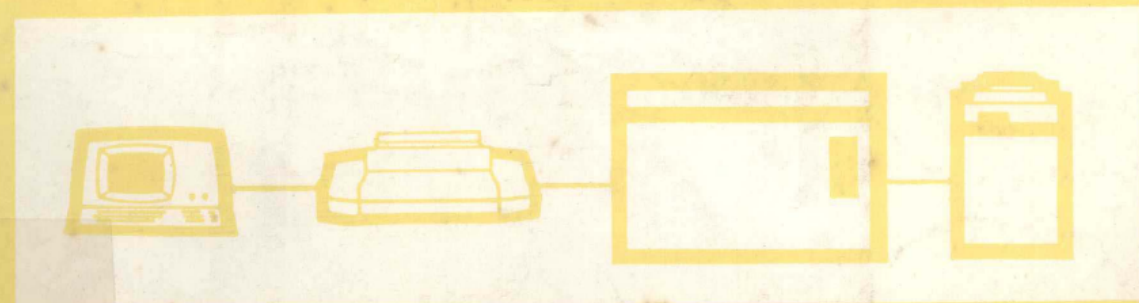
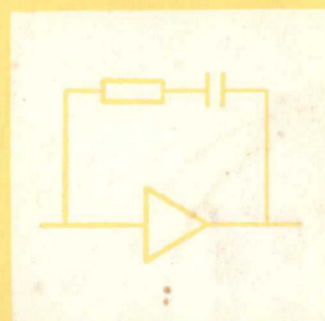
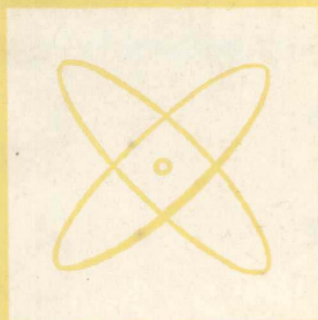


高等学校试用教材



检测与转换技术

习题及实验

吉林工业大学 常健生编

5055
6

全国高等学校工业自动化专业教育委员会

前 言

本书是高等学校工业电气自动化专业《检测与转换技术》的辅助教材。检测与转换技术是一门综合性的课程，理论性较强，知识面较宽，也密切结合实际。因此，该课程的习题和实验都要用到前面学过的物理、电工、电子、电机和控制理论等知识。为提高该课的教学效果本书对从事这门课程的教学人员和学生都有一定参考价值。

本书内容分为两个部分：第一部分是《检测与转换技术》的例题和习题。对较难的习题都有详细的提示，说明解题的根据、步骤，并对计算题给出了答案，这些都有利于启发读者加深对问题的理解和开阔思路。第二部分是《检测与转换技术》的实验指导书，其中包括六个基本实验。

本书既可作为《检测与转换技术》一书的配套教材，也可以单独参考使用，作为其他工程技术人员参考。

由于编写时间仓促，难免有错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

1981年 8 月

编辑 全国高等学校工业自动化专业教育委员会
地址 安徽省合肥市电溪路合肥工业大学
电报挂号 1122

目 录

第一部分 检测与转换技术例题和题解

第一章	检测与转换技术的基本概念	1
第二章	触点及干簧管传感器	5
第三章	电阻传感器	8
第四章	电感传感器	14
第五章	电容传感器	18
第六章	光电传感器	23
第七章	热电偶	26
第八章	磁电传感器及电磁检测	28
第九章	压电传感器	34
第十章	霍尔传感器	37
第十一章	振弦和振筒传感器	40
第十二章	气动传感器	41
第十三章	红外辐射检测	43
第十四章	激光检测	44
第十五章	超声波检测	46
第十六章	核辐射检测	47
第十八章	模拟和数字转换器	49
第十九章	位移-数字转换器	51
第二十章	微型计算机在检测系统中的应用	53
第二十一章	抗干扰技术	56

第二部分 检测技术实验指导书

实验一	电阻应变片特性实验	59
实验二	电感传感器特性实验	63
实验三	电容传感器特性实验	67
实验四	热电偶焊接与校验	71
实验五	光电测速传感器特性实验	73
实验六	数字测温仪实验	77

附录

一、修匀实验曲线及直线的工程方法	80
二、数字测温仪工作原理及三点校准法	81
三、差动变压器互感系数 M_1 及 M_2 的计算参考书及资料	85

第一部分 检测与转换技术例题及题解

第一章 检测与转换技术的基本概念

例 1 某电子测量装置的技术说明书上指出:

- (1) 输入信号的频率在 2kHz 时归算误差⁻不大于 $\pm 2.5\%$;
- (2) 在 10~30℃ 时, 温度附加误差率不大于 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ (以 20℃ 为标准);
- (3) 输入信号的频率在 50~50000Hz 时, 频率附加误差不大于 $\pm 2.5\%$;
- (4) 电源电压变化 $\pm 10\%$ 时, 附加误差不大于 $\pm 2\%$;
- (5) 更换晶体管时, 附加误差不大于 $\pm 1\%$ 。

设在 30℃ 时使用该电子测量装置, 使用前更换了一个晶体管, 使用时电源电压为 200V, 被测信号为交流 0.5V、2kHz、满量程为 1V, 试估计测量误差。

解 如果认为每一个误差分量都达到技术指标规定的极限值, 则

基本误差 $\gamma_1 = \frac{\Delta}{x} = \frac{1 \times 2.5\%}{0.5} = \pm 5\%$

温度附加误差 $\gamma_2 = (30^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) \times (\pm 0.1\%/^{\circ}\text{C}) = \pm 1\%$

频率附加误差 $\gamma_3 = \pm 2.5\%$

电源附加误差 $\gamma_4 = \pm 2\%$

换管附加误差 $\gamma_5 = \pm 1\%$

这五项误差应如何综合才能最佳的反应实际情况呢? 如果认为最不利的情况是五个分量都同时达到最大值的情况, 则

$$\gamma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 |\gamma_i| = 5\% + 1\% + 2.5\% + 2\% + 1\% = 11.5\% \quad (1-A)$$

这个数值, 显然估计过大, 与实际情况出入较大。因为这些系统误差分量, 实际上不可能同时以最大值出现。而技术指标上给出的数值仅是一个不允许超出的极限值, 每个系统误差分量 (包括基本误差 γ_1) 都是以某一概率落入这个极限值规定的区间, 如果按概率论的观点去处理, 就会得到比较符合实际的结果。

设各误差分量都是正态分布, 所以各误差分量均有各自均方根误差 (标准误差) $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_5$, 并且以 95% 的概率分别落入 $\pm 2\varepsilon_1, \pm 2\varepsilon_2, \dots, \pm 2\varepsilon_5$ 的误差区域内。技术指标上规定的误差数值就是这样的一个误差区, 即

$$\pm \gamma_i x = \pm 2\varepsilon_i \quad (1-B)$$

式中 x ——被测量;

γ_i ——某误差分量的相对值。

- 归算误差 γ_0 是绝对误差 Δ 与测量范围 $B(X_{\max} - X_{\min})$ 的比值, 一般以百分数表示:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta}{B} \times 100\%$$

- 对已知的系统误差分量加以计算, 求得最终的误差, 这个过程叫误差的综合。

从上式可求得

$$\varepsilon_i = \frac{x}{2} \gamma_i \tag{1-C}$$

如果这些误差分量互不相关，则可按 $\varepsilon_x^2 = \sum \varepsilon_i^2$ 式来计算，即

$$\varepsilon_x^2 = \sum \varepsilon_i^2 = \frac{x^2}{4} \sum \gamma_i^2 = \frac{x^2}{4} 37.25\% \tag{1-D}$$

从上式解出 $\varepsilon_x = 3.05\% x$ ，可取 $\varepsilon_x = 3.1\% x$ 。

若以 95% 的概率计算总的相对误差 γ_x 时，可写

$$\gamma_x = \pm \frac{2\varepsilon_x}{x} = \pm 6.2\% \tag{1-E}$$

这个最终处理结果，比较合乎实际。

例 2 现对加热金属温度测量 15 次，将获得的测量值 x_i 记入表 1-A 中的第 2 列。要求对测量结果的数据进行整理。

表 1-A

n	测量值 X_i (mV)	抛弃粗大误差前		抛弃粗大误差后	
		剩余误差 V_{1i} (mV)	V_{1i}^2 (mV ²)	剩余误差 V_{2i} (mV)	V_{2i}^2 (mV ²)
1	30.42	+0.016	0.000256	+0.009	0.000081
2	30.43	+0.026	0.000676	+0.019	0.000361
3	30.40	-0.004	0.000016	-0.011	0.000121
4	30.43	+0.026	0.000676	+0.019	0.000361
5	30.42	+0.016	0.000256	+0.009	0.000081
6	30.43	+0.026	0.000676	+0.019	0.000361
7	30.39	-0.014	0.000169	-0.021	0.000441
8	30.30	-0.104	0.010816	—	—
9	30.40	-0.004	0.000016	-0.011	0.000121
10	30.43	+0.026	0.000676	+0.019	0.000361
11	30.42	+0.016	0.000256	+0.009	0.000081
12	30.41	+0.006	0.000036	-0.001	0.000001
13	30.39	-0.014	0.000169	-0.021	0.000441
14	30.39	-0.014	0.000169	-0.021	0.000441
15	30.40	-0.004	0.000016	-0.011	0.000121

$$\bar{x}_1 = 30.404 \text{ mV}$$

$$\sum V_{1i}^2 = 0.01496 \text{ mV}^2$$

$$\sum V_{2i}^2 = 0.003314 \text{ mV}^2$$

$$\bar{x}_2 = 30.411 \text{ mV}$$

$$\varepsilon_1 = 0.033 \text{ mV}$$

$$\varepsilon_2 = 0.016 \text{ mV}$$

解：计算算术平均值

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{456.06}{15} = 30.404 \text{ mV}$$

其结果写在 x_i 末尾。

计算剩余误差： $V_{1i} = x_i - \bar{x}_1$ ，其结果列于 x_i 旁。

检查 $\sum V_{1i} = 0$ ：经检查结果符合 $\sum V_i = 0$ 。

计算 V_{1i}^2 ：结果列于 V_{1i} 旁。经计算 $\sum V_{1i}^2 = 0.01496 \text{ mV}^2$ 。

计算均方根误差 $\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{\sum V_{1i}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.01496}{15-1}} = 0.032688 \approx 0.033\text{mV}$, 其结果列于

V_{1i} 的末尾。

检查有无粗大误差: $3\varepsilon_1 = 3 \times 0.033 = 0.099\text{mV}$, 在查找 $|e_1|$ 值大于 0.099mV 时, 发现 $|V_{18}| = 0.104\text{mV}$, 它大于 $3\varepsilon_1 (= 0.099\text{mV})$, 即该次测量后的读数 30.30mV 中含有粗大误差, 故应抛弃。现剩下 14 个数据。重新计算, 得 $\bar{x}_2 = 30.411\text{mV}$, 列写于 $\bar{x}_1$ 的下面, 然后计算 V_{2i} , 列写于 V_{1i} 旁。校验 $\sum V_{2i} = 0$, 其结果 $\sum V_{2i} = 0.006$ 可以认为是零 (这是 $\bar{x}_2 = 30.411428\text{mV}$, 近似为 30.411mV 所致。然后计算 V_{2i}^2 和 $\sum V_{2i}^2$, 其结果列写于 V_{2i} 旁, 接着计算 $\varepsilon_2 = \sqrt{\frac{\sum V_{2i}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.003314}{14-1}} = 0.016\text{mV}$ 。

$3\varepsilon_2 = 3 \times 0.016 = 0.048\text{mV}$, 在 $|V_{2i}|$ 中没有比 0.048mV 大的值, 这样就可以认为测量值中不存在粗大误差。

计算算术平均值 $\bar{x}_2$ 的均方根误差

$$\delta = \frac{\varepsilon_2}{\sqrt{n}} = \frac{0.016}{\sqrt{14}} = 0.0043\text{mV} \approx 0.004\text{mV}.$$

测量结果表示为:

$$A = \bar{x}_2 \pm 3\delta = 30.411 \pm 3 \times 0.004 = 30.411 \pm 0.012\text{mV}$$

题 1-2 在实验室条件下工作的某一电子测量装置由下列元件组成: 二极管 8 个, 晶体管 7 个, 电阻 36 个, 电位器 2 个, 电容 12 个, 线圈 4 个, 插件 2 个, 开关 2 个, 印刷电路板 2 块。试计算该装置的寿命。

提示 每种类型的元件数 n_a 和每种元件在 1000 小时实验下损坏的百分数 λ_a 列于表 1-B 中。 λ_a 值是由书中第 20 页查出。对没有特别指明的电阻和开关取的是均值。而线圈的 λ_a 采用电力变压器的值。

表 1-B

	二极管	晶体管	电 阻	电 位 器	电 容	线 圈	插 件	开 关	印刷电路板
n_a	8	7	36	2	12	4	2	2	2
λ_a	0.1	0.1	0.11	0.5	0.016	0.2	0.085	0.296	0.1
$\lambda_a n_a$	0.8	0.7	3.96	1.0	0.192	0.8	0.17	0.592	0.2

答 这种电子测量装置的寿命 $m = 11,885$ 千小时。

题 1-3 如果在电位器传感器两端加上固定电压 u (图 1-A), 随输入量 x 的不同, 分析输出电压 u_{sc} 的整量化误差。

提示 设电位器传感器的绕线均匀, 且电刷长度为 1.2 倍的绕线距离。

首先绘出输入量位移 x 与输出量电压 u_{sc} 间的关系曲线 $u_{sc} = f(x)$ 。若电刷只接触一匝电阻绕线时, 则输出电压增量 Δu_{sc} 为

$$\Delta u_{sc} = u/n \quad (1-F)$$

式中 u ——加在电位器传感器两端的固定电压;

n ——电位器传感器电阻绕线匝数。

若电刷沿电阻导线滑行, 短路第 i 圈和第 $i+1$ 圈两匝绕线时, 输出电压附加的电压增量

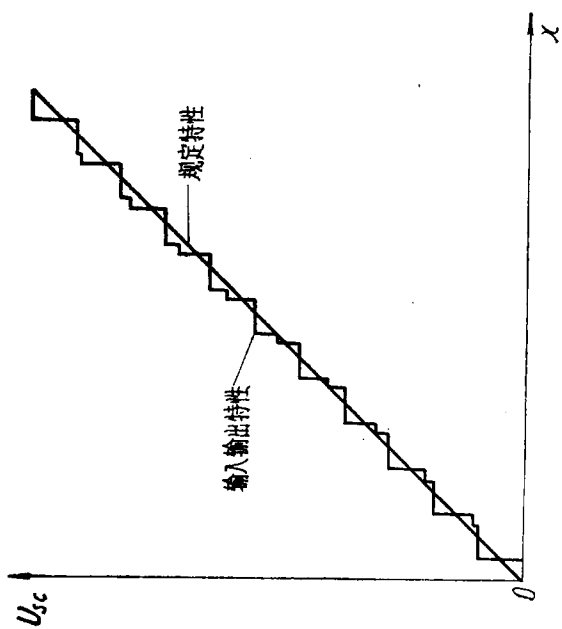


图 1-B 电位器传感器的特性曲线

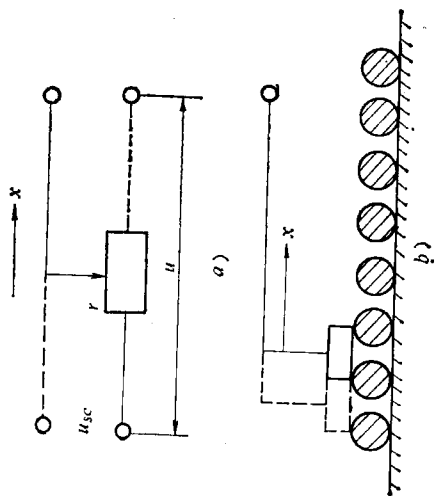


图 1-A 电位器传感器

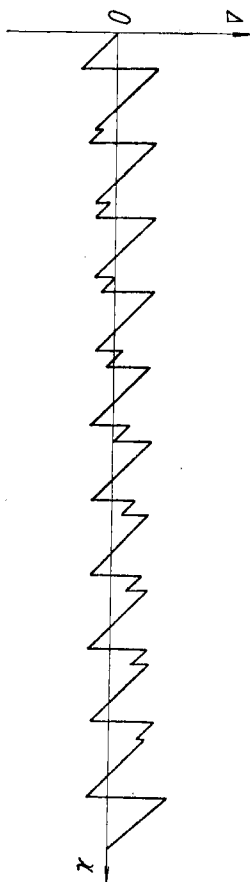


图 1-C 量化误差曲线

Δu 可写成如下形式:

$$\Delta u_i = u \cdot i \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n} \right) \quad (1-G)$$

因为最开始和最终两匝电阻绕线短路时, 不引起输出电压变化, 故输出电压附加的电压增量 Δu_i 共有 $n-2$ 个。按式 (1-F)、(1-G) 绘出的 $u_{sc} = f(x)$ 曲线示于图 1-B 中。

在图 1-B 的 $u_{sc} = f(x)$ 特性曲线上, 按其中线确定为规定特性。

以规定特性的 x 为横座标, 以输入输出特性与规定特性的差值 Δ (误差) 为纵座标, 绘出的误差曲线 $\Delta = f(x)$ 示于图 1-C 中, 它就是电位器传感器的输出电压的整量化误差曲线。

第二章 触点及干簧管传感器

例 1 试列举可以检测机械量、电量和热工量的触点传感器。

解 现将可以检测机械量、电量、热工量属于触点传感器的测量装置的名称和用途列写如下:

机械量检测: 界限式及振幅式触点传感器 (零件尺寸分选); 行程开关 (位移到达预定值); 速度继电器 (正、反转转速到达预定值); 水银接点角度继电器 (倾斜角度到预定值)。

电量检测: 电流继电器 (过电流、欠电流时发出信号); 电压继电器 (过电压、欠电压时发出信号)。

热工量检测: 双金属片热继电器、水银接点温度继电器 (压力是否达到整定值); 浮子液位继电器 (液位是否到位)。

题 2-1 简述触点传感器的应用范围。(略)

题 2-2 试比较触点传感器及干簧管传感器的误差和可靠性。

解 以方形双界限触点传感器 (图 2-A) 与 H 型 $\phi 4 \times 38$ JAG-2 干簧管传感器 (其动作区域曲线如图 2-B 所示) 为例进行比较之。

首先计算出它们的误差, 然后再算出它们的概率的寿命, 以此来衡量可靠性。

方形双界限触点传感器的误差计算, 按其技术指标 (见书第 24 页) 可写:

$$\text{重复误差 } \Delta_1 = \pm 1\mu\text{m}$$

$$\text{零漂误差 } \Delta_2 = \pm 1\mu\text{m}$$

如果认为最不利的情况是这两个分量都同时达到最大值, 则

$$\Delta_2 = |\Delta_1| + |\Delta_2| = 1 + 1 = 2\mu\text{m}$$

实际上, 每个误差分量都是以某一概率落入自己极限值规定的区间。若按概率论的观点去处理, 会得到比较满意的结果。设各误差分量都是正态分布, 而各误差分量均有各自均方根误差 ε_i , 并以 95% 的概率分别落入 $\pm 2\varepsilon_i$ 的误差区域内, 可写 $\pm \Delta_i = \pm 2\varepsilon_i$, 由此求出 $\varepsilon_i = \frac{\Delta_i}{2}$ 。如果这些误差分量互不相关, 则 ε_z^2 可按 $\sum \varepsilon_i^2$ 计算之, 即 $\varepsilon_z^2 = \sum \varepsilon_i^2 = \frac{1}{4} [\Delta_1^2 +$

$$\Delta_2^2] = \frac{1}{4} [1 + 1] = \frac{1}{2} \mu\text{m}^2。由此解出 \varepsilon_z = 0.707\mu\text{m}。若以 95\% 的概率计算总的绝对误差$$

$$\Delta_z = \pm 2\varepsilon_z = \pm 2 \cdot 0.707 = \pm 1.414\mu\text{m}。$$

干簧管传感器的误差计算 由尺寸为 $\phi 11 \times 53 \text{mm}^2$ V类 (A1-Ni-CO 系) 磁钢驱动的 H 型 $\phi 4 \times 38 \text{JAG-2}$ 干簧管传感器的动作区域曲线 (图 2-B) 看出: 在 吸合区域和开断区域中间存在有保持区域, 且保持区域在各个方向宽度都不一样, 其宽度决定于干簧管与磁钢的初始位置和动作方向。对于平行控制 (图 2-B 左), 保持区域宽度为 $2 \sim 8 \text{mm}$, 平行移动时为最小, 而垂直移动时为最大。对于垂直控制 (图 2-B 右), 保持区域宽度为 $3 \sim 8 \text{mm}$, 沿干簧管长度方向刚刚偏离初始状态移动时为最小, 而沿约 37° 的倾斜方向移动时为最大。保持区域宽度决定了干簧管传感器的绝对误差 (因其它误差甚小, 忽略不计), 故可认为此种干簧管传感器的绝对误差 Δ 为 $2 \sim 8 \text{mm}$ 。

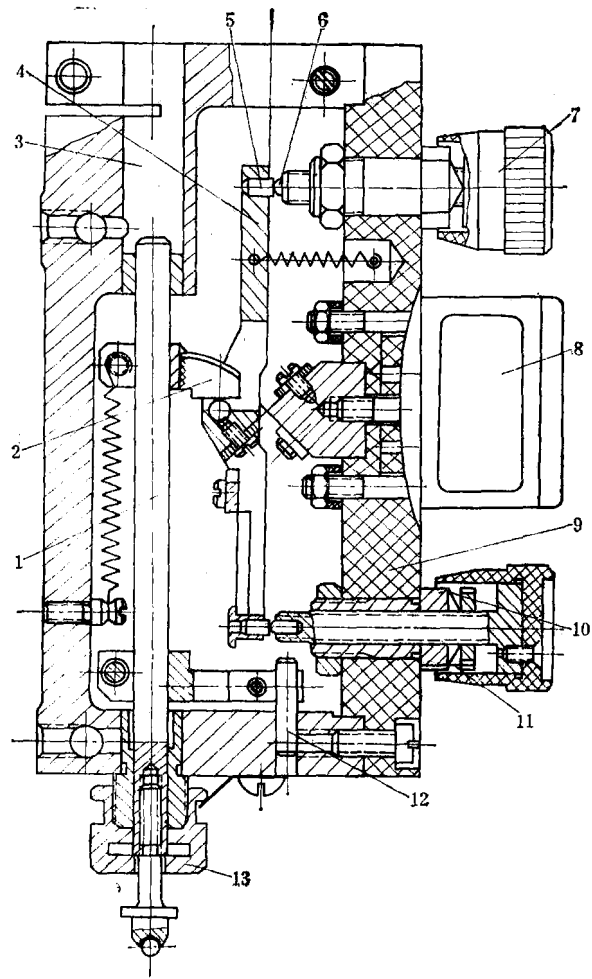


图2-A

- 1 —— 测量杆 2 —— 夹块 3 —— 装干分表或加测力补偿器用孔 4 —— 杠杆 5 —— 活动触点 6 —— 固定触点
- 7 —— 干分筒 8 —— 电插头 9 —— 绝缘板 10 —— 消除簧片 11 —— 制动片 12 —— 防转销
- 13 —— 微动螺母

估计触点及干簧管传感器概率的寿命。从图 2-A 和图 2-C 中对方形 双界限 触点传感器及干簧管传感器及干簧管传感器的静止、运动和机械零件以及触点估计计数计入表 2-A 中。

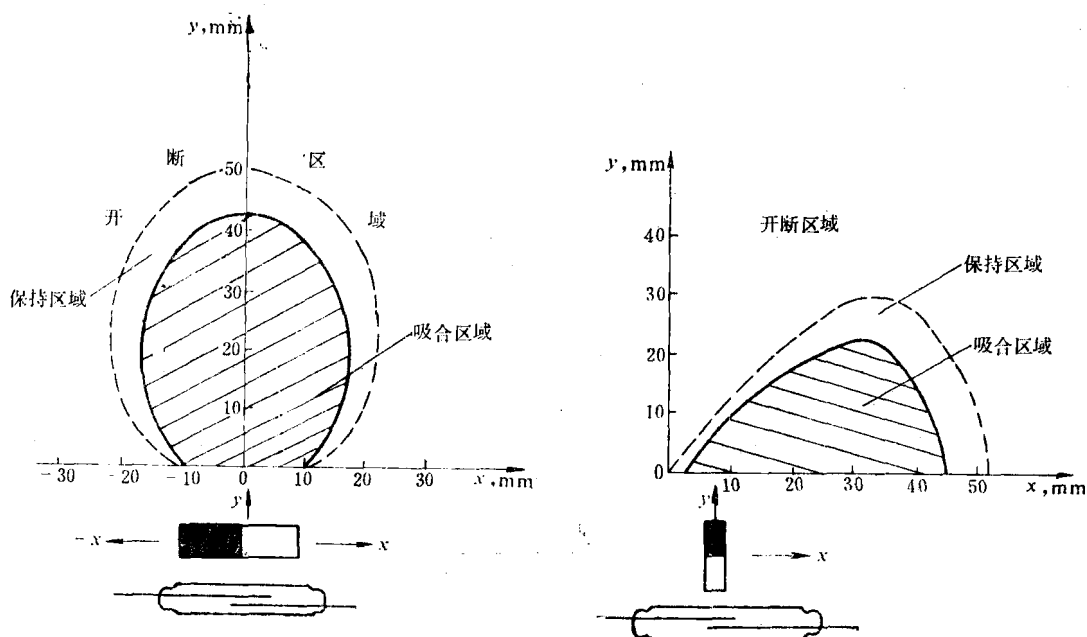


图 2-B

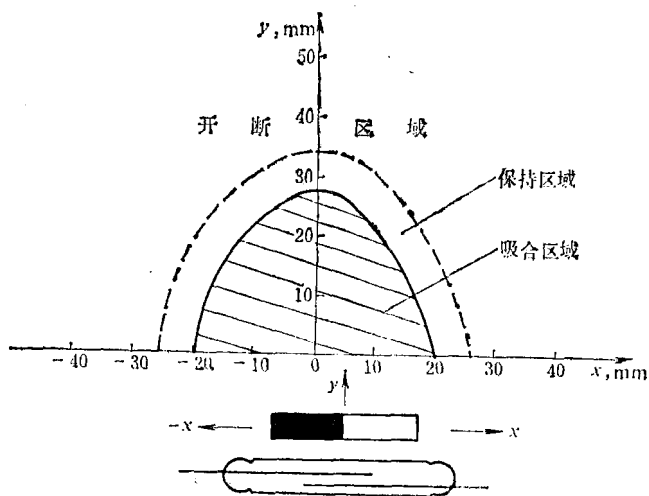


图2-C

表 2-A

	触 点 传 感 器			干 簧 管 传 感 器		
	静止零件	运动零件	触 点	静止零件	运动零件	触 点
n_a	28	12	2	1	3	1
λ_a	0.055	0.3	0.296	0.055	0.3	0.296
$\lambda_a n_a$	1.54	3.6	0.592	0.055	0.9	0.296

按书中第 20 页查出, 每种零件在 1000 小时实验下损坏的百分数 λ_a 记入同一表中。对于没有特别指明的零件、开关取均值, 对于触点可按开关选取 λ_a 值。

再按式 (1-17) 算出两传感器的 m 值, 为此先要算出 λ_a 和 n_a 的乘积, 再算出每个传感

器的 $\Sigma \lambda_a n_a$ ，经计算，得

触点传感器 $\frac{1}{m} \% = \Sigma \lambda_a n_a = 5.732$

干簧管传感器 $\frac{1}{m} \% = \Sigma \lambda_a n_a = 1.251$

去掉%，得出：在实验室条件下工作的这两种传感器概率的寿命 m 值如下

触点传感器 $m = 17.4$ 千小时

干簧管传感器 $m = 80$ 千小时

虽然触点装置的寿命决定于额定负载情况下的机械电气寿命，它们是以动作次数衡量的，在小负载情况下触点装置的实际寿命远不止由电气寿命确定的次数。

最后进行比较，其结果列于表 2-B 中。从表 2-B 中看出：触点传感器 比干簧管传感器的误差小三个数量级；而后者比前者工作更可靠，其概率的寿命也大 4.6 倍。

表 2-B

	触 点 传 感 器	干 簧 管 传 感 器
绝对误差	1.414 μ m	2~8mm
概率的寿命	17.4kh	80kh

第三章 电阻传感器

例 1 已知欧姆表的内附电池电压为 E ，内阻为 R_i ，电流表指示的电流为 I 。欲测电阻传感器的电阻为 R_x ，问如何选择量程使测量误差为最小。

解 按题意可写出下式

$$R_x = \frac{E}{I} - R_i$$

显然，当电流表直接用电阻来标定时，其刻度是非线性的。现求该电阻传感器电阻的测量误差的最小条件。

由上面关系式可得

$$\Delta R_x = -\frac{E}{I^2} \Delta I$$

或
$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{I}{E - IR_i} \left(-\frac{E}{I^2} \right) \Delta I = \frac{E}{I^2 R_i - IE} \Delta I$$

令
$$\frac{\partial}{\partial I} \left(\frac{\Delta R_x}{R_x} \right) = 0$$

即
$$-E \Delta I (I^2 R_i - IE)^{-2} (2IR_i - E) = 0$$

或
$$2IR_i - E = 0$$

于是可得

$$I = \frac{E}{2R_i} = \frac{1}{2} I_m$$

上式说明：在选择欧姆表量程时，应尽可能使指针偏转到中心位置，这样，测量电阻传感器的电阻误差为最小。

例 2 在图 3-A 中， $E = 5\text{ V}$ 不计其内阻； $R_{10} = 100\Omega$ ； $R_{20} = 200\Omega$ ； $R_{30} = 1000\Omega$ ； $R_{40} = 2000\Omega$ ； $\Delta R_4 = 5\Omega$ ； $R_L = 100\Omega$ 为灵敏度 $K_L = 10\text{mm}/\mu\text{A}$ 的检流计的内阻。求输出电压 U_L 及检流计的偏转大小。

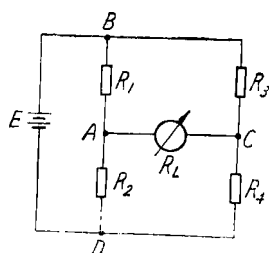


图 3-A

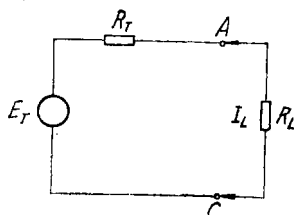


图 3-B

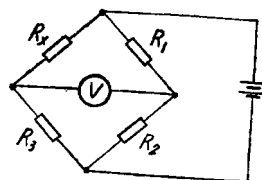


图 3-C

解 首先应用等值发电机原理对图 3-A 桥路的 A、C 两端绘出等效电路，如图 3-B 所示。图中 E_T 为空载电压，而 R_T 为电源短路时的等效电阻，可写成如下形式

$$\begin{aligned} E_T &= \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) E \\ &= \left(\frac{1000}{1000 + 2005} - \frac{100}{100 + 200} \right) \times 5 = -2.7\text{mV} \end{aligned}$$

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} + \frac{1000 \times 2005}{1000 + 2005} = 734\Omega$$

于是输出电压为

$$U_L = E_T \frac{R_L}{R_T + R_L} = -2.7 \times \frac{100}{734 + 100} = -0.32\text{mV}$$

负号表示 C 点电位高于 A 点。

通过检流计中之电流 I_L 为

$$I_L = \frac{E_T}{R_T + R_L} = \frac{-2.7}{734 + 100} = 3\mu\text{A}$$

检流计的偏移 d 为

$$d = I_L \cdot K_L = -3 \times 10 = -30\text{mm}$$

例 3 如图 3-C 所示的四臂电桥中，当比例臂 R_2/R_3 是多少时，电阻传感器电阻 R_x 的测量误差为最小？

解 从电桥平衡条件可写出

$$R_x = \frac{R_3 R_1}{R_2}$$

令

$$R_2 + R_3 = R$$

即

$$R_x = \frac{R - R_2}{R_2} R_1$$

将上式按 R_2 求导, 得

$$\Delta R_x = -\frac{R_1 R}{R_2^2} \Delta R_2$$

或

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{-R \Delta R_2}{R_2 (R - R_2)}$$

令

$$\frac{\partial}{\partial R_2} \left(\frac{\Delta R_x}{R_x} \right) = 0$$

$$R \cdot \Delta R (R - 2R_2) = 0$$

于是得

$$R = 2R_2$$

即

$$R_2 + R_3 = 2R_2$$

上式表明: 当 $R_2 = R_3$ 时, R_x 的测量误差为最小。

例 4 试计算并联电阻式电位器函数转换器的并联电阻值。线性电位器已设计好: 圆形骨架内径 $D_n = 62.5\text{mm}$, 工作角度 $\alpha_0 = 330^\circ$, 总阻值 $R = 500\Omega$, 要求电刷在 $0 \sim 330^\circ$ 范围内转动时, 输出电压 $U_{sc} = 0.78\alpha^2$ (式中 α 以弧度计) 确定的抛物线变化; 当 $\alpha_0 = 330^\circ$ 时, $U_{sc} = 26\text{V}$, 要求折线近似误差不超过 4%, 相当于绝对误差 $\Delta U \leq \pm 1\text{V}$ 。

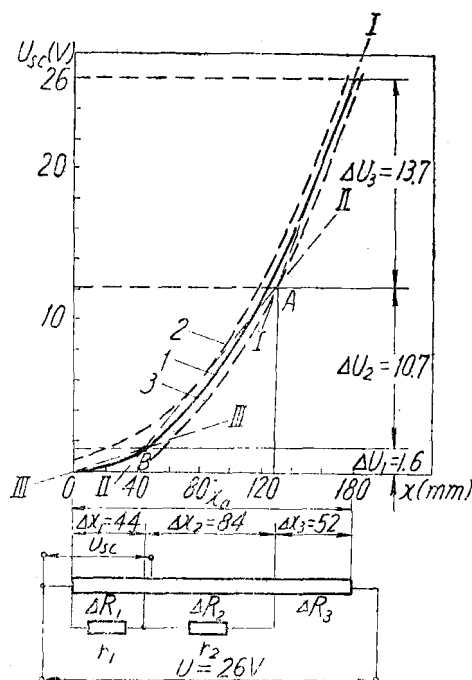


图 3-D

解 1, 以展开的平面图表示电位器函数转换器, 见图 3-D。电位器绕线部分长度 x_0

$$x_0 = \frac{D}{2} \alpha_0 = \frac{62.5}{2} \times 330 \times \frac{\pi}{180} = 180 \text{ mm}$$

作出函数 $U_{sc} = f(x)$, x 为电刷线位移, 因为

$$x = \frac{D}{2} \alpha, U_{sc} = 0.78 \alpha^2, \text{ 则}$$

$$U_{sc} = f(x) = 0.78 \frac{4x^2}{D^2} = 0.78 \frac{4x^2}{62.5^2} = 8 \times 10^{-4} x^2 \text{ mm}$$

将所得的曲线 1, 即 $U_{sc} = f(x)$ 沿纵坐标轴移动一个允许误差值 $\Delta_U = \pm 1 \text{ V}$, 得到曲线 2 和 3。在给定的特性曲线 1 的近似直线部分 I-I 线 (如图 3-D 中所示), I-I 线与曲线 3 的交点 A 确定电位器某一段的交界点; 过 A 点作 II-II 线与曲线 2 相切, II-II 线与曲线 1 的交点 B 是电位器另一段的交界点, 从 B 点作直线 III-IV 通过 O 点。

2. 从曲线图上确定电位器的各段长度为 $\Delta x_1 = 44 \text{ mm}$, $\Delta x_2 = 84 \text{ mm}$, $\Delta x_3 = 52 \text{ mm}$; 其各段的电压为 $\Delta U_1 = 1.6 \text{ V}$, $\Delta U_2 = 10.7 \text{ V}$, $\Delta U_3 = 13.7 \text{ V}$ 。

3. 线性电位器的各分段电阻为

$$\Delta R_1 = \frac{R}{x_0} \Delta x_1 = \frac{500}{180} \times 44 = 122.2 \Omega$$

$$\Delta R_2 = \frac{R}{x_0} \Delta x_2 = \frac{500}{180} \times 84 = 233.3 \Omega$$

$$\Delta R_3 = R - \Delta R_1 - \Delta R_2 = 500 - 122.2 - 233.3 = 144.5 \Omega$$

4. 由于 ΔR_3 段特性曲线斜率最高, 故不需并联电阻, 只在 ΔR_1 、 ΔR_2 段上并联电阻, 因此各段 Δ 的等效电阻值 ΔR_{1T} 、 ΔR_{2T} 、 ΔR_{3T} 各为

$$\Delta R_{3T} = \Delta R_3 = 144.5 \Omega$$

$$\Delta R_{2T} = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_3} \Delta R_{3T} = \frac{10.7}{13.7} \times 144.5 = 112.9 \Omega$$

$$\Delta R_{1T} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \Delta R_{3T} = \frac{1.6}{13.7} \times 144.5 = 16.9 \Omega$$

5. 求各段并联电阻值

$$r_1 = \frac{\Delta R_1 \times \Delta R_{1T}}{\Delta R_1 - \Delta R_{1T}} = \frac{122.2 \times 16.9}{122.2 - 16.9} = 19.6 \Omega$$

$$r_2 = \frac{\Delta R_2 \times \Delta R_{2T}}{\Delta R_2 - \Delta R_{2T}} = \frac{233.3 \times 112.9}{233.3 - 112.9} = 218.9 \Omega$$

题3-1 试分析图 3-E 中各种传感器的灵敏度。

提示 在图 3-E 所示之八个电位器传感器原理图中, 可分成三类进行分析之:

1. 实际的输入输出特性是直线的, 图 a、b 和 g。
2. 规定的输入输出特性是直线的, 图 e 和 d。

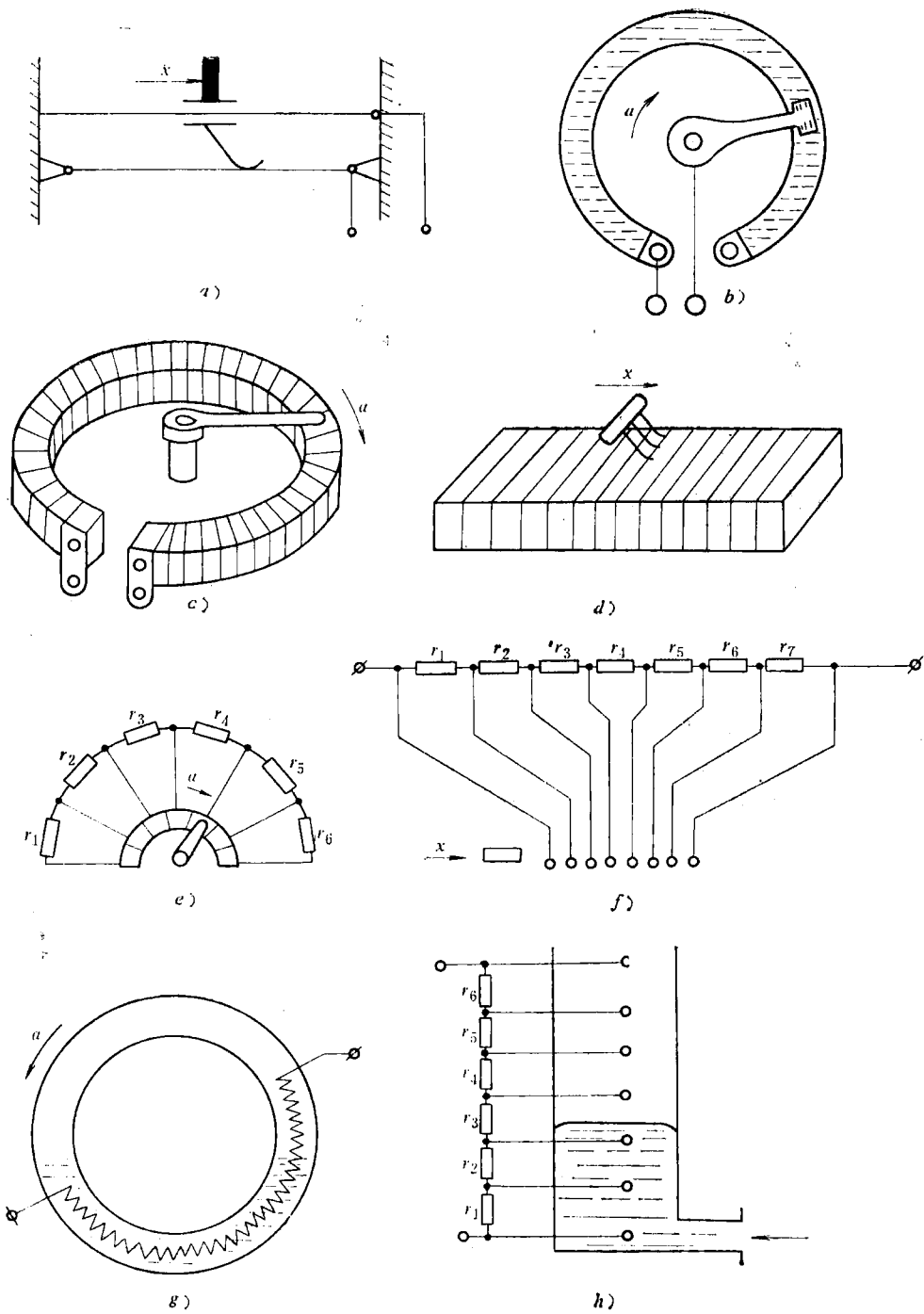


图3-E

3. 输出特性是有级的 认为各固定电阻值 r_i 皆相等, 并不灵敏区 D 。

题3-2 试讨论图 3-F 中之各种传感器的静态特性。

提示 图 3-F a 是以电流 I 为输出的电位器传感器测量线路, 输入量为直线位移量

x_0 。

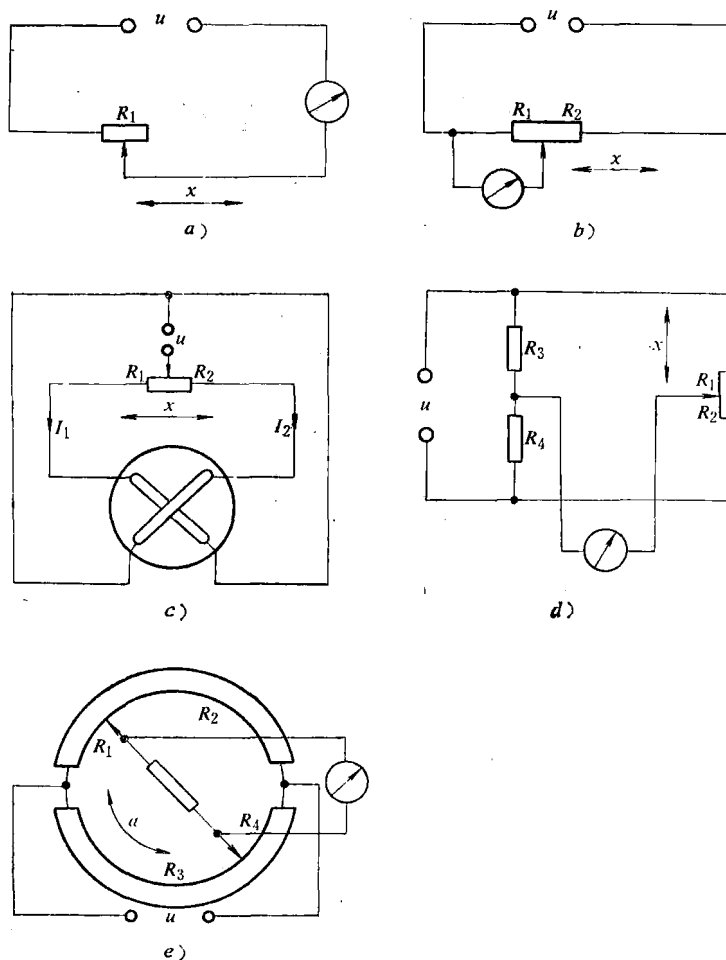


图3-F

图 3-F b 是以电压 U_{sc} 为输出的电位器传感器测量线路。令 R_i 为电压表的内阻; K 为电位器传感器的灵敏度 $\left(\frac{R_1 + R_2}{x_m}\right)$ 。

图 3-F c 是以电流比 $\frac{I_1}{I_2}$ 为输出的差动电位器传感器的测量线路。令 $K = \frac{R_1 + R_2}{x_m}$, 又当 $x = 0$ 时, $R_1 = R_2 = R_0$ 。

图 3-F d 是以电压 U_{sc} 为输出的差动电位器传感器的桥形测量线路。桥路平衡时, 令 $R_1 = R_2 = R_0$ 、电桥灵敏度 $K = \frac{R_1 + R_2}{x_m}$, 并可假定 $\Delta R_i \ll R_i$ 和电桥负载内阻很大。

图 3-Fe 是以电压 U_{sc} 为输出的双差动电位传感器的桥形线路。电桥平衡时, 认为 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$, 又电桥灵敏度 $K = \frac{R_1 + R_2}{\alpha_m} = \frac{R_3 + R_4}{\alpha_m}$, 并假设 $|\Delta R_i| = K\alpha \ll R_i$ 和电桥空载。

第四章 电感传感器

例1 有一电感传感器, 直线位移量程为 $\pm 10\text{mm}$, 采用三段差动变压器结构, 如图 4-A 所示。

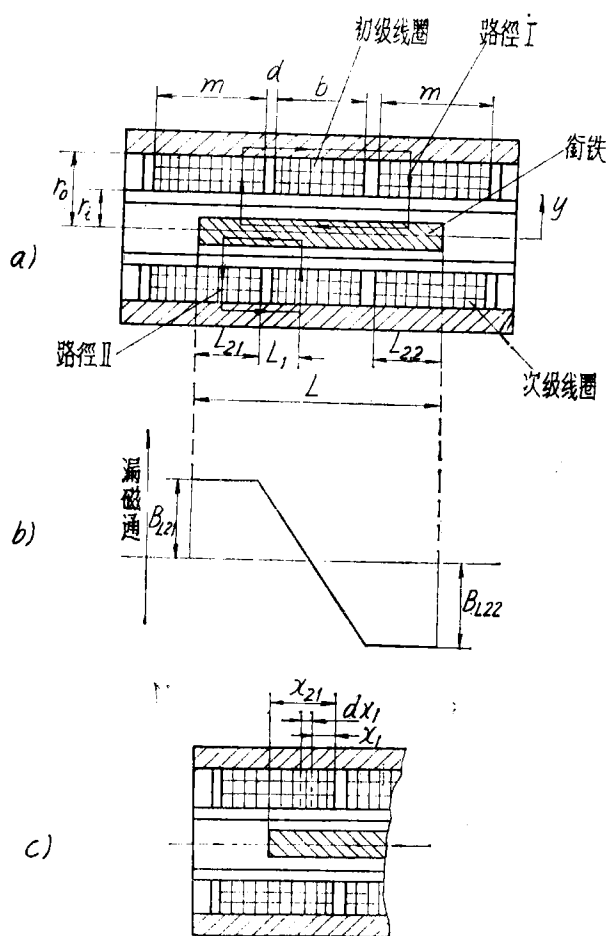


图4-A

其结构尺寸和电参数如下:

$$b = 29\text{mm}, m = 30\text{mm}, L = 70\text{mm},$$

$$K_i = 4.8\text{mm}, r_0 = 10\text{mm}, \alpha = 1.5\text{mm},$$