

高 等 学 校 教 材

信号、系统与控制实验教程

王凤如 王小扬 主编
王凤如 王小扬 王瑛 编



高等教育出版社

内容提要

本书是国家电工电子教学基地实验系列教材之一,是为高等院校工科电类专业编写的一本实验教材,主要目的是培养学生实验能力和创新能力。

上篇“信号与系统实验”分为三章,在内容安排上有一定的系统性。第1章是实验技术介绍,包括3个应用实验,第2章是时域分析与信号分析内容的6个实验,第3章是系统分析与MATLAB应用的11个实验。

下篇“自动控制原理”分为四章,第4章简要介绍控制理论的一般概念,第5章介绍控制理论实验的测试方法,第6章介绍常用实验仪器,第7章为控制理论的20个实验。

本实验内容适用各类本科、大专乃至研究生等开设“信号与系统”“自动控制原理”“控制系统工程”和“现代控制理论”等相关课程的院校使用。可根据不同学时选择适合自己的实验内容,通过实验可大大提高学生的动手能力、分析问题的能力以及综合设计能力,使理论教学效果得到巩固与提高。

图书在版编目(CIP)数据

信号、系统与控制实验教程/王凤如,王小扬主编. —北京:

高等教育出版社,2004.8

ISBN 7-04-014540-5

I. 信... II. ①王...②王... III. 信号系统-实验
-高等学校-教材 IV. TN911.6-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第053386号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100011

总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 16

字 数 380 000

版 次 2004年8月第1版

印 次 2004年8月第1次印刷

定 价 18.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

随着科学与计算机技术的发展,教育部越来越重视对高校学生综合能力的培养。对工科院校的信息工程类、电气类、自动化类等专业的学生来说,动手能力更显重要。教育部立项的电工电子基地建设项目中,也覆盖了“信号与系统”和“自动控制原理”这两门课程。前者已成为电类学科的公共课程,后者是理论性和工程应用性都很强的技术基础课。加强这两门课的实验,不但有助于理论联系实际,升华理论教学,而且有助于培养学生的科学实验和工程实践能力。通过多年的教学实践和近8年的基地建设,我们编写了这本教材,一方面是想把我们的成果奉献给社会,另一方面也算是我们对基地建设的一个汇报。

本书由上篇和下篇两部分组成。上篇“信号与系统实验”分为3章,共20个实验。下篇“自动控制原理实验”分为4章,共20个实验。

“信号与系统实验”是南京航空航天大学“信号与系统”课程教学实践、教学改革成果之一。近年来,随着信息科学与技术的发展,“信号与系统”已迅速发展为所有电类学科的公共课程。该课程的特点是理论性强,内容描述较为抽象。如何加强该门课的实践环节,是该门课教学改革的重要议题。多年来,我们着眼于课程的基本概念与重点难点问题,尝试应用C语言、EWB、MATLAB等软件平台开发新实验,并引入虚拟仪器用于硬件实验,力求使学生通过实验课,加深对理论课的理解,提高对课程理论的应用能力。

“自动控制原理实验”是南京航空航天大学控制理论及应用教研室全体同志长期努力工作的结晶,其中蕴藏着我们几十年来理论教学与实验教学积累的丰富经验。有科研成果的融入,还有功能较强、操作方便的自制仪器的介绍。其内容覆盖面广,涉及到线性系统、非线性系统、离散系统、多变量系统中状态空间方面的内容。从深度来说,有难度较小的验证性实验,有难度较大的设计性实验,还有适合做课程设计的综合性实验。实验方式有模拟实验,数字实验,仿真实验,实际系统实验,还有目前控制界最流行的MATLAB应用软件实验及SIMULINK仿真实验等。后四章中第4章简要介绍控制理论的一般概念,第5章介绍控制理论实验的测试方法,第6章介绍常用实验仪器,第7章为控制理论的20个实验。

本书由王凤如、王小扬主编。上篇全部由王小扬编写,下篇由王凤如、王瑛合编。

东南大学自动控制系袁晓辉教授审阅了本书的上篇,东南大学自动化研究所蒋珉副教授审阅了下篇。他们在百忙之中审阅了全稿,并提出了许多宝贵的意见和建议,特此向他们表示衷心的感谢。吴庆宪教授对全书的指导思想提出了许多宝贵的意见,在编写过程中得到邓为民、蔡勋、丁勇、王从庆和刘春生等老师的积极支持,在此一并表示深深的谢意。

由于编者的水平有限,时间仓促,在编写过程中错误和不足之处在所难免,欢迎读者给予批评指正。

编 者

2004年3月

于南京航空航天大学

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588



目 录

上篇 信号与系统实验

第 1 章 实验技术基础 (预备实验)	(3)	第 3 章 系统分析与 MATLAB 分析实验	(82)
1.1 信号与系统常用仪器的介绍 与使用	(3)	3.1 线性系统频率特性的测试	(82)
1.2 EWB 的基本操作	(16)	3.2 低通滤波器设计	(88)
1.3 EWB 操作应用练习	(21)	3.3 连续时间系统模拟	(89)
1.4 MATLAB 使用简介	(24)	3.4 系统的零状态响应	(93)
1.5 连续信号的可视化表示 (MATLAB 使用练习)	(35)	3.5 求系统的零、极点	(95)
1.6 虚拟仪器的使用	(43)	3.6 线性系统的三种不同方式之间 的转换	(98)
第 2 章 时域分析与信号分析实验	(52)	3.7 信号通过线性系统	(102)
2.1 时域分析	(52)	3.8 调幅信号通过振荡回路	(105)
2.2 卷积积分的数值计算	(56)	3.9 采样定理实验	(109)
2.3 电信号的合成与分解	(64)	3.10 离散卷积	(112)
2.4 周期信号的频谱分析	(71)	3.11 应用 MATLAB 语言求卷积	(113)
2.5 信号频谱的测试	(75)		
2.6 用沃尔什函数合成信号	(78)		

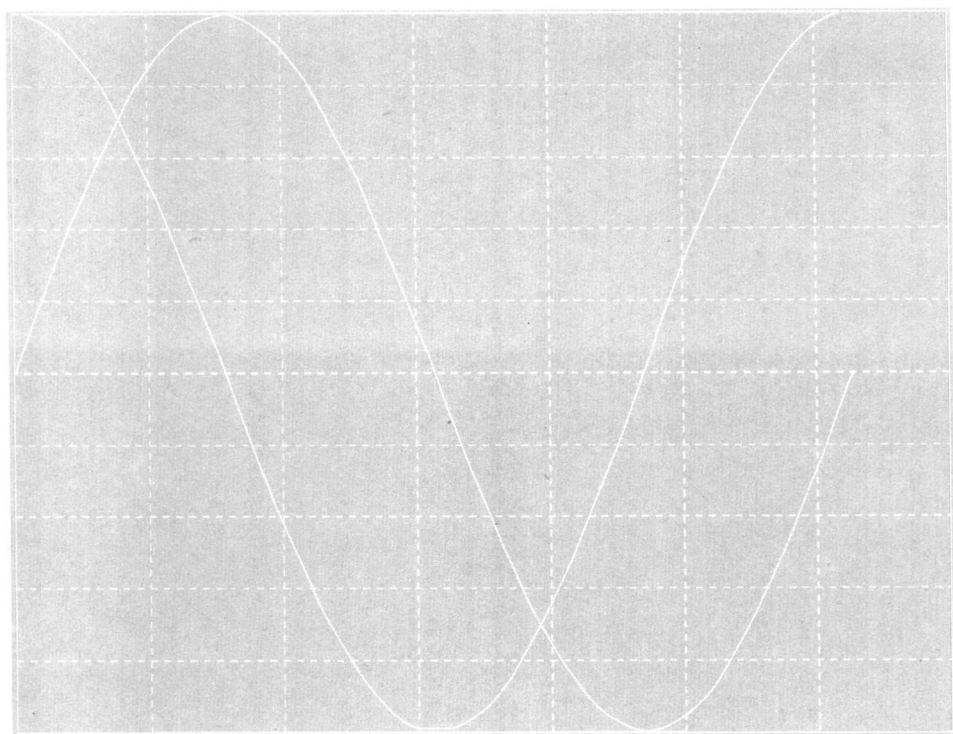
下篇 自动控制原理实验

第 4 章 控制系统的一般概念	(117)	示仪	(144)
4.1 控制系统的分类	(117)	6.5 XSJ-1 型小功率直流随 动系统	(149)
4.2 组成控制系统的典型元部件及其 物理实现	(119)	6.6 JM-1 型自动控制原理模拟 学习机	(152)
第 5 章 控制系统动态特性的基本测 试方法	(130)	6.7 JM-S 离散系统理论模拟 学习机	(157)
5.1 动态特性的时域测试	(130)	6.8 JM-M 现代控制理论模拟 学习机	(162)
5.2 动态特性的频域测试	(134)	6.9 自动控制原理虚拟实验 平台	(166)
第 6 章 实验常用仪器简介	(138)	第 7 章 自动控制原理实验	(177)
6.1 超低频信号发生器	(139)	7.1 自动控制系统演示实验	(177)
6.2 笔式记录仪	(141)	7.2 小功率直流随动系统研究	(181)
6.3 慢扫描电子示波器	(142)		
6.4 光电转速传感器和转速数字显			

7.3	随动系统或调速系统设计·····	(184)			
7.4	一阶系统和典型欠阻尼二阶系统 的时域研究·····	(186)			
7.5	控制系统稳态误差的研究·····	(189)			
7.6	利用虚拟仪器研究串联超前校正 对系统性能的影响·····	(191)			
7.7	控制系统的频域法研究·····	(193)			
7.8	基于 Simulink 工具箱的自动 控制系统仿真研究·····	(198)			
7.9	MATLAB 在控制系统中 的应用·····	(202)			
7.10	串联校正网络的设计与线性 系统的性能分析·····	(205)			
7.11	用相平面法研究非线 性系统·····	(211)			
7.12	基于采样器与保持器的采样 控制系统的研究·····	(215)			
7.13	基于差分方程的数字 PID 控制 器的研究·····	(219)			
7.14	根轨迹法校正·····	(221)			
7.15	状态反馈的设计与实现·····	(226)			
7.16	状态观测器的研究·····	(229)			
7.17	状态观测器的设计与实现·····	(234)			
7.18	MATLAB 在现代控制系统中 的应用·····	(235)			
7.19	有限时间状态最优调节器·····	(239)			
7.20	课程设计——倒立摆控制系 统研究·····	(240)			
参考书目·····					(246)

上篇

信号与系统实验



第 1 章 实验技术基础（预备实验）

本章介绍信号与系统实验课程常用的实验技术基础：包括常用仪器的使用方法，EWB 的基本操作与应用，MATLAB 的基本使用与练习，虚拟仪器的介绍与使用等。除虚拟仪器外，每项实验技术介绍后，都紧跟一个应用实验，做到即讲即用，为完成实验课的任务奠定良好的基础。

1.1 信号与系统常用仪器的介绍与使用

1.1.1 实验目的

(1) 了解脉冲信号发生器，高频信号发生器等信号产生器的功能，掌握对这些信号源的基本使用方法。

(2) 熟悉示波器，毫伏表等测量仪器的功能，掌握此类测量仪器的使用要领。

1.1.2 部分常用仪器的介绍与使用

1. 脉冲信号发生器

脉冲信号发生器可以产生幅度 A ，脉宽 τ ，频率 f (周期 T) 都可以调节的脉冲信号。通过调节脉冲信号的各个参数，可以输出上、下沿较快的矩形脉冲信号，也可以输出上升沿、下降沿较慢的梯形波、三角波、锯齿波等信号波形。如：占空比——这个脉冲信号的重要参数，是用 τ/T 来定义的，可以通过对脉宽、频率等旋钮的调节得到占空比满足要求的脉冲信号。当矩形脉冲信号的占空比 $\frac{\tau}{T} = 50\%$ 时，此时的矩形脉冲信号就称为方波。当方波的周期远大于阶跃响应的瞬态过程所经历的时间时，方波就可以近似地代替阶跃信号。当矩形脉冲信号的占空比小于 10% 时，称为窄脉冲，此时窄脉冲的间隔时间远大于冲激响应的瞬态过程所经历的时间，可以近似地代替冲激信号。

以 DF1511A 型脉冲信号发生器为例，它可以产生频率为 $300\text{ Hz} \sim 10\text{ MHz}$ ，幅度为 $1 \sim 5\text{ V}$ (峰-峰值)，占空比为 $3\% \sim 90\%$ 连续可调的脉冲信号。该仪器对输出信号各参数的调节旋钮有 5 组，信号输出端的波形与每组旋钮都有关，使用的基本操作规程如下：

(1) 该仪器的输出阻抗为 $50\ \Omega$ ，使用时必须在信号的输出端接上 $50\ \Omega$ 匹配器，否则波形将产生畸变。

(2) 脉冲信号的波形与幅度、脉冲宽度及频率等多个参数有关，信号输出时必须把脉冲信号发生器的输出端接到示波器的一个测试通道上，边观察显示屏上的波形，边调节信号发生器的各个旋钮，才能确定所需的信号波形。

- (3) 选择输出信号的极性, 否则即使其他旋钮都选对了, 信号输出端仍没有信号输出。
- (4) 平时, 上升和下降沿波段开关及两电位器均应置于最快位置, 延迟开关和电位器旋钮均应放在最小位置, 以确保各频率的脉冲信号均能正常输出。
- (5) 调节频率挡, 确定输出信号的频率。
- (6) 调节幅度旋钮, 由示波器显示的信号波形幅度的读数, 确定信号的幅度。
- (7) 调节偏置旋钮, 设置信号的直流偏置。
- (8) 调节脉冲宽度。如: 需要 3 kHz 的方波, 由 $f=3\text{ kHz}$, 得 $T\approx 333\text{ }\mu\text{s}$, 选择占空比为 50%, 则其脉宽 τ 为 $T/2\approx 167\text{ }\mu\text{s}$ (介于 $100\text{ }\mu\text{s}\sim 300\text{ }\mu\text{s}$ 之间), 选择与之相近的脉宽挡 $100\text{ }\mu\text{s}$, 然后根据示波器显示的波形, 调节脉冲宽度细调旋钮, 确定所需的方波。如果所需输出的信号是窄脉冲, 也需按方波的方法, 先得到该频率(或周期)的方波脉冲信号, 然后一步步减小脉冲宽度, 直到满足要求。如果一开始就把脉冲宽度调到很小的挡上, 容易产生信号捕捉不到的情况。

DF1511A 型脉冲信号发生器面板 (如图 1.1.1 所示) 及各旋钮的具体功能说明如下:

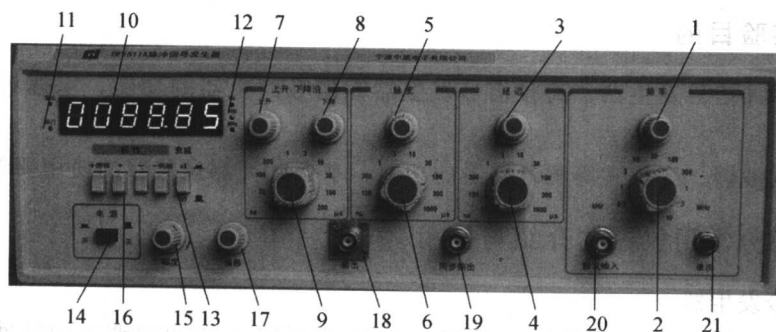


图 1.1.1 DF1511A 型脉冲信号发生器面板

1——主振频率细调旋钮: 当顺时针旋转时, 输出频率升高; 逆时针旋转, 频率降低。当顺时针旋到底时, 输出脉冲频率即为波段开关(频率粗调挡)所指示的读数, 但对于最高一挡, 其输出频率高于刻度指示的数值; 逆时针旋到底, 其输出脉冲的频率为波段开关低一挡的读数。挡级之间, 保证覆盖, 但对于最低一挡, 应能调到 100 Hz 以下。

2——主振频率波段开关, 即频率粗调: 频率波段分为 0.3 kHz 、 1 kHz 、 3 kHz 、 10 kHz 、 30 kHz 、 100 kHz 、 300 kHz 、 1 MHz 、 3 MHz 、 10 MHz 十挡。置于“外”时, 为外触发功能。

3——延迟时间细调旋钮: 顺时针旋转, 延迟增加。

4——延迟波段开关: 延迟时间粗调。

5——脉冲宽度细调旋钮: 顺时针旋转, 脉宽增加。逆时针旋到底时, 输出脉冲的宽度为脉宽开关(脉冲宽度粗调)所指的读数; 顺时针旋到底时, 为脉宽开关高一挡所指的读数。

6——脉冲宽度波段开关, 即脉冲宽度粗调: 脉宽调节范围为 $30\text{ ns}\sim 3\text{ }000\text{ }\mu\text{s}$ 。

7——上升沿时间: 上升沿时间细调旋钮, 逆时针旋转, 上升沿变快。

8——下降沿时间: 下降沿时间细调旋钮, 逆时针旋转, 下降沿变快。

9——上升、下降沿波段开关: 上升、下降沿时间粗调。

10——数码管: 显示主振频率。

11——闸门时间：闸门时间指示。

12——kHz：主振频率单位显示。

13——衰减：输出波形衰减1倍或5倍(按下)。

14——电源开关：按下，接通电源；释放，断开电源。

15——幅度：调节输出幅度，顺时针旋转，幅度增加；逆时针旋转，幅度减小。当衰减开关置于“×1”位置时，幅度电位器顺时针旋到底，输出脉冲幅度(峰-峰值)大于5 V，逆时针旋到底时，输出脉冲幅度小于1 V。当衰减开关置于“×5”位置时，衰减5倍，即最大为1 V，最小小于200 mV。

16——极性开关选择：“+”为电平大于0 V的脉冲，“-”为电平小于0 V的脉冲，“+倒相”为相差180°的正脉冲，“-倒相”为相差180°的负脉冲。极性开关置于“+”时，输出为0电平以上的脉冲波形，极性开关置于“-”时，输出为0电平以下的脉冲波形，当需要脉宽占空比大于50%的脉冲波形时，选择“+倒相”(相差180°的正脉冲)与“-倒相”(相差180°的负脉冲)。

17——偏移：调节输出脉冲的直流电平，最大为±1 V。在衰减处于“×1”位置时，偏移约有±1 V的调节范围，偏移电位器顺时针旋到底时，偏移电平约有+1 V，逆时针旋到底时，偏移为-1 V。衰减置于“×5”位置，偏移为±200 mV。

2. 高频信号发生器

高频信号发生器可以产生从音频到几十兆赫乃至几百兆赫的正弦信号，还可以有调幅，调频信号输出，是信号分析和系统分析实验中必不可少的信号源。

以 QF1056B 型为例，该仪器是一种应用锁相技术的高频信号发生器，可以产生 10 Hz ~ 39.9999 MHz 的正弦信号。射频信号具有载波、调幅、调频输出功能，有较高的载波频率稳定度及频率精确度，载波频率由 6 位 LED 数字显示，当其失锁或超量程时，自动有闪烁信号提示，输出电平可以用 V，mV，μV 或 dBm 直接读出。

射频输出端口“RF OUTPUT”输出载波、调幅、调频信号；音频信号由“AF INPUT/OUTPUT”端口输出。掌握该仪器的使用就在于对选择开关的选择确定与相应旋钮的配合使用。QF1056B 的面板图如图 1.1.2 所示。

(1) 状态选择开关“2”

该开关是对需输出的载波、调幅、调频、音频这四种状态进行选择，如果选择 AM (调幅)、FM (调频) 或 AF (音频)，则决定了表头的读数是受 AM /FM /AF (调幅、调频、音频) 旋钮“5”的控制，如果选择 OFF (RF LEVEL 即射频)，则由载波 (射频) 输出量程开关“16”与幅度细调旋钮“8”来控制输出。

(2) 频段显示选择开关“6”

该开关用来对频率显示器显示的频段进行选择。选 AF，6 位 LED 数字显示器显示的是音频输出端输出的音频段信号频率；选择 RF，则 LED 显示的是射频段信号的频率。

(3) 音频选择开关“3”该开关用来对内调制的两个频率 400 Hz 和 1kHz，外调制频率，外测频率计三种音频输出状态进行选择。

(4) 输出电平调节

① 当状态选择开关“2”置于 OFF (RF LEVEL) 时，表头指示为载波输出电平，表头刻度

值用“dBm”表示，也可由表盘相对应的刻度线直接读出电压值。

例如：当输出量程开关“16”为“0 dB”时表头指示“+13 dBm”对应的弧线刻度为1 V。

例如：当输出量程开关“16”为“10 dB”时表头指示“+13 dBm”对应的弧线刻度为316 mV。

② 使射频输出量程开关“16”，与细调旋钮“8”相互配合，可以输出-117 ~ +13 dBm (0.3 μ V ~ 1 V) 的任一电压值。

(5) 调幅输出—

① 先使状态选择开关“2”置于 OFF (RF LEVEL)，调节输出量程开关“16”与输出细调旋钮“8”，到所需输出的射频电压上（表头指示只允许在0 ~ +10 dBm 范围内使用）。

② 再使状态选择开关“2”置于 AM，调节音频开关“3”置于内调制 400 Hz 或 1 kHz。

③ 使表头量程开关“13”置所需的调幅度量程。例如：置于“100”则调幅满度值为100%。

④ 调节 AM/FM/AF 旋钮“5”，使调制表头指示到所需数值。例如：指到“0.9”，则表示输出的射频信号具有内调制频率为 400 Hz 或 1 kHz，调幅系数（或调幅度）为 90% 的波形。

注意：当表头指示不到满量程的 1/3 时，应更换量程。

(6) 调幅输出二

当仪器要工作在外调幅状态时，音频选择开关“3”置于 EXT，外音频信号源加到 AF INPUT/OUTPUT（音频输入输出）即“4”的插座上（AM/FM/AF 旋钮“5”旋至最大）。其他使用方法与内调幅相同。

(7) 调频输出—

① 使状态选择开关“2”置于 OFF (RF LEVEL)，调节输出量程开关“16”，及输出细调旋钮“8”到所需输出的射频电压上。

② 再使状态选择开关“2”置于 FM。音频开关“3”置于内调制 400 Hz 或 1 kHz。

③ 使表头量程开关“13”置于所需的频偏量程。例如：置于“100”则频偏满度值为100 kHz。

④ 调节 AM/FM/AF 旋钮“5”，使调制表头指示到所需数值。例如：指到“0.75”，则表示输出的射频信号具有内调制 400 Hz 或 1 kHz，频偏为 75 kHz 的波形。

注意：当表头指示不到满量程的 1/3 时，应更换量程。

(8) 调频输出二

当仪器要工作在外调频状态时，音频选择开关“3”应置于 EXT，外音频信号源加到 AF INPUT/OUTPUT（音频输入输出）即“4”的插座上，（AM/FM/AF 旋钮“5”旋至最大）。其他使用方法与内调频相同。

(9) 音频输出

① 频段选择开关“6”置于 AF，按下开关“1”接通电源，频率显示器“14”就显示数字（音频段的频率），红色指示灯 16 亮并发出闸门闪烁信号。

② 音频选择开关“3”置于 AF OUT，这时频率显示器的数字有变化。调节音频波段开关“10”及细调旋钮“11”到所需要的频率值上。

③ 状态选择开关“2”置于 AF LEVEL，调节旋钮“5”可以输出所需的音频电压，并在表头上读出，量程开关 13 置于“100”表示满量程为 10 V。

QF1056 面板各旋钮的具体功能说明如下：

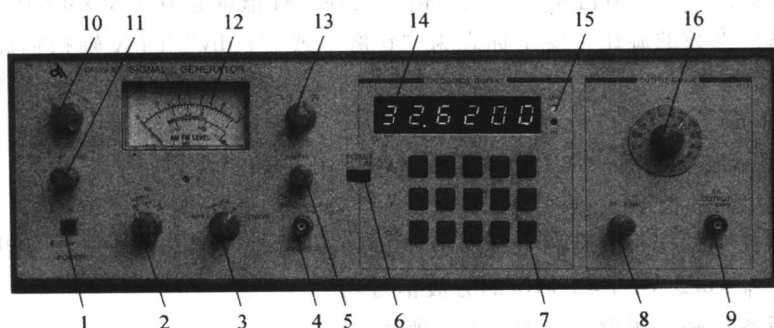


图 1.1.2 QF1056 型高频信号发生器面板图

- 1——POWER（电源）开关：按下，电源接通。
- 2——状态选择开关：在射频输出状态，AM 为调幅，FM 为调频，OFF(RF LEVEL 射频电平) 为载波状态。在音频输出状态时，AF LEVEL 为音频电平。
- 3——音频选择开关：400 Hz 和 1 kHz 为内调制频率，EXT 为外调制音频输入，AF OUT 为 10 Hz ~ 100 kHz 音频输出，COUNTER 为外测频率计。
- 4——AF INPUT/OUTPUT(音频输入输出)插座。
- 5——AM/FM/AF(调幅，调频，音频)调节按钮。
- 6——SELECT(频段选择)开关：AF 为音频显示，RF 为射频显示。
- 7——载波频率置定开关：5 列按键对应于载波频率的 5 位数字，上排（上升，数字为加法计数），中排（下降，数字为减法计数），CLR（清零）。
- 8——RF FINE(射频输出细调)旋钮。
- 9——RF OUTPUT(射频输出)插座。
- 10——音频波段开关。
- 11——AF FINE（音频频率细调）旋钮。
- 12——AM、FM、LEVEL（调幅、调频、电平）指示表头。
- 13——表头量程开关：分别为 10、30、100，其数值表示满刻度时相对应的数值。
- 14——频率显示器：射频输出时，小数点单位为 MHz；音频输出时，小数点单位为 Hz。
- 15——射频、音频波段工作指示灯：绿色指示灯为射频频率，红色指示灯为音频频率，闪烁表示计数器的闸门信号。
- 16——射频输出量程开关：用 dB 与电压单位来表示。

3. 示波器

示波器能够立即显示被测信号的波形，全面反映信号的幅度、频率（周期）、占空比、失真等各项参数的情况。与只能测量正弦波幅度的毫伏表、万用表相比，示波器是能够在宽频段，全方位测量信号的多功能仪器，各种非正弦信号如矩形脉冲、方波、三角波等信号时域特性的测量，只能依赖于示波器。

在示波器面板上的许多旋钮中，有相当部分的旋钮、波段开关是为波形的稳定、同步显示而设置的。用于测量信号的主要是幅度与周期这两组旋钮。幅度参数的旋钮主要是 Y 轴方向的“Y 轴微调”，其读数形式为“V/格”或“V/div”，如果该旋钮指向 0.1 V/div，波形在示波器荧光屏上显示其峰 - 峰值占 4 格，则该信号的峰 - 峰值就是 $0.1\text{ V} \times 4 = 0.4\text{ V}$ 。用于测量信号周期（频率）参数的旋钮主要是标志为“t/格”或“t/div”的 X 轴扫描旋钮，如果信号的一个周期在显示屏的 X 方向上占 2 格，此时“t/div”的旋钮指向 0.5 ms，则该信号的周期为 $0.5\text{ ms} \times 2 = 1\text{ ms}$ 。

以 XJ4318 型示波器为例，介绍示波器的基本使用方法。

(1) 仪器使用前的校准

① 用仪器附件中的探头或开路电缆，分别接到 CH1 输入端和校准信号输出端。（该仪器的校准信号是 $V_{p-p}=0.5\text{ V}$ ， $f=1\text{ kHz}$ 的方波信号。）

② 仪器面板各控制旋钮设置如表 1.1.1 所示。

③ 按电源开关，若指示灯亮，表示电源接通，调节标尺亮度，显示屏标尺亮度随之变化。

④ 经预热后，调节“辉度”、“聚焦”旋钮，使亮度适中，聚焦最佳。

表 1.1.1 示波器面板各控制旋钮设置

面板控制	作用位置	面板控制	作用位置
AC. ⊥. DC	AC 或 DC	扫描方式	自动
V/div	0.1 V/div	同步触发	CH1
X. Y 微调	校准	极性	+
X. Y 位移	居中	t/div	0.5 ms/div

当屏幕显示如图 1.1.3 波形时，说明仪器已校准。此时，校准信号的峰 - 峰值 $A = 0.1\text{ V} \times 5 = 0.5\text{ V}$ ，其周期 $T = 0.5\text{ ms} \times 2 = 1\text{ ms}$ 。

(2) 电压测量

在一般情况下，多数被测波形同时包含交流和直流分量，测量时也经常需要测量两种分量复合的数值或单独的数值。

① 交流分量电压测量

一般测量被测波形峰 - 峰之间数值或者测量波峰到基准刻度之间的数值，测量时通常将 Y 输入选择开关置于“AC”位置，将被测信号中的直流分量隔开，以免使信号偏离 Y 轴中心，甚至使测量无法进行。当测量重复频率极低的交流分量时应将 Y 输入选择开关置于“DC”位置，否则因频响的限制，产生不真实的测量结果。测量步骤如下：

a. 将 Y 微调按顺时针旋到底并接通开关，即“校准”位置，根据被测信号波形的幅度和频率，适当选择“V/div”和“t/div”开关挡级，并将被测信号直接通过探头或开路电缆输入

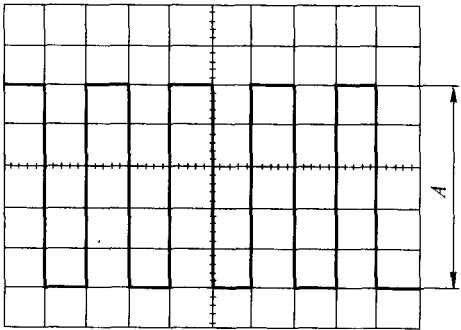


图 1.1.3 校准信号的输出波形

仪器的 Y 轴输入端，调节触发“level”使波形稳定在荧光屏的有效工作面内。

b. 根据屏幕上的坐标刻度，读出显示波形的峰-峰值所占的格数为 A ，则被测电压 $u = n \times A \times B$ ，式中， n 为探头衰减比， B 为 Y/div 开关所处挡级。

例如：如图 1.1.4 所示，探头的衰减比 $n = 1$ ，Y 轴灵敏度为 0.2 V/div ，被测信号的峰-峰值为 $A = 2 \text{ div}$ （格），则被测信号的峰-峰值为 $V_{P-P} = 1 \times 2 \text{ div} \times 0.2 \text{ V/div} = 0.4 \text{ V}$ 。

② 瞬时电压测量

瞬时电压测量需要一个相对的参考基准电位，一般情况下，基准电位是对地电位而言，但也可以是其他参考电位，其测量方法如下：

a. Y 输入选择开关置于“DC”位置，V/div 开关置于 mv/div 挡级，将探头插入所需的参考电位，触发选择置于“自动”，此时出现一扫描线，调节 Y 轴位移，使光迹移到坐标轴的使用位置（记下基准刻度），此时 Y 位移不能再动，并保持 Y 位移不变。

b. 测试探头移到被测信号端，调节触发电平，使波形稳定。

c. 测出被测波形上的某一瞬时相对基准刻度在 Y 轴的距离为 $A \text{ div}$ 。

则被测瞬时电压为

$$u = n \times A \times B。$$

例如：如图 1.1.5 所示，探头的衰减比 $n = 10$ ，Y 轴灵敏度 B 为 20 mv/div ，被测点 P 与其基准刻度为 5 div ，则该测点的瞬时电压为

$$u = 10 \times 5 \text{ div} \times 20 \text{ mv/div} = 1 \text{ V}$$

(3) 时间测量

用示波器来测量各种信号的时间参数，方法简便、效果较精确，测量步骤如下：

① 将“t/div”置于适当的挡级 b/div，调节有关控制件使显示波形稳定。

② 根据坐标 X 轴的刻度，读出被测波形上所需 P 、 Q 两点之间距离为 a 。

③ 被测两点之间的时间为 $a \times b$ 。

④ 若测量时 X 扩展置于“PULL $\times 10$ ”，则应将测得时间除以 10。

例如：如图 1.1.6 所示，扫描时间因数 t/div 置于 2 ms/div ，被测二点 P 、 Q 之间距离为 5 div ，则 P 、 Q 二点时间间隔为

$$t = a \times b = 5 \text{ div} \times 2 \text{ ms/div} = 10 \text{ ms}$$

(4) 相位差测量

对于二个同频率信号间的相位差可以用该仪器的双迹功能测量进行，先将垂直方式开关置于“交替”（频率低时，可用“断续”），触发源置于“垂直”。步骤如下：

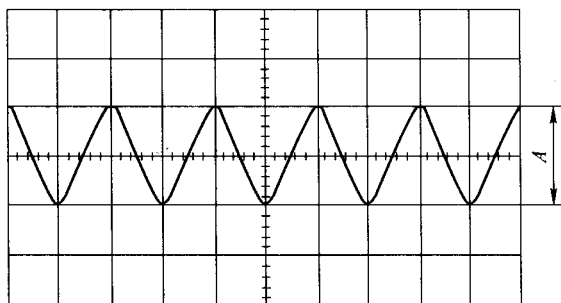


图 1.1.4 交流电压峰-峰值测量

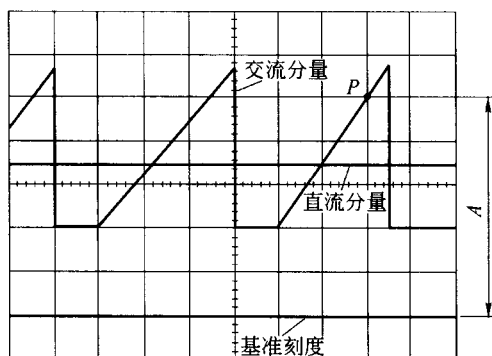


图 1.1.5 瞬时电压测量

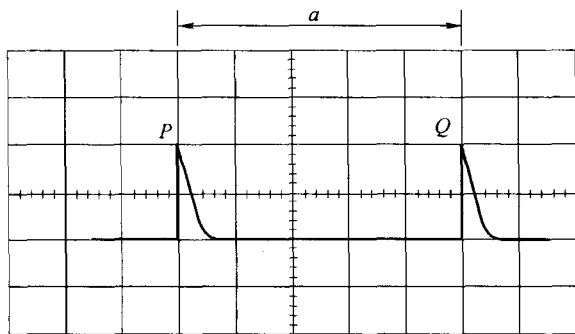


图 1.1.6 时间测量

- ① 据耦合要求，置两个“耦合方式”开关在相同位置。
- ② 两根具有相同时间的探头或相同电缆，将已知两个信号输入 CH1 和 CH2，使波形稳定。
- ③ 调节 CH1 和 CH2 位移，使两波形均移到上下对称于 $O-O'$ 轴上，读出 A 、 B ，相位差为

$$\varphi = \frac{A}{B} \times 360^\circ$$

如图 1.1.7 所示，CH2 信号滞后于 CH1 信号 φ 角。

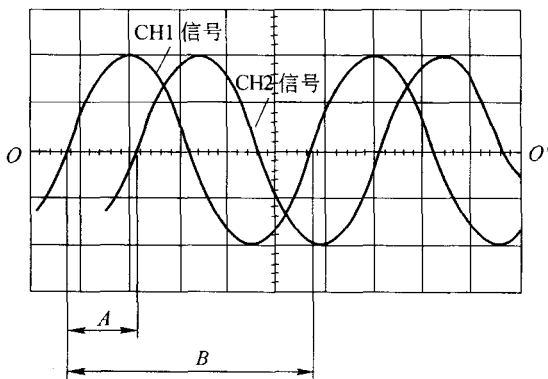


图 1.1.7 相位差测量

XJ4318 型示波器面板如图 1.1.8 所示，各旋钮具体功能说明如下：

- 1——内刻度坐标线。
- 2——指示灯：当电源接通时，指示灯亮。
- 3——电源开关：仪器的电源总开关，按下为接通。
- 4——DC、 $\perp$ 、AC：分别为 Y 放大器 CH1 通道的输入选择开关，可使输入端选择为交流耦合、接地、直流耦合。
- 5——CH1 通道的 Y 轴刻度选择开关：有 $5 \text{ mV/div} \sim 5 \text{ V/div}$ ，共 10 个挡级。
- 6——微调：调节 CH1 通道显示波形的幅度，顺时针方向增大。顺时针方向旋足，为接通“校正”位置。例如：“PULL $\times 5$ ”，使对应 CH1 通道的 Y 轴读数扩大 5 倍。

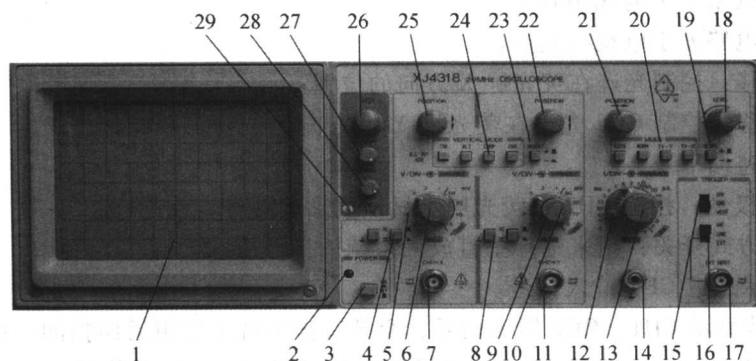


图 1.1.8 XJ4318 型示波器面板图

7——输入插座：CH1 输入插座，作为被测信号输入端。

8——DC、 $\perp$ 、AC：分别为放大器 CH2 通道的输入选择开关，可使输入端为交流耦合、接地、直流耦合。

9——CH2 通道的 Y 轴刻度选择开关：有 5 mV/div ~ 5 V/div，共 10 个挡级。

10——微调：调节 CH2 通道显示波形的幅度，顺时针方向增大。顺时针方向旋足，为接通“校正”位置。例如：“PULL $\times 5$ ”，使对应 CH2 通道的 Y 轴读数扩大 5 倍。

11——输入插座：是 CH2 输入插座，作为被测信号输入端。

12——t/div 开关：为扫描时间开关，从 0.2 μ s/div ~ 0.2 s/div，共 19 挡，当开关顺时针旋足是 X-Y 状态或外 X 状态。

13——微调：用以连续改变扫描时间速度的细调装置，顺时针方向旋足并接通开关时是“校正”位置。

14—— $\perp$ ：作为仪器的测量接地装置。

15——内触发选择开关：选择扫描内触发信号源。

CH1——加到 CH1 输入端的信号是触发信号源。

CH2——加到 CH2 输入端的信号是触发信号源。

VERT——垂直方式内触发源取自垂直方式开关所选择的信号。

16——触发源开关：选择扫描触发信号的来源。INT 为内触发，触发信号来自 Y 放大器；EXT 为外触发，信号来自外触发输入；电源触发，信号来自电源波形，当垂直输入信号和电源频率成倍数关系时这种触发源是有用的。

17——外触发输入插座：当扫描开关置于扫描挡级时，作为外触发输入插座。

18——水平同步旋钮：调节触发点在信号上的位置，电平旋钮逆时针方向旋至锁定位置，触发点将自动处于被测波形的中心电平附近。

19——+、- 极性开关：供选择扫描触发极性，测量正脉冲前沿及负脉冲后沿宜用“+”，测量负脉冲前沿及正脉冲后沿宜用“-”。

20——触发方式开关：五位按钮开关，用于选择扫描工作方式。

AUTO——扫描电路处于自激状态。

NORM——扫描电路处于触发状态。