

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования.  
«Национально исследовательский университет  
«Московский энергетический институт»  
Кафедра ВМСС

Лабораторная работа №6  
Осциллографы и их применение  
Курс: метрология

Группа: А-08-19

Выполнил:  
Балашов С. А.

Проверил: Герасимов С. И.

Москва 2021 г.

## Пункт 1

**Задание.** Измерить следующие параметры на зажимах 1-1:

- а) Полный размах и период сигнала с помощью аналогового осциллографа (АО);
- б) Полный размах и период сигнала с помощью цифрового осциллографа (ЦО);
- в) среднеквадратическое значение сигнала с помощью ЦО.

**Выполнение.** а) Произведём измерение полного размаха и периода сигнала.

Период:

$T = N * M$ , где  $N$  - количество делений, а  $M$  - масштаб этих делений

$$T = 4.8 * 2 * 10^{-3} = 9.6 \text{ (мс)}$$

Полный размах:

$$A_{PP} = N * M = 3.2 * 5.0 = 16.0 \text{ (В)}$$

Посчитаем погрешность измерения периода сигнала:

$$\delta_T = \pm(|\delta_{lx}| + |\delta_{кох}|)$$

$$\delta_{lx} = \frac{0.4b*100\%}{l}, \text{ где } b - \text{ ширина линии луча (в мм), а } l - \text{ длина отрезка, соответствующего}$$

измеряемой величине (в мм.)

Для осциллографа АСК-1021:  $\delta_{кох} = \pm 7\%$  и  $b = 0.6 \text{ (мм)}$

$$\delta_{lx} = \frac{0.4b*100\%}{l} = \frac{0.4*0.6*100\%}{48} = 0.5 \text{ (\%)}$$

Тогда:  $\delta_T = \pm(0.5 + 7) = \pm 7.5 \text{ (\%)}$

$$\Delta = \pm \left( T * \frac{|\delta_T|}{100\%} \right) = \pm \left( 9.6 * 10^{-3} * \frac{7.5}{100\%} \right) = \pm 0.72 \text{ 7.5 (мс)}$$

Значение периода с учётом погрешности:  $T = (9.60 \pm 0.72) * 10^{-3} \text{ (с)}$

Посчитаем погрешность измерения размаха сигнала:

$$\delta_V = \pm(|\delta_{ly}| + |\delta_{коу}|)$$

$$\delta_{ly} = \frac{0.4b*100\%}{l}, \text{ где } b - \text{ ширина линии луча (в мм), а } l - \text{ длина отрезка, соответствующего}$$

измеряемой величине (в мм.)

Для осциллографа АСК-1021:  $\delta_{коу} = \pm 5\%$

$$\delta_{ly} = \frac{0.4b*100\%}{l} = \frac{0.4*0.6*100\%}{32} = 0.75 \text{ (\%)}$$

Тогда:  $\delta_V = \pm(0.75 + 5) = \pm 5.75 \text{ (\%)}$

$$|\delta V| \quad 5.75\%$$

$$\Delta V = \pm (A_{PtP} * 100 \text{ — } \%) = \pm (16 * \text{ — } 100\%) = \pm 0.92 \text{ (В)}$$

Значение полного размаха с учётом погрешности:  $A_{PtP} = 16.00 \pm 0.92 \text{ (В)}$

б) Подав на ЦО сигнал с зажимов 1-1 и отрегулировав должным образом масштаб изображения, произведём измерение полного размаха и периода сигнала:

$T = 9.8 \text{ (мс)}$  - результат получен при масштабе 1 мс/дел.

$A_{PtP} = 7.6 \text{ (В)}$  - результат получен при масштабе 2 В/дел.

Абсолютная погрешность измерения  $T$  для ЦО определяется формулой:  $\Delta T = \pm(10^{-3} * \Delta T_{\text{макс}} + 10^{-4} * \Delta T + 10^{-9} * 0.6)$ , где  $\Delta T_{\text{макс}}$  - интервал времени, соответствующий ширине экрана при данном масштабе, установленном по горизонтали, а  $\Delta T$  - измеренный интервал времени.

$$\Delta T = \pm(10^{-3} * 1 * 10^{-3} + 10^{-4} * 9.8 * 10^{-3} + 10^{-9} * 0.6) = \pm 1.9806 \text{ (мкс)}$$

Значение периода с учётом погрешности:  $T = (9.8000 \pm 0.0019) * 10^{-3} \text{ (с)}$

Относительная погрешность измерения  $A_{PtP}$  для ЦО составляет  $\delta_V = \pm 3\%$

$$\Delta V = \pm (A_{PtP} * 100 \text{ — } |\delta V\%|) = \pm (7.6 * 100 \text{ — } 3\%) = \pm 0.228 \text{ (В)}$$

Значение полного размаха с учётом погрешности:  $A_{PtP} = 7.60 \pm 0.23 \text{ (В)}$

в) Среднеквадратическое значение, согласно произведённому с помощью ЦО измерению:

$C_{\text{ус RMS}} = 5.24 \text{ (В)}$

Относительная погрешность измерения  $C_{\text{ус RMS}}$  для ЦО составляет  $\delta_V = \pm 3\%$

$$\Delta C_{\text{ус RMS}} = \pm (C_{\text{ус RMS}} * 100 \text{ — } |\delta V\%|) = \pm (5.24 * 100 \text{ — } 3\%) = \pm 0.1572 \text{ (В)}$$

Среднеквадратическое значение с учётом погрешности:  $C_{\text{ус RMS}} = 5.24 \pm 0.16 \text{ (В)}$

**Результат:** а)  $T = 9.60 \pm 0.72 \text{ (мс)}$

$$A_{PtP} = 16.00 \pm 0.92 \text{ (В)}$$

б)  $T = 9.8000 \pm 0.0019 \text{ (мс)}$   $A_{PtP} =$

$$7.60 \pm 0.23 \text{ (В)}$$

в)  $C_{\text{ус RMS}} = 5.24 \pm 0.16 \text{ (В)}$

**Вывод:** Для измерения на аналоговом осциллографе нужно уметь правильно выбирать масштаб, чтобы уменьшить погрешность.

## Пункт 2

**Задание.** Измерить параметры импульсного напряжения на зажимах 2-2: длительность импульса, амплитуду импульса, амплитуду выброса, длительность фронта и длительность среза.

а) Измерить вышеперечисленные параметры с помощью АО;

б) Измерить вышеперечисленные параметры с помощью ЦО.

**Выполнение.** При подключении к осциллографу сигнал с зажимов 2-2, получим следующее изображение:

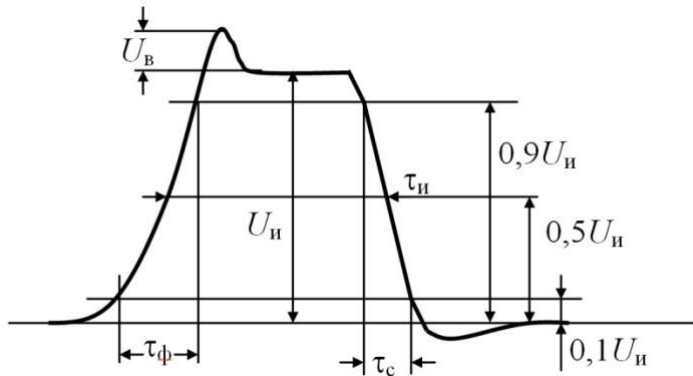


Рис.1. Показания осциллографа

а) Измерим линейные отрезки, соответствующие высоте плоской вершины импульса  $U_{\text{И}}$ , высоте выброса  $U_B$ , длительности импульса  $\tau_{\text{И}}$ . Для измерений  $\tau_{\text{Ф}}$  и  $\tau_{\text{С}}$  получим максимальную растяжку фронта и среза соответственно.

$$U_{\text{И}} = N * M = 4.0 * 2 = 8.0 \text{ (В)} \quad U_B = N * M =$$

$$0.8 * 2 = 1.6 \text{ (В)} \quad \tau_{\text{И}} = N * M = 9.4 * 5 * 10^{-6} =$$

$$47 \text{ (мкс)} \quad \tau_{\text{Ф}} = N * M = 3.4 * 0.1 * 10^{-6} = 0.34$$

$$\text{(мкс)} \quad \tau_{\text{С}} = N * M = 6.2 * 0.05 * 10^{-6} = 0.31$$

$$\text{(мкс)}$$

Для дальнейшего вычисления погрешностей необходимо найти углы  $\text{tg}(\alpha_1)$  и  $\text{tg}(\alpha_2)$  ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — углы, образованные фронтом импульса и срезом импульса с вертикальной линией шкалы):

$$\text{tg}(\alpha_1) = \text{tg}(3^\circ) = 0.0524 \quad \text{tg}(\alpha_2) =$$

$$\text{tg}(2^\circ) = 0.0349$$

Найдём погрешности измерения:

$\delta_{U_{\text{И}}} = \pm(|\delta_l| + |\delta_{\text{Кор}}| + |\delta_{\text{н}}|)$ , где  $\delta_{\text{н}}$  — предел допускаемой неравномерности переходной характеристики.

Для осциллографа АСК-1021:  $\delta_{\text{Кор}} = \pm 5\%$ ,  $\delta_{\text{н}} = \pm 2\%$

$$\delta_l = \frac{0.4b * 100\%}{1} = \frac{0.4 * 0.6 * 100\%}{40} = 0.6\%$$

Тогда:  $\delta_{UI} = \pm(|\delta_I| + |\delta_{Koy}| + |\delta_H|) = \pm(1 + 0.6 + 5) = \pm 6.6 \text{ (\%)}$

$$\Delta_{UI} = \pm \left( \frac{|\delta_{UI}|}{U_I} * 100\% \right) = \pm \left( \frac{6.6\%}{8} * 100\% \right) = \pm 0.528 \text{ (В)}$$

Значит,  $U_I$  с учётом погрешности:  $U_I = 8.00 \pm 0.53 \text{ (В)}$

$\delta_{UB} = \pm(|\delta_I| + |\delta_{Koy}| + |\delta_H|)$ , где  $\delta_H$  - предел допускаемой неравномерности переходной характеристики.

Для осциллографа АСК-1021:  $\delta_{Koy} = \pm 5\%$ ,  $\delta_H = \pm 2\%$

$$\delta_I = \frac{0.4b * 100\%}{8} + \frac{0.4 * 0.6 * 100\%}{8} = 3\%$$

Тогда:  $\delta_{UB} = \pm(|\delta_I| + |\delta_{Koy}| + |\delta_H|) = \pm(2 + 3 + 5) = \pm 10 \text{ (\%)}$

$$\Delta_{UB} = \pm \left( \frac{|\delta_{UB}|}{U_B} * 100\% \right) = \pm \left( \frac{10\%}{1.6} * 100\% \right) = \pm 0.16 \text{ (В)}$$

Значит,  $U_B$  с учётом погрешности:  $U_B = 1.60 \pm 0.16 \text{ (В)}$

$$\delta_{\tau_I} = \frac{0.3b * (\text{tg}(\alpha_1) + \text{tg}(\alpha_2))}{1} * 100\% = \frac{0.3 * 0.6 * (0.0524 + 0.0349)}{94} * 100\% = 0.0167 \text{ (\%)}$$

$$\Delta\tau = \pm \left( \tau_I * 100\% \right) = \pm \left( 47 * 10^{-6} * 0.0167\% \right) = \pm 0.007849 \text{ (мкс)}$$

Значит,  $\tau_I$  с учётом погрешности:  $\tau_I = 32.0000 \pm 0.0079 \text{ (мкс)}$

$$\pm(|\delta_I| + |\delta_{Kox}|)$$

$$\delta_I = \frac{0.4b * 100\%}{1} = \frac{0.4 * 0.6 * 100\%}{34} = 0.7059 \text{ (\%)}$$

$$\delta_{\tau\phi} = \pm(0.7059 + 7) = \pm 7.7059 \text{ (\%)}$$

$$\Delta_{\tau\phi} = \pm \left( \frac{|\delta_{\tau\phi}|}{\tau_\phi} * 100\% \right) = \pm \left( \frac{7.7059\%}{0.3410} * 100\% \right) = \pm 0.0262 \text{ (мкс)}$$

Значит,  $\tau_\phi$  с учётом погрешности:  $\tau_\phi = 0.340 \pm 0.026 \text{ (мкс)}$

$$\delta_{\tau c} = \pm(|\delta_I| + |\delta_{Kox}|)$$

$$\delta_I = \frac{0.4b * 100\%}{1} = \frac{0.4 * 0.6 * 100\%}{62} = 0.3871 \text{ (\%)}$$

$$\delta_{\tau c} = \pm(0.3871 + 7) = \pm 7.3871 \text{ (\%)}$$

$$\Delta = \pm \left( \tau_c * \frac{|\tau_c|}{\tau_c} \right) = \pm \left( 0.31 * 10^{-6} * \frac{7.3871}{100\%} \right) = \pm 0.0229 \text{ мкс}$$

Значит,  $\tau_c$  с учётом погрешности:  $\tau_c = 0.310 \pm 0.023$  (мкс)

б) Для ЦО произведём аналогичные измерения с помощью встроенных курсоров.

$U_{II} = 5.37$  (В) - результат получен при масштабе 10 В/дел.

$$|\delta U_{II}| \quad 3\%$$

$$\Delta U_{II} = \pm (U_{II} * 100\% \text{---}) = \pm (5.37 * 100\% \text{---}) =$$

$\pm 0.1611$  (В) Тогда,  $U_{II}$  с учётом погрешности:  $U_{II} = 5.37 \pm$

0.16 (В)

$U_B = 0.5$  (В) - результат получен при масштабе 5 В/дел.

$$|\delta U_B| \quad 3\%$$

$$\Delta U_B = \pm (U_B * 100\% \text{---}) = \pm (0.5 * 100\% \text{---}) = \pm 0.015 \text{ (В)}$$

Тогда,  $U_B$  с учётом погрешности:  $U_B = 0.500 \pm 0.015$  (В)

$\tau_{II} = 62$  (мкс) - результат получен при масштабе 10 мкс/дел.

$$\Delta \tau = \pm (10^{-3} * \Delta \tau_{\text{макс}} + 10^{-4} * \Delta \tau + 10^{-9} * 0.6) = \pm (10^{-3} * 10 * 10^{-6} + 10^{-4} * 62 * 10^{-6} + 10^{-9} * 0.6) = 0.0168 \text{ (мкс)}$$

Тогда,  $\tau_{II}$  с учётом погрешности:  $\tau_{II} = 62.000 \pm 0.017$  (мкс)

$\tau_{\Phi} = 7.5$  (мкс) - результат получен при масштабе 2 мкс/дел.

$$\Delta \tau = \pm (10^{-3} * \Delta \tau_{\text{макс}} + 10^{-4} * \Delta \tau + 10^{-9} * 0.6) = \pm (10^{-3} * 2 * 10^{-6} + 10^{-4} * 7.5 * 10^{-6} + 10^{-9} * 0.6) = 0.00335 \text{ (мкс)}$$

Тогда,  $\tau_{\Phi}$  с учётом погрешности:  $\tau_{\Phi} = 7.5000 \pm 0.0034$  (мкс)  $\tau_C =$

5.8 (мкс) - результат получен при масштабе 1 мкс/дел.

$$\Delta \tau = \pm (10^{-3} * \Delta \tau_{\text{макс}} + 10^{-4} * \Delta \tau + 10^{-9} * 0.6) = \pm (10^{-3} * 1 * 10^{-6} + 10^{-4} * 5.8 * 10^{-6} + 10^{-9} * 0.6) = 0.00218 \text{ (мкс)}$$

Тогда,  $\tau_c$  с учётом погрешности:  $\tau_c = 5.8000 \pm 0.0022$  (мкс)

**Результат:** а)  $U_{II} = 8.00 \pm 0.53$  (В)  $U_B = 1.60$

$$\pm 0.16 \text{ (В)} \quad \tau_{II} = 32.0000 \pm$$

$$0.0079 \text{ (мкс)} \quad \tau_{\Phi} = 0.340 \pm$$

$$0.026 \text{ (мкс)} \quad \tau_C = 0.310 \pm 0.023$$

$$\text{(мкс)}$$

$$\begin{aligned} \text{б) } U_{\text{И}} &= 5.37 \pm 0.16 \text{ (В)} \quad U_{\text{В}} = \\ &0.500 \pm 0.015 \text{ (В)} \quad \tau_{\text{И}} = 62.000 \\ &\pm 0.017 \text{ (мкс)} \quad \tau_{\text{Ф}} = 7.5000 \pm \\ &0.0034 \text{ (мкс)} \quad \tau_{\text{С}} = 5.8000 \pm \\ &0.0022 \text{ (мкс)} \end{aligned}$$

### Пункт 3

**Задание.** Измерить частоту напряжения на зажимах 3-3:

- С помощью АО двумя методами: косвенно, измерив период напряжения, и методом фигур Лиссажу;
- С помощью ЦО следующими методами: прямым, косвенным и методом фигур

Лиссажу. **Выполнение.**

а)

- Косвенно:  $T = 5.2 \text{ дел}, K_p = 50 \text{ мкс/дел}$

$$T = 5.2 * 50 * 10^{-6} = 260 \text{ мкс}$$

Посчитаем погрешность измерения периода сигнала:

$$\delta_T = \pm(|\delta_{\text{ЛХ}}| + |\delta_{\text{КОХ}}| + |\delta_{\text{Н}}|)$$

$$\delta_{\text{ЛХ}} = \frac{0.4b*100\%}{l}, \text{ где } b - \text{ ширина линии луча (в мм), а } l - \text{ длина отрезка, соответствующего}$$

измеряемой величине (в мм.)

Для осциллографа АСК-1021:  $\delta_{\text{КОХ}} = \pm 7\%$ ,  $\delta_{\text{Н}} = \pm 2\%$  и  $b = 0.6 \text{ (мм)}$

$$\delta_{\text{ЛХ}} = \frac{0.4b*100\%}{l} = \frac{0.4*0.6*100\%}{52} = 0.4615 \text{ (\%)}$$

$$\text{Тогда: } \delta_T = \pm(0.4615 + 7 + 2) = \pm 9.4615 \text{ (\%)}$$

$$\Delta_T = \pm \left( T * \frac{|\delta_T|}{100\%} \right) = \pm \left( 260 * 10^{-6} * \frac{9.4615}{100\%} \right) = \pm 24.5999 \text{ (мкс)}$$

Значение периода с учётом погрешности:  $T = (260 \pm 25) * 10^{-6} \text{ (с)}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{260 * 10^{-6}} = 3846.1538 \text{ Гц}$$

$$\Delta_f = \pm \left( \left( \frac{1}{T} \right)^2 * \Delta_T \right) = \pm \left( \left( \frac{1}{260 * 10^{-6}} \right)^2 * 24.5999 * 10^{-6} \right) = 363.9 \text{ Гц}$$

$$f = 3850 \pm 360 \text{ (Гц)}$$

- Метод фигур Лиссажу:  $f = 1331 \text{ Гц}$

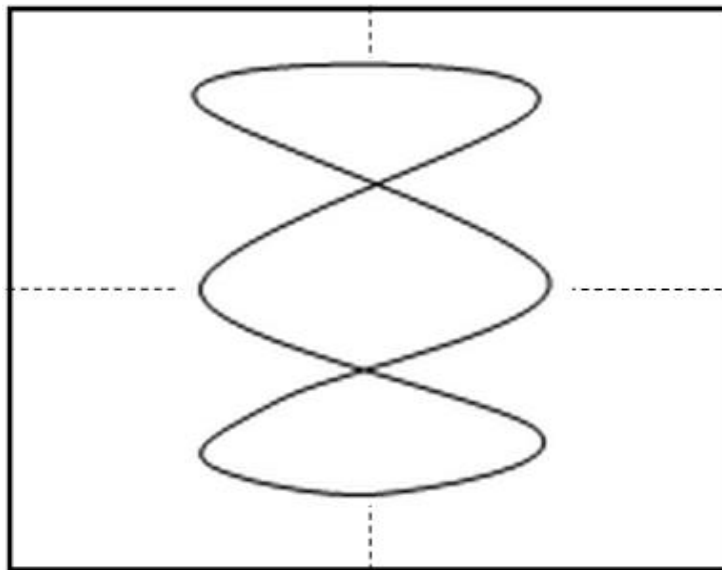


Рис. 2. Показания осциллографа

$$f_y = f_x * \frac{N_x}{N_y} = 1331 * \frac{2}{4} = 665.5 \text{ Гц},$$

где  $N_x$  - наибольшее число точек пересечения фигуры Лиссажу горизонтальной секущей, а  $N_y$  - вертикальной.

$$\Delta_f = \pm \left( f * \frac{1}{100\%} \right) = \pm (1331 * 0.01) = \pm 13.31 \text{ Гц}$$

Точность измерения частоты рассмотренным методом определяется точностью, с которой известна образцовая частота.

$$f_x = 1331 \pm 13 \text{ Гц}$$

$$f_y = 665.5 \pm 13 \text{ Гц}$$

б) Косвенно:  $T = 252.6 \text{ мкс}$ ,  $K_p = 0.1 \text{ мс/дел}$

$$\Delta_T = \pm (10^{-3} * \Delta_{T_{\text{макс}}} + 10^{-4} * \Delta T + 10^{-9} * 0.6) = \pm (10^{-3} * 0.1 * 10^{-3} + 10^{-4} * 252.6 * 10^{-6} + 10^{-9} * 0.6) = 0.1259 \text{ (мкс)}$$

Тогда,  $T$  с учётом погрешности:  $T = 252.60 \pm 0.13 \text{ (мкс)}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{252.6 * 10^{-6}} = 3958.8282 \text{ Гц}$$

$$\Delta_f = \pm \left( \left( \frac{1}{T} \right)^2 * \Delta_T \right) = \pm ((3958.8282)^2 * 0.1259 * 10^{-6}) = 1.9731 \text{ Гц}$$

$$f = 3958.8 \pm 1.9 \text{ (Гц)}$$

**Результат:** а)  $f = 3850 \pm 360 \text{ (Гц)}$

$$f_x = 1331 \pm 13 \text{ Гц}$$

$$f_y = 665.5 \pm 13 \text{ Гц}$$

б)  $f = 3958.8 \pm 1.9 \text{ (Гц)}$