

Fast Rise Time High Voltage Pulse Generator Applying The Marx Generator

朴勝祿* · 鄭石煥** · 金振圭*** · 文在德[§]

(Seung-Lok Park · Suk-Hwan Chung · Jin-Gyu Kim · Jae-Duk Moon)

Abstract - A compact size high voltage pulse generator with nanosecond rise time has been designed and investigated experimentally. The inductance of a pulse generator can be reduced by fixing the Marx generator and pulse forming network components into a single cylindrical unit. As a result, nanosecond rise time about 8~10[ns] and pulse width of several hundred [ns] can be obtained from a modified Marx pulse generator. And parametric studies showed that the rise time of the output pulse was depended little on the change of the load resistance and the charging capacitance while, the pulse width of the output pulse was depended greatly upon the change of the load resistance and the charging capacitance. The theoretical simulation results of the Marx generator from equivalent circuit agreed well with the experimental results in 10%, and which showed the possibility to design the laboratory-size pulse generator very fast rising time and a proper pulse width by minimizing stray inductance and varying resistance and capacitance.

Key Words : Compact Size, Nano Second Pulse Generator, Modified Marx Generator, Parametric Studies

1. 서 론

최근 순간적인 고 에너지 발생장치가 산업계에 폭넓게 적용되기 시작하고 있으며[1-3], 점차 더욱 더 다양하고 펄스 상승시간이 짧은 급준펄스가 요구되고 있다.[4-7] 이러한 고 에너지 발생장치들은 비열플라즈마 발생장치[12-14]나 기타 급준펄스를 필요로 하는 다양한 분야[15-17]에 매우 유용하게 적용되고 있어서 다양한 연구수행을 위한 전원으로 매우 필요하게 되나 가격이 비싼 문제점이 있다.

나노초 상승펄스를 얻는 방법으로는 자심 펄스 변압기(magnetic core pulse transformer)[6]와 공심 이중 공진 변압기(air core dual resonant transformer)[3], 로타리 스파크갭(rotary spark gap) 또는 Marx 펄스발생장치(Marx generator)[4]를 이용하는 방법 등이 있다.

이와 같이 변압기를 이용하는 방법은 펄스 변압기나 펄스 형성회로가 필요하게 되는 불리한 점이 있다. 그리고 로타리 스파크 갭을 이용하는 방법은 현재 많이 사용되고 있고[5], 그에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 대기압 하에 서의 스파크 갭의 구조특성과 부유인덕턴스(stray inductance)

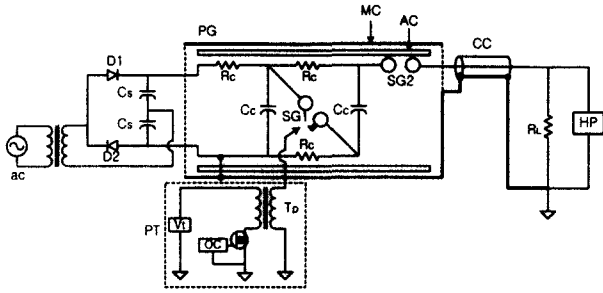
로 인하여 출력펄스의 상승시간을 줄이는데는 한계(20[ns]이하)가 있다.[3] 이에 비해 Marx 펄스발생장치는 펄스발생부와 펄스형성부를 일체형으로 구성할 수 있고 회전부등의 부가적인 장치 없이도 상승시간이 짧은 출력펄스를 얻을 수 있는 이점이 있다.

본 연구는 실험용이나 산업용의 나노초 상승시간을 갖는 소형펄스발생장치 개발을 위한 기초연구로써, Marx 펄스발생단을 2단으로 구성하여 급속 동축원통형 펄스발생장치를 설계하여 제작한 뒤 펄스발생장치의 주요변수들인 L, C, R을 가변하면서 기초특성을 검토하였다. 이때, 펄스장치나 펄스형성회로부품, 그리고 Marx 펄스발생부 모두를 일체형의 급속 원통내에 인입설계함으로써 구조적으로 인덕턴스와 부유인덕턴스가 최소화 되도록 하였다. 이렇게 설계 제작된 펄스발생기에서 발생된 출력전압의 펄스상승시간과 펄스 폭 및 펄스 발생기내에서 발생하는 스파크 방전구 간의 방전특성을 실험적으로 조사하고, 또 이론적으로 펄스 파형을 시뮬레이션하여 실험결과와 비교검토 하여 임의의 펄스발생장치로서의 제작가능성을 검토하였다.

2. 실험 장치 및 방법

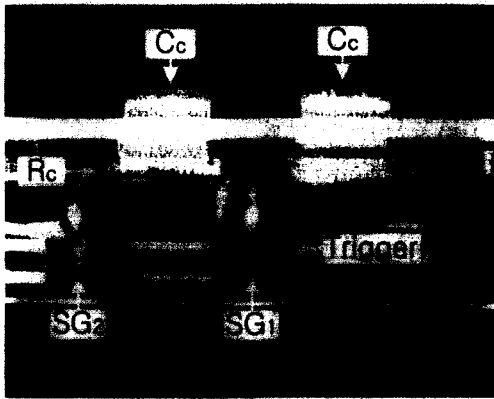
그림 1은 실험에 사용된 펄스발생장치의 개략도 및 펄스형성부의 사진으로써, 펄스발생장치는 펄스발생부(PG), 펄스트리거부(PT), 급전부(CC)와 부하단(RL)으로 구성되어 있다. 펄스발생부는 충전커패시터와 충전저항을 두께 10[mm]의 아크릴판 상하에 각각 균형있고 대칭되게 배치하고, 이를 내경 90[mm], 두께 5[mm]의 아크릴 원통 속에 넣어 절연되게 한

* 正 會 員 : 慶北大 工大 電氣工學科 博士修了
 ** 正 會 員 : (주)상록코리아 · 工博
 *** 正 會 員 : 慶北大 工大 電子電氣工學部 BK21助敎授 · 工博
 § 正 會 員 : 慶北大 工大 電子電氣工學部 敎授 · 工博
 接受日字 : 2000年 9月 04日
 最終完了 : 2001年 1月 18日



- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| Cs : smoothing capacitor | RL : load resistor |
| Rc : charging resistor | HP : high voltage probe |
| Cc : charging capacitor | Tp : pulse transformer |
| AC : acrylite cylinder | SG1,2 : spark gap |
| MC : metal cylinder | PT : pulse triggering part |
| CC : coaxial cable | PG : pulse generating part |
| OC : oscillator | Vt : trigger power |

(a) Experimental setup



(b) Pulse forming part

그림 1. 실험장치 전체개략도 및 펄스형성부 사진
Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup and photograph of pulse forming part

후 실린더형 금속제 원통(113[mmφ], 합석)속에 넣어 외부 접지 및 펄스전행도선으로 하였다. 따라서 펄스발생부와 펄스형성회로는 단일 동축원통형태로 구성되게 된다. 내부의 충전저항(Rc)은 2.2[MΩ]을 사용하였으며, 충전커패시터(430, 750, 1500, 3300[pF] 및 각각의 최대충전전압 30[kV])는 4종류를 사용하여 실험하였다. 또한 방전구는 직경12.6[mm] 황동구에 방전에 의한 표면의 산화 및 스퍼터링에 매우 강한 니켈을 도금하여 사용하였다. Marx 펄스발생부의 각 단은 DC 10[kV]로 충전하였고, 방전구간 간격은 10[kV]에서 자폭방전이 발생하지 않는 3.0[mm]로 설정하였다.[9] 제작한 Marx 펄스발생부는 여러단으로 구성하거나 단당 충전전압을 높이는 것도 가능하며 이렇게 함으로써 매우 높은 출력전압을 얻을 수 있으나, 본 실험에서는 기본적인 특성조사를 위해 그림 1(b)에 보이는 바와 같이 Marx 펄스발생부와 펄스형성회로부품들이 모두 일체형으로 형성된 2단으로만 구성하고 20[kV]를 출력전압으로 설정하였다.

펄스급전선(CC)은 고전압 동축케이블(Z=75[Ω])을 사용하

였으며, 부하(RL)로는 충분한 전류용량과 방전연면길이를 가진 저항(25, 75, 375, 500[Ω] 및 각 50[W], 연면길이:10[cm])을 사용하였다.

Marx 펄스발생부의 방전개시(pulse triggering)는 발전회로(OC), 고출력 반도체소자(power FET) 그리고 고전압 펄스 변압기를 사용하여 -10kV의 출력펄스를 발생시켜서 사용하였다.

Marx 펄스발생부의 스파이크 분위기의 상태 측, 온도, 습도, 분위기 가스 종류 등은 실험에 주요변수로 작용하지만 본 실험은 실내 공기온습도 분위기 중에서 수행되었다.

단자간 및 회로내의 인덕턴스는 LCR 측정기(AG-4311B, ANDO)를 사용하여 측정하였으며, 출력전압과 파형은 고주파 고전압프로브(P6015A, Tektronix)와 고주파용 측정형 오실로스코프(PM3392[200MHz], Philips)를 사용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

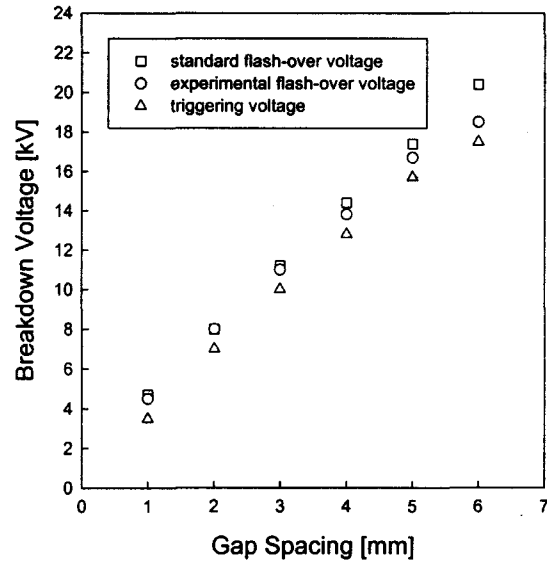
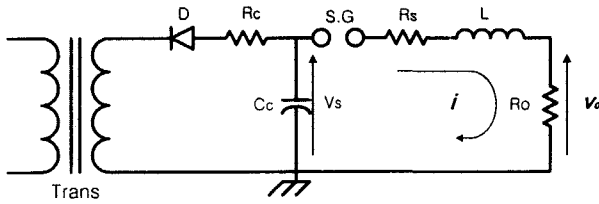


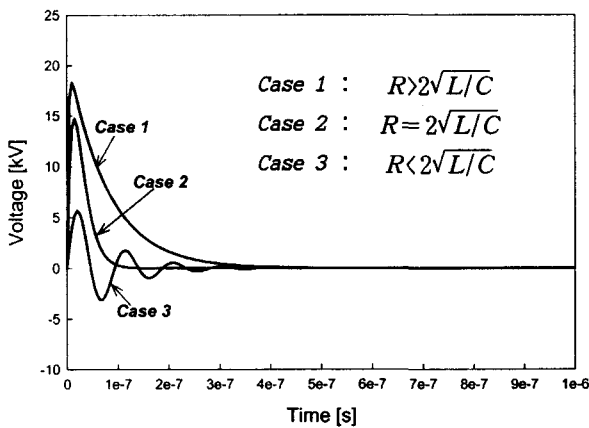
그림 2. 갭 간격에 따른 스파크 방전전압과 트리거 전압
Fig. 2. Spark and trigger voltage as a function of gap spacings

그림 2는 스파크 갭(gap)간의 간격에 따른 전로파괴 전압과 트리거 전압을 나타낸 그림이다. 실험은 상온상압의 분위기 공기중에서 수행되었으며, 전로파괴 전압은 50%플래시오버 전압을 나타낸다. 구대구 방전에 있어서 방전간격이 방전구 지름이하의 거리에서는 대기습도와 주위물체의 영향을 크게 받지않고 평등전계에서 나타나는 전형적인 방전특성을 보이고 부분방전이 거의 발생하지 않고 바로 아크방전으로 가는 장점이 있다.[9] 그림 2에 나타나듯이 스파크 갭의 상온상압의 공기중에서의 방전특성은 습도, 온도 등의 주위환경에서의 영향을 받지않고 전압-전류 특성에 왜곡이 작은 전형적인 구대구 방전의 특성을 보여주었으며, 부분방전도 관측되지 않았다. 다만 문헌상(standard로 표시)의 스파크 방전전압에 비해 갭의 간격이 4[mm]이하에서는 3%이내의 오차값을 보여주었으나 그 이상에서는 1~2[kV] 정도로 약 10%의 차이를 보여주었다. 이는 사용하는 전원의 파형상의 특성, 실험당시



Trans : Transformer S.G : Spark gap
 D : Diode Rs : Source resistor
 Rc : Charging resistor L : Inductor
 Cc : Charging capacitor Ro : Load resistor

(a) Fundamental circuit diagram of pulse generator



(b) Output waveform of pulse generator

그림 3. 충격전압발생기의 기본회로도와 출력파형

Fig. 3. Fundamental circuit diagram and output waveform of pulse generator

의 방전구의 표면상태 등의 문제에 기인한 것으로 사료된다.[10] 이렇게 하여 스파크 갭간의 방전전압을 파악한 뒤 갭간의 트리거는 전로파괴 전압보다 1[kV] 낮은 전압에서 트리거시켰다.

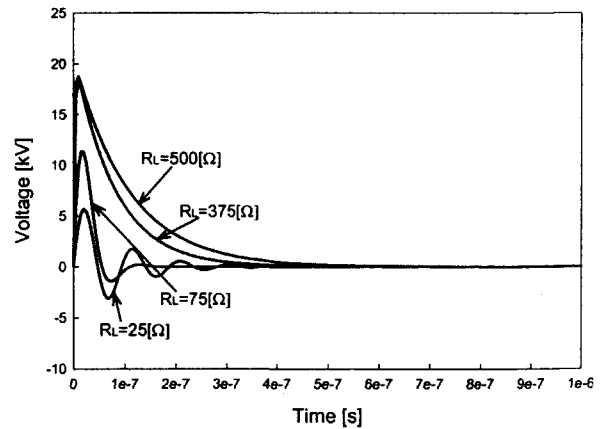
그림 3(a)는 1단의 충전단과 1개의 스파크 갭을 가진 충격전압발생기의 기본회로이다. 본 실험에 사용된 2단 Marx 펄스발생장치도 그림 3의 기본회로로서 단순화시켜 회로해석이 가능하다. 즉, 부하 R_0 에 나타나는 출력전압은 식(1)을 풀어 해석이 가능하다.[9]

$$L \frac{di}{dt} + (R_s + R_0)i + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = V_s \quad \text{----- (1)}$$

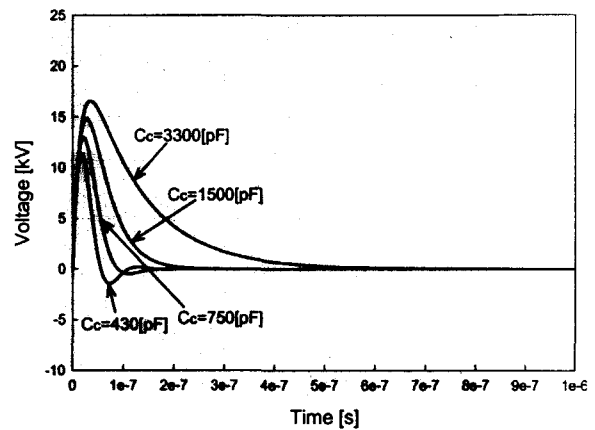
식(1)에 초기조건 $t=0, i=0$ 를 대입하고 다음의 세 조건에 따라 식(1)을 풀면 각각 식(2), (3) 그리고 (4)와 같은 식들을 얻을 수가 있으며, 이들 식(2), (3) 그리고 (4)는 그림 3(b)의 파형으로 나타내어진다.

< Case 1 > $R_s + R_0 = R > 2\sqrt{L/C}$ 일때 -(2)

$$v_o = iR_0 = V_s \frac{R_0}{R} \frac{\alpha}{\beta} [e^{-(\alpha-\beta)t} - e^{-(\alpha+\beta)t}]$$



(a) Output simulation waveforms by variation of load resistance



(b) Output simulation waveforms by variation of charging capacitance

그림 4. 부하저항 및 충전커패시터의 변화에 따른 출력시뮬레이션파형

Fig. 4. Output simulation waveforms by variation of load resistance and charging capacitance

< Case 2 > $R = 2\sqrt{L/C}$ 일때 ----- (3)

$$v_o = iR_0 = V_s \frac{R_0}{R} 2\alpha e^{-\alpha t}$$

< Case 3 > $R < 2\sqrt{L/C}$ 일때 ---- (4)

$$v_o = iR_0 = V_s \frac{R_0}{R} 2 \frac{\alpha}{\omega} e^{-\alpha t} \sin \omega t$$

여기서, $\alpha = \frac{R}{2L}, \beta = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}, \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$

이며, L값은 펄스발생장치내의 각 단자간에 존재하는 부유인덕턴스값으로써 LCR측정기로 측정된 값인 $0.5[\mu H]$ 를, C값은

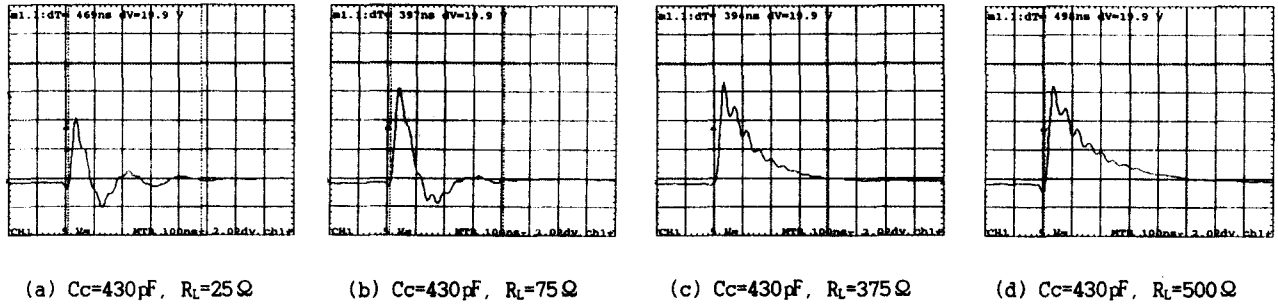


그림 5. 부하저항의 변화에 따른 출력파형 [100ns/div, 5kV/div].

Fig. 5. Oscillograms by variation of load resistance [100ns/div, 5kV/div].

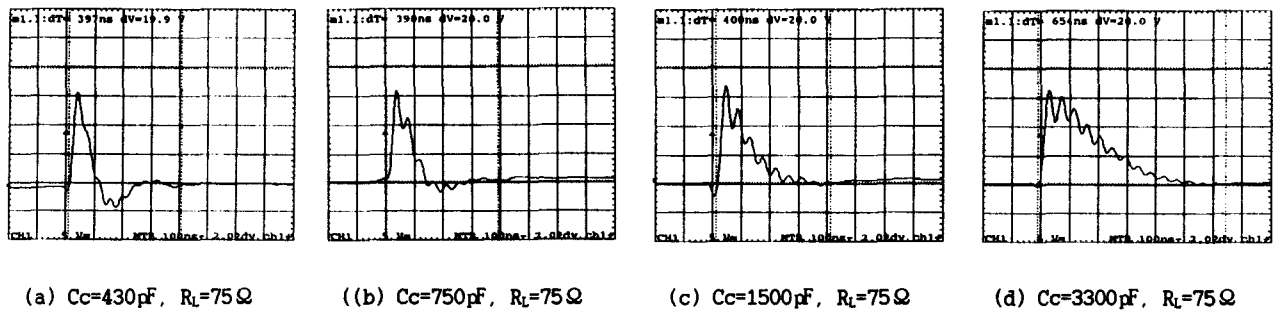


그림 6. 충전커패시터 변화에 따른 출력파형 [100ns/div, 5kV/div].

Fig. 6. Oscillograms by variation of charging capacitance [100ns/div, 5kV/div].

충전커패시터 값으로써 430[pF]을 대입하였고, R값은 각각 식 (2), (3), (4)의 조건을 만족하는 25, 136 및 375[Ω]을 대입하였다.

그림 4는 본 실험에 적용한 부하저항과 충전커패시터의 변화에 따른 출력전압의 시뮬레이션파형을 나타낸 것이다.

그림 4(a)는 L=0.5[μH], C_c=430[pF]으로 일정하고 부하저항값이 25, 75, 375, 500[Ω]일 경우 각각의 출력시뮬레이션파형을 보이고 있다. 부하저항값이 다른 3가지 경우에 비해 작은 25[Ω]의 경우 식(4)의 조건을 만족시키고 그림 3(b)의 세 번째(Case3)경우에 해당되는 파형으로써 부전압을 보이는 감쇄 정현파형을 나타낸다. 부하저항값이 75[Ω]의 경우 역시 부하저항값이 25[Ω]의 경우와 같은 조건이지만 부전압의 진동이 현저히 줄어든 것을 볼 수 있다. 부하저항값이 375, 500[Ω]으로 앞의 두 경우에 비해 큰 경우 식(2)의 조건을 만족시키고 그림 3(b)의 첫 번째(Case1)경우에 해당되는 파형으로써 부전압의 진동이 완전히 없어진 파형을 보여준다.

그림 4(b)는 L=0.5[μH]와 R_L=75[Ω]으로 일정하고 충전커패시터 값이 430, 750, 1500, 3300[pF] 경우 각각의 출력시뮬레이션파형을 보이고 있다. 충전커패시터 값이 430, 750[pF]인 경우 식(4)의 조건을 만족시키고 그림 3(b)의 세 번째(Case3)경우에 해당되는 파형이지만 충전커패시터 값이 750[pF]로 증가할 경우 임계조건인 식(3) 및 그림 3(b)의 두 번째(Case2)경우의 파형에 근접한 파형을 보여준다. 충전커패시터 값이

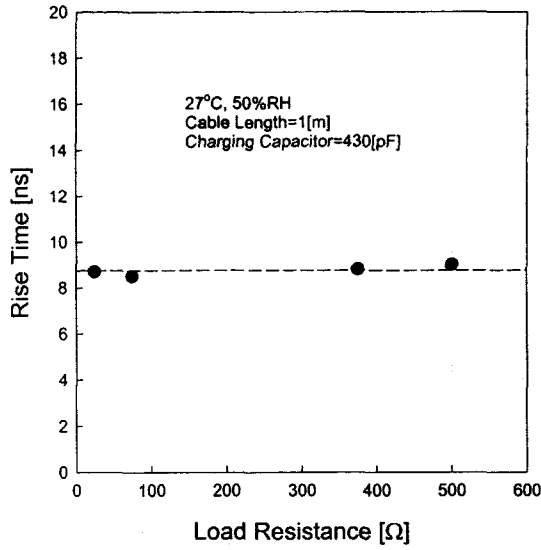
1500, 3300[pF]인 경우 부하저항값이 75[Ω]으로 일정하나 충전커패시터 값이 커짐으로써 식(2)의 조건을 만족시키고 그림 3(b)의 첫 번째(Case1)경우에 해당되는 부전압의 진동이 완전히 없어진 파형을 보여준다.

그림 5와 6은 실제 제작한 Marx 펄스발생장치로 직접 실험한 결과를 보여주는 파형으로써 부하저항과 충전커패시터의 변화에 따른 출력전압의 오실로스코프파형을 나타낸 것이다.

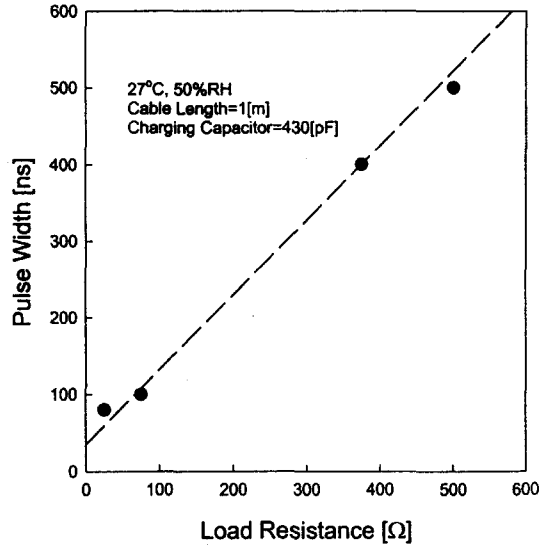
그림 5는 급전선으로 동축케이블(1[m], 75[Ω])을 사용하고 충전커패시터는 430[pF]으로 일정하게 한뒤, 부하저항을 25, 75, 375, 500[Ω]으로 변화시켰을 때 각각의 출력파형을 나타낸 것이다. 그림 5의 각파형에서 보듯이, 부하저항이 작을 때 (25, 75[Ω])는 초기 피크 전압이 낮고 부전압의 진동이 나타나지만, 부하저항이 클수록(375, 500[Ω]) 초기 피크 전압이 커지고 부전압의 진동이 나타나지 않음을 알 수 있다.

실험에서 나타난 각 파형들은 이론적인 분석에서 알 수 있었던 그림 4(a)에 나타나는 시뮬레이션 파형과 일치하는 것을 볼 수 있고 부하저항이 375, 500[Ω]일 때 시뮬레이션파형과 다르게 전압하강부에 주파수가 높고 작은 진폭의 진동을 나타내는 것은 급전선과 부하저항이 가지는 인덕턴스 성분과 펄스발생장치내의 기생용량때문인 것으로 사료된다. [11]

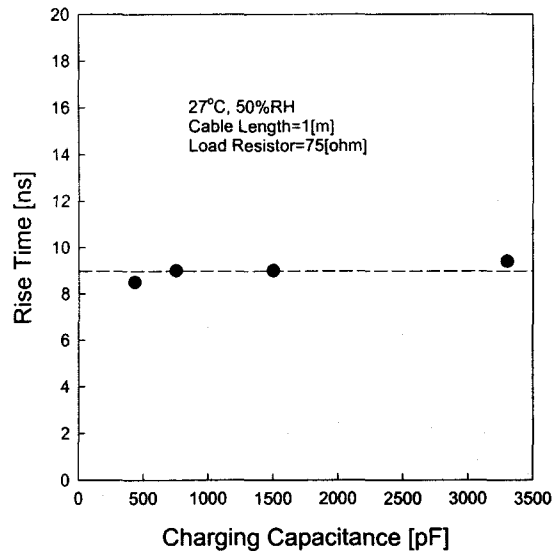
그림 6은 급전선으로 동축 케이블(1[m], 75[Ω])을 사용하고 부하저항은 75[Ω]으로 일정하게 한뒤 충전커패시터를 430, 750, 1500, 3300[pF]으로 변화시켰을 때의 출력파형을 나



(a) Variation of pulse rise time by variation of load resistance



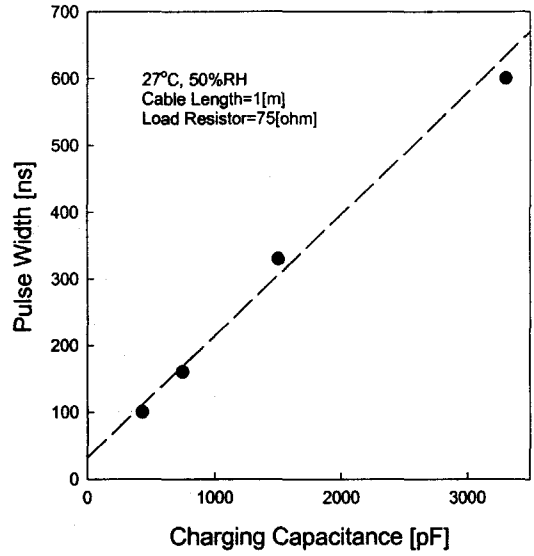
(a) Variation of pulse width by variation of load resistance



(b) Variation of pulse widths by variation of charging capacitance

그림 7. 부하저항값과 충전커패시턴스 변화에 따른 펄스상승시간의 변화

Fig. 7. Variation of pulse rise time by variation of load resistance and charging capacitance



(b) Variation of pulse width by variation of charging capacitance

그림 8. 부하저항값과 충전커패시턴스 변화에 따른 펄스폭의 변화

Fig. 8. Variation of pulse width by variation of load resistance and charging capacitance

타낸 것이다. 그림 6의 각과형에서 보듯이, 펄스형성용 충전커패시터의 정전용량이 작은 430, 750[pF]인 경우 초기 피이크 전압이 낮고 부전압의 작은 진동을 보여준다. 충전커패시터의 정전용량이 1500, 3300[pF]으로 증가함에 따라 초기 피이크 전압값의 변동은 줄어들고 펄스전압 하강부의 감쇄시간이 길어지며 부전압의 진동이 없어지는 것을 알 수 있다.

이는 충전커패시터의 용량이 클수록 충전된 전하량이 커지

며, 따라서 동일부하를 통한 방전시간이 길어지기 때문으로 판단된다. 그림 6의 실험과형들 역시 그림 4(b)의 시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 것을 보여준다. 그리고 시뮬레이션과형과 다르게 펄스하강부의 주파수가 높고 작은 진폭의 진동을 보이는 것은 전술한 바와 같이 급전선과 부하저항이 가지는 인덕턴스 성분에 의한 것으로 사료된다.

그림 7은 부하저항값과 충전커패시턴스의 변화에 따른 펄

스상승시간(pulse rise time)의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 출력펄스의 펄스상승시간이 약 8~10[ns]의 급준펄스를 얻을 수 있었고, 부하저항값과 충전커패시턴스가 변화하여도 펄스상승시간의 변화폭이 5[%] 이내로 큰 차이가 나타나지 않음을 보여준다. 이는 Marx 펄스발생장치를 동축원통형태로 구성함으로써 전체회로의 부유분포용량분과 인덕턴스분을 크게 줄일 수 있었기 때문인 것으로 사료된다.[4]

그림 8은 부하저항값과 충전커패시턴스의 변화에 따른 펄스폭(pulse width)의 변화를 나타낸 것이다. 펄스폭은 부하저항값과 충전커패시턴스가 증가할수록 커짐을 보여주며, 이는 전술했듯이 부하저항(R_L)과 커패시터(C_c)의 곱인 시정수($\tau = R_L C_c$)가 상대적으로 길어지기 때문인 것으로 사료된다.

표 1. 제작된 동축원통형 Marx 펄스발생장치의 특성

Output Voltage(V_p)	15[kV] ~ 20[kV]
Output Current(i_p)	0.2[kA] ~ 0.27[kA]
Charging Voltage(V_c)	7.5[kV] ~ 10[kV]
Number of Stage(N_s)	2
Number of Charging Capacitor(N_c)	2
Capacitance of Each Stage(C_c)	3300[pF] (430[pF])
Load Resistance(R_L)	75[Ω]
Pulse Width	500[ns] (100[ns])
Pulse Rise Time	8[ns] ~ 10[ns]
Storage Energy	0.19~0.33[J] (0.024~0.043[J])

()내의 값은 각 단의 커패시턴스값이 430[pF]일 때의 값임

표 1은 제작된 동축원통형 Marx 펄스발생장치의 특성을 요약해서 나타낸 것으로서, 본 연구결과 아주 단순하면서도 펄스상승시간이 매우 높은 소형 펄스발생장치를 제작할 수 있었으며, 본 펄스발생장치는 비열플라즈마 발생장치[12-14]나 기타 급준펄스를 필요로 하는 다양한 분야[15-17]에 매우 유용하게 적용 될 수 있을 것으로 사료되며, 필요에 따라서는 다단화 함으로서 더 높은 전압을 얻을 수도 있게 될 것이다.

4. 결 론

본 연구는 Marx 펄스 발생장치를 이용한 소형 나노초 고전압 펄스 발생장치 개발을 위한 연구로써, 2단의 Marx 펄스 발생단과 펄스형성회로와 외부전극을 동축원통형태로 구성함으로써 인덕턴스가 최소화되게 설계 제작하였다. 실험결과, 본 펄스발생기에서 발생된 출력전압의 펄스상승시간과 펄스폭 및 펄스발생기내에서 발생하는 스파크 방전구간의 방전특성을 실험적으로 조사하고, 또 이론적으로 펄스 파형을 시뮬레이션하여 실험결과와 비교검토했음으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Marx 펄스발생장치를 동축원통형태로 구성하여 구조적

으로 인덕턴스와 부유 인덕턴스가 최소화 되도록 함으로써 출력펄스의 상승시간이 8~10[ns]인 매우 빠른 고전압 급준 펄스를 얻을 수 있었다.

- 부하저항(25~500[Ω])과 충전커패시터(430~3300[pF])를 변화시켜도 출력 펄스의 상승시간은 8~10[ns]로서 변화폭이 5[%]이내의 낮은변화를 보여주어 큰 영향을 받지 않았다. 또한, 부하저항과 충전커패시터를 변화시킴으로써 펄스폭은 가변되며 부하저항(25~500[Ω])과 충전커패시터(430~3300[pF])를 가변 시킴으로써 100~500[ns]의 펄스폭을 갖는 출력펄스를 임의로 얻을 수 있었다.
- 제작된 Marx 펄스발생장치의 등가회로를 이론적으로 시뮬레이션한 결과는 실험결과에서 얻은 펄스파형의 결과에 잘 일치하는 값(약 10[%]이내)을 보여주었으며, 이를 이용하여 L을 최소화하고 R, C를 변화시킴으로써 빠른 펄스상승시간과 필요한 펄스폭을 갖는 실험용의 소형펄스발생장치를 임의 설계할 수 있음을 보여주었다.
- 실제의 펄스 플라즈마 부하는 그 장치의 크기에 따라 부하저항값의 변화가 크므로 적절한 단수를 가지는 부가적인 펄스형성회로를 통해 원하는 펄스 폭과 상승시간을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- S. T. Pai and Qi Zhang : Introduction to High Power Pulse Technology, World Scientific, pp1~45, (1995)
- ハイパワー-テクノロジー研究會編 : パルスパワー-工學の基礎と應用, 近代科學社 pp52~98
- Massimo Rea and Keping Yan : Evaluation of Pulse Voltage Generator, IEEE. Trans on IA, Vol. 31, No. 3, May(1995) pp507~511
- M. M. Kekez : Simple sub-50ps rise-time high voltage generator, Rev. Sci. Instrum 62(12). Dec (1991) pp2923~2930
- Yukihiro Kamase, Masami Shimizu, Tadishi Nagahama and Akira Mizuno : Erosion of Spark Gap of Square-Wave High-Voltage Source for Ozone Generation, IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 29, No. 4, Jul/August (1993) pp793~797
- R. E. Beverly III and R. N. Campbell : Triggering techniques for a compact Marx generator, Rev. Sci. Instrum. 65(1), Jan(1994) pp259~260
- X. Xu and S. Jayaram : Generation of Steep Front Short Duration Impulses from Conventional Standard Impulse Generator - A Simulation Study, IEEE(1995) pp1390~1394
- M, Ishii and H. Yamada : Self-matched high-voltage rectangular wave pulse generator : Rev. Sci. Instrum 56(11), Nov (1985) pp2116~2118
- 大木正路 : 高電壓工學, 眞書店, pp278~281
- Frank B. A. Frungel : Capacitor Discharge Engineering, AP Press, pp 154~199, (1976)
- Ihor Vitkovitsky : High Power Switching, Van Nostrand Reinhold Company, pp29~59, (1987)

- [12] Akira Mizuno, Kazuo Shimizu, Alokkumar Chakrabarti, and Satoshi Furuta : NOx Removal Process Using Pulsed Discharge Plasma, IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 31, No. 5, Sep (1995) pp957~962
- [13] Jae-Duk Moon, Geun-Taek Lee, Suk-Hwan Chung, " Discharge and SO2 and CO Gas Removal Characteristics of a Nonthermal Plasma Reactor in a Crossed DC Magnetic Field ", Records of IEEE-IAS 97Annual Meeting, pp 2045-2051 (1997).
- [14] L. Civitano, G. Dinelli, and M. Rea, Removal of NOx and SO2 from Combustion Gases by means of Corona Energization , Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Electrostatic Precipitation, pp.677-682 (1987).
- [15] Boleslaw Mazurek, Piotr Lubicki and Zdzislaw Staroniewicz : Effect of Short HV Pulses on Bacteria and Fungi, IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 3, Jun (1995) pp418~425
- [16] H. Fujisima and K. Tomimatsu : Application of Electrostatic Precipitation with Pulse Energization System, The 14th International Conference on Electrostatic Precipitation pp419~430
- [17] Toshiaki Yamamoto, J. Randall Newsome, and David S. Ensor : Modification of Surface Energy, Dry Etching, and Organic Film Removal Using Atmospheric-Pressure Pulsed-Corona Plasma, IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 31, No. 3, May/June(1995) pp494~499

저 자 소 개



박 승 록 (朴 勝 錄)
 1971년 2월 2일 생. 1995년 경북대 공과대학 전기공학과 졸업. 1997년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 경북대 대학원 전기공학과 박사과정 수료.
 Tel : 053-940-8601, Fax : 053-950-6600
 E-mail : psl@palgong.knu.ac.kr



김 진 규 (金 振 圭)
 1967년 2월 24일 생. 1990년 경일대 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(공학박) 현재 경북대 공대 전자전기공학부 BK21 조교수
 Tel : 053-950-7325, Fax : 053-950-6600
 E-mail : kjg@bh.knu.ac.kr



정 석 환 (鄭 石 煥)
 1965년 4월 3일 생. 1991년 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 현재 (주)상록코리아 경북대 근무
 Tel : 02-6366-1353, Fax : 02-6366-1380
 E-mail : chungsh77@hanmail.net



문 재 덕 (文 在 德)
 1946년 7월 25일 생. 1970년 경북대 사대 물리교육과 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1979~1982년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1982년~1983년 일본 Simon사 동경대 파견연구원. 1986년~1987년 캐나다 Western Ontario대 전기공학과 및 응용정전기연구센터 초청조교수. 1983년 일본정전기학회 학술논문상. 1990년 ISESP Harry J. White Award. 1992년 대한전기학회 학술상 수상. 1996년 당학회 방전고전압분과회 간사장. 1998년 현재 경북대학교 공학연구원장, 전자기술연구소 소장. 현재 경북대 공대 전자전기공학부 교수
 Tel : 053-950-5601, Fax : 053-950-5600
 E-mail : jdmoon@knu.ac.kr