

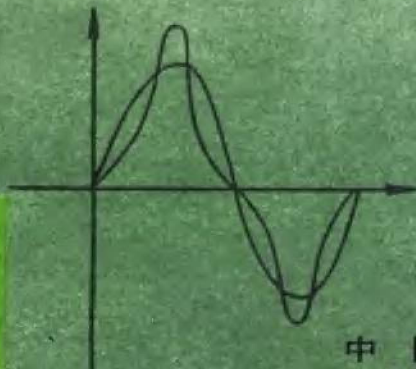


无线电计量测试丛书

80

失真与调制参数的 计量测试

艾明 吴达慎 张景文 编著



中国计量出版社

TB9
8
3

无线电计量测试丛书 8

失真与调制参数的计量测试

艾 明 吴达慎 张景文 编著



中国计量出版社

B 635064

内 容 提 要

本书是无线电计量测试丛书第八分册,着重阐述了失真与调制参数的计量测试问题。全书分三篇,分别论述失真度、调幅度及频偏。每篇包括四部分内容。第一部分介绍参数的基本概念,涉及参数的含义、用途与意义,有关的名词、术语,参数的性质与基础理论;第二部分讨论测量方法,对参数计量测试原理、实施方法、测量准确度、优缺点及适用范围作了较详细的论述;第三部分叙述测量仪器,介绍了参数专用测量仪器的基本原理、主要技术特性及其检测,仪器在国内外的的发展状况;第四部分阐述计量及标准,对量值传递系统作了简明的介绍,较多地叙述了检定装置及计量标准。

本书可供具有中等以上文化程度从事电子、无线电计量测试技术人员及大专院校有关专业师生参考,也可作为计量测试人员培训教材。

无线电计量测试丛书 8

失真与调制参数的计量测试

艾 明 吴达慎 张景文 编著

责任编辑 刘宝兰

—*—

中国计量出版社出版

北京和平里 11 区 7 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*—

开本 787×1092/32 印张 12.375 字数 280 千字

1989 年 7 月第 1 版 1989 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—7 000

ISBN 7-5026-0224-0/TB·194

定价 5.20 元

无线电计量测试丛书编委会

主 编: 汤世贤

副主编: 周清一 吴鸿适 张世箕 席德熊

编 委: (以姓氏笔划为序)

王义举	王立吉	戈锦初	古乐天
汤世贤	刘全宝	李世雄	吴鸿适
张世箕	张 伦	陈成仁	周清一
郭允晟	夏虎林	倪伟清	诸维明
席德熊	黄志洵		

本分册责任编委: 诸维明 李世雄

无线电计量测试丛书

1. 无线电计量测试概论
2. 高频、微波信号源及其稳定
3. 低频电压的计量测试
4. 高频电压的计量测试
5. 高频、微波功率的计量测试
6. 高频、微波场强与干扰的计量测试
7. 高频、微波噪声的计量测试
8. 失真与调制参数的计量测试
9. 脉冲参数与时域测量技术
10. 高频集总参数阻抗的计量测试
11. 微波阻抗与反射的计量测试
12. 数据域测试
13. 网络参数的计量测试
14. 高频、微波介质的计量测试
15. 高频、微波半导体器件的计量测试
16. 高频、微波相移的计量测试
17. 高频、微波衰减的计量测试

前 言

无线电计量测试丛书是根据中国计量出版社关于按学科分类组编计量测试丛书的总体设想和统一安排，在中国计量测试学会的高度重视和实际支持下，由本编委会邀请作者、组织编写和审订的。其目的是比较系统地传播无线电计量测试科学技术知识，促进电子学与无线电技术的发展，以适应科技进步和社会主义现代化建设的需要。

本丛书主要论述高频和微波电磁量的计量测试问题，一般不包括直流和低频的内容。丛书第一分册为“概论”，其余各分册分别阐述各主要参量及数据域的测试。“丛书”各分册既保持了相互联系，又是一本专题论著，具有独立性，因此将按成书的先后陆续出版。

本丛书的主要读者对象，是具有中等以上文化程度的无线电计量测试工作者、有关专业的科学技术人员、大专院校师生、计量管理干部，也可作为计量人员的培训用书。

无线电计量测试丛书编委会

编者的话

无线电电子学的基本任务在于传输信息。由声音、图像等信息转变成的音频和视频电信号，必须通过调制将其搬移至高频段，才能进行远距离发射与接收。接收端从高频已调波中解调出低频信号，复原声音、图像。

对电讯系统传输特性的研究主要基于频域稳态分析。对音频、视频网络，用单频正弦信号激励，研究其失真；对高频网络，用低频正弦信号调制的高频信号激励，研究其调制响应。目前采用的调制体制主要是调幅和调频。调制度——调幅度与频偏是传输信息的关键参数，失真度则是信息传输质量的验证。

本书专门讨论失真与调制参数的计量测试问题。全书分三篇，分别论述失真度、调幅度及频偏。每篇包括四部分内容。第一部分介绍参数的基本概念，涉及参数的含义、用途与意义，有关的名词、术语，参数的性质与基础理论；第二部分讨论测量方法。对参数计量测试原理、实施方法、测量准确度、优缺点及适用范围作了较详细的论述；第三部分叙述测量仪器。介绍了参数专用测量仪器的基本原理、主要技术特性及其检测，仪器在国内外的的发展状况；第四部分阐述计量及标准。对量值传递系统作了简明的介绍，较多地叙述了检定装置及计量标准。

本书作者分工如下：艾明编写调幅篇兼全书统稿工作；吴达慎编写失真篇；张景文编写频偏篇。本书由编委诸维明、李世雄审校，由主编汤世贤审定。在编写过程中，管冶

春、冯鸿麟同志曾参加讨论，并提供资料；中国计量科学研究院无线电处、国营七六六厂、浙江省计量局、天津市电子仪表质量中心试验所等单位的领导和同志给予了热情支持，谨此一并致谢！

由于作者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评、指正。

作 者

1988.12.

目 录

编者的话	(1)
------	-------

第一篇 失真参数的计量与测试

第一章 概述	(1)
第一节 失真的含义和失真测量的实际意义	(1)
第二节 有关的名词、术语	(7)
参考文献	(10)
第二章 非线性失真的测量方法	(11)
第一节 单音法	(11)
第二节 交互调制法 (双音法)	(20)
第三节 方波法	(24)
第四节 白噪声法 (动态法)	(25)
第五节 信号的概率统计分析法	(27)
附录 双 T 网络的传输特性	(30)
参考文献	(32)
第三章 其他频段失真的测量方法	(33)
第一节 超高频、高频失真的测量方法	(33)
第二节 视频失真的测量方法	(35)
第三节 超低频失真的测量方法	(36)
参考文献	(38)
第四章 失真度测量仪及其发展	(38)
第一节 失真仪的类型及其发展概况	(39)
第二节 通用失真仪的工作原理	(42)

第三节	失真仪的主要工作特性	(44)
第四节	失真仪的误差分析	(46)
第五节	超低失真测量仪	(53)
第六节	自动失真测量仪	(56)
第七节	失真仪的用途	(61)
	参考文献	(62)
第五章	失真仪的校准	(63)
第一节	失真仪的校准方法	(63)
第二节	几种“标准失真源”的方案简介	(66)
第三节	电压表波形误差的检验	(79)
	附录〔苏〕Эссенсон 复合波的波形因数和波峰因数的 计算	(82)
	参考文献	(84)
第六章	失真仪检定装置和失真度标准装置	(85)
第一节	失真仪检定装置	(85)
第二节	失真度标准装置	(106)
	附录 I 应用一级凹口滤波器测量非线性失真的数学 表达式	(118)
	附录 II 变形文氏桥基波抑制器传输函数公式的推导	(122)
	附录 III 应用两级凹口滤波器串联系统测量非线性失真的 数学表达式	(125)
	参考文献	(127)

第二篇 调幅度的计量与测试

第七章	概述	(129)
第一节	调制及其种类	(129)
第二节	调幅的应用与测量	(131)
第三节	调幅波的性质	(133)
第四节	调幅度的定义	(141)

第五节 调幅与检波原理	(144)
第六节 调幅波传输中的失真与干扰	(152)
参考文献	(156)
第八章 调幅度测量方法	(157)
第一节 波形测量法	(157)
第二节 频谱分析法	(172)
第三节 功率法	(187)
第四节 检波法	(193)
参考文献	(209)
第九章 调幅度测量仪	(209)
第一节 调幅度测量仪的基本原理	(209)
第二节 调幅度测量仪主要工作特性及其测试	(211)
第三节 调幅度测量仪的应用	(215)
第四节 调制度测量仪发展概况	(227)
参考文献	(245)
第十章 调幅度的计量及标准	(245)
第一节 调幅度计量及量值传递	(245)
第二节 频谱分析法调幅标准	(246)
第三节 线性检波法调幅标准	(251)
第四节 脉冲与数字技术产生标准调幅信号	(257)
参考文献	(265)

第三篇 频偏的计量与测试

第十一章 概述	(266)
第一节 频偏测量的意义	(266)
第二节 基本概念与技术术语	(266)
第三节 在实际工作中所遇到的频偏值与测量应用 范围	(269)
第四节 频偏测量的基础理论	(269)

参考文献	(275)
第十二章 频偏测量方法	(275)
第一节 频偏测量方法简介	(275)
第二节 贝塞尔函数零值法测量频偏与频偏仪检定 装置	(279)
第三节 频谱有效带宽法测量频偏	(300)
第四节 频谱幅度比值法测量频偏	(303)
第五节 示波器零拍法测量频偏	(310)
第六节 示波器极值法测量频偏	(314)
第七节 计数器平均值法测量频偏	(320)
第八节 定 K_f 值法测量频偏	(335)
参考文献	(342)
第十三章 频偏测量仪器——鉴频法测量频偏	(344)
第一节 鉴频器工作原理	(344)
第二节 频偏测量仪的组成与工作原理	(354)
第三节 频偏测量仪的主要工作特性	(355)
第四节 频偏测量仪的用途简介	(358)
参考文献	(366)
第十四章 频偏仪检定与频偏计量测试发展概 况	(367)
第一节 频偏仪频偏工作误差的检定	(367)
第二节 频偏测量仪主要工作特性的检测	(369)
第三节 频偏量值传递图表	(375)
第四节 频偏计量测试发展概况	(375)
参考文献	(383)

第一篇 失真参数的计量与测试

第一章 概 述

在无线电工程技术、无线电测量中，除正弦波信号外，还广泛地应用各种非正弦信号。因此，分析测量信号和设备的失真，选择和检验各种测量失真的仪器，是无线电计量测试的重要任务之一。

失真参数计量测试的基本任务是：

1. 分析与测试各种信号发生器输出信号的失真。
2. 根据不同的工作频段，不同的工程技术要求，选取测量失真的仪器。
3. 检测各种设备、网络在传送信号时所产生的失真。
4. 建立失真量值的传递系统。检定失真度测量仪和失真仪检定装置。

第一节 失真的含义和失真

测量的实际意义

一、失真的广泛含义及其产生原因

任何振荡器产生的正弦波信号都不会是单一频率的纯正弦信号；任何放大器、网络在放大，传输信号时也都会产生某种不同程度的失真。世界上的事物中，“纯”是相对的，

不纯才是绝对的。无线电信号失真可能发生于振荡器、发射机和接收设备内，也可能发生在信号从发射机到接收设备的传播途中。凡是确定的信号都有相应的频谱，其中每个频率分量都有一定的振幅和相位，各分量振幅及相位之相互变化导致无线电信号失真。为了不发生无线电信号的失真，必须满足下列条件：（1）频谱中所有各个分量的振幅的变化必须相同，即任意两振幅的比例关系保持不变；（2）频谱中所有各个分量的相位必须与分量的频率成比例地变化，即比式 ϕ/f 的值为常数，式中 ϕ 是频率为 f 的分量的相移。

此外，不是所有的失真状况都是有害的，人们也常常利用传输设备的某些失真，人为地改变信号传输特性，以达到特殊的工程技术要求。例如：扩大机在播送新闻节目时，为了提高语言的清晰度，人为地适当压低放大器高频增益；而在播送音乐节目时，提高放大器的低频增益，使音质雄厚；提高放大器的高频增益，使音质响亮清脆，节奏感增强。

假如笼统地讨论“失真”及其产生原因，则包含着非常广泛的领域，例如：放大设备的传输失真、调制器的失真、变频器的失真、电视设备的包络失真、电视图象显示的几何失真、色调失真和电声设备的失真等，这将是许多工程技术学科研究的问题。我们局限地研究无线电频段内放大器的失真，信号通过放大器可能会发生以下几种失真，用图 1-1、图 1-2 和图 1-3 来简单地说明。

放大器对于输入信号电压的各种频率分量，不能给予同样放大，因而使放大器输入信号的各种频率分量的幅度失去原有的比例关系，这样所造成的失真称为“频率失真”。

当复杂信号电压的各个频率通过放大器所得到的相位移不和它们的频率成正比时，也会使输出信号波形产生失真，这种失真称为“相位失真”。

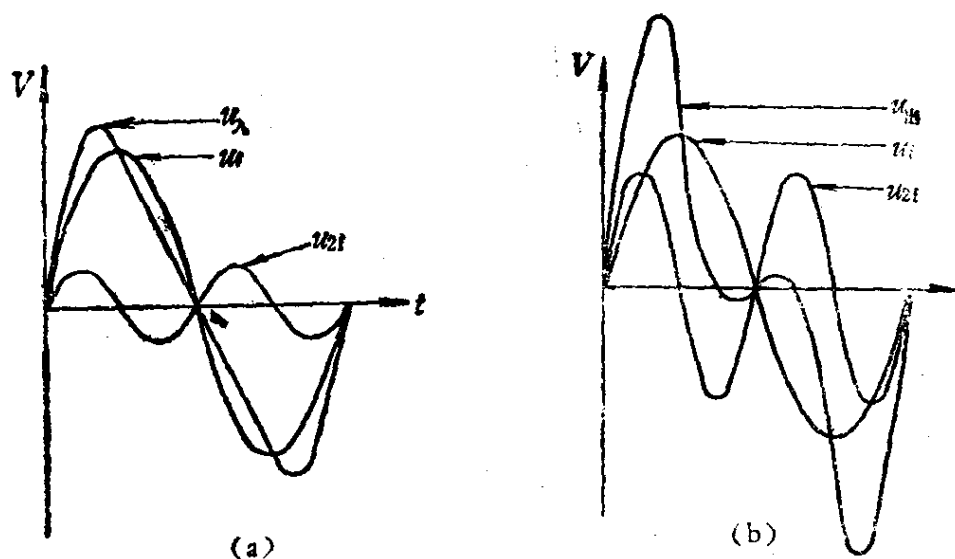


图 1-1 频率失真

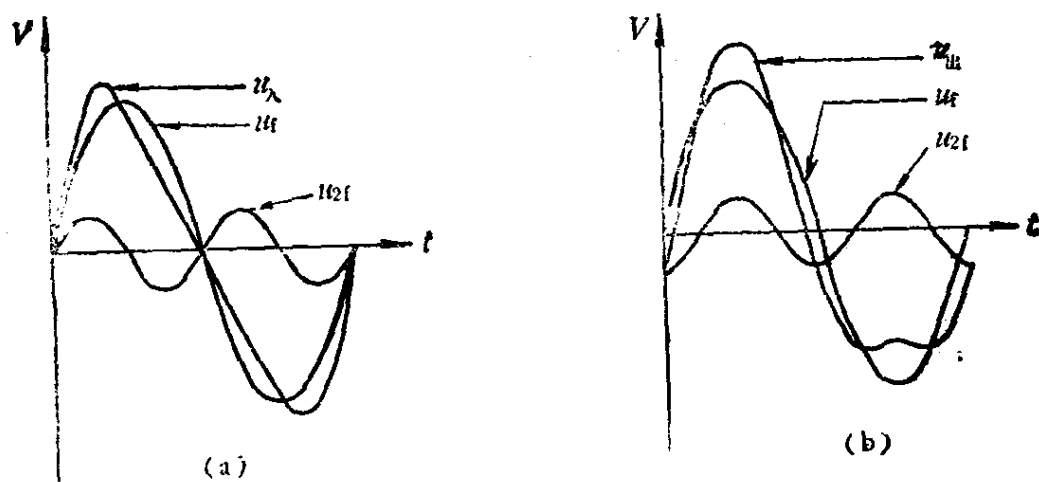


图 1-2 相位失真

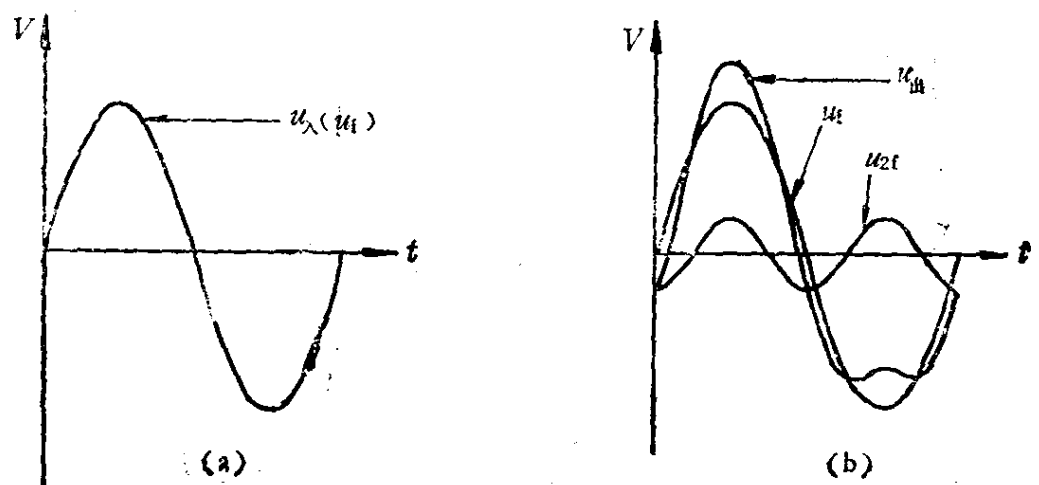


图 1-3 非线性失真

在声频放大器中，相位失真并不起重要作用，因为人耳对于信号的振幅的变化是比较敏感的，而对相位变化则不太敏感。因此，一般在声频放大器中只考虑频率失真问题，不太注意相位失真。不过在视频放大器和脉冲放大器中，则相位失真和频率失真具有同等重要的意义，因两者都会造成输出信号的波形失真。

但是，相位失真和频率失真是密切相关的。因为这两种类型的失真是由共同的原因产生的，即存在于放大线路中的电抗元件所引起的，又因为这些元件都是线性元件，所以这两种失真又称为直线性失真。

如果传输网络的输出中，包含有任何与输入信号不同的频率分量，那么这种失真称为非线性失真。所产生的一些新频率的信号分量，便是该传输网络非线性的一个量度。

电子电路中常用的器件，例如：电子管、晶体管、运算放大器、变压器和铁磁体器件等都是非线性器件。而任一非线性器件的伏安特性均可表示为

$$i = f(u) = f(U_0 + \Delta U) \quad (1-1)$$

当输入交变量信号时，上式按泰勒级数展开为

$$\begin{aligned} i = f(U_0) + f'(U_0) \cdot \Delta U + \frac{1}{1 \cdot 2} \cdot f''(U_0) \cdot \Delta U^2 \\ + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot f'''(U_0) \cdot \Delta U^3 + \dots \end{aligned} \quad (1-2)$$

若输入信号为单一正弦信号时，

$$\Delta U = U_m \cdot \sin \omega t$$

代入式 (1-2)，则得

$$i = f(U_0) + f'(U_0) \cdot U_m \cdot \sin \omega t + \frac{1}{2} f''(U_0) \cdot U_m^2$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \sin^2 \omega t + \frac{1}{6} \cdot f'''(U_0) \cdot U_m^3 \cdot \sin^3 \omega t + \dots \\
& = f(U_0) + \frac{1}{4} f''(U_0) \cdot U_m + f'(U_0) \cdot U_m \cdot \sin \omega t \\
& \quad + \frac{1}{24} \cdot f'''(U_0) \cdot U_m^3 \cdot \sin \omega t - \frac{1}{4} f''(U_0) \cdot U_m^2 \cdot \cos 2\omega t \\
& \quad - \frac{1}{24} \cdot f'''(U_0) \cdot U_m^3 \cdot \sin 3\omega t + \dots \quad (1-3)
\end{aligned}$$

由式 (1—3) 可见, 对于一个非线性传输网络, 即使输入信号为单一频率的正弦波, 其输出信号中除具有被传输的原频率分量外, 又产生了新的、高次谐波频率分量。

如果传输网络的输入信号为两个频率分量以上的合成信号, 那末其输出信号中除有各频率分量及其诸各次谐波分量外, 还会产生各频率分量的诸次和、差分量。

在低频段内, 网络产生的非线性谐波失真相比其他线性失真更难消除, 它对无线电工程、电声工程的实际影响更大, 同时非线性谐波失真的计量测试技术发展较早、较成熟, 实际应用也较广泛。因此, 本篇的论述只局限于非线性谐波失真 (以下简称“失真”) 的计量测试问题。

二、失真测量的实际意义

失真度是无线电参数中一项常用的量值。经验指出: 对于音乐, 人耳大约可以察觉出 0.7% 左右的失真度; 对于话音, 人耳只能分辨 3~5% 左右的失真度。失真测量对于通讯、广播、电话等工程的意义是确保信号真实、清晰地传输。不同等级的收音机、录音机和电视机对失真指标都有相应的技术标准规定。在军事、国防方面, 雷达的分辨力和信号失真有关; 发射机的效率和接收机的灵敏度也与信号失真