

微处理机与微计算机的 模 拟 系 统

浙江省科技情报研究所编译

1984.11

73.876

8603368

前 言

自1965年单片运算放大器仙童Fairchild 709使用以来,模拟测量和信号处理方面的进展特别迅速。这种发展集中地反映于五种第一代线性集成电路全部被用于月球探测飞船,登上了月球。近来,着重于微处理机和小型计算机方面,包括数据采集和过程控制方面的应用,结果使得模拟数字接口和其它各类型式的接口在实用上也得到了重大的突破。例如,经常要求把在传感器和计算机输入之间的信号质量提高到已知置信度范围内所需的等效二进制位数,而与此同时却仍需保持系统的复杂程度和成本不变。

本书提出了一个包括各个主要专题的目录,其中对应用领域内的读者所关心的上述要求和有关要求作了论述。全书共分十章,按顺序渐进的次序编排,内容上涉及到实践中常遇到的数字计算机的模拟输入和输出系统。各章在此基础上亦可用于诸如对有源滤波器的设计、对信号波形处理的运用、或对过程控制器的调节等。大量实例给本书增添了实用性内容,而形式上和概念上的一般性研究可能少些,目的是想沟

通模拟系统中一些令人鼓舞的可能事物。

本书可作为仪表专业（400—500水平）一学期的教程，也可作为计算机课程的辅助教材和实际操作人员的参考材料。它将为非本专业工程技术人员弥补跨专业的知识之不足，对数字专业人员也有所裨益。作者对文体、结构、编辑、表达概念方面所存在的缺点承担责任，并对与Lawls A. Drake和Robert L. Young等先生的有益讨论表示感谢。作者还对与美国环境保护局工业环境研究实验室（北卡罗来纳）一起促成写作该书的想法致以谢意。



Patrick H. Garrett

目 录

第一章 电传感器····· 1	习题····· 84
1—1 温度检测元件··· 1	参考文献····· 85
1—2 压力与流量传感 器····· 4	第四章 信号的前级处理··· 87
1—3 位移检测元件与 执行器····· 9	4—1 信号质量问题····· 87
1—4 化学分析器····· 13	4—2 采样速率选择····· 92
1—5 光度测量和辐射 量····· 15	4—3 单放大器实例····· 96
1—6 接地····· 20	4—4 三放大器方法····· 99
参考文献····· 22	4—5 高性能前置放大器 ····· 103
第二章 仪用放大器····· 24	4—6 输入误差和定标问 题····· 104
2—1 运算放大器····· 24	习题····· 106
2—2 放大器输入误差31	参考文献····· 110
2—3 放大器输出误差39	第五章 模拟信号处理··· 111
2—4 测量方面的应用41	5—1 函数拟合和线性化 ····· 111
习题····· 49	5—2 对数运算····· 118
参考文献····· 50	5—3 计算电路····· 125
第三章 有源滤波器····· 52	5—4 可编程功能····· 132
3—1 网络灵敏度····· 53	习题····· 135
3—2 滤波器响应特性55	参考文献····· 137
3—3 有源滤波器设计62	第六章 数据转换文献··· 139
3—4 带通滤波器····· 69	6—1 基本系统的结构 139
3—5 特殊滤波器····· 79	6—2 模拟多路转换器 140

6—3	采样保持装置	146	8—4	应用方面的考虑	221
6—4	数字模拟转换器	149		习题	227
6—5	采样、量化和编码	153		参考文献	228
6—6	模拟数字转换器	159	第九章	电 源	230
6—7	控制逻辑和接口	167	9—1	原电源	231
6—8	输出信号再现	174	9—2	并联稳压器	235
	习题	177	9—3	串联稳压器	238
	参考文献	179	9—4	开关稳压器	242
第七章	信号传输方法	181	9—5	热工计算	244
7—1	模拟信号传输	182		习题	248
7—2	数字信号传输	184		参考文献	249
7—3	调制-解调器	190	第十章	电子系统的可靠性	251
7—4	无线电数据链路	198		可靠性的理论基础	251
	习题	205	10-1	可靠性的理论基础	251
	参考文献	206	10-2	元、部件的性能	256
第八章	过程控制器	208	10-3	可靠性的提高	259
8—1	控制回路分析	208	10-4	系统可靠性和可用性	262
8—2	控制器特性	213		参考文献	265
8—3	模拟控制器的调	218	附录 1	增益、带宽和失真	266
	节	218	附录 2	分贝的定义	269
			附录 3	信号加噪音的转换	270

第一章 电 传 感 器

本章概括研究了目前电气传感器技术及其在实验室与工业生产过程测量中的实际使用问题。由于这些器件是以电气传感器为基础的数据采集与实时控制系统的立足点，所以传感器的主要特性是大家所关心的。本章不仅介绍测量温度、压力、流量、位移等传感器和定位执行器，也研究了光度与辐射的测量，介绍了化学分析器，包括它们在生产过程液流中的某些在线应用。最后讨论了低电平传感器信号的接地与屏蔽问题。

1—1 温度检测元件

温度检测是工业与实验室中较常用的测量之一。特定的应用范围与温度测量范围在很大程度上决定了检测元件的选择。用得最多的测温元件是热电偶、电阻温度计（RTD）半导体传感器与光学高温计。各种温度测量元件的适用温度范围如表 1—1 所示。

表 1—1 温度检测元件的适用性

类 型	范 围 (°C)
玻璃柱式	-50 至 +600
双金属式	0 至 +500
充填元素式	-50 至 +300
半导体式	-100至 +100
电阻温度计	-100至 +300
光学高温计	+100+ 5000
热电偶式	-250至 2000

热电偶由于牢固与温度范围宽等特点，所以是用得最广的温度检测元件。它采用两种不同的金属，基于塞贝克效应，能将温度转变成电动势（EMF）且是可重复的，如图 1—1 所示。正常工作时，为了极化电流流向，并使测量端电动势达到最大值，需要使用一个同测量端串联的冷端，或者用一个电气等效网络。依据工作环境与所需工作温度范围，采用不同的金属组合，较常用的组合如表 1—2 所示。测温范围宽时通常需要线性的转移特性。这将在第五章中详细讨论。

当需要用热电偶作精密测量时，一般做法是两根引线接上铜并照冷端为冰点作基准。因为冷端温度之变化会影响热电偶的输出信号，又由于冰槽不方便，所以通常使用其它实用的方法。电桥法采用一个自补偿网络，以消除由于冷端周围温度变化而引起的误差（图 1—2）。它的不足之处是需要一个一般连续工作 60 天的水银电池，或者一个稳压直流电源。在要求不太严的情况下，接铜线的补偿端置于环境温度的稳定冷源上，具有能满足多数工业要求的性能。这种结构常常可以整装在单个热电偶套中。

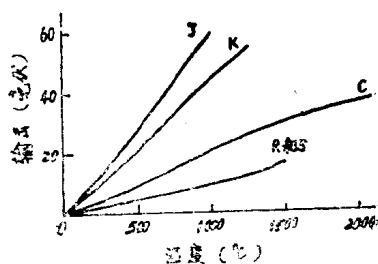


图 1—1 热电偶特性

与热电偶相比，电阻温度计具有较高的分辨率与重复性，其工作原理是电阻随温度而变化。铂电阻温度计在工业上是经常使用的，它具有良好的精确度、机械稳定性和电气稳定性。热敏电阻是由一种金属合金烧结混合物形成的陶瓷制

成，具有很高的负温度系数。与热敏电阻相比，金属膜电阻
表1—2 热电偶比较

类型	材 料 — 极	毫伏/°C	范围 (°C)	特 点
J	铁—康铜	0.04	—2.50~1000	价廉
K	镍—铬—镍—康铜	0.03	—2.50~1400	线性好
R和S	铂—铂—铑	0.01	0~1500	测高温
T	铜—康铜	0.04	—250~400	适用高温场合
C	铜—镍	0.02	0~2000	测高温

的线性更好，其范围也更宽，但热敏电阻的灵敏度约是它的10倍。通常所需要的信号波形处理是将电阻变化转换成电压变化、并要求尽可能线性。

图1—3表示了通用电阻温度计的温度—电阻关系。

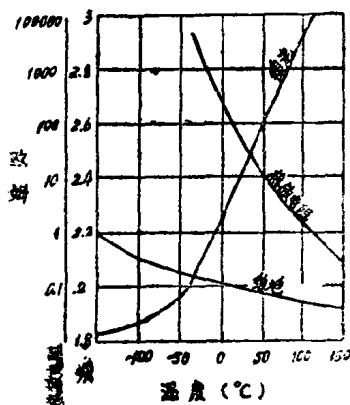


图1—3 电阻温度计

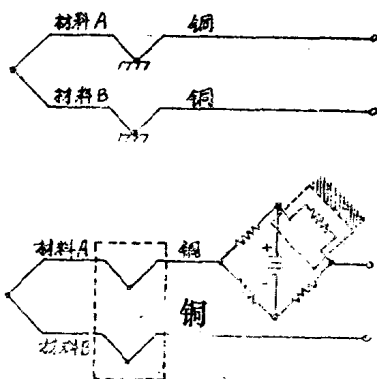


图1—2 热电偶冷端补偿电路

应用机械传感器在无法与工艺过程相接触却又为视线所及时，可用光学高温计测温。在所用传感器的光谱响应范围内，测量受能量的

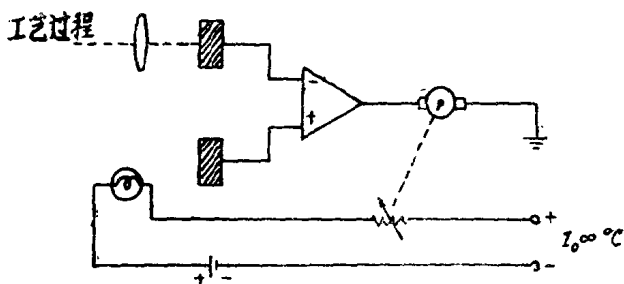


图1—4 自动光学高温计

定的基准光源与工艺过程之间通过辐射对比，就得到相应于某一特定温度的电流输出。自动光学高温计使用一个伺服回路，以达到这种平衡，如图1—4所示。一般可测量到5000℃。

利用正向偏置的半导体器件测量温度是一种新技术（见图1—5），它在约 $\pm 100^{\circ}\text{C}$ 的有效范围内精度可达 0.1°C 。虽然量程有限，然而却在常用的温度测量范围内。双极型晶体管基-射极电压降的负温度系数为 $2.2\text{毫伏}/^{\circ}\text{C}$ ，用恒流源，具有很好的线性。

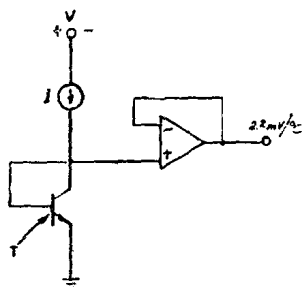


图1—5 半导体温度测量

1—2 压力与流量传感器

最早使用的压力与流量传感器是电位计式器件。由于这种装置成本低和输出高，而一直广泛应用于较简单的系统中，可是它对冲击与振动高度敏感，再加机械非线性误差大（一

般要超过3%)，又限制了它的使用。克服电位计式压力传感器局限性的一种早期方法，主要是应用非粘贴型应变计。这种器件使精度与稳定性有了显著改进，其典型精度为0.5%的满标值。然后因其相当精致，难于制作，且输出为毫伏级，通常需配前置放大器。

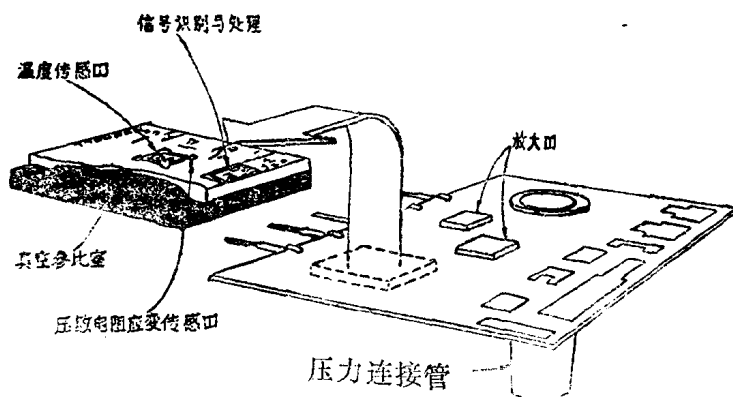


图1—6 集成电路压力传感器

可代替非粘贴型压力变送器的一种方法是直接粘贴在压力膜片上的半导体压力计，这样就没有机械连接，从而改善了频率响应与振动敏感度，并具有同非粘贴型一样的精度。然而由于它的输出较低，仍需要前置放大器，并且灵敏度也较低，只能适用于不小于100磅/平方英寸的压力。而在这方面可采用具有扩散压敏电阻的晶体膜片来加以改进，这种方法的优点是克服了其他方法的测量迟滞，因为一般当误差降低到0.5%数量级时，迟滞就成了限制精度的因素。

压敏电阻同混合集成电路技术结合起来对各种误差源进

行补偿，是当前压力传感器的一个发展方面（图 1—6）。国家半导体 National Semiconductor 公司在这方面首先采用了 LX—1700 与 LX—3700 系列元件，同时使精度为 1 % 的各种器件，价格降低了一个数量级。这种混合型器件有一个内部真空的参比室，一个使温度影响减到最小的内部芯片加热系统，和一些接在惠斯登电桥检测电路中的压敏电阻器，器件内还设有前置放大和信号波形处理电路。

液流量测量一般由下列两种方法之一来实现：一种是差压检测法，另一种是象涡轮流量计之类的机械接触式检测法。流速 F 是单位时间的液流运动，通常是单位是英尺/秒。体积流量 Q 是单位时间液流容积，单位是加仑/分。气体的质量流速 M 定义为磅/小时。

差压流量检测元件也称为压差流量计或者可变压差（流量）计，这是因为两测量点之间的差压等于压差，等效于差动压强计的汞柱高度。流速可根据同重力加速度⁹⁹（32英尺/秒²）与差压的关系求得。各种明槽的液流一般是通过诸如各种水槽与堰等产生落差的设施而形成的，压差可通过测量堰上的液流高度而得到，然后再计入液流截面积而得出体积流量，如图 1—7 所示。各种差压检测元件示于图 1—8。

$$F = \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad \text{英尺/秒} \quad (1-1)$$

$$Q = \sqrt{2g} \cdot L \cdot H \cdot \sqrt{H} \text{立方英尺/秒} \quad (1-2)$$

大多数流速（或速度）测量仪表是点式检测元件，诸如测量气流的皮托管。然而，单点测量不能精确表示过程液流，诸如环状的各种多点取样或线平均检测元件就较为精确。气流运用差压法测量在低压时是可能成为产生误差的又一原

因，解决的办法是采用可变线性的位移变换器（LVDT）耦合的压力检测元件。

在质量流速测量中，需要补充检测静态温度与压力。必

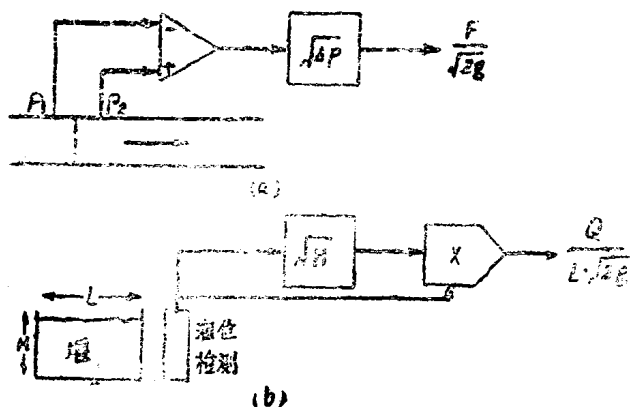


图1—7 流速与体积流量

须在各个需要精确测得流速的点上测量温度，而导管上的静态压力可认为是常数(图 1—9)。理想的流速检测元件应当包含温度检测元件。通常做法只是探头上加一定标系数，如下式所示。

$$K = \sqrt{R \cdot \frac{\Delta P_0}{\Delta P_x}} \quad (^\circ K / \text{秒}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1-3)$$

这里 ΔP_0 = 实际差压 $P_1 - P_\infty$ 毫；

ΔP_x = 测得的差压；

R = 通用气体常数。

$$M = K \cdot \sqrt{\frac{P \cdot \Delta P}{T}} \quad \text{磅/秒} \quad (1-4)$$

各种机械接触式流量检测元件有：由角动量获得流量的涡轮式与回转式传感器、热电致冷式速率传感器、电阻率测量与 β 衰减法传感器等。涡轮流量计是一种普及型仪表，按下面基本算式取得流速。

$$F = \frac{\omega R}{\tan \alpha} \quad \text{英尺/秒} \quad (1-5)$$

这里 ω = 转子角速度；

R = 转子叶片平均半径；

α = 转子叶片角。



图1—8 差压检测元件

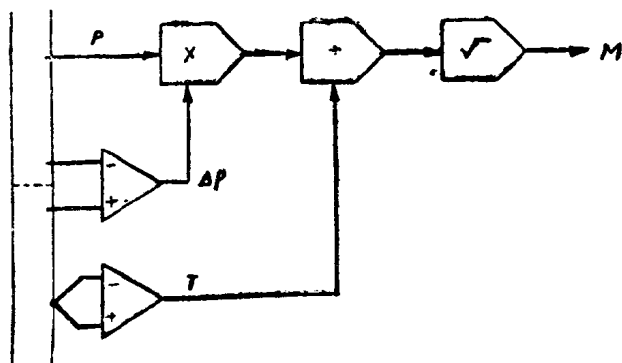


图1—9 气体质量流量计算

1-3 位移检测元件与执行器

用可变线性的位移变换器精密测量位移、轴转角和直线性位移是可能的。在这种变换器中，通过确定位移大小的可动铁芯，改变耦合回路的磁阻而引起输出电路感应出一个交流电压。与应变传感器相比，其过载能力与温度不敏感方面皆具有明显的优点，可是缺点是重量过大。它的灵敏度随励磁频率增加而增加，可是励磁频率与信号频率之间10:1的最小比值，被认为是实际使用的极限值。感应电位计、自整角机、解算器与微型自动同步机等都是可变线性位移变换器的改型。用一个电容器跨接于交流输出端，能够改善零点平衡。具有交流与直流两种输出的可变线性位移变换器的基本电路如图1—10所示。

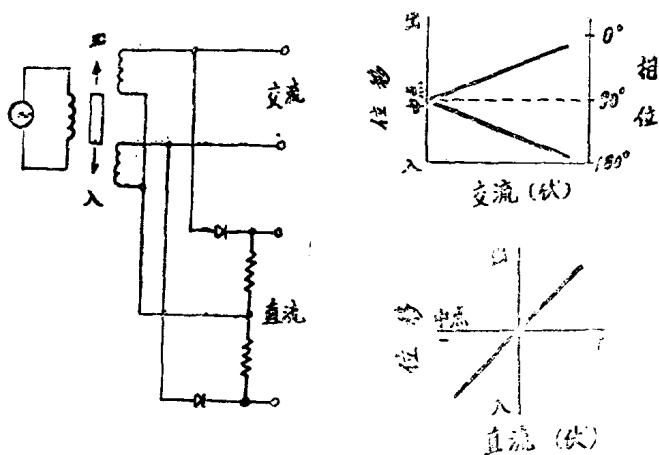


图1—10 可变线性的位移变换器基本电路

在工业中对于冲击与振动的检测，加速度测量具有重要意义。缓冲器与电容传感器大多已为压电器件所取代。其等效电路是相串联的电压源和电容，电压和电容两者之积为电荷(库)。由于振动加速度一般幅值甚小，于是有了另一种输出方法，即把几个压电晶体堆叠起来以提高器件的输出。然而由于被转换的电荷量甚小，所以在传感器之后需要一个低输入偏流的电荷放大器，它还将传感器输出转换成速度信号。而位移信号则由附加的积分器与精密整流器输出，例如以密耳/伏刻度表示。其电路方框图如图 1—11 所示，可用下式描述。选用合适的放大器与交流-直流变换器的问题将分别在第 2 章与第 5 章中叙述。

$$\text{加速度} = C \Delta E \quad \text{库} \quad (1-6)$$

$$e = \frac{C}{C_f} \Delta E \quad \text{伏} \quad (1-7)$$

$$E_o = \int_0^t k \cdot \Delta E \quad \text{伏} \quad (1-8)$$

在储罐、管道与其它容器中液体与准液体(固体颗粒)料位常常是需要测量的工艺过程参数。若储罐的几何尺寸与液体密度都是以知数，则可从料位测量确定液体的容积与质量。在测量液体料位的连续高度与不连续高度时使用了复杂程度不同的各种测量方法。当今应用较广泛的有浮子式、差压式、超声波式与辐射式等料位传感器。

浮子式传感器将位移运动变换成料位读数，其方式多而简单，然而对于粘性液体，通常就不能令人满意。在已知液体的比重 W 以及差压传感器 ΔP 接在储罐上部与底部之间时，则差压传感器也能测量液体的高度，其高度即为 $\Delta P/W$

之比。超声波料位检测是由回波测距系统来实现的，特别对高储罐很适用，在检测不连续高度时，发射器与接收器沿储罐高度相互相对水平安放。检测难度大的象水泥和蒸煮纸浆之类的液体，最好使用核检测器，其原理与测量不连续高度的超声检测器相类似。

交流伺服定位系统是一种有效的执行机构，因为它不需要定期校准。图 1—12 为这种系统的一例。为了达到一个新

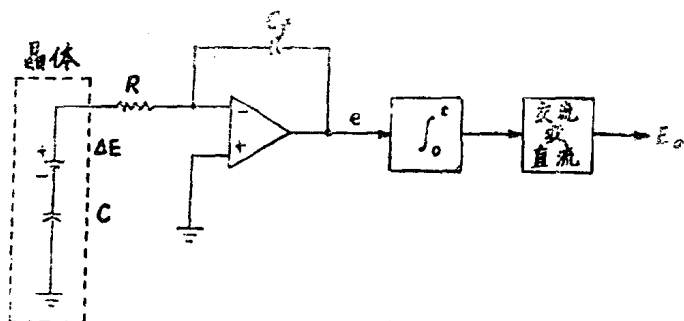
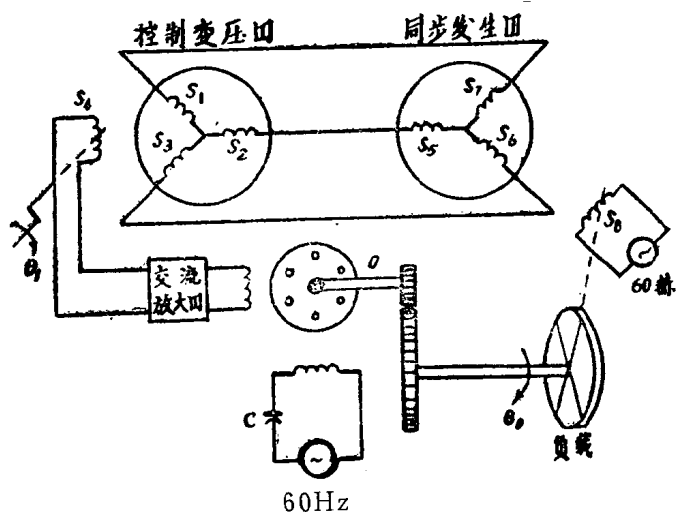


图1—11 振动测量

的输出位置，输入手柄移动线性可变的位移变换器的控制变压器绕组 S_4 ，破坏了原来的零位平衡条件，使伺服电动机得到励磁。伺服电机按绕组 S_4 励磁极性所确定的方向驱动负载，从而使自整角同步机的绕组 S_5 重新定位，直到绕组 S_4 达到新的零点平衡为止。这样一来，伺服电机便失去励磁，亦即失去了误差电压，而同时定位系统却对输入转角 θ_1 作出了“回答”。图 1—13 将有助于进一步对这个过程的理解。对于伺服定位系统中通常遇到的小惯量转子来说，两相感应电机的轴转角将十分接近于电机控制电压及其增益常数的时间积分，



如下式： 图1—12 交流伺服定位系统

$$\theta = \int_0^t K_m \cdot E_c \cdot dt \quad (1-9)$$

这里

T_L = 转子锁定转矩;
 J = 转子转动惯量;
 θ = 轴转角;
 K_m = 电机增益常数;
 E_c = 电机控制电压。

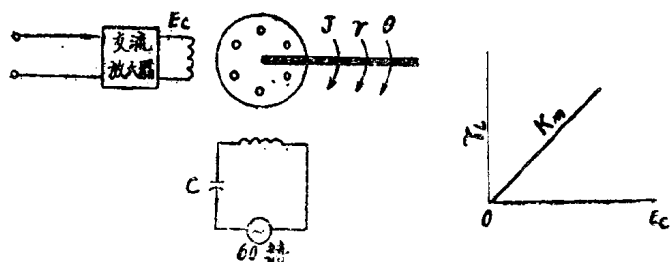


图1—13 感应电机关系曲线