

# 고출력 마그네트론 연계 구동을 위한 펄스 전원 펄스 상승시간 가변 기법

이주영, 최민규, 이윤석, 류홍제  
 중앙대학교

## Pulse Rising Time Variable Technique for High Power Magnetron Linked System

Joo-Young Lee\*, Min-Kyu Choi\*\*, Yoon-Seok Lee\* and Hong-Je Ryoo\*  
 Chung-Ang University\*, Pohang Accelerator Laboratory\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 마그네트론을 구동하기 위한 펄스 모듈레이터의 펄스 상승 시간을 가변 기법을 제안한다. 마그네트론 사양에 따라 요구되는 펄스 상승 시간은 상이하다. 제안하는 펄스 상승 시간 가변 기법은 펄스 방전을 위한 IGBT의 게이트 신호 가변을 기반으로 한다. 게이트 구동회로 동작 원리 분석을 통해 최소한의 소자값을 가변하여 게이트 신호를 효과적으로 조절하였으며, 실제와 유사하게 모델링한 PSpice 시뮬레이션을 활용하여 제안하는 펄스 상승 시간 가변 기법을 검증한다.

### 1. 서 론

마그네트론은 구동 원리는 음극에서 방출된 전자에 펄스 전압을 인가함에 따라 전자가 가속되고, 빔전류가 발생되어 RF 파워가 출력되는 것이다. 마그네트론의 종류에 따라 요구되는 펄스 상승 시간이 다르며, 이를 충족해야 안정적인 RF 파워 출력이 가능하다. 본 연구는 최대 출력 52 kV, 120 A, < 10 μs, < 200 Hz 사양의 펄스 모듈레이터에 적용하기 위한 펄스 상승 시간 가변 기법에 관한 것이다. 제안하는 기법은 펄스 방전시 온, 오프되는 IGBT의 게이트 신호를 가변하는 것으로, 게이트 구동 회로의 동작 원리를 분석하여 효과적인 게이트 신호 가변을 구현하여 펄스 상승 시간을 조절한다.

### 2. 펄스 상승시간 가변 기법

#### 2.1 게이트 구동회로 동작 원리

그림 1은 펄스 모듈레이터의 방전 IGBT 게이트 구동회로이다. 펄스 온, 오프 신호 생성 인버터 출력은 그림 1의  $V_{gatesignal}$ 이며, 펄스 형태의 전압으로 변압기 포화를 방지한다. 첫 번째 동작 모드는 턴 온 모드이다. 턴 온 신호가 인가되면, D1이 도통되며, C1 양단 전압은 체너 다이오드의 클램핑 전압인 18V가 충전된다. 이후 Q2가 턴 온 되면, C2가 충전되며 P1의 턴 온으로, IGBT Gate-Emitter 사이에 존재하는 기생 커패시터를 충전하며 게이트 신호가 상승한다. 두 번째 동작 모드는 턴 온 유지 모드이다. 턴 온 신호가 종료된 후,  $V_{gatesignal}$ 가 0인 구간을 의미하며, C1에 충전된 에너지가 방전되며 게이트 전압이 유지된다. 마지막으로, 턴 오프 모드이다. 턴 오프 신호가 인가됨에 따라 D2, D3가 도통되어 C1을 충전하며, Q1이 턴 온 된다. Q1의 턴 온으로 인해 IGBT의 Gate-Emitter 사이의 커패시터가 방전되면서 게이트 신호 감소가 시작된다. 이후 Q3와 Q4가 차례로 턴 온되며 게이트 신호는 빠르게 감소한다.

#### 2.2 게이트 신호 가변 기법의 구현

2.1절에서 언급한 게이트 구동회로 동작 원리를 기반으로, 본 논문에서는 펄스 상승시간을 가변하기 위한 두 가지 게이트 신호 가변 기법을 제안한다. 첫 번째, 게이트 구동회로의 R1 값을 조절하여 게이트 신호를 가변할 수 있다. R1과 R2의 분압 비율로 C1의

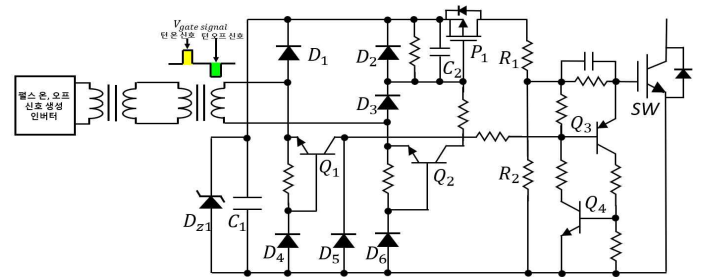


그림 1 펄스 모듈레이터 방전 IGBT 게이트 구동회로  
 Fig. 1 Circuit of the gate driver for driving pulsed modulator IGBT

양단 전압이 분배되며, IGBT의 최종 게이트 전압이 결정된다. 또한, R1 값이 커질수록, IGBT의 Gate-Emitter 사이 기생 커패시터 충전 속도가 저감 되어, 게이트 신호의 상승이 저하된다. 둘째로, C2값을 조절하여 게이트 신호를 조절할 수 있다. C2값이 커질수록, P1의 턴 온 시점이 지연되어 게이트 신호의 초반 상승 속도가 저감 되지만, R1 값 조절과는 달리, 게이트 신호의 최종 전압에는 영향을 주지 않는다.

### 3. 펄스 상승시간 가변 기법 검증

#### 3.1 PSpice 시뮬레이션 모델링

그림 2는 게이트 신호 가변 기법을 활용하여 펄스 상승시간이 조절됨을 검증하기 위해 실제와 유사한 소자를 사용하여 모델링된 PSpice 시뮬레이션 회로이다. 실제 펄스 모듈레이터는 총 60개의 모듈로 구성되어 있으나, 시뮬레이션에서는 2개의 모듈을 기반으로 시뮬레이션하였다. 실제와 동일한 수준의 전류가 흐르도록, 부하는 단순 저항 14Ω으로 모의 하였으며, 펄스 전압의 최종 전압은

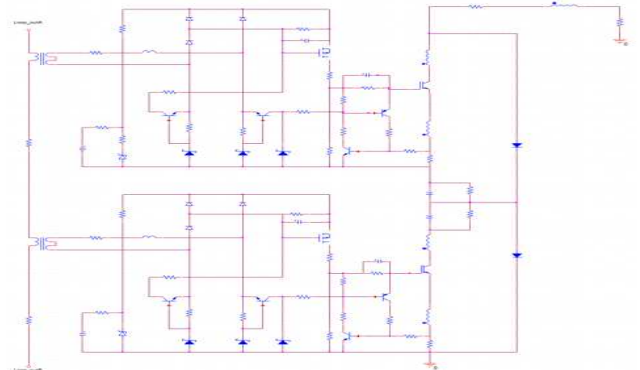


그림 2 게이트 신호 가변 기법 검증을 위한 PSpice 시뮬레이션 회로  
 Fig. 2 Schematic of the PSpice simulation circuit

-52kV 의 약  $\frac{1}{30}$  수준인 -1.7 kV이다.

### 3.2 PSpice 시뮬레이션 결과

그림 3은 R1 값을 가변하여 시뮬레이션한 파형이다. 가변한 R1 값은 7.5Ω, 30Ω, 50Ω, 75Ω, 100Ω이다. R2 값은 510Ω이며, 게이트 최종 전압값은 R1 값과 R2 (510 Ω)의 비율로 결정된다. 그림 3의 (a)는 R1 값에 따른 게이트 신호 파형이다. (b)는 게이트 신호의 초기 구간 파형이며, (c)는 -1.7 kV급 펄스 전압의 초기 상승 구간 파형이다. 표 1은 R1 값의 변화에 따른 펄스 전압 상승시간이며, R1 값이 상승할수록, 펄스 전압 상승시간이 증가한다. 그림 4는 게이트 구동회로의 C2 값을 가변하여 시뮬레이션한 파형이며, C2 값은 4.7nF, 10nF, 27nF, 47nF, 68nF, 82nF으로 가변하였다. 표 1과 마찬가지로, 표 2는 C2값의 가변에 따른 펄스 전압 상승 시간을 정리한 것이며, C2 값이 상승할수록, 펄스 전압 상승 시간이 증가한다. 시뮬레이션을 통해 게이트 신호를 가변 기법을 적용하여 펄스 상승시간 조절이 가능함을 검증하였다.

표 1 R1 값의 변화에 따른 펄스 전압 상승 시간

Table 1 Pulsed voltage rising time depending on R1 value

R1 value (Ω)	7.5	30	50	75	100
Pulse Rising Time (ns)	46	62	72	88	92

표 2 C2 값의 변화에 따른 펄스 전압 상승 시간

Table 2 Pulsed voltage rising time depending on C2 value

C2 value (nF)	4.7	10	27	47	68	82
Pulse Rising Time (ns)	47	61	115	127	129	131

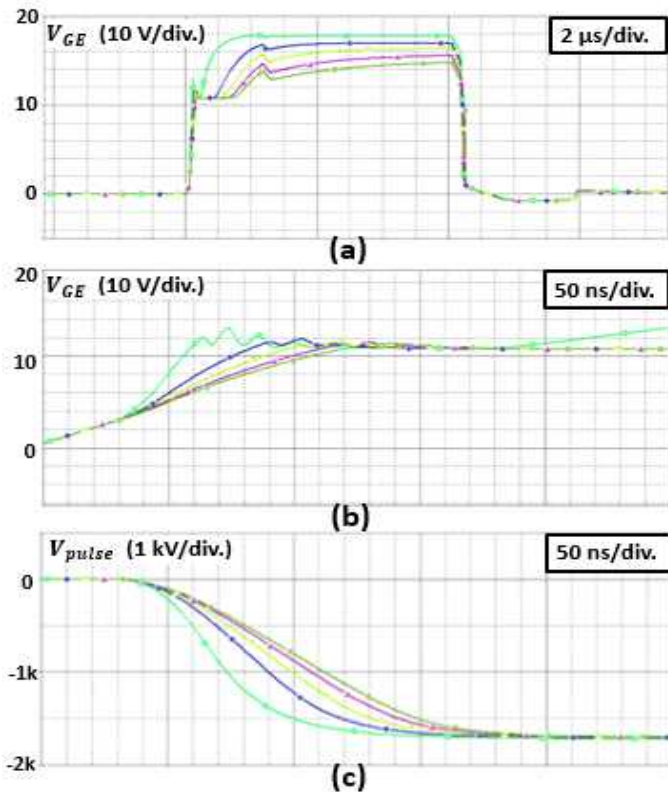


그림 3 게이트 구동회로 R1 값 변화 시뮬레이션 파형 (7.5Ω, 30Ω, 50Ω, 75Ω, 100Ω)

Fig. 3 Waveforms of the PSpice simulation depending on R1 value

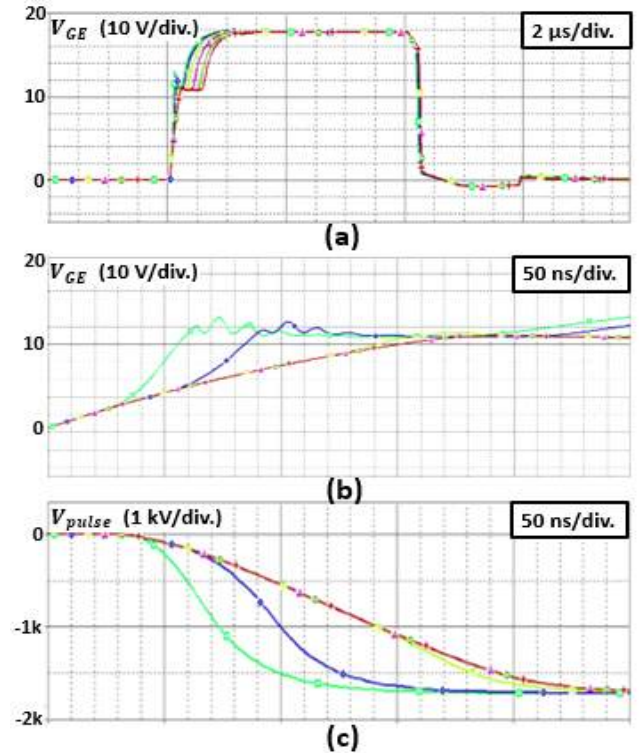


그림 4 게이트 구동회로 C2 값 변화 시뮬레이션 파형 (C2 4.7nF, 10nF, 27nF, 47nF, 68nF, 82nF)

Fig. 4 Waveforms of the PSpice simulation depending on C2 value

### 3. 결 론

본 논문에서는 펄스 모듈레이터 IGBT 게이트 신호를 가변하여 펄스 상승 시간 조절을 효과적으로 구현한다. 게이트 구동회로의 R1을 가변하여 최종 게이트 신호 전압 및 초반 게이트 신호 상승 속도를 조절하였으며, R1 값이 증가함에 따라 펄스 상승 시간이 저감됨을 시뮬레이션으로 검증하였다. 마찬가지로, C2 값을 가변하여 초기 구간 게이트 신호 상승 속도를 조절하였으며, C2 값이 증가함에 따라 펄스 상승시간이 저감됨을 확인하였다.

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00100, 고출력 전자기파 기반 안티드론 시스템 개발)

### 참 고 문 헌

- [1] Hyun-Bin Jo, Seung-Ho Song, Seung-Hee Lee, and Hong-Je Ryoo, MOSFET Gate Driver Circuit Design for High Repetitive (200kHz) High Voltage (10kV) Solid-State Pulsed-Power Modulator, Trans. On Power Electronics, VOL. 36, NO. 9, pg. 10461-10469, Sep. 2021