

模块三 频率和时间测量

模块导读

时间和频率是极为重要的物理量，时间是 7 个基本国际单位之一，频率是交流电的基本参量之一，电路的阻抗、交流电动机的转速都与频率直接相关，所以在电力系统中将频率作为电能质量的一个重要指标。时间频率基准具有最高准确度（可达 10^{-15} ），校准（比对）方便，因而数字化时频测量可达到很高的准确度。因此，许多物理量的测量都转换为时频测量。在通信、航空航天、武器装备、科学试验、医疗、工业自动化等民用和军事方面都存在时频测量。由于时间和频率可以互相转换，所以本模块主要介绍频率测量的方法及仪器。



学习单元一 频率和时间测量的基本方法

引言

在相等的时间间隔内重复发生的现象称为周期现象,该时间间隔称为周期。在单位时间内周期性过程重复、循环或振动的次数称为频率,单位为 Hz。频率和时间互为倒数,可以互相转换,因此本单元主要介绍频率的测量方法。频率的范围很宽,在不同的频率范围,其测量方法也不同。测量频率的方法有很多,按照其工作原理分为无源测频法、有源比较法、频率-电压变换法、示波器法和计数法等。无源测频法是利用电路的频率响应特性测量频率;比较法是利用已知的参数频率同被测频率进行比较而测得被测频率;计数法实际上属于比较法,其中的电子计数器是一种最常见、最基本的数字化测量仪器。

一、无源测频法

常用的无源测频法分为谐振法和电桥法两种。

1. 谐振法

谐振法测频的基本原理如图 3-1 所示。被测信号经互感 M 与 LC 串联谐振回路进行耦合,改变可变电容器 C ,使回路发生串联谐振。谐振时回路电流 I 达到最大。被测频率 f_x 可用以下表达式计算:

$$f_x = f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3-1)$$

式中, f_0 为谐振回路的谐振频率; L 、 C 分别为谐振回路谐振电感和谐振电容。

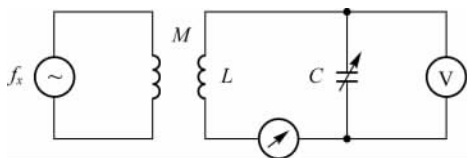


图 3-1 谐振法测频原理

一般情况下, L 是预先设定好的,可变电容采用标准电容。为使用方便,可根据式(3-1)预先绘制相应的 f_x-C 曲线或 $f_x-\theta$ (θ 为 C 的旋转角度)曲线。测量时,调节标准电容使回路谐振,可从曲线上直接查出被测频率。

2. 电桥法

凡是平衡条件与频率有关的任何电桥都可用来测频,但要求电桥的频率特性尽可能尖锐。测频电桥的种类有很多,常用的有文氏电桥、谐振电桥和双 T 电桥。通常采用如图 3-2 所示的文氏电桥来进行测量。调节 R_1 、 R_2 使电桥达到平衡,则有

$$R_1 + \frac{1}{j\omega_x C_1} R_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega_x C_2} R_3$$

$$f_x = \frac{\omega_x}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

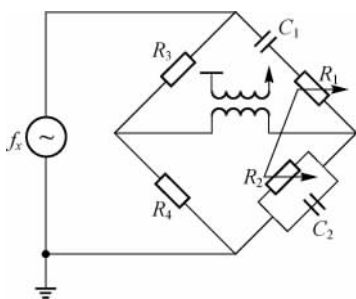


图 3-2 文氏电桥电路

二、有源比较测频法

常用的有源比较测频法有拍频法和差频法。

1. 拍频法

拍频法是将被测信号与标准信号经线性元件(如耳机、电压表)直接进行叠加来实现频率测量的,其原理电路如图 3-3(a)所示。

当两个音频信号逐渐靠近时,耳机中可以听到两个高低不同的音调。当这两个频率靠近到差值为 $4\sim 6$ Hz 时,就只能听到一个近于单一音调的声音,这时,声音的响度做周期性的变化,再观察电压表,会发现指针在有规律地来回摆动,示波器上则可得到如图 3-3(b)所示的波形。拍频法通常只用于音频的测量,而不宜用于高频测量。

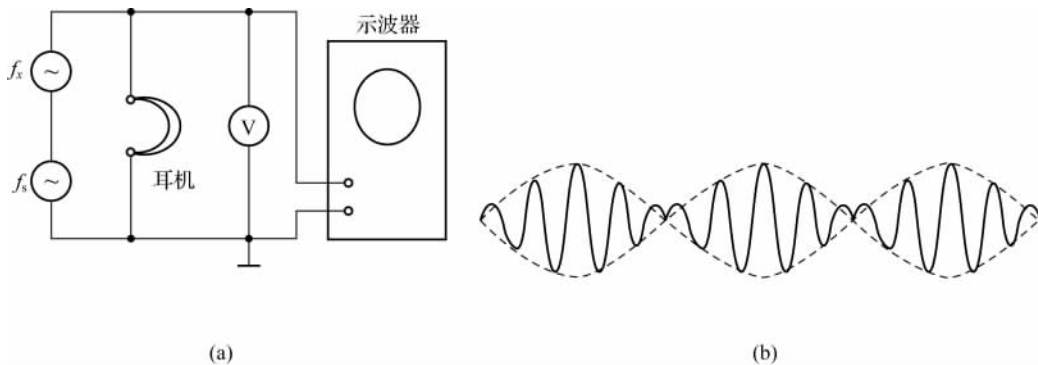


图 3-3 拍频法测频原理

2. 差频法

高频段测频常用差频法。差频法是利用非线性器件和标准信号对被测信号进行差频变换来实现频率测量的,其原理如图 3-4 所示。 f_x 和 f_s 两个信号经混频器混频和滤波器滤波后输出二者的差频信号,该差频信号落在音频信号范围内,调节标准信号频率,当耳机中听不到声音时,表明两个信号频率近似相等。

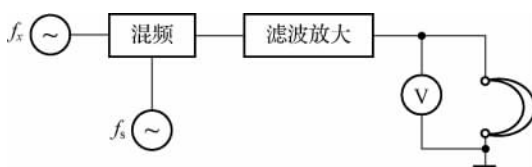


图 3-4 差频法测频原理

三、B -电压变换法

频率-电压变换法先把频率变换为电压或电流,然后以频率刻度的电压表或电流表来指示被测频率。频率-电压变换法测正弦波频率原理框图如图 3-5(a)所示。首先把正弦信号变换为频率与之相等的尖脉冲 u_A ,然后加至单稳多谐振荡器,产生频率为 f_x 、宽度为 τ 、幅度为 U_m 的矩形脉冲列 $u_B(t)$,如图 3-5(b)所示。经推导得知

$$\bar{U}_o = \frac{1}{T_x} \int_0^{T_x} u_B(t) dt = U_m \tau f_x \quad (3-2)$$

当 U_m 、 τ 一定时, U_o 指示就构成频率-电压变换型直读式频率计,电压表直接按频率刻度。最高频率可达几兆赫。

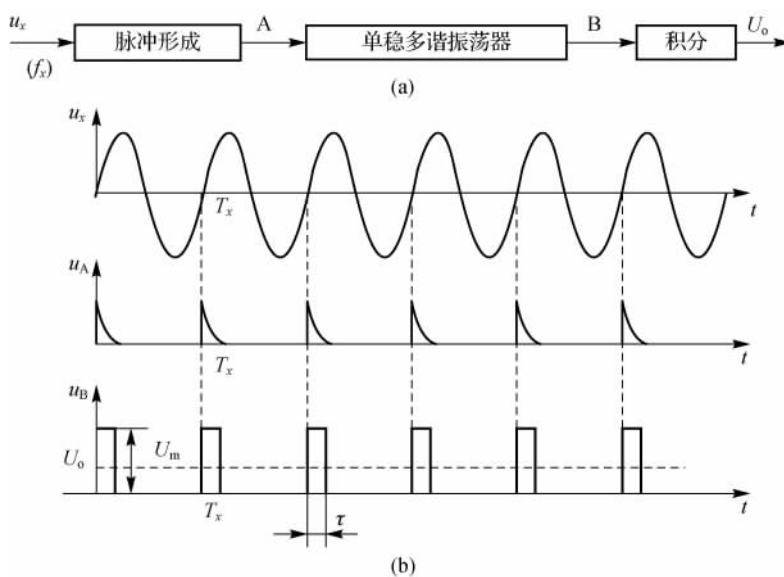


图 3-5 B -电压变换法测正弦波频率原理

四、示波法

用示波器测量信号频率的方法很多,下面介绍常用的两种基本方法。

1. 测周期法

测周期法直接根据显示波形由 X 通道扫描速率得到周期,进而得到频率。

2. 李沙育图形法

李沙育图形法将被测信号和标准频率信号分别接到示波器 Y 轴和 X 轴(X-Y 图示方



式),当被测信号与标准频率信号相等时,显示为斜线(椭圆或圆)。其原理框图如图 3-6 所示。

李沙育图形法测量频率是相当准确的,但操作较费时。同时,它只适用于测量频率较低的信号。

测周期法和李沙育图形法测量频率的具体方法将在模块五的学习单元二中进行详细介绍,此处不再赘述。

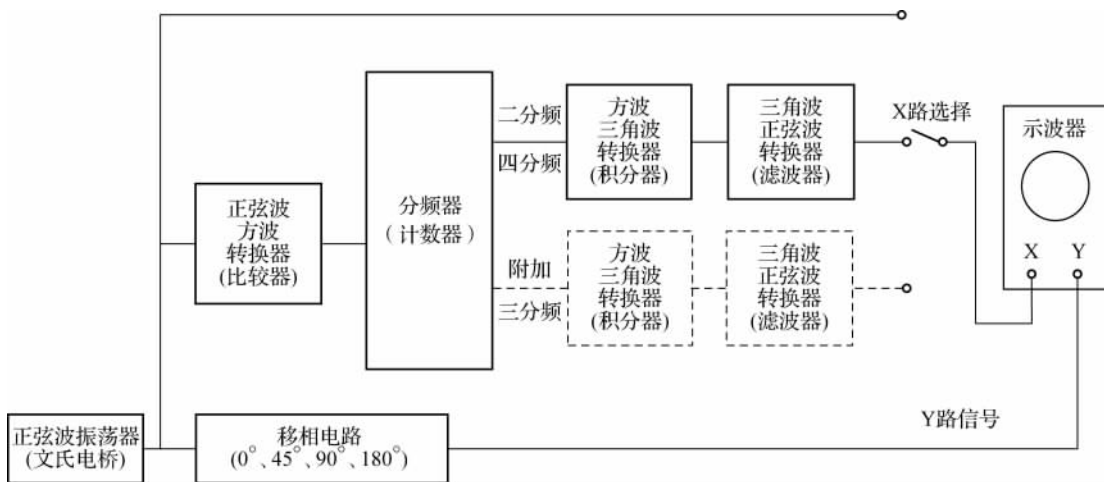


图 3-6 李沙育图形信号产生原理框图

问题与思考

问题 1 无源测频法有哪几种? 其各自的工作原理是什么?

思考并回答:

问题 2 有源比较法有哪几种? 它们分别适合什么情况下的测量? 为什么?

思考并回答:

问题 3 示波法测频率主要有哪几种方法? 它们是如何进行测量的?

思考并回答:

学习单元二 电子计数器

引言 电子计数器测频率(周期)十分普遍,具有精度高、使用方便、测量迅速以及便于实现测量自动化等优点。本单元将对电子计数器做重点介绍。

一、电子计数器的分类

按其测试功能的不同,电子计数器分为以下几类。

(1)通用电子计数器。通用电子计数器即多功能电子计数器,它可以测量频率、频率比、周期、时间间隔及累加计数等,通常还具有自检功能。

(2)频率计数器。频率计数器是指专门用于测量高频和微波频率的电子计数器,它具有较宽的频率范围。

(3)计算计数器。计算计数器是指一种带有微处理器、能够进行数学运算、求解复杂方程式等功能的电子计数器。

(4)特种计数器。特种计数器是指具有特殊功能的电子计数器。如可逆计数器、预置计数器、程序计数器和差值计数器等,主要用于工业自动化,尤其用于自动控制和自动测量方面。本模块主要介绍通用电子计数器。

二、电子计数器的组成

如图 3-7 所示为通用电子计数器组成框图,主要由输入通道、十进制计数器、标准时间产生电路和逻辑控制电路组成。

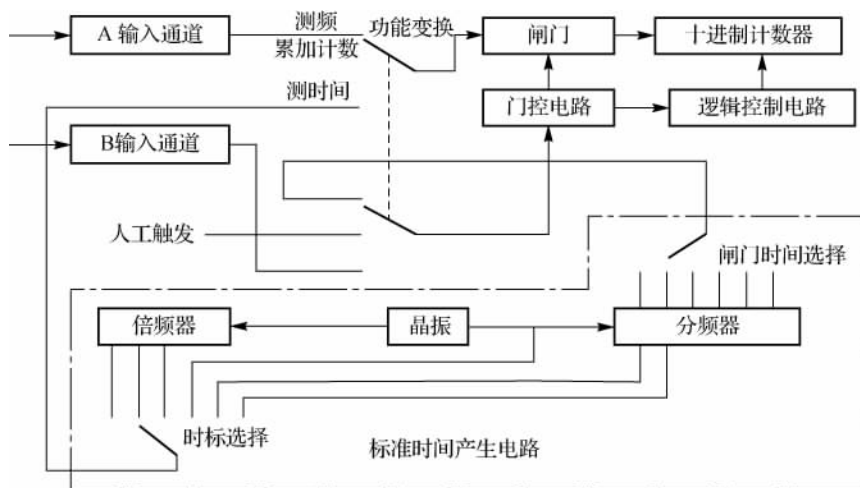


图 3-7 通用电子计数器组成框图

1. 输入通道

输入通道即输入电路,其作用是接受被测信号,并对被测信号进行放大整形,然后送入闸门(即主门或信号门)。输入通道通常包括 A、B 两个独立的单元电路。



A 输入通道是计数脉冲信号的通道。它对输入信号进行放大整形、变换,输出计数脉冲信号。计数脉冲信号经过闸门进入十进制计数器,是十进制计数器的触发脉冲源。

B 输入通道是闸门时间信号的通道,用于控制闸门的开启和关闭。输入信号经整形后用来触发门控电路(双稳态触发器)使其状态翻转,以一个脉冲开启闸门,而以随后的一个脉冲关闭闸门,两脉冲的时间间隔为闸门时间。在此期间,十进制计数器对经过 A 通道的计数脉冲进行计数。为保证信号能够在一定的电平时触发,输入端可以对输入信号的电平进行连续调节,并且可以任意选择所需的触发脉冲极性。

有的通用计数器闸门时间信号通道有 B、C 两个通道。B 通道用作门控电路的启动通道,使门控电路状态翻转;C 通道用作门控电路停止通道,使其复原。

2. 十进制计数器

十进制计数器用于对通过闸门的脉冲(即计数脉冲)进行计数,并以十进制方式显示计数结果。

3. 标准时间产生电路

标准时间信号由石英晶体振荡器提供,作为电子计数器的内部时间基准。测量周期(测周)时,标准时间信号经过放大整形和倍频(或分频),用作测量周期或时间的计数脉冲,称为时标信号;测频时,标准时间信号经过放大整形和一系列分频,用作控制门控电路的时基信号,时基信号经过门控电路形成门控信号。

4. 逻辑控制电路

逻辑控制电路产生各种控制信号,用于控制电子计数器各单元电路的协调工作。每一次测量的工作程序一般是准备—计数—显示—复零—准备下次测量等。

三、通用电子计数器

1. 测量频率

周期性信号在单位时间内重复的次数称为频率,即

$$f = \frac{N}{T} \quad (3-3)$$

式中, T 为时间,单位为 s; N 为在时间 T 内周期性现象的重复次数。

通用电子计数器测频原理框图如图 3-8 所示。

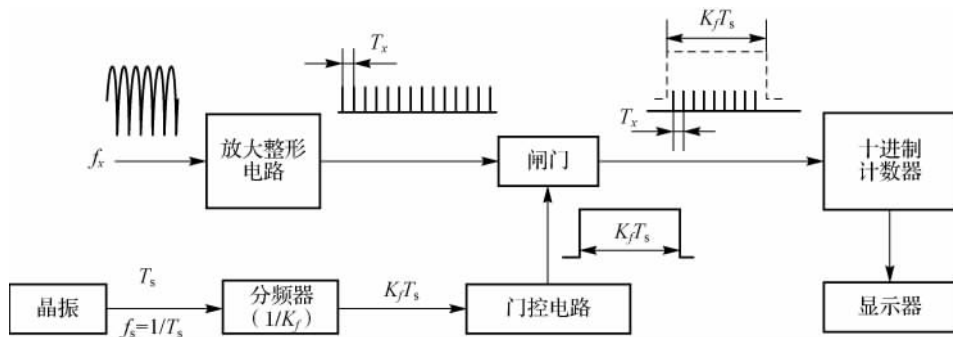


图 3-8 通用电子计数器测频原理框图



被测信号经过放大整形、倍频,形成频率为 mf_x 的计数脉冲作为闸门的输入信号。门控电路的输出信号称为门控信号,控制着闸门的启闭,闸门开启时间等于分频器输出信号周期 $K_f T_s$ 。只有当闸门开启(图中假设门控信号为高电平)时,计数脉冲才能通过闸门进入十进制计数器去计数,设计数结果为 N 。则存在关系

$$f_x = \frac{N}{mK_f T_s}$$

$$N = mK_f T_s f_x$$

式中, N 为闸门开启期间十进制计数器计出的计数脉冲个数; f_x 为被测信号频率,其倒数为周期 T_x ; T_s 为晶振信号周期; m 为倍频次数; K_f 为分频次数,调节 K_f 的旋钮称为“闸门时间选择”开关, K_f 与 T_s 的乘积等于闸门时间。

为了使 N 值能够直接表示 f_x ,常取 $mK_f T_s$ 为 1 ms、10 ms、0.1 s、1 s、10 s 等几种闸门时间,即当闸门时间为 1×10^n s (n 为整数),并 \times 闸门开启时间的改变与计数器显示屏上小数点位置的移动同步进行时,无须对计数结果进行换算,就可直接读出测量结果。

2. 测量周期

频率的倒数就是周期,通用电子计数器测量周期的原理与测频原理相似,其原理框图如图 3-9 所示。

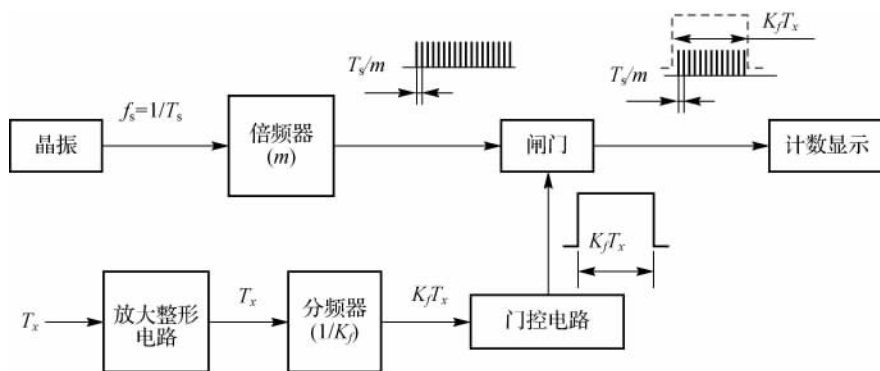


图 3-9 通用电子计数器测周期原理框图

门控电路改由经放大整形、分频后的被测信号控制,计数脉冲则是晶振信号经倍频后的时间标准信号(即时标信号)。存在如下关系

$$K_f T_x = N \frac{T_s}{m} = N \frac{1}{m f_s}$$

$$T_x = N \frac{1}{m K_f f_s} = \frac{N T_s}{m K_f}$$

$$N = m K_f T_x / T_s$$

式中, T_x 与 K_f 的乘积等于闸门时间; K_f 为分频器分频次数,调节的 K_f 旋钮称为“周期倍乘选择”开关,通常选用 10^n ,如 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 10^2$ 、 $\times 10^3$ 等,该方法称为多周期测量法; T_s 为晶振信号周期; f_s 为晶振信号频率; T_s/m 通常选用 1 ms、1 μ s、0.1 μ s、10 ns 等,改变 T_s/m 大小的旋钮称为时标选择开关。

由上述分析得知,通用电子计数器无论测频还是测周,其测量方法是依据闸门时间等于



计数脉冲周期与闸门开启时通过的计数脉冲个数之积,然后根据被测量的定义进行推导计算而得出被测量。同理,也可以据此来测量频率比、时间间隔、累加计数等。

3. 测量频率比

频率比即两个信号的频率之比,通用电子计数器测量频率比原理框图如图 3-10 所示。其测量原理与测量频率的原理相似。不过此时有两个输入信号加到电子计数器输入端,如果 $f_A > f_B$,就将频率为 f_B 的信号经 B 通道输入去控制闸门的启闭,假设该信号未经分频器分频,则闸门开启时间等于 $T_B(1/f_B)$;而把频率为 f_A 的信号从 A 通道输入,假设该信号未经过倍频,设十进制计数器计数值为 N ,则存在如下关系

$$T_B = NT_A$$

$$N = \frac{T_B}{T_A} = \frac{f_A}{f_B}$$

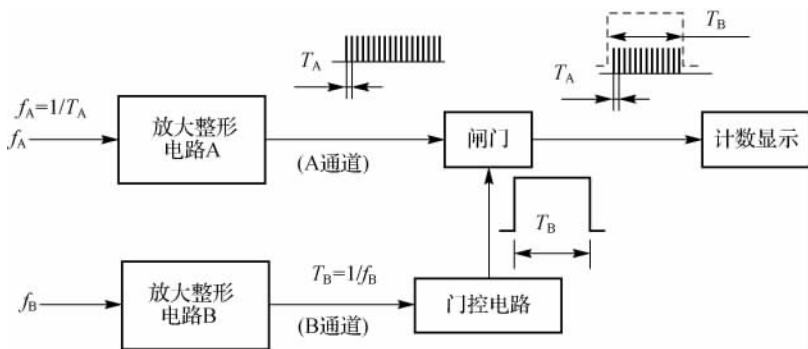


图 3-10 通用电子计数器测量频率比原理框图

为了提高测量准确度,可以采用类似多周期测量的方法,在 B 通道增加分频器,对 f_B 进行 K_f 次分频,使闸门开启时间扩展 K_f 倍。则有

$$K_f T_B = NT_A$$

$$\frac{f_A}{f_B} = \frac{T_B}{T_A} = \frac{N}{K_f}$$

当对 f_A 进行 m 次倍频,用 mf_A 作为时标信号时,存在如下关系

$$K_f T_B = N \frac{T_A}{m}$$

$$\frac{f_A}{f_B} = \frac{N}{mK_f}$$

4. 累加计数

累加计数是指在限定时间内,对输入信号重复次数(即放大整形后的计数脉冲个数)进行累加。其测量原理与测量频率是相似的,不过此时门控电路改由人工控制。其原理框图如图 3-11 所示,当开关 S 打在启动位置时,闸门开启,计数脉冲进入计数器计数,当开关 S 打在终止位置时,闸门关闭,终止计数,累加计数结果由显示电路显示。

5. 测量时间间隔

如图 3-12 所示为测量时间间隔原理框图,其测量原理与测量周期原理相似,不过控制

闸门启闭的是两个(或单个)输入信号在不同点产生的触发脉冲。触发脉冲的产生由触发器的触发电平与触发极性选择开关来控制。

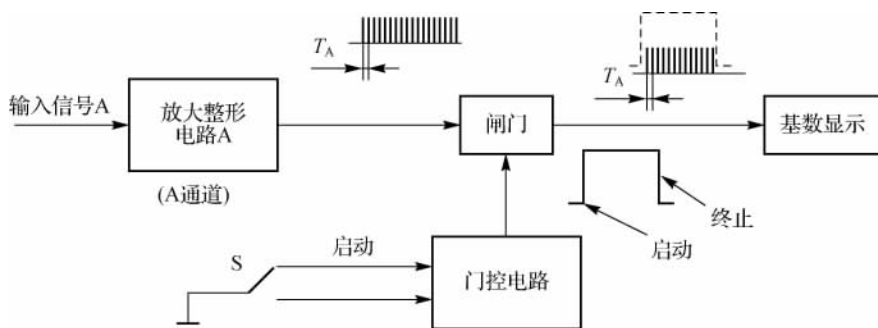


图 3-11 通用电子计数器累加计数原理框图

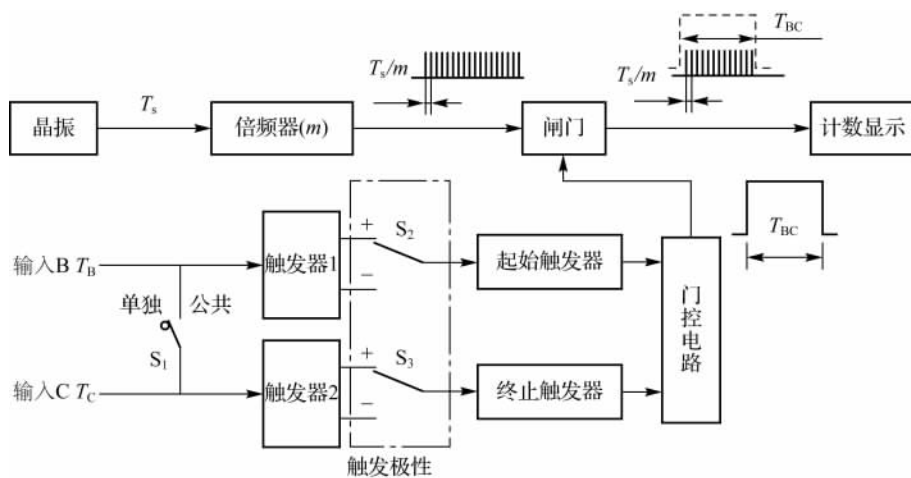


图 3-12 通用电子计数器测量时间间隔原理框图

当测量两个信号的时间间隔时,开关 S_1 处于“单独”位置,测时间间隔示意图如图 3-13 所示。B 输入(设时间超前)产生起始触发脉冲用于开启闸门,使十进制计数器开始对时标信号进行计数;C 输入(设时间滞后)则产生终止触发脉冲以关闭闸门、停止计数。假设起始脉冲和终止脉冲分别选择输入 B、C 正极性(即开关 S_2 、 S_3 置于“+”处)、50% 电平处产生,计数值为 N ,则时间间隔 T_{BC} 存在以下关系

$$T_{BC} = N \frac{T_s}{m}$$

当测量脉冲信号的时间间隔参数如脉冲前沿 t_r 、脉宽 τ 相等时,将开关 S_1 置于“公共”位置,根据被测量的定义,调节触发器 1、2 的触发电平和触发极性,选择合适的时标信号即可测量。

例如,测量脉宽 τ ,根据脉宽定义,调节触发器 1、2 的触发电平均为 50%,分别调节触发极性选择 S_1 、 S_2 为“+”、“-”。闸门开启期间计数结果为 N ,则

$$\tau = \frac{NT_s}{m}$$

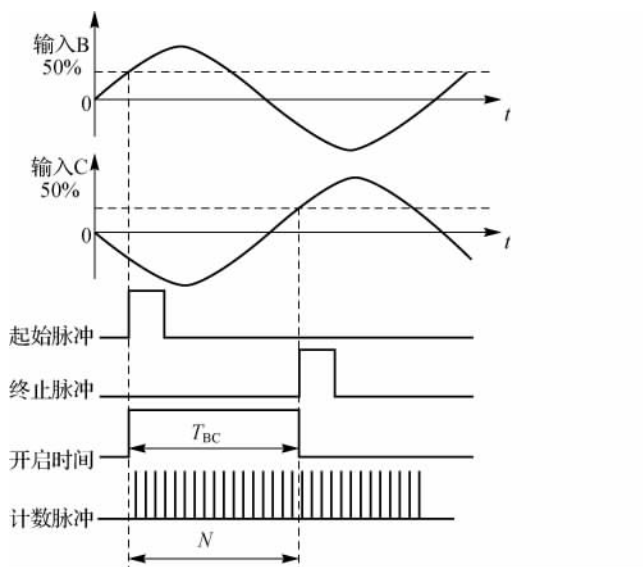


图 3-13 通用电子计数器测时间间隔示意图

6. 自检(自校)

大多数电子计数器都具有自检(即自校)功能,它可以检查仪器自身的逻辑功能以及电路的工作是否正常,其原理框图如图 3-14 所示。

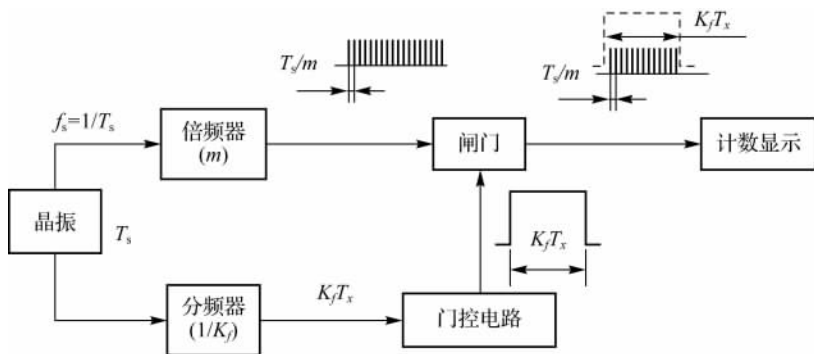


图 3-14 通用电子计数器自检原理框图

由图可见,自检原理与测量频率的原理相似,不过自检时的计数脉冲不再是被测信号而是晶振信号经倍频后产生的时标信号。显然,只要满足关系

$$N = \frac{T_s}{m} = K_f T_s \quad \text{或} \quad N = m K_f \pm 1$$

即说明电子计数器及其电路等工作正常,之所以出现 ± 1 是因为计数器中存在量化误差。



问题与思考

问题 1 通用电子计数器的组成是怎样的？各组成部分的作用是什么？

思考并回答：.....

问题 2 通用电子计数器的测试功能有哪些？它的测量原理是什么？

思考并回答：.....

问题 3 通用电子计数器测量频率、周期的原理是什么？二者有何区别？

思考并回答：.....

学习单元三 电子计数器的测量误差

引言 电子计数器具有多种功能，每个功能的误差表达形式是不一样的。电子计数器的测量误差习惯用相对误差的形式来表示。

一、测量误差的来源

电子计数器的测量误差来源主要包括量化误差、触发误差和标准频率误差。

1. 量化误差

量化误差是在将模拟量变换为数字量的量化过程中产生的误差，是数字化仪器所特有的误差，是不可消除的误差。它是由电子计数器闸门的开启与计数脉冲的输入在时间上的不确定性（即相位随机性），使得在闸门开始和结束时刻有一部分时间零头没有被计算在内而造成的测量误差，并非由于计数值 N 的不准确，也并非标准频率 f 不准确。如图 3-15 所示，虽然闸门开启时间均为 T ，但因为闸门开启时刻不一样，计数值一个为 9，另一个却为 8，两个计数值相差 1。

量化误差的特点：无论计数值 N 为多少，每次的计数值总是相差 ± 1 ，即 $\Delta N = \pm 1$ 。因此，量化误差又称为 ± 1 误差或 ± 1 字误差。又因为量化误差是在十进制计数器的计数过程中产生的，故又称为计数误差。

量化误差的相对误差为



$$\gamma_N = \frac{\Delta N}{N} \times 100\% = \pm \frac{1}{N} \times 100\%$$

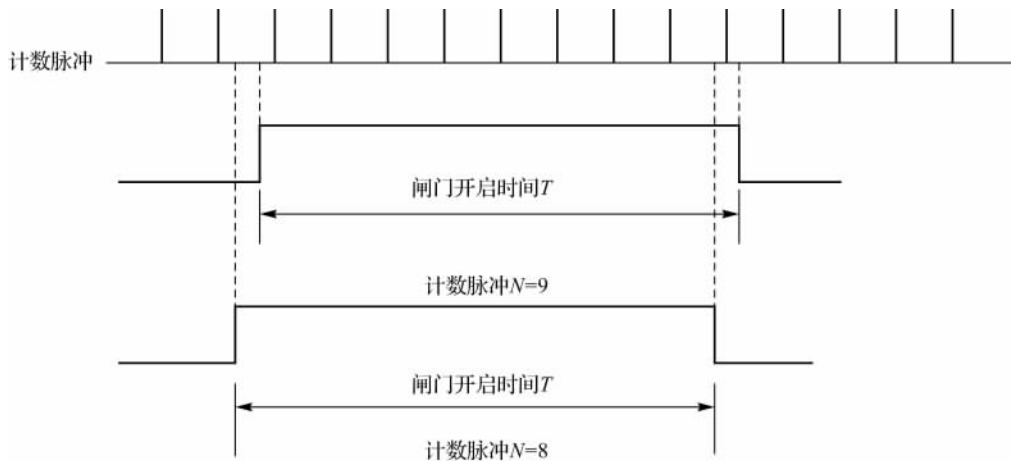


图 3-15 量化误差产生示意图

老师

增大闸门时间将降低测量速度,并且计数值的增加不应超过计数器的技术容量,否则将产生溢出(高位无法显示)。例如,一个6位的计数器,最大显示为999 999,当用 $T_s=10$ s的闸门测量 $f_x=1$ MHz时,应显示“1 000 000.0”Hz或“1.000 000 0”MHz,显然溢出。

2. 触发误差

触发误差又称为变换误差。被测信号在整形过程中,由于整形电路本身触发电平的抖动或者被测信号叠加有噪声和各种干扰信号等原因,使得整形后的脉冲周期不等于被测信号的周期,由此而产生的误差称为触发误差,如图3-16所示为触发误差产生示意图。



误差产生示意图

电子计数器测量周期时,被测信号控制门控电路的工作状态而产生门控信号。门控电路一般采用施密特电路,当被测信号达到施密特电路触发电平 V_B 时(即 A_1 点),门控信号控制闸门打开,当被测信号经过一个周期(设被测信号未被分频)再次达到施密特电路触发电平 V_B 时(即 A_2 点),门控信号控制闸门关闭。显然,当无噪声和干扰信号的理想情况下,闸门开启时间就等于被测信号的周期 T_x 。但叠加有噪声或干扰信号时,如图3-16所示,闸门在 A'_1 就打开,而在 A'_2 时才关闭,闸门的开启时间变为 T'_x ,显然不等于被测信号的周期,这样就产生了触发误差。

经推导得知,触发误差的相对误差等于

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \frac{U_n}{\sqrt{2}\pi K_f U_m} \quad (3-4)$$

式中, U_n 为噪声或干扰信号的最大幅度,单位为V,包括因触发电平抖动而产生的影响,一般情况下,可以不考虑触发电平抖动或漂移的影响; U_m 为被测信号电压幅度,单位为V; K_f



为 B 通道分频器分频次数。

触发误差对测量周期的影响较大,而对测量频率的影响较小,所以测频时一般不考虑触发误差的影响。这是因为测频时用来产生门控信号的是标准的晶振信号,叠加的干扰信号很小,故可以忽略触发误差的影响;而产生计数脉冲的被测信号中虽然有干扰信号,但不影响对计数脉冲的计数,故不产生触发误差。

为了减小测周时触发误差的影响,除了尽量提高被测信号的信噪比外,还可以采用多周期测量法测量周期,即增大 B 通道分频器分频次数。

3. 标准频率误差 $\Delta f_s / f_s$

标准频率误差是指由晶振信号的不稳定等原因而产生的误差。测频时,晶振信号用来产生门控信号(即时基信号),此时标准频率误差称为时基误差;测周时,晶振信号用来产生时标信号,此时标准频率误差称为时标误差。一般情况下,由于标准频率误差较小,可以不予考虑。

二、测量误差的分析

电子计数器的测量误差中,对频率测量影响最大的是量化误差,其他误差一般不予考虑。周期测量则主要受量化误差和触发误差的影响。下面对测频和测周误差进行分析。

1. 测频误差

经推导得知,测频量化误差等于

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{mK_f T_s f_x}$$

由此可见,要减小量化误差对测频的影响,应设法增大计数值 N 。即在 A 通道中选用倍频次数 m 较大的倍频器,亦即选用短时标信号;在 B 通道中增大分频次数 K_f ,亦即延长闸门时间;可以直接测量高频信号的频率,否则,测出周期后再进行换算,该方法属于间接测量法,这是由测周误差的特性所决定的。

2. 测周误差

1) 测周量化误差

经推导得知,测周量化误差为

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \frac{\Delta N}{N} = \pm \frac{1}{mK_f T_x f_s}$$

由此可见,要减小测周量化误差,应设法增大计数值 N 。即在 A 通道中选用倍频次数 m 较大的倍频器,亦即选用短时标信号;在 B 通道中增大分频次数 K_f ,亦即延长闸门时间,该方法称为多周期测量法;可以直接测量低频信号的周期,否则,测出频率后再进行换算,该方法属于间接测量法。除此之外,人们还常采用游标法、内插法等方法来减小测量误差。

所谓的高频或低频是相对于电子计数器的中界频率而言的。中界频率是指采用测频和测周两种方法进行测量,产生大小相等的量化误差时的被测信号的频率,有时候会在计数器技术说明书中给出。

2) 测周触发误差

减小测周触发误差的方法如式(3-2)结论所述,不再赘述。



综上所述,多周期测量法以及提高信噪比、选用短时标信号等方法,可以减小测量周期的误差。

三、频率扩展技术

由于十进制计数器处理速度等因素的限制,通用电子计数器比较适合频率低于 700 MHz 左右的信号,在 A 通道分别采用倍频器时,频率范围就更窄了。通常采用外差降频变换法、预定标法、转移振荡器法、谐波外差变换法、取样法等方法来扩展计数器的测频范围,这样的计数器适合用来测量高频信号频率,称为数字频率计,测频上限可高达 170 GHz。下面主要介绍外差降频变换法和预定标法。

1. 外差降频变换法

如图 3-17 所示为手动外差降频变换法扩频原理框图,它的输入信号与调谐滤波器的输出混频后产生差频信号,该差频信号频率刚好落在计数电路频率范围内而获得频率读数。调谐滤波器将谐波倍频器输出的每一谐波选出后作为混频的本振信号。为确定输入频率,使用者只需将计数器的读数加上调谐滤波器的读盘指示值即可。现代计数器通常采用自动外差降频变换法。例如,北京大华无线电仪器厂生产的 DH3381 型微波频率计数器,美国 EIP 公司生产的一些微波测频仪器等。

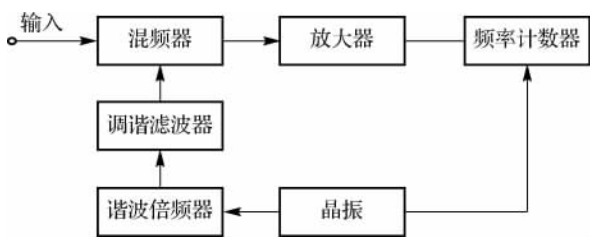


图 3-17 手动外差降频变换法扩频原理框图

2. 预定标法

如图 3-18 所示,预定标法数字频率计与通用计数器的区别就是对被测信号进行 N 分频,即预定标。预定标法的缺点是降低了单位时间内的分辨力,为了提高测量分辨力,如果十进制计数器位数足够多,通常也对晶振进行 N 分频。采用预定标法,计数器测频上限可达 3 GHz,例如,南京电讯仪器厂生产的 E327A 通用计数器、E3397 型频率计数器。

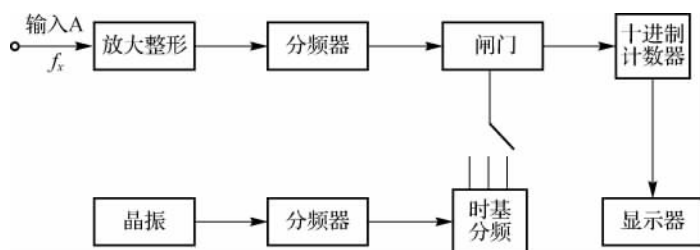


图 3-18 预定标法数字频率计原理框图

现代电子计数器中很多采用频率扩展技术,事实证明是行之有效的。例如,使用 E312A 型频率扩展器时,其测频上限范围可由 10 MHz 扩展至 105 MHz,E3122A 型可扩展至 500 MHz,E3123A 型可扩展至 1 000 MHz。

问题与思考

问题 1 电子计数器的测量误差来源于哪些方面?

思考并回答:

问题 2 通用电子计数器测量频率、周期时存在哪些误差? 如何减小这些误差?

思考并回答:

学习单元 四 通用电子计数器实例

引言 电子计数器的型号很多,但是它们的基本使用方法是类似的。这里以 E312A 型通用计数器为例,介绍其技术指标、面板装置以及使用步骤。

E312A 型通用电子计数器是采用大规模集成电路的数字式仪器,采用 LED 显示,具有读数直观、测量快速、准确和使用方便等优点。

一、主要技术性能

- (1) 频率测量范围为 10 Hz~10 MHz, 闸门时间分 10 ms、0.1 s、1 s、10 s 四种。
- (2) 周期测量范围为 0.4 μ s~10 s。
- (3) 脉冲时间间隔测量范围为 0.25~(10⁷-1) μ s。
- (4) 具有 A、B 两个输入通道, 频率比测量时 A 通道输入频率范围为 10 Hz~10 MHz, B



通道输入频率范围为 1 Hz~2.5 MHz。

(5)计数时最大计数值为 $10^8 - 1$ 。

(6)A、B 两个输入端输入阻抗相同,输入电阻 $\geq 500\text{ k}\Omega$,输入电容 $\leq 30\text{ pF}$ 。

(7)使用 8 位 LED 显示,十进制读数,单位为 kHz,小数点可自动定位。

(8)工作方式有自动复原、人工复原和保持三种。

(9)自动复原为 0.2 s+测量时间,人工复原需按人工复原键后测量才能重新开始。在保持位置则显示的读数不变。

(10)晶振标准频率为 5 MHz,频率准确度为 $\pm 5 \times 10^{-8}$,频率稳定度为 $1 \times 10^{-8}/\text{日}$ 。

二、测量功能与使用说明

E312A 型通用电子计数器的原理方框图如图 3-19 所示。

E312A 型通用电子计数器可进行自校、频率、周期、时间、计数、插测、A/B 七种功能的测量。插测挡可作为 E312A 仪器的功能扩展之用。

在输入电路内有三态灯指示电路,用来检测整形器是否工作正常。工作时指示灯闪亮,不工作时则为常亮或常灭。

测量频率或周期时的被测信号、测频率比时的 A 信号(频率较高信号)、测时间间隔时的启动信号,都由 A 输入口输入;测频率比时的 B 信号及测时间间隔时的停止信号则由 B 输入口输入。在面板上有斜率选择器,可根据需要选择触发信号的上升沿或下降沿。“触发电平”旋钮可连续调节触发电平到最佳值。

测量频率时若被测频率 f_x 高,可选择短闸门时间,反之,若 f_x 低则应选长闸门时间。测量周期时,若周期长应选小倍乘率,否则测量时间会很长。

在面板上设有分合键。用于 A、B 两输入口的分、合控制。当按下合键时 B 输入通道的插口被断开,只有 A 输入口可输入信号,这时 A、B 输入通道在内部相连。当为单线输入、测量时间间隔时需按下此键。A、B 通道选用相同的斜率触发,可用来测量被测脉冲信号的重复周期;选用不同的斜率触发,可用来测量脉冲宽度或静止期。合键弹出时,A、B 则为独立的输入通道。

功能选择和闸门时间选择通过在输入端接入不同的扫描位驱动脉冲来实现。在面板上按下某一功能按键后,集成电路内部则依照该按键的要求连接好内部电路,使测量逻辑功能发生相应变化。

三、前面板各部分的名称和作用

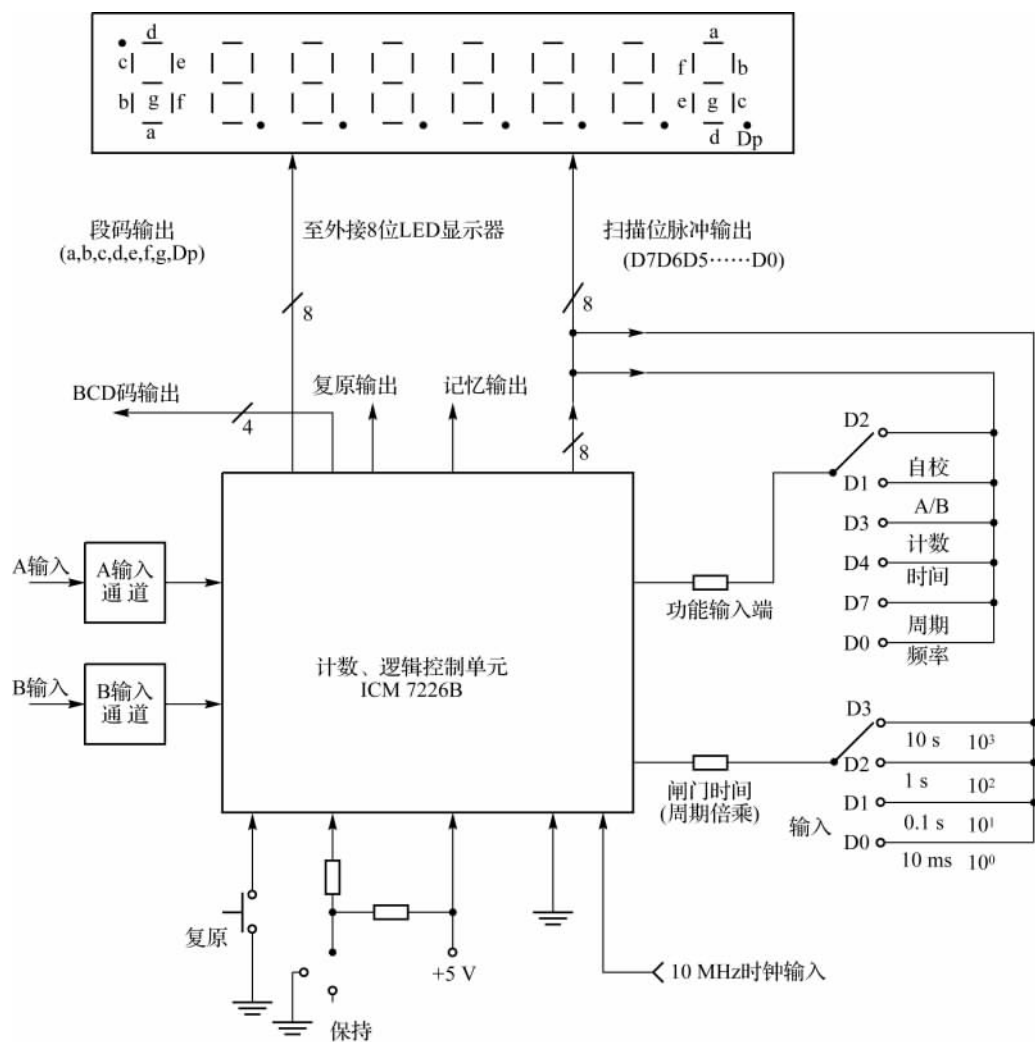
E312A 型通用计数器的面板图如图 3-20 所示。

(1)电源开关。开关键按下为机内电源接通,仪器可正常工作。

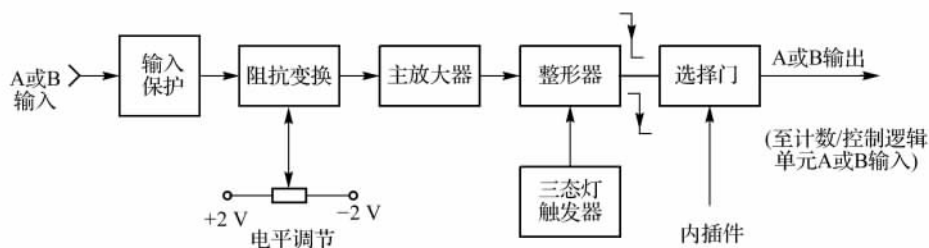
(2)复原键。每按一次,产生一次人工复原信号。

(3)功能选择模块。由一个三位拨动开关和五个按键开关所组成,当拨动开关处于右边位置时,整机执行自诊功能,显示 10 MHz 时钟频率,位数随闸门时间不同而不同;拨动开关处于左边位置时,将拨动前测得的数据保持显示,一直不变;拨动开关处于上述二位置时,五个按键开关失去作用,当拨动开关处于中间位置时,整机功能由五个按键开关的位置决定,五个按键开关完成六种功能的选择,频率键按下时,仪器执行频率测量功能,周期键按下,仪

器进行周期测量；时间键按下，仪器进行时间间隔测量；计数键按下，仪器进行计数测量；插测键按下，仪器进行功能扩展测量，五个按键开关之间为互锁关系，五个键中只能按下其中之一，当五个全部弹出时，仪器进行频率比测量。



(a) 主机逻辑图



(b) 输入通道方框图

图 3-19 E312A 型通用电子计数器原理方框图



图 3-20 E312A 型通用计数器的面板图

(4) 闸门选择模块。由三个按键开关组成,可选择四挡闸门和相应的四种倍乘率。

0.1 s(10^1)键按下时,仪器选通 0.1 s 闸门或 10^1 倍乘;1 s(10^2)键按下,仪器选通 1 s 闸门或 10^2 倍乘;10 s(10^3)键按下,仪器选通 10 s 闸门或 10^3 倍乘;三个键都弹出时,仪器选通 10 ms 闸门或 10^0 倍乘,至于是闸门还是倍乘,应同时结合功能选择而定。频率、自校测量时,选择的为闸门,周期、时间测量时选择倍乘。

(5) 闸门指示。闸门开启,发光二极管亮(红色)。

(6) 晶振指示。绿色发光二极管亮,表示晶体振荡器电源接通。

(7) 显示器。八位七段 LED 显示,小数点自动定位。

(8) 单位指示。单位指示有四种:频率测量用 kHz 或 Hz(Hz 单位供功能扩展插件用);时间测量用 μ s;电压测量用 V(供扩展插件用)。

(9) A 输入插座。频率、周期测量时的被测信号、时间间隔测量时的启动信号以及 A/B 测量时的 A 输入均由此处输入。

(10) B 输入插座。时间间隔测量时的停止信号,A/B 测量时的 B 信号均由此处输入。

(11) 分-合键。按下时为合,B 输入通道断开,A、B 通道相连,被测信号从 A 输入端口;弹出时为分,A、B 为独立的通道。

(12) 输入信号衰减键。弹出时,输入不衰减地进入通道;按下时,输入信号衰减为十分之一后进入通道。

(13) 斜率选择键。斜率选择键选择输入波形的上升或下降沿。按下时,选择下降沿;弹出时,选择上升沿。

(14) 触发电平调节器。触发电平调节器由带开关的推拉电位器组成。通过电位器阻值的调整完成触发电平的调节作用,调节电位器可使触发电平在 $-1.5 \sim +1.5$ V(不衰减)或 $-15 \sim +15$ V(衰减时)之间连续调节,开关推入为 AC 耦合,拉出为 DC 耦合。

(15) 触发电平指示灯。表征触发电平的调节状态,发光二极管均匀闪表示触发电平调节正常,常亮表示触发电平偏高,不亮表示触发电平偏低。(12)、(13)、(14)、(15)的作用对于 A、B 输入通道作用一样。

(16) 内插件位置。当插入功能扩展单元时就能完成插测功能的扩展作用。



四、通用电子计数器的使用

1. 测量前的准备工作

(1)先仔细检查工作电源,确认电压在 $220\text{ V} \pm 10\%$ 范围内,方可将电源线插头插入本机后面板上电源插座内。

(2)检查后面板“内接、外接”选择开关位置是否正确,当采用机内晶振时,应处于“内接”位置。

(3)仪器预热 3 min 能正常工作,预热 2 h 能达到技术指标规定的稳定度。

2. 自校检查

使用 E312A 型通用计数器进行测量之前,可对仪器进行“自校”挡测量以判断仪器工作的正常与否。

板的三位拨动开关拨至“自校”位置,选择闸门选择模块的不同闸门,时标信号为 10 MHz,显示的测量结果应符合表 3-1 所示的自校读数。

表 3-1 E312A 型通用电子计数器自校读数

时标信号	闸门时间			
	10 ms	0.1 s	1 s	10 s
10 MHz	10 000.0	10 000.00	10 000.000	· 0 000.000 0

注:最低位上允许偶尔出现±1;单位全部为 kHz;表中最后一个显示读数最高位左上角的圆点为溢出指示,表示测量结果由于显示位数的限制而产生了溢出。

3. 频率测量

板的功能选择模块中的三位拨动开关置中间位置,意味着下面方块中的五种功能选择起作用,继而按下频率键,表示仪器已进入频率测量功能。闸门模块中的四挡闸门的选择通常可根据被测频率的数值而定,频率高时可选择取样率较高的短闸门时间,频率低时一般选长的闸门时间。

通道部分的分-合键弹出,由 A 输入端送入适当幅度(当输入幅度大时,可通过输入信号衰减按键予以衰减)的被测信号。若被测信号为正弦波,则送入后即可正常显示,若被测信号是脉冲波、三角波、锯齿波,则需将触发电平调节器拉出,调节触发电平,此时即可正常显示被测信号的频率。

4. 周期测量

板的功能选择模块中的三位拨动开关置中间位置,按下周期键,此时闸门选择模块的按键为倍乘率的选择,可根据被测周期的长短来选择倍乘率,被测周期短时,可选择适当倍乘以提高测量精度,被测周期较长可选择 10^0 键直接进行测量,这时若倍乘率选得太大就会等待很长时间,才能显示测量结果或超出测量正常范围,以致误认为机器工作不正常。由于本仪器输入灵敏度较高,当被测信号的信噪比较低时,一般应在输入端加接低通滤波器和适当选择倍乘率来提高测量的准确性。

被测周期信号从 A 输入端输入,分-合键弹出,选择“分”的工作状态,当被测周期信号为正弦波,幅度 $< 0.3\text{ V}$,脉冲波幅度 $< 1V_{p-p}$ 时,将衰减键弹出,被测信号不经衰减直接进入 A



通道。当被测信号幅度超出上述范围时,衰减键按下,被测信号衰减为 $1/10$ 后进入A通道。当被测信号为 ≥ 1 Hz的正弦波时,可直接显示测量结果。当被测信号为脉冲波、三角波、锯齿波或低于1 Hz的正弦波时,应将触发电平调节器拉出,进行电平调节。电位器旋钮上的红点标志一般应选择指示在触发灯闪跳区间的中心位置为宜。

5. 脉冲时间间隔测量

板功能选择模块中的三位拨动开关置中间位置,按下时间键,此时闸门选择模块的按键为取样次数的选择,可根据被测时间间隔的长短来选择取样次数,间隔较长时,应选择较小的取样次数或选择 10^0 键,直接测量时间间隔,这时如取样次数太大,同样会等待很长时间才能显示,或者超出正常测量范围。

触发电平调节推拉电位器在本测量功能时始终可调,在适当幅度的作用下(单线时共用A路衰减器,双线时使用各自衰减器),调节电位器,使得触发电平指示灯闪跳,电位器旋钮上的红点标志一般应选择指示在触发灯闪跳区间的中心位置为宜。

当整机用于单线输入时分-合键置于“合”的位置,信号由A通道输入,两路斜率选择相同时可测量被测信号的周期,使用方法与周期测量相同,还可通过斜率选择开关选择上升沿或下降沿,从而测出被测信号的脉冲持续时间和休止时间。

当整机用于双线输入时,启动信号由A输入端输入,停止信号由B输入端输入,分-合键置于分位置。此时动态范围为 $0.1\sim 3V_{pp}$ 。

6. 频率比测量

板的功能选择模块中的三位拨动开关置中间位置,功能选择按键全部弹出,此时闸门选择模块的按键用来选择倍乘率。

分-合键置分,A路斜率选择键置“ Γ ”的位置,两路被测信号分别由A、B输入端输入。此时A通道频率范围为 $1\text{ Hz}\sim 10\text{ MHz}$;而B通道则为 $1\text{ Hz}\sim 2.5\text{ MHz}$ 。动态范围均为:正弦波 $30\text{ mV}\sim 1\text{ V}$,脉冲波 $0.1\sim 3V_{pp}$ 。

7. 计数

板的功能选择模块中的三位拨动开关置中间位置,按下计数键,分-合键置分位置,衰减器位置和触发电平调节器的位置均与频率测量时相同,信号由A输入端输入后即可正常累计。计数过程中,若观察瞬间测量结果,可将三位拨动开关置保持位置,显示即为被测量,若重新开始计数,只需按一次复原键就可。

8. 插测

E312A直接测频的范围不宽,最高测量频率为 10 MHz 。当需要测量更高的频率时,要使用配套件中的内插件,对被测信号预定标(分频),以扩展测频范围。

板的功能选择模块中的三位拨动开关置中间位置,按下插测键,此时输入信号由内插件的输入插孔输入,根据不同的内插件,配合选择功能选择模块和闸门选择模块的各个按键,即可测量 10 MHz 以上频率,并予以显示频率值。



问题与思考

问题 1 电子计数器的主要功能和性能指标有哪些？

思考并回答：.....

问题 2 如何正确使用 E312A 型通用电子计数器测量周期、频率等参数？

思考并回答：.....

课堂体验

使用通用电子计数器进行时间与频率的测量。

(1) 函数信号发生器的输出端与通用计数器的输入端相连,调节函数信号发生器,分别使其输出信号频率如下表所示,使用通用计数器测出相应的频率,将结果填入表 3-2 中,并回答问题。

表 3-2 计数器测频率

函数信号 发生器的输出	闸门时间			
	100 ms	10 ms	1 s	10 s
100 Hz				
500 Hz				
1 kHz				
5 kHz				
10 kHz				
500 kHz				
1 MHz				
5 MHz				
10 MHz				
15 MHz				
20 MHz				
25 MHz				

①以 10 kHz 的信号为例,当闸门时间分别为 10 ms、100 ms、1 s、10 s 时,分别计算其量化误差的大小。



②根据计算结果,当被测信号的频率一定时,主门开启时间越长还是越短时量化的相对误差越小?同样的频率,选取的闸门时间越长,测量的量化误差越小吗?表中的测量结果支持这个结论吗?

(2)调节函数信号发生器,分别使其输出信号频率如表 3-3 所示,使用通用计数器测出相应的周期,将结果填入表 3-3 中,并回答问题。

表 3-3 计数器测周期

函数信号 发生器的输出	闸门时间			
	100 ms	10 ms	1 s	10 s
100 Hz				
500 Hz				
1 kHz				
5 kHz				
10 kHz				
500 kHz				
1 MHz				
5 MHz				
10 MHz				
15 MHz				
20 MHz				
25 MHz				

①比较以上两表的测量结果,频率分别为 100 Hz、500 Hz、1 kHz、5 kHz、10 kHz 信号的测频和测周的结果,这些低频信号更适合于测频还是测周呢?为什么?

②比较以上两表的测量结果,频率分别为 1 MHz、5 MHz、10 MHz、20 MHz、25 MHz 的信号的测频和测周的结果,这些高频信号更适合于测频还是测周?

模块小结

本模块主要介绍了时间与频率测量方法、电子计数器的组成、通用电子计数器的功能、测量原理和测量误差。

频率测量方法包括无源测频法、有源比较测频法、示波器法和计数法等。无源测频法包括谐振法和电桥法两种,有源比较测频法包括拍频法和差频法。

电子计数器分为通用电子计数器、频率计数器(即数字计数器)、计算计数器和特种计数器。通用电子计数器主要由输入通道、十进制计数显示器、标准时间产生电路和逻辑控制电路等部分组成。它的测量原理是闸门开启时间等于计数脉冲周期与计数脉冲计数值之积。



通用电子计数器具有测量频率、频率比、周期、时间间隔、累加计数以及自检等功能。

在通用电子计数器计数的基础上,通过外差降频变换法、预定标法等可以扩展计数器的测频范围,该计数器习惯上称为数字频率计。

以 E312A 型通用计数器为例,介绍其技术指标、面板装置以及使用步骤。

模块检测

1. 测量频率的方法主要有哪几种?
2. 电子计数器主要由哪几部分组成?
3. 通用电子计数器的功能有哪些?
4. 电子计数器在测量周期时,为减少被测信号受到干扰造成的转换误差,应采用什么方法?
5. 通用电子计数器如何测量时间间隔?
6. 如何减小电子计数器的量化误差对测频的影响?
7. 欲测量一个标称频率 $f_0 = 1 \text{ MHz}$ 的石英振荡器,要求测量准确度优于 $\pm 1 \times 10^{-6}$,选用的计数器标准频率准确度和闸门时间应为多少?
8. 若 f_x 表示频率实际值, f_0 表示频率标称值,求频率准确度。
9. 用一台 5 位十进制电子计数器测量频率,选用 0.1 s 的闸门时间。若被测量的频率为 10 kHz,则量化误差(相对误差值)是多少?
10. 欲用电子计数器测量一个 $f_x = 200 \text{ Hz}$ 的信号频率,采用测频(选闸门时间为 1 s)和测周(选时标为 0.1 μs)两种方法。试比较这两种方法由 ± 1 误差所引起的测量误差。