

고전압 나노초 펄스 발생기를 이용한 전자기파 방사

김영배, 이홍식
한국전기연구원

Impulse Electromagnetic Radiation for High Voltage Nanoseconds Pulse Generator

Young-Bae Kim, Hong-Sik Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Ultra wide band electromagnetic energy can be transmitted to a far field by emitting the nanoseconds high voltage pulse electromagnetic energy via an antenna. This UWB EM energy is expected to be used in post-packing pasteurization of food, detection of buried objects or underground water veins and caves and the treatment of waste water or polluted gas. The nanoseconds pulse forming for UWB generation using high voltage blumlein line and an ultrafast switch is mentioned.

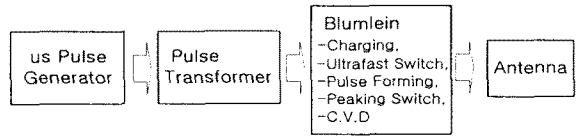


그림 1. 시스템 개념도

생시켜서 peaking gap switch를 통하여 상승시간을 더욱 빠르게 압축하여 안테나를 통하여 전자기파의 형태로 공간으로 방사하는 시스템이다.

1. 서 론

고전압 나노초 펄스 전자기 에너지를 안테나를 이용하여 방사 시키면 초광대역 주파수의 전자파가 발생하며 많은 양의 정보를 원거리로 보낼 수 있다. 이를 이용하면 고성능 레이더, 식품의 포장후 살균, 지하 매설물의 탐색, 지하수맥 및 동굴 탐색, 오폐수 처리 및 오염 가스 처리 등에 이용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 광대역의 충격전자기파를 이용하면 개축장비나 PCB 기판의 오동작의 시험 장비로 활용하여 EMI영향 평가를 위한 장치로 활용할수가 있다.

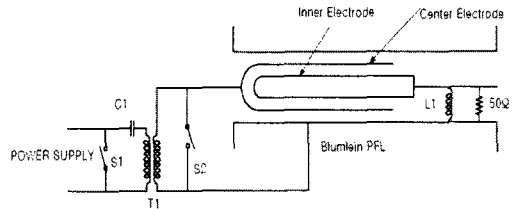


그림 2. Blumlein의 원리도

그림 2는 blumlein의 원리도이며 내부전극과 외부전극 사이에 2배의 전압이 발생한다. 이와같이 입력된 전압을 두배 이상으로 증폭할수 있는 또다른 장치는 동축케이블을 사용할수도 있다.

2. 본 론

고출력의 전기에너지를 마이크로파로 방사시키기 위해서는 마이크로파 발전장치와 안테나가 필요하다. 원거리에서도 높은 전계 강도의 광대역 마이크로파를 발생시키기 위해서는 수백kV급 고전압 초고속 스위치와 넘어온 펄스 에너지를 담을 수 있고, 목표로 하는 펄스폭을 형성할 수 있는 펄스형성선로(Pulse Forming Line) 설계 기술이 필요하고, 발생한 ns펄스를 효과적으로 방사시키기 위해서는 고전압을 견딜 수 있는 광대역의 안테나 설계 기술이 요구된다. 본 논문에서는 광대역 안테나인 TEM horn 안테나를 사용하였으며, 나노초 펄스 발생용 PFL은 blumlein을 사용하였고, 초고속 스위치는 SF₆가스와 N₂가스를 충전하여 실험을 하였으며, blumlein에 충전용 전원장치는 Marx Generator나 펄스 변압기를 사용할수가 있는데 본 연구에서는 펄스 변압기를 사용하였다.

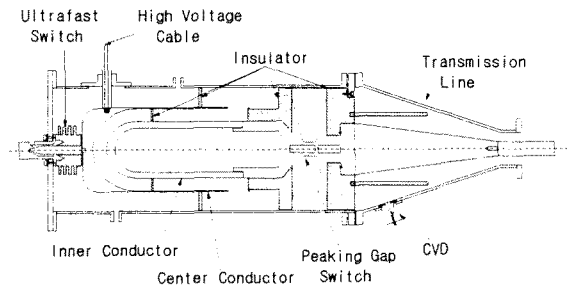


그림 3. 실험에 사용한 blumlein 의 구조

2.1 시스템 개요

전자기파 방사의 시스템 개념은 그림1과 같다. 먼저 μs 급의 느린 펄스를 발생하여 펄스 변압기를 통하여 원하는 전압으로 승압하여, 그림2와 같은 blumlein 펄스형 선로에 충전하였다가 초고속 스위치(ultrafast switch)를 통하여 방전함으로써 충전전압의 2배에 해당하는 전압을 가진 sub-nanosecond 펄스를 발

2.2 Blumlein 충전용 펄스전원

블룸라인의 충전에 사용할 μs 급의 느린 펄스전원은 그림4와 같이 커패시터 C₁에 충전하였다가 직렬로 연결된 싸이라트론, 스파크갭 등의 스위치와 펄스 변압기를 통하여 방전함으로써, 2차측에 연결된 blumlein 선로에 충전하게 된다. 이와 같이 충전펄스가 빠를수록 초고속 스위치의 자가 방전전압도 올라가게 되므로 같은 전압이라면 궁극적으로 펄스의 상승시간이 더 빠른 펄스를 이용하게 되다면 peaking gap switch를 통해서 발생하는 펄스전압도 효율이 높아지게 될것으로 사료 된다.

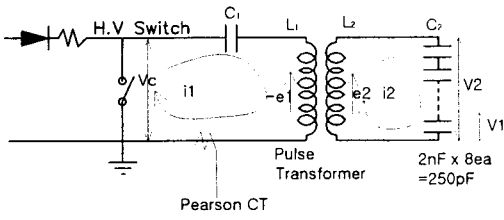


그림 4. 충전용 μ s 펄스 발생 회로

2.3 펄스 변압기

고전압 고주파용 펄스 변압기는 부하의 임피던스에 의해서 주파수 특성이 변하므로 어느 한 주파수에서 만 공진을 시켜서 필요한 펄스를 발생시킬 수가 있다. 각 주어진 요소에 의해서 출력 파형의 특성이 바뀌므로 먼저 부하 조건을 결정한 후에 설계를 해야 한다.

2.3.1 제작

제작하고자 하는 변압기는 가능한 한 크기를 작게하고 절연을 높이기 위해서 절연유 속에 담구었다. 제작한 펄스 변압기의 특성은 표 1과 같고, 그림 5와 같이 1차 저압 코일은 두께 0.07mm, 폭 20 mm의 동(Cu) 테이프를 21회 감아서 인덕턴스 16 μ H를 얻었으며, 2차 고압 코일은 0.2 mm의 테프론 전선을 527회 감아서 6.7mH의 인덕턴스를 얻었으며 권선비는 20배이며 1,2차 권선 결합계수는 0.6을 얻었다.

표 1. 변압기의 결합계수 및 인덕턴스 전압비

| Primary parameters | | Secondary parameters | | Mutual parameters | |
|-----------------------------|------------|--|---------|----------------------|-------------|
| Radius of primary coil | 10.8 cm | Large Radius of secondary coil | 9.6 cm | Mutual Inductance | 196 μ H |
| | | Small Radius of secondary coil | 7.6 cm | | |
| Length of primary coil | 51.4 cm | Cylindrical Section Length of secondary coil | 10 cm | Coupling Coefficient | 0.6 |
| | | Conic section length of secondary coil | 41.4 cm | | |
| Turn Number of primary coil | 21 | Turn Number of secondary coil | 527 | Voltage Ratio | 20 |
| Primary Inductance | 16 μ H | Secondary Inductance | 6.7 mH | | |

1차와 2차의 절연과피를 막기 위해 저압측 보빈은 원통형으로, 고압측 보빈은 원추형으로 설계하였으며 최대전압 25kV를 충전하여 펄스폭 10 μ s 내외, 2차측 펄스전압 270kV를 발생시킬 수 있는 펄스 변압기를 제작 하였다.

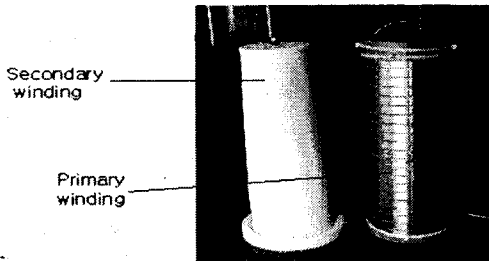


그림 5. 펄스변압기의 권선 모습

2.4 초고속 스위치

2.4.1 Ultra Fast Switch 구조

Blumlein 펄스 성형 회로를 동작시키기 위하여는 매우 빠른 동작 특성을 갖는 스위치가 필요하다. 따라서 스위치는 짧은 간극이면서 높은 절연 파괴전압을 갖는 것이어야 한다. 이 스위치는 블룸라인의 중심 도체와 외부 도체 사이에 설치 하였으며, 또한 상승시간이 ns인 파형을 발생하기 위해서는 저 인덕턴스 구조이어야 하므로 동축 구조로 설계하였으며, 아주 높은 전계 강도를 가져야 한다. 즉 ns 내외 250kV의 전압치에서 자가방전이 일어나야 하므로, 전극 간격이 짧으면서 가스 압력이 높아야 한다.

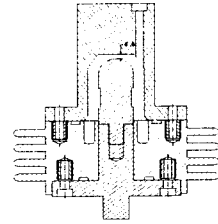


그림 6. 초고속 스위치의 구조

2.4.2 Peak Gap Switch 구조

PFL인 Blumlein에서 승압 압축된 ns의 펄스를 다시한 번더 압축을 하는 용도의 스위치이다. 그림 3에서 처럼 접지전극에 불룩한 요철을 주어 스위치 동작시의 아크의 인덕턴스와 커패시턴스를 줄일수 있는 구조로 설계 하였다. 그림 3은 PFL 챔버의 전체 구조인데 peak gap switch 부분은 접지전극이 주전극 가까이 접근에 있는 모습이다.

2.5 용량형 전압 측정센서

2.5.1 센서의 개요

고전압 펄스전압 측정용 분압기는, 매우 빠른 펄스임을 감안하면 내부 인덕턴스가 작을수록 좋으며 소형이어야 하고, blumlein의 전압펄스를 전송하는 전송라인 중간에 설치하는 것이 용이한 구조이어야 한다. 수백 ps의 급준한 파형을 측정하기 위해서는 1GHz 이상의 대역폭을 가져야 한다.

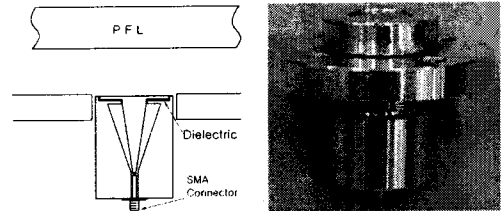


그림 7. 센서의 구조와 제작된 모습

2.5.2 센서의 Calibration

제작된 용량형 전압 측정 센서의 주파수 응답 특성 실험을 하기 위해서는 그림 8과 같이 교정용 장치를 구성하여 실험을 할수가 있다. 직각파 발생기에서 발생된 급준파를 동축 케이블을 통하여 chamber에 보내게 되는데 chamber의 끝 부분은 동축 케이블의 임피던스가 서서히 변화할 수 있게 chamber의 직경을 서서히 증가시켜야 급격한 임피던스 변화에 의한 반사파를 막을 수 있으며, 그림 9은 그림8의 장치에서 측정된 용량형분압기의 파형이다. 측정된 파형의 상승시간은 300ps로써 1GHz의 주파수 대역의 파형을 측정하는데 사용할 수 있다.

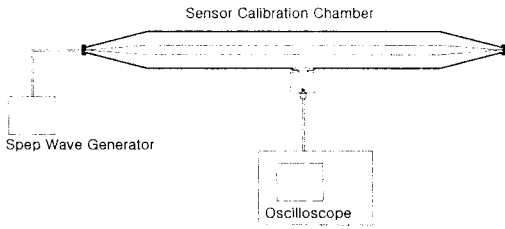


그림 8. 직각파 응답 실험 장치

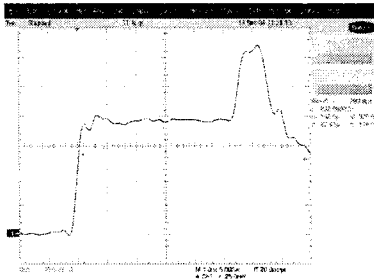


그림 9. 직각파 응답 파형

2.6 충격전자기파 실험

그림 10는 실험에 사용된 blumlein과 TEM horn 안테나의 사진이다. Blumlein에 250kV의 파형을 충전하여 압축 성형되어진 파형은 그림 11과 같이 펄스의 상승시간이 대략 1ns이하 이며 전압의 크기는 약 400kV이다. 이렇게 발진된 파형을 그림 10 에서 보는바와 같이 TEM horn안테나를 연결하여 방사시키면 그림 12와 같은 전계 파형을 측정할수 있었다.

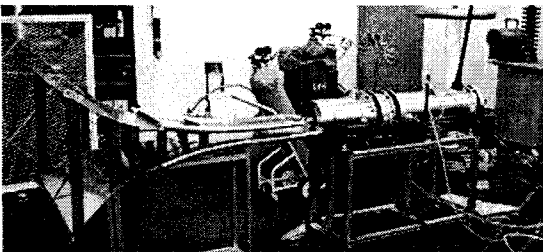


그림 10. 실험에 사용된 blumlein 과 TEM horn 안테나

전계파형 측정은 emctest사의 3106안테나를 사용하였다. 또한 측정된 신호를 FFT응답특성을 분석한 결과 주파수 대역이 50MHz에서 600MHz 대역을 나타내고 있다.

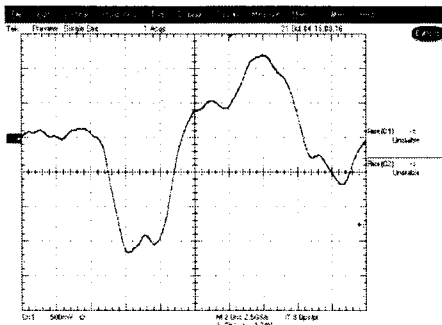


그림 11. 압축 성형한 펄스 파형

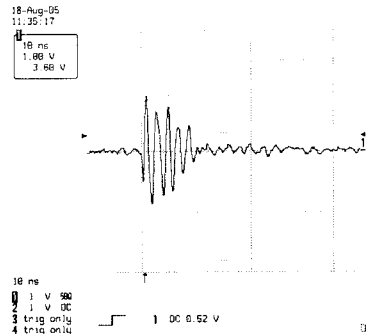


그림 12. 안테나 센서로 측정한 전계 파형

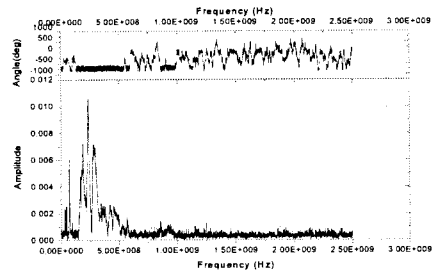


그림 13. FFT응답특성 곡선

3. 결 론

본 논문에서는 고전압 나노초 펄스 발생기를 제작하고 또한 실험 과정을 소개하였으며, 1GHz 대역의 펄스를 측정할수 있는 용량형 분압기와 blumlein을 이용한 펄스파형의 압축성형 과정, 그리고 충격전자기파를 TEM horn 안테나를 통해서 방사하여 전계파형을 측정하여 FFT응답 특성을 조사하여 방사되는 주파수 대역을 알수가 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Vladimir P. Gubanov, Sergei D. Korovin, Igor V. Pegel, Albert M. Roitman, Vladislav V. Rostov, and Aleksei S. Stepchenko, "Compact 1000 PPS High-Voltage Nanosecond Pulse Generator", IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 25, No. 2, Apr 1997, pp 258-265
- [2] R. S. Clark, L. F. Rinehart, M. T. Buttram, and J. F. Aurand, "An Overview of Sandia National Laboratories' Plasma Switched, Gigawatt, Ultra-Wideband Impulse Transmitter Program", Ultra-Wideband, Short Pulse Electromagnetics, 1993, pp 93-98
- [3] J. Zhang, J. Dickens, M. Giesselmann, J. Kim, E. Kristiansen, J. Mankowski, D. Garcia, M. Kristiansen, "The Design of a Compact Pulse Transformer", 12th IEEE Int'l Pulsed Power Conference, Jun 1999, Vol. 2, pp 704-707