

用于激光电离质谱的低噪声脉冲放大器

张子斌 翟利华

(西北核技术研究所 西安 710024)

摘要 本文简要介绍了用于激光共振电离质谱实验的低噪声脉冲放大器的设计思路、实现的要点及其测试结果。

关键词: 低噪声 脉冲成形 放大器

在激光共振电离质谱实验中,用于探测光致电离离子信号的电子倍增器输出为几个 ns 宽的电流脉冲信号,再由放大器对其进行放大以适应离子记录器的要求。由于实验室中有大功率铜蒸气脉冲激光器及其它高频干扰源,通常的宽带信号放大器将离子流信号和干扰噪声一起放大,使甄别计数系统出现大量的假计数,严重影响系统的探测性能。因此,我们自行研制了低噪声脉冲放大器,在滤除干扰的同时产生记录设备所需的信号。

1 设计思想

系统所用的电子倍增器为澳大利亚产的活化膜电子倍增器 AF150H。它具有增益高(10^7)、本底计数低(0.1/s)、动态范围宽(5×10^7 离子入射/秒不饱和)、上升时间快($< 5\text{ns}$)和不怕曝露大气的特点。考虑到干扰信号多为高频振荡(ns 量级),与倍增器输出脉冲宽度相近,而倍增器的输出具有恒流源的特性,因而前置放大器使用电荷灵敏前置放大器^[1],可以获得较高的增益和较低的噪声系数;同时考虑到共振电离所产生的离子计数率比较低,借鉴核谱仪中的脉冲成形^[1]的技术,将信号进行快慢变换转换成 μs 量级的信号,可以较好地滤除高频干扰,而信号堆积的影响可以不计。

为了满足系统的工作需要,如同位素比值测量,放大器设计了两种不同的脉冲宽度输出($1\mu\text{s}$ 和 $0.1\mu\text{s}$ 量级),可用电开关切换。同时为了测量时寻峰的需要,放大器又设计了直流积分输出,供给控制电路和笔记录仪。图 1 为放大器原理框图。

2 设计实现

2.1 主要器件选择

前置放大器的特性直接影响整个放大器的噪声、稳定性等关键指标。要求运放具有宽带、高输入阻抗及低的输入偏移等特性。BURR-BROWN 公司的 OPA655 是较为理想的选择。OPA655 具有 $40\text{M}\Omega$ 增益带宽积、 $10^{12}\Omega//1.0\text{pF}$ 输入特性、极低的输入偏移电流

(5pA)、17nS(0.01%)建立时间及 60mA 的输出电流。

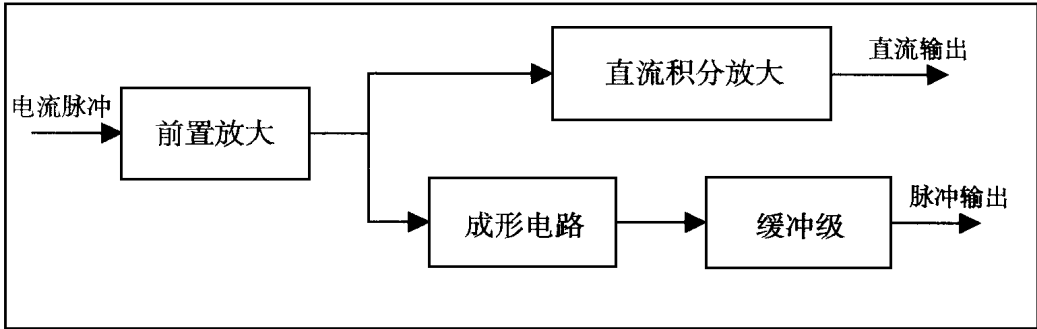


图 1 放大器原理框图

成形电路包含极零相消电路^[1]及其缓冲放大器和一级 Sallen-Key^[4,5]二阶低通滤波器。对两个运放都要求有较高的带宽、单增益稳定性及较小的微分增益和相位误差。为了减少因反馈放大可能引发的振荡,缓冲放大器采用 BURR-BROWN 公司的 OPA 660 宽带(85MHz)跨导放大器^[6]进行无反馈放大,放大倍数由电路参数设定。Sallen-Key 低通滤波器采用 OPA 646 宽带(65MHz)运放。

输出缓冲级^[3]采用 AD 公司的 AD 9618 来驱动 50Ω 匹配电缆。直流输出采用 ±15V 供电的 CA 3140 和三级管 BC415 来增大输出幅度和电流。

2.2 参数设定

如图 2,前置放大器的参数主要是 C_F 和 R_F 的选择。对于电子倍增器的输出,每个离子平均产生的电荷数为 1.6×10^{-12} 库仑,选取 C_F 为 10pF,则将产生约 160mV 的阶跃。 R_F 是 C_F 的放电回路,由于离子计数的产生同步于 10KHz 的激光脉冲,而每个激光脉冲所激发的离子一般小于 10 个,所以选用 10MΩ 不会引起 OPA 655 的饱和(饱和电压为 3V)。

图 3 为极零相消电路,其中 τ_1 调节到等于前置放大器的时间常数,实现极零相消, τ_2 为极零相消电路输出指数脉冲的时间常数。缓冲电路的连接如图 4 所示,OPA 660 构成 40MHz 无反馈差分放大,放大倍数为 4。

图 5 为 Sallen-Key 低通滤波电路的一般形式。

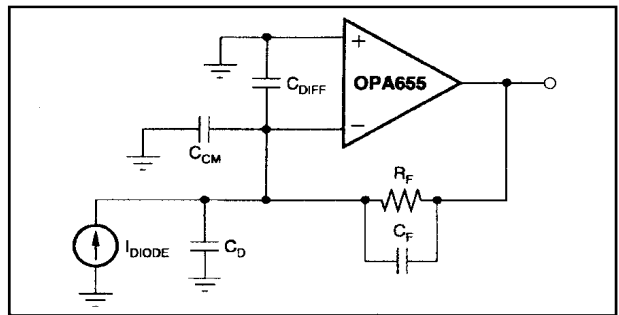


图 2 OPA 655 作为前置放大电路接法与分布电容。

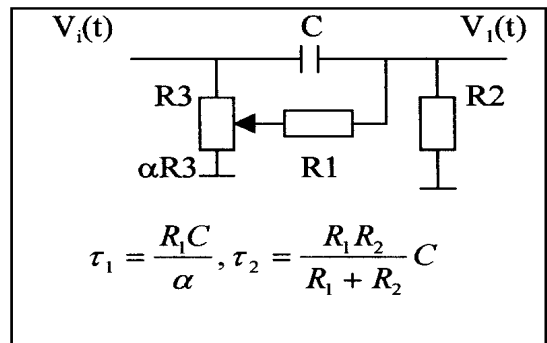


图 3 极零相消电路

令:

$$R_1 = R, R_2 = R/k_1, C_1 = C, C_2 = C/K_2, \tau = RC$$

$$R_4/R_3 = K_3, A_F = 1 + k_3,$$

其传递函数^[2]为:

$$H(s) = A_F \frac{k_1 k_2}{\tau^2} \cdot \frac{1}{s^2 + \frac{(1 + k_1 - k_1 k_2 k_3)}{\tau} s + \frac{k_1 k_2}{\tau^2}}$$

一般取 $k_1 = 1, k_2 = 2, k_3 = 0$, 时间常数为 τ 因极零相消电路的衰减, 整个成形电路的放大倍数约为 2。

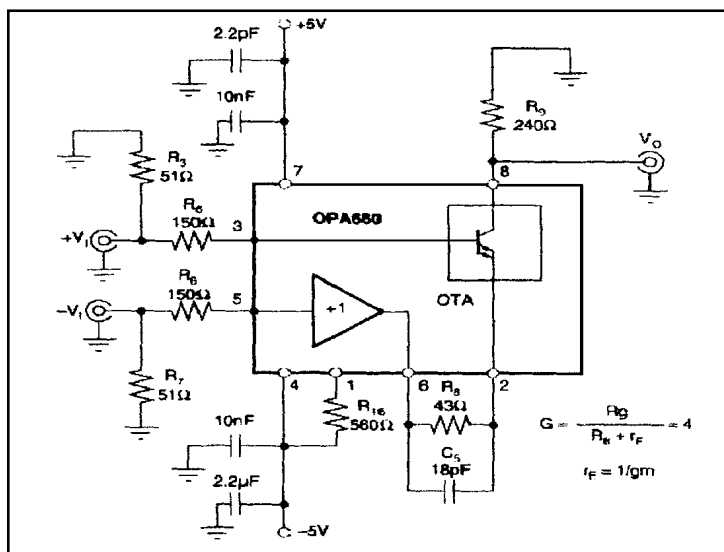


图 4 用 OPA 660 接成 400MHz 差分放大器

一般地, 当极零相消与 Sallen-Key 低通滤波器的时间常数相等时, 能够得到最佳的信噪比^[1], 所得到的脉冲宽度为时间常数的 4-5 倍。因此, 根据设计要求, 选取时间常数为 $0.02\mu s$ 和 $0.2\mu s$ 。时间常数的切换通过继电器改变回路电容来实现。

输出缓冲级采用通常的负反馈放大电路, 放大倍数为 2, 脉冲输出幅度平均为 $0.6V$ 。串联 50Ω 电阻驱动 50Ω 电缆送到甄别器和计数器。

直流输出部分用采用 BC415 来增加电流驱动能力, 放大倍数设为 3, 不饱和输出小于 $9V$ 。

2.3 布线与装配

为了使放大器达到设计的性能, 印制线路板的设计、元件的使用及其装配工艺要按高频

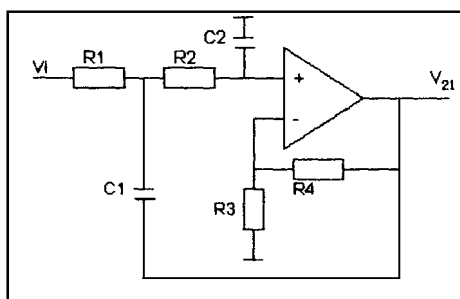


图 5 Sallen-Key 低通滤波器

电路来处理, 否则串扰噪声的影响就会导致电路性能大幅度下降, 以致电路无法正常工作。本文主要采取以下几点措施^[7]:

- 在元件面大面积接地, 走线和焊点在另一面; 采用一点接地并注意减小地线公共阻抗带来的级间串扰。
- 前级运放的电源端都串接 50Ω 电阻, 再用钽电容和瓷片电容接地, 来减少来自电源端的干扰。
- 运放和电阻尽量使用表贴元件, 同时表贴电阻随着背面的走线布置, 增加高频性能。
- 将 OPA 655 的高阻输入端挑起直接焊接在倍增器的输出线上, 减小分布电容和漏电流, 在降低干扰的同时尽可能地提高信号幅度。
- 采取较好的屏蔽措施, 将整个电路安装在 $100\times 60\times 20\text{mm}$ 大小的金属盒内, 减小空间干扰。

3 性能测试

该放大器的性能在多次共振电离质谱实验中得到了充分的验证。较为理想地达到了设计中所关心的降低噪声的目的。测试中, 在甄别器阈值为 20mV 时, 关闭离子流, 使之不产生信号, 只测干扰噪声计数, 在 5 分钟内能够保持计数为零。其直流输出稳定, 时间常数切换也较为方便。

图 6 为前放和最终输出波形。可以明显地看出, 由前放耦合进来的噪声在输出端被衰减到远小于到 20mV 的幅度。其中前放的反馈电阻为 $1\text{M}\Omega$, 成形电路的时间常数为 240nS 。1 通道用 50Ω 匹配测量, 脉冲幅度为 0.3V , 2 通道用 Tek 示波器探头 (P6111B, 200MHz , $10\text{M}\Omega//15.0\text{pF}$, $10\times$), 阶跃幅度为 120mV 。

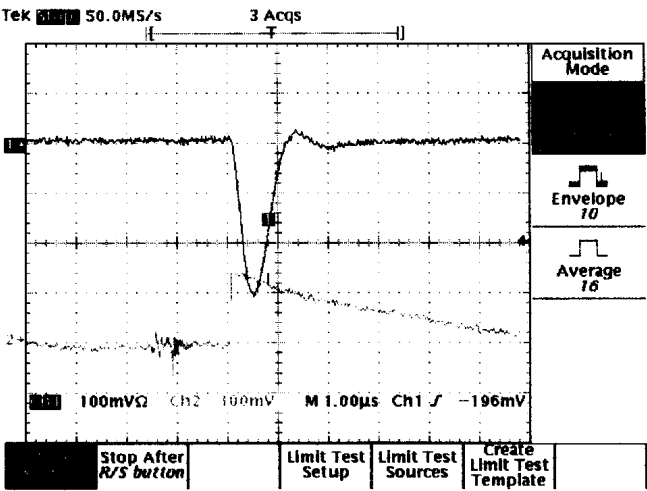


图 6 前放和最终输出波形

参 考 文 献

- 1 王芝英 核电子技术原理, 北京: 原子能出版社, 1989
- 2 吴大正 信号与线性系统分析, 北京: 高等教育出版社, 1986
- 3 清华大学电子学教研组, 童诗白主编 模拟电子技术基础, 北京: 高等教育出版社, 1988
- 4 阿瑟 B. 威廉斯 电子滤波器设计手册[喻春轩等译], 北京: 电子工业出版社, 1986, 91-120
- 5 H Gaunhot and B Guldbrandsen The Design of High-Q Sallen-key Biquads with Unity-Gain Buffer Amplifiers, International Journal of Circuit Theory and Applications, 1997, VOL. 25, 307- 316
- 6 赵玉山 跨导型放大器·原理·电路·应用, 北京: 电子工业出版社, 1995
- 7 诸邦田 电子电路实用抗干扰技术, 北京: 人民邮电出版社, 1996

A Low Noise Pulse Amplifier Used in Laser Isotope Mass Spectrometer

Zhang Zibin, Zhai Lihua

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Received 2000-02-15

Abstract

This article briefly describes the thoughts, key points and test result of a low noise pulse amplifier used in Laser Isotope Mass Spectrometer.

Key Words: low noise, pulse shaping, amplifier