

## 2 Номенклатура метрологічних характеристик цифрових осцилографів та методи їх визначення

Єдиним документом який регламентує номенклатуру параметрів осцилографів, метрологічні характеристики яких підлягають контролю при повірці та перелік операцій повірки, в даний момент є ДСТУ ГОСТ 8.311:2009 "ГСИ. Осциллографы электронно-лучевые. Методы и средства поверки". Цей нормативний документ був розроблений біля 30 років тому і поширюється на аналогові осцилографи, які мають похибки коефіцієнтів розгортки і відхилення порядку  $\pm 5\%$  і не враховує специфіку цифрової техніки.

Осцилограф, як аналоговий так і цифровий, по суті це засіб вимірювання для графічного відображення залежності напруги від часу, який складається з вертикальної і горизонтальної відхиляючих систем і графічного екрану. В процесі випробувань і повірки параметри цих систем повинні бути визначені.

Всі параметри осцилографа, як засобу вимірювань, поділяються на дві групи:

- Основні параметри.
- Додаткові параметри.

До основних параметрів відносяться:

- Значення коефіцієнтів відхилення, похибка коефіцієнта відхилення або пов'язана з ним похибка вимірювання напруги.
- Значення коефіцієнтів розгортки, похибка коефіцієнта розгортки або пов'язана з нею похибка вимірювання часових інтервалів.
- Параметри перехідної характеристики (ПХ), включаючи:
  - час наростання;
  - викид;
  - нерівномірність;
  - час встановлення.
- Параметри входу каналу вертикального відхилення, включаючи:

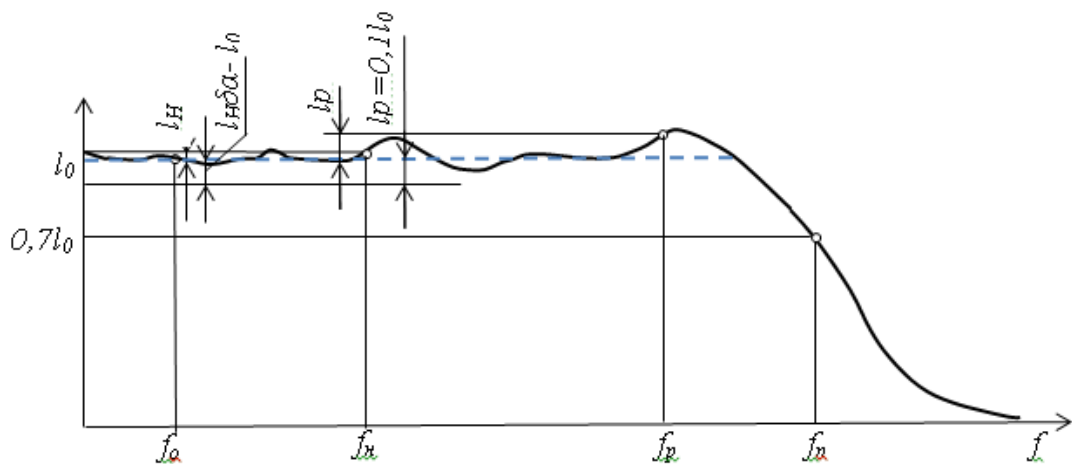
- активний вхідний опір;
- вхідна ємність;
- допустиме сумарне значення постійної та змінної напруги.
- Параметри синхронізації, включаючи:
  - діапазон частот;
  - граничні рівні.

Але і це був би не повний список всіх параметрів. Повністю він вказаний в [4]. Нижче розглянемо деякі основні і додаткові параметри, стосовно до цифрових осцилографів.

Для вертикальної системи такими параметрами які впливають на технічні можливості і якість відтворення досліджуваного сигналу є коефіцієнт відхилення (чутливість), смуга пропускання і перехідна характеристика (ПХ).

У більшості аналогових осцилографів похибка вимірювання напруги становить 3% і це в більшій мірі обумовлено тим, що вимірювання оператором проводяться візуально по розподілам екрану (навіть в тому випадку якщо використовуються маркерні вимірювання). Найгірші зразки можуть мати похибку вимірювання до 8%. Цифрові осцилографи, використовуючи сучасні алгоритми проведення вимірювань, дозволяють повністю виключити помилку людського фактору методом автоматичних вимірювань - результат відображається на екрані осцилографа і не дає приводу для двозначного тлумачення. Але якщо у аналогового осцилографа не має різниці між вимірюванням величини постійної і змінної напруги, то у сучасних цифрових осцилографів ці поняття розділені. Причина в різних алгоритмах проведення вимірювання. Найбільш критичним, з точки зору визначення похибки, є постійна напруга. Вона визначається як абсолютне відхилення лінії розгортки від нульової базової лінії і її похибка залежить від похибки коефіцієнта відхилення осцилографа, похибки визначення нульової лінії і похибки визначення абсолютного відхилення лінії розгортки при впливі постійної напруги. При проведенні порівняльного аналізу

метрологічних характеристик ЦО основних фірм-виробників, наведених в додатку 1, у більшості ЦО похибка вимірювання постійної напруги становить 1,5% - 2%, а похибка вимірювання змінної напруги 1% - 1,5% (а при використанні джерел опорного зміщення до 0,5%). Це обумовлено тим, що вимірювання змінної напруги алгоритмами цифрових осцилографів розглядається як вертикальні вимірювання між двома точками і, відповідно, не мають потреби в прив'язці до нульової лінії, що дозволяє зменшити похибку вимірювання розмаху сигналу.



$f_0$  - опорна частота;  $f_n$  - нормальний діапазон;  $f_p$  - розширений діапазон;  $f_n$  - верхня межа смуги пропускання;  $l_0$  - значення АЧХ на опорній частоті;  $l_n$  - абсолютне значення нерівномірності в нормальному діапазоні;  $l_p$  - абсолютне значення нерівномірності в розширеному діапазоні;  $\delta\alpha$  - відносна похибка коефіцієнта відхилення.

Рис. 2.1. Параметри амплітудно-частотної характеристики осцилографа

Якість відтворення імпульсного сигналу часто характеризується параметрами перехідної характеристики, до яких відносяться:

- час наростання перехідної характеристики  $\tau_n$ ;
- величина викиду  $\delta_i$  на ПХ;
- спад вершини зображення імпульсу  $Q$ .

Час наростання перехідної характеристики  $\tau_n$  визначають як час наростання зображення імпульсу, протягом якого відбувається відхилення променя від рівня 0,1 до рівня 0,9 амплітуди імпульсу (рис. 2.2, а).

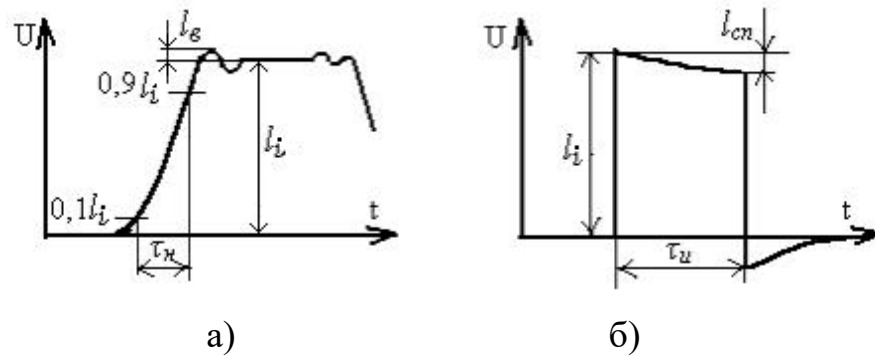


Рис.2.2. Визначення параметрів перехідної характеристики

Знаючи параметри ПХ, можна визначити параметри АЧХ, і навпаки. Це пов'язано з тим, що для вхідних підсилювачів ЦО в яких ефект падіння АЧХ до рівня (-3 дБ) описується теоретично за допомогою фільтра Гаусса, час наростання ПХ і смуга пропускання пов'язані наступною залежністю:

$$f_B \approx \frac{350}{\tau_H}, \quad (2.7)$$

де  $f_B$  - верхня гранична частота смуги пропускання виражена в мегагерцах;

$\tau_H$  - час наростання в наносекундах.

Основним параметром горизонтальної системи для осцилографів є коефіцієнт розгортки.

Тривалість розгортки - це час прямого ходу розгортки, за яку промінь пробігає всю робочу частину екрану в горизонтальному напрямку.

Тривалість прямого ходу розгортки  $T_n$  задається у вигляді коефіцієнтів розгортки

$$K_p = \frac{T_n}{l_T}, \quad (2.8)$$

де  $l_T$  - довжина відрізка горизонтальної осі, відповідна тривалості  $T_n$ .

В ЦО основою для горизонтальної системи є опорний кварцовий генератор, за допомогою якого формуються всі значення коефіцієнтів розгортки і затримка. Однак, похибка кварцового генератора становить від 0,01% до 0,001%, а вихід опорної частоти відсутній. Перевірити, те що

похибка коефіцієнтів розгортки ЦО складає таке значення, неможливо через обмежену кількість відображуваних точок на екрані (не більше 1000 точок, що відповідає похибці через роздільну здатність 0,1%).

Тому для ЦО визначення меж відносної похибки по частоті внутрішнього опорного генератора осцилографа і всієї горизонтальної системи визначають побічно, використовуючи метод прямих вимірювань частоти биття нульових коливань сигналів АЦП, викликаних різницею частоти внутрішнього опорного генератора осцилографа і опорної частоти, що подається на вхід осцилографа.

Таблиця 2.1. Основні метрологічні характеристики цифрових осцилографів

Номер за порядком	Назва метрологічної характеристики	Діапазон вимірювання параметру	Допустимі значення похибки або граничні значення параметрів які визначаються
1	Канал вертикального відхилення		
1.1	Коефіцієнт відхилення	1 мВ/под - 100 В/под	$\pm 1 \%$
1.2	Вимірювання постійної напруги	0-300 В	$\pm 0,5 \%$
1.3	Вимірювання змінної напруги	0-300 В	$\pm 1 \%$
1.4	Вимірювання частоти	1 Гц - 200 МГц	$\pm 0,005 \%$
1.5	Смуга пропускання періодичного сигналу на рівні - 3 дБ	5 Гц - 200 МГц	не менше
1.6	Час наростання перехідної характеристики		1,75 нс
2	Канал горизонтального відхилення		
2.1	Коефіцієнт розгортки	1 нс/под - 120 с/под	$\pm 0,1 \%$
2.2	Вимірювання часових інтервалів	0-5000 с	$\pm 0,0001t_x$
2.3	Частоти внутрішнього опорного генератора	10 МГц	$\pm 4 \times 10^{-6}$
3	Рівень зовнішнього запуску розгортки і запуску по відео сигналу	0,12 В 1,2 В	не менше
4	Вхідний активний опору	1 МОм	$\pm 1\%$
5	Вхідна ємність	12-15 пФ	$\pm 2$ пФ