1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7.19-21

저주파 변압기를 이용한 구형파 증폭시스템

이 복 희, 최 원 규*, 임 정 규, 이 병 원#
인하대학교 공대 전기공학과
#(주)고려연마

The design of high-voltage rectangular waveform generator

B. H. Lee, W. G. Choi*, J. K. Lim, B. W. Lee#
Dept. of Electrical Engineering, Inha University.
#Korea abrasive cooperation

Abstract - In this paper, we suggested the design rule of high-voltage rectangular waveform generator working in low frequency domain(5Hz~60Hz). Most of the commonly used power electronic switching devices have voltage ratings up to several kV. So it is difficult to design and fabricate high-voltage switching systems with the power electronic devices alone. We have combined IGBT(1200V, 50A) with the specially designed transformer to get the high-voltage rectangular waveforms up to 40kV.

In this work, next two things are the main factors. The first one is design of transformer working low-frequency domain close to 5Hz. And the second one is additional voltage source to floating the transformer voltage output.

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

1. 서 론

현재 여러 분야에서는 고전압으로 인한 현상을 생산공정에 도입하여 제품을 생산하고 있다. 그 중 고전압으로 인하여 형성된 고전계의 힘을 이용하는 분야에는 사포제조, 정전도장, 복사기, 집진장치 등이 있는데 그 중 사포제조와 같이 인가전압의 형태 및 인가시간의 변화에 따라 생산제품의 품질이 좌우되는 경우가 있다. 따라서 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 각각의 생산조건에 적합한 전압의 형태가 필요하게 되며, 그로 인하여 인가전압의 형태 및 주파수를 용이하게 변환할 수 있는 시스템이 절실히 요구되고 있다.[4][5]

본 연구에서는 직류 고전압의 높은 대전특성과 교류 고전압의 주파수 가변특성을 접목시킨 고전압 구형파 발생 시스템을 구축하였으며, 이를 실제 사포제조 공정에 적용함으로써 품질향상을 이룩하였다. 구축된 시스템은 상용 전력용 소자로 구성된 인버터부의 1kV이하의 구형파 입력을 받아 특별히 제작된 승압용 광역 변압기로 전압의 크기를 증폭하는 형태로 되어 있기 때문에, 전력용 스위칭 소자의 전압레벨 한계로 인한 구형파 전압의 상승에 대한 어려움을 해결하였다. 또한 단방향성 전계형성이 가능하도록 출력부에 추가 전원부를 설치함으로써 오프셋된 구형파 출력전압을 얻을 수 있는 특성을 가지고 있다.

2. 본 론

2.1 구형파 증폭시스템의 설계 및 제작

제작된 구형파 증폭시스템은 최대 구형파 출력전압 20[kV], 가변주파수 범위 5~60[Hz], 최대 직류 오프셋 전압 20[kV]를 기준으로 설계되었으며, 본 시스템은 구형파 전압발생을 위한 인버터부와 이의 증폭을 위한 1:25의 승압비를 갖는 광역 변압기 그리고 오프셋을 위한 추가 전원부로 구성되어 있으며, 이의 개략도는 그림 1과 같다.[3]

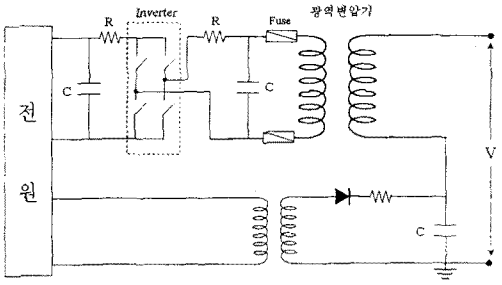


그림 1 구형파 증폭시스템의 개략도
Fig. 1 Schematic diagram of high-voltage rectangular waveform generator

그림 1의 개략도에서 광역 변압기의 1차측을 접지하므로써 2차측 오프셋에 의한 변압기 1차측의 이전의 기준전위의 상승을 억제하였다.

2.1.1 구형파 발생부

승압용 광역 변압기의 입력 전압인 1kV의 교류 구형파를 발생시키기 위하여 상용의 전력용 반도체소자인 IGBT로 구성된 Full-bridge형 인버터를 사용하였다. 또한 구동신호는 Logic과 비교기 등으로 구성된 함수발생기에 의하여 콘트롤 되며 고전압 회로부에서 방사되는 전자파의 영향을 최소화하기 위하여 구동부 전체를 접지된 케이스 안에 내장하였다.[3]

제작된 인버터는 100μs의 스위칭 휴지시간을 가지며, 1kV의 전압 피크치와 수μs의 상승시간을 갖은 교류 구형파를 발생한다.

2.1.2 광역 변압기의 설계 및 특성

현재까지 개발된 스위칭용 반도체 소자의 내전압 한계로 인하여 본 연구에서는 구형파를 증폭하기 위한 승압용 광역 변압기를 제작하였으며, 이는 5~60[Hz]의 주파수 범위에서 구형파의 전압을 감쇠 없이 승압할 수 있도록 설계하였다.[1][2]

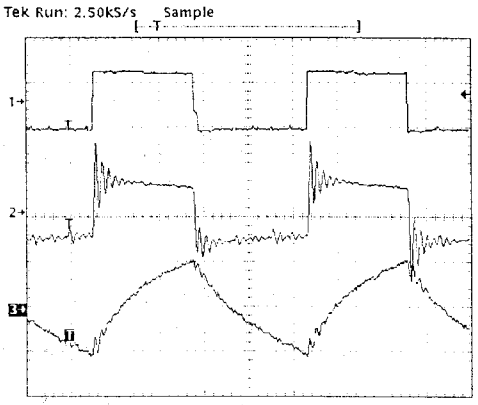
식(1)로부터 주파수 영역에 맞는 변압기의 1차측 감긴수 및 철심의 단면적을 결정하였으며, 실제의 변압기

는 계산치의 20%에 해당하는 여유를 두어 제작하였다.

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

B_m : 최대자속 밀도 [Gauss]
A_i : 변압기 철심의 유효단면적 [cm^2]
k_f : 파형율

다음의 그림 2는 구형파 입력에 대한 승압용 광역 변압기 출력파형을 나타내고 있으며, 이는 상용 주파수용 변압기에 비하여 구형파 입력에 대한 출력특성이 양호함을 보여 주고 있다.



상 : 변압기 입력전압 파형 (500V/div, 20ms/div)
중 : 변압기 출력전압 파형 (12kV/div, 20ms/div)
하 : 변압기 입력전류 파형 (50mA/div, 20ms/div)

그림 2 광역 변압기의 입출력 파형
Fig. 2 Input and output voltage waveforms of the low-frequency transformer

본 변압기의 구형파 입력에 대한 상승부와 하강부에서 과도특성을 그림 3과 같은 승압용 펄스 변압기의 상승부 등가회로와 같이 나타낼 수 있다. 특히 저주파용 변압기는 권선수가 많기 때문에 분포정전용량의 영향을 주의 깊게 고려해야 한다. 또한 변압기 자체의 권선저항(R), 용량성 성분(C), 변압기의 인덕턴스(L) 그리고 부하(R_L)에 따른 출력전압의 오버슛 경향은 그림 4와 같이 나타내어지는데 이는 그림 3의 회로방정식에 의하여 그려진 특성 그래프이다. 이를 통하여 정확한 변압기의 특성요소들을 파악할 수 있으며, 특히 측정이 불가능한 변압기 자체의 용량성 성분(C)를 구할 수 있다.[1][2]

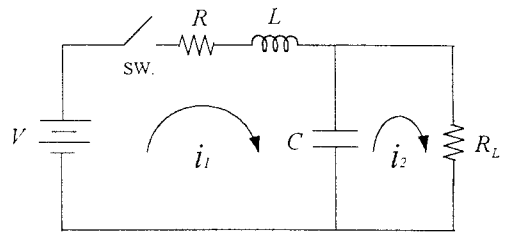


그림 3 광역 변압기의 과도영역에 대한 등가회로
Fig. 3 The equivalent circuit of wide-band transformer

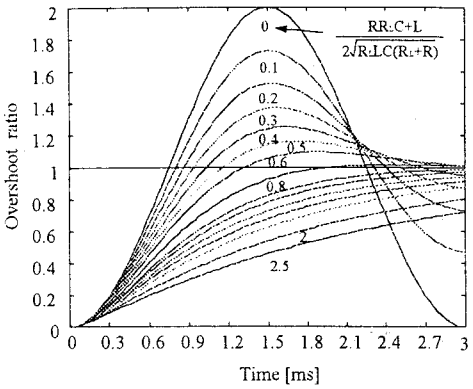
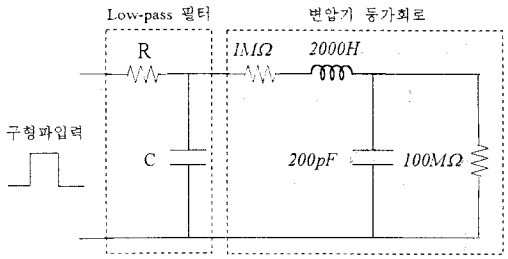


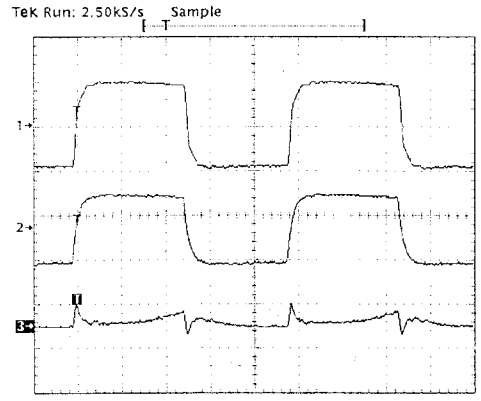
그림 4 저주파용 변압기의 오버슛 경향
Fig. 4 Overshoot characteristics of the low frequency transformer

2.2 변압기의 특성개선

그림 2의 변압기 출력에서 나타난 것처럼 제작된 변압기의 출력에 약 80%에 가까운 오버슛이 발생하는 특성을 나타내고 있으며, 이를 억제하기 위하여 그림 5(a)와 같이 Low-pass 필터를 삽입하였다.



(a) 변압기 등가회로 및 삽입필터



상 : 변압기 출력전압파형 (12kV/div, 20ms/div)
중 : 변압기 입력전압파형 (500V/div, 20ms/div)
하 : 필터 입력전류파형 (500mA/div, 20ms/div)

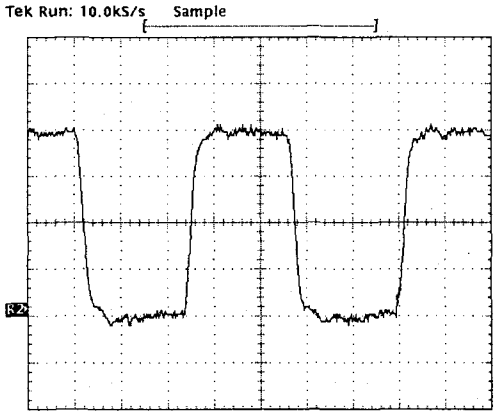
(b) 필터 삽입후 변압기 입출력 파형

그림 5 Low-pass 필터의 표과
Fig. 5 The effect of low-pass filter

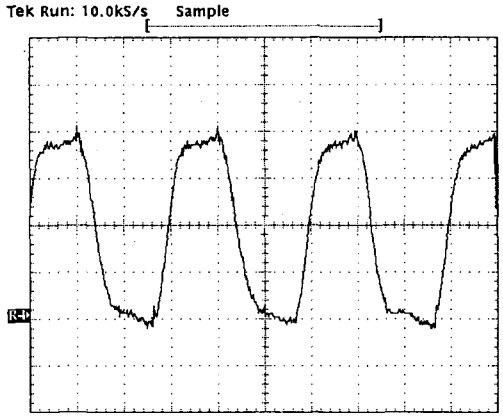
이때 필터용 R, C값은 앞의 변압기 등가회로로 얻어진 파라미터 값들을 Pspice 시뮬레이션에 적용함으로써 적당한 값을 선택하였다. 삽입되어진 필터는 스위칭에 의한 고주파성분을 제거하여 주기 때문에 고주파성분에 의한 출력측의 오버슛을 효과적으로 제거하였다.

2.3 출력파형의 검토

결과적으로 설계, 제작된 변압기의 종합특성을 파악하여 이에 적당한 필터를 삽입함으로써 오버슛이 거의 없은 증폭된 구형파 전압을 얻을 수 있었으며, 5~60Hz까지 안정된 주파수가변을 실현할 수 있었다. 또한 변압기 2차측에 추가 전원부를 설치하여 직류 20kV 오프셋이 가능하며, 그 결과 파형은 그림 6에 나타었다.



(a) 10Hz (10kV/div, 20ms/div)



(b) 60Hz (10kV/div, 5ms/div)

그림 6 출력파형의 오프셋 파형
Fig. 6 The output voltage waveform added 20kV DC offset voltage

그림 6에 나타내어진 전압 파형은 10Hz와 60Hz에서의 최대 출력파형으로써 피크값 40kV의 오프셋 된 구형파를 보여주고 있으며, 무부하 상태에서 분압기(입력임피던스 1000MΩ)를 이용하여 측정한 전압파형이다. 이렇게 발생되어진 전압은 부하에 따라 최대 40kV 즉, 출력전압의 피크치가 변압기의 2차측 권선부에 모두 인가될 수가 있는데 이로 인한 순간적인 변압기의 절연파괴를 막기 위해서는 변압기 설계시 2차측의 절연강화 또는 오버슈트를 억제할 수 있는 대책이 반드시 요구된다. 또한 변압기 2차측의 오프셋으로 인하여 1차측 이전의 회로에 큰 영향을 주므로 1차측 기준전위의 상승을 억제하여야 한다.

3. 결 론

본 연구에서는 상용 전력용 반도체 소자와 승압용 광역 변압기로 구성된 구형파 증폭 시스템을 구축하여 주파수 가변이 용이한 40kV급 직류성 구형파 발생을 구현하였다. 이것은 직류 고전압을 스위칭하여 펄스를 발생시키는 데 있어서의 소자의 전압분담과 절연확보의 어려움에 대한 해결책으로써 활용되어 질 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구를 통하여 제작된 시스템은 사포제조를 위한 보다 효율적인 전원장치로써 주파수 변화에 의한 부착량의 조절, 연마제 뭉침 현상의 개선 등이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 인천지방 중소기업청 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