

Development of an Impulse Electromagnetic Wave Generator having Rise time of Pico Second

金永培[†] · 李弘植^{*} · 鄭淳信^{**}
(Young-Bae Kim · Hong-Sik Lee · Sun-Shin Jung)

Abstract - When the energy of the nanoseconds high voltage pulse with hundreds picoseconds of the pulse rise time is emitted into the free space via an antenna, an ultra wide band electromagnetic wave is generated. This electromagnetic wave is expected to be used in transmitting vast amount of informations to far distance, high performance radars, post-packaging pasteurization of food, the detection of underground buried objects, searching of underground water veins or caves, the treatment of waste water or polluted gases and so forth. Additionally, this technology can be used in EMI(electromagnetic interference) evaluation of measuring instruments or printed circuit boards.

Key Words : UWB, Blumlein, Pulse Forming Line, Ultrafast Switch, Peaking Gap Switch

1. 서 론

충격 전자기파는 산업사회에 쓰이는 다양한 전기적 시스템의 제어장치의 전자회로 내부에 심각한 영향을 미친다. 그 영향은 시스템의 오동작이나 손상을 일으키는 등 현실적인 문제들을 초래한다. 이러한 충격 전자기파는 제어 장치에 연결된 전선을 타고 들어와서 전자장치 내부의 부품들과 반사 · 공진 등을 일으키며 PCB에 손상을 입혀서 장치들을 사용 못하게 할 수가 있다.

본 연구에서는 이에 대한 분석적 연구를 하기 위하여 주파수가 광대역인 1MHz에서 800MHz까지의 전자파를 발생시킬 수 있는 장치를 개발 하였다. 이러한 광대역 폭을 가지는 전자기파 발생장치는 고전압 펄스를 압축 성형하여 동작시간이 아주 빠르도록 인덕턴스 성분을 최소화 하여 제작한 peaking gap switch를 사용하는 방법으로 수백 pico second의 기립 시간을 가지는 펄스를 만들어낸다. 그 후 발생한 전자기파를 공기중의 임피던스(377 Ω)와 정합시키기 위하여 임피던스 변환기를 사용하여 안테나에 전송하여 공간으로 방사시킨다. 본 논문의 내용은 이러한 전자기파 발생기의 설계 제작 과정과 실험한 결과에 대해 서술하였다.

2. 시스템 개념

2.1 전체 시스템 구성

충격 전자기파 발생장치의 전체 시스템 구성도는 그림 1과 같다. μs(micro second)펄스 발생기에서 발생 시킨 펄스를 펄스트랜스를 거쳐 250kV 정도로 증폭을 시켜 펄스 성형선로인 blumlein에서 펄스를 압축 한다. (Blumlein은 원통

형 내 · 외부 전극으로 되어 있고 그 전극의 길이를 조절하여 원하는 펄스의 폭을 얻어내는 데 사용하는 펄스회로이다.) Blumlein의 사용과 동시에 인덕턴스의 성분을 최소화 제작한 peaking gap switch를 사용하여 펄스의 기립시간이 300 ps이내인 펄스전압을 발생 시킨다. 그 후 전송선로를 통하여 펄스를 안테나에 보내면 광대역의 전자기파가 대기중으로 방사 된다. 안테나는 광대역 방사 특성이 뛰어난 TEM(Transverse Electro magnetic) Horn 안테나를 사용하였다.

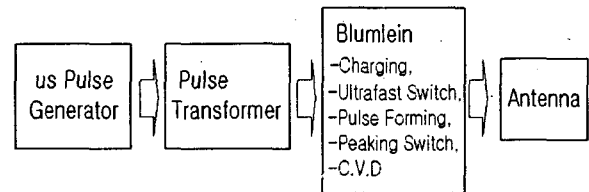


그림 1 전체 시스템의 구성도
Fig. 1 Scheme of the total system

2.2 펄스 성형 회로(blumlein)의 원리

고전압 펄스를 압축하고 증폭하는 펄스 성형선로(Pulse Forming Line:PFL)는 그림 2와 같은 임피던스가 같은 두 개의 동축케이블을 사용하여 케이블에 전압을 충전하고 스위치를 닫을 때 충전전압과 같은 크기의 압축된 전압을 발생할 수 있는 펄스 성형선로의 원리를 이용 할수가 있다[1].

이 펄스 성형 회로를 blumlein PFL이라고 한다. 그림 3은 그림 2의 개념도에서 스위치가 닫힐 때의 시간변화에 대한 펄스의 이동과 전압의 분배에 대해서 그림으로 설명을 한 것이다. 스위치가 닫히면 좌측 동축케이블에 충전된 전압이 0이 되면서 우측으로 이동하는것 처럼 표현되고 부하측에서 반사되어 극성이 반전된다. 또한 우측의 동축케이블에 충전된 전압은 부하의 임피던스에 의해 전압이 V/2를 유지하면서 우측으로 진행하여 선로의 끝부분에서 반사되어 부하측으로 이동한다.

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 先任技術員
E-mail : ybkim@keri.re.kr

* 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 · 工博

** 正會員 : 韓國電氣研究院 先任研究員 · 工博

接受日字 : 2006年 9月 11日

最終完了 : 2006年 11月 8日

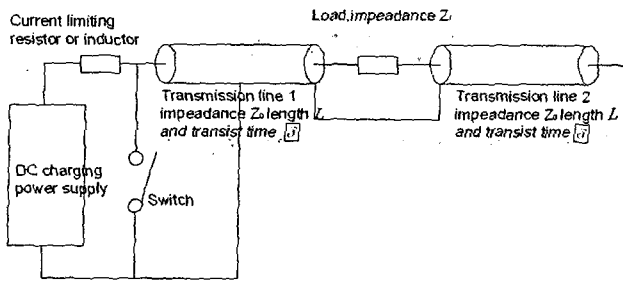


그림 2 Double PFL의 기본개념

Fig. 2 The basic concept of the double pulse forming network

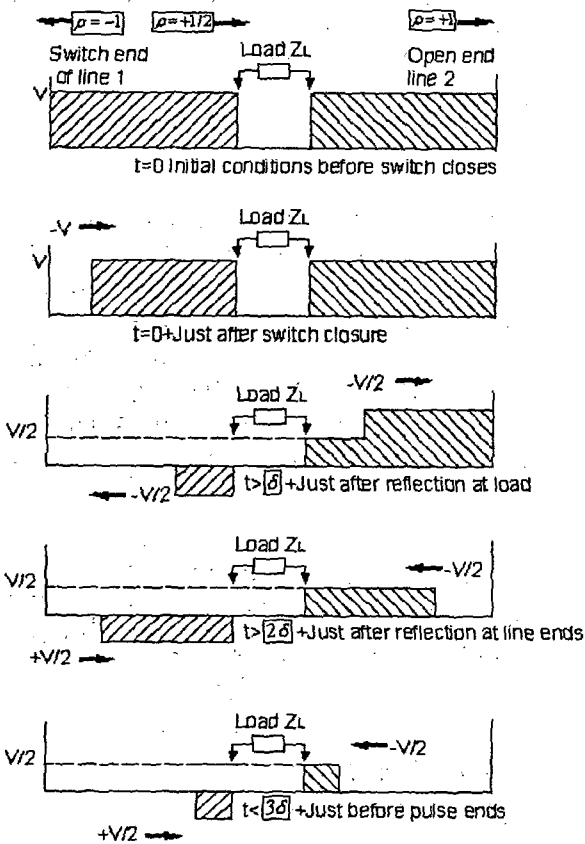


그림 3 스위치 동작후 펄스 파의 시간적 추이

Fig. 3 Timing trace of pulse wave after switching operation

이런 과정에 의해전압은 $(+V/2)+(-V/2)$ 되어 전체적으로는 전압의 절대치 V 가 되면서 펄스가 압축이 된다. 이때의 펄스의 폭은 $2L/V$ 가 된다[1]. 여기서 L 은 blumlein의 길이, V 는 전자기파의 속도를 나타낸다.

2.3 펄스 전자기파 발생기의 동작 원리

펄스 전자기파 발생장치의 원리는 그림 4와 같다. 직류 고전압을 C_1 에 충전한후 스위치 S_1 을 닫으면 펄스 트랜스 T_1 의 1차 코일에 전류가 흐르면서 2차 코일에는 μs 의 기립 시간을 갖는 고전압 펄스가 발생한다. 이 펄스가 blumlein의 중간전극과 외부전극, 중간전극과 내부전극 사이에 충전 되

면서 스위치 S_2 가 자가 방전을 하면 L_1 에는 압축 성형된 펄스가 발생 한다. L_1 은 전압을 충전시에는 임피던스가 0 이며 S_2 가 동작시에는 임피던스가 무한대로 변하는 충전용 인덕터이다. 이때 전압 파형은 그림 3의 원리와 같이 파형이 성형된다. 또한 blumlein의 전극 길이를 변화시켜서 원하는 펄스폭의 파형을 만들수 있다.

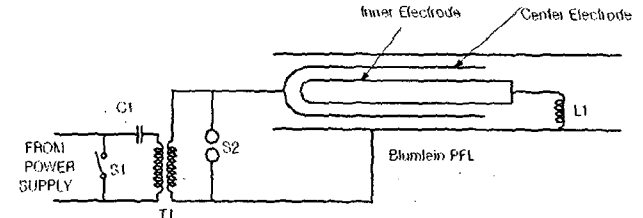


그림 4 펄스 성형 장치의 원리도

Fig. 4 Principle of the pulse forming system

3. 펄스 전자기파 발생기의 제작 및 실험

3.1 μs 펄스 발생기

μs 펄스 발생기는 일반적으로 널리 사용되는 그림 5와 같은 회로를 사용하여 제작 하였다. 커패시터 C_1 에 직류 고전압을 충전하여 HV switch를 ON하면 펄스 트랜스 출력측에 고전압 펄스가 발생한다.

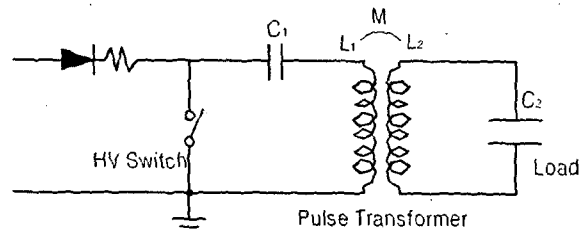


그림 5 μs 펄스 발생기

Fig. 5 Pulse generator for μs

고전압 고주파용 펄스 변압기는 철심(core)을 사용하지 않는 누설 자속이 큰 공심 변압기를 사용할 수가 있다. 발생된 펄스 전압의 크기는 $1/\sqrt{C_1 L_1} = 1/\sqrt{C_2 L_2}$ 일때가 가장 크지만 실제 제작 과정에서 발생하는 부하 임피던스 변화에 의해서 주파수 특성과 출력 전압의 크기가 많이 변한다[2 3]. 즉 입력 전압에 대해 출력 전압을 어느 한 주파수에서 만 공진을 시켜서 필요한 펄스를 발생할 수가 있다. 각 주어진 요소에 의해서 출력 파형의 특성이 변하므로 먼저 부하 조건을 결정한 후에 설계를 하여야 한다. 그림에서 결합계수(coupling coefficient) $K = M/(L_1 + L_2)^{1/2}$ 에 의해 결정 된다. (M : 상호 인덕턴스) 즉 결합계수 K 는 1차와 2차 코일의 절연 이격 거리를 유지해야 하므로 결합계수가 적어진다. HV Switch는 chattering이 없으며 동작 시간 지연과 jitter특성(트리거 신호 후 스위치가 on되기까지 시간의 표준 편차)이 우수한 싸이라트론을 사용하였다. C_1 은 맥스웰 커패시터 40kV 0.1 μF 을 사용하였다.

3.2 Ultrafast Switch와 Peaking Gap Switch

펄스변압기에서 발생한 μs 펄스를 그림 4의 S_2 에서 빠른 속도로 자가방전을 시켜서 blumlein에 충전한다. 이때의 펄스의 기립시간은 수 ns이하가 되어야 한다. 펄스의 기립시간을 빠르게 하려면 스위치의 간격이 짧으면서 높은 절연 특성을 가지고 있어야 하고 인덕턴스 값이 최소인 구조이어야 한다. 또한 스위치의 PRF(Pulse Repetition Frequency)을 빠르게 하기 위해서는 전극간의 절연 회복 시간이 매우 빨라야 한다. 그래서 주 스위치에 사용되는 절연 가스는 수소 가스를 사용하여야 PRF를 빠르게 할 수가 있다. Ultra fast switch는 그림 6과 같이 동축 구조이면서 전류의 흐름에 의해서 인덕턴스가 상쇄될 수 있도록 전극의 형상을 역 형태로 설계를 하였다.

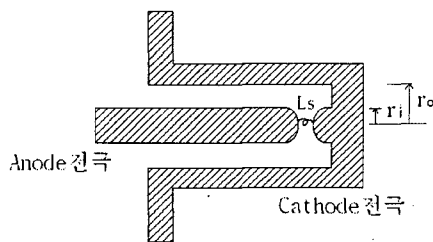


그림 6 Ultra fast Switch 구조
Fig. 6 Structure of the ultra fast switch

또한 peaking gap switch는 인덕턴스 성분이 최소인 구조로 설계하기 하기 위해서 주 방전구간 전극의 외부 도체를 그림 7과 같은 구조로 하였다.

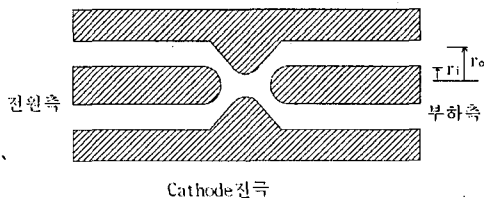


그림 7 Peaking gap switch 구조
Fig. 7 Structure of peaking gap switch

또 이 구간의 전송 임피던스 변동을 최소한 줄이기 위해서 $r_0/r_1=r_0/r_c$ 의 칫수를 유지토록 하여 제작을 하였다. 여기서 r_c 는 스위치 동작시 아크의 반경을 나타낸다.

3.3 임펄스 전자기파 발생기의 제작

본 연구에서 제작한 충격 전자기파 발생기의 구조는 그림 8과 같다. 구조를 살펴 보면 μs 펄스파형의 인입부, 주 스위치, blumlein의 이중 전극, peaking gap switch로 구성 되어 있으며, 안테나와의 연결을 위한 전송선로가 있다. Blumlein의 내부는 절연을 위해 변압기 절연유를 주입하였고, 주 스위치와 peaking gap switch는 질소 가스를 사용하였다. 또한 blumlein과 안테나의 임피던스 정합을 위해 전송선로 부분을 대각선으로 가공 하였다. 안테나는 그림에서 보는 바와 같이 TEM horn안테나를 제작하여 사용하였으며 CVD (Capacitive Voltage Divider)는 전압 파형 측정 센서이다.

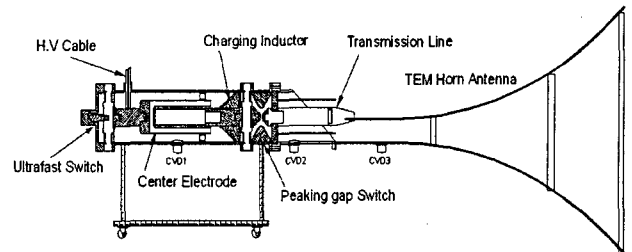


그림 8 펄스 전자기파 발생기의 전체 구조
Fig. 8 Scheme of the generator for pulse electromagnetic wave

3.4 실험 결과

그림 9는 그림 8의 CVD₁에서 측정된 전압 파형이다. 이는 Blumlein의 중간 전극에서 충전되는 파형이다. 그림 10은 CVD₃에서 측정된 파형으로 안테나에 입력되는 즉 blumlein에서 발생된 전압이 안테나에 인가되었을 때의 파형이다.

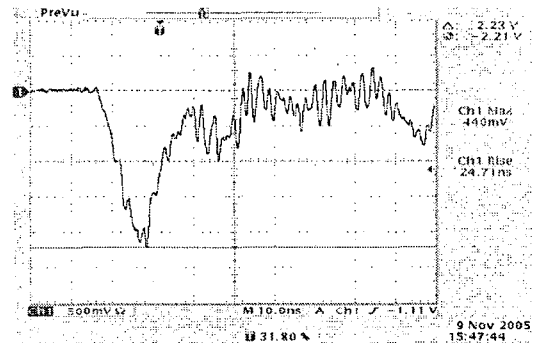


그림 9 Blumlein 중간 전극의 파형
Fig. 9 The waveform of the Blumlein at center electrode

이 때의 실험 조건은 다음과 같다. 그림 4의 회로에서 커패시터 C_1 에 직류 25kV를 충전하여서 HV switch인 싸이러 트론을 트리거 시키면 펄스 트랜스 2차 고압측에 250kV의 펄스가 발생하였다. 이 전압 파형을 blumlein에 충전하여 펄스가 성형 및 압축된 전압 파형이 펄스폭 7ns, 펄스의 기립 시간 300ps이며, 이때 전압은 240kV 이었다. 전압 파형을

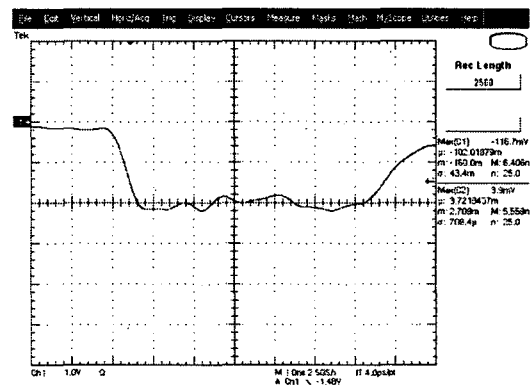


그림 10 펄스 성형된 전압 파형
Fig. 10 The waveform of pulse forming voltage

TEM horn 안테나로 보내어 공간에 방사시키면 강한 전계가 방출된다. 즉 blumlein에 충전되었던 에너지가 안테나를 통하여 전자파로 방사 된다. 안테나에서 방사되는 에너지는 안테나의 임피던스와 방사되는 전압 관계에서 결정이 되는데 출력은 약 1.1GW 이다. 이때의 실험 장치의 조건은 다음과 같았다. 주 스위치의 전극 간격 5mm, 질소가스 압력 60기압 이었고, peaking gap switch의 전극간격 1mm, 질소 가스 압력 20기압 이었다.

그림 11은 공간에 방출된 전계를 측정하여 그 파형을 FFT한 그래프이다. 이 그래프에서 보면 주파수 영역이 1MHz~800MHz 까지의 주파수가 분포되어 있는 것을 알 수가 있다.

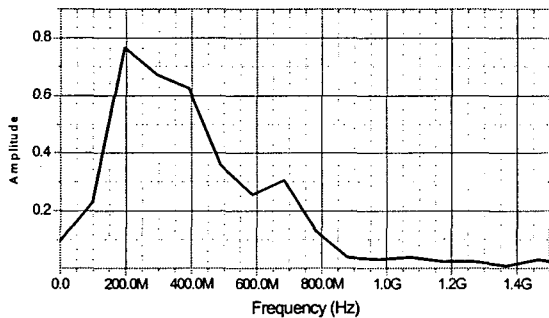


그림 11 공간방사 전계의 주파수 스펙트럼
Fig. 11 Frequency spectrum of emitting electric field toward air

4. 결 론

충격 전자기파의 장애적 요소에 대한 연구를 할 수 있는 펄스발생기를 개발하였다. 개발한 펄스발생기는 전압 240 kV, 기립시간 300 ps, 펄스폭 7 ns의 성능을 가졌다. 그리고 그 성능은 많은 검증실험을 통해 성능을 확인 할 수 있었다. 향후의 발전적 연구로서 펄스의 기립시간을 더욱 줄여 수 ps까지 발생할 수 있는 장치를 개발하고자 하며, 아울러 안테나의 전송성능을 보완하여 안테나의 방사 효율을 높이고자 한다.

참 고 문 헌

[1] PAUL W.SMITH, "Transient Electronics" Pulsed Circuit Technology. pp 75-78
[2] Vladimir P. Gubanov, Sergei D. Korovin, Igor V. Pegel, Albert M. Roitman, Vladislav V. Rostov, and AlekseiS. Stepchenko, "Compact 1000 PPS High-Voltage Nanosecond Pulse Generator", IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 25, No. 2, Apr 1997, pp 258-265
[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

저 자 소 개



김 영 배 (金永培)

2006년 경남대학교 전기공학과 졸업.
현재 동 대학원 전기공학과 재학중
1982년~현재 한국전기연구원 선임기술원.
관심분야 : 고전압발생, 고전압측정
Tel : 055-280-1535
Fax : 055-280-1433,
E-mail : ybkim@keri.re.kr



이 흥 식 (李弘植)

1975년 서울대 공대 전기과 졸업
1983년 동 대학원 전기과 졸업(석사)
1990년 동 대학원 전기과 졸업(박사)
1979년~현재 한국전기연구원 책임연구원
관심분야 : 펄스파워, 초고주파
Tel : 055-280-1401
Fax : 055-280-1433,
E-mail : hslee@keri.re.kr



정 순 신 (鄭淳信)

1997년 서울대 물리교육과 졸업
1999년 동 대학원 과학교육과 졸업(석사)
2002년 동 대학원 물리학과 졸업(박사)
2001년~현재 한국전기연구원 선임연구원
관심분야 : 초고주파, 펄스파워
Tel : 055-280-1493
Fax : 055-280-1490,
E-mail : ssjung@keri.re.kr