

現代分析儀器維修手冊

王化正 李玉生 編著

航空工業出版社

内 容 提 要

本书是在《常用分析仪器结构、使用与维修》一书出版后，应读者要求编写的。全书共分九章，现代分析仪器零部件、原子吸收光谱仪、红外光谱仪、紫外-可见分光光度计、质谱仪、现代液相色谱仪、透射电子显微镜、扫描电子显微镜和现代分析仪器维修概述。

本书可供科技人员和从事分析工作的同志使用，能帮助同志们熟悉这些仪器的结构、原理及使用方法，正确地掌握维护和修理方面的知识。也可供大专院校、从事仪器分析专业的人员参考。

现代分析仪器维修手册

王化正 李玉生 编著

航空工业出版社出版

(北京安定门外北苑大院2号)

新华书店总店科技发行所发行

航空工业出版社印刷厂印刷

1988年2月第1版 1988年2月第1次印刷

787×1092毫米1/16 印张：30.125

印数：1—8000 字数：750千字

统一书号：17448·12 定价：7.20元

ISBN 7-80046-021-5/TH·005

前 言

随着四化建设的飞速发展，各种各样的分析仪器应用越来越广泛。从海洋、地质等资源开发利用到冶金、石油、化工、机械、食品等工业生产部门；从生物医学、临床化验到环境保护、商业贸易以及社会法制，几乎涉及到国民经济、科学技术和社会生活的各个方面。

任何仪器在使用中都会发生这样或那样的故障，分析仪器也不例外。仪器的自动化程度越高，日常的维修工作就显得越重要。搞好仪器日常的维护和修理，是一件技术性很强的工作，也是提高仪器的利用率、延长其使用寿命的有效措施之一。

《常用分析仪器结构、使用与维修》一书出版后，深受广大读者欢迎。应读者的要求，我们又编写了《现代分析仪器维修手册》一书。全书共分九章，即现代分析仪器零部件、原子吸收光谱仪、红外光谱仪、紫外-可见分光光度计、质谱仪、现代液相色谱仪、透射电子显微镜、扫描电子显微镜和现代分析仪器维修概述。作者编写本书的目的，是为了使广大科技人员和分析工作者能更好地熟悉这些仪器的结构原理和使用方法，正确掌握维护和修理方面的知识，充分发挥现有分析仪器在国民经济各部门中的经济效益。本书也可作为大专院校从事仪器分析专业人员的重要参考书。

本书所选的仪器，基本上代表了我国目前使用较普通的仪器类型。在写法上，采用从剖析典型仪器的结构入手，根据使用人员容易忽略的问题，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。

本书在编写过程中，曾得到中国科学院学部委员、北京大学高小霞教授和中国科学院学部委员、南开大学申泮文教授的精心指导，中国仪器仪表学会分析仪器学会理事长朱良漪、常务理事武宝琦和路致林同志的热情鼓励和大力支持，以及北京分析仪器厂、北京科学院仪器厂、北京第二光学仪器厂、天津光学仪器厂、沈阳分析仪器厂、上海新跃仪表厂、成都仪器厂等单位有关同志的热情帮助，在此一併致谢。

由于我们水平有限，书中难免会有错漏之处。若蒙读者直言赐教，不胜感激之至。

编著者

一九八六年四月

目 录

第一章 现代分析仪器的零部件	(1)
第一节 集成运算放大器	(1)
一、集成运算放大器的电路结构	(1)
二、集成运算放大器的主要参数	(5)
三、集成运放在模拟运算电路中的应用	(6)
四、集成运放在模拟变换电路中的应用	(10)
五、集成运放在脉冲数字电路中的应用	(12)
第二节 信息编码与逻辑网络	(17)
一、数的表示与信息编码	(17)
二、逻辑网络	(18)
第三节 微型计算机	(27)
一、微处理器的发展简况	(27)
二、微型计算机主要部分介绍	(29)
三、计算机与分析仪器的接口	(33)
第二章 原子吸收光谱仪	(37)
第一节 概述	(37)
一、原子吸收光谱与原子发射光谱之间的关系	(37)
二、原子吸收分析法与分光光度法的比较	(39)
三、原子吸收分析法特点	(40)
四、常用名词术语	(40)
五、原子吸收光谱仪发展状况	(42)
第二节 日立170-50A型原子吸收光谱仪	(43)
一、仪器功能与结构	(43)
二、170-50A型原子吸收光谱仪的安装	(44)
三、仪器常见故障及排除方法	(45)
第三节 日立180-70型塞曼原子吸收光谱仪	(48)
一、偏振塞曼原子吸收光谱仪原理	(48)
二、仪器电路部分线路分析	(49)
三、180-70型仪器结构与规格	(51)
四、180-70型仪器的维修	(53)
五、180-70型仪器的修理	(54)
第四节 日立180-80型塞曼原子吸收光谱仪	(57)
一、180-80型仪器结构	(57)
二、仪器使用注意事项	(58)

三、测定仪器注意事项.....	(60)
四、仪器的安装.....	(61)
五、仪器的维护.....	(64)
六、仪器常见故障及排除方法.....	(67)
七、仪器的调整.....	(71)
第五节 原子吸收光谱仪的测试.....	(72)
一、测试条件的选择.....	(73)
二、主要测试项目.....	(74)
第三章 红外光谱仪.....	(78)
第一节 概述.....	(78)
一、红外光谱的特点.....	(78)
二、红外光谱区的划分.....	(79)
三、红外光谱的形成.....	(80)
四、红外光谱中常用名词术语.....	(82)
五、红外光谱的历史和现状.....	(83)
第二节 仪器结构.....	(84)
一、光学系统.....	(85)
二、红外分光光度计的电子线路.....	(91)
三、红外分光光度计的机械系统.....	(99)
第三节 WFD-7G型红外分光光度计.....	(100)
一、仪器工作原理.....	(101)
二、WFD-7G型仪器结构.....	(102)
三、光学系统的调整.....	(109)
四、电子系统的调整.....	(112)
五、仪器常见故障检查与维护.....	(115)
六、仪器常见故障及排除方法.....	(118)
第四节 580B型红外分光光度计.....	(121)
一、仪器特点.....	(121)
二、双光束电比率记录系统.....	(121)
三、P-E580B型仪器结构.....	(122)
四、仪器常见故障及排除方法.....	(124)
第五节 美国170SX傅里叶变换红外光谱仪.....	(126)
一、170SXFT-IR主要性能及特点.....	(126)
二、傅里叶变换红外光谱仪工作原理.....	(127)
三、170SX型红外光谱仪结构.....	(127)
四、170SXFT-IR与GC联用.....	(131)
五、170SXFT-IR的修理.....	(133)
第六节 美国200SXVFT-IR光谱仪.....	(134)
一、200SXVFT-IR光谱仪特点.....	(134)

二、仪器主要结构	(135)
三、仪器常见故障及排除方法	(136)
第四章 紫外-可见分光光度计	(137)
第一节 概述	(137)
一、紫外光谱的形成	(137)
二、常用名词术语	(137)
三、紫外分光光度计发展概况	(141)
第二节 紫外-可见分光光度计的结构	(141)
第三节 分光光度计的类型	(143)
一、单光束手动型分光光度计	(143)
二、双光束自动记录型紫外分光光度计	(143)
三、双波长分光光度计	(145)
四、微型电子计算机控制的自动记录型分光光度计	(146)
第四节 WFD-8B型紫外分光光度计	(148)
一、仪器结构	(148)
二、仪器电子系统原理及线路	(153)
三、仪器使用注意事项	(157)
四、仪器的调整与维护	(159)
五、仪器常见故障及排除方法	(160)
第五章 质谱仪	(164)
第一节 概述	(164)
一、质谱仪发展概况	(164)
二、质谱分析中常用名词术语	(165)
第二节 质谱仪的结构	(166)
一、进样系统	(167)
二、离子源	(168)
三、质量分析器	(170)
四、检测器和记录器	(175)
第三节 色谱-质谱联用仪器连接装置	(179)
一、气相色谱仪与质谱仪之间的接口	(180)
二、液相色谱仪与质谱仪之间的接口	(182)
第四节 计算机在质谱-色谱中的作用	(182)
一、计算机主要系统	(182)
二、计算机采集和处理质谱-色谱数据	(184)
三、有机质谱的解释	(189)
四、色谱-质谱-计算机的未来	(192)
第五节 LZL-203型四极质谱计	(193)
一、仪器工作原理	(193)
二、仪器结构	(196)

三、仪器线路分析	(198)
四、仪器使用注意事项	(207)
五、仪器常见故障判断方法	(207)
第六节 KYKY-7070E-HF色谱-质谱计	(209)
一、仪器结构与功能	(210)
二、仪器的维护	(218)
三、仪器常见故障及排除方法	(221)
第六章 现代液相色谱仪	(225)
第一节 概述	(225)
第二节 现代液相色谱仪的结构	(226)
一、输液系统	(226)
二、进样系统	(228)
三、分离系统	(228)
四、检测器	(228)
五、记录器和数据处理设备	(232)
第三节 SYZ-211型液相色谱仪	(232)
一、电动螺旋泵	(232)
二、进样器和色谱柱	(238)
三、恒温装置	(239)
四、紫外固定波长检测器	(240)
五、仪器使用注意事项	(246)
六、仪器的维护及检修	(247)
七、仪器常见故障及排除方法	(248)
第四节 SY5000型液相色谱仪	(251)
一、仪器结构	(251)
二、仪器的安装	(256)
三、仪器使用注意事项	(264)
四、仪器常见故障及排除方法	(266)
五、仪器常规修理方法	(271)
六、UV-1型紫外检测器	(278)
七、UV-100型紫外检测器	(283)
八、荧光检测器	(291)
第七章 透射电子显微镜	(299)
第一节 概述	(299)
一、发展简史	(299)
二、名词术语	(300)
第二节 仪器结构	(305)
一、电子光学系统(镜筒)	(305)
二、真空系统	(316)

三、电器系统	(318)
四、辅助系统	(326)
第三节 DXA ₄ -10型透射电子显微镜	(327)
一、DXA ₄ -10型透射电镜的结构分析	(327)
二、仪器的调整与使用方法	(337)
三、仪器常见故障及排除方法	(342)
第四节 日本电子JEM系列透射电镜	(355)
一、概述	(355)
二、修理方法	(356)
第五节 透射电镜的维护	(364)
一、镜筒部分的维护	(365)
二、清洗前的准备工作及一般注意事项	(365)
三、具体零、部件的清洗	(366)
四、真空系统的维护	(368)
五、电气部分的维护	(370)
第八章 扫描电子显微镜	(371)
第一节 概述	(371)
一、扫描电镜的特点	(371)
二、扫描电镜发展简史	(372)
三、扫描电镜成象原理	(372)
四、常用名词术语	(374)
第二节 仪器结构	(377)
一、电子光学镜筒	(377)
二、样品室及X射线光谱仪与X射线能谱仪	(379)
三、镜体真空抽气系统	(382)
四、信号检测、显示系统及电源系统	(382)
第三节 DX-3 (3A) 型扫描电镜	(382)
一、仪器特点及工作原理	(383)
二、仪器结构	(383)
三、电器部分原理及线路分析	(388)
四、DX-3型扫描电子显微镜的维护	(413)
五、仪器修理方法	(415)
第四节 日本电子JSM-35型扫描电子显微镜	(423)
一、电路部分线路分析	(424)
二、仪器常见故障及排除方法	(426)
第五节 日本日立S-600型扫描电镜	(429)
一、故障现象、检查顺序及处理方法	(429)
二、仪器常见故障及排除方法	(430)
第六节 英国S ₄ -10型扫描电子显微镜	(436)

一、典型故障检修方法	(436)
二、仪器常见故障及排除方法	(438)
第七节 X射线能谱仪的修理	(439)
第八节 扫描电子显微镜的维护	(443)
一、真空系统	(443)
二、光学系统	(444)
第九章 分析仪器维修概述	(447)
第一节 分析仪器故障几率分析	(447)
一、仪器故障变迁曲线分析	(450)
二、仪器的可靠性及可靠度	(451)
三、提高仪器可靠性的措施	(452)
第二节 预防性维护	(452)
一、分析仪器常见故障类型	(453)
二、预防性维护的内容和方法	(455)
第三节 分析仪器的修理	(456)
一、修理工作中应注意的事项	(456)
二、检修步骤	(457)
三、修理方法	(459)
第四节 分析仪器维修小经验20例	(462)

第一章 现代分析仪器的零部件

我们在《常用分析仪器结构、使用与维修》一书中，已将分析仪器常用的零部件作了部分介绍，这里将其未涉及到的、在现代分析仪器中用的较多的零部件做一补充。

众所周知，运算放大器是组成分析仪器的重要零部件；微型计算机是实现分析仪器智能化、自动化的一个主要组成部分，是分析仪器发展的方向。将这部分内容放在本章一并介绍，以后各章凡涉及到这些内容就不复赘述了。

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，也就是说，它的输出信号可以是输入信号的和、差、积、商、微分、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。它有较强的输入阻抗和较低的输出阻抗，有较小的失调和漂移，有一定的带宽和功率输出。

一、集成运算放大器的电路结构

集成运算放大器在结构上主要由输入级、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、达林顿复合管电路、电平移动电路、射极输出电路和推挽输出电路等。现以常用的四种电路介绍如下：

1. $\mu A702$ 集成运算电路

早期生产的比较简单的低增益运放电路有 $\mu A702$ 、BG301、5G922和8FC1等，它们除管脚编号可能有所不同外，电路结构完全相同。下面以 $\mu A702$ 为例加以介绍，其线路如图1-1所示。

它们都是由9个NPN型晶体管和11个硼扩散电阻组成。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，其工作原理如下：

(1) 输入级 BG₁和BG₂组成差动输入级，R₁、R₂为集电极电阻，两个基极分别为同相输入端和反相输入端。BG₅、R₅为恒流源电路，BG₆、R₆为恒流源的温度补偿电路。BG₆接成二极管形式，如果没有BG₆，当温度变化时，BG₅的发射极电位会发生变化而它的基极电位并不变化，这就引起I_{e5}改变，使恒流特性变差。加上BG₆后，BG₅、BG₆的基极电位也会随温度变化，结果使BG₅的发射结压降反而不变，从而使恒流特性更好。

(2) 中间放大级 BG₃、BG₄组成一级放大，BG₇组成一级射极跟随。BG₃、BG₄、R₃和R₄并不是通常的差动电路，它们的发射极都接地，没有公共射极电阻。两边的电路也并不对称，BG₃的集电极和基极之间有负反馈，放大倍数为1，只起倒相的作用。BG₁、BG₂的集电极输出电压加到BG₃、BG₄的基极上，BG₃把BG₁送来的信号倒相后也加到BG₄的基极上，于是增大了BG₄的放大倍数，而且完成了由双端输入转换为单端输出的任务。

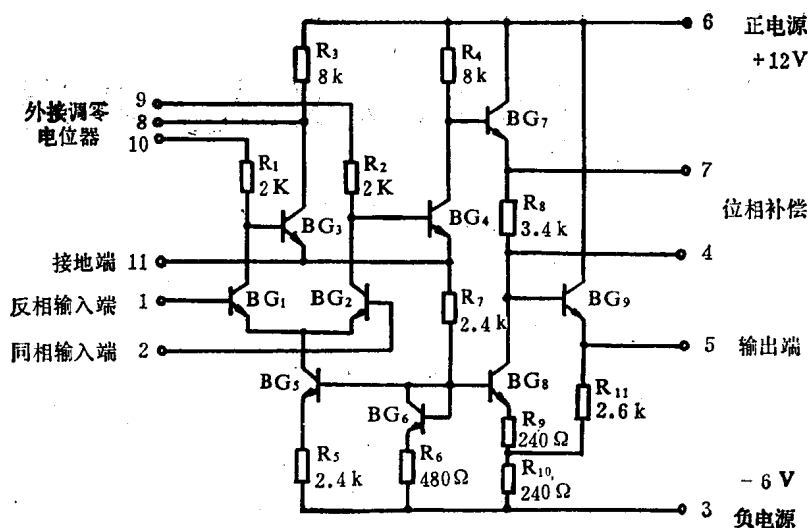


图 1-1 $\mu A702$ 集成运放电路

BG_7 、 R_8 为射极跟随器，由于它的输入阻抗高，因而不会对 BG_4 的放大作用产生不良影响。 BG_7 还起到电平移动的作用，因为 BG_4 的集电极总是某个正电平，经过 BG_7 、 R_8 降压后，就使 BG_9 的基极电平降低。只要 R_8 的数值合适，就可以使 BG_9 的静态输出为零，以满足整个放大器在零输入时具有零输出的要求。

(3) 输出级 由 BG_9 组成射极输出级，以降低整个放大器的输出阻抗。由于 R_{11} 接至 R_9 、 R_{10} 的中间，因此利用 R_{10} 的正反馈作用可使 BG_9 射极输出器的放大倍数大于1。因为 BG_9 的射极电流增大时流过 R_{10} 的电流也增大， BG_8 的射极电位提高而它的基极电位却不变，这就使流过 BG_8 、 BG_7 的电流减小。流过 R_8 的电流减小可使 BG_9 的基极电位提高，从而使 BG_9 的电流进一步增大，这就提高了 BG_9 的增益，弥补了因电平移动带来的增益损失。

图中，8、9和10三端可外接调零电位器（ $\mu A702$ 的8、9、10是接在一起的）。4、7两端可作适当的相位补偿，以消除运算放大器在加深度负反馈使用时可能出现的自激振荡。一种补偿方法是在4、7之间外接补偿电容，称为超前补偿；另一种方法是在4、11之间外接RC串联网络，称为滞后补偿。实践证明，后者比较稳定。

2. $\mu A709$ 集成运放电路

$\mu A709(8FC_3、FC_3)$ 集成运放电路，是由 $\mu A702$ 改进后的中增益运算放大器，重点在于改善输出电路。在15个晶体管中，首次采用了横向PNP管（如 BG_9 ），即在硼扩散中同时形成两个P型区作发射区和集电区，它们是横向排列的而不是纵向堆积的。这就克服了集成PNP管的困难，对线性集成电路的发展起了很大的推动作用，图1-2是其电路图。

$\mu A709$ 集成运放电路工作原理：

(1) 输入级 BG_1 、 BG_2 组成差动输入级， BB_{10} 、 BG_{11} 为恒流源偏置电路， R_1 、 R_2 为集电极电阻。对 $8FC_3$ 、 FC_3 来说，在 R_1 、 R_2 和 BG_7 发射极处可外接调零电位器（为9、10、11端）。输入级的集电极电流很小，仅 $20\mu A$ 左右，基极电流更小，从而保证了整个运放的高输入阻抗。

(2) 中间放大级 BG_3 、 BG_5 、 BG_4 、 BG_8 分别接成达林顿形式的复合管作第二级放大，

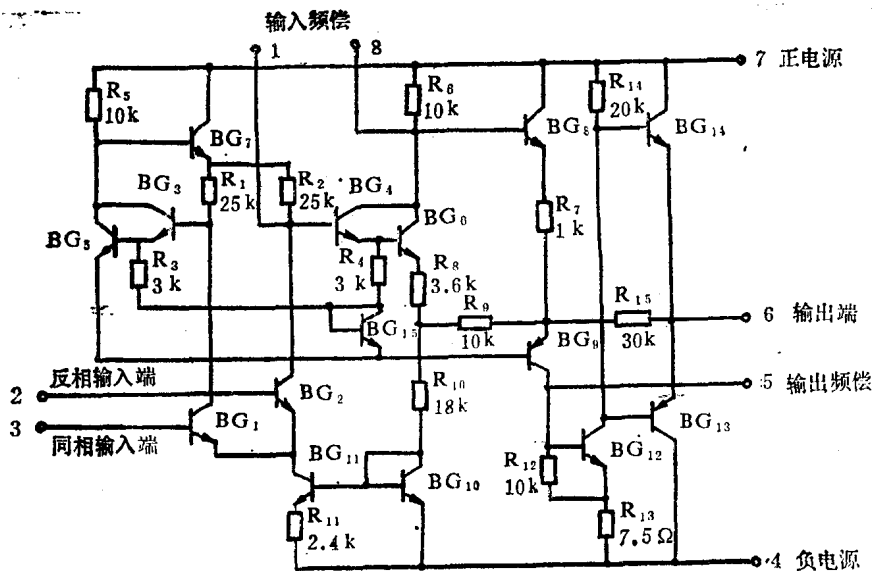


图 1-2 $\mu A709$ 集成运放电路

由于它们的输入阻抗较高，因而对输入级的负载效应很小。为了避免在高温或空载时失控，接入 R_3 、 R_4 和二极管形式的 BG_{15} ，给 BG_5 、 BG_6 的反向漏电流提供了温度稳定性好的通路。

经过 BG_3 、 BG_5 倒相后的信号由 BG_7 、 R_2 加到 BG_4 、 BG_6 的基极进行放大。 BG_8 、 R_7 和 BG_9 为电平移动级，它把 BG_4 、 BG_6 集电极高电平降至 BG_{12} 基极低电平，以满足零输入、零输出的要求。此外，通过 BG_9 实现了中间级由双端输入变换为单端输出的任务。 BG_9 集电极电压加至 BG_{12} 的基极上，经 BG_{12} 放大加至输出级。

(3) 输出级 BG_{13} 、 BG_{14} 组成了乙类推挽射极输出电路。由于满足了零输入、零输出的要求，所以两管的静态工作电流为零，可使效率大大提高。有信号输入时，NPN管 BG_{14} 在正半周工作，PNP管 BG_{13} 在负半周工作。为了减小两管换班时产生交越失真，加入了负反馈电阻 R_{15} ，可使这种失真大大减小且稳定了输出级的增益。总之， $\mu A709$ 的性能比 $\mu A702$ 有了很多改善。

3. 5G23集成运放电路

图1-3是上海元件五厂的5G23中增益运放电路，它结构简单、使用方便，其性能与 μA

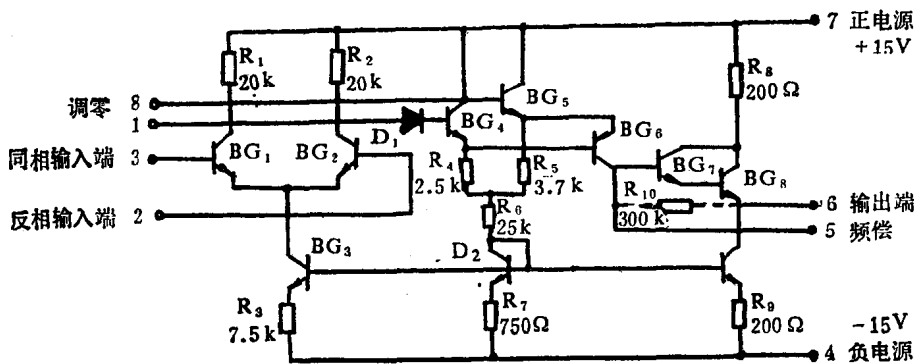


图 1-3 5G23集成运放电路

709相仿。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_2 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_{fz} 时，它等于 $\beta_7\beta_8R_{fz}$ 。

(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。

4. BG305集成运放电路

北京无线电器件厂生产的高增益运算放大器BG305电路，示于图1-4中，其工作原理简述如下：

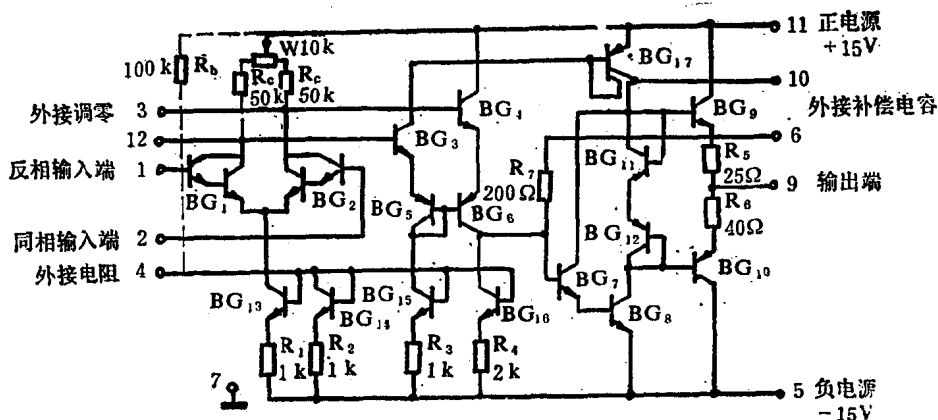


图 1-4 BG305集成运放电路

(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_c 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。 BG_3 、 BG_4 起隔离作用，减小第二级对输入级的影响，它们与 BG_5 、 BG_6 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 BG_9 和横向PNP管 BG_{10} 组成了互补推挽输出电路，接成二极管形式的 BG_{11} 、 BG_{12} 可给输出管 BG_9 提供起始偏压，它们既有电平移动作用，又能对 BG_9 、 BG_{10} 的发射结起温度补偿的作用。

二、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_o

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_o 为开环电压增益，则

$$K_o = \frac{\Delta U_{sc}}{\Delta U_{sr}} \quad (1-1)$$

式中

ΔU_{sc} —输出电压增量

ΔU_{sr} —输入电压增量

由于 K_o 可在很大范围内分布，所以用分贝表示更为方便：

$$K_o = 20 \log \frac{\Delta U_{sc}}{\Delta U_{sr}} \quad (1-2)$$

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

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，在输入端需要加上的直流补偿电压 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} 。

$$I_{os} = I_{b1} - I_{b2} \quad (1-3)$$

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的平均值就规定为输入基极电流 I_b ，其表达式为：

$$I_b = \frac{1}{2} (I_{b1} + I_{b2}) \quad (1-4)$$

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

5. 共模抑制比CMRR

$$CMRR = \frac{K_d}{K_c} \quad (1-5)$$

用分贝表示，则可写为

$$CMRR = 20 \log \frac{k_d}{k_c} \quad (1-6)$$

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70~100分贝之间。

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, 8FC1的差动输入阻抗约为20K Ω 。

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 Ω 。

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抑制能力, 或称电源灵敏度。它定义为电源电压改变1V时所引起的输入失调电压的变化。

即
$$PSRR = \left| \frac{\Delta U_{os}}{\Delta E} \right| \quad (1-7)$$

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

当输入为零并且不接负载时, 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, 可测量其参数与正常值进行比较, 就可找到损坏元件。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。

三、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1-5 (a) 与 (b) 分别示出了反相和同相加法器的电路。

图中 (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 $V_1 \cdots V_k$ 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。

$$V_o = -R_F \sum_k \frac{V_k}{R_k} \quad (1-8)$$

式中 V_o 为输出电压, 补偿电阻 R_F 为:

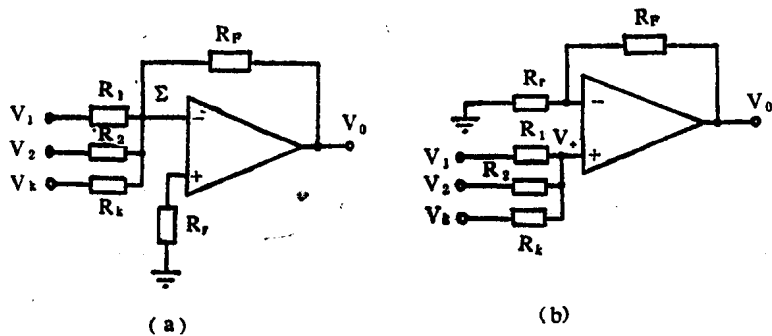


图 1-5 反相和同相加法器电路

$$R_r = \left(\frac{1}{\sum_k \frac{1}{R_k}} \right) // R_f \quad (1-9)$$

图1-5 (b) 为同相加法器。根据同相输入放大器的闭环增益为 $\left(1 + \frac{R_f}{R_r} \right)$ ，设 $K = 3$

$$\begin{aligned} V_+ &= \frac{R_2 // R_f}{R_1 + R_2 // R_f} V_1 + \frac{R_1 // R_f}{R_2 + R_1 // R_f} V_2 \\ &\quad + \frac{R_1 // R_2}{R_3 + R_1 // R_2} V_3 \\ V_o &= \left(1 + \frac{R_f}{R_r} \right) V_+ = \left(1 + \frac{R_f}{R_r} \right) \\ &\quad \times (K_1 V_1 + K_2 V_2 + K_3 V_3) \end{aligned} \quad (1-10)$$

在图1-5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 1-6 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。

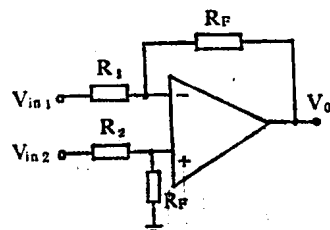


图 1-6 减法器电路

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 1-6 中的 $V_{in1} = V_{in2} = V_{am}$ ，可见，减法器的共模抑制比 $CMRR_M$ 为：

$$CMRR_M = \frac{V_{am}}{V_o} \approx \frac{1}{2\delta - \frac{1}{CMRR_0}} \quad (1-11)$$

如 $2\delta \gg \frac{1}{CMRR_0}$ 时，上式变为：

$$CMRR_M \approx \frac{1}{2\delta} \quad (1-12)$$

式中 δ 为失调量。

当电阻存在较大的失调误差时，减法器的 $CMRR_n$ 将主要由失调量 δ 决定，而不决定于运放的共模抑制比 $CMRR_0$ 。

2. 积分器

图1—7为积分器电路，由输入电阻 R 和积分电容 C 组成。电容 C 接在输出端与反相端之间，兼起反馈作用，故称反馈电容，要求它的漏电流要很小。

由于虚地端 $V_n \approx 0$ ，流入反相端的电流可以忽略，因此流过 R 的电流 I_R 基本上就是电容充电电流 I_c ，即 $I_c \approx I_R$ 。

$$I_R = \frac{V_{in} - V_n}{R} \approx \frac{V_{in}}{R}$$

$$I_c \approx \frac{V_{in}}{R}$$

积分电容充电时， V_c 与 I_c 按积分规律变化：

$$V_c = \frac{1}{C} \int i_c dt = \frac{1}{C} \int \frac{V_{in}}{R} dt$$

$$V_c = V_n - V_o \approx -V_o$$

$$V_o = - \frac{1}{RC} \int V_{in} dt \quad (1-13)$$

当输出电压与输入电压满足积分关系，且输入电压为直流电压，则

$$V_o = - \frac{1}{RC} V_{in} \cdot t \quad (1-14)$$

即输出电压为随时间线性上升的电压，利用这一特性可以做成锯齿波发生器。

3. 微分器

图1—8为微分器电路。由微分电容 C 和反馈电阻 R 组成。与积分器相比，正好把 RC 位置互相对调。

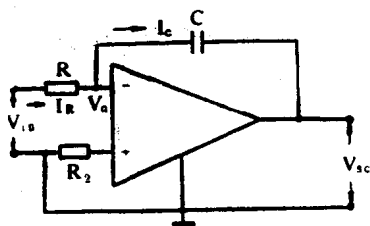


图 1-7 积分器电路

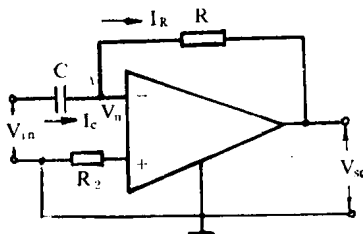


图 1-8 微分器电路

由于虚地端 $V_n \approx 0$ ，流入反相端的电流可以忽略，流过 C 的电流 I_c 基本上全部流过反馈电阻 R 形成 I_R ，即 $I_c \approx I_R$ 。

微分电容可把输入直流电压或阶跃电压变为尖峰脉冲， I_c 与 V_o 按微分规律变化：

$$I_c = C \frac{dV_c}{dt} = C \frac{dV_{in}}{dt} \approx I_R$$

又因 $V_R = V_n - V_o = -V_o = I_R \cdot R$