

# CNT(Carbon Nano Tube) FEL(Field Emission Lamp)용 고전압 구동 회로

김현규, 노정욱, 한상규, 홍성수, 사공석진  
국민대학교 전력전자 연구소

## High voltage driver circuit for CNT Field Emission Lamp

Heon-kyu Kim, Chung-Wook Roh, Sang-Kyoo Han, Sung-Soo Hong, Sug-Chin Sakong  
Kookmin University Power Electronics center

### ABSTRACT

본 논문은 CNT(Carbon Nano Tube) FEL(Field Emission Lamp)에서 애노드(Anode)-캐소드(Cathode) 구동용 고전압 구동 회로 구현에 관한 것이다. 본 논문에서 제안하는 고전압 DC 전원 회로는 턴비가 높은 고전압 트랜스포머의 Leakage 인덕턴스를 이용하는 Series-Resonant 형태의 Full Bridge 컨버터를 적용하고 고전압 트랜스포머와 Voltage Multiplier를 이용한다. 고전압 트랜스의 절연전압을 줄이기 위해서 두개의 트랜스포머와 Voltage Multiplier를 이용하여 애노드 전극에는 Positive 고전압, 캐소드 전극에는 Negative 고전압을 인가한다. 이 경우 애노드와 캐소드 사이의 아크 방전 시에도 구동 IC 및 스위칭 소자를 보호할 수 있는 장점이 있다.

### 1. 서 론

평면 디스플레이의 한 종류인 FED(Field Emission Display)와 LCD Backlight용 광원 또는 조명으로 적용이 가능한 FEL(Field Emission Lamp)은 CNT(Carbon nanotube), 텅스텐 등의 전자방출이 용이한 구조인 에미터(Emitter) 소재를 캐소드 전극에 형성시키고 전계를 인가하면 에미터에서 전자가 방출된다. 이 방출된 전자가 애노드-캐소드 사이의 고전계에 의해서 애노드 전극으로 이동하고 애노드 전극의 형광체와 충돌하여 빛을 내는 방식이다. 전자총과 형광체를 이용하는 CRT(Cathode-Ray Tube)와 비슷하지만 사이즈가 큰 전자총이 없기 때문에 슬림형 평면 TV, 모니터 등의 디스플레이에 적용이 가능하고 수은등, 형광등 등에 사용하는 유해물질인 수은이 없기 때문에 차세대 친환경 조명으로 국내외 여러 업체에서 연구 개발 중이다.

CNT FEL 구조로는 애노드, 캐소드로 구성된 2극 구조와 애노드, 캐소드 및 게이트(Gate)로 구성된 3극 구조가 있다.<sup>[1]</sup> 3극 구조에서는 게이트-캐소드 전극에 저전압 펄스 전압을 인가하여 전자를 방출시키고 애노드-캐소드 사이의 고전압 DC 전원에 의해서 전자가 애노드로 이동하여 형광체와 충돌 및 낸다.

게이트 신호의 의해서 개발적인 화소 구동을 제어할 수 있기 때문에 Display로 적합한 구조이다.<sup>[2]</sup> 3극 구조 방식을 광원으로 적용 할 경우 특히 LCD Backlight 광원으로 적용하면 차세대 LCD Backlight 기술인 Local Dimming 기술도 가능하다.

2극 구조에서는 애노드-캐소드 사이의 고전압 DC 전원 또는 고전압 펄스 전원에 의해서 전자 방출 및 전자가 이동하여 형광체에 충돌하여 빛을 낸다. 3극 구조에 비해 간단한 구조로 저가격이 요구되는 광원에 적합하다. 2극 구조에서 고전압 DC 전원을 애노드-캐소드에 적용할 경우 발광 효율 및 형광체 수명 등의 특성에 문제가 발생한다. 고전압 펄스 회로는 고전압 DC 전원 외 다수의 고전압 스위칭 소자가 필요하기 때문에 회로가 복잡해지고 이로 인해 보드사이즈 및 보드 제작 가격 측면에서 문제가 발생한다.

본 논문에서는 CNT FEL 2극 또는 3극 구조에서 애노드-캐소드 구동용 고전압 DC 전원 회로 구현에 관한 내용이다. 기존 고전압 DC 전원회로 구현 시 트랜스포머의 높은 턴비로 인해 Leakage 인덕턴스가 크고 이로 인한 효율저하 문제를 Series-Resonant Full Bridge 컨버터로 해결한다. 그리고 트랜스포머 높은 출력전압으로 인한 2차권선간의 절연전압 문제를 두개의 트랜스포머 및 Voltage Multiplier에 의해서 Positive, Negative 고전압을 이용하여 해결한다.<sup>[3]</sup>

### 2. 기존 고전압 DC 전원 회로 및 고전압 펄스 회로

#### 2.1 고전압 DC 전원 회로

기존에 널리 사용하고 있는 고전압 DC 전원 회로로는 CRT에서 사용하는 FBT(Flyback Transformer) 회로가 있다. 절연전압 문제를 FBT를 이용해서 해결하였지만, FBT 사이즈가 크기 때문에 슬림형 평면 TV, 모니터용 회로 및 조명용 회로로는 적합하지 않다.

고전압 DC 전원 회로는 입력전압 대비 출력전압이 높기 때문에 트랜스포머 턴비가 높다. 트랜스포머 턴비를 낮추기 적합한 회로로 Full Bridge 컨버터를 많이 사용하고 있다. 그림 1은

고전압 DC 전원 회로로 Series-Resonant Full Bridge 컨버터 및 높은 턴비를 가지는 고전압 트랜스포머 그리고 여러 단의 Voltage Doubler로 구성된 Voltage Multiplier로 구성되어 있는 회로이다.

상용 AC 전원에 평활회로를 거친 DC 전원 또는 PFC (Power Factor Correction) 출력 전원을 Full Bridge 입력전원 (Vin)으로 받는다. Vin 전원을 Full Bridge 컨버터에 해서 고주파 AC 전압으로 변환하고 고주파 AC 전압을 트랜스포머에 의해서 고전압 AC 전압( $\pm V_o$ )으로 변환한다. 그리고 고전압 AC 전압이 Voltage Multiplier에서 원하는 고전압( $6V_o$ ) 얻을 수 있다. 하나의 Voltage Double는  $\pm V_o$  AC 전원을  $2V_o$ 로 변환하는 회로로 n단을 사용한 Voltage Multiplier는  $2nV_o$ 의 출력전압을 얻을 수 있다. 예를들어 PFC 출력  $400V_{DC}$  전원을 입력으로 받아 Full Bridge 회로에서 수십 KHz,  $\pm 400V_{AC}$  신호로 변환하고 트랜스포머 턴비에 의해서 수십KHz  $\pm 4KV$ 로 승압한다. 그리고 Voltage Doubler 3단을 사용한 Voltage Multiplier에 의해서  $12KV_{DC}$  전압을 얻을 수 있다.

입력전압 대비 높은 출력전압을 얻기 위해서 트랜스포머의 턴비가 높아야 하고 이로 인해 Leakage 인덕턴스 및 캐패시턴스가 발생한다. 이로 인한 효율 저하를 막기 위해서 Full Bridge 컨버터에 인덕터(Lr), 캐패시터(Cr)를 직렬로 트랜스포머 1차에 연결한 Series-Resonant 형태의 Full Bridge 컨버터가 고전압 회로 구현이 적합하다.

일반적인 트랜스포머는 안전 규격상 1차, 2차단의 절연전압이(예를들어 4KV) 사양을 만족해야 하지만, 고전압 트랜스포머에서는 1,2차 절연전압 외 2차단의 권선사이의 높은 절연 전압이 추가적으로 필요하다. 이를 위해서 트랜스포머 2차단 권선을 분할한 색선 보빈 형태를 사용하고 있지만, 턴수가 많을 경우 제작이 어렵다. 그리고 트랜스 Wire 진동 및 여러 가지 원인으로 인한 트랜스포머 절연 파괴를 막기 위해서 에폭시 또는 절연유를 이용하여 트랜스포머 자체를 몰딩을 해기도 한다.

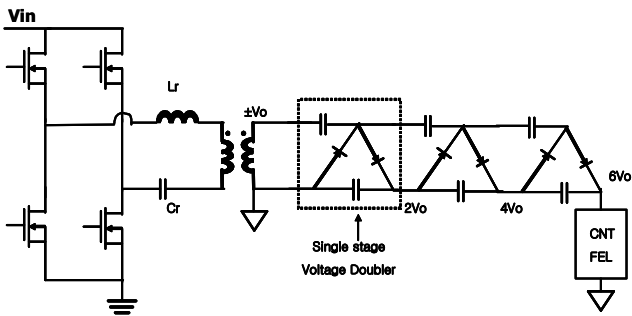


그림 1. 고전압 DC 전원 회로

2극 구조의 CNT FEL에서는 고전압 DC 전원을 애노드, 캐소드에 그라운드를 연결하여 구동이 가능하지만 발광 효율이 낮고 형광체 수명이 저하되는 문제가 발생한다. 현재 개발된 CNT FEL용 형광체는 CRT 형광체와 유사한 재질특성을 가진 저주파 고전압 펄스 구동용 형광체로 고전압 DC 구동 시 형광체 열화 문제가 발생하여 수명 특성이 저하된다. 3극 구조에서는 애노드와 캐소드 사이 고전압 DC 전원이 연결되어 있어도 게이트-캐소드에 저주파 펄스 신호에 의해서 구동되기 때문에 애노드에 형성된 형광체는 고전압 펄스 구동을 한다.

## 2.2. 고전압 펄스 회로

그림 2.는 일반적으로 사용하는 고전압 펄스 회로이다. 회로 구성은 고전압 DC 전원과 2극 CNT FEL 애노드 사이에 FET 또는 IGBT등의 고전압 스위칭 소자가 직렬로 연결되어 있는 구조이다.

스위칭 소자들이 펄스 트랜스포머 또는 Bootstrap driver 회로에 의해서 동시에 턴온하여 애노드에 고전압을 인가되고 동시에 오프 및 방전회로가 동작하여 애노드 전압을 낮추는 방식이다. CNT FEL 애노드와 캐소드사이 캐패시턴스 성분에 의해서 스위칭 소자가 오프 시 일정 전압을 유지하기 때문에 방전회로에 의해서 전압을 낮아지도록 구현해야 한다. 방전회로에 의한 효율 저하를 줄이기 위해서는 동작 주파수가 최대한 낮을수록 좋기 때문에 화면 Flicker가 보이지 않는 범위에서 최대한 낮은 주파수를 적용해야 한다.

고전압 펄스회로는 고전압 DC 전원에 다수의 고가 고전압 스위칭소가 많이 사용되기 때문에 보드 사이즈 및 가격이 비싸지는 문제가 발생한다. 그리고 고전압 스위칭 소자가 동시에 턴온하여 애노드에 고전압이 인가되는 구간에서  $dV/dt$ 가 상당히 크기 때문에 EMI 노이즈가 많이 발생하는 문제도 있다.

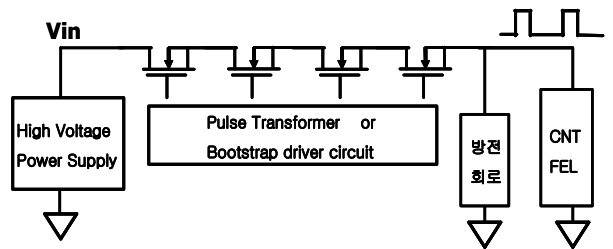


그림 2. 고전압 펄스 회로도

## 3. 제안하는 고전압 펄스 회로

### 3.1 제안하는 고전압 DC 전원 회로

본 논문에서는 CNT FEL에서 적합한 고전압 DC 회로를 그림 3과 같이 제안한다. 제안하는 고전압 DC 전원 회로는 Series-Resonant Full Bridge 컨버터에 두개의 고전압 트랜스포머 및 Voltage Multiplier로 구성되어 있다.

트랜스포머 및 Voltage Multiplier를 애노드용 Positive 고전압 DC 전원, 캐소드용 Negative 고전압 DC 전원 회로로 분리할 경우 트랜스포머 2차측 권선사이의 절연전압이 각각 절반으로 낮아지고 Voltage Multiplier단의 다이오드 내압 또한 절반으로 낮아진다. 이 경우 고전압 전원회로 구현 시 가장 문제가 되는 고전압 트랜스포머 제작을 용이하게 한다. 부가적인 장점은 CNT FEL의 오동작인 Arch 발생(애노드와 캐소드가 순간적으로 Short 현상)시 Positive 고전압 애노드, Negative 고전압 캐소드가 순간적으로 Sort되어 그라운드에 영향을 적게 주기 때문에 회로 보호 역할도 가능하다. 그리고 CNT FEL에 흐르는 전류를 Sensing을 Negative Voltage Multiplier의 diode에 전압 Vs를 이용하면 방전회로용 Op-amp가 필요 없는 장점도 발생한다.

### 3. 결론

본 논문에서는 2극 및 3극용 CNT FEL 애노드-캐소드 고전압 구동회로에 대해서 설명하였다. 그리고 CNT FEL에 적합한 고전압 DC 전원회로를 제안한다.

제안하는 회로는 고전압 전원회로 구현 시 문제가 되는 트랜스포머 절연전압을 낮추어서 트랜스 제작이 용이하다. 그리고 CNT FEL 구동 시 아크 방전으로 인한 회로 오동작을 막아 주고 애노드-캐소드로 흐르는 전류를 Sensing하기 용이한 장점이 있다.

### 참고 문헌

- [1] Robert E. Neidert, Purobi M. Philips, Sidney T. Smith and Charles A. Spindt "Field Emission Triodes" IEEE Trans.on. electron devices, vol.38, No.3, pp.661~665, March 1991.
- [2] 유동욱, 김종현, 류명호, 정혜만, 하석진, "The State-of-the-art pulsed power supply for FED with carbon nanotubes", 2006 FEW, pp. 245-249.
- [3] 조덕구, 전동협, 이지원, 강문석, 김춘숙, 이철호, 최덕현 "Device and Method for Protecting Arc Current In Field Emission Displays", 2006 FEW, pp. 237-244.

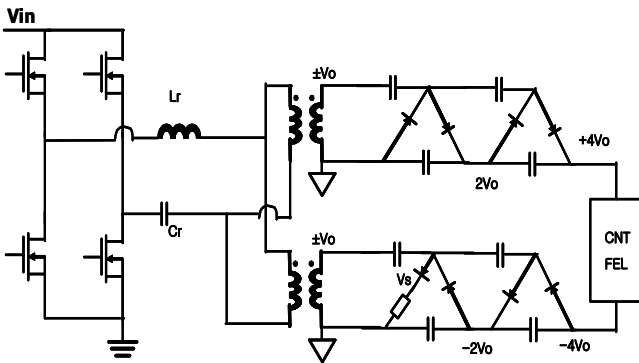


그림 3. 제안하는 고전압 DC 전원 회로

#### 3.1 제안하는 고전압 DC 전원 회로 실험 결과

표1은 제안하는 고전압 DC 전원회로 입출력 사양 및 주요 소자 특성값이 표시되어 있다.

항목	값	항목	값
$V_{in}$	130 V	$L_r$	250uH
$I_{in}$	0.88A	$C_r$	10nF
$V_{out}$	+10KV, -10KV	트랜스포머	850uH 50:300
$I_{out}$	4mA		

표1. 실험에 사용한 입출력 전압 및 주요부품 특성값

그림 4에서는 제안하는 고전압 DC 전원회로 동작 파형을 나타내고 있다.

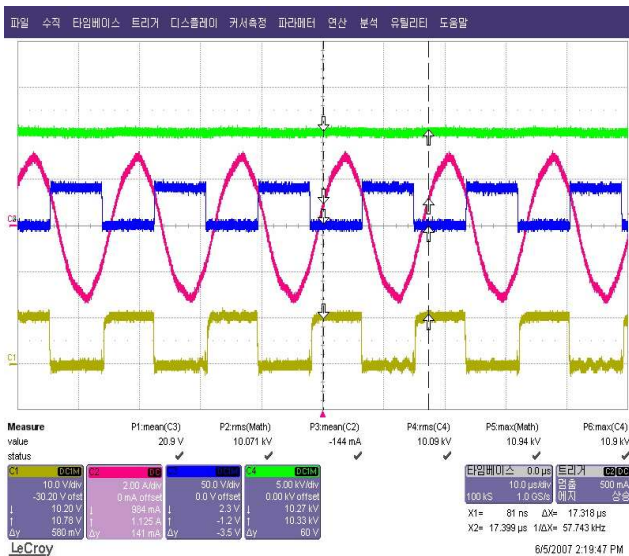


그림 4. 제안하는 DC 전원회로 실험 파형

Ch1 : FET Gate 전압                      Ch2 : 트랜스 1차 전류  
Ch3 : FET Drain-Source 전압        Ch4 : 출력전압