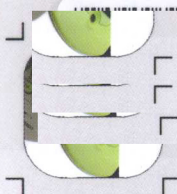


手机维修系列丛书



用手机修示波器

◎ 张兴伟 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

手机维修系列丛书

用示波器修手机

张兴伟 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍利用示波器检修手机电路的方法。全书共9章, 主要内容包括手机电路波形测量基础、示波器基础、手机维修基础、示波器检修PMU电路、示波器检修接收机电路、示波器检修发射机电路、示波器检修频率合成电路、示波器检修音频电路和示波器检修基带电路。

本书内容详实丰富, 极具实用性, 可供手机维修人员及广大电子爱好者使用。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

用示波器修手机/张兴伟等编著. —北京: 电子工业出版社, 2011. 3

(手机维修系列丛书)

ISBN 978-7-121-13027-4

I. ①用… II. ①张… III. ①示波器—应用—移动电话机—维修 IV. ①TN929.53

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第033667号

策划编辑: 柴 燕 (chaiy@phei.com.cn)

责任编辑: 贾晓峰

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11 字数: 282千字

印 次: 2011年3月第1次印刷

印 数: 4000册 定价: 29.00元(含光盘1张)

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

手机维修的过程是一个分析、检测、判断、再分析、再检测、再判断与处理的过程。因此,在进行手机故障检修时,对手机电路的检测是相当重要的。

用于手机维修检测的设备有很多,如频谱分析仪、示波器、频率计、万用表、综合测试仪等。要想用好测试设备来检修手机电路,需要有一定的电路基础与手机电路知识。只有掌握了手机电路的原理,才能利用一些简单的设备对手机进行一些必要的检测。

对于大多数手机维修人员而言,无论是从资金投入方面考虑还是从应用层面考虑,示波器都是一个不错的选择。

另外,手机维修相关的书籍虽然非常多,但还鲜有系统阐述示波器在手机电路检修方面的书,因此,我们决定编写这本用示波器检修手机电路的书。

本书介绍了一些示波器应用的必要基础知识,重点在于用示波器对手机各单元电路的检修操作,以大量的电路实例来进行分析,使读者能在手机检修方面找到参考。同时,为了便于读者理解,书中给出了大量的信号波形图。

需要注意的是,检测知识是手机维修中的一个重要环节,它是通过设备对电路各种参数的测量来判断相关的电路工作正常与否的。检测结果出来后,还有更重要的工作——通过对电路进行分析、对测量结果进行分析,决定下一个检修步骤应该做什么。

当然,方法是人想出来或从实践中总结出来的,不同技术层面的人有不同的考虑。书中所述的方法未必是最好的,若能在方法上得到更好的指正,则受益的是大家。

本书由张兴伟等编著。由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请有关专家和读者批评指正。

编著者
2011年3月

目 录

第1章 手机电路波形测量基础	1	3.2.3 电流法	41
1.1 概述	1	3.2.4 频率检测法	42
1.2 正弦信号	3	3.2.5 波形检测法	42
1.2.1 信号的频率	3	3.2.6 频谱检测法	43
1.2.2 信号的幅度	4	3.2.7 短路法	43
1.2.3 信号的相位	5	3.2.8 开路法	43
1.3 时域与频域中的信号	6	3.3 手机电路中的信号	43
1.3.1 时域中的信号	6	3.3.1 电源管理单元电路的 信号	43
1.3.2 时域和频域的关系	6	3.3.2 接收机电路中的信号	44
1.4 脉冲信号	10	3.3.3 发射机电路中的信号	45
第2章 示波器基础	13	第4章 示波器检修 PMU 电路	47
2.1 示波器概述	13	4.1 电池接口电路	49
2.1.1 模拟示波器	14	4.1.1 检修供电通道	49
2.1.2 数字示波器	15	4.1.2 检修电池监测电路	54
2.2 示波器系统与控制	18	4.2 实时时钟	57
2.2.1 垂直控制	18	4.2.1 实时时钟电源	57
2.2.2 水平控制	20	4.2.2 实时时钟电路	59
2.2.3 触发系统和控制	21	4.3 开机触发信号电路	60
2.3 示波器的带宽	24	4.3.1 低电平触发开机电路	61
2.3.1 带宽与正弦信号	24	4.3.2 高电平开机触发电路	62
2.3.2 带宽与上升时间	25	4.3.3 充电开机	64
2.4 探头	26	4.3.4 电源开关键功能电路	66
2.4.1 示波器探头	26	4.4 电压调节器电路	66
2.4.2 补偿探头	28	4.4.1 参考电源	66
2.5 简单示例	29	4.4.2 基带与射频电源	68
第3章 手机维修基础	31	4.4.3 开关电源	70
3.1 手机理论基础	31	4.5 复位与开机维持	72
3.1.1 电路结构	31	4.5.1 复位电路	72
3.1.2 单元电路	36	4.5.2 开机维持电路	74
3.1.3 识图与分析	39	4.6 充电电路	75
3.2 手机维修的检测方法	41	第5章 示波器检修接收机电路	77
3.2.1 电阻法	41	5.1 天线电路	77
3.2.2 电压法	41	5.1.1 天线开关电路	77

5.1.2 示波器检修天线开关 电路	78	7.2.1 概述	117
5.2 低噪声放大器	81	7.2.2 VCO 模组的接口	118
5.2.1 概述	81	7.3 示波器检修 VCO 的方法	119
5.2.2 示波器检修 LNA	82	7.3.1 测试信号	119
5.3 混频电路	86	7.3.2 用示波器快速检修 射频 VCO	121
5.3.1 概述	86	7.3.3 实例	122
5.3.2 示波器检修混频器	87	7.4 检修 PLL 电路	124
5.4 解调电路	88	第 8 章 示波器检修音频电路	126
5.4.1 概述	88	8.1 接收音频	126
5.4.2 基带信号	89	8.1.1 受话器音频	126
5.4.3 检修解调电路	91	8.1.2 免提音频	129
第 6 章 示波器检修发射机电路	94	8.2 发射音频	136
6.1 调制电路	94	8.2.1 模拟送话器	136
6.1.1 概述	94	8.2.2 数字送话器	138
6.1.2 TXIQ 信号	94	8.3 耳机电路	140
6.1.3 检修 TXIQ 调制电路	96	8.4 和弦音铃声电路	142
6.2 上变频电路	97	第 9 章 示波器检修基带电路	145
6.2.1 概述	97	9.1 概述	145
6.2.2 检修上变频电路	98	9.2 检修卡接口电路	153
6.3 偏移锁相环电路	101	9.2.1 SIM 卡接口电路	153
6.3.1 概述	101	9.2.2 存储卡接口电路	154
6.3.2 TXVCO 电路的信号	102	9.3 检修显示与照相机接口电路	155
6.3.3 检修 TXVCO 电路	103	9.3.1 显示接口	155
6.4 功率放大电路	105	9.3.2 照相机接口	159
6.4.1 概述	105	9.4 状态监测与灯电路	162
6.4.2 检修功率放大电路	105	9.4.1 翻盖、滑盖、位置监测 电路	162
6.5 检修射频芯片电路	110	9.4.2 灯控制电路	163
第 7 章 示波器检修频率合成电路	113	9.5 振荡器与触摸屏	165
7.1 参考振荡	113	9.5.1 振荡器	165
7.1.1 概述	113	9.5.2 触摸屏电路	166
7.1.2 检修参考振荡电路	114		
7.2 射频 VCO	117		

第 1 章 手机电路波形测量基础

1.1 概述

电路中的信号种类有很多,可分为模拟信号和数字信号,也可分为高频信号、低频信号,或分为直流信号、交流信号等。除了上述分类之外,还有很多分类,如确定信号和随机信号、连续时间信号和离散时间信号、周期信号和非周期信号等。

简单地说,不断重复的信号称为周期信号,而不断变化的信号称为非周期信号。换句话说,周期函数若在时间上恰好变化一个周期,所得到的信号函数看上去仍同原来的函数一样。时间的周期函数每隔 T 秒便重复出现一次(见图 1.1),而图 1.2 则是一个非周期信号。

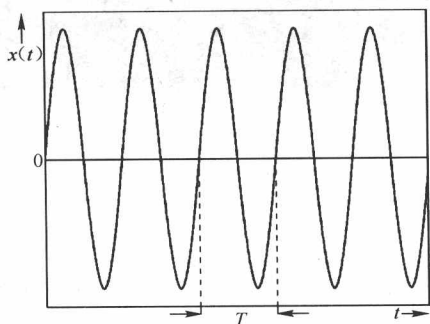


图 1.1 周期信号每隔 T 秒便重复出现一次

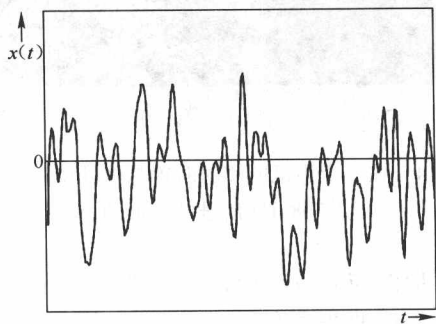


图 1.2 非周期信号

波形是信号的图形表现形式。波形有无数种。如果按波形来分,周期信号可分为正弦波、方波、矩形波、三角波、锯齿波、阶跃波、脉冲波等,如图 1.3 所示。正弦波的波形是按照正弦规律变化的,只有单一的频率成分,方波、三角波和阶梯波等都是复合波。

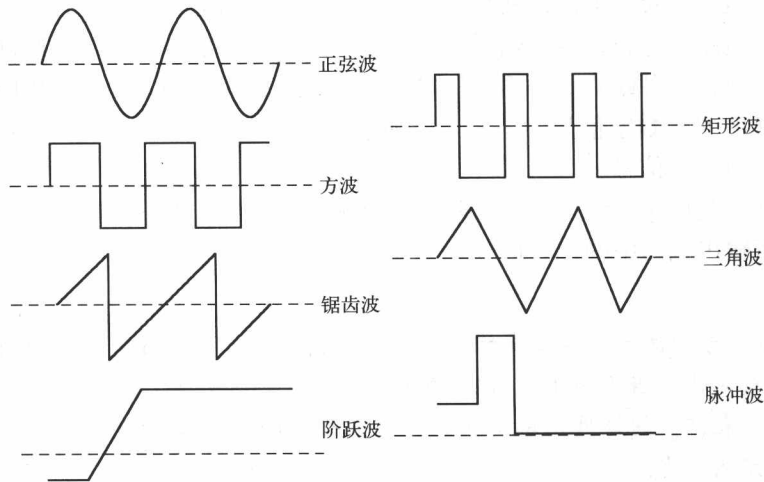


图 1.3 多种不同波形的周期信号

正弦信号是频率成分最为单一的一种信号，正弦信号因其波形是数学上的正弦曲线而得名。手机中的射频信号、VCO 信号、参考振荡信号等都是正弦波信号。图 1.4 是在一个手机的实时时钟晶体处检测到的 32.768kHz 信号的波形图。

方波是另一种常见的波形。从本质上看，方波是以相同的时间间隔不停开、关的电压（或者不断为高、低值）。它是测试放大器的标准波形，好的放大器在增加方波幅值的同时有最小的失真。数字电路系统中经常使用方波作为定时信号，图 1.5 就是在一个手机中检测到的实时时钟信号。

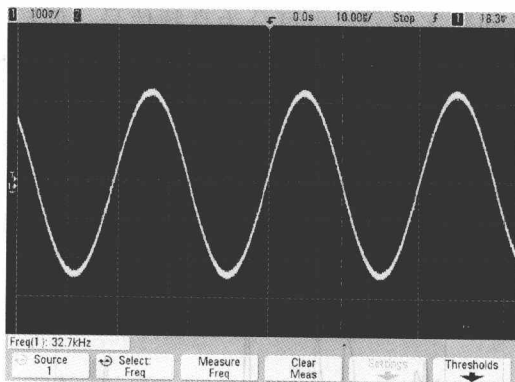


图 1.4 在一个手机的实时时钟晶体处检测到的 32.768kHz 信号的波形图

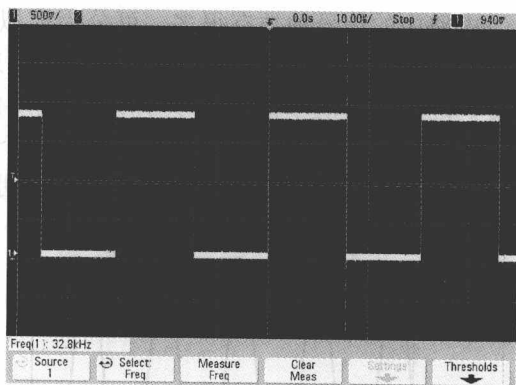


图 1.5 在一个手机中检测到的实时时钟信号

矩形波与方波类似，不同之处在于其高、低电压值的间隔时间并不等长。在分析数字电路时，矩形波非常有用。

锯齿波和三角波来源于线性控制电压电路。例如，模拟示波器的水平扫描或电视的光栅扫描等波形都是以恒定速度对电压电平值进行转换，这些渐增过程称为斜坡信号。

阶跃波和脉冲波之类的信号很少发生，并且是非周期信号。这类信号被称为单脉冲或瞬时信号。阶跃波指示的是电压的突然变化，打开电源开关时电压的情况即是如此。

脉冲指的是电压的突然的两次变化——打开电源开关马上又关闭时，产生的电压波形就是脉冲。在数字电路中进行信号传输时，一个脉冲可以表示信号的一位。脉冲也可能是电路中的低频干扰，或是某种缺陷。一系列传输脉冲的集合成为脉冲序列，手机的基带的部分电路就是通过脉冲序列（数字信号）进行相互通信的。图 1.6 是在一个手机中检测到的射频串行接口的时钟与数据信号。

一些信号波形利用正弦波、方波、阶跃波或脉冲的特性，形成新的波形。例如，图 1.7 即是手机中视频输出电路中的视频信号。



通过测量信号的波形，能知晓信号的许多特性。例如，当看到波形的高度在变化时，则表示电压值在变化；当看到的是平坦的水平线时，则表示在一段时间内，信号没有变化；平直斜线代表信号的线性变化，表示电压以恒定的斜率上升或下降；波形中的尖角表示的是信号的突然变化。

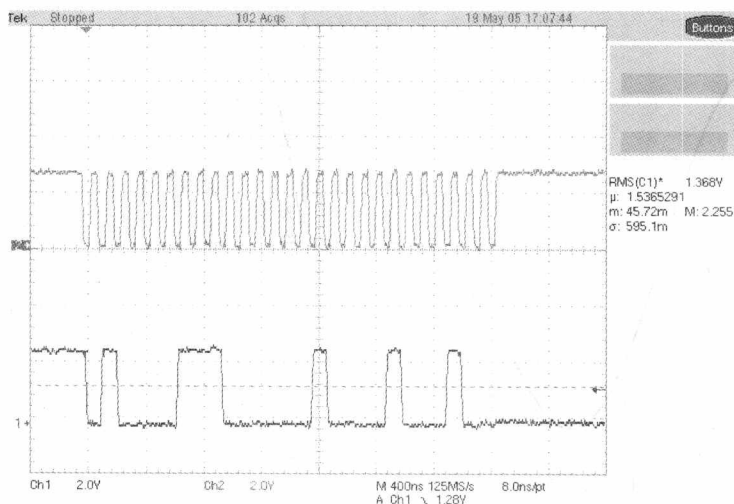


图 1.6 在一个手机中检测到的射频串行接口的时钟与数据信号

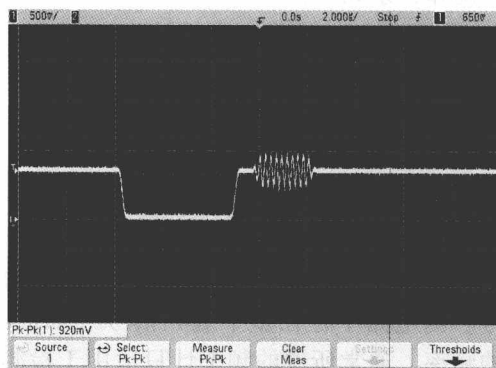


图 1.7 手机中视频输出电路中的视频信号

▶▶ 1.2 正弦信号

通常可用频率、幅度、相位三个基本特征参数来描述电路中的正弦波信号。这也是在用示波器测量正弦信号时需要关注的测量参数。

▶▶ 1.2.1 信号的频率

频率是指单位时间内信号发生周期性变化的次数。

频率概念是理解手机电路中射频信号的关键。通过区分信号的频率，可将一个射频信号与另一个射频信号分离，也可以根据频率区分不同的信号、电路和无线应用。

为纪念德国物理学家赫兹（Hertz），人们把频率的国际单位命名为赫兹（Hz）。

若信号在单位时间（1s）内只周期性变化一次，则信号的频率为1Hz，周期是1s，如图1.8所示。若信号在单位时间（1s）内只周期性变化两次，则信号的频率为2Hz，周期是1/2s，如图1.9所示。

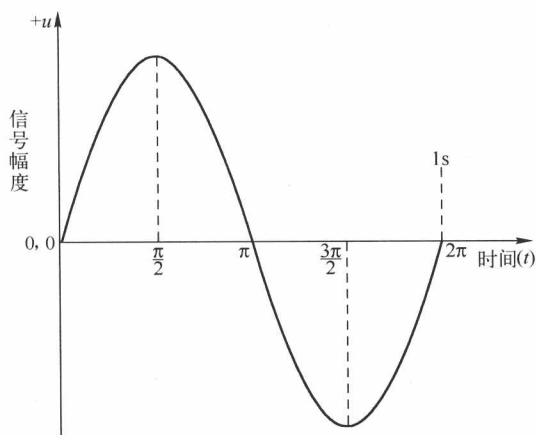


图 1.8 1Hz 信号示意图

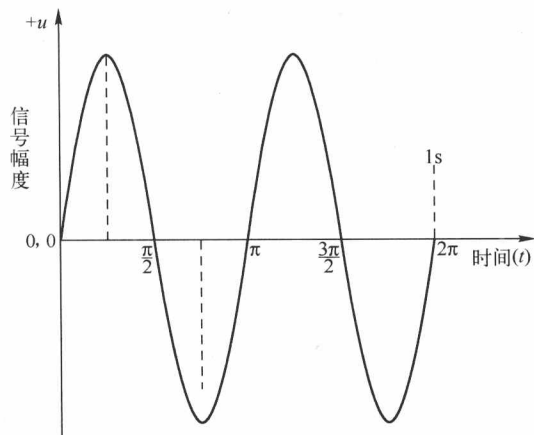


图 1.9 2Hz 信号示意图

赫兹 (Hz) 是频率的基本单位。在实际应用中, 还有千赫兹 (kHz)、兆赫兹 (MHz)、吉赫兹 (GHz) 等, 它们的换算关系如下:

$$1000\text{Hz} = 1 \times 10^3 \text{Hz} = 1 \text{ 千赫兹 (kHz)}$$

$$1000\text{kHz} = 1 \times 10^6 \text{Hz} = 1 \text{ 兆赫兹 (MHz)}$$

$$1000\text{MHz} = 1 \times 10^9 \text{Hz} = 1 \text{ 吉赫兹 (GHz)}$$



在绝大多数情况下, 频率概念是分析、了解电路中信号的关键。

在一般情况下, 检测信号频率的首选设备是频率计。频率计的操作非常简单, 但是比较难以检测到微弱的射频信号。当电路中存在多个射频信号 (如混频电路) 时, 频率计显示的信号频率只是最强信号的频率。通常所说的频率计只适用于检测 1GHz 以内的连续波无线射频信号。对于 GSM 手机等采用了数字技术的无线通信设备中的射频信号, 需要用专门的设备才能准确地检测到其发射射频信号的频率。

对射频电路来说, 测量信号频率的首选设备是频谱分析仪, 它可检测电路中微弱的射频信号, 即使电路中有多个相近的射频信号, 它也能清楚地显示出来。高档的频谱分析仪可以准确地反映出射频信号的频率, 同时还可观察射频信号的幅度与频谱。

对于示波器而言, 可通过测量信号的周期来计算信号的频率, 但比较麻烦, 而且误差也比较大。虽然目前的数字示波器大都可以自动测量信号的频率, 但一般的示波器的频率范围通常比较小, 只能测量频率较低的信号。

1.2.2 信号的幅度

除信号的频率外, 在许多情况下, 必须关注信号的幅度, 如放大器的输入信号幅度——信号幅度过大可能导致失真, 信号幅度过小则可能导致放大器的输出不能满足后续电路 (如混频电路) 对信号幅度的需求。

幅度是指周期性变化波的最大上升值和最大下降值。图 1.10 是模拟信号幅度的说明示意图。可以看到, 信号 A 和信号 B 在单位时间内的变化次数是一样的 (即信号的频率相同)。信号 A 和信号 B 的频率相同, 但信号 A 的幅度比信号 B 的幅度小。

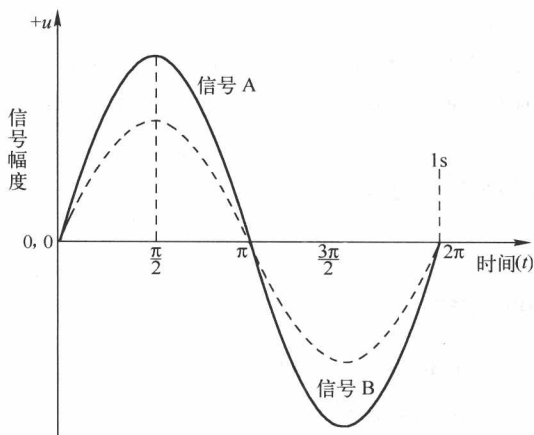


图 1.10 模拟信号幅度的说明示意图



信号的幅度被用来指明信号的强度，通常用电压来表示。幅度是指电路两点间电压量。幅度通常是指被测信号以地或零电压为参考时的最大电压。如果测量的是波形从最高峰值到最低峰值的电压值，则称为电压的峰-峰值。

1.2.3 信号的相位

两个正弦波信号的频率相同只能说明它们在单位时间内变化的周期一样，但它们在时间上可能不同步。

相位是反映交流电任何时刻的状态的物理量，可以通过相位来确定正弦波在时间轴上的位置。相位的单位为度 ($^{\circ}$)，正弦波一个周期的相位被分成 360° 。

相位是指有关周期变化或波动的相对位置。图 1.11 是一个模拟信号相位的说明图，信号 A 和信号 B 的相位相差 90° ，但两个信号在单位时间内变化的次数相同，即其频率相同。从图 1.11 中也可以看到两个信号的幅度是相同的。

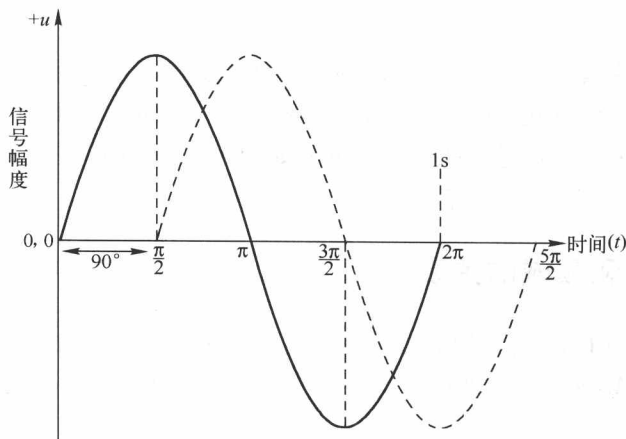


图 1.11 模拟信号相位的说明图

在大多数情况下，只考虑信号的频率与幅度，只有对特定的系统或信号才考虑信号的相位，如 GSM 发射信号就需要考虑其相位。一般的示波器与频谱分析仪都无法反映出信号的相位信息。测试信号的相位通常需要使用特殊的设备（如相位测量仪）。

1.3 时域与频域中的信号

1.3.1 时域中的信号

人们对时间比较敏感，每时每刻都与时域事件发生联系。在时域中，信号的幅度随时间变化而变化——这是示波器常用的显示模式。

描述电信号最直观的途径是采用时域表象方式，即给出电压和电流随时间变化的关系。早期的信号观察主要依赖于示波器在时域内观察信号。示波器所显示的是信号的时域表象，它显示了实际电信号的瞬时值随时间的变化，这是在时域中观察信号的波形。图 1.12 是示波器检测到的一个 20MHz 的信号波形（正弦波），图 1.13 则是一个复杂的时域波形。

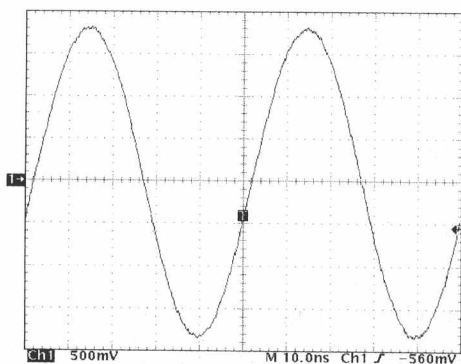


图 1.12 示波器检测到的一个 20MHz 的信号波形

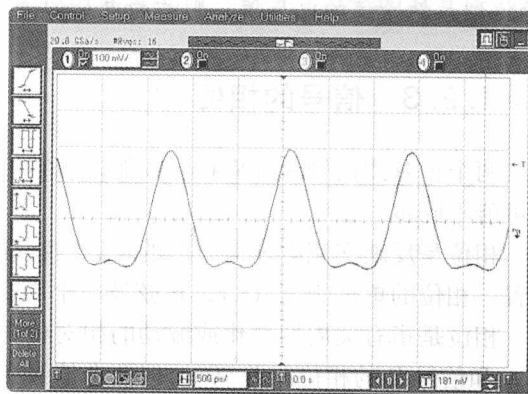


图 1.13 一个复杂的时域波形

我们可用示波器来观察实际电信号的瞬时值。换句话说，我们用示波器在时域中观察信号的波形。傅里叶变换告诉我们任何时域电信号都是由一个或多个不同频率、不同幅度与不同相位的正弦波组成的。通过适当的滤波，可将如图 1.13 所示的复杂的时域信号分解成多个能独立评估的正弦波信号，或频谱成分。

1.3.2 时域和频域的关系

在时域中观察如图 1.12 所示的信号，好像是一个单一的正弦波信号。但是，如果用频谱分析仪观察这个 20MHz 的正弦波信号，会发现除 20MHz 的信号外，还有 20MHz 信号的谐波，如图 1.14 所示。

比较在时域内观察到的结果（见图 1.12）和在频域内观察到的结果（见图 1.14），可以清楚地看出在频域内观察信号的必要性。

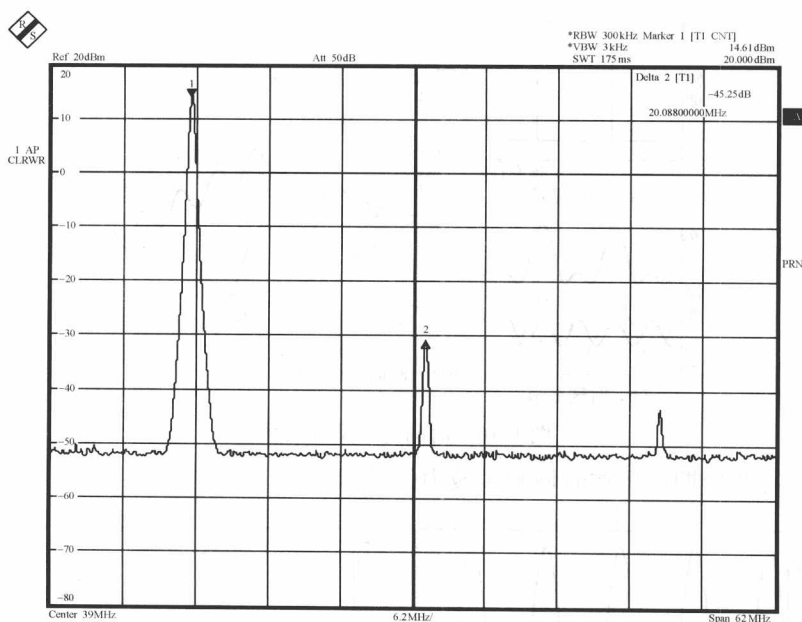


图 1.14 用频谱分析仪观察 20MHz 的正弦信号



时域得到的是信号的波形信息，不能测量混合信号，如果存在干扰或失真信号，在时域上无法区分有用信号和无用信号。在频域上可以准确地测量有用信号和无用信号的各种参数。电子信号可用示波器在时域中观察，也可通过频谱分析仪在频域中观察，但在用示波器无法观察到频域内的信息时，应用频域测量，就能以频谱的形式显示出每个正弦波的幅度随频率变化的情况。

这是否意味着我们无须进行时域测量？也不尽然，对于许多测量来说，实施时域测量会更好些，而有些测量则只能在时域中进行。例如，脉冲的上升沿、下降沿，测量过冲和振铃等就只能在时域中测量。

1. 傅氏级数

信号在时域和频域中的显示通过傅里叶变换来进行。构造频域与时域之间联系的那些基本知识通常被称为傅氏理论^①（傅里叶原理）。傅氏理论告诉我们：任何时域内电信号都是由一个或多个不同频率、不同幅度和不同相位的正弦波组成的（见图 1.15）。

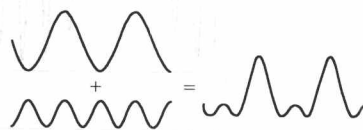


图 1.15 任何时域内的电信号都可以由正弦波相加得到

如图 1.13 所示的复杂的时域波形可用图 1.16 来表示它在时域与频域显示之间的关系。

每个时域中的信号变量都有一个频谱表象。按照傅氏理论，时域中的任何周期信号都来自于不同频率、不同幅度的正弦信号和余弦信号的组合。时域中的周期信号可通过傅里叶级数（正弦和余弦级数）展开。

^① 傅氏理论是为了纪念法国数学家 Jean Baptiste Joseph Fourier（1768—1830 年）而取名的，它包括级数表示（即傅氏级数）和变换方法（即傅氏变换）。关于傅氏理论，读者可参阅其他相关的书籍。

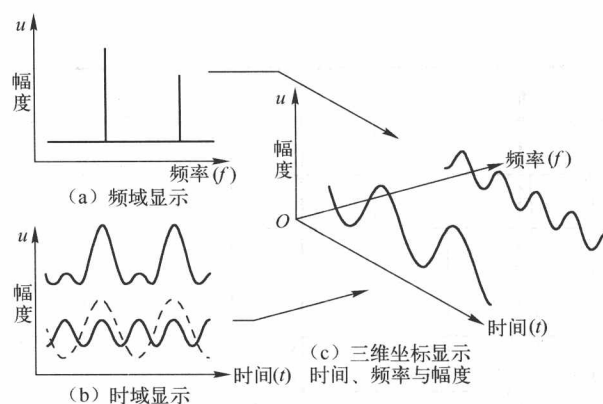


图 1.16 时间与频率的关系

图 1.17 是一些周期信号在时域和频域中的显示。

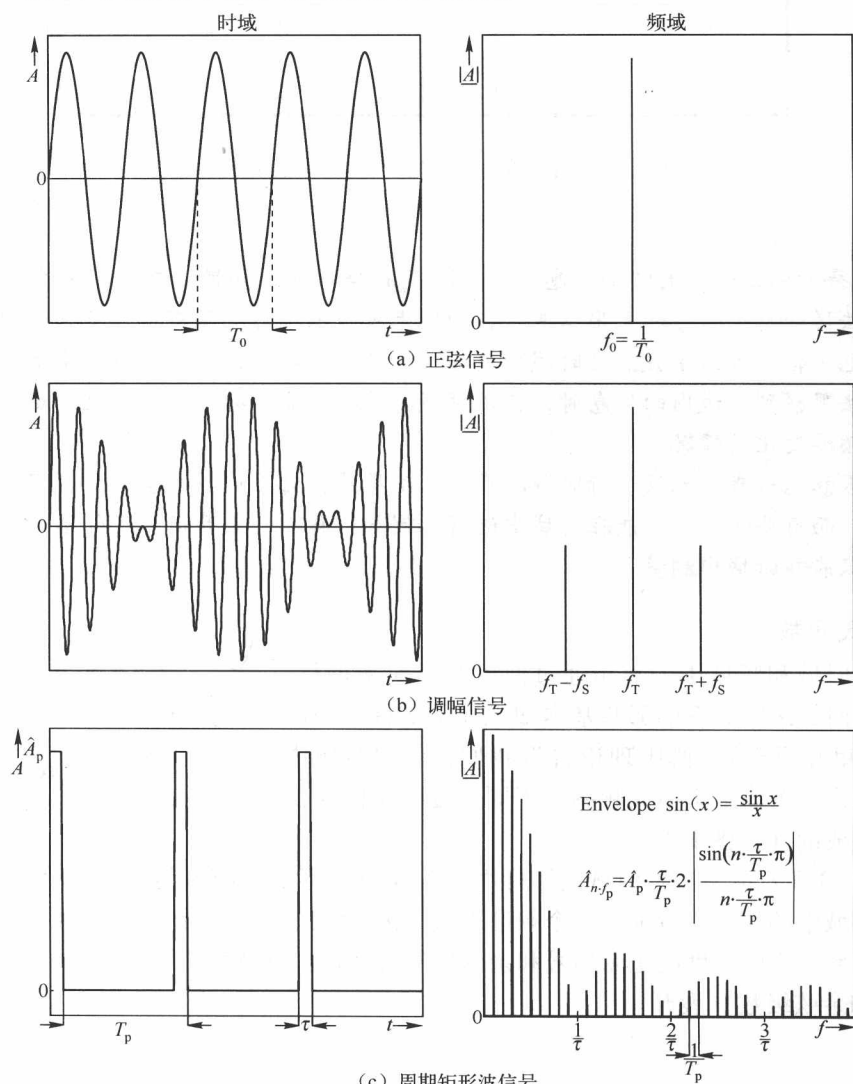


图 1.17 时域和频域中的周期信号 (幅度谱)



周期信号的频谱有如下特点。

- (1) 周期信号的频谱具有离散性。频谱是离散的，由无穷多个冲激函数组成。
 - (2) 周期信号的频谱具有谐波性。谱线只在基波频率的整数倍上出现，谱线代表的是基波及其高次谐波分量的幅度或相位信息。
 - (3) 周期信号的频谱具有收敛性。各次谐波的幅度随着谐波次数的增大而逐渐减小。
- 时域内的重复周期与频域内谱线的间隔成反比，周期越大，谱线越密集。当时域内的波形向非周期信号渐变时，频域内的离散谱线会逐渐演变成连续频谱。

2. 傅氏变换

傅氏级数仅限于表示周期信号。非周期信号可以通过傅氏变换在频域中表示。

一个时域信号 $x(t)$ 的傅氏变换是

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

式中 $X(f)$ ——信号的频域表示；

$x(t)$ ——信号的时域表示。

按照定义，傅氏级数的表达式中只包含基频及其谐波，它的频谱不仅是离散的，而且只在谐波处才出现。

傅氏变换将时域信号变换成连续的频域表达形式。傅氏变换不仅可以表示离散频率，而且更经常用来表示频域中的连续分布，因此，时域中的单次时间（如脉冲）也可以在频域中表示。图 1.18 是一些非周期信号在时域和频域中的显示。

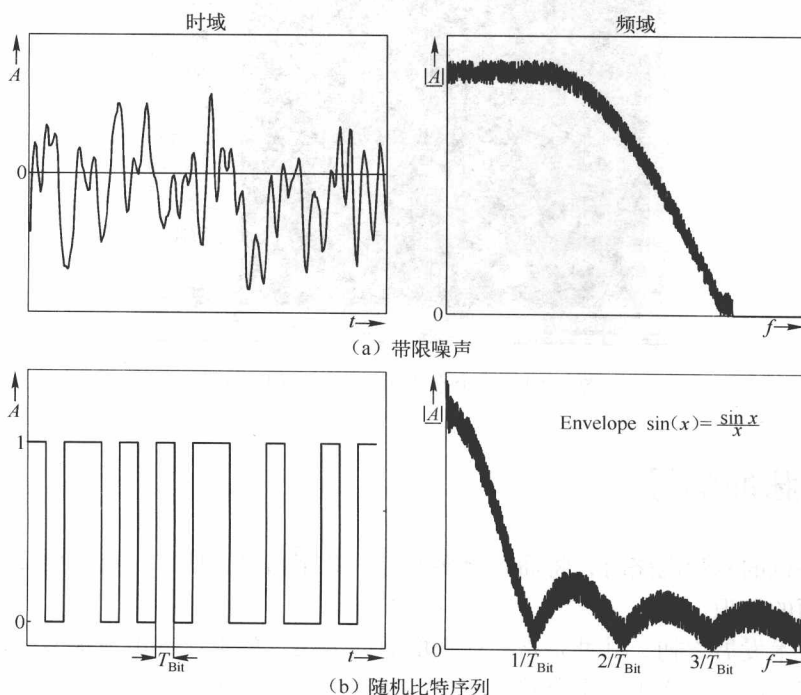


图 1.18 非周期信号在时域和频域中的显示

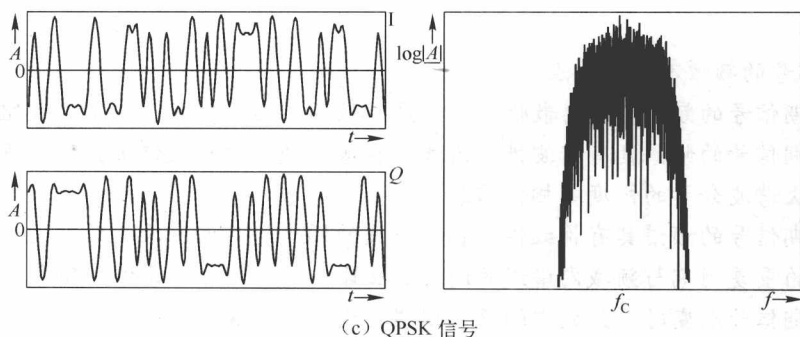


图 1.18 非周期信号在时域和频域中的显示 (续)

傅氏变换不直接用在测量系统中去反映信号的频域表示。离散傅氏变换 (DFT) 是傅氏变换的离散形式, 它能将时域中的取样信号变换成频域中的取样信号表达形式。对时域中的真实信号进行数字化并完成离散傅氏变换, 便形成信号的频域表示。因此, 傅氏变换不仅仅是一种分析工具, 它可以用在频谱或网络分析仪中直接计算所需要的结果。

快速傅氏变换 (Fast Fourier Transform, FFT) 是实现离散傅氏变换 (Discrete Fourier Transform, DFT) 的一种极其迅速而有效的算法。FFT 的基本原理是 J. W. Cooley 和 J. W. Tukey 于 1965 年提出来的。FFT 算法经过仔细选择和重新排列中间的计算结果, 使最终完成速度较之离散傅氏变换有了明显的提高。可以将它看做是一种有效的时-频域分析手段, 它在如今的一些数字式示波器中有着广泛的应用。图 1.19 是一个泰克示波器的 FFT 画面。

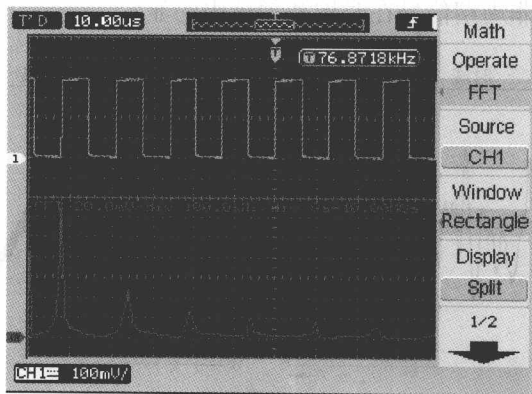


图 1.19 一个泰克示波器的 FFT 画面

▶▶ 1.4 脉冲信号

在检修手机的基带电路时, 将面对众多的脉冲数字信号, 所以, 有必要简单地了解一些脉冲信号方面的知识。

在脉冲技术发展之初, 脉冲是指在很短的时间内出现的电压或电流信号。例如, 发报机的电键每按下一次, 就产生一个突然变化的电压或电流, 这种作用时间很短的电压或电流被称为脉冲电压或脉冲电流, 简称脉冲。图 1.20 是两个典型的脉冲信号, 左边的是方形脉冲, 也称方波; 右边的是矩形脉冲, 也称矩形波。

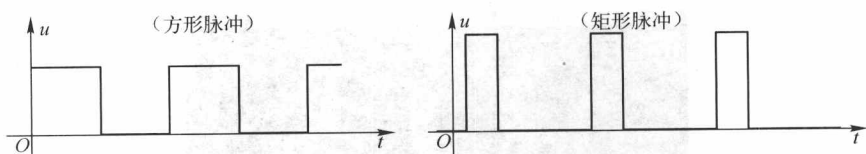


图 1.20 两个典型的脉冲信号

随着数字电路技术的发展,出现了大量非正弦的新波形,这些波形也被列入脉冲范围,所以,从广义上说,一切非正弦的、带有突变特征的波形都是脉冲波,如尖脉冲、阶梯波、锯齿波等。

脉冲信号有正脉冲、负脉冲之分。若脉冲信号出现的电位值(波顶的电压值)比脉冲出现前、出现后的电位值(波底的电压值)高,则该脉冲为正脉冲,如图 1.21 (a) 所示。若脉冲信号出现的电位值(波顶的电压值)比脉冲出现前、出现后的电位值(波底的电压值)低,则该脉冲为负脉冲,如图 1.21 (b) 所示。

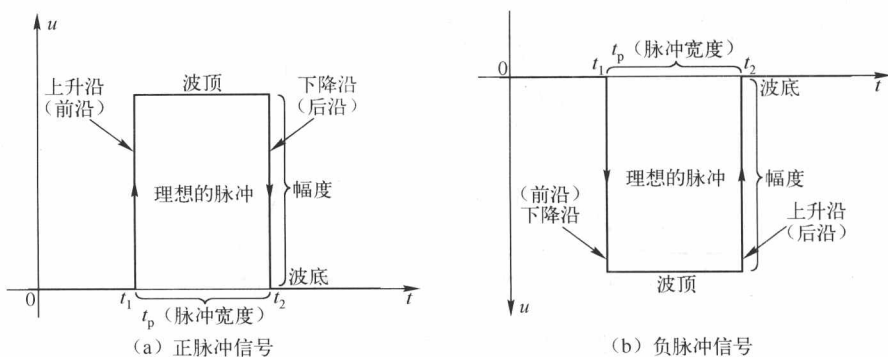


图 1.21 正、负脉冲

通常,当脉冲信号由低电位跳变到高电位时,称为正跳变,相应的波形被称为上升沿。当脉冲信号由高电位跳变到低电位时,称为负跳变,相应的波形被称为下降沿(见图 1.21)。



在谈到矩形脉冲的电位时,常常会使用“电平”的说法,高电位与高电平是等同的。高电平就是指高电位,而低电平就是低电位。

图 1.21 是理想的脉冲信号,在实际的电路中,由于感性元件与容性元件的存在(电容要阻止电压突变,电感要阻止电流突变),脉冲信号由高电位跳变到低电位(或由低电位跳变到高电位)总是需要一定的时间,如图 1.22 所示。

任何波形,都可用一些参数来描述它的特征,如前面所述的描述正弦波特征的 3 个参数,即频率、幅度和相位。

与正弦波信号不同,脉冲信号波形多种多样,要描述脉冲波形的特征就比较复杂,对不同的波形须定义不同的参数。这里简单介绍一下矩形波的主要参数(见图 1.23)。

(1) 脉冲幅度 u_1 。脉冲幅度是指从脉冲波底到波顶之间的电位变化量。

(2) 脉冲上升时间 t_r 。脉冲上升时间是指脉冲上升沿由 $0.1 u_1$ 上升到 $0.9 u_1$ 所需的时间。它表示脉冲开始时过渡过程的长短。 t_r 越小,脉冲上升越快,上升沿越陡,开始的过渡过程越短暂。