

## 이온주입용 정밀고압 발생장치 연구

°유동욱\*, 정창용\*, 백주원\*, 조정구\*, 조기연\*, 김학성\*\*, 원충연\*\*\*  
한국전기연구소 전력전자연구부\*, 동양공전\*\*, 성균관대학교 전력전자연구실\*\*\*

### A Study of Precision High Voltage Generator for Ion Injection

D.W.Yoo\*, C.Y.Jeong\*, J.W.Baek\*, J.G.Cho\*, K.Y.Cho\*, H.S.Kim\*\*, C.Y.Won\*\*\*  
Div. of P.E.,KERI\*, Dong Yang Technical College\*\*, Lab. of P.E.,SKKU\*\*\*

#### Abstract

A precision high voltage generator for ion injection is implemented on HFZVS-PSCI (High Frequency Zero-Voltage-Switching Phase-Shift-Controlled Inverter). Some practical aspects of implementing precision high voltage generator with HFZVS-PSCI, such as a HFHV transformer, multiplier, and precision CR divider are discussed. The results show that the generator under the Phase-Shift-Controller has a fast dynamic response, low ripple voltage, and high accuracy.

#### 1. 서 론

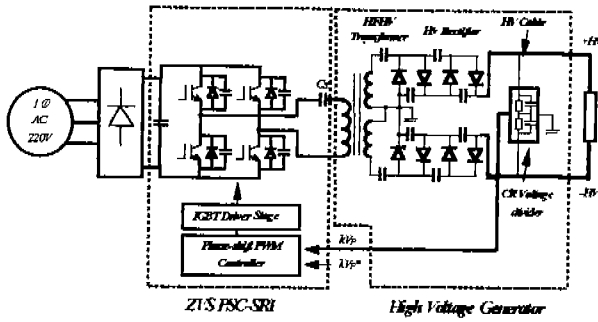
최근 전력용 반도체회로 집적기술의 눈부신 발전으로 전력변환장치의 고압·대용량화가 급진전되고 있다. 특히 종래에는 실현이 불가능하였던 고압발생장치에서는 각 소재·부품산업의 발달과 회로설계 및 실장기술의 향상으로 장치의 소형·경량화 및 고효율화를 도모할 수 있게 되었다. 종래의 단상 또는 3상 정류방식과 비교하여 볼 때 고주파 변환(컨버터 혹은 인버터) 방식의 고압 발생장치는 고압변압기의 1차측 회로 구성에 있어 큰 차이점을 찾아 볼 수 있다. 종래 정류방식의 장치에서는 단상 또는 3상의 교류 전원 전압을 단권 변압기를 통하여 가변한 후, 이를 고압 변압기의 1차측에 인가하는 회로 구성으로 인하여 전원 전압의 변동과 전원 임피던스의 변동에 따라 출력전압 변동 현상이 발생하였다.

그러나 고주파 변환 방식의 고압 발생장치에서는 교류 전원 전압을 일단 직류 전압으로 변환하되, 변환된 직류 전압을 고주파 컨버터 또는 인버터를 사용하여 안정화를 꾀함으로써 출력전압은 교류 전원 전압의 변동과 같은 영향을 받지 않게 되며 출력전압의 피드백제어를 통해 고정도의 출력전압 제어가 가능해진다. 또한 고속 스위칭 전력용 반도체 소자를 사용함으로써 고압 변압기의 1차측 인가 전압을 고주파화할 수 있고 이를 통하여 고압 변압기의 크기를 대폭 소형화할 수 있는 장점을 이용하여 고압장치의 소형·경량화 등을 실현할 수 있다.

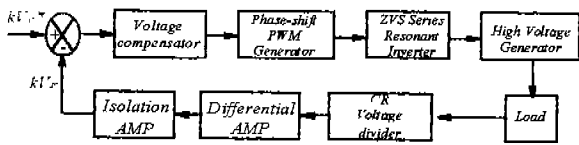
본 논문에서는 신소재 가공을 주목적으로 기 개발한 20kV 150mA급 이온주입용 정밀고압 발생장치의 주 회로 및 제어회로 설계와 고주파 고압변압기 및 배압회로 설계·제작, 정밀 CR분압기 설계에 대해서 소개하고, 설계·제작된 장치의 특성을 검증하는 실험과형을 제시하였으며, 향후 타 응용연구·개발의 방향을 제시하였다.

#### 2. 장 치 개 요

이온주입용 고압발생 장치는 일반적으로 부하변동이 심하더라도 출력전압의 변동율과 리플율은 정밀하게 제어되어야 한다. 만약 그렇지 못할 경우 부하(Tarket)에 전달되는 이온입자 및 표면처리가 고르지 못하게 되어 장치의 효용가치성과 처리제품의 가격을 저하하게 되는 원인을 제공하게 된다. 따라서



(a) 주회로 구성



(b) 제어회로 구성

그림 1. 이온주입용 전원장치  
주회로 및 제어회로 구성

표 1. 장치 사양

항 목	개발 사양	비 고
입 력	220V 60Hz	단상
출 력	20kV <sub>DC</sub> 150mA	모듈화 증대
효 율	90%이상	IGBT, $f_s = 20$ kHz
승압 방식	COCKCROFT & WALTON 방식	대칭형
고주파 고압 변압기	$N_1 : N_2 = 13 : 250$	TDK UU Type Core 2조 (120×160×20mm) ×2EA
제어 방식	영전압 스위칭 위상차 제어	One Chip Controller UC 3879
특 징	Ripple 전압 ± 1% 이내	사용범위내의 전압
	출력전압 변동율 ± 2% 이내	부하변동 (50%~100%)
	출력전압 변동율 ± 2% 이내	교류전원변동 (±10%정상변동)
	출력전압 변동율 ± 3% 이내	교류전원변동 (±3% 급변동)

종래에는 출력전압의 리플을 낮게하기 위해 출력단에 매우 큰 필터를 연결하고, 출력전압의 미세조정을 위해서 다단계의 제어회로를 사용하여야 했다. 이 때문에 시스템 구축에 있어서 장치의 크기 및 가격, 자동화에 항상 문제점으로 대두되어 왔다. 이러한 종래의 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 그림 1과 같이 주회로 및 제어회로를 구성하였으며, 표 1은 장치의 사양을 나타내고 있다. 주회로의 스위칭 소자는 IGBT(Eupec FF 50 R 06 KF3, 600V 50A)를 20kHz 로 구동하여 사용하였으며, 제어회로는 영전압 스위칭 위상차 제어회로를 구성하였으며 제어용 소자로 UC 3879를 사용하였다. 개발장치는 고정된 주파수 방식에 의한 영전압 스위칭 직렬 공진형 인버터방식의 고전압 발생기로서 위상차 제어회로에 의한 안정된 직류 고전압을 발생시키며, CR형 분압회로에 의한 고전압의 정밀한 측정으로 장치의 정밀제어가 가능하다. 또한 고전압 발생회로에서 고주파 고전압 변압기의 기생 성분을 이용하여 장치의 효율 증가 및 크기를 저감시켰으며, 고전압을 필요로 하는 응용 분야의 정격 사양에 따라 다양한 형태로 고전압 발생회로의 구조변경이 가능한 인버터 방식의 직류 고압 발생장치이다.

### 3. 고주파 고압 변압기 및 배압회로 설계

#### 가. 고주파 고압 변압기 설계

그림 2는 고주파 고압 변압기의 등가회로를 나타내며, 식 (1)~(3)은 이를 근거로한 변압기 간이 설계식을 보여주고 있다.

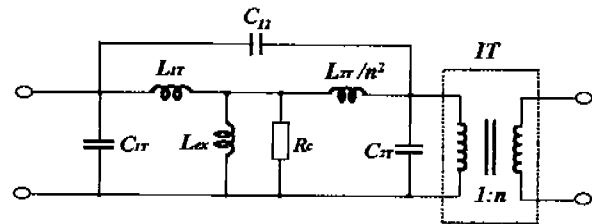


그림 2. 고주파 고압 변압기 등가회로

$L_{1T}$  : 1차측 누설 인덕턴스

$L_{2T}/n^2$  : 1차측으로 환산한 2차측 누설 인덕턴스

$L_{ex}$  : 여자 인덕턴스 성분

$R_c$  : 코어 손실

$C_{1T}, C_{2T}$  : 표유 커패시턴스

$IT$  : 이상적인 변압기

■ 1차측 권선수 선정

1차측의 전압 강하율을 5%로 감안

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

$B_s$  : 포화 자속밀도(Gauss)

$S_c$  : 코어 단면적(cm<sup>2</sup>)

$$S_c \cong c_o \sqrt{\frac{P \alpha 10^6}{f B_s d}} \text{ (cm}^2\text{) -----(2)}$$

$c_o$  : 계수  $P$  : 전력(W)

$\alpha$  : 코어의 질량/권선의 질량

$d$  : 전류밀도 (A/mm<sup>2</sup>)

■ 2차측 권선수 선정

$$n_2 = \frac{(V_2 + 0.05 V_2)}{V_1/n_1} \text{ -----(3)}$$

나. 배압회로 설계

그림 3은 본 장치에서 실제 사용한 배압회로이다. 사용한 배압회로의 특징은 다음과 같다.

- ▶ 대칭형 배압회로를 사용하므로써 저리플화를 추구할 수 있다.
- ▶ 비대칭형방식에 비해 고속응답을 확보할 수 있다.
- ▶ 부하특성에 따른 작업성이 용이하다.
- ▶ 비대칭형방식에 비해 캐패시터 용량이 1/2로 축소가 가능하다.
- ▶ 다이오드 및 캐패시터 Uniform Stress를 지닌다.

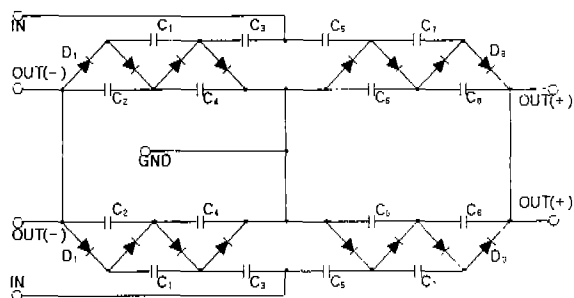


그림 3. 실제 사용한 배압회로

다. CR형 분압장치 설계

고전압을 측정하는데는 저항만으로 구성된 단순 저항 분압기는 제작이 용이하므로 많이 사용되지만 이러한 형태의 분압기는 접지에 대한 분압기의 분포 표유용량(Distributed Stray Capacitance)에 기인한 주파수 특성이 낮기 때문에 분압기의 출력전압은 분압비에 비례하지 않는다. 때문에 이러한 대지에 대한 표유용량 성분을 보상해 줄 수 있는 분압기가 고려되어야 하는데 그 대표적인 형태의 분압기가 병렬 CR형 분압기라고 할 수 있다. 일반적으로 단순 저항 분압기에서는 발생 전압이 200Hz를 넘게 되면 분압기의 출력이 저하되기 시작하여 분압비에 의한 정확한 전압 파형의 측정이 곤란해진다. 따라서 급속한 상승시간을 갖는 써어지 전압 또는 고조파를 포함한 왜곡 파형등을 충실하게 측정하기 위해서는 병렬 CR형 분압기의 구성이 필수적이라 할 수 있다. 분압저항의 병렬 표유용량 영향은  $C_2$ 의 매칭에 의해 제거가 가능하다. 그림 4는  $C_2$ 의 영향에 대한 측정파형을 제시하였고, 그림 5는 대지와 분압저항 사이의 표유용량 영향을 보여주고 있다.

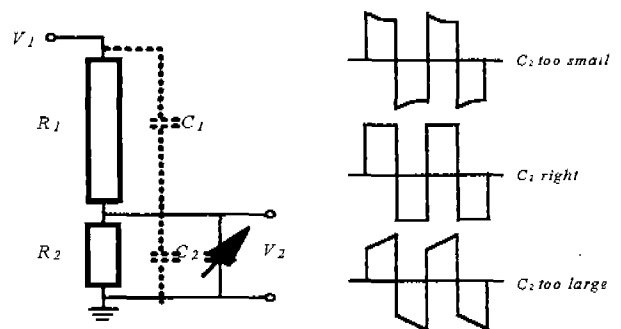


그림 4. 분압저항들의 병렬 표유용량의 영향

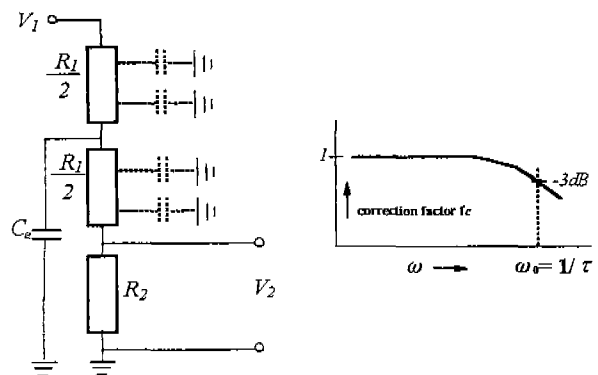


그림 5. 대지와 분압저항간의 병렬 표유용량 영향