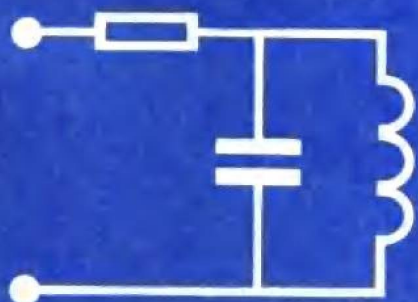


DIAN LU FEN XI JI CHU
SHI YAN YU TI JIE

《电路分析基础》 实验与题解

史耀琮 张永瑞 杨林耀 编



33

西北电讯工程学院出版社

内 容 简 介

本书是为配合计算机专业函授教材《电路分析基础》而编写的。其内容包括实验指导和习题解答两部分。书中第一部分介绍了实验中常用的仪表、仪器和实验内容；第二部分为练习题、习题、自检题及其题解。

本书可供计算机专业函授生使用，也可作为大学本科计算机应用专业和电类有关专业的辅导材料。

《电路分析基础》实验与题解

史耀琮 张永瑞 杨林耀 编

西北电讯工程学院出版社出版发行

西北电讯工程学院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17 10/16 字数 431千字

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷 印数 1—5 000

ISBN7-5606-0014-X/TM·0002

统一书号：15322·86

定价：2.95元

前 言

本书是为配合《电路分析基础》一书而编写的。全书分为两部分：第一部分为实验指导，第二部分为习题解答。

在第一部分中，首先介绍了电子测量技术中常用的仪表和仪器，然后介绍了学习本课程时应该掌握的实验内容。为了便于自学，对每个实验的内容、要求和方法作了详细的叙述。每个实验大约2~3小时。

第二部分的习题解答与《电路分析基础》各章、节紧密相配合。我们为每一节编写了练习题，又为每一章编写了习题。为了便于读者检查自己的学习情况，在每章后面还附有自检题。编写练习题的解答过程时，主要着眼于各节所讲授的内容，以便深化和掌握该节所讲授的基本概念和基本分析方法。从配合教学的观点看，这样做是有利的。但从方法上来说，有的题目的解答并非是最简单的，学了后面的内容，可能还有更好的方法。在编写过程中，我们力求概念清晰，计算步骤简单明了。但希望读者在自学过程中不要过分依赖于解答，应该独立解题，而把解答仅作为自检作业时的参考。请读者切记，自己不动手做题，是不可能掌握本课程内容的。

本书由史耀琮、张永瑞、杨林耀同志编写。其中史耀琮同志编写了实验指导部分；张永瑞同志编写了第一、二、三章的练习题、习题和自检题的解答；杨林耀同志编写了第四、五、六章的练习题、习题和自检题的解答。由于我们水平有限，编写时间仓促，书中定有不少缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

编者

1986.12

目 录

第一部分 实验指导

I 实验须知	1
一 实验课目的	1
二 实验守则	1
II 实验设备简介	2
一 500 型万用表	2
二 JW30×2 型晶体管稳压电源	4
三 XD22 型低频信号发生器	5
四 XF-DL-1 型函数发生器	7
五 DA-16 型晶体管毫伏表	7
六 示波器	8
七 实验板简介	16
III 实验指导书	19
实验一 万用表使用练习	19
实验二 万用表的组装与校验	23
实验三 网络伏安特性的测量	28
实验四 T 型解码网络的研究	32
实验五 示波器使用练习	36
实验六 一阶电路的暂态特性	37
实验七 阻抗的测量	39
实验八 RLC 串联电路谐振特性	42
实验九 独立实验*(一) ——二阶电路的阶跃响应	46
实验十 独立实验(二) ——双 T 陷波网络的研究	47

第二部分 练习题、习题、自检题及其解答

第一章 电路的基本概念和定律	
练习题	49
习题一	66
自检题一	81
第二章 电路的基本分析法	
练习题	86
习题二	96
自检题二	113
第三章 电路的等效变换与定理	

练习题	117
习题三	134
自检题三	151
第四章 动态电路的时域分析	
练习题	155
习题四	173
自检题四	199
第五章 正弦激励下稳态电路的分析	
练习题	203
习题五	218
自检题五	244
第六章 互感和理想变压器	
练习题	249
习题六	259
自检题六	273

第一部分 实验指导

I 实验须知

一 实验课目的

- (1) 学习常用电子仪器、仪表(包括万用表、直流稳压电源、低频信号发生器、毫伏表及电子示波器)的性能和工作原理,并学会其使用方法。
- (2) 学习并掌握基本的测量方法。其内容包括电流与电压的测量,阻抗的测量,网络伏安特性的测量,网络频率特性的测量,以及网络动态响应的测量。
- (3) 培养初步的实验技能,包括正确选用仪表,制定合理的实验方案,实验现象的观察和判断,实验数据的正确读取和处理,误差分析、实验报告的编写等。

二 实验守则

- (1) 实验课前必须认真阅读实验指导书,明确每个实验的具体目的、任务和原理;完成实验前的预备练习和必要的理论计算,准备好数据记录表格。
- (2) 实验时要严肃认真,注意培养科学作风。实验台上各种仪表的配置要求整齐、有条理,以便于操作和读数。要仔细观察和及时分析实验现象。一般应在定性观察实验现象之后,才可有目的地读取数据。
- (3) 连接实验线路要仔细。线路接好后,需请教员检查认可才能接通电源。实验过程中如有异常现象或损坏了器材,应立即切断电源并向教员报告。
- (4) 实验中必须注意人身安全,爱护实验设备,严格按照操作规程使用仪器。不了解仪器的性能和用法时,禁止盲目操作。
- (5) 作完实验,应将测量数据交教员检查,经同意后方可结束实验。把所用仪器、器材整理好以后才能离开实验室。
- (6) 注意保持实验室内的卫生和安静。

II 实验设备简介

一 500型万用表

500型万用表是一种用作交、直流电压，直流电流，电阻和音频电平测量的多功能、多量程仪表。500型万用表的外形如图2.1-1所示。它有两个“功能/量程”转换开关，每个开关的上方均有一个矢形标志。如欲测量直流电压，应首先旋动右边的“功能/量程”开关，使开关上的符号“V”对准标志位；然后将左边的“功能/量程”开关旋至所需直流电压量程（有“V”标志者为直流电压量程）后即可进行测量。似这样，利用两个转换开关的不同位置组合，可以实现上述多种测量。

(一) 主要技术特性

500型万用表的主要技术性能如表2.1-1所示。

表2.1-1中有关名词的意义如下：

灵敏度 电压表内阻 R_v 与电压量程 U_m 的比值是衡量电压表内阻高低的一个参数，称为“每伏欧姆”，用符号

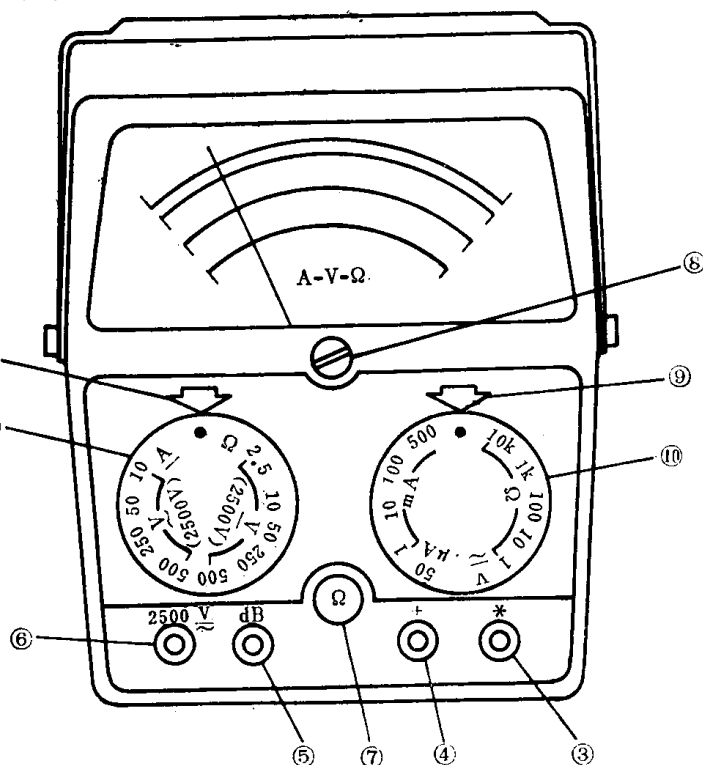


图 2.1-1 500型万用表外形图

- ①、⑩—“功能/量程”转换开关；②、⑨—标志位；
③—公用插孔；④—测量插孔；⑤—dB测量插孔；
⑥—高压测量插孔；⑦—欧姆调零旋钮；⑧—机械调零螺母（不加电时用）

表 2.1-1

被测参数	量 程	灵敏度 (Ω/V)	精度等级	基本误差 (%)	基本误差表示法
直流电压	0~2.5~10~50~250~500 V	20000	2.5	± 2.5	以刻度尺上 限的百分数 表示之。
	2500 V	4000	4.0	± 4.0	
交流电压	0~10~50~250~500 V	4000	4.0	± 4.0	
	2500 V	4000	5.0	± 5.0	
直流 电流	0~50 μ A~1~10~100~500 mA		2.5	± 2.5	以刻度尺长度 的百分数表示之。
音频 电平	-10~+22 dB				
电 阻	$\times 1(\Omega)$, $\times 10(\Omega)$, $\times 100(\Omega)$, $\times 1k$, $\times 10k$		2.5	± 2.5	

“Ω/V”表示。实际上它是电压表满偏电流 $I_m (= U_m/R_V)$ 的倒数。“Ω/V”越大，为使电压表指针偏转同样角度所需驱动电流越小，因此“Ω/V”又称为电压灵敏度(简称灵敏度)。

准确度 用仪表对电路进行某项测量时，仪表示值与被测量真值间总存在一定误差。在仪表规定的**正常使用条件**下，这种误差主要由仪表自身(如结构、刻度、工作特性等)所决定，称为基本误差。当环境温度、湿度、大气压力、外界电磁场等影响因素超出正常使用条件时，将使仪表产生附加误差。附加误差随外界因素而变化。所以通常规定用基本误差来表征仪表的准确度性能。

设被测量真值为 A ，仪表示值为 A_x ，则差值 $\Delta A = A_x - A$ 称为绝对误差。 ΔA 与 A 之比(用百分数表示)称为相对误差。绝对误差不能说明测量的准确程度。相对误差虽可较好地表示测量的准确度，但不能用来评价仪表的准确度。因为在仪表的量程内，被测量可能处于不同位置(A 值不同)，使 $\Delta A/A$ 值不等，仪表的误差难以确定。所以又定义了**满度相对误差**来表征仪表的准确度。

在仪表刻度的不同位置上 ΔA 不相等，取其最大值 ΔA_m 称为仪表的绝对误差限。如果仪表的量程为 A_m ，满度相对误差 β_m 定义为

$$\beta_m = \frac{\Delta A_m}{A_m} \times 100\%$$

国家标准规定，按照满度相对误差 β_m 的大小，直读式仪表的准确度分为七级，如表 2.1-2 所示。

表 2.1-2

准确度级别	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
满度相对误差(%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

音频电平 电平是一种用来表示功率或电压相对大小的参数。首先指定某一功率 P_0 或电压 U_0 作为比较基准(称零电平基准)，则被测功率 P_x 或电压 U_x 的电平值定义为

$$\text{电平值} = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} \quad (\text{dB})$$

可见若 $P_x > P_0$ 或 $U_x > U_0$ 时，则电平值为正，反之为负。

工程上通常规定在 600 Ω 电阻上消耗 1mW 的功率为零电平基准。由此可求出对应于零电平基准的电压值为 $U_0 = \sqrt{P_0 \cdot 600} = 0.775\text{V}$ 。由此可知，万用表刻度尺上的零分贝刻度线，正好对应交流电压刻度尺的 0.775 V 刻度处。所以电平范围在 -10 ~ +22 dB 时，实际对应于交流电压 0 ~ 10V 量程。当被测电平值大于 +22 dB 时，则应将万用表置于交流电压量程 50V 或 250V 状态下进行测量，此时电平读数应按表 2.1-3 所示数值进行修正。例如，在 50 V 量程内测量时，电表读数为 8 dB，按表 2.1-3 修正，实际电平值应为 8 + 14 = 22 dB。

表 2.1-3

量 程	电表电平读数应增加值(dB)	电 平 范 围(dB)
50 V ~	14	+4 ~ +36
250 V ~	28	+18 ~ +56

(二) 使用须知

1. 使用方法

(1) 测量电压时, 需将电表并联于待测支路。测电流时, 需将电表串接于待测支路。在电表接入待测电路以前, 应注意预置“功能/量程”转换开关至所需档位。

(2) 测电阻时, 应先将“功能/量程”转换开关预置适当档位(由待测电阻大约值确定)。再将电表的两个测试棒对接(输入端短路), 并缓旋欧姆调零旋钮使电表指针对准欧姆零位。最后将被测电阻接入输入端, 读取电表指针示数(设为 R), 则待测电阻阻值应为 $R \times$ 量程值。

2. 注意事项

(1) 测电阻时, 不允许被测电阻带电。

(2) 当不能确定被测量大约数值时, 应将量程选至最大。然后根据指针实际偏转情况, 再行确定合适的量程。

(3) 使用完毕, 应将两个“功能/量程”转换开关均定位于“.”(空档)位置。

(4) 500 型万用表电压各档的内阻等于量程值 \times 灵敏度。例如直流 50 V 档内阻为 $50\text{V} \times 20000 \Omega/\text{V} = 10^6 \Omega = 1\text{M}\Omega$ 。

500 型万用表电流各档内阻见表 2.1-4。

表 2.1-4

量 程(mA)	1	10	100	500
内阻值(Ω)	750	75	7.5	1.5

(5) 绝对禁止用电流档或电阻档去测量电压。

二 JW30 \times 2 型晶体管稳压电源

JW30 \times 2 型晶体管稳压电源是实验室常备的低压小功率直流稳压电源的一种。它有两路电压输出, 图 2.2-1 示出其面板图。

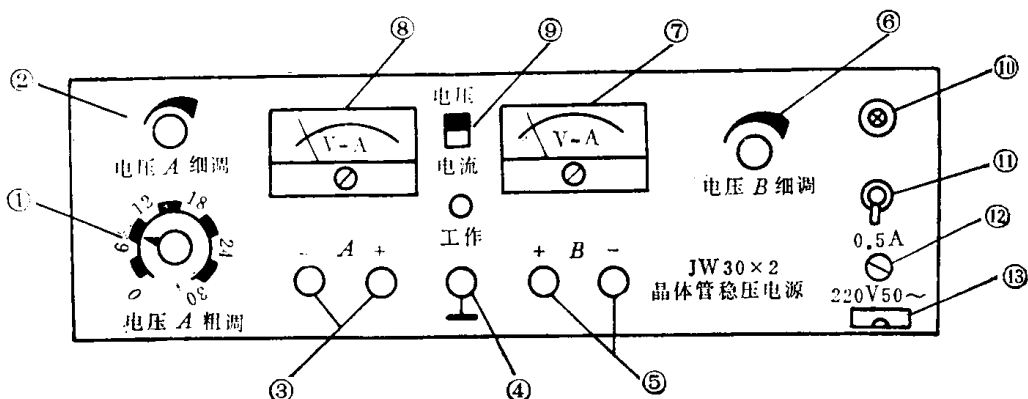


图 2.2-1 JW30 \times 2 型晶体管稳压电源

①、②—A 路电压粗调与细调旋钮; ③—A 路电压输出端; ④—仪器“地”; ⑤—B 路电压输出端; ⑥—B 路电压细调旋钮; ⑦、⑧—B 路和 A 路输出指示(电压或电流); ⑨—“电压/电流”输出指示转换开关; ⑩—指示灯; ⑪—电源开关; ⑫—保险丝; ⑬—电源线插座

(一) 主要技术特性

(1) 输出电压:

A路 由电压粗调开关控制,分0~6 V、6~12 V、12~18 V、18~24 V、24~30 V等5档。每档内由电压细调旋钮控制,输出电压连续可变。

B路 由电压细调旋钮控制,输出电压在0~30 V范围内连续可调。

(2) 最大输出电流: A、B两路都是2 A。

(3) 电压稳定度: 220 V交流电源电压变化 $\pm 10\%$,输出直流电压变化小于1%。

(4) 负载稳定度: 输出电流由0变至额定值时,输出电压变化不大于30 mV。

(5) 输出纹波电压小于3 mV。

(6) 电源电压: 50 Hz, 220 V $\pm 10\%$ 。

(二) 使用方法

(1) 把位于面板上两只电表中间的“电压/电流”转换开关向上拨至“电压”位置,这时两只电表分别指示A和B两路输出的电压值。打开电源开关,调节两路电压至所需值,本电源即可使用。

(2) 经过上述操作,若发现有任何一路无输出电压时,可按动“工作”按钮,启动电源工作后再调节输出电压值。

(3) 使用中,有任何一路输出电流过大,超过额定值时,电源即自动“保护”,这时该路输出电压为零。在减轻负载后,需按“工作”按钮方可重新启动电源。

(4) A和B两路输出电压彼此独立。使用者可任意选择它们的极性(正电压输出或负电压输出)。

三 XD22型低频信号发生器

XD22型低频信号发生器可以产生正弦或方波信号。其输出频率范围较宽(1Hz~1MHz),输出频率用数码管显示,方波宽度可调,是一台多功能的信号发生器。

(一) 主要技术特性

(1) 频率范围:

I 波段 1~10 Hz

II 波段 10~100 Hz

III 波段 100 Hz~1 kHz

IV 波段 1~10 kHz

V 波段 10~100 kHz

VI 波段 100 kHz~1 MHz

(2) 频率误差:

I ~ V 波段 小于 $\pm (1.5\% f + 1 \text{ Hz})$

VI 波段 小于 $\pm 2\% f$

(3) 频率稳定度: 小于 $7 \times 10^{-4}/\text{h}$

(4) 正弦波输出:

输出空载电压 大于 6 V (有效值)
 额定输出电压误差 小于 ± 1 dB
 波形失真 10 Hz ~ 200 kHz 范围内小于 0.1%
 输出阻抗 $600 \Omega \pm 10\%$

(5) 方波(脉冲)输出:

幅度 0~10 V (U_{pp} 值), 连续可调
 宽度 占空比在 30%~70% 范围内连续可调
 上升、下降时间 小于 $0.3 \mu s$

(6) 电源: $220 V \pm 10\%$, 50 Hz

(二) 使用方法

图 2.3-1 示出 XD22 型低频信号发生器的原理方框图和面板图。使用步骤及注意事项如下:

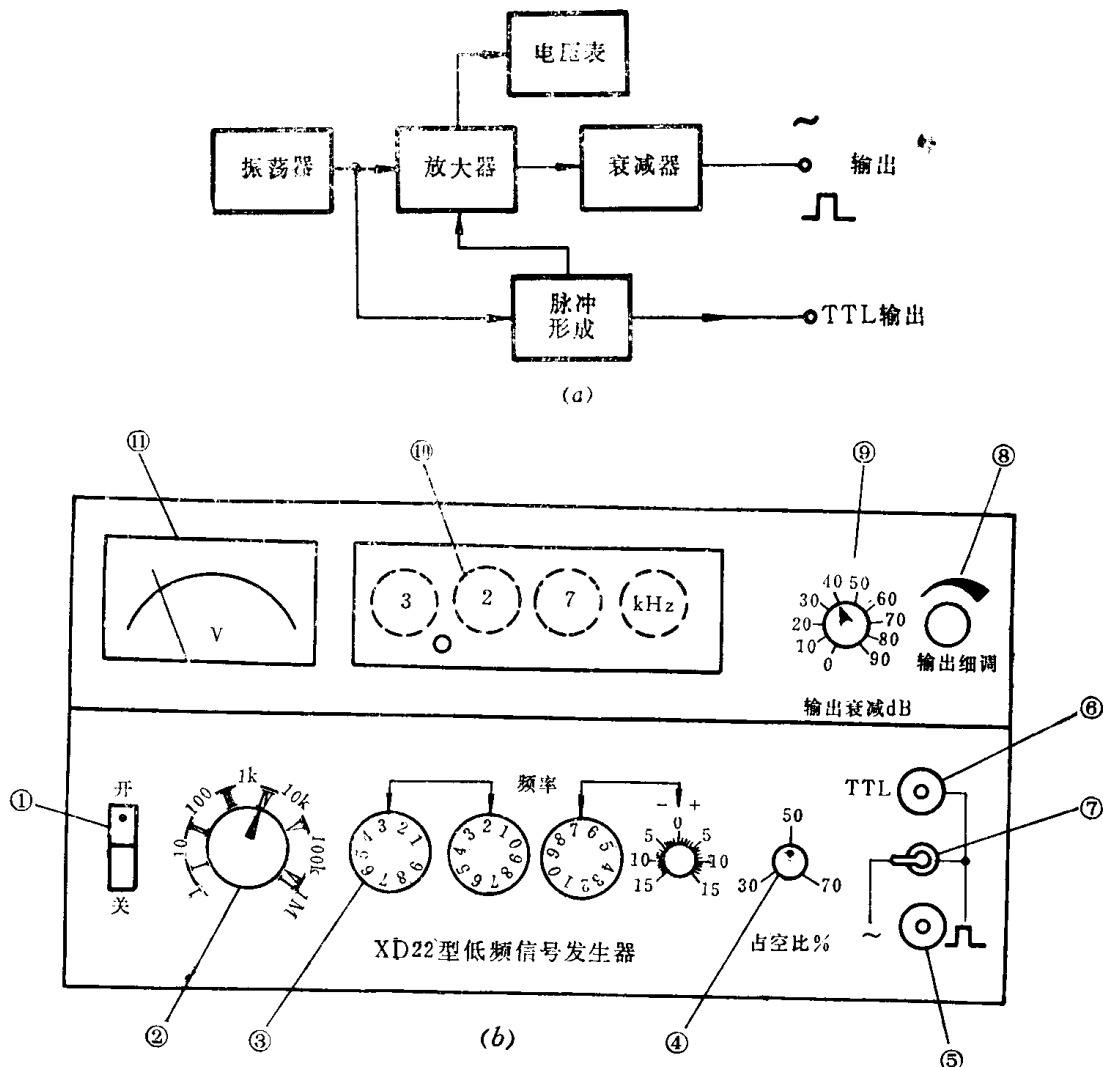


图 2.3-1 XD22 型低频信号发生器

(a) 原理方框图; (b) 面板图

①—电源开关; ②—波段开关; ③—频率调节旋钮; ④—脉冲宽度(占空比)调节旋钮; ⑤—正弦及方波电压输出插孔; ⑥—TTL 逻辑信号输出插孔; ⑦—“正弦/方波”输出信号转换开关; ⑧—输出细调; ⑨—输出衰减; ⑩—频率显示; ⑪—电压表

(1) 接通电源后频率显示数码管应有指示。因仪器开始工作(起振)时,电压幅度会超过正常值,所以开机前应把“输出细调”电位器置于较小位置。

(2) 调节“波段”和“频率”旋钮开关,使频率达到所需数值。

(3) 当需要正弦信号输出时,“信号转换”开关置向左边。当需要脉冲输出时,“信号转换”开关应置向右边。脉冲输出时,输出脉冲的宽度和幅度可通过“占空比”和“输出细调”旋钮来调节。TTL 逻辑信号幅度不可调节。

(4) 正弦波输出电压可连续调节。输出电压值由面板上的电压表指示。该电压表有上、下两条刻度。当衰减器置 0 dB 时,电压表满偏值为 6.3 V,读上面的刻度;当衰减器置 10 dB 时,电压表满偏为 2 V,读下面的刻度。

注意:电压表刻度仅对正弦信号有效,且为仪器的开路电动势(空载端电压)。

四 XF-DL-1 型函数发生器

XF-DL-1 型函数发生器,是一种可以产生多种波形的简易信号发生器。其面板图(含原理方框图)示于图 2.4-1。利用波形转换开关,可使仪器输出方波、三角波、梯形波、锯齿波和窄脉冲(模拟冲击信号)这五种波形中的任一种。幅度调节旋钮可连续改变输出波形的幅度,方波峰值最大达 10 V。周期(频率)调节旋钮可在 $1\text{ kHz} \pm 10\%$ 范围内调节输出信号的频率。

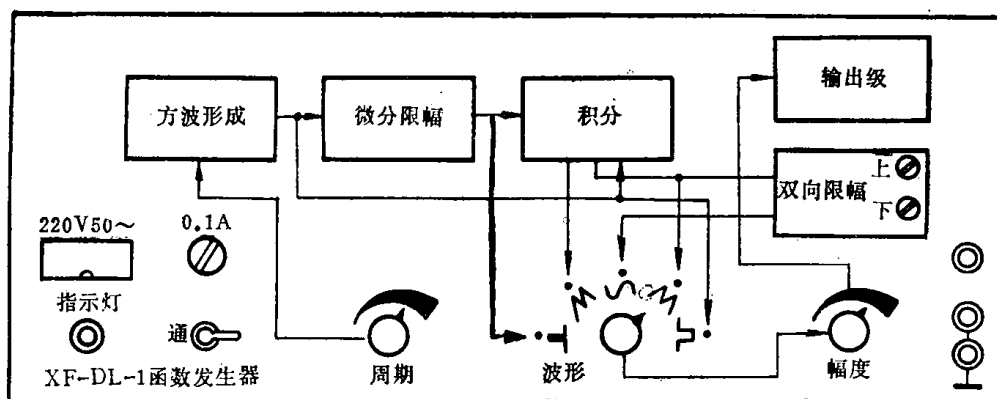


图 2.4-1 XF-DL-1 型函数发生器

五 DA-16 型晶体管毫伏表

DA-16 型晶体管毫伏表是一种放大-检波式电子电压表,具有较高的灵敏度和稳定度,用于正弦电压有效值的测量。

(一) 主要技术特性

- (1) 电压测量范围: $100\ \mu\text{V} \sim 300\ \text{V}$, 共分 11 档级。
- (2) 电平测量范围: $-72\ \text{dB} \sim 32\ \text{dB}$ ($600\ \Omega$)。
- (3) 被测电压频率范围: $20\ \text{Hz} \sim 1\ \text{MHz}$ 。
- (4) 固有误差: $\leq 3\%$ (基准频率 $1\ \text{kHz}$)。
- (5) 频率响应误差:

当频率在 100 Hz~100 kHz 范围时 $\leq 3\%$;

当频率在 20 Hz~1 MHz 范围时 $\leq 5\%$

(6) 输入阻抗: 1 kHz 时为 1 M Ω , 70 pF。

(7) 电源: 220 V $\pm 10\%$, 50 Hz。

(二) 使用方法

DA-16 型晶体管毫伏表面板图示于图 2.5-1。使用方法及注意事项如下:

(1) 为保证测量精度, 使用时应使毫伏表表面垂直放置。

(2) 接通电源, 待电表指针摆动数次至稳定后, 将测量输入端短接, 缓动“调零”旋钮使指针对准零位后, 即可进行测量。

(3) 测量前应正确选择量程档级, 避免因过载太大致使电表内部晶体管损坏。

(4) 本仪表灵敏度较高, 当使用毫伏档时若输入端开路, 指针会迅速满偏造成“打表”, 严重时可使指针打弯, 造成损坏。避免“打表”的办法, 是在测量前先把仪表置较大量程(常取 10V 或 30V), 接入被测电路后再逐次将量程改小。测量完毕, 再把量程换大。

(5) DA-16 型晶体管毫伏表面板上有三条刻度。一条满偏值为 10, 供量程开关指 0.1、1、10 等档级时使用;

一条满偏值为 3, 供 0.3、3、30 等量程使用; 第三条刻度供电平(dB)测量用。

(6) 使用时需正确选择接“地”点, 以免造成测量误差。

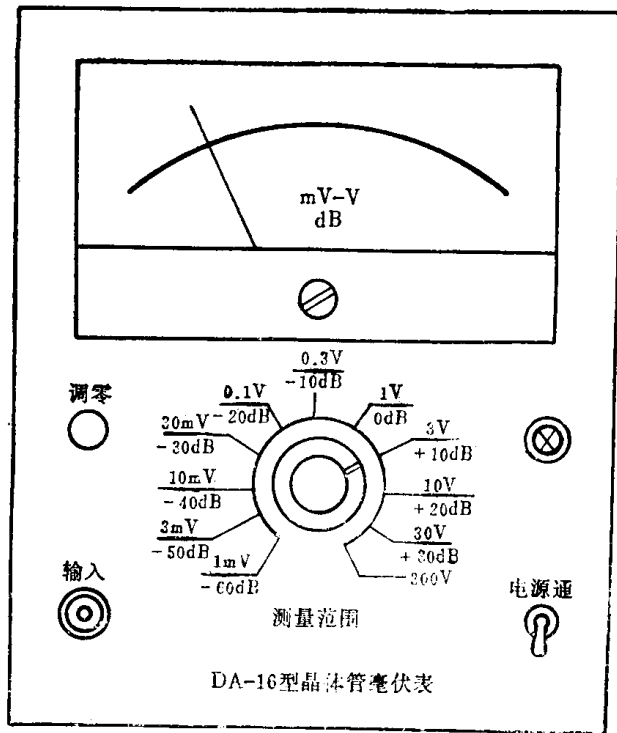


图 2.5-1 DA-16 型晶体管毫伏表

六 示 波 器

示波器是一种用途广泛的电子图示测量仪器。既可以用它进行时域测量, 观察电信号随时间变化的波形, 测量波形的幅度、宽度、周期和频率等参数。也可以用它进行频域测量, 显示网络的频率特性。还可以用它做 X-Y 图示仪, 以图形方式显示任意两个相关联电参数间的关系, 如元件伏安特性、状态变量轨迹等。如果配合以各种换能器, 示波器还可用做许多非电物理量(压力、温度、机械振动等等)的测量。

(一) 示波器原理简述

示波器由示波管和一些功能电路构成, 其原理方框图示于图 2.6-1。

1. 阴极射线示波管

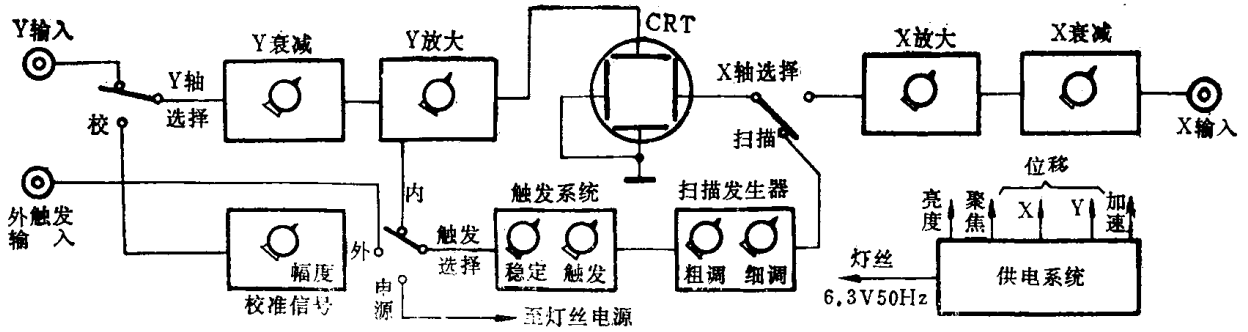


图 2.6-1 示波器的原理方框图

阴极射线示波管(简称 CRT)是示波器的关键部件。它由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成。图 2.6-2 示出 CRT 的原理结构和供电系统图。

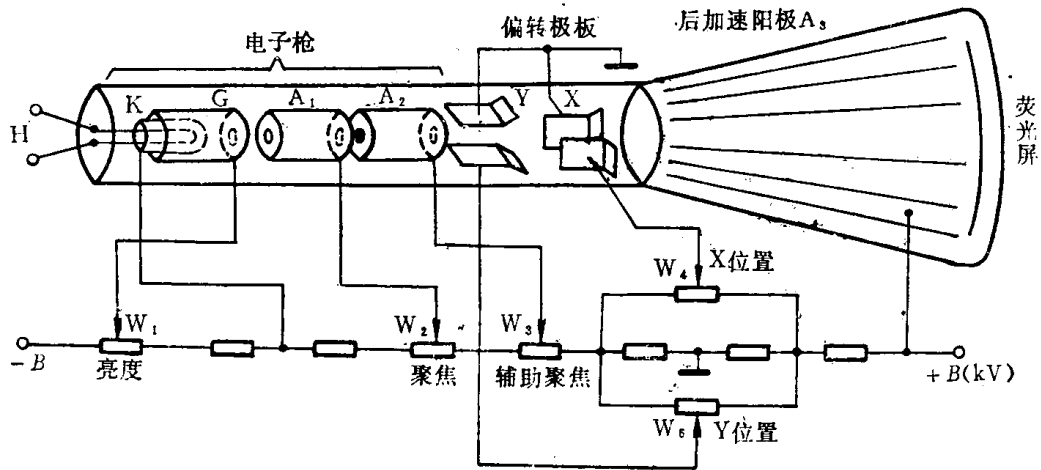


图 2.6-2 CRT 结构及其供电系统示意图

(1) 电子枪。电子枪由灯丝 H、阴极 K、控制栅极 G、第一阳极 A_1 和第二阳极 A_2 组成。电子枪的作用是产生一束高速运动，且向轴心汇聚的电子流，射向荧光屏使之发光。

电流流过灯丝 H，使灯丝发热。阴极 K 靠灯丝发出的热量激发出大量自由电子。罩在阴极外面的控制栅 G 形似套筒，其顶部中心有一小圆孔。G 的电位较 K 低，对阴极发射的自由电子起排斥作用。只有动能高的一部分电子，能够穿过栅极小孔，进入阳极加速电场。调节电位器 W_1 ，可以改变栅极电位，控制电子流密度，起到控制荧光屏上波形亮度的作用。所以 W_1 称为“辉度”电位器。

第一和第二阳极均为筒状，两端开有小孔，用以限制电子流的横截面积。第一阳极 A_1 的电位远高于 G 和 K，对电子起加速作用。K、G 和 A_1 的电位配置构成了第一“电子透镜”，使电子流加速并聚焦，形成一条细细的“电子束”射向荧光屏。在荧光屏上打出(激发出)一个光点。调节电位器 W_2 ，可以改变 A_1 的电位，这起着改变电子透镜的焦距的作用，称为“聚焦”。聚好焦时，电子束汇集的焦点恰落在荧光屏上，使光点小而清晰。第二阳极 A_2 的电位又高于 A_1 ，它们构成第二电子透镜。调节电位器 W_3 ，可改变 A_2 的电位，使聚焦得到改善，即使荧光屏上的光点更圆更小。 W_3 称为“辅助聚焦”电位器。

第三阳极 A_3 由涂在 CRT 内壁上的金属或石墨导电层构成。其上加有很高的电压，对电

子流起加速作用，可以进一步增加电子动能，提高荧光屏上光点的亮度。 A_2 位于偏转极板之后，是使经过偏转后的电子流加速的，故称为“后加速阳极”。

(2) 荧光屏。在 CRT 屏幕的内表面上涂有一层荧光物质，故称荧光屏。当荧光屏受到电子流轰击时，受轰击部位便发出辉光来。轰击停止，辉光也就消失。荧光屏受轰击后，辉光的存留时间称为“余辉”。不同的荧光物质，其辉光颜色和余辉的长短各不相同。余辉在 $0.1s$ 以上的属于长余辉，辉光多呈黄色。余辉在 $1ms \sim 0.1s$ 之间属于中余辉，多呈绿色。余辉在 $10\mu s \sim 1ms$ 的属于短余辉，多呈蓝色。普通示波器所用 CRT 均为中余辉管。

电子的动能在荧光屏上转变为光能的同时，还伴随着产生一定热量。若电子束长时间轰击某一点，尤其当电子流的密度很大使光点过亮时，就有可能使该点附近的荧光物质烧毁，出现暗斑。

(3) 偏转系统。CRT 的偏转系统，由 X 和 Y 两对偏转板构成。它们的作用是利用加于每对极板上的偏转电压，来实现电子束沿水平方向和垂直方向的偏转。

图 2.6-3 示出电子束偏转原理。当二极板上所加电压 $U_y(t) = 0$ 时，二偏转板间无电场存在，电子束沿 CRT 轴线直射荧光屏，在屏的中心打出一个光点。若偏转电压 U_y 不为零，二极板间便产生电场，电子束受此电场作用而偏移，荧光屏上光点的位置也随之偏离中心。光点偏离中心的距离表为 $y(t)$ ，它与偏转电压 $u_y(t)$ 、第二阳极电压 U_{A2} 及偏转系统的几何尺寸有关。其关系式为

$$y(t) = \frac{L_1 L_2}{2dU_{A2}} u_y(t) = S u_y(t) \quad (2.6-1)$$

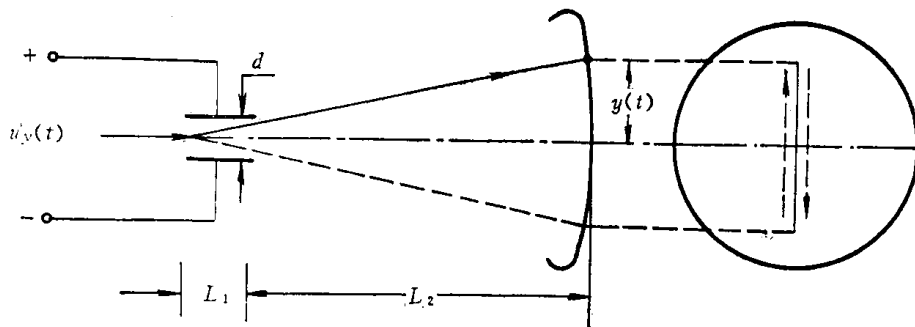


图 2.6-3 电子束的偏转

式中 L_1 是偏转板长度， d 是二偏转板间的距离， L_2 是偏转板至荧光屏间的距离。由于 L_1 、 L_2 、 d 及 U_{A2} 均为定值，式中 $S = L_1 L_2 / 2dU_{A2}$ 也是常数，称为 CRT 的“偏转因数”。 S 的倒数又叫“偏转灵敏度”，表示光点每偏移 $1cm$ 所需偏转电压值。偏转灵敏度是表征 CRT 特性的重要参数之一。

式(2.6-1)指出，光点偏离距离正比于偏转电压。这一特性是示波器测量的理论基础。

任何型号的示波器，都有调整屏幕上波形位置的装置，称为“X 轴位移”和“Y 轴位移”。其原理是在 X 和 Y 两对偏转板上，各加一路直流电压，利用调节电压的大小和极性的方法来改变屏上光点(或波形)的平衡位置。实现位置控制的一种方案示于图 2.6-2 中(见图中电位器 W_4 和 W_5)。

2. 波形显示原理

欲在荧光屏上显示某一信号例如正弦电压 $u = U_m \sin \omega t$ 随时间变化的波形时，需将该电压 u 加于 CRT 的 Y 偏转板上，同时还需在 X 偏转板上加一周期性锯齿形电压。

当只在 Y 偏转板上加正弦电压 u 时，电子束只受竖直方向的力，随 u 的变化做周期性的上、下偏转。因而电子束在荧光屏上轰击出的光点也随之上下移动。光点移动的轨迹是一条竖直方向的直线，其长度代表正弦电压 u 的峰-峰值 $U_{pp} = 2U_m$ 。见图 2.6-3。

只在 X 偏转板上加有周期性锯齿电压的偏转情况示于图 2.6-4。由于在一锯齿宽度 T 内，电压是时间的线性函数 $u_x(t) = Kt$ ，所以只要调整光点的位置，使之当锯齿周期之始 $u_x(0) = 0$ 时处于屏幕左端，而当锯齿周期之末 $u_x(T) = KT$ 时处于屏幕右端。则在每一锯齿电压作用下，光点完成一次从左至右的等速运动，我们称之为“扫描”。光点扫描的轨迹是一条水平

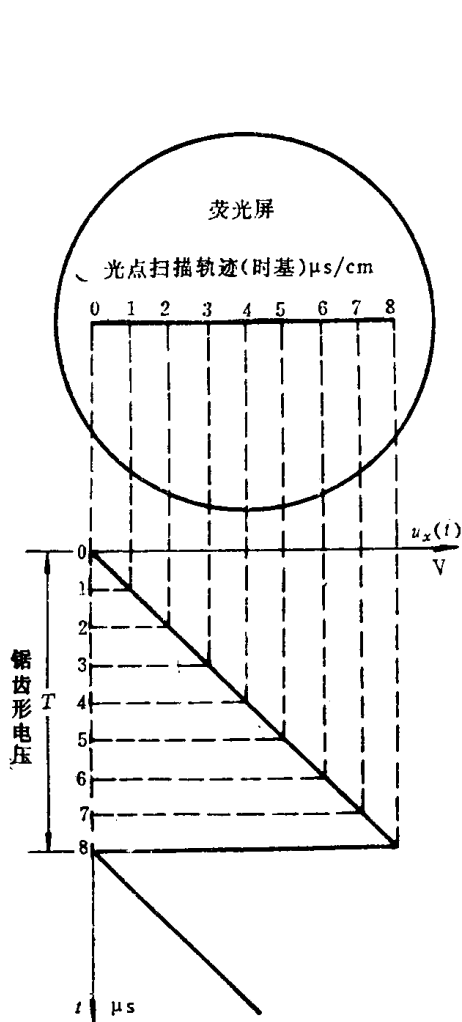


图 2.6-4 时基的形成

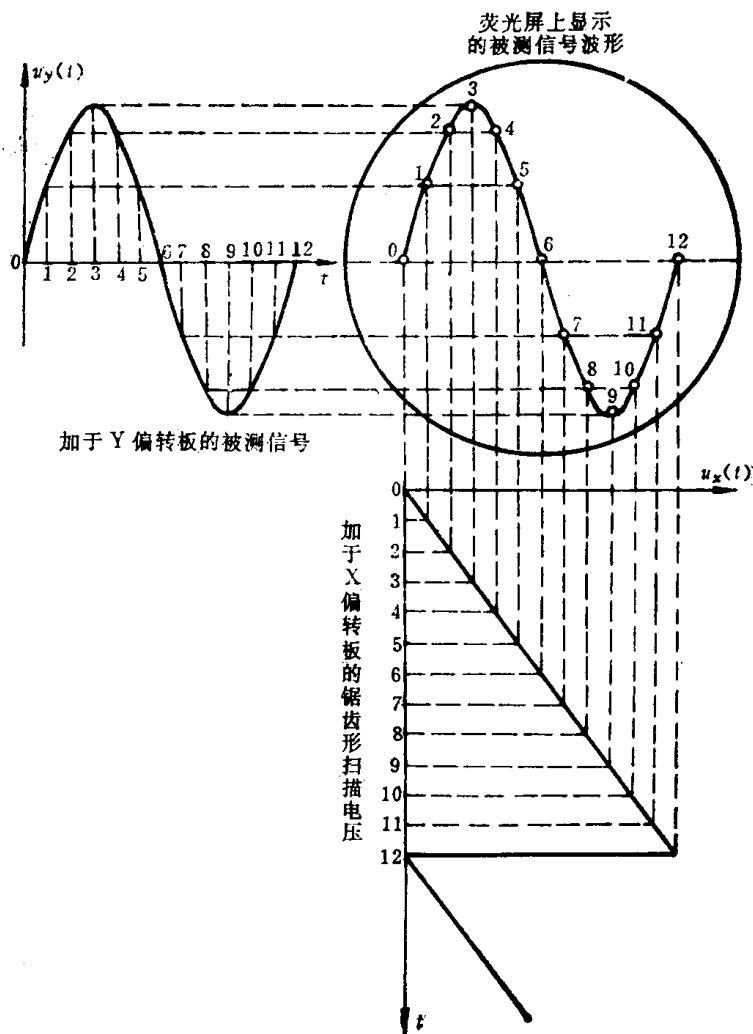


图 2.6-5 波形显示原理

的直线。扫描线的长度等于屏幕直径 D 。光点扫描一次所需的时间等于锯齿电压宽度 T 。取扫描时间与扫描线长度之比 T/D (ms/cm)，即可将扫描线的单位长度转化为时间刻度。因此又称扫描线为“时间基准”，简称时基。

在垂直与水平偏转板上电压 u_y 和 u_x 共同作用下，光点的运动将是 y 与 x 两个方向上分运动的合成。合成运动的轨迹就是被观测的正弦电压 u 的波形。波形合成原理如图 2.6-5 所示。

由示波器的原理方框图(图 2.6-1)中看出,被测信号应加于示波器的 Y 轴输入端,经 Y 轴选择开关、Y 轴衰减器和 Y 轴放大器后,再加于 CRT 的 Y 偏转板上。从该图还可看出,进行时域测量所需的时基,是示波器内部扫描发生器产生的。为了产生线性时基,可以有不同的扫描方式——连续扫描和触发扫描。这两种扫描方式,各具不同特点。

(1) 连续扫描。连续扫描是指扫描发生器连续工作,它产生连续不断的周期性锯齿电压。因此光点在屏上的扫描是一次接一次、连续不断的。如果 Y 轴信号为零(无外加信号),屏幕上即显示出一条时基线。这种扫描方式适宜观测连续信号的波形。

采用连续扫描方式的示波器,在使用中需注意进行“同步”调节。所谓“同步”即指锯齿电压的周期 T_p 与被测信号的周期 T_s 之间保持严格的整倍数的关系: $T_p = nT_s$ (n 为整数)。否则荧光屏上将不能保持稳定的波形。

图 2.6-5 所示为连续扫描且 $T_p = T_s$ 的情况。光点每扫描一次,恰好描出被测信号的一个完整周期的波形。光点每次扫描的轨迹,在屏幕上完全重合。所以屏上呈现出稳定不变的电压波形。如果 $T_p = 2T_s$ 或 $T_p = 3T_s$,相应地,屏上将显示出被测信号的二个周期或三个周期的稳定波形。

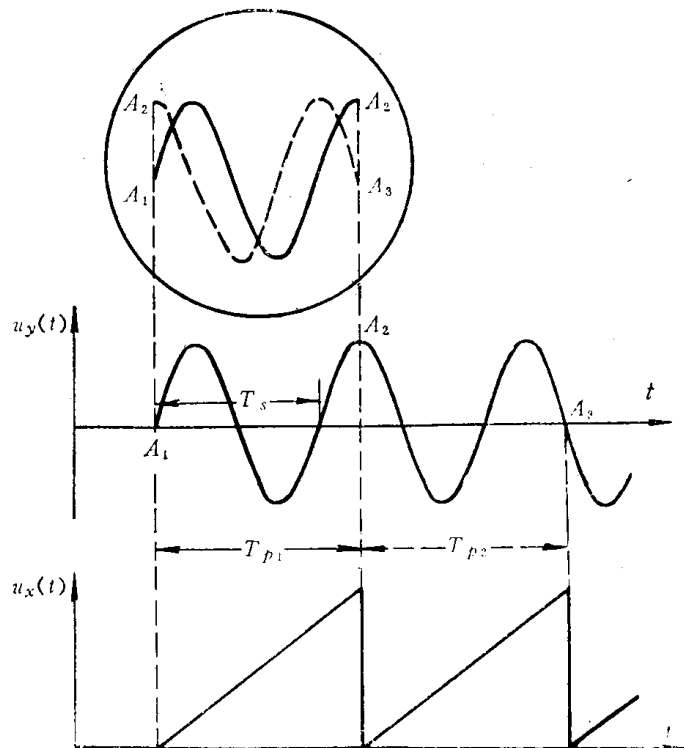


图 2.6-6 $T_p \neq nT_s$ 时的波形显示

图 2.6-6 示出 T_p 不是 T_s 整倍数的情况。在第一扫描周期 T_{p1} 内,光点在屏上描出信号 A_1 至 A_2 的一段波形。在第二扫描周期 T_{p2} 内,光点在屏上描出信号 A_2 至 A_3 的一段波形。由于光点每次扫描的线段不同,每次在屏上描出的轨迹不同,屏上就不可能呈现单一的、稳定的信号波形。这就是扫描电压与被测信号不同步的结果。

扫描电压与被测信号系发自两个不相关的振荡源,这就是造成这两个信号不同步的原因。为了解决这个问题,可利用被测电压或与被测电压相关联的电压做同步信号,通过同步调节电路,去控制扫描发生器,以迫使 $T_p = nT_s$,这个过程叫作“同步”。通过同步调节,可在一定频率范围内维持同步条件,以得到稳定的波形显示。

(2) 触发扫描。触发扫描的工作原理示于图 2.6-7。利用被测信号波形上的某固定点 S ,使触发电路产生触发脉冲序列。此脉冲序列依次触发扫描发生器,使之产生一系列锯齿形电压,用来驱动电子束扫描。图中用实线画出的锯齿形电压,其周期 T_p 小于信号电压周期 T_s 。在此情况下,每个触发脉冲都可触发一个锯齿电压,启动 CRT 扫描一次。由于每次扫描轨迹均是 u_y 波形的 ab 段,荧光屏上就显示出该段曲线的稳定图形,如图(b)中显示出的曲线 A 。图(a)中用虚线画出的锯齿电压,其周期 T'_p 大于被测电压的周期 T_s ,此时屏上显示出被测波形的 ac 段,如图(b)中示出的曲线 B 。在一个锯齿电压结束,后一触发脉冲尚未到来的这