

中等专业学校试用教材



# 数字测量仪器

Shuzi  
Celiang  
Yiqi

天津科学技术出版社

中等专业学校试用教材

# 数字测量仪器

北京  
无线电学校 魏岫崑 编

---

天津科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书系统地介绍通用数字测量仪器的基本原理和典型线路，并以电子计数器、直流数字电压表和数字繁用表为主，详细论述它们的工作原理和性能特点；分析它们的主要单元电路和特殊电路。为适应初学者的需要，着重于阐明物理概念，避免繁难的数学推导。

本书是中等专业学校无线电技术专业的通用教材，也可供无线电工作者和爱好者参考。

中等专业学校试用教材

### 数字测量仪器

北 京 魏岫崑 编  
无线电学校

\*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷一厂印刷

天津市新华书店发行

\*

开本787×1092毫米 1/16 印张 13 字数 315,000

一九八二年七月第一版

一九八二年七月第一次印刷

印数：1—11,000

统一书号：15212·65 定价：1.07元

# 前 言

本书是中等专业学校工科电子类无线电技术专业的统编专业教材之一，是《电子测量仪器》课程中《数字测量仪器》部分的教科书。这门课程开在《无线电技术基础》、《电子线路》和《脉冲与数字电路》等技术基础课之后，这部分的学时数约为70学时。

本书系统地介绍了通用数字测量仪器的基本原理、主要功能及其常用电路，通过剖析电子计数器、直流数字电压表和数字繁用表这三种典型仪器，论述其工作原理、性能特点、单元电路的组成以及误差的形成与消除，使读者易于掌握数字测量仪器的全貌。考虑到中等专业学校的教学特点，本书以阐明物理概念为主，尽量减少繁难的数学推导。这门课程除课堂讲授外，还可考虑开设：电子计数器、数字-电压转换器、电压-数字转换器和双积分型数字电压表等内容的实验课。

在编写过程中，北京工业学院苏舫同志审阅了本书的初稿，提出许多宝贵意见；北京无线电学校康振芃同志对编写工作给予很多具体指导和帮助；冯跃跃同志为本书绘制了全部图稿。在此，一并致谢。

由于编者水平有限，书中一定有不少缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

编 者

ABD86/02

# 目 录

## 第一章 电子计数器

§ 1-1 概 述	( 1 )
§ 1-2 电子计数器的基本工作原理	( 2 )
§ 1-3 电子计数器的主要组成电路	( 8 )
一、输入电路(输入通道)	( 8 )
二、标准时间信号的产生	( 18 )
三、计数显示电路	( 27 )
四、控制电路	( 35 )
§ 1-4 电子计数器的测量误差	( 36 )
一、关于误差的基本概念	( 36 )
二、误差的表示方法	( 36 )
三、量化误差	( 38 )
四、测频率的误差	( 38 )
五、测周期的误差	( 40 )
§ 1-5 电子计数器功能的扩展	( 42 )
§ 1-6 E312型电子计数器电路剖析	( 45 )
一、E312的主要技术指标	( 46 )
二、总组成方框图	( 48 )
三、输入单元电路	( 48 )
四、计数显示单元电路	( 52 )
五、时间基准的产生和变换电路	( 58 )
六、控制单元电路	( 62 )
复 习 题	( 67 )

## 第二章 直流数字电压表

§ 2-1 概 述	( 68 )
一、数字电压表的分类	( 68 )
二、数字电压表的主要技术指标	( 69 )
§ 2-2 数字电压表的主要零部件	( 73 )
一、精密电阻器	( 73 )
二、电容器	( 74 )
三、模拟开关	( 77 )
四、运算放大器	( 90 )
五、采样-保持电路	( 102 )
六、电压比较器	( 104 )
七、基准电压源	( 107 )
§ 2-3 数字-模拟转换器	( 114 )

一、电流和的D-A转换器	(115)
二、电压和的D-A转换器	(116)
三、权电阻D-A转换器	(117)
§ 2-4 模拟-数字转换器	(121)
一、比较型电压-数字转换器	(121)
二、斜坡式电压-时间型电压-数字转换器	(126)
三、电压-频率型电压-数字转换器	(129)
四、双积分型电压-数字转换器	(134)
五、脉冲调宽型电压-数字转换器	(136)
六、复合型电压-数字转换器	(138)
§ 2-5 数字电压表的抗干扰能力	(142)
一、常态干扰的抑制	(142)
二、共态干扰的抑制	(144)
§ 2-6 DS-14-1型数字电压表剖析	(146)
一、DS-14-1型数字电压表的主要技术指标	(146)
二、基本工作原理和整机方框	(147)
三、输入电路	(150)
四、积分放大器	(158)
五、模拟开关和基准电压源	(162)
六、检零放大器	(164)
七、内层逻辑控制电路	(167)
八、外层逻辑控制电路	(171)
九、计数显示电路	(177)
十、电源	(177)
复习题	(184)
<b>第三章 数字多用表</b>	
§ 3-1 交流电压-直流电压转换器	(186)
一、概述	(186)
二、平均值交直流转换器	(187)
三、有效值交直流转换器	(192)
四、峰值交直流转换器	(194)
§ 3-2 测电流和电阻的转换器	(195)
一、直流电流-直流电压转换器	(195)
二、直流电阻-直流电压转换器	(196)
§ 3-3 普及型数字电压表	(199)
复习题	(201)

# 第一章 电子计数器

## §1-1 概 述

电子计数器是一种用无线电电子学的方法测出一定时间内输入的脉冲数目，并将结果以数字形式显示出来的测量仪器。它具有测量频率、周期（或时间）以及累计脉冲数等功能。我们常把具有测频率和测周期（或时间）等两种以上功能的电子计数器称为通用计数器或频率-时间计数器，也有时称为电子计数式频率计或简称为数字式频率计。

电子计数器是一种多功能的测量仪器，通过不同的内部连接，可以测量信号的频率、频率比、周期、时间间隔以及累计输入信号的脉冲个数等量值，如果接入一些专用的插件，还可以把测量的功能扩展到更广的领域。在科研和生产中，它是一种普遍使用的电子测量仪器。

在常见的数字测量设备中，尽管它们的工作原理和测试功能有所不同，实际上都不外乎由模拟-数字转换系统和计数系统两部分组成。前者是把被测的模拟量转换为数字量，也就是把被测信号转换成与它成比例的脉冲数或其他脉冲参量，后者的任务是对这些转换成的数字量进行计数和显示。电子计数器是计数系统不可少的组成部分，它不仅本身是一种完整的、独立的和广泛应用的测量仪器，而且也是各类数字测量设备的基本组成部分。正因如此，我们把“电子计数器”列为本课程的第一章。

在使用、维修或研制电子计数器时，必须了解它的技术指标，明确这些指标的含义和要求。下面仅就一些主要项目做一简介。

### 1. 测试功能

这项指标说明该仪器所具备的全部测试功能，一般具有测频率、周期、累计脉冲数；测频率比、时间间隔以及自校等项功能。

### 2. 测量范围

这一指标说明测量的有效范围。对于不同功能，测量范围的含义也不同，如测频率时，测量范围系指电子计数器处于正常工作条件下被测信号的频率范围，常用频率的上限和下限值来表示，如E312型电子计数器测频率的范围是10Hz~10MHz；当测量周期时，测量范围表明电子计数器在正常工作条件下被测信号的容许周期范围，常用周期的最大、最小值表示，如E312型电子计数器测周期的范围是1s~1 $\mu$ s（亦可用相对应的频率范围表示，即1Hz~1MHz）。

### 3. 输入特性

电子计数器通常备有2~3个输入端，在测试不同项目时，信号经不同的通道送入仪器，如测频率时，被测信号自A输入端进入，测周期时，被测信号自B输入端进入。此外，还常设有C输入端。

输入特性是标明电子计数器与被测信号源相连的一组特性参数，通常包括如下项目：

（1）输入灵敏度：一般用能使仪器正常测量的最小输入电压的有效值来表示，通用计数器的灵敏度多为100mV左右。

(2) 最大输入电压：指仪器所能允许的最大输入电压，超过这个电压仪器将不能正常工作，甚至会损坏。

(3) 输入耦合方式：常有AC、DC两种耦合方式，AC耦合时，信号经隔直电容输入；DC耦合则不用隔直电容。AC耦合方式适于测量带有直流电平的信号，而DC耦合适于低频脉冲或阶跃方波信号的测量。

(4) 输入阻抗：为了减轻信号源的负载，100MHz以下的电子计数器均用高输入阻抗，典型值为1M $\Omega$ ，输入阻抗一般由输入电阻和输入电容两部分组成，如E312电子计数器，A输入端的输入阻抗为 $R \geq 1\text{M}\Omega$ ， $C \leq 25\text{pF}$ ，而B、C输入端为 $R \geq 100\text{k}\Omega$ ， $C \leq 500\text{pF}$ 。在高于100MHz时，寄生旁路电容是个严重问题，因而，在高频情况下均采用匹配阻抗50 $\Omega$ 。

#### 4. 测量准确度

常用测量误差表示测量准确度。详细内容将在§1-4中介绍。

#### 5. 石英晶体振荡器的频率稳定度

机内基准信号源的石英晶体振荡器是仪器的重要组成部分，石英晶体振荡器的频率稳定度是影响测量准确度的重要因素，常用日稳定度表示。目前，电子计数器中所用的石英晶体振荡器其频率稳定度在 $\pm 1 \times 10^{-5}/\text{日} \sim \pm 1 \times 10^{-9}/\text{日}$ 范围内。

#### 6. 闸门时间和时标

标明机内信号源可以提供的闸门时间信号和时标信号有几种，如E312型电子计数器的闸门时间可有1ms、10ms、0.1s、1s、10s五种，时标可有0.1 $\mu\text{s}$ 、1 $\mu\text{s}$ 、10 $\mu\text{s}$ 、0.1ms、1ms五种。

#### 7. 显示及工作方式

包括标明显示的内容、显示数码的位数、所用的显示器件以及一次测量完毕显示测量结果的持续时间。通常还需说明电子计数器是“记忆”显示方式还是“不记忆”显示方式。所谓“不记忆”显示方式是指测量时，计数器的计数过程可随时显示出；而“记忆”显示是指只显示一次测量的结果，即显示计数器的最终累积数，并将这一结果持续显示到下次测量结束。

#### 8. 输出

指仪器可以直接输出的标准频率信号的种类和测量结果如何编码输出。

电子计数器于本世纪的五十年代问世，我国的电子计数器是在六十年代初期发展起来的，随着科学技术的进步，目前，电子计数器的面貌已焕然一新。和其他电子设备一样，电子计数器也经历了电子管、晶体管和集成电路几个阶段，随着电子技术的发展，电子计数器不断采用最先进的电路元件和技术，因而使它的性能日臻完善，功能不断扩大，自动化程度也大为提高。如目前先进的电子计数器直接计数的频率上限可达1000MHz，采用附加设备后可提高到100GHz以上；有些电子计数器加入专用的插件，可以把测试功能扩大到十几种；另外，新设计的电子计数器大多配备了微处理机，以便本身具有自动测试的功能，或是通过标准接口母线，借助于小型计算机或计算器组成可以程序控制的自动测试系统，这些都使电子计数器的应用扩展到更广的技术领域。

## §1-2 电子计数器的基本工作原理

电子计数器是一种多功能的测量仪器，它实际上是由一些基本单元电路组成，这些单元



电路采用不同的组合方式，便可使整机具有不同的测试功能。下面，我们介绍几种基本功能的测试原理，进而了解一台电子计数器需要有哪些基本单元电路，它们之间又该如何联接。

### 1. 累加计数

被测信号自 A 输入端送入，以手动方式加入启动（开始计数）信号后，计数器立即对输入信号进行累加计数，当手动控制加入停止（停止计数）信号时，计数器便停止累加计数，这时，电子计数器显示的数字就是从启动到停止两信号间输入信号的脉冲个数。为了实现这一功能，电子计数器必须解决如下三个问题：

(1) 首先，要有一套计数、显示装置，这可由脉冲计数器来完成，常由十进制计数器、寄存器、译码器和数字显示电路组成，统称为计数显示单元电路。

(2) 脉冲计数器的输入信号要求是脉冲波，而被测信号却可能是正弦波、三角波或其他波形，为此，要在被测信号送入脉冲计数器之前，把它转换为计数器所要求的脉冲波，而且要求转换后的脉冲个数要对应于被测信号电平的变化次数。运用整形电路可以把不同波形的被测信号转换成矩形脉冲。这一工作通常由 A 输入电路去完成。

(3) 要有一个可靠的控制系统，使计数器在启动信号到来时才开始对输入信号计数，当停止信号到来时结束计数。为此，可在输入电路与计数显示电路之间设置一个可控制的门电路，常称为闸门（或称主闸门、主门），一般由与门电路或是或门电路组成。闸门的开关动作由一个双稳电路（常称门控双稳）的输出电平来控制，而用启动和停止信号作为门控双稳的触发信号。启动信号加入之前，门控双稳处于一种确定的状态，它的输出状态作为闸门的控制输入，可使闸门关上，此时，尽管来自 A 输入电路的被测信号源源不断地送往闸门，但由于闸门处于关态，被测信号不能通过闸门送入计数器。在启动信号触发下，门控双稳翻转，闸门被打开，整形后的被测信号得以通过闸门送入计数显示电路，直到停止信号发出，门控双稳在它的触发下复位，闸门立即关闭，被测信号停止送入计数显示电路。

由此可见，计数显示的结果是在闸门开门期间输入信号送入计数显示电路的脉冲个数，即从启动信号送来到停止信号送来的时间间隔内，输入信号电平的变化次数。根据上述过程可以画出电子计数器进行累加计数的原理方框图如图1-2-1所示。

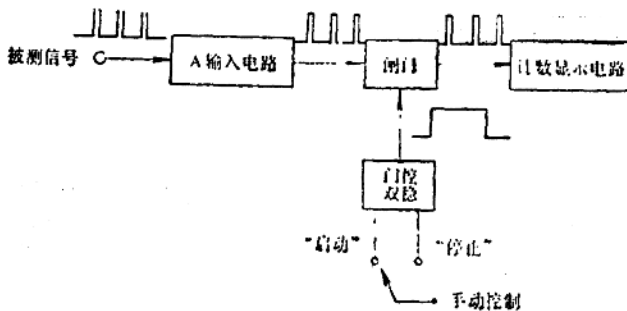


图1-2-1 累加计数原理方框图

### 2. 外控时间间隔内的计数

这一功能与前一功能的差异仅在控制信号的输入方式上有所不同，被测信号仍由 A 输入电路送入，启动信号由来自 B 输入电路的一个外加脉冲提供，即 B 脉冲，而停止信号由外加的 C 脉冲经 C 输入电路送入，电子计数器的读数所表示的是外来 B 脉冲与 C 脉冲之间，经 A

输入电路输入的脉冲个数，其原理方框如图1-2-2所示。

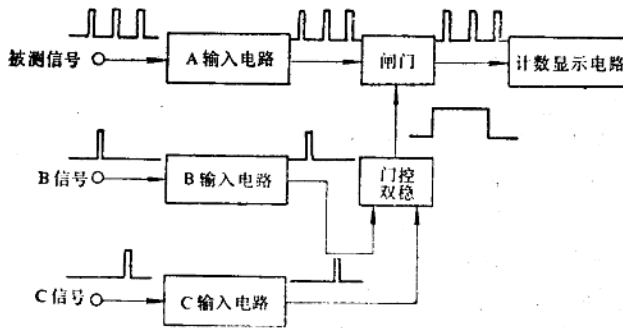


图1-2-2 外控时间间隔内的计数原理方框图

### 3. 测频率

这是电子计数器的主要功能之一。根据定义，信号的频率是指周期性信号在单位时间（常取1秒）内变化的次数，测量信号的频率实际上是特定条件下的累加计数，即单位时间内的计数。因此，只要在累加计数的单元电路之外增加一组能产生“单位时间”信号的电路去控制闸门开闭就可以做到让闸门打开单位时间，在此期间，令整形后的被测信号通过闸门进入计数器，其读数即单位时间的脉冲数，也就是被测信号的频率值。测频率必须有一个准确而稳定的单位时间标准信号，人们常把这种用于控制闸门的时间标准信号叫时基信号。时基信号实质上是一种重复周期严格等于标准时间的脉冲信号，信号的周期即闸门被打开的时间，亦称闸门时间。时基信号源常由高精度、高稳定度的信号源和多组分频器构成，譬如，最常见的时基信号源是由石英晶体振荡器和多级十分频器组成。从各级十分频输出端可以获得不同的时基信号，如石英晶体振荡器的中心频率为1 MHz时，经一级十分频器，可获得100kHz，周期为10 $\mu$ s的时基信号，再经第二级十分频器，可获得10kHz即0.1ms的时基信号。图1-2-3所示为测频率原理图，a)为测频率的原理方框图，b)为主要波形关系图。

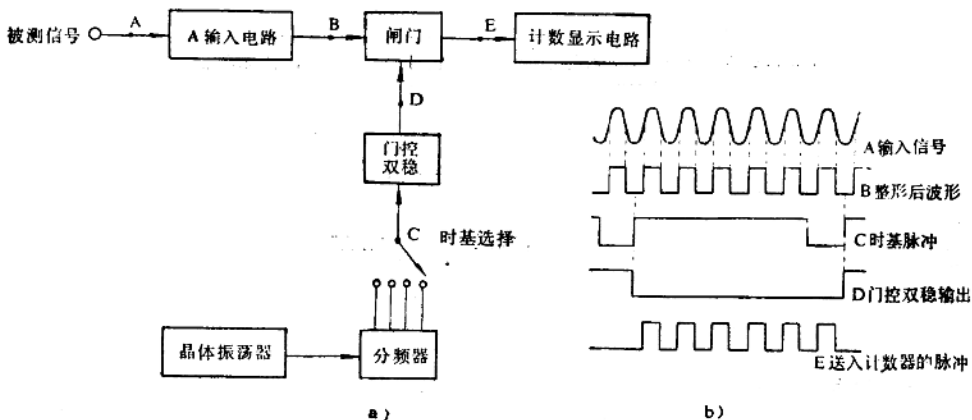


图1-2-3 测频率的原理图

应该指出的是，闸门的开门时间（即加在门控双稳输入端的时基信号周期）并非一定要

选为1秒,也可以是其他数值,如10秒或0.1秒。如果选用周期为1秒的时基信号,闸门打开时间为1秒钟,被测信号经整形后通过闸门的脉冲数若有100000个,即被测信号的频率 $f=100000\text{Hz}$ ,则显示读数为100000,表示Hz数,如在第三位数字前设置一个小数点显示,就显示为100.000,它表示kHz数。与上述相同的被测信号,如果测量时所取时基为0.1秒,即闸门打开0.1秒的时间,这时计数器的读数为10000,显然,这一数值乘以10才是1秒钟内通过闸门的脉冲数,即被测频率 $f=10000\times 10=100000\text{Hz}$ ;同理,如取时基为10秒,计数器的读数将为1000000,将这一读数除以10才表示1秒钟内被测信号的重复变化次数,即 $f=\frac{1000000}{10}=100000\text{Hz}$ 。由此可见,不论时基取0.1秒、1秒或10秒,同一信号的测量结果都相同。实际上取不同时基测量,并不需要对读数做乘或除的折算,只要所取时基数是1秒的 $\frac{1}{10^n}$ 倍( $n$ 为整数),如0.01秒、0.1秒、1秒、10秒等,就可在显示电路中按所选时基挪动小数点,便可直接读出测量结果。如前面所举的例子,时基为1秒时显示为100.000kHz,时基取0.1秒时可令小数点右移一位(相当于乘10),这时显示的读数为100.00kHz,而当时基取10秒时可令小数点左移一位(相当于除10),显示的读数将是100.0000kHz,三种测量方式所得都是100kHz,只是有效数字的位数不同罢了。

#### 4. 测频率比

这种功能是测量 $A$ 、 $B$ 二信号频率 $f_A$ 与 $f_B$ 之比 $f_A/f_B$ 。实际上测量频率所得的读数也可以理解为被测信号频率与时基信号频率的比值,如时基取1秒,相当于时基信号频率为1Hz,若读数为100000,就表示被测信号频率为100000Hz,因为被测信号频率100000Hz与时基信号频率1Hz之比为100000。由此可见,如要测量 $A$ 、 $B$ 二信号的频率比,可以将 $A$ 信号自 $A$ 输入电路送入,而用 $B$ 信号控制闸门的开和关,这样,计数器的读数便是在 $B$ 信号一个周期内通过闸门的 $A$ 信号电平变化次数,或者说,计数器的读数表示 $A$ 信号频率是 $B$ 信号频率的多少倍,即 $f_A/f_B$ 值,其原理方框如图1-2-4所示。测量时 $A$ 、 $B$ 两信号分别由 $A$ 输入电路和 $B$ 输入电路送入,要用较低频率的信号 $B$ 控制闸门,对较高频率的 $A$ 信号进行计数,所以,测得的 $f_A/f_B$ 读数总是大于1的值。

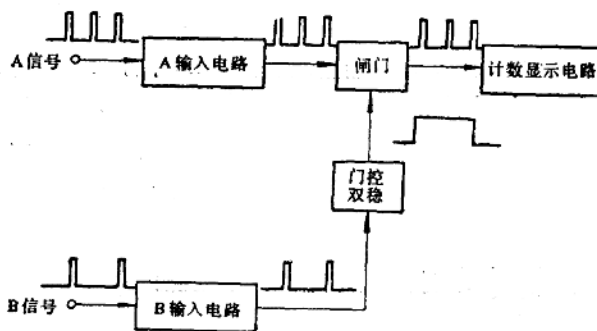


图1-2-4 测频率比原理方框图

#### 5. 自校

自校或自检是电子计数器对机内基准信号源进行测量的一种功能,可借以检查自身的逻辑功能是否正常。自校和测频率的原理相同,计数器的读数即为频率数,时基可以取不同

值，只是被测信号不是外加的，而是取自机内的时标信号。时标信号是来自基准信号源的标准信号，由石英晶体振荡器经分频器或倍频器提供。如取时基为 1 s，而选送的时标信号是周期为 1  $\mu$ s 的信号，则自校的读数应为 1000000，表示时标信号频率为 1000000 Hz = 1 MHz。自校的原理方框如图 1-2-5 所示。

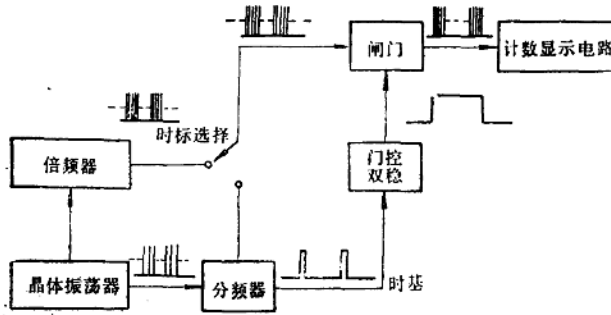


图 1-2-5 自校原理方框图

### 6. 测量 B 信号与 C 信号之间的时间间隔

计数器所测得的是脉冲个数，若想用它来表示时间，只要能使送入计数器的脉冲串都是标准时间脉冲（时标）就可以了。例如，送入计数器的信号是周期为 1 ms 的标准脉冲串（常称为 1 ms 时标信号），那么，送入几个脉冲就表示经过了几个 ms 的时间，若计数器读数为  $N$ ，则表示在闸门打开期间进入了  $N$  个时标脉冲，也就是闸门打开了  $N$  ms。时标可取 1 s、1 ms、1  $\mu$ s，甚至更小的单位。时标信号可与时基信号共用一套电路产生，如果要用很小的时标单位，也可通过倍频器获得，如 1 MHz 的石英晶体振荡器，通过多级十分频器可分别得到 10  $\mu$ s、0.1 ms、1 ms 等几组标准时间信号，也可通过十倍频器得到 0.1  $\mu$ s 的时标信号。如果要测量 B 信号与 C 信号之间的时间间隔，可用 B 信号打开闸门，用 C 信号去关闭闸门，并在闸门打开期间将周期为  $T_0$  的时标信号送入计数器，若闸门关闭时得到的读数为  $N$ ，就表示闸门打开的时间为  $NT_0$ ，这便是 B 信号与 C 信号的时间间隔。B、C 信号分别从 B 输入电路和 C 输入电路送入，作为门控双稳的触发信号，其测量原理方框如图 1-2-6 所示。

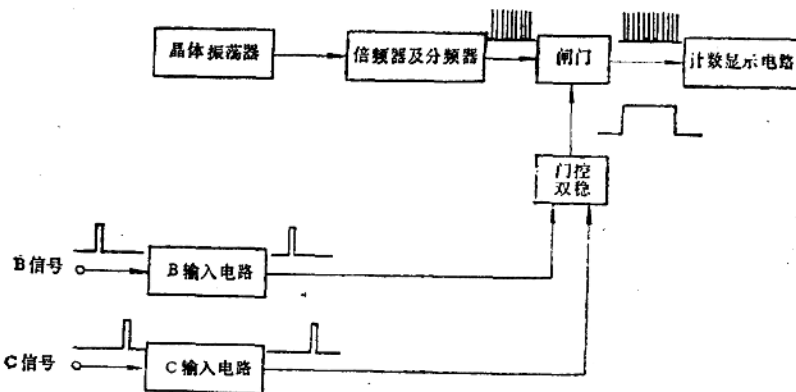


图 1-2-6 测 B 信号与 C 信号之间的时间间隔原理方框图

### 7. 测量相邻脉冲的时间间隔

这一功能是测量同一脉冲串的两个相邻脉冲之间的时间。参照前一种测量时间的方法，可将时标信号不断地送往闸门，同时用被测脉冲串的两个相邻脉冲去控制闸门的开闭，此时，计数器的读数表示闸门从开到闭的时间间隔，也就是两相邻脉冲的时间间隔。测量时，被测信号自B输入电路送入，其测量原理方框如图1-2-7所示。

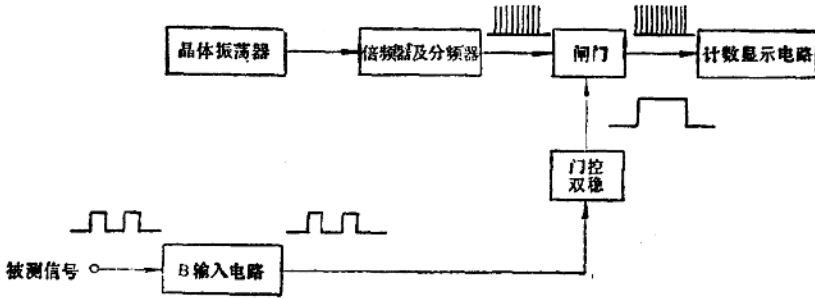


图1-2-7 测两相邻脉冲时间间隔的原理方框图

### 8. 测量周期

周期是频率的倒数，它被定义为信号电平变化一个循环所需的时间，如以  $T$  表示周期性信号的平均周期，以  $f$  表示频率，则  $T = \frac{1}{f}$ 。对周期性信号而言，不论其波形如何，经整形都可以转换为周期性的脉冲信号，整形前后的周期是相等的。测量信号的周期，实际上就是测量两个相邻脉冲的时间间隔，因此，测周期也可用图1-2-7所示的电路。被测信号由B输入电路送入，B输入电路中有整形电路，可以把被测信号转换成矩形波脉冲，利用这种矩形波脉冲的跳变沿去触发门控双稳。由于脉冲信号的周期与被测信号周期相等，所以，闸门打开的时间等于被测信号的周期。在实际测量周期时，为了减小误差，常采用多周期测量，读取周期平均值的方法，就是把被测信号的周期扩大  $10^1$ 、 $10^2$ 、 $10^3$  或  $10^n$  倍，用它作为闸门时间，再对计数器的读数分别除以  $10^1$ 、 $10^2$ 、 $10^3$  或  $10^n$ ，最后便可得到平均周期值。将被测信号周期扩大  $10^n$  倍，实际上就是取  $10^n$  个被整形脉冲的周期，再把它们进行多级十分频（常称倍乘），然后在显示电路中将小数点位置做相应的挪动，便能直接读出平均周期数。采用图

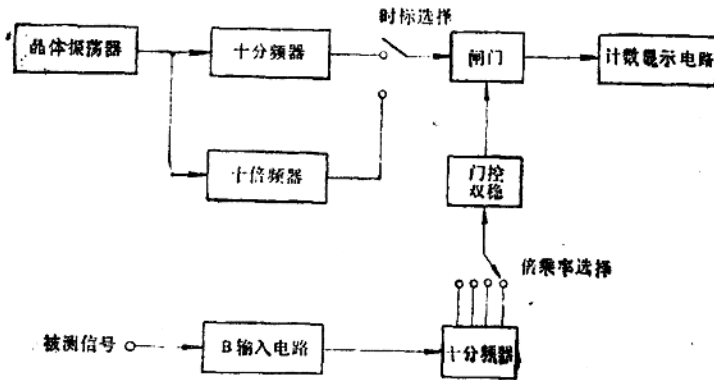


图1-2-8 测量周期的原理方框图

1-2-7电路直接测量周期，计数器显示为 $1000\mu\text{s}$ 时，若采用多周期测量，则经 $10^1$ 倍乘将显示为 $1000.0\mu\text{s}$ ，经 $10^2$ 倍乘将显示为 $1000.00\mu\text{s}$ 。图1-2-8所示为测周期的原理方框图。

从以上介绍的几种基本测量功能的原理中可以看出，无论哪种功能，都是对脉冲的计数过程，只是送入计数脉冲或闸门控制的方式有所不同而已。除上述八种基本功能外，有时还需要测量相位的功能。对于周期性信号而言，测相位与测周期或测脉冲时间间隔的原理相同，因为周期 $T$ 相当于 $360^\circ$ ，如果两脉冲的时间差为 $t$ ，则其相位差 $\varphi = \frac{360t}{T}$ 度。

### §1-3 电子计数器的主要组成电路

根据电子计数器的基本工作原理，可知，电子计数器在完成不同的测量项目时，尽管其原理不同，基本单元电路的组合方式也不同，但是，所需的基本单元电路不外有：输入电路（常包括A、B、C三个输入通道）、计数显示电路（常由十进制计数器、寄存器、译码器及显示电路组成）、标准时间信号形成电路（常包括石英晶体振荡器及分频、倍频电路）和控制电路等四种。

#### 一、输入电路（输入通道）

输入电路的作用是接受被测信号（或控制信号），并对它进行放大和整形，然后送往主闸门（或控制电路），它是输入信号的必经之路，故又称输入通道。输入电路通常包括A、B、C三个独立的单元，凡是需要计数的外加信号均经A输入单元电路送来，而由B、C两个输入单元送入的信号都用来控制闸门时间。B输入单元专供单线输入用，如测周期时的被测信号，测频率比 $f_A/f_B$ 时的 $f_B$ 信号以及测相邻两脉冲时间间隔时的被测信号等，都是经B输入单元电路送来的，这时，控制主闸门的开门信号和关门信号都由此单元电路送入，并经它送出触发信号。C输入单元仅供双线输入时控制主闸门的关闭之用，如测B信号与C信号之间的时间间隔时，主闸门的开门信号为自B输入单元送来的B信号，而关门信号为自C输入单元送来的C信号。

输入电路与信号源直接相连，可视为信号源的负载；而输入电路的输出端又与计数电路相连，成为脉冲计数电路的触发信号源。脉冲电路要求输入电路送来的是有一定波形又有一定幅度和极性的脉冲信号，否则就不能正常工作。而输入电路所接受的输入信号不但波形多种多样，而且幅度也有很大差异，因此，输入电路必须将输入信号整形成为具有一定幅度和陡峭前后沿的脉冲信号。常用的整形电路多采用施密特触发器，整形电路要求被整形的输入信号必须具有足够的幅度才能正常工作，而实际的输入信号幅度可能较大也可能很小，为了使电子计数器对幅度较大和较小的输入信号都能够测量，使整机具有较高的灵敏度，需要对幅度小的输入信号进行适当的放大，以适应整形电路的工作要求，所以，在整形电路前增设输入信号放大器；对于幅度过大的输入信号则需要进行适当的衰减，以保证输入放大器能正常工作，所以在输入放大器前面常加入一个衰减器或限幅器。为了提高整机的输入阻抗，输入放大器的第一级常采用阻抗变换电路，如晶体管射极跟随器或场效应管源极跟随器。在B、C输入电路中，输入的控制信号可能为正脉冲也可能为负脉冲，为保证送出的触发信号有一确定的极性，在一些电路中常设有倒相电路，供使用者选择。一般输入电路的组成方框如图1-3-1所示，电路由衰减器（或限幅器）、放大器、整形电路和倒相器组成。

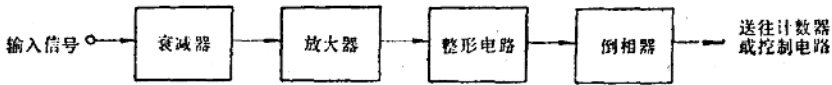


图1-3-1 输入电路组成方框图

输入电路在电子计数器中占有很重要的地位，整机的许多重要技术指标如输入特性（输入阻抗、灵敏度等）以及测量范围等都与输入电路的特性密切相关。下面，仅就输入电路的主要组成部分做一分析。

衰减器大多采用简单的串并联RC网络，以电压的分压比决定衰减系数。衰减器可以是连续可调的，也可以分成若干固定的衰减系数，由面板上的选择开关来决定。关于衰减器，这里不多介绍，以下着重介绍放大器和整形电路。

### 1. 宽频带放大器

输入电路中的放大器需将输入信号放大到一定幅度以推动整形电路工作。这就要求放大器具有足够的增益、高输入阻抗、低输出阻抗和宽频带等特性。

整机的输入灵敏度要求愈严，对输入放大器的放大倍数就要求愈高，如果某电子计数器输入电路中的施密特整形电路触发灵敏度为500mV，当要求整机灵敏度为100mV，衰减器的衰减比为1/10时，放大器的放大倍数就不应低于50倍。

电子计数器要求有确定的正常工作的频率范围，放大器对这一频率范围内的输入信号都应该能够进行放大，并具有足够的放大倍数。实际的被测信号波形不仅有正弦波，更多的是非正弦脉冲波，这就要求放大器的通频带足够宽。脉冲信号波形的前后沿越陡峭，它包含的高次谐波越丰富，对放大器的高频端特性要求越高；而脉冲信号波形的平顶部分持续时间越长，则对放大器的低频端特性要求越高。为了不失真地放大输入信号，就必须使放大器对信号中的各次谐波幅度都进行等倍数的放大，并且要保持各次谐波间的相位关系。所以，输入放大器都选用宽频带放大器，并根据整机的要求，确定放大器的通频带宽度、频率响应、输入阻抗、输出阻抗和输出电压幅度等具体指标。宽带放大器的突出特点是有较宽的通频带 $\Delta f$ 。而 $\Delta f = f_H - f_L$ ，这里 $f_H$ 和 $f_L$ 分别表示放大器的高半功率点和低半功率点。宽带放大器的低频端可能很低，甚至为直流，因此，宽带放大器可以采用直接耦合式的直流放大器；困难的是提高放大器的 $f_H$ ，即必须改善放大器的高频特性才能有效地展宽频带。根据晶体管放大电路的基本原理，影响放大器高频特性的因素主要有两方面：一是晶体管的特性参数，一是放大器的电路参数。由于这些因素的影响，放大器的高频端增益往往下降，所以，在组成宽带放大器时要采取相应的措施，以便在一般放大电路的基础上展宽通频带。一般，从如下三方面入手：

(1) 合理选择高频晶体管：晶体管的特征频率 $f_T$ ，基极扩展电阻（体电阻） $r_{bb}'$ ，集电结电容 $C_c$ 是衡量晶体管高频性能的三个重要参数，通常选择 $f_T$ 大， $r_{bb}'$ 、 $C_c$ 小的管子。当频率不太高时（不大于50MHz），可着重选择 $f_T$ 大的管子，而在更高频率时， $r_{bb}'$ 和 $C_c$ 已成为影响频率特性的重要因素，必须加以考虑。一般根据通频带的高半功率点 $f_H$ 的要求去选择 $f_T$ ，如 $f_T \geq 3f_H$ ，单级增益可达10dB； $f_T \geq 2f_H$ ，单级增益可达6dB，若 $f_T \gg f_H$ （一般指 $f_T > 10f_H$ ）放大器的相位失真可以忽略不计。为了保持宽带放大器增益平坦，晶体管的 $\beta$ 值要选择适当，不宜过大，此外，为了提高放大器的灵敏度，应选择噪声系数 $N_F$ 小的管子。

(2) 选择合适的电路联接方式：晶体管电路有三种基本的联接方式：共发（发射极）

电路、共集（集电极）电路和共基（基极）电路。根据放大器对高增益的要求，应选用共发电路，但单级共发电路的增益在高频端难以提高，所以，一般采用多级放大并运用不同联接方式的组合电路。又由于共发电路输入阻抗小，输出阻抗大，对级间耦合不利，因而用共集电路实现阻抗变换，以改善单级电路的输入、输出阻抗。这种共发-共集电路如图1-3-2a)所示，其频响特性取决于 $BG_1$ 共发电路，而 $BG_2$ 共集电路起级间隔离和阻抗变换的作用。由于共基电路的截止频率 $f_c$ 较高，可接成共发-共基组合电路以扩展共发电路的带宽，如图1-3-2b)所示。

(3) 加入带宽扩展电路：为了扩展放大器的带宽，常用的一种方法是引入负反馈，图1-3-2c)所示即为引入电流串联负反馈的电路形式，图1-3-2d)所示为电压并联负反馈的电路形式。负反馈电路的引入虽然使总增益降低了，但却消除了高频时 $\beta$ 对频率特性的影响，从而改善了放大器的频率特性。扩展频带的另一种方法是引入随频率变化的电容式或电感式高频补偿电路，如在图1-3-2c)中与反馈电阻 $R_f$ 并联的电容 $C_f$ ，在高频时容抗减小，从而使

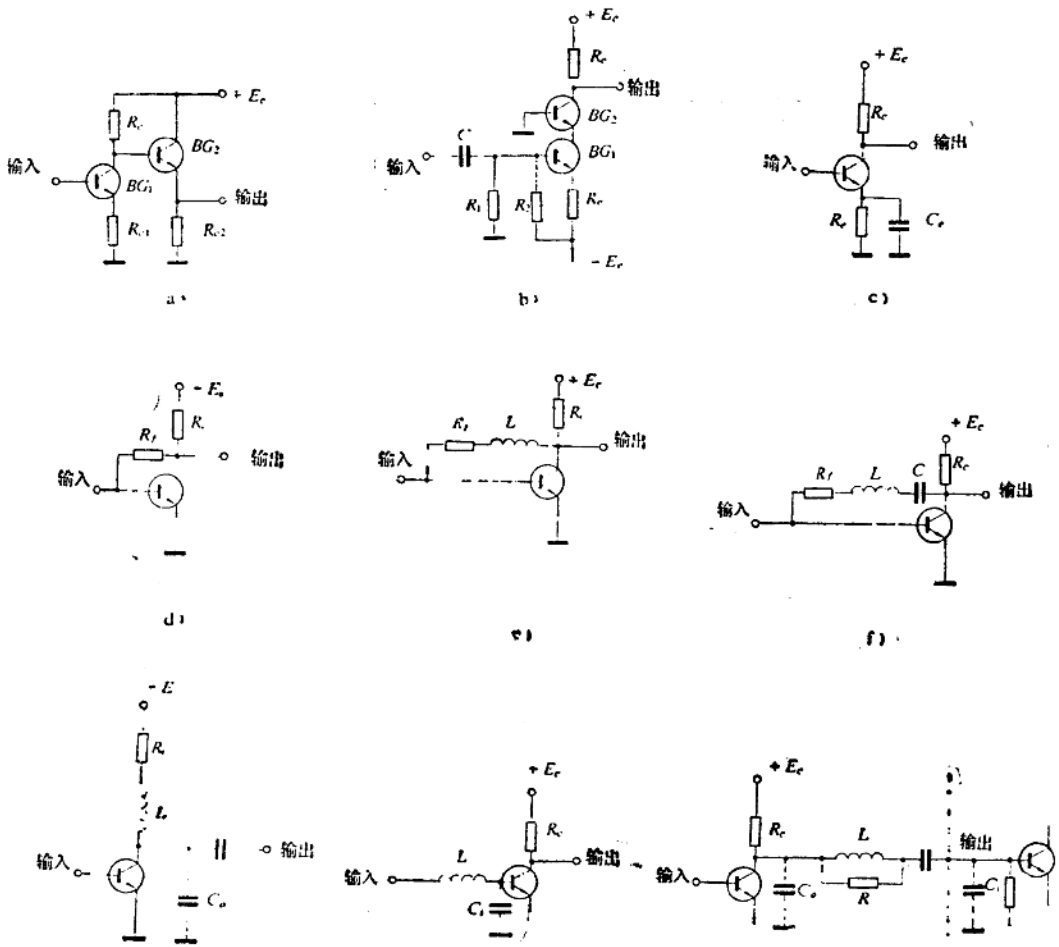


图1-3-2 放大器扩展频带的方法示意图



负反馈作用减弱，补偿了高频增益的下降。利用电感 $L$ 的感抗 $\omega L$ 随频率升高而增大的特性也可以补偿放大器高频增益的衰减，图1-3-2e)所示的电路是在电压并联负反馈电路中串入电感 $L$ ，随着频率的升高， $\omega L$ 增大，负反馈减弱，补偿了高频增益的下降；还可以在反馈网络中串入电容 $C$ 以加深负反馈，如图1-3-2f)所示。图1-3-2g)所示是在集电极电路中串入电感 $L$ ，集电极负载阻抗将随频率的升高而增大，因而高频时的增益得到补偿，如果选取合适的 $L$ 值还可以补偿放大电路输出电容 $C_o$ 的影响， $L$ 可与 $C_o$ 构成并联谐振回路，并调谐在通频带的高端附近，利用谐振阻抗进行补偿。图1-3-2h)所示是在晶体管的输入电路中串入补偿电感 $L$ ，而图1-3-2i)所示是在晶体管的输出电路中串入补偿电感 $L$ ，它们都能起到高频补偿的作用，前者可使 $L$ 与晶体管的输入电容 $C_i$ 谐振于放大器的截止频率附近，从而提高了本级的高频段增益。

在电子计数器中，输入电路需用宽带放大器，扩展功能的各类插件也广泛地采用宽带放大器。宽带放大器的形式多种多样，应用最普遍的形式是以共发电路为主的组合电路，而且采用多级放大。下面介绍两种实用电路，着重分析它们是如何扩展频带的。

图1-3-3是带宽为10Hz~100MHz，增益为20dB的两级共发放大电路，可用于电子计数器的A输入电路。放大器的输入端用二极管 $BG_1$ 、 $BG_2$ 组成限幅电路，放大器采用 $f_T=500$ MHz的高频晶体管组成，为了展宽频带，级间由共集电路联接，构成共发-共集组合电路。各级电路除引入较深的负反馈外，还在 $BG_4$ 、 $BG_6$ 的集电极电路中分别串联电感 $L_1$ 和 $L_2$ ，而在发射极电路中分别并联微调电容，作为高频补偿元件，使整个工作频段(10Hz~100MHz)的增益比较均匀。

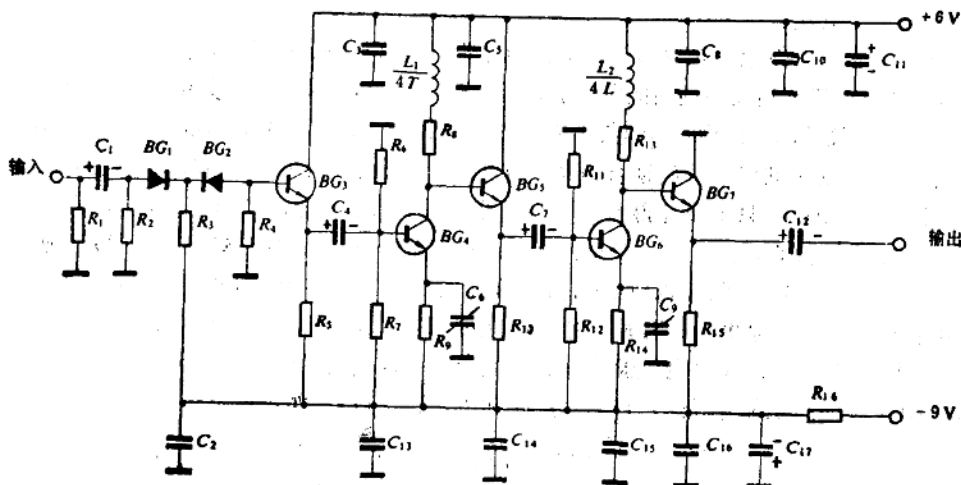


图1-3-3 10Hz~100MHz宽带放大电路图

$R_1$  62 $\Omega$   $R_2$  620 $\Omega$   $R_3$  910 $\Omega$   $R_4$  620 $\Omega$   $R_5$  910 $\Omega$   $R_6$  2k  $R_7$  1.2k  
 $R_8$  680 $\Omega$   $R_9$  160 $\Omega$   $R_{10}$  390 $\Omega$   $R_{11}$  2k  $R_{12}$  1.2k  $R_{13}$  680 $\Omega$   
 $R_{14}$  160 $\Omega$   $R_{15}$  390 $\Omega$   $R_{16}$  51 $\Omega$   
 $C_1$  220 $\mu$   $C_2$  0.01 $\mu$   $C_3$  0.01 $\mu$   $C_4$  100 $\mu$   $C_5$  0.01 $\mu$   $C_6$  5/20p  
 $C_7$  100 $\mu$   $C_8$  0.01 $\mu$   $C_9$  5/20p  $C_{10}$  0.01 $\mu$   $C_{11}$  100 $\mu$   
 $C_{12}$  100 $\mu$   $C_{13}$  0.01 $\mu$   $C_{14}$  0.01 $\mu$   $C_{15}$  0.01 $\mu$   $C_{16}$  0.01 $\mu$   $C_{17}$  100 $\mu$

图1-3-4所示为一个带宽为10Hz~500MHz，总增益为45dB的三级宽带放大电路，电路