

常用测温仪表技术问答

潘其光 等编著

国防工业出版社

常用测温仪表技术 问 答

潘 其 光 等 编 著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要包括：自动平衡仪表用放大器、电子电位差计与电子平衡电桥、DWT型温度控制仪、TA系列温度调节器、XC系列动圈仪表、温度灯与光学高温计等常用测温仪表。本书以问答的形式对上述仪表的原理、构造、检定、修理等技术问题作了比较深入的论述。

本书可供从事温度计量人员、仪表检修人员和仪表使用维护人员查用，也可供从事本专业的科技人员和大专学校学生参考。

常用测温仪表技术问答

潘其光 等编著

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张13 292千字

1989年7月第一版 1989年7月第一次印刷 印数：0,001—3,500册

ISBN 7-118-00286-0/TH20 定价：6.70元

前 言

随着我国社会主义四个现代化建设事业的迅速发展, 各类温度测量仪表已日益广泛用于工业、农业、国防和科研各部门。为了适应从事温度测量仪表检定、修理、使用和维护人员提高专业技术水平的需要, 我们根据多年的工作实践, 参考了有关资料, 编写了本书。

本书内容涉及自动平衡仪表用放大器, 电子电位差计与电子平衡电桥, DWT 型温度控制仪, TA 系列温度调节器, XC 系列动圈仪表, 温度灯与光学高温计等常用测温仪表的原理、构造、检定、维修等技术问题。其中对自动平衡仪表用放大器的讨论最多, 可作为《电子电位差计原理及维修》一书(国防工业出版社 1975 年 10 月第二版)的补充读物。本书在内容上注重知识性和实用性, 对使用、检修叙述比较深入和详尽, 并总结了大量实践经验, 对从事本专业的仪表检定、维修人员有一定的参考价值。

参加本书编写的人员有潘其光、黄国华、王有章、李吉林、顾高裕同志。全书由潘其光、黄国华两同志审订。本书编写过程中得到马永豪、严开元同志的协助, 在此表示感谢!

由于编著者水平所限, 难免有不妥和错误之处, 欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

(一) 自动平衡仪表用放大器

[1]	什么是自动平衡仪表放大器的不灵敏区? 它对仪表有什么影响?	1
[2]	什么是自动平衡仪表放大器的不平衡电压? 它对仪表有什么影响?	1
[3]	什么是自动平衡仪表放大器的零点漂移? 它对仪表有什么影响?	2
[4]	什么是自动平衡仪表放大器的输入阻抗? 它对仪表有什么影响?	2
[5]	什么是自动平衡仪表放大器的干扰电压? 它对仪表有什么影响?	4
[6]	干扰对信号有什么影响? 它是怎样影响信号的?	4
[7]	自动平衡仪表放大器应具有哪些抗干扰性能?	5
[8]	如何测定放大器抗外界磁、电干扰性能?	7
[9]	高温环境对 JF-12 型放大器和仪表的性能有什么影响?	9
[10]	什么是自动平衡仪表放大器的相移? 引起相移的因素有哪些? 相移对 仪表的工作性能有什么影响?	11
[11]	自动平衡仪表放大器的输入阻抗决定于哪些因素? 如何估算?	12
[12]	如何测试自动平衡仪表放大器的输入阻抗?	13
[13]	自动平衡仪表放大器抗干扰性能决定于哪些因素?	14
[14]	在工业检测仪表放大器中为什么要采用三重屏蔽? 三重屏蔽又如何 起作用?	16
[15]	自动平衡仪表放大器的屏蔽“P”和公共线“E”之间用电阻 R 和电 容 C 连接起什么作用? “P”和“E”能否直接相接? 为什么?	17
[16]	与常闭式机械斩波器相比, 常开式机械斩波器的噪声大多少?	19
[17]	常开式与常闭式两种斩波器相比, 哪一种的输入阻抗较高? 高多少?	20
[18]	如何计算机械斩波器变换信号的相移角? 怎样校正?	22
[19]	机械斩波器的接触率和不对称度超差如何调整? 当波形有毛刺和断裂 现象时如何进行修复?	23
[20]	如何使场效应管斩波器获得低的导通率? 怎样计算其导通率?	25
[21]	如何测试场效应管斩波器的导通率和不对称度?	28
[22]	应选什么样的场效应管作斩波器用?	28
[23]	自动平衡仪表放大器中的输入变压器具有哪些功能?	29
[24]	自动平衡仪表放大器中的输入变压器应选用什么样的铁芯材料? 如何 处理? 工艺过程对铁芯的导磁性能有什么影响?	30
[25]	自动平衡仪表放大器中的输入变压器的结构有什么特点?	31
[26]	JF-12B(C) 型放大器的电路有什么特点? 各功能元件起什么作用?	32
[27]	JF-12D(E) 型放大器与 JF-12B(C) 型放大器有什么区别?	34

- [28] JF-69 型放大器与 JF-12B(C) 型放大器有什么区别?36
- [29] JF-12C-CS 型放大器与 JF-12B(C) 型放大器有什么区别?36
- [30] JF-12F(G) 型晶体管放大器与 JF-12B(C) 型放大器有什么不同?39
- [31] JF-12F(G) 型集成运算放大器组装的放大器有什么特点? 各功能元件起什么作用?39
- [32] JF-32B(C) 型放大器配什么量程的仪表使用? 与 JF-12B(C) 型比较采用了哪些改进措施?41
- [33] 自动平衡仪表中的交流放大器与直流放大器有什么区别? 常用的交流放大器有哪几种型号?43
- [34] JF-12 型晶体管放大器的电压增益是多少? 如何估算?45
- [35] JF-12 型晶体管放大器的最大输出电压和最大输出功率分别为多少? 功率管集电极的效率为多少?47
- [36] 为什么 XC、XB 系列自动平衡仪表的可逆电机的控制绕组要并联电容? 用多大的电容合适?48
- [37] 自动平衡仪表中可逆电机的励磁电流与控制电流怎样实现 90° 的相角差?49
- [38] 如何根据放大器的不灵敏区来选择电压放大前置级管子的噪声指标?51
- [39] 为什么 β 值大的管子的噪声系数 NF 值较小?52
- [40] 为什么采用硅管的 JF-12 型放大器开机后过一段时间才有反应?54
- [41] 自动平衡仪表是如何调整放大器或输入信号使仪表具有良好的动态性能的?56
- [42] 怎样将配机械斩波器或光电斩波器的放大器改为配场效应管斩波器?58
- [43] 当 JF-12 型晶体管放大器加不进信号时如何检修?59
- [44] JF-12 型晶体管放大器中的变压器耦合功率级一般有哪些故障? 怎样检修?60
- [45] JF-12 型晶体管放大器中的阻容耦合功率级一般有哪些故障? 怎样检修?61
- [46] 单独测试 JF-12 型晶体管放大器的功率级时电流 I_{c1} 与 I_{c2} 对称, 但接上电压放大级后电流变为不对称, 原因是什么? 怎样调整?62
- [47] 怎样检修 JF-12 型晶体管放大器电压放大级的故障?62
- [48] 当给 JF-12 型晶体管放大器加入正负信号都不能控制可逆电机的转动方向时怎样检修?65
- [49] 当 JF-12 型晶体管放大器不平衡电压过高时, 如何检修?65
- [50] 当 JF-12 型晶体管放大器的不灵敏区过大时如何检修?66
- [51] 当 JF-12 型晶体管放大器的干扰电压过高时, 如何检修?67
- [52] 集成运算放大器组装的 JF-12F(G) 型放大器出故障时如何检修?68
- [53] JF 型放大器对各级晶体管的技术参数有什么要求? 可选什么型号的管子代用?69

(二) 电子电位差计与电子平衡电桥

- [54] 仪表添加记录墨水时要注意哪些问题?71
- [55] 如何使长图记录仪表的记录纸运转平稳可靠?72
- [56] 如何调整长图记录仪表的机械零点?73
- [57] 是否允许长图记录仪表的指针超越标尺的始、终端刻度线? 指针的上、
下位置怎样才算合适? 指针内端面与标尺的距离多大才算合理?73
- [58] 若电子电位差计或平衡电桥的指示不灵敏区超差, 应如何修理?74
- [59] 若电子电位差计或平衡电桥的阻尼特性不合格, 应如何修理?75
- [60] 电子电位差计或平衡电桥指示不准确, 是由哪些原因造成的?76
- [61] 小量程 ($\leq 5\text{mV}$) 电子电位差计的测量桥路是如何设计计算的?77
- [62] 当直流自动平衡电桥指示系统发生故障时, 应如何进行检修?80
- [63] 如何检修直流自动平衡电桥测量电路的故障?82
- [64] 对于交流自动平衡电桥指示系统的故障应如何排除?84
- [65] 无触点小型长图记录仪 (XWDS 型记录仪) 的工作原理是怎样的?85
- [66] 在 XWDS 型仪表中使用的旋转变压器的结构及性能如何?88
- [67] XWDS 型仪表的稳压电源为什么和一般记录仪的不同? 它的工作原
理是怎样的?89
- [68] XWDS 型仪表中的振荡器是如何工作的?91
- [69] XWDS 型仪表的测量电路如何使交变电压变成所需要的直流反馈
电压?91
- [70] XWDS 型无触点记录仪的放大器的工作原理是怎样的?93
- [71] XWDS 型无触点记录仪的抗干扰性能怎样? 在这种仪表中采取了哪
些抗干扰措施?97
- [72] DDZ-Ⅲ型记录仪和一般记录仪相比较有什么不同?98
- [73] DDZ-Ⅲ型记录仪的工作原理是怎样的?100
- [74] 在 DDZ-Ⅲ型记录仪的测量电路中如何得到刚好是 $1\sim 5\text{V}$ 的直流反
馈电压?103
- [75] DDZ-Ⅲ型记录仪的放大器的工作原理是怎样的?103
- [76] DDZ-Ⅲ型记录仪中的电压-频率转换电路在整机电路中起什么作
用? 它是怎样工作的?105
- [77] DDZ-Ⅲ型记录仪中的环形分配器是如何驱动步进电机转动的?106
- [78] TF-10 型调节放大器与 JF-12 型记录仪放大器比较有哪些不同之
处?109
- [79] 怎样制作 TF 型调节放大器测试仪?112
- [80] 怎样测定 TF 型调节放大器的主要技术指标?114
- [81] TF-10 型调节放大器干扰电压偏高如何检修?115
- [82] TF-10 型调节放大器不平衡电压偏高如何检修?116
- [83] TF-10 型调节放大器反向信号响应超差如何检修?116

- [84] TF-10 型调节放大器对各级晶体管的技术参数有什么要求? 可选什么型号的管子代用? 117
- [85] 怎样校验自动平衡仪表中的电动 PID 调节器? 117
- [86] 自动平衡仪表中的电动 PID 调节器的比例范围刻度误差过大时应如何检修? 120
- [87] 自动平衡仪表中电动 PID 调节器输出电流小的故障应如何检修? 120
- [88] 自动平衡仪表中电动 PID 调节器输出电流不稳定, 应如何检修? 121
- [89] 自动平衡仪表中电动 PID 调节器功率级的起始输出电流调不到 1mA, 应如何检修? 122
- [90] 电动 PID 调节器是怎样实现手动-自动跟踪的? 122
- [91] 电动 PID 调节器手动-自动跟踪性能不良应如何检修? 124

(三) DWT 型温度控制仪

- [92] DWT-702 型温度控制仪的毫伏定值器有哪些主要技术指标? 影响定值器精度的主要因素是什么? 125
- [93] DWT-702 型温度控制仪中微伏放大器的工作原理是怎样的? 127
- [94] DWT-702 型温度控制仪中采用变容二极管调制的 PID 调节器的工作原理是怎样的? 132
- [95] 怎样判定 DWT-702 型温度控制仪的工作性能是否正常? 136
- [96] DWT-702 型温度控制仪中的微伏放大器有哪些常见故障? 怎样检修? 138
- [97] DWT-702 型温度控制仪中的 PID 调节器有哪些常见故障? 怎样检修? 140

(四) TA 系列温度调节器

- [98] 怎样调试 TA 系列温度调节器中的毫伏定值器? 142
- [99] 怎样测试 TA 系列温度调节器中的毫伏放大器? 142
- [100] 怎样测试 TA 系列温度调节器中的微伏放大器? 143
- [101] 怎样测试 TA 系列温度调节器中的时间比例电路? 145
- [102] 怎样测试 TA 系列温度调节器中的等周期开关电路? 146
- [103] 怎样测试 TA-031 型温度调节器的主要技术性能? 146
- [104] 怎样测试 TA-091 型温度调节器的主要技术性能? 148
- [105] 怎样测试 TA-041 型温度调节器的主要技术性能? 149

(五) XC 系列动圈仪表

- [106] XC 系列动圈仪表有什么特点? 150
- [107] 动圈仪表为什么要设置热电偶断线保护电路? 这种电路是怎样起保护作用? 有哪些故障? 150
- [108] 为什么检定动圈式温度仪表必须采用毫伏发生器而检定电子电位差

计则可以不采用毫伏发生器?	152
[109] 对检定 XCT 型动圈仪表用的毫伏发生器的输出电阻有什么要求?	152
[110] 配热电偶的动圈仪表在现场使用状态下怎样测定它的外接电阻?	153
[111] 配热电阻的动圈仪表在现场使用时怎样测定它的外线电阻?	154
[112] 怎样改变 XC 系列配热电偶使用的动圈仪表的测量范围?	154
[113] 影响动圈仪表测量精度的因素有哪些?	155
[114] XC 系列动圈仪表在安装使用中如发现倾斜对示值变化的影响很大, 怎样进行检修?	156
[115] XC 系列动圈仪表在运行过程中, 张丝断裂, 应如何检修?	157
[116] 怎样绕制 XC 系列仪表的动圈?	158
[117] 动圈阻值为什么要进行温度补偿? 怎样实现温度补偿?	158
[118] 怎样焊接动圈仪表的张丝?	160
[119] XC 系列动圈仪表的测量指示部分修理后应达到哪些技术要求?	161
[120] XC 系列动圈仪表的不平衡电桥有哪些常见故障? 怎样检修?	163
[121] 怎样调试 XC 系列动圈仪表的位式调节器?	165
[122] XC 系列动圈仪表位式调节器出现失控现象, 应怎样进行检修?	166
[123] 带有位式调节作用的 XCT 型动圈仪表, 当控制不灵敏区过大时应怎 样进行检修?	167
[124] 怎样测定带时间比例调节作用的 XCT 型动圈仪表的设定误差、动 作周期和比例范围等三个技术指标?	168
[125] 带时间比例调节作用的 XCT 型动圈仪表有哪些常见故障? 怎样检 修?	169
[126] 怎样测试 XCT 型动圈仪表电流输出 PID 调节器?	172
[127] XCT 型动圈仪表电流输出 PID 调节器有哪些常见故障? 怎样检 修?	173

（六） 温度灯与光学高温计

[128] 标准温度灯的钨带有哪些技术要求?	175
[129] 为什么标准温度灯电源连接线的极性不能随意改变?	175
[130] 标准温度灯的误差来源有哪些?	176
[131] 光学高温计灯泡有什么特点?	177
[132] 光学高温计中的红色滤光片有什么作用?	179
[133] 光学高温计中的吸收玻璃有什么作用?	180
[134] 光学高温计高量程吸收玻璃减弱值 A 的计算与哪些因素有关?	181
[135] 工业光学高温计的基本误差及变差指标是怎样确定的?	182
[136] 影响光学高温计测量准确度的因素有哪些?	183
[137] 已知被测物体的 ϵ_λ 值, 怎样求取真实温度?	185
[138] 当不能确定被测物体的黑度系数 ϵ_λ 值时, 怎样使用光学高温计来测 得被测物体的真实温度?	187

【139】	工业光学高温计为什么在测量 900°C 以下温度时可以不加入红色滤光片?	188
【140】	怎样正确使用光学高温计?	188
【141】	国产 WGG2-201 型光学高温计有什么特点?	190
【142】	国产 WGG2-202 型光学高温计有什么特点?	191
【143】	国产 WGG 型光学高温计有什么特点?	193
【144】	国产 WGJ-01 型精密光学高温计有什么特点?	194

(一) 自动平衡仪表用放大器

〔1〕 什么是自动平衡仪表放大器的不灵敏区？它对仪表有什么影响？

若是在某个区间范围内的信号输进放大器经放大后仍不足以驱动可逆电机连续转动，那末这个区间就称为放大器的不灵敏区。不灵敏区可通过实测来确定。例如给放大器输进一定的信号，使放大器输出足够的功率，以激励可逆电机开始向一个方向连续转动。然后将信号逐渐减小，如减小到零可逆电机仍不反转，则将信号反相，继而逐渐增大信号，直至可逆电机开始朝另一个方向连续转动。这样使可逆电机正转和反转的两个输入信号数值的代数差，即为放大器的不灵敏区。

不灵敏区可通过实例来加以说明。比如：当加给放大器的输入信号为 $+5\mu\text{V}$ 时，可逆电机开始向顺时针方向连续转动；当输入信号达到 $-10\mu\text{V}$ 时，可逆电机开始向反时针方向连续转动。那末，其不灵敏区就是

$$5 - (-10) = 15(\mu\text{V})$$

这就是说，在大于 $-10\mu\text{V}$ 和小于 $+5\mu\text{V}$ 的这个区间内，所有信号电压输入放大器都不足以驱动可逆电机连续转动。

当然，这里所指的不灵敏区应该是放大器所能达到的最高灵敏度来说的。不灵敏区的大小决定放大器是否具有适配各种不同量程的仪表的通用性，同时直接关系着所配仪表的精度。另一方面，从仪表的量程数值与所要求的精度也可以确定放大器不灵敏区的大小。通常规定仪表量程的 $\pm 0.1\%$ 为放大器的最大不灵敏区。比如，当仪表的满量程为 10mV 时，要求配套放大器的不灵敏区为

$$10\text{mV} \times [0.1\% - (-0.1\%)] = 20\mu\text{V}$$

这样才能保证仪表达到 0.5% 的精度。

〔2〕 什么是自动平衡仪表放大器的不平衡电压？它对仪表有什么影响？

放大器的不平衡电压，实际上是放大器本身的工频干扰和来自外界的工频干扰在放大器内叠加后的总值。当这种干扰较大时，则即使输入信号为零也可能使可逆电机转动。在这种情况下，为了使可逆电机平衡下来，需要输入一定的信号，将工频干扰抵消。所输入的这个信号值就是不平衡电压。不平衡电压的测试方法与不灵敏区的测试方法相同，只是要用不同的计算公式。不平衡电压的计算公式可叙述为：使可逆电机正转与反转的两个输入信号电压值的代数差的二分之一。例如 $+5\mu\text{V}$ 信号使可逆电机正转， $-10\mu\text{V}$ 信号使可逆电机反转，那末，不平衡电压为

$$-\frac{1}{2}[5 + (-10)] = -2.5(\mu\text{V})$$

由此可见，不平衡电压值实际上处在不灵敏区的中点。例如放大器的指标中规定不平衡电压值不得大于 $15\mu\text{V}$ ，这就意味着不灵敏区的中点可在大于 $-15\mu\text{V}$ 而小于 $+15\mu\text{V}$

的区间内浮动。为什么要规定这样一个范围呢？请看下面的事实。

设有一台仪表原配放大器的不平衡电压为 $-25\mu\text{V}$ ，现更换另一台放大器，其不平衡电压为 $+30\mu\text{V}$ ，那末，你会发现这时仪表的指示值与标尺刻度就出现了 $55\mu\text{V}$ 的误差。这是什么原因？原来由于原配的放大器不平衡电压为 $-25\mu\text{V}$ ，配表时为了调整仪表的指示零点，人为地加上 $+25\mu\text{V}$ 电压与 $-25\mu\text{V}$ 的不平衡电压抵消，这样仪表的零点实际上不处于零位，而是在 $+25\mu\text{V}$ 的那一点上。换上新放大器后，新放大器已有 $+30\mu\text{V}$ 的不平衡电压，再加上原来垫在零位上的 $+25\mu\text{V}$ ，所以仪表就出现 $55\mu\text{V}$ 的指示误差。而且这个误差值可以平移，使每一点测量值都附加上这一误差。

显然，这是不允许的，仅仅换了放大器就破坏了仪表的精度，从而必须要重调仪表的零位，这对生产和维修都很不方便。如果规定放大器的不平衡电压不得超过 $15\mu\text{V}$ ，则更换放大器所带来的最大指示误差不过是 $30\mu\text{V}$ ，仍满足仪表0.5级的精度要求。象这样的放大器为 10mV 以上量程的仪表配套，在更换放大器时都无需重新调整仪表的零点而能保证仪表的精度。

〔3〕 什么是自动平衡仪表放大器的零点漂移？它对仪表有什么影响？

经过预热的放大器在运行过程中，可以每隔一段时间测出一个放大器的不平衡电压，这些不平衡电压的变化值称为零点漂移。零点漂移实际上是衡量放大器不平衡电压稳定性的指标。

零点漂移的测试方法：将放大器预热一小时后，测定放大器的一个不平衡电压值作为基准，以后每隔一段时间测得的每个不平衡电压值与基准值之差，就是放大器在该段时间内的零点漂移。例如：第一次测得的两个信号值为 $-10\mu\text{V}$ 和 $+5\mu\text{V}$ ，不平衡电压为 $-2.5\mu\text{V}$ ；第二次测定为 $-6\mu\text{V}$ 和 $+9\mu\text{V}$ ，即不平衡电压为 $+1.5\mu\text{V}$ 。如果两次测定的时间间隔为四小时，则可以说在这段时间内，放大器的零点漂移为

$$1.5 - (-2.5) = 4 (\mu\text{V})$$

即放大器的零点往正方向漂移了 $4\mu\text{V}$ 。但作为工业上使用的检测仪表，往往是不分昼夜连续运行，所以要求放大器从开始投入正常运行到出故障之前的整个工作寿命期间，其零点都几乎是稳定的，因此，这种放大器的零点漂移没有考虑时间因素的限制。

根据放大器不平衡电压对仪表的影响，对于已调校好的仪表，其放大器的零点漂移越大，就意味着仪表的示值越不稳定。精度越差。所以在放大器的指标中，规定其零点漂移应不超过 $5\mu\text{V}$ 。这样的放大器就能满足量程为 10mV 以上的仪表对指示值的稳定性和精确度的要求。

〔4〕 什么是自动平衡仪表放大器的输入阻抗？它对仪表有什么影响？

放大器的输入阻抗是衡量放大器吸收信号能力的一个指标，输入阻抗越高则吸收信号的能力越强。虽然显示仪表放大器没有直接定出这个指标的确切数值，但对与其匹配的信号源内阻却给出了限制的范围。放大器输入回路的等效电路如下页图所示。

根据电工原理的全电路欧姆定律，由图可算出实际输入到放大器的信号为

$$E_i = \frac{R_{i_n}}{R_s + R_L + R_i + R_{i_n}} E_s$$

而真正要放大的信号应是

$$E_d = \frac{R_s + R_L + R_f + R_{in}}{R_{in}} E_i$$

式中 R_s ——信号源内阻;

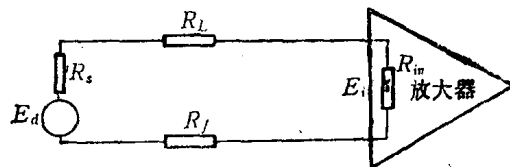
R_L ——滤波电阻;

R_f ——测量桥路电阻;

R_{in} ——放大器的输入阻抗的等效电阻;

E_i ——输进放大器的信号电压;

E_d ——被测信号与参比信号的偏差电压。



放大器输入回路的等效电路

设放大器的不平衡电压为零, 当输入信号为 E_d 时, 可逆电机正转; 当输入信号为 $-E_d$ 时, 可逆电机反转。根据不灵敏区的计算方法, 那末, 不灵敏区 V_e 应为

$$V_e = E_d - (-E_d) = 2E_d = \frac{2(R_s + R_L + R_f + R_{in})}{R_{in}} E_i$$

通常仪表的相对误差 δ 可表示为

$$\delta = \frac{V_e}{E_M} = \frac{2(R_s + R_L + R_f + R_{in})E_i}{R_{in}E_M}$$

式中 E_M ——仪表全量程电压值。

如果放大器的输入阻抗很高, 即

$$R_{in} \gg R_s + R_L + R_f$$

则

$$\delta \approx \frac{2E_i}{E_M}$$

设此时 δ 为 0.3%, 如果放大器的输入阻抗很低, 比如, 当 $R_{in} = R_s + R_L + R_f$ 时, 则误差变为

$$\delta = \frac{4E_i}{E_M} = 0.6\%$$

显然, 在仪表上这是不允许的。

从以上分析可知, 放大器输入阻抗的高低对仪表的精度有着直接的关系, 阻抗愈高则输进放大器的信号电压愈接近偏差电压, 在这种情况下能使仪表对不同的信号源保持一定的测量精度, 并从以下几个方面提高了仪表的工作性能。

1. 仪表对各种信号源有广泛的适应性, 不会因信号源内阻的差异而影响仪表的精度。

2. 提高仪表抗横向(端间)干扰性能。这是由于放大器有很高的输入阻抗, 可以在输入回路中设置滤波器, 从而具有抑制干扰的作用, 却又不降低仪表的精度。例如对电子管放大器而言, 其输入阻抗约为 300Ω , 当信号源内阻很小(接近于零)时, 加给仪表的信号为 $20\mu V$, 而输到放大器的信号也接近 $20\mu V$, 若在其输入回路加上一个 $6k\Omega$ 的滤波电阻, 那末实际加到放大器的信号不到 $1\mu V$, 即信号衰减了 95%。而对晶体管放大器来说, 其输入阻抗较高, 约为 $35k\Omega$, 若加同样的滤波电阻, 实际加到放大器的信号仍有 $17\mu V$, 比原来信号只减小 15%。如果原来的精度为 0.3%, 则加了滤波器之后, 精度只变化

$$0.3\% \times 15\% = 0.045\%$$

这一点变化对仪表精度的影响是微不足道的，可是抗横向干扰的性能却提高了将近400倍（以常用的滤波单元计算）。所以适当提高放大器的输入阻抗，可以提高放大器的抗横向干扰性能。

3. 对不同内阻的信号源，仪表的响应速度基本不变，即使在信号源内阻较高的情况下，仪表也不会出现过阻尼现象。

但是，并非放大器的阻抗越高越好。因为若要求过高的输入阻抗，必然导致技术复杂、造价过高，并且还有可能引进其他干扰等副作用。对于显示仪表放大器，通常要求输入阻抗为信号源内阻的20~30倍。

〔5〕 什么是自动平衡仪表放大器的干扰电压？它对仪表有什么影响？

所谓干扰电压，实质上是所有非50周的干扰信号经放大后在输出端测到的总电压。这种非工频干扰来源于几个方面，其中包括环境杂散干扰、放大器内部元件的噪声和供电电源的纹波等。这些干扰信号的频率不定，其幅值也是随机的。尽管其有效值已超过电机的起动电压，但不能驱动可逆电机连续转动，而电机的控制绕组还是有电流通过，只是不能与励磁绕组的电流形成 90° 的相角差，从而不能产生旋转磁场来激励电机连续转动，但干扰电流仍会使电机抖动、发热，甚至产生噪声。更严重的是当这些干扰大到一定程度时可能会淹没有用信号，直接影响仪表的精度。

干扰电压可以通过实测来测定。测试时先测出放大器的不平衡电压，然后给放大器输入与不平衡电压值相等的信号，于是放大器的工频干扰被抵消，电机达到平衡。此时用真空管电压表或晶体管电压表在放大器的输出端测得的电压值，就是放大器的干扰电压。对JF-12型放大器而言，其干扰电压应不大于1.5V。这个指标是根据仪表正常运行的要求，并结合大多数正常的放大器所呈现的干扰状态而规定的，折算到放大器的输入端噪声电压约 $3\mu\text{V}$ （以放大器的总增益为 5×10^5 计算）。对于要求不灵敏区为 $20\mu\text{V}$ 的放大器来说，折合输入端的信噪比大于3。显然，这样的噪声是不会淹没信号的。

〔6〕 干扰对信号有什么影响？它是怎样影响信号的？

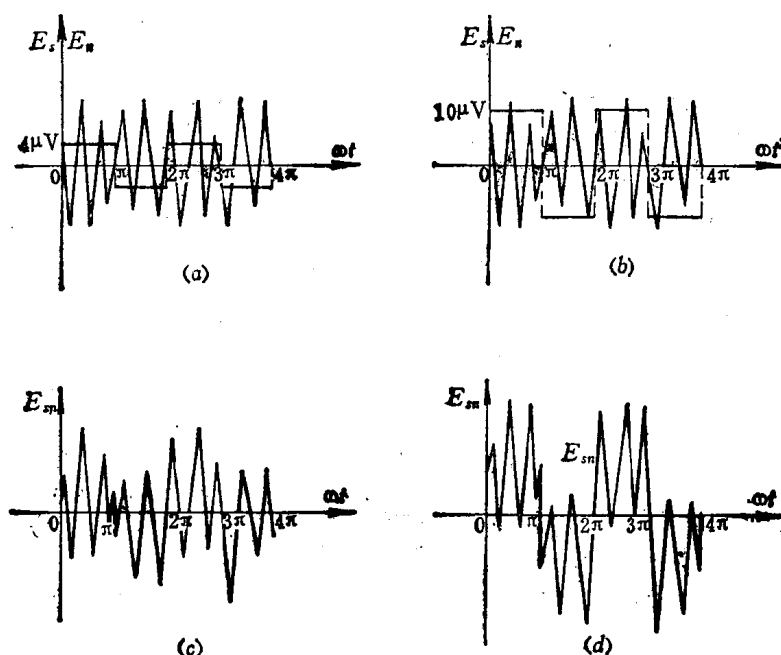
众所周知，干扰是随信号存在而存在的，哪里有信号，哪里就有干扰。而且当干扰大到与信号电平差不多时，就辨别不出哪是干扰、哪是信号，正如我们打开收音机当杂音很大时听不清广播内容的道理一样。类似于这样的情况可以说信号被干扰淹没了。

干扰淹没信号这种现象很普遍，在仪表放大器方面则表现为不灵敏区变大；在仪表本身则表现为测量精度变低。对于量程很小的仪表，干扰电压这个指标相应有更高的要求，例如配量程为1mV仪表的放大器，其干扰电压就限制在1V以下。

为了对干扰淹没信号这个客观事实有个确切的认识，我们根据信号叠加的原理，通过作图而将信号波形与干扰波形的同一瞬时值叠加起来，见本题插图所示。图(a)和图(b)分别表示 $4\mu\text{V}$ 和 $10\mu\text{V}$ 输入信号与随机的干扰波形重叠的情况。这里假设没有干扰时输入信号为 $4\mu\text{V}$ 可逆电机便开始转动，也就是说不灵敏区为 $8\mu\text{V}$ 。图(c)中表示 $4\mu\text{V}$ 的斩波信号与干扰合成的一种波形，也就是输入信号与干扰电压叠加后的波形。从图中可看出，这种波形与没有规律的随机干扰波形没有明显的区别，在工频的一

个周期内有正有负，且幅度相差不大。象这样的信号波形经放大后，不可能驱动工频为50Hz的可逆电机连续转动。这就相当于有用信号被干扰淹没了。如果将有用信号加大到 $10\mu\text{V}$ ，图(d)表示 $10\mu\text{V}$ 信号与干扰叠加后的波形，这种波形基本上可以区分出工频一个周期的正半周和负半周。虽然在上下半个周期内波形仍有起伏变化，可是在放大过程中经过信号通道内的容性或感性元件的滤波作用，波形会变得光滑而接近工频的正弦波，即使有明显的非线性畸变，仍能驱动可逆电机连续转动。不过，此时放大器的不灵敏区已经增大到 $20\mu\text{V}$ 了。

由此可见，过大的干扰或噪声会使放大器的不灵敏区变大，实质上是干扰淹没了部分信号的结果。



干扰和信号重叠与叠加后的波形

(a) $4\mu\text{V}$ 信号与干扰重叠的波形；(b) $10\mu\text{V}$ 信号与干扰重叠的波形；
(c) 图(a)的合成波形；(d) 图(b)的合成波形。

〔7〕 自动平衡仪表放大器应具有哪些抗干扰性能？

工业检测仪表通常都在生产现场使用，干扰源很多，常见的有如下几方面：

1. 高压强电流的动力电缆对信号线有静电感应和电磁感应干扰。
2. 高温炉绝缘电阻降低(如耐火砖在 1200°C 时的电阻率仅为常温下电阻率的0.03%左右)，引起漏电流干扰。
3. 电气开关、继电器和其他电力控制装置等会扰动电源产生低频或高频的脉冲干扰。
4. 大容量的变压器和电机因有漏磁通而引起电磁感应干扰。
5. 因工厂内的动力线负载不平衡或三相不同时接入而引起地电流干扰等。

这些干扰源对仪表都具有不同程度的干扰作用，因而妨碍了仪表的正常运行。而仪表的抗干扰性能主要取决于放大器的性能。为了确保仪表在各种环境条件下正常运行，放

大器必须具有如下几方面的抗干扰性能:

1. 抗外磁场干扰性能

在一定强度的外磁场作用下, 要求放大器的不灵敏区与不平衡电压变化不超过规定的数值。这些数值是根据仪表的抗外磁场指标来确定的。例如电量程小于20mV的电子电位差计在5 Oe外磁场的作用下, 指示值允许改变不超过电量程的1.0%, 以10mV量程计算即100 μ V。由于放大器密封在有磁屏蔽效果的仪表外壳内, 磁场强度有所减弱, 根据测试, 仪表内仍有约2 Oe的磁场强度, 部件应为整机留有充分的临界余量, 故要求放大器在2 Oe工频的外磁场作用下, 其不平衡电压变化不超过60 μ V, 不灵敏区变化不超过20 μ V。

通常在交变工频的外磁场作用下, 若感生的干扰是在斩波之前, 则50Hz的干扰被调制成100Hz。此时感生干扰会使放大器的不灵敏区增大; 若感生的干扰在斩波之后引入放大器, 则50Hz干扰直接对可逆电机起作用, 这时必须人为地加入信号与之抵消, 电机才能平衡, 所以表现为不平衡电压变高。

由于放大器在斩波器之前的导线容易做到紧绞致密, 受外界磁场的影响较小, 而在斩波器之后的电路, 无论输入变压器、印刷板或连线都必须占一定的空间, 尽管已加了一些磁屏蔽(如输入变压器的外壳), 但仍不能十分有效地抑制感应干扰。所以, 在外磁场作用下放大器的不平衡电压的变化较其不灵敏区的变化显著得多。

2. 抗横向干扰性能

横向干扰又称“端间干扰”或“串模干扰”。这种干扰实质上是指放大器的两个输入端叠加上一个工频的干扰电压, 在此干扰电压的作用下放大器的不灵敏区与不平衡电压的变化量不超过规定的数值。而这些数值是根据仪表抗同类型干扰所规定的指标折算过来的。比如电量程为10mV的电子电位差计, 以百分之百的电量程的工频干扰电压作用于其输入端, 要求其指示值的变化量不超过0.5%, 指示不灵敏区的变化量不超过0.4%, 折算到放大器的指标即要求其不平衡电压的变化量不超过50 μ V, 不灵敏区的变化量不超过40 μ V。为了让仪表有充分的临界余量, 规定在等量的工频干扰作用下放大器的不平衡电压变化不得超过30 μ V, 而不灵敏区变化不得超过20 μ V。

此外, 还有直流端间干扰和高频瞬时端间干扰。前者是由于输入回路中不同材料的接触热电势和化学电势引起的, 这种直流端间干扰通常在环境温度变化时反映为温度漂移, 在平时表现为不平衡电压偏高, 这些情况都有指标限制, 不必另设单项指标; 后者是由于同一馈电线的其他设备的高频脉冲干扰, 通过馈电线加到放大器的输入端。这种干扰对电量程大的仪表影响不大, 但对小量程仪表的影响不容忽视, 因为小量程仪表的放大器灵敏度很高, 只要引入很小的干扰就有反应, 在仪表上表现为指针瞬时摆动, 这样往往破坏记录结果的真实性。为了防止这种干扰, 可在仪表的电源开关之前设置低通滤波器, 或者将仪表馈电线与其他动力线隔开。此外为使放大器本身具有抑制高频干扰的性能, 通常在放大器的输入端并联电容(JF-12型放大器输入变压器的次级绕组并联的电容就有这种作用)。

3. 抗纵向干扰性能

纵向干扰也称“对地干扰”或“共模干扰”, 表现为放大器的两个输入端同时对地存在的形式、大小和变化均相同的干扰电压或干扰电流。通常是由于放大器输入回路的对

地绝缘电阻和分布电容引入的,通过放大器输入回路的电阻,使纵向干扰变为横向干扰而起作用。虽然对于某一干扰源来说可能引入的干扰很小,可是在各种各样的干扰源同时对放大器起作用的情况下,干扰电压有时高达相当于仪表量程的数千倍,甚至数万倍。况且这类干扰到处都存在,稍不注意就会引入仪表或放大器。例如我们检测放大器,是将放大器正放(电压板平行地靠近桌面)还是反放(电压板朝上),效果就不一样。正放时显得干扰大、不平衡电压高,这是因为电压板靠桌面太近,通过增大了的分布电容与“地”耦合,在电压放大的前置级引进了干扰。由此可见,纵向干扰比横向干扰更为普遍,要求放大器本身对这类干扰有较强的抵抗性能。

以JF-12型放大器为例,当输入端与地之间加入工频100V有效值的对地干扰时,放大器的不平衡电压变化应不超过30μV、不灵敏区变化应不超过20μV。这指标也是根据仪表抗同类干扰的指标而定的,只是仪表的分布电容更大更难控制,所以要求放大器具有比所配套的显示仪表高一倍的抗纵向干扰的能力。

如果斩波器的接触率和输入变压器的初级绕组都很对称,那末在斩波器之前引入的工频干扰主要影响放大器的不灵敏区,而在斩波器之后引入的工频干扰主要影响放大器的不平衡电压。

〔8〕 如何测定放大器抗外界磁、电干扰性能?

仪表能否在恶劣的环境下正常运行并保持一定的精度,关键在于其所用放大器抗干扰的性能,而这种性能可以通过实测来确定。下面介绍三种抗干扰性能的测定方法。

1. 抗外磁场干扰性能的测定

测试放大器抗外磁场干扰的原理如本题插图1所示。为作好这个试验,应有一个产生均匀而又准确的磁场线圈。这种线圈一般都要自制。根据电磁原理,电流 I 通过半径为 R 而长度为 l 的 n 匝线圈,其中心位置的磁场强度为

$$H = \frac{nI}{\sqrt{4R^2 + l^2}}$$

根据线圈内磁场特性,线圈 l 越长,线圈内的均匀磁场空间越大,所以线圈的长度可以由被测物的体积大小来决定,一般取 l 为被测物最大线度的两倍左右(若有可能当然越大越好)。如JF型放大器的最大线度为140mm,取 $l = 1/4\text{m}$ 。而半径 R 也可大可小,只要能容下被测对象而且制作方便即可。如取 $R = 1/2\text{m}$,则得

$$H = \frac{nI}{\sqrt{4R^2 + l^2}} = \frac{nI}{\sqrt{4R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2}} = \frac{nI}{2R\sqrt{\frac{17}{16}}} \approx \frac{nI}{2R} \quad (\text{安匝/米})$$

而

$$1 \text{ 安匝/米} = 4\pi/10^3 \text{ Oe}$$

即

$$1 \text{ Oe} = \frac{10^3}{4\pi} \text{ 安匝/米} \approx 80 \text{ 安匝/米}$$

如电流为1A,要获得2Oe的中心磁场强度,线圈的直径应有1m、长度为1/4m。圈数为160匝。将160匝分为两个80匝的线圈,造成如本题插图1中的外磁场线圈的形状。线圈可绕 X 轴作360°转动;支持放大器的绝缘支架固定在两线圈的中心位置,且能绕 Y 轴作360°旋转。