

目 录

第一章 工程遥测的基本原理	7
§ 1-1 遥测的基本概念	7
§ 1-2 工程遥测系统的组成与分类	7
一、工程遥测系统的组成	2
二、工程遥测系统的类别	3
§ 1-3 工程遥测系统的技术要求	4
§ 1-4 消息、信息、信号与信道的基本概念	6
一、消息与信息	6
二、信号	7
三、信道	7
§ 1-5 频划分遥测原理	8
一、频划分遥测系统的组成与频谱结构	8
二、频划分多路信号的频谱宽度	10
§ 1-6 时划分遥测原理	11
一、理论基础	11
二、时分复用遥测系统的组成	12
三、FDM和TDM系统的比较	13
第二章 工程遥测的基础知识	15
§ 2-1 调制	15
一、调制的概念及其在遥测中的应用	15
二、调制的功能与分类	15
三、调制制度的比较	17
§ 2-2 锁相技术在遥测中的应用	30
一、锁相环的组成及其工作原理	30
二、基本方程和相位模型	32
三、锁相环的传递函数和频率特性	33
四、锁相环的跟踪性能	36
五、锁相环的噪声性能	37
六、锁相环的同步带宽	38
七、锁相环的捕捉带宽和捕捉时间	38
八、锁相环的同步保持时间	38
§ 2-3 同步原理	39
一、同步的分类	39
二、同步方法举例	40
§ 2-4 纠错码简介	47
一、奇偶监督码	48
二、前向纠错码	48
三、自动检错反馈重发(ARQ)	48
§ 2-5 电波传播概要	49
一、概述	49
二、无线电波在自由空间的传播	50

三、地表面波传播	51
四、天波传播	52
五、空间波传播	55
§ 2-6 遥测天线	57
一、概述	57
二、天线的工作原理	59
三、天线的主要特性参数	60
四、地面对天线辐射特性及输入阻抗的影响	66
五、典型天线介绍	67
§ 2-7 典型的收发系统	81
一、发射机与接收机的组成及工作过程	81
二、典型电路举例	83
第三章 扭矩遥测系统	86
§ 3-1 扭矩测量的基本概念	86
一、圆轴扭矩的产生	86
二、圆轴扭矩的基本概念	86
三、遥测法测扭矩的优点	90
§ 3-2 单通道扭矩遥测系统	90
一、基本原理及组成方框图	91
二、方案选择和线路分析	91
三、试验室鉴定及技术指标	96
§ 3-3 时分制多通道扭矩遥测系统	97
一、EYB-77-3型遥测仪方案选择	97
二、EYB-77-3型遥测系统的技术指标	97
三、EYB-77-3型遥测仪组成框图(图3-13)	98
四、EYB-81-4型五十通道遥测系统	99
五、M序列码(伪随机码)特性	99
六、EYB-77-3型遥测仪总体逻辑设计	105
七、EYB-77-3型遥测系统的同步问题	115
第四章 应力遥测系统	135
§ 4-1 应力、应变的计算方法	135
一、应力的计算方法	135
二、应变花的应用与计算	138
三、图解法(模尔圆法)	139
§ 4-2 单通道应力遥测系统	141
一、EYB-74-1型单通道遥测仪	141
二、MRT-200型遥测系统	149
§ 4-3 时分制多通道遥测系统	153
一、Y6Y-12型遥测仪工作原理(图4-27)	153
二、Y6Y-12型遥测仪主要技术指标	156
三、线路设计	157
四、现场应用	159
§ 4-4 数字式时分制应力遥测系统	159
一、五十通道遥测仪的基本工作原理	161
二、发射机总体逻辑图设计	161
三、接收机总体逻辑设计	170

第五章 温度遥测系统	175
§ 5-1 温度遥测系统的基本知识	175
一、常用测温方法、特点及应用范围	175
二、温度传感器的安装工艺	175
三、温度补偿原理	177
四、瞬态温度检测的误差分析	180
§ 5-2 近程遥测制动鼓温度测试系统	181
一、测试系统的组成	181
二、测试信号分析	184
三、技术指标	186
§ 5-3 单调频温度遥测系统	186
一、油封唇口温升测试结构	187
二、测试系统	188
三、讯号分析	188
四、结论	190
§ 5-4 FM/FM双调频遥测系统	190
一、FM/FM双调频遥测系统	190
二、热电偶长度的影响	191
三、技术特性	192
四、冷端温度补偿	192
§ 5-5 AM/FM遥测系统	193
一、热电偶和热敏电阻传感器	193
二、标定范围	193
三、试验	193
四、结论	195
§ 5-6 高速动态温度遥测系统	196
一、温度测量方法	197
二、校正网络提高动态响应的方法	198
§ 5-7 温、湿度遥测系统	199
一、测量原理及分机构成	200
二、主机工作原理	202
三、通道	204
第六章 可编程序遥测系统	205
§ 6-1 可编程序遥测系统	205
一、可编程序遥测系统的特点	205
二、应用范围	207
三、可编程序遥测系统的工作原理	208
§ 6-2 典型的可编程序遥测系统	209
一、发射设备	210
二、接收设备	212
§ 6-3 多微处理器数据采集系统	213
§ 6-4 多微处理器数据采集系统的信号传输方式	217
§ 6-5 多微处理器提高数据采集系统的典型例题	218
§ 6-6 典型应用系统	219
一、FM/FM遥测系统数据处理	219
二、微型机遥测系统于电站的典型应用	223
§ 6-7 发展趋势	225

第七章 标定技术	226
§ 7-1 现场标定	226
一、现场标定的重要性	226
二、举例说明遥测系统的标定方法	226
三、标定的内容	227
四、动态特性标定	228
§ 7-2 应力遥测系统的标定方法	230
一、模拟电标定法	230
二、标准应变模拟仪标定法	231
三、等强度梁标定法	232
四、电标定与力标定的综合标定	233
§ 7-3 扭矩遥测系统的标定	234
一、标准扭矩轴法	235
二、等强度梁标定法	235
三、扭矩校正仪标定法	236
四、现场扭矩综合标定法	237
§ 7-4 温度遥测系统的标定	237
一、热电偶应用的计算标定法	237
二、现场实测标定法	239
§ 7-5 其他参数的遥测系统标定	241
一、空间力遥测系统的静载标定	241
二、位移量遥测系统的标定	243
三、振动遥测系统的标定	243
第八章 屏蔽与接地	244
§ 8-1 屏蔽与接地的基本概念	244
一、静电屏蔽与接地	244
二、电磁屏蔽	245
三、低频磁屏蔽	247
四、接地和搭接	248
§ 8-2 电阻电桥的屏蔽	250
§ 8-3 发射机的屏蔽	251
一、放大器的屏蔽	251
二、进入放大器屏蔽体内的信号	252
三、调发射机电源系统引进的干扰	252
四、调发射机及发射天线引进的干扰	253
§ 8-4 射频辐射的屏蔽	253
一、射频的屏蔽	254
二、射频干扰消除的概念	254
§ 8-5 遥测系统屏蔽与接地的典型应用	255
一、遥测系统的综合屏蔽与接地	255
二、遥测系统的接地布线法	255
第九章 供电问题	257
§ 9-1 感应供电	257
一、感应供电的基本结构	257
二、电源的稳定性	257
三、稳压电源	261
§ 9-2 感应供电系统	267
一、感应供电系统	267
二、模拟台架试验装置	267

三、测试系统	262
四、电路的理论基础	263
五、试验	263
六、初级线圈的电特性	264
七、系统零量试验	264
§ 9-3 光电供电	265
一、基本原理及技术指标	265
二、应用	267
§ 9-4 电池组供电	268
§ 9-5 滑环供电	269
第十章 典型应用	270
§ 10-1 冶金工业测试中的应用	270
一、轧机传动轴扭矩测试系统	270
二、传动轴扭矩测试数据	271
三、结论	271
§ 10-2 泵型叶轮机主轴扭矩测试	272
一、测试系统	272
二、测试数据(表10-3)	272
§ 10-3 在工程机械测试中的应用	272
一、测量系统的要求	272
二、遥测系统的构成	273
三、传感器及标定	274
四、系统的安装与测试	280
五、数据的采集和处理	280
六、结论	287
§ 10-4 在汽车坦克军用车等测试系统中的应用	288
一、测试系统的建立	288
二、室内静态标定	288
三、野外行驶试验	290
四、结论	290
§ 10-5 在农业机械测试中的应用	290
一、测试系统的建立	290
二、前轴、后轴、转盘上应力的测量	291
三、结论	291
§ 10-6 对内燃机动态参数测试	292
一、测试系统的构成	292
二、数据对比	292
三、结论	292
§ 10-7 燃气轮机叶片振动应力遥测	293
一、叶片振动应力遥测系统	293
二、无线多路传输与标定	294
三、测试数据分析	296
四、结论	296
第十一章 遥测车	298
§ 11-1 工程试车技术的发展概况	298
一、遥测车技术发展	298
二、类型和特点	298
§ 11-2 工程电测车及电测船	299

一、有线跟踪电测工程车的车体结构	299
二、有线跟踪电测工程车的测试系统及仪器	301
三、数据处理和分析	301
§ 11-3 工程遥测车	302
一、车体结构	303
二、遥测车的测试系统及仪器布置	306
三、遥测车的作用	307
四、电源车	307
参考书目	308

第一章 工程遥测的基本原理

工程遥测技术在我国尚属一门开发性的,但具有广泛发展前途的新兴学科,系统性的专著尚比较少。为使读者对工程遥测技术有比较完整的概念,在描述各种具体的遥测系统之前,有必要对工程遥测的基本原理及有关概念加以简要介绍。

本章首先介绍有关遥测的基本概念,工程遥测系统的组成、分类与技术要求,最后介绍遥测信道的复用原理。

§ 1-1 遥测的基本概念

不言而喻,遥测就是对被测对象的某些参数进行远距离测量。因此,也可以说遥测是人类感官或测量手段的远距离延伸,它是研究利用无线电、有线电或激光等手段来传输和处理各种物理量测量结果的方法和设备的。这类物理量可以是电气量、机械量、光学量、化学量等等。

为便于比较和更好地理解遥测的概念,首先介绍一下有关遥控、遥测、通信、遥调、遥感的基本概念。

实际上单纯的遥测系统是比较少的,因为随着科学技术的发展,人们不断谋求对生产过程,特别是处于分散状态的目标(如油田、气田、输油管道、输气管道、铁道、输电网等)和活动型的目标(如高速旋转体和移动体等)的生产过程的集中监视和统一管理,自然就需要采用遥控遥测乃至通信遥调技术。它们是在综合自动控制理论、计算机技术和现代通信技术的基础上发展起来的新兴学科,它们具有在人(或者机器)和机器之间进行远距离交换信息的机能。

遥控就是对被控对象进行远距离控制;而遥调是指对被控对象的工作状态实施远距离的连续调整,它实际上是遥控的一个分支或“子范畴”;通信则指对远距离被测对象的工作极限状态进行远距离测定。被测对象的工作极限状态是指其是否工作或工作是否正常,如机器的启停状态、阀门的开关状态、超过额定范围的工作状态等,而不是表示工作状态参数的数量。图 1-1 所示为遥控遥测通信遥调系统工作示意图。

控制端可能是人或计算机,它根据预定目的和来自反馈系统的反馈信息,拟定控制指令。控制指令由控制系统传给被控对象。遥测系统则起反馈环节的作用,它将控制对象的运动状态(如旋转机械的扭矩、应力、加速度、振动、位移、温度等)的有关信息反映给控制端,以帮助其掌握被控对象的有关情况。

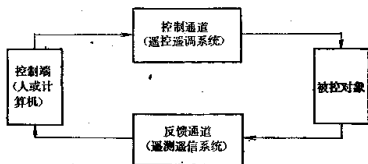


图 1-1 遥控遥测通信遥调系统示意图

遥测与遥感较易混淆,下述说法有益于理解二者的差别。即把近感(用接触式传感器——如电阻器、热电偶、压电器等)遥传(通过有线或无线电系统远距离传输)谓之遥测;而把遥感(如运用多光谱器件来远距离感受被测物理量)近传(或遥传)称为遥感。这种说法有一定的合理性。

通常所说的“三遥技术”是指遥控遥测通信技术;“四遥技术”是指遥控遥测通信遥测技术;“五遥技术”则指上述四遥再加上遥感。

§ 1-2 工程遥测系统的组成与分类

一、工程遥测系统的组成

借助于一批仪表和装置的组合,能够保证利用无线电、有线电或激光等信道把某一点(或若干点)被测对象的某些参数进行远距离测量和传输,并在另一点把被测量值加以显示、记录、分析和处理,这种装置和仪表的组合就称之为遥测系统。

目前已经研制出并使用着种类繁多的遥测系统,尽管它们的工作原理、电路和结构不尽相同,但归纳起来均可概括为由输入设备、数据传输设备和终端设备三部分组成,如图 1-2 所示。

1. 输入设备 输入设备包括传感器和变换器。传感器的作用是感受被测量值,并把被测的参数(一般是非电量)转换成相应的电量。变换器再将这些电量变换为符合数据传输设备输入端所要求的电信号,并实现二者之间的阻抗匹配。

2. 数据传输设备 它一般包括发送端的多路信号综合调制器、通信设备、传输通道(有线、无线或激光信道等)和接收端的分路解调器等。其作用是将从输入设备来的多路电信号加以频分、时分或码分调制等综合和变换,并进行远距离传输,在接收端再将此综合信号进行解调、分路等反变换。

3. 终端设备 包括显示、记录和数据处理设备。其作用是将接收到的信号加以实时显示,并用记录设备记录下来,然后用数据处理设备(一般为计算机)对被测信号进行定标、误差校正、分析、计算、贮存等处理,并以表格或曲线等形式把遥测结果表示出来。

从工程遥测的应用角度上,对上述各部分将提出不同的要求。例如对传感器要求小型化、系列化、高可靠、高精度、线性好等;对传输系统一般要求容量大、精度高、体积小、重量

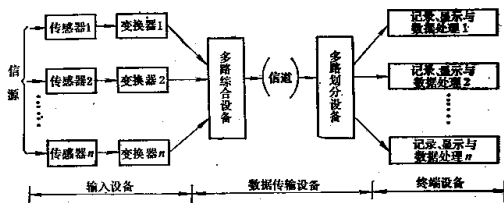


图1-2 工程遥测系统的组成

轻、功耗低、传输距离远以及能克服空间条件带来的困难等;对显示和记录装置要求容量大、速度快、频率高、便于和计算机接口进行数据处理等。但上述各项要求应根据被测对象不同而有所侧重,不要一律追求高指标。

二、工程遥测系统的类别

如前所述,遥测系统已被广泛地应用于国防、空间及国民经济的许多部门,其种类是相类似的。这里仅就工程上应用的遥测系统简述一下其分类:

1. 从遥测中使用的数据传输通道划分 可分为有线电遥测系统和无线电遥测系统。在有线遥测系统中最有前途的是光纤传输,其特点是码速率高($10^6 \sim 10^8$ bit/s),误码率低(10^{-6}),而且不受电磁干扰。目前已接近实用阶段。但有线遥测因需要架线,故应用有一定的局限性。当遥测距离太远,或因地形复杂架线困难,特别是对于运动目标和空间目标的遥测则必须采用无线传输方式。

2. 根据多路化技术划分 可分为单路和多路遥测系统。多路遥测系统又区分为 1:1 方式和 1:N 方式(即一个监测站对应多个被测站)两种。其中 1:N 遥测方式又分为召唤式和经常传输式两种。

从多路化技术的分割方式上,又可区分为频分系统(FDM)、时分系统(TDM)和频-时分混合系统等。

3. 根据信号变换方式划分 可分为模拟型和量化型(数字式)遥测系统。量化型中包括 PCM* (脉冲编码调制)和 DM (增量调制)两大类。由于量化型遥测系统具有一系列优点,随着大规模集成电路的发展,将会得到日益广泛的应用。

4. 根据传输方式划分 可分为直接式和载波式两种。直接式就是把被测量变成电压或电流信号直接进行传输,在接收端直接进行显示。这种方式又称为基带传输。基带,就是未经频谱变换的基本频带之意。基带信号不经调制以近于原形的形式传输,即称为基带传输。其优点是简单易行,但只能作近距离传输,且不利于多路复用。为实现远距离传输,多数情况下均采用载波式遥测系统。所谓载波式就是把由被测量变换而来的电信号,再变换到(即调制到)声频以上的载波上去传输。

载波式传输还可以进一步分类:在频分制遥测系统中,传输被测量值的数值,可以采用各种连续波调制形式,即调幅(AM)、调频(FM)、调相(PM)。有时也可采用脉冲调制方式。

在时分制遥测系统中,主要采用如下几种调制方式:脉幅调制(PAM)、脉宽调制(PDM)、脉位调制(PPM)、脉码调制(PCM)。

在遥测系统中通常是采用两种或两种以上的复合调制方式,称为复合调制系统。可分为连续波—连续波复合调制,例如 AM-AM、AM-FM、FM-FM 等;脉冲波—连续波复合调制,例如 PAM-FM、PPM-FM、PDM-FM、PCM-AM 等等。

此外也可以采用三种不同的调制方式。例如 FM-PAM-AM、AM-PAM-FM 等。但由于设备过于复杂,尤其是对同步系统要求严格,因此这类复合调制系统在小型工程遥测系统中很少采用。

5. 根据工作程序划分 可区分为固定程序的普通遥测系统和可编程程序遥测系统。自七十年代以来,遥测技术和微型计算机技术的结合,产生了新一代的遥测系统。它具有自适应

* 本章中提到的各种调制方式,其概念均在第二章中介绍。

性、通用性和高可靠性等一系列根本区别于经典遥测系统的特点。这种新型的遥测系统，大致上又可分成三种类型：

- 1) 存储器控制的可编采样程式遥测系统。
- 2) 以微处理机为核心的遥测系统。
- 3) 遥测、遥控和数据处理综合系统。

§ 1-3 工程遥测系统的技术要求

遥测系统为远距离测量系统，由于被测对象的多样性和数据处理的复杂性，对遥测系统的技术要求是多方面的，通常是以使用部门对系统所提出的技术要求为依据的。在工程遥测系统的研制和设计过程中一般应考虑以下技术指标：

1. 系统的精度 遥测系统的精度又称系统的准确度，它直接反映接收到的数据与原始数据相符合的程度，是遥测系统的主要技术指标之一。遥测系统的精度用相对误差来表示：

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_m} \quad (1-1)$$

式中 γ ——相对误差；

Δx ——测量参数的绝对误差；

x_m ——参数的最大值。

根据被测对象和使用场合的不同，对精度的要求也不同。一般要求精度在1~5%的范围内，对某些特殊要求（如科学研究）的遥测系统，则要求精度在0.5~0.1%范围内或更高。

在开始设计遥测系统之前，必须分析一下所有要遥测的参数，并确定所需的遥测精度。然后根据分析结果选择出遥测设备的所有单元。

2. 工作容量的确定 遥测系统的工作容量系指遥测系统所能传送遥测信息数量的多少，它是衡量一个遥测系统传递遥测参数能力大小的指标。在设计遥测系统时，第一步就需要根据使用范围和测量目的大致确定其传输容量。它决定于系统的路数和各路所传送信息的极限频率的乘积。

$$C = nF_m \quad (1-2)$$

式中 F_m ——信息频谱的极限频率；

n ——系统的路数。

在频划分遥测系统中，由于各路传送信息的上限频率不同，这时

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_{mi}}{n} \quad (1-3)$$

则

$$C = nF_m = \sum_{i=1}^n F_{mi} \quad (1-4)$$

式中 F_{mi} ——第 i 路可传递信息的上限频率。

可见工作容量决定于各路信息的频带宽度，显然，系统的路数越多，每路所能传送信息的带越宽，传送的信息量也越大。

3. 系统工作的可靠性 这项指标的意义是明显的。因为遥测系统是一种远距离测量和

监视系统，因此无论是军用还是民用都必须保证高度的可靠性。从工程遥测应用的角度来看，这项指标是直接关系到遥测技术能否在工业和民用部门广泛采用的主要因素之一。有许多场合，如粮食、武器及其它物资储备仓库、纺织车间等温湿度遥测，高山气象站，海洋浮标站等气象与海洋参数的遥测，要求遥测系统能长期连续可靠的工作，否则其它指标怎样先进都是毫无价值的。

为了保证遥测系统的可靠性，除了在设计时要合理地选择方案、确定工作波段、选择天线型式、提高传输设备的抗干扰能力等外，还要在结构和工艺上采取有效措施。

4. 抗干扰能力 在内部和外部干扰的作用下，遥测系统仍能保证在所规定的条件下保持技术指标的能力，称之为遥测系统的抗干扰能力。在工程遥测应用场合，人工干扰是可以避免的，主要干扰为自然干扰中的大气干扰、工业干扰和起伏干扰。其中大气干扰和工业干扰在超高频段影响很弱，可以通过选择波段加以限制。因此直接影响系统准确度的最有害干扰是内部起伏干扰。此外，对多路传输设备还存在一种固有的特殊干扰——路际干扰；对运动体还有振动引起的干扰。在设计中必须采取有效措施来提高遥测系统的抗干扰能力。

5. 工作波段 无线电遥测系统，一般是利用超高频信道来传输的，工作频段为 70~3000MHz。各国可根据具体情况在上述范围内作出自己的规定。我国已于 1975 年由国家无线电管理委员会规定遥测频段为 223~235MHz 及 410~470MHz；用于小型工程遥测系统的频率为 27MHz、76MHz、150MHz。

6. 体制的选择 在体制选择中主要包括如下几个问题，

1) 首先要确定多路传输的模式是频分还是时分，这个问题应结合容量选择确定。

2) 根据抗干扰能力与对数据的要求，确定是采用模拟式还是采用数字式遥测系统。

3) 如果确定采用频分制遥测系统，还必须根据被传参量的频谱特征（上限频率）以及有关的遥测标准文件，选定副载波的中心频率、调制方式、频偏或带宽、预加重方式、校准信号（标准频率）等技术指标，以及相应的滤波器和解调器技术指标。

4) 如果选定时分系统，则必须进一步确定：采样频率与脉冲的调制方式和调制范围；量化精度和量化阶梯数；脉冲宽度与脉冲制式；码组字长；位同步和帧同步信号（或码组）的类别，如脉幅同步、脉宽同步、码组同步（如伪随机序列的巴克码、M序列码等）；校准信号和自动检校码的参数等技术指标。

5) 选择载波的频率范围与调制方式。

以上几项内容的选择均应符合标准化要求。

7. 收一发系统技术指标的选择 选择的依据为：根据任务范围、抗干扰度和传输精度要求、有关遥测标准规定、本国的技术传统和货源情况，以及技术发展趋势和新老设备的兼容可能性等。

需要确定的主要技术指标如下：

1) 射频中心频率的分配和稳定度的要求。

2) 射频调制方式、调制参数的变化范围及调制器的线性度。

3) 中频带宽与通频带。

4) 有效通信距离 R 、发射机功率 P 、及接收机的灵敏度 E_s 。

5) 谐波抑制器与预选器参数。

6) 解调器的线性度。

7) 天线型式。

8) 高频部分的屏蔽、接地、密封和工作温度范围等。

8. 记录、显示与数据处理方式

1) 实时处理与延时处理。

2) 记录方式(磁带、纸卡、胶卷照相)。

3) 显示方式(指针式仪表、数码管、液晶、荧光屏)。

4) 数据处理方式(手工、半自动、依靠计算机进行全自动处理)。

5) 数据中继接口设备的配置要求。

9. 结构设计考虑 结构设计中,除了要满足尺寸、重量、密封、防潮、防锈、防震及强度等一般要求外,还应当适当考虑造型美观、运输与拆卸、使用与维修方便等。所用组件与器件必须尽可能标准化。

10. 通用性、经济性与简单性 随着工业建设的发展,遥测技术在工程测试中的应用将日益广泛。由于遥测参数的多样性和数据处理的复杂性,如果所设计的遥测装置具有通用性,将给使用部门带来极大的方便。又基于民用的特点,所设计的遥测系统应力求简单经济。

最后须指出,以上所介绍的技术要求和设计考虑,并非对每种遥测系统都必须满足。根据被测对象和使用场合的不同应各有侧重,设计时应本着具体情况具体分析的原则加以处理。

§ 1-4 消息、信息、信号与信道的基本概念

遥测系统在本质上是一种信息传输系统,要经常涉及消息、信息、信号与信道等有关信息论中的基本概念,初学者往往容易混淆而影响对主要问题的理解。为此在这里作些扼要介绍。

一、消息与信息

1. 消息 从“信息论”的角度上讲,消息可以广义地定义为:“消息是客观事物的存在和运动情况”。这种定义比较抽象,从信息传输的角度常常给出如下的定义:“消息是传输系统中所要传输的对象”。消息是多种多样的,不同的传输系统,消息是不同的。例如,在电话系统中是语言,在电报系统中是电文,在电视系统中是图像,在指令遥控系统中是命令,而在遥测系统中是被测物理量的数据。这些消息往往不是电量。

然而,尽管有各种各样的消息存在,但是在理论上可以把所有的消息分成连续消息与离散消息两类。

所谓连续消息,就是可以用连续的时间函数来表示的消息。例如,通话中的语音,电视图像中的亮度,遥测中的温度数据等。

所谓离散消息,是指在一定的时间间隔内,可以用有限个瞬时值来代表的消息。如书信、电报、数据等。但连续消息与离散消息的存在时间和最高频率 F 都是有限的。

2. 信息 信息是消息的内涵,是指消息中能为收信者所需要和理解的那部分内容。遥测信息是指被测物理量(例如电流、电压)的即时值。因为被测量是变化量,所以需要经常测量,根据要求不同,一般要在几秒钟内(甚至更短)更新检测内容。

在通信过程中,对收信者来说,能否获得信息以及能获得多少信息量,一方面取决于消

息的传载体——“信号”的物理特性和编码结构，另一方面也取决于收信者本身的特性和对消息的预知程度。消息中是否含有信息，要看消息中是否有收信者在收到消息前所不知道的，未估到或不能确定的东西。收信者得到消息后，若他事前认为消息中所描述的事件发生的可能性越小，他就认为这个消息带给他的信息量越大。信息的容量根据用途及系统的大小不同，可以在几十至几百之间。

遥测信息在进行远距离传输时，必须认真考虑信息的性质：诸如信息的内容，信息出现的频率，信息量的多少，要求传输的时间，允许的误码率等。

二、信号

信号是传送信息的载体。它是由消息转换过来的，与消息一一对应，并且适合于在信道内传输的东西。它可以由电流、电压、电波或光波等物理量来体现。由此可见，信号与消息是有区别的，前者有功率特征，而后者是无功率的。但是，二者之间具有一定的单值关系，以便在接收端能恢复出与发端相同的消息。

有时根据习惯说法，常把直接反映消息的信号（如遥测系统中传感器所送出的电参量）称作“消息”、“原始信号”或“基带信号”，而将其传载体（如传感器后面各环节中的低频副载波、视频脉冲序列以及传载体它们的射频电振荡）称之为“信号”，并分别冠之以环节特征加以限定，例如“副载波信号”、“电脉冲序列”、“射频信号”等。

消息具有唯一性和单向性，而信号则具有多样性和多向性。同一内容的消息可以被多种多样的信号同时反映和传送，在传送过程中可以进行各种变换，但这只是信号间的变换，而信号中所传载的消息是不会改变的。

与连续消息和离散消息相对应，信号也分连续与离散两类。

在传输系统内传输的信号为时间的连续函数时，则这样的信号称为连续信号或模拟信号。而当所传输的信号，其载荷信息的物理量（如电信号的幅度、频率、相位等）的改变，在时间上是离散的，这种信号就称之为离散信号。如果不仅在时间上离散，而且取值也离散，则称之为数字信号。

传输模拟信号的遥测系统称为模拟遥测系统，同样，传输数字信号的遥测系统称为数字式遥测系统。但模拟信号并非只能在模拟信道中传输，根据需要，也可先把模拟信号进行模/数转换，变成数字信号，然后利用数字信道进行传输。此时，在收端再进行相反的数/模转换，以还原出原信号。

三、信道

信道是指传输信号的媒质或通道。如架空明线、同轴电缆、光导纤维、自由空间等。

这种信道的定义比较直观，其分类也很明显，即按其信道有无导线可分为有线信道和无导线信道两大类。前者是利用各种传输线路作为媒介，而后者是利用收、发天线和自由空间作为媒介。

通常将仅指传输媒质的信道，称为狭义信道。另一类定义是广义信道，它除包括传输媒质外，还可能包括有关的转换器（如发送设备、接收设备，馈线与天线、调制器、解调器等）。

广义信道又分为调制信道与编码信道两类。调制信道是从研究调制与解调的基本问题出发而构成的，其范围是从调制器输出端到解调器输入端的所有转换器及传输媒质，所传输的是已调制信号。

因为我们所关心的是最终结果而不是中间的物理过程，所以定义一个调制信道对研究调制和解调问题是方便和恰当的。

基于同样的道理，在数字式遥测系统中，如果我们仅着眼于编、译码问题，则可定义另一种广义信道——编码信道。

这是因为从编、译码的角度来看，编码器的输出仍是某一数字序列，而译码器的输入也同样是某一数字序列。因此，在编、译码器之间的所有转换器和传输媒质，可用一个完成数字序列变换的方框加以概括，这个方框就称之为编码信道。

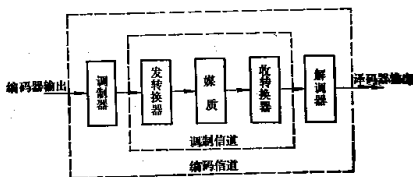


图1-3 调制信道与编码信道

调制信道与编码信道的示意图如图1-3所示。

调制信道属于模拟信道，它是组成模拟遥测系统的基础；编码信道属于数字信道，它是组成数字式遥测系统的基础。

应该指出，狭义信道（传输媒质）是广义信道十分重要的组成部分。事实表明，遥测效果的好坏，在很大程度上将依赖于狭义信道的特性。因而在研究信道的一般特性时，“传输媒质”是讨论的重点。当然，根据实际需要，有时除重点关心传输媒质外，还应考虑到其它组成部分的有关特性。

此外，根据信道干扰的统计特性，可将信道划分为恒参信道与变参信道；有记忆信道与无记忆信道等等，这里就不一一讨论了。

§ 1-5 频划分遥测原理

在实际的遥测系统中，由于被测参数往往很多，少的几个，多的几十个甚至上百个，而每一个被传送信号的带宽远远小于信道本身的带宽，如果每一被测信号都用一部发射机和一部接收机，即用一个单独信道来传送，显然是极端浪费的。所以实际中均采用多路复用技术。首先将来自若干信息源的消息进行合并，然后将此合成的信息群在同一信道上进行传输，并在接收端设置多路信号分离设备，对所接收的合成信号进行分离，从而可以大大减少通信设备，提高信道的利用率。

实现多路复用的常见形式有两种：即频率划分法——频分复用(FDM)和时间划分法——时分复用(TDM)。本节首先介绍频分复用原理。

一、频划分遥测系统的组成与频谱结构

所谓频分复用就是采用频率搬移技术，使各路被测信号在频率位置上彼此分开，而同时在一个信道内传送。因此，频分复用信号在频域里是彼此分离的，但在时域里是重迭的。在接收端再用带通滤波器把各路信号分离开来。

按照频划分法实现多路传输的遥测系统，称为频分制遥测系统，下面以AM-AM系统为例来说明频划分多路传输的基本原理。其原理特性方框图如图1-4所示。

设被测物理量有 n 个，它们可能是扭矩、应力、振动、加速度等。这些物理量通过输入

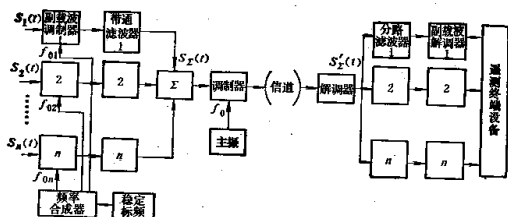


图1-4 频分多路遥测系统方框图

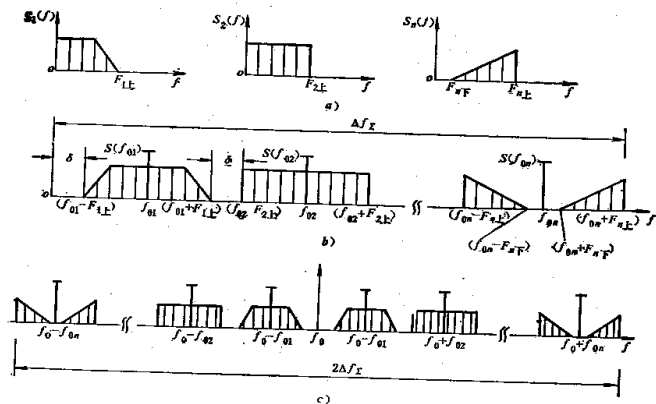


图1-5 频分复用信号的频谱结构

设备变换成电信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 、 \dots 、 $S_n(t)$ ，如前所述，这些被测信号的上限频率 F_n 是不同的，它取决于被测物理量的变化速度，对于温度、静压力等缓变参量， F_n 只有几赫到几十赫；而对于振动等快变化参量， F_n 可达几千赫。为简单起见，设代表被测物理量电信号的频谱如图 1-5 a 所示。

由图可见，这些原始信号的频谱是互相重叠的，无法同时传送。为使接收端能按频率区分信号，必须使它们在频率轴上彼此分开，这就需要采用频率搬移技术，对它们进行频率搬移，使之互不重叠。

实现频谱搬移的方法，一般是采用不同的副载频 f_{01} 、 f_{02} 、 \dots 、 f_{0n} （由副载波振荡器产生），各路信号在副载波调制器里分别对不同的副载波进行调制，形成频谱互不重叠的已调信号，如图 1-5 b 所示。为避免发生信号之间的相互串扰，各副载波的频率必须严格控制，通常所有的副载频都由一个主振荡器——频率合成器产生，并使各路已调信号再经带通滤波器进一步限定频率，然后经相加器相加后便形成多路已调信号 $S_z(t)$ 。为使信号能在信道内有效地

传输, 多路信号 $S_2(t)$ 还需经信道调制器对主载频进行二次调制, 以形成高频已调振荡, 经适当放大后, 便可送入信道进行传输。

接收端收到该综合信号后进行反变换, 经放大解调后恢复出多路信号 $S_2(t)$, 然后加到并联的分路滤波器上, 分别滤出各路已调副载波信号, 再经副载波解调器进行解调, 便恢复出各路遥测信号, 最后将各路被测信号送往终端设备进行记录、显示或数据处理。

通过上述分析可知, 频分多路遥测系统是一个复合调制系统, 至少需要进行两次调制。第一次调制为输入信号对副载波进行调制, 以使不同信号彼此没有串扰地同时传送; 第二次调制为多路信号对主载频进行调制, 以使信号有效地在信道内传送。如前所述, 在频分制中, 两次调制一般均为连续波调制, 包括 AM、FM、PM 及 SSBM (单边带调制) 四种型式。如果将副载波与载波调制进行不同的组合, 则可得出各种形式的遥测系统。在无线电遥测系统中应用最广的频分系统是调频—调频 (FM-FM) 遥测系统, 它适于测速变信号, 体积可以做得很小, 由于它具有线性度好、抗干扰性强、消耗功率小、结构简单等许多优点。在一些正规的模拟系统中大都采用这种方式。如广泛应用于常规炮弹、空—空导弹遥测、测加速度、测冲击过载等; 它也适于用来测量高速旋转部件, 如航空发动机叶片的应力、汽轮机转子、坦克、汽车、拖拉机转动轴的应力, 扭矩、温度等。

对于振动等快变化参量也可采用 SSBM-FM 型式。

二、频划分多路信号的频谱宽度

1. AM-AM 多路信号的频谱宽度 在一般情况下, AM-AM 遥测系统中第 i 路信号的频谱宽度为

$$2 \Delta f_i = 2 F_{i.m} \quad (1-5)$$

式中 $F_{i.m}$ ——第 i 路被测参量的上限截止频率。

由于相加设备是由一些线性元件所组成的, 因此各路已调波信号在其中相加不会产生新的频谱。故多路信号的频谱等于各路信号的频谱之和, 即

$$S_2(f) = \sum_{i=1}^n S_i(f) \quad (1-6)$$

式中 $S_i(f)$ ——第 i 路信号的频谱。

为了防止邻路信号间的相互串扰, 还应设置一定的防护间隔 (又称防护频带), 一般各路间的防护间隔均相等, 则多路信号的频带宽度 B_n 为

$$B_n = \sum_{i=1}^n 2 \Delta f_i + (n-1) \delta_p = 2 \Delta f_n \quad (1-7)$$

式中 δ_p ——相邻二路间的防护间隔。

实际上计算多路信号调制载波以后的高频信号的频带宽度, 只要知道多路信号的上限频率 $f_{n.m}$ 就够了。

$$f_{n.m} = f_{n.c} + \frac{1}{2} (2 \Delta f_n) = f_{n.c} + \Delta f_n \quad (1-8)$$

式中 Δf_n —— n 路中最高信号的频谱宽度。

所以多路射频信号的频谱宽度为

$$B = 2 (f_{n.c} + \Delta f_n) \quad (1-9)$$

多路信号 $S_2(t)$ 对载波进行调制时，可以把整个多路信号看成是一个具有上限频率 f_{2m} 的新信号。

2. FM-FM 多路信号的频谱宽度 在 FM-FM 体制中，因调频信号的频谱十分复杂，故其图形从略，读者如有兴趣或需要可参阅有关高频电路书籍。

在一般情况下，第 i 路 FM 副载波信号的频谱宽度，可近似地由下式确定

$$\Delta f_{ir} = 2 \eta_r F_{im} \quad (1-10)$$

式中 η_r ——调频时的带宽系数，在调制指数 $m_f \geq 5$ 的情况下，可取

$$\eta_r = 2(m_f + 1) \quad (1-11)$$

F_{im} ——第 i 路被测参量的上限截止频率。

在 m_f 相等的情况下， n 路副载波相加后的合成信号其频带宽度为

$$\Delta f_{sr} = \sum_{i=1}^n 2 \Delta f_{ir} + (n-1) \delta_r \quad (1-12)$$

如果射频信号的调频指数 m_f 也满足 $m_f \geq 5$ 的条件，其 η_r 也可由式(1-11)决定，则射频信号的频带宽度 B 为

$$B = 2 \eta_r \Delta f_{sr} \quad (1-13)$$

须指出，上述公式适合于忽略小于未调载波振幅 10% 的所有高次边频的情况，因此是近似的，在理论上讲，调频信号的频宽是无穷的。为防止相互串扰，在每路副载波调制器后面，必须设置信号谐波抑制器，以抑制大于公式(1-10)所决定的频率范围之外的谐波分量。

频分复用系统适用于测量参数变化较快，频率响应较高，上限频率参差不齐，遥测参数数量不多和测量精度要求不太高的场合。

这种系统的缺点是设备比较复杂，易于产生路间干扰。原因之一是分路用的带通滤波器不可能是理想矩形，而最主要的原因是信道内存在着非线性。例如，多路复用信号通过公用的放大器时，由于非线性失真会引起各路信号交叉重迭，造成路间干扰。因此，为提高传输质量，必须对信道的非线性提出严格的要求，这将带来一定的技术上的困难。因此，在一些非线性难以克服，并成为主要障碍的信道内，不如采用时分复用系统比较合适。

§ 1-6 时划分遥测原理

一、理论基础

所谓时分复用就是按时间划分信道之意。即指多路信号在时间位置上彼此分开，而它们所占用的频带是公共的，它是实现多路传输的另一种基本方法——时间分割法。

前已指出，遥测信号一般都是直接模拟被测物理量（诸如应力、扭矩、振动、位移、温度、流量…等）的变化，是连续的时间函数。因此，为了实现时分复用，首先就需要将连续信号离散化，也就是对连续信号按一定的时间间隔进行采样，这是以采样定理为基础的。根据采样定理可知，一个频谱有限的信号（即没有超过某一频率 F_m 的频谱分量），由相隔 $T_s = 1/2F_m$ 的采样值唯一地确定。换句话说，只要满足采样频率 f_s 等于或大于信息最高频率的二倍（即 $f_s \geq 2F_m$ ），就能从离散的瞬时采样值中重新恢复出原来的时间连续信号。