

峰值(Peak Value)、平均值(Average Value)和均方根电压 (RMS Voltage)

1、概述

在 DC 状态下, 只能对电压值进行一种定义, 该值是明确的, 并且由参考值 0V 与 DC 信号的平线图之间的差异确定。然而, 在 AC 状态下, 仅提及一个电压值可能会导致混乱。从一个简单的正弦波形, 我们至少可以列出四种不同的电压定义:

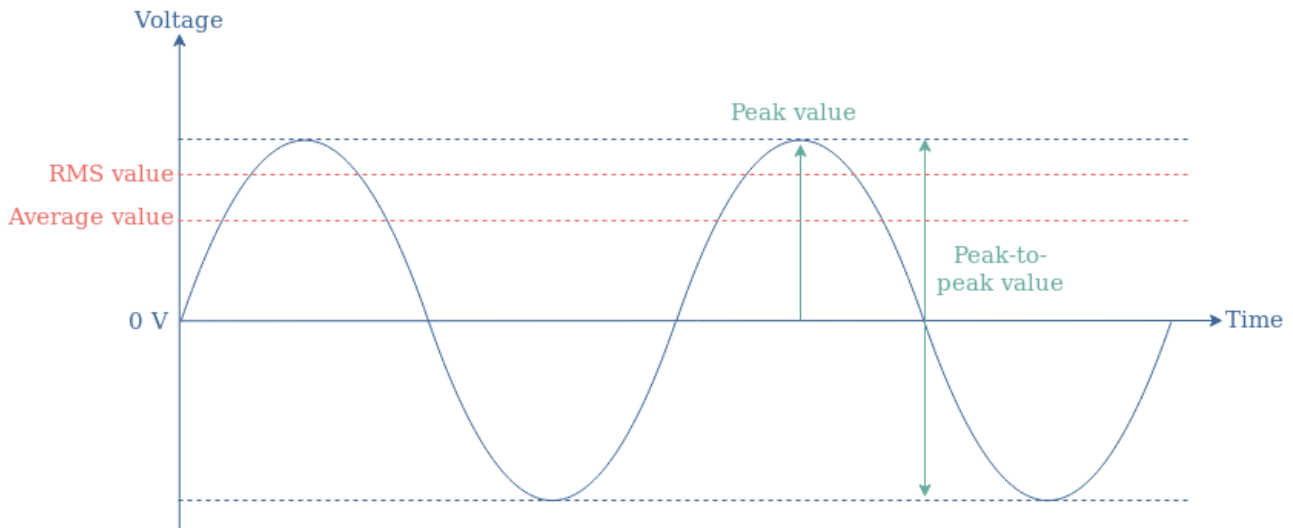


图 1: 峰值(Peak Value)、平均值(Average Value)和 RMS(均方根值)

峰值(Peak Value)对应于参考值 (即交流信号振荡的值) 与信号最大值之间的差值。峰峰值是峰值乘以因子 2, 它对应于信号的总垂直宽度。

在图 1 中, 我们还用红色突出显示了平均值和 RMS 值, 这是我们将重点关注的本文中的两节将分别介绍平均值和 RMS 值, 我们将了解它们是如何定义的, 如何确定它们, 最后我们将了解 RMS 值的特殊之处 (均方根: Root Mean Square 缩写为 RMS)。

2、平均电压

正弦交流电平均值的计算:

对于交流电来说, 数学上的平均值是 0 (因为是正负对称的)。但电工技术上关心的是其量值 (绝对值) 的大小。所以电工技术上的平均值指的是电流 (电压) 的绝对值在一个周期内的平均值。

在一周期 2π 的时间里

$$U_{\text{avg}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |U_M \sin(t)| dt = \frac{2}{\pi} U_M = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} U_r = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_r \approx 0.9 U_r$$

所以会有这样的关系, 在一个周期的时间里:

$$\text{有效值 } U_r = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \approx 0.707 U_M (\text{峰值})$$

$$\text{平均值 } U_{\text{avg}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_r \approx 0.9 U_r (\text{有效值}) = \frac{2}{\pi} U_M \approx 0.637 U_M (\text{峰值})$$

推演过程

假设交流电的 RMS 电压 V_{RMS} 为 220V，我们来推导峰值电压和平均电压。

1) . 计算峰值电压

$$V_{\text{peak}} = V_{\text{RMS}} \times \sqrt{2}$$

$$V_{\text{peak}} = 220 \times \sqrt{2}$$

$$V_{\text{peak}} \approx 220 \times 1.414$$

$$V_{\text{peak}} \approx 311\text{V}$$

所以，220V 的 RMS 电压对应的峰值电压约为 311V。

2) . 计算平均电压

$$V_{\text{avg}} = \frac{2V_{\text{peak}}}{\pi}$$

$$V_{\text{avg}} = \frac{2 \times 311}{\pi}$$

$$V_{\text{avg}} = \frac{622}{3.1416}$$

$$V_{\text{avg}} \approx 198\text{V}$$

所以，220V RMS 电压对应的平均电压约为 198V。

经验小结:

通常给出的交流电数值为有效值，以市电为例，它的有效值为 220V 则

峰值为 $\sqrt{2} * 220 \approx 311\text{V}$

平均值为 $0.9 * 220 \approx 198\text{V}$

如果给出的是交流电峰值，以市电为例，它的峰值为 311V 则

有效值为 $0.707 * 311 \approx 220\text{V}$

平均值为 $0.637 * 311 \approx 198\text{V}$

3、常见波形

如果波形是纯正弦波，则振幅（峰峰值、峰值）和 RMS 之间的关系是固定且已知的，就像任何连续周期波一样。但是，对于任意波形，情况并非如此，它可能不是周期性的或连续的。对于零均值正弦波，RMS 与峰峰值幅度之间的关系为：

$$\text{峰峰值} = 2\sqrt{2} \times \text{RMS} \approx 2.8 \times \text{RMS}.$$

对于其他波形，其关系与正弦波的关系不同。例如，对于三角波或锯齿波：

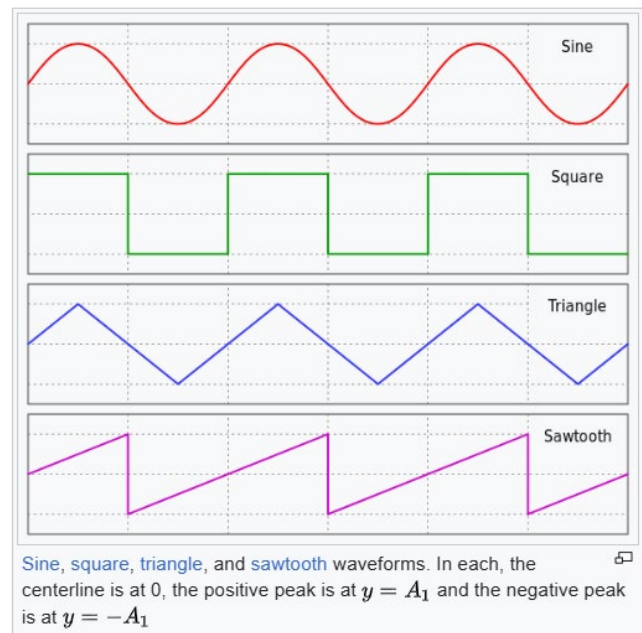
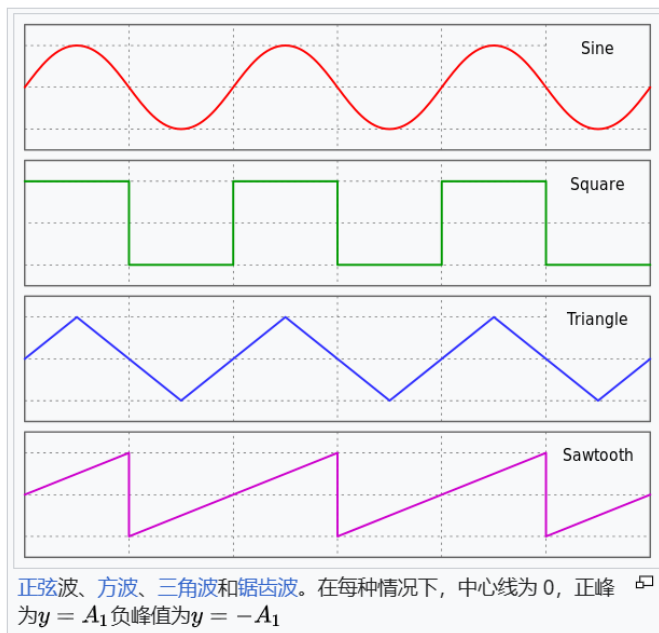
$$\text{峰峰值} = 2\sqrt{3} \times \text{RMS} \approx 3.5 \times \text{RMS}.$$

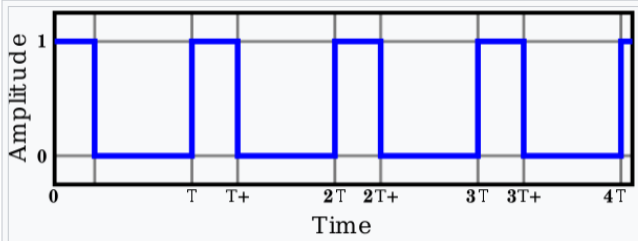
波形	变量和运算符	有效值
直流	$y = A_0$	A_0
正弦波	$y = A_1 \sin(2\pi ft)$	$\frac{A_1}{\sqrt{2}}$
方波	$y = \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < 0.5 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.5 \end{cases}$	A_1
直流位移方波	$y = A_0 + \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < 0.5 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.5 \end{cases}$	$\sqrt{A_0^2 + A_1^2}$
修正正弦波	$y = \begin{cases} 0 & \text{frac}(ft) < 0.25 \\ A_1 & 0.25 < \text{frac}(ft) < 0.5 \\ 0 & 0.5 < \text{frac}(ft) < 0.75 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.75 \end{cases}$	$\frac{A_1}{\sqrt{2}}$
三角波	$y = 2A_1 \text{frac}(ft) - A_1 $	$\frac{A_1}{\sqrt{3}}$
锯齿波	$y = 2A_1 \text{frac}(ft) - A_1$	$\frac{A_1}{\sqrt{3}}$
脉冲波	$y = \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < D \\ 0 & \text{frac}(ft) > D \end{cases}$	$A_1 \sqrt{D}$
相间正弦波	$y = A_1 \sin(t) - A_1 \sin\left(t - \frac{2\pi}{3}\right)$	$A_1 \sqrt{\frac{3}{2}}$

哪里：
 y 为位移，
 t 是时间，
 f 是频率，
 A_1 是振幅（峰值），
 D 是占空比或时间周期的比例（ $1/f$ ）花费高，
 $\text{frac}(r)$ 是 r 的小数部分。

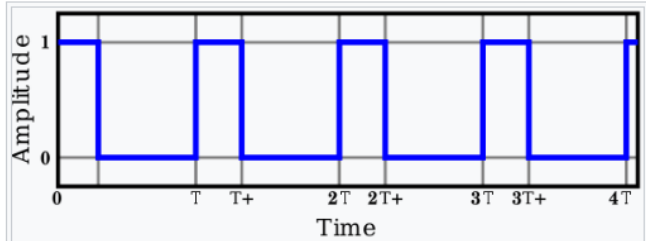
Waveform	Variables and operators	RMS
DC	$y = A_0$	A_0
Sine wave	$y = A_1 \sin(2\pi ft)$	$\frac{A_1}{\sqrt{2}}$
Square wave	$y = \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < 0.5 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.5 \end{cases}$	A_1
DC-shifted square wave	$y = A_0 + \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < 0.5 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.5 \end{cases}$	$\sqrt{A_0^2 + A_1^2}$
Modified sine wave	$y = \begin{cases} 0 & \text{frac}(ft) < 0.25 \\ A_1 & 0.25 < \text{frac}(ft) < 0.5 \\ 0 & 0.5 < \text{frac}(ft) < 0.75 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.75 \end{cases}$	$\frac{A_1}{\sqrt{2}}$
Triangle wave	$y = 2A_1 \text{frac}(ft) - A_1 $	$\frac{A_1}{\sqrt{3}}$
Sawtooth wave	$y = 2A_1 \text{frac}(ft) - A_1$	$\frac{A_1}{\sqrt{3}}$
Pulse wave	$y = \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < D \\ 0 & \text{frac}(ft) > D \end{cases}$	$A_1 \sqrt{D}$
Phase-to-phase sine wave	$y = A_1 \sin(t) - A_1 \sin\left(t - \frac{2\pi}{3}\right)$	$A_1 \sqrt{\frac{3}{2}}$

where:
 y is displacement,
 t is time,
 f is frequency,
 A_1 is amplitude (peak value),
 D is the **duty cycle** or the proportion of the time period ($1/f$) spent high,
 $\text{frac}(r)$ is the **fractional part** of r .

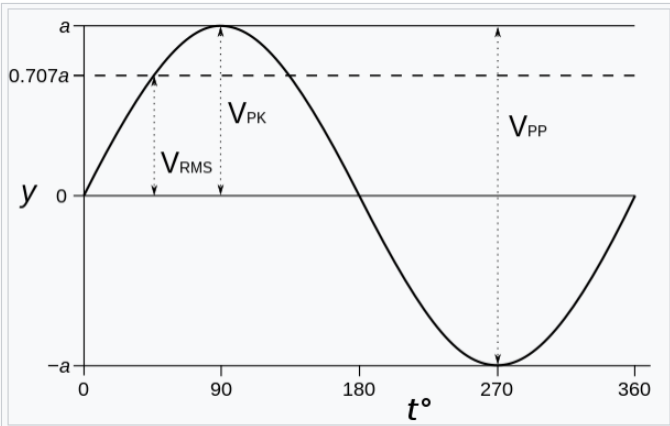




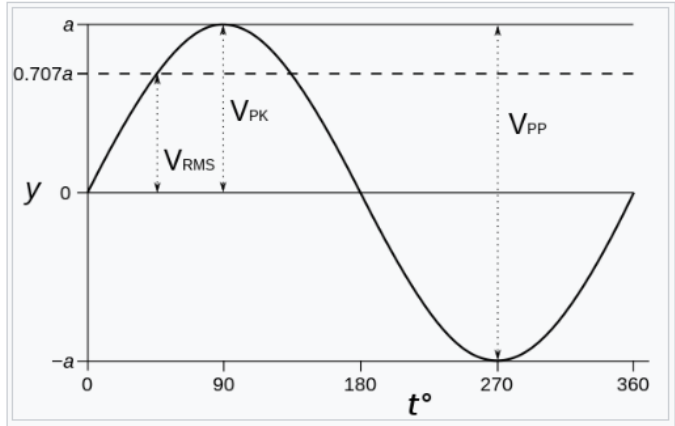
矩形脉冲波占空比D, 脉冲持续时间之比 (τ) 和句点 (T); 此处用 $a = 1$ 进行说明。



A rectangular pulse wave of duty cycle D, the ratio between the pulse duration (τ) and the period (T); illustrated here with $a = 1$.



正弦波电压与时间的关系图 (以度为单位), 显示 RMS、峰值 (PK) 和峰峰值 (PP) 电压。



Graph of a sine wave's voltage vs. time (in degrees), showing RMS, peak (PK), and peak-to-peak (PP) voltages.