

저주파용 고전압 구형파 발생장치의 개발

이복희, 최원규\*, 장석훈  
 인하대학교 공대 전기공학과

Development of high-voltage rectangular waveform generator operating in low-frequency domain

Bok-hee Lee, Won-gyu Choi\*, Sug-Hun Chang  
 Dept. of Electrical Engineering, Inha University.

**Abstract** - In this paper, we present design rule of high-voltage rectangular generator working in wide band frequency domain. Though power electronics now have voltage ratings up to several kV, it is difficult to design and fabricate high-voltage systems with the power electronic devices alone. So we have combined IGBT with technically designed transformer to get the high-voltage rectangular waveforms.

In this work, next two things are the main factors. The first one is design of transformer working low-frequency domain of less than 10Hz. And the second one is adding offset voltage part.

As a result, we can get variable frequency high-voltage rectangular waveform and this can be used as a voltage source of sandpaper manufacturing process.

$$V_1 = 4 k_f f N_1 B_m A_i \times 10^{-8} \text{ (V)} \quad (1)$$

$B_m$  : 최대자속 밀도 [Gauss]  
 $A_i$  : 변압기 철심의 유효단면적 [cm<sup>2</sup>]  
 $k_f$  : 파형을

위의 식(1)로부터 이론적인 권선의 감긴 수를 산출하기 위한 각각의 파라미터값을 유도기전력  $V_1$ 은 1000V, 주파수  $f$ 는 5Hz, 그리고 최대 자속밀도  $B_m$ 과 변압기 철심의 유효단면적  $A_i$ 는 각각 7000Gauss, 100cm<sup>2</sup>로 설정하였다. 이 값들로부터 구해진 이론적인 권선의 감긴 수는 7.142 turn이며, 실제 변압기는 약간의 여유를 두어 제작하였다. 또한 이 변압기의 승압비는 1:5 이고, 변압기 출력측 절연은 변압기 출력과 offset 전원을 고려하여 15kV 전압에 견디도록 설계하였다.

1. 서 론

전하분리에 의해 물체가 대전하면 여러가지 역학 현상이 일어난다. 우선 대전된 물체는 주위로부터 먼지, 종이조각, 섬유 등의 가벼운 물체를 흡인하게 되므로 이러한 정전기력이 현재 사포제조, 정전도장, 복사기, 집진장치 등에서 널리 이용되어지고 있다. 사포제조에 있어서 정전기력은 도포물과 피도포물 사이에 인가된 고전압으로 인하여 발생되며, 그 효율은 여러 가지 조건에 의하여 결정되어진다. 그 한 예로써 인가되어지는 전압의 파형에 따른 도포물의 하전효율을 들 수가 있다. 현재 사포제조의 생산공정에서 사용되어지고 있는 전압의 형태는 단순한 직류형태로서 이는 같은 전압 크기의 펄스 형태의 전압파형에 비하여 하전효율이 낮으며, 정전력에 의한 입자운동의 다양성을 이용한 양질의 사포를 제조할 수 없기 때문에 이의 개선이 요구되고 있다.

본 연구에서는 펄스형태의 고전계를 형성시켜 발생한 정전기력을 이용하여 사포제조 공정 등에 적용하기 위한 저주파용 고전압 연속펄스 발생장치의 개발을 목적으로 하였으며 또한 제품의 사양과 생산라인의 조건에 맞추어 전압 및 주파수를 가변 할 수 있도록 설계하였다.

2. 저주파용 고전압 구형파 발생기의 설계 및 제작

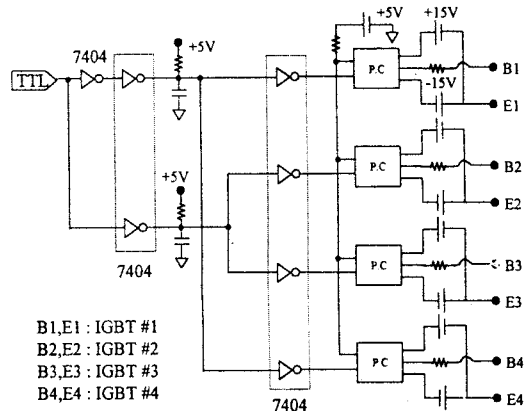
2.1 저주파용 변압기의 설계

전력용 변압기 1차측 유도기전력의 실효치  $V_1$  과 주파수  $f$  및 권선의 감긴 수  $N_1$  사이의 관계는 다음의 식(1)로 나타내어진다.

2.2 IGBT를 이용한 교류 구형파의 발생

변압기의 효율을 높이기 위하여 IGBT를 이용, full-bridge 회로를 구성하였으며, 이로부터 얻어진 교류 구형파를 변압기와 offset용 전원을 이용하여 최종적으로 얻고자하는 15kV급의 직류 고전압 구형파 전압을 얻어내었다. IGBT는 1200V, 50A용량의 module type을 사용하였다.

각각의 IGBT는 스위칭 휴지시간을 유지하며 스위칭 하도록 구동회로를 구성하였으며 최고 1kV에서 스위칭 하였다. 그림 1은 full-bridge 구동회로를 나타내고 있으며, TTL 신호를 조정하여 스위칭 주파수를 가변할 수 있게 설계하였다.



B1,E1 : IGBT #1  
 B2,E2 : IGBT #2  
 B3,E3 : IGBT #3  
 B4,E4 : IGBT #4

그림 1 Full-bridge 구동회로  
 Fig. 1 Schematic diagram of full-bridge driving circuit

### 2.3 직류 고전압 구형파 발생장치

그림 2는 고전압 구형파 발생기의 개략도이다. 이 그림의 상단부는 제작된 저주파용 변압기(Trans.1)와, IGBT를 이용하여 만든 full-bridge회로의 결합을 나타내고 있으며, 또한 점선으로 표시된 하단부는 직류 고전압을 얻기 위한 offset용 전원(Trans.2)을 나타내고 있다. 구형파 발생부의 최대 출력전압은 교류 5kV이며, offset용 전원부의 최대 출력전압은 직류 10kV이다. 따라서 최종 출력전압의 파형은 Floating 된 직류 구형파 형태로서 최대 15kV까지 발생할 수 있다. 주파수는 최저 5Hz까지 가변 가능하며 출력전압은 10Hz에서의 값을 표기하였다.

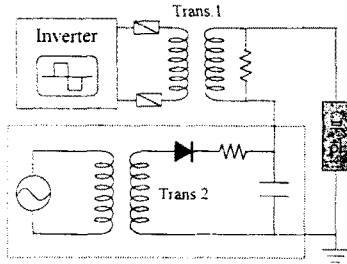
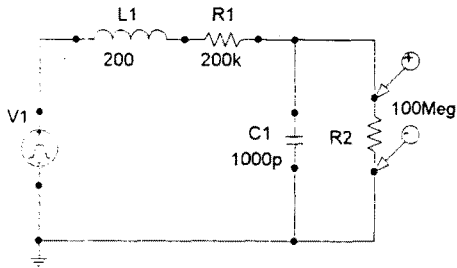


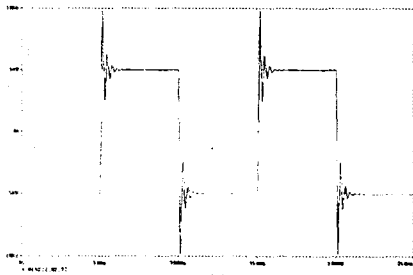
그림 2 고전압 구형파 발생장치의 개략도  
Fig. 2 Schematic diagram of high-voltage rectangular waveform generator

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시뮬레이션에 의한 검토



(a) 회로도

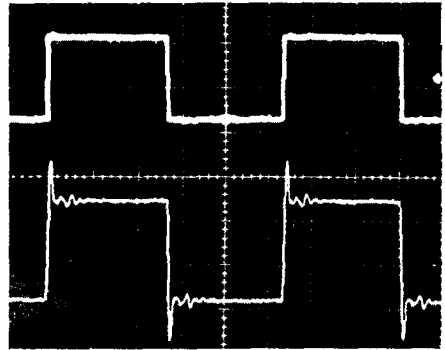


(b) 시뮬레이션 결과

그림 3 저주파 변압기의 Pspice 모델링  
Fig. 3 Pspice model of the Low-frequency transformer

본 연구에서 설계한 저주파용 변압기의 특성을 그림 3에서와 같이 모델화하였다. 위의 회로도에서 L1, R1은 각각 변압기 자체의 인덕턴스와 저항을 나타내며, C1은 권선과 대지 및 층간에서 발생하는 표류정전용량을 의미한다. 또한 R2는 고전압 probe (tek, P6015A)의 입력저항을 모의하였다.

그림 4에 무부하 상태의 변압기의 1차측 입력파형과 2차측 출력파형을 나타내었다. 출력파형의 상승부와 하강부에는 시뮬레이션 결과와 같이 상당한 크기의 오버슈트가 발생하며, 이는 변압기 내부의 정전용량의 영향이라 생각되어진다.

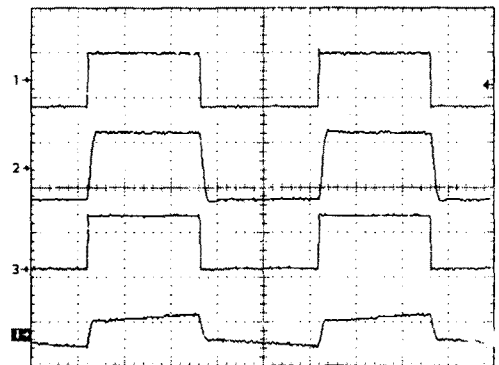


상 : 변압기 입력파형 (500V/div, 20ms/div)  
하 : 변압기 출력파형 (2.5kV/div, 20ms/div)

그림 4 저주파 변압기의 무부하시 일출력 전압파형  
Fig. 4 Input and output voltage waveforms of the low-frequency transformer

#### 3.2 변압기 2차측 부하저항의 영향

무부하시 변압기 자체에서 발생하는 정전용량의 영향으로 인한 과도현상은 2차측에 접속하는 부하저항의 값에 따라 감소된다.



Ch1: 변압기 입력파형 (500V/div, 20ms/div)  
Ch2: 저항 삽입후 변압기 출력파형 (2kV/div)  
Ch3: IGBT 부하전압 파형 (500V/div)  
Ch4: 변압기 1차측 전류 (250mA/div)

그림 5 변압기 일출력 전압·전류파형 및 IGBT 부하 전압파형

Fig. 5 Voltage and current waveforms measured at the transformer and IGBT

그림 2의 변압기 2차측 출력단에 부하저항 200k $\Omega$ 을 접속하였을 때 변압기의 입출력 전압파형, IGBT 전압파형, 변압기의 1차전류의 파형을 그림 5에 나타내었다. Ch2에 나타낸 파형과 같이 부하저항의 접속후 오버슈트의 발생이 현저하게 감소하였음을 알 수 있다. Ch3는 이 때의 IGBT 부담 전압으로 양호한 특성을 보였으며, Ch4는 변압기 1차측에 흐르는 전류파형을 나타내다.

### 3.3 출력파형의 검토

그림 6은 10Hz일때 고전압 펄스 발생장치의 출력측에서 측정된 전압파형을 나타내었으며, 이 파형은 입력저항이 100M $\Omega$ 인 고전압 probe(tek. P6015A)로 무부하 상태에서 측정된 값이다. 결과적으로 펄스 발생부에서 얻어낸 5kV의 교류 구형파에 offset부에서 발생된 10kV의 직류 전압이 중첩된 15kV급의 직류 연속펄스를 최종적으로 얻었다. 또한 offset부와 펄스 발생부의 전압을 독립적으로 가변 할 수 있게 설계하여 offset에 대한 펄스 전압의 비를 임의로 조절함으로써 펄스파형의 성형이 용이하다. 수십  $\mu$ s 시간대에서 관측한 출력전압은 약 5%이내의 오버슈트만을 포함하고 있으며, 이는 스위칭에 의한 과도현상이다.

이렇게 발생되어진 전압은 부하에 따라 최대 15kV 즉, 출력전압의 피크치가 변압기의 2차측에 모두 인가될 수가 있는데 이로 인한 순간적인 변압기의 절연파괴를 막기 위해서는 변압기 설계시 2차측의 절연강화 또는 오버슈트를 억제할 수 있는 대책이 반드시 요구된다.

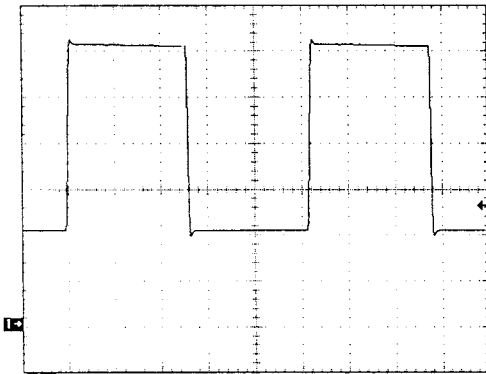


그림 7 출력 전압파형 (2.5kV/div, 20ms/div)  
Fig. 7 Output waveform of the high-voltage rectangular waveform generator

## 4. 결론

본 연구에서는 지금까지 개발되어진 IGBT의 절연계를 극복하고 수십 kV의 직류 구형파를 얻기 위하여 전술한 바와 같이 IGBT와 저주파수의 영역에서 사용이 가능하도록 설계한 변압기를 조합하여 회로를 구성하였다. 최종 출력전압은 0~5kV의 offset을 포함하여 최대 15kV의 피크값을 나타낸다. 또한 이 장치는 5Hz에서 1kHz까지 가변 가능하며 offset 및 펄스의 전압값을 독립적으로 가변 할 수 있다.

이렇게 제작되어진 연속 펄스 발생기는 저주파수에 주안점을 두었으며, 이는 이 연구의 배경이 된 사포제조용

전원장치로 활용될 수 있을 것으로 생각되어진다.

본 연구는 산·학·연 지역컨소시엄의 지원에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Flanagan, William M., "Handbook of transformer applications", chap2, chap3, 1986
- [2] Grossner, Nathan R., "Transformers for Electronic Circuit", pp309~361, 1983
- [3] Rashid, M.H., "Power electronics", pp287~290 pp591~621, 1993
- [4] S. Kanehisa, "Application of Electrostatic Techniques to Manufacturing Fusible Interlining", 靜電氣學會誌, 第7卷, 第5号, pp339~350, 1983
- [5] Toshiaki Misaka, "Effects of Pulse Waveform on Collection Efficiency for Electrostatic Precipitator", 靜電氣學會講演論文集'95, pp251~255, 1995