

实用分析仪器检修手册

● 王化正 李玉生 编著



石油工业出版社

实用分析仪器检修手册

王化正 李玉生 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是作者在长期工作实践基础上所撰写的又一本实用的常用分析仪器的检修方面的专著。本书较详细地介绍了原子吸收分光光度计、紫外—可见分光光度计、红外光谱仪、荧光分光光度计、极谱仪、气相色谱仪、现代液相色谱仪、质谱仪、透射电镜和扫描电镜等仪器的结构原理、使用和维修方法,还详细介绍了上述仪器的常见故障、维修经验和检定方法等。本书深入浅出、通俗易懂、实用性强。本书可作为化学分析工作者、仪器检修人员和化学计量人员的使用指南,也可作为大专院校从事仪器分析人员的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

实用分析仪器检修手册/王化正等编著.

北京:石油工业出版社,2002.6

ISBN 7-5021-3623-1

I. 实…

II. 王…

III. 分析仪器—检修—手册

IV. TH 830.7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 087323 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 1 插页 35.5 印张 904 千字 印 1—5000

2002 年 6 月北京第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3623-1/TF·2669

定价:50.00 元

前 言

近一、二十年来，随着科学技术的发展，各种分析仪器的更新换代越来越快，应用领域越来越广泛。从海洋、地质、冶金、化工、食品、机械到医疗卫生等各个领域，分析仪器已成为人们探索大自然奥秘，评价和控制产品质量，保证技术安全，监测环境污染状况等方面必不可少的手段。

分析仪器的迅速发展更新和广泛应用，随之带来的突出问题是如何正确的使用维护、检定与修理等问题。仪器的自动化程度越高，日常的维修工作就显得越重要。由于种种原因，国内介绍这方面内容的实用书籍甚少，广大分析工作者迫切需要得到不断更新的分析仪器检修方面的书著，以指导分析仪器的正确使用从而使仪器使用寿命加以延长。为此，石油工业出版社于1984年元月率先出版了我们撰写的《常用分析仪器结构、使用与维修》一书，印数达2.5万余册，深受广大读者欢迎。1987年8月转由烃加工出版社又再版印刷发行。1988年由于现代分析仪器不断更新的需要，航空工业出版社出版了我们的第二本专著《现代分析仪器维修手册》。1994年12月中国石化出版社又出版了我们的第三本专著《分析仪器检修指南》，虽然印数很大，但仍然供不应求。为满足广大读者对更新一代分析仪器检修的需求，这次我们又新撰写了第四本专著《实用分析仪器检修手册》一书，由石油工业出版社出版发行。

我国自1985年7月1日起颁布并实施《计量法》。该法规定，分析仪器作为计量器具，必须定期检定，所测数据方为有效。本书从内容上除讲述仪器结构与维修技术外，还介绍了检定的内容，以判断修理后的仪器技术指标是否合格。

搞好分析仪器日常的维修和检定，是一项技术性很强的工作，也是提高仪器的利用率，延长其使用寿命的有效措施之一。本书可作为化学分析工作者、仪器检修人员和化学计量人员的使用手册，也可作为大专院校从事仪器分析专业人员的重要参考书。

本书所选用的仪器，基本上代表了我国目前实验室较常用的仪器类型，在写法上采用从剖析典型仪器的结构入手，充分利用测试仪器和工具，查找故障部位，总结出了一些行之有效的维修方法，以飨读者。还需说明的是，为了读者阅读使用和检修仪器方便，本书稿在对部分进口分析仪器的论述中仍保留了原有的ppm、ppb、英寸等非法定单位，但为数不多。

近20年来，我们撰写的每一本专著，都得到了著名的仪器仪表专家，中国分析仪器学会理事长朱良漪教授的大力支持和热情鼓励，在此谨致崇高的敬意和衷心的感谢！

我们在撰写每本专著的过程中，还得到了中国科学院院士、北京大学高小霞教授和中国科学院院士、南开大学申泮文教授的精心指导，因此我们的每一点成功都凝结了两位老科学家的经验、智慧和心血，作者在此谨表最诚挚的谢意。中国分析仪器学会常务理事武宝琦教授级高工和秘书长路致林教授级高工、南京大学化学系博士生导师陈洪渊教授都对本书给

予了很大的帮助。在编写本书的过程中，还得到了四川省分析测试学会电化学专委会主任、四川大学化学系胆德忠教授的帮助，在此，作者一并致谢！

此外，北京分析仪器厂、上海分析仪器厂、上海光学仪器厂和成都仪器厂的有关同志提供了宝贵的资料，作者表示谢意！

由于我们水平有限，书中难免会有错漏之处，谨请大家不吝指教，作者不胜感激之至。

编著者

目 录

第一章 分析仪器常用零部件	(1)
第一节 集成运算放大器	(1)
一、运算放大器的符号与特性	(1)
二、运算放大器的电路结构	(2)
三、集成运算放大器的主要参数	(3)
四、集成运放在模拟运算电路中的应用	(5)
五、集成运放在模拟变换电路中的应用	(7)
六、集成运放在脉冲数字电路中的应用	(10)
第二节 信息编码和逻辑网络	(14)
一、数的表示与信息编码	(14)
二、逻辑网络	(14)
第三节 微型计算机	(20)
一、微型计算机的结构	(20)
二、微型计算机工作原理	(27)
三、计算机与分析仪器的接口	(28)
第二章 原子吸收分光光度计	(32)
第一节 原子吸收分光光度计概述	(32)
一、定量分析的理论依据	(32)
二、主要部件及功能	(33)
三、分类	(33)
第二节 微机化原子吸收分光光度计	(39)
一、原子吸收分光光度计专用计算机的分类	(39)
二、原子吸收分光光度计专用计算机的结构	(41)
三、原子吸收分光光度计的微机控制	(44)
四、原子吸收分光光度计的数据处理	(45)
第三节 WFX-1F 型系列原子吸收分光光度计	(47)
一、电路部分	(47)
二、微机电路	(52)
三、常见故障及排除方法	(54)
第四节 3200 型原子吸收分光光度计	(59)
一、仪器气路控制系统	(60)
二、仪器光学系统	(60)
三、仪器电子线路系统	(62)
四、仪器石墨炉原子化器	(76)
五、3200 型仪器的安装和调试	(85)

六、仪器的维护与常见故障及排除方法	(89)
第五节 原子吸收分光光度计的检定	(93)
一、检定项目和要求	(93)
二、主要项目的检定方法及技术指标	(93)
第三章 紫外-可见分光光度计	(98)
第一节 紫外-可见吸收光度法	(98)
一、基本原理	(98)
二、电磁辐射	(98)
三、光度法基本定律	(99)
第二节 753 型紫外分光光度计	(100)
一、仪器结构原理	(100)
二、仪器光学系统的工作原理	(101)
三、光学系统的校正	(101)
四、753 型仪器电气系统线路分析	(107)
五、电气系统常见故障及排除方法	(114)
六、光机系统的故障	(116)
七、753B 型微机硬件部分介绍	(119)
第三节 7530 型分光光度计	(120)
一、仪器结构	(120)
二、仪器光学系统	(121)
三、仪器电路原理	(123)
四、电路故障检查分析及排除方法	(130)
第四节 紫外-可见分光光度计的检定	(136)
第四章 红外光谱仪	(139)
第一节 概述	(139)
一、红外光谱区的划分	(139)
二、红外光谱中的名词术语	(139)
第二节 WFD-7G 型红外分光光度计	(141)
一、仪器工作原理	(141)
二、WFD-7G 型仪器结构	(143)
三、光学系统的调整	(147)
四、电子系统的调整	(150)
五、仪器常见故障检查与维护	(153)
六、仪器常见故障及排除方法	(155)
第三节 580B 型红外分光光度计	(157)
一、仪器特点	(157)
二、双光束电比率记录系统	(158)
三、P-E580B 型仪器结构	(159)
四、仪器常见故障及排除方法	(160)
第四节 美国 170SX 傅里叶变换红外光谱仪	(163)

一、170SXFT-IR 主要性能及特点	(163)
二、傅里叶变换红外光谱仪工作原理	(163)
三、170SX 型红外光谱仪结构	(164)
四、170SXFT-IR 与 GC 联用	(167)
五、170SXFT-IR 的修理	(168)
第五节 红外光谱仪的检定	(170)
第五章 荧光分光光度计	(172)
第一节 概述	(172)
一、物质的发光	(172)
二、荧光分光光度计的结构	(173)
第二节 WFD-9 型荧光分光光度计	(175)
一、仪器工作原理	(175)
二、光学系统的组成	(176)
三、仪器电路系统	(178)
四、仪器的安装与调试	(181)
五、仪器操作注意事项	(185)
六、仪器常见故障及排除方法	(186)
第三节 8850 型荧光二氧化硫分析器	(187)
一、仪器工作原理及其功能	(187)
二、仪器结构	(190)
三、仪器的安装	(194)
四、仪器的校准	(196)
五、仪器的维护与检测	(198)
六、仪器故障检修	(201)
第四节 荧光分光光度计的检定	(207)
一、检定项目和检定程序	(207)
二、主要检定项目的检定方法及指标	(208)
三、必检项目、原则上不检和暂不检项目	(209)
第六章 极谱仪	(210)
第一节 JP-2 型示波极谱仪	(210)
一、仪器的基本结构	(210)
二、仪器检查与验收	(219)
三、仪器的安装调试	(221)
四、常见故障及排除方法	(221)
第二节 示波极谱仪的检定	(225)
一、检定项目	(225)
二、主要项目的检定方法及技术指标	(227)
三、检定结果处理和检定周期	(228)
第七章 气相色谱仪	(229)
第一节 气相色谱仪的主要部件	(229)

第二节 1102 型气相色谱仪	(230)
一、仪器结构及主要部件	(230)
二、主机电源线路分析	(236)
三、气相色谱检测器	(238)
四、控制器和放大器线路分析	(247)
五、仪器的安装与调试	(253)
六、仪器的维护与检修	(261)
第三节 SP-6000 系列气相色谱仪	(266)
一、仪器的安装	(266)
二、仪器的维护	(273)
三、仪器使用须知	(278)
四、仪器常见故障及排除方法	(282)
第四节 3400 系列色谱仪	(292)
一、诊断工作程序	(292)
二、诊断的顺序	(293)
三、核心测试的步骤和方法	(293)
四、基本测试	(297)
五、自动测试	(303)
六、扩展测试	(314)
第五节 气相色谱仪的检定	(315)
一、与检定规程有关的名词术语	(316)
二、检定项目和技术要求	(316)
三、检定方法	(318)
第八章 现代液相色谱仪	(321)
第一节 SYZ-211 型液相色谱仪	(321)
一、仪器主要结构	(321)
二、仪器使用注意事项	(330)
三、仪器的维护及更换易损件	(331)
四、仪器常见故障及排除方法	(332)
第二节 SY5000 型液相色谱仪	(334)
一、仪器结构	(334)
二、仪器的安装	(338)
三、仪器使用注意事项	(345)
四、仪器常见故障及排除方法	(347)
五、仪器常规检修方法	(350)
六、UV-1 型紫外检测器	(356)
七、UV-100 型紫外检测器	(361)
八、荧光检测器	(366)
第三节 液相色谱仪的检定	(374)
一、检定环境条件	(374)

二、检定项目和检定方法	(374)
第九章 质谱仪	(377)
第一节 质谱仪的结构	(377)
一、进样系统	(377)
二、离子源	(378)
三、质量分析器	(381)
四、检测器和记录器	(385)
第二节 色谱-质谱联用仪器连接装置	(387)
一、气相色谱仪与质谱仪之间的接口	(388)
二、液相色谱仪与质谱仪之间的接口	(390)
第三节 计算机在质谱-色谱中的应用	(390)
一、计算机主要系统	(391)
二、计算机采集和处理质谱-色谱数据	(392)
第四节 LZL-203 型四极质谱计	(395)
一、仪器工作原理	(395)
二、仪器结构	(397)
三、仪器线路分析	(398)
四、仪器使用注意事项	(405)
五、仪器常见故障判断方法	(407)
第五节 KYKY-7070E-HF 色谱-质谱计	(407)
一、仪器结构与功能	(408)
二、仪器的维护	(415)
三、仪器常见故障及排除方法	(419)
第十章 透射电子显微镜	(422)
第一节 仪器结构	(422)
一、电子光学系统(镜筒)	(422)
二、真空系统	(431)
三、电器系统	(433)
第二节 DXA ₄ -10 型透射电子显微镜	(441)
一、仪器的调整与使用方法	(441)
二、仪器常见故障及排除方法	(446)
第三节 日本 JEM 系列透射电镜	(455)
一、概述	(455)
二、修理方法	(456)
第四节 透射电镜的维护	(461)
一、镜筒部分的维护	(461)
二、清洗前的准备工作及注意事项	(462)
三、具体零、部件的清洗	(462)
四、真空系统的维护	(464)
五、电气部分的维护	(465)

第十一章 扫描电子显微镜	(466)
第一节 概述	(466)
一、扫描电镜的特点	(466)
二、扫描电镜成象原理	(467)
第二节 仪器结构	(467)
一、电子光学镜筒	(467)
二、样品室及 X 射线光谱仪与 X 射线能谱仪	(469)
三、镜体真空抽气系统	(471)
四、信号检测、显示系统及电源系统	(471)
第三节 DX-3 (3A) 型扫描电镜	(472)
一、仪器特点及工作原理	(472)
二、仪器结构	(472)
三、电器部分原理及线路分析	(476)
四、DX-3 型扫描电镜的维护	(500)
五、仪器修理方法	(501)
第四节 日本 JSM-35 型扫描电镜	(509)
一、仪器电路部分线路分析	(509)
二、仪器常见故障及排除方法	(511)
第五节 日本日立 S-600 型扫描电镜	(513)
一、故障现象、检查顺序及处理方法	(513)
二、仪器常见故障及排除方法	(514)
第六节 英国 S ₄ -10 型扫描电子显微镜	(518)
一、典型故障检修分析	(518)
二、仪器常见故障及排除方法	(519)
第七节 X 射线能谱仪的修理	(521)
第八节 扫描电子显微镜的维护	(524)
一、真空系统	(524)
二、光学系统	(525)
第九节 扫描电镜检定方法	(527)
一、检定项目及其程序	(527)
二、检定方法及其技术指标	(527)
第十二章 分析仪器维修概述	(530)
第一节 分析仪器故障几率分析	(530)
一、仪器故障变迁曲线分析	(531)
二、仪器的可靠性及可靠度	(532)
三、提高仪器可靠性的措施	(533)
第二节 预防性维护	(533)
一、分析仪器常见故障类型	(533)
二、预防性维护的内容和方法	(536)
第三节 分析仪器的修理	(536)

一、修理工作中的注意事项.....	(536)
二、检修步骤.....	(537)
三、修理方法.....	(538)
第四节 分析仪器维修小经验 30 例	(542)
参考文献.....	(553)

第一章 分析仪器常用零部件

分析仪器常用的零部件很多，有基础零部件，诸如电阻、电容、电子管、晶体管、场效应管、可控硅等元器件；也有随着分析仪器的现代化而涌现出来的诸如运算放大器、信息编码和逻辑网络、微型计算机等重要零部件。前者由于比较简单，在此就省略不谈了，这里就只对后者作介绍。以后各章凡涉及到这些内容的就不复赘述了。

第一节 集成运算放大器

所谓集成运算放大器，就是使几个信号进行组合或实现某种数学运算的放大器，它是D/A和A/D转换器的重要组成部分。它的输出信号可以是输入信号的和、差、积、商、微分和积分等模拟运算的结果。其电路实际上就是一个具有较高开环增益并加上深度电压负反馈的直流放大器，它有较高的输入阻抗和较低的输出阻抗，有较小的失调和漂移，在信号处理时既精确又可靠。

一、运算放大器的符号与特性

图1-1示出了集成运算放大器的电路符号。它有两个输入端，即反相输入端和同相输入端；两个电源端，即正电源端和负电源端；一个输出端。

理想运放的输入电阻为无穷大，输出电阻为零，其等效电路如图1-2所示。

典型运放的电压传输特性示于图1-3中。

由1-3图可知，在线性区内

$$|U_0| < |E_c|$$

$$U_0 = (U_+ - U_-)$$

$$|U_+ - U_-| = \left| \frac{U_0}{A_0} \right| < \left| \frac{E_c}{A_c} \right|$$

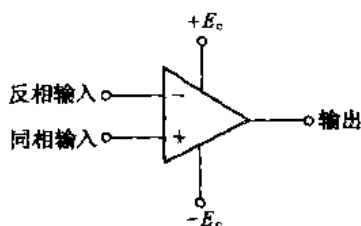


图 1-1 运算放大器的电路符号

式中， A_0 为运算放大器在线性区内的电压放大倍数。对于典型运放， A_0 通常在 $10^4 \sim 10^6$ 之间。因此，当电源电压 E_c 为10V或15V时，线性区的宽度将小于1mV。当 $A_0 = 10^6$ 时，线性区输入电压只有几微伏。所以在许多情况下， $A_0 = \infty$ 。

对于工作在线性区的运算放大器，可以得出下面两个结论：

论：

一是当输入电阻为无穷大时，+端、-端是不会向外电路索取任何电压的，所以输入电流为零。

二是因为工作在线性区，即 $|U_0| < |E_c|$ ， $A_0 = \infty$ ，所以， $U_+ - U_- = 0$ ，即 $U_+ = U_-$ 。

对于工作中不饱和区的运算放大器，一定有 $U_+ \neq U_-$ 。当 $U_+ > U_-$ 时，工作在正饱和区， $U_0 = +E_c$ ；当 $U_+ < U_-$ 时，工作在负饱和区， $U_0 = -E_c$ 。显然输入电流也等于零。

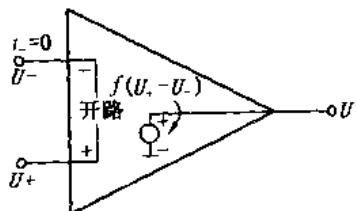


图 1-2 理想运放的电路模型

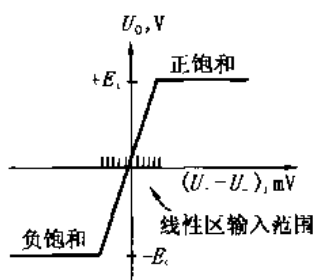


图 1-3 典型运放的电压传输特性

由图 1-3 可知,在线性区内,当 U_i 增加时, U_o 随之增加,两者变化方向相同,所以把标有 + 号的输入端叫做同相输入端;当 U_i 增加时, U_o 随之减小,两者变化方向相反,故将标有 - 号的输入端称为反相输入端。

二、运算放大器的电路结构

运算放大器主要由输入级、中间放大级和输出级三部分组成。常用的单元电路主要有差动电路、恒流源电路、达林顿复合电路、电平移动电路、射极输出电路和推挽输出电路等。现以 5G23 和 BG305 运放为例说明如下。为了与分立晶体管相区别,电路中的集成晶体管都不画圆圈。

1. 5G23 运放电路

图 1-4 是上海元件五厂的 5G23 中增益运放电路,它的工作原理如下:

(1) 输入级 BG_1 、 BG_2 组成差动输入级, BG_3 、 R_3 、 D_2 、 R_7 组成恒流源偏置电路, R_1 、 R_2 为集电极负载电阻, 1、8 可外接调零电位器, 其中心抽头接正电源 7 端。

(2) 中间放大级 由 BG_4 、 BG_5 、 BG_6 和 D_1 组成, BG_4 、 BG_5 以射极跟随方式把 BG_1 、 BG_2 的集电极电压分别加到 BG_6 的基极和发射极上。 D_1 产生一个位移电平, 使 BG_6 能正常工作, 主要由它提供中间放大增益。可见 BG_4 、 BG_5 起着隔离输入级的作用, BG_6 起着完成放大并把双端输入转换为单端输出的作用。 BG_6 的负载是复合管 BG_7 基极的输入阻抗, 当外接负载为 R_L 时, 它等于 $\beta_7 \beta_8 R_L$ 。

(3) 输出级 BG_7 、 BG_8 接成达林顿形式, 组成甲类射极输出电路, BG_9 为恒流源, R_{10} 为外接大电阻, 输出阻抗较大, 负载能力较差, 这是 5G23 的不足之处。

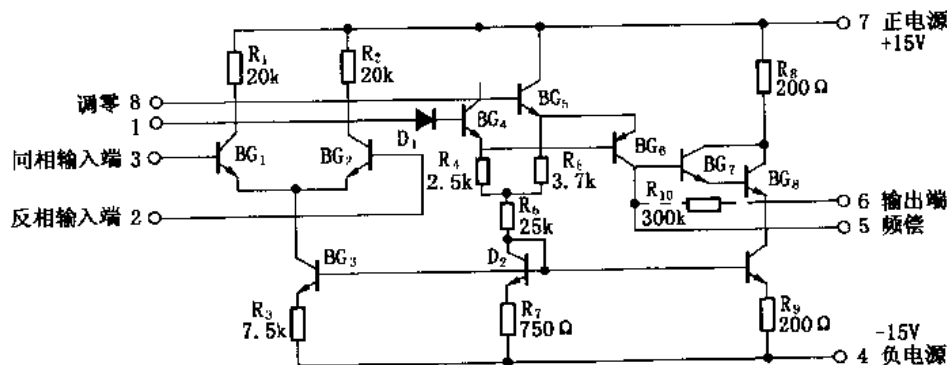


图 1-4 5G23 集成运放电路

2. BG305 集成运放电路

BG305 是北京无线电器件厂的产品, 其工作原理见图 1-5。

(1) 输入级 由达林顿复合管 BG_1 、 BG_2 组成了差动输入电路。复合管可以降低输入电流、提高输入阻抗、减小失调电流。该级的高值电阻采用外接方式, 例如在 3、12 两端接负载电阻 R_L 和调零电位器 W , 中心抽头接 11 端, 在 4、11 两端接偏置电阻 R_b 等。

(2) 中间放大器 由两级放大电路所组成。 BG_6 为第二放大级, BG_{16} 为其有源负载, 以提高电压增益。 BG_7 、 BG_8 为第三放大级, BG_{17} 为其有源负载, 它采用双集电极结构, 以减小工艺的分散性。 BG_{13} 、 BG_{14} 、 BG_{15} 和 BG_{16} 组成多端输出的恒流源电路, 分别给输入级和

两个中间放大级提供偏置电流。BG₃、BG₄起隔离作用，减小第二级对输入级的影响，它们与BG₅、BG₆结合还完成了双端输入到单端输出的转换任务。

(3) 输出级 由NPN管BG₉和横向PNP管BG₁₀组成了互补推挽输出电路，接成二极管形式的BG₁₁、BG₁₂可给输出管BG₉提供起始偏压，它们既有电平移动作用，又能对BG₉、BG₁₀的发射结起温度补偿的作用。

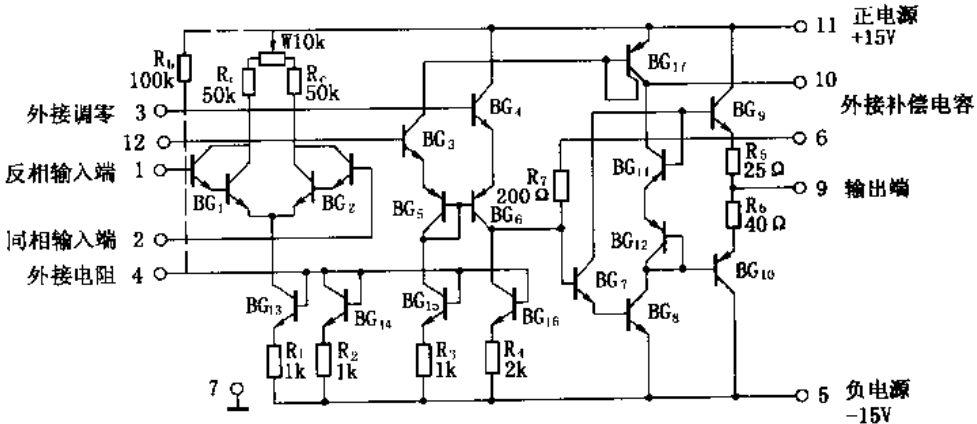


图 1-5 BG305 集成运放电路

三、集成运算放大器的主要参数

线性集成电路通常采用 TO-5 型管壳封装，有 10 根、12 根及 16 根引出线。识别管脚时可使管脚朝上，从定位点开始沿顺时针方向计数。下面就其主要参数进行介绍：

1. 开环电压增益 K_0

运算放大器不加反馈工作时称为开环状态，加反馈后称为闭环状态。开环电压增益是指集成运放不外接反馈电阻时的电压放大倍数，它反映电路的放大能力。

设 K_0 为开环电压增益，则

$$K_0 = \frac{\Delta U_{sc}}{\Delta U_{sr}}$$

式中 ΔU_{sc} ——输出电压增量；

ΔU_{sr} ——输入电压增量。

由于 K_0 可在很大范围内分布，所以用分贝表示更为方便，即

$$K_0 = 20 \lg \frac{\Delta U_{sc}}{\Delta U_{sr}}$$

电压放大 100 倍，相当于 40dB；电压放大 10000 倍，则相当于 80dB。BG301 的 K_0 为 60~66dB，BG305 的 K_0 为 94~106dB，BG312 的 K_0 大于 120dB。

2. 输入失调电压 U_{os}

当输入信号为零时输出电压不为零，称之为输出失调电压。把输出失调电压除以开环电压放大倍数，就换算成了输入失调电压 U_{os} 。或者说，为了使输出电压为零，在输入端需要加上直流补偿电压 U_{os} 。 U_{os} 是由于输入级的晶体管对称性不好以及集电极负载电阻匹配不良而引起的，一般为毫伏数量级。外接调零电位器可以抵消失调电压而获得零输出。

3. 输入失调电流 I_{os}

当输入信号为零时，两个输入端的静态基极电流之差就规定为输入失调电流 I_{os} 。

$$I_{os} = I_{b1} - I_{b2}$$

也就是说,为了使输出电压为零,在两个输入端应注入不同数值的静态电流,两者之差即为 I_{os} 。

4. 输入基极电流 I_b

当输入信号为零时,集成运放两输入端静态基极电流平均值就规定为输入基极电流 I_b ,其表达式为

$$I_b = \frac{1}{2}(I_{b1} + I_{b2})$$

当管子的电流放大系数 β 较小时, I_b 数值就大, I_b 通常为微安数量级。

5. 共模抑制比 CMRR

$$CMRR = \frac{K_d}{K_c}$$

用分贝表示,则可写为

$$CMRR = 20 \lg \frac{K_d}{K_c}$$

式中 K_d ——差动放大倍数;

K_c ——共模放大倍数。

运算放大器的 CMRR 越大越好,通常在 70~100dB 之间。

6. 输入阻抗 Z_{sr}

集成运放在开放状态有两种输入阻抗,一种是差动输入阻抗,它是两个输入端之间所呈现的阻抗。其定义为差动输入电压变化量与差动输入电流变化量之比。另一种是共模输入阻抗,它是一个输入端对地之间所呈现的阻抗,其定义为共模输入电压变化量与共模输入电流变化量之比。一般希望输入阻抗越大越好, BG305E 可达 $2M\Omega$, 8FG1 的差动输入阻抗约为 $20k\Omega$ 。

7. 输出阻抗 Z_{sc}

集成运放在开放状态及输入电压不变的情况下,输出电压变化量与输出电流变化量之比即为输出阻抗。人们希望它小些好, 5G23 的 Z_{sc} 为 $4k\Omega$ 。

8. 电源抑制比 PSRR

电源抑制比反映集成运放对电源电压变化的控制能力,或称电源灵敏度。它定义为电源电压改变 1V 时所引起的输入电压变化,即

$$PSRR = \left| \frac{\Delta U_{os}}{\Delta E} \right|$$

BG305 的 $PSRR^+$ 为 $50\mu V/V$, $PSRR^-$ 为 $25\mu V/V$,这是由于电源有正负之分。

9. 静态功耗 P_w

当输入为零且不接负载时,集成运放消耗的正负电源功率之和称为静态功耗。5G23 约为 $150mW$, 5G24 约为 $50mW$ 。

以上扼要介绍了集成运放的主要参数,另外还有共模输入电压范围、最大差动输入电压、温度漂移等指标,这里不再逐一介绍。总之,掌握了它的基本概念,在修理仪器时就可测量其参数并与正常值进行比较,找到损坏元件。这些参数可用集成电路测试仪测定,如北京无线电仪器厂的 QL1 型集成电路测试仪及济南无线电八厂制造的 JB-7706 型运算放大器

测试仪均可对集成运放进行测试。

四、集成运放在模拟运算电路中的应用

模拟运算是集成运放最基本的应用领域，它可对输入信号进行加、减、乘、除、微分、积分、对数、反对数等数学运算，下面就其在分析仪器中常用的电路扼要介绍如下：

1. 加法、减法及反相器

图 1-6 (a) 与 (b) 分别示出了反相和同相加法器的电路。

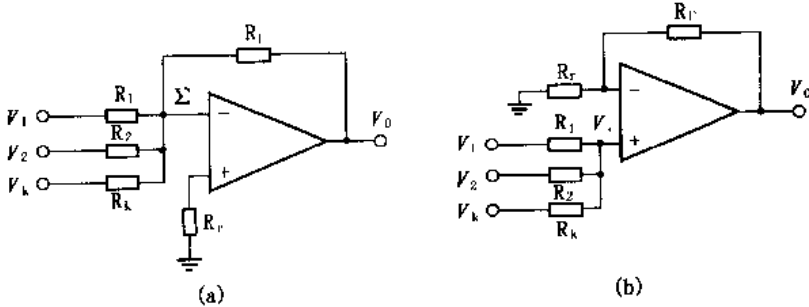


图 1-6 反相和同相加法器电路

图 1-6 (a) 为反相加法器，它的相加精度主要由反馈网络电阻及运放的开环差模增益而定。设运放反相端的输入电流为零，可以认为由 $V_1, \dots, V_k$ 所产生的所有输入电流分量均将在 Σ 点汇总后流入电阻 R_F ， Σ 点称为相加点。

$$V_0 = -R_F \sum_k \frac{V_k}{R_k}$$

式中， V_0 为输出电压。补偿电阻为

$$R_r = \left[\frac{1}{\sum_k \frac{1}{R_k}} \right] // R$$

图 1-6 (b) 为同相加法器。根据同相输入放大器的闭环增益为 $(1 + \frac{R_F}{R_1})$ ，设 $K=3$

$$V_+ = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3} V_1 + \frac{R_1 // R_3}{R_2 + R_1 // R_3} V_2 + \frac{R_1 // R_2}{R_3 + R_1 // R_2} V_3$$

$$V_0 = (1 + \frac{R_F}{R_1}) V_+ = (1 + \frac{R_F}{R_1}) \times (K_1 V_1 + K_2 V_2 + K_3 V_3)$$

在图 1-6 中，如令 $V_2, \dots, V_k = 0$ ，并取消 $R_2 \sim R_k$ ，同时令 $R_1 = R_F$ ，则电路变成单位增益反相器。

图 1-7 所示为减法器。它可以实现对两个输入电压的比例相减的功能。

减法器的一个重要用途是对两个输入电压中的共模分量进行理想抑制而保留它们的差模分量。

设在运放中除了有限的共模抑制比 $CMRR_0$ 外，其他指标都是理想的。如图 1-7 中的 $V_{in1} = V_{in2} = V_{am}$ ，可见，减法器的共模抑制比 $CMRR_M$ 为

$$CMRR_M = \frac{V_{am}}{V_0} \approx \frac{1}{2\delta - \frac{1}{CMRR_0}}$$