

常用电子测量仪器 的 使 用

〔英〕A. M. 鲁特金 主编

谢瑞和 黄志良 译
谢自美 王观兰

电子工业出版社

(京)新登字055号

内 容 简 介

本书对于现代常用的电子测试设备的工作原理及电路组成、正确地选择与操作使用方法分门别类地作了介绍,详细阐明了各种测试操作中的主要误差来源及其所造成的影响与解决办法。取材有明显的特色。本书将帮助读者理解各种仪器的工作原理,掌握合理使用仪器,充分发挥其最大效能,以最合理的测试方法取得最精确结果的方法。适合于从事电子测试设备研制与应用的广大科技工作者及工科电子类专业的广大师生阅读。

常用电子测量仪器的使用

[英] A. M. 鲁特金 主编

谢瑞和 黄志良 译
谢自美 王观兰

责任编辑:魏永昌

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

长春新华印刷厂印刷

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 9.5 字数: 255.3千字

1985年7月第1版 1991年8月第2次印刷

印数: 20000—31300册 定价: 4.30元

ISBN 7-5053-1358-4/TN·407

目 录

译者的话

序言

第一章 低频振荡器	1
§1-1 设计	1
1. 阻容网络振荡器	1
2. 函数发生器	4
3. 数字合成低频振荡器	6
§1-2 应用	8
1. 频率响应的测量	8
2. 电压放大系数的测量	12
§1-3 其它应用	13
1. 失真度测量	13
2. 两相振荡器	14
§1-4 误差来源	14
第二章 信号发生器	16
§2-1 信号发生器的分类	16
1. 基本振荡器	17
2. 外差振荡器	17
3. 倍频振荡器	18
4. 分频振荡器	19
5. 合成振荡器	20
§2-2 设计考虑	20
1. 高频振荡器	21
2. 调制处理	24
3. 输出级	26
4. 控制系统	27
§2-3 一般应用	27

1. 信号的连接	29
2. 接收机灵敏度	31
3. 信噪比	34
4. 带宽	34
5. 容许调制带宽	35
6. 音频响应	35
7. 谐波失真	36
8. 立体声隔离度	37
9. 邻信道选择性	37
10. 假响应衰减	38
11. 假响应抑制	39
12. 互调响应抑制	39
13. 阻塞	40
§2-4 其它应用	41
1. 电压驻波比测量	41
2. 扫频测量	42
3. 互调制测试	43
4. 晶体测试	44
§2-5 误差	45
第三章 扫频信号发生器	50
§3-1 设计	51
1. 频率的产生	52
2. 输出控制	55
3. 频标系统	56
§3-2 应用	57
1. 滤波器测试	58
2. 放大器测试	61
3. 示波器带宽的测量	62
§3-3 其它应用	63
1. 隔直流	63
2. 匹配衰减器	64

3. 外电平控制	64
4. 电缆的测量	65
5. 电压驻波比电桥测量法	67
6. 调谐检波	69
7. 简单频谱分析	69
8. $X-Y$ 绘图仪	70
§3-4 误差	71
第四章 电压表	78
§4-1 模拟电压表	78
1. 直流电压表	79
2. 交流电压表	80
3. 高频电压表	83
4. 模拟电压测量及误差	84
§4-2 数字电压表	86
1. 数字万用表的基本原理	87
2. 数字万用表的性能指标	91
3. 微处理器数字万用表	93
4. 数字万用表的系统使用	94
5. 数字电压表的应用	98
第五章 音频和高频功率表	101
§5-1 音频功率表	101
1. 设计	101
2. 操作和应用	105
3. 误差	106
§5-2 高频功率表	107
1. 设计和工作原理	108
2. 应用	113
3. 误差	114
第六章 失真度仪	117
§6-1 设计	120
1. 失真测量仪	121

2. 互调失真仪	122
3. 失真测量系统	124
§6-2 应用	126
1. 谐波失真测量仪	126
2. 互调失真测量	129
§6-3 扩展应用	131
§6-4 测量误差	133
1. 操作误差	133
2. 仪器误差	134
第七章 数字频率计与计数计时器	136
§7-1 频率计	136
1. 直接选通	138
2. 预定标	138
3. 外差降频变换	139
4. 转移振荡器	141
5. 谐波外差变换	142
6. 性能的比较	143
§7-2 低频计数器	144
1. 倒数计数器	145
2. 低频倍乘	146
§7-3 计数计时器	146
§7-4 输入电路	148
§7-5 精度	150
1. 频率测量误差	150
2. 周期测量误差	151
3. 时间间隔测量误差	153
§7-6 石英晶体	155
1. 物理性能	156
2. 温度特性	157
3. 老化率	158
§7-7 基准振荡器	161

1. 温度补偿晶体振荡器	161
2. 恒温箱控制晶体振荡器	161
3. 外部基准振荡器	162
第八章 调制度测量仪	163
§8-1 设计	
1. 高频信号处理	163
2. 中频放大级	164
3. 检波器	165
4. 低频级	167
5. 高频调谐	168
6. 微处理器控制	169
§8-2 操作与应用	170
1. 信号连接	170
2. 常规测量	171
3. 滤波器选择	172
4. 外接本机振荡器	173
§8-3 扩展应用	175
1. 信噪比	175
2. 剩余调制	177
3. 寄生调制	178
4. 频率响应	180
5. 失真	180
6. 立体声隔离度	180
§8-4 误差	181
第九章 示波器	185
§9-1 设计	187
1. 双线示波器	191
2. 取样示波器	193
3. 存储示波器	194
§9-2 操作	198
1. 探头	198

2. 垂直放大器	199
3. 时基	201
4. 触发	201
5. 存储	206
§9-3 扩展应用	209
§9-4 误差	211
第十章 频谱分析仪	214
§10-1 设计性能	218
§10-2 应用	229
1. 失真	230
2. 振幅调制	230
3. 频率调制	231
4. 脉冲调制	231
§10-3 扩展应用	233
1. 自动频谱分析	233
2. 激励源响应的测量	235
3. 毫米波的测量	237
4. 三阶互调失真	238
5. 噪声系数	239
6. 电磁干扰	240
§10-4 精确度的改善	242
1. 仪器准确度	242
2. 测量方法	243
3. 操作误差	244
第十一章 元件电桥	246
§11-1 电桥原理	247
1. 西林电桥	247
2. 麦克斯韦电桥	248
3. 变量器比率臂电桥	248
4. 三端测量	251
5. 四端测量	252

6. 自动平衡	254
7. 自动电桥	255
8. 元件仪表	257
§11-2 电 桥 选 择	257
1. 测量频率	257
2. 测量电平	258
3. 测量象限	258
4. 测量速度	260
§11-3 元 件 测 量	261
1. 电阻的测量	261
2. 电容的测量	262
3. 电感的测量	263
§11-4 误 差 和 校 准	266
第十二章 微处理机与程控仪器	269
§12-1 微 处 理 机	270
1. 控制单元	270
2. 存储器	271
3. 输入输出	272
4. 中央处理单元	273
5. 位片式微处理机	274
§12-2 程 序 设 计	275
1. 机器语言程序设计	276
2. 高级语言程序设计	278
§12-3 数 据 总 线 标 准	279
1. 并行总线	280
2. 串行总线	282
§12-4 通 用 接 口 总 线	285
§12-5 程 控 仪 器	290
§12-6 自 动 测 试 系 统	291

第一章 低频振荡器

低频振荡器在电子线路与系统的设计、测试和维修中获得了广泛的应用，不过这里所指的电子线路与系统，从本质上讲通常都是模拟的，而不是数字的。至于最明显的应用，可以说就是音频放大器了。这种放大器是收音机及电视机中必要的部分，在有线广播系统或高保真度放大器中更要用到它。然而，低频振荡器的应用不仅局限于通常为20赫至20千赫的音频段，对于伺服机构和结构及环境试验的振荡器的原始激励，其下限频率可低于1赫，而在超声学与大量电路测试的应用中，它的上限频率也可以扩展到1兆赫。大多数低频振荡器都是产生一正弦波输出，也有许多还能提供另外一种波形。

§1-1 设计

产生低频正弦波的方法很多，对于仪器来说，一般采用阻容网络振荡器、函数发生器与数字合成振荡器。

1. 阻容网络振荡器

对于这种振荡器，最通用的是如图1.1所示的文氏网络与图1.2所示的相移网络。图1.3给出了文氏电桥的幅频响应与相移网络的相位响应。可见，它们具有确定振荡频率的特性。为了维持振荡，还需要一个放大器来补偿网络中产生的损耗。对于文氏电路来说，放大器的增益为3，相移网络则为-29。为防止振荡幅度增长到放大器的饱和区，还应有增益控制器件稳定输出的幅度，为此通常使用热敏电阻，如图1.4所示。

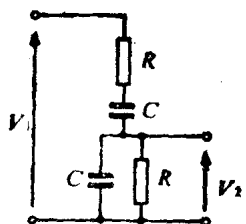


图1.1 文氏桥式网络

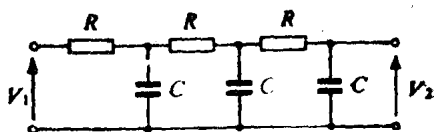


图1.2 相移网络

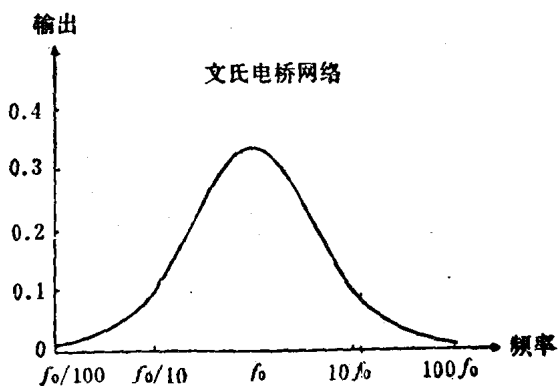
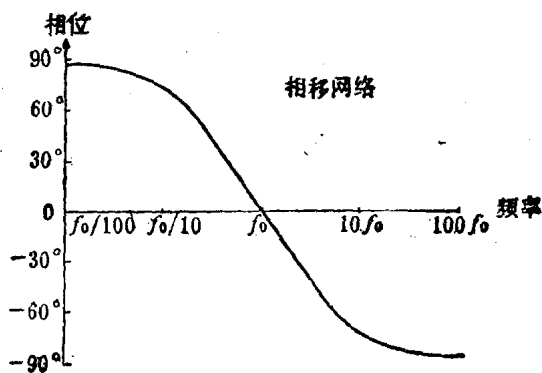


图1.3 文氏电桥与相移网络的响应

振荡器的输出频率通常要求在10倍的范围内可调，其方法是改变同轴电位器的电阻，或用同轴空气介质可变电容器。在采用电位器的振荡器中，切换不同的固定电容值还可得到不同的10倍频段，而在采用可变电容的振荡器中，则可以切换电阻。频率仅取决于 RC 网络的元件值，通常这些元件值都很稳定，所以这类振荡器的输出频率也很稳定。

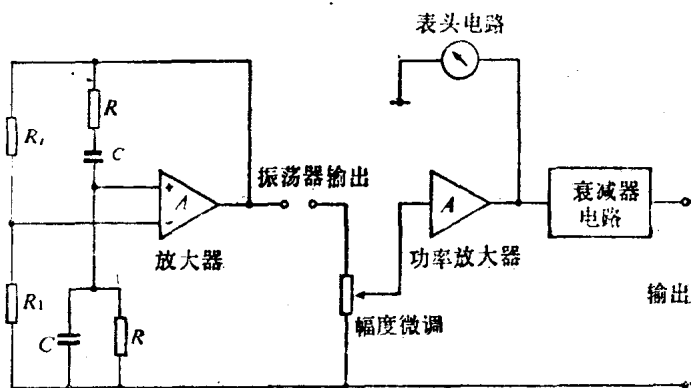


图 1.4 使用热敏电阻 R_1 作为增益控制器件的文氏桥式振荡器方框图

频率刻度

文氏桥式振荡器的输出频率与元件值成倒数关系，即

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

通常，选择一个可变控制器使上述基本关系变换为对数刻度。初看起来这似乎是自找麻烦，但结果表明，对于许多应用来说，它比表面上看起来更加理想的线性关系有用得多。对数刻度的主要特点是：在刻度的任何位置，当度盘旋转很小的位置时，频率的变化具有相同的百分比。这就意味着，在仪器的整个频率范围内，使用者都会获得相同的百分比分辨率。

幅度

大多数阻容振荡器都能提供一个可变衰减控制器和一个连续可变微调控制器，以便改变输出大小。这种振荡器的幅值稳定性取决于放大器中的增益稳定器件。这里用的是热敏电阻，因而输出幅度具有明显的温度关系。在较好的此类仪器中，通常都装有表头，它以电压或毫瓦分贝刻度，或者两者同时刻上。

2. 函数发生器

函数发生器的基本工作原理以三角波的形成为基础。所谓三角波就是正向与负向斜坡占据相同时间的一种锯齿波。产生这种输出信号的电路由一个积分器和一个具有内部滞后特性的电平灵敏开关构成，这个电平灵敏开关可以交替切换馈给积分器的电压的正负极性。调节积分器输入电压的幅度，或者改变积分电容的大小就可控制输出信号的频率。实际电路中常采用电位器改变电压幅度进行频率微调，通过切换电容的大小获得通常是10倍频程1的频段转换。这种发生器的工作频率与多方面的因素有关，如果设计中不是十分谨慎地考虑这些因素，则频率稳定性就不高。图1.5是一个函数发生器的方框图，它的输出波形如图1.6所示。特别值得注意的是方波输出与正弦波输出之间的相位关系。

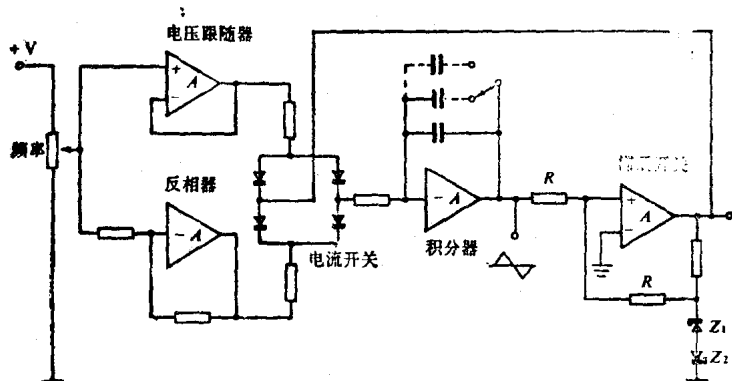


图1.5 函数发生器的方框图

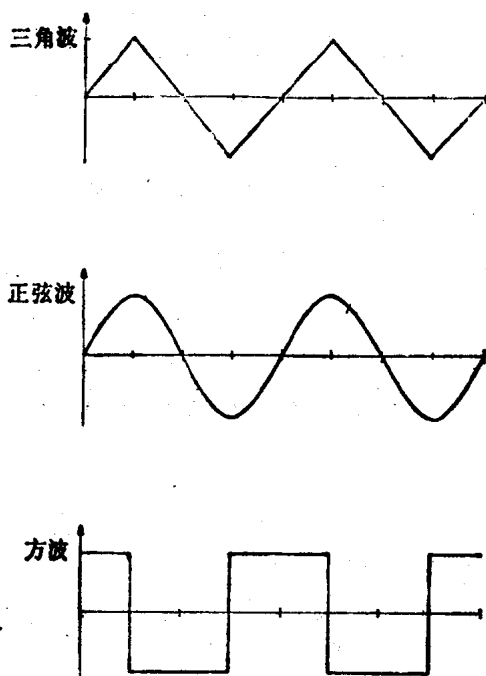


图1.6 函数发生器的波形

由上述电路得到的三角波再通过一个非线性形成网络，当输入电压幅度上升时，这个网络对信号幅度的衰减也随之加强，结果波形顶部被削掉，因而输出接近正弦波。可见，这种电路的波形失真较大，典型值为1.5%。函数发生器通常都使用开关来选择三角波、滞后开关输出的方波及形成的正弦波，使用者通过它将需要的任一种波形送至输出放大器。输出放大器与衰减器部分通常与前述的 RC 振荡器的一样。

频率调节

如前所述，改变积分单元的输入电压就可以进行频率微调。只要使用一只电位器再配上频率刻度即可，也可以采用电压控制输出频率。外加电压与输出频率之间呈现简单的线性关系，因而度盘上也是线性刻度。设计函数发生器电路时，往往使得在电容

器的任意给定范围内可以给出 $100 \sim 1$ 的频率容量。众所周知，表面上似乎很理想的线性刻度，实际上有不少缺点，在文氏电桥一节中已经提到过这个问题。在线性刻度频率的情况下，若度盘覆盖 $1000 \sim 1$ 的频率范围，则最高的10进位覆盖了度盘的90%，下一个10进位的复盖小于10%，第三个10进位则小于1%。由此不难理解，在任意的频率范围内，低于最高10进位后的频率准确度，分辨率与稳定度都是很不可靠的。因此在许多发生器中，在频率微调电位器与积分器之间插进一个对数电路，这样尽管频率精度通常不会有很大的改善，但在较低的两个10进位上就可获得较高的分辨率。

扫描

如果用另一个发生器产生斜坡电压去逐步升高输出频率，那么采用这种压控振荡器的函数发生器就可以输出自动扫描频率。斜坡电压通常和频率度盘电位器所提供的电压相迭加，这样，就可以用度盘来设置扫频开始的最低频率。其次，斜坡电压的幅度将决定扫频的上限。大多数优质的函数发生器都有相应的斜坡电压发生器，在低成本设计中，扫描速度是固定的，而在高档产品中，扫描速度与幅度都是可调的。

3. 数字合成低频振荡器

在这种仪器中，正弦波是由数字信息转换为模拟输出而形成的。将与正弦波第一象限内等量的角度增量（例如每隔3度）相对应的电压幅度编成二进制数字存储在只读存储器（ROM）中。对于峰值电压为255毫伏的正弦波来说，用32字节的8位ROM较方便，这样，每一级的精密度都会优于0.5毫伏，因为8比特相对于255来说其分辨率为1。在图1.7中，我们用较少的级数来表示这一设想。为了读出数字量，只要一个5位的二进制计数器即可对ROM寻址，其计数脉冲由时钟源产生，它们相继到达输出端。如果这些数字量都被取到D/A转换器，则在输出端就得到

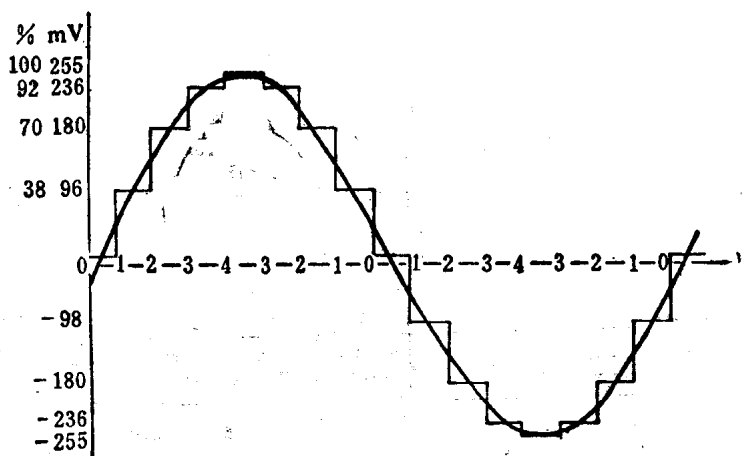


图1.7 用阶梯波合成正弦波

这种阶梯形正弦波的第一象限的波形。将上述计满了30的计数器倒过来计数又可以得到第二象限的波形，然后将 D/A 转换器的输出反相，再重复上述过程即可得到完整正弦波所需的第三、四象限的波形。

不断重复上述过程就可以产生连续的正弦波。因为是时钟振荡器给二进制计数器输送计数脉冲，在本例中，每个象限都取了三十个阶梯，故它的频率等于时钟振荡器频率除以120。在图1.8中，我们通过图解示出了这个系统。

优越性

这个系统有何优点？首先，时钟振荡器输送给计数器的是脉冲，而脉冲序列很容易由数字集成电路产生。时钟振荡器只要有10倍范围的频率覆盖即可。较低的频率很容易通过10分频计数器得到。此外，借助电扫描法使脉冲振荡器覆盖很宽的范围要比正弦波振荡器扫描容易得多。在锁相环中，通过 n 分频计数器可以将脉冲振荡器锁定在晶体基准频率的分谐波上。采用这种方法，发生器输出的频率可以获得很高的精密度，它的失真也比我们前

面设想的方案要小。这种阶梯输出波形不需要任何进一步的处理过程，其失真系数将会小于1.5%。由于最低的谐波是120次，所以只要一个相当粗糙的低通滤波器就可将失真系数改善到低于0.1%。最后一个优点是，由于数字—模拟转换器本身的特点，使得仪器具有很高的幅值稳定性。

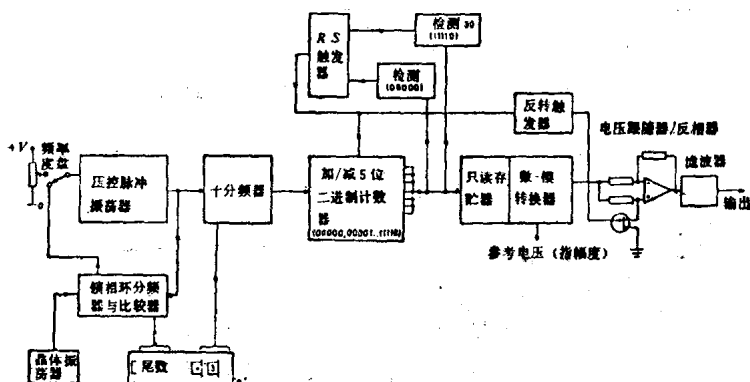


图1.8 合成低频振荡器的方框图

§1-2 应用

1. 频率响应的测量

可以说，低频信号发生器最通常的一个用途就是测量电路的频率响应。图1.9即是一个简单的实验方案。

首先将频率调到待测电路响应的中心频率附近，调整振荡器的输出幅度，直到电压表的读数约为满刻度的3/4。然后在若干不同的频率点取得相应的读数，将结果作图即可。

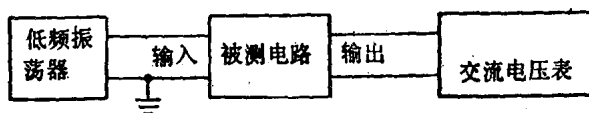


图1.9 频率响应的测量