

Thyristor와 Magnetic Switch를 이용한 120kV 5kA 펄스발생기

정 인화, Gennadi I. Gusev, 임 근희, 김 종현, 류 명효, 김 중수
한국전기연구원

120kV 5kA Pulse Generator Using a Thyristor and Magnetic Switch

In-Wha Jeong, Gennadi I. Gusev, Geun-Hie Rim, Jong-Hyun Kim, Myung-Hyo Ryu, Jong-Soo Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문은 반도체 스위치인 Thyristor와 Magnetic Switch(MS)를 이용한 고전압 펄스발생기의 개발에 대하여 기술하고 있다.

1. 서 론

개발된 고반복 펄스발생기는 금속 표면처리 분야, 배기가스 정화 분야, 오염수 살균 분야와 의료기기 분야 등의 다용도 펄스 전원장치로서 적용 가능하도록 제작되었다.

개발된 고전압 펄스발생기의 출력 파라미터는 다음과 같다.

- 출력 펄스 전압 : 0 ~ 120kV
- 최대 펄스 전류 : 5kA
- 펄스 반복률 : 0 ~ 300Hz
- 펄스폭 : 0.25 μ s
- 출력 펄스 에너지 : 100J/pulse
- 최대 출력 전력 : 30kW

2. 본 론

2.1 전체 구성 및 동작 설명

그림 1은 Thyristor와 MS를 이용한 고전압 펄스발생기의 구성도를 보여주고 있다. 전체 시스템은 고전압 캐패시터 충전부와 Thyristor 구동부, 1, 2단계 자기 펄스 압축부로 구성되어 있다. 먼저, 고전압 캐패시터 충전부는 다용도 Universal Pulsed Power System에 적용하기 위해서 개발된 25kV 35kW급 고전압 캐패시터 충전용 전원장치가 사용되었으며 Thyristor는 ABB사의 5SPR26L4502 모델을 채용하였다. 고전압 캐패시터 충전용 전원장치는 부하 캐패시터 Cst를 Thyristor의 최대 정격전압인 2.8kV까지 충전시켜 주며 충전완료 후 Thyristor 구동부를 통해서 Thyristor를 트리거 시켜준다. 이때, Thyristor와 1:10의 권선비를 갖는 펄스 변압기 MS1을 통해서 최대 피크값 12kA, 펄스폭 9.5 μ s인 펄스 전류가 흐르게 되며 이를 통해 MS1의 2차측에 연결된 캐패시터 C1, C2는 28kV까지 충전된다. 이후 자기 스위치로서 동작하는 펄스 변압기 MS1의 코어가 포화되는 순간, 캐패시터 C1의 극성은 1.5 μ s의 펄스 전류에 의해서 반대방향으로 바뀌게 되고 자기 스위치 MS2에는 캐패시터 C1, C2 전압의 합이 인가된다. 다시 자기 스위치 MS2가 포화되는 순간, 펄스폭은 0.25 μ s로 압축되며 이 압축된 56kV의 전압은 1:4의 권선비를 갖는 선형 변압기 LT에 의해서 224kV까지 증폭된다. 그러나 펄스발생기와 임피던스 정합관계를 갖는 25 Ω 의 부하저항에 의해서 실제 부하에는 120kV 5kA의 출력 펄스가 인가된다.

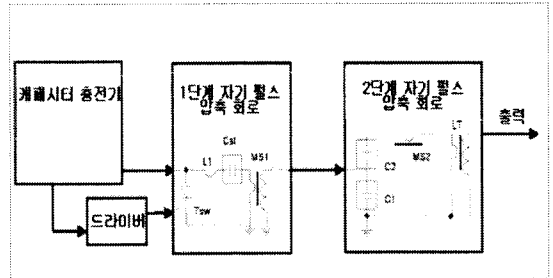


그림 1. Thyristor와 MS를 이용한 고전압 펄스발생기 구성도

2.2 시뮬레이션 및 손실 해석

그림 2는 본 펄스발생기의 PSpice 모델이며 그림 3-5는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

그림 3은 캐패시터 C1의 충전전압과 Thyristor의 단자 전압, 그리고 펄스 변압기 TX1(MS1)의 2차측 전류 파형을 보여주고 있다. 결과 파형에서 나타나듯 펄스발생기의 입력 에너지를 저장해 주는 캐패시터 C3에 2.6kV까지 충전된 에너지가 Thyristor를 통해서 펄스 변압기 TX1의 1차측에 전달되고 9.5 μ s의 펄스폭을 갖는 1.2kA의 2차측 펄스 전류는 캐패시터 C1을 28kV까지 충전시키고 곧이어 펄스 변압기 TX1이 포화되는 순간, 캐패시터 C1은 펄스 변압기 TX1을 통해서 방전하게 되고 이때 7.5kA의 역방향 전류에 의해서 캐패시터 C1은 1 μ s의 짧은 시간 동안에 20kV까지 역방향으로 재충전되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 4는 25 Ω 의 부하저항 R6에 인가되는 출력 전류의 파형을 보여주고 있으며 그림 5는 펄스 발생기에 전달되는 입력 에너지와 부하저항에 인가되는 출력 에너지, 그리고 주요 손실을 나타내고 있다. 먼저, 30 μ F의 캐패시터 C3에 저장되는 입력 에너지는 100J이며 부하저항 R6에 출력되는 에너지는 대략 83J임을 알 수 있다. 주요 손실을 구체적으로 살펴보면, Thyristor의 스위칭 손실이 2J이고 1, 2단계 자기 펄스 압축부의 손실이 각각 6J과 4J이며 최종적으로 1, 2단계 자기 펄스 회로의 결합에서 발생하는 손실이 5J임을 확인할 수 있다.

2.3 제작 및 실험 결과

그림 6은 시뮬레이션 결과를 기초로 설계, 제작된 Thyristor와 MS를 이용한 120kV 5kA 펄스발생기를 보여주고 있다. 그림에서 보듯 펄스발생기는 크게 하단에 위치한 1단계 자기 펄스 압축부와 상단에 위치한 2단계 자기 펄스 압축부로 구성되어 있으며 전체적으로 원통형 구조를 가지고 있다.

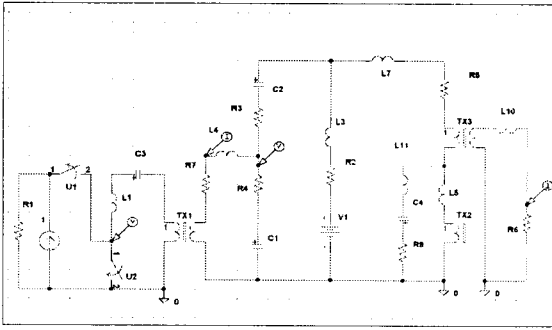


그림 2. 120kV 5kA 펄스발생기의 시뮬레이션 모델

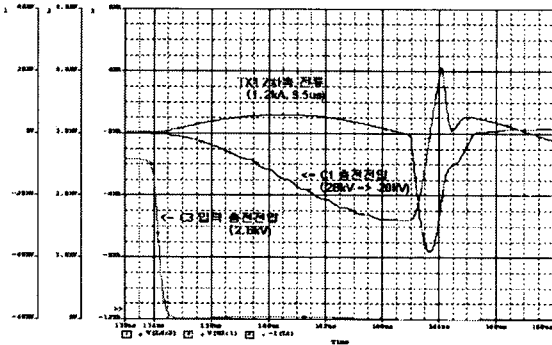


그림 3. 캐패시터 C1의 충전전압, thyristor의 단자전압, 펄스 변압기 TX1의 2차측 전류 파형

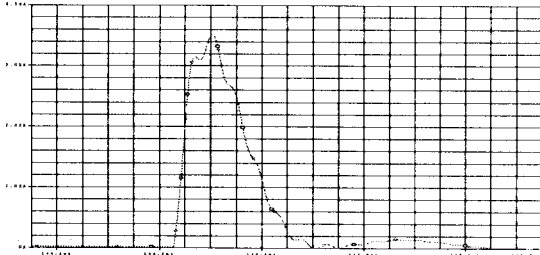


그림 4. 출력 전류 파형

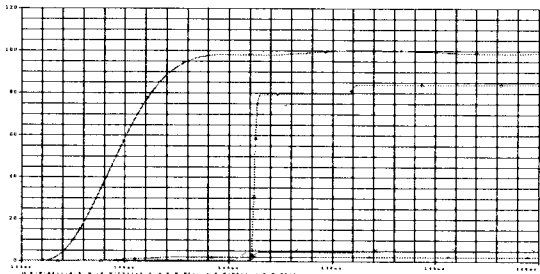


그림 5. 입력 에너지, 출력 에너지, 주요 손실 파형

그림 7은 캐패시터 C1의 충전전압과 Thyristor의 단자전압, 그리고 펄스 변압기 TX1(MS1)의 2차측 전류 파형을 보여주고 있다. 실험 결과에서 보듯 전체적인 동작 특성이 시뮬레이션 결과와 일치함을 살펴볼 수 있다.

그림 8은 120kV 최대 출력 전압에서의 출력 전류 파형을 보여주고 있다. 출력 전류의 펄스폭은 $0.25\mu\text{s}$ 이고 상승 시간과 하강 시간은 각각 90ns와 100ns임을 살펴볼 수 있다. 또한 25의 부하저항에 인가된 출력 전류를 통해서 확인한 펄스발생기의 출력 에너지는

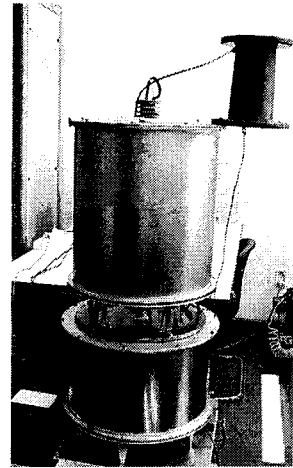


그림 6. Thyristor와 MS를 이용한 120kV 5kA 펄스발생기

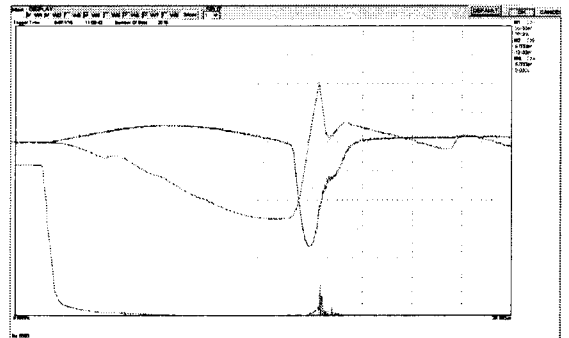


그림 7. 캐패시터 C1의 충전전압, Thyristor의 단자전압, 펄스 변압기 TX1의 2차측 전류 파형

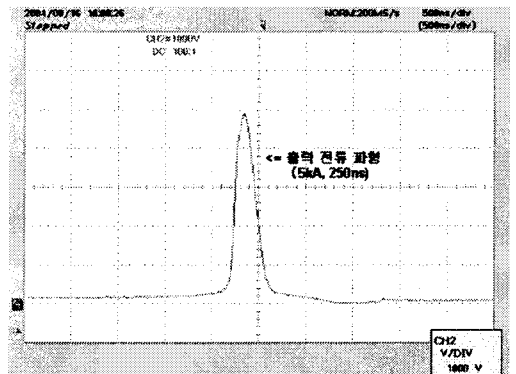


그림 8. 120kV 최대 출력 전압에서의 출력 전류 파형

79J이고 이때 펄스발생기의 전체 효율은 79%임을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 Thyristor와 Magnetic Switch를 이용한 고전압 펄스발생기의 개발에 대하여 기술하고 있다. 개발된 펄스발생기는 120kV 5kA 최대 출력 조건에서 $0.25\mu\text{s}$ 의 펄스폭과 100ns의 하강 시간을 갖고 전체 효율은 79%이다.