

大动态、抗饱和和核爆炸光电变换器的研究

何艾平*

王德生

(四川教育学院物理系 成都 610041) (四川联合大学无线电系 成都 610064)

【摘要】 研究了大气层里核爆炸当量测量中光电转换技术,提出了电阻—二极管并联、多级串联的非线性负载,解决了大动态、抗饱和和核爆炸光辐射光电变换器的负载设计,具有抗谷点饱和、抗阳光背景噪声干扰的特点,经实验现场考核,完全符合测量要求。

关键词 核爆炸; 光辐射; 光电变换; 非线性负载; 光电变换器

中图分类号 TN29; TN710.2

从 60 年代以来,世界各主要核武器拥有国家开展了核爆炸参数:威力—当量、核爆炸点—空间坐标的观测设备研制^[1]。测量途径主要是利用核爆炸时出现的光学、力学、声学、电磁学等物理特性,采用电子学方法,实现核爆炸参数的自动测量。大气层中爆炸的核弹,其光辐射波形如图 1 所示。它有两个发光区, T_1 、 T_2 分别为第一和第二发光区光峰到来时间。在两个发光区之间存在一个光照度极小值(又称谷点),对应的时间 T 称为最小照度到来时间。

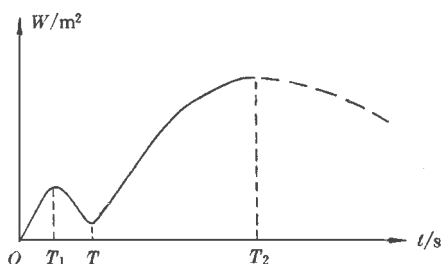


图 1 核爆炸光辐射波形

核爆炸当量 Q 与最小照度到来时间 T 之间有如下关系^[2,3]

$$Q = KT^n \quad (1)$$

式中 K 、 n 系数与探测器件的工作波长 λ 有关。

在正确选定探测的工作波长,建立式 (1) 的数学模型后,只要能测量最小照度到来时间 T ,就可以间接地测量核爆炸当量 Q 。

测量最小照度到来时间 T 如图 2 所示。测量原理为:利用核爆炸光辐射谷点光强变化率为零的特性,对光辐射波形

采用光电转换、微分放大、逻辑运算等电子学方法检测出最小照度到来时间 T ,通过式 (1) 计算当量 Q (简称微分取谷法)。本文研究了实现这项测量所涉及的光电转换部分电路,即图 2 中的光电变换器。

1 光电变换器的设计要求

光电变换器的结构设计如图 3 所示。监测距离要求为 30 km~ 150 km,可测爆炸当量值相差三个数量级,故属于大动态测量。考虑到光电变换器供电电压值有限,为保证微分取谷测量方法可靠,要求光电变换器输出的光辐射电信号波形在最小照度点(即谷点)不能出现电压饱和,所以其负载 R_L 的设计,必须满足大当量、近爆点测量时,谷点处不能出现电压饱和;小当量、远爆点测量时可

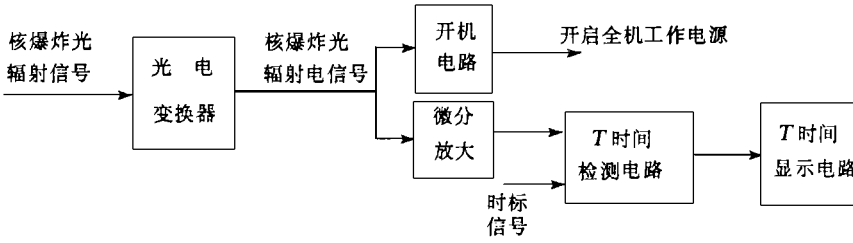


图 2 最小照度到来时间 T 的测量框图

测,即 R_L 的设计要满足抗饱和、灵敏度的要求。显然 R_L 不能采用线性电阻,只能选用非线性电阻。该电阻在近爆点(光辐射强)时电阻变小,而在远爆点(光辐射弱)时电阻增大。

考虑到本测量是通过光学途径实现的,而自然界的非核爆光(如太阳光)就对测量构成一定的干扰:以太阳光为背景的高空云层的扰动所形成的闪烁光信号,有可能是类同于核爆炸光辐射的波形,具有两个光峰和一个谷点,出现“误测”;而 R_L 的阻值,在外界光强时阻值减小,以避免谷点饱和,但在强阳光本底下,若要对远爆点小当量的核爆炸测量时,有可能发生“漏测”。鉴于上述两种光干扰,除了应恰当地设计光电变换器负载 R_L 外,还应在光电探测器件安装上采取必要措施,以减小太阳光的干扰。还要针对核爆炸光辐射波形的固有特性,设计波形识别判据^[4]。

考虑到光强度按传播距离的平方衰减的特点,为提高远爆点、小当量的可靠测量,要求选用的光电二极管 D 的工作波长应处于“大气窗口”内。而且为减小太阳光中紫外光对测量的干扰,该工作波长还应远离紫外光波长。

2 光电变换器的设计

图 3 中的光电二极管 D ,由沿水平圆周均匀安装的 8 支型号为 2DUL 的光电二极管并联组成,这是为了在 360° 全方位可测。图 3 中的负载 R_L 的结构如图 4 所示。它是电阻—二极管(或稳压管)并联、多级串接而成。各级电阻—二极管并联的 n ,表示 n 支二极管同相串接。

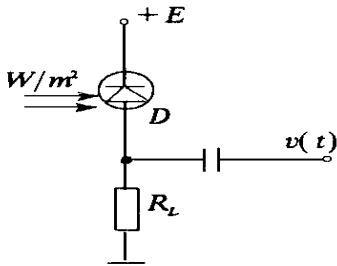


图 3 核爆炸光辐射光电变换器结构图

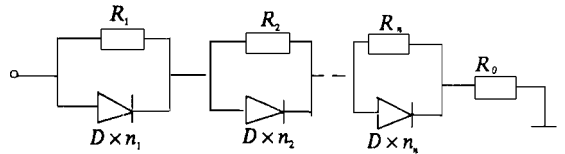


图 4 非线性负载 R_L 结构示意图

3 光电二极管的特性

2DUL 光电二极管的工作波长 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$,它处于 $0.94 \mu\text{m} \sim 1.13 \mu\text{m}$ 的大气窗口内^[3]。

核爆炸光辐射最小照度时的温度 $T_{\min}(k)$ 与核爆炸当量 Q 满足关系式

$$T_{\min}(k) = 0.9 \times 10^4 Q^{0.1}(kt) \tag{2}$$

由维恩定律知,光辐射最大波长 λ_{\max} 与温度 $T(k)$ 的关系是

$$\lambda_{\max} = \frac{2886}{T(k)} \quad (3)$$

由式(2)、(3)可得不同当量 Q 最小照度时的温度 T_{\min} 及 λ_{\max} 的关系,如表 1 所示。由表 1 可知,2DUL 的工作波长,处于万吨级至百万吨级核爆炸最大光辐射波长附近,有利于提高测量灵敏度。

表 1 λ_{\max} 与最小照度时的温度 T_{\min} 及当量 Q 的关系

Q / kt	1	10	1 000
T_{\min} / k	4 500	3 570	2 250
$\lambda_{\max} / \mu\text{m}$	0.64	0.81	1.28

有关的光电参数如下:

1) 通过野外实测,一支 2DUL,当其工作在光电曲线的坪区,广谱太阳光,在一个太阳光照度下的光电流约为 1.3 mA。8 支均匀安装在水平圆周上的 2DUL,在一个太阳光照度下,接收的最大总光电流约为 3.9 mA。

2) 核爆炸光辐射在远爆点处的光电流 I_f : 模拟实验表明,在远爆点,虽然直射光较弱,但由于散射光的存在,使 8 支光电二极管接收到的总光电流约为 1 支光电二极管在远爆点接收到的光电流的 5 倍。近似认为三极管光电流的变化与光强变化成线性关系,则

$$I_f \approx 5 \times 2(I_0)$$

其中 $2I_0$ 是 1 支光电二极管在远爆点处接收到的核爆炸光电流。由于在广谱照度下,同一太阳照度值,核爆光辐射的红外成份比太阳广谱中的红外成份约高 1 倍,故 I_0 相当于同样广谱照度下的太阳光电流值。

3) 核爆炸光辐射在近爆点的光电流 I_n : 模拟实验表明,在近爆点,虽然有散射光,但直射光是主要的,8 支光电二极管的总光电流约为 1 支光电二极管在近爆点光电流的 3 倍。若近似认为光强变化与光电流变化是线性关系,则

$$I_n \approx (2I_1) \times 3$$

式中 $2I_1$ 是 1 支光电二极管在近爆点的光电流; I_1 是在同样广谱光照度下,1 支光电二极管的太阳光电流。

4 非线性负载的工作原理

图 4 所示的各电阻—二极管并联级,因光电流的大小不同,将逐渐使某些级中的二极管导通,使整个负载电阻减小。由二极管的非线性,使整个负载具有非线性。这种负载,实际上是直流工作点随“阳光背景噪声”浮动的非线性负载。太阳背景光强时,产生的背景噪声就大,但此时的太阳直射光电流也大,引起负载阻值降低,从而减小了背景噪声引起的误开机和误测几率;若太阳直流背景光电流减小,其本底噪声也就减小,这时的负载阻值又自动增高,从而增加测量灵敏度。这种非线性负载,也随接收到的核爆炸光辐射的强弱而反相变化,有利用兼顾仪器的灵敏度与抗饱和性能的提高。

非线性负载伏—安特性的测量值如表 2 所示。

表 2 “电阻-硅二极管并联”多级串接式非线性负载的伏-安特性

U/V	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
I/mA	5×10^{-3}	1.5×10^{-2}	3.7×10^{-2}	7×10^{-2}	0.11	0.22	0.35	0.61	1.10	1.40	2.00
$\tilde{R}/k\Omega$	20.0	13.8	7.6	5.3	5.2	4.7	4.1	3.1	2.8	2.6	2.4
U/V	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0
I/mA	2.5	2.8	3.2	3.7	4.5	5.0	6.0	7.8	10.0	13.0	20.0
$R/k\Omega$	2.30	2.00	1.90	1.70	1.40	1.00	0.85	0.60	0.44	0.27	0.12

为了提高光电变换器的温度稳定性,可用硅稳压二极管代替图 4 中某些级的 n 支串接二极管。

5 光电变换器的性能

5.1 灵敏度和抗电压饱和性能

在一个太阳光本底下,非线性负载上大约有 4 mA 本底电流,交流负载 R 为 1.5 k Ω 。若在远爆点的灵敏限上探测核爆炸,则最小照度信号为

$$V_{\min} = I_s \times \tilde{R} \approx 27 \text{ mV}$$

式中 I_s 为远爆点灵敏限上的灵敏度电流。但是,当本底光减弱时, V_{\min} 将明显增大,如本底光强为

10^{-1} (太阳数)

$$V_{\min} = 81 \text{ mV}$$

30^{-1} (太阳数)

$$V_{\min} = 94 \text{ mV}$$

60^{-1} (太阳数)

$$V_{\min} = 125 \text{ mV}$$

为减小太阳本底光,使负载电阻较大,提高探测灵敏度,将 2 DUL 安装在如图 5 所示的结构中。这种安装方式既不影响远爆点对目标的探测,同时,在近爆点时少吸收核爆炸的直射光,有利于谷点抗电压饱和。同时这种安装方式相应地减少了阳光对光电二极管的照射,使负载电阻较大,灵敏度较高。清晨和傍晚时,虽然阳光直射在光电器件上,但因此时太阳光弱,所以负载电阻仍较大,仍有较高的灵敏度。

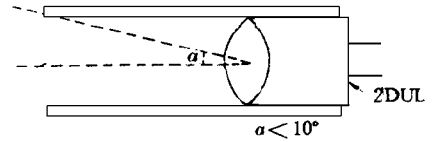


图 5 光电二极管安装示意图

5.2 抗干扰性能

实验表明,探测仪主机内产生的干扰信号小于“阳光背景噪声信号”。由于采用了如图 5 所示的结构,在减小阳光本底光的同时,也减小了以阳光为本底的“阳光背景噪声信号”,提高了信噪比。在无核爆炸时,由于“阳光背景噪声信号”的减小,使探测仪的值班工作误开机和误测几率减小。

在“阳光背景噪声信号”中,有个别干扰脉冲信号的幅值较大,脉宽也在毫秒级范围,对这类干扰信号的排除,在主机的设计中已加以考虑。

该大动态、抗饱和光电变换器通过多次模拟及现场的考核,达到预期目的,取得较好效果。

参 考 文 献

- 1 魏厚敏. 国外化学战科技参考资料. 北京, 1978
- 2 赫克斯 G. G. 英国专利, 1. 165. 331, 1969
- 3 赫克斯 G. G. 美国专利, 3. 254. 984, 1969
- 4 何艾平, 王德生. 单片机在核爆炸光辐射“识别判据”中的应用. 四川大学学报, 1997, (3): 319~ 323
- 5 《激光》编写组. 激光. 上海: 上海人民出版社, 1971

Study on Photoelectric Transducer with Large Dynamic Range and Anti-saturation Characteristics Used in Nuclear Explosion Measurement

He Aiping

(Dept. of Physics, Sichuan College of Education Chengdu 610041)

Wang Desheng

(Dept. of Radio Technology, Sichuan University Chengdu 610064)

Abstract The photoelectric transformation technology in equivalent measurement of nuclear explosion in atmosphere is discussed in this paper. The nonlinear load of resistor-diode parallel and multistage cascade is given, and the load design for photoelectric transducer with large dynamic range and anti-saturability characteristics is proposed in the measurement of ray radiation of nuclear explosion, which is anti-valley-saturated and antinoised to the sunlight background.

Key words nuclear explosion; ray radiation; photoelectric transformation; nonlinear load; photoelectric transducer

编辑 徐培红

.....

· 科研成果介绍 ·

Ka频段 $0\sim\pi$ 移相器

主研人员: 薛泉 薛良金 林云 谢俊 蔡雪芳

$0\sim\pi$ 移相器是小体积、轻重量、低成本毫米波集成前端的基础部件之一。“Ka频段 $0\sim\pi$ 移相器”采用鳍线电路基本结构,提出一种反向安装 PIN管低消分布参数的方法,详细进行了鳍线开槽问题以及过渡电路、有限厚度导体鳍线特性以及 Ka频段 PIN管电参数的特性的理论分析和优化设计,样品经国防科工委第二测试计量研究中心检测,其主要性能指标为:在移相精度 $\pm 5\%$ 范围内,带宽大于 5 GHz,插损小于 2.5 dB。该移相器的突出特点是体积小,重量轻,一致性好,便于和其他准平面电路集成构成完整的毫米波接收前端。

该移相器在插损相当的情况下,其带宽超过国内外报道水平,综合指标达到 90年代初国际先进水平。

高效和高速集成电光调制器与开关

主研人员: 陈福深 张长明 王旭

该成果从理论分析入手,对高效集成电光调制器各种结构的场分布进行了推演,导出了表示晶体电光相互作用程度的归一化重叠因子 S 的表达式,并对影响此因子的全部参量进行了分析,从实用的角度对全部参量进行了系统优化,从而得出对工程研制有指导作用且具有可操作性的设计结果。该成果主要解决了晶体对微波和光波的折射率的差异。

该成果总结了国外近期及作者在这一领域的研究成果,为集成电光调制器研制提供了理论依据和一系列可操作的参量数据,达到了国内同行业的领先水平。

· 科 卞 ·