

常 用 电 子 仪 器 丛 书

数 字 频 率 计

周浩明 吴静凡 彭国友 编

水利电力出版社

常用电子仪器丛书

数字频率计

周浩明 吴静凡 彭国友 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5.625印张 123千字 4插页

1989年12月第一版 1989年12月北京第一次印刷

印数0001—2820册

ISBN 7 120-00891 9/TN·15

定价4.40元

目 录

前 言

第一章	数字频率计的基本原理	1
第一节	702-1型数字毫秒计基本原理	1
第二节	E312数字频率计的基本原理	6
第三节	PP17数字频率计的基本原理	19
第二章	数字频率计的基本电路	47
第一节	702-1基本电路	47
第二节	E312基本电路	66
第三节	PP17基本电路	86
第三章	仪器的使用	106
第一节	702-1的使用	106
第二节	E312的使用	112
第三节	PP17的使用	117
第四章	数字频率计的修理	121
第一节	702-1的修理	121
第二节	E312的修理	125
第三节	PP17的修理	136
第五章	仪器的校验	145
第一节	702-1的校验	145
第二节	E312的校验	157
第三节	PP17的校验	163
参考资料		172

第一章 数字频率计的基本原理

第一节 702-1型数字毫秒计基本原理

一、总机工作原理

702-1型毫秒计是利用信号的测宽及其时间间隔测量原理,对接点、无接点装置动作时间及其时间间隔进行测试的一种数字式仪器。它由10kHz(周期为0.1ms)的时基脉冲发生器、被测信号处理电路、对计数器实行门控的主控与非门YF、对时间量显示的计数器、译码显示器、以及电源等部分组成,见图1-1。

总机工作原理可从图1-2(a)加以说明。被测时间量信号(t_x)经处理电路形成矩形脉冲,开闭主控与非门,而时基脉冲发生器输出的时基脉冲,由其控制进入主控与非门,在计数器中进行计数。设进入计数器的时基脉冲数为 N ,时基脉冲信号周期为 t_0 ,被测信号时间量为 t_x ,三者之间的关系为

$$t_x = N t_0 \quad (1-1)$$

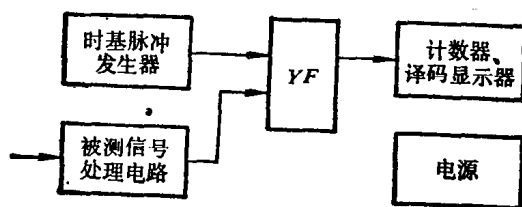
$$t_0 = 1/f_0 = 0.1(\text{ms})$$

式(1-1)则为

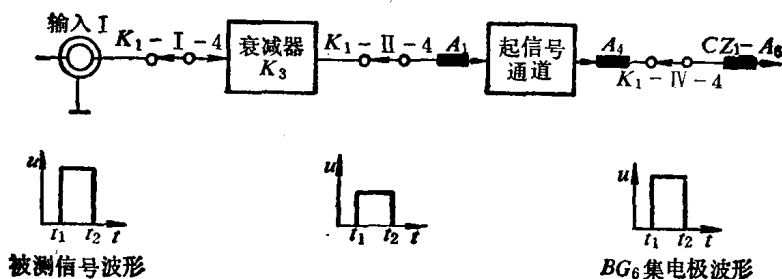
$$t_x = 0.1N(\text{ms}) \quad (1-2)$$

式中 t_0 为常数, t_x 正比 N ,借助显示电路中计数小数点灯泡指示,可将 N 显示转为 t_x 显示。例如: $N=10$,显示 t_x 为1ms; $N=100$,显示 t_x 为10ms。

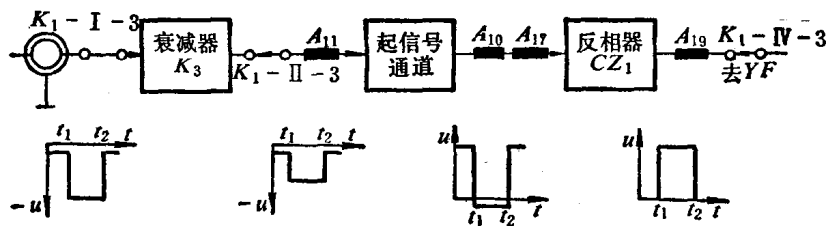
本仪器有开门(起)与关门(止)两个通道,可进行单路与双路测量,其测试范围为:①正极性正脉冲宽度;②负



(a)



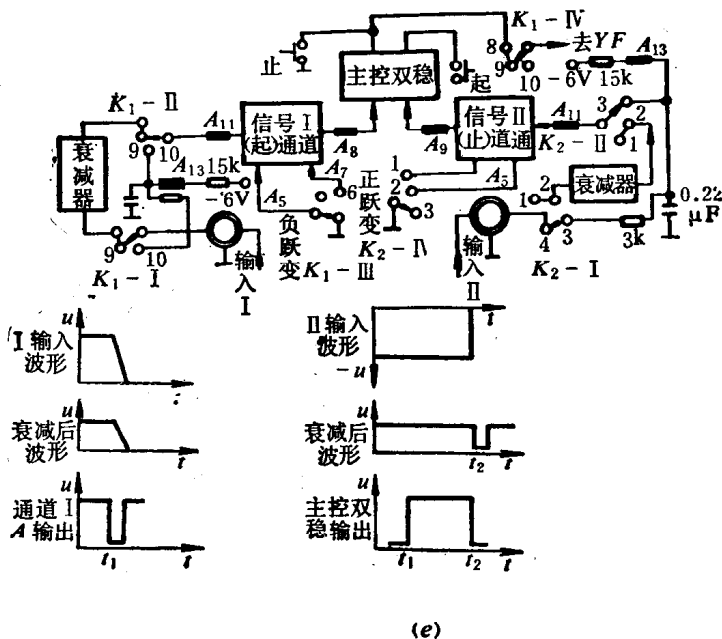
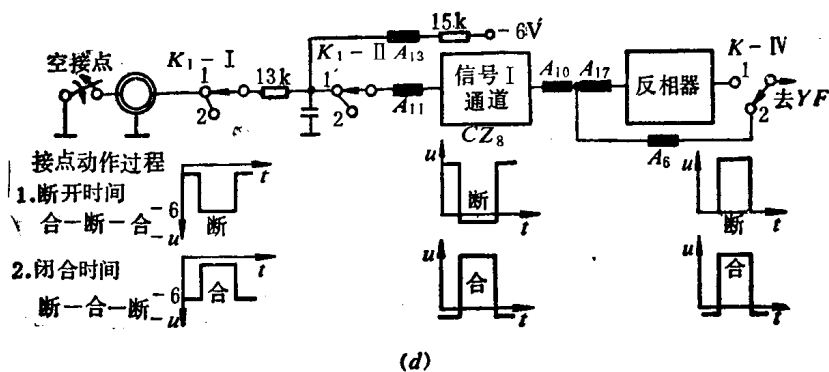
(b)



(c)

图 1-2 仪器工

(a)总机工作原理框图；(b)正脉冲测宽框图；(c)负脉冲测宽框图；



作原理框图

(d) 空接点断开闭合时间测试框图; (e) 双路时间间隔测试举例

极性负脉冲宽度；③单路空接点断开时间；④单路空接点闭合时间；⑤双路脉冲时间间隔。

根据脉冲宽度测量原理，1~4单路测试，只需要一个通道。其原理如图1-2(b)~1-2(d)所示。信号均从起信号通道输入被整形为矩形脉冲(t_x)，去开闭主控与非门YF，控制时基脉冲信号通过与非门YF进入计数器的脉冲个数N，于是

$$t_x = 0.1N(\text{ms})$$

这里要说明的是：①主控与非门YF是由正矩形脉冲信号(t_x)开闭的，所以对负脉冲宽度和空接点断开时间测试时，其负的矩形脉冲尚需经反相器后方可作为主控与非门的门控信号；②空接点被测信号是由机内-6V电源，通过15k Ω 电阻分压获得的，在进行此项测量时，不必外接转换设备。

双路测试，则是应用脉冲时间间隔测量原理，被测信号分别送入起通道和止通道去触发主控双稳电路，将被测时间间隔信号(t_x)整形成正矩形脉冲信号，于是 t_x 控制计数脉冲数N， t_x 为0.1N。其测试原理如图1-2(e)所示，通过波段开关切换，有九种电路组合，可进行九种双路测试。图中波段开关置于负跃变—空接点测量档。负跃变自通道I输入，空接点信号自II输入，在主控双稳电路输出端获得正矩形脉冲，被测的时间间隔($t_2 - t_1$)为正矩形脉冲宽度 t_x ，则

$$t_x = t_2 - t_1 = 0.1N$$

其它组合可照此类推。

二、精度分析

将公式(1-1)两边取自然对数，得

$$\ln t_x = \ln N + \ln t_0$$

再将对数等式两边取全微分，则得

$$\frac{dt_x}{t_x} = \frac{dN}{N} + \frac{dt_0}{t_0} \quad (1-3)$$

式中 $\frac{dt_x}{t_x}$ ——时间测量相对误差；

$\frac{dN}{N}$ ——计数的相对误差；

$\frac{dt_0}{t_0}$ ——时基的相对误差。

由于时间测量，欲将被测信号转换为矩形波，当通道触发电平因温度影响产生漂移时，引起开门与关门时间误差，此称为转换误差。当等效噪声的信噪比为40dB时，转换误差约为 $\pm 0.3\%$ 。若被测的输入信号是脉冲波，其前沿又很陡时，转换误差可以不计；若被测的输入信号是慢变化信号，转换误差则要计入。

$\frac{dt_0}{t_0}$ 为时基相对误差，主要由晶体振荡器频率稳定度决定。在晶体不附加恒温装置时，稳定度可达到 10^{-5} ； $\frac{dN}{N}$ 为计数相对误差，其中 dN 是 ± 1 个字误差，又称量子化误差，它是固有的误差。由于闸门打开与输入脉冲不同步，在闸门时间内计数脉冲就会有 ± 1 个字的误差。它对不同时标有着不同的含义。若 t_0 为0.1ms， ± 1 个字误差即为 ± 0.1 ms误差。因此，要提高计数精度就得将 t_0 减小。

误差的习惯表示式为

$$\gamma = \pm \text{转换误差} \pm \text{晶体振荡频率稳定度} \pm 1 \text{ 个字误差} \quad (1-4)$$

第二节 E312数字频率计的基本原理

一、主要工作原理

(一) 测频原理

频率的定义是：在单位时间内周期性现象重复的次数。因此，如在 T 时间内周期性现象重复了 N 次，则频率 $f = N/T$ 。从这一定义出发来测量频率，就是在单位时间内（如 $1s$ ）数出被测信号的重复次数。

那么在E312电子计数器中怎样实现对频率的测量呢？图1-3是它的简化工作框图。

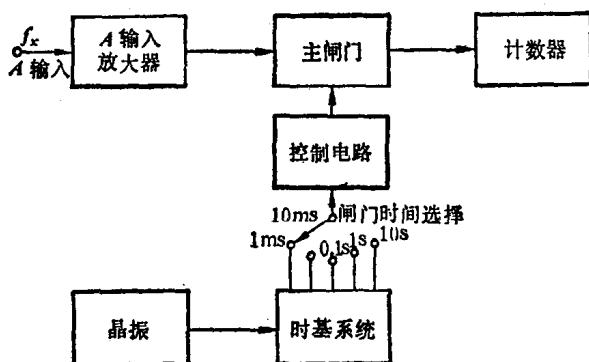


图 1-3 E312电子计数器的简化工作框图

被测频率为 f_x 的输入信号经放大、整形后送至主闸门。在主闸门开启时间内， f_x 信号通过主闸门进入计数器计数。主闸门开启时间称为闸门时间 T_0 。若 $T_0 = 1s$ ，计数器计得结果为 N ，则 $f_x = N/1s$ 。这样，进入计数器的脉冲个数就代表了被测信号的频率值。

主闸门的开闭是受一个脉宽非常标准的门控信号来控制的，而这个标准的门控信号又是由闸门时间信号触发主控双稳产生的。闸门时间分为多档，按测量需要转换。对于一个被测频率 f_x 来说， T_0 越长，所计得的 N 值就越大，也就是说计数器所需显示的位数就越多。当 $T_0=1s$ ，显示的最低位数用Hz表示；当 $T_0=1ms$ ，最低位就用kHz表示。因此，随闸门时间的不同，计数器中的小数点及单位显示也随之相应变化，以保证直接读出被测频率值。

(二) 周期测量原理

周期定义为：周期性现象重复一个循环的时间。它是频率的倒数，即

$$T=1/f$$

在周期测量中，把频率测量框图中的 f_x 改为已知的时标 f_0 ，把标准闸门时间改为被测周期 T_x ，就成为周期测量工作框图，如图1-4所示。

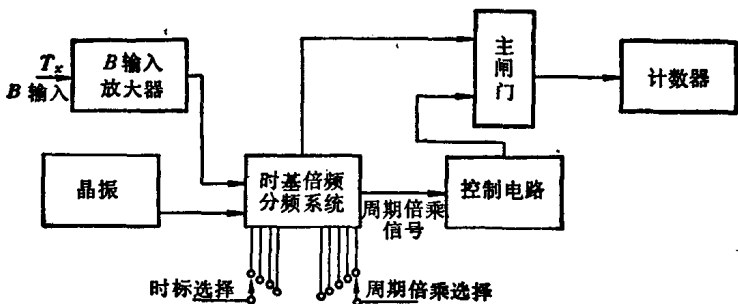


图 1-4 周期测量简化工作框图

周期为 T_x 的被测信号经放大、整形为一定形状的脉冲信号送到控制电路，使控制电路产生一个相应的门控信号去控

制主闸门的开闭。在主闸门开启后，标准时标信号 f_0 经过主闸门进入计数器计数；也就是在周期 T_x 内对 f_0 进行计数，若计得结果为 N ，时标信号 f_0 的周期为 t_0 ，则被测信号的周期为

$$T_x = Nt_0 \quad (1-5)$$

可见，被测周期 T_x 正比于计数结果 N 。

在周期测量中，为提高测量精度，还采用多周期测量的方法。其测量原理是相同的，只是将 T_x 放大整形后再分频 k 倍，故门控信号的周期变为 kT_x ，即把 T_x 展宽了 k 倍，主闸门的开启时间就扩展了 k 倍。于是被测信号周期 T_x 变为

$$T_x = Nt_0/k \quad (1-6)$$

当采用多周期测量时，精度较周期测量提高 k 倍。

(三) 时间间隔测量原理

时间间隔测量是指两路信号（正弦波或脉冲）测量点之间的间隔。如图1-5(a) A路信号A点和B路信号B点之间的间隔。如图1-5(b) A路信号A点和B路信号B点之间的间隔。

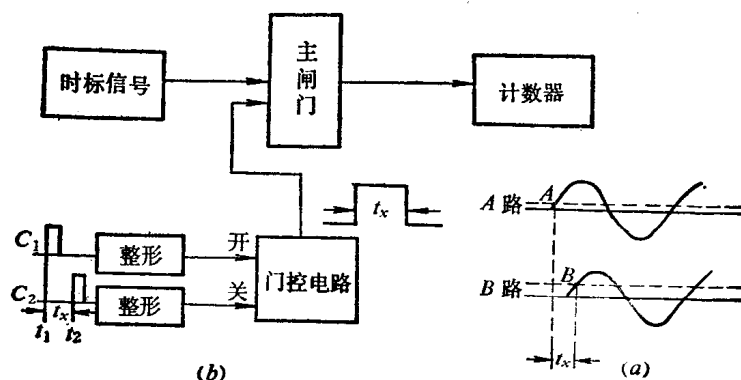


图 1-5 时间间隔测量简化工作框图
(a) A路和B路信号波形图；(b) 时间间隔测量框图

隔 t_x 。图1-5(b)是时间间隔测量的框图。

由 C_1 通道输入 A 路信号，经整形放大后去打开主闸门；由 C_2 通道输入 B 路信号，经整形后去关闭主闸门。

在开门时间 $t_x(t_x = t_2 - t_1)$ 内对标准时标信号进行计数，由于 t_0 是已知时标 f_0 的周期，因此，计数器所计的结果 N 表示在 t_1 至 t_2 之间的时间间隔内具有周期为 t_0 的个数，即时间间隔为

$$t_x = Nt_0 \quad (1-7)$$

利用同样的原理可测量脉冲宽度和空度。

(四) 频率比测量原理

图1-6是测频率比的原理方框图。

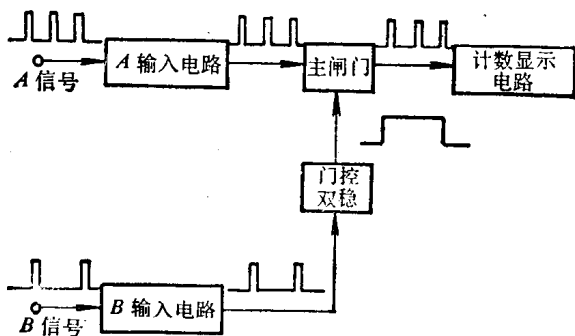


图 1-6 测频率比的原理方框图

从 A 输入电路输入 f_A 信号，从 B 输入电路输入 f_B 信号。 f_A 信号经放大整形后送到主闸门作为计数脉冲； f_B 信号经放大整形后再进行分频，然后送到控制电路，作为门控脉冲触发控制电路发出门控信号去打开主闸门。主闸门打开期间， f_A 进入计数器计数，计得结果 N 就代表了这两个信号频率之比，即

$$N = f_A / f_s \quad (1-8)$$

(五) 累计计数

累计计数原理方框图，见图1-7。

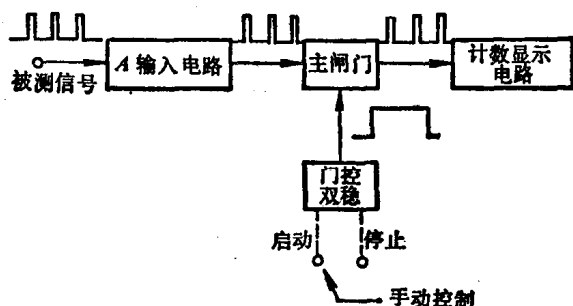


图 1-7 累计计数原理方框图

起动信号（手动）将主闸门打开，由A输入电路不断输入计数脉冲，计数器不断累计，只有当停止脉冲加入后，主闸门关闭。计数结果N就代表了累计的脉冲个数。

(六) 自校

自校是电子计数器对机内时标信号进行测量的一种功能，由于自校时的时标信号、闸门时间都是本机时基单元产生的，因此，通过对自校功能的检查可分析判断电子计数器的故障。

自校原理框图如图1-8所示。

二、主要组成部分

为完成上述各种测量，E312电子计数器的主要组成部分如图1-9所示。这里先简单说明各部分的作用。

(一) 输入通道部分

这部分包括A、B和C三个输入单元。A通道是常用的

主要通道；B、C通道只在周期测量、时间间隔测量和频率比测量时才使用。

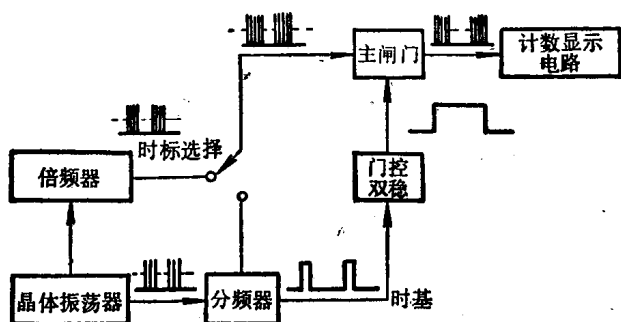


图 1-8 自校原理框图

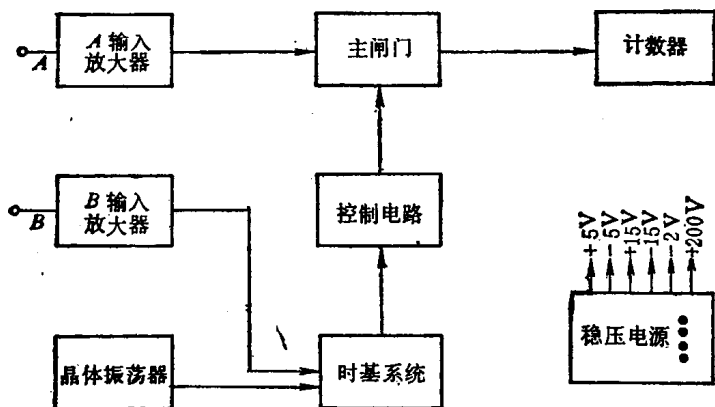


图 1-9 E312电子计数器主要组成部分框图

我们知道，电子计数器可测量正弦波、方波、窄脉冲的参数，但是这些信号是不能直接进入计数器的，必须将被测信号经阻抗变换、放大、整形为幅度相同的脉冲后方能进入计数器，这些处理工作就由输入通道来完成。整机的许多技

术指标，如频率测量范围、灵敏度、输入阻抗、抗干扰性能等都与输入通道有关。E312电子计数器A输入通道的主要技术指标如下：

频率范围：10Hz~10MHz；

输入波形：正弦波、方波、窄脉冲；

灵敏度：100MV有效值；

输入阻抗： $R \geq 1M\Omega$ ， $C \leq 25pF$ 。

输入通道是由限幅电路、阻抗变换电路、放大电路、整形电路等组成。

（二）时基部分

时基部分就是时间基准系统，它是一系列标准信号的来源，无论进行哪种测量都需要使用这些标准时间信号。它的特点是：

1. 高准确度与稳定性

作为一个时间基准，它的准确度和稳定度是很高的，否则就会影响测量精度。E312电子计数器的日频率准确率为 $\pm 1 \times 10^{-6}$ ，频率稳定度为 $1 \times 10^{-7}/\text{日}$ （预热1h后）。为了达到上述精度，采用了高稳定度的石英晶体振荡器，并由此经倍频、分频而得到一系列的标准时间信号。

2. 多值性

共有九种标准时间信号：

0.1 μs 、1 μs 、10 μs 、0.1ms、1ms、10ms、0.1s、1s、10s。

相互间成十倍关系。

其中：0.1 μs ~1ms 称为时标信号；

1ms~10s 称为闸门信号。

时基部分是由晶体振荡器电路、倍频电路、分频电路、

时基选择电路等组成。

(三) 控制部分

控制部分统一指挥各部分工作，驱使各电路按一定的工作程序来完成各种不同的测量。

控制电路在闸门时间信号作用下产生前后沿陡峭的门控方波，主闸门在门控方波作用下准确地开启一段时间。在这样一定时间内，输入信号经过主闸门到计数器进行计数。一次计数完毕，控制电路产生一控制信号，驱动显示电路将结果由数码管显示出来，并根据需要将计数结果保持一段时间。显示结束后，由控制电路产生复原信号，使计数器所有电路在下次测量之前全部复零，准备进行第二次测量。由此可见，整机工作过程是由控制部分按适当的时间关系，依照测量——显示——复原的工作过程驱动各部分电路自动完成的。

控制部分除产生门控信号和复原信号外，还产生记忆指令和点亮闸门指示灯的指令。

(四) 计数部分

计数部分由计数电路、记忆电路、译码显示电路组成。

计数电路是将来自主闸门的脉冲进行计数。计得的结果经译码电路译码后变成 0 ~ 9 十个数字的控制电位，去点燃数码管相应灯丝，显示出计数结果。E312 电子计数器有七位数字显示，每一位都有一个独立的计数、译码电路。各电路之间除计数器串接运用外都各自独立工作。

三、测量误差分析

电子计数器是一种高精度的测量仪器，但是仍然存在测量误差。在不同的测量功能时其测量误差是不同的，即便是同一测量功能，在不同条件下其测量误差也不相同。下面我

们来分析不同功能时的测量误差。

(一) 误差的概念

测量误差分为两种：绝对误差与相对误差。

1. 绝对误差

用 N_x 来表示被测量的实际值(真值)，以 N 表示仪器的测量结果，则测量的绝对误差可以用 ΔN 表示为

$$\Delta N = N - N_x \quad (1-9)$$

2. 相对误差

相对误差定义是：绝对误差 ΔN 与实际值 N_x 之比，常用百分比来表示。如用 r 表示相对误差，则

$$r = \Delta N / N_x \times 100\% \quad (1-10)$$

显然， r 值越小，测量的相对准确度越高。

(二) 频率测量误差

由于测频时， $f_x = N/T$ ，所以测频误差不外乎两个方面：

开门时间 T 是否准确、稳定——门时基误差。

通过主闸门后的计数值 N 是否代表被测量的实际值——计数误差。

下面来具体分析这两种误差。

1. 门时基误差

主闸门的启闭是受门控信号控制的，而门控信号是由闸门时间信号触发产生的。如果闸门时间不准确，那么闸门开启时间就不准，通过主闸门进入计数器的脉冲数不是多了就是少了，造成测量误差。如闸门时间不准确，原本应为1s，但现在只有0.999999s时来测量100000Hz信号，则只有99999个脉冲进入计数器，而第100000个脉冲被关闭，因而测得结果为99999Hz；相反，若秒信号稍长为1.00001s，则读数为