

电机工程手册

第45篇 显示仪表

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

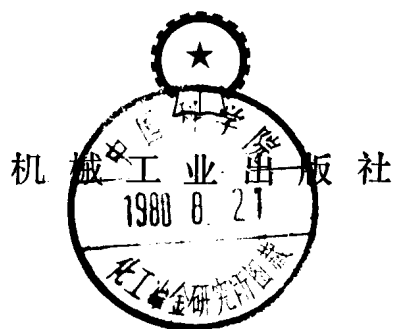
73.21073
210
:45

电机工程手册

第45篇 显示仪表

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册
编辑委员会



本篇主要介绍生产过程自动控制系统中常用的显示仪表。书中分别对动圈指示调节仪表、自动平衡显示仪表、数字显示仪表的用途、分类、结构、原理、应用等作了较详细的叙述。对于图象显示器(CRT显示器)也专列一章作了原理性介绍。

电机工程手册

第45篇 显示仪表

(试用本)

上海工业自动化仪表研究所 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 4 3/4·字数 130 千字

1980年2月天津第一版·1980年2月天津第一次印刷

印数 00,001—38,000·定价 0.40 元

*

统一书号: 15033·4637

编 辑 说 明

(一)我国自建国以来,机械工业在毛主席的革命路线指引下,贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验,同时采用国外先进技术,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二)这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。

(三)这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的理论基础,常用计算公式,数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点。在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四)参加这两部手册编写工作的,有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员,更为广泛。许多地区的科技交流部门,为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、

审查、定稿各个环节中,广泛征求意见,发挥了广大群众的智慧和力量。

(五)为了使手册早日与读者见面,广泛征求意见,先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验,试用本在内容和形式方面,一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证,提出批评和建议,以便今后出版合订本时加以修订。

(六)本篇是《电机工程手册》第45篇,由上海工业自动化仪表研究所主编。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助,在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明	
常用符号表	
概论	45-1

第1章 动圈指示调节仪表

1 动圈式指示仪	45-3
1.1 动圈测量机构	45-3
1.2 测量电路	45-3
2 动圈式指示调节仪	45-6
2.1 二位式指示调节仪	45-6
2.2 时间比例式指示调节仪	45-8
2.3 电流输出PID式指示调节仪	45-10
2.4 时间程序控制式指示调节仪	45-11
3 动圈式仪表使用注意事项	45-11

第2章 自动平衡显示仪表

1 概 述	45-12
1.1 自动平衡显示仪表的发展概况	45-12
1.2 自衡仪表的原理和特点	45-12
1.3 自衡仪表的分类和命名	45-13
2 工作原理与测量电路计算	45-13
2.1 工作原理	45-13
2.2 测量电路计算	45-16
3 系列、品种	45-18
3.1 指示仪	45-19
3.2 记录仪	45-21
4 自衡仪表的主要部件	45-24
4.1 测量系统	45-24
4.2 放大器	45-24
4.3 仪表用电机	45-26
4.4 指示记录机构	45-30
5 附加装置和附加调节器	45-30
5.1 附加装置	45-31
5.2 附加调节器	45-34
6 仪表的配套应用	45-37

6.1 在温度方面的配套应用	45-37
6.2 在压力、差压方面的配套应用	45-38
6.3 在流量方面的配套应用	45-38
6.4 在液位方面的配套应用	45-40
6.5 在调节方面的配套应用	45-40

第3章 数字显示仪表

1 概 述	45-41
1.1 数字显示仪表的用途和分类	45-41
1.2 数字显示仪表的基本原理和组成	45-41
1.3 数字显示和模拟显示的比较	45-41
1.4 工业用和实验室用数字式仪表的区别	45-42
2 模-数转换器	45-42
2.1 数-模转换器	45-42
2.2 阶梯波式V-D转换器	45-44
2.3 逐位比较式V-D转换器	45-45
2.4 锯齿波式V-D转换器	45-45
2.5 双斜率式V-D转换器	45-45
2.6 一般电压频率转换式V-D转换器	45-46
3 线性化器	45-46
3.1 模拟线性化	45-47
3.2 模-数转换线性化	45-48
3.3 数字线性化	45-49
4 计数显示	45-50
4.1 计数器	45-50
4.2 寄存器	45-54
4.3 译码器	45-54
4.4 显示器	45-55
5 采样电路和测量控制	45-56
5.1 采样电路	45-56
5.2 测量控制	45-56
6 数字显示仪表的应用	45-57
6.1 配比调节中的应用	45-57
6.2 在多点温度测量、监视中的应用	45-58
6.3 在计数控制中的应用	45-58

第4章 图象显示器

1 概 述.....	45-59	2.1 字符产生器	45-60
1.1 数字式图象显示器概况	45-59	2.2 矢量产生器	45-62
1.2 视频式图象显示器概况	45-59	2.3 显示处理器	45-63
2 数字式图象显示器	45-60	2.4 数据输入装置	45-64
		3 视频式图象显示器.....	45-66
		4 应用	45-69

常用符号表

C	冷端温度变化 Δt 内的电势平均值	R_D	R_B, R_S, R_M 的并联电阻
C_V	变容二极管的结电容	R_{t1}	刻度终端热电阻的电阻值
E	桥路电源电势(第2章), 基准电压(第3章)	R_{t0}	刻度始端热电阻的电阻值
E_{tG}	热电偶冷端温度上限值所相当的电势	R_{Y1}, R_{Y2}	外线调整电阻
E_{tD}	热电偶冷端温度下限值所相当的电势	t_G	热电偶冷端温度变化的上限值
E_t	热电势	t_D	热电偶冷端温度变化的下限值
E_1	仪表量程下限值	t_0	标准工作温度下的冷端温度
E_2	仪表量程上限值	Δt	热电偶冷端温度变化间隔
f_0	振荡频率	U_m	功率管截止时集电极对公共端的电压
f_r	谐振频率	U_M	功率管导通时集电极对公共端的电压
I_F	动圈电流	U_{AD}	桥路对角电位差
I_1	电桥上支路电流	U_{AF}	放大器输入电压
I_2	电桥下支路电流	U_{FC}	量程电压
i	桥臂比	V_X	输入电压(第3章)
i_B	激磁绕组电流	V_0	输出电压(第3章)
i_c	控制绕组电流	V_A	积分器输出电压(第3章)
R_t	热电阻	T	时间间隔(第3章)
R_1, R_2, R_3, R_4	桥路桥臂电阻	T_1	继电器的接通时间
R_B	仪表的内阻(第1章)、滑线电阻定值并联电阻(第2章)	T_2	继电器的断开时间
R_G	起始电阻	α	铜导线温度系数
R_T	热电偶的电阻	α_t	以 $t^\circ\text{C}$ 为基准的铜电阻温度系数
R_M	滑线电阻的量程电阻	λ	R_S 两端不工作部分的阻值与 R_S 之比
R_S	滑线电阻	η	补偿系数
R_W	冷端补偿电阻	ϕ_B	激磁绕组磁通
R_Σ	$R_{t0} + R_1 + R_G + R_D + R_4$ 的总电阻	ϕ_Y	控制绕组磁通
		τ	RC 反馈网络的时间常数

概 论

从广义来讲,凡是能够使人利用其五种感觉器官(视觉、听觉、味觉、嗅觉和触觉)得知反映被控对象状态的各种信息的功能统称为显示,具有显示功能的仪表统称为显示仪表。

显示仪表在仪器仪表和生产过程自动控制系统中占有重要地位,它承担着人-机联系的任务,起着人-机联系的桥梁作用,在对各种变量的检测、调节、计算以及其他操作过程中,无论是单参数单回路的简单系统,还是多参数多回路的综合系统,都需要通过显示仪表将各种数据、图形、动态趋势以及为操作人员所关心的其他情况如局部流程图等均能显示给操作人员,以便进行必要的操作或处理。所以显示既是对以前操作结果的检验,又是以后进行再操作的依据。目前在工业控制系统中,操作人员获得的显示信息,绝大多数是靠视觉和听觉。

显示仪表按所显示信息的类别可分为模拟式显示仪表和数字式显示仪表两大类,按显示方式可分为指示仪表、记录仪表、报警装置和图象显示器等。

目前,在工业控制系统中,从历史悠久的动圈指示仪表到新型的图象显示器(屏幕显示器)都被广泛采用着,而且均在原有的基础上不断改进和发展,构成较完整的显示仪表体系。由于显示仪表起着人-机联系的重要作用,故其附加装置和变型品种就比较多,这样才能适应不同的要求和使用场合。

多数的检测仪表都设有自己的显示部分,单元组合仪表中也有专门的显示单元,这些可分别参考第43篇电工仪器仪表、第44篇检测仪表和第46篇调节仪表。本篇着重介绍通用性强、使用面广、主要用于生产过程自动化方面的几种显示仪表,如动圈指示调节仪表、自动平衡显示仪表、数字显示仪表和图象显示器等。

动圈式显示仪表于二十年代初期就已使用,由于其重量轻、体积小、结构简单、价格便宜,特别适用于一般试验室和中、小型企业的单参数测量指示和调节,至今仍被广泛采用。其缺点是抗震性能较差,要求水平安装,这些还有待进一步改进,今后在其附加的电子线路中将逐步采用集成电路,以提高其可

靠性。

自动平衡显示仪表的应用也比较早,它附加各种装置后是一种兼有指示、记录、调节以及其他许多功能的通用型显示仪表。早期的产品采用机械平衡机构或电子管式的电子平衡机构,可称为第一代,目前我国生产的产品是采用晶体管式的可称为第二代,正在发展中的采用集成电路的可称为第三代产品。

以上两类显示仪表都是利用指针、刻度板(盘)或记录笔、记录纸来指示或记录的,操作人员必须根据指针、记录笔在刻度上所处位置来读取数值,因而都属于模拟式显示仪表。模拟式显示仪表的读数方式比较直观,便于判断、对比,但容易产生视差。由于仪表结构和电模拟信号的限制,再进一步提高显示精度、点数、速度以及实现复杂的数据处理等是有一定困难的。为克服这方面的不足,相应出现了数字式显示仪表,特别是在数字集成电路和新型显示器件日益发展的情况下,数字式显示仪表的发展更为迅速。

模拟式显示仪表和数字式显示仪表各有特点,在选用时,一般应根据所需精度、可靠性、可扩展性、维护性以及使用条件和价格等加以综合考虑。在对大规模的复杂系统进行集中显示时,常将大量的显示仪表密集安装于仪表盘上,为便于观察和迅速掌握整个系统的运行情况,以采用密集安装的偏差模拟式指示仪表为宜;为读数迅速准确并适应计算机控制的要求,也有必要采用一些数字式显示仪表,所以实际上往往两者是混用的。

图象显示器是随着生产规模的扩大、工业控制系统日益复杂化,特别是电子计算机的推广应用而相应发展起来的一种新型显示设备,其中CRT^①显示器的应用比较普遍,它不仅显示各种数据,而且还可以显示各种符号、代号以及工艺流程的各个部分等,它可使操作人员在较短的时间内获得较多的信息,因而较好地解决了集中显示,有效地克服了由于

^① CRT 是英语 Cathod Ray Tube Display 阴极射线管显示前三个字的缩写。

仪表用量激增、仪表盘扩大而导致操作不便的矛盾。它不仅用于生产过程自动化方面，而且还正在向其他领域扩展。图象显示、计算机控制是 70 年代新型控制系统的重要标志。既具有图象显示又具有键盘操作的设备是比较先进的人-机接口，其代表性产品就是带 CRT 显示器的操作控制台，它既是计算机的

输入设备，又是计算机的输出设备。人-机接口今后将迅速发展，首见其效的将是带多台 CRT 屏幕显示器的操作控制台，并相应发展依靠人的听觉进行人-机对话的良好设备。显示仪表今后的发展要充分考虑人-机工程学的原理。

第 1 章 动圈指示调节仪表

动圈仪表作为模拟式指示调节仪表，在工业上应用较早，也很普遍，多数是用来指示调节温度参数。

动圈式仪表的基本结构是一种磁电系动圈测量机构。这种测量机构容易将很小的直流信号(毫伏)直接变换成较大的指针位移，且不受外界电磁场的影响，噪声影响也很小。由于工作原理和结构都比较简单，所以迄今为止还是一种造价低的模拟式指示仪表。若加装一些附加装置即可构成具有自动调节和自动报警功能的仪表，但其抗震性能较差。

动圈式仪表附加的调节装置，其原理有两种类型：一是利用光电原理，二是利用高频振荡原理。目前国际上对这类仪表仍在不断改进，随着新材料和电子技术的发展，在仪表磁电系统方面，不断提高磁能利用率，在调节部分，不断采用可靠性高、寿命长的电子元件，如集成电路、发光二极管等等。动圈测量机构如何抗震的问题亦是改进设计的重点。总之，这种仪表仍在继续发展着。

我国发展的动圈式仪表，按其功能可分为动圈式指示仪和动圈式指示调节仪，见图 45·1-1。指示

调节仪采用高频振荡原理实现调节动作，测量机构中动圈支承的方式有轴尖式和张丝支承式两种。动圈指示调节仪表，按调节方式(调节规律)可分为二位调节、三位调节、时间比例调节和电流输出 PID 调节以及时间程序控制等。

动圈式仪表的分类见表 45·1-1。

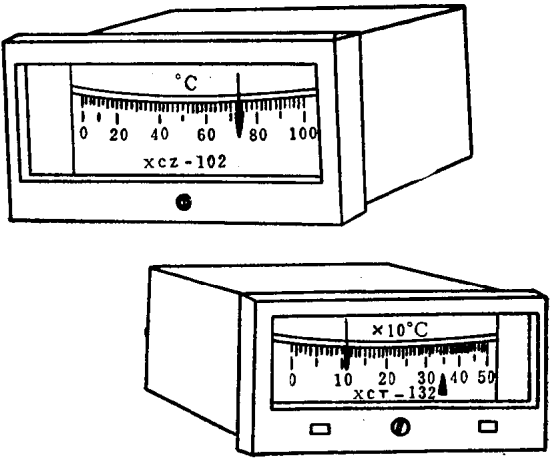


图 45·1-1 动圈指示调节仪表

表 45·1-1 动圈式仪表的分类

名 称	主 要 功 能	动圈支承方式	精度等级	检 测 元 件	指 示 参 数
动圈式指示仪	单 针 指 示	轴尖轴承式	1.5	热 电 偶	温 度
动圈式指示调节仪	二 位 调 节 三 位 调 节 时 间 比 例 调 节 电 流 PID 调 节	张丝支承式	1.0	热 电 阻 辐 射 感 温 器 变 送 器 (输 出 电 流 0~10毫安、直流毫伏) 发 信 电 阻	压 力 差 压 液 位 流 量 ...
动圈式时间程序指示调节仪	时 间 程 序 二 位 调 节 时 间 程 序 电 流 PID 调 节			热 电 偶 热 电 阻	温 度

1 动圈式指示仪

1.1 动圈测量机构

动圈式指示仪是基于磁电原理而工作(图 45•1-2)。在永久磁铁的磁场内放有一个可动线圈,当有电流流过线圈时,便有电磁力作用于线圈上而产生转矩,为使动圈的每一位置(偏转角)对应一定的电流,就必须在动圈上加一个大小与其转角成正比的反作用力矩,产生反作用力矩的方法,取决于动圈在永久磁场内的支撑方式,一般分为轴尖轴承式和张丝支承式,实现上述原理的结构常称为磁电系动圈式测量机构。

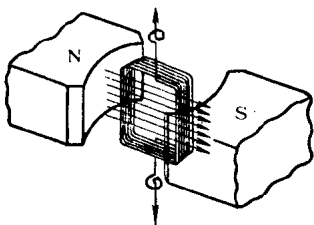


图 45•1-2 动圈测量机构作用原理

轴尖轴承式测量机构,将轴尖装在动圈上下端,这种支承系统靠游丝产生反作用力矩,由于轴尖和轴承是用来支承动圈使其自由转动,因此要求其材料坚硬、表面光洁、摩擦力小。常用轴尖轴承材料如表 45•1-2 所列。所用游丝材料为锡锌青铜,游丝规格按仪表量程(毫伏数)大小加以选用,一般量程大选用的游丝力矩就大,量程小选用的游丝力矩就小。

表 45•1-2 轴尖轴承材料

项目	材料名称或牌号	成分	硬度要求
轴尖	钨合金 K40	Co 40% NiCrMoW	显微硬度 >745 kgf/cm ²
	刚玉	SiO ₂	莫氏硬度 9
轴承	玛瑙	Al ₂ O ₃	莫氏硬度 6.5
	微晶玻璃		显微硬度 800~1000 kgf/cm ²

张丝支承式动圈测量机构,动圈是靠上下两端张丝支承,载流动圈偏转时带动张丝扭转所产生的反作用力矩与动圈转矩相平衡,此时动圈偏转角与

动圈内的电流大小相对应。这种张丝支承系统不存在摩擦,因而灵敏度高,变差小,没有磨损,寿命长。常用张丝规格如表 45•1-3 所列,一般在量程较小时(例如配用铂铑-铂热电偶 0~1600℃ 为 16.688 毫伏)采用 M2.0,其余多用 M2.9 和 M3.55。张丝除了起支承作用和产生反作用力矩外,还起导电作用。

在动圈测量机构中,建立永久磁场的磁铁,一般有马蹄形和立柱形二种。图 45•1-3 所示为马蹄形外磁结构,纯铁制的极靴为空心圆柱面,铁心为圆柱体,均作导磁体,形成均匀的径向辐射磁场。图 45•1-4 所示为立柱形外磁结构,两块弧形磁铁经由衔铁、极靴、空气隙和铁心而构成闭合磁路,动圈置于空气隙中,磁感应强度约为 3000 高斯,仪表灵敏度与磁场强度有关,可用磁路片调节。

表 45•1-3 张丝的规格

材料	规格	反作用力矩 mgf-cm/90°	宽度 mm	厚度 mm	拉断力 gf
铍青铜	M2.0	2.0	0.22	0.016	510
	M2.9	2.9	0.235	0.015	570
	M3.55	3.55	0.25	0.016	620

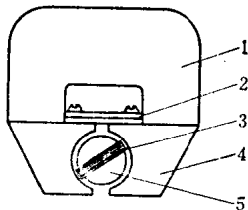


图 45•1-3 马蹄形磁路结构

1—永久磁铁 2—热磁补偿片 3—动圈
4—极靴铁 5—铁心

在动圈测量机构中,为减少环境温度对动圈电阻的影响,而采用了负温度系数的热敏电阻进行补偿,以使测量回路的总电阻在环境温度变化时基本不变,进而确保仪表的示值基本不变。

在动圈测量机构中,为了调节动圈全偏转电流,以适应不同量程的需要,在动圈回路中串接一个锰铜丝电阻(量程电阻),这种电阻在仪表出厂前已按所需量程而确定装妥。

1.2 测量电路

动圈式仪表按所配接的检测元件(如热电偶、热电阻等)分两种基本测量电路,即配接热电偶或直流

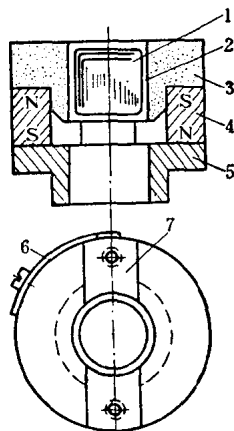


图 45-1-4 立柱形磁路结构

- 1—铁心 2—空气隙 3—极靴铁 4—永久磁铁
5—衔铁 6—磁分路调节片 7—压铸铝

毫伏信号的测量电路和配接热电阻或其他发信电阻的测量电路。在具有调节作用的仪表中，配接热电偶的测量电路还包括热电偶断线自动保护电路。

两种测量电路及其技术指标如表 45-1-4 所列。

在用热电偶测量温度时，测量电路如图 45-1-5 所示。热电偶所产生的热电势 $E(t, t_0)$ 取决于热电偶的材料、工作端温度(t)和冷端温度(t_0)。此热电势加入动圈便产生电流

$$I = \frac{E(t, t_0)}{R_T + R_N + R_B} \quad (45-1-1)$$

式中 R_T ——热电偶的电阻

R_N ——连接导线的电阻(包括冷端补偿器电阻)

R_B ——仪表的内阻(包括动圈电阻、补偿并联电阻 R_{b1} 和量程电阻 R_S)

此电流流过测量机构的动圈所产生的磁场与永久磁场相互作用而使指针偏转，到一定角度被张丝(或游丝)的反作用力矩所平衡，于是指针就指示出相应的数值。

在用热电阻或其他发信电阻测温时，采用不平衡电桥，如图 45-1-6 所示，其桥路参数均成系列，仪表刻度具有规律性，可采用印刷刻度盘，生产效率高。电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 r_0 、 r_2 、 r 、 r' 、 r'' 和热电阻 R_t 组成电桥，采用直流稳压电源。桥路各电阻的数值有下列关系： $R_3 = R_4$ ， $R_1 = R_2 - R_{i0}$ ， R_{i0} 为刻度起始点时 R_t 的阻值。 r_0 和 r_2 用来调整电零点。电阻 r 、 r' 和 r'' 用来调整外接导线电阻，使之成为规定值。

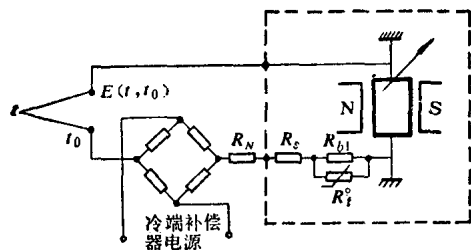


图 45-1-5 检测元件为热电偶的测量电路

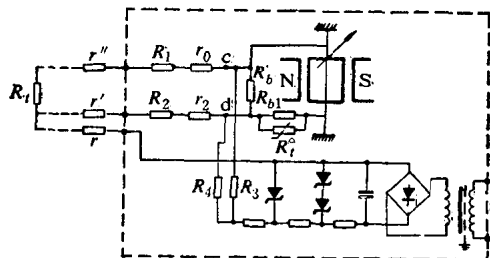


图 45-1-6 检测元件为热电阻或其他发信电阻的测量电路

当热电阻阻值处在仪表刻度起始点温度对应的阻值时，即 $R_t = R_{i0}$ ，此时 $R_{i0} + R_1$ 刚好等于 R_2 ，电桥平衡，动圈指针指在起始点上；当 $R_t = R_{i0}$ 而指针低于起始点时，就必须加大 r_0 ，反之，如高于起始点时，就应加大 r_2 。电桥平衡时，动圈中没有电流，当被测温度升高时，热电阻阻值随之变化，破坏了电桥平衡，桥路中 c、d 两端就有毫伏信号加入动圈，动圈就偏转，其位置和电阻阻值变化相对应。此时指针的位置就表示了被测温度值。

毫伏信号测量电路如图 45-1-7 所示，所配的变送器有霍尔式压力变送器和电子式差压变送器。

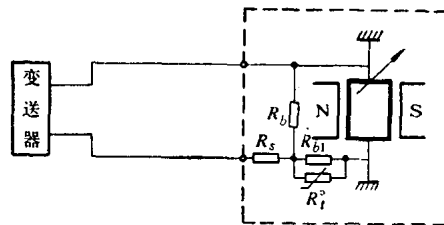


图 45-1-7 毫伏信号测量电路

在用热电阻测温时，也可采用比率计原理，如图 45-1-8 所示，其线路是在电桥中加入一个双动圈，两个动圈的电流形成两个磁场与径向不均匀永久磁场相作用(见图 45-1-9)，产生了两个方向相反的转动力矩。力矩的大小取决于通过该动圈的电流和所处的磁场强度。仪表刻度按照热电阻阻值刻成相应

表 45.1-4 动圈式指示仪测量电路及其技术指标

测量电路	检 测 元 件		分度号	测 量 范 围	单 位	外线电阻或 外接电阻	一般技术指标
热电偶或其他毫伏信号 测量电路	热 电 偶	镍铬-铸铜	EA-2	0~300, 0~400, 0~600	°C	15Ω	安装形式 仪表盘式 精度等级 1.0 级 刻度弧长 110 毫米 工作环境 温 度 0~50°C 相对湿度 <85% 无腐蚀性气体,无震 动 重 量 <2公斤
		镍铬-镍硅	EU-2	0~600, 0~800, 0~1100, 0~1300	°C		
		铂铑 ¹⁰ -铂	LE-3	0~1600	°C		
		铂铑 ³⁰ -铂铑 ⁶	LL-2	0~1800	°C		
	WFT-202 辐 射 感 温 器		T ₂	700~1400, 900~1800, 1100~2000	°C	5Ω	
	霍尔式压力变送器			输入信号 0~20 mV, 分度 以压力表部颁标准中 1.5 级分 度	kgf/cm ²		
CEB 电子式差压变送器			输入信号 0~30 mV; 以差 压表部颁标准中 1.5 级分度	kgf/cm ² mmHg mmH ₂ O			
热电阻或其他发信电阻 测量电路	热 电 阻	铜 电 阻	G	0~30, 0~50, 0~100, -50~50, -50~100, 0~150	°C	3×5Ω	安装形式 仪表盘式 精度等级 1.0 级 刻度弧长 110 毫米 工作环境 温 度 0~50°C 相对湿度 <85% 无震动、无腐蚀性气 体 重 量 <2公斤
		铂 电 阻	BA ₁ BA ₂	0~50, 0~100, 0~150, 0~200, 0~250, 0~300, 0~400, 0~500, -50~50, -50~100, -100~0, 0~30, -100~50, -100~100, -120~30, -150~50, -150~150, -200~50, -200~500, +200~+500	°C		
	YCD-150 远传压力计			0~1, 0~1.6, 0~2.5, 0~4, 0~6, 0~10, 0~16, 0~25, 0~40, 0~60, 0~100, 0~160, 0~250, 0~400, 0~600	kgf/cm ²		
				-1~0.6, -1~1.5, -1~3, -1~5, -1~9, -1~15, -1~24	kgf/cm ²		
				-760~0	mmHg		

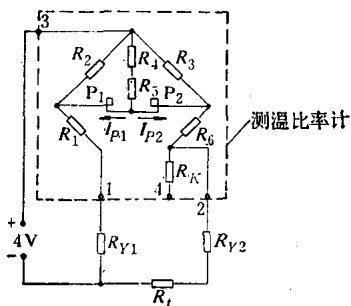


图 45.1-8 测温比率计原理图

的温度值。

当两个动圈(P₁和P₂)的电流相等时, 即 $I_{P1} =$

I_{P2} , 这时 P_1 与 P_2 的转动力矩相等, 即 $M_1 = M_2$, 方向相反, 指针指示在刻度的几何中心附近, 处于平衡状态。当热电阻 R_t 变化时, I_{P1} 和 I_{P2} 发生变化, 两动圈力矩也随之变动, 电流增加的动圈在磁路气隙内转向磁通密度小的空间, 另一个电流减小的动

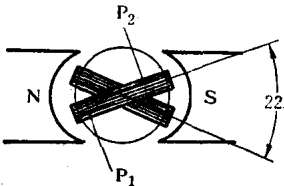


图 45.1-9 双动圈机构

圈同时转向磁通密度大的空间,达到新的平衡点,指针指在刻度的另一位置。

$$\frac{I_{P1}}{I_{P2}} = \frac{R_P R_2 - (R_1 + R_{Y1})(R_4 + R_5) + (R_t + R_6 + R_{Y2})(R_P + R_4 + R_5 + R_2)}{R_P R_2 - (R_t + R_6 + R_{Y2})(R_4 + R_5) + (R_1 + R_{Y1})(R_P + R_4 + R_5 + R_2)} \quad (45.1-2)$$

式中 R_{Y1} 、 R_{Y2} ——均为外线调整电阻

当 $R_t = R_1 - R_6$ 、 $R_{Y1} = R_{Y2}$ 时

$$\frac{I_{P1}}{I_{P2}} = 1,$$

指针指在几何中心附近;

当 $R_t > R_1 - R_6$ 、 $R_{Y1} = R_{Y2}$ 时

$$\frac{I_{P1}}{I_{P2}} > 1,$$

指针指在几何中心以右;

当 $R_t < R_1 - R_6$ 、 $R_{Y1} = R_{Y2}$ 时

$$\frac{I_{P1}}{I_{P2}} < 1,$$

指针指在几何中心以左。

增加 $R_4 + R_5$, 同时增加 R_2 、 R_3 (或 R_1 、 R_6) 均能使电流比 I_{P1}/I_{P2} 接近于 1。如动圈电阻 R_P 增加, 会使电流比值偏离 1。

桥路中电阻 R_K 用来校正刻度 (此时使端子 1 和 4 短接), 电源一般为 4 伏 (也有 6 伏和 1.5 伏)。

测温比率计的外线电阻分两种: 2.5 欧 (2 只) 和 7.5 欧 (2 只)。由热电阻接至比率计时, 除去铜导线电阻, 再调整串接电阻以满足规定值。

双动圈测温比率计桥路参数复杂, 仪表刻度的规律性差。

2 动圈式指示调节仪

动圈式指示调节仪是在动圈式指示仪的基础上加装有调节功能的电子组件而制成, 其动圈测量机构和测量电路与指示仪是一样的, 但是配热电偶的指示调节仪其测量电路中设置了热电偶断线自动保护电路, 以防止在使用时因断偶而发生事故。

热电偶断线自动保护电路的原理, 如图 45.1-10 所示。仪表内电源变压器一组次级绕组作为保护电路的电源 U , 交流电压经桥式整流后在电阻 R 上获得全波脉动电压, 其交流成分经电容 C_{P1} 、 C_{P2} 耦合至测量电路。当热电偶正常工作时, 因其阻值很小, 故对动圈和二极管 D_P 而言, 交流电流被热电偶分流, 因此虽有交流存在, 对测量指示也无影响。但当热电偶断开后, 二极管 D_P 对交流即有整流作用,

比率计中两电流比值与桥路电阻的基本关系如下:

在二极管截止半周内即有电流通过动圈, 此单向脉动电流使指针向满刻度偏转且略有抖动。由于仪表内的档针限位, 使指针的小铝旗总处在振荡器的检测线圈中, 使继电器释放, 从而切断电炉电源。

动圈式指示调节仪, 其测量机构和测量电路是统一的, 调节作用分为二位式、三位式、时间比例式和电流输出的比例、积分、微分 (PID) 以及时间程序控制式等。

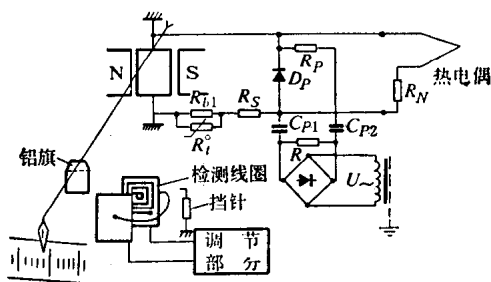


图 45.1-10 热电偶断线自动保护电路

2.1 二位式指示调节仪

二位式指示调节仪的调节部分由偏差检测机构、振荡放大器和控制继电器组成 (图 45.1-11)。偏差检测机构由指针上的小铝旗和检测线圈构成。小铝旗位置的变化代表被测温度的变化, 检测线圈的位置代表给定温度, 检测线圈的移动与铝旗是同轴心的, 并且在刻度面板上有给定针标出。铝旗可在检测线圈的间隙中自由通行, 控制着振荡放大器的工作状态。当被测温度升高, 铝旗逐渐进入检测线圈间隙中, 使其电感量逐渐减小, 直至使振荡停止, 继电器触点释放, 切断了加热电源, 同时红色指示灯亮; 温度下降时, 指针带铝旗退出检测线圈, 振荡器

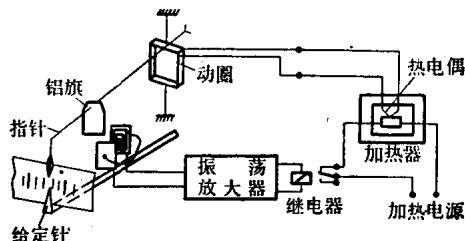


图 45.1-11 动圈式指示调节仪原理

的缺陷。

在二位式指示调节仪的基础上,发展了三位式指示调节仪。在被调参数有上限和下限限制要求时,往往就采用三位式调节或报警。三位式指示调节仪的调节部分是由两组二位式调节电路组成,一组控制上限继电器,另一组控制下限继电器。在三位式指示调节仪中,中间带有宽窄之分,以适应不同的需要。

动圈式指示调节仪的主要技术指标如表45.1-5所列。

表 45.1-5 动圈式指示调节仪主要技术指标

指标项目	二位式	三位式	时间比例式	PID 式
指示精度	1.0 级			
设定误差	小于全量程的 1.0%			
设定范围	0~100%	上限 10~100% 下限 0~90%	0~100%	
不灵敏区	小于全量程的 0.5%			
测量指针 越限范围	大于全量程的 5%			
输出信号	继电器接点信号			0~10mA (直流)
输出接点 容量	220 V 3 A(交流无感负载)			
接点动作 误差	小于全量程的 ±1.0%			
整定参数	比例范围 4% 动作周期 40 秒			比例范围 4% 积分时间 2.5 分 微分时间 0.3 分
负载 (电阻)	接 触 器			300 Ω
电 源	220 V ±10%, 50 Hz			
消耗功率	小于 5 VA			
工作环境	0~50°C, 相对湿度 <85%, 无震动无腐蚀性气体			

2.2 时间比例式指示调节仪

时间比例调节是为了改善二位式调节而发展的,其调节作用仍由继电器触点的开关动作来实现。这种调节方式,在给定值附近继电器能自动周期性

地闭合和断开,并且其闭合和断开的(通断时间)随偏差而变化。将继电器接通的时间与其通、断时间总和的比值,称为时间比值,以 ρ 表示:

$$\rho = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$$

式中 T_1 ——继电器接通时间(秒)

T_2 ——继电器断开时间(秒)

时间比值 ρ 与加入被调节对象的功率大小相对应。若调节电路能使温度上升时 ρ 值减小,即继电器接通时间 T_1 减小,断开时间 T_2 增加,就能起调节温度的作用。这就称为时间比例调节方式。相对于给定值能起这个比例作用的测量指针范围占满量程的百分数,称为比例范围或比例带。图 45.1-16 所示为偏差与时间比值 ρ 的关系。

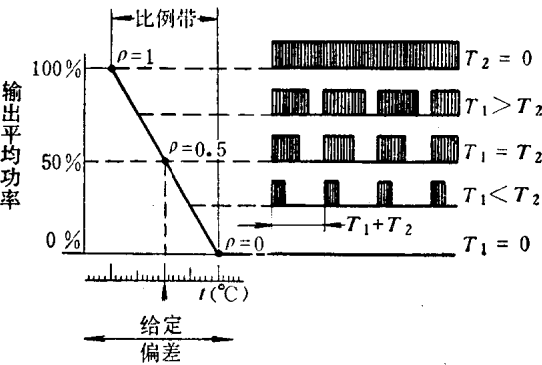


图 45.1-16 偏差与时间比值的关系

时间比例调节电路如图 45.1-17 所示,它由检测线圈 L_3 、晶体管振荡放大器、 RC 反馈网络所组成。在测量指针尚未到达给定指针的比例带位置时,指针上的小铝旗处在检测线圈 L_3 外,此时因交流负反馈很弱,振荡器处于振荡状态,振荡器的输出电压较大,经过 D_3 整流和功率放大器(此时 RC 反馈网络所起的作用不能影响功率放大器的动作变化)放大,就有一个较大的输出电流流经继电器线圈,继电器只有吸合动作,如图 45.1-16 中 $T_2=0$ 的状态。

当指针进入比例带内的位置时,铝旗进入检测线圈 L_3 中,电路发生如图 45.1-18 所示的循环变化。由于 L_3 电感量减小,使谐振频率 f_r 与振荡频率 f_0 相接近,谐振阻抗增大,射极电路中负反馈作用增强,使功放管 BG_2 截止,继电器释放。同时,有一电压 U_M 加在 RC 反馈网络上,电容 C_0 上的充电电压变化,引起变容二极管 D_1 反向偏压增加,使结电容 C_T 减小,促使振荡频率 f_0 远离谐振频率 f_r ,

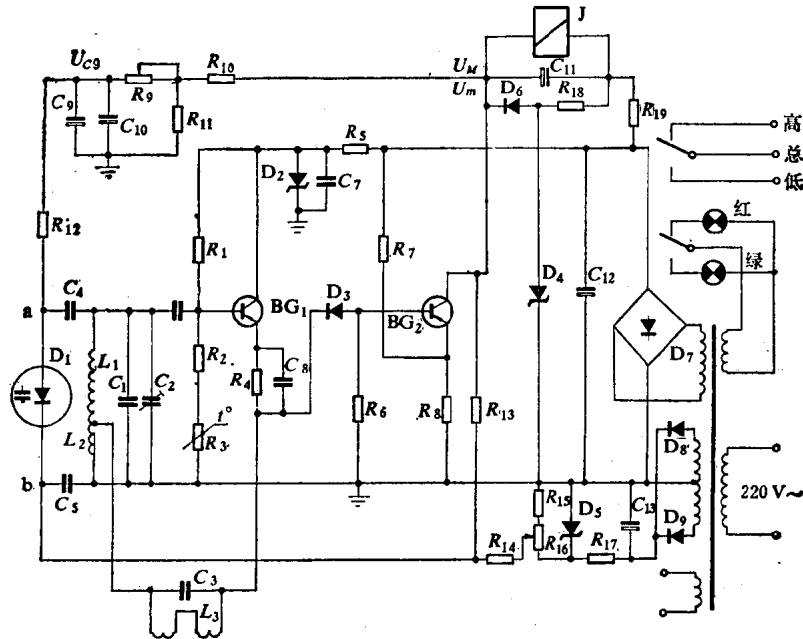


图 45-1-17 时间比例调节电路(锗管)

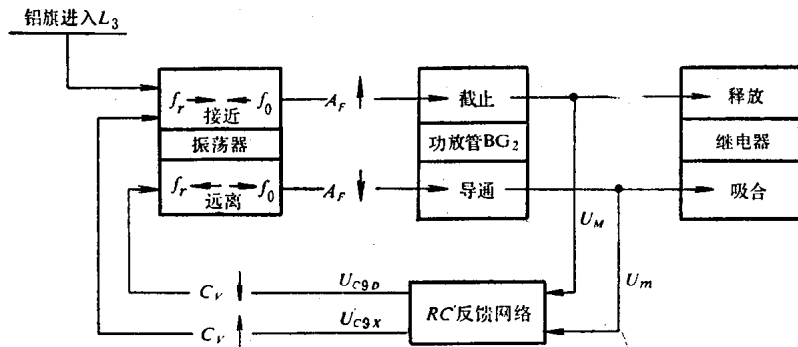


图 45-1-18 时间比例调节动作原理

f_r — L_3C_3 回路的谐振频率 f_0 —振荡器的振荡频率 A_F — L_3C_3 回路谐振阻抗引起的负反馈强度
 U_M —功率放大管 BG_2 截止时集电极对公共端的电压 U_m —功率放大管 BG_2 导通时集电极对公共端的电压
 U_{C9D} —电路从截止到导通时 C_9 上的电压 U_{C9X} —电路从导通到截止时 C_9 上的电压； C_V —变容二极管 D_1 的结电容

从而使功放管 BG_2 导通，继电器吸合。此时 BG_2 集电极电压为 U_m ，电容 C_9 上的放电电压变化，引起变容二极管反向偏压减小，使 C_V 增加，使继电器又导通。

这样形成继电器按一定的时间周期进行吸、放动作，其吸、放时间的长短，除与 RC 反馈网络的时间常数 τ 有关外，还取决于铝旗进入线圈 L_3 的多少。由于 L_3 电感量的变化，直接影响到变容二极管 D_1 二端反向偏压变化，而使其结电容变化，引起振荡频率发生变化。

继电器吸、放时间与电压变化的关系如下：

$$T_1 = \tau \ln \frac{U_{C9D} - rU_m}{U_{C9X} - rU_m}$$

$$T_2 = \tau \ln \frac{rU_M - U_{C9X}}{rU_M - U_{C9D}}$$

$$\text{式中 } r = \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11}}$$

$$\tau = \left(\frac{R_{10}R_{11}}{R_{10} + R_{11}} + R_9 \right) (C_9 + C_{10})$$

显然，当温度升高，铝旗进入 L_3 较多， L_3 的电感量减小，使谐振频率 f_r 增加，接近于振荡频率 f_0 ，

