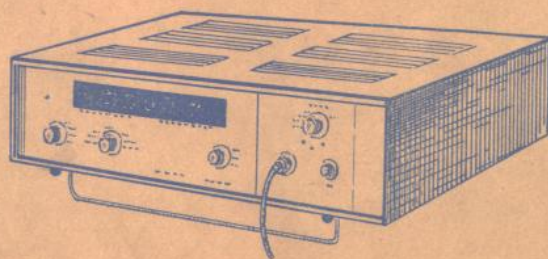


数字仪表

哈尔滨电工仪表研究所
哈尔滨工业大学电测基础教研室 编



机械工业出版社

数 字 仪 表

哈 尔 滨 电 工 仪 表 研 究 所 编
哈 尔 滨 工 业 大 学 电 测 基 础 教 研 室



机 械 工 业 出 版 社

本书共十一章，分别对电子计数器、数字电压表、数字相位表、数字仪表插件和数字仪表的检定方法作了较细致的介绍。内容由浅入深，有基本概念，有理论分析，并重点对五种型式的数字电压表结合具体实例作了较为详尽的说明。

本书可供从事电磁测量、自动控制、工业自动化、计量和计算技术等方面工作的技术人员、工人以及高等院校有关专业的师生参考。

数 字 仪 表

哈尔滨电工仪表研究所 编
哈尔滨工业大学电测基础教研室

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{1}{2}$ · 插页 2 · 字数 518 千字

1980年 1 月北京第一版·1980年 1 月北京第一次印刷

印数 00,001—22,000 · 定价 1.70 元

*

统一书号: 15033 · 4570

123/38

前 言

数字仪表是一种新型的电测仪表，由于它具有一系列优点，已获得了日益广泛的应用。

为了有助于广大从事电气测量及仪表工作的科技人员、工人对数字仪表的了解，我们编写了此书，供大家参考。

本书内容由浅入深，既有基本概念，又有理论分析，有的还结合具体实例进行了详细的说明。对于数字仪表中最主要的品种，即各种类型的直流数字电压表，用了五章篇幅进行了较详细的介绍，对国外几种技术指标较高的数字电压表，本着“洋为中用”的精神也专列了一章，以供借鉴。

数字安装式电表、数字万用表、数字功率表等几种数字仪表，基本上都是在电子计数器和数字电压表的基础上构成的，限于篇幅，本书没予介绍。

本书是在《电测与仪表》杂志连续发表的“数字仪表讲座”的基础上，经过修改、充实、整理而成的。参加本书编写的还有中国计量科学研究院的同志。在编写过程中也得到了很多有关单位和同志的大力支持和协助，在此一并致以谢意。

由于我们水平所限，书中难免有错误和不妥之处，请同志们批评指正。

编 者

目 录

前言	1
绪论	1
数字仪表及其特点	1
数字仪表的分类和技术指标	2
数字仪表的发展和现状	3
第一章 电子计数器	5
第一节 电子计数器的一般问题	5
第二节 构成电子计数器的部件	12
第三节 整机逻辑与功能	39
第二章 时间编码数字电压表	44
第一节 工作原理、特性和分类	44
第二节 时间编码数字仪表线路分析	45
第三章 电压-频率 ($V-F$) 变换式积分型数字电压表	60
第一节 工作原理及其特点	60
第二节 JSY型数字电压表及其环节介绍	65
第四章 电压反馈型 $V-F$ 变换式数字电压表	73
第一节 电压反馈型 $V-F$ 变换式电压表的工作原理及其特点	73
第二节 模数变换部分电路介绍	80
第三节 频率计数器工作原理介绍	100
第五章 逐位比较反馈编码数字电压表	119
第一节 逐位比较反馈编码数字电压表的工作原理结构和特点	119
第二节 逐位比较反馈编码电压表的编码过程及主要环节	120
第三节 逐位比较反馈编码数字电压表实例	133
第六章 双斜式积分型数字电压表	152
第一节 双斜式电压表的工作原理及特点	152
第二节 双斜式电压表的线路	154
第七章 数字式相位表	178
第一节 测量相位的意义和方法	178
第二节 数字相位表的工作原理	180
第三节 平均值相位表各环节的分析	183
第四节 数字相位表的误差分析	189
第八章 脉冲调宽式数字电压表	196
第一节 脉冲调宽原理分析	196
第二节 脉冲调宽式电压表的误差分析	207
第三节 主要单元的功能及电路构成	233
第四节 脉冲调宽式数字电压表整机逻辑和指标	256

34934

第九章 介绍几种高精度数字电压表	258
第一节 三次采样积分式数字电压表	258
第二节 利用感应分压器反馈-积分式数字电压表	280
第三节 再循环剩余型数字电压表	284
第十章 数字电压表插件及其应用	289
第一节 输入放大器插件	289
第二节 前置放大器插件	293
第三节 电阻-直流电压变换器 (Ω -DC变换器) 插件	297
第四节 交流-直流 (AC-DC) 变换器插件	303
第十一章 数字电压表的检定方法	308
第一节 影响仪表准确度的因素	308
第二节 直流数字电压表准确度和稳定性的检定方法	313
第三节 数字电压表一些特性的测试	319
第四节 交流数字电压表主要技术条件的检定方法	323

绪 论

随着生产和科学技术的不断发展,对测量技术也提出了新的要求,其中最突出的是自动化测量。数字仪表就是适应这种要求而发展起来的。

由于半导体技术的飞速发展,给测量技术自动化创造了有利条件,人们把电子技术、计算技术运用于电测仪表,从而创造出了在结构、原理上完全不同于原来电工仪表的数字仪表。由于数字仪表具有一系列优点,可以预见,在工农业生产及科研部门中它将获得日益广泛的应用。

数字仪表及其特点

所谓数字仪表,就是能将被测的连续电量自动的变成断续量,然后进行数字编码,并将测量结果以数字显示的电测仪表。

许多物理量是随着时间而连续变化的,这些随时间变化的量叫“模拟量”,数字仪表是以数字显示的,而数字却是一种“断续量”(数字量)。因此必须要有一种把模拟量变换为数字量的变换器,一般称模-数变换器(即 $A-D$ 变换器)。只有通过 $A-D$ 变换器才能实现对模拟量的数字化测量,其过程如图1所示。

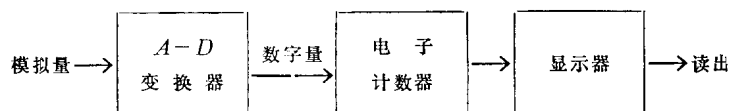


图1 把模拟量变成数字量进行测量的过程

所以,数字仪表也可以简单的理解为 $A-D$ 变换器加电子计数器,其核心为 $A-D$ 变换器。各种类型的数字仪表大致都是由这两部分组成的。表明各种类型数字仪表组成的框图如图2所示。

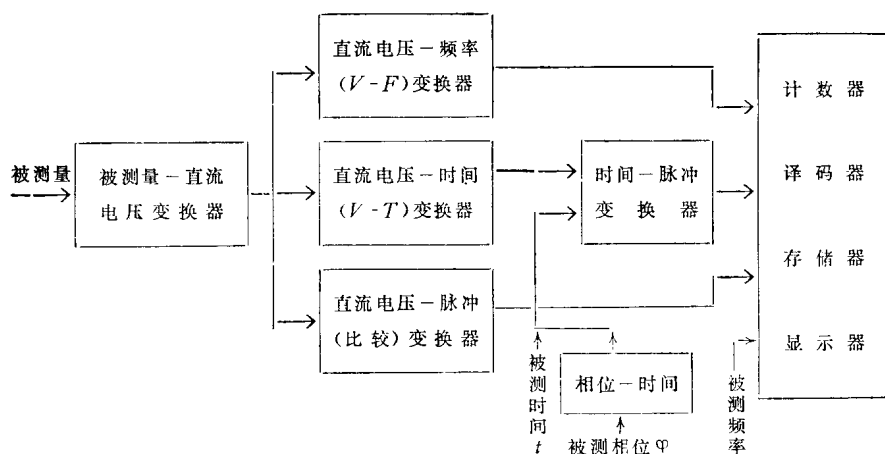


图2 各类型数字仪表的组成框图

相对于其它种类的电测仪表, 数字仪表有如下特点: -

1. 准确度高, 可达 10^{-6} 数量级, 测时间可达 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ 数量级;
 2. 灵敏度高, 对直流电压可达 $0.1 \mu\text{V}$;
 3. 测量速度高, 从每秒几十次到每秒上百万次;
 4. 仪表的量程和被测量的极性可自动转换, 可自动检查故障、报警以及完成指定的逻辑程序;
 5. 可以与电子计算机配合, 给出一定形式的编码输出;
 6. 可在各种恶劣条件下工作, 如高低温潮湿、振动等。
- 数字仪表基本上有对被测量进行测量和进行量的变换两种用途。

数字仪表的分类和技术指标

数字仪表的种类繁多, 因此它的分类方法也很多, 但目前较为普遍采用的是按其所测量的参数和工作原理进行分类, 如表 1 所示。除此以外, 还有下面几种分类方法:

按准确度, 可分为低准确度 ($\pm 0.1\%$ 以下)、中准确度 ($\pm 0.01\%$ 以下) 及高准确度 ($\pm 0.01\%$ 以上) 三种;

按测量速度, 可分为低速 (每秒几次至几秒一次)、中速 (每秒几次到几百次) 和高速 (每秒几百次到几万次) 三种;

按显示位数, 可分为 3 位、4 位、5 位、6 位、7 位等。

随着数字仪表的种类和工作原理的不同, 它们所能达到的技术指标也不相同, 一般数字仪表的技术指标主要有如下几项:

1. 误差

误差是说明仪表示值和被测量实际值之间的差异程度, 误差越小, 准确度越高。数字仪表常用的误差表示方法是 $\pm$ (读数的 $a\% \pm 1$ 个字), 但随着数字仪表准确度的提高, 现在都改用 $\pm$ (读数的 $a\% \pm$ 满量程的 $b\%$), 而且要注明使用温度、保证准确度的时间和使用量限。误差表示式中的系数 a 是由仪表中的内附基准源和测量线路的传递系数不稳定所决定的。数字仪表是一种高准确度的仪表, 有的准确度可达 0.0002% ; 误差表示式中的系数 b 是由放大器的零点漂移、热电势、量子化误差等引起的。

2. 输入阻抗

它一般指仪表在工作状态下, 在仪表两个输入端子间所呈现的等效阻抗。但也要考虑非工作状态下的输入阻抗, 因为对于采用电压串联负反馈提高输入阻抗的仪表, 非工作状态比工作状态时的输入阻抗小。数字仪表是一种高输入阻抗的仪表, 输入阻抗有的可达 $10^{12}\Omega$ 。

3. 分辨力

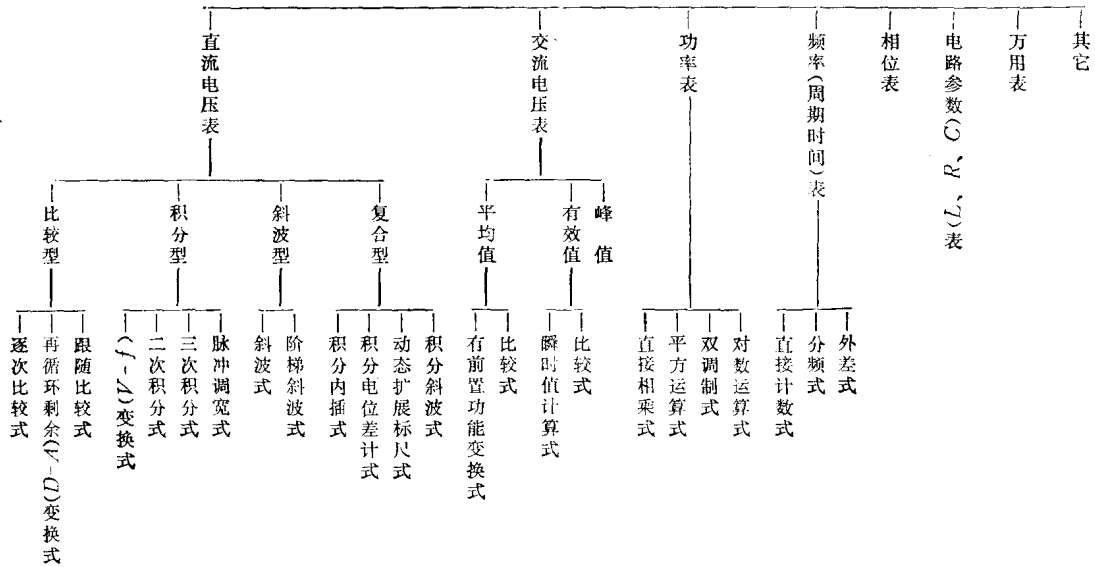
数字仪表的分辨力就是在仪表的最低量程上最末一位改变一个数所表示的量。以七位数字仪表为例, 在最低量程满度值为 1V 时, 它的分辨力则为 $0.1 \mu\text{V}$ 。数字仪表能稳定显示的位数越多, 则分辨力越高, 目前数字电压表的分辨力可达 $0.1 \mu\text{V}$ 。

4. 干扰抑制系数

数字仪表的干扰抑制系数也称干扰抑制比, 它表示数字仪表的抗干扰能力。

干扰总的可分为串模干扰和共模干扰两种, 对串模干扰的抑制能力用串模抑制比 (SMR)

表1 数字仪表分类表



表示:

$$SMR = 20 \lg U_{\sim p} / \gamma$$

式中 $U_{\sim p}$ ——串模干扰电压的峰值;

γ —— $U_{\sim p}$ 所造成的最大显示误差。

对共模干扰的抑制能力用共模抑制比 (CMR) 表示:

$$CMR = 20 \lg V_{cm} / V'_{cm}$$

式中 V_{cm} ——共模干扰电压;

V'_{cm} —— V_{cm} 引起的串模干扰电压。

SMR 和 CMR 以分贝为单位, 数值越大, 表明数字仪表的抗干扰能力越强, 一般直流数字电压表的串模抑制比为 20~60db; 共模抑制比为 120~160db。

除了上面几个指标外, 还有其它一些指标: 如稳定性、线性度、测量速度、量程和重量等。

数字仪表的发展和现状

数字仪表从出现到现在, 虽然才二十几年的时间, 但发展很快, 从图 3 可大致看出它的发展情况。

随着电子技术和仪表元件的飞速发展, 数字仪表也得到了迅速的发展和提高。就原理来讲, 从原来的一两种已发展到十几种, 仪表的功能也在不断增加, 从一只表只能测一种参数发展到一只表能测十几种参数; 数字仪表所用元件也从最早的机电式元件, 经过电子管、晶体管分立元件, 发展到集成电路和大规模集成电路, 价格也随之大为下降, 准确度从 10^{-3} 数量级提高到 10^{-6} 数量级, 测量的自动化程度也不断提高, 应用范围也从实验室作为标准发展到大量应用于控制生产过程的自动化装置中。

近几年来, 出现了能进行测量结果的存储、误差计算和其它一些逻辑功能的内部附有微

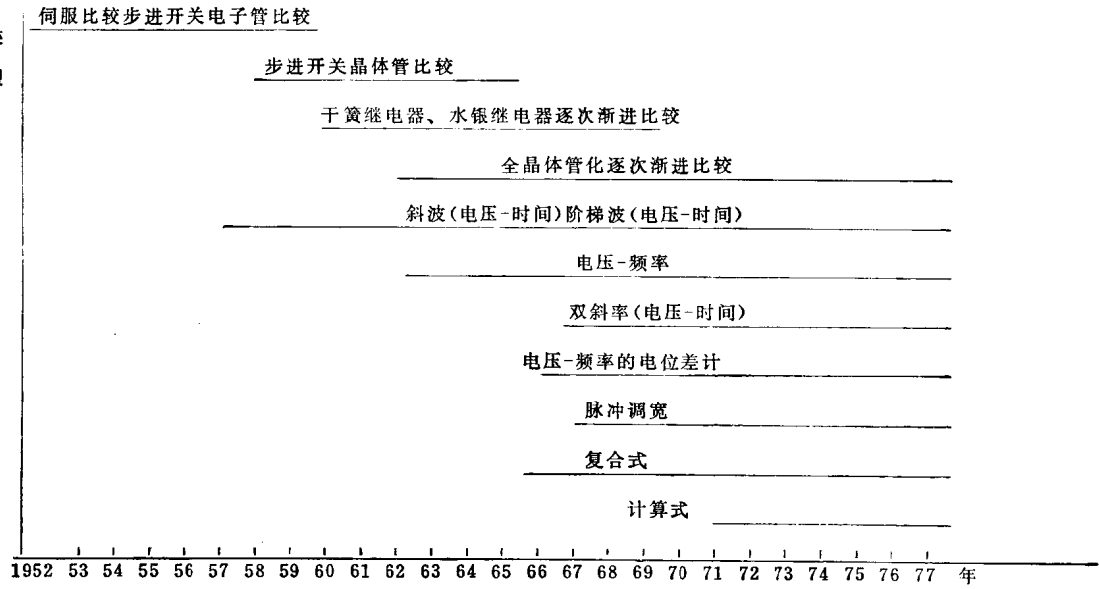


图3 数字仪表的发展过程

处理机的数字仪表。这使数字仪表在向高准确度、多功能、自动化程度高、低价格、小型化和提高其可靠性等方面又前进了一大步。

第一章 电子计数器

电子计数器是数字仪表中最常见,也是最基本的一种。它具有多种用途,通过不同的内部联结可进行频率、周期、平均周期、时间间隔、频率比、累计、计时等的测量,当加上适当的变换装置,还可测量电量(电压、相位、电流、电阻、功率)以及非电量(温度、转速和压力等)。所以,电子计数器是绝大多数数字仪表(如数字电压表、数字相位计等)的重要部件。由于这种仪器直接测量的是一定时间内的脉冲个数,与频率测量原理直接相符,初期广泛用于测量频率,故得名“数字频率计”或“数字频率表”。但是,随着它的广泛应用和不断改进,其用途极广,测量频率仅仅是其用途之一,因此目前国内外均已使用“电子计数器”这一名称。

本章将简述电子计数器的概貌,并通过实例,较详细地介绍通用电子计数器的原理与线路。

第一节 电子计数器的一般问题

一、电子计数器的发展概况

电子计数器问世于五十年代初期,至今已有二十多年的历史。在这短短的时间内,由于集成电路、固体显示器件及薄膜技术的飞速发展和日臻完善,使电子计数器不仅完全克服了最初的缺点,而且在性能、体积和造价等几方面均获得了很大进展,实现了高性能、低造价、多用途、小型化,高可靠性和全自动化,这一切都是古典式频率计所无可比拟的。

电子计数器的发展是与通信技术的飞跃发展分不开的,特别是亚毫米波,毫米波和脉冲编码调制通信及数据传输技术的应用,加速了微波技术和微波测量的发展,这就促使电子计数器适应这种发展的需要,测频上限越来越高,向微波领域更高的频段发展。

目前,电子计数器的直接计数能力达 1000MHz,采用预定标法可测频达 1500MHz,手控外差法达 18GHz,采用转换振荡器法可达 40GHz,自动计算转换振荡器法达 18GHz,自动外差变换法为 21GHz。另外,如采用其他附加设备或用频率自动测试系统,测频可达 40GHz 或更高(100GHz、150GHz)。被测信号不仅可测通常的连续波以及调频、调幅信号,而且可测脉冲信号、脉冲群和脉冲调制频率。其稳定度已达 10^{-12} /天数量级,测时间间隔能力达 100 毫微微秒(10^{-15})。这就是上述的所谓“高性能”。就其功能而言,由于发展的需要,它已变成一个多用途的装置了。有的一台仪器可完成十几种作用,例如:内含数字电压表或万用表的计数器可进行电压、电流、电阻等的测量;示波器带有计数器插入单元,使仪器更加新颖,多用。这就是上述的所谓“多用途”。由于计数器采用了大规模或中规模集成电路以及固体显示器件,使其体积大大缩小,出现了便携式超小型计数器,而且产品价格大幅度下降,仪器的功耗也因此而降低到很小,可采用电池来工作。此外,由于计数器采用了计算技术,所以已经实现了计数器的计算机化,这是仪器的革命性进展。

二、电子计数器的分类

电子计数器大致可分为以下四大类：

1. 通用计数器：它可测频率、周期、多周期平均、时间间隔、频率比、累计、计时等，除此之外还可测相位、电压等。
2. 频率计数器：这一类系指测量高频和微波频率的计数器，其功能有限，只能测频或者加一计时，但它的频带很宽，频率上限很高。
3. 运算计数器：它将运算功能（如加、减、乘、除等）引进电子计数器，扩大了使用范围；加之采用了插值法，提高了精度和分辨力。
4. 特种计数器：这包括可逆计数器、预置计数器、序列计数器等。据不完全统计，从电子计数器派生出来的品种达二十余种，用途甚广。

三、电子计数器的工作原理

尽管电子计数器种类繁多，其基本原理完全可用图 1-1-1 所示的简化方框图说明之。

图中标注“闸门”的方框，就是一般书籍里面所介绍过的“门电路”的一种。标注“计数器”的方框，以后要较详细的介绍，在这里可简单地把它理解为具有如下功能的逻辑部件，这就是可累计、记忆并显示脉冲的个数。“A”和“B”分别表示闸门的两个输入通道，其分别加入输入信号。由 B 通道输入的信号应能形成一个宽度为 T_B 的脉冲信号，用以控制闸门电路的启闭时间。即以 B 信号的某一个脉冲去开门（形成 T_B 脉冲的前沿），以紧接而来的另一个脉冲去关门（形成 T_B 脉冲的后沿），所以闸门开放的时间即为 B 通道信号两相邻脉冲之间的时间间隔 T_B （也即 T_B 脉冲的宽度）。由 A 通道输入的信号在门电路开放的时间内直接送入计数器，进行计数，显然所计之数 N 可按下列式计算：

$$N = f_A \cdot T_B \quad (1-1-1)$$

式中 f_A ——A 通道信号的频率。

不难看出，只要对 A、B 通道信号作某些选择，电子计数器就能很方便地实现如下几种测量功能：

（一）频率测量

如果时间 T_B 十分精确而标准，即所谓标准时间，且令 $T_B = 1$ 秒，显然由 (1-1-1) 式可得： $f_A = N$ 。也即计数器的示数 N 即为 A 信号的频率 f_A 值（以 Hz 为单位）。电子计数器这种直接测量一定时间内的脉冲个数的特性，即是频率测量的基本原理。

利用石英晶体振荡器可以获得精确的时基信号，因为这种振荡器的频率比较稳定，其稳定度可达 2×10^{-7} /天。它产生的信号经适当分频即可精确获得周期为 1 秒的时基信号。较

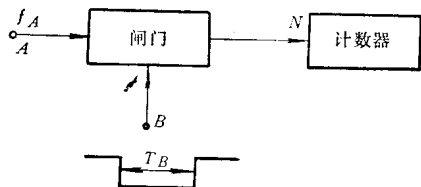


图1-1-1 电子计数器原理方框图

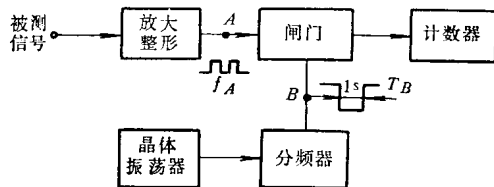


图1-1-2 频率测量原理框图

详细的频率测量原理框图如图 1-1-2 所示。

(二) 周期测量或时间间隔测量

如果 f_A 为标频率信号之频率, 且令 $f_A = 1\text{MHz}$, 则 $T_A = \frac{1}{f_A} = 1 \text{ 微秒 } (\mu\text{s})$, 显然由

(1-1-1) 式可得 $T_B = N/f_A = NT_A = N$ (微秒)。也即计数器的示数 N 即 B 信号两相邻脉冲的时间间隔 T_B 的值 (以微秒为单位)。此时若 B 信号为周期信号, 则 N 即为其周期值。从而实现了周期或时间间隔的测量。其原理框图如图 1-1-3 所示。

框图虚线内的分频器, 仅在进行多周期平均值测量时使用。测单周期或时间间隔时, 被测信号经放大整形直接送至闸门的 B 通道。该框图与图 1-1-2 频率测量框图相比较可以看出, 两者的差别仅仅是被测信号和晶体振荡器互换位置, 因此电子计数器一般都可方便地实现这两种测量。

(三) 频率比测量

由图 1-1-1 所示的原理框图很容易看出, 它本身就是一个直接测量频率比的仪器。这只需将 B 通道输入的信号理解为周期信号, 设 T_B 为其周期, f_B 为其频率, 则下式成立:

$$T_B = \frac{1}{f_B}$$

将该式代入 (1-1-1) 式可得

$$N = f_A/f_B$$

也即计数器示数 N 即为 A 、 B 两信号频率之比值。从而实现了频率比的测量。其较详细的原理框图如图 1-1-4 所示。

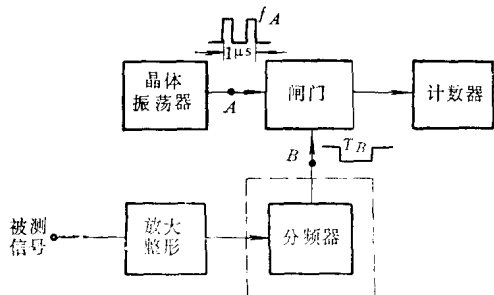


图1-1-3 周期或时间间隔测量原理框图

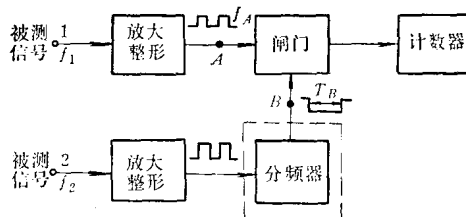


图1-1-4 频率比测量原理框图

框图虚线内的分频器, 仅在测量 f_1 与 f_2 /倍乘率之比值时 (即采用倍乘时) 使用, 也即一般在测量 f_1 与 $f_2/10$ 、 $f_2/10^2$ ……之比值时使用。所以当采用倍乘时, 下式成立:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{f_A}{10^n f_B} = \frac{1}{10^n} N$$

而对于一般情况, 则有

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{f_A}{f_B} = N$$

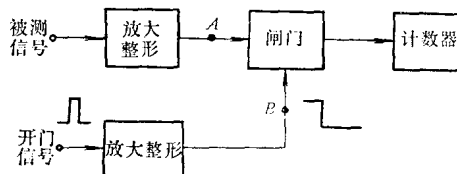


图1-1-5 累加计数原理框图

同理, 对于上述周期测量, 采用倍乘时 (即测平均周期), 下式也成立 (设被测信号周期为 T_2):

$$T_z = \frac{T_s}{10^n} = \frac{1}{10^n} N$$

(四) 累加计数

由图 1-1-1 所示原理框图还可看出, 如果在 B 通道只输入一个信号或采用人为触发使闸门电路一直处于开放状态, 计数器就可以对 A 通道输入信号进行累加计数。其较详细的原理框图如图 1-1-5 所示。

四、电子计数器的精度

以上我们简单介绍了电子计数器的一般原理, 下面再谈谈电子计数器的测量误差问题。

(一) 频率测量误差

由上述测频原理可知: 电子计数器直接计下的是一定闸门时间 T_s 内被测信号的脉冲数 N , 则信号频率 $f_x = N/T_s$ (由公式 (1-1-1) 同样可得此式)。

可见引起频率测量误差的直接原因有两个: 一个来自 N , 一个来自 T_s 。

1. ± 1 读数误差

来自 N 的误差是量子化误差 ± 1 。这是由于控制闸门开关的信号与计数信号不同步所致, 图 1-1-6 所示的 a 和 b 两种情形就差一个计数。

这里, 两种情况的闸门时间是一样的, 对情况 a 计下 6 个脉冲, 而对情况 b 则计下 7 个脉冲。考虑某种极端情况如图 1-1-7 所示。对于 a , 被测量本来十分接近 6, 但计的却是 5 个脉冲; 而对于 b , 被测量本来也是十分接近 6, 但计的却是 7 个脉冲。这就是说对一个真值为 6 (十分接近 6) 的被测量, 由于被测脉冲与闸门打开瞬间不同步, 最坏可能读得 5 或 7。

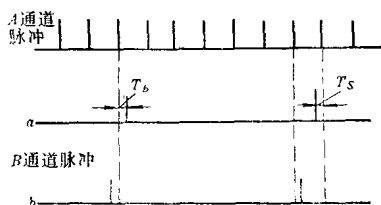


图 1-1-6 开关信号与计数信号不同步所引起的 ± 1 读数误差

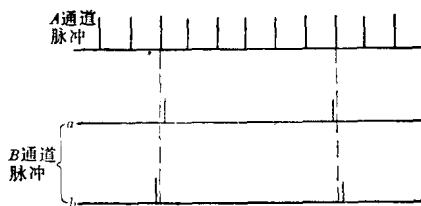


图 1-1-7 某种极端情况的 ± 1 读数误差

这就是 ± 1 误差的由来。这种误差是数字仪表所固有的, 也叫做量子化误差。要减少量子化误差, 必须使所计之数 N 尽可能大, 以使 ± 1 误差相对地可以忽略。因此频率较高时, 量子化误差较小。如果频率太低, 计数太少, 测频的量子化误差太大, 则可改测周期, 因为低频信号周期较长, 用较高的时基脉冲频率, 在一个周期的开门时间内就可计得足够多的数。另一种减小量子化误差的办法, 就是设法测定图 1-1-6 中的 T_b 和 T_s 时间, 则 ± 1 误差可以避免。电子游标法为这个问题的解决提供一种可行的办法。

2. 石英晶体振荡器频率稳定度

来自闸门时间 T_s 的误差决定于石英晶体振荡器的稳定度。影响其频率稳定度的因素很多, 归结起来可分三种:

(1) 石英晶体本身的性能和切割方式;

(2) 温度对晶体频率的影响;

(3) 振荡电路。

对电路工作者来说, 着重解决的是后两个问题。

温度对晶体频率的影响是很显著的, 因而石英晶体片上不能有温度梯度。要得到稳定度很高的晶体振荡器, 通常采用双槽法, 即恒温槽有内、外两套层。石英晶体放在恒温内槽中, 有时甚至振荡电路也放在外槽内, 以使电路元件性能稳定。

振荡电路的振荡幅度对频率稳定度有显著影响。如果振荡电压大, 晶体片振动的幅度也就大, 在晶体内的耗损的能量会使晶体温度升高, 不利于稳定性。如果振荡电压太小, 振荡器噪声就会相对显著。总的来说, 在保证必要输出的情况下还是小一些好。因为晶片振幅小, 一则发热不显著, 二则晶体线性好, 参数也稳定。既然振幅对频率有显著影响, 幅度不均, 时大时小, 对频率稳定性也十分不利。为了得到幅度较小且稳定的振荡电压, 常采用自动增益控制的方法 (参看图 1-1-8)。因为引入了深负反馈, 振幅可以维持稳定。

目前晶体振荡器频率稳定度最好的大约在 5×10^{-10} /天的水平上。如果定期用原子钟 (如铯原子钟, 其精度约 10^{-13}) 来校正, 其精度也在 10^{-10} /天的水平上。可见, 由于晶体振荡器频率不稳造成的误差是很小的。

概括起来, 测量频率时的误差为:

$$\gamma = \pm (\text{晶体振荡器频率稳定度} + 1 \text{ 个字})$$

(二) 周期测量误差

由周期测量的原理可知, 其误差除了以上两项外, 还存在所谓转换误差。也就是说, 除去 N 的误差和晶振频率 f_s 的误差外, T_s 本身还存在着信号之间的转换误差。这里主要是因为被测的正弦信号转换为脉冲时, 脉冲形成器 (如斯密特触发器) 存在触发电平的漂移造成的, 如图 1-1-9 所示。

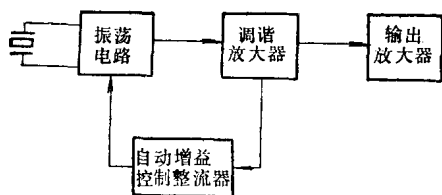


图1-1-8 晶体振荡器框图

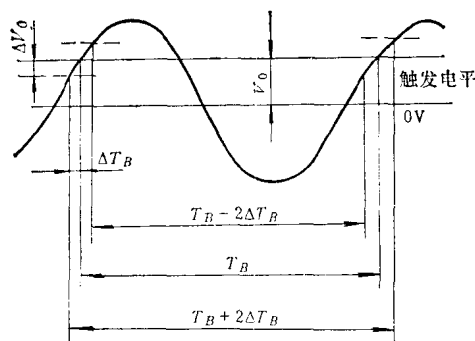


图1-1-9 脉冲形成器存在触发电平漂移造成的情况

设原来的触发电平为 V_0 , 由于温度的微小波动及晶体管内部噪声使触发电平产生无规则的微小波动 ΔV_0 , 引起在时间上产生 ΔT_B 的误差。因此, 原来是 T_B 的时间最坏可能是 $T_B + 2\Delta T_B$ 或 $T_B - 2\Delta T_B$, 这就是转换误差。如果采用倍乘时 (即测平均周期) 转换误差可减至 $\frac{1}{10}$ 、 $\frac{1}{10^2}$ ……, 视所取之倍乘系数而定。转换误差对正弦波约为 $\pm 0.3\%$ 。

概括起来, 测量周期时的误差为:

$$\gamma = \pm \left(\frac{0.3\%}{\text{倍乘率}} + \text{晶振频率稳定度} + 1 \text{ 个字} \right)$$

±1 个字误差对不同的时标含义是不同的, 例如时标为 $0.1\mu\text{s}$, 则 ±1 个字代表 ± $0.1\mu\text{s}$ 的误差。

此外, 如果采用倍乘的话, 随着有效数字的增加, ±1 个字误差相对来说也降低相应的倍乘数。

增大输入信号幅值可在同样的触发电平波动 ΔV_0 下, 产生较小的 ΔT , 从而减小转换误差。

(三) 时间间隔测量误差

测量时间间隔时, 输入的是脉冲信号, 前沿很陡, 所以虽然原理与测量周期类似, 但转换误差却可忽略不计。此时总误差为:

$$\gamma = \pm (\text{晶振频率稳定度} + 1 \text{ 个字})$$

(四) 频率比 (f_1/f_2) 测量误差

测量频率比 (f_1/f_2) 时不存在晶体振荡器的误差, 故总误差为:

$$\gamma = \pm \left(\frac{f_2 \text{ 的转换误差}}{\text{倍乘率}} + 1 \text{ 个字} \right)$$

如果 f_2 信号为正弦波, 其转换误差可取为 0.3%。

一般可将电子计数器的测量误差, 归纳为以下三种:

1. ±1 量子化误差: 它是由于控制闸门开关的信号与计数信号不同步而引起的 ±1 个数字误差。在以上四种测量中, 此项误差均存在。

2. 晶体振荡器频率稳定度: 是由于石英晶体本身品质、振荡电路的性能及温度变化等三方面因素造成晶振频率不稳所致。以上所述的四种测量中, 除频率比测量外, 其他三种均应考虑此项误差。

3. 转换误差: 主要是因为被测的正弦信号转换为脉冲时, 存在转换电路触发电平不稳而造成的。在周期测量和频率比测量时, 均应考虑此项误差。

另外还有一种“触发误差”, 把它称为第 4 种误差。

4. 触发误差: 在进行频率测量时, 对于计数频率为 30MHz 以下的电子计数器来讲, 决定闸门时间精度的仅仅是石英晶体振荡器的准确度和稳定度, 而与分频电路无关。但是在很高的频率范围, 便出现“触发误差”, 产生此项误差的原因, 是由于分频电路本身的偏差而造成的。这样, 如果单纯将晶体振荡器的频率经多次分频而得到闸门时间信号来触发闸门, 则会因多次分频后信号的抖动, 而引起闸门开放时间不稳定 (如图 1-1-11 中的点划线所示), 从而造成误差。这就是触发误差。克服这种误差的方法之一是利用“同步双稳电路”。由图 1-1-10 和 1-1-11 可看出, 如果用同步双稳输出波形去控制主控双稳电路的工作, 则由图 1-1-11 很容易看出, 若多次分频后信号的抖动小于 100kHz 时基信号的周期 ($10\mu\text{s}$) 时, 主控双稳的开门时间将不改变。

对于频率测量而言, 幅度在某个触发电平以上的噪声信号也能通过计数器的输入整形电路而被计数, 会造成附加误差。但只要信号幅度与噪声幅度相差较大 (信噪比较大), 适当选择输入电路的阈值电平就可避免噪声的影响。只有在高灵敏度的频率计中噪声才成为严重问题。

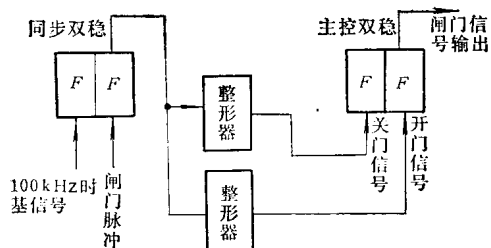


图1-1-10 同步双稳电路

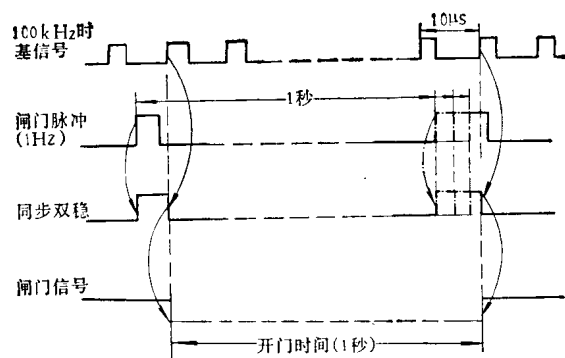


图1-1-11 同步作用的波形图

然而，对于周期测量，噪声的影响却不可忽视。因为噪声叠加于信号之上，使开门和关门时间不稳定而造成误差。这种情况如图 1-1-12 所示。其中图 a) 是图 b) 输入波形 A、B 一段的放大情形。由图可见，由于有了噪声，开门的瞬间和关门的瞬间都改变了。因为噪声和信号是不同步的，所以闸门的开、闭时间都不稳定，这就是外界噪声带来的误差。

下面计算一下因噪声带来的附加误差。如图 1-1-13 所示。噪声的存在使得测出的周期 (τ) 可以大到 $\tau_{\max}$ ，也可小到 $\tau_{\min}$ ，而出现了误差 $\Delta\tau$

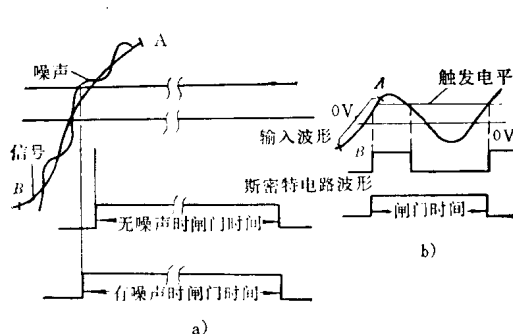


图1-1-12 由于噪声而形成的闸门时间

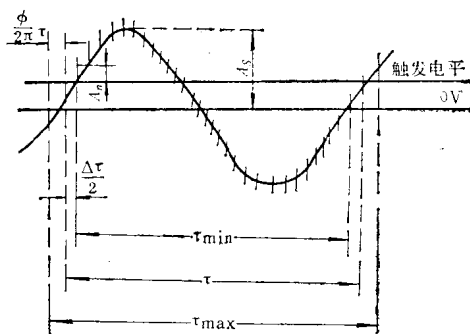


图1-1-13 噪声带来的附加误差

$$\Delta\tau = \tau_{\max} - \tau = \tau - \tau_{\min} = (\tau_{\max} - \tau_{\min})/2$$

设待测信号电压为 $V_s = A_s \sin 2\pi f t$ ，这里 $f = 1/\tau$ 为其频率。 A_n 为噪声信号幅度，则比值

$$\begin{aligned} A_n / (\Delta\tau/2) &= (dV_s/dt)_{\phi=\text{常数}} \\ &= (2\pi A_s/\tau) \cos\phi \end{aligned}$$

式中 ϕ 为触发电平所对应的信号相位， $(dV_s/dt)_{\phi}$ 即为触发电平处曲线的斜率。整理上式可得

$$\frac{\Delta\tau}{\tau} = \frac{A_n}{\pi A_s \cos\phi}$$

这就是基本误差公式。

如果 $A_s \gg$ 触发电平，则 $\phi \ll 1$ ，误差变为：

$$\frac{\Delta\tau}{\tau} = \frac{A_n}{\pi A_s}$$