

一种用于空间辐射测量的信号检测方法

宋克非

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 针对空间辐射测量中的被测信号常常受到系统噪声、漂移及背景辐射的影响,讨论了一种用于空间辐射测量的信号检测方法——数字同步累加解调法。实现了测量系统对背景噪声的实时扣除,使系统的测量灵敏度约提高了一个量级。介绍了实现该方法的电子学系统构成及系统设计中要注意的关键环节。最后将该方法的测量结果与采用常规方法测量所得的结果进行了比较,证明该方法对背景噪声扣除了近80%且对小信号测量的效果较佳。

关键词 空间辐射测量 同步累加解调 信号检测 背景噪声

1 引言

在星载地球环境监测仪器中,往往要涉及到从红外到紫外的辐射测量,在这些辐射测量中,背景辐射有时对测量造成严重影响,如南太平洋上空异常的空间辐射带^[1]某些波段其背景辐射可能会淹没所要测量的辐射信号,所以如何抑制背景辐射对测量信号的影响成为系统设计的关键技术。同时空间辐射测量信号变化很大,尤其在空间太阳紫外辐射测量中,其最小量化信号与满量程最大信号之间往往要跨越 10^5 到 10^7 量级,这就要求测量系统应具有较大动态范围,而系统噪声和零点漂移限制系统动态范围的下限,且大量的空间辐射测量常常需要较长时间,系统零点的变化也影响系统的测量精度。因此要满足测量系统的要求,就必须对系统的噪声和零点漂移加以抑制。

为此我们采用了数字同步累加解调法提取所测的光谱信号,实时扣除背景辐射、噪声和零点漂移的影响,取得了满意结果。

2 测量原理

在空间辐射测量系统中,所用探测器的暗电流、前置放大器的噪声与漂移、背景光辐射等,

将极大地降低了辐射信号的测量精度。为了提高信号的信噪比,必须将这些背景噪声予以扣除。我们利用斩波器将被测空间辐射光斩切产生交替的“信号 S + 背景 B ”和“背景 B ”光信号

并对其进行数字化,其斩切波形如图 1 所示。在一定时间周期内用 n 位可逆计数器对已经过数字化的辐射光信号进行累加计数,当被测光通过时进行加计数,当被测光阻断时进行减计数,因而实现了斩波信号的解调。由于加减计数是在与斩切光信号同相位的参考信号控制下进行的,因此称此方法为数字同步累加解调法。由于背景噪声遵守泊松分布,则信号测量的均方差为:

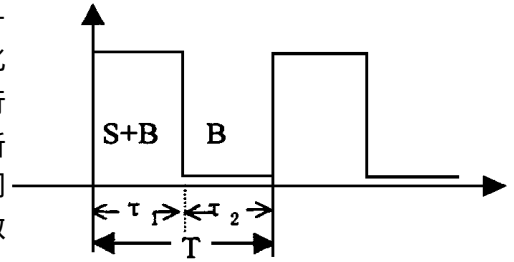


Fig. 1 Chopping waveform

$$\begin{aligned} \Delta S &= \sqrt{\frac{S+B}{\tau_1} + \frac{B}{\tau_2}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \left[\frac{S}{\eta} + \frac{B}{\eta(1-\eta)} \right]} \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $T = \tau_1 + \tau_2$ 为斩波周期, $\eta = \frac{\tau_1}{T}$ 为斩波占空比。则

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\frac{1}{ST} \left[\frac{1}{\eta} + \frac{B}{S} \frac{1}{\eta(1-\eta)} \right]} \quad (2)$$

令 $Z = \frac{1}{\eta} + \frac{B}{S} \frac{1}{\eta(1-\eta)}$, 并对 η 进行求导, 则

$$\frac{dZ}{d\eta} = \frac{1}{\eta^2} + \frac{B}{S} \frac{1-2\eta}{S[\eta(1-\eta)]^2} \quad (3)$$

当 $\frac{dZ}{dt} = 0$ 时, 得 $\eta = 0.5$, 即当 $\eta = 0.5$ 时, $\frac{\Delta S}{S}$ 最小, 代回(2)式有:

$$\frac{\Delta S}{S} = 1.4 \sqrt{\frac{1}{ST} \left[1 + \frac{2B}{S} \right]} \quad (4)$$

故可以计算当背景 B 等于信号 S 的 20 倍即 $B = 20S$ 时

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{8.8}{\sqrt{ST}} \quad (5)$$

它仅比背景与辐射信号相等即 $B = S$ 时的

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{2.4}{\sqrt{ST}} \quad (6)$$

增加 3.7 倍。由此可见,经斩切解调后,虽然背景增大了许多,但总的信号测量误差却增加的很少。通过上述分析说明利用数字同步累加解调法可实时扣除背景辐射、噪声和零点漂移的影响,保证测量精度。

3 电控系统构成

要实现上述测量方法其电控系统应包括斩波器、探测器、放大器、变换器、计数器、CPU 以及接口等电路组成。其电控原理框图如图 2 所示。

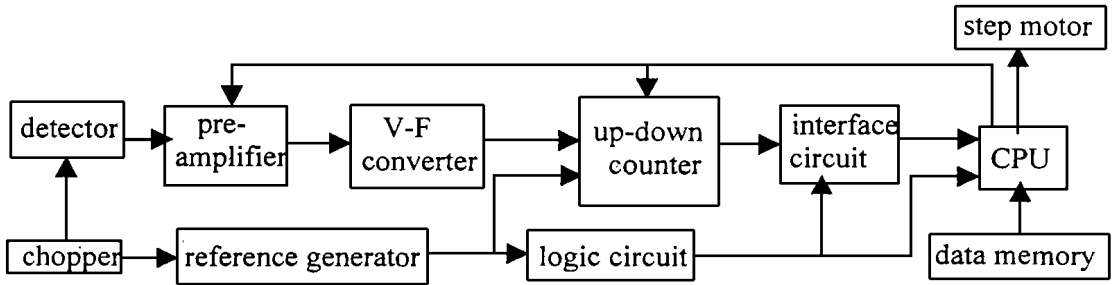


Fig. 2 Schematic diagram of numeral synchronous accumulate and demodulate

被测光通过斩波器形成调制光, 经光电转换放大后送给 V-F 变换器将其数字化, 在同步参考信号作用下, 由 n 位可逆计数器进行累加计数, 即在有光的 τ_1 期间进行加计数, 无光的 τ_2 期间进行减计数。所得到的累加数已扣除了测量系统背景噪声的影响。逻辑电路控制 CPU 对累加数进行定时采集, 并由 CPU 产生清零信号定时清计数器, 其控制时序如图 3 所示。

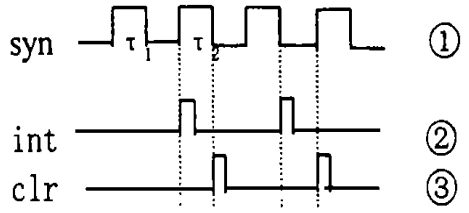


Fig. 3 Control sequence

其中 ①为参考信号发生器产生的参考信号, ②为逻辑电路产生 CPU 中断信号, ③为 CPU 产生的清零信号。

在本测量系统中斩波器的设计非常重要, 斩波器电机转速的稳定性和斩波器的扇形尺寸公差将直接影响测量精度。因为参考信号与被测信号都是由斩波器产生的, 频率不稳虽然不影响两信号之间的同步, 但参考信号频率的变化会导致计数器累加时间的改变, 使加计数和减计数的时间不定, 即占空比 η 不定。同时 CPU 是以参考信号为采样基准的, 频率变化也会导致采样精度降低。根据分析, 当辐射光测量精度为 1% 时, 斩波器电机转速的稳定性应优于 5×10^{-4} 。另外, 由前面分析可知 $\eta = 50\%$ 时, $\frac{\Delta S}{S}$ 最小, 要保证占空比, 除了要保证电机转速的稳定性外, 还要求斩波器通光和不通光的扇形尺寸公差 $\Delta\Phi$ 应满足

$$\Delta\Phi \leq (180TPD) 2.5\% \quad (7)$$

式中 D 是以 % 表示的光谱测量精度, P 是以转/分表示的斩波器电机转速, T 以秒表示的斩波周期。

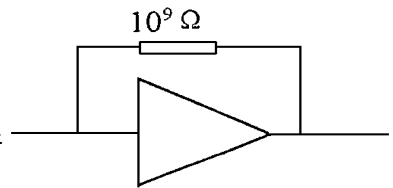


Fig. 4 Schematic of preamplifier

4 实验结果及结论

我们对利用上述原理所设计的系统进行了背景噪声扣除测试, 这里探测器选用了日本滨松光电子公司生产的 R7378 双碱阴极光电倍增管, 斩波器的斩波频率为 50Hz, 所用的计数器为 16 位可逆计数器。我们分别对前置放大器输出的直流信号经 12 位 A/D 进行直接采集及使用如图 2 所示的系统进行采样(分别采样 9 次进行平均), 其结果如表 1 所示。前置放大器的结构示意图如图 4 所示。

Table 1 Measuring results of two methods

H. V (V)	dark current (A)	general measure (mV)	accumulation (mV)
550	3×10^{-11}	31	2
750	3×10^{-10}	305	60
950	2×10^{-9}	2009	550

从上面所测数据可知, 系统对背景噪声扣除了近 80%, 将背景噪声的影响降到十分理想的程度。用该方法可使系统动态范围提高一个量级, 这是因为测量灵敏度增加一个量级的缘故。同时还可以看出, 信号愈弱, 背景噪声扣除的效果愈好, 其原因是大信号带宽有限所致。

采用数字同步累加解调法可将系统的背景噪声进行实时自动扣除, 该方法结构简单, 性能稳定。是空间辐射长期测量较理想的方法之一。

本工作是在米宝永先生指导和参与下进行的, 在此表示衷心感谢, 同时也感谢王弼陡的真诚合作。

参 考 文 献

- 1 Heat D F, Krueger A J, Roeder Henderson B D. The solar backscatter ultraviolet and total ozone mapping spectrometer (SBUV/TOMS) for NIMBUSG. *Optical Engineering*, 1975, 4(4): 323331
- 2 曾庆勇. 微弱信号检测. 杭州: 浙江大学出版社. 1986.

A Signal Detecting Method on Space Radiation

Song Ke Fei

(*Changchun Institute of Optical and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

To direct against system noise and drift as well as background radiation influence on signal on space radiation measuring, this paper describes a signal detecting method——numerical synchronous accumulation and demodulation. This method realized real-time deducting background noise and improved measuring sensitivity, is of one order of magnitude. Meanwhile, constituent of electric system and key link are introduced. The compared measuring results between this method and general method show that this method deduct background noise about 80% especially small signal.

Key words: Space radiation measure, Synchronous accumulation and demodulation, Signal detect, Background noise

宋克非 女,1967年9月出生,1988年毕业于吉林工学院电子工程系,1998年获中国科学院长春光学精密机械研究所硕士学位。毕业后一直从事微弱信号检测及光电测量仪器的研究工作。先后参加了高精度光电折射仪及“七五”国家重点科技攻关项目离子刻蚀终点检测仪的研制工作,获科学院科技进步三等奖。现从事空间遥感光谱仪器的研制工作。