

[英]G. A. 伍尔沃特 著

数字式传感器

于汉秋 蒋学忠 译

龙忠琪 校

国防工业出版社

数字式传感器

〔英〕 G.A. 伍尔沃特 著

于汉秋、蒋学忠 译

龙忠琪 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书专门讨论以数字形式输出的传感器。作者结合国外六十和七十年代传感器的最新研究成果扼要地介绍了各种数字式传感器的原理、结构、主要性能及其应用,并简单介绍了一些国外仍处于初级阶段的研究成果。全书共分七章:(一)数字系统;(二)角度数字编码器;(三)频率式传感器;(四)数字式直线传感器;(五)模拟转换方法;(六)同步器-分解器转换;(七)其他技术。

本书对于从事测量技术、控制工程和仪表工程研究设计工作的工程技术人员以及大专院校有关专业的师生都有一定的参考价值。

Transducers in digital systems

G. A. WOOLVET

Peter Peregrinus Ltd. 1977

*

数字式传感器

〔英〕 G. A. 伍尔沃特 著

于汉秋、蒋学忠 译

龙忠琪 校

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

河北涿中印刷厂印装

787×1092¹/₃₂ 印张 7 145千字

1981年5月第一版 1988年6月第三次印刷 印数: 12,451—16,800册

ISBN 7-118-00307-7/TM7 定价: 1.45元

前 言

数字式传感器是近年来在电子技术、测量技术、计算技术和半导体集成技术的基础上发展起来的一种新技术产物。这种传感器具有体积小、重量轻、结构紧凑、数据传输和处理方便、工作可靠、精度高等显著优点，因此是传感器技术发展方向之一。本书作者结合六十和七十年代国外的最新研究成果，扼要地介绍了各种数字式传感器的原理、结构、主要性能及其应用，并简单地介绍了一些国外仍处于初级阶段的研究成果。

翻译出版本书的目的，是想向读者介绍国外在这方面的动向，从而促进其发展。但是由于我们水平有限，其中定有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

译 者

序 言

本书论述数字式传感器。这类传感器主要用在以计算机为基础的系统，或用在要求数字读出的场合中。虽然用两级数字逻辑进行数据传输和数据处理似乎是十分明显而自然的方法，但好象还没有任何一种仪器能给出数字编码输出来表示随着像力、流速、位移、温度等变化的自然现象。也许唯一可能的例外就是输出频率随着物理参数的某些变化而变化的数字式传感器。本书将论述这类传感器。其他的数字式传感器一般需将原始模拟信号进行转换才能提供数字输出。

在测量和控制系统中，数字系统的使用愈来愈多，因而对数字式传感器的兴趣愈来愈浓，许多专门技术和传感器已经研制出来。有的正在使用中。本书叙述这些方法中的一部分，并对现在还未大力推广的其他重要研究成果加以评述。

本书对于在计算机配套系统中工作的工程师和从事仪器仪表工作的大学毕业生及研究人员将会是很有用的。

目 录

序言

第一章 数字系统

1.1 引言

1.2 巡回检测器

1.3 计算机控制的系统

模拟系统和多路采样开关

干线系统

模拟式和数字式传感器

1.4 参考文献

第二章 角度数字编码器

2.1 绝对编码器

接触编码器

扫描问题

U 扫描

磁性轴编码器

光学编码器

放大器

附加设备

光学分解器

2.2 增量轴编码器

位置逻辑

使用同步器作增量编码器

2.3 数字式转速表

电磁脉冲式转速表

电容式转速表

2.4 参考文献	56
第三章 频率式传感器	57
3.1 电压-频率转换器	57
测量方法	60
3.2 传感器用的振荡器	62
热敏电阻温度-频率转换器	62
石英温度-频率转换器	63
石英压力-频率转换器	65
振弦式和振梁式传感器	66
振膜式压力传感器	70
3.3 振筒式传感器	71
气体压力传感器	74
气体密度传感器	78
质量流量测量	81
液体密度传感器	82
3.4 参考文献	85
第四章 数字式直线位移传感器	86
4.1 采用旋转式编码器	86
4.2 直线编码器	88
增量式编码器	90
机械细节	93
感应式同步器	94
4.3 莫尔条纹技术	96
提高分辨力	98
采用光栅的绝对传感器	101
4.4 参考文献	106
第五章 模拟转换方法	107
5.1 安装	107
5.2 多路采样开关	109
机械式扫描器	110

继电器多路采样开关	112
晶体管多路采样开关	114
多路采样开关的噪声	115
5.3 信号调理	116
低通滤波器	117
滤波器的位置	120
放大器	121
信号滤波	122
数字滤波	124
5.4 模-数转换器	126
孔径时间	127
转换精度	127
误差源	128
噪声误差	129
非线性误差	130
增益误差	130
失调误差	130
转换方法	131
模拟法	131
反馈法	135
数字斜坡法	138
可逆计数器法	139
逐次逼近法	139
结论	140
5.5 参考文献	142
第六章 同步器-分解器转换法	143
6.1 同步器系统	143
同步器对	143
控制差动同步器	147
分解器	147

力矩式同步器	147
无刷同步器	148
双速同步器系统	148
6.2 跟踪转换器	150
分解器的信息形式	151
相位移转换器	152
函数发生器转换器	156
跟踪转换器	160
高分辨力跟踪转换器	166
6.3 采样转换器	170
采样方法	170
逐次逼近转换器	173
谐波振荡器转换器	174
转换器误差	178
数字-同步信号转换	180
第七章 其他方法	183
7.1 数字式位置传感器	183
电感式敏感元件	185
电容式敏感元件	187
7.2 力平衡反馈式传感器	190
7.3 磁性传感器	192
磁阵式传感器	192
磁记录式传感器	194
7.4 辐射式传感器	195
7.5 涡流式传感器	197
7.6 参考文献	199
附录 1 二进制码	200
附录 2 模拟式传感器	208

第一章 数字系统

引言

数字系统的发展反映在数字计算机的应用以及要求仪表系统和传感器以数字形式读出中，同时也引起了人们对数字式传感器和模拟式传感器与数字系统的接口的重视。小型计算机和微处理机的出现，就经济方面而言，现在已可以用计算机来控制小规模生产过程和数据采集及记录系统。小型和微型处理机的成本不断降低，使有关传感器及其接口设备的成本降到最低，这是十分重要的。正是在这种情况下，具有数字输出的传感器才起着重要的作用。

可惜，直接数字式传感方法只有几种。但模拟式传感器和模-数（A-D）转换器的匹配方法，却很多都可以用来提供某些被测参数的数字输出。后面几章将讨论其中的某些方法。附录 2 简要回顾了模拟式传感器。本章其余部分将扼要讨论一些带有传感器和模-数转换器的数字系统。

1.2 巡回检测器

大部分巡回检测器是用来接受附录 2 所述的那些模拟式传感器的信号的。巡回检测器的作用是依次接入多个传感器的输出，并将测量结果转换成能够记录的形式，如穿孔纸带或打字记录。为了兼顾这两种记录方式常使用电传打字机，

也使用其他记录方式，如经常使用小型盒式磁带记录。

大多数巡回检测器都能适用于各种不同的输入信号，特别是由电阻应变片和热电偶来的低电平信号，当然也能够处理其他传感器的输出。但巡回检测器的输入必须是一个直流信号，也就是说，信号的数值（通常是电压）必须代表巡回检测器采样时被测参数的大小。

巡回检测器（图 1.1）的基本部件有：

（i）信号调理电路 由传感器中电桥网络的电源组成，也可由为系统的其余部分“提纯”输入信号并将其改变比例的电路组成；

（ii）多路采样开关 是一种电磁或电子转换装置，在该装置中对每个通道依次采样；

（iii）测量电路 监视输入信号的大小，并在显示器上显示识别通道的信号，同时给出被测参数的大小（和符号）；

（iv）转换装置 在穿孔带或电传打字机系统中，模拟电压是不方便的，因此转换装置要用模-数转换器将模拟信号转换成数字信号，该信号一般是直接二进制或二进制编码

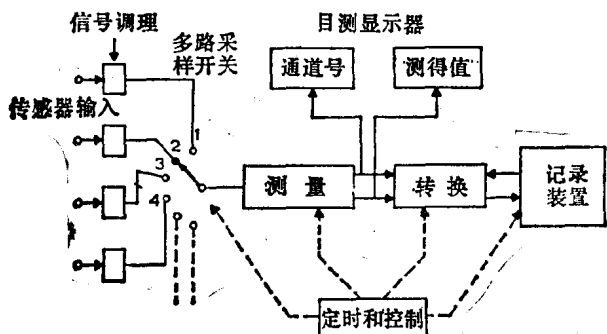


图1.1 基本巡回检测器

的十进制的并行逻辑形式，然后必须以串行方式送给记录装置；

(v) 计时和控制系统必须控制采样速度，并用一个主振荡器作为计时系统[也可作为记录时刻(及日月)的时钟使用]。采样的最大速度一般受记录装置的速度限制，在这点上磁带记录器可提供比其他记录方式高得多的记录速度。控制电路能够依次把系统转接到各输入通道(这一过程也可手动完成)，它既能控制单个循环，也能够控制反复循环。必须保证有足够的时间，将数据(和通道号)转换成数字信号，并将这些信号由记录设备转换成需要的形式(一般打字或记录的是表示数据或通道号的一组单独的数字)。

表示通道号和数据之间间隔的信号、电传打字机的回车—换行信号以及穿孔带或磁带的类似间隔信号等都必须进行编码，并且所有这些操作都必须在对下一个通道进行采样之前完成。同时也必须保证被测参数的变化不致引起送到记录器上的数据变化，在测量部分加入采样保持电路就能够解决这个问题。

1.3 计算机控制的系统

用计算机控制的工业过程通常是由模拟控制器控制的系统发展来的，这些控制器把传感器测出的被测量值与输入指令比较产生控制信号。可用各种传感器如电位器、应变片、线性可变差动变压器(LDVT)或同步器等进行测量。在最后一级，用电压(虽然某些系统使用的控制器中来自传感器的信号是电流)表示被测参数，如位置、温度、压力、流量、速度或密度等等。

纯模拟系统的局限性在于能够完成的数据处理是有限的，而且在必要时改变数据处理形式较困难。当必需提供某个模拟信号的数字读出时，还需增加附加费用，因为每个这样的读出都必需有一个模-数转换器。

数字计算机引进系统以后使信号处理的范围大大扩大了，从而在某些情况下，对不能直接测量的特性能进行快速分析，提供了一个处理控制信号的简便方法。还有一个优点就是计算机能够对代表测量结果的电压进行处理，以识别任何虚假的读数并（或）滤除任何不需要的“噪声”。

使用数字计算机的典型控制系统示于图 1.2 中。该图示出一般的联机数字控制系统，其中模拟式传感器产生正比于

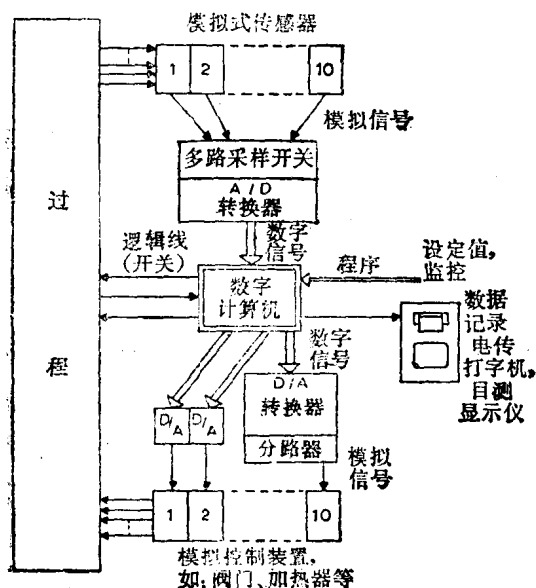


图 1.2 联机数字控制系统

被测参数的电压。由于计算机一次只能接受一个测量信号，所以传感器的信号在用模-数转换器转换并读入计算机之前要依次进行采样，就像在巡回检测器中那样。加到控制过程的各种控制设备上的数字输出首先由计算机按规定的顺序送出，再经过数-模（D-A）转换器将每一个数字输出转换成模拟信号，然后用输出分路器将它们转接到适当的控制单元。如果分辨力要求不高，数-模转换器是不难做到的，因此某些输出信号可以有它们自己的数-模转换器。大部分控制系统中，在计算机和被控过程之间还会有许多直接的数字传输线，以便取得实际上需单独转换的信息。

输入计算机的数据由计算机的内存程序和电传打字机及类似设备提供的外部指令来处理。程序还能够将输入信号累加的或根据输入信号计算的有关数据用图表显示、打字或在曲线记录仪上表示出来。

测试系统与控制系统在形式上相同，只是计算机对过程没有输出，并且没有控制设备。一般地说，仅在被采集的数据量很大、处理复杂、费时，又可能需用一台脱机工作的计算机时，测试系统才与计算机组合在一起。显然，这样的系统是很优越的，该系统能采集必要的测量结果，对它们进行处理并以所需要的形式提供数据，尤其是在以计算机为基础的系统，只要给计算机输入一个新的程序，过程就能很容易地改变。

要想不用模-数转换器并在某些场合下还要避免复杂的多路采样开关的另一个办法是使用直接的数字式传感器，这种传感器将被测参数直接转换成计算机能够阅读的数字信号。

由此可见，如果拟把计算机用作系统的联机控制器，或装在仪表系统中，则对数字式传感器的需要将不断增加，以便能直接以计算机容易阅读的形式给出输入数据。然而，人们对模拟式传感器及其仪表系统已有长期的经验和专门的知识，并且今后若干年内，大部分系统的许多测量结果仍将是模拟形式的。在过程时间常数比较长的加工工业中尤为如此。在航空电子系统中，其时间常数是相当短的，并且飞机、导弹的控制及火控系统也都非常复杂。在这些系统中，已广泛使用具有数字式传感器输入的计算机。

模拟系统和多路采样开关

在只用一个模-数转换器的模拟-多路巡回检测系统中(图 1.3)，必须对每个模拟信号进行调理，以保证信号无噪声并有足够的电平，从而保证模-数转换器能将信号转换成具有所需分辨力的数字信号。例如，有一个模数转换器，其最大额定输入为 10 伏、并需将这 10 伏转换成一个 10 比特的数字，其最低有效比特约代表 50 毫伏。因此，对毫伏级的输入信号，例如用热电偶测量温度得到的信号，要么根本测不出，要么只有非常近似的数字值。特别与低电平输入信号有关的另一个问题是噪声，它是由整个传输线收集来的，并作为不希望有的电压加到模-数转换器上。

因此，系统必须有放大器和滤波器，在某些场合还要有不同信号电平的多路采样开关。这样的—个系统示于图 1.3 中，其工作原理如下：根据计算机的中央处理机单元中的程序指令，测量某个输入通道。这个通道由地址来识别，该地址是用地址线上的数字编码信号表示的。该信号经译码后，将使一个(或几个)多路采样开关中的某个(或某几个)开

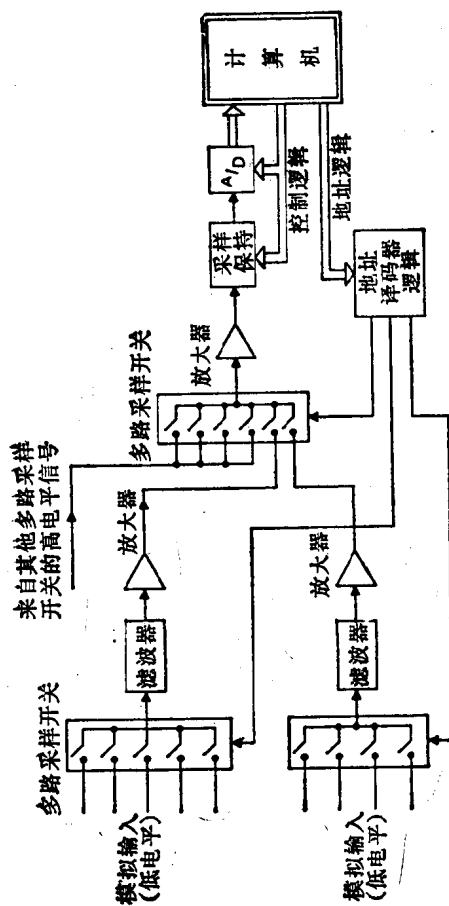


图 1.3 双电平多路巡回检测器

接通,让所选的模拟信号经过滤波器(以减小噪声的影响)和放大器进到采样-保持电路。在某一给定的瞬间,来自计算机的连续信号将首先启动采样-保持电路,以进行采样、存贮或保持输入信号在该瞬间的幅值。输入信号后来发生的任何变化都不改变贮存在采样-保持电路中的数值。然后启动模-数转换器,将采样值转换成等效的数字值,并读入计算机的存贮器中。清除多路采样开关、采样-保持电路以及模-数转换器,并为来自计算机的下一个程序指令做好准备,以便读出所选的其他模拟输入信号。

迅速变化的输入信号比缓慢变化的信号往往需要较多的采样点。如果需要检测信号的变化,信号的采样速度一般不得小于两倍(最好是大于五倍)欲测信号的最高频率分量。采样速度高的多路巡回检测器比速度低得要贵得多。多路采样开关本身往往会给系统带来噪声。

干线系统

与上述不同的另一种系统是使用一组并行的数据和地址干线系统。正在使用的许多这种系统中的两个系统示于图 1.4 中。第一个系统(图 1.4 a)用一根多芯电缆作地址干线,电缆上的地址信号是识别被读传感器用的并行数字信号。每个传感器有一个译码器,当该译码器接收到正确的数字码(地址)时,就将与它有关的传感器转接到一单独的数据干线上。每个传感器信号在通过模-数转换器之前可能要进行调理和放大,也可能要经过一个单独的采样-保持电路。

当系统中传感器的数目不多时,这种系统可能比模拟式多路巡回检测器便宜。单独的数据干线可能会引起麻烦,因为所有传感器的引线都接在一起,其相互作用可能提高总的