

范家庆 沈祝平 著

扫频测量技术

SAOPIN
CELIANG JISHU



电子工业出版社

扫频测量技术

范家庆 沈祝平 编著

电子工业出版社

1985

内 容 简 介

本书系统地阐述了扫频测量技术的基本原理、测量方法和应用。全书分为两大部分：第一部分介绍扫频技术、频标技术和显示器；第二部分以通信系统和微波网络的扫频测量为例，讲述基本的测量方法。两部分中，均用适当的篇幅介绍了微处理器在扫频测量中的应用。本书适合从事电视、通信、电子测量等专业的工程技术人员阅读，亦可供大专院校中相近专业的师生参考。

扫频测量技术

范家庆 沈祝平 编著

责任编辑：魏永昌

电子工业出版社出版(北京市万寿路)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
山东电子工业印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：17.75 字数：409.8千字
1985年9月第1版 1985年11月第1次印刷
印数：6300 册 定价：3.80元
统一书号：15290·161

前 言

扫频测量是现代电子测量的一个分支。由于扫频测量可以实现图示测量,从而使测量过程简单快速,并给自动或半自动测量创造了条件。快速扫频使我们有可能测量被测网络或系统的动态特性,例如,测量窄带滤波器的动态滤波特性、锁相环对频率斜升信号的动态跟踪特性等,这些特性是逐点测量(点频测量)无法得到的。自五十年代扫频测量技术出现以后,发展十分迅速。YIG 磁调谐扫频振荡器将扫频测量的应用频段扩展到微波频段,大大扩大了扫频测量技术的应用范围,特别是微处理器在扫频测量技术中的运用,更为扫频测量技术锦上添花。因此,扫频测量技术在广播、电视、卫星通信、地面微波中继通信等许多技术领域中,获得了广泛的应用,在现代电子测量中占有重要的位置。

尽管扫频测量技术在电子测量中应用多年,但有关这门技术的专著屈指可数。许多与它有关的成果,淹没在浩瀚的期刊文献的大海之中,要查阅这些文献,不得不耗费很多的时间和精力。《扫频测量技术》一书则是较系统地介绍这一技术的专业书籍。全书分成三部分。第一部分(第一章)以较短的篇幅介绍了扫频测量技术的发展和概貌。第二部分(第二至第四章)包括了扫频技术、频标技术、显示器等内容,使读者对扫频测量的原理有一个较全面的了解。第三部分(第五至第七章)系统地介绍了测量方法和技巧。其中有频谱分析、幅频特性、时延和相位、阻抗和驻波等各类网络和系统特性的测量。

本书是根据作者多年来从事《电子测量》教学的体会、在扫频测量技术方面的科研成果、以及生产实践中的经验并参阅了国内外有关书刊和国内有关厂、所的科研成果编写而成的。在编写中,力求取材全面、通俗易懂,避免繁琐的数学推导;并结合国内情况,对仍在大量使用的电子管扫频测量仪器,作了一定篇幅的介绍;对国内外扫频测量技术的新成果,也尽量使其在书中得到反映。作者期望本书对从事扫频测量工作的工程技术人员更好地运用这门技术能有所助益。本书也可供大专院校《电子测量》专业的师生参考。

本书在编写过程中,得到北方交通大学蒋焕文副教授、南京工学院郑秋白副教授的帮助和指导,他们亲自审阅了全稿;清华大学范正荣同志也对本书提出了不少宝贵意见,一并在鸣谢。

由于作者水平有限,书中谬误之处在所难免,恳切希望专家和读者批评指正。

作 者

一九八四年九月于南京

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 扫频测量技术的发展	1
§ 1-2 扫频测量的主要内容和应用	2
§ 1-3 扫频测量装置的组成	3
第二章 扫频技术	5
§ 2-1 扫频信号源	5
一 扫频信号源的基本功能和要求	5
二 差频扫频	5
§ 2-2 扫频信号源的有关术语	6
§ 2-3 磁调制扫频振荡器	8
一 磁调制扫频振荡器的工作原理	8
二 振荡器电路的分析	10
三 扫频信号与扫描信号之间的相位关系	12
§ 2-4 变容二极管扫频	13
一 变容二极管	13
二 变容二极管扫频原理	15
三 变容二极管扫频振荡器的微分特性	16
四 晶体管压控振荡器	21
§ 2-5 固态扫频信号源	23
一 铁磁谐振现象	23
二 YIG 磁调谐振荡器	24
三 YIG 磁调谐振荡器的负阻特性	28
四 YIG 磁调谐振荡器的几个问题	30
五 固态扫频信号源工作原理	31
六 YIG 扫频振荡器的扫频速度	32
§ 2-6 返波管扫频振荡器	34
一 返波管的工作原理	34
二 返波管扫频信号发生器	37
§ 2-7 程控扫频信号发生器	38
一 扫描发生器	39
二 频标的产生	39
三 仪器的自动校准能力	40
四 可编程的扫频振荡器	41
§ 2-8 扫频式函数发生器	44
一 压控函数发生器	44
二 电压-电流转换器	45
三 三角波-方波发生器	45
四 函数变换网络	47

§ 2-9 稳幅与反调	49
一 控制振荡管板压实现稳幅	50
二 控制宽带放大器增益实现稳幅	51
三 PIN管稳幅	52
四 内稳幅与外稳幅	56
§ 2-10 扫描和扫描控制	57
一 正弦波扫描	57
二 锯齿波扫描	63
三 扫描停振	65
四 扫描信号控制	66
§ 2-11 用数字鉴频器实现宽带直线性扫频	71
一 AFC 环路工作原理	72
二 数字鉴频器	73
三 实验电路	74
§ 2-12 扫频信号的测试方法	74
一 输出信号单频频率的测试	75
二 扫频范围、扫频宽度测试	75
三 剩余调频测试	75
四 输出功率测试	76
五 不稳幅输出功率(或电压)的起伏测试	76
六 稳幅功率(或电压)的起伏(扫频频率响应)测试	76
七 输出谐波分量和非谐波分量测试	76
八 源驻波比测试	77
九 扫描时间、扫频时间测试	78
十 扫频线性测试	78
第三章 频标技术	79
§ 3-1 概述	79
一 频标的分类	79
二 频率标记的一般要求	80
§ 3-2 差频法产生频标	80
一 差频法的工作原理	80
二 产生通用频标的一般方法	81
§ 3-3 谐波发生器	82
一 晶体振荡器	82
二 运用阶跃二极管产生窄脉冲	85
三 用电感微分电路产生窄脉冲	88
§ 3-4 混频器	89
一 二极管混频器	89
二 环形混频器	91
三 双三极管混频器	94
四 杂频标和频标带	95
§ 3-5 频标滤波器	97
一 一阶 RC 高通滤波器	98
二 二阶 RC 高通滤波器	98

§ 3-6 频标变换和频标组合	99
一 频标变换	99
二 频标组合	100
§ 3-7 用数字电路产生通用频标	103
一 混频器	104
二 低通滤波器	104
三 实用的频标电路	106
§ 3-8 专用频标的数字选择方法	107
一 数字选择方法的基本要点	107
二 定位振荡器	108
三 数字选择电路	108
§ 3-9 LC 频标	110
一 吸收式LC频标	110
二 选频放大式LC频标	111
三 提高LC频标频率稳定度的方法	112
§ 3-10 活动频标	113
一 电压比较法产生活动频标	113
二 对称活动频标	114
三 数字式活动频标	115
§ 3-11 键控式扫频信号发生器	117
一 键控式扫频	117
二 复合信号的产生	118
三 实用电路	119
第四章 显示器	122
§ 4-1 引言	122
§ 4-2 具有静电偏转的光点扫描显示器	124
一 光点扫描显示器	124
二 示波管	125
三 垂直通道	127
§ 4-3 具有磁偏转的光点扫描显示器	131
一 磁偏转示波管及其直流偏置	131
二 直流-直流变换器	132
三 偏转系统	134
四 频标放大器	140
§ 4-4 光栅增辉式显示器	140
一 显示特点	140
二 显示原理	141
三 电子电平刻度线	143
四 线频标和电子频率刻度线	145
五 显示器的组成	147
六 基本电路分析	147
§ 4-5 用微处理器控制扫频显示	151
一 μ P 控制显示器的困难	151
二 系统组织	153

三 图形显示	158
第五章 扫频技术在频谱分析中的应用	159
§ 5-1 外差式频谱分析仪	159
一 信号分析中时域和频域的关系	159
二 超外差式频谱分析仪工作原理	163
三 低频频谱分析仪	171
§ 5-2 频谱分析仪的应用	177
一 分析常用信号的频谱和失真	177
二 测试网络特性	189
三 小信号的频谱测量	191
四 噪声测量	195
五 频谱分析仪与跟踪信号发生器的组合应用	200
第六章 微波网络特性的扫频测量	207
§ 6-1 典型的微波扫频测量系统及基本组成	207
一 微波扫频信号源	208
二 信号分离器件	210
三 检波器和热检测器	214
四 显示器	217
§ 6-2 反射参量的扫频测量	217
一 反射计测量的原理	218
二 测量反射系数的方法	219
三 两路检波比值或扫频反射计	220
四 存贮对消式扫频反射计	221
§ 6-3 传输参数的扫频测量	222
一 射频替代法	222
二 音频替代法	225
三 中频替代法	226
四 误差和注意事项	227
§ 6-4 扫频测量系统实例	227
一 HP8755 扫频测量系统	227
二 PM1038 型扫频测量系统	230
§ 6-5 微波网络分析	234
一 单边带调制式微波网络分析仪	234
二 HP8410A 型网络分析仪系统	235
§ 6-6 自动网络分析仪	238
一 自动网络分析仪的基本组成和原理	238
二 自动网络分析仪实例	239
第七章 通信系统传输特性的扫频测量	244
§ 7-1 概述	244
§ 7-2 调制器和解调器的线性测试	245
一 调制器直线性的扫频测量	245
二 解调器直线性的扫频测量	249
三 解调器失真度的扫频测量	250

四 调制器灵敏度的扫频测量.....	251
§ 7-3 群时延特性的扫频测量.....	252
§ 7-4 微分增益特性的扫频测量.....	254
§ 7-5 微分相位特性的扫频测量.....	256
§ 7-6 幅频特性的扫频测量.....	257
一 扫频仪测试幅-频特性的显示原理	257
二 采用调制方式的幅-频测试系统	259
三 综合测试仪测试幅-频特性的特点	259
§ 7-7 回波损耗的扫频测量.....	264
一 测量原理	264
二 实际电桥测量电路	265
三 回波损耗的扫频测量	266
四 扫频测量回波损耗的方法	269
§ 7-8 微波线路分析仪.....	269
一 概述	269
二 自校	270
三 测量	270
§ 7-9 扫频测量仪器的使用.....	270
一 调整	271
二 校准	273
三 测量	274
参考书目	275

第一章 绪 论

§ 1-1 扫频测量技术的发展

电子测量中经常碰到的问题是对网络的阻抗和传输特性的测量。这里所说的传输特性,主要是指:增益和衰减、幅频特性、相位特性和时延特性。

最初,这些网络参数的测试是在固定频率点上逐点进行的。这种测试方法烦琐、费时,且不直观,有时还会得出片面的结果。例如,测量点之间的谐振现象和网络特性的突变点常常被漏掉。

现在,扫频测量技术已经获得了迅速地发展和广泛地应用。在扫频测量中,用扫频信号——一个频率随时间按一定规律,在一定频率范围内扫动的信号代替以往使用的固定频率信号,可以对被测网络进行快速、定性或定量的动态测量,给出被测网络的阻抗特性和传输特性的实时测量结果。因此,对被测网络的调整、校准及故障排除提供了极大的便利,在电子测量领域里占有重要地位。

扫频测量技术除了用于网络的阻抗和传输特性的测量外,还可以应用到其它测量分析中去。例如:频谱分析,共振测量等。

扫频测量技术的发展,是和扫频装置的、扫频方式的发展切切相关的。在五十年代扫频测量技术出现以后,最早的测量装置所使用的扫频方式是机械扫频。用一个小马达带动振荡器振荡回路中可变电容器或带动机械调谐的速调管,以改变振荡器的振荡频率而实现扫频。到了六十年代则以铁淦氧磁扫频为主,在微波扫频测量中,电压调谐的返波管取代了机械调谐的速调管。七十年代初期,扫频方式已转向变容二极管扫频,出现了固态微波扫频信号源。返波管因其使用寿命有限,已经很少采用。现在扫频测量中所使用的扫频方式,基本上是变容管扫频和高导磁率的YIG小球磁扫频。基于我国电子工业发展的现状,铁淦氧磁扫频和返波管扫频仍在不少测量仪器中采用。

现在扫频测量的精确度,已经有很大的提高,已从早期的定性测量向全定量方向发展。例如在窄带扫频时(扫频宽度为50MHz),幅频特性的测量可以精确到0.05dB,群时延的测量可精确到0.2ns,相位测量的误差可以小于 0.1° 等。随着电子计算机技术和微电子学的发展,微处理器在扫频测量装置中逐渐被采用,使扫频测量可以达到更高的测量精确度。

现代扫频测量装置,已向着一机多能的方向发展,一台测量设备,具备两种或多种测量功能。如兼有扫频仪和频谱仪功能的扫频频谱仪,能测量幅频特性、相位特性、时延特性和回波损耗的微波线路分析仪等。

随着扫频测量技术的发展,扫频测量将在电子测量中发挥愈来愈大的作用。

§ 1-2 扫频测量的主要内容和应用

扫频测量的内容十分广泛,包括:频谱测量、幅频特性测量、非直线性系数测量、已调波参数测量、微分增益测量、相频特性测量、阻抗和驻波测量等。在电路设计中采用扫频技术的一些电子设备,如频率合成器、振动分析仪等,不属于扫频测量的范畴。

信号的频谱分析是一门广泛使用的测量技术。在无线电电子技术、声与振动、医学、地震等领域,都需要对时间信号进行频谱分析。它的理论基础是付立叶分析,但又涉及到随机信号的统计分析 with 取样理论等诸方面。针对不同的信号对象与场合,采用着不同的频谱概念。

一个平稳信号的非实时频谱分析,采用了频率扫描的工作方式。频率扫描方式又可以分为两种:一种是分析滤波器的频率响应在频率轴上扫描(图1-1);另一种为差频式频谱分析法,即固定分析滤波器的响应频率,用扫频信号与被分析信号在混频器里差频,再通过滤波器和测量电路进行分析。后者是频谱分析仪最常采用的分析方法,属于扫频测量技术研究的范围(图1-2)。

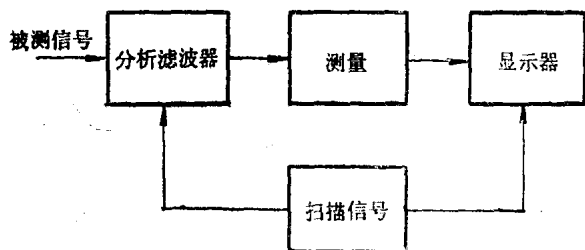


图 1-1 第一种频率扫描方式

网络幅频特性的测量也是一种经常性的测量。它可以分成不带显示器的扫频信号源(扫频信号发生器)和带显示器的频率特性测试仪两类。频率特性测试仪通常又称作扫频仪。根据使用习惯,日本、美国及西欧大部分国家习惯使用扫频信号源;西德、

苏联及东欧一些国家使用扫频仪的居多。我国则两者兼有之。

幅频特性测量中需要附带说明的一点是,在测量中,所测得的仅是一个电学矢量的幅值。因为在许多情况下不需要这个矢量的相位信息,仅仅测得这个矢量的幅值就能满足测量上的要求。

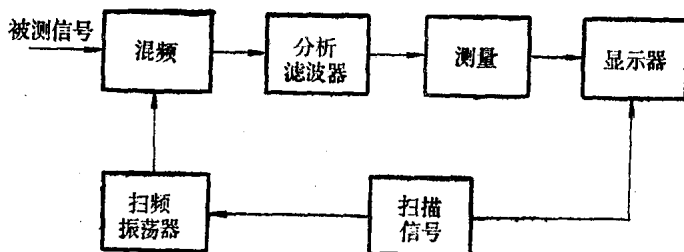


图 1-2 差频式频谱分析法

微分增益(用符号 D_c 表示)的测量也是一种幅频特性的测量。一个用角频率 ω 调频的调频波,当载波变化时,解调后 ω 的幅度特性,就是微分增益特性。微分增益特性可以近似地用振幅特性对频率的两次微分与调制频率平方的乘积来表示。在彩色电视系统中,微分增益特性将影响图象的色饱和度。

非直线性系数和已调波参数的测量是频域测量的一个分支。具体的测量内容有网络的非线性畸变,调制器、解调器的直线性,调频或调幅波的调制系数等。其中网络的非

线性畸变和调幅系数等，可以对被测信号进行频谱分析以后，再通过简单的计算得出测量结果。

扫频测量相频特性，主要是测量被测网络的相位和时延特性，即时延和相位的动态测量，包括群时延(用符号 τ_g 表示)测量和微分相位(用符号 D_f 来表示)测量。通过测量，可得到被测网络时延或相位与频率之间的动态关系曲线。这要和对网络单一频率信号的时延和相位差的测量区别开来。

一般来说，群时延和微分相位的大小在低频系统里是不重要的。但在有些场合，如彩色电视的发射、传输(如微波中继方式)、接收过程中，群时延和微分相位都会影响彩色图象的质量。

在扫频测量技术中，幅频特性和相位特性是可以同时进行测量的。同时进行幅频特性和相位特性测量的技术，通常又称为网络分析技术。

阻抗随频率变化的特性对信号的传输很重要。在高频网络里，与阻抗有关的参数还有反射系数、驻波比和回波损耗。这四个参数间有既定的数学关系，实际测量中可以归结为其中一个量的测量。测量的基本原理和方法将在后面有关的章节介绍。

扫频测量的应用范围很广，例如低频电声响应测量，广播通信中发送设备与接收机的测量，雷达监视设备、导航设备、微波地面中继通讯设备、卫星通讯设备、电视发射系统和电视接收机的测量，以及声表面波器件和微波元器件的测量等。

在上述测量范围内，可以进行的测量项目很多，例如：放大器的带宽、增益及损耗，滤波器的带宽和插入损耗，天线的阻抗匹配，雷达中放增益和动态范围，电视机高频调谐器、公共中频通道、视频放大器、伴音鉴频器的增益和带宽，电视发射台、差转台的频率特性和相位特性，调频、调幅广播的频率特性和调制特性等等诸方面的测量。

扫频测量应用的频率范围也很宽。可以从超低频直至微波频段。它的使用频段可以大致分成：超低频($0.1 \sim 2 \times 10^2 \text{Hz}$)，低频($50 \text{Hz} \sim 200 \text{kHz}$)，高频($0.1 \sim 30 \text{MHz}$)，超高频($10 \sim 500 \text{MHz}$)，甚高频($300 \text{MHz} \sim 1.5 \text{GHz}$)，微波(1GHz 以上)。但这样的频段划分是相对而言的，在不同的场合，频段名称因地而异。例如，微波中继通信系统采用的中频为 70MHz 或 140MHz ，虽然属于超高频频段，但习惯仍称作中频而不称为超高频。

§ 1-3 扫频测量装置的组成

尽管扫频测量装置门类繁多，但其基本原理是相似的，有四种基本部分是整个扫频测量技术所共有的。这四部分是：

1. 扫频信号源，2. 解调器，3. 显示器，4. 信号分离器件。

其中前三种基本部分是必需的。信号分离器件只是在甚高频段和微波频段才是需要的。

大多数的扫频测量装置的组成可用图1-3所示的方框图来表示。频谱分析仪的构成方框图(参见图1-2)和图1-3稍有不同，但在阅读第五章中关于频谱分析仪和扫频仪的类比之后，就会发现两者之间并无本质上的区别。

扫频信号源在测量中是信号产生部分。它能提供符合测量需要的扫频信号、驱动显

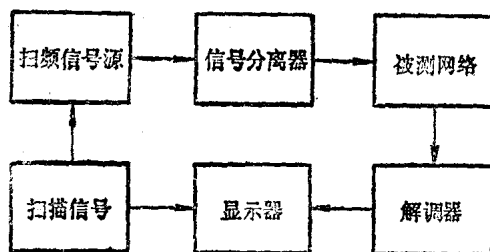


图 1-3 扫频装置的组成

示器 X 轴的扫描信号和对 X 轴(时间轴)进行频率定度的频率标记。扫描信号是扫频振荡器的调制信号, 又是扫频测量中的时间基准, 扫频振荡器的瞬时振荡频率(或相位等)将随扫描信号作周期性的变化。因此, 扫频信号产生过程可以视作某种调制过程, 即可以调频, 也可以调相, 在特殊的扫频测量中, 除调频、调相外, 还对扫频信号加以调幅。

扫频信号源输出的扫频信号, 先由信号分离器对扫频信号进行分离或取样, 再馈至被测网络。如果测量装置中不需要信号分离器, 则直接馈至被测网络。在微波扫频测量中, 常用的信号分离器有定向耦合器、定向电桥和分功器等。

解调器的功能是对被测网络的输出信号解调。扫频信号通过被测网络之后, 信号发生了畸变。在扫频信号的畸变里, 包含着被测网络的网络信息。运用解调器把这些信息解调出来, 加到显示器的输入端, 最终得到所进行测量项目的图示结果。解调器可以是检波器, 也可以是鉴频器或鉴相器等。

第二章 扫频技术

§ 2-1 扫频信号源

一 扫频信号源的基本功能和要求

典型的扫频信号源应该具备下述三个功能：

1. 产生扫频信号。扫频信号通常是等幅正弦波。
2. 产生同步输出的扫描信号。扫描信号可以是三角波、正弦波、锯齿波或其它形式的波形。
3. 产生同步输出的频率标志。频率标志种类有等频率间隔的通用频标、为某种专项测量设置的专用频标，以及活动频标。

从实际测量需要出发，对扫频信号源的性能提出下面几点要求：

1. 能够在整个扫频频率范围内维持恒定的、足够大的功率输出，这样就可以得到大的测量动态范围。
2. 为了使测量误差最小，扫频信号中的寄生信号和谐波均应很小。
3. 为了进行精确的点频测量和窄带测量，必须使扫频瞬时振荡频率稳定。
4. 扫频信号的中心频率范围应足够宽，并可以任意调节，以适用于各种不同的测量对象。
5. 频率偏移的范围(频偏)越宽越好，且可以任意调节，以满足不同测量对象在测试中对频偏的要求。
6. 扫频线性要求良好。扫频线性是指扫频信号频率的变化规律和预定的扫频规律之间的吻合程度。
7. 为了有效地进行校准和测量，扫频信号源必须具备一些基本的工作功能：各种扫描方式、可变的扫描速度、频标、稳幅和调制。

二 差频扫频

一个典型的扫频信号源的方框图如图2-1所示。

图中所示的方法是差频扫频的典型方法。由于采用了差频扫频的方法，使扫频中心频率获得了很大的覆盖比和有可能实现全景扫频：即最大扫频频偏和中心频率范围基本一致，无需实行分频段扫频。如果扫频信号源采用直接扫频的方式，则图2-1中的固定频率振荡器和混频器可以省去，电路更为简单。

现对扫频信号源的方框图作一些简要说明。

一般的扫频振荡器是LC振荡器。它的振荡回路中包含着电感和电容等电抗元件。振荡器的振荡频率可由下式决定。

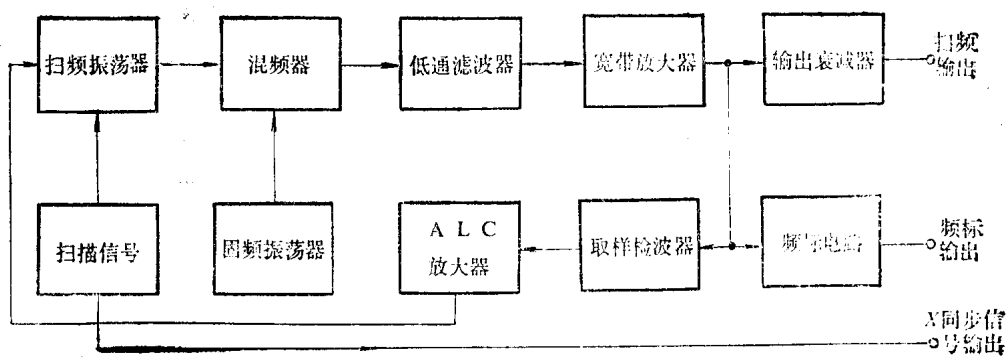


图 2-1 扫频信号源方框图

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-1)$$

式中 f ——振荡器的振荡频率； L ——振荡回路电感； C ——振荡回路电容。

只要改变参数 L 或 C ，振荡频率 f 就会改变。在扫频振荡器的振荡回路里，采用了压控电抗元件，在扫描信号控制下，电抗发生周期性变化，从而实现扫频。例如，在磁扫频方式中，改变振荡回路中的电感 L ；在压控扫频中，控制变容二极管的偏置电压，以改变振荡回路中电容 C 的容量。

扫频信号和固频振荡信号在混频器里混合。混频器是一个非线性的频率变换网络，混频输出中包含着两个混频信号及它们的谐波产生的和频与差频信号，必须由滤波器进行信号提纯，仅仅保留需要的差频信号。因为混频后的信号电平降低很多，所以还需要由宽带放大器进行放大，以满足额定的输出电平，然后经输出衰减器馈至输出终端。

由于振荡回路的 Q 值(品质因数)在振荡中心频率的高端和低端差异很大，会造成在振荡中心频率高低端之间的幅度不一致。同时在扫频信号的传输和放大过程中，也会产生附加的幅度调制，所以必须采取稳定信号幅度(简称稳幅)的措施。

稳幅的一个简便方法是，用一只检波特性良好的二极管对输出扫频信号进行包络检波(取样电路)，检出的包络在比较电路里与基准电平进行比较，比较后的差值信号由高增益直流放大器放大后，去控制扫频振荡器的振荡幅度，从而实现自动电平控制(ALC)。

实现稳幅的方法很多，除了上述方法外，在后面的有关章节里还要进行介绍。

扫频信号发生器还产生基准扫描信号，并可完成扫描功能变换和扫描方式的选择。一般扫描信号源除了能够连续扫描外，并且有外触发、单次、手控等扫描方式。这和示波器的扫描方式有类似之处。在扫描功能方面，能够改变扫描速度、扫描波形和调制方式。

基准扫描信号分成两路去进行控制和驱动。一路用作扫频调制，一路驱动显示器的 X 轴扫描，作为扫描时间轴。因为这两路信号的周期和相位都相同，所以对扫频信号而言，显示器的时间轴就是频率轴。频率轴将由频标电路产生的频率标记(频标)去刻度。

§ 2-2 扫频信号源的有关术语

1. 扫描时间

扫描信号的周期。

2. 扫频时间

扫频宽度可覆盖的时间间隔, 且在此时间间隔内完成测量。

图2-2画出了扫描信号为锯齿波时的扫描时间和扫频时间。

3. 扫频宽度

扫频时间内最高频率与最低频率之差。

具有中心频率可调节的扫频信号源, 扫频宽度等于频偏的两倍; 而在具有起始和终止调节的扫频信号源中, 扫频宽度等于两频率之差。

4. 频响(平坦度、倾斜等)

在扫频期间, 信号电平的相对变化。

5. 扫频线性误差

按图2-3, 在扫频时间内发生的相对于线性扫频频率的最大频率偏差 $\Delta f_{\max}$ 。

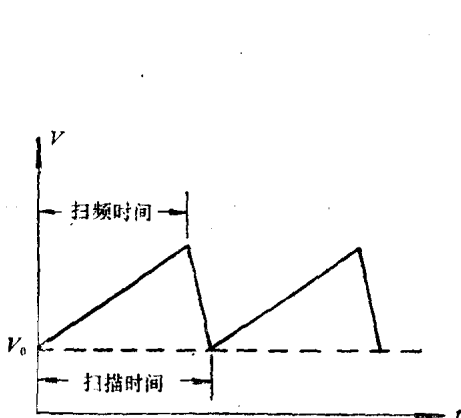


图 2-2 扫频时间和扫描时间

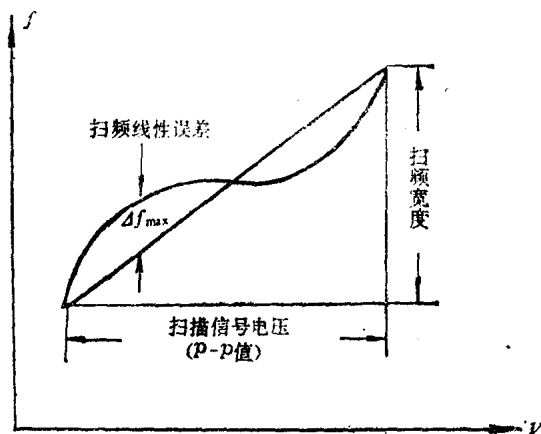


图 2-3 扫频线性误差

该扫频线性误差同样适用于表示多频段工作的扫频装置的误差。用同样的方法也能表示频标之间的误差。

6. 频段

频率范围的一部分, 在该部分内可以对频率连续调节或扫描。

7. 频偏

在纯正弦波调制的一个周期内, 载波频率总偏移的一半。

8. 扫描输出电压

扫描输出电压作为显示器 X 轴偏转的扫描电压, 这个电压随扫描导致的偏转而变化, 在理想情况下是线性的。一般情况下, 扫描输出电压不取决于扫频宽度调节。

9. 频率参考输出电压

输出电压随同输出频率而变化。在理想情况下, 正比于输出频率。

10. 扫频中心频率

对称于扫频范围内起止频率中心的频率。

11. 扫频方式

由扫频信号源内扫描电压按给定的方式所实现的扫频。

自动扫频：由周期性扫描信号电压实现的扫频方式。

手控扫频：由手动旋钮控制扫描电压而实现的扫频方式。

触发扫频：由触发脉冲启动扫描电压而实现的扫频方式。

单次扫频：由手动按钮启动一次扫描电压仅实现一次的扫频方式。

对数扫频：扫频的频率在线性扫描坐标轴上以对数刻度表示。

12. 扫频功能

扫频宽度的控制方法。

起止扫频：扫频宽度由起始频率和终止频率旋钮控制的扫频。

标志扫频：扫频宽度由两个频率标志旋钮控制的扫频。

窄带扫频：对称于中心频率的窄频带扫频。窄带扫频宽度通常为整个有效载频范围的十分之一。中心频率由中心频率旋钮控制。

外调频：由外部信号电压控制扫频信号源扫频宽度的方法。

13. 自动电平控制(稳幅)

使扫频信号源输出电平恒定在一定电平范围内的自动控制系统。

内稳幅：控制扫频信号源内的自动电平控制电路所实现的稳幅。

外稳幅：控制扫频信号源外部辅助设备所实现的稳幅。

14. 扫频频率标记(频标)

用以表示扫频信号频率的标志信号。标志的形式可以是脉冲标志、线状标志、菱形标志等形式。

15. 寄生调频频偏

扫频信号源在无调制的条件下，输出信号(此时为点频)的频率偏移。寄生调频通常为非正弦型，它等于正弦频偏在线性鉴频器输出端产生同样有效值的电压。

16. 频率调制时的寄生调幅系数

扫频信号发生器输出信号的调幅系数。

§ 2-3 磁调制扫频振荡器

一 磁调制扫频振荡器的工作原理

为了说明磁调制振荡器的工作原理，首先必须对铁氧体磁性材料的特性有个基本的了解。

铁磁材料的磁感应强度 B 和磁场强度 H 的关系曲线(B - H 曲线)如图2-4所示。由图可见,当磁场强度 H 由零增大到 H_1 时,磁感应强度 B 将沿着磁化曲线 oas 方向增大。当 H 由 H_1 下降到零时, B 值不再按原曲线减小,而是循着另一条曲线 sb 方向变化。例如,当 H 变到 H_2 值又回到 H_1 值时, B 值则沿着 sbs' 或 $b's$ 的路线变化,这样的—个回线称为磁滞回线。

在稳定的磁场强度下,铁磁材料的导磁率 μ ,可以用一个关系式来表示:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2-2)$$