

一种抑制高增益直流耦合放大电路中 直流漂移的电路

千 奕^{1,2} 苏 弘¹ 李小刚¹ 彭 宇^{1,2}

1 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 直流漂移现象在直流耦合放大电路中是不可避免的,放大器的放大倍数愈大,在输出端出现的直流漂移现象就愈严重。本文提出了一种可以有效抑制高增益低噪声直流耦合快前置放大电路中的直流漂移的电路。将此电路用于我们所设计的高增益($A_v \geq 1000$)直流放大器中,有效抑制了输出端的直流漂移。对该放大器进行了100h的工作测试,结果输出直流漂移小于 $\pm 3\text{mV}$ 。

关键词 直流漂移,抑制方法,电路

中图分类号 TN78

中国科学院近代物理研究所大科学工程 CSR 已建成并处于调试阶段,由于该装置束流诊断系统的位置探针、相位探针输出的信号很弱(约为十几个微伏),所以要将这样微弱的信号检出,就需要高增益、低噪声的直流耦合放大器。而直流耦合放大器的放大倍数愈大,在输出端出现的直流漂移现象就愈严重。严重的直流漂移往往使放大电路偏离正常的工作点而达到无法正常工作的程度。因此如何抑制直流漂移就成为设计高增益直流耦合放大电路的一个难点。目前常用的抑制直流漂移的方法有斩波技术、自动稳零、参数补偿等。斩波技术是将输入的直流信号经过调制电路(或斩波电路)转换成交流信号,经放大电路放大,再经解调电路恢复为直流输出,解决了抑制直流漂移和放大微弱直流信号的矛盾。但是这种电路由于调制型放大器的输入频带很窄,所以不适用于放大频率较高的输入信号。自动稳零分为两个过程:采样过程和校零过程。它可以有效地减小失调电压、失调电流及温度变化和电源电压波动所引起的漂移,但是电路结构比较复杂^[1]。由于我们设计的放大器用于放大频率大于6MHz的快信号,且根据实验现场对前端电子学设备小型化的要求,以上两种方法均不适用,所以我们采用参数补偿法。该方法具有容易实现的优点,且能平衡在一定的环境条件下。本文主要介绍一种采用补偿法抑制直流漂移的电路:二阶贝塞尔滤波电路加反相求和电路。我们对采用这种方法的直流放大耦合电路进行了100h的工作测试,其输出直流

漂移小于 $\pm 3\text{mV}$ 。下面简要介绍电路的设计与实现过程。

1 电路设计

1.1 电路结构和特点

该电路由二阶贝塞尔滤波电路和反相求和电路组成,电路结构如图1所示。其中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 C_1 、 C_2 和 A_1 构成二阶贝塞尔低通滤波电路; R_5 、 R_6 、 R_7 、 R_8 和 A_2 构成反相求和电路。 A_1 选用MAXIM公司的高速运放,具有高压摆率、低差分相位/增益偏差、低输入偏置等特点。 A_2 选用National Semiconductor公司的超低噪声($0.92\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $2.3\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$)宽带(1.5GHz)运放。

二阶贝塞尔低通滤波电路的特点是:对于幅频特性的要求高于相频特性,而对过滤带的陡度要求不太严格,其瞬态特性更优,平坦延迟可彻底滤除高频成份;其相移与频率基本成正比,即群时延(group delay)基本是恒定的

$$\left(\tau(\omega) = -\frac{d\phi(\omega)}{d\omega} (\text{s}) = 100\text{ns} \right), \text{ 可得失真较小}$$

的波形。反相求和电路的主要特点是:调节该电路某一路信号的输入电阻(如 R_5)的阻值不影响其他输入电压与输出电压的比例关系,因而调节非常方便^[2]。

第一作者:千奕,女,1976年出生,1998年毕业于四川大学,现为中国科学院近代物理研究所在读博士研究生

收稿日期:2005-11-28,修回日期:2006-3-28

1.2 工作原理

输入信号如图 1 所示分为两路：一路直接作为反相求和电路的一路输入信号 V_1 ；另一路经二阶贝塞尔低通滤波电路，将 $f > f_c$ （-3db 截止频率）的信号滤除，而使 $f < f_c$ 的信号正常通过，同时输出信号 V_2 被倒相。将 V_1 和 V_2 两个极性相反的信号输入反相求和电路，通过调节电位器 R_5 ，使运放 A_2 反向端的两输入信号达到平衡，从而在两信号求和后，将 $f < f_c$ 的信号（包括直流漂移信号）相互抵消，有效抑制了电路中不断变化的直流漂移，使电路的基线得以稳定，同时也保证 $f > f_c$ 的有用信号被顺利放大。

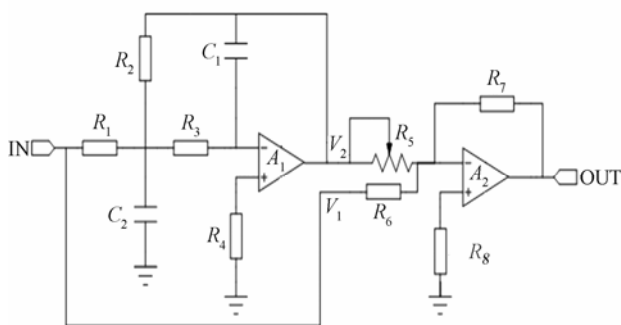


图 1 二阶贝塞尔滤波电路与反相求和电路
Fig.1 The second order Bessel filter and inverting summer circuit

1.3 滤波电路参数选择^[3]

f_c 是 -3db 截止频率，截止频率的选择可根据电路应用场合的不同来定。我们需要放大的信号频率约 6MHz 左右，所以选择 $f_c = 5\text{MHz}$ 。如果输入信号频率较低，我们可选 $f_c = 2.1\text{MHz}$ ^[4]。该滤波电路传输函数如下：

$$K(s) = \frac{-R_2/R_1}{1 + sC_1\left(\frac{R_2}{R_1}R_3 + R_3 + R_2\right) + s^2C_1C_2R_2R_3} = \frac{K_0}{1 + a_1s + b_1s^2} \quad (1)$$

式 (1) 中 $S = s/\omega_c$ ， K_0 是通带电压增益。

选增益 $K_0 = -1$ ，查表得 $\begin{cases} a_1 = 1.361 \\ b_1 = 0.618 \end{cases}$ 。又 C_1, C_2

的选择必须满足条件 $C_2/C_1 \geq \frac{4b_1(1-K_0)}{a_1^2}$ ；所以选

得 $C_1 = 47\text{pF}$ ， $C_2 = 220\text{pF}$ 。

又由下列等式：

$$R_2 = \frac{a_1C_2 - \sqrt{a_1^2C_2^2 - 4C_1C_2b_1(1-K_0)}}{2\omega_cC_1C_2} \quad (2)$$

$$R_3 = \frac{b_1}{\omega_c^2C_1C_2R_2} \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{-K_0} \quad (4)$$

可得： $R_1 = 330\Omega$ ， $R_2 = 330\Omega$ ， $R_3 = 180\Omega$ 。

1.4 测试

我们分别在实验室和工作现场，对 4 个采用这种方法来抑制直流漂移的高增益低噪声前置放大电路进行了测试。测试前，首先在输入电压为零时，通过调节电路中的调零装置，使 4 个放大器输出电压的初始值分别为：6.2 mV，7.4 mV，13.3 mV，14.8 mV。

实验室测试：测试条件：室温下，无输入，无负载，连续工作 100h。主要测试仪器：7075 digital voltmeter。测试方法：将前放输出端与 digital voltmeter 相连；前放工作 10h 后，开始记录数据，每隔一小时从 digital voltmeter 上读一个数据，用该数据减去放大器输出电压的初始值就得到直流漂移值，共测量 100h。经分析计算后，测试结果见表 1。

工作现场测试：测试条件：室温下，有输入，带负载，连续工作 100h。主要测试仪器：digital phosphor oscilloscope，型号 TDS3034 (300MHz)。测试方法：将束流诊断探针输出的信号加入前放输入端，同时前放的输出端经 50Ω 匹配头与示波器 channel 2 相连；先从示波器上读出输出信号基线电压的初始值，然后每隔一小时从数字示波器荧光屏上读一次基线电压值，将该值减去基线电压的初始值即为基线漂移，共测量 100h。经分析计算后，测试结果见表 2。

通过以上两种测试，可得这种放大器长期工作的稳定性小于 $\pm 3\text{mV}$ 。

表 1 直流漂移比较
Table 1 Comparison of dc drift

放大器 Amplifier No.	直流漂移最大值/mV Maximum value of dc drift	直流漂移最小值/mV Minimum value of dc drift	直流漂移变化范围/mV Range of dc drift
1	5.7	0.5	± 2.6
2	6.0	0.8	± 2.6
3	5.6	0.6	± 2.5
4	5.7	0.3	± 2.7

表 2 基线漂移比较
Table 2 Comparison of baseline drift

放大器 Amplifier No.	基线漂移最大值/mV Maximum value of baseline drift	基线漂移最小值/mV Minimum value of baseline drift	基线漂移变化范围/mV Range of baseline drift
1	4.2	-0.4	± 2.3
2	5.2	0.5	± 2.4
3	4.5	0.3	± 2.1
4	3.8	-0.6	± 2.2

2 结束语

此外，我们在实践中还利用一阶低通滤波器加差分电路来抑制直流漂移，也取得了一定的效果。本文介绍的这种抑制直流漂移的电路，已经被应用于我们自己设计的高增益低噪声快放大器中，该电路已经用于本所大科学工程 HIRFL-CSR 冷却储存环束流诊断系统，作为束流相位、位置探针信号的前置放大电路，并在现场使用过程中取得了良好的效果，满足了设计的要求。

参考文献

- 1 王辉, 吴重庆, 付松年, 等. 今日电子, 2004/08. <http://www.epc.com.cn/magazine/20060105/4088.asp>
WANG Hui, WU Chongqing, FU Songnian, *et al.*

- Electronic Products 2004/08. <http://www.epc.com.cn/magazine/20060105/4088.asp>
- 2 童诗白. 模拟电子技术基础. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1988. 348—349
TONG Shibai. Groundwork of analog electronics technique. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1988. 348—349
- 3 Simulation of Bessel filters using PSpice and Mathcad software. Computer Applications in Engineering. <http://www.wlipinski.ps.pl/pdf>
- 4 Final Test Report, Thomson Scattering Preamplifier for JET by Hans Schneider and Eric Savage, PPPL

Methods for restraining dc drift in high-gain dc amplifier

QIAN Yi^{1,2} SU Hong¹ LI Xiaogang¹ PENG Yu^{1,2}

¹ (Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

² (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract The paper discusses a circuit to restrain the dc drift in high-gain dc coupling amplifier. The circuit is composed of a second order Bessel low-pass filter and an inverting summer circuit. The circuit described in the paper has been used in a high-gain ($A_v \geq 1000$) dc coupling fast amplifier developed by ourselves. The output dc drift of the amplifier is very low. For example, an output dc drift of less than $\pm 3\text{mV}$ was found for an operation of a long period of 100 hours.

Key words Dc drift, Restraining method, Circuit
CLC TN78