

111
KS



普通高等教育机电类规划教材

测控电路

天津大学 张国雄 金篆芷 主编



机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育机电类规划教材
(天津大学 211 工程资助项目)

测 控 电 路

主编 张国雄、金篆芷

参编 王春海 冉多纲 李金泉

张军 张仁杰 胡毅 廖海洋

主审 强锡富



机械工业出版社

《测控电路》是根据1996年10月全国高等学校仪器仪表类教学指导委员会第一次会议决定编写的测控技术及仪器专业的规划教材。它是精密仪器专业方向必修教材，也可供测控技术及仪器专业其他专业方向和机械工程类其他专业选用。本书除作为教材外，还可供有关科学研究和工程技术人员参考。

测控技术是现代生产和高科技中的一项必不可少的基础技术。本书主要介绍工业生产和科学研究中常用的测量与控制电路。包括测控电路的功用和对它的主要要求、测控电路的类型与组成、信号放大电路、信号调制解调电路、信号分离电路、信号运算电路、信号转换电路、信号细分与辨向电路、逻辑控制与连续信号控制电路、测控电路中的抗干扰技术，最后通过若干典型测控电路对电路进行分析。

本教材不是一般意义上电子技术教程的深化与提高，而是着重讲清如何在电子技术与测量、控制之间架起一座桥梁，使学员熟悉怎样运用电子技术来解决测量与控制中的任务，实现测控的总体思想，围绕精、快、灵和测控任务的其他要求来选用和设计电路。

图书在版编目(CIP)数据

测控电路/张国雄，金篆芷主编. —北京：机械工业出版社，2000.9
普通高等教育机电类规划教材
ISBN 7-111-08247-8

I. 测… II. ①张… ②金… III. 电气测量—电路 IV. TM930.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第022222号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑：贡克勤 版式设计：霍永明 责任校对：孙志筠
封面设计：李雨桥 责任印制：郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年1月第1版·第1次印刷
1000mm×1400mmB5·10印张·388千字
0 001-6000册
定价：26.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

当今的时代是信息时代，在工业和科技领域信息主要通过测量获取。在现代生产中，物质流和能量流在信息流指挥和控制下运动。测控技术已经成为现代生产和高科技中的一项必不可少的基础技术。为了适应这一发展需要，并培养宽基础、具有创造性的人才，将整个仪器仪表类专业集中为“测控技术及仪器”一个专业，而《测控电路》是它的一门重要课程。

测控系统主要由传感器、测量控制电路（简称测控电路）和执行机构三部分组成。在整个测控系统中电路是最灵活的部分，它具有便于放大、便于转换、便于传输、便于适应各种使用要求的特点。测控系统、乃至整个机器和生产系统的性能在很大程度上取决于测控电路。

《测控电路》是根据1996年10月全国高等学校仪器仪表类教学指导委员会第一次会议决定，作为测控技术与仪器专业的规划教材，并根据随后拟定的教学大纲编写的。它是精密仪器专业方向的必修教材，也可供测控技术及仪器专业其他专业方向和机械工程类其他专业选用。本书除作为教材外，还可供有关科学研究和工程技术人员参考。

全书共分十一章，在第一章绪论中主要介绍测控电路的功用和对它的主要要求、测控电路的类型与组成和它的发展趋势，使学员对测控电路有一个总体概念。由于由传感器输入的信号一般很微弱，本课程第二章首先介绍放大电路，特别是低漂移、高抗干扰性能以及测控电路中要求的其他高性能放大电路。信号与噪声的分离、各种信号的分离是测控技术中的一个重要问题，第三、四两章围绕这一命题讨论信号的调制、解调与信号分离电路（主要是滤波器）。为了完成各种复杂的测量与控制任务、实现高性能，常需对信号进行各种转换与运算，第五、六章介绍信号运算和转换电路。增量码传感器在大位移测量与各种可以转换为位移的测量中有广泛应用，细分与辨向是这类传感器应用的关键技术，第七章讲述信号细分与辨向电路。第八、九章分别介绍逻辑控制和连续信号控制电路。抗干扰技术是使测控系统工作可靠、准确的关键技术，第十章专门介绍测控电路中的抗干扰技术。第十一章通过对几个典型的测控系统的剖析，使学生对测控系统整体及测控电路在其中的作用有进一步的了解。

本书由天津大学张国雄、金篆芷教授主编。参加编写的有（按姓氏笔划为序）：天津大学王春海（第七章）、河北工业大学冉多纲（第四章）、天津理工学院李金泉（第十一章）、哈尔滨工业大学张军（第六章）、上海理工大学张仁杰

IV

(第八、十章)、天津大学张国雄(第一、三章)、天津大学金篆芷(第二章)、合肥工业大学胡毅(第五章)、重庆大学廖海洋(第九章)。为了提高本书的编写质量,在主审哈尔滨工业大学强锡富教授主持下,于2000年4月21日至23日在天津大学召开了审稿会议。编者对主审和其他同志提出的宝贵意见表示衷心的感谢。

天津大学对本书的编写十分重视,把本书的编写列入天津大学211工程项目,并给予了资助。

由于我们水平有限,加之测控电路的发展十分迅速,很多方面跟不上形势的发展,不当之处与错误在所难免。恳请读者不吝赐教,对本书提出宝贵意见。

编 者

2000年7月

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第一节 测控电路的功用	1
第二节 对测控电路的主要要求	2
一、精度高	2
二、响应快	3
三、转换灵活	4
四、可靠性与经济性	4
第三节 测控电路的输入信号与输出信号	5
一、模拟式信号	5
二、数字式信号	6
第四节 测控电路的类型与组成	7
一、测量电路的基本组成	7
二、控制电路的基本组成	9
第五节 测控电路的发展趋势	10
第六节 课程的性质、内容与学习方法	11
思考题与习题	12
第二章 信号放大电路	13
第一节 测量放大电路	13
一、基本要求与类型	14
二、稳零放大电路	14
三、高输入阻抗放大电路	20
四、高共模抑制比放大电路	22
五、电桥放大电路	26
六、电荷放大电路	28
七、单片集成测量放大器	30
第二节 增益调整与切换以及线性化电路	32
一、增益调整电路	32
二、可编程增益放大电路	33

三、线性化电路·····	37
第三节 隔离放大电路·····	42
一、基本原理·····	42
二、通用隔离放大电路·····	44
三、程控增益隔离放大电路·····	46
第四节 功率放大电路·····	47
一、基本电路·····	47
二、组合式功率放大电路·····	51
三、单片集成功率放大器·····	53
思考题与习题·····	55
第三章 信号调制解调电路·····	57
第一节 调制解调的功用与类型·····	57
第二节 调幅式测量电路·····	58
一、调幅原理与方法·····	58
二、包络检波电路·····	62
三、相敏检波电路·····	68
第三节 调频式测量电路·····	82
一、调频原理与方法·····	82
二、鉴频电路·····	83
第四节 调相式测量电路·····	89
一、调相原理与方法·····	89
二、鉴相电路·····	92
第五节 脉冲调制式测量电路·····	96
一、脉冲调制原理与方法·····	96
二、脉冲调制信号的解调·····	98
三、脉冲调制测量电路应用举例·····	98
思考题与习题·····	99
第四章 信号分离电路·····	101
第一节 滤波器的基本知识·····	101
一、滤波器的类型·····	102
二、模拟滤波器的传递函数与频率特性·····	103
三、滤波器特性的逼近·····	110
第二节 RC 有源滤波电路·····	113
一、压控电压源型滤波电路·····	114

二、无限增益多路反馈型滤波电路	116
三、双二阶环滤波电路	117
四、有源滤波器设计	120
第三节 集成有源滤波器	123
一、开关电容滤波原理	123
二、集成有源滤波芯片介绍	125
第四节 跟踪滤波器	126
一、压控跟踪滤波器	127
二、变频跟踪滤波器	127
第五节 数字滤波器简介	128
一、数字系统频域分析	128
二、数字滤波原理简介	129
三、数字滤波器的实现	130
思考题与习题	131
第五章 信号运算电路	133
第一节 加减运算电路	133
一、加法运算电路	133
二、减法运算电路	134
三、运算误差	135
第二节 对数、指数及乘除运算电路	138
一、对数运算电路	138
二、指数运算电路	141
三、乘除和乘方、开方运算电路	141
第三节 微分积分运算电路	144
一、积分运算电路	144
二、微分运算电路	147
三、PID 电路	149
第四节 常用特征值运算电路	155
一、绝对值运算电路	155
二、平均值运算电路	156
三、峰值运算电路	156
四、有效值运算电路	157
第五节 复杂运算电路	158
一、反函数运算电路	158

二、任意函数电路	159
三、解微分方程运算电路	163
思考题与习题	164
第六章 信号转换电路	166
第一节 采样保持电路	166
一、基本原理	166
二、模拟开关	167
三、采样保持实用电路	170
第二节 电压比较电路	173
一、电平比较电路	174
二、滞回比较电路	174
三、窗口比较电路	175
第三节 电压频率转换电路	176
一、V/f 转换器	176
二、f/V 转换器	180
第四节 电压电流转换电路	183
一、I/V 转换器	183
二、V/I 转换器	184
第五节 模拟数字转换电路	185
一、D/A 转换器	186
二、A/D 转换器	189
思考题与习题	196
第七章 信号细分与辨向电路	198
第一节 直传式细分电路	198
一、四细分辨向电路	199
二、电阻链分相细分	202
三、微型计算机细分	204
四、只读存储器细分	205
第二节 平衡补偿式细分	207
一、相位跟踪细分	208
二、幅值跟踪细分	212
三、脉冲调宽型幅值跟踪细分	216
四、频率跟踪细分——锁相倍频细分	223
思考题与习题	224

第八章 逻辑控制电路	225
第一节 二值可控元件驱动电路	225
一、功率开关驱动电路	225
二、继电器与电磁阀驱动电路	228
三、步进电动机驱动电路	229
第二节 可编程逻辑器件	231
一、可编程阵列逻辑 PAL	232
二、通用阵列逻辑 GAL	236
思考题与习题	242
第九章 连续信号控制电路	243
第一节 导电角控制逆变器	243
一、120°导电角控制逆变器	243
二、180°导电角控制逆变器	245
第二节 脉宽调制 (PWM) 控制电路	248
一、脉宽调制控制电路的工作原理	248
二、典型脉宽调制电路	250
三、PWM 功率转换电路	253
四、同步式与异步式脉宽调制控制电路	257
第三节 变频控制电路	259
一、基本原理和分类	259
二、控制方式和特性	261
三、AC-AC 变频器	262
四、AC-DC-AC 变频器	263
五、脉宽调制型变频控制电路	265
第四节 程控电源	270
一、程控相控型电源	270
二、程控直流稳定电源	272
思考题与习题	273
第十章 测控电路中的抗干扰技术	274
第一节 电磁干扰	274
一、干扰与噪声源	275
二、干扰与噪声的耦合方式	275
三、干扰与噪声抑制的一般措施	277
第二节 屏蔽、接地、隔离、布线与灭弧技术	277

一、屏蔽技术	277
二、接地技术	278
三、隔离技术	280
四、布线技术	281
五、灭弧技术	282
第三节 电源干扰的抑制	284
一、电网干扰抑制技术	284
二、电源稳定净化技术	285
思考题与习题	288
第十一章 典型测控电路分析	289
第一节 温度测量与控制系统	289
一、温度、压力测控仪	289
二、半导体激光电源的温度控制电路	295
第二节 数控机床的速度、位移测控系统	298
一、速度控制	299
二、位置控制	303
思考题与习题	306
参考文献	308

第一章 绪 论

第一节 测控电路的功用

产品的质量和效率是衡量一切生产过程优劣的两项主要指标。为了获得高质量和高效率，测量和控制都是必不可少的。

为了获得高质量的产品，必须要求机器按照给定的规程运行。例如，为了加工出所需尺寸、形状的高精度零件，机床的刀架与主轴必须精确地按所要求的轨迹作相对运动。为了炼出所需规格的钢材，除了严格按配方配料外，还必须严格控制炉温、送风、冶炼时间等运行规程。为了做到这些，必须对机器的运行状态进行精确检测，当发现它偏离规定要求，或有偏离规定要求的倾向时，控制它，使它按规定的要求运行。

为了保证产品质量，除了对生产过程的检测与控制外，还必须对产品进行检测。这一方面是为了把好产品质量关，另一方面也是为了检测机器与生产过程的模型是否准确，是否在按正确的模型对机器与生产过程进行控制，进一步完善对生产过程的控制。

生产效率一方面与机器的运行速度有关，另一方面取决于机器或生产系统的自动化程度。为了使机器能在高速下可靠运行，必须要求机器本身的质量高，其控制系统性能优异。要做到这两点，还是离不开测量与控制。

产品的质量离不开测量与控制，生产自动化同样一点也离不开测量与控制。特别是当今时代的自动化已不是本世纪初主要靠凸轮、机械机构实现的刚性自动化，而是以电子、计算机技术为核心的柔性自动化、自适应控制与智能化。越是柔性的系统就越需要检测。没有检测，机器和生产系统就不可能按正确的规程自动运行。自适应控制就是要使机器和系统能自动地去适应变化了的内外部环境条件，按最佳的方案运行，这里首先需要的是对外部环境条件的检测，检测是控制的基础。智能化是能在复杂的、变化的环境条件下自行决策的自动化，决策的基础是对内部因素和外部环境条件的掌握，它同样离不开检测。

测量与控制不仅仅是现代生产系统的必需，现代的生活、办公器械也越来越多地依赖于测量。一部现代的汽车往往装有几个不同传感器，对点火时间、燃油喷射、空气燃料比、防滑、防碰撞等进行控制。微波炉、照相机、复印机等中也都装有不同数量的传感器，通过测量与控制使其能圆满地完成规定的功能。

现代的生产与生活离不开测量与控制，高新技术、尖端技术更离不开测控。当今的时代是信息时代，它以计算机广泛应用为主要标志。而计算机的发展首先取决于大规模集成电路制作的进步。在一块芯片上能集成多少个元件取决于光刻工艺能制作出多精细的图案，而这依赖于光刻的精确重复定位，依赖于定位系统的精密测量与控制。航天发射与飞行，都需要靠精密测量与控制保证它们轨道的准确性。

测控系统主要由传感器、测量控制电路（简称测控电路）和执行机构三部分组成，如图 1-1 所示。传感器是敏感元件，它的功用是探测被测参数的变化。但是，传感器的输出信号一般很微弱，还可能伴随着各种噪声，需要用测控电路将它放大，剔除噪声、选取有用信号，按照测量与控制功能的要求，进行所需演算、处理与转换，输出能控制执行机构动作的信号。在整个测控系统中，电路是最灵活的部分，它具有便于放大、便于转换、便于传输、便于适应各种使用要求的特点。测控电路在整个测控系统中起着十分关键的作用，测控系统、乃至整个机器和生产系统的性能在很大程度上取决于测控电路。

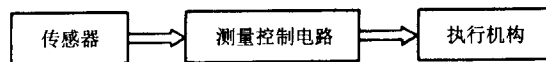


图 1-1 测控系统的组成

第二节 对测控电路的主要要求

对测控电路的主要要求可概括为精、快、灵，当然也还有一些其他要求，例如可靠性与经济性。

一、精度高

对于测控电路首先要求它具有高精度，要求测量装置能准确地测量被测对象的状态与参数，这是获得高质量产品的基础，也是精确控制的基础，使被控对象能精确地按要求运行。为了实现高精度，测控电路应具备下列性能：

（一）低噪声与高抗干扰能力

在精密测量中，要精确测得被测参数的微小变化，这时传感器输出信号的变化往往是很微小的。为了保证高的测量精度，必须要求电路具有低噪声与高抗干扰能力，这里包括选用低噪声器件，合理安排电路，合理布线与接地，采取适当的隔离与屏蔽等。由于送到电路第一级的信号最小，因此第一级电路需特别精心安排。要尽量缩短传感器到第一级电路的连线，前置放大器往往置入传感器内。

对信号进行调制，合理安排电路的通频带，对抑制干扰有重要作用。对信号进行调制就是给信号赋予一定特征，使它与非所需的信号（可将它们视为干扰）相区别，再通过合理安排电路的通频带等，只让所需信号通过，从而抑制干扰。

采用具有高共模抑制比的电路，对抑制干扰也有重要作用。因为大多数干扰表现为共模干扰，它同时作用于差动电路的两个输入端，采用高共模抑制比差动电路能有效地抑制干扰。

(二) 低漂移、高稳定性

大多数电子元器件的特性，如放大器的失调电压与失调电流、晶体管与二极管的漏电流，都会受温度影响而在一定程度上发生变化。由于电路在工作中总有电流流过，不可避免地会产生热量，从而使电路发生漂移。外界温度的变化也会引起电路漂移。为了减小漂移，首先应选择温漂小，即对温度不敏感的元器件，其次应尽量减小电路的、特别是关键部分的温度变化。这里包括减小电路中的电流，让大功率器件远离前级电路，安排好散热等。

电路工作稳定是保证电路精度的首要条件。噪声与干扰引起电路在短的时段内工作不稳定。漂移使电路在1天或若干小时的中等时段内输出发生变化。除此以外，还有电路长期工作稳定性，元器件的老化、开关与接插件的弹性疲劳和氧化引起接触电阻变化等都是影响电路长期工作稳定性的主要原因。

(三) 线性与保真度好

线性度是衡量一个仪器或系统的精度的又一重要指标。从理论上讲，一个系统也可按非线性定标，这时输入与输出间具有非线性关系并不一定影响精度。但大多数情况下，要求系统的输入与输出间具有线性关系。这是因为线性关系使用方便，如线性标尺便于读出，在换挡时不必重新定标，进行模数转换、细分、伺服跟踪时不必考虑非线性因素，波形不失真，等等。

保真度是由视、听设备中借用的概念。为使波形不失真除要求电路有良好的线性外，还要求在信号所占有的频带内，有良好的频率特性。

(四) 有合适的输入与输出阻抗

即使电路完全没有误差，在将它用于某一测控系统中，仍然有可能给系统带来误差。例如，若测量电路的输入阻抗太低，在接入电路后，就会使传感器的状态发生变化。从不影响前级的工作状态出发，要求电路有高输入阻抗。但输入阻抗越高，输入端噪声也越大，因此合理的要求是使电路的输入阻抗与前级的输出阻抗相匹配。同样若电路的输出阻抗太大，在接入输入阻抗较低的负载后，会使电路输出下降。要求电路的输出阻抗与后级的输入阻抗相匹配。

二、响应快

生产的节奏在不断地加快，机器的运转速度在不断地加快，响应速度快就成为对测控电路性能的另一项重要要求。实时动态测量已成为测量技术发展的主要方向。测量电路没有良好的频率特性、高的响应速度，就不能准确地测出被测对象的运动状况，无法对被测系统进行准确控制。对一个存在高速变化因素的运动系统，控制的滞后可能引起系统产生振荡，振荡的幅度还可能越来越大，导致系

统失去稳定。为了能够测出快速变化参数，为了使一个高速运动系统稳定，要求测控电路有高的响应速度和良好的频率特性。

三、转换灵活

为了适应在各种情况下测量与控制的需要，要求测控电路有灵活地进行各种转换的能力。它包括：

(一) 模数与数模转换

自然界客观存在的物理量多为模拟量，传感器的输出信号也以模拟信号居多。为了读数方便和提高在信号传输中的抗干扰能力，为了便于与计算机连接和便于长期保存等，常常需要数字信号，这就需要模数转换。而为了控制执行机构动作，又常需要模拟信号，这时又需数模转换。

(二) 信号形式的转换

模数与数模转换是信号形式的转换的一种。为了信号处理与传输上的需要，还常需要进行直流与交流、电压与电流信号之间的转换。一个信号的大小，可以用它的幅值、相位、频率、脉宽等表示，为了信号处理、传输与控制上的需要，也常需要进行幅值、相位、频率与脉宽信号等之间的转换。

(三) 量程的变换

一个测控系统需要测量和控制的量可以差百万倍以上，为了适应测量、控制不同大小量值的需要，而不引起饱和与显著的失真，电路应能根据信号的大小进行量程的变换。

(四) 信号的选取

一个实际的信号中不仅包括信号与噪声，而且在信号中也包含具有不同特征的信号，例如不同频率的信号。这些不同特征的信号可能由不同的源泉产生，也可以有不同的物理含义。在测量与控制中常要选取某一频率或某一频带，或某一瞬时的信号，电路应具有选取所需信号的能力。

(五) 信号的处理与运算

在测量与控制中常需要对信号进行处理与运算，如求平均值、差值、峰值、绝对值、求导数、积分等。这里也包括对非线性环节进行线性化处理与误差补偿，进行复杂函数运算，进行逻辑判断等。

四、可靠性与经济性

随着科技与生产的发展，测控系统应用越来越广、规模越来越大，这对可靠性提出了越来越高的要求。如果单个晶体管（或PN结）的可靠性为0.9999，当一个集成块上集成了10000个晶体管，并假定它们的工作可靠性是相互独立的，那么整个集成块可靠性仅 $0.9999^{10000} = 0.368$ ，假如在整个系统中有100个这样的集成电路块，其可靠性仅为 $0.368^{100} = 3.7 \times 10^{-44}$ 。为使系统的可靠性达0.99，要求单个集成电路块的可靠性达0.9999，而要求单个晶体管的可靠性达

0.99999999。从这个例子可以看到，一个现代系统对器件的可靠性提出了多高的要求。

对测控电路的另一个要求是它的经济性。一个成本高昂的电路难以获得广泛应用。要在满足性能要求的基础上，尽可能地简化电路。要合理设计电路，能在不对器件提出过分要求的情况下获得较好的性能。

第三节 测控电路的输入信号与输出信号

测控电路的输入信号是由传感器送来的。随着传感器类型的不同，输入信号的类型也随之而异。主要可分为模拟式信号与数字式信号。测控电路的输出通常送到显示机构、执行机构或计算机。根据显示机构的不同，输出信号也可能为模拟信号与数字信号，分别实现模拟显示或数字显示。根据所选用的执行机构不同，也可能要求测控电路输出模拟信号或数字信号。计算机一般要求数字信号输入，但不少情况下将模数转换板插在计算机内，这时输入到计算机的是模拟信号。实际可以将计算机看作测控电路的延伸。

一、模拟式信号

(一) 非调制信号

模拟信号又可分为非调制信号与经调制信号。非调制信号是指测控电路的输入信号 2 的大小、波形直接与测量 1 的大小、波形相对应，或者测控电路的输出信号 2 的大小、波形直接与执行、显示机构最终输出 1 相对应，如图 1-2 所示。一般要求 2 与 1 之间具有线性关系。

利用压电传感器测量作用在物体上的力和利用热电偶测量温度时，传感器的输出信号，也即测控电路的输入信号为非调制模拟信号。以磁电式电表、示波器、笔式记录器作显示机构、以直流电动机为执行机构时，都要求测控电路的输出信号为非调制模拟信号。

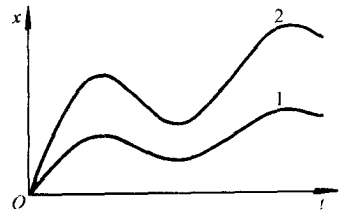


图 1-2 非调制模拟信号

(二) 经调制信号

如前所述，为了提高信号的抗干扰能力，往往对信号进行调制。在精密测量中希望从信号一形成就已为调制了的信号，因此常在传感器中进行调制。如图 1-3 中，用电感传感器测量工件轮廓形状时，若工件轮廓按图 1-4a 所示曲线变化，那么传感器的输出信号的幅值随工件轮廓形状变化，输出信号的波形如图 1-4c 所示，这是一个幅值按被测轮廓调制了的信号，称为调幅信号。信号的频率由传感器供电频率确定，这一频率称为载波频率 (carrying frequency)，具有载波频率的高频信号 (见图 1-4b) 称为载波信号 (carrying signal)，用以对载波信

号进行调制的信号称为调制信号 (modulating signal), 而调制后的信号称为已调信号 (modulated signal)。由于这里是幅值受到调制, 故称为调幅信号 (amplitude modulated signal)。

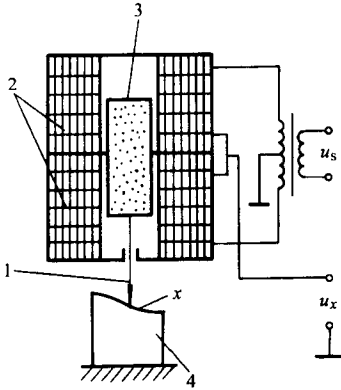


图 1-3 用电感传感器测量工件轮廓形状
1—测杆 2—线圈 3—磁芯 4—被测件

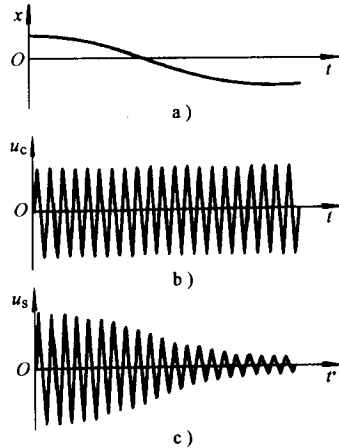


图 1-4 调幅信号
a) 调制信号 b) 载波信号 c) 调幅信号

用应变片测量梁的变形, 并将应变片接入交流电桥, 这时电桥的输出也是调幅信号, 其幅值为应变片的变形所调制。

除了对信号的幅值进行调制外, 还可以对它的相位、频率进行调制, 调制后的信号分别称为调相和调频信号。还可以对脉冲的宽度进行调制, 脉冲的宽度受到调制的信号称为脉冲调宽信号。这将在第三章中详细介绍。

根据受控的执行机构需要, 在某些情况下要求测控电路输出调制的信号。例如, 交流伺服电动机的转速与控制电路输出信号的幅值成正比, 控制电路输出的是调幅信号。用脉冲宽度控制的电动机需要脉冲调宽信号。

二、数字式信号

(一) 增量码信号

采用光栅、激光干涉法等测量位移时传感器的输出为增量码信号。与这一类传感器连接的测量电路输入信号为增量码信号。增量码信号的特点是, 被测量值与传感器输出信号的变化周期数成正比, 即量值的大小由信号变化周期数的增量决定。对输出模拟信号的传感器, 传感器输出信号的波形 (在输出非调制信号情况下) 或信号包络线的波形 (在输出经调制信号情况下) 随被测量变化, 而增量码信号的波形不由被测量决定, 这是它与模拟信号的主要区别。

采用步进电动机为执行机构时, 电动机的转角由输入的脉冲数决定, 这时要求测控电路输出增量码数字信号。