

팻 다이폴 안테나를 이용한 광대역 LC 오실레이터에 관한 연구

A Study on Wideband LC Oscillator Using Fat Dipole Antenna

이상훈 · 윤영중 · 허 훈* · 남상훈* · 이우상** · 최도원**

Sang Heun Lee · Young Joong Yoon · Hoon Heo* · Sang Hoon Nam* ·
Woosang Lee** · Dowon Choi**

요 약

본 논문에서는 고전압 스위치와 팻 다이폴 안테나로 구성되는 광대역 LC 오실레이터를 설계 및 제작하고 방사 특성에 관해 분석하였다. 제안된 광대역 LC 오실레이터는 Marx generator를 고전압 펄스 전원 장치로 사용하여 지향성을 높이기 위해 90° 코너 리플렉터를 사용한다. 시뮬레이션 및 측정 파형을 분석한 결과, 팻 다이폴을 연결하지 않은 고전압 스위치는 수신 전력을 기준으로 약 9 % ($\lambda_1=0.7$ m)의 3 dB 대역폭을 가지며, 고전압 스위치와 팻 다이폴 안테나로 구성되는 LC 오실레이터는 약 30 % ($\lambda_2=1$ m)의 대역폭을 가진다. 결과적으로 팻 다이폴 안테나가 방사 전력뿐만 아니라 동작 주파수 및 대역폭에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문의 연구 내용은 고전압 스위치와 팻 다이폴 안테나로 구성되는 광대역 LC 오실레이터 설계 시 동작 주파수와 방사 전력을 결정하는데 있어서 매우 유용할 것으로 판단된다.

Abstract

In this paper, a wideband LC oscillator which is composed of a high voltage switch and a fat dipole antenna was designed and radiation characteristics are analyzed. A Marx generator was used as a high voltage pulse generator of the proposed wideband LC oscillator and 90° corner reflector was used to obtain high directivity. According to simulated and measured results, 3 dB bandwidth of high voltage switch without fat dipole based on the received power is about 9 % ($\lambda_1=0.7$ m) and bandwidth is about 30 % ($\lambda_2=1$ m) by using the LC oscillator containing high voltage switch and fat dipole. Consequently, fat dipole affects not only radiating power but also operating frequency and bandwidth of the LC oscillator. This study will be useful to determine operating frequency and radiating power when we design LC oscillator which uses a high voltage switch and a fat dipole.

Key words : Mesoband Antenna, LC Oscillator(LCO), High Voltage Switch, Fat Dipole

I. 서 론

고출력 전자기파가 발생하는 원인으로는 자연 현상의 일종인 번개에 의해 발생하는 것(LEMP: Light-

ning Electromagnetic Pulse), 핵폭발에 의해 발생하는 것(NEMP: Nuclear Electromagnetic Pulse), 고출력 전자기파 발생원에 의해 발생하는 것(IEMI: Intentional Electromagnetic Interference) 등으로 구분될 수

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-C1090-0801-0038).」
연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

*포항가속기연구소(Pohang Accelerator Laboratory)

**국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20080509-061

· 수정완료일자 : 2008년 10월 13일

있다^[1]. 이 중에서 IEMI에 관한 연구는 고출력 전자 기파를 목표로 하는 전자 장비에 방사하여 오작동이나 물리적 손상을 유발하기 위한 목적에서 시작되었지만, 현재는 무선 전력 전송(WPT: Wireless Power Transfer), 지하 탐사 레이더(GPR: Ground Penetrating radar) 혹은 장거리 고정 무선 통신 등의 분야에 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

IEMI 시스템은 생성되는 전자기파의 주파수 대역폭에 따라 통상적으로 협대역 시스템(narrowband system)과 광대역 시스템(wideband system)으로 나뉜다. 일반적으로 협대역 시스템은 협대역 발생원으로부터 생성된 고출력 전자기파가 도파관에 의해 전송되어 급전 혼 안테나와 고이득 반사판 안테나를 통해 방사되는 형태로 구성된다^{[2]-[4]}. 다음으로 광대역 시스템의 경우, Marx generator, Tesla transformer 등의 발생원으로부터 생성된 고전압의 에너지가 고출력 스위치에 의해 펄스 신호로 변환되어 광대역 팻 다이폴, TEM 혼, IRA(Impulse Radiating Antenna), HIRA(Half Impulse Radiating Antenna) 등의 안테나를 통해 방사되는 형태로 구성된다^[5].

이와 같은 다양한 고출력 전자기파 시스템 중에서 광대역 팻 다이폴 안테나를 이용한 LC 오실레이터 시스템의 경우 광대역 특성을 유지하면서도 소형화 형태로 구현하기 용이하므로 많은 연구가 이루어지고 있다^{[6],[7]}. 그러나 기존의 연구는 광대역 LC 오실레이터의 설계 시 안테나를 단순히 저항 성분으로 간주하였고, 고전압 스위치와 안테나를 구분하여 분석하지 않았기 때문에 광대역 특성에 대한 명확한 근거를 제시하지 못하였다.

본 논문에서는 광대역 LC 오실레이터를 구성하는 고전압 스위치와 팻 다이폴 안테나를 설계하고 지향성을 높이기 위해 90° 코너 리플렉터 안테나를 설계 및 제작하였다. 이렇게 설계 및 제작된 스위치와 안테나를 Marx generator에 연결한 후 수신 전계를 측정하고 결과 분석을 통해 나타난 광대역 LC 오실레이터의 감쇄하는 사인파(damped sinusoidal) 특성 및 광대역 특성에 대해 분석해 보고자 한다.

II. 광대역 LC 오실레이터 시스템

2-1 주파수 대역폭에 따른 IEMI의 분류

표 1. 주파수 대역폭에 따른 IEMI 분류

Table 1. Classification of IEMI based on frequency bandwidth.

Band type	Percentage bandwidth	Bandratio
Hypoband	<1 %	<1.01
Mesoband	1 % < pbw ≤ 100 %	1.01 < br ≤ 3
Sub-hyperband	100 % < pbw ≤ 163.4 %	3 < br ≤ 10
Hyperband	163.4 % < pbw ≤ 200 %	br ≥ 10

IEMI 발생원 및 시스템을 주파수 대역폭에 따라 세분하면 표 1과 같다^[8]. 이 중에서 Hypoband 시스템은 협대역 시스템에 해당하고, 이를 제외한 나머지 3 종류의 시스템은 광대역 시스템에 해당된다. 협대역 시스템은 수백 MW의 전력을 단일 주파수를 통해 전송하므로, 이 주파수가 목표하는 시스템에 영향을 줄 수 있는 주파수와 일치할 경우 매우 강한 효과를 일으킬 수 있지만, 그렇지 않을 경우 효과는 크게 감소한다. 반면, 광대역 시스템의 경우, 고출력의 감쇄하는 사인파 또는 임펄스 파를 전송하는데, 이러한 신호는 주파수 영역에서 광대역 특성을 나타내므로 영향을 줄 수 있는 주파수를 알지 못하는 임의의 전자 장비를 목표로 하는 경우에 대해서도 매우 효과적이다^[8]. 이러한 광대역 시스템 중에서 광대역 LC 오실레이터는 MATRIX(Modular Antenna Transmitter Illuminator eXploitation) 함께 Mesoband 시스템에 속한다^[5].

2-2 광대역 LC 오실레이터 시스템

광대역 LC 오실레이터의 시스템 구성은 그림 1과 같다. 첫 단에 위치하고 있는 고전압 공급 장치는 고전압 펄스 전원 장치에 고전압을 인가하는 역할을 하며, 고전압 펄스 전원 장치는 인가된 고전압을 내부 축전기에 충전하는 역할을 한다. 이때, 충전된 전압이 동작 전압 이상의 값을 가지게 되면 고전압 스위치에 의해 자발 방전이 일어나면서 방사가 이루어지는데, 광대역 특성 및 높은 지향성을 얻기 위해 안테나를 사용한다. 이때, 고전압 스위치와 안테나는 구조적으로 일체형으로 구성되고 이를 광대역 LC 오실레이터라 한다^[6].

그림 1에 나타난 구조를 등가 회로로 구현하면 그림 2와 같다. 그림 2와 같이 실제 시스템으로 구현할

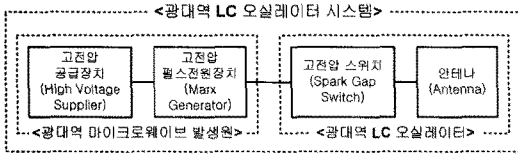


그림 1. 광대역 LC 오실레이터 시스템의 구조
Fig. 1. Block diagram of wideband LC oscillator.

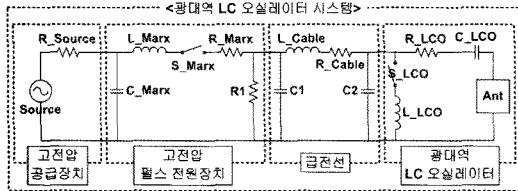


그림 2. 광대역 LC 오실레이터 시스템의 등가 회로
Fig. 2. Equivalent circuit model of wideband LC oscillator system.

경우, 고전압 펄스 전원 장치와 스위치 사이에는 급전을 위해 급전선으로 연결되므로 등가 회로 상에서 이를 나타내었다^[7]. 동작 원리를 살펴보면 고전압 공급 장치에 의해 고전압 펄스 전원 장치가 충전된 후, 고전압 펄스 전원 장치의 스위치(S_Marx)가 단락되면 급전선을 통해 고전압 스위치로 전압이 공급된다. 그 후 고전압 스위치(S_LCO)가 단락되면 광대역 LC 오실레이터로 급전되어 방사가 일어나게 된다. 등가 회로에서 확인할 수 있듯이 일체형으로 구성된 고전압 스위치와 안테나는 폐루프 회로를 구성하는 LC 공진 회로이다. 이때 공진 주파수는 고전압 스위치와 안테나의 R, L, C 값에 모두 영향을 받는다.

III. 광대역 LC 오실레이터의 동작 원리

그림 3은 광대역 LC 오실레이터의 고전압 스위치와 안테나를 나타낸 그림으로 스위치와 안테나가 일체형으로 구성됨을 확인할 수 있다. LC 오실레이터의 C 값은 스위치의 양극(electrode)을 포함하는 커패시터 판(capacitor plate)의 간격과 크기에 의해 결정되며, 팻 다이폴 안테나의 C 값도 영향을 미친다. 또한, L 값은 양극, 커패시터 판, 안테나로 연결되는 전류의 흐름과 스위치가 단락되었을 때 흐르는 전류에 의해 결정된다. 마지막으로 R 성분은 스위치가 단락되었을 때 흐르는 전류에 의한 저항값과 안테나의

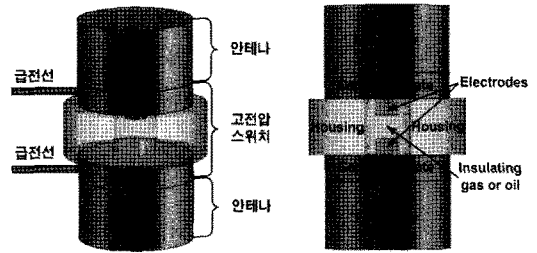


그림 3. 고전압 스위치와 안테나 구조도
Fig. 3. High voltage switch and antenna structure.

저항 값에 의해 결정된다^[9].

급전선은 그림 3과 같이 커패시터 판에 연결되며, 이로 인해 스위치에 전위차를 유발하여 급전하게 된다. 또한, Marx generator의 충전 전압이 수십 kV일 경우에는 광대역 LC 오실레이터가 공기 중에서도 동작할 수 있지만, 수백 kV 이상에서 동작하는 스위치의 경우에는 고전압을 유지할 수 있도록 스위치 내부를 진공으로 처리하거나 절연 가스 또는 오일을 사용해야 한다. 이러한 절연 물질은 내부에 유지시키기 위해 housing을 사용하는데 이때 housing 물질의 유전율은 스위치의 C 값에도 영향을 미치므로 동작 주파수를 조절하는데 이를 이용할 수 있다.

IV. 광대역 LC 오실레이터 설계 및 시뮬레이션

광대역 LC 오실레이터 설계를 위해 먼저 고전압 스위치를 설계한다. 고전압 스위치의 구조에 의해 결정되는 L, C 값은 식 (1)과 같이 동작 주파수를 결정한다.

$$f_0 = (2\pi\sqrt{LC})^{-1} \quad (1)$$

이때 C 값은 그림 4와 같이 양극을 포함하는 커패시터 판의 fringing field에 의한 fringing capacitance를 고려해야 하므로 식 (2)와 같이 계산할 수 있다^[10]. 이때 r_0 는 커패시터 판의 반지름, d 는 간격이 된다.

$$\begin{aligned} C_{total} &= C_A + C_{fA} \\ &= C_A + \frac{0.00863r}{(r-0.00385)^2} C_A \\ &= \epsilon\epsilon_0 \frac{\pi r^2}{d} \cdot \left(1 + \frac{0.00863r}{(r-0.00385)^2}\right) \quad (2) \end{aligned}$$

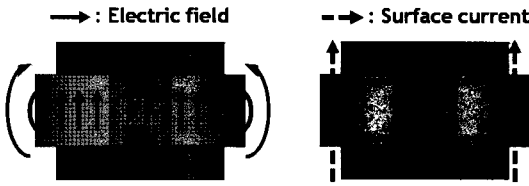


그림 4. 고전압 스위치의 전계 분포 및 표면 전류
Fig. 4. Electric field and surface current of high voltage switch.

L 값은 그림 4와 같이 급전이 발생할 때 생기는 전류의 흐름에 의해 생성되며 이 성분은 식 (3)과 같이 내부 스파크에 의한 아크 인덕턴스 L_{arc} 과 radial transmission line에 의한 L_{line} 값으로 구분할 수 있다. 먼저 L_{arc} 의 경우, 방전 조건과 아크의 반지름 등에 의해 그 값이 결정된다. 이를 해석하기 위해 몇 개의 모델이 존재하는데 Fofana의 모델이 일반적으로 사용되며, 식 (4)와 같이 표현된다^[11]. L_{line} 의 경우는 중심에서 스파크 갭이 단락되면서 펄스 형태의 신호가 반경이 r_o 가 되는 거리로 전달되는 radial transmission line의 인덕턴스로 간주될 수 있다. 이 값은 식 (5)와 같이 표현되며, r_o 는 커패시터 판의 반지름, r_i 는 아크 반지름, d 는 간격에 해당된다^[12].

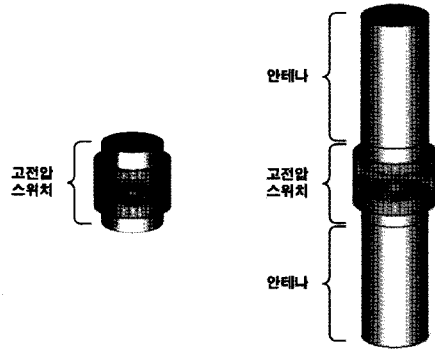
$$L_{total} = L_{arc} + L_{line} \quad (3)$$

$$L_{arc} = 2 \times 10^{-7} \ln \left[\frac{100}{r_i} + \frac{1}{4} \right] \quad (4)$$

$$L_{line} = \mu_0 \int_{r_i}^{r_o} \frac{d}{2\pi r} dr = 2 \times 10^{-7} d \ln \frac{r_o}{r_i} \quad (5)$$

위의 수식을 이용하여 원하는 주파수에서 동작하는 고전압 스위치를 설계할 수 있다. 설계된 고전압 스위치에 팻 다이폴 안테나를 부착할 경우 구조 변형에 의해 C_{fd} (fringing capacitance)와 L_{line} 이 증가하여 동작 주파수가 이동하게 된다. 이와 같은 경우, 팻 다이폴 길이에 따른 주파수 이동 특성을 분석하여 설계하여야 하는데 이를 위해 3차원 전자기 해석 시뮬레이터인 CST Microwave Studio를 사용하였다.

그림 5(a)는 고전압 스위치만으로 구성된 광대역 LC 오실레이터이고(type 1), 그림 5(b)는 고전압 스위치에 팻 다이폴 안테나를 연결한 광대역 LC 오실레이터(type 2)이다. 그림 5(a)의 형태인 고전압 스위치만으로도 공진에 의한 방사가 이루어지지만, 지향성



(a) 고전압 스위치 (Type 1) (b) 고전압 스위치와 팻 다이폴 (Type 2)
(a) High voltage switch (Type 1) (b) High voltage switch with fat dipole (Type 2)

그림 5. 2종류의 광대역 LC 오실레이터
Fig. 5. 2 types of wideband LC oscillator.

을 높이고 광대역 특성을 얻기 위해 팻 다이폴 안테나를 연결한 그림 5(b)의 형태를 사용하였다. 또한, 그림 5의 장치는 Marx generator의 충전 전압을 수십 kV에서 동작하도록 설계되었으므로 절연 가스나 오일을 사용하지 않기 때문에 housing이 필요하지 않지만 양극의 안테나를 연결하여 지지하기 위해 polycarbonate($\epsilon_r=3$)로 고정부를 중간에 위치하도록 설계하였다.

식 (6)은 양극에 인가되는 입력 전압의 파형이다. Marx generator에서 충전된 전압이 스위치로 인가될 때 식 (6)은 같은 전압 파형으로 나타난다. t_0 는 스위치 on의 시점, τ_r 과 τ_f 는 상승 시간과 하강 시간을 나타낸다. 이때 $t_0 \approx 20$ ns, $\tau_r \approx 8$ ns, $\tau_f \approx 0.2$ ns를 입력하면 그림 6과 같은 양극에 인가되는 입력 전압의 파형을 얻을 수 있다. 20 ns 까지 충전되었다가 순간적으로 방전되는 전압 파형을 확인할 수 있다.

$$V_{in} = \begin{cases} V_{turn-on} \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau_r}\right)^2}, & t \leq t_0 \\ V_{turn-on} \cdot e^{-0.64 \frac{t-t_0}{\tau_f}}, & t > t_0 \end{cases} \quad (6)$$

그림 7은 원역장에서의 계산된 시간 영역 결과이고, 그림 8은 주파수 영역 결과이다. 그림 7의 결과를 보면 두 파형 모두 감쇄하는 사인파 특성이 나타나며, type 2가 type 1보다 최대 전압 기준으로 약 2.5배 전압이 상승하였음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 방사체의 길이가 증가함에 따라 수신 전계가 증

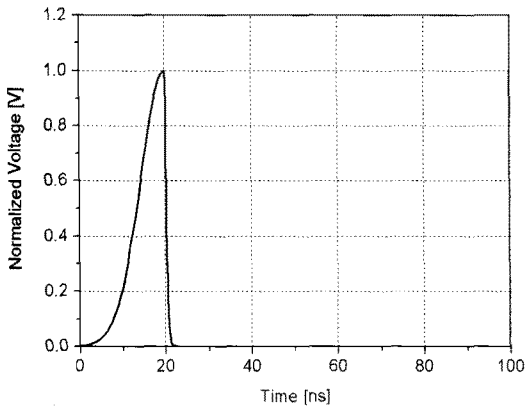


그림 6. 고전압 스위치에 인가되는 전압 파형
Fig. 6. Input voltage waveform for high voltage switch.

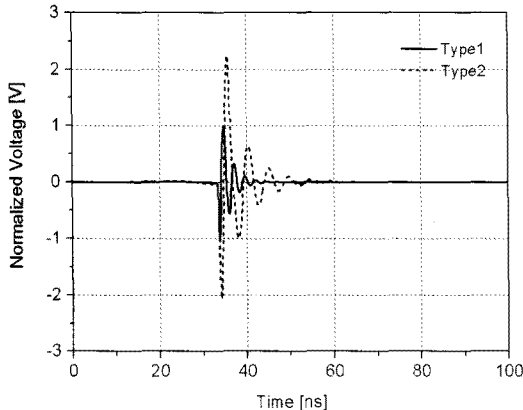


그림 7. 시간 영역 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulated result in time domain.

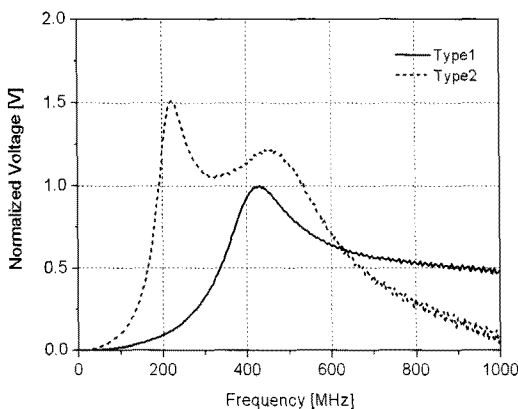


그림 8. 주파수 영역 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulated result in frequency domain.

가함을 나타낸 기존의 연구 결과와도 일치한다^[7]. 또한, 그림 8의 결과를 통해 type 2의 공진 주파수 위치가 이동하면서 광대역 특성이 나타남을 확인할 수 있다. 팻 다이폴 안테나를 연결하지 않은 광대역 LC 오실레이터는 등가적으로 load가 연결되지 않은 회로로 분석되기 때문에 주파수 특성이 unloaded Q로 나타난다. 이때 팻 다이폴 안테나를 연결하게 되면 load가 연결된 회로가 되고 loaded Q에 의해 주파수 특성이 나타나는데, 이 경우 안테나 임피던스가 회로에 영향을 미치므로 공진 주파수가 이동하는 특성이 나타난다^[7]. 또한, 표면 전류가 흐를 수 있는 면적을 증가시킨 팻 다이폴 안테나의 구조적 특성에 의해 광대역 효과가 나타남을 확인할 수 있다.

V. 광대역 LC 오실레이터 측정 결과

설계된 광대역 LC 오실레이터를 제작하여 그림 9와 같은 시스템을 구성하였다. 고전압 공급 장치 및 컨트롤러를 포함하고 있는 rack과 고전압 펄스 전원 장치인 Marx generator, 그리고 안테나를 제작하였다. 광대역 LC 오실레이터는 전방향성 방사 패턴을 가지므로 지향성을 높이기 위해 개구 면적이 약 1.6 m²인 90° 코너 리플렉터 반사판 안테나를 사용하였다. 측정에 사용된 Marx generator는 6단으로 구성되었는데, 각 단에 약 14 kV의 출력 전압이 인가되도록 설정하였다. 이때 사용된 Marx generator의 효율이 약 80%이므로 전체 출력 전압은 약 70 kV의 값을 갖는다. Marx generator는 급전을 위해 LC 오실레이터와 가까운 곳에 위치해야 하는데, 방사 패턴의 영향을

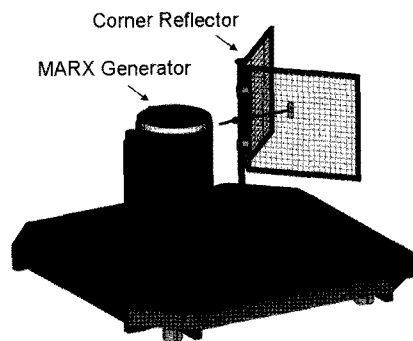


그림 9. 광대역 LC 오실레이터
Fig. 9. Wideband LC oscillator.

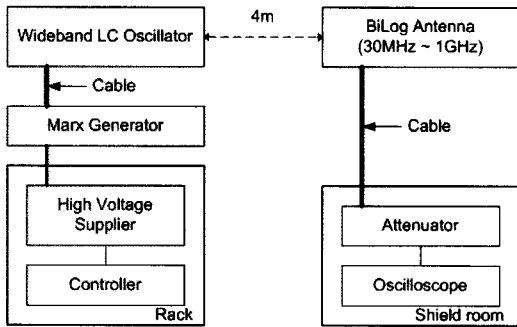


그림 10. 측정 셋업 블록도
Fig. 10. Block diagram of measurement setup.

최소화하기 위해 반사판 뒤에 위치시켰다.

그림 10은 측정 셋업의 블록도를 나타내었다. 수신 전계 측정을 위해 90° 코너 리플렉터 반사판의 개구면에서 원역장 조건을 만족시키는 거리인 4 m 떨어진 곳에 수신 안테나를 위치시켰다. 수신 안테나는 30 MHz에서 1 GHz 주파수 대역 측정이 가능한 바이로그 안테나(BiLog Antenna)이고 케이블을 통해 오실로스코프로 신호가 전송되도록 하였다. 이때 LC 오실레이터에서 방사되는 전계는 약 70 kV의 높은 전압에서 발생되므로 고전압에 의한 측정 장비 오작동 및 파괴를 방지하기 위해 바이로그 안테나와 오실로스코프 사이에는 감쇄기를 연결하였고, 오실로스코프로 직접 방사된 전계가 영향을 미치지 않도록 하기 위해 shield room 내부에 오실로스코프를 위치시켰다.

그림 11은 바이로그 안테나를 통해 오실로스코프에 측정된 시간 영역 전압 파형이다. 측정 결과 type 1의 최대 전압은 약 130 mV이고, type 2의 최대 전압은 약 350 mV로 확인되었다. 따라서 팻 다이폴에 의해 최대 전압이 약 3배 증가하였음을 확인할 수 있다. 그림 12은 주파수 영역 측정 결과이다. 오실로스코프에 측정된 전력값을 기준으로 바이로그 안테나의 이득과 케이블 손실, 감쇄기에 의한 손실, 송수신 안테나의 거리를 고려하여 전압으로 환산하였다. 이때, 그림 12의 Y축은 수신 전계와 거리를 곱한 값으로 원역장 전압(far voltage)이라 하며, 일반적인 광대역 고출력 안테나의 성능 지표로 사용되는 값이다. 주파수 영역에서 측정된 최대 원역장 전압은 type 1이 약 470 V, type 2가 약 870 V로 나타났고, 반전력

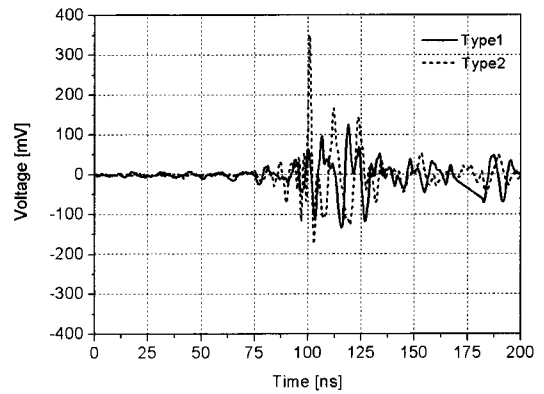


그림 11. 시간 영역 측정 결과
Fig. 11. Measured result in time domain.

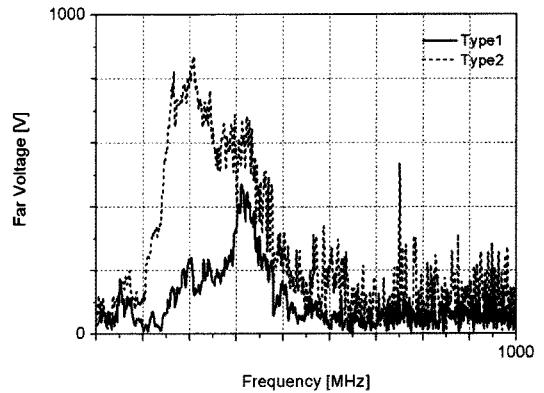


그림 12. 주파수 영역 측정 결과
Fig. 12. Measured result in frequency domain.

기준으로 대역폭은 type 1이 약 9%, type 2는 약 30%로 나타났다.

측정된 시간 영역 파형에서는 시뮬레이션 결과와 달리 최대 원역장 전압 이전에 방사되는 전계 파형이 관측되었다. 이는 실제 측정 시 고전압 스위치에 인가되는 전압 파형이 그림 6과 같이 항상 동일하지 않고 인가되는 전압 파형에서 급격한 전압 상승이 발생할 경우, 중심의 스파크 갭이 단락되기 이전에 전계가 방사되는 경향이 있는데, 이로 인하여 시뮬레이션 결과와 다소 차이가 발생한 것으로 판단된다. 또한, 고전압 스위치에 인가되는 전압 파형은 온도, 습도, 기압 등에 의해 최대 충전 전압과 t_0 값이 조금씩 변하게 된다^[13]. 특히 t_0 값의 경우, 최대 원역장 전압이 나타나는 시점을 결정하기 때문에 시뮬레

이선에서 type 1과 type 2가 동일한 시점에서 최대 원역장 전압값을 가졌던 반면, 실제 측정 결과의 경우 이 값이 다른 시점에서 나타남을 확인할 수 있다. 그러나 type 1과 type 2의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 통해 팻 다이폴에 의한 주파수 이동, 방사 전계 증가, 대역폭 증가 등의 특성은 유사하게 나타남을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

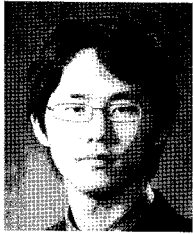
본 논문에서는 광대역 LC 오실레이터를 구성하는 고전압 스위치와 팻 다이폴 안테나를 설계하였고, 제작 및 측정을 통해 팻 다이폴에 의한 주파수 이동, 방사 전계 증가, 대역폭 증가의 특성을 확인하였다. 본 논문에서 설계한 광대역 LC 오실레이터 안테나는 대역폭 약 30 %로 mesoband 시스템의 조건을 만족하며, 고전압 펄스 전원 장치의 출력을 수백 kV 이상으로 증가시키면 고출력 시스템으로도 사용할 것으로 예상된다. 본 논문의 연구 내용은 광대역 LC 오실레이터 설계 시 동작 주파수와 방사 전력을 결정하는데 있어서 매우 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 류지현, 이수훈, 최진수, 이재민, "Switched biconical antenna를 이용한 고출력 전자기파 발생원", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 603-606, 2007년 8월.
 [2] 이병무, 이상훈, 윤영중, 양기주, "원형 도파관을 이용한 초고출력용 TM_{01} - TE_{11} 직접 모드 변환기", 한국전자과학회논문지, 17(4), pp. 351-357, 2006년 4월.
 [3] 이상훈, 윤영중, 이병무, 소준호, "초고출력 안테나 시스템 급전용 다중 모드 혼 안테나 설계에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 17(5), pp. 476-482, 2006년 5월.
 [4] 이우상, 장원, 이병무, 양기주, 이상훈, 윤영중,

"Spill-over 억제를 위한 X-band 카세그레인 안테나 설계 연구", 한국전자과학회논문지, 17(9), pp. 829-835, 2006년 9월.
 [5] W. D. Prather, C. E. Baum, R. J. Torres, F. Sabath, and D. Nitsch, "Survey of worldwide high-power wideband capabilities", *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility*, vol. 46, Issue 3, pp. 335-344, Aug. 2004.
 [6] S. L. Moran, "High repetition rate LC oscillator", *IEEE Transaction on Electron Devices*, vol. ED-26, no. 10, pp. 1524-1527, Oct. 1979.
 [7] L. F. Rinehart, J. F. Aurand, J. M. Lundstrom, C. A. Frost, M. T. Buttram, and P. E. Patterson, "Development of uhf spark-switched L-C oscillators", *Pulsed Power Conference, 1993. Digest of Technical Papers. Ninth IEEE International*, vol. 2, pp. 534-537, Jun. 1993.
 [8] D. V. Giri, F. M. Tesche, "Classification of intentional electromagnetic environments(IEME)", *IEEE Transaction on Eletromagnetic Compatibility*, vol. 46, Issue 3, pp. 323-329, Aug. 2004.
 [9] T. G. Engel, A. L. Donaldson, and M. Kristiansen, "The pulsed discharge arc resistance and its fundamental behavior", *IEEE Transaction on Plasma Science*, vol. 17, Issue 2, pp. 323-329, Apr. 1989.
 [10] D. P. Hale, "Fringe capacitance of a parallel-plate capacitor", *Phys. Educ.*, vol. 13, pp. 446-448, 1978.
 [11] I. Fofana, A. Beroual, "A model for long air gap discharge using an equivalent electrical network", *IEEE Transaction on Dielectrics & Electrical Insulations*, vol. 3, Issue 2, pp. 273-282, Apr. 1996.
 [12] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Edition, John Wiley & Sons., Inc., 1998.
 [13] S. T. Pai, Qi Zhang, *Introduction to High Power Pulse Technology*, World Scientific, 1995.

이 상 훈



2004년 2월: 연세대학교 전기전자 공학부 (공학사)
2006년 2월: 연세대학교 전기전자 공학부 (공학석사)
2006년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고출력 안테나 시스템, 초소형 안테나, 초고주파 회로설계

남 상 훈



1982년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 5월: Old Dominion University (공학석사)
1990년 12월: University of South Carolina (공학박사)
1989년 1월~1991년 2월: Source Tek., Inc. (NASA Contractor), USA
1991년 2월~현재: 포항공속기연구소 수석연구원
2005년 3월~2006년 2월: Stanford University SLAC 방문연구원
2007년 11월~현재: 포항공속기연구소 부소장
[주 관심분야] 고에너지 입자 가속기 및 펄스 파워 공학

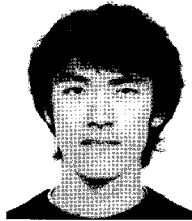
윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위성통신기술 연구단

1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
[주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, EMI/EMC

이 우 상



2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2005년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2005년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원
[주 관심분야] 초고출력 안테나, 위상배열 안테나, 마이크로파 소자

허 훈



1991년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학사)
1993년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학석사)
2002년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학박사)
2002년 9월~현재: 포항공속기연구소 선임급 연구원

[주 관심분야] 고전압 펄스 장치 및 고밀도 플라스마 장치

최 도 원



1990년 2월: 중앙대학교 전자계산학과 (공학사)
2001년 8월: 충남대학교 전산과학과 (공학석사)
1993년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] 전파 수치해석