

172263

Tm93
4865

现代电信仪表原理与应用

梅杓春 王 勇 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代电信仪表原理与应用/梅杓春,王勇编著. —北京:人民邮电出版社,1998.5

ISBN 7-115-06766-X

I. 现… I. ①梅… ②王… III. 电子测量设备-数字式测量仪器-基本知识 IV. TM932

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04759 号

内 容 提 要

本书内容专门介绍目前在电信部门大量使用的现代数字化电信仪表的测量原理与应用技术。

本书共 12 章,内容包括:信号发生器、数字存储示波器、数字电压表和数字多用表、通用电子计数器及调制域测试仪器、数据域测试仪器、频域测试仪器、数字传输分析仪、PCM 基群分析仪、无线综合测试仪、光时域反射仪、光源、光功率计以及光万用表等。

本书叙述清楚,语言通畅、易读易懂,并且具有很强的实用性。

本书可供从事电信工作的技术人员、管理人员及大专院校相关专业的师生参考阅读。

现代电信仪表原理与应用

◆ 编 著 梅杓春 王 勇

责任编辑 王晓明

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街 14 号

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16

印张:35.5

字数:898 千字

1998 年 7 月第 1 版

印数:1—4 000 册

1998 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-06766-X/TN · 1267

定价:45.00 元

目 录

第一章 绪论	1
第一节 电子测量.....	1
第二节 通信测量.....	3
第三节 通信测量仪器.....	4
第二章 信号发生器	7
第一节 信号源的分类、组成和工作特性	7
第二节 合成信号发生器	14
第三节 扫频信号源	45
第四节 函数/任意波形发生器.....	53
第三章 数字存储示波器	67
第一节 数字存储示波器原理	67
第二节 数字存储示波器的应用	89
第四章 数字电压表和数字多用表	129
第一节 数字电压表中常用的 A/D 变换器	130
第二节 数字电压表工作特性.....	151
第三节 数字多用表(DMM)	162
第四节 微机在电压测量中的应用.....	176
第五节 使用方法.....	182
第五章 通用电子计数器及调制域测试仪器	191
第一节 频率和时间的测量.....	191
第二节 电子计数器的应用.....	218
第三节 调制域分析仪.....	225
第六章 数据域测试仪器	241
第一节 数据域测试原理.....	242
第二节 逻辑分析仪的工作原理.....	242
第三节 逻辑分析仪的应用.....	259
第七章 频域测试仪器	281
第一节 频域与时域的关系.....	281
第二节 线性系统频率特性的测量.....	282
第三节 信号的频谱分析.....	299
第八章 数字传输分析仪	345
第一节 数字传输分析仪.....	346

第二节	SDH 传输系统测量	370
第九章	PCM 基群分析仪	399
第一节	PCM 基群复用设备测试的基本概念	399
第二节	PCM 音频特性指标及测试	410
第三节	PCM 话路特性测试仪	420
第十章	无线综合测试仪	427
第一节	移动通信基本工作原理及分类	427
第二节	射频通信测量的主要技术指标和测量方法	446
第三节	无线综合测试仪	468
第四节	射频通信测量仪的应用	475
第五节	GSM 数字移动通信测量	488
第十一章	光时域反射仪(OTDR)	505
第一节	光纤的传输参数	505
第二节	光时域反射仪原理	507
第三节	HP8147 光时域反射仪的使用	519
第十二章	光源、光功率计和光万用表	535
第一节	光纤参数测量及仪器	535
第二节	稳定化光源	536
第三节	光功率计	545
第四节	光万用表	546

第一章 绪论

测量是人类认识和改革客观世界的一种重要手段。人们通过测量可以对客观世界的各种事物形成定性和定量的认识,总结出规律,再通过测量检验认识是否符合客观实际。测量水平已被公认为一个国家的科技水平和现代化水平的重要标志之一。测量为科技信息的可信赖性和一致性,产品的可靠性和相容性,工程质量以及工农业生产,交通运输、邮电通信、水利电力等国民经济重要命脉的正常运转提供了定量方面的基本保证。

第一节 电子测量

由于无线电电子学、微电子学及计算机技术的迅速发展和密切结合,电子测量已经成为测量学的极其重要的组成部分。电子测量是在低于光频的电磁频谱中(直到 0Hz)利用电子学手段对常见的电磁场进行的测量,它在科技领域、尖端技术和现代化生产等各个领域内发挥着重要作用。各种电子测量仪器已经成为很多部门工作所必须的最基础设备之一。作为电子测量的一个重要分支—通信测量的技术和仪器也随着现代通信技术的飞速发展而快速发展,目前全世界用于通信测量的仪器占电子仪器的 50%以上。通信测量技术和仪器的发展将直接影响到现代通信技术的发展及通信质量的提高。通信测量手段的现代化已成为通信技术现代化的重要条件和明显标志。

一、电子测量的内容

进行电子测量时,被测对象全部采用国际单位制中的导出单位来度量。从实用角度建立起来的一系列导出单位,既便于进行直接测量,也有利于使各种常见量值的测量能达到更高的精确度,同时还便于各种量值的统一。电子测量内容可以从下列不同的角度进行分类。

1. 按测量对象分类

- (1) 能量信号,如电流、电压、功率、电场强度、电磁干扰和噪声等参量。
- (2) 有关电信号特征的量,如信号的频率、相位、波形参数、脉冲参数、调制参数、频谱、相关系数、信噪比等。
- (3) 有关电路元件和材料的参数的量,如阻抗或导纳、电阻或电导、电抗或电纳,电感、电容、品质因素、介电常数、导磁率等。
- (4) 有关有源和无源网络性能特性的量,如传输参数(衰减或增益、相位移,群延时等)、反射参数(反射系数、电压驻波比)、灵敏度、分辨率、频带宽度及噪声系数等。

上述参量的分类并不严格,如频率既是电磁能量的属性,又是信号的重要特征。上述参量

中最基本的就是电压、频率、阻抗这三个量。其他参量都可以从基本参量中导出。

2. 按频率分类

这种方法以被测参数的频率来分类,一般以 30kHz 为分界线,分为低频和高频测量。如果再分细一点,还可进一步分为音频、视频、射频和微波测量。实际上它们的界线不甚分明,常有交叉重叠,在有些情况下每种频段还可以进一步细分。由于电子测量技术向宽频带发展,有很多仪器已能覆盖从直流一直到微波频段。

3. 按电路、信号与系统的理论分析方法分类

从电路、信号与系统的分析方法着眼,可以把电子测量分成时域、频域、数据域和调制域测量。

时域测量研究被测参量和时间之间的关系,它又可分为单频正弦波稳态测量、方波和阶跃波瞬态测量及冲击波随机振动动态测量。

频域测量研究被测参量和频率之间的关系。它又可分为经典的单频正弦波点测、正弦波扫频测量和白噪声广谱测量。

调制域测量研究频率、相位、时间间隔与时间的关系。利用调制域测量,可以测量机械系统以及数字通信系统中的抖动,以迅速识别出抖动源。还可用于对雷达系统、VCO 特性进行快速的测量和分析。

数据域测量研究过程与“字”和事件之间的关系。它包括数字系统的故障检查、故障定位,故障诊断以及数据流的检测和显示等。

二、电子测量的特点

电子测量由于测量对象繁杂,测量范围广,因此具有以下的一些特点:

1. 量程和频程范围宽

电子测量的范围有的很宽,例如功率测量范围小至 10^{-14}W ,大至 10^8W ,量程范围达 $1:10^{22}$ 。又如一台完善的频率计数器可测量 10^{-6} 到 10^{11}Hz 的频率,量程范围达 $1:10^{17}$ 。另一方面电子测量包括光频以下从 $3\times 10^{14}\text{Hz}$ 到直流的整个电磁频谱,即使同一参量,在不同频段的测量时,所用的方法和器具往往也有很大的差别。随着新技术的发展,电子测量仪器正在向宽量程、宽频程方向发展,如 $0\sim 18\text{GHz}$ 的宽频程衰减器。

2. 精确度要求不同

电子测量中由于具体测量对象以及测量的频程和量程的不同,其所能达到的精确度也可能有很大差别。如频率测量精度最高可达 10^{-14} 量级,而常规测量中的失真度及 Q 值的测量精度常常只能达到 10^{-2} 量级。

3. 影响量众多,影响特性复杂

测量系统外部干扰如电源电压波动、外界温度变化、电磁波、噪声等都会影响测量结果。此外测量系统本身的某个工作特性的变化也可能对另一工作特性发生作用,从而影响测量结果。所以在电子测量中必须严格控制测量环境及其条件,并根据不同测量要求采用正确的测量

和连接手段。

4. 自动化、智能化

计算机技术进入测量领域后大大提高了电子测量的智能化和自动化程度。测量仪器智能化能充分利用计算机的计算、存储功能实现间接测量的目的,从为数不多的直接测量结果中求得其他有关参数的量值,从而实现多功能测量。这就导致了許多传统测量方法的改变,并引起了电子测量中带有根本性的变革。如低、射频以下各种电路参数的测量已由经典的电桥法和谐振法改为电压电流法。另外智能化仪器具有很强的数据处理、自动校准、自动故障诊断的功能,还可进行程控操作。测量自动化不仅可以极大地提高测量速度,完成人工难以胜任的测量任务,而且也可以避免因漂移温升等不良影响引起的系统误差,易于进行大量重复的测量,通过统计分析削弱随机误差,因此能大大提高测量精度。

第二节 通信测量

一、通信测量概况

作为电子测量的一个极为重要的分支,通信测量在现代通信中起着重要的作用。通信网由终端、传输链路及交换设备组成。终端设备是输入/出传感器,它在发端将信息转换成电信号,并在收端把电信号转回到可用的形式,并产生和传送标志信息目的地的控制信号。终端设备是多种多样的,有电话终端、数据终端、图文终端等。传输链路的作用是在终端设备、交换设备之间传送信息及控制信号。交换设备用于接收控制信号,传递或连接信息信号。通信测量主要是对通信系统中的各种终端设备、交换设备、传输设备及传输链路进行测量。由于现代通信系统是借助于电信号(还包括了电磁波谱中的光信号)来完成信息传输的,其信息传输的频带从直流至低频、高频、微波乃至光波频段,所以通信测量就是电子测量的一部分。只是由于通信系统本身的特殊性,所以在测量要求和所用的测量仪器方面有别于通用的电子测量方法和仪器,成为电子测量的一个重要分支。通信系统测量涉及到以下内容:

- (1) 通信系统中有关功率、电压、场强、干扰、噪声电压等有关电磁能的量值。
- (2) 通信系统的特性及技术参数,如衰减、增益、相位移、群时延、频率响应、回波损耗、反射系数等表征传输特性的量。
- (3) 通信系统的质量指标,如信噪比、失真度、串杂音以及误码率和相位抖动等。
- (4) 通信设备的工作状态及接口参数,如信号的波形、频率、相位、频谱、调制度等参数。
- (5) 通信设备中电路及元器件的电气参数。

图 1-1 是通信系统基本组成示意图及测试内容。主要有光纤及光器件的测试,PDH/SDH 数字传输系统的测试,数字微波与卫星通信系统的测试,移动通信系统测试及数据通信测试。这些测试既包括了系统的测试,也包括了对设备和接口的测试。

二、通信系统测量的特点

与电子测量技术当前的发展趋势一样,通信测量也朝着宽频带、全量程、高精度、快速实时、智能化和自动化发展。当前新的通信方式和手段不断出现,整个通信系统和通信网向数字

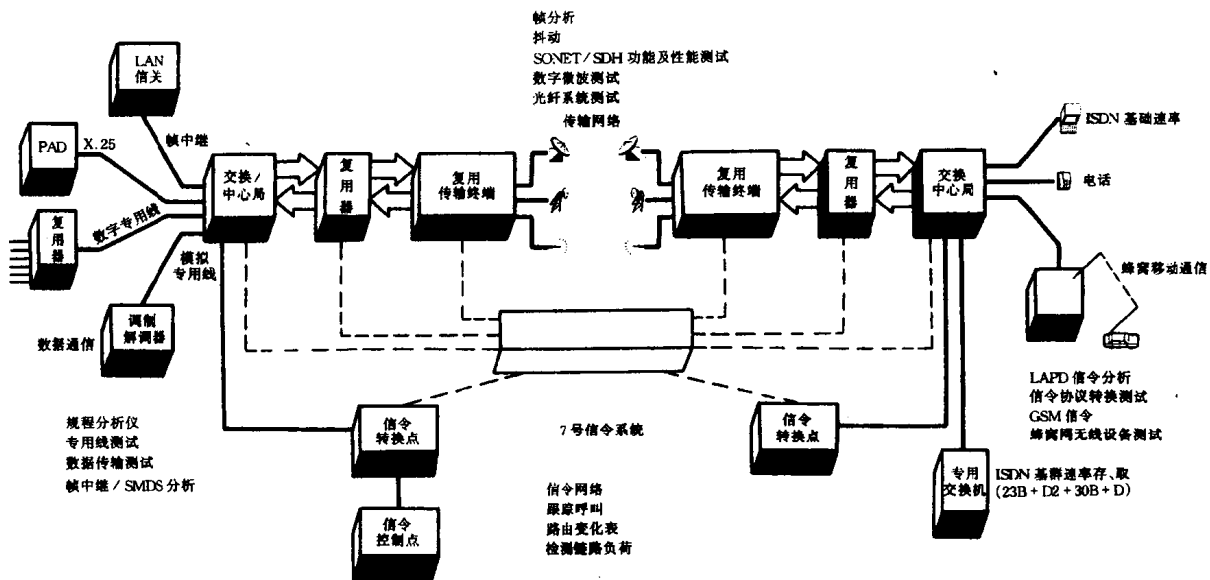


图 1-1 通信系统的基本组成及测试内容示意图

化、宽带化、智能化、综合化和个人化方向发展,这都给通信测量提出了新的要求,促使通信测量技术和手段的不断更新。所以除了具有电子测量的一些共有特点外,通信测量还具有以下几个特点:

(1) 频率范围宽,包括从直流至光波的全部信号,其需要测量的频率范围涵盖整个电磁频谱。

(2) 灵敏度高,动态范围宽,精确度高。在通信网中,信号经过长距离传输后,信号电平变得很低。如要求移动通信接收设备灵敏度达到 -120dBm (约 $0.25\mu\text{V}$)。而信号电平与噪声电平之间,要求相差 10^{-3} 以上,所以要有高精度、高灵敏、多量程、宽动态范围的测量技术。

(3) 按照有关标准和规范进行测量。为了保证通信的畅通,必须从全程全网的角度来考虑,要有统一的标准和规范。如在频谱安排、衰减分配、信号方式、接口电平、信噪比、误码、抖动、阻抗特性等方面都必须依统一规范来安排。通信测量就是保证这些标准和规范实施的重要措施。在通信设备的安装、开通、运行、检修过程中,技术人员要通过测量来保证设备在规定指标下正常运行。制造和使用通信测量仪器的工程技术人员都必须熟悉这些标准和规范。

(4) 测量速度快,有实时监测手段。通信网中很多通信设备以及电源系统都是不间断连续运行的。除了在安装、验收以及故障检修后要进行中断业务的测量外,日常维护的主要手段是在线监测。另外通信系统中信息传输速率不断提高,设备中广泛使用均衡、补偿等电路,所以通信测量要能实现快速、实时、自动的在线测量。

第三节 通信测量仪器

一、通信测量过程

通信测量中被测参量很多,大致可以分成两类,相应的有两种测量过程。第一类称为主动

参量,指表征电信号各种特性的量,即信号的电压、电流、功率、频率、相位、时间、周期、波形、频谱等。另一类为被动参量指表征通信系统中电路或系统特性的量,如特性阻抗、传输特性、噪声特性、频率特性、相位特性、群迟延、误码率等。主动参量可直接送到测量电路与作为标准的同类参量相比较,一般先要把被测量进行适当的变换(如数字化测量中都要用到的 A/D 或 D/A 变换, V/F、V/T 变换以及同类参量的幅度、频率和波形变换),再与已知的标准相比较,最后由显示电路显示经过定标的测量结果,其测量方法如图 1-2 所示。

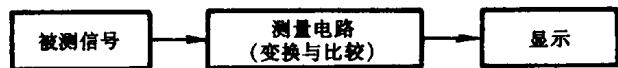


图 1-2 主动参量的测量过程

被动参量只有在适当的信号下才能表现其性质,如为了测量数字通信系统的误码率和抖动,必须在系统输入端加上模拟实际话音信号的伪随机测试信号,然后在系统输出端用误码检测设备检测出误码个数,然后用数码管或显示屏的方法显示出所需要的测量数据。做这样的测量时,一般是把合适的已知特性的电信号加到被测电路或系统,然后对输出信号进行测量,以得到被测系统的特性参量,这类参量的一般测量方法如图 1-3 所示。除了测量电路外,还需要测量信号源作为被测电路或系统的激励信号,测量电路也是起着变换与比较的作用。



图 1-3 电路或系统特性测量过程

在测量过程中需要有各种信号源,如正弦波、脉冲、噪声、伪随机信号发生器。还需要有信号特性测试仪,如电平表,误码检测器、数字信号分析仪等。在通信测量仪器的使用中,更多地是将信号发生器和信号分析仪结合在一起以完成专门的测量任务。

二、常用通信测量仪器

由于通信测量范围比较广,从音频测量、射频测量、微波测量一直到光信号的测量,测量任务各不相同,所以需要各种不同的测量仪器。从仪器的功能来看,可以分为通用和专用两大类。

1. 通用的通信测量仪器

通用的信号发生器、示波器、电压表、频谱分析仪等电子测量中所用的通用仪器都可以用于通信系统的测量。如数字通信系统中的接口信号和时钟信号需要用示波器和频率计进行测量,微波通信中需要微波信号发生器及频谱分析仪或调制度测量仪测量频偏,用扫频仪测量调制解调器的线性度、群迟延等特性。

2. 专用通信测量仪器

由于不同的通信系统工作原理不同,所以测量方法及所用仪器都有很大差别,如光纤数字通信系统和微波数字通信系统由于其传输媒质的不同,其传输终端设备及其中继设备工作方式也截然不同,所以前者要使用专用的光通信检测仪器,后者采用微波测量仪器。为特定的目的而设计的适用于特定测试对象的通信测量仪器能有效地提高测量效率。常用的专用通信测量仪器有光时域反射计、光功率计、光万用表、光谱分析仪一类的光通信测量仪器,数字传输分

析仪、数字传输损伤测试仪、SDH 测试仪一类的数字传输系统测量仪器,数字微波综合测试仪、噪声干扰测试仪、星座图分析仪等微波卫星通信系统测量仪器,移动通信综合测试仪、GSM 移动台和基站测试仪等移动通信系统测量仪表,还有规程分析仪、网络测试仪等数据通信测量仪表等等。本书从第二章开始对通信工程安装、开通,维护及故障检修中常用的通用和专用仪器进行详细介绍。

第二章 信号发生器

无论是模拟通信系统,还是数字通信系统,都必须用信号源来激励。测量系统参量时,激励信号的特性应该是事先知道的。能产生已知特性信号的仪器称为信号源。信号源往往模拟实际系统所产生或传输的信号。测量的对象、目的不同,要求信号源的特性也不同。例如,当要求对系统的稳态特性进行测试时,应具备频率、幅度已知的正弦波信号源;若要测试系统的瞬态特性时,则应具有前沿上升时间、脉冲宽度、幅度和重复周期等参量已知的脉冲信号源;为了检验数字系统的工作,应有数据或时序发生器等。

正弦和脉冲信号源,产生模拟信号,它主要用来测量模拟通信设备的特性。对这类测量信号源的基本要求是:

(1) 能输出指定的波形,即输出信号的波形参数是已知的。对于正弦信号源而言,波形参数是指:幅度、谐波含量、调幅系数、频偏、扫频范围等。对于脉冲信号源而言,是指其有前沿上升时间、后沿下降时间、脉冲宽度、以及平顶下降等指标。

(2) 输出信号的重复频率已知,能在一定的范围内调节。频率范围及其准确度、稳定度等指标,主要取决于测量的特征和要求。

(3) 输出信号的幅度已知,能在一定的范围内调节,调节可以是步进的,也可以是连续的,并且具有一定的稳定度。

(4) 输出阻抗已知。通常高频信号源输出阻抗为 50Ω ,低频信号源输出阻抗为 600Ω 。

数据或时序发生器,就其单通道的波形而言,仅有“0”、“1”或高、低两种电平,这类信号源主要强调的是多 bit(多通道)信号的组合及其速率。根据被测对象的不同特性,数据可以是规则的,或按指令要求产生的,也可以是随机的,或伪随机的。

本章根据组建测量系统的要求,主要介绍正弦信号源(包括纯正弦信号源及各类已调波信号源)和脉冲信号源。

第一节 信号源的分类、组成和工作特性

一、分类

由于信号源用途既普遍又广泛,因此,它的种类繁多,型号复杂,故有多种不同的分类方法。一般说来按其用途可分为通用和专用信号源两类。按照输出信号的波形可分为正弦信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器、噪声信号发生器等。其中比较常用的是前两种。正弦信号发生器又可按各种方法分类;按频段可分为超低频信号发生器($1 \times 10^{-3}\text{Hz} \sim 1\text{kHz}$)、低频信号发生器($1\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$)、视频信号发生器($20\text{Hz} \sim 10\text{MHz}$)、高频信号发生器($30\text{kHz} \sim$

30MHz)、甚高频信号发生器(30kHz~300MHz)和超高频信号发生器(>300MHz),波段在厘米或更短波长的信号发生器称微波信号发生器;按频率调节方式可分为普通信号发生器、扫频信号发生器和程控信号发生器;按产生频率的方法可分为谐振法、频率变换法和合成法;还可按性能优劣、调制类型等方法来分类。

正弦信号源在线性系统测试中应用十分广泛,例如,电子放大器增益的测量、相位差的测量、非线性失真的测量、以及系统频域特性的测量等等,都需要正弦信号源。具有频率稳定度很高的正弦信号源还可以作为标准频率源来与其它各种频率源进行比对。载波频率可调的已调波(包括调幅的或调频的、脉冲调制的)信号源,对于接收设备的调试、维修则是不可缺少的。

各类信号源虽然都能输出正弦波,但是由于频率不同,其结构原理是不同的。通常,低频和视频正弦信号源产生正弦信号,而高频和超高频信号源,除了有纯正弦波(载波)输出外,还有调制波形的输出,习惯上称为信号发生器。

二、组成

1. 波段式信号发生器组成

波段式信号发生器的组成方框图如图 2-1 所示。输出频率由主振级确定,低于视频频段的主振器一般采用 RC 振荡器,而高频段的主振器都采用 LC 振荡器。由于这两类振荡器的频率覆盖都不大,故都做成波段式的。高频信号发生器除输出等幅波外,还可输出调幅波(AM),而甚高频信号发生器还可输出调频波(FM)。

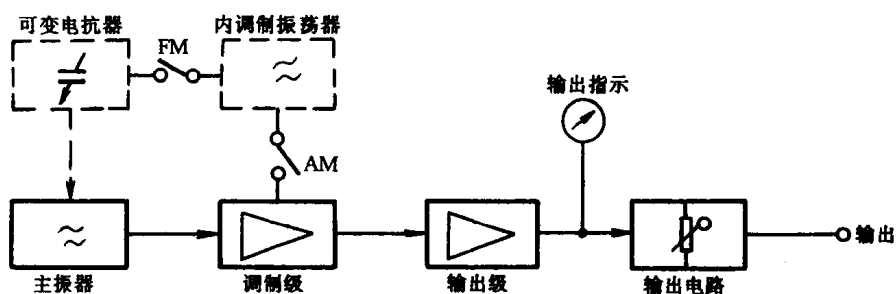


图 2-1 波段式信号发生器组成

由主振级输出的正弦信号经缓冲级(调制级)、输出级,并通过输出电路而输出。输出电路用来进行输出电压(电平)的选择和输出阻抗的变换。

2. 差频式信号发生器组成

差频式信号发生器的组成方框图如图 2-2 所示,主要包括:固定频率振荡器(f_2)、可变频率振荡器(f_1)、混频器以及低通滤波器。

设 f_1 能从 $f_{\min}$ 连续调到 $f_{\max}$,则混频器输出的差频信号频率的变化范围从 $F_{\min} = |f_{\min} - f_2|$ 变到 $F_{\max} = f_{\max} - f_2$ (其中 $f_{\max} > f_2 > f_{\min}$)。例如, $f_2 = 3.4\text{MHz}$,而 f_1 可从 3.3997MHz 变到 5.1MHz 。则可得输出频率为 $300\text{Hz} \sim 1.7\text{MHz}$ 。

可见,差频式的最大特点是输出频率覆盖范围宽。这样,输出频率的调谐无需划分成多个频段,就能够完成整个频率范围的覆盖。从上例来看,输出频率覆盖系数为:

$$k = \frac{F_{\max}}{F_{\min}} \approx 6 \times 10^3$$

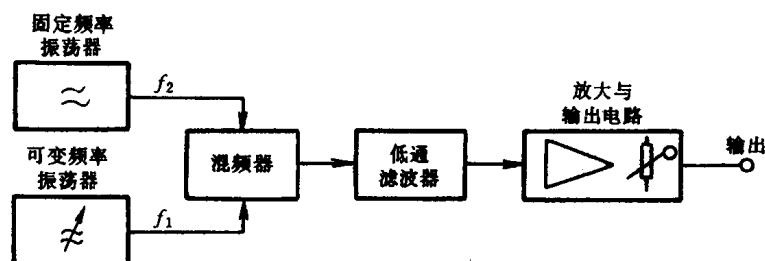


图 2-2 差频式信号发生器组成

而要求可变频率振荡器的频率覆盖为：

$$k' = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} \approx 1.5$$

显而易见，利用可变电容器调谐的 LC 振荡器都能够做到这个覆盖。

三、工作特性

对一个正弦信号源的基本要求可概括为：能够迅速而准确地把信号源的输出信号调到所需的频率上，并提供所需的信号电平（幅度）。因此，评价一个正弦信号源可归结为频率和电平两个主要参数。

1. 频率—频率特性

正弦信号源的一个重要工作特性就是频率特性，可用下列几项来表征频率特性：

(1) 频率范围

正弦信号源的频率范围是指各项指标都能得到保证时的输出频率范围，更确切地说，应称为“有效频率范围”。

(2) 频率准确度

频率准确度是指频率实际值 f 与仪表前面板上调定的频率（即标称频率） f_0 的相对偏差，其表达式为：

$$a = \frac{f_x - f_0}{f_0} = \frac{\Delta f}{f_0} \quad (2-1)$$

式中， $\Delta f = f_x - f_0$ ——频率绝对偏差。

(3) 频率稳定度

一个正弦信号源的频率准确度是由主振级振荡器的频率稳定度来保证的，所以频率稳定度是一个信号源的重要工作特性（指标）。一般，振荡器的频率稳定度（实际上是频率不稳定性）应比所要求的准确度高 1~2 个数量级。

一个频率连续可调的正弦信号源，其输出频率准确度还将受到频率读出装置所产生的刻度误差的限制，其中齿轮传动装置的位差是引起刻度误差的主要原因。

经过了一个很长的发展阶段，频率连续可调的正弦信号源的频率准确度，从三十年代只能达到 10^{-2} 量级开始，直到现在已可达到优于 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 量级，甚至更高的水平。但是，采用普通谐振法（例如 LC 振荡器）若要获得这样高的准确度，无论是在电路上或是在工艺上都是困难的。所以，一般由频率可变的 LC 或 RC 振荡器作为主振级的信号源，由于其频率稳定度只能做到 10^{-4} 量级左右，故输出频率准确度的提高将受到限制。

利用频率合成技术,即由一个基准频率(一般用高稳定的石英振荡器产生)通过基本代数运算(加、减、乘、除)产生一系列所需的频率,其稳定度可达到基准频率相同的量级。这样,可把信号源的频率稳定度提高2~3个量级。目前,在信号源中广泛采用锁相技术来完成频率合成。

为了保证精确地读出输出频率,必须装备有高质量的精密机械齿轮驱动装置和胶带频率刻度盘。而且,为了获得所需的准确度,每台信号发生器的胶带频率刻度盘必须个别地进行定标,这就导致仪器的机构复杂和价格昂贵。

近来,由于大规模集成技术的发展,制造出了体积小、重量轻、耗电小(仅几十毫瓦)的集成电路计数器,这就有可能用频率计数器替代机械驱动的频率刻度,使连续可调信号源的输出频率准确度达到一个新的水平。

频率稳定度和频率准确度有关系但并不相同。如果一个信号源具有良好的频率稳定度,但准确度不高,这就是说其频率可保持恒定,但有频率误差。这种信号源的频率准确度可用更为准确的仪表如计数器对它进行监视,通过适当调整来补偿。另一方面,频率稳定度不佳的信号源,不论用多少时间调整都不能达到良好的频率准确度。这种信号源只有瞬间停留在正确的频率,很快就会漂移。

2. 电平——输出特性

(1) 输出信号幅度的度量

目前,正弦信号源的输出信号幅度采用两种表示方式:其一,直接用正弦有效值(单位用V, mV或 μ V)表示;其二,用绝对电平(单位用dBm, dB)表示。

对信号源来说,在阻抗匹配的条件下,即当信号源的输出阻抗(内阻)等于外接负载阻抗时*,定义功率电平为:

$$p_w = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} [\text{dBm}] \quad (2-2)$$

而定义电压电平为:

$$p_v = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} [\text{dBm}] \quad (2-3)$$

式中, P_x, U_x ——分别为负载吸取的功率和负载两端的电压(正弦有效值)。

P_0, U_0 ——基准量。

若基准量 P_0 和 U_0 分别取1mW和0.775V,则零功率电平(0 dBm)和零电压电平(0 dB)的定义与讨论分贝测量时是一致的。所以,目前大多数信号源,尤其是电平振荡器中都取1mW或0.775V为绝对电平的基准量。

应该指出,也有一些信号源是选用其他基准量来定义零电平的,一般都有明确指明。例如,0 dBm $\triangleq$ 6mW(500 Ω),表示在500 Ω 电阻上吸取6mW功率定为0 dBm,即 $U_0=1.730$ V。所以,当使用这类信号源时应加注意。

(2) 输出电平的读出

① 用电压度量的信号源输出电路

信号源的输出电路应完成输出电压的选择和读出,以及输出阻抗(需要时)变换等功能,作为一个例子,图2-3示出了一个标准信号发生器的输出电路。

* 在阻抗匹配条件下,信号源的输出电平可以从其指示器和步进衰减器上直接读出,否则需换算。

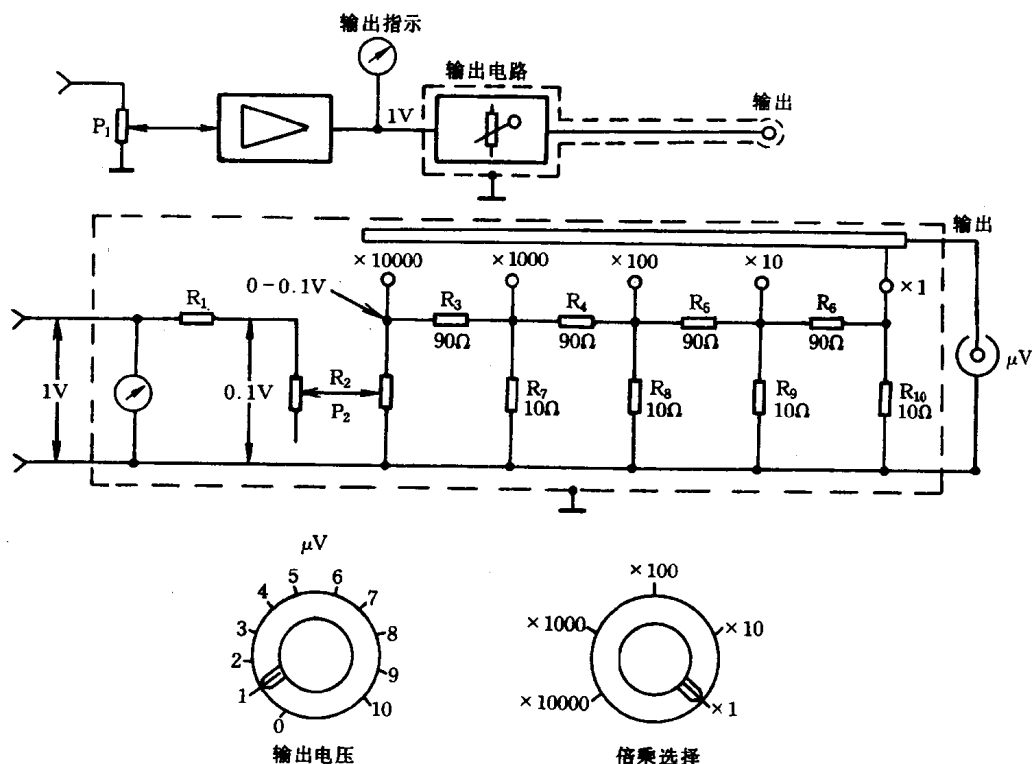


图 2-3 标准信号发生器的输出电路

输出电路由一组分压器组成,由 $R_3 \sim R_{10}$ 组成步进分压器,每步的分压比为 $1/10$,作为输出电压“倍乘选择”开关。 R_1 与 R_2 组成连续可调分压器, P_2 用来作为“输出电压”连续调节。首先,利用电位器 P_1 可使输出指示为 $1V$,经 R_1 与 R_2 组成的分压器得 $0.1V$ 。由于 R_2 由同轴电位器 P_2 组成,故利用 P_2 (“输出电压”调节)可使加到步进分压器的输入电压从 0 连续变到 $0.1V$ 。当步进分压器置于“ $\times 10000$ ”步位,即不经分压,则输出电压为 $0 \sim 0.1V$ ($0 \sim 100000\mu V$) 连续可调。例如, P_2 调至最上端,输出电压为 $100000\mu V$,这时可在 P_2 电位器度盘上标 10 ,步进分压器标 $\times 10000$ 。这样,输出电压的 μV 值等于“输出电压”调节度盘读数与倍乘选择的倍乘数的乘积。利用上述方法读出输出电压可保证所需的准确度,因为若直接用电子电压表去测量 μV 级的输出电压是困难的。

② 用绝对电平表示的信号源的输出电路

作为一个例子,图 2-4 示出了一个电平振荡器的输出电路。

设最大输出电压电平为 $+10dB$ (当 $Z_L = Z_0$ 阻抗匹配条件下),这时由 $R_1 \sim R_8$ 组成的分压式衰减器置于零衰减(如图所画步位,并在该步位标 $+10dB$),所以输出放大器的输出电压 U 。直接加到平衡变压器 ($1:1$), T 的初级圈,即 $U' = U$ 。平衡变压器用来把对地不平衡输出变为平衡输出。由于输出放大器的输出阻抗 $R_o \approx 0$ (所以,常称“零欧”输出放大器),故利用与负载阻抗 Z_L 串联的一组电阻,可很方便地改变信号源的输出阻抗 Z_o 。例如,输出阻抗选择开关置于图示步位,则从输出端看进去的输出阻抗 $Z_o = 300 + 300 = 600\Omega$ 。

要求输出放大器输出的最大输出电压可按最大输出电平 ($+10dB$) 来计算。为了给负载 Z_L

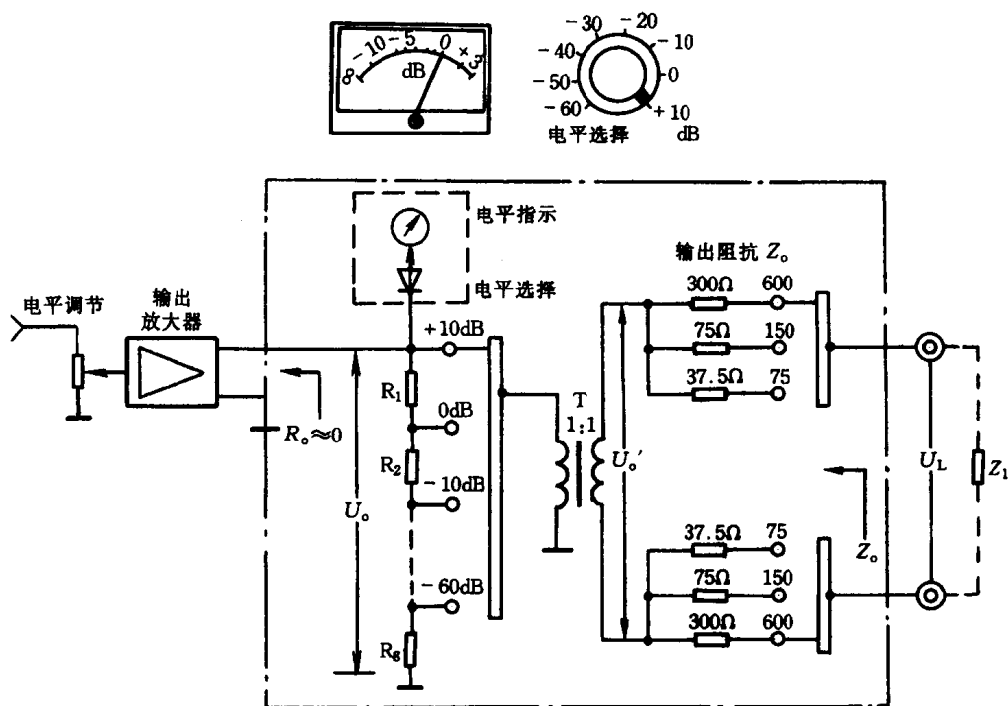


图 2-4 电平振荡器中的输出电路

提供+10dB 的电压电平, 计算可得 $U_L = 2.45\text{V}$ (有效值)*, 因为 $Z_L = Z_0$, 故 $U_0 = U' = 2U_L = 4.9\text{V}$ 。这个电压由电平指示器指示, 但不刻 4.9V, 而刻 0dB。电平指示器以 0dB 刻度所对应的电压为基准, 以 dB 分度。

由以上讨论可知, 在电平振荡器中, 输出电平等于电平指示的 dB 值和“电平选择”开关所标步位 dB 值的代数和。比如, 输出衰减器衰减 10dB, 则输出电平为 0dB (当电平指示 0dB), 故该步位标 0dB, 以此类推。

(3) 输出特性

一个正弦信号源的输出特性主要有:

① 输出电平范围

这是表征信号源所能提供的最小和最大输出电平的可调范围。一般标准高频信号发生器的输出电压为 $0.1\mu\text{V} \sim 1\text{V}$, 而电平振荡器的输出电平为 +10dB ~ -60dB。

② 输出电平的频响

这是指在有效频率范围内调节频率时, 输出电平的变化, 也就是输出电平的平坦度。对电平振荡器来说, 对输出电平平坦度的要求较高, 一般, 相对于中频段的输出电平, 平坦度应优于 $\pm 0.1\text{dB}$ 。

③ 输出电平准确度

输出电平准确度由下列几项误差决定: 0dB 准确度 α_0 、输出衰减器换档误差 α_d 、表头刻度误差 α_m 以及输出电平平坦度 α_r 。我们可按均方根合成来计算输出电平准确度, 即 $\alpha_z =$

* 因为 +10dB = $20\lg \frac{U_L}{0.775\text{V}}$, 所以 $U_L = 0.775 \cdot 10^{\frac{10}{20}} = 2.45\text{V}$

$\sqrt{\alpha_0^2 + \alpha_d^2 + \alpha_m^2 + \alpha_r^2}$ 。此外,输出电平还将随温度与供电电压波动而变化。

对成批生产的电子仪器,采用“工作误差”来评价仪器的准确度。工作误差是指仪器在额定工作条件下,在各种使用条件为任何可能组合情况下,仪器总的极限误差。例如,某电平振荡器的输出电平准确度,用工作误差可表示为:

$$\left. \begin{array}{l} \text{频率范围 } 5\text{kHz} \sim 1.7\text{MHz} \\ \text{输出电平 } +10 \sim -60\text{dB} \\ \text{表头范围 } -10 \sim +5\text{dB} \\ \text{环境温度 } 0 \sim +40^\circ\text{C} \\ \text{电源波动 } \pm 10\% \end{array} \right\} \leq \pm 0.5\text{dB}$$

工作误差表示仪器在上列使用条件下,其输出电平可能产生的最大误差为 $\pm 0.5\text{dB}$ 。

④ 输出阻抗

信号源的输出阻抗视类型不同而异,如电平振荡器,频率低于 620kHz 为平衡输出,一般输出阻抗有 75Ω 、 150Ω 和 600Ω 几种。高频信号发生器一般为 50Ω 或 75Ω 不平衡输出,我国部颁标准规定 50Ω 为优选值。

⑤ 输出信号的频谱纯度

正弦信号源不可能提供理想的正弦波,造成频谱不纯的主要因素有:由非线性失真产生的谐波成分,混频器(对差频法)输出的组合波以及噪声。一般信号源的非线性失真应小于 1% ,某些测量(例如,高传真系统)要求优于 0.1% 。

除上述工作特性外,还有调制特性,其中包括调制频率、调幅系数或最大频偏,以及调制线性等。

四、高频信号发生器中的调制

1. 调制的作用和工作特性

虽然单纯的正弦信号是最基本的测试信号,但是,有些参量用这种正弦信号是不能或不便于进行测试的。例如,各种接收机的灵敏度、选择性、失真度等,就必须用与被测接收机相应的已调制正弦信号作为测试信号。为了测试信道的包络延时(常称群延时),就需要采用已调幅信号。有些参量虽然能用正弦信号进行测试,但是常常会遇到灵敏度较低或干扰的影响较大等情况。例如,高频电桥和测量线所需的测试信号,最好是调幅信号,以便提高测试灵敏度,或削弱干扰信号的影响。

利用已调制的正弦信号,还可以组成新的测量方案。例如,利用已调幅正弦信号,可以用音频替代法进行高频衰减的测量;利用已调频或已调相信号,可以用直接法测量鉴频器和锁相环。

高频信号发生器中的调制,主要采用正弦幅度调制(简称调幅 AM)、脉冲开关调制(简称脉冲调制 PM)、视频幅度调制(简称视频调制 VM)和正弦频率调制(简称调频 FM)。调幅适用于整个射频频段(100kHz 以上,直至微波波段),但主要用于高频段。调频主要用于甚高频或超高频频段($30 \sim 1000\text{MHz}$)。脉冲调制多用于微波信号发生器中。视频调制主要用于电视使用的频段。脉冲调制和视频调制,从本质上说来,都是宽频带的幅度调制。有的信号发生器还能进行组合调制。例如,同时进行调幅和调频。组合调制信号常用来测试像立体声广播设备这样