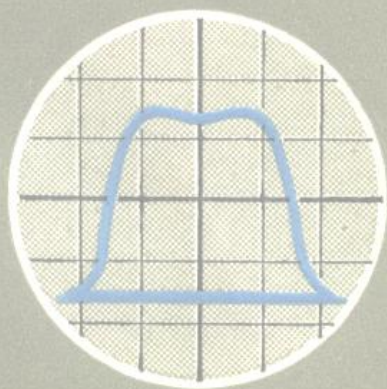




扫频仪的 原理与维修

(修订本)

王晓元 编著 人民邮电出版社

SAOPINYIDEYUANLIYUWEIXIU

77.86
119

扫频仪的原理与维修

(修 订 本)

王晓元 编著

人民邮电出版社

0450/07
内 容 提 要

扫频仪是一种直观、快速、简便的频率特性测试仪，在电子测量中，应用很广。本书比较系统地介绍了扫频仪的电路组成、结构特点、工作原理、使用维护和故障检修。内容比较通俗实用，以大量实例介绍了扫频仪的正确使用方法和故障的分析、处理。

本书可供电子技术、通信和广播电视及仪器仪表等方面的广大工人、技术人员、大专院校师生参考，也可用作短训班教材。

扫频仪的原理与维修

(修订本)

王 晓 元 编 著

责任编辑：高丕武

•
人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售
•

开本：787×1092 1/32 1985年8月第 二 版
印张：12 16/32页数：200 1985年8月河北第2次印刷
字数：284 千字 插页：4 印数：17,001-27,500 册

统一书号：15045·总2381-有506

定价：2.20 元

0450/07

修 订 说 明

本书初版于1980年。随着现代化生产以及电子设备和部件在品种性能方面的发展，扫频测量作为电子测量的一个重要方面，在科研、教学、生产领域的应用日益广泛，新型的扫频仪也不断出现。为了适应这一情况，我们对原书进行了一次比较系统的修订，目的在于为广播电视、通信和从事仪表研制与维护方面的职工提供一本有关扫频仪的简明、实用的读本，也可供大专院校电子测量专业的师生参考。在修订过程中，北京东风电视机厂、南京无线电仪器厂、总参六十三所等单位给予了大力支持。南京邮电学院电信测量仪器专业的老师也提供了很多宝贵的意见。在初稿完成后，北京邮电学院段炳毅老师又对书稿进行了全面的审校和修改。特在此表示衷心地感谢！

由于我们水平有限，书中难免有错误之处，希望广大读者批评指正。

编者

1984年4月于北京

目 录

第一章 概述	(1)
一、点频测量法.....	(2)
二、扫频测量法.....	(4)
三、实现扫频测量显示的要求.....	(6)
四、扫频仪的发展与应用.....	(10)
五、扫频仪的术语与文字符号.....	(11)
复习题.....	(15)
第二章 扫频振荡电路	(16)
第一节 扫频振荡的实现.....	(16)
一、高频振荡电路.....	(16)
二、扫频振荡的实现.....	(19)
三、对调频性能的要求.....	(25)
第二节 磁调制扫频振荡电路.....	(27)
一、铁磁材料的性质.....	(27)
二、磁调制扫频的基本原理.....	(31)
三、磁调制扫频振荡电路.....	(33)
四、磁调制扫频振荡电路举例.....	(35)
五、磁滞作用对扫频的影响.....	(38)
第三节 变容二极管扫频振荡电路.....	(41)
一、变容二极管的结构和等效电路.....	(41)
二、变容二极管的主要特性.....	(44)
三、变容二极管扫频的基本原理.....	(54)
四、变容二极管扫频振荡电路.....	(56)

五、石英晶体扫频振荡电路·····	(58)
第四节 其它型式的扫频振荡电路·····	(61)
一、电抗管扫频振荡电路·····	(61)
二、返波管扫频振荡电路·····	(64)
三、YIG扫频振荡电路·····	(67)
第五节 变频电路·····	(69)
一、变频电路·····	(70)
二、混频器·····	(72)
三、滤波器·····	(74)
四、倍频器·····	(83)
第六节 锁相环路·····	(84)
一、锁相环路的基本原理·····	(85)
二、锁相环路的应用·····	(88)
复习题·····	(90)
附录: 双曲线函数·····	(91)
第三章 BT-3型频率特性测试仪·····	(94)
第一节 整机方框图·····	(95)
第二节 扫频信号发生器·····	(97)
一、主控部分电路·····	(97)
二、扫频振荡器·····	(107)
三、扫频输出继电器电路·····	(118)
四、扫频振幅平稳性的控制电路·····	(120)
第三节 频标电路·····	(124)
一、晶体振荡器·····	(125)
二、谐波发生器·····	(128)
三、频标混频器·····	(129)
四、频标放大器和带通滤波器·····	(130)

第四节 垂直放大器和显示器·····	(132)
第五节 扫频信号衰减器和测试电缆探头·····	(135)
一、扫频信号衰减器·····	(135)
二、测试电缆探头·····	(141)
第六节 电源·····	(143)
一、低压直流电源·····	(143)
二、高频高压电源·····	(145)
第七节 仪器的面板布置和技术性能·····	(147)
一、面板布置·····	(147)
二、主要技术性能·····	(152)
复习题·····	(153)
附录·····	(153)
第四章 XS-13型扫频信号发生器·····	(169)
第一节 整机方框图·····	(170)
第二节 扫频振荡器和有关电路·····	(173)
一、扫频振荡器·····	(173)
二、锯齿波电压发生器·····	(179)
三、扫描变换器及扫频方式开关·····	(183)
四、线性频率变换器·····	(186)
五、低通滤波器和稳幅取样器·····	(190)
六、稳幅控制器·····	(193)
第三节 频标系统·····	(197)
一、频标信号发生器·····	(198)
二、频标的组合和脉冲标志形成·····	(200)
三、可动标志·····	(201)
第四节 稳压电源和显示器·····	(204)
一、稳压电源·····	(204)

二、显示器	(206)
第五节 面板布置和技术性能	(209)
一、面板布置	(209)
二、主要技术性能	(213)
第六节 XS-14型扫频信号发生器简介	(215)
复习题	(218)
第五章 几种专用扫频仪简介	(219)
第一节 几种扫频仪的技术指标	(219)
第二节 几种磁调制扫频仪的比较	(230)
一、主控部分	(230)
二、扫频部分的比较	(237)
三、频标系统和显示器的区别	(238)
四、XS-7型超高频扫频仪简介	(240)
第三节 几种变容管扫频仪简介	(243)
一、收音机中频图示仪	(243)
二、电视图象中频扫频信号发生器	(244)
三、10.7MHz调频信号发生器	(246)
四、QF774型扫频振荡器	(247)
第四节 XS-11型微波扫频信号发生器简介	(248)
第五节 电视专用扫频仪简介	(249)
一、整机方框图	(250)
二、扫频振荡器	(251)
三、面板布置及技术性能	(255)
四、使用方法	(258)
复习题	(260)
附录	(260)
第六章 扫频仪的应用	(277)

第一节 测试前的准备工作	(277)
一、使用注意事项	(277)
二、使用方法	(278)
第二节 具体电路的测试方法	(284)
一、调谐放大器	(284)
二、电视接收机电路	(287)
三、雷达接收机电路	(295)
四、宽带放大器	(297)
五、铁路列车的无线电台	(298)
六、调测收音机的中频特性	(299)
七、通信设备中的有关电路	(301)
八、对其他组件的频率特性测试	(302)
第三节 用扫频仪查测电路故障	(304)
复习题	(308)
第七章 扫频仪的维修	(309)
第一节 扫频仪的故障分析	(309)
一、检修故障的原则	(309)
二、常用的查测故障方法	(310)
三、故障的分析与查找	(312)
第二节 显示器和电源部分的常见故障	(314)
第三节 扫频部分的常见故障	(323)
第四节 频标系统的常见故障	(333)
第五节 故障检修实例	(338)
复习题	(358)
第八章 扫频仪的检查和调整	(362)
第一节 扫频仪的定期检查	(362)
一、定期检查	(362)

二、检查扫频仪的主要技术指标.....	(365)
第二节 扫频仪的调整.....	(369)
第三节 扫频仪的校核.....	(376)
一、校核项目.....	(376)
二、校核记录表格.....	(384)
复习题.....	(388)

第一章 概 述

扫频仪是在示波器的基础上发展起来的一种频率特性图示仪。我们知道，示波器是一种能够显示两个互相关联电参量的 X Y 轴坐标图形的仪器。在示波管的 X 轴通道上加入随时间线性增大的扫描电压（一般为锯齿波电压），同时在 Y 轴通道上引入被测的电信号，那么，示波器就可以用来捕获、显示和分析时域波形。如果用扫描电压来控制正弦振荡器的振荡频率，从而使信号频率能够在一定范围内按一定规律作周期性的扫动，这就是扫频信号。扫频信号经被测电路作用则变成具有幅频特性的包络形状信号，再经检波探测器检出其包络轨迹，也就是频率特性曲线。那么，示波器采用了扫频技术后，便可以用来捕获、显示和分析频域波形。这是电子测量中的一门新技术，尤其在近年内发展很快，应用很广。

频率特性是电子部件、电路或系统设备的一项重要技术性能。例如各种接收机的选择性主要是由它的中频放大器的频率特性来决定的；通信传输线路的频率特性决定了该线路的传送信息质量和所能提供的信道数目；示波器的有效频率范围基本上由它的垂直放大器的频率特性所决定。由于频率特性如此重要，因此，历来是电子测量技术中一个很有意义的课题。

频率特性的含义包括幅度频率特性和相位频率特性，但平时相频特性用得较少，故一般说的频率特性如无特殊说明就是指幅频特性。

对于一个部件、一个网络或一个系统的频率特性测试方

8610012

法，大体上可以分为两类，即点频测量法和扫频测量法。

一、点频测量法

点频测量法是一种较原始的频率特性测试方法。它以正弦振荡器为信号源，采用电子电压表为接收信号的指示器。其测试电路的方框图如图1-1所示。

测试时，信号源的频率由低至高逐点调节（幅度保持不变），同时分别读出电压表上的数值。然后把信号频率的变化定为横座标，以电压幅度定为纵座标，逐点画出各点对应的电压值，便可描绘出一个平滑的曲线，这就是该被测系统（电路或器件）的频率特性曲线，参见图1-2。

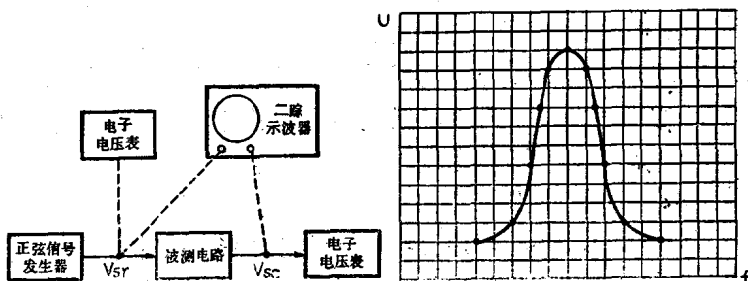


图 1-1 点频测量方框图

图 1-2 逐点测量的频率特性曲线

用点频测量法绘制成的曲线，属于系统始终处于稳定状态时的测试结果，通常称为被测系统的静态频率特性曲线。

点频测量法不仅操作比较繁琐、费时（如果被测电路的电抗参数稍有些变动，就得重复上述的测试，花费的时间就更多），而且，因选取点频数不够多可能漏测特性曲线中的一些细节，使得曲线精度不高。

【例1-1】 按图1-1测试某放大器的频响特性。

测试时，信号源的频率从低向高移动变化，输出幅度保持不变。在接收信号的电压表上分别测得各不同频率点的电压数值，填入表1-1的相应栏目内。

把表1-1的数据，分别在座标纸上标出，并连接各点，绘

表 1-1 放大器的点频测量数据表

频 率 (KHz)	输入电压 (V)	输出电压 (V)	频 率 (KHz)	输入电压 (V)	输出电压 (V)	备 注
0.1	0.1	0.18	10	0.1	1.0	
0.2	0.1	0.20	20	0.1	1.0	
0.4	0.1	0.35	30	0.1	1.0	
0.6	0.1	0.50	40	0.1	1.0	
0.8	0.1	0.82	50	0.1	1.0	
1.0	0.1	0.98	60	0.1	1.0	
2	0.1	0.99	70	0.1	1.0	
3	0.1	0.99	75	0.1	0.97	
4	0.1	1.00	80	0.1	0.72	
5	0.1	1.00	90	0.1	0.28	
			100	0.1	0.20	

成光滑的曲线，这就是点频测量法所测出的该放大器的频率特性曲线，参见图1-3。

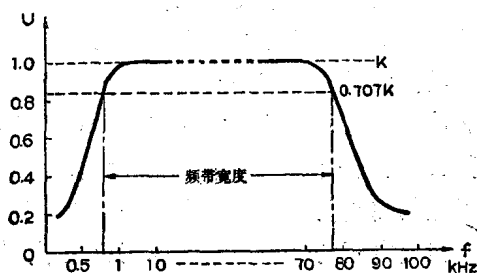


图 1-3 用点频测量法测出的放大器频率特性曲线

二、扫频测量法

测试频率特性的另一种方法是扫频测量法。为了简化点频测量法的过程，人们设想从两方面来改进：一是改进测试用的信号源，把逐点调节频率变为逐点扫动频率，这就是扫频信号源；二是改进接收信号的指示器，使信号随频率变动的轨迹用示波器直观地显示出来，从而直接得到被测电路的频率特性曲线。

扫频测量法的简要方框图如图1-4所示。

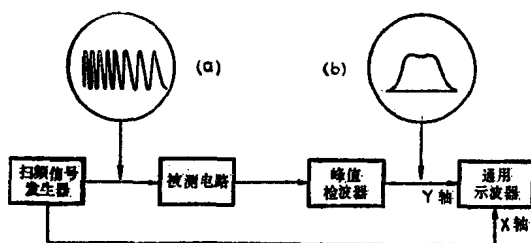


图 1-4 扫频测量简要方框图

扫频信号源实际上是一个振荡频率受扫描电压控制而变化的正弦振荡器。输出的电压幅度则保持不变，如图1-4(a)所示。扫频信号通过被测电路后，信号幅度将随被测电路的频率特性而变化，经检波后把幅度随频率变化的包络信号加到示波器的垂直(Y轴)通道上，从而得到相应的频率特性曲线，如图1-4(b)所示。控制扫频信号源的扫描电压，也是示波器水平(X轴)通道的扫描信号，扫描电压一般为锯齿波。在一个测试周期内，扫描电压的大小同时间成正比关系，即线性关系。这样，扫频信号的瞬时频率将随示波管的电子射线在水平方向位移的变化而改变。当扫描电压上升时，振荡频率则升

高。于是，扫频方式便使示波器从时域的测量变换成了频域的测量。

用扫频测量法所测得的图形曲线，称为动态频率特性曲线。所谓动态特性，就是被测部件处于相对快速运动工作状态的特性。在这种测量中，扫频信号源就是一般的调频信号发生器所产生的调频信号，因为调频信号发生器与示波器的扫描电压有机地联系成为一个整体。其变化规律协调一致，所以在扫频仪中把调频信号称为扫频信号，频率特性图示仪简称为扫频仪。

相频特性扫频测量的基本方法是利用鉴相器作接收指示。鉴相器有两个输入信号，一为扫频的被测电路的信号，另一个为直接的扫频信号，其输出电压由两个输入信号的相位差决定。把鉴相器的输出信号加于示波器的Y轴通道，同时在X轴通道加入与扫频同步的扫描电压，示波器的荧光屏上就能显示被测电路的相频特性。

扫频测量同点频测量相比，具有下述优点：

1. 扫频测量迅速方便，如与其他设备配合，在生产线上可实现半自动化或自动化测试。

2. 由于扫频信号的频率是连续变化的，因此，荧光屏上所显示的频率特性曲线是完整的，不像点频测量那样会漏掉点频间隔中间的频率特性曲线细节部分。

3. 点频测量靠人工逐点转换频率，换频速度慢，故仅能测量被测系统的静态频率特性曲线。扫频测量可进行快速扫频，所测得的是动态频率特性曲线。如滤波器的动态滤波特性、锁相环的动态跟踪特性等。此外还可以组成频谱仪，以便对信号进行频谱分析。

众所周知，在高频电路里，由于有电抗元件及分布参数的

存在，因此，对瞬时频率变化具有过渡过程的响应，电路的传输系数也就不一样，它对频率响应——即频率特性十分敏感。运用扫频测量法可迅速显示其动态频率特性曲线，重要的是反映在于“瞬时”。这对于研究、分析电路，对电路采取改进措施，以及检修电路故障等，提供了方便的条件。

4. 利用扫频测量，还能发现被测电路受外界干扰的影响，如受脉冲干扰、机械冲击干扰等，在荧光屏上能观察到干扰的情况，便于对设备电路采取改善措施。

三、实现扫频测量显示的要求

实现扫频测量的图形显示，应满足以下要求：

(1) 要有一个周期性变化的扫频信号源，也就是扫频信号发生器。其扫频范围应是可调的，扫频规律是线性的或对数的，输出扫频信号的幅度应是等幅的。

(2) 要有一个能从被测部件的输出信号中，检出幅频包络图形的检波器。

(3) 要用显示电路将上述包络信号进行放大，最后显示出被测部件的频率特性曲线。

(4) 在显示频率特性曲线的同时，还应标出曲线各点所对应的具体频率值，称它为频标信号。

通常把扫频信号发生器、频标信号发生器、示波器和检波器组成一个整体，即为扫频仪。

扫频测量的显示方法，一般分为两类：一为光点扫描式，例如BT-3型、BT-8型、BT-20型等用普通示波管来显示图形；另一类为光栅增辉式，例如xs-13型、xs-14型等用大屏幕显象管来显示图形。

1. 光点扫描式显示方法

扫频信号发生器输出的等幅扫频信号送入被测部件后, 将获得正比于频响特性的包络图形, 检波器检出包络信号的轨迹, 加到示波器的垂直放大器的输入端, 实现光点扫描, 在示波管的荧光屏上就能直接显示出被测部件的频率特性曲线。这种显示方法是通过光点扫描而获得连续的频率特性曲线, 故称为光点扫描式显示方法。

【例1-2】 图1-5是用BT-3型扫频仪测试电视机中频放大

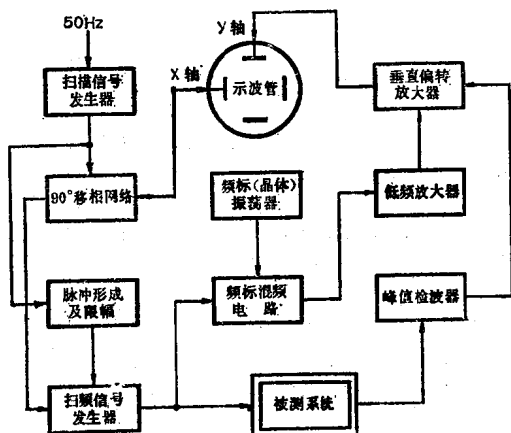


图 1-5 测试中频放大电路的频率特性

电路频率特性的简要方框图。中频放大电路的带宽为 8 MHz , 增益为 $60\sim 65\text{ dB}$ 。各主要部位的工作波形参见图1-6。

扫描电压采用市电正弦电压, 如图(a)所示。它供给扫频振荡器的调制电压和显示器的扫描电压。脉冲形成电路输出的消隐脉冲信号, 如图(b)所示, 它周期性地控制扫频。即在扫描正程时扫频, 逆程时则停止扫频。而扫频振荡器受扫描电压