

Лекція 9

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІ ОСЦИЛОГРАФИ

Електронно-променевий осцилограф – прилад для візуального спостереження і фотографування електричних процесів, представлених у формі напруги, а також вимірювання різних параметрів сигналів: напруги, частоти, фазових зсувів, коефіцієнта амплітудної модуляції, інтервалів часу та ін. Широке розповсюдження електронно-променевих осцилографів обумовлене їх достоїнствами: великим вхідним опором, безінерційністю у широкій смузі частот, високою чутливістю, широким динамічним діапазоном.

9.1 Універсальні електронно-променеві осцилографи

Універсальні електронно-променеві осцилографи (УЕПО) є осцилографами реального часу, в яких зображення сигналу на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ) виникає одночасно з перебуванням сигналу на вході приладу. Більшість з УЕПО є порівняно низькочастотними зі смугою пропускання до 10...35 МГц. Деякі з осцилографів, наприклад, С1-120, С1-121, мають смугу пропускання 0...100 МГц. Найбільш швидкодіючий осцилограф типу С1-75 дозволяє проводити дослідження сигналів в діапазоні частот до 250 МГц.

Структурні схеми УЕПО реального часу досить різноманітні. Проте всі вони мають однакові за призначенням функціональні блоки, до яких відносяться блок ЕПТ, канал вертикального відхилення променя (канал Y), канал горизонтального відхилення променя (канал X), канал керування яскравістю променя (канал Z), калібратор, блок живлення.

Блок ЕПТ (рис. 9.1) являє собою скляну колбу, в якій створено вакуум. Група електродів, що включає катод K з ниткою розжарювання HP , модулятор M і аноди $A1$ і $A2$, утворює так звану електронну гармату.

Поверхню катода покривають оксидним шаром, який легко віддає електрони при нагріванні ниткою розжарювання HP . Модулятор M виконується у вигляді металевого циліндра з невеликим отвором в центрі основи і оточує катод. На модулятор подається негативна (по відношенню до катода) і регульована напруга. Під дією цієї напруги електрони, що вилітають з поверхні катода, притискуються до поздовжньої осі трубки, тобто модулятор здійснює первинне фокусування потоку електронів. Крім того, змінюючи потенціометром R_1 (позначеним на передній панелі осцилографа написом «Яскравість») потенціал модулятора, можна регулювати кількість електронів, що утворюють електронний промінь, а отже яскравість зображення на екрані ЕПТ. У багатьох осцилографів передбачається можливість подачі на модулятор (вхід Z) напруги від зовнішнього джерела з метою модуляції щільності електронного променя.

За допомогою двох анодів, на які подаються позитивні відносно катода напруги, здійснюється розгін і фокусування пучка електронів. Змінюючи потенціометром R_3 (рукояткою «Фокус») напругу на аноді $A1$, підбирають таку форму поля між анодами $A1$ і $A2$, при якій електронний промінь фокусується в точку саме на поверхні екрану ЕПТ.

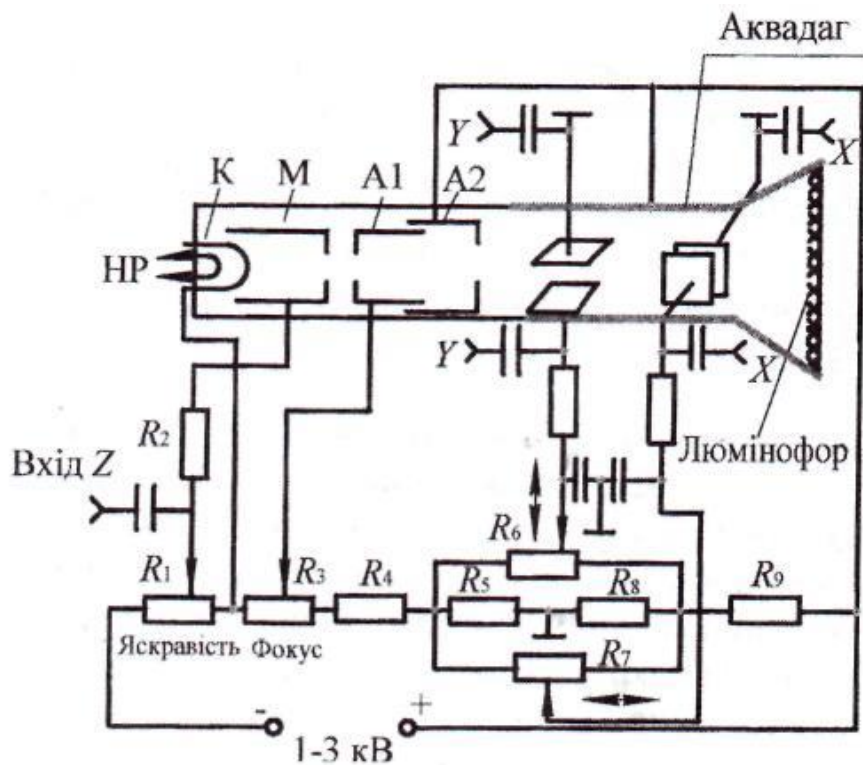


Рисунок 9.1 – Схема блоку електронно-променевої трубки

Екран ЕПТ покривається тонким шаром люмінофору – речовини, здатної світитися під ударами електронів. Люмінофор наноситься на внутрішню поверхню торцевої частини скляної колби. Всі люмінофори в більшому чи меншому ступені характеризуються здатністю до післясвітіння, яке оцінюється часом від моменту припинення збудження екрана до моменту, коли яскравість світіння зображення зменшиться до значення, яке дорівнює 10 % початкової яскравості.

Електрони променя, бомбардуючи екран, вибивають з нього вторинні електрони. Завдяки цьому виникає небезпека накопичення на екрані негативних зарядів. Для відведення вторинних електронів на внутрішню поверхню трубки наносять електропровідний шар графіту, так званий аквадаг, який електрично з'єднують з анодом А2. Графітове покриття, крім того, екранує електронний промінь від електричних і магнітних полів, існуючих поза трубкою.

Відхиляюча система складається з двох пар пластин, які розміщуються у взаємно перпендикулярних площинах. При подачі на будь-яку пару пластин постійної напруги електронний промінь відхиляється у бік позитивно зарядженої пластини. Тому, змінюючи за допомогою потенціометрів R_6 (\updownarrow) і R_7 (\leftrightarrow) постійні напруги, які подаються на вертикально та горизонтально відхиляючі пластини, можна переміщувати світлову точку у будь-який край екрана.

Якщо до вертикально відхиляючих пластин прикласти постійну напругу U_y , то можна спостерігати на екрані відхилення променя по вертикалі від початкового положення на величину y . Відношення цього відхилення до постійної напруги, яка викликала відхилення променя, є чутливістю ЕПТ по вертикалі $S_y = y/U_y$. Аналогічно чутливість трубки по горизонталі визначається

відхиленням x променя на екрані від початкового положення під дією напруги U_x , яка прикладається до горизонтально відхиляючих пластин $S_x = x/U_x$.

Чутливість трубок, що використовуються в УЕПО, становить 0,2...0,5 мм/В. Тому, щоб одержати, наприклад, відхилення на екрані світлової точки на 50 мм, треба до пластин прикласти напругу 250...100В.

Канал вертикального відхилення (канал Y) включає вхідний атенюатор A_t , ширококутовий підсилювач ШП, лінію затримки ЛЗ і підсилювач вертикального відхилення ПВВ, вихід якого підключається до вертикально відхиляючих пластин ЕПТ (рис. 9.2).

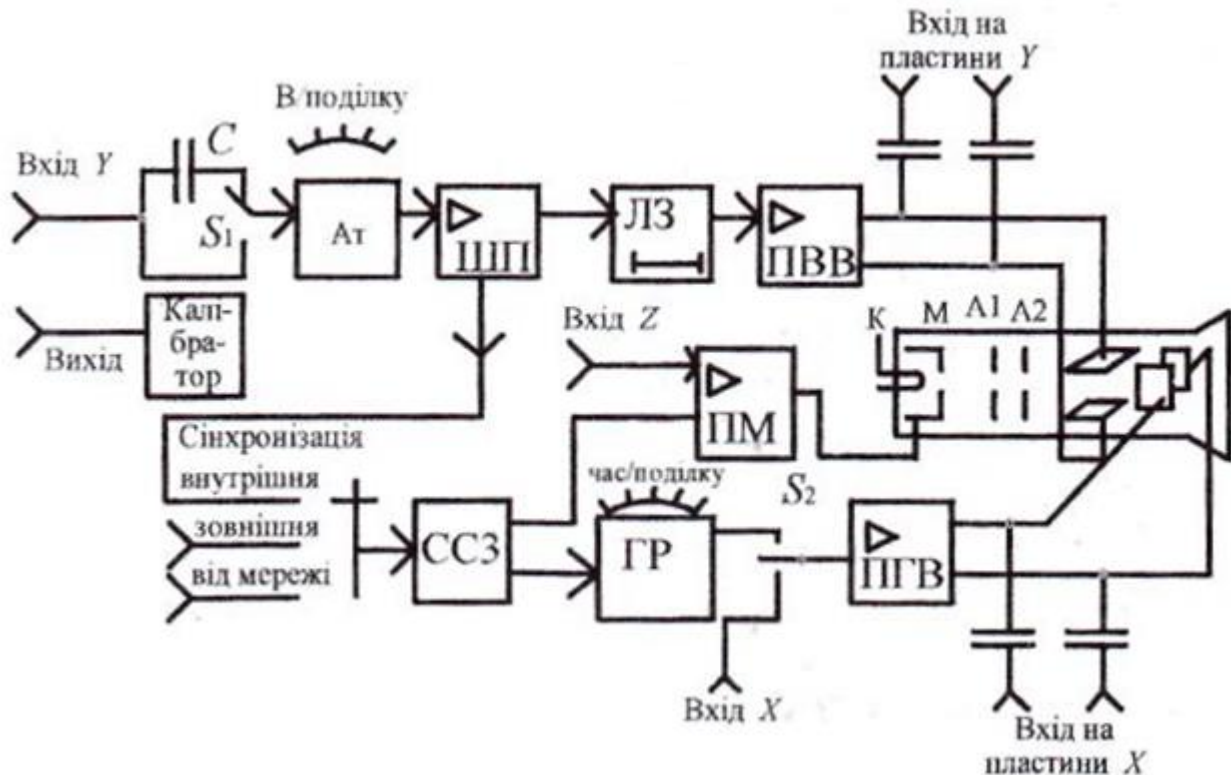


Рисунок 9.2 – Схема універсального електронно-променевого осцилографа

Вхід каналу Y може бути відкритим або закритим. В першому випадку досліджуваний сигнал подається безпосередньо на вхід атенюатора, а в другому випадку – через роздільний конденсатор C , за допомогою якого відсікається постійна складова сигналу.

Атенюатор призначається для ослаблення сигналу в задану кількість разів. Його шкала відградує в значеннях коефіцієнта відхилення (мілівольтах, вольтах на поділку шкали). Підсилювачі ШП і ПВВ підсилюють досліджуваний сигнал, що дозволяє одержати потрібний розмір зображення сигналу на екрані ЕПТ. Послідовне включення атенюатора і підсилювачів ШП та ПВВ забезпечує значний діапазон досліджуваних напруг. Основне підсилення забезпечує ширококутовий підсилювач, а підсилювач вертикального відхилення в основному служить для перетворення підсиленого сигналу в керуючу напругу, яка подається на відхиляючі пластини.

Лінія затримки затримує досліджуваний сигнал на час, необхідний для спрацьовування каналу горизонтального відхилення, щоб рух променя уздовж горизонтальної осі починався раніше, ніж досліджуваний сигнал потрапить на вертикально відхиляючі пластини ЕПТ.

Канал горизонтального відхилення (канал X). Основними блоками цього каналу є схема синхронізації та запуску ССЗ, генератор розгортки ГР та підсилювач горизонтального відхилення ПГВ.

Генератор розгортки формує напругу, яка має форму пилкоподібних імпульсів (рис. 9.3), під дією яких промінь з рівномірною швидкістю рухається по екрану. Час, за який промінь проходить одну поділку шкали на екрані ЕПТ у горизонтальному напрямі, називають коефіцієнтом розгортки. Його можна змінювати ступенями та плавно. Час, протягом якого напруга розгортки змінюється на величину U_a (від початкового до максимального значення), називають тривалістю прямого ходу $t_{пр}$ (рис. 9.3), а час повернення променя в початкове положення – тривалістю зворотного ходу $t_{зв}$. Для того, щоб за час зворотного ходу електронний промінь не створював би лінії на екрані ЕПТ, на цей проміжок часу його гасять подачею негативного імпульсу на модулятор. Інтервал часу $t_{бл}$ між моментом закінчення зворотного ходу і початком наступного такту прямого ходу називають тривалістю блокування. Напруга розгортки повинна мати високу лінійність під час прямого ходу (коефіцієнт нелінійності зазвичай не перевищує 1...3 %).

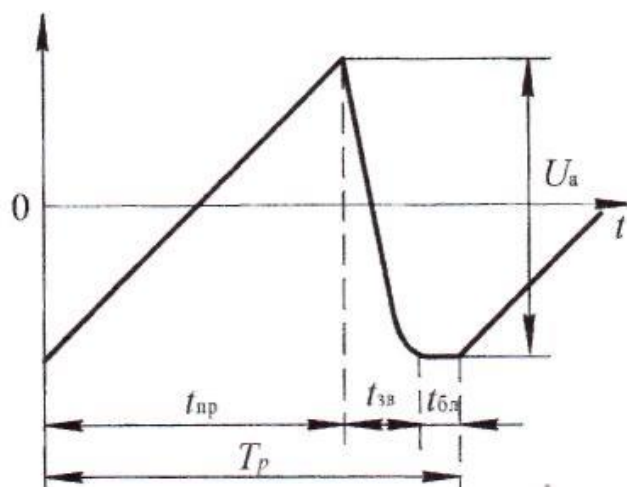


Рисунок 9.3 – Вихідна напруга генератора розгортки

Генератор розгортки може працювати в автоколивальному (періодичному) режимі та в режимі очікування. Автоколивальний режим використовується при дослідженні періодичних сигналів, імпульсів малої шпаруватості, а режим очікування – при дослідженні періодичних сигналів та імпульсів великої шпаруватості.

Для одержання стійкого зображення на екрані ЕПТ частота пилкоподібної напруги має бути кратною частоті досліджуваного сигналу. Витримати точно цю умову досить складно через відхилення частоти генератора розгортки та зміну

частоти досліджуваного сигналу. Тому для забезпечення стійкого зображення передбачається примусовий запуск (синхронізація) генератора розгортки. Для синхронізації розгортки використовується досліджуваний або зовнішній сигнал, що подається безпосередньо на вхід схеми синхронізації.

Калібратор – це вимірювальний пристрій, що входить до складу осцилографа (рис. 9.2) і являє собою міру напруги, амплітуда U_T і період змінювання T_k якої відомі. Калібратор служить для калібрування масштабів каналів вертикального та горизонтального відхилення. Напруга калібратора подається на вхід Y осцилографа. Регулюванням підсилення каналу вертикального відхилення і тривалості розгортки генератора досягають того, щоб значення коефіцієнта відхилення $K_v = U_T / h$ та коефіцієнт розгортки $K_p = T_k / l$, визначені по осцилограмі (рис. 9.4), дорівнювали номінальним значенням цих коефіцієнтів.

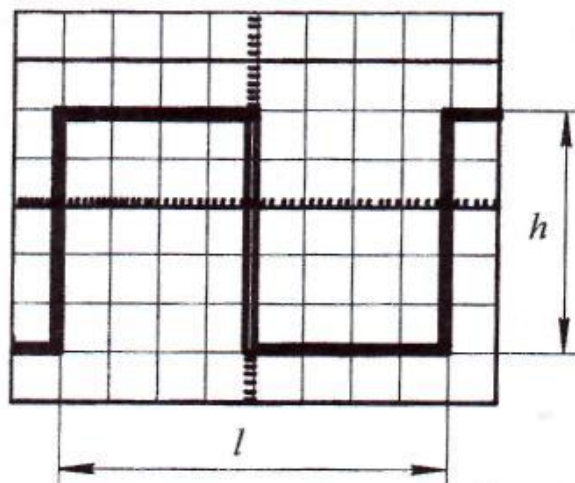


Рисунок 9.4 – Вид осцилограми на екрані ЕПТ

9.2 Основні метрологічні характеристики УЕПО

1. Перехідна характеристика (ПХ).

Якщо на вхід Y осцилографа подати сигнал, за формою близький до ідеального прямокутного імпульсу, то зображення його на екрані ЕПТ може бути більшою або меншою мірою викривлене, збільшується тривалість переднього і заднього фронтів, з'являються викид і паразитні осциляції на вершині (рис. 9.5).

Перехідна характеристика (ПХ) каналу вертикального відхилення – це відображення на екрані ЕПТ реакції H каналу вертикального відхилення на випробувальний вхідний ступеневий сигнал – перепад напруги (тобто сигнал, що являє собою стрибок постійної напруги). ПХ дозволяє оцінити похибки відтворення форми імпульсного сигналу на екрані ЕПТ, тобто ступінь спотворення сигналів найбільш складних для відображення на екрані ЕПТ.

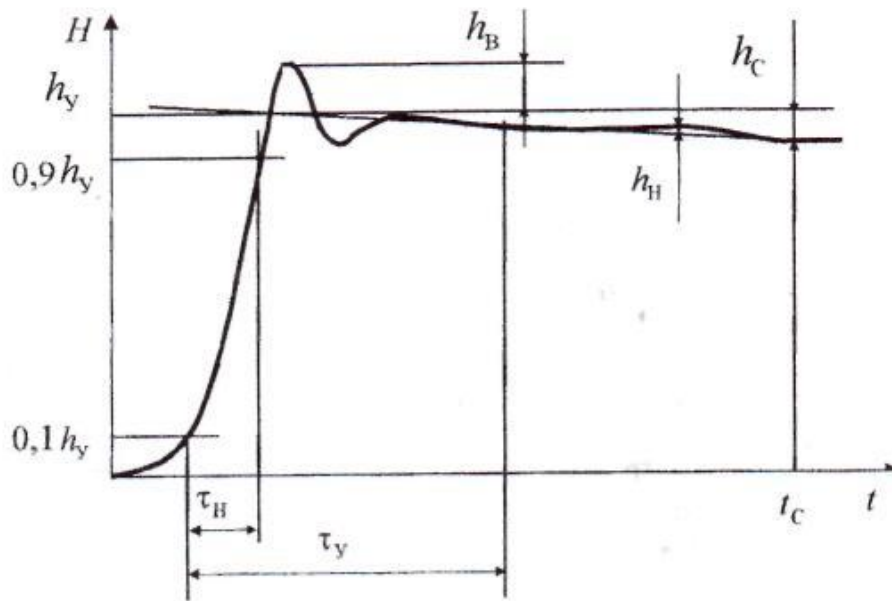


Рисунок 9.5 – Параметри ПХ каналу вертикального відхилення УЕПО

Кількісно ступінь викривлення форми сигналу оцінюється параметрами ПХ, до яких належать (рис. 9.5):

- час наростання τ_H – інтервал часу, протягом якого ПХ зростає від $0,1 h_y$ до $0,9 h_y$ від сталого значення. Під сталим значенням h_y розуміють значення ПХ в точці перетину прямої, яка апроксимує плоску вершину ПХ, з лінією фронту або його продовженням. Стале значення ПХ приймається за умовну одиницю по осі ординат;

- викид на вершині h_B – різниця між максимальним (у процесі наростання) і сталим значеннями ПХ;

- час встановлення τ_y – інтервал часу, який відраховується від моменту досягнення ПХ рівня $0,1 h_y$ до моменту часу, при якому відхилення ПХ від сталого значення не перевищує ширини лінії променя;

- спадання вершини h_C – різниця між сталим значенням ПХ та її значенням у заданий момент часу t_C , який значно перевищує τ_y ;

- нерівномірність h_H – максимальне значення відхилення ПХ від прямої, що її апроксимує, після закінчення часу встановлення.

Як правило, викид на вершині, спадання та нерівномірність нормуються і оцінюються у процентах від сталого значення ПХ.

Для одержання достовірного зображення форми імпульсу на екрані осцилографа на параметри ПХ вертикального каналу накладаються певні вимоги. Так, дослідженнями встановлено, що похибка передачі фронту прямокутного імпульсу через канал вертикального відхилення не перевищує $\pm 2\%$, якщо час наростання τ_H щонайменше в 5 разів менше тривалості фронту $\tau_{ФР}$ досліджуваного прямокутного імпульсу $\tau_H \leq \tau_{ФР} / 5$. При дослідженні сигналів з меншою крутістю фронту вимоги до перехідної характеристики осцилографа менш жорсткі. Так, для імпульсів трикутної форми достатньо, щоб виконувалась умова $\tau_H \leq \tau_{ФР} / 10$.

2. Амплітудно-частотна характеристика.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) каналу вертикального відхилення – це залежність розмаху A синусоїдного сигналу на екрані ЕПТ від його частоти f при незмінному значенні напруги сигналу на вході каналу вертикального відхилення. Інакше кажучи АЧХ – це залежність коефіцієнта підсилення каналу вертикального відхилення від частоти гармонічного сигналу.

Основними параметрами АЧХ є (рис. 9.6):

– смуга пропускання $\Delta f_{\text{ГП}}$ – діапазон частот, в межах якого значення АЧХ не відрізняється від свого значення на опорній частоті більше ніж на -3 дБ. Під опорною частотою $f_{\text{оп}}$ розуміють певну частоту, значення якої встановлюється для конкретної схеми каналу вертикального відхилення і на якій здійснюється його градування. Як правило, опорна частота в 20 або більше разів менша за верхню граничну частоту $f_{\text{В}}$ смуги пропускання. Для низькочастотних осцилографів смуга пропускання знаходиться в діапазоні від 0 до 1...5 МГц; для універсальних осцилографів досягає десятків мегагерц, а для високочастотних – сотень мегагерц. Для одержання на екрані ЕПТ невикривленого зображення синусоїдного сигналу смуга пропускання повинна бути ширше його частоти;

– нерівномірність АЧХ $\delta_{\text{Н}}$ – відхилення АЧХ від її значення A_0 на опорній частоті. Нерівномірність АЧХ нормується та оцінюється у процентах від A_0 або у відносних логарифмічних одиницях. Розрізняють нормальний та розширений (або дещо розширений) діапазони частот, межі яких $f_{\text{Н}}, f_{\text{Р}}$ встановлюються залежно від допустимої похибки вимірювання напруги. Нерівномірність АЧХ окремо нормується в нормальному ($\delta_{\text{НН доп}}$) та розширеному ($\delta_{\text{НР доп}}$) діапазонах частот. Наприклад, для багатьох типів УЕПО нерівномірність АЧХ не перевищує $\pm 4\%$ у нормальному діапазоні частот та $\pm 10\%$ у розширеному.

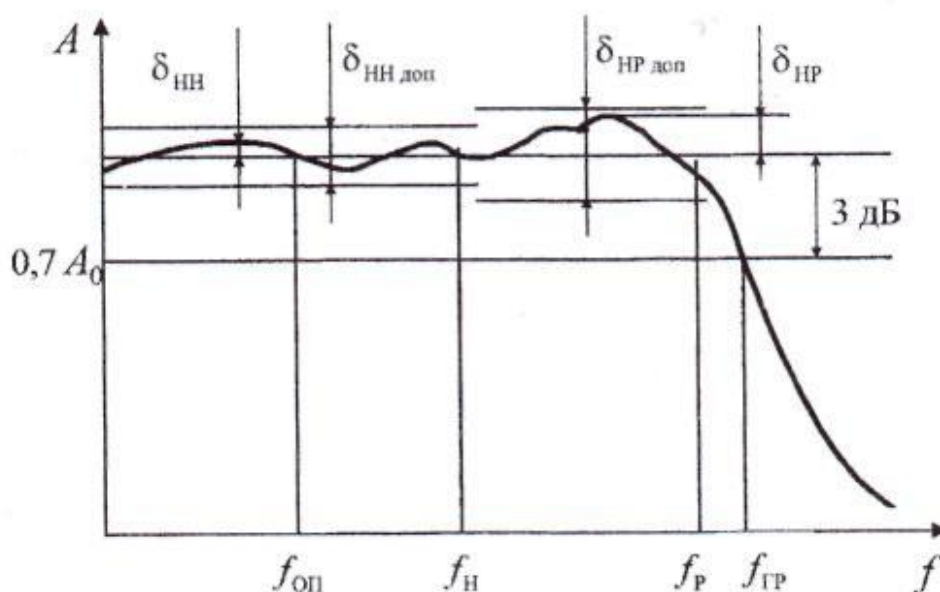


Рисунок 9.6 – Параметри АЧХ каналу вертикального відхилення УЕПО

Необхідно відзначити, що параметри АЧХ нормуються не для усіх УЕПО, оскільки не завжди в цьому існує реальна потреба. Оскільки АЧХ є динамічною характеристикою каналу вертикального відхилення, її параметри безпосередньо пов'язані з параметрами іншої динамічної характеристики – ПХ, а параметри ПХ нормуються для всіх типів УЕПО. Наприклад, зв'язок часу наростання ПХ з верхньою граничною частотою смуги пропускання АЧХ має вигляд

$$\tau_H \approx 0,35 / f_B.$$

3. *Чутливість* осцилографа – відношення відхилення променя на екрані до значення напруги, яка спричинила це відхилення.

4. *Нелінійність амплітудної характеристики* – зміна розміру зображення сигналу при пересуванні його уздовж вертикальної осі ЕПТ.

5. *Похибка вимірювання амплітуди і тривалості* (як правило, не перевищує $\pm(3 \dots 10) \%$).

До числа інших характеристик відносяться: діапазон частот неперервної розгортки, нелінійність розгортки, ширина лінії променя на екрані трубки, параметри входу (відкритий і закритий входи, вхідний опір і вхідна ємність).

Сучасні УЕПО відрізняються значеннями ширини смуги пропускання (5...300 МГц) і дозволяють досліджувати сигнали з амплітудою від одиниць мілівольт до сотень вольт.