

高等学校试用教材

电 子 电 器

沈阳机电学院 祝瑞琪 主编



机械工业出版社

电子电器

沈阳机电学院 祝瑞琪 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)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{1}{2}$ · 字数 502 千字

1983 年 12 月北京第一版·1984 年 12 月北京第二次印刷

印数 10,101—13,700 · 定价 2.55 元

*

统一书号: 15033 · 5458

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 电子电器基础

第一章 电子电器的组成及一般技术

参数	5
----------	---

§ 1-1 电子电器在自动化技术中的作用	5
----------------------------	---

§ 1-2 电子电器的组成	7
---------------------	---

§ 1-3 电子电器的技术参数	11
-----------------------	----

§ 1-4 电子电器的动作值及其误差	13
--------------------------	----

第二章 电子电器的感辨机构

(传感器)	17
-------------	----

§ 2-1 传感器的一般概况及基本特性和参数	17
------------------------------	----

§ 2-2 温度传感器	21
-------------------	----

§ 2-3 光电器件	29
------------------	----

§ 2-4 电涡流式感辨机构	38
----------------------	----

§ 2-5 超声波感辨机构	40
---------------------	----

§ 2-6 电流—电压变换器	46
----------------------	----

第三章 变换电路

§ 3-1 线性直流分压电路	53
----------------------	----

§ 3-2 线性交流分压电路	57
----------------------	----

§ 3-3 差动式分压电路	59
---------------------	----

§ 3-4 桥式电路	60
------------------	----

§ 3-5 非线性变换电路	67
---------------------	----

§ 3-6 阻容耦合输出的变换电路	70
-------------------------	----

§ 3-7 负载为非线性的变换电路	72
-------------------------	----

§ 3-8 振荡器式变换电路	75
----------------------	----

第四章 鉴别器

§ 4-1 鉴幅器	77
-----------------	----

§ 4-2 鉴频器	91
-----------------	----

§ 4-3 鉴宽器	99
-----------------	----

§ 4-4 鉴相器	101
-----------------	-----

第五章 电子电器的抗干扰和可靠性

§ 5-1 电子电器的干扰分析和抗干扰措施	107
-----------------------------	-----

§ 5-2 电子电器可靠性的一般问题	124
--------------------------	-----

第二篇 电子电器元件

第六章 延时电器

§ 6-1 延时误差分析及精度提高	133
-------------------------	-----

§ 6-2 提高电容利用率	141
---------------------	-----

§ 6-3 典型产品分析	152
--------------------	-----

第七章 电动机保护继电器

§ 7-1 过载和短路保护继电器	159
------------------------	-----

§ 7-2 断相保护继电器	171
---------------------	-----

§ 7-3 温度继电器	180
-------------------	-----

§ 7-4 漏电保护继电器	184
---------------------	-----

§ 7-5 综合保护继电器	191
---------------------	-----

第八章 接近开关

§ 8-1 接近开关型式及其技术指标	193
--------------------------	-----

§ 8-2 接近信号发生机构	194
----------------------	-----

§ 8-3 接近开关电路	202
--------------------	-----

第九章 数字式无触点行程开关

§ 9-1 感应同步器的工作原理	210
------------------------	-----

§ 9-2 鉴幅型检测系统	219
---------------------	-----

§ 9-3 鉴相型检测系统的基本工作原理	240
----------------------------	-----

§ 9-4 数字式无触点行程开关应用举例	242
----------------------------	-----

第十章 晶闸管开关

§ 10-1 晶闸管交流开关	244
----------------------	-----

§ 10-2 晶闸管直流开关	253
----------------------	-----

§ 10-3 晶闸管自动开关	255
----------------------	-----

§ 10-4 混合式交流接触器	260
-----------------------	-----

第三篇 程控电器

第十一章 逻辑控制原理及设计

§ 11-1 概述	265
-----------------	-----

§ 11-2 逻辑控制电路设计的基本环节与步骤	266
-------------------------------	-----

§ 11-3 开关量程序控制原理及设计	271
---------------------------	-----

§ 11-4 程序控制的工作方式	283
------------------------	-----

§ 11-5 程序控制的逻辑设计示例	286
--------------------------	-----

第十二章 步进式顺序控制器

§ 12-1 概述	290
-----------------	-----

§ 12-2 二极管矩阵网络的逻辑功能	290
---------------------------	-----

§ 12-3 步进器	296
------------------	-----

§ 12-4 延时及计时计数单元	303
------------------------	-----

§ 12-5 跳步环节	306
-------------------	-----

§ 12-6 重迭步故障检测	310
----------------------	-----

§ 12-7 程序编制	313
-------------------	-----

绪 论

一、电子电器的产生

电子电器是电子化或半电子化的电器，或者说，就是全部或部分地由电子器件和电子线路构成的电器元件或装置。

低压电器的历史很长，差不多与电工技术同时开始。目前各种继电器、接触器等低压电器作为电气传动系统的主要元件仍是电工技术和自动化技术中不可缺少的部分而广泛地应用于各部门。长期来人们在大力提高电器产品的寿命、扩大工作机能和减小体积、降低用户综合费用等方面不断取得进展。与此同时，还致力于研究将其他学科领域的成就引用到电器中来，以进一步提高产品的技术和经济指标，或者发展新的品种作为某些传统电器的补充。

近廿年来电子技术，特别是半导体集成和电力半导体技术得到迅猛的发展，电子技术的应用渗透到各个行业。六十年代中期开始，一些以晶体管线路为主体的电器元件，如晶体管时间继电器、接近开关、光电继电器等相继问世，电动机单项和综合电子保护、甚至电力系统二次回路的全晶体管化这样重大的变革也得到了实际的应用。晶闸管价格的大幅度降低，使得它作为一种无触点控制开关用于一些高操作频率、有机械振动、多粉尘或有其他特殊要求的地方。

电子电器的出现和发展是自动化技术和电子工业发展的必然产物。近代工业为了不断地提高产量和质量，其控制系统向着大型、高速、自动、可靠和精确控制的方向发展，并相应地对构成控制系统的元件提出越来越高的要求，在这些要求中有一些是传统的有触点电器难以满足的。50年代初出现了磁放大器和磁性元件，无触点开关，也叫静态开关（static switch）。在电子管时代还曾应用过以电子管、气体闸流管为器件的电子电器。半导体技术发展后，数字技术也从数字通信和计算机扩展到一般的工业控制，这就是电子电器产生的历史条件。

二、半导体无触点电器与有触点电器的比较

与有触点开关电器相比，半导体无触点电器具有下列主要优缺点：

（一）优点

1. 高的开关速度 以大功率开关来说，晶闸管的开通时间不大于10微秒，关断时间则不大于30微秒。对于小功率的晶体管开关，这个时间不过是数十毫微秒至数微秒，这比有触点电器的固有动作时间（数毫秒至数十毫秒）小得多。在实际工作中常常需要这种高速的开关电器，例如某些开关量调节系统、电子计算机备用电源的切换开关等。

2. 高操作频率 晶闸管开关的操作频率可达每分钟100次以上，这是电磁机械式开关不可能达到的。

3. 高寿命 只要使用在规定的电压和电流极限值以内，半导体开关的寿命几乎是无限的。

4. 可在有机械振动、多粉尘或有危险性气体的恶劣环境下工作。

5. 控制功率小 采用场效应管或MOS集成器件为开关的输入级，信号源几乎不负担电流。

6. 在完成开关的同时还能提供诸如电动机的软起动、调速和再生制动等功能。

(二) 缺点

1. 导通后的管压降大, 晶闸管的正向压降可达 $1\sim 2\text{V}$, 大功率晶体管的饱和压降也在 $1\sim 2\text{V}$ 之间。

2. 晶闸管关断后可有数毫安的漏电流, 因此不能实现理想的电隔离。

3. 由于正向压降大, 导通后的功耗和发热量也大, 为了散发此热量就要求有较大的散热面, 从而使其体积比同容量的有触点电器大近十倍。

4. 过载能力低。当用于控制电动机时, 常不得不按电动机的起动电流来选择元件容量。

5. 价格高。电子器件虽已大幅度降价, 但价格仍较高。一个交流接触器就需要三只双向晶闸管或六只单向晶闸管, 再加上触发电路和散热设备等, 其总价格比同容量的有触点电器高出十倍以上。

6. 电子器件、元件的温度特性和电子线路的抗干扰能力较差, 如不采取有效措施, 则工作可靠性低。

综上所述可以看出, 有触点和无触点电器之间的关系, 它们是互为补充的。在两者中进行选择的依据是技术条件和如何取得更高的经济效益。在一般的情况下宜选用通断状态比较理想、过载能力较强, 体小价廉的有触点开关电器, 而在操作频率很高、工作环境恶劣和有某些特殊要求的地方可考虑选用无触点电器。

三、电子电器的发展动向

电子电器的发展可概括为下列三个方面:

(一) 电子式电器

这一类电子电器仍保持一个独立电器的外形, 在功能上则与有触点电器相对应。输出形式可以是无触点的电平转换, 也可以是有触点的触头通断; 既可与电子逻辑电路构成无触点系统, 亦可与有触点电器构成继电接触系统。

从理论上讲, 除隔离开关外几乎所有开关类电器都可能电子化, 但不是所有可能实现电子化的低压电器都应无条件地加以电子化, 而是应当有条件地进行选择, 选择的原则是电子化后的电器须在技术和经济指标上有明显的提高。

如图 0-1 所示的电控系统中, 现场信号检测电器和故障监视、保护电器, 从性能、尺寸、寿命、可靠性和包括维修费用在内的总体费用等多方面进行比较, 有条件优先实现电子化。这类电器有

行程开关 → 接近开关。

空气式或其他非电子式时间继电器 → 阻容或数字式电子时间继电器或计时器。

双金属热继电器及电磁机械式电流继电器 → 电子式过载、短路、断相、漏电保护继电器。

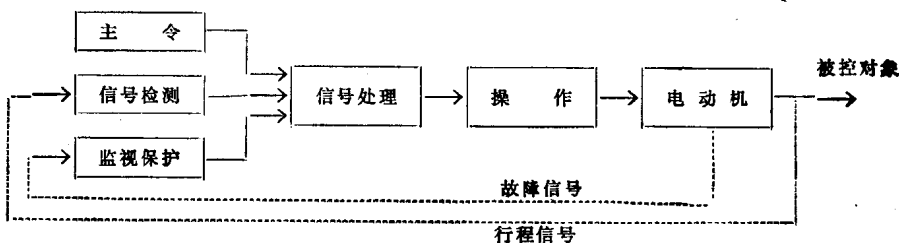


图0-1 电控系统图

继电器式程序控制器→电子式顺序控制器。

许多电子式信号检测电器的技术性能都不同程度地优于同类非电子化电器。有的灵敏度显著提高,如漏电继电器;有的工作特性得到改进,如电动机过载、短路保护继电器的反时限特性;有的动作精度得到提高或整定范围加宽,如电子式时间继电器;有的应用范围扩大,如接近开关的应用已远超出行程控制和限位保护的范畴,它还可以用于探测金属体或电介质的存在;感知钻头的折断;零件尺寸的检测与分拣以及测速、记数、液面控制等。

信号处理指的是信号输入与操作(或执行)输出之间的中间环节,此环节是电控系统或电控装置的核心。在继电接触系统,信号处理主要是由信号检测电器的接点(输入量)、操作电器(接触器)的辅助接点(反馈量)和中间继电器(中间变量)构成的逻辑电路。如果输入信号只是由现场传感器送来的反映被测量的模拟信号,则信号处理环节尚应包括对该模拟信号进行变换、放大、鉴别等处理环节。信号处理环节不担任功率的传输,因此亦可优先实现电子化。

操作频繁的主令电器(按钮等)可以进行电子化,但是只有在与其相联接的信号处理环节采用电子方式时才有意义。以无触点按钮取代触点式按钮的主要目的是提高寿命和消除触头跳动。

至于通断强电回路的操作开关(执行电器)——接触器,由于前面所说的原因(功耗、体积、价格)不能普遍采用晶闸管接触器,只有在特殊场合下才宜采用。

(二) 混合式电器

混合式电器是有触点与无触点相结合的电器。混合式电器的优点是集二者的优点,取长补短、相辅相成。混合式电器有三种不同的含意和形式:

1. 电子式继电器采用有触点电器为其出口元件,如目前生产的晶体管温度继电器、时间继电器等电子电器多采用小型中间继电器为出口元件。

2. 有触点电器采用电子式控制或保护信号发生机构。如具有半导体脱扣器的自动开关就是采用电子式保护信号发生机构的有触点电器;某些同步接触器则是采用电子式控制信号发生机构使同步接触器的触头在其电流过零时断开,实现电路的无弧通断。为达到此目的,使其磁系统的失电时间由具有选相延时能力的电子线路来控制。

3. 第三类混合式电器是混合接触器,它是在接触器的每个主触头上各并联一个双向晶闸管而成。当开关接通时应使晶闸管的导通先于接触器触头的闭合;分断时晶闸管的阻断应后于接触器触头的断开。二者取长补短,实现了有触点电器的无弧通断。

(三) 无触点功能组件

在工业设备的自动化控制中,由于控制对象品目繁多,几乎每一部门的控制设备都有其特定的技术要求,各种具体的电控装置在电路中的原理、规模和结构方面更是有着差别的,但是组成这些不同的控制设备的各个基本环节却有很大的通用性。例如晶闸管的移相触发器在所有需要移相触发的晶闸管装置中都是需要的,因此可以统一设计出一种或数种指标较高、工作可靠、应用范围较广的晶闸管移相触发单元。与此相同,所有其他具有一定通用性的环节,例如延时或计时环节、各种变换器、比较或鉴别器、驱动放大器等,也都可以制成具有统一标准结构的各种功能组件,这样就使得各种电控装置的设计与安装变成若干标准功能组件的积木式组装,从而大大有利于制造和维修。组件便于专业化大量生产,因而可以提高质量、降低成本。

无触点功能组件是电子控制装置或系统的基本组成单元，其功能与传统电器元件的功能并不一一对应。基本上分为两大类：一类是模拟系统用的功能组件，另一类是逻辑和数字系统用的功能组件。前者有给定值、调节器、保护、监控与信号、移相触发及电源等组件；后者有比较鉴别、触发器、计数器、门电路、电平变换、模数转换、监控、显示及驱动放大等组件。这些建立在集成电路基础上的无触点功能组件已成标准化和系列化的产品。目前已生产了一些无触点功能组件产品。

四、我国电子电器概况及当前任务

近 20 年来，随着电子技术的发展，我国电子电器的研究与制造也在发展。从单个电器元件到各种综合控制和保护装置，从各种电量与非电量的信号检测电器到强电开关都已有很多定型产品，其中晶体管时间继电器、时间程序控制器、接近开关等已有十几年历史，有的已系列化。此后陆续出现了光电继电器、温度继电器、电动机过载、短路、断相、漏电保护继电器、自动开关半导体脱扣器、用于吊车起重过负荷保护的壓力继电器、光电耦合器、集成电路鉴幅器、固体继电器、混合式接触器、可实行软起动和具有综合保护的电动机起停控制器、受电动机电流值控制的自动星—三角转换器、功率因数补偿电容自动调节器，以及模块化和组合化的多功能顺序控制器等。此外强迫关断限流式晶闸管开关也已研制成功，无触点功能组件则正在全面调查、规划的基础上充分利用我国半导体工业发展的成就，研制各种急需的标准化组件产品。

我国的电子电器制造在近十余年中的发展是很快的，但仍急需做进一步的工作，当前的工作是结合我国国情及各部门生产过程自动化的需求，发展电子电器的新品种。新的电子电器应在下列某些方面有明显提高：

1. 提高精度和灵敏度 提高精度是为了使电器的动作值和释放值接近于恒值；提高灵敏度是使电器执行转换工作所需的信号功率极小。显然，这对于几乎所有电子电器来说都是重要的。

2. 扩大机能 扩大机能的含意有二：一是电器具有多功能，例如一只电动机保护继电器既可保护电机的过载和短路，又可保护断相和漏电。另一个含意是一只电器可控制或保护多个对象，例如可保护多台电机绕组过热的多检测点温度继电器。

3. 提高工作可靠性。

4. 降低功耗，减小体积。

5. 便于安装、使用和维护 与这一条件有关的是电器的电源、输出方式、外形结构和尺寸。例如最近研制成功的 CMOS 二线出口式交流接近开关，可在电源电压 110~220V 通用的情况下直接带动 40A 以下的交流接触器，由于只有两根引出线，因而便于布线，由于是强电（高电压）传输，因而有利于抗干扰和远距传输。

为了进一步促进我国电子电器的发展，应当归纳、总结电子电器的一般规律，研究电子电器赖以组成的基本环节。但是电子电器的研制不应只局限于某一种工作原理，为实现同一目的可以探求或选择其他更为适用的工作原理，设计灵敏度更高的信号检测电器的感辨机构，优先采用低功耗和具有高抗干扰电压容限的集成器件。此外提高工艺水平，严格试验和考核方法也是提高产品质量必不可少的重要途径。我国电子电器的研究与制造已有一定的基础，经过认真的努力，必将进入一个新的阶段，在四个现代化的事业中作出应有的贡献。

第一篇 电子电器基础

第一章 电子电器的组成及一般技术参数

§ 1-1 电子电器在自动化技术中的作用

检测和控制是自动化技术中的两个主要组成部分。要想控制生产过程中的某个物理量，就必须首先测出这个物理量。应用某种变换元件将被测物理量转换为与之有数量关系的电信号。此信号经放大器放大后再同个预先设定的门限值进行比较，由比较的结果确定应当给出什么样的输出状态。最后再用此输出信号去推动执行元件，以完成对上述物理量的控制。这是一种开关量控制过程。开关量控制的基本原理可归纳为图 1-1 所示的方框图。一个开关量控制系统要由若干个环节组成。把系统中除被控对象和执行元件以外的所有其他环节都组装在一个电器元件中，这就是所要研究的电子电器。用电子电路组装的各种继电器和感辨开关如：温度继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、接近开关、无触点按钮以及各种安全报警电器等都是典型的电子电器。电子电器作为一种开关电

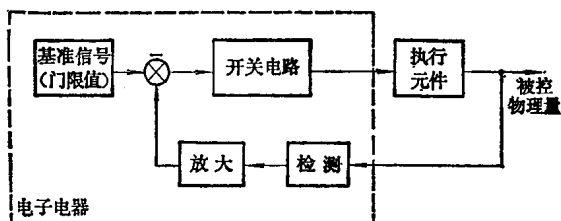


图1-1 开关量控制系统方框图

器，它的主要特征是具有确定的并可以调整的动作值和输出开关信息“0”和“1”。只有当被测量增长到预先整定的数值时电器才动作；也只有被测量降低到某一定数值时电器才释放。为了进一步说明电子电器在自动化技术中的作用和工作状态，下面举几个示例。

例1-1 图 1-2 是一个恒温控制系统示意图。在有电热器负载的三相交流主回路中接入了双向晶闸管 3CTS。晶闸管在这里只是一个通断开关，即要么全导通，电热器被加上电源的全压；要么全关断，切除电热器的电源。工作于这种开关状态下的晶闸管要求检测装置提供一个能判断温度是否已经达到预定值的开关信号。只要温度尚未到达预定值，晶闸管就应处于全导通状态。温度升高，热电偶产生的热电势以及放大器的输出电压均随之增大。但只要尚未到达鉴幅器的门限电压，鉴幅器和出口电路的输出状态就不会改变。只有当温度达到或超过预定温度时，放大器的输出电压才足以克服鉴幅器的门限电压

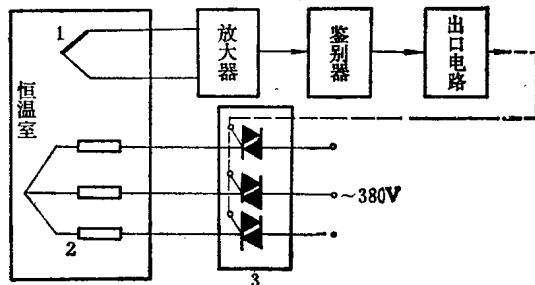


图1-2 开关量恒温控制系统示意图

1—热电偶 2—电热器 3—晶闸管

而使出口电路改变状态。如果将系统中除电热器以外的部分：感温元件、放大器、鉴幅器和包括晶闸管在内（或不包括晶闸管）的出口电路组合成一个电器，这就是电子式温度开关。

例1-2 图1-3是一个冲压机床安全保护开关的原理方框图。由安装在保护区的一根棒状金属电极A与包括人体在内的大地构成一个电容传感器。此电容传感器

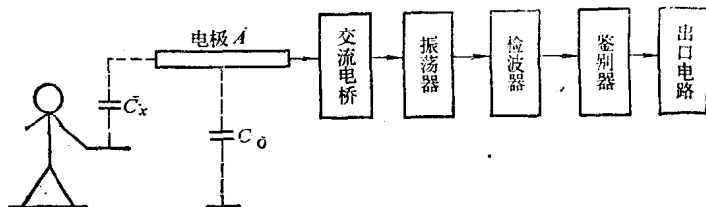


图1-3 安全保护开关方框图

又与另外三个固定电容器组成一个交流电桥。交流电桥被置于一个LC振荡器的反馈回路内，这样就可以由电桥对角线送出电压的相位来控制振荡器的起振和停振。当操作者的手进入保护区时，人体与电极间的电容 C_x 增加，并使电极与大地间的总电容 C 增大。

$$C = C_0 + C_x$$

式中 C_0 为电极与除人体以外、包括冲压机床在内的大地间的电容。当作为一个桥臂的电容 C 增大到使电桥从某一方向上的不平衡经过平衡点转向另一不平衡方向时，亦即当电桥输出电压的相位产生 180° 的改变并达到一定幅值时，振荡电路就由负反馈转为正反馈而起振，然后通过后级检波器、鉴幅器和出口电路输出动作信号。通过调整电桥中另一臂电容的容量，可以整定开关的保护距离，即刚好使开关动作时人体接近电极的距离。

例1-3 图1-4是用两个精度为微米级的接近开关对输送导轨上的金属零件进行无接触式尺寸检查。图a中2和3分别为检测上限和下限尺寸的两个接近开关的感辨头。当被测零件的直径大于或小于允许公差时，就由其中的一个接近开关发出信号，并通过图c中的或门“+”和与门2输出此信号。1和4是控制信号输出的两个接近开关，只有当被测零件进入到开关1和4都感知到有金属零件到达检测区时，与门 Y_2 才被与门 Y_1 所开启。假使没有1、4两个接近开关，则在没有被测零件到达时，电路将误发小于下限尺寸的信号。

例1-4 一种用于节约能源的三相异步电动机Y-△自动转换开关，其电路结构见图1-5。

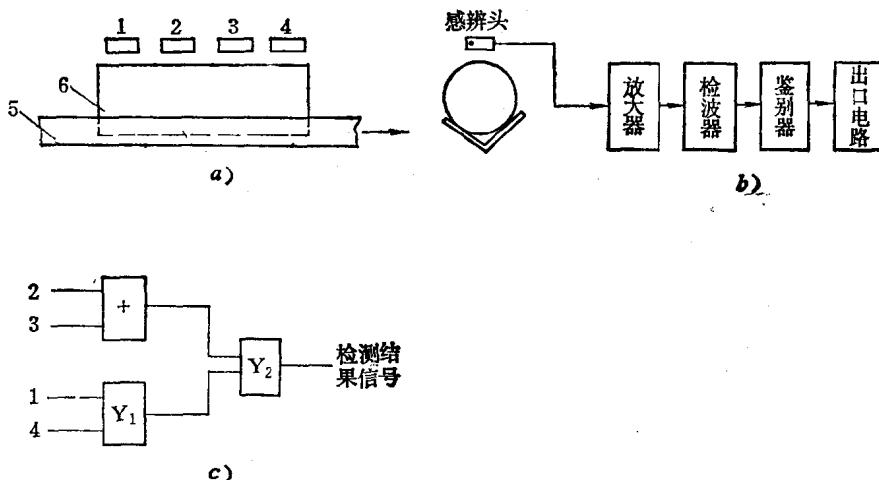


图1-4 用接近开关检测金属零件尺寸

1~4—接近开关的感辨头 5—定位导轨 6—被测零件

当电动机在空载或轻载运行时, 开关能经一定的延时自动地将电动机的定子绕组由 Δ 接改换为 Y 接。当电动机的负载增加至预定值, 例如达到或超过 40% 额定功率时, 开关又经一定的延时自动将电动机的定子绕组由 Y 接改换为 Δ 接。 Δ - Y 自动转换开关采用了电流原则的控制。用电流互感器 LH 与电阻 R 构成的 $I-U$ 变换器来取得反映电动机负载电流变化的电压信号, 然后通过鉴幅、延时等一系列环节, 用一个小继电器 J 输出。

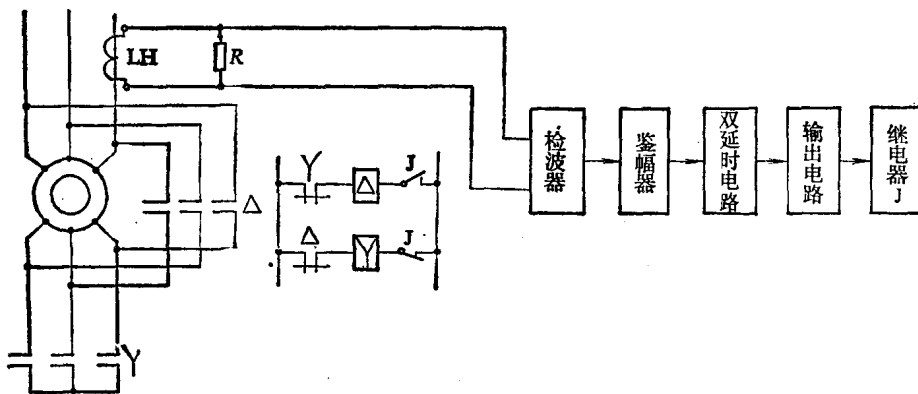


图1-5 Δ - Y 自动转换开关

从上面几个例子可以看出电子电器的一般特征和作用。它的任务是为自动化技术和其他应用领域提供所需的检测、监控、调节以及各种保护报警电器。在系统中它是一个元件或装置, 对它的要求是使用方便灵活, 便于安装、维修和调整, 高寿命, 小体积, 高的工作可靠性和强的现场环境适应能力。

§ 1-2 电子电器的组成

任何一种电子电器都各有其特殊的矛盾和规律, 而在许多不同类型的电子电器中间可能有其相同或相似的矛盾和规律。通过上面例子可以看出: 大量的电子电器在基本原理和电路结构方面存在许多共性的问题。实际上大多数非数字式电子电器都具有近似于图 1-6 所示的方框图。更换不同的感辨机构并对方框图稍作改动即成不同类型的电器。图中的感辨机构如果是一只反映光照强度的光敏元件, 那么它就是一个光电继电器; 如果是反映机械变形的电阻应变片, 那么就是一个压力或称重电器; 如果是测量交流电流的电流互感器或电抗变换器, 对方框图稍作修改, 那么得到的就是一只控制或保护用的电流继电器。

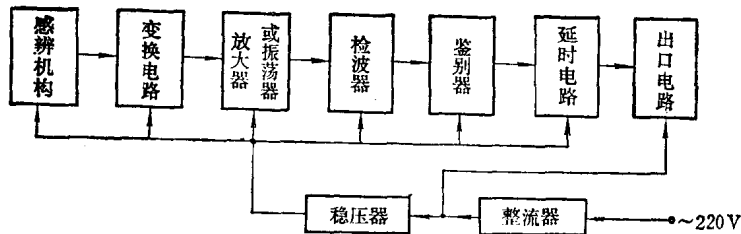


图1-6 一般电子电器的方框图

当然, 图 1-6 所示的方框图, 只能说它具有一定的代表性, 而并非所有电器都完全遵循这一结构形式。许多电子电器在其感辨机构与出口电路之间, 在信息的一系列处理上会有或多或少的差异。有的不需要

象图 1-6 所示的那么多环节, 如延时环节等。有的则尚需增加另外的环节, 如微分、积分、整形和逻辑门电路等。有些较简单的电器, 它的一个局部电路实际包含了图 1-6 方框中的几个环节。例如一个温度继电器电路 (图 1-7), 实际只不过是一个鉴别热敏电阻 R_t 上电压的射极耦合触发器, 但这个射极耦合触发器却兼负了放大、鉴别和出口电路的职能。

通过以上分析, 可粗略地了解一个一般的电子电器应当包含哪些组成部分。下面简要地叙述电子电器各主要环节的作用及相互关系。

一、感辨机构

电子电器的感辨机构主要是一些变换元件和各种传感器。它的作用是实现电——电和非电——电变换。把被监控的各种电量或非电量变换为适用于电子电路的电压、电流或电路参数 (R 、 L 、 C)。例如 $I-U$ 变换器把被测电流的变化转换为电压的变化; 光敏电阻把光强度的变化转换为电阻的变化; 压电元件 (石英晶体或压电陶瓷) 把微小机械力的变化转换为电荷或电压的变化。能直接将非电量变换为电压或电流的称为有源传感器, 如热电偶、测速发电机、霍尔元件、光电池等。不能直接变换为电压或电流, 而只能转换为电路参数的叫作无源传感器, 如热敏电阻、电阻应变片、各种电感和电容传感器等。由有源传感器送出的电压或电流信号可直接送到放大器放大, 无源传感器则尚需应用变换电路将变换来的电路参数再变换为电压或电流信号。

感辨机构是电子电器的重要组成部分。它的技术参数和性能指标以及是否选用合理关系到整个电器的技术指标, 并在较大程度上决定或影响了所要采用的电子电路和产品结构。例如由于采用了新型高灵敏度传感器, 电子电路将因此得到简化, 产品的体积、成本、可靠性等一系列指标会有所提高。

二、变换电路

变换电路是无源传感器所在的局部电路。其作用是将无源传感器随输入非电量变化而变化的电路参数转换为电压或电流。变换电路的输入量是电路中一个或几个元件参数的变化, 输出量是电压、电流的幅值、频率或相位, 各种交直流电桥、差动电路以及各种振荡电路都是常用的变换电路。

三、放大器

放大器的作用是将微弱的电信号加以放大, 以提高电器的灵敏度、精度和工作可靠性。几乎所有的电子电器都要有某种形式的放大器。即使不是独立的放大器, 那也是由别的环节兼起了放大作用。常用的触发器和由某个电路参数控制其起振和停振的振荡器, 它们在担负别的职能的同时还起着一种具有强烈正反馈的非线性放大作用。

当要求放大器的放大倍数很高时, 宜采用具有负反馈的多级交流放大器, 因为交流放大器不存在直流放大器中难以解决的漂移问题。这样就要求送入放大器的信号是被缓变信号所调制的具有一定频率的交流信号。在电子电器中, 不仅电容和电感式传感器必须工作于交流, 一些灵敏度较低的电阻传感器, 如检测机械力的电阻应变片等也常采用交流供电的变换电路。还有象热电偶这样的有源传感器, 其热电势也是先用对一固定频率的载波信号进行调制, 然

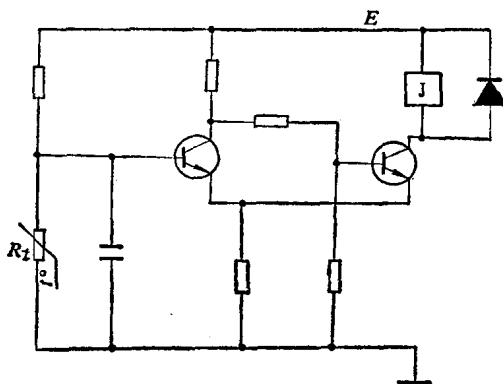


图1-7 温度继电器电路

后送入交流放大器放大，其目的就在于此。

送入放大器的信号中的噪音和放大器内部的噪音应设法加以有效地抑制，以免与有用信号混淆。放大器后面各环节中产生的噪音对电器动作值的影响要小得多。

四、检波器和解调器

由放大器输出的调幅波信号须经检波器或解调器解调成直流信号，然后送入鉴幅器进行鉴幅。检波器实际就是一个具有平滑滤波的整流电路。在电子电器中半波、全波、倍压和其他检波电路均有应用。滤波电容的容量越大，信号波形就越平滑，但由于电容的充电时间越长，电器的应答速度就越低。解调器的原理和功能与一般非相敏式检波器不同，它除了整流外还反映信号的相位（相敏整流器），有的还兼有放大作用（相敏放大器）。相敏解调器能以其输出直流电压的极性来反映被测非电量的变动方向。

五、鉴别器

鉴别器是用来判别被测量是否已经达到或超过给定量的比较环节。它向被鉴信号提供一个供比较的门限值，由该门限值和输入信号共同决定鉴别器的输出状态。作为一个鉴别器，不能只输出变化量（被鉴信号）和给定量（门限值）比较后的差值，而是要输出一个跳变的开关信号或逻辑电平来表示判断的结果。被鉴信号可能是电压的幅值、频率、相位或脉冲的宽度，因此鉴别器就相应地有鉴幅器、鉴频器、鉴相器和鉴宽器。

鉴幅器与在它前面的检波器应有较好的配合。即鉴幅器的回差电压（释放电压 U_f 小于动作电压 U_d 的数值）应与被鉴信号电压的脉动系数有较好的配合。在对应答速度没有要求或要求延时动作的电器中，允许将检波器的滤波电容用得很大，以充分减小信号的脉动。在对应答速度有一定要求的电器中，滤波电容的容量不得不有所限制，以免显著降低电器的动作速度，但这样就会使信号含有明显的脉动。当被鉴信号电压增长到其峰值超过 U_d 而其谷值仍低于 U_d 时（图 1-8a），鉴幅器将以相同的频率不断翻转而不能输出正常的电平信号。解决这个问题的办法是使鉴幅器有一定的回差电压 $U_d - U_f$ 。只要回差电压大于脉动信号的上、下峰值，鉴幅器就不会出现连续翻转的不正常工作状态，见图 1-8b。一些动作速度极高的电器，其检波器中没有滤波电容，或只接入小容量的抗干扰电容。当信号的峰值电压达到 U_d 时，鉴幅器就输出脉冲信号并由后面的单稳电路加以展宽或用记忆电路加以保持。前者构成自动复位电器，后者构成非自动复位电器。

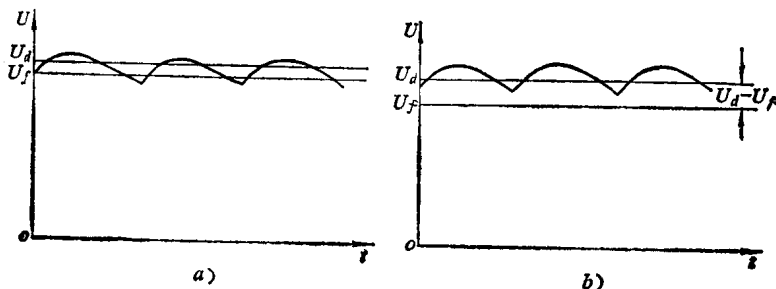


图1-8 鉴幅器回差电压与信号脉动系数的配合

六、延时电路

如果当输入信号达到或超过预先整定的动作值而希望能延缓动作时，就需要在电路中设置延时环节以实现所需的延时。延时时间可以是恒定的，也可以是与被测量大小有关，例如

具有反时限特性的过流继电器。

七、逻辑门电路

在非数字式电子电器中也会用到逻辑门电路。设置门电路的目的是给电器的动作附加了条件。与门电路使电器的动作条件变得严格；或门电路使电器的动作条件放宽；而非门电路则使电器原有的动作条件作了一次否定。如图1-4。又例如具有多个感辨头的电子电器，如果在各信号间设置与门电路，则意味着只有各感辨头反映的输入量都达到门限值时电器才动作；而如果各信号间设置或门电路时，则只要有任一个被测信号达到门限值时电器就动作了。

八、记忆环节

电器元件依据能否自动复位而可分为自复式和非自复式。自复式电器在信号消失以后即自行恢复“释放”状态。非自复式电器则对所产生的动作具有自保持或记忆能力，即使信号消失，电器也不“释放”，除非有外力的参与，例如人工按下复位按钮。显然，在非自复电器的电路中必须设置某种记忆环节，如双稳或晶闸管电路等。保护用电器常设计成非自复式；某些控制用电器，如记忆式接近开关等，也要求有保持信号作用的记忆能力。

九、出口电路

出口电路是电子电器的末级电路。其主要作用有三：1. 提供所需的输出电平和功率。2. 获得良好的开关特性或继电特性（如果前级鉴别器未能作到这一点）。3. 提供互相隔离或不隔离的多路转换输出，各路有 Y （“1”）和 $\bar{Y}$ （“0”）出口端。出口电路的输出形式有无触点（晶体管或晶闸管）和有触点（小型继电器）两种，应当根据实际需要、权衡利弊加以选用。

十、电源

电子电器所需电源的种类很多。由于晶体管电路多是在直流电压下工作，因此通常需设置包括变压器在内的整流电源，向电路中的信号变换、放大和鉴别环节提供质量较高的稳压电源，以保证电器在电源电压有较大的波动的情况下有较高的精度。担负功率输出的出口电路，其电源的稳压质量可以稍差。用继电器出口的输出电路的电源甚至可以不加稳压，见图1-9。

如果电路中含有交流变换电路或调制式放大器，则须在电路中设置具有合适频率的正弦波或其他波形的振荡器，作为变换电路、调制电路和解调电路的工作电源和参考信号源。对于数字式电子电器则尚须设置必要的时钟脉冲源，而在另一些情况下，电路中的某个环节可能要求提供一个恒流源。

作为系统中的一个元件，电子电器往往受到体积的限制。因此其电源应当在保证按技术条件正常运行的前提下尽可能简化电路。考虑采用集成电路稳压电源和研究无变压器直流电源，例如在第八章中介绍的具有二线式出口电路的接近开关。此外不要把电路设计得功耗过大，优先选用功耗小的各种集成电路；采用对电源稳压质量要求不高的变换电路和鉴别电路，例如采用把电器动作值设在平衡点附近的桥式电路和不是以幅值而是以相位鉴别的鉴别器。

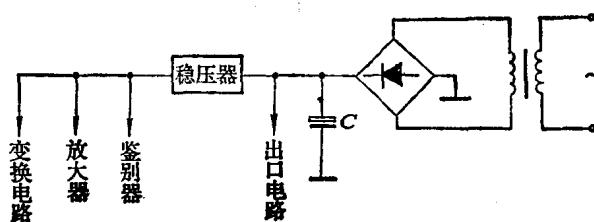


图1-9 电子电器的电源

§ 1-3 电子电器的技术参数

电子电器的主要技术参数如下：

一、动作值

电子电器的动作值是输入量在其输出状态由“0”态翻转为“1”态时的数值。如果电器的动作值是可调的，即用户可以通过设在外壳或面板上的调节旋钮自行整定所需的动作值，那么还应给出动作值的上、下限范围。

二、回差及返回系数

输入量在电器的输出状态由“1”态恢复为“0”态的值叫作电器的释放值。释放值与动作值常不是一个值。在图 1-10 所示的继电特性中， $O-A-B-C$ — D 是电器在动作时的途径； $D-C-E-A-O$ 是释放时的途径。 A 点和 B 点分别对应于电器的释放值和动作值。由于释放值小于动作值，特性曲线中出现了输入和输出为非单值关系的滞环 $A-B-C-E-A$ 。滞环的宽度 AB 称为电器的回差，例如某温度继电器的回差为 0.5°C 。由此得

$$\text{回差} = \text{动作值} - \text{释放值} = OB - OA$$

释放值与动作值之比称为电器的返回系数 K_r ，

$$K_r = \frac{\text{释放值}}{\text{动作值}} = \frac{OA}{OB}$$

电器的回差不可能小于零， K_r 则不可能大于1。回差越小， K_r 就越接近于1。

不同的应用场合要求电器有不同的 K_r 值。保护类电器的 K_r 要求较小，甚至要求不复。检测和调节系统中用的电器则要求 K_r 值等于或接近于1。在图 1-2 的主回路中，由于使用了晶闸管固态开关，允许有很高的操作频率，因此可以把温度继电器设计成没有回差，也就是 $K_r = 1$ ，以便大大提高系统的调节精度。但是如果在主回路中采用接触器，则不希望温度继电器的 K_r 接近于1，以免接触器过于频繁操作。

三、动作误差

电子电器对动作误差的规定基本上采用了与低压电器相一致的精度考核标准。误差分为单项误差和综合误差两类。单项误差又分为重复误差、电压误差（电源电压变动引起的误差）和温度误差（温度变动引起的误差）。综合误差是电源电压和环境温度各在其极限范围内变化时电器可能产生的最大误差。多数电器均采用误差的相对值，一些检测电器，如接近开关，则取误差的绝对值为其产品的精度。

电子电器产品的三个单项误差规定如下：

（一）重复误差 在常温和额定电压下

$$\text{动作误差} \quad \Delta = \pm \left| \frac{F_d - F_{da}}{F_{da}} \right| \times 100\%$$

式中 F_{da} ——5次动作值的算术平均值；

F_d ——5次中偏离平均值最大者。

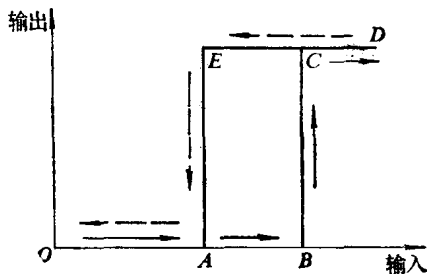


图1-10 继电特性图

(二) 电压误差 在常温下以 85%、100%、105% 额定电压 U_N 各试验 5 次

$$\Delta' = \pm \left| \frac{F'_{da} - F'_{da}}{F'_{da}} \right| \times 100\%$$

式中 F'_{da} —— 100% U_N 时 5 次动作值的算术平均值;

F'_d —— 各次动作值中偏离平均值最大者。

(三) 温度误差 在 100% U_N 下, 以常温、上、下极限温度三种情况各试验 5 次

$$\Delta'' = \pm \left| \frac{F''_{da} - F''_{da}}{F''_{da}} \right| \times 100\%$$

式中 F''_{da} —— 常温下 5 次动作值的算术平均值;

F''_d —— 各次动作值中偏离平均值最大者。

与上述规定不同, 接近开关等检测电器的各单项误差规定为在 10 次试验中取最大与最小值之差为产品的精度。

四、电源电压

不论所用电源是交流还是直流, 都应采用统一规定的各级标准电压。在给出电源电压的同时还应规定出电压的允许变动范围, 在此范围内电器能可靠地工作并能保证规定的精度。

五、输出电压

输出电压有“0”输出电压和“1”输出电压, 前者是输出低电平 (指正逻辑) 时电压的最高允许值, 后者是输出高电平时电压的最低允许值。

六、最大输出电流

最大负载电流有输出高电平时的拉电流和输出低电平时的灌电流。在输出最大拉电流时, “1”输出电压不应低于规定值, 在输出最大灌电流时, “0”输出电压不应高于规定值。

如果是采用继电器出口, 则负载能力由所用继电器的触点容量决定。

七、频率响应

从输入非电量开始作用于电子电器的传感器到电器的输出端作出应有的状态反应所需的时间是电器的动作时间。当输入非电量按某一频率重复作用于电器时, 如果作用的频率过高, 电器将来不及作出反应。表现在出口端的输出电平不能正常地在“0”和“1”之间转换。如果是继电器触点输出, 则继电器就来不及正常地执行通断任务, 因此有一个跟随速度的问题。把电器的输出状态能按规定的输出电压幅值正常地跟随输入非电量进行转换的最高频率叫作电器的频率响应。当信号的作用频率增大时, 电器出口端的电压波形变化见图 1-11, 图中输出电压幅值不低于规定值的最高频率 f_M 就是电器的频率响应。

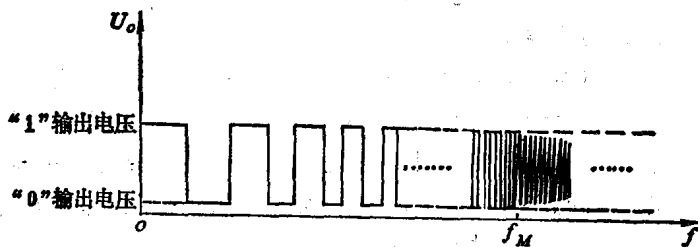


图1-11 电子电器输出与频率的关系

八、环境温度

这是保证电子电器正常工作所必须规定的另一个外部条件。半导体器件和某些电子元件受环境温度的影响较大, 电器的设计应考虑到寒带冬季户外和热带夏季在高温设备近旁的严

峻条件。如果不能设计成有宽广的使用温度范围,那么可以设计成几种温度范围。有偏于高温,有偏于低温,如: $-40 \sim +40^{\circ}\text{C}$, $-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$, $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$ 等,以供选用。

九、其他

除上述技术参数及指标外,还有海拔高度、空气污染、防爆等级、机械振动、耐压试验和对由电源和电磁波辐射侵入的干扰信号的幅度与频率的限制等,在此不一一详述。

§ 1-4 电子电器的动作值及其误差

对于开关量输出的电器元件来说,最重要的技术参数是动作值,其他许多技术参数和条件也都是与动作值相关联而产生的。电器的精度实际就是动作值的精度,规定的各项外部使用条件也都是以保证动作值的误差不超出规定值为目的而确定的。动作值不是一个孤立的量,它必然要与其他的一些有关量相互制约。那么在电子电器中,决定和影响动作值的有哪些主要因素?这些因素分属于电路的哪些部分?为了减小误差、提高精度,应当如何处理某些量之间的关系?

一、电子电器的动作值

把前面讲过的电子电器的基本原理和电路结构作最大限度地概括,便可归纳出它的最基本部分是“变换”和“鉴别”两大部分。前者包含了感辨、变换和放大三个环节,它输入非电信号,输出是经变换并放大的电信号。其总灵敏度 S_t 为

$$S_t = S_x S_b K_a \quad (\text{伏/非电量单位}) \quad (1-1)$$

式中 S_x ——无源传感器的灵敏度 (欧/非电量单位);

S_b ——变换电路的灵敏度 (V/Ω);

K_a ——放大器的放大倍数。

由电子电器的基本原理不难写出

$$S_t = \frac{U_d - U_0}{F_d} \quad (1-2)$$

从而得到被测非电量的动作值 F_d 的表达式

$$F_d = \frac{U_d - U_0}{S_t} \quad (1-3)$$

式中 U_d ——鉴别器的门限电压;

U_0 ——鉴别器输入端的起始电压。

起始电压就是输入非电信号未作用于传感器时的鉴别器输入端电压。 U_0 可以是零,也可以是正或负的某个值。调整变换电路或放大器中的某个参数可以得到 U_0 。在从负到正之间的任何一个值,见图 1-12。如果取 $U_0 = 0$, 则

$$F_d = \frac{U_d}{S_t} \quad (1-4)$$

二、动作误差

由式 (1-3) 可知,当 U_d 、 U_0 、 S_t 波动时,电器将产生动作误差。 S_t 的波动是因为放大器放大倍数的不稳定。这个问题相对地比较容易解决,只要给放大器以足够深度的负反馈,放大倍数不稳定的问题便可较好地解决。 U_0 的波动主要是由于传感器的温度特性和放大器

的零点漂移。 U_d 的变动则是由于鉴幅器门限电压受电源电压和环境温度波动的影响。电子电器的动作误差主要就是由这两个因素引起的。

设当 U_d 、 U_o 分别变动为 $U_d + \Delta U_d$ 和 $U_o + \Delta U_o$ 时, F_d 相应地变动为 $F_d + \Delta F_d$, 由式 (1-3) 可列出

$$F_d + \Delta F_d = \frac{U_d + \Delta U_d - (U_o + \Delta U_o)}{S_t} = \frac{U_d - U_o}{S_t} + \frac{\Delta U_d - \Delta U_o}{S_t} \quad (1-5)$$

将式 (1-5) 减式 (1-3) 得动作值绝对误差

$$\Delta F_d = \frac{\Delta U_d - \Delta U_o}{S_t} \quad (1-6)$$

以式 (1-3) 除式 (1-6) 得动作值相对误差

$$\frac{\Delta F_d}{F_d} = \frac{\Delta U_d - \Delta U_o}{U_d - U_o} \quad (1-7)$$

若 U_o 及 ΔU_o 均等于零, 则

$$\frac{\Delta F_d}{F_d} = \frac{\Delta U_d}{U_d} \quad (1-8)$$

在式 (1-7) 中, ΔU_d 与 ΔU_o 是相减的, 因此如果 U_d 和 U_o 同时增减, 则二者的变动可以相消。电子电器常利用这一原理来提高精度。

U_d 和 U_o 、 ΔU_d 和 ΔU_o 本质上处于相等的地位, 因此为讨论简便起见, 可令 U_o 和 ΔU_o 等于零, 即按式 (1-8) 来进行误差分析。

U_d 的变动有两种形式, 一种可称之为绝对变动, 即其变动幅度 ΔU_d 与 U_d 本身大小无关。在实际使用中, 鉴幅器门限电压受环境温度波动的影响时就属于这种形式。通常在鉴幅器的门限电压中包含有 P-N 结的正向压降, 当环境温度有变动时, P-N 结压降可有平均每度 2.5mV 左右的变动, 这导致 U_d 亦要有平均每度约 2.5mV 的变动。设温度升高 40°C, U_d 就要降低 0.1V 左右, 此值与 U_d 本身的大小并无关系。由式 (1-8) 可知, 在 U_d 的这种绝对变动的情况下, U_d 值取得越大, 由同一个变动幅度 ΔU_d 所引起的动作误差越小。

例1-5 一个动作值为 50kg 的电子式压力继电器, 它的传感器、变换电路、放大器三部分的总灵敏度 $S_t = 0.01\text{V/kg}$ 。可以算得其鉴幅器的门限电压只有

$$U_d = F_d \cdot S_t = 50 \times 0.01 = 0.5 \text{ V}$$

若由于环境温度的影响, U_d 减小了 0.1V, 则动作值减为

$$F_d = \frac{U_d}{S_t} = \frac{0.5 - 0.1}{0.01} = 40 \text{ kg}$$

绝对误差为

$$\Delta F_d = 50 - 40 = 10 \text{ kg}$$

相对误差为

$$\frac{\Delta F_d}{F_d} = \frac{\Delta U_d}{U_d} = \frac{0.1}{0.5} = 20\%$$

现将 S_t 提高到 0.1V/kg, 于是门限电压为

$$U_d = F_d \cdot S_t = 50 \times 0.1 = 5\text{V}$$

此时如 U_d 同样有 0.1V 的变动, 动作值将变为