

## 1. Определите рабочую частоту

Это самый важный параметр. Без частоты расчет невозможен. Предположим, мы работаем на частоте **f = 10 ГГц**.

## 2. Рассчитайте длину волны в свободном пространстве

Длина волны в вакууме/воздухе рассчитывается по формуле:

$$\lambda_0 = c / f$$

где:

- $c = 3 \cdot 10^8$  м/с (скорость света)
- $f = 10 \cdot 10^9$  Гц

$$\lambda_0 = 3 \cdot 10^8 / 10 \cdot 10^9 = 0.03 \text{ м или } 3 \text{ см.}$$

## 3. Определите критическую длину волны ( $\lambda_c$ ) для вашего волновода

Критическая длина волны зависит от типа волны (моды) и геометрии волновода.

- Для **прямоугольного волновода** и основной моды **H<sub>10</sub> (TE<sub>10</sub>)**:

$$\lambda_c = 2 * a$$

где  $a$  — ширина широкой стенки волновода.

**Пример:** Для стандартного волновода на 10 ГГц (серия WR-90) размер  $a = 2.286$  см (22.86 мм).

$$\lambda_c = 2 * 2.286 \text{ см} = 4.572 \text{ см.}$$

## 4. Рассчитайте длину волны в волноводе ( $\lambda_g$ )

Волна распространяется в волноводе не так, как в свободном пространстве. Её длина волны **всегда больше**, чем  $\lambda_0$ .

Формула для длины волны в волноводе:

$$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{1 - (\lambda_0 / \lambda_c)^2}$$

**Подставляем наши значения:**

$$\begin{aligned} \lambda_g &= 3 / \sqrt{1 - (3/4.572)^2} = 3 / \sqrt{1 - (0.656)^2} = 3 / \sqrt{1 - 0.430} \\ &= 3 / \sqrt{0.57} \approx 3 / 0.755 \approx 3.97 \text{ см} \end{aligned}$$

## 5. Рассчитайте электрическую длину

Теперь мы можем выразить физическую длину волновода ( $L = 1.5$  м) в длинах волн.

**В длинах волн:**

$$\text{Электрическая длина} = L / \lambda_g = 1.5 \text{ м} / 0.0397 \text{ м} \approx 37.78 \lambda_g$$

**В градусах (как фазовый сдвиг):**

Одна полная длина волны соответствует фазовому сдвигу в  $360^\circ$ .

$$\text{Электрическая длина} = (L / \lambda_g) * 360^\circ = 37.78 * 360^\circ \approx 13600^\circ$$

### В радианах:

Одна полная длина волны соответствует фазовому сдвигу в  $2\pi$  радиан.

Электрическая длина =  $(L / \lambda_g) * 2\pi \approx 37.78 * 2\pi \approx 237.4$  рад

---

### Резюме и важные нюансы

1. **Зависимость от частоты:** Электрическая длина волновода — **не постоянная величина**. Она сильно зависит от частоты. На другой частоте она будет другой.
2. **Коэффициент укорочения:** Это отношение  $\lambda_g / \lambda_0$ . В нашем примере он равен  $3.97 / 3 \approx 1.32$ . Волновод "удлиняет" волну электрически.
3. **Режим работы:** Формулы верны для режима **распространения**. Если частота ниже критической (определяемой  $\lambda_c$ ), волна в волноводе затухает и понятие электрической длины теряет обычный смысл.
4. **Диэлектрик:** Если волновод заполнен диэлектриком, в формулы необходимо добавить относительную диэлектрическую проницаемость ( $\epsilon_r$ ):  $\lambda_0 = c / (f * \sqrt{\epsilon_r})$ .

**Итог:** Для волновода длиной 1.5 м на частоте 10 ГГц (WR-90) его электрическая длина составляет примерно **37.8 длин волн** или **13600 градусов**. Для точного расчета подставьте ваши конкретные значения частоты и типа волновода.