/mm^2$ )이다[3].

그림 3은 고압 정류회로와 고압 센싱 회로를 나타내고 있다. 고압 정류회로는 고압변압기 출력을 전압제배 방식을 사용하여 네 배로 승압하여 고압 변압기의 권선비를 줄여 고압 변압기의 절연을 쉽게 확보하도록 하였다.

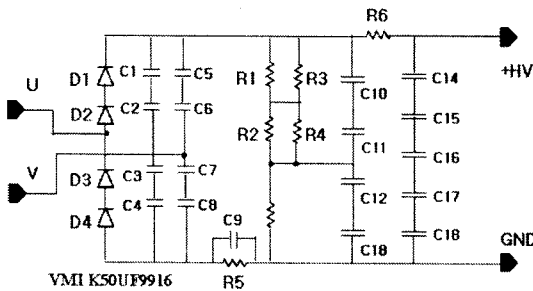


그림 3. 고압 정류회로 및 고압 센싱 회로

본 고압전원장치의 제어기가 출력전압을 제어하기 위하여 고압측의 출력전압을 센싱하여야 하는데 CR분압기를 사용하여 신호용 전압으로 강압을 시키고 제어기에 전압 피드백 값이 되도록 하였다. CR분압기의 전달함수 식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2}}{\frac{R_1}{1+j\omega R_1 C_1} + \frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2}}$$

윗 식(3)에서  $R_1 C_1 = R_2 C_2$ 가 되도록 각각의 저항값과 커패시터값을 정하면 주파수에 독립적이게 되고, 이와 같은 방법으로 출력을 센싱하면 다양한 주파수의 리플도 제어가 가능할 뿐만 아니라 전원장치의 과도응답특성을 향상시킬 수 있다. 또 빠른 충전제어가 가능하도록 제어기를 구성할 수 있어 전원장치의 성능을 향상시킬 수 있다. 고압 DC 전압을 제어하기 위하여 UC3879(phase shift controller IC)를 사용하였다.

## 2.2 Triode형 펄스전원

CNT 램프 구동을 위한 Triode형 펄스전원은 애노드와 캐소드 양단에 고압 DC 전원을 인가하고 게이트와 캐소드 사이에 펄스 전원을 인가하게 된다. 이를 위하여 게이트와 캐소드 사이에 양과 음의 펄스 전원을 인가하는 양방향 구동 펄스전원 방식을 채택하였고, 이 방식을 적용하게 되면 게이트와 캐소드 사이에 양과 음의 펄스 전원이 인가되므로 CNT 램프의 수명이 증가되고, CNT 램프에 흐르는 주 전류가 게이트와 캐소드 사이의 펄스전원에 따라 애노드와 캐소드 또는 애노드와 게이트 사이에서 흐르기 때문에 CNT 램프의 발광 효율이 상승

하는 장점이 있다. 그림 4에서 보는 것처럼, 양방향 구동 펄스전원은 0V ~ 500Vpulse 전압을 구현하기 위하여, 먼저 일반 상용전원 220Vac를 상용 승압 트랜스포머를 사용하여 2배 승압한 후, 약 600Vdc로 정류하였다. 이를 강압 컨버터(buck converter)를 적용하여 출력 전압을 0~500Vdc로 가변할 수 있게 하였으며 풀브릿지 컨버터를 통하여 양방향의 펄스 전원을 구현하여 CNT 램프를 구동하였다.

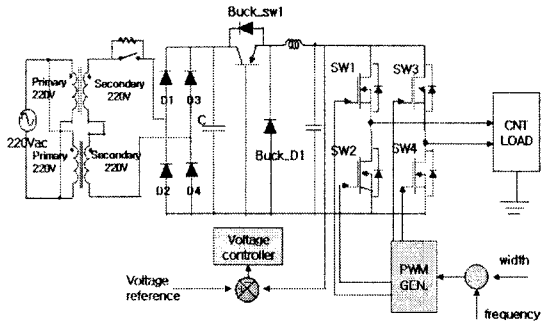


그림 4. 상용 승압 트랜스포머를 사용한 양방향 구동 펄스전원 회로도

## 2.3 가변주파수, 가변펄스폭 제어회로

CNT 램프의 최적 구동을 위하여 고압 펄스 전원의 주파수와 펄스폭을 결정하는 것이 중요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 고압 펄스 전원의 주파수와 펄스폭을 가변할 수 있는 회로를 적용하였다. 그림 5의 양방향 펄스 발생기의 구조를 보여주고 있으며, 그림 6의 파형에서 보여 주듯이, 양방향 출력시의 구동 파형 및 출력은 S2와 S3의 스위치가 공통적으로 켜진 부분에서 +V<sub>DC</sub>가 출력으로 나오고, S1과 S4의 스위치가 공통적으로 켜진 부분에서 -V<sub>DC</sub>가 출력으로 나오고 나머지 부분에서는 출력이 "0"이 된다[4].

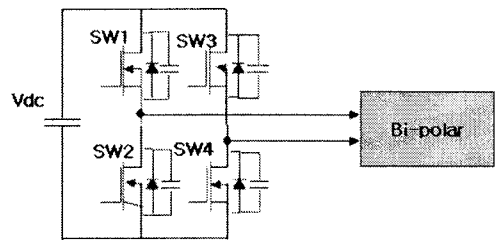


그림 5. 양방향 펄스 발생기 구조

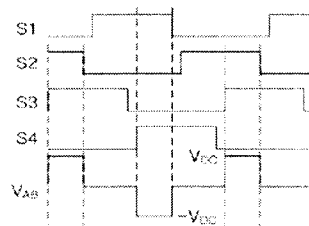


그림 6. 양방향 펄스 발생기의 구동신호

### 3. CNT 램프 연계 성능평가 실험

그림 7은 triode형 펄스전원을 CNT 램프에 인가하는 실험 블록도를 나타내고 있다. 펄스 전원을 CNT 램프의 게이트와 캐소드에 1kΩ의 저항을 통하여 연결하고 고압 DC 전원을 10kΩ과 1kΩ의 저항을 통하여 애노드와 캐소드에 인가하였다. 각각 연결한 저항은 CNT 램프에 큰 전류가 흐르는 것을 방지하여 CNT 램프의 안정성을 확보하기 위한 것이다.

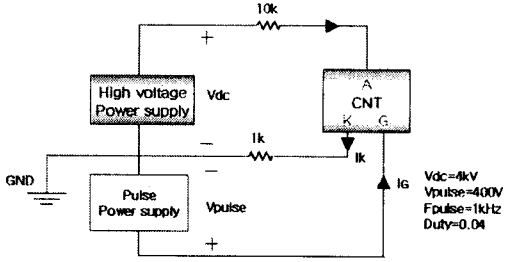
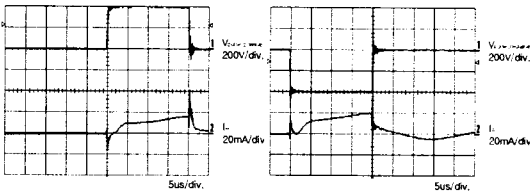


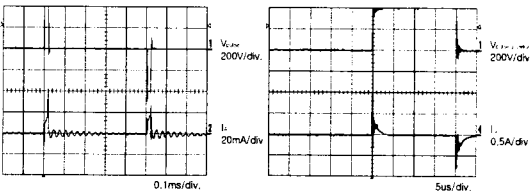
그림 7. CNT 램프 연계 테스트 블록도

그림 8은 CNT 램프의 구동을 위하여 고압 DC 전압과 펄스 전압, 펄스 주파수, 펄스 폭을 가변하였을 경우의 각각에 대한 실험 파형들을 나타내었다.



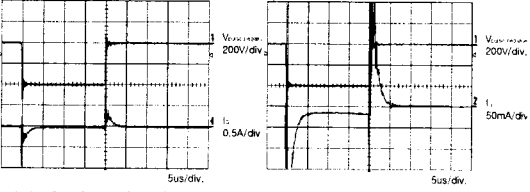
(a)양의 펄스 전압과 애노드 전류 파형

(b)음의 펄스 전압과 애노드 전류 파형



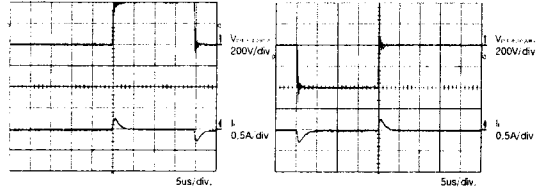
(c)양방향 펄스전압과 애노드 전류파형

(d)양의 펄스 전압과 게이트 전류 파형



(e)음의 펄스 전압과 게이트 전류 파형

(f)음의 펄스전압과 게이트 전류 확대파형



(g)양의 펄스 전압과 캐소드 전류 파형

(h)음의 펄스 전압과 캐소드 전류 파형

그림 8. CNT 램프 연계 실험 파형

### 4. 결 론

본 논문에서는 CNT 면광원 전극구조에 따른 Triode형 펄스 및 직류 고전압 전원장치개발에 관한 연구를 하였다. Triode형에서는 캐소드와 게이트사이에는 양방향 저전압 펄스가 필요하고, 애노드에 직류 고전압이 필요하여 이를 위한 저전압 펄스 및 직류 고전압 전원장치를 각각 개발 및 제작하였다. 개발된 전원장치의 주요 사양은 다음과 같다.

#### \* 개발 완료된 전원장치의 주요 사양

- 입력 : 단상 AC 220V
- 펄스 반복주파수: 수백 Hz~수십 kHz
- Duty Ratio : 1~30%
- Pulse Shape : Bi-polar Pulse
- DC Voltage Range : 0~16kV
- RISE : 200~500ns, PFALL : 100~200ns
- 최대용량[P<sub>MAX</sub>] : 50[W<sub>MAX</sub>]
- 펄스 전원 Module 변환 효율 : 90%이상
- 고압 모듈 요소 부품설계 및 제작 : ≥200 내절연

#### [참 고 문 헌]

- [1] Robert E. Neidert, Purobi M.Phillips, Sidney T.Smith, and Charles A. Spindt. "Field Emission Triodes", IEEE Trans. on electron device. VOL.38, NO. 3, March 1991.
- [2] Keith H. Billings, C. Eng, and M.I.E.E, "Switch mode Power Supply Handbook", Second Edition McGraw-Hill.
- [3] Colonel Wm and T.McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook", Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel.
- [4] C.Henze, H. Martin, and D. Parsley. "Zero-voltage Switching in High Frequency Power Converters Using Pulse Width Modulation" in Proc. 3rd Ann. Appl. Power Electron. Conf. pp.33-40. 1998.