



*П.3. № 2.*

**Спектр периодического и  
непериодического сигналов**

# Задача 1

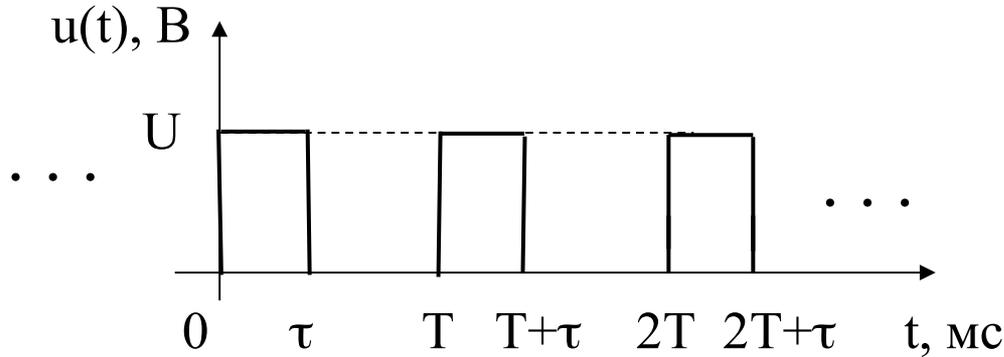
## СРС-2

На рисунке приведена временная диаграмма периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов.

1. Построить временную диаграмму сигнала с указанием масштаба по осям.
2. Написать математическую модель сигнала.
3. Разложить сигнал в ряд Фурье: рассчитать значения постоянной составляющей, амплитуд и начальных фаз 10 первых гармонических составляющих (гармоник).
4. Построить спектральную диаграмму сигнала.
5. Написать математическую модель сигнала с помощью ряда Фурье.
6. По математической модели сигнала с помощью ряда Фурье, для двух случаев: 5-и и 10-и гармонических составляющих, рассчитать значение сигнала в момент времени  $t_0$ :  $u(t_0)_{\text{расчетное}}$ .
7. Определить относительные погрешности от реального значения сигнала в этот момент времени  $u(t_0)_{\text{реальное}}$ , найденного по временной диаграмме сигнала.

8. Сделать выводы:

- сравнить значения погрешностей в 2-х случаях и пояснить их;
- назвать количество составляющих в одном лепестке огибающей спектра, значения частот нуля огибающей спектра и пояснить их.

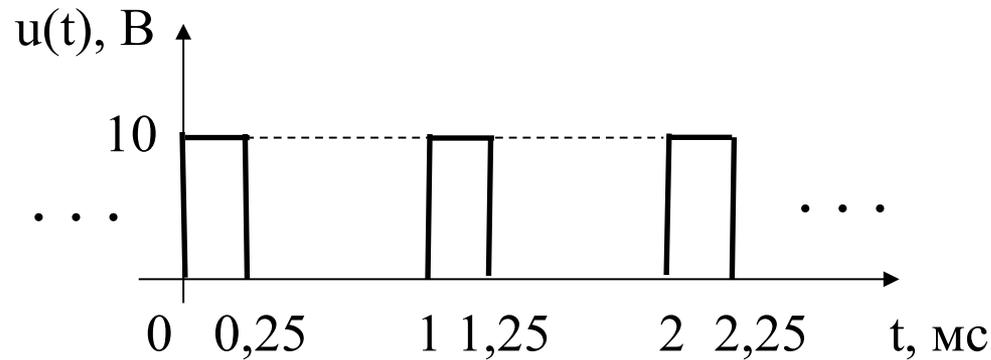


**$U = 10 \text{ В}; t_0 = 0,5 \cdot \tau \text{ мВ}; \tau = 0,25 \text{ мс}; T = 1 \text{ мс}.$**

---

# Решение задачи 1

## 1. Временная диаграмма сигнала



## 2. Математическая модель сигнала

$$u(t) = \begin{cases} 10, & 0 + 10^{-3} \cdot k \leq t \leq 0,25 \cdot 10^{-3} + 10^{-3} \cdot k; \quad k=0, \pm 1, \pm 2 \dots \\ 0, & \text{в другие интервалы времени} \end{cases}$$

3.  $S=T/\tau; \quad \omega_1=2\pi/T; \quad U_0 = U/S; \quad U_{k \rightarrow 0}=2U/S;$

$U_k=2U/(k\pi) \cdot |\text{Sin}(k\pi/S)|$

$S = 1/0,25 = 4.$

$\omega_1 = 2\pi/(1 \cdot 10^{-3}) = 2\pi \cdot 10^3 \text{ рад/с} = 2\pi \text{ крад/с}.$

$U_0 = 10/4 = 2,5 \text{ В}. \quad U_{k \rightarrow 0} = 20/4 = 5 \text{ В}.$

$U_1 = 20/\pi \cdot |\text{Sin}(\pi/4)| = 4,5 \text{ В}. \quad \varphi_1 = \pi/S = \pi/4$

$U_2 = 20/(2\pi) \cdot |\text{Sin}(2\pi/4)| = 3,18 \text{ В}. \quad \varphi_2 = 2\pi/S = \pi/2$

$U_3 = 20/(3\pi) \cdot |\text{Sin}(3\pi/4)| = 1,5 \text{ В}. \quad \varphi_3 = 3\pi/S = 3\pi/4 \text{ рад}.$

$U_4 = 20/(4\pi) \cdot |\text{Sin}(4\pi/4)| = 0 \text{ В}.$

$U_5 = 20/(5\pi) \cdot |\text{Sin}(5\pi/4)| = 0,9 \text{ В}. \quad \varphi_5 = 5\pi/S + \pi = 5\pi/4 + \pi = 9\pi/4 = \pi/4 \text{ рад}.$

$U_6 = 20/(6\pi) \cdot |\text{Sin}(6\pi/4)| = 1,06 \text{ В}. \quad \varphi_6 = 6\pi/S + \pi = 6\pi/4 + \pi = 10\pi/4 = \pi/2 \text{ рад}.$

$U_7 = 20/(7\pi) \cdot |\text{Sin}(7\pi/4)| = 0,64 \text{ В}. \quad \varphi_7 = 7\pi/S + \pi = 7\pi/4 + \pi = 11\pi/4 = 3\pi/4 \text{ рад}.$

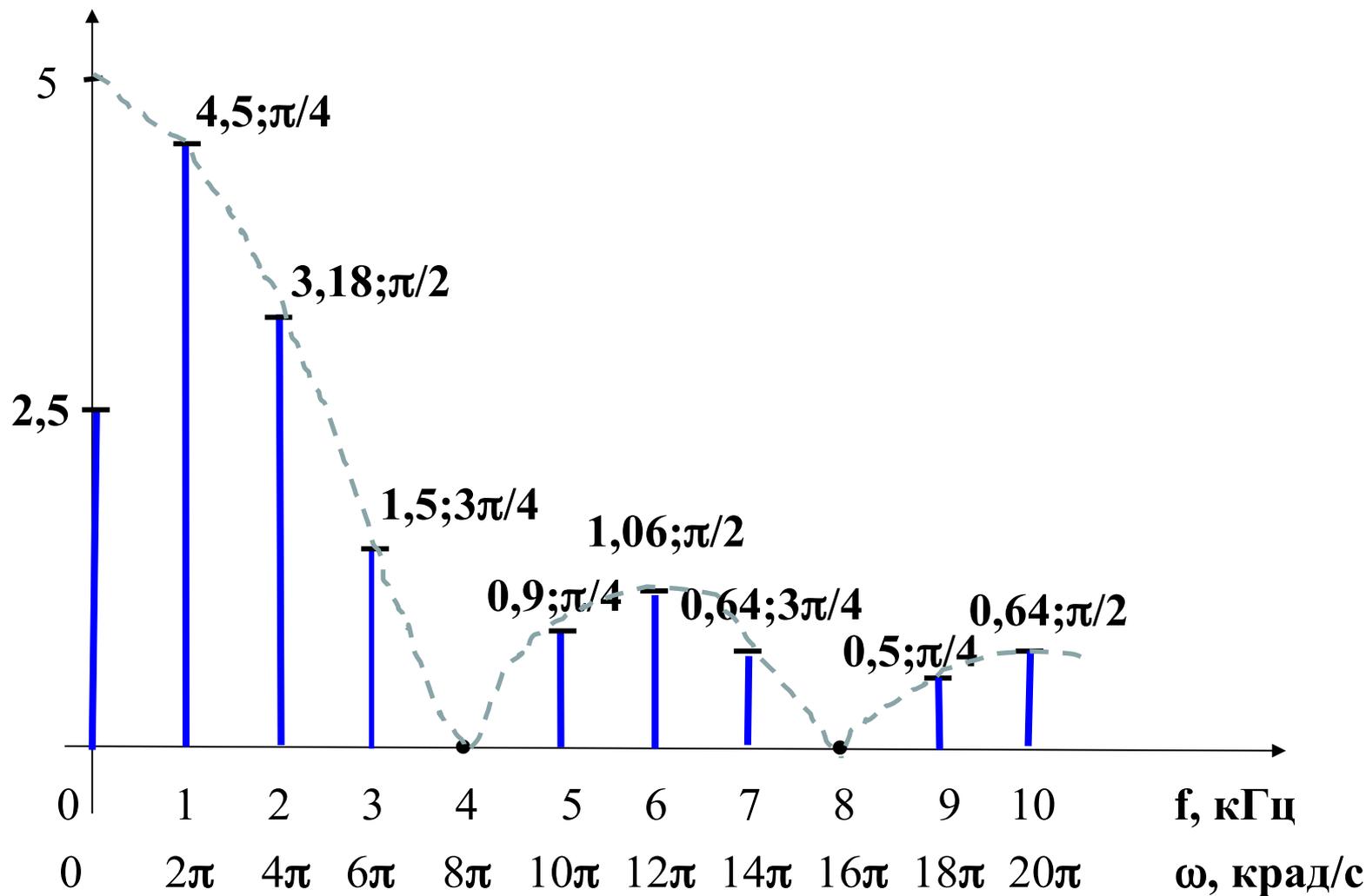
$U_8 = 20/(8\pi) \cdot |\text{Sin}(8\pi/4)| = 0$

$U_9 = 20/(9\pi) \cdot |\text{Sin}(9\pi/4)| = 0,5 \text{ В}. \quad \varphi_9 = 9\pi/S = 9\pi/4 = \pi/4 \text{ рад}.$

$U_{10} = 20/(10\pi) \cdot |\text{Sin}(10\pi/4)| = 0,64 \text{ В}. \quad \varphi_{10} = 10\pi/S = 10\pi/4 = \pi/2$

$\varphi_k = \begin{cases} k\pi/S \text{ рад, при } \text{Sin}(k\pi/S) \geq 0 \\ k\pi/S + \pi \text{ рад, при } \text{Sin}(k\pi/S) < 0 \end{cases}$

4.  $U, В; \varphi, \text{рад}$



Спектральная диаграмма сигнала

$$5. \quad u(t) = 2,5 + \sum_{k=1}^{\infty} 20/(k\pi) \cdot |\text{Sin}(k\pi/4)| \cdot \text{Cos}(2\pi \cdot 10^3 \cdot k \cdot t - \varphi_k), \text{ В}$$

$$u(t) = 2,5 + 4,5 \cdot \text{Cos}(2\pi \cdot 10^3 \cdot t - \pi/4) + 3,18 \cdot \text{Cos}(4\pi \cdot 10^3 \cdot t - \pi/2) + \\ + 1,5 \cdot \text{Cos}(6\pi \cdot 10^3 \cdot t - 3\pi/4) + 0,9 \cdot \text{Cos}(10\pi \cdot 10^3 \cdot t - \pi/4) + \\ + 1,06 \cdot \text{Cos}(12\pi \cdot 10^3 \cdot t - \pi/2) + 0,64 \cdot \text{Cos}(14\pi \cdot 10^3 \cdot t - 3\pi/4) + \\ + 0,5 \cdot \text{Cos}(18\pi \cdot 10^3 \cdot t - \pi/4) + 0,64 \cdot \text{Cos}(20\pi \cdot 10^3 \cdot t - \pi/2), \text{ В.}$$

$$6. \quad t_0 = 0,5 \cdot \tau = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125 \text{ мс} = 0,125 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

$$u(t_0)_{\text{расчетное}} = u(0,125 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное}}$$

$$u(0,125 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное(0-5)}} = 2,5 + 4,5 \cdot \text{Cos}(2\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - \pi/4) + \\ + 3,18 \cdot \text{Cos}(4\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - \pi/2) + 1,5 \cdot \text{Cos}(6\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - 3\pi/4) + \\ + 0,9 \cdot \text{Cos}(10\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - \pi/4) = \mathbf{10,78 \text{ В.}}$$

$$\begin{aligned}
u(0,125 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное}(0-10)} &= u(0,125 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное}(0-5)} + u(0,125 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное}(6-10)} = \\
&= \mathbf{10,78} + 1,06 \cdot \text{Cos}(12\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - \pi/2) + 0,64 \cdot \text{Cos}(14\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - 3\pi/4) + \\
&+ 0,5 \cdot \text{Cos}(18\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - \pi/4) + 0,64 \cdot \text{Cos}(20\pi \cdot 10^3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} - \pi/2) = \\
&= \mathbf{10,78} - 0,56 = \mathbf{10,22 \text{ В}}.
\end{aligned}$$

7. По временной диаграмме сигнала:

$$u(t_0)_{\text{реальное}} = u(0,125 \cdot 10^{-3})_{\text{реальное}} = u(0,125 \text{ мс})_{\text{реальное}} = 10 \text{ В}.$$

$$\Delta_{\text{абс}(0-5)} = |u(0,125 \text{ мс})_{\text{расчетное}(0-5)} - u(0,125 \text{ мс})_{\text{реальное}}| = |10,78 - 10| = 0,78 \text{ В}.$$

$$\xi_{\text{отн}(0-5)} = \Delta_{\text{абс}(0-5)} / U = 0,78 / 10 = 0,078; \mathbf{(7,8 \%)}.$$

$$\Delta_{\text{абс}(0-10)} = |u(0,125 \text{ мс})_{\text{расчетное}(0-10)} - u(0,125 \text{ мс})_{\text{реальное}}| = |10,22 - 10| = 0,22 \text{ В}.$$

$$\xi_{\text{отн}(0-10)} = \Delta_{\text{абс}(0-10)} / U = 0,22 / 10 = 0,022; \mathbf{(2,2 \%)}.$$

6. Проведем такие же расчеты для момента времени:

$$t_0 = 0,6 \cdot T = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ мс} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

$$u(t_0)_{\text{расчетное}} = u(0,6 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное}}$$

$$\begin{aligned} u(0,6 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное(0-5)}} &= 2,5 + 4,5 \cdot \text{Cos}(2\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - \pi/4) + \\ &+ 3,18 \cdot \text{Cos}(4\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - \pi/2) + 1,5 \cdot \text{Cos}(6\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - 3\pi/4) + \\ &+ 0,9 \cdot \text{Cos}(10\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - \pi/4) = \mathbf{0,38 \text{ В.}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u(0,6 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное(0-10)}} &= u(0,6 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное(0-5)}} + u(0,6 \cdot 10^{-3})_{\text{расчетное(6-10)}} = \\ &= \mathbf{0,38} + 1,06 \cdot \text{Cos}(12\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - \pi/2) + 0,64 \cdot \text{Cos}(14\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - 3\pi/4) + \\ &+ 0,5 \cdot \text{Cos}(18\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - \pi/4) + 0,64 \cdot \text{Cos}(20\pi \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} - \pi/2) = \\ &= \mathbf{0,38 - 0,408 = -0,028 \text{ В.}} \end{aligned}$$

7. По временной диаграмме сигнала:

$$u(t_0)_{\text{реальное}} = u(0,6 \cdot 10^{-3})_{\text{реальное}} = u(0,6 \text{ мс})_{\text{реальное}} = 0 \text{ В.}$$

$$\Delta_{\text{абс}(0-5)} = |u(0,6 \text{ мс})_{\text{расчетное}(0-5)} - u(0,6 \text{ мс})_{\text{реальное}}| = |0,38 - 0| = 0,38 \text{ В.}$$

$$\xi_{\text{отн}(0-5)} = \Delta_{\text{абс}(0-5)} / U = 0,38 / 10 = 0,038; \text{ (3,8 \%)}.$$

$$\Delta_{\text{абс}(0-10)} = |u(0,6 \text{ мс})_{\text{расчетное}(0-10)} - u(0,6 \text{ мс})_{\text{реальное}}| = |-0,028 - 0| = 0,028 \text{ В.}$$

$$\xi_{\text{отн}(0-10)} = \Delta_{\text{абс}(0-10)} / U = 0,028 / 10 = 0,0028; \text{ (0,28 \%)}.$$

## 8. Выводы:

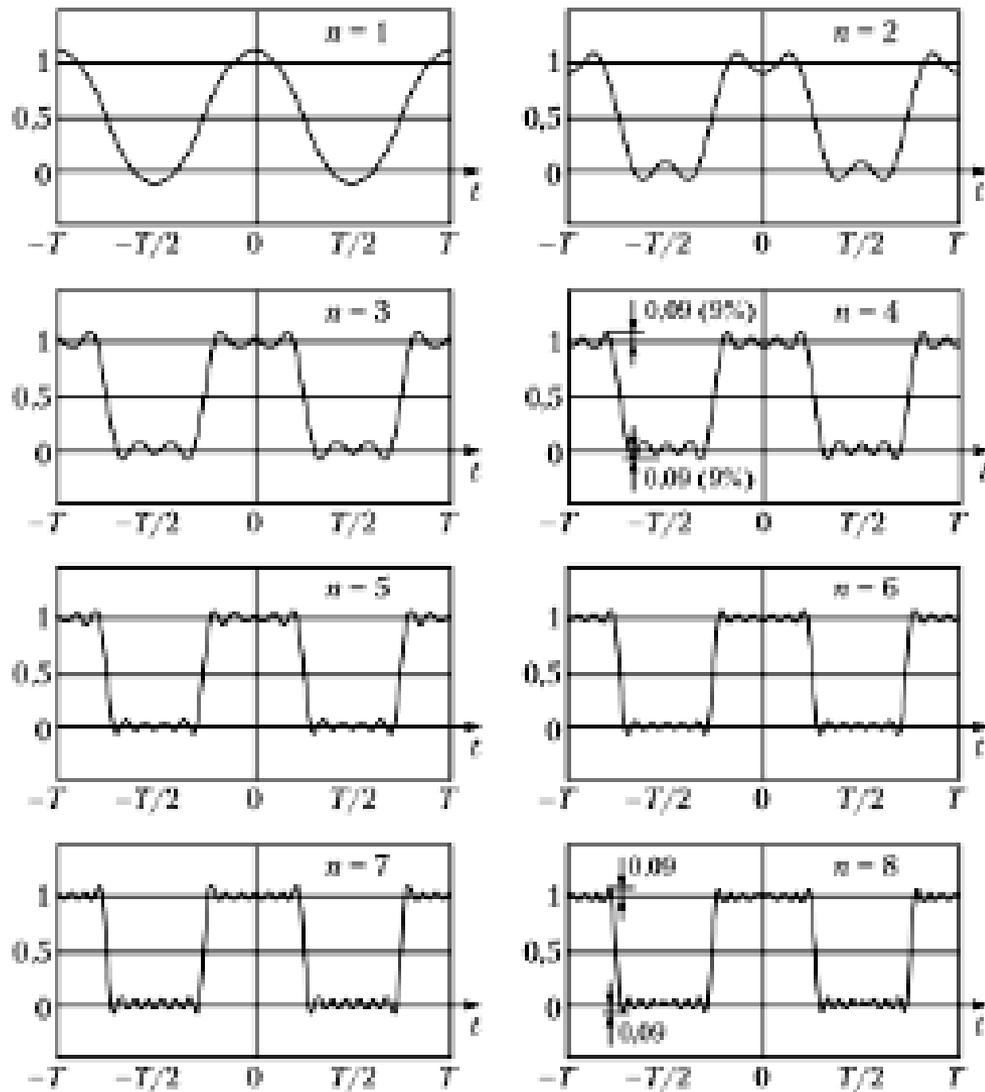
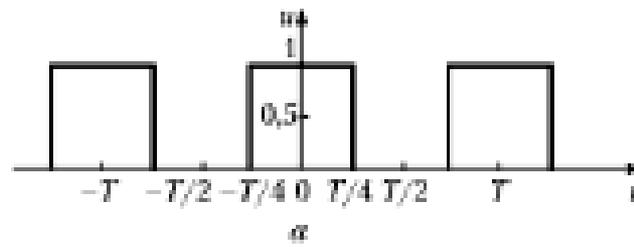
1. Погрешность расчета значения сигнала по математической модели с помощью ряда Фурье, при учете 10 составляющих спектра сигнала (2,2 % и 0,28 %) меньше, чем при 5 составляющих (7,8 % и 3,8 %). Чем больше составляющих ряда Фурье будет учтено, тем меньше будет погрешность. При стремлении числа составляющих к бесконечности погрешность будет стремиться к нулю.

2. Число составляющих в одном лепестке огибающей спектра равно скважности последовательности ( $S = 4$ ; 4 составляющих).

3. Значения частот нуля огибающей спектра соответствуют частотам составляющих с номерами кратными скважности последовательности:

4-я ( $8\pi$  рад/с), 8-я ( $16\pi$  рад/с), ... т.е. в спектре сигнала отсутствуют составляющие с номерами кратными скважности последовательности (4-я, 8-я, ...).

$U=1$  B;  $S=2$ .



## Задача 2

Частота следования импульсов периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов (ППВИ) 25 кГц, скважность равна 2, амплитуда постоянной составляющей в спектре ППВИ равна 1 В.

Рассчитайте ограниченную ширину спектра ППВИ и амплитуду третьей гармоники.

$$f_1 = 25 \text{ кГц}; S = 2; U_0 = 1 \text{ В}. \Delta f = ? U_3 = ?$$

---

## Решение задачи 2

1).  $\Delta f \approx 1/\tau$   $S = T/\tau; \rightarrow \tau = T/S; f_1 = 1/T; \rightarrow T = 1/f_1$   
 $T = 1/(25 \cdot 10^3) = 40 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 40 \text{ мкс}; \tau = 40/2 = 20 \text{ мкс}.$   
 $\Delta f \approx 1/(20 \cdot 10^{-6}) = 50000 \text{ Гц} = 50 \text{ кГц}.$

2).  $\Delta f \approx S \cdot f_1$   $\Delta f \approx 2 \cdot 25 = 50 \text{ кГц}$

$$U_0 = U/S; U = U_0 \cdot S = 1 \cdot 2 = 2 \text{ В}.$$

$$U_k = 2U/(k\pi) \cdot |\text{Sin}(k\pi/S)|$$

$$U_3 = 4/(3\pi) \cdot |\text{Sin}(3\pi/2)| = 0,42 \text{ В}.$$

## Задача 3

Определите ограниченную ширину спектра периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов (ППВИ), если период следования импульсов равен 40 мкс, скважность равна 4, амплитуда второй гармоники в спектре ППВИ равна 5 В.

Рассчитайте спектральный состав ППВИ в пределах выбранной ширины спектра. Постройте временную и спектральную диаграммы.

$$T = 40 \text{ мкс}; S = 4; U_2 = 5 \text{ В}; \Delta f = ?$$

---

## Решение задачи 3

1)  $\Delta f \approx 1/\tau$   $S = T/\tau; \rightarrow \tau = T/S = 40/4 = 10 \text{ мкс};$

$$\Delta f \approx 1/(10 \cdot 10^{-6}) = 100000 \text{ Гц} = 100 \text{ кГц}.$$

2)  $\Delta f \approx S \cdot f_1$   $f_1 = 1/T = 1/(40 \cdot 10^{-6}) = 25000 \text{ Гц} = 25 \text{ кГц}.$

$$\Delta f \approx 4 \cdot 25 = 100 \text{ кГц}$$

$$U_k = 2U/(k\pi) \cdot |\text{Sin}(k\pi/S)|$$

$$U_2 = 2U/(2\pi) \cdot |\text{Sin}(2\pi/4)| = U/\pi \cdot |\text{Sin}(\pi/2)| = U/\pi; U =$$

$$U_2 \cdot \pi.$$

$$U = 5 \cdot \pi = 15,71 \text{ В}.$$

$$U_0 = U/S; U_0 = 15,7/4 = 3,93 \text{ В};$$

$$U_{k \rightarrow 0} = 2U/S; U_{k \rightarrow 0} = 2 \cdot 15,71/4 = 7,86 \text{ В}.$$

$$U_k = 2U/(k\pi) \cdot |\text{Sin}(k\pi/S)| \quad \varphi_k = \begin{cases} k\pi/S \text{ рад, при } \text{Sin}(k\pi/S) \geq 0 \\ k\pi/S + \pi \text{ рад, при } \text{Sin}(k\pi/S) < 0 \end{cases}$$

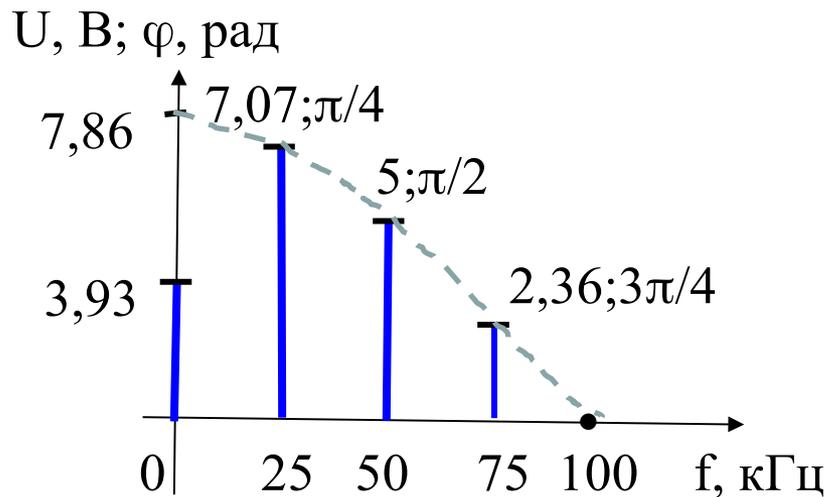
$$U_1 = 2 \cdot 15,71/\pi \cdot |\text{Sin}(\pi/4)| = 7,07 \text{ В.} \quad \varphi_1 = \pi/4 \text{ рад}$$

$$U_2 = 2 \cdot 15,71/(2\pi) \cdot |\text{Sin}(2\pi/4)| = 5 \text{ В.} \quad \text{— это проверка заданного значения}$$

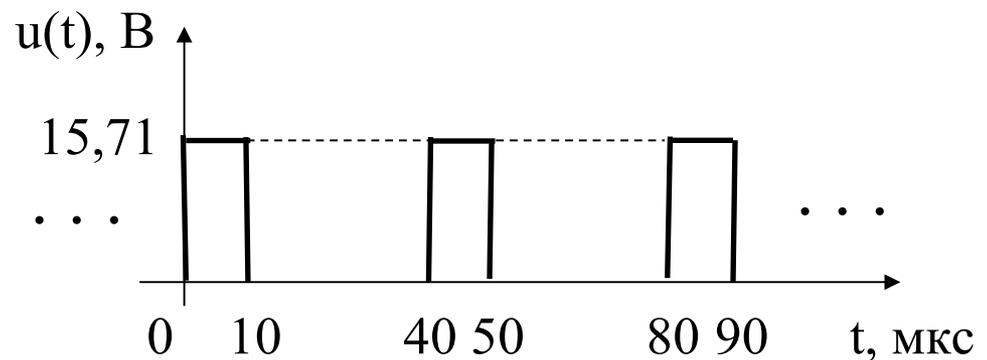
$$\varphi_2 = 2\pi/4 = \pi/2 \text{ рад}$$

$$U_3 = 2 \cdot 15,71/(3\pi) \cdot |\text{Sin}(3\pi/4)| = 2,36 \text{ В.} \quad \varphi_3 = 3\pi/4 \text{ рад}$$

$$U_4 = 2 \cdot 15,71/(4\pi) \cdot |\text{Sin}(4\pi/4)| = 2 \cdot 15,71/(4\pi) \cdot |\text{Sin}(\pi)| = 0 \text{ В.}$$



**Спектральная диаграмма сигнала**

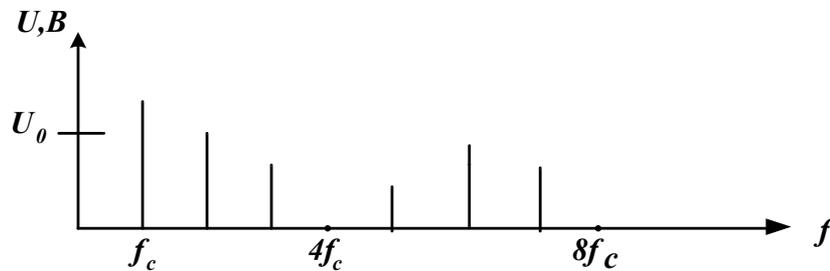


**Временная диаграмма сигнала**

## Задача 4

На рисунке приведен спектр периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов (ППВИ).

Определите длительность, частоту следования импульсов, постоянную составляющую в спектре ППВИ, если амплитуда импульсов равна 1,6 В, период следования 10 мс.



$$U = 1,6 \text{ В}; T = 10 \text{ мс.}$$

$$\tau = ? f_1 = ? U_0 = ?$$

---

## Решение задачи 4

$$S = 4$$

$$S = T/\tau; \rightarrow \tau = T/S = 10/4 = 2,5 \text{ мс.}$$

$$f_1 = 1/T = 1/(10 \cdot 10^{-3}) = 100 \text{ Гц};$$

$$U_0 = U/S = 1,6/4 = 0,4 \text{ В.}$$

## Задача 5

Рассчитайте спектральный состав периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов (ППВИ) в пределах выбранной ширины спектра, если амплитуда импульсов равна 3 В, ширина спектра ППВИ равна 100 кГц, период следования импульсов - 50 мкс. По результатам расчета постройте спектральную диаграмму амплитуд.

$$U = 3 \text{ В}; \Delta f = 100 \text{ кГц}; T = 50 \text{ мкс.}$$

---

## Решение задачи 5

$$f_1 = 1/T = 1/(50 \cdot 10^{-6}) = 20000 \text{ Гц} = 20 \text{ кГц.}$$

$$\boxed{N_{\text{составл.}} = \Delta f / f_1} \quad N_{\text{составл.}} = 100/20 = 5; \rightarrow \mathbf{S = 5.}$$

$$U_k = 2U/(k\pi) \cdot |\text{Sin}(k\pi/S)| \quad U_0 = U/S = 3/5 = 0,6 \text{ В.}$$

$$U_1 = 2U/\pi \cdot |\text{Sin}(\pi/5)| = 2 \cdot 3/(\pi) \cdot |\text{Sin}(\pi/5)| = 1,12 \text{ В.}$$

$$U_2 = 2U/(2\pi) \cdot |\text{Sin}(2\pi/5)| = 3/\pi \cdot |\text{Sin}(2\pi/5)| = 0,91$$

В.

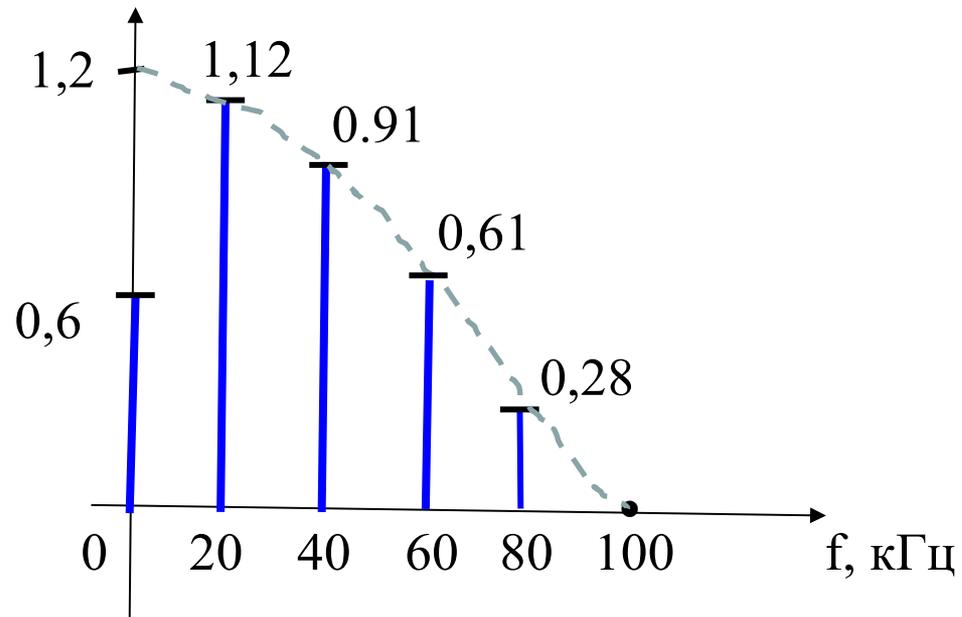
$$U_3 = 2U/(3\pi) \cdot |\text{Sin}(3\pi/5)| = 2 \cdot 3/(3\pi) \cdot |\text{Sin}(3\pi/5)| = 0,61 \text{ В.}$$

$$U_4 = 2U/(4\pi) \cdot |\text{Sin}(4\pi/5)| = 2 \cdot 3/(4\pi) \cdot |\text{Sin}(4\pi/5)| = 0,28$$

В.

$$U_5 = 2U/(5\pi) \cdot |\text{Sin}(5\pi/5)| = 2 \cdot 3/(5\pi) \cdot |\text{Sin}(\pi)| = 0 \text{ В.}$$

$U, В; \varphi, \text{рад}$



**Спектральная диаграмма амплитуд сигнала**

## Задача 6

Параметры периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов: амплитуда импульсов 4 мВ; длительность импульсов 2 мс; скважность последовательности  $S=4$ .

Написать математическую модель сигнала, нарисовать его временную диаграмму. Нарисовать **вид** спектральной диаграммы сигнала с указанием его структуры, значения постоянной составляющей, значения огибающей спектра на нулевой частоте, частот составляющих и частот нуля огибающей спектра.

$$U = 4 \text{ мВ}; \tau = 2 \text{ мс}; S = 4.$$

---

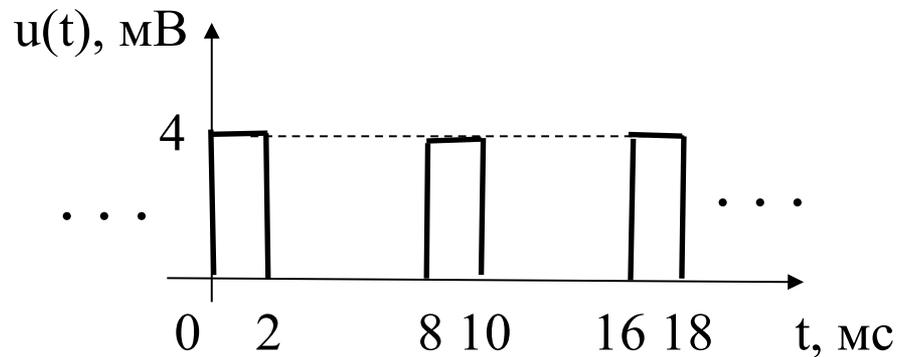
## Решение задачи 6

$$S=T/\tau; \quad T = S \cdot \tau = 4 \cdot 2 = 8 \text{ мс.}$$

### Математическая модель сигнала

$$u(t) = \begin{cases} 4 \cdot 10^{-3}, & 0 + 8 \cdot 10^{-3} \cdot k \leq t \leq 2 \cdot 10^{-3} + 8 \cdot 10^{-3} \cdot k; \quad k=0, \pm 1, \pm 2 \dots \\ 0, & \text{в другие интервалы времени} \end{cases}$$

### Временная диаграмма сигнала

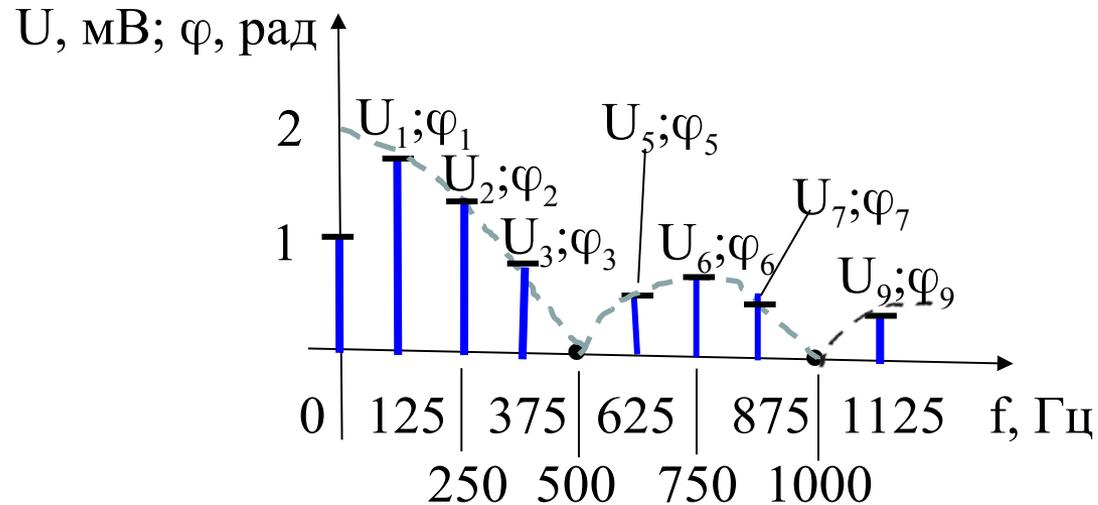


$$\omega_1 = 2\pi/T = 2\pi/(8 \cdot 10^{-3}) = 250\pi \text{ рад/с.} \quad f_1 = \omega_1/(2\pi) = 125 \text{ Гц.}$$

$$U_0 = U/S = 4/4 = 1 \text{ мВ.}$$

$$U_{k \rightarrow 0} = 2U/S = 2 \cdot 4/4 = 2 \text{ мВ.}$$

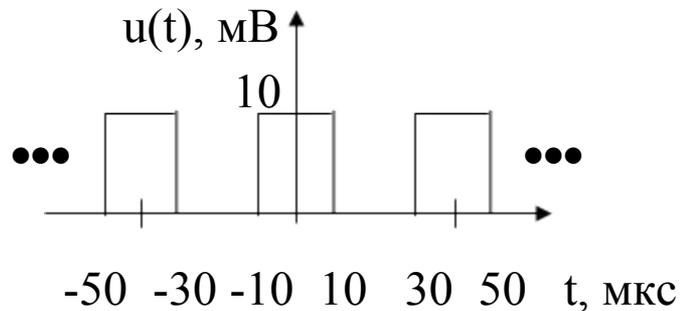
### Спектральная диаграмма сигнала



## Задача 7

Напишите математическую модель периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов, изображенной на рисунке.

Нарисуйте **вид** спектральной диаграммы сигнала с указанием его структуры, значения постоянной составляющей, значения огибающей спектра на нулевой частоте, частот составляющих и частот нуля огибающей спектра.



## Решение задачи 7

$$U = 10 \text{ мВ}; \tau = 20 \text{ мкс}; T = 40 \text{ мкс}; S = T/\tau = 40/20 = 2.$$

$$\omega_1 = 2\pi/T = 2\pi/(40 \cdot 10^{-6}) = 50\pi \cdot 10^3 \text{ рад/с} = 50\pi \text{ крад/с}.$$

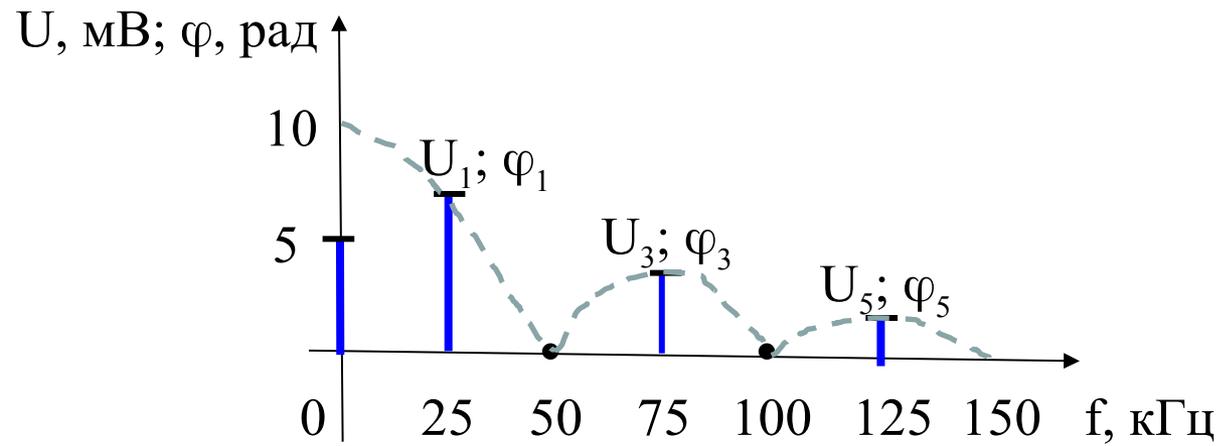
$$f_1 = \omega_1/(2\pi) = 25 \text{ кГц}.$$

$$U_0 = U/S = 10/2 = 5 \text{ мВ}. \quad U_{k \rightarrow 0} = 2U/S = 2 \cdot 10/2 = 10 \text{ мВ}.$$

### Математическая модель сигнала

$$u(t) = \begin{cases} 10^{-2}, & -10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} \cdot k \leq t \leq 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} \cdot k; \quad k=0, \pm 1, \pm 2 \dots \\ 0, & \text{в другие интервалы времени} \end{cases}$$

## Спектральная диаграмма сигнала



## Задача 8

Рассчитать спектральную плотность прямоугольного видеоимпульса длительностью 5 мкс и амплитудой 2 В на частотах 50 и 100 кГц.

Определить ширину его ограниченного спектра и нарисовать **вид** его спектральной диаграммы с указанием частот нуля спектральной плотности и значения спектральной плотности на нулевой частоте.

$$\tau = 5 \text{ мкс}; U = 2 \text{ В}; f = 50 \text{ кГц}; 100 \text{ кГц}.$$

---

## Решение задачи 8

$$\omega = 2\pi \cdot f; \quad \omega_1 = 2\pi \cdot 50 = 100\pi \text{ рад/с}; \quad \omega_2 = 2\pi \cdot 100 = 200\pi \text{ рад/с}.$$

$$S(\omega) = 2U/\omega \cdot \text{Sin}(\omega\tau/2).$$

$$S_1(\omega) = 2 \cdot 2 / (100\pi \cdot 10^3) \cdot \text{Sin}(100\pi \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} / 2) = 9 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{с/рад} = 9 \text{ мкВ} \cdot \text{с/рад}$$

$$S_2(\omega) = 2 \cdot 2 / (200\pi \cdot 10^3) \cdot \text{Sin}(200\pi \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} / 2) = 6,37 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{с/рад} = 6,37 \text{ мкВ} \cdot \text{с/рад}$$

$$S(\omega) = 0 \quad \text{Sin}(\omega\tau/2) = 0; \quad \omega\tau/2 = \pi; \quad \omega = 2\pi/\tau;$$

$$\boxed{\Delta\omega = 2\pi/\tau} \quad \Delta\omega = 2\pi / (5 \cdot 10^{-6}) = 400000 \cdot \pi \text{ рад/с} = 400 \cdot \pi \text{ крад/с}$$

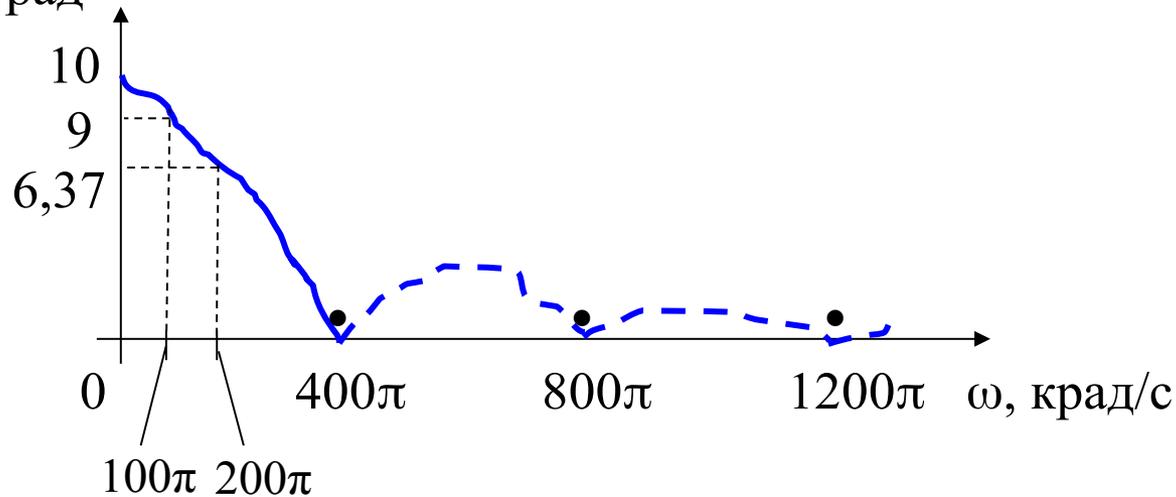
$$\boxed{\Delta f = 1/\tau} \quad \Delta f = 1 / (5 \cdot 10^{-6}) = 200 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 200 \text{ кГц}.$$

$$S(\omega) = U \cdot \tau \cdot \text{Sin}(\omega\tau/2)/(\omega\tau/2)$$

$\omega \rightarrow 0; S(\omega) \rightarrow$   
 $\text{мкВ} \cdot \text{с/рад}$

$$U \cdot \tau = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{с/рад} = 10$$

$|S(\omega)|,$   
 $\text{мкВ} \cdot \text{с/рад}$



**Спектральная диаграмма  
прямоугольного видеоимпульса**

## Задача 9

Рассчитайте спектральную плотность одиночного прямоугольного видеоимпульса амплитудой 3 В, длительностью 10 мкс на частоте  $0,5 \cdot \Delta f$ , где  $\Delta f$ - ширина ограниченного спектра сигнала.

---

## Решение задачи 9

$$\Delta\omega = 2\pi \cdot \Delta f; \quad \boxed{\Delta f \approx 1/\tau} \quad \Delta\omega \approx 2\pi/\tau;$$

$$\Delta\omega \approx 2\pi/(10 \cdot 10^{-6}) = 200000 \cdot \pi \text{ рад/с} = 200 \cdot \pi \text{ крад/с}.$$

$$\omega \approx 0,5 \cdot \Delta\omega = 0,5 \cdot 200 \cdot \pi = 100 \cdot \pi \text{ крад/с} = \pi \cdot 10^5 \text{ рад/с}$$

$$S(\omega) = 2U/\omega \cdot \text{Sin}(\omega\tau/2).$$

$$S(\omega) = 2 \cdot 3 / (\pi \cdot 10^5) \cdot \text{Sin}(\pi \cdot 10^5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} / 2) = 19 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{с/рад} = 19 \text{ мкВ} \cdot \text{с/рад}$$