

## 《电子测量技术》复习提纲

### 1、电压测量的基本要求

- (1) 应有足够宽的频率范围;
- (2) 应有足够宽的电压测量范围;
- (3) 应有足够高的测量准确度;
- (4) 应有足够高的输入阻抗;
- (5) 应有足够高的抗干扰能力。

### 2、交流电压的表征

- (1) 峰值 $U_P$
- (2) 平均值 $\bar{U}$
- (3) 有效值 $U$
- (4) 波形系数 $K_F$ 定义为该电压的有效值和其平均值之比, 即 $K_F = \frac{U}{\bar{U}}$
- (5) 波峰系数 $K_P$ 定义为该电压的峰值和其有效值之比, 即 $K_P = \frac{U_P}{U}$

### 3、交流电压的测量方法

- (1) 峰值电压表: 主要用于高频电压测量;
- (2) 平均值电压表: 主要用于低频电压测量;
- (3) 有效值电压表: 分为热电转换法和公式法;
- (4) 外差式电压表: 具有较高的灵敏度。

### 4、★平均值电压的测量

利用平均值电压表测量正弦波形电压有效值时:

$$U_{x.rms} = U_\alpha$$

利用平均值电压表测量非正弦波形电压有效值时:

第一步: 按“平均值相等示数也相等”的原则将示值 $U_\alpha$ 折算成被测电压的平均值

$$\bar{U} = \frac{U_\alpha}{K_\alpha} = \frac{U_\alpha}{1.11} \approx 0.9U_\alpha$$

式中:  $K_\alpha$ 为定度系数, 当被测电压为正弦波, 又采用全波检波电路时,  $K_\alpha = 1.11$ 。

第二步: 再用波形系数 $K_F$ 求出被测电压的有效值

$$U_{x.rms} = K_F \bar{U} \approx 0.9K_F U_\alpha$$

常用的波形系数: 正弦波 $K_F = 1.11$ , 方波 $K_F = 1$ , 三角波 $K_F = 1.15$

**例题:** 用平均值电压表(全波式)分别测量方波及三角波电压, 电压表均指在10V位置, 问被测电压的有效值分别是什么?

**解:** 对于方波, 先将示值(10V)折算成正弦波的平均值

$$\bar{U} \approx 0.9U_\alpha = 0.9 \times 10 = 9V$$

此数值是被测方波电压的平均值。再用波形系数换算成有效值。因方波的 $K_F = 1$ , 故方波电压的有效值

$$U_{x.rms} = K_F \bar{U} = 1 \times 9 = 9V$$

对于三角波, 因示值与方波相同, 表明它的平均值也是9V, 它的 $K_F = 1.15$ , 故三角波电压的有效值

$$U_{x.rms} = K_F \bar{U} = 1.15 \times 9 = 10.35V$$

## 5、有效值电压的测量

$$U_{x.rms} = U_{\alpha}$$

## 6、★峰值电压的测量

利用峰值电压表测量正弦波形电压有效值时：

$$U_{x.rms} = U_{\alpha}$$

利用峰值电压表测量非正弦波形电压有效值时：

第一步：按“峰值相等示数也相等”的原则将示值 $U_{\alpha}$ 折算成被测电压的峰值

$$U_P = \frac{U_{\alpha}}{K_{\alpha}} = \sqrt{2}U_{\alpha}$$

式中： $K_{\alpha}$ 为定度系数，当被测电压为正弦波时， $K_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 。

第二步：再用波峰系数 $K_P$ 求出被测电压的有效值

$$U_{x.rms} = \frac{1}{K_P}U_P$$

常用的波峰系数：正弦波 $K_P = \sqrt{2}$ ，方波 $K_P = 1$ ，三角波 $K_P = \sqrt{3}$

**例题：**用峰值表分别测量方波及三角波电压，电压表均示在5V位置，问被测电压有效值是多少？

**解：**对于方波，示值 $U_{\alpha} = 5V$ ，折算成正弦波峰值

$$U_P = \sqrt{2}U_{\alpha} = \sqrt{2} \times 5 \approx 7.1(V)$$

因为方波的波峰系数 $K_P = 1$ ，所以被测方波电压的有效值

$$U_{x.rms} = \frac{1}{K_P}U_P \approx 1 \times 7.1 = 7.1(V)$$

对于三角波，示值 $U_{\alpha} = 5V$ ，峰值 $U_P \approx 7.1V$ ，且 $K_P = \sqrt{3}$ ，所以被测三角波电压的有效值

$$U_{x.rms} = \frac{1}{K_P}U_P = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 7.1 \approx 4.1(V)$$

## 7、★分贝的测量

$$10 \lg \frac{P_1}{P_2} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} (dB)$$

如果上式中的 $P_2$ 和 $U_2$ 为基准量 $P_0$ 和 $U_0$ ，则与基准量比较，可引出**绝对电平**的定义：

(1) 功率电平dBm

以基准量 $P_0 = 1mW$ 作为0功率电平（0dBm），则任意功率（被测功率） $P_x$ 的功率电平定义为

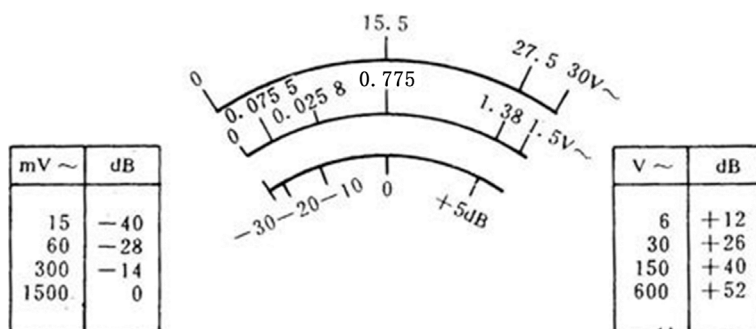
$$P_W = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \frac{P_x[mW]}{1mW}$$

(2) 电压电平dBV

以基准量 $U_0 = 0.775V$ （正弦波有效值）作为0电压电平（0dBV），则任意电压（被测电压） $U_x$ 的电压电平定义为

$$P_V = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} = 20 \lg \frac{U_x}{0.775}$$

分贝测量实质上是交流电压的测量，只是表盘以dB来刻度。下图所示为某型号模拟万用表表盘上的分贝刻度及两侧的附表，其测量范围为 $-70 \sim +57dB$ 。分贝刻度的特点是，在刻度线中间位置有一个0dB点，它是以基准功率（电压）来确定的，即在1.5V刻度线上的0.775处定为0dB，被测电压有效值 $U_x > 0.775V$ 时其分贝数为正值， $U_x < 0.775V$ 时其分贝数为负值。该表盘刻度为 $-30 \sim +5dB$ 。



例如： $U_x = 1.38V$ 时，对应的分贝值是 $20 \lg \frac{1.38}{0.775} = +5dB$

所以量程为1.5V电压刻度的1.38V处与分贝刻度+5dB相对应。

**例题：**已知 $20 \lg \frac{U_x}{U_0} = -20dB$ ，求对应的 $U_x$ 是多少？

**解：**因为 $-20dB$ 表示 $U_x = 0.1 \times 0.775 = 0.0775(V)$ ，所以分贝刻度的 $-20dB$ 与量程为1.5V电压刻度的0.0775V相对应。

**例题：**用量程为30V电压刻度时，已知示值为27.5V，求对应的分贝值应为多少？

**解：**法一（公式法）：

根据计算可知 $20 \lg \frac{27.5}{0.775} = +31dB$

法二（读分贝刻度法）：

此时电压表指针指在+5dB处（读图得出，27.5V对应+5dB），这时需用上图右侧附表来换算。

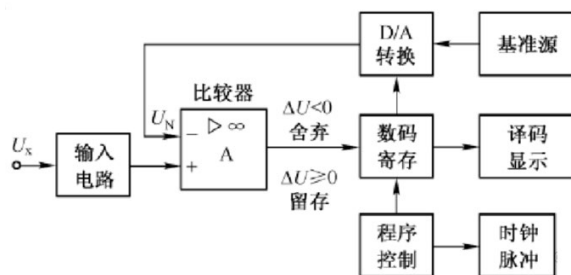
因为0dB对应30V量程的15.5V，即 $20 \lg \frac{15.5}{0.775} = +26dB$ （+26dB也可从上图右侧附表查得）

当用30V量程时，被测分贝值=分贝值示值+26dB。本例为 $(+5) + 26 = +31dB$ 。

**注意：**只有用1.5V量程时，才可以从dB刻度上直读分贝值。

## 8、★逐次比较型 DVM（数字式电压表）的工作原理与计算

右图所示为逐次比较型DVM的原理框图。图中的比较环节用于被测电压 $U_x$ 与步进砵码电压 $U_N$ 进行比较，获得差值电压 $\Delta U = U_x - U_N$ （设输入电路的传输系数为1）；程序控制器将时钟脉冲发生器送入的时序脉冲变成节拍脉冲，控制数码寄存器。当 $\Delta U < 0$ 时，不存数码（舍弃）；而 $\Delta U \geq 0$ 时，留存数码。D/A转换器用来产生一系列步进砵码电压 $U_N$ ，作为反馈信号与 $U_x$ ，进行比较。 $U_N$ 的数值由数码寄存器决定。D/A转换器将寄存器送来的二进制码变成相应的步进变化的模拟量 $U_N$ ，其步进值为1,2,4,8（或 $\times 10^n, n = 1, 2, \dots$ ）。基准源作为砵码电压 $U_N$ 的电路内参考电压源。



**工作原理（简述）：**将被测电压和一可变的基准电压进行逐次比较，最终逼近被测电压。

**例题：**以四位逐次比较型DVM为例，若基准电压为5V，被测电压为2.85V，分析测量过程及结果。

**解：** $D_1 = 1000$ ，对应的 $U_1 = 2^{-1} \times 5 = 2.5V < 2.85V$

$D_2 = 1100$ ，对应的 $U_2 = (2^{-1} + 2^{-2}) \times 5 = 3.75V > 2.85V$

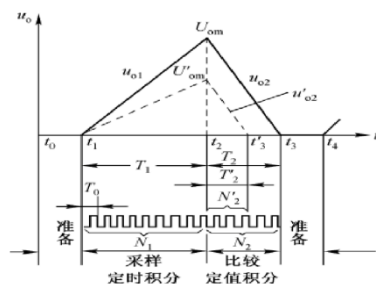
$D_3 = 1010$ ，对应的 $U_3 = (2^{-1} + 2^{-3}) \times 5 = 3.125V > 2.85V$

$D_4 = 1001$ ，对应的 $U_4 = (2^{-1} + 2^{-4}) \times 5 = 2.8125V < 2.85V$

所以测量结果为 $D = 1001$ ，对应模拟量为 $U = 2.8125V$ 。

## 9、★双斜积分型 DVM（数字式电压表）的工作原理

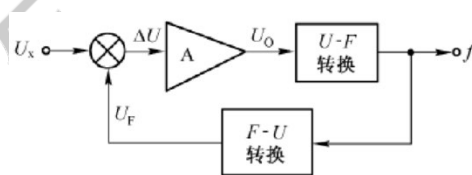
在一个测量周期内，首先对被测直流电压 $U_x$ 在限定时间内( $T_1$ )进行定时积分，然后切换积分器的输入电压 ( $-U_x$ 时选 $+U_N$ ;  $+U_x$ 时选 $-U_N$ )，再对 $U_N$ 进行与上次方向相反的定值积分，直到积分器输出电压等于0为止。从而把被测电压 $U_x$ 转换成反向积分的时间间隔 ( $T_2$ )，再利用脉冲计数法对此间隔进行数字编码，得出被测电压的值。整个过程是两次积分，将被测电压模拟量 $U_x$ 、变换成与之成正比的计数脉冲个数( $N_2$ )，从而完成了A/D转换。



**工作原理（简述）：**通过两次积分过程（对被测电压的定时积分和对参考电压的定值积分）的比较，得到被测电压值。

## 10、U-F 积分型 DVM 的工作原理

右图是电压反馈式 $U-F$ 转换器的原理框图。被测电压 $U_x$ 经放大后输出电压 $U_o$ ，经过 $U-F$ 转换器获得频率为 $f$ 的序列脉冲；经过 $F-U$ 电路转换成 $U_F$ ，再与 $U_x$ 比较，产生差值电压 $\Delta U = U_x - U_F$ 。若放大器的增益足够大，则 $\Delta U = 0$ ， $U_x \approx U_F$ 。因为 $U_F$ 正比于 $f$ ，亦即 $U_x$ 正比于 $f$ ，即 $U_x \approx kf$ ，从而实现了 $U-F$ 转换。

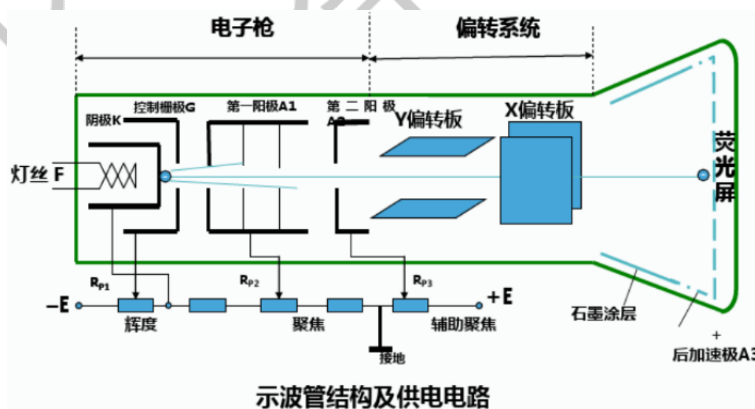


**工作原理（简述）：**将被测的模拟电压转换成脉冲频率，再用数字频率计测量出电路的频率值，从而表示被测电压的大小。

## 11、★示波管波形显示原理

模拟示波器的波形显示主要器件是阴极射线电子束管（CRT管）。

波形显示是电子束受到 $U_x$ 、 $U_y$ 共同作用的结果。示波器之所以能用来观测信号波形是基于示波管的线性偏转特性，即电子束（从观测效果看，即屏幕上的光点）在垂直和水平方向上的偏转距离正比于加到相应偏转板上的电压的大小。电子束沿垂直和水平两个方向的运动是相互独立的，打在荧光屏上的亮点的位置取决于同时加在两副偏转板上的电压。



示波管结构及供电电路

当 $U_x$ 不加信号， $U_y$ 不加信号：显示一个点；

当 $U_x$ 不加信号， $U_y$ 加信号：显示垂直直线；

当 $U_x$ 加信号， $U_y$ 不加信号：显示水平直线；

示波器 $y$ 通道加延迟线的原因：为了从荧光屏上观察到被测信号的起始部分，以补偿 $x$ 通道中固有的延迟。

## 12、★变容二极管

扫频仪的关键器件之一是变容二极管。

变容二极管是指它的结电容随外加偏压而改变，并呈现明显的非线性特性。

变容二极管有三种类型：参数变容二极管、功率变容二极管、电调谐变容二极管。在扫频仪中使用的是电调谐变容二极管。

电调谐变容二极管用在频率调制电路中。例如，作为本振回路的电调谐，其工作原理是当加到PN结上的偏压变化时，结电容 $C_j$ 跟随变化，从而改变电路的谐振频率，达到电调谐的目的。谐振频率为 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_j}}$ 。

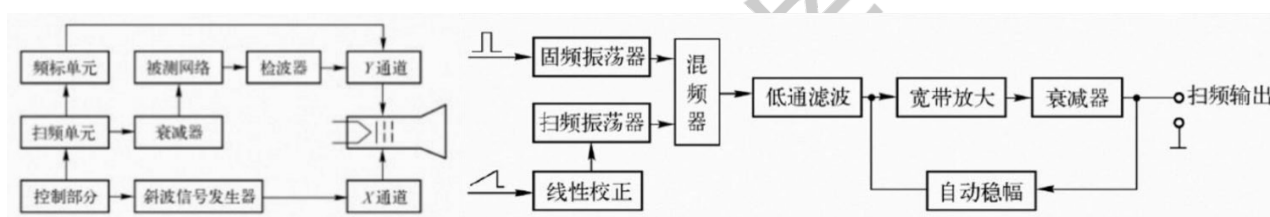
变容二极管在回路中的接入方式的三种形式：并联接法、串联接法、双管连接法。

### 13、扫频仪工作原理

扫频仪电路工作原理如左图所示，它主要由扫频信号源和显示系统两大部分构成。

扫频信号源由扫频单元、频标单元和衰减器三部分组成。

显示系统主要由斜波电压发生器，X、Y轴通道放大器及示波管等电路构成。



扫频单元工作原理框图如右图所示。

扫频信号是由固频振荡和扫频振荡在混频器里经差频的方法而获得的。

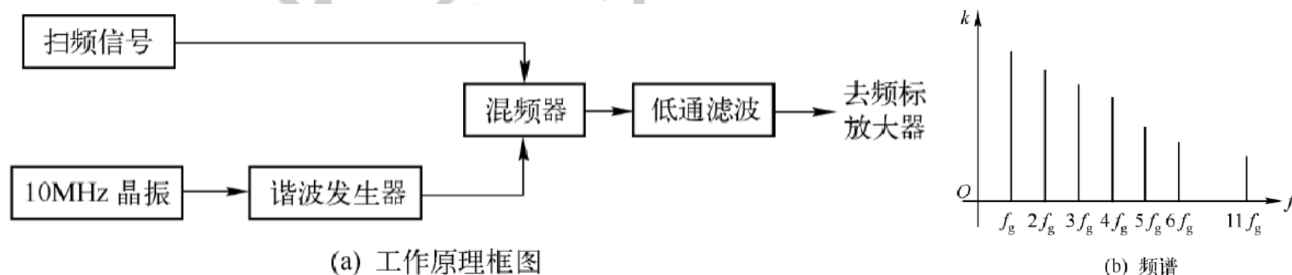
扫频振荡器一般采用变容二极管作为压控元件，由于变容二极管的 $C-U$ 特性曲线不是线性的，为了获得线性的扫频振荡，必须对其加入的线性锯齿波进行校正，这就是框图中加入线性校正电路的根本原因。

### 14、★产生多个频标的工作原理

频标是频率标记的简称。频率标记是用一定形式的标记对频率特性曲线上的任意点进行定量描述。

频标的形状大致有四种，即菱形频标、脉冲频标、线频标及光点式频标。

利用固定频率的正弦波去和扫频信号相混频，只能得到一个菱形频率标记。在扫频仪中，通常采用这种工作原理来给出外接频标的产生过程。



(a) 工作原理框图

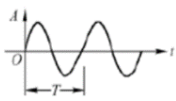
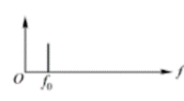
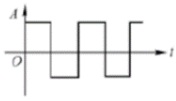
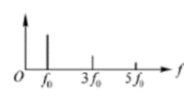

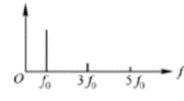

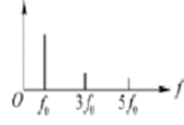

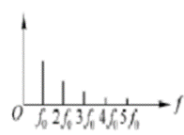
(b) 频谱

多个频标产生的框图和单一频标产生的框图相比较，仅多了一个谐波发生器。然而就是这个谐波发生器使频标产生的个数发生了重大变化。这是因为10MHz晶振输出的正弦波加到谐波发生器后，谐波发生器所产生的信号除含有基波信号以外，还含有极其丰富的高次谐波。如果晶振频率是10MHz，谐波发生器除了能产生10MHz的频率分量以外，还能产生20MHz、30MHz、40MHz及10NMHz的频率分量。

谐波发生器的频谱见右图，从图上可看出谐波发生器所产生的各次谐波都具有一定的能量，且能量随着谐波次数的增高而逐渐减小。另外，各次谐波都和基波一样具有相同的频率精度和频率稳定度。这些频率分量和扫频信号中各自对应的频率瞬时值相混频，从而完成了频率变换。混频器的输出经过低通滤波器滤波、频率标记放大器放大后给出了多个菱形频率标记。



## 15、★部分常见电信号的波形图和频谱图对应关系

类 型	波 形 图	频 谱 图
正弦波		
方 波		
三角波		
梯形波		
锯齿波		

## 16、★逻辑分析仪的主要电路

- (1) 数据获取控制电路
- (2) 图形显示 (MAP) 电路
- (3) 数据整形和逻辑电平转换电路
- (4) 并行数据输入电路
- (5) 限定和触发识别电路

## 17、逻辑分析仪的主要工作方式

- (1) 数据的采集方式

逻辑分析仪的采样过程是把采样时钟跳变时的信号状态 (逻辑电平) 记录下来, 并将该状态一直保持到下一个采样时钟沿, 而与两时钟沿之外的状态无关。

- (2) 触发与跟踪方式

触发方式: ①基本触发; ②延迟触发; ③序列触发。

- (3) 数据的存储

存储方式: ①移位寄存器存储; ②随机存储器存储。

- (4) 数据显示的区别

状态分析仪: 状态表显示

定时分析仪: 定时图显示

(5) 数据的建立和保持时间

时钟对数据取样的结果的三种情况：①取样现态；②取样下态；③取样不定态。

(6) 最高工作频率

最高工作频率是逻辑定时分析仪的重要指标。工作频率越高，时间分辨率就越高，即最小可检测的间隔越小，通常情况下采样频率取被测系统工作频率的 5~10 倍。

(7) 影响时间分辨率的因素

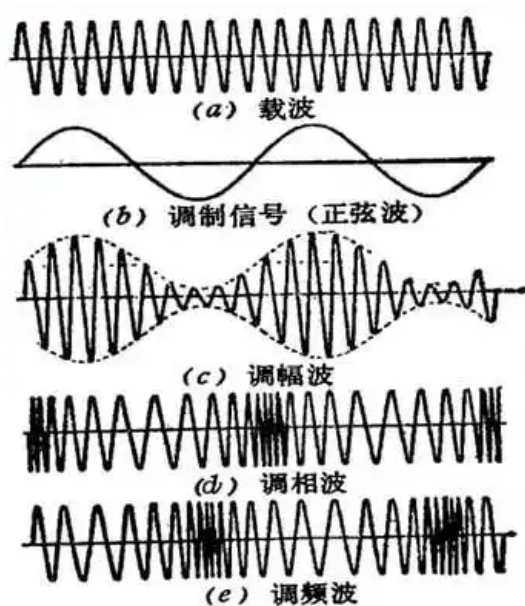
① 采样频率；

② 由于硬件的延时和负载电容的影响，使信号的跳变时间加长；

③ 由于存在门限电平误差，逻辑定时分析仪设置的门限电平不可能与电路实际工作的门限电平完全一致，这使得信号在逻辑定时分析仪和被测电路中的翻转时间不同，于是产生了附加测量误差。

## 18、★调制方式的划分

①调幅；②调频；③调相



## 19、★非电量测量的组成和工作原理方框图

