

邮 电 中 等 专 业 学 校 试 用 教 材

微波通信测量与仪表

廖世铭 徐洪勋 编
王英旋 张济楫

人 民 邮 电 出 版 社



邮电中等专业学校试用教材

微波通信测量与仪表

廖世铭 徐洪勋 王英旋 张济楫 编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书较详细地叙述了微波通信系统的基本参量——电平、驻波比、频率、功率、杂音、频偏等的测量原理和方法，同时还叙述了微波中频通道的指标——微分增益、微分相位、群时延、中频回波损耗、限幅系数、调幅度等的测量原理和方法，对电话、电视通道、天线、馈线系统、数字微波通信中产生的量化噪声、误码率等的测量原理和方法也作了介绍，对其中的相关仪表作了简要介绍。

本书是邮电中等专业学校微波专业的试用教材，也可供从事微波专业的技术人员参考。

邮电中等专业学校试用教材 微波通信测量与仪表

廖世铭 徐洪勋 编
王英旋 张济楫

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
天津新华印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：787×1092 1/16 1985年6月第一版
印张：19 12/16 页数：158 1985年6月天津第一次印刷
字数：496千字 插页：1 印数：1—4,500册
统一书号：15045·总3039-教704
定价：3.65元

前 言

本书是邮电中等专业学校教学用书。为适应邮电教育事业发展的需要，1978年以来，我们组织了部分邮电学校分工编写了微波、载波、市内电话、线路、电报、电源、综合电信和邮政机械等八个专业所用的专业基础课和专业课教学用书，有些已经出版，有些将陆续出版，以满足各邮电中等专业学校教学的需要。

编写教材，是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时，力求以马列主义、毛泽东思想为指导，努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律，内容上注意了少而精，尽量反映科学技术的新成就。书内难免存在缺点和错误。希望有关教师 and 同学在使用过程中，把发现的问题提给我们以便修改提高。

邮电部教育局
一九八〇年七月

PAC 71/06

编 者 的 话

本书作为邮电中专微波通信专业的试用教材。它是根据邮电部中专教材编审组修订的“微波通信测量与仪表”教学大纲编写的。全书包括绪论和1-11章。第1-2章是微波通信测量的基础知识，主要的概述了电压、电平、波形的测量原理与方法；第3-5章是在微波频率范围内的基本测量。即微波的频率测量、功率测量和驻波比测量。第6-7章和第9章是在中频范围内的一些基本信道质量指标的测量。即噪声测量、频偏测量和中频系统的指标测量；第8章是扫频测量技术在微波通信测量中的应用；第十章是信道测量，第11章是数字微波通信测量与仪表。微波通信用的专用测试仪表，均穿插在有关章节内，并简单地叙述这些仪表的基本原理和操作。

本书在编写过程中，得到了邮电506厂、515厂、广西微波总站和贵州省微波总站等单位的热情帮助。谨表谢意。

本书第1、2、4、5、7、8、9、10章是廖世铭编写的；第3、6章是徐洪勋编写的；第10章中第6节是张济楫编写的；第11章是王英旋编写的。全书由张济楫统编和审阅。

由于编写的水平和实践经验有限，编写中的缺点和错误是难免的，望读者批评指正。

作者1984.5

目 录

绪论	1
第一章 电压与电平的测量	4
第一节 概述	4
第二节 电压的测量原理	8
第三节 DA-1型超高频毫伏表	16
第四节 电平测量原理和方法	22
第五节 18.6兆赫锁定式电平振荡器与选频表	31
第二章 波形测量	42
第一节 波形测量原理	42
第二节 SBM-10型示波器	50
第三章 频率测量	72
第一节 频率测量原理和方法	72
第二节 E312型电子计数式频率计	81
第三节 PW-10型外差式频率计	100
第四章 微波功率测量	108
第一节 功率测量的基本原理	108
第二节 功率测量的量程扩展及误差分析	113
第三节 GX2A微瓦功率计	114
第五章 驻波比测量	120
第一节 驻波比测量的基本原理	120
第二节 波导型测量线	122
第三节 驻波测量系统的连接与调整	125
第四节 驻波比的测量	127
第五节 驻波比测量的误差分析及测量线的检查和定标	134
第六章 噪声测量	138
第一节 噪声系数的测量原理和方法	138
第二节 QF-701型噪声发生器	144
第三节 串噪声测量原理和方法	148
第四节 QX306型串杂音测试仪	157
第七章 频偏测量	176
第一节 频偏测量原理	176
第二节 频偏的测量方法	183
第三节 BE-1型调制度测量仪	186
第八章 扫频测量技术在微波通信测量中的应用	194
第一节 扫频测量技术的基本原理	194

第二节	调制器微分线性测量原理	196
第三节	解调器微分线性的测量原理	200
第四节	群时延特性测量原理	203
第五节	微分增益测量原理	207
第六节	微分相位的测量原理	213
第七节	频偏及调制、解调灵敏度测量原理	214
第八节	微波系统分析仪主要电路工作原理	217
第九节	ME525微波系统分析仪简介	222
第九章	中频系统部分指标的测量	229
第一节	中频回波损耗的测量	229
第二节	限幅系数的测量	233
第三节	自动增益控制范围测量	237
第十章	通道测量	239
第一节	通道测量的基本概念	239
第二节	电话通道测量	241
第三节	视频通道测量	244
第四节	插入测试行及其应用	255
第五节	伴音通道测量	258
第六节	天馈线系统的测量	260
第十一章	数字微波通信测量与仪表	268
第一节	概述	268
第二节	PCM终端设备的测量	269
第三节	PCM中继传输系统的测量	273
第四节	WM-3型误码率测试仪	279
第五节	HA-I型极性误码检测器	301
第六节	BM-I型再生中继障碍定位测试器	304

绪 论

一、测量的意义

测量是人们借助于专门的设备,通过实验的方法,对客观事物取得数量观念的认识过程。

测量是人们认识和改造自然界的重要手段。人类对于天体的认识,时间的计算,化学成分的分析,物理单位的制定和统一,直到山川的丈量……都需要进行各种各样的测量。

现代工业中,从零件的加工到机器的装配、调整更离不开测量。没有统一和精确测量,便无法保证产品质量。

通过测量,人们对客观事物获得了数量上的认识,做到了“胸中有数”。从对客观事物所做的大量观测结果中,总结出一般的规律,建立起各种定理和定律,测量可以说是用来打开自然科学中“未知”宝库的一把钥匙。

具体到微波中继通信电路中,通过测量可以知道设备及组成这些设备的元器件是否达到指标要求,是否达到最佳的运转状态。

设备在使用过程中,部分元件会发生老化、变质,使通信质量指标下降。通过测量及科学分析,确定并更换这些元件,避免更严重的通信事故发生。

现代微波通信设备是比较复杂的,常常由几个大的部位(机盘或机架)构成,总的元器件可达数千乃至数万。一旦发生故障,要从众多的元器件当中寻找一个损坏了的元件,不是很容易的,我们可以通过多次不同指标的测量,确定故障的大致部位,然后再寻找出损坏的元器件,这是一种较常用的办法。

总之,通过测量,可以知道设备是否符合要求,是否处于良好的运转状态;通过测量及维修,可以使设备达到规定指标,保证通信质量良好;通过测量,可以消灭通信故障于萌芽状态之中;通过测量,可以缩小追踪故障的范围等等。离开了测量,通信设备的生产与维护将无法进行。

二、微波通信测量的特点

微波通信测量相对于其它电信测量有如下特点。

1. 测量的频率范围宽

一般电信测量的频率下限都包括直流和低频,对于大通路载波通信而言,其频率上限可达几十兆赫,而微波通信则达到数十千兆赫。在这样宽的频率范围内进行测量,往往要用几种工作于不同频段的仪表来衔接。目前微波通信测量的频段,大致是这样划分的:低频段包括音频及直流部分。视频段包括视频信号、伴音信号、多路通信中的群频信号等,范围较宽,大致从零赫到十数兆赫之间。中频段大致在50—150MHz范围内。高频段在微波通信测量中指的是微波波段300MHz~300GHz。

由于频率范围宽,使用的仪表种类必然多,测量结果也容易受环境的影响,造成误差。

2. 量程广、准确度高

如发信机输出功率为几瓦,经过空间衰减到达对方收信机时,只有数百微微瓦,前后相差 10^{10} 倍。对于高频电压测量,其下限值是几十微伏,上限为几伏,量程约为6个数量级。对电平测量范围可达130dB。又如频率稳定度这一指标,一般微波收发信机中振荡源的频率稳定度约为 10^{-8} ,用于测量这一指标的频率计,其稳定度至少要高一个数量级。目前用于微波电路上仪表的准确度,大致从 10^{-2} — 10^{-9} 量级不等,个别指标如频率,其准确度可达 10^{-7} 量级。

三、微波测量的主要内容

微波测量是微波技术的基础,同时也是微波技术的重要组成部份。在微波多路中继通信、卫星通信和雷达等都要应用微波测量技术。

微波应用的发展,不可避免地和微波测量技术的发展互相促进。设备的设计和效率如何,都要通过测量才能有更精确的了解,有了精确的了解才能判断设计是否合理。微波元件与通常无线电元件是大不相同的,在微波元件中我们的注意力必须集中在由导体所包围或部分包围的空间内的电磁场上,电流和电位差之间不再是单值关系,单值关系的存在是极其偶然的,因此就难以用电流和电位差的关系来判断微波元件的特性了。在另一方面,金属导体所包围或部分包围的空间内的场型的变化,是与微波的波长和被包围的空间的几何尺寸存在着一定的关系,因此场型的变化是一种综合性反应。通过驻波比测量是可以了解场型的变化,也就可以知道微波在这个特定的空间内的性质和这个特性空间的性质。驻波比测量是基本的微波测量之一。

微波测量的基本内容大致可以分为两方面,其一是对微波信号特性的测量,其二是对微波网络特性的测量,微波信号特性的测量又作为微波网络测量的基础。

1. 微波信号特性的测量包括微波信号源、信号频率与波长、信号电平与功率、信号波形及频谱等。

2. 微波网络特性的测量包括反射参量的测量、传输参量的测量、双口网络的全部S参量的测量。

四、微波通信测量的主要内容

为了确定微波中继通信设备及线路的质量,一般要进行以下一些项目的测量。

1. 元器件的测量 包括电阻、电容、电感、晶体管、电子管及特殊器件等等的测量。

2. 单机指标的测量 微波通信中单机类型较多,如高频架、倒换架、公务架、电视架和电话架等,对这些单机各项指标的测量有共同点也有不同点,一般常见的测试项目有:电压、电平、频率及其频率稳定度、输出功率、驻波比或回波损耗、噪声系数、串杂音、频偏、限幅系数、增益、幅频特性、时延特性、微分增益、微分相位、微分线性等。

3. 中继线路指标的测量 这里指的是一个或数个调制段之间进行的通道测量。通道测量包括电话、电视和伴音通道三部分。电话通道测试的项目有:校核测试点电平、通道振幅频

率特性、通道串热杂音、通道干扰、70MHz中心频率、收发防卫度等。电视通道测试的项目有、校核测试点电平、线性失真、非线性失真、信噪比等。目前还应用插入测试行对电视通道进行不停机监测。伴音通道经常测试的项目有：校核测试点电平、通道信噪比、频率特性、非线性失真等。

由此可以看出，微波中继通信待测的指标及测试方法很多，本书不可能对各项指标的测量及方法都一一论述，只能选择其中最基本、最有代表性的项目作比较详细的分析，这几项指标是：电压、电平、波形、频率、功率、驻波比、回波损耗、增益、限幅系数、串噪音、频偏。掌握了上述几项基本指标的测量原理，测量方法，就为其它指标的测量打下基础。本书重点在基本的测量原理和测量方法。对于仪表部分也以介绍其基本组成原理和使用方法为主，对某些特殊电路的原理作了介绍。至于各种仪表的电路可参看有关说明书，本书不作具体介绍。

测量结果及误差的分析，应予足够的重视。对各项指标的误差分析，在各章末作了介绍。

第一章 电压与电平测量

电压与电平是电信工作者需要经常测量的两个主要电参量。由于电信号本身的种类繁多,因此电压测量方法和测量仪表也是多种多样的。本章只介绍通信中常用的电压测量方法及模拟指针式电子电压表的结构和工作原理。数字式电压表与指针式电压表相比较有许多优点,它便于实现测量的自动化和程序控制。但在目前,由于数字电压表尚未普遍采用,因此不作介绍。

本章还将介绍电平及选频电平的测量原理和方法,并对微波通信中常用的18.6MHz电平振荡器与选频电平表加以分析。

第一节 概 述

电压、电流和功率是表征电信号能量大小的三个基本参量。在集中参数电路里,测量的主要参量是电压。许多电现象及电子设备中的各种控制信号或其它信息,也主要表现为电压的量。因此,电压测量是其它许多电参量测量的基础。很多仪表,如功率计,调制度测量仪、测量放大器等,都是用电压表作为它们的指示装置。

一、微波通信中电压与电平测量的特点

1.被测电压的频率

在微波通信中,待测电压的频率可达数十千兆赫,由于高于1GHz的高频电压表尚未普遍使用,目前微波通信中,对于1GHz以上的信号只测功率,1GHz以下的信号测电压。由于被测电压频率高,一般的电工仪表不满足电压的高精度测量,而必须应用电子测量技术,即应用放大、整流、斩波、数字变换等技术,进行模拟或数字化测量。

2.被测电压数值范围宽、波形复杂

被测电压小到微伏级,大到几十伏,而被测的直流电压可高达一万多伏,数值范围相差很大。

被测电压的波形也很复杂,常见的有:正弦波、三角波、方波、脉冲波、调幅波、调频波、白噪声等。其波形如图1-1所示。

一个交流电压的大小,可以用峰值、平均值、有效值以及波形因数、波峰因数等来表征。交流电压的峰值(U_p)如图1-2所示。

一般交流电压 $u(t)$ 都包含了直流分量,正峰值 U_{p+} 与负峰值 U_{p-} 不一定相等,当直流分量 U_0 较大时,还可能出现谷值 U_{p0} 。

当不存在直流分量时(如正弦波),常用振幅值 U_m 来表示峰值。正弦波峰值 U_p 与有效值 U 及平均值 $\bar{U}$ 的比例关系为 $1:0.707:0.637$,波形不同时比例关系要发生变化,图1-1列出了几种常见波形 U_p 、 U 、 $\bar{U}$ 之间的比例关系,在测量时作换算用。波形因数、波峰因数的定义式在图1-1的(a)中也给出了。

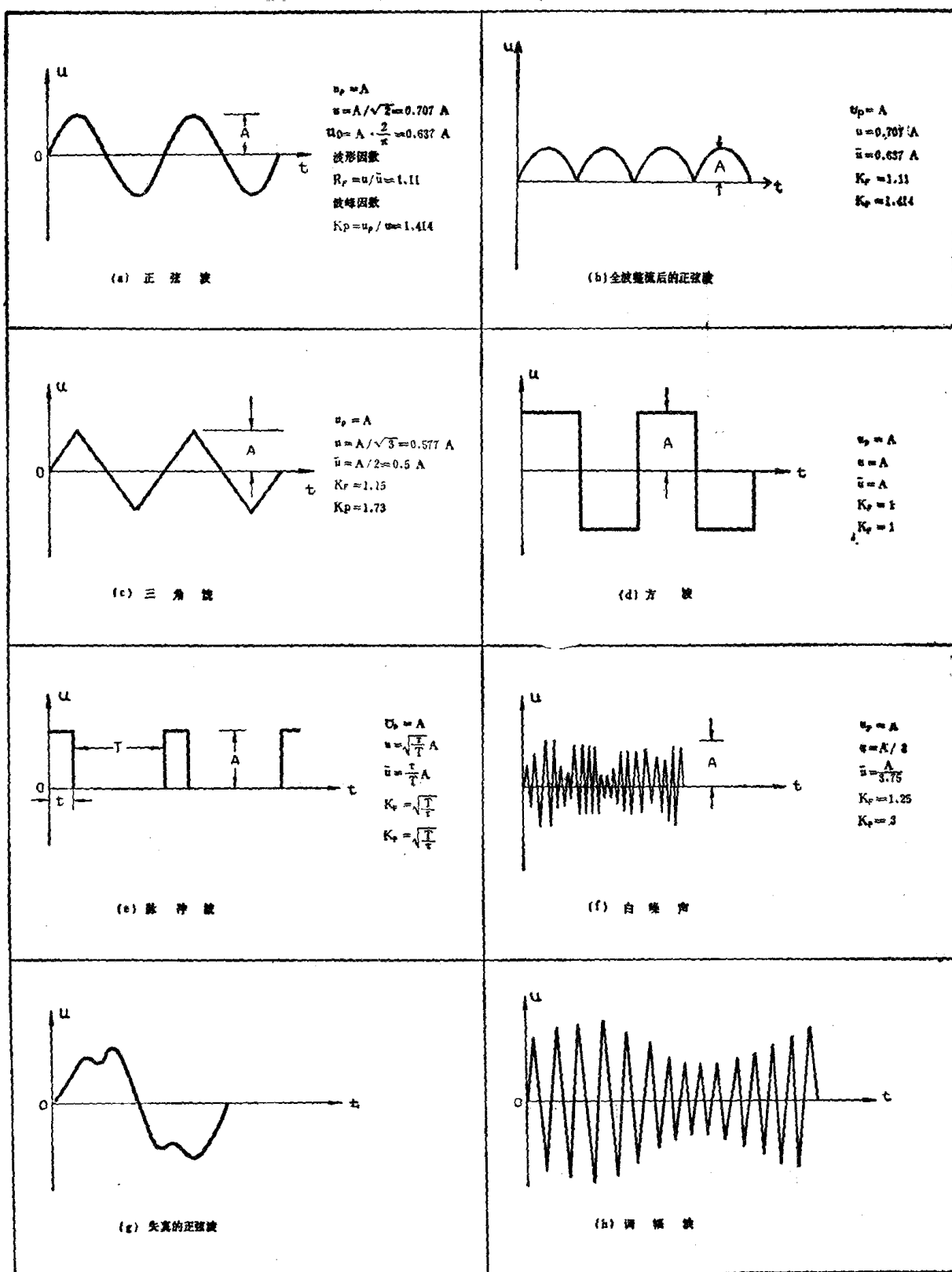


图 1-1 几种常见的波形及其参数

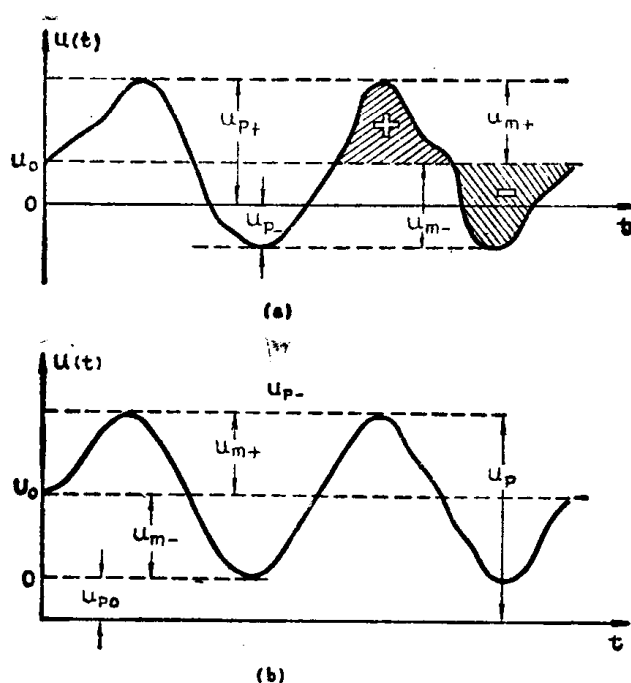


图 1-2 交流电压的峰值

3. 测量仪表种类繁多、质量要求也高

例如：有的电压表灵敏度高（ μV 级），但工作频率不高；有的工作频率高，但只能测 1V 左右的电压；有的能测正弦电压，但不能测脉冲电压……。对电平测量而言，除了有宽频带电平表之外，还有选频电平表，而选频电平表根据频率范围又有许多不同的型号。因此，一个维护单位为了完成电压测量的任务，常常要配备多种型号、多种用途的电压表及电平表。

对一部电压表的基本要求是：电压范围应足够宽，频率特性符合要求，输入阻抗足够大，测量精度足够高等。但在频率较高、电压很低的情况下对电压表的要求往往更严格，比如 1pF 的分布电容应该说是很小了，但在被测电压的频率为 100MHz 时其影响就不能忽略，又比如绝对误差在几十个 μV 左右时，对 mV 级的被测电压来说，其误差不是很大，若测 μV 级的电压时，电压表将产生粗差，测得的数据不可信。故工作在高频、低电压情况下的电压表，质量要求很高，在结构上与一般电压表有许多不同的地方。

二、电压与电平测量的关系

在通信测试中，通常不直接计算或测量电路某测试点的电压或功率，而是计算它们对某一基准值的比值的对数关系，即用“电平”这一个相对值来计量，因为人耳对声音刺激的变化来说，是符合对数关系的。采用电平的另一个好处是简化了计算，故通信设备中的电平图、波特图都是用电平做单位的。

1. 电平的类别及其换算

电平有电压电平与功率电平之分，具体到通信设备中又有绝对电平与相对电平之分，还

有诸如dB、dB_m、dB_r、dB_s等电平单位,对这些电平的概念及它们之间的关系,相关课程已有论述,这里只将它们的定义、定义式及相互之间的关系式列出,供测量时参考。

①电压电平

在任意阻抗上,以0.775伏(正弦有效值)为基准电压作为零电压电平,则任意点的电压 u_x 的电压电平可用下式计算:

$$P_v = 20 \lg \frac{u_x(v)}{0.775V} \text{ dB} \quad (1-1)$$

②功率电平

功率电平以1mw为基准功率作零功率电平,则任意点的功率 $P_x(mw)$ 的功率电平可用下式表示:

$$P_w = 10 \lg \frac{P_x(mw)}{1mw} \text{ dB} \quad (1-2)$$

按式(1-1)、(1-2)定义的电平,有时又分别称为绝对电压电平和绝对功率电平。

③功率电平与电压电平的换算

在600Ω阻抗上,电压电平与功率电平是相等的,在其它阻抗上两者不相等,其换算关系为:

$$P_w(dBm) = P_v(dB) + 10 \lg \frac{600}{Z_x} \quad (1-3)$$

式中 Z_x 为任意阻抗值。 $10 \lg \frac{600}{Z_x}$ 常称为修正项。

④dB与N之间的换算

现在国家已规定分贝(dB)为电平的计量单位,但在以往也经常用奈培作电平单位,它们之间的换算关系是:

$$1 \text{ 奈}(N) = 8.686 \text{ 分贝}(dB) \quad (1-4)$$

$$1 \text{ 分贝}(dB) = 0.115 \text{ 奈}(N) \quad (1-5)$$

⑤dB_m、dB_r、dB_{m0}之间的关系

$$dB_m = dB_{m0} + dB_r \quad (1-6)$$

知道了电平的定义后,电压与电平的关系也就清楚了。

2. 电平测量的特点

电平的测量实质上就是交流电压的测量,只是表头以dB或dB_m分度而已,即使是功率电平的测量,也是在已知阻抗上测量电压,在刻度上折算为功率电平而已。比如,0.775V的电压在表头上可刻为0dB,7.75V刻为20dB,0.0775V刻为-20dB,0V刻-∞等等。一部宽频带电平表在实质上其结构与电压表没有什么大的区别。尽管如此,电平测量与电压测量相比较,还是有它自己的特点,这些特点是:

①平衡测量

电压的测量通常属于不平衡测量。在电平测量中,经常遇到的是被测回路的两个端子对地是平衡的,测量这种对地平衡系统的任何两点的电位差或电平值,测量设备的输入端也要求是平衡的。所以电平表的输入端通常由变压器构成,如图1-3所示。

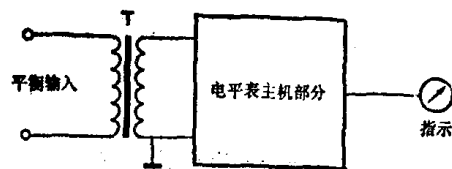


图 1-3 电平表的平衡输入装置

② 匹配测量

电压测量是把电压表跨接到被测电压两端，要求电压表输入阻抗愈高愈好称高阻测量。电平测量中也有高阻测量，见图1-4(a)，这种高阻测量常被称为跨接法。但在电平测量中，经常遇到的是匹配测量或称为低阻抗测量（亦称终端法），见图1-4(b)，此时电平表的输入

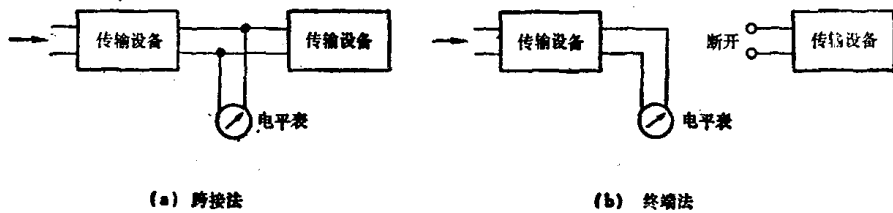


图 1-4 测试传输电平的两种方法

阻抗作为传输设备的负载，电平表的输入阻抗和传输设备的输出阻抗相匹配。为了适应各种传输设备或电信网络的要求，电平表的输入端通常备有几种低阻抗端子，供匹配测量选择使用，这些阻抗一般为 600Ω 、 150Ω 、 75Ω 等。

第二节 电压的测量原理

电压的测量手段是多种多样的，这里只讲述模拟指针式电压表的主要种类、测量电压的原理和误差分析。

一、电压测量的基本原理

用模拟指针式电压表测电压，不管型号、用途如何，其测量原理基本上是一致的。这是因为，要使表头的指针偏转，如果使用动圈式电表，首先必须有检波器将交流变为直流，其次必须有放大器将微弱的电压加以放大才能推动表头。因此任何一部电压表都包含有下列几个基本部分：表头、检波器、放大器、量程分压器等。根据检波器与放大器的先后顺序及放大器的类型不同，电子电压表可分为放大——检波式电压表、检波——放大式电压表及斩波型电子电压表。

1. 放大——检波式电子电压表

放大——检波式电子电压表方框图如图1-5所示。

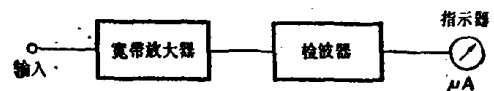


图 1-5 放大——检波式

被测信号电压经宽频带放大器放大后，由检波器转换成直流电压，直流电压大小与被测交流电压的幅度成比例，最后用直流微安表头指示被测电压值。这种类型的电压表，由于宽频带放大器的增益可以做得较高，所以灵敏度也较高，可做到毫伏级。防碍灵敏度进一步提高的主要因素是第一级放大器的噪声。由于宽频带放大器的频率特性限制，可测电压的频率范围不宽，其上限频率一般在 10MHz 左右。DA-12型晶体管视频毫伏表属放大——检波型，其频率范围为 30Hz —— 10MHz ，最小电压量程为 $0-1\text{mV}$ 。

2. 检波——放大式电子电压表

检波——放大式电子电压表原理方框图如图1-6所示。被测交流电信号先检波变成直流电压，然后用直流放大器放大，再推动直流微安表头指示。由于直流放大器没有频率响应问

题, 整个电子电压表的频带宽度仅受检波器的限制, 所以频率范围很宽, 超高频电压表一般采用这种方案。但是, 由于受零点漂移的限制, 直流放大器的增益不能做到很高, 因此这种电压表的灵敏度较低。例如, DYC—5 型超高频电压表, 频率范围为 20Hz—300MHz, 最小量程仅为 0—1V。



图 1-6 检波—放大式

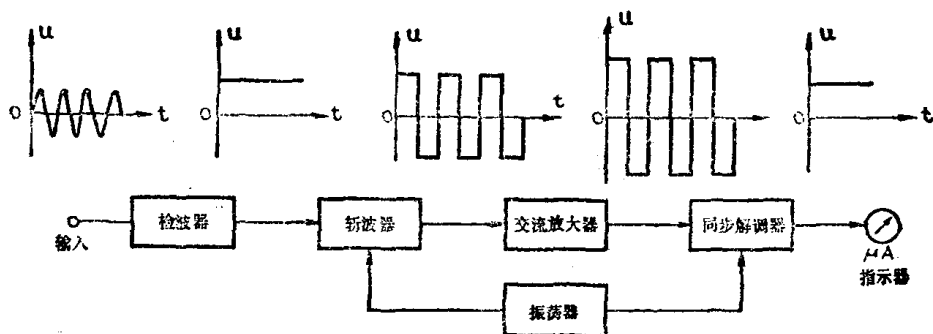


图 1-7 斩波型电子电压表

3. 斩波型电子电压表

上述两种电压表各有优缺点, 能否将二者的优点结合起来, 做成灵敏度高而频率范围又宽的电子电压表呢? 采用斩波技术的电子电压表可达到这一目的。斩波型电子电压表的方框图如图1-7所示。这种电压表仍然采用检波—放大式方案, 为了克服直流放大器的零点漂移, 这里不采用一般的直流放大器, 而是把检波器输出的直流电压用斩波的方法变换成方波信号, 方波信号的幅度与被测电压大小成正比。斩波器之后是交流放大器, 由于交流放大器不存在零点漂移问题, 增益可以做得很大, 电压表的灵敏度相应提高。同步解调器(亦称鉴相器)是斩波器的反变换, 恢复出被放大的直流电压, 最后推动微安表头指针。斩波型电子电压表的频率范围取决于检波器(探头)的带宽, 一般可以做到几百兆赫至一千兆赫。灵敏度主要受晶体管的内部噪声限制, 方波的重复频率一般为50Hz, 故放大器工作稳定不易自激, 放大量可以做得很大, 可测量微伏级的低电压。

综上所述, 无论是哪种类型的交流电压表都包括有检波器、放大器、表头指示这三个主要部分。为了方便测量, 还应有量程分压器、探头等部分。

二、检波器的工作状态和刻度特性

用交流电压表测量电压, 不外乎测量峰值(对正弦电压就是测振幅值)、平均值或有效值, 因此电子电压表常常根据检波器的类型, 又可分为平均值电压表, 峰值电压表和有效值电压表。

1. 平均值检波器

平均值 $\bar{U}$ 在数学上的定义式为

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (1-7)$$

对于纯粹的交流电（如正弦波）来说， $\bar{U} = 0$ 。在测量中，平均值一般是指经过检波后的平均值，即

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (1-8)$$

(1) 工作原理 半波平均值检波器电路如图1-8所示。二极管D工作于乙类状态，要

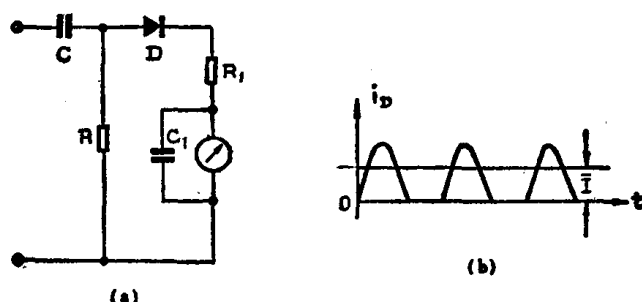


图 1-8 半波平均值检波器

求输入信号足够大，使之工作于二极管特性曲线的线性区域，平均直流分量 $\bar{I}$ 流过 μA 表头。图中 R_1 远大于D的正向内阻 r_D ，一方面起限流作用，另一方面改善二极管伏安特性的非线性，使从检波器输入端看进去的伏安特性要接近于直线。C为隔直电容，R是为了构成电流表的直流通路而接入的， C_1 是旁路交流分量的。

为了使D工作于乙类状态以构成平均值检波器，电路必须满足下述两个条件，即

$$RC \ll T_{min}$$

$$R_1 C_1 \ll T_{min}$$

在上式中 T_{min} 为输入交流电压信号最小周期。

为了提高检波效率，电子电压表常采用全波均值检波器。全波均值检波器一般由四个二极管组成，如图1-9 (a) 所示，但为了满足线性要求，通常由二个电阻代替其中的二个二极管，这样就构成了双管桥式整流电路如图1-9 (b) 所示。图中，交流电压正负半周分别用虚线与实线表示，电流流动方向也分别用实线和虚线箭头表示。不管是正半周，还是负半周，

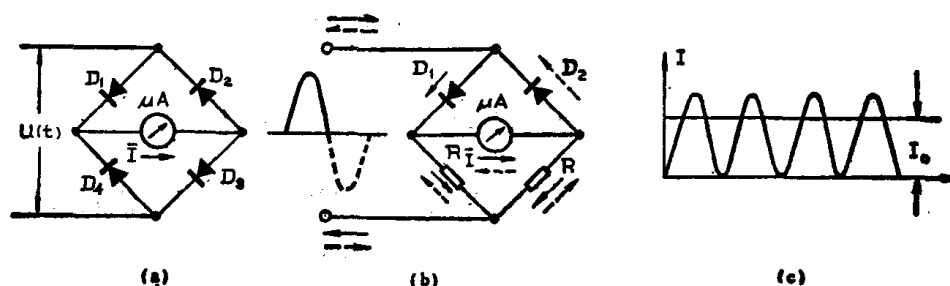


图 1-9 全波平均值检波器

流过 μA 表头的方向是一致的，这样就使平均的直流电流比单管增加了一倍。表头指针的惯性起了交流滤波作用，也可以在 μA 表两端并接旁路电容滤除交流。

(2) 刻度特性 在图1-9 (a) 电路中，设四个二极管的正向电阻均为 r_d ，电表内阻为 r_m ，在二极管反向电阻很大的情况下，流过电表的平均电流为