

电子线路及微机实验

电子线路及微机实验

杨遇春 主编

中国科

76

1

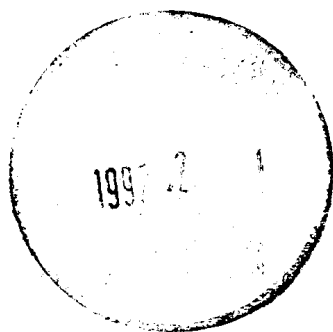
版社

中国科学技术大学出版社

73.76
661

电子线路及微机实验

杨遇春 主编



中国科学技术大学出版社

1992 • 合肥

9310030

内 容 简 介

本书是电子线路和微机应用方面的实验指导书,对象是无线电类和非无线电类各专业的本科生。为了满足各专业的不同需要,本书较为全面地介绍了模拟电路,数字电路,单板机应用及电子线路的CAD等各种不同类型的实验。在实验内容上既有单元电路实验,也有较大的设计性实验和系统实验。

本书分三篇八章,共31个实验,其中模拟电路实验16个,数字电路实验7个,单板机实验5个及电子线路的CAD实验8个。

为了让同学们在实验中掌握正确的测量方法和正确地使用仪器,本书还简要地介绍了模拟电路和数字电路的测量方法和常用仪器的使用方法,另外为了方便同学们查阅元器件的管脚和参数,书中还列出了元器件的名命法和部分晶体管及集成电路的电参数。

本书可作为实验单独设课的教材,也可作为非单独设课院校和工程技术人员的参考书。

[皖] 新登字 08 号

DS84/07

电子线路及微机实验

杨遇春 主编

*

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路96号, 230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

安徽省新华书店发行

*

开本: 787×1092/16 印张: 19 字数: 470千

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

印数: 1—5000册

ISBN7-312-00368-O/TN·11 定价: 5.30元

前 言

电子线路实验是电子技术的一门重要课程，随着电子技术的发展，原有实验课题日益显示出它的不够完善，为此，我们在原有实验的基础上作了较大的改动。

首先，我们以单管低频放大器和射极跟随器作为学生初进实验室的练习性实验，要求同学们自己焊接，调试并测出数据。从实验一到实验二十三主要以单元实验和设计性实验为主，另外还有部分需要同学们自己设计，选择电路并进行插接的实验。在这些实验中，加强了工程计算，并根据计算进行实验的训练。开设这部分实验的目的有两个：第一是让同学们在各种类别的实验中熟悉并掌握各种仪器的正确使用方法；第二是让同学们学到各种电路的正确测试方法及认识各种型号的元器件，以提高他们在以后的设计性实验，课程设计和毕业设计，乃至参加工作以后的适应能力。

为了上述目的，我们还编写了模拟电路和数字电路的测试方法和有关附录。

为普及计算机知识，在本书中还编写了单板机实验和电子线路的计算机辅助分析。

本书是在使用多年的“电子线路实验讲义”的基础上重编而成的。其中第一章及实验一、二、三、六、十二由冯明臣编写；实验四，二十三及第七章所含实验由徐长炎编写，实验五，十由姜鸣编写；实验七、八、九、十一由高世炘编写；实验十三、十四、十五、十六由杨遇春编写；第三章及实验十七、十八、二十二由汪德华编写，实验十九、二十、二十一由卢结成编写，第五章，第六章及所含实验由杨礼义编写，参加编写的还有田红民和李福生同志。全书的组编和审阅工作由杨遇春和汪德华同志负责。

根据学时数和实际情况，使用本书时可从中选择一些教学大纲规定必须完成的实验课题。

由于编者水平所限，书中难免有疏漏和错误之处，恳请使用者批评指正，并致谢忱。

编者

1990年10月31日

目 次

前 言	(i)
-----	-------

第一篇 模 拟 电 路

第一章 模拟电路的测量方法	(1)
第一节 测量的基本概念	(1)
第二节 电压测量方法	(2)
第三节 阻抗测量	(3)
第四节 增益及幅频特性测量	(5)
第五节 频率、时间和相位的测量	(6)
第六节 失真系数的测量	(10)
第七节 调幅系数的测量	(11)
第八节 测量误差	(11)
第九节 测量数据处理	(16)
第二章 模拟电路实验	(19)
实验一 单级低频放大器	(19)
实验二 晶体管射极跟随器	(23)
实验三 集成运算放大器参数测量	(26)
实验四 差分放大器	(31)
实验五 电压串联负反馈放大器及其工程计算	(36)
实验六 集成运算放大器的应用 [I]	(44)
实验七 运算放大器的应用 [II]	(48)
实验八 小信号调谐放大器	(57)
实验九 LC 正弦波振荡器	(61)
实验十 低频功率放大器 OTL 电路	(64)
实验十一 音调控制电路的工程计算和集成功率放大器应用	(66)
实验十二 串联型稳压电源及其工程计算	(78)
实验十三 调幅器与检波器	(83)
实验十四 调频器与鉴频器	(88)
实验十五 模拟开关的测试和应用	(94)
实验十六 模拟式锁相电路	(99)

第二篇 数 字 电 路

第三章 数字电路的实验方法及逻辑检测	(111)
第一节 数字电路的实验方法	(111)
第二节 数字电路的逻辑检测	(118)
第四章 数字电路实验	(122)
实验十七 TTL 与非门参数的测试	(122)
实验十八 半加器和全加器	(128)
实验十九 移位寄存器	(131)
实验二十 计数器	(135)
实验二十一 模数转换器 (A/D)	(141)
实验二十二 数字钟	(145)
实验二十三 555 的应用	(149)

第三篇 微 机 使 用

第五章 TP-801A1 单板机使用方法	(155)
第一节 主要技术特征	(155)
第二节 操作步骤及注意事项	(155)
第三节 监控程序 TPBUG 简介	(156)
第四节 键功能说明	(157)
第五节 TPBUG-A 新设的命令键	(164)
第六节 存储分配及主要口地址	(169)
第六章 TP-801A 实验	(172)
实验二十四 熟悉键盘操作	(172)
实验二十五 程序的设计与调试	(177)
实验二十六 Z80-PIO 接口 (1)	(185)
实验二十七 Z80-PIO 接口 (2)	(187)
实验二十八 D/A (数/模) 转换实验	(192)
实验二十九 A/D (模/数) 转换实验	(194)
第七章 电子线路的计算机辅助分析	(198)
第一节 概述	(198)
第二节 电子线路 CAA 的预备知识	(199)
第三节 单元实验	(205)
第八章 模拟电子线路的计算机分析实验	(206)
实验三十 梯形网络的分析	(206)
实验三十一 固定偏置单管放大器的分析	(209)
实验三十二 无受控源通用直流分析程序	(211)
实验三十三 含受控源通用直流分析程序	(215)

实验三十四 通用交流分析程序	(220)
实验三十五 线性网络瞬态分析通用程序	(227)
总附录	(235)
附录一 焊接基本知识	(235)
附录二 小信号谐振放大器的工程估算	(236)
附录三 整流稳压电路的工程估算	(238)
附录四 电源的安装调试	(244)
附录五 常用电子仪器原理及使用方法简述	(244)
附录六 常用电路元件、器件型号及其主要性能参数	(267)

第一篇 模拟电路

第一章 模拟电路的测量方法

第一节 测量的基本概念

一、电子测量

测量——是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。在这个过程中常借助专门的设备，把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较，取得用数值和单位共同表示的测量结果。测量结果必须由数值和单位两部分组成，如 35.22Ω ， 598Hz ， 42.5V 等。凡是利用电子技术来进行的测量都可称为电子测量。模拟电路的测量，主要包括下面几个方面：

(1) 电能量的测量。即测量电流、电压、电功率等；

(2) 信号特性测量。如信号波形和失真度，频率、相位、脉冲参数、调幅度、信号频谱、信/噪比等；

(3) 元件及电路参数的测量如电阻、电感、电容、电子器件（晶体管、场效应管）、集成电路、电路的幅频特性、带宽、增益等的测量。

二、计量的概念

以确定量值为目的的一组操作称为“计量”。它突出两点：计量的目的是为了确定被计量对象的量值；其次，它本身是一种操作。也就是说计量是为了保证量值的统一和准确一致的一种测量。

计量基准分为国家基准、副基准和工作基准。

三、测量方法的分类

1. 直接测量与间接测量

(1) 直接测量。直接从测量的实测数据中得到测量结果的方法。如用电压表测量放大器的直流工作电压，欧姆表测电阻等。

(2) 间接测量。通过测量一些与被测量有函数关系的量，然后通过计算而获得被测量值的测量方法。如测量电阻上消耗的功率 $P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R}$ ，可以通过直接测电压、电流或测量电流、电阻等方法而求出功率 P ，又如测放大器的增益 $A_v = V_o/V_i$ ，一般是分别测量放大器的输入电压 V_i 和输出电压 V_o ，然后计算得 A_v 值。

(3) 组合测量。它是兼用直接测量与间接测量的方法，通过联立求解各函数关系式来

确定被测量的大小。用计算机来求解，更为方便。

2. 直读测量法与比较测量法

(1) 直读测量法。利用电测量指示仪表在刻度线上读出测量结果的方法。如用电压表测电压。这种方法是根据仪表的读数来判断被测量的大小，而量具并不直接参与测量过程。

直读测量法操作方便，设备简单，得到广泛应用。但它准确度低，一般不能用于高准确度的测量。

(2) 比较测量法。比较测量法是将被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果。电桥就是典型例子。利用标准电阻（电容、电感）对被测量进行测量。

由上可见，直接测量与直读法，间接测量与比较法并不相同，二者互有交叉。如电压、电流表法测量功率，是直读法，但属于间接测量法；又如电桥测电阻，是比较法而属于直接测量。

根据测量方式还可分为自动测量和非自动测量。

从测量精确度可分为工程测量和精密测量。

3. 按被测量性质分类

(1) 时域测量。例如电流、电压等，它们有瞬态量和稳态量，前者用示波器显示其变化规律，后者用指示仪表测量。

(2) 频域测量。如测量线性系统的频率特性和信号的频谱分析。

(3) 数据域测量。利用逻辑分析仪对数字量进行测量的方法。

(4) 随机测量。如各类干扰信号、噪声的测量和利用噪声信号源等进行的动态测量。

第二节 电压测量方法

在电压测量中，要根据被测电压的性质（直流或交流）、工作频率、波形、被测电路阻抗、测量精度等，来选择测量仪表（如仪表量程、阻抗、频率、准确度等级）。

一、交、直流电压的测量方法

1. 直接测量法

用模拟指针式电压表，可以直接测量交、直流电压的各主要参数。如磁电系仪表可以测量直流或周期变化的交流平均值，电磁系或电动系仪表可以测交流电流的有效值，也适用于低频交流电流或电压测量。

测量时，考虑电表输入阻抗，量程，频率范围，尽量使被测电压的指示值在仪表的满刻度量程的 2/3 以上。这样可以减少测量误差。

直流电压或正弦交流电压亦可用示波器进行测量。

2. 比较测量法——示波器法

比较测量法是用已知电压值（一般为峰-峰值）的信号波形与被测信号电压波形比较，并算出电压值。

(1) 示波器测直流电压（双踪示波器 BS-601 型）。将 AC-GND-DC 开关置 GND，并拉出触发电平（TRIGGER-ING、LEVER）旋钮而得到一扫描线，将它移到示波器屏

幕刻度中心作为零电压参考。然后将开关置 DC，扫描线即上移或下降，根据偏离值就可算出直流电压值即

$$\text{直流电压} = \text{偏离值}(\text{div}) \times \text{伏/div}$$

式中伏/div为示波器面板上Y轴衰减器的旋钮指示值。

扫描线上移为正电压，下降为负电压。

(2) 示波器测交流电压。将示波器的伏/div微调扫描时间/div微调旋钮置校准位置，若荧光屏显示的信号如图 1-1 所示。

VOLT/div (伏/分度)……在 5V 正弦信号的峰值电压 (V_P) 为

$$5(\text{V/div}) \times 2\text{div} = 10\text{V}$$

正弦信号峰-峰值电压: (V_{P-P})

$$5\text{V/div} \times 4\text{div} = 20\text{V}$$

正弦电压的有效值:

$$V = V_P / \sqrt{2} = V_{P-P} / 2 \sqrt{2} = 7.07\text{V}$$

对于非正弦的脉冲信号电压，一般不能用毫伏表来测量，而采用示波器显示。同样用比较法测量（方法同测正弦交流电压一样）。

比较法测量误差主要取决于比较信号电压的准确度和读数的误差，它比直接测量误差小。

二、用微差法测大电压的变化量

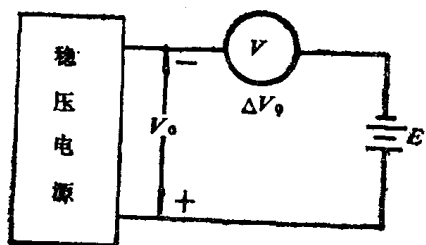


图 1-2 微差法测量图

E 和小量程电压表的精度的组合关系。

为了正确地测量出大电压的微小变化量（如直流稳压源，由于电网或负载变化而引起输出电压的变化），可以用多位的数字电压表直接测量，若无数字电压表，可用微差法来测量。如图 1-2 所示， E 是一标准电源， $E = V_0$ ，当 6V 稳压电源有 0.01V 量级的变化，用大量程电压表难于读准确，若用一小量程 0—50mV 电压表来测量 0.01V 量级的变化，就能得到较高的精度。微差法测量精度取决于

第三节 阻抗测量

阻抗是描述一切电路系统的传输及变换特性的一个重要参数。测量条件不一样，阻抗测量值也不相同。

在直流情况下：

$$R = \frac{E}{I} \quad (1-1)$$

在交流情况下:

$$Z = \frac{\dot{E}}{\dot{I}} = R + jX \quad (1-2)$$

下面简单介绍模拟线性电路中低频条件下, 有源二端网络(或放大器)输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的测量方法。

一、替代法测输入电阻 R_i

如图1-3所示, 将有源二端网络的输入电阻等效为 R_i 。当开关 K 置“a”点时测量①、②两端电压为 V_1 , K 置 b 点时, 调电位器 R_w 使①、②两端电压仍为 V_1 值, 则 R_w 的值就等于输入电阻 R_i 值。

二、换算法测输入电阻 R_i

(1) 当被测电路的输入电阻为低阻时, 如图1-4所示, 在信号源与有源二端网络(放

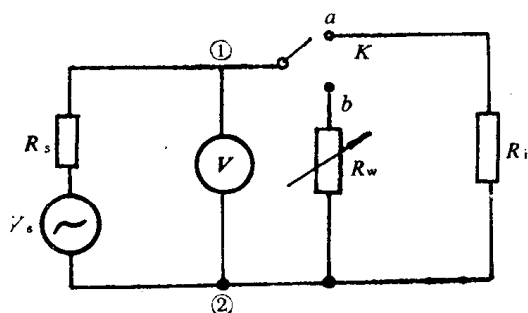


图 1-3 替代法测量图

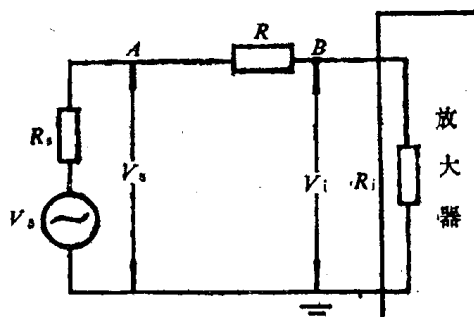


图 1-4 换算法测量图

大器) 之间串一已知电阻 R , 只要用毫伏表分别测出电阻 R 两端分别对地的电位 V_s 和 V_i 值, 则

$$R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R = \frac{R}{\frac{V_s}{V_i} - 1} \quad (1-3)$$

注意选 R 与 R_i 为同一数量级, 若 R 过大易引起干扰, 若 R 过小测量误差较大。

(2) 当被测电路为高输入电阻时(场效应管放大器), 输入电阻 R_i 的测量如图1-5所示。

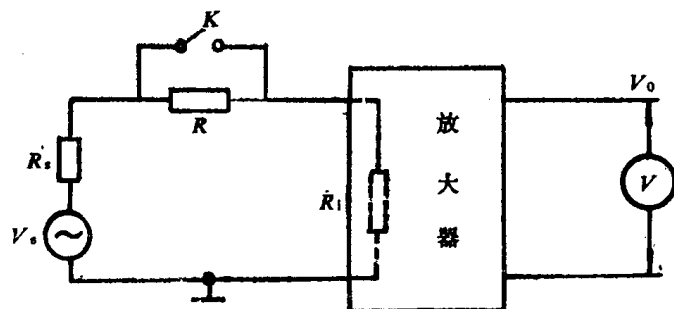


图 1-5 换算法测高输入电阻

由于毫伏表的内阻与放大器输入电阻 R_i 数量级相当, 不能直接在输入端测量。而在输入端串一已知电阻 R 与 R_i 数量级相当。由于 R 的接入, 在放大器输出端引起 V_o 的变化, 用毫伏表在放大器输出端测 K 合上时的 V_{o1} 和 K 断开时的 V_{o2} 。则

$$R_i = \frac{V_{o2}}{V_{o1} - V_{o2}} R \quad (1-4)$$

三、输出电阻 R_o 的测量方法(同样可采用 R_i 的测量方法)

(1) 用换算法测有源二端网络(放大器)的输出电阻 R_o 。首先用毫伏表直接测出开

路电压 V_o 和有负载时负载上的电压 V_{oL} ，然后用式计算：

$$R_o = \left(\frac{V_o}{V_{oL}} - 1 \right) R_L \quad (1-5)$$

(2) 测输出端电流、电压变化量。在有源二端网络的输出端串一负载电阻 R_L ，改变 R_L 值，可测电流，电压的变化量。则

$$R_o = \left| \frac{V_{o1} - V_{o2}}{I_{o1} - I_{o2}} \right| \quad (1-6)$$

若测交流阻抗，一般集中参数（指电容、电感值），常用电桥测量法，准确度较高，（此处略）。

第四节 增益及幅频特性测量

增益是网络传输特性的主要参数。一个有源网络电流、电压、功率的增益，可用下式表示：

$$\left. \begin{aligned} A_i &= I_o / I_i \\ A_v &= V_o / V_i \\ A_p &= p_o / p_i = A_i \cdot A_v \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

在通信系统测试中，往往是用分贝（dB）来表示电压比或功率比，所以网络增益又可用下式表示

$$\left. \begin{aligned} G_i &= 20 \log \frac{I_o}{I_i} \\ G_v &= 20 \log \frac{V_o}{V_i} \\ G_p &= 10 \log \frac{p_o}{p_i} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

电路的幅频特性，是指输出电压与输入电压之比值和频率之间的关系，是一个与频率有关的量。

一、逐点法测量幅频特性

在保持输入信号电压值不变的情况下（用毫伏表或示波器监视），改变输入信号的频率，分别测出不失真的输出电压值（用毫伏表或示波器测量），计算对应于不同频率下的电压增益 $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ ，即可得到被测网络的幅频特性。这种测量速度慢，不能测量动态频率特性。

目前更多的是用扫频法测量频率特性。

二、扫频法测量幅频特性

用扫频仪测量网络的频率特性曲线是目前广泛应用的方法。

这种测量方法速度快，又能直观地显示出网络的幅频特性曲线。扫频仪的工作原理方框

图及各点波形如图1-6所示。图1-6(a)中的扫频信号发生器实质上为调频信号发生器，它由调制信号控制，按调制信号的规律改变其频率，而幅度保持恒定不变。调制信号和扫频信号如图1-6(b)①、②所示。将扫频信号加到被测设备，被测设备输出电压和频率的关系即为频率特性。如被测设备是选频放大器，则为图1-6(b)③所示，该输出经扫频仪的峰值检波器检出包络，如图1-6(b)④所示，将此信号送至示波管Y轴，则在荧光屏Y轴方向显示被测设备的输出电压幅度。而示波管的X轴方向即为频率轴。所以，加到示波管X偏转板上的电压应与扫频信号的频率变化的规律一致，这样示波管屏幕上才能显示出清晰的幅频特性曲线。

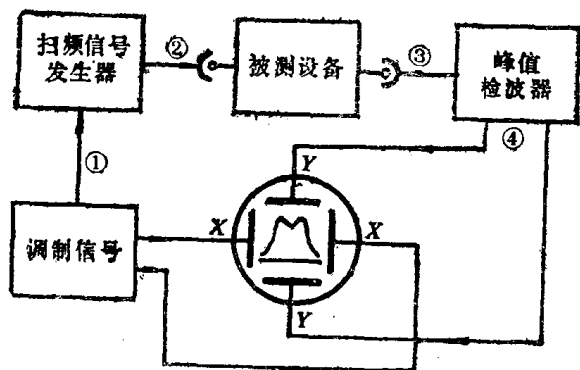


图 1-6a 扫频测量框图

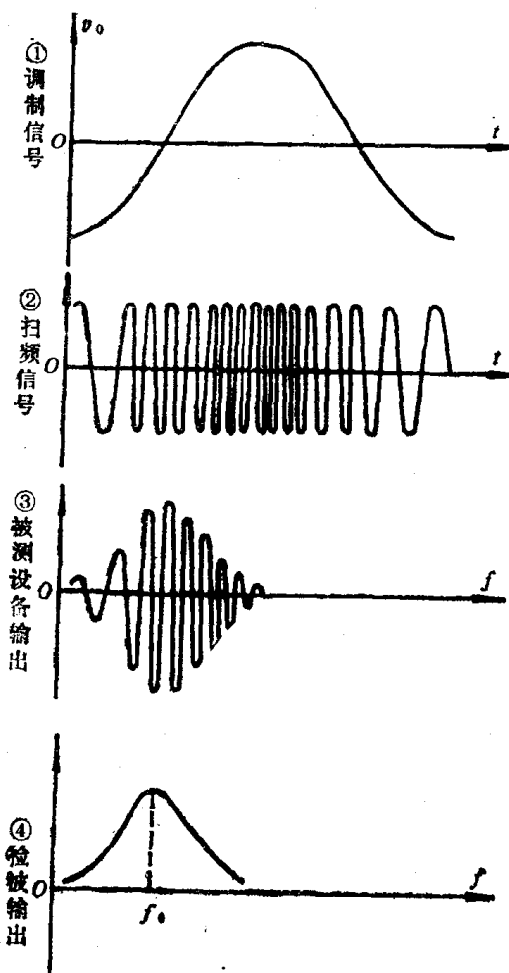
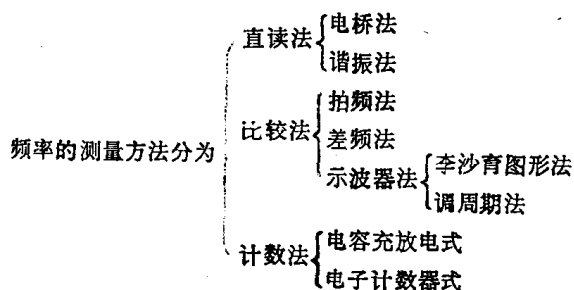


图 1-6b 扫频测量时各点的波形

第五节 频率、时间和相位的测量

在电子技术领域内，频率是一个最基本的参数。频率的测量精确度最高。因此，目前在电子测量中，频率的测量显得更为重要。

一、频率的测量

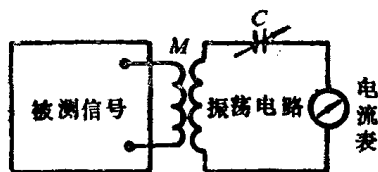


下面我们介绍几种常用的测频方法。

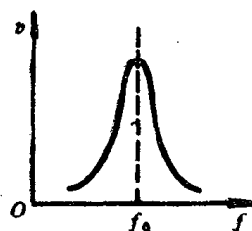
1. 谐振法测频率

如图 1-7 所示的 LC 谐振回路, 串一高频电流表。调电容 C , 使电流表指针偏转最大。通过电表指示电路谐振与否, 谐振时: 被测信号频率为

$$f_x \approx f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1-9)$$



(a) 谐振法测量频率示意图



(b) 谐振曲线

谐振法一般测量较高频率。频率可从与谐振回路电容相关的度盘上读出。

图 1-7 谐振法测频

2. 比较法测频率 (示波器法)

(1) 李沙育图形法测频率。用双踪示波器 (BS-601 型), 将扫描时间/分度开关置 $X-Y$, 于是 CH_1 为 y 轴, CH_2 为 x 轴。将标准信号接 CH_1 , 被测信号接 CH_2 , 在示波器屏幕上显示如图 1-8 的李沙育图形图中被测信号为 f_x , 标准信号为 f_y 。李沙育图形适用于低频测量。

(2) 周期法测频率。因为 $f = 1/T$ 。在要求不太高的场合, 一般采用示波器直接测信号的周期 T 。如图 1-9 所示, 若扫描时间/分度……在 5ms/div , 被测信号频率:

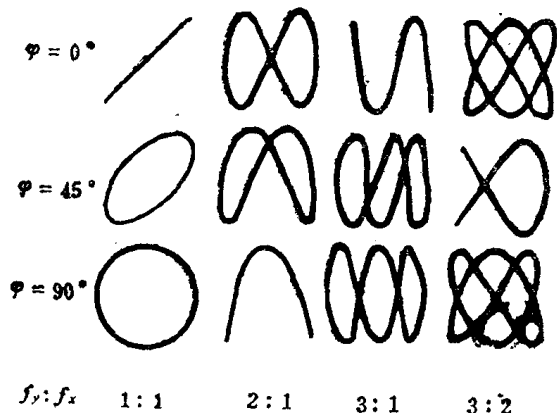


图 1-8 李沙育图形测频

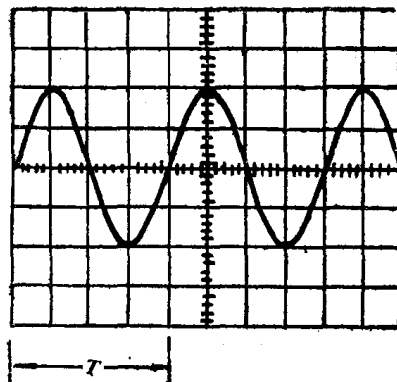


图 1-9 周期法测频

$$f = \frac{1}{5\text{ms/div} \times 4\text{div}} = \frac{1}{20\text{ms}} = 50\text{Hz}$$

注意: 测量时, 扫描时间/分度微调转到校准位置。

3. 计数法测频率 (电子计数器)

电子计数器是显示单位时间内通过被测信号的周期个数来实现频率的测量。被测信号的频率为

$$f_x = \frac{N}{T} \quad (1-10)$$

式中 N ——(在时间间隔 T 内被测信号重复变化的次数), 计数器的读数。

T ——时基信号周期。（计数器的计数时间）。

数字式频率计是目前测量频率、周期等参数最常用的仪器（原理见附录）。它既具有较高的测量精度，又具有直观，测量速度快的特点。

二、时间的测量

在科学技术各领域中时间的测量也是十分重要的。在电子技术应用中经常遇到周期、时间间隔的测量。

周期测量，实质上是时间间隔的测量。即一个周期信号波形上，同相位两点之间的时间间隔。

1. 示波器法

如图1-9所示，将扫描时间/分度微调（顺时针）转至校准位置。信号波形在一个周期内占水平距离的分度数。图为4div扫描时间/分度在5ms/div。频率水平扩展 K ，则被测信号的时间为

$$T_x = \frac{S_x / \text{div} \cdot x(\text{div})}{K} \quad (1-11)$$

式中： S_x ——扫描速度 s/div, ms/div, μ s/div; x ——信号两点之间的水平距离; K ——扩展倍率。

正位波信号可取两个峰顶或两个方向相同的过零点，脉冲波可取两个变化相同的突变点，读取该两点之间的距离 x 。

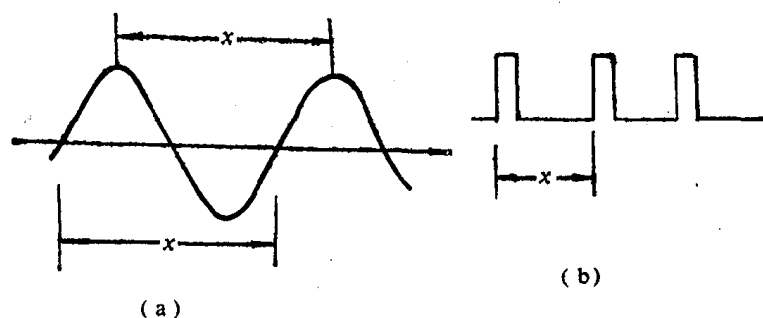


图 1-10 示波器测时间

如图1-10所示。若无扩展，扫描速度微调开关置校准位置。则

$$T_x = S_x / \text{div} \cdot x(\text{div}) \quad (1-12)$$

2. 电子计数器测量

利用“通用计数器”可以直接测量正弦波，脉冲波的周期，脉冲宽度，两个信号之间的时间

间隔。（测量原理参见附录“仪器使用”）。

三、相位测量

相位的测量，通常是指两个同频率的信号之间相位差的测量。在电子技术中主要测量RC, LC网络及放大器的相频特性等。测量相位的方法有多种，最简单的是示波器法、准确度较低。也可用数字式相位计直接测量，准确度较高。

1. 示波器法

（1）线性扫描法。用双踪示波器显示，测量两信号间相位差是最直观，又简单的方法。如图1-11所示， v_1, v_2 两信号之间的相位差：

$$\varphi = \frac{x(\text{div})}{x_T(\text{div})} \times 360^\circ \quad (1-13)$$

或

$$\varphi = 2 \arctg \sqrt{\left(\frac{A}{h}\right)^2 - 1} \quad (1-14)$$

式中 A ——零电平至波峰 M 点间的距离， h ——零电平至两信号交点 Q 之间的距离。

(2) 李沙育图形测相位。将扫描速度开关置 $X-Y$ 模式，将比较的两个信号分别加到 CH_1 和 CH_2 ，在示波器荧光屏上显示如图 1-12(a), (b) 的李沙育图形。从 1-12(a) 图可见，相位差为

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A} \quad (1-15)$$

式中： B ——椭圆与纵轴相截的距离， A —— Y 方向的最大偏转距离。

图 1-12(b) 显示两个同频正弦信号之间的相位差从 $0^\circ-360^\circ$ 变化时，李沙育图形的变化规律。

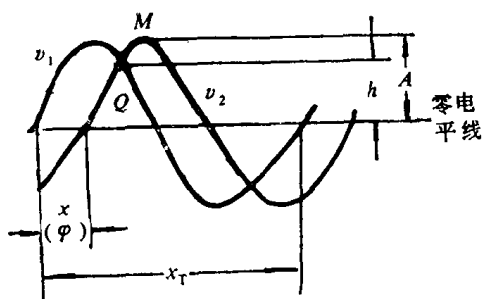


图 1-11 双踪示波器测相位

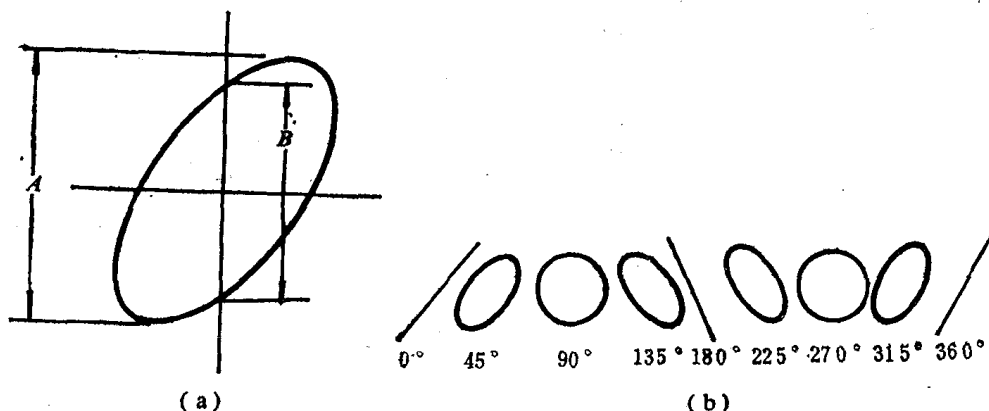


图 1-12 李沙育图形测相位

2. 脉冲计数法测相位

用数字式相位计测两个信号频率的脉冲个数，并通过计数器显示出对应的相位差的值。数字式相位计具有快速、直读和准确等优点。电路原理如图 1-13，而数字式相位计波形如图 1-14 所示。数字式相位计基本上是用时间间隔测量的原理，其间隔时间

$$t_\varphi = NT_0 \quad (1-16)$$

式中 N ——在 t_φ 时间内计数脉冲的个数； T_0 ——时标信号的周期，由 1-13 式知

$$\varphi = \frac{t_\varphi}{T} \times 360^\circ \quad (1-17)$$

则

$$\varphi = \frac{NT_0}{T_x} \times 360 = \frac{f_x}{f_0} N \times 360^\circ \quad (1-18)$$

式中 f_x ——被测信号频率； f_0 ——时标信号频率。

若计数器在 1 秒内连续计数，即 1 秒钟内有 f_x 个门控信号，则累计数为 $N_1 = f_x N$ ，因为 $N = \frac{\varphi}{360^\circ} \times \frac{f_0}{f_x}$ ，则

$$\varphi = \frac{360^\circ}{f_0} \times N_1 \quad (1-19)$$

若取时标频率 $f_0 = 360\text{Hz}$, 则

$$\varphi = \frac{360^\circ}{360} N_1 = N_1 \text{ (度)} \quad (1-20)$$

由上式可见, 计数器在一秒钟内脉冲的累计数就是以度为单位的两个被测信号的相位差。

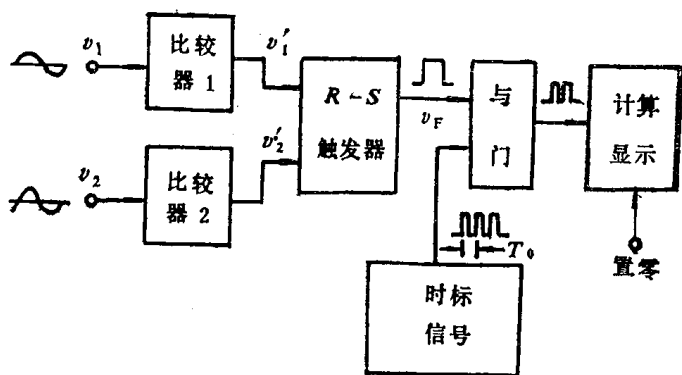


图 1-13 数字式相位计原理框图

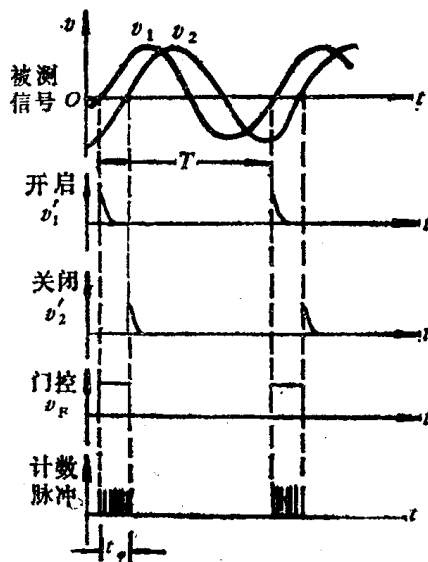


图 1-14 数字式相位计波形图

第六节 失真系数的测量

一个稳定的线性系统在对输入信号响应时, 不会产生任何新频率分量。如果输出包含有新的频率分量, 则系统是不稳定的, 就是非线性的。

非线性有三种形式: ①在小信号情况下, 网络的传输特性有良好的线性, 随输入电平增大, 非线性就愈加明显。例如 A 类放大器; ②系统的传输特性在零点附近有一个高度非线性区。在较高的电平下, 线性较好。如过偏置的 B 类放大器; ③在一切电平上, 非线性表认为量化形式。这在数字系统中经常见到。

常采用抑制基波法测非线性失真系数 (失真度)。用一带阻滤波器滤去被测信号的基波分量 V_1 时, 用毫伏表在滤波器输出端测出谐波分量 $\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} V_i^2}$ 和不经滤波器的信号分量

$\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} V_i^2}$ 。如图 1-15 所示, 两者之比为

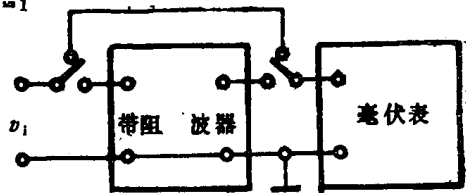


图 1-15 失真度测量示意图

$$\gamma' = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} V_i^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} V_i^2}}$$

则非线性失真系数: