

GW급 UWB용 고전압 나노초 펄스 발생

김영배, 이홍식
한국전기연구원

High Voltage Nanoseconds Pulse Generation for 1 GW UWB radiation

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 500 kV blumlein line and an ultrafast switch is mentioned.

1. 서 론

고전압 나노초 펄스 전자기 에너지를 안테나를 이용하여 방사 시키면 초광대역 주파수의 전자파가 발생하며 많은 양의 정보를 원거리에 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. 여기서는 1 GW급 UWB 발생을 위한 500kV급 블룸라인을 이용한 나노초 펄스 형성에 대하여 언급한다.

2. 본 론

고출력의 전기에너지를 마이크로파로 방사시키기 위해서는 마이크로파 발진장치와 안테나가 필요하다. 출력 1GW급의 고출력 펄스를 발생시키기 위해서는 500 kV 급 고전압 초고속 스위치와 넘어온 펄스 에너지를 담을 수 있고, 목표로 하는 펄스폭을 형성할 수 있는 펄스 형성선로(Pulse Forming Line) 설계 기술이 필요하고 발생한 펄스를 효과적으로 방사시키기 위해서는 고전압을 견딜 수 있는 광대역의 안테나 설계 기술이 요구된다. 정량적 개발목표는 출력 1 GW, 펄스 전압 500 kV, 펄스 상승시간 300 ps, 펄스폭 3 ns의 펄스전압을 발생하여 안테나로 전송하여 안테나 전방 10m에서 전계의 세기 15 kV/m 이상을 발생시킬 수 있는 장치를 개발하는 것이다.

이러한 실험을 위해서는 고전압의 전원 장치가 필요한데 주로 Marx Generator나 펄스 변압기를 사용할 수가 있다. 본 연구에서는 펄스 변압기의 형태를 채용 하였다.

2.1 시스템 개요

UWB 발생 시스템의 개념은 그림1과 같다. 먼저 μ 급의 느린 펄스를 발생하여 펄스 변압기를 통하여 원하는 전압으로 승압하여, 그림2와 같은 블룸라인 펄스형성 선로에 충전하였다가 블룸라인 동작용 초고속 스위치(ultrafast switch)를 통하여 방전함으로써 충전전압의 2 배에 해당하는 전압을 가진 sub-nanosecond 펄스를

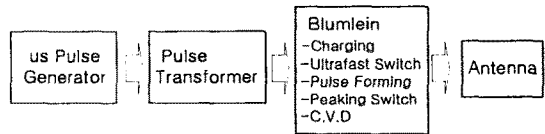


그림1. 시스템 개념도

얻고 피킹 스위치(peaking switch)를 통하여 상승시간을 더 줄인 다음 이를 안테나를 통하여 전자기파의 형태로 공간으로 방사하는 것이다. 본 논문에서는 안테나를 제외한 시스템 구성품에 대하여 설계 또는 동작 특성을 언급하기로 한다.

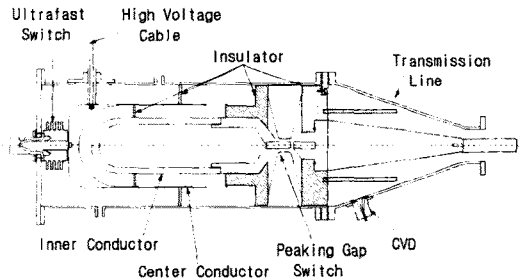


그림 2. Blumlein 펄스형성 선로 개념도

2.2 Blumlein 충전용 펄스전원

블룸라인의 충전에 사용할 μ 급의 느린 펄스전원은 그림3과 같이 일단 커패시터에 충전하였다가 직렬로 연결된 싸이러트론, 스파크 갭 등의 스위치와 펄스 변압기를 통하여 방전함으로써, 2차측에 연결된 블룸라인 선로에 충전하게 된다. 이 느린 펄스 충전에서도 충전 펄스가 빠를수록 초고속 스위치의 방전전압도 올라가게 되므로 같은 전압이라면 궁극적으로 더 빠른 펄스를 얻을 수 있게 된다.

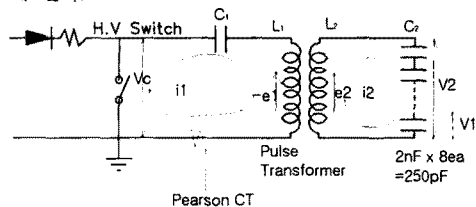


그림 3. 충전용 μ s 펄스 발생 회로

2.3 펄스 변압기

고전압 고주파용 펄스 변압기는 부하의 임피던스에 의해서 주파수 특성이 변화하므로 어느 한 주파수에서 만 공진을 시켜서 필요한 펄스를 발생시킬 수가 있다. 각 주

어진 요소에 의해서 출력 파형의 특성이 바뀌므로 먼저 부하 조건을 결정한 후에 설계를 해야 한다.

2.3.1 제작

제작하고자 하는 변압기는 가능한 한 크기를 작게하기 위하여 절연유 속에 담구었다. 제작한 펄스 변압기의 특성은 표 1과 같고, 그림 4와 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 25배이며 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 절연파괴를 막기 위해 저압측 보빈은 원통형으로, 고압측 보빈은 원추형으로 설계하였다. 최대전압 20kV를 충전하여 펄스폭 10 μ s 내외, 2차측 펄스전압 270kV를 발생시킬 수 있는 펄스 변압기를 제작 하였다.

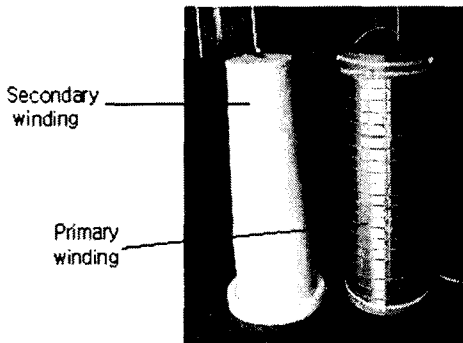


그림 4. 펄스변압기의 권선 모습

2.4 초고속 스위치(Ultrafast Switch)

2.4.1 구조

블룸라인 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 ps인 파형을 발생하기 위해서는 저 인덕턴스 구조이어야 하므로 동축 구조로 설계하였으며, 아주 높은 전계 강도를 가져야 한다. 즉 300ps 내에 250kV의 절연 파괴가 일어나야 하므로, 전극 간격이 짧으면서 가스 압력이 높아야 한다.

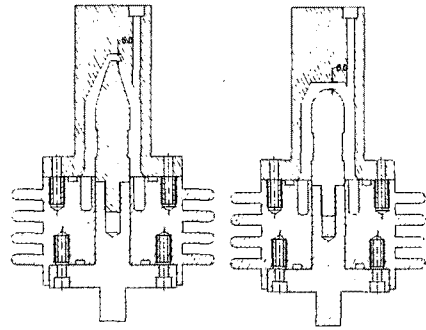


그림 5 초고속 스위치의 구조(좌:type1,우:type2)

2.4.2 실험 결과

Type 1과 2의 스위치 구조는 그림 5와 같이 동축 구조이며 양극의 끝부분을 뾰족하게 한것과 완만하게 한것 두종류의 스위치에 대해서 실험 하였다. 질소 가스와 SF₆ 가스 두 종류에 대해서 절연 파괴 실험을 하였으며 전극의 간격은 5mm으로 고정하였다.

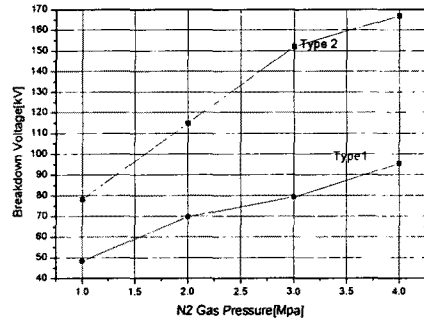


그림 6. Type1과 type2 스위치의 압력 변화에 대한 절연 파괴 전압 특성

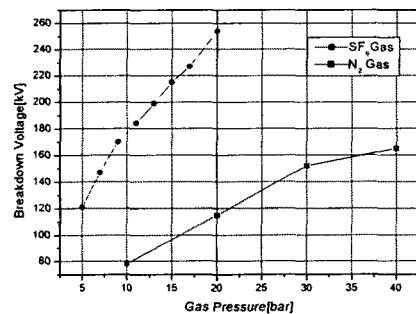


그림 7. Type2 스위치에 대한 가스 종류와 압력 변화에 대한 절연파괴 전압 특성

그림 6에서 보는바와 같이 type2 스위치가 동일 질소 압력에서 높은 파괴전압 특성을 보였으며 type2 스위치에 대해서 실험한 결과, 그림 7에서 보는 바와 같이 20기압에서 SF₆ 가스는 250kV, 질소 가스는 115kV의 파괴전압을 얻을 수 있었다.

2.5 용량형 전압 측정센서

2.5.1 센서의 개요

UWB용 고전압 펄스전압 측정용 분압기는, 매우 빠른 펄스임을 감안하면 내부 인덕턴스가 작을수록 좋으며 소

형이어야 하고, Blumlein의 전압펄스를 전송하는 전송라인 중간에 설치하는 것이 용이한 구조이어야 한다. 수백 ps의 급준한 파형을 측정하기 위해서는 1GHz 이상의 대역폭을 가져야 한다.

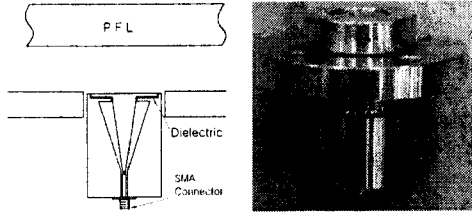


그림 8. 센서의 구조와 제작된 모습

2.5.2 센서의 Calibration

제작된 용량형 전압 측정 센서의 주파수 응답 특성 실험을 하기 위해서는 그림 9와 같이 교정용 장치를 구성하여 실험을 할 수가 있다. 직각과 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 있다.

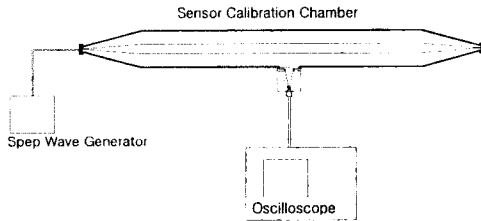


그림 9. 직각과 응답 실험 장치

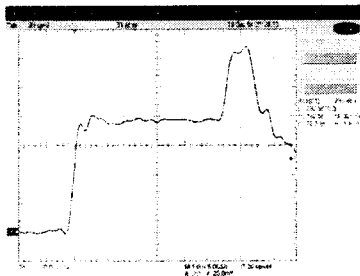


그림 10. 직각과 응답 파형

2.6 Blumlein 제작 및 실험

2.6.1 제작

광대역 발전장치에는 PFL 충전용 고전압 초고속 고압 수소 스위치, Pulse Forming Line, HV Peaking Gap, 전송선로 등이 하나의 인클로저 안에 조립 되었다. PFL에서 발생시킨 초고속(펄스폭 3ns) 고전압(500kV)을 측정하기 위한 Capacitive Voltage Divider가 전송선로에 설치되어 발생된 고전압 초고속 펄스를 측정하며, 또한 펄스 발전장치와 안테나의 접속부가 연결 되어 있다. 구성된 광대역 마이크로파 발전장치의 출력 전압은 500 kV 이상으로 하며 펄스의 기립시간은 300 ps이하의 값을 목표로 한다. 다음 그림 11는 제작조립이 완료된 Blumlein의 모습이다.

2.6.2 발전 실험

제작 완료된 Blumlein에 펄스 전압 270kV를 충전 하

였을때 의 발전된 파형이 그림 12이다. 그림에서와 같이 발전된 파형의 상승시간 300ps, 펄스폭 3ns, 전압크기 450kV의 파형이 측정 되었다.

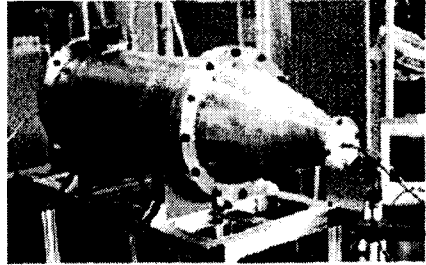


그림 11. 제작한 Blumlein

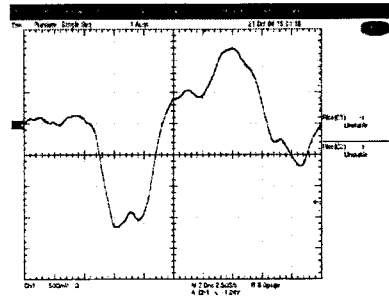


그림 12. 발전된 UWB파형

3. 결 론

본 논문에서는 1GW급 UWB용 고전압 나노초 펄스 발생기를 개발하는 과정에 대해서 언급 하였다. 특히 고전압 펄스의 크기가 500kV, 펄스의 rise time이 300ps, 펄스폭 3ns의 파형을 발생하기 위한 과정을 설명하였다. 또한 제작한 Blumlein에 펄스전압을 충전하여 실험 결과도 만족할만한 결과를 얻을수 있었다. 앞으로 고전압 나노초 펄스를 안테나에 방사 하는데는 많은 시간과 연구가 필요하리라 사료 된다.

[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. Au rand, "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