

## Задача Капицы об осциллографе

И. И. Кравченко, 28 августа, 2024.

В заметке показывается простое решение одной из мини исследовательских задач П. Л. Капицы. Речь идет о задаче №59 из его рукописи, датированной 8 февраля 1948 г. Вот ее условие.

Оценить предел точности измерения интервала времени катодным осциллографом.

В элементарной теории работы катодного осциллографа подразумевается, что электроны в катодной трубке двигаются с такой скоростью, что время их пролета между пластинами отклоняющей (например, электростатической) системы много больше периода переменного напряжения на этих пластинах. Упрощенно говоря, за время, которое электрон летит из начала трубки в ее конец, изменение напряжения на отклоняющих пластинах пренебрежимо мало<sup>1</sup>. (Об устройстве катодного осциллографа см. статью Дж. Б. Джонсона «Катодный осциллограф» в журнале «Успехи физических наук» 1932 года.)

Итак, условие нормальной работы рассматриваемого осциллографа можно записать так:

$$T \gg \frac{L}{v},$$

где  $T$  — период исследуемого напряжения,  $L$  — длина трубки,  $v$  — скорость электрона в катодной трубке.

<sup>1</sup>Электроны, о которых идет речь, «вычерчивают» форму напряжения, врезааясь в стекло трубки.

Тогда предполагаем, что оценка минимального исследуемого периода:

$$T_{\min} \sim \frac{L}{v}.$$

Таким образом, точность измерения времени осциллографом можно повысить либо за счет укорачивания трубки, либо за счет увеличения скорости электронов. Практическая оценка величины  $L$  дает 0,1 м. Посмотрим, какого порядка значение  $T_{\min}$  можно получить при максимально возможном увеличении скорости электронов.

Электроны в начале трубки разгоняются электрическим полем до скорости

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U},$$

где  $e$  и  $m$  — заряд и масса электрона,  $U$  — ускоряющее напряжение.

Ускоряющее напряжение  $U$  по техническим причинам и в целях безопасности не превышает, как правило, 30 кВ. (См. книгу В. А. Шкунова и Г. И. Семеник «Широкополосные осциллографические трубки и их применение».)

Полагая грубо

$$e \sim 10^{-19} \text{ Кл},$$

$$m \sim 10^{-31} \text{ кг},$$

$$U \sim 10^4 \text{ В},$$

максимальное значение скорости можно численно оценить так:

$$v_{\max} \sim \sqrt{\frac{10^{-19}}{10^{-31}}} 10^4 \text{ м/с} = 10^8 \text{ м/с}.$$

Стало быть, численная оценка величины  $T_{\min}$  дает

$$T_{\min} \sim \frac{0,1}{10^8} \text{ с} = 10^{-9} \text{ с}.$$