

电子计测概论

〔日〕守田荣之 著

吴立龙 译 卢肇英 校

16
国防工业出版社

73.876
180

电子计测概论

〔日〕守田荣之 著

吴立龙 译

卢肇英 校

国防工业出版社

DL21/57
内 容 简 介

本书为介绍电子计测技术的入门书。全书共分三篇：第一篇电子计测基础，说明计测系统的组成、各类传感器、信号的处理及其显示记录等所必需的基础知识；第二篇计算机系统，为本书重点，在举例介绍小型和微型计算机的构造、性能、软件后，说明在电子计测中如何运用计算机，详细举例说明编制程序的方法；第三篇为计测数据的统计处理，并扼要地介绍了国际单位制（SI）及一些机械计测仪器。每篇之后附有习题，供进一步学习之用。

本书的特点是内容全面、浅显易懂、密切结合实际，特别适合于从事机械、自动化、计测方面工作的工人和科技人员使用，也可供高等院校有关专业的师生参考。

電 子 計 測 概 論

守田栄之 著

東京パワー社 1977

*

电 子 计 测 概 论

〔日〕 守田栄之 著

吴立龙 译

卢肇英 校

*

國防・軍品出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168^{1/32} 印张 5 125 千字

1984年1月第一版 1984年1月第一次印刷 印数：0,001—9,000册

统一书号：15034·2550 定价：0.66元

译 者 的 话

近廿年来，由于出现了许多质量高、价格低、使用简单的传感器（元件）和测试仪表设备，以及微型计算机、微处理器和各种集成电路的迅速普及，使今天的电子计测技术已大大地不同于传统的电子测量技术了。广泛地利用电子计测技术的计量、测试系统，不但能可靠地获得大量准确的信息，而且能极其迅速地对信号进行有效的处理，还可能具备前所未有的自控功能。因此，作为自动化工程核心之一的电子计测技术，对我国的四个现代化建设将发挥越来越重要的作用。

电子计测技术是一种发展十分迅速的综合性应用技术，微处理器和集成电路的大量使用，将使电子计测系统更多地成为自动化设备的一个组成部分。因此，过去那种把机械、电气、电子等各专业绝然分开，由不同专业的科技人员来共同研制一般的自动化设备的做法，显然是难以适应技术发展的需要了。事实说明，机械专业的技术人员如能较好地掌握电子计测知识，电子专业的技术人员适当地掌握一些机械技术，一定能使工作效率、产品的质量和技术水平等得到显著的提高。

由此可见，出版一种供机械技术人员学习参考的电子计测技术著作，肯定是有现实意义的。日本的守田荣之先生所著的《電子計測概論》，就是一本具有这种性质的书。

本书在翻译过程中，得到程文通、张冠军和戎宗仁等同志的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。由于水平有限，错误和不当之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

目 录

第一篇 电子计测基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 计测系统举例	1
1.1.2 计测系统的组成	7
1.1.3 计测系统应具备的条件	7
1.2 传感器	8
1.2.1 位移	9
1.2.2 压力、应力	11
1.2.3 扭矩	11
1.2.4 温度	13
1.2.5 时间、速度、转速	14
1.2.6 流量、流速	15
1.3 信号的放大、传输、滤波	16
1.3.1 放大	16
1.3.2 传输	22
1.3.3 滤波	24
1.4 运算处理	24
1.4.1 模拟运算处理	24
1.4.2 数字运算处理	30
1.4.3 D-A变换器、A-D变换器	56
1.5 显示、记录、存储	60
1.5.1 模拟式仪表	60
1.5.2 数字式仪表	67
习题(1)	69
第二篇 计算机系统	71
2.1 数字计算机	72
2.1.1 概述	72
2.1.2 举例(1)微型计算机	76
2.1.3 举例(2)小型计算机	86
2.1.4 软件	92

2.2 计算机系统的应用实例	97
2.2.1 数字式数据记录装置	97
2.2.2 采用微型计算机的制图系统	101
2.2.3 控制内燃机最佳运转状态的通用实验系统	108
2.2.4 其它应用	118
习题(2)	124
第三篇 计测数据的统计处理	126
3.1 单位	126
3.1.1 国际单位制(SI)	126
3.1.2 因次	130
3.1.3 标准器	131
3.2 统计处理	131
3.2.1 误差	131
3.2.2 有效数字	136
3.2.3 近似式	137
3.3 各种计测仪器	137
3.3.1 计测仪器按使用目的的分类	137
3.3.2 尺寸测量	137
习题(3)	145
附录(1) TTL 集成电路举例	146
附录(2) Intel i-8008 型微处理器指令一览表	147
附录(3) TOSBAC-10 小型机指令一览表	152
参考文献	154

第一篇 电子计测基础

1.1 概 述

本篇将沿着被测信号的传输路线来研究计测系统的各部件是根据哪些原理工作, 以及整个系统是怎样达到预定的测量目的的。为此, 先举出几个机械方面的电子测量实例, 然后再分析、归纳出计测系统是由哪些部件组成的。从 1.2 章起, 将对这些部件分别进行说明。

1.1.1 计测系统举例

1) 内燃机汽缸压力的测量

图 1.1(a) 所示, 为内燃机汽缸压力随时间变化的测量系统示意图。在计算内燃机汽缸发出的功率, 以及在对汽缸、活塞进行强度设计时, 都要用到汽缸压力这一基本参数。所以汽缸压力的测量, 在内燃机方面是一个重要的测量项目。

安装在汽缸头上的压力计, 一般叫做示功器[●], 其作用是将汽缸内部的压力变成微弱的电信号。示功器的种类很多, 这里以电阻应变式示功器为例进行说明。这种示功器中有一个如图 1.1(b) 所示的叫做应变筒的空心圆筒。汽缸爆发的压力, 通过传力膜传给它, 使它产生微小的变形。在应变筒外面, 粘贴了 $R_1 \sim R_4$ 共四片应变片, 它们和应变筒一起变形。应变片如图 1.1(c) 所示, 它是将很细的电阻丝设置在酚醛塑料等片基上而制成的, 具有多层结构。当应变片发生变形时, 电阻丝随之被拉伸或被压缩, 它的阻值也发生相应的变化。设电阻丝长度为 L , 直径为 D ,

● インジケータ, 又叫指示器, 在内燃机试验中称为示功器。——译者注

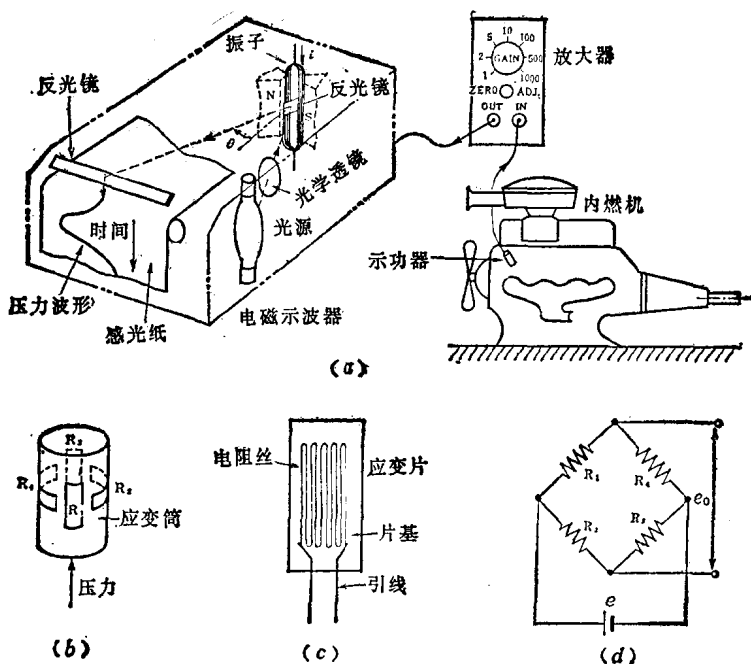


图1.1 内燃机汽缸压力的测量

电阻率为 ρ ，则其阻值 R 可表示为下式：

$$R = \rho \frac{4L}{\pi D^2}$$

因此，电阻变化率为

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} - 2 \frac{\Delta D}{D} \quad (1.1)$$

取纵向变形为 $\Delta L/L = \varepsilon$ ，它与横向变形 $\Delta D/D$ 之比，称为泊松比，以 ν 表示。纵向和横向变形的符号相反，可表示如下：

$$\frac{\Delta D}{D} = -\nu \frac{\Delta L}{L} = -\nu \varepsilon$$

将此式代入式 (1.1)，整理后，得

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\nu) \varepsilon = F \varepsilon \quad (1.2)$$

式中, $1 + 2\nu = F$ 称为应变片的灵敏系数。在弹性限度内, ν 随材料的不同而为一定值 ($0.25 \sim 0.4$), 所以灵敏系数 $F = 1.5 \sim 2$ 也是一定值。这样, 我们可以理解, 根据式 (1.2) 汽缸的压力经过应变筒、应变片的变形而导致应变片阻值的变化, 测出此阻值的变化也就测出了汽缸压力。

应变片的连接, 一般如图 1.1(b)、(d) 所示那样接成电桥电路(四片法)。这样做可使应变筒受非轴向力或因温度变化等引起的四个应变片阻值的变化相互抵消, 是个巧妙的办法。换句话说, 这样制成的传感器象一个滤波器, 只让符合测量目的被测信号通过, 而不让其他的信号通过。对四个应变片组成的电桥来说, 设其总变形输出为 ε_t , 电桥电压为 e , 输出电压为 e_o , 则

$$e_o = \frac{1}{4} \varepsilon_t \cdot F \cdot e$$

因此汽缸内的压力变换成电压信号而被测量出来。

示功器所进行的是压力-电压变换, 象这种能将某种物理量变换成另外一种物理量的器件, 一般叫做传感器。

再返回来看图 1.1(a), 由示功器得到的信号是很微弱的电压信号, 需用后面的放大器予以放大。说明放大器的作用原理, 需要一些电子学方面的知识, 这将在 1.3 章详细介绍。这里, 只要求知道放大器的作用是将被测信号加以放大, 特别是进行功率放大, 以供给足以推动电磁示波器振子(动圈)的、与信号变化一致的电流就可以了。

最后来看一下电磁示波器。当来自放大器的电流流经图 1.1(a) 所示的示波器振子时, 由于电磁力的作用, 对振子产生一个扭矩 τ , 并且与振子两端游丝的反力矩相平衡。结果, 振子转动一个角度, 转角 θ 与电流 i 成正比, 可表示为下式:

$$\theta = ki$$

式中 k 为比例常数。在振子上粘贴有一个反光镜，它反射由光源射来的光束，形成一个光摆。光摆进一步放大了被测信号，同时光束又被反射到以一定速度移动的感光纸上，使之感光，这样就把反映汽缸压力的信息记录下来了。汽缸压力随时间的变化虽然很快，并且是反复变化的，可是由于振子及粘贴在上面的反光镜的质量非常小，因而振子的摆动能跟得上这个变化。所以，电磁示波器可以把汽缸压力变化情况如实地记录下来。

2) 内燃机功率特性的测量

现在，再从内燃机方面举出测量发动机的转速、扭矩及功率的例子。图 1.2 所示就是这类性能试验的一个测量系统。安装在转轴右端的测速发电机，是一种小型发电机，因为在设计时使它

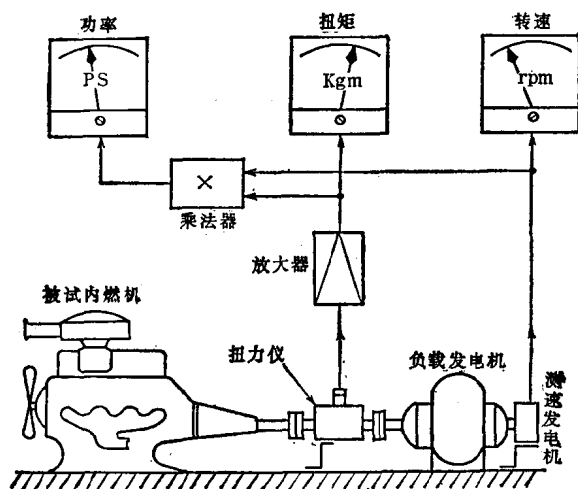


图1.2 内燃机功率特性的测量

的转速与输出电压成线性关系，所以如果用电压表来显示它的输出时，就可以知道它的转速。图中转速计的刻度，可直接表示为 rpm(转/分钟)。这是因为，无论从理论上还是从实验上都表明测速发电机的转速-电压关系是相当稳定的（即可定度）。

图中的负载发电机是用来吸收发动机输出的功率而安装的，

与本测量系统没有直接关系。

扭矩的测量就是转矩的测量，在本系统里采用的是传动型扭力仪。由于发动机是燃料释放的能量作用而转动（输出扭矩）的，而负载发电机则与之相反（负载扭矩），所以连接它们的转轴因两者的联合作用及转轴本身的材质、形状不同而产生一定的微小扭转角 θ ，并且在这种扭转状态下旋转。扭转角 θ 可表示为下式：

$$\theta = \frac{l}{IG} \cdot \tau \quad (1.3)$$

式中 l —— 转轴被测量部分的长度；

τ —— 扭矩；

I —— 转轴断面惯性矩（断面二次矩）；

G —— 剪切弹性模量。

为了测量扭转角 θ ，可在传动型扭力仪的转轴上粘贴应变片，以测量它转动时的扭转变形。应变片产生的信号，可从扭力仪的固定端子取出，取出方式有接触式和非接触式两种。一般采用接触式的，即用滑环和电刷组成的装置取出被测信号。根据式(1.3)，这个与 θ 成比例的电压信号，与扭矩 τ 成比例，可将它放大后用刻度为 $\text{kg} \cdot \text{m}$ （公斤·米）的电压表显示出来。

最后要得到的是内燃机输出功率 P ，它是以下式定义的物理量：

$$P = \frac{2\pi}{4500} \tau \cdot n = k \cdot \tau \cdot n$$

式中 $k = 2\pi/4500$ ；

n = 转速(rpm)。

常数 k 可在刻划仪表的刻度时给定，结果要解决的是 τ 与 n 的相乘问题。虽然现在可不去管实现这个相乘关系的乘法器^①的原理，但我们要认识到乘法器在本测量系统中是个重要的部件。

● 如在1.5.1节介绍的用于伺服机构中的伺服乘法器等。

3) 制品计数

图 1.3 所示的是对流动在传送带上的制品计数的例子。如图所示, 在微动开关处装有一横臂伸在传送带上方。当活动着的传送带上的制品推动此横臂使微动开关闭合时, 电磁计数器的线圈中就有电流流过。

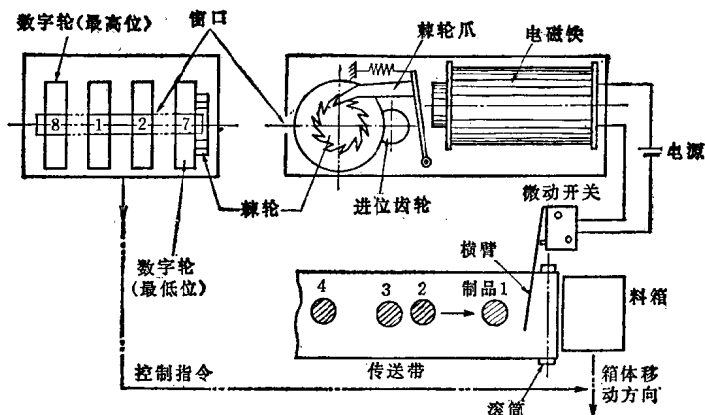


图1.3 制品件数的计数●

线圈产生的电磁力克服弹簧的拉力后, 即吸动棘轮爪使之从图示位置向右移动, 直到爪尖落到下一个齿槽里。当微动开关断开时, 线圈的电磁力消失, 受弹簧拉力的作用, 棘轮爪推动棘轮, 即最低位数字轮向反时针方向转动 $360^\circ/10$, 从而达到计数的目的。计数器的进位是由进位齿轮完成的, 即当低位数字轮转过 360° 时, 与它相连的进位齿轮使相邻的高位数字轮转动 $360^\circ/10$ 。

所以, 从图中的电磁计数器的小窗口可以显示出它所计得的 $0 \sim 9999$ 中的任何一个数字。当制品数目达到某一定数量时, 必须调换料箱。我们当然希望, 这时计测系统最好能向人们报警, 同时向自动装置发出换箱指令等控制信号。图中的电磁计数器本身虽然没有什么理智, 但如果换用一种可预置数的电磁计数器

● 请读者注意, 日本机械制图采用三角投影, 与我国不同。——译者注

后，在被计数的制品达到预先规定的个数时它就会发出信号，这样就能完成自动换箱而实现自动化和省力化了。这说明，预置计数器在控制方面有很大的用处。

1.1.2 计测系统的组成

从上述各例，可以整理出被测信号所通过的部件，现列在表1.1中。根据此表，我们可以知道计测系统是由完成变换（检测）、放大（包括传输和滤波）、运算处理、显示或记录等作用的部件或器件所组成。

表1.1 计测系统的组成

例	测定量	传感器	放大器（包括传输、滤波）	运算处理器	显示记录	控制装置
1)	压力	应变式示功器	放大器		电磁示波器	
2)	转速	测速发电机			电压表	
	扭矩	传动型扭力仪	放大器		电压表	
	功率			乘法电路	电压表	
3)	数量	微动开关		电磁计数器（计数机构）	电磁计数器（数字轮）	料箱移动装置

1.1.3 计测系统应具备的条件

首先，系统要有获得被测信号的能力。就是说，作为一个计测系统必须有一定的灵敏度（这是自不待言的），同时应具有对同一信号经多次测量都能得到几乎相同数值的重复性，而且能保持尽可能高的精度。

其次，作为一个系统，不仅应具有上述的静态特性，而且当被测量的值随时间变化时，它必须具有能紧随这种变动而进行测量的动态特性。

例如在例1)中，若记录仪采用描笔式示波器，它的原理几乎和电磁示波器相同。但是，由于它的振子的转动惯性很大，而且记录笔尖与记录纸之间有摩擦力存在，因此象在本例中那样是不能真实地反映极短时间内的变化的，因而也不能准 确 地 进 行

测量。

再次，计测系统应尽可能不消耗被测对象的功率，这一点也很重要。例如在例2)中，用于测量转速的测速发电机，它转动时能发电，当然要消耗由内燃机提供的能量。

但是，这个能量必须比内燃机输出的功率小得多。否则，在安设测量装置以后，测得的值将与通常状态（即不安设测量装置时）下的值不同，因而不能测出通常状态下的值。

另外，在例2)中，还有所谓间接测量的概念。

就是说，要测量内燃机输出的功率时，是先测出它的转速和扭矩，然后通过计算才能间接地得到它的输出功率。因此，与转速、扭矩等直接测量不同，必须有运算部件才能进行间接测量。

在例3)中应该强调的是，被测的量是数字量。也就是例1)、2)所测定的量，即压力、扭矩等是连续的量，叫做模拟量，而本例的制品个数1, 2, 3, …是离散量，一般叫做数字量。

此外，由例3)可以了解到计测和控制的关系是极为密切的。

1.2 传 感 器

被测对象的物理量是各种各样的，为了测量它们，人们已研究出了很多的检测手段和方法，而且还在不断地加以改进。所以计测技术的发展，从本质上说就是掌握和完善这些方法和手段的过程。

本章的题目叫传感器，可是严格地说，应该区别检测和变换这两个概念。前者只是将被测量转移到计测系统里面去，而后者从字面上说是将被测量的种类加以改变。

例如，在测量基本上不随时间变化的温度时，如让计测系统里的某一物体与被测物体相接触，当热平衡过程结束时就完成了温度的转移，这个物体就叫做检测器。而在将被测物体的温度用热电偶变成电能输出时，则热电偶就叫做传感器。

虽然也有必须将这两者区别开的困难情况存在,但实际上都很少加以区分,所以本书也不计较它们的差别。

有时候,对被测量只进行一次变换还不够,必须进行第二次、第三次变换,一直变到所希望的能量形式为止。

由图 1.4 可知,传感器的原理都是利用物理学、化学等各种现象和效应来进行能量形式的变换。根据本书的主题——电子计测技术的要求,传感器输出信号的形式应尽可能是电量。

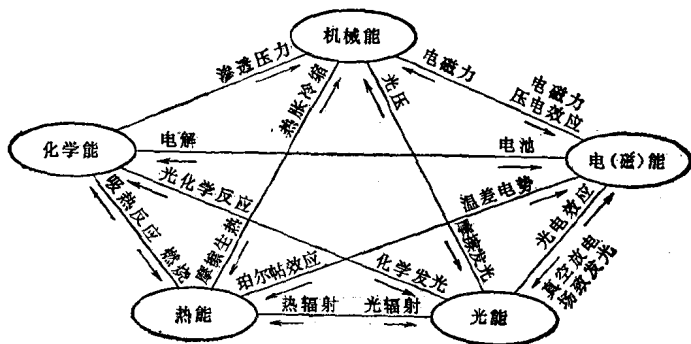


图 1.4 能量变换关系

下面按测量的目的,举例介绍几种传感器输出信号的情况。

1.2.1 位移

图 1.5 所示为利用滑线电阻来测量直线位移。其原理是由滑块的位置 ($k: 1-k$, 而 $0 \leq k \leq 1$) 决定输出电压 e_o 的变化。如果将输出端接至计测系统电路的输入端,并设电路的输入阻抗比线绕电阻大的多时,则有下式成立:

$$e_o = ke$$

同样,如果在圆环形绕线架上绕上电阻丝做成电位器,就可以用它来测量角位移。

图 1.6 所示为利用电容器测量位移的方法。设 x 为电容器两极板之间的距离,极板的面积为 $S = l \times b$ (l : 长度; b : 宽度),极板之间的介电常数为 ε , 则其电容 C 为

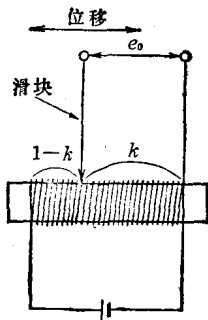


图1.5 用滑线电阻测量位移

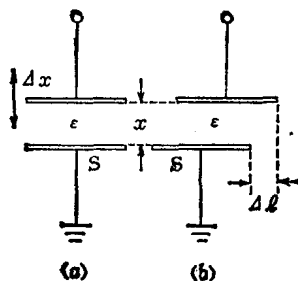


图1.6 用电容器测量位移的方法

$$C = \frac{\epsilon S}{x}$$

如图中(a)或(b)那样, 当有 Δx 或 Δl 的位移时, 由位移引起的电容变化 ΔC , 可分别由下式求出:

$$\Delta C = -\frac{\epsilon S}{x^2} \Delta x$$

$$\Delta C = \frac{\epsilon b}{x} \Delta l$$

图 1.7 所示为利用电感器来测量位移的例子。在图 1.7 (a) 中, 设 S_1 、 S_2 为铁心截面积; l_1 、 l_2 为磁路长度; x 为间隙; μ_1 、 μ_0 分别为铁心及空气的磁导率; N 为线圈的匝数。则电感器的电感 L 可由下式求得:

$$L = \frac{N^2}{\frac{l_1}{\mu_1 S_1} + \frac{l_2}{\mu_1 S_2} + \frac{2x}{\mu_0 S_1}}$$

通常, 铁心的磁导率远大于空气的磁导率, 因此式中表示磁阻的分母中的第一项、第二项可以略去不计, 结果此式变成下面的式 (1.4):

$$L \approx \frac{\mu_0 S_1 N^2}{2x} \quad (1.4)$$

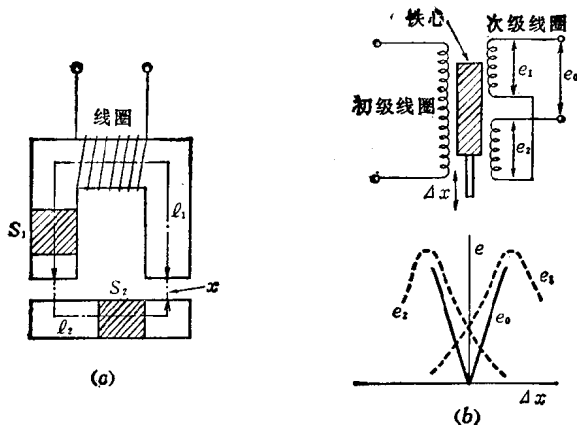


图1.7 用电感器测量位移

将式(1.4)微分, 得式(1.5), 即

$$\Delta L \approx \frac{\mu_0 S_1 N^2}{2x^2} \Delta x \quad (1.5)$$

图1.7(b)所示是由于铁心插进或拔出的位置变化, 引起变压器磁导率变化的情况, 这种变压器称为差动变压器。因为它所输出的信号为差动型, 并且输出特性是线性的, 所以使用起来非常方便。

1.2.2 压力、应力

利用弹性限度内应力与应变的关系, 通过测量应变片的变形来测量应力, 是现在用的最多的方法。关于应变片, 在前面已叙述过, 故此处省略。

另外, 大家都知道, 对石英晶体、钛酸钡晶体等压电元件施加压力后, 它们就会产生与压力成比例的电荷。利用这种压电效应制成的传感器, 最近用得越来越多了。

1.2.3 扭矩

扭矩的测量有两种类型。一种是用测量输出轴与负载轴之间的连接轴的扭转变形的方法而制成传动型扭力仪; 另一种是利用