

# Xray 발생장치 설계를 위한 다이오드 기생 커패시턴스에 따른 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier 시뮬레이션

임규완<sup>1</sup>, 목형수<sup>1</sup>, 주학림<sup>1</sup>  
 건국대학교<sup>1</sup>

## Cockcroft-Walton Voltage Multiplier Simulation According to Diode Parasitic Capacitance for Xray Generator Designing

Gyu-Wan Im<sup>1</sup>, Hyung-Soo Mok<sup>1</sup>, He-Lin Zhu<sup>1</sup>  
 KONKUK University<sup>1</sup>

### ABSTRACT

최근 COVID-19(Coronavirus disease, 2019)의 발병으로 정확한 진단을 하기위한 X-ray 검사에 대한 수요가 증가하고 있다. 품질이 높은 수준의 Xray 영상을 얻기 위해서는 X-ray 튜브에 촬영 목적에 맞는 일정한 고전압을 제어를 통해 인가해야 한다. 그러기 위해서는 전력변환장치의 출력전압 특성을 고려하여 설계해야 한다. 따라서 Xray 발생장치에 주로 사용되는 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier를 사용하여 다이오드의 기생커패시턴스 성분이 변압기의 누설 인덕턴스 성분, 회로의 기생 인덕턴스 성분과 공진현상을 일으켜 발생하는 출력전압의 특성 변화에 대한 시뮬레이션을 개발하고 분석 하였다.

### 1. 서론

X-ray 발생장치는 금속의 열전자방출 효과를 이용한 전자기와 발생장치이다. 진공관 속 필라멘트에 전류를 인가해 온도를 상승시키면 열에너지에 의해 전자들이 금속 밖으로 방출된다. 이를 금속의 열전자 방출 현상이라고 한다. 이 때 수십kV 수준의 전계를 진공관 양단에 인가하여 전자를 외부로 방출시킨다. 이 때 방출되는 전자기파를 X-ray라고 부른다. X-ray는 물체를 투과하는 특성을 갖고 있다.<sup>[1]</sup> 이를 이용하여 X-ray 발생장치는 의료용 영상 촬영장비 또는 산업용 비파괴 검사 장비에 응용되고 있다.

최근 COVID-19의 발병으로 정확한 진단을 위한 X-ray 검사 수요가 증가하고 있다.<sup>[2]</sup> COVID-19 폐렴, 폐렴, 인플루엔자 환자들의 초기증상이 비슷하기 때문에 X-ray 영상 촬영장비를 이용한 폐 검사를 통해 환자들을 구분한다. COVID-19 폐렴은 X-ray 영상에서 병변과 같은 형태로 나타나며 흑백영상의 음영변화 관측을 통해 진단 할 수 있다.<sup>[3]</sup> 이와 같은 진단방식의 정확도를 높이기 위해서는 X-ray 영상의 질을 향상시킬 필요성이 있다. 높은 수준의 X-ray 영상을 얻기 위해서는 X-ray 튜브에 촬영 목적에 맞는 일정한 고전압을 제어를 통해 인가해야 한다.<sup>[4]</sup> 그러기 위해서는 X-ray 발생장치의 설계단계부터 전력변환장치의 출력전압 특성을 고려하여 설계해야한다.

X-ray 발생장치에는 회로 구성이 간단하고 출력되는 전압의 리플이 작고 기동 시 출력전압의 배압속도가 우수한 장점을 가진 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier(CWVM) 방식을 사용하고 있다.<sup>[5]</sup> 하지만 이 배압회로에는 다이오드가 사용되는데 다이오드의 기생커패시턴스 성분이 변압기의 누설 인덕턴스 성

분, 회로의 기생 인덕턴스 성분과 공진현상을 일으켜 출력전압의 특성을 이상적인 경우와 다르게 변화시킨다.

따라서 본 논문에서는 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier를 사용한 Xray 발생장치 설계를 위해 다이오드의 기생커패시턴스에 따른 배압회로 출력전압의 특성 변화에 대한 시뮬레이션을 개발하고 분석 하였다.

### 2. Cockcroft-Walton Voltage Multiplier 시뮬레이션 및 분석

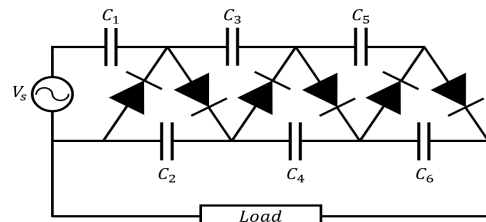


그림 1 Cockcroft-Walton 배압회로 토폴로지  
 Fig. 1 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier

그림1은 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier 토폴로지를 나타낸다. 하나의 Cell은 홀수커패시터와 짝수커패시터 그리고 다이오드 2개로 구성된다. 입력 전압의 크기가 양수일 때 짝수단의 커패시터가 충전되고 음수 일 때 홀수단의 커패시터가 충전된다. 이러한 방식으로 충전을 반복하면 무부하 시 출력 전압이 Cell개수의 2배만큼 배압 된다.

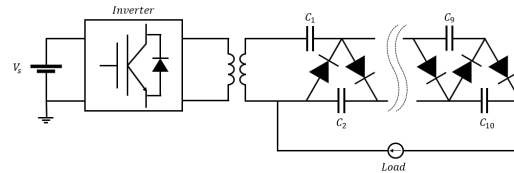


그림 2 X-ray 발생장치의 구성도  
 Fig. 2 Diagram of X-ray generator

그림2는 X-ray 발생장치의 구성을 나타낸다. 앞단에는 교류 전류를 인가하는 DC 전원과 풀브릿지 전류형 인버터가 있다. 중간단에는 절연과 1차 배압을 담당하는 변압기가 있다. 뒷단에는 정류와 배압을 동시에 담당하는 다이오드와 커패시터로

구성된 5개의 Cell들이 있다. 마지막으로 부하단에는 X-ray 튜브가 있다. 시뮬레이션에서는 X-ray 튜브를 X-ray 발생 시 설계 흐르는 관전류 데이터를 이용한 전류원으로 모사하였다.

### 2.1 X-ray 발생장치 운전 방식

배압회로의 최종 출력전압은 무부하시 cell 개수의 2배 만큼 배압된다. 또한 최종 출력전압의 리플은 배압단 커패시터의 크기에 반비례하고 인가되는 교류신호의 주파수에 반비례하는 특성을 가진다.<sup>[6]</sup> 기존 X-ray 발생장치 시스템은 스위칭 주파수를 높이면 리플을 줄이는 전략을 사용한다. 풀브리지 전류형 인버터를 캐리어파 기반의 Phase shift PWM(Pulse Width Modulation) 방식으로 100kHz 구형파 운전방식을 사용한다.

### 2.2 X-ray 발생장치 시뮬레이션 구성

시뮬레이션 프로그램은 Ansys Simplorer를 이용하여 구현하였다. 다이오드의 기생 커패시턴스에 따른 출력 전압의 변화를 확인하기 위해 이상적인 다이오드 모델을 사용한 경우와 기생 커패시턴스를 포함한 모델을 사용한 경우로 나누어 그림3과 같이 시뮬레이션을 구성하였고 사용한 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

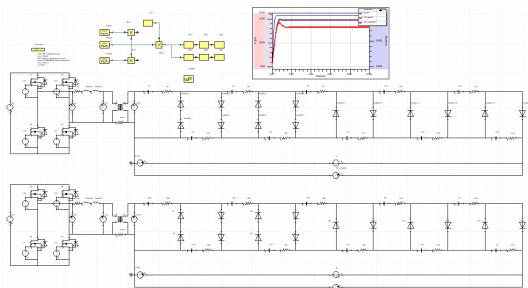


그림 3 Ansys Simplorer 시뮬레이션 구성도  
Fig. 3 Diagram of Ansys Simplorer simulation

### 2.3 다이오드 커패시턴스에 따른 X-ray 발생장치 시뮬레이션 결과

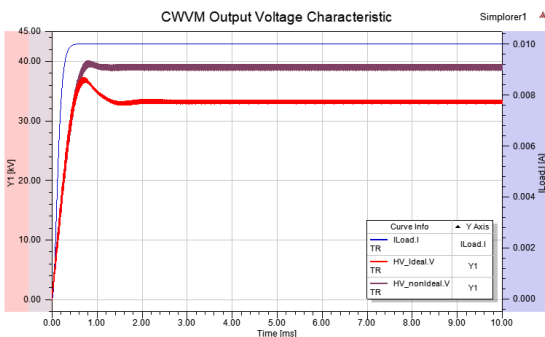


그림 4 CWVM 출력 전압 특성  
Fig. 4 CWVM Output Voltage Characteristic

이상적인 다이오드 모델을 사용한 경우와 기생 커패시턴스 성분을 포함한 다이오드 모델을 사용한 경우를 비교한 시뮬레이션 결과는 그림4와 같다. 동일한 부하전류가 튜브를 통해 흐

르고 있을 때에도 공진 현상으로 인해 기생 커패시턴스를 포함한 모델의 출력 전압이 이상적인 모델의 경우보다 정상상태기준으로 약 1.18배 더 커진다는 것을 확인할 수 있었다.

표 1 시뮬레이션 파라미터 값

Table 1 Values of the simulation parameters

R1	1.4Ω	Cj	100pF
L1	27μH	Lleak	6μH
C1	2nF	C2	1.36nF
Vf.id	0.8V	Vf.nonid	26V

## 3. 결론

X-ray 발생장치 설계를 위해 다이오드의 기생 커패시턴스에 따른 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier의 출력전압 특성 변화 시뮬레이션을 개발하고 분석했다. 다이오드의 기생 커패시턴스 성분이 인덕턴스 성분과 공진 현상을 일으켜 이상적인 다이오드 모델 대비 1.18배 높은 전압을 출력하는 것을 확인하였다. 따라서 설계 시 이 공진특성을 이용하면 실제 출력되는 전압을 더 높일 수 있을 것이라는 기대 효과가 있다.

## 참고 문헌

- [1] Röntgen, W. C. "On a New Kind of Rays." Science, vol. 3, no. 59, pp. 227 - 231, Feb. 1896.
- [2] "디알젼, 코로나19 여파로 X-Ray 장비수요 급증-DB", 이데일리, 2020년 4월 8일 수정, 2020년 6월 26일 접속, <https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=01403846625734152&mediaCodeNo=257&track=sok>
- [3] Chung M, Bernheim A, Mei X et al. CT Imaging Features of 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV). Radiology, vol. 295, no. 1, Published Online: Feb, 2020. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200230>
- [4] Anders Tingberg, David Sjöström, "Optimisation of image plate radiography with respect to tube voltage", Radiation Protection Dosimetry, Volume 114, Issue 1-3, , Pages 286 - 293, May, 2005.
- [5] Nikhil M. Waghmare, Ragul P. Argelwar, "High Voltage Generation by using Cockcroft-Walton Multiplier", International Journal of Science, Engineering and Technology Research, Volume 4, Issue 2, Feb 2015.
- [6] I. C. Kobougias and E. C. Tatakis, "Optimal Design of a Half-Wave Cockcroft - Walton Voltage Multiplier With Minimum Total Capacitance," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, no. 9, pp. 2460-2468, Sept. 2010.