

Якунін О.А. інженер каф. ЕМ,  
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

## СУЧАСНІ ОСЦИЛОГРАФИ: ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

*В сучасних умовах підвищена увага до проведення точних досліджень, що мають за мету створення енергоефективних методик, пристроїв та технологій. При цьому слід використовувати сучасні прилади, такі як осцилографи. В рамках дослідження проводиться аналіз сучасних осцилографів, особливостей проведення вимірів, їх переваг та недоліків з точки зору користувача. Виділено основні та додаткові параметри осцилографів, основну увагу приділено цифровим запам'ятовуючим осцилографам. Надано рекомендації користувачам для вибору та користування осцилографами.*

**Ключові слова:** осцилограф, аналоговий, цифровий, аналогово-цифровий, параметри, похибка

### Постановка проблеми

Сучасні осцилографи є незамінними пристроями що дозволяють з високою точністю провести виміри та аналізувати досліджувані в часі процеси. Такі пристрої дозволяють проводити запис вимірних величин зі змінною частотою, тобто можна отримати як загальний характер протікаючі процесів, так й аналізувати складні перехідні режими й поведінку величин при аналізі приладів й новітніх розробок.

Проте користувач не завжди має ясне представлення про принципи вибору приладу, а також – принципи його роботи та загалом – основних помилок при використанні осцилографа.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням використання та вибору осцилографа, згідно потреби користувача, а також висвітленню особливостей роботи з сучасними осцилографами, таким як «основні характеристики», «підвищення точності», «основні помилки» приділяється увага як вітчизняними так і закордонними вченими та дослідниками [1-8].

**Мета статті.** Освітити особливості роботи з сучасними осцилографами, їх переваги та недоліки.

### Виклад основного матеріалу

Залом існує три типи осцилографів [1,2] - аналогові, цифрові і аналогово-цифрові, вони призначені для відображення сигналів в декартовій системі координат, де по осі Х знаходиться час розгортки, а по осі Y знаходиться амплітуда вхідного сигналу, отже будь-який осцилограф, перш за все, має два основні параметри і ці параметри зв'язані з вимірюванням напруги і часу.

Всі параметри осцилографа, як засобів вимірювання, поділяються на дві групи [1,2], а саме:

- основні параметри;
- додаткові параметри.

*До основних параметрів відносяться:*

- значення коефіцієнтів відхилення напруги, похибка коефіцієнта відхилення напруги або пов'язана з ним похибка вимірювання напруги;
- значення коефіцієнтів розгортки, похибка коефіцієнта розгортки або пов'язана з ним похибка вимірювання часових інтервалів;
- параметри перехідної характеристики (ПХ) (час наростання; викид; нерівномірність; час встановлення(стабілізації));
- параметри входу каналу вертикального відхилення (активний вхідний опір, вхідна ємність, КСВН, допустиме сумарне значення постійної і змінної напруг);
- параметри синхронізації (діапазон частот, граничні рівні, нестабільність).

*До додаткових параметрів відносяться:*

- параметри АЧХ (смуга пропускання, нормальний діапазон частот, розширений діапазон частот, опорна частота);
- коефіцієнт розв'язку між каналами.

Для цифрових осцилографів до додаткових параметрів відноситься частота дискретизації та об'єм внутрішньої пам'яті.

#### 1. Похибка коефіцієнта відхилення та пов'язана з ним похибка вимірювання напруги.

У більшості аналогових осцилографів похибка вимірювання напруги складає 3 % [1,2,5,6] і це більшою мірою обумовлено тим, що вимірювання оператором проводяться візуально по діленнях екрану (навіть тоді, коли використовуються маркерні вимірювання). Деякі осцилографи можуть мати похибку вимірювання у 8%, при цьому аналогові осцилографи з похибкою меншою за 1,5 % практично не зустрічаються. Цифрові осцилографи, використовуючи сучасні алгоритми проведення вимірювань, дозволяють повністю виключити вклад

людського чинника в похибку вимірювань шляхом реалізації автоматичного вимірювання. В такому разі результат, що відображається на екрані осцилографа, не дає приводу для двозначного тлумачення. При цьому, якщо у аналогового осцилографа не розділяються вимірювання величини постійної і змінної напруг, то у сучасних цифрових осцилографів ці поняття розділені. Причина полягає в різних алгоритмах реалізації вимірювання. Найбільш проблемною з точки зору визначення похибки, є постійна напруга. Вона визначається як абсолютне відхилення лінії розгортки від нульової базової лінії і залежить від похибки коефіцієнта відхилення осцилографа, похибки визначення нульової лінії і похибки визначення абсолютного відхилення лінії розгортки при дії постійної напруги. У більшості цифрових осцилографів похибка вимірювання постійної напруги складає 1,5 % - 2 % . Тут і далі ми опускаємо складові частини похибки, залежні від форми або величини вхідного сигналу, будемо вести розмову тільки про інструментальну похибку осцилографа.

## 2. Похибка коефіцієнта розгортки та пов'язана з ним похибка вимірювання часових інтервалів.

У більшості аналогових осцилографів похибка коефіцієнта розгортки складає від 3% до 15% це обумовлено тим, що ланцюги які задають час розгортки реалізовані на аналоговій елементній базі. Регулювання частоти розгортки здійснюється RC-ланцюгами, що не дає можливості досягти високої точності настроювання частоти генератора розгортки. Відповідно похибки вимірювання часових інтервалів аналогових осцилографів складають ті ж 3 - 15 %.

Іншим способом реалізований генератор розгортки цифрового осцилографа. Його основою є кварцевий генератор, який навіть без термостабілізації дає похибку установки частоти  $1 \cdot 10^{-6}$ , що цілком достатньо для виконання завдань, що стоять перед цифровим осцилографом. І крім того, за весь термін служби цифрового осцилографа, він може не потребувати коректування коефіцієнтів розгортки. Похибка вимірювання часових інтервалів цифровим осцилографом лежить в межах від 0,01 % до  $5 \cdot 10^{-6}$ , що загалом відповідає вимірюванню частоти якісним частотоміром. Але, на відміну від вимірювання напруги, вказані похибки вимірювання часових інтервалів справедливі лише при ретельному дотриманні умов, визначених виробником. Так, наприклад, компанія Tektronix для осцилографів Tds-5000 серії при вимірюванні часових інтервалів періодичного сигналу вказує наступні умови:

- розмах сигналу не менше за 5 поділок;

- включено усереднювання вхідного сигналу 100 разів;
- включена інтерполяція  $\sin(x) / x$ ;
- результат вимірювання зчитується в режимі накопичення статистики при кількості вимірювань не менше 1000.

Компанія Lecroy йде аналогічним шляхом, за винятком того, що не пропонує використовувати усереднювання сигналу.

## 3. Параметри перехідної характеристики

Оскільки будь-який періодичний сигнал крім амплітуди характеризується частотою, то важливим є питання узгодження частотних характеристик вхідного тракту осцилографа з вхідним сигналом. Якщо на малих розгортках не буде забезпечена лінійність розгортки осцилографа – отримаємо спотворення форми сигналу і відповідно велику помилку при вимірюванні часових інтервалів, якщо тракт відхилення має недостатню смугу пропускання або велику нерівномірність АЧХ – знову отримаємо спотворення форми сигналу і відповідно велику помилку при вимірюванні напруги.

За межами смуги пропускання АЧХ осцилографа не падає різко вниз [1], а знижується з деякою крутизною, все ще дозволяючи більш менш досліджувати вхідний сигнал. Оскільки АЧХ осцилографа в основному оцінюється для синусоїдального сигналу, то для комплексної оцінки трактів вертикального і горизонтального відхилення осцилографа, справедливої для широкого набору форм вхідних сигналів, вводяться параметри перехідної характеристики (ПХ) осцилографа.

Оцінка цих параметрів заснована на аналізі того, як осцилограф відтворює форму сигналу з нескінченним спектром. Таким випробувальним сигналом є короткий прямокутний імпульс, з великою шпаруватістю і малим часом наростання (або спаду). Очевидно, що за рахунок кінцевої смуги пропускання ЦЗО, частина гармонік буде вирізана зі спектру сигналу і це призведе до збільшення часу наростання і часу встановлення імпульсу, що відображається на екрані осцилографа, а за рахунок нерівномірності АЧХ частина гармонік змінить свою амплітуду, що приведе до збільшення викиду на вершині імпульсу.

Отже, основними складовими параметра перехідної характеристики осцилографа є:

- час наростання (спаду) - час протягом якого імпульс змінює своє значення від 0,1 до 0,9, який вимірюється в секундах;
- викид на вершині (спаді) - процентне відношення значення перевищення амплітуди при сталому імпульсі до амплітуди імпульсу, який вимірюється у відсотках;

- час встановлення - час протягом якого коливальні процеси на вершині імпульсу досягають 1% амплітуди імпульсу.

Оскільки саме параметри перехідної характеристики ЦЗО визначаються «граничним» методом (не більше ніж), то при визначенні саме цих параметрів і виникає декілька методичних помилок вимірювання.

*Перша поширена помилка.* Для аналізу параметрів ПХ необхідний імпульс з малим часом наростання. Більшість «вимірювачів» (фізичні особи) стараються для цієї мети використовувати якомога крутіший фронт, вважаючи, що «чим крутіше - тим краще». Але імпульс з крутішим фронтом має ширший частотний спектр, в якому амплітуда вищих гармонік затухає слабше.

В наслідок проведених досліджень [2], при використанні калібратору Fluke-9500, що здатен формувати сигнали для вимірювання параметрів ПХ з різним часом наростання, було сформовано два вихідних сигнали 1 МГц, з рівнем 800 мВ: 1) часом наростання 500 пс; 2) з часом наростання 150 пс.

В результаті аналізу відповідних спектрограм зроблено ряд висновків. По перше більший залишковий рівень гармонік імпульсу спостерігався при часі наростання 150 пс (в порівнянні з імпульсом 500 пс) після фільтрації цих гармонік смугою пропускання осцилографа, приводе до великих спотворень сигналу на екрані осцилографа. Перш за все це приведе до істотного збільшення викиду ПХ, що помилково сприймається як велика нерівномірність АЧХ осцилографа. А насправді - причина спотворень сам випробувальний сигнал.

По друге для коректної оцінки викиду ПХ співвідношення часу наростання випробувального сигналу і часу наростання ПХ осцилографа повинне бути не менше 0,2. Інакше викид ПХ ЦЗО може бути помилково збільшений в 1,5-1,7 разу [4]. Так наприклад для осцилографа із смугою пропускання 100 МГц (час наростання 3,5 пс), використання імпульсу з часом наростанням 200 пс неприпустимо - співвідношення складає 0.057.

Отже з результатів вимірювань приведених [ 2] зрозуміло, що при зменшенні часу наростання імпульсу, викид ПХ для одного і того ж осцилографа збільшується. Тобто, використовувати тільки імпульс з крутим фронтом для оцінки параметрів ПХ осцилографів некоректно.

*Друга поширена помилка.* При вимірюванні часу наростання, час наростання випробувального імпульсу повинен бути менше часу наростання ПХ осцилографа, співвідношення повинне бути не більше 0,3. Оскільки в даний час осцилографи мають достатньо широку смугу частот, аналогові до 5 ГГц, а цифрові до 15 ГГц (є зважаючи на осцилографи реального часу), то підібрати пристрій,

що формує імпульс з таким коротким фронтом не просто. Більшість калібраторів осцилографів для вимірювання часу наростання мають власний час наростання 25 – 1000 пс, що зіставно з часом наростання ПХ осцилографів. В цьому випадку розрахунок часу наростання ПХ проводиться по формулі:

$$t_{\text{н\ddot{o}}} = \sqrt{t_{\text{а\ddot{e}i}}^2 - t_{\text{e}}^2},$$

де  $t_{\text{осц}}$  – час наростання ПХ осцилографа;  $t_{\text{вим}}$  – вимірний час наростання ПХ осцилографа;  $t_{\text{к}}$  – час наростання імпульсу калібратора.

Отже, для коректної оцінки параметрів ПХ необхідний випробувальний імпульс з параметрами, що зазначено раніше при описі двох поширених помилок.

#### 4. Амплітудно-частотна характеристика

У випадку, коли ми розглядаємо осцилограф як приладдя поолвдення коректних вимірювань, то слід говорити про достовірність вимірювань, при цьому похибка вимірювання часових інтервалів від форми АЧХ не залежить.

Опорна частота - це частота, по відношенню до якої проводиться визначення смуги пропускання осцилографа. Найчастіше вона складає не менше 1/20 смуги пропускання осцилографа.

Згідно до паспортих даних, похибка вимірювання напруги в точці смуги пропускання повинна скласти 30 %! Але і в інших точках АЧХ не схожа на пряму лінію, паралельну осі X, – у неї є нерівномірність. При описі похибки коефіцієнта відхилення (для цифрових осцилографів) ми згадували величини порядку 1,5%. Різниця між оцінками похибки 1,5% та 30% значна, тому в термінології АЧХ осцилографів вводиться поняття нормальна область частот. Це та область частот, в якій похибка коефіцієнта відхилення не перевищує встановлених значень, наприклад 1,5%.

Іншими словами - нормальна область частот - це той діапазон частот, в якому можливе проведення гарантовано точних (тобто з похибкою гарантовано не перевищуючи такову у вказаному діапазоні) вимірювань амплітуди сигналу. Це твердження справедливе або для синусоїдального сигналу з частотою, менше межі нормальної смуги частот, або для сигналу складної форми, у якого частота 5-ої гармоніки менше опорної частоти. Зрозуміло, що при розширенні смуги викорисовуємих частот (смуги пропускання), похибка вимірювання зростає.

Не завжди користувачеві необхідні особливо точні вимірювання амплітуди. Для цього випадку вводиться поняття «Розширена смуга частот». Розширена смуга частот – це та область частот, в якій похибка коефіцієнта відхилення гарантовано не перевищує 10%.

Смуга пропускання – та область частот, на межі якої похибка коефіцієнта відхилення не перевищує 30% від похибки коефіцієнта відхилення в опорній смузі частот.

На жаль, не всі виробники повністю вказують параметри АЧХ осцилографів. Тому визначення нормальної і розширеної смуги частот можливе при проведенні калібрування – коли визначаються фактичні параметри осцилографа, навіть ті, які не нормує виробник.

### Висновки

При виборі й використанні сучасних осцилографів слід обережно ставитись до рекламованих переваг та оцінювати прилади за тими характеристиками, які в першу чергу необхідні при проведенні досліджень.

### Література

1. Матвиенко А.Б. Основные характеристики современных осциллографов [Текст] / А.Б. Матвиенко // Электронные компоненты – 2004 - №11 – с.152
2. Дедюхин А.А. Основные характеристики современных осциллографов [Текст] / А.А. Дедюхин [электронный ресурс] . – режим доступа: [http://www.prist.ru/info.php/articles/general\\_ch\\_modern\\_oscilloscopes.htm](http://www.prist.ru/info.php/articles/general_ch_modern_oscilloscopes.htm)
3. Дедюхин А.А. Измерения в цифровых осциллографах и обработка результатов измерения [электронный ресурс] . – режим доступа:

Якунин А.А. инженер кафедры ЭМ,  
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова

### Современные осциллографы: особенности работы, преимущества и недостатки

В современных условиях повышенное внимание к проведению точных исследований, имеющих целью создание энергосберегающих методик, устройств и технологий. При этом следует использовать современные приборы, такие как осциллографы. В рамках исследования проводится анализ современных осциллографов, особенностей проведения измерений, их преимуществ и недостатков с точки зрения пользователя. Выделены основные и дополнительные параметры осциллографов, основное внимание уделено цифровым запоминающим осциллографам. Дано рекомендации пользователям для выбора и использования осциллографов.

**Ключевые слова:** осциллограф, аналоговый, цифровой, аналогово-цифровой, параметры, погрешность

[http://www.prist.ru/info.php/articles/general\\_ch\\_modern\\_oscilloscopes.htm](http://www.prist.ru/info.php/articles/general_ch_modern_oscilloscopes.htm)

4. Evaluating Oscilloscope Sample Rates vs. Sampling Fidelity: How to Make the Most Accurate Digital Measurements [электронный ресурс] . – режим доступа: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-5732EN.pdf>
5. Лэйли Р. Шесть способов по повышению точности измерений с помощью высококачественных осциллографов [Текст] / Роберт Лэйли // Компоненты и технологии № 8, 2009, С. 21-25
6. Хэнкок Дж. Частота дискретизации осциллографа и точность измерений [Текст] / Дж. Хэнкок // Электронные компоненты, 2007, №2, с.4
7. Хэнкок Дж. Выбор осциллографа с оптимальной полосой пропускания [Текст] / Дж. Хэнкок// Электронные компоненты, 2007 №10, С. 78 - 82
8. Johnson H., Graham M. High-Speed Digital Design [Text] / H. Johnson, M. Graham // A Handbook of Black Magic. Prentice Hall Inc., New Jersey, 1993.

**Рецензент:** ХАРЧЕНКО Віктор Федорович

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, доктор технічних наук, професор.

**Автор:** ЯКУНІН Олексій Анатолійович

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, інженер.

Yakunin AA engineer of the department EM

### Modern oscilloscopes: features of the advantages and disadvantages

In modern conditions of increased attention to an accurate research with the goal to the creation of energy efficient techniques, devices, and technologies. Thus it is necessary to use modern instruments such as oscilloscopes. The study analyzes the modern oscilloscope measurement features, their advantages and disadvantages from the point of view of the user. The basic and additional parameters oscilloscopes, focuses on digital storage oscilloscope.

**Keywords:** oscilloscope, analog, digital, analog-to-digital parameters, error