

文章编号: 1672-2892(2011)06-0725-04

基于 Marx 发生器的紧凑型宽谱辐射源

宋法伦, 张 勇, 卓婷婷, 冯弟超, 谢 平, 甘延青, 龚海涛, 金 晓

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 高功率微波技术实验室, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 采用 Marx 发生器作为脉冲功率源, 用螺旋天线作为辐射系统, 设计了一种紧凑型宽谱辐射源, 用于宽带天线技术研究。充电系统采用 24 V 锂电池逆变倍压产生几十 kV 的交流高压, 给脉冲功率系统供电。10 级 Marx 发生器设计为同轴结构, 最大输出电压 200 kV, 整个 Marx 发生器尺寸为 $\phi 150 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}$ 。Marx 发生器产生的脉冲经过辐射系统, 最后通过螺旋天线辐射出去。实验结果为: 辐射场中心频率为 171 MHz, 2 m 处最大辐射场为 10.5 kV/m。

关键词: Marx 发生器; 电池组供电; 宽谱辐射

中图分类号: TN98

文献标识码: A

A compact wide-band source based on Marx generator

SONG Fa-lun, ZHANG Yong, ZHUO Ting-ting, FENG Di-chao, XIE Ping, GAN Yan-qing, GONG Hai-tao, JIN Xiao

(Laboratory for High Power Microwave Technology, Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: A compact wide-band source based on Marx generator is designed, which is powered by a pair of 24 V, 15AH (Ampere-Hour) lead acid batteries, inverted and multiplied to generate high-voltage alternating current (tens of kV). Marx generator is a compact ten-stage coaxial high voltage pulse generator with a total size of $\phi 150 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}$. With a maximum of 20 kV charge voltage, this generator has an open circuit voltage of 200 kV. The fast voltage pulse generated by Marx source is applied directly to drive a spiral antenna. The experimental results show that the peak E field is 10.5 kV at a distance of 2 m from the radiation antenna, with a center frequency of 171 MHz.

Key words: Marx generator; battery-powered; wide-band radiation

近年来高功率宽谱电磁脉冲产生和辐射技术在国内外得到了较快的发展^[1]。20 世纪 90 年代中期以前, 人们提到高功率微波系统, 基本上是指窄带高功率微波系统和超宽谱射频系统, 而对宽谱电磁脉冲源关注不多。但近年来, 由于这种源在小型、紧凑以及耦合、效应方面的特点, 欧美各国都对宽谱射频系统产生了浓厚的兴趣, 并对宽谱电磁脉冲源方面进行了广泛研究, 报道了各自的宽谱电磁脉冲系统^[2-5]。美国空军研究实验室高功率微波技术部的负责人 William Prather 给出的宽谱电磁脉冲(武器)系统的主要参数为: 频率位于 0.1 GHz~0.9 GHz 之间, 带宽为 10% 左右, 微波振荡周期为十几个(<50)迅速衰减的正弦脉冲或多个振荡脉冲。

传统的大尺寸高能量 Marx 发生器通常用作充电电源, 现紧凑型快 Marx 发生器可以通过天线直接辐射出微波。宽谱辐射源主要包括充电系统、Marx 发生器高压产生系统和辐射天线 3 部分。Marx 发生器的电压上升时间达几个 ns, 峰值功率达几个 GW。用电池组倍压供电的 Marx 发生器具有很好的紧凑性, 对于一个 500 kV 的 Marx 发生器, 其体积小于 $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, 这种可以作为手提式的脉冲功率源在商业上获得应用^[6-7]。可能限制这种 Marx 发生器应用的主要因素在于天线系统, 对于具有高增益、方向性好的脉冲天线, 其体积相对较大并且笨重^[8]。

1 系统工作原理

紧凑型宽谱辐射源主要由电池组直流电源、Marx 发生器及宽带辐射天线 3 部分组成, 如图 1

所示。由 24 V 直流电源通过逆变倍压产生几十 kV 的高压脉冲, 给 Marx 发生器充电。Marx 发生器采用电感电

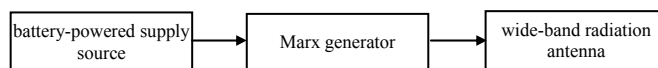


Fig.1 Schematic of wide-band source system

图 1 系统组成示意图

容结构,共10级,通过并联充电、串联放电的工作原理,在 Marx 发生器的终端产生几百 kV 的高压脉冲,然后馈入辐射天线系统。辐射天线系统主要由 $\lambda/4$ 同轴谐振器、球隙开关、充电电感、螺旋天线组成。其工作过程为:由前端充电装置通过一充电电感引入同轴谐振器中筒,对同轴谐振器的中筒充电,然后球隙开关导通,能量开始在腔内振荡传播,最终由螺旋天线辐射出去。

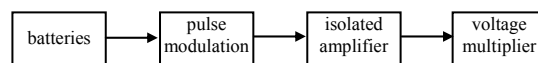


Fig.2 Circuit of the power source
图2 电源电路示意图

2 电池组供电直流高压电源

为使整个系统结构紧凑,满足小型化、便携式要求,采用电池组供电型直流高压电源。电源设计为 30 kV,采用倍压电路进行升压,即把 24 V 电压逆变为交流电压。在把 24 V 电压逆变转换为交流电压的方式中,可采用开关电源的实现方式,其中有单晶体管变换器、推挽晶体管变换器和用可控硅或者 IGBT 实现逆变器等方式。由于该电源所带功率约为 100 W,单晶体管变换器所能实现的功率较小,而采用可控硅和 IGBT 实现的逆变器虽然功率大,但体积也大。随着半导体技术的发展,用双晶体管也能实现几百瓦的功率,因此最后选定用他激式的推挽变换器方式,电路示意图如图 2 所示。

工作原理为:当接入 24 V 的电池电压时,由脉宽调制芯片 SG1525 产生正负脉冲,经过光耦隔离后,再经过三极管 3DK10 放大,输出的脉冲驱动高频大功率三极管 3DF80G 轮流导通,在变压器初级绕组产生交替变化的方波电压,再经变压器耦合到次级绕组后倍压,就成为所需要的直流供电。

3 Marx 发生器设计

Marx 发生器采用电感作为充电和隔离的器件,LC 型 Marx 发生器的充电时间很短,有利于重复频率运行。LC 型 Marx 发生器的电路原理图如图 3 所示。整个 Marx 发生器相当于一个 n 级 L-C 链式电路,其充电时间为: $T_c = 2n\sqrt{2L_0C_0}$ 。

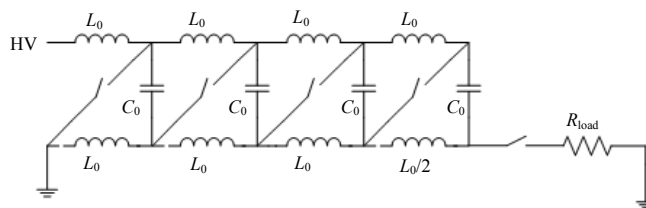


Fig.3 Principle circuit of L-C Marx generator
图3 LC 型 Marx 发生器电路原理图

本文设计的 Marx 发生器采用圆筒型结构,充电电感和接地电感采用同轴结构,中间放电容器和开关。这种结构不但紧凑,而且可以增大电感值。Marx 发生器设计为 10 级,波的传播从第 1 级开关开始传播。第 1 级开关为外触发开关,从第 2 级开始开关为自触发开关,对于自触发开关,增大过压倍数可以减小开关的击穿时间,加快 Marx 发生器波形的建立,而过电压倍数取决于杂散电容与开关电极对地电容的大小,增大对地电容可以增加过压倍数。为了增加对地电容,主电极边缘设计了增容结构。Marx 发生器基本参数如表 1 所示,Marx 发生器尺寸为 $\phi 150 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}$,结构图如图 4 所示。图 5 给出了典型的 Marx 发生器负载输出波形,负载阻抗为 50Ω ,脉冲半高宽约 30 ns,脉冲上升前沿约 9 ns。

表 1 紧凑型 Marx 发生器主要参数一览表

Table1 Parameters of compact Marx generator

description	value	description	value
number of stages	10	open-circuit output voltage	>200 kV
capacitance per stage	3.6 nF/30 kV	erected capacitance	0.36 nF
charging inductance	18 μH	erected inductance	5.0 μH
grounding inductance	14 μH	energy stored per stage	0.72 J
charge voltage	22 kV	total energy store in Marx	7.2 J
load impedance	50 Ω	maximum repetition rate	50 Hz
load voltage	100 kV	total volume	$\phi 150 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}$

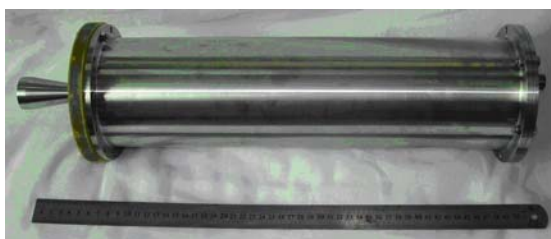


Fig.4 Photo of the Marx generator
图4 Marx 发生器外形结构及内部结构

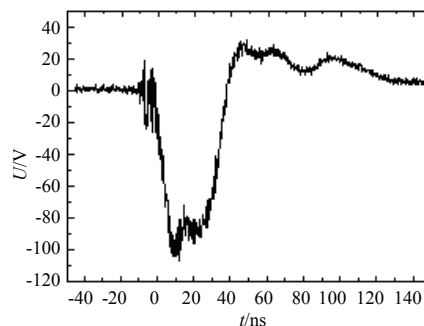


Fig.5 Output voltage waveform
图5 10 级 Marx 发生器负载输出波形($R_{\text{load}}=50 \Omega$)

4 宽谱辐射实验

宽谱辐射系统设计类似于 $\lambda/4$ 传输线振荡器产生宽带微波的原理。通过同轴双传输线产生振荡信号,其振荡频率与双线腔体的轴向长度以及腔内介质特性有关,能量集中在中筒与外筒之间,通过内筒提取能量,由天线辐射出去。宽谱辐射实验安排如图6所示。Marx发生器产生的脉冲通过宽带天线直接辐射出去,发射天线为螺旋天线,接收天线为组合阵子天线,接收天线连接衰减器后,通过电缆线连接到示波器。组合阵子天线电高度 h 为 0.2 m。

图7(a)给出了接收天线距离发射天线 2 m 处的辐射场。2 m 处最大辐射场值为 10.5 kV/m。图7(b)给出了辐射场频谱图,辐射场中心频率为 171 MHz。测量得到的辐射场中心频率按照 171 MHz 计算,频率点功率 3 dB 带宽为 30 MHz,百分比带宽为 17.5%。

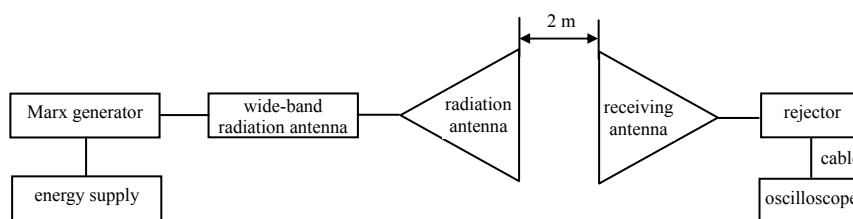


Fig.6 Schematic of experimental setup

图6 实验安排示意图

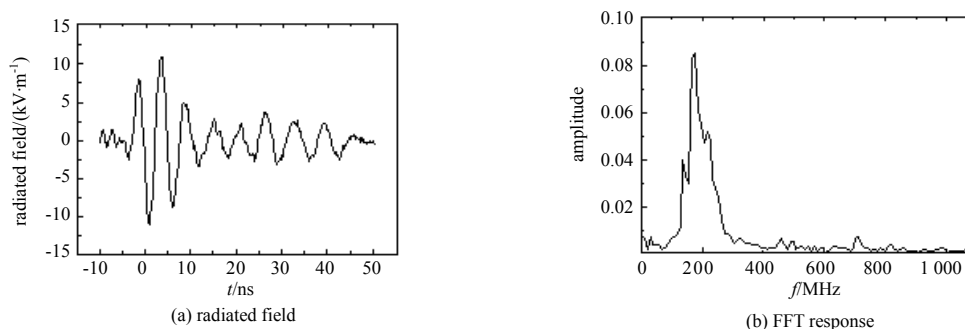


Fig.7 Radiated field and FFT response

图7 典型的辐射场及频谱图

5 结论

本文研究了基于 Marx 发生器为脉冲功率源的便携式宽谱辐射系统。这种系统采用电池组充电, Marx 发生器和辐射系统均采用同轴结构,这样使整个系统非常紧凑,整个系统设计尺寸为 $\phi 200 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$ 。在结构设计紧凑的同时会带来高压绝缘的问题,一方面要减小体积,一方面又要保证整个系统设计技术指标不降低,这必然对绝缘问题带来挑战。

参考文献:

- [1] Prather W D, Baum C E, Torres R J. Survey of worldwide high-power wideband capabilities[J]. IEEE transaction on electromagnetic compatibility, 2004, 46(3): 335-344.
- [2] Ruffing K. Compact pulsed power RF demonstrator[C]// Proc. 14th IEEE Int. Pulsed Power Conf.. Dallas, TX: [s.n.], 2003.
- [3] Dragt A J, Elizondo J M. Compact battery-powered, 400-kV, 40-Joule Marx generator[C]// Proc. of 13th IEEE Pulsed Power Conference. Las Vegas, Nevada: [s.n.], 2001.
- [4] Goerz D, Ferriera T, Nelson D, et al. An ultra-compact Marx-type high-voltage generator[C]// Digest Technical Papers, IEEE PPS2001. Dallas, Texas: [s.n.], 2001.
- [5] Chen Y J, Neuber A A, Mankowski J, et al. Design and optimization of a compact, repetitive, high-power microwave system[J]. Rev. Scientific Instruments, 2005, 76(10): 1047-1049.
- [6] Mayes J R, Carey W J, Nunnally W C, et al. Compact Marx Generators for the Generation of High Power Microwaves[C]// High Power Microwave Conference. Albuquerque, New Mexico: [s.n.], 2001.

(下转第732页)