

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ

Мета роботи: вивчити принцип дії і характеристики напівпровідникових діодів. Ознайомитися з методикою зняття вольтамперних характеристик.

Основні теоретичні відомості

Напівпровідниковим діодом називають напівпровідниковий прилад з одним електричним $p-n$ переходом і двома виводами. За функціональним призначенням діоди поділяються на випрямні, імпульсні, стабілітрони, варикапи, тунельні, фотодіоди, світлодіоди і ін.

1. Принцип дії напівпровідникового діода

Роботу напівпровідникового діода засновано на односторонній провідності $p-n$ переходу. $p-n$ перехід – перехід між двома областями напівпровідника з різним типом провідності.

При сплаві двох зразків напівпровідників з електронною і дірковою провідністю на межі, внаслідок явища дифузії, електрони з області n будуть переміщатися в область p , а дірки, навпаки, з області p в область n . Зустрічаючись на межі p і n областей, дірки і електрони рекомбінують, внаслідок чого в прикордонній зоні концентрація носіїв заряду істотно знижується. З боку області n оголяються позитивно заряджені іони, а з боку області p – негативно заряджені іони (рис. 5.1).

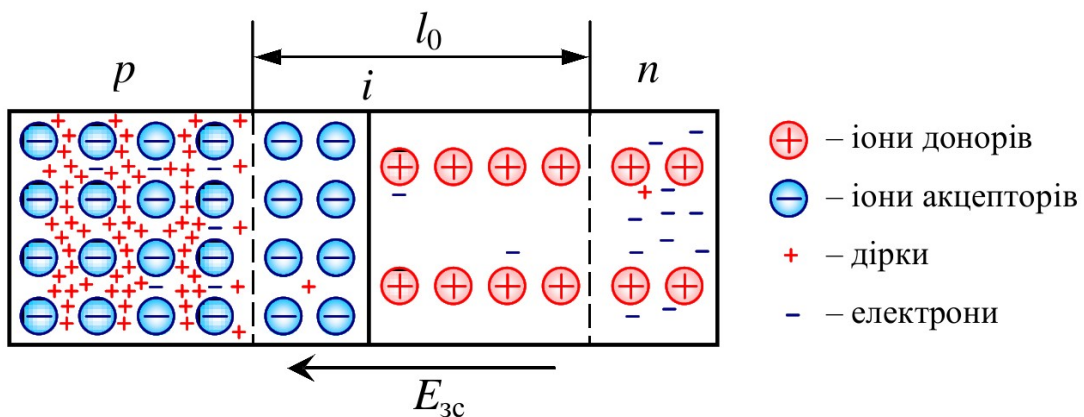


Рис. 5.1 – Виникнення шару, що запирає в $p-n$ переході

Між ними виникає внутрішнє електричне поле $E_{зш}$ (просторовий заряд), спрямоване від області n до області p . Це електричне поле перешкоджає руху (дифузії) електронів з n -області в p -область і дірок в зворотному напрямку. Однак це поле не перешкоджає руху (дрейфу) через перехід не основних носіїв, наявних в областях напівпровідника. При кімнатній температурі струм дифузії компенсується струмом дрейфу – $p-n$ перехід знаходиться в термодинамічній рівновазі.

Область $p-n$ переходу ще називають шаром, що запирає, збідненим шаром або i -областю.

Зовнішня напруга U , що прикладена до $p-n$ переходу, в залежності від полярності буде посилювати чи послаблювати дію поля шару, що запирає. Якщо «+» зовнішнього джерела напруги прикласти до p -області, а «-» – до

n -області (пряме включення), то електричне поле $E_{пр}$, яке створено зовнішнім джерелом живлення, буде направлено назустріч полю шару, що запирає $E_{зш}$ (рис. 5.2). Дія шару, що запирає при цьому слабшає і його ширина зменшується.

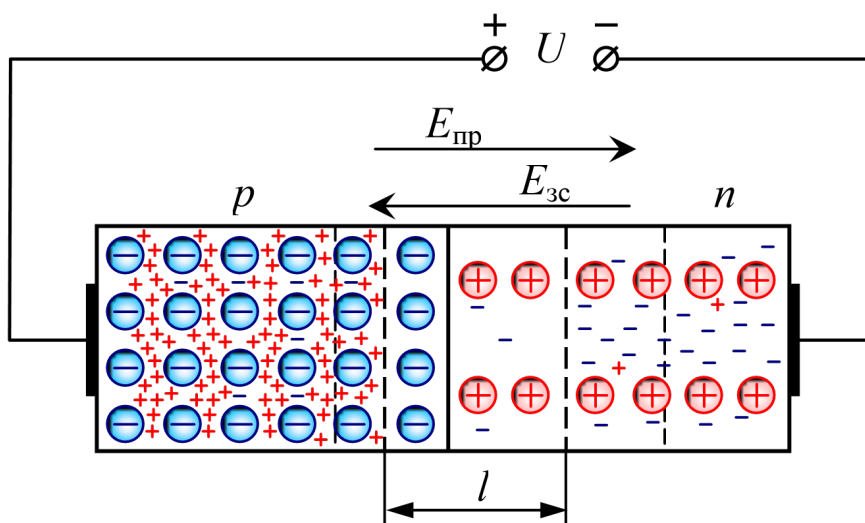


Рис. 5.2 – p - n перехід, увімкнений в прямому напрямку

При подальшому підвищенні напруги шар, що запирає зникає зовсім. Опір руху основних носіїв заряду знижується і через перехід потече струм, який називають прямим. Значення прямого струму при підвищенні зовнішньої напруги збільшується за експоненціальним законом.

Введення (нагнітання) носіїв заряду через електронно-дірковий перехід в область напівпровідника, де вони є неосновними, за рахунок зниження напруженості внутрішнього електричного поля $E_{зш}$, називається інжекцією.

Якщо «+» зовнішнього джерела напруги прикласти до n -області, а «-» – до p -області (зворотне включення), то електричне поле $E_{зв}$, створюване зовнішнім джерелом живлення, буде додаватися до поля шару, що запирає $E_{зш}$ (рис. 5.3). При цьому ширина шару, що запирає збільшується і ще менша кількість основних носіїв заряду може подолати дію цього поля й перейти в сусідню область.

Через перехід протікає невеличкий зворотний (тепловий) струм I_0 , обумовлений рухом неосновних носіїв. Цей струм практично не залежить від зворотної напруги, прикладеної до p - n переходу, але сильно залежить від температури.

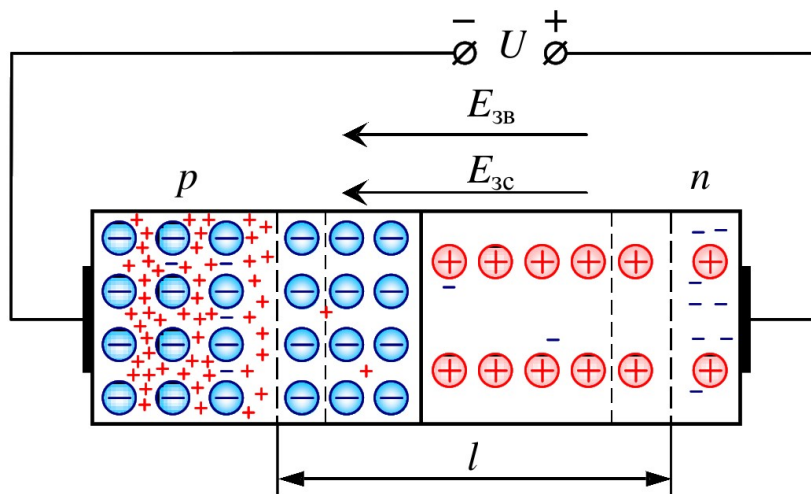


Рис. 5.3 – p - n перехід, включений в зворотному напрямку

Вольт-амперну характеристику діода при прямому і зворотному зсуві показано на рис. 5.4. Для наочності пряма і зворотна гілки вольт-амперної характеристики наведені в різних масштабах.

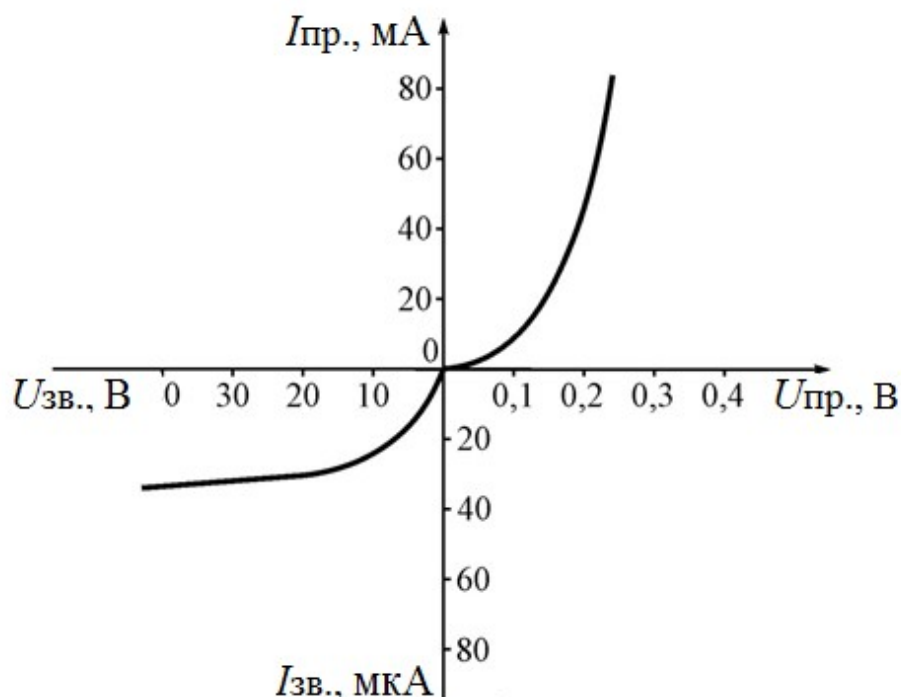


Рис. 5.4 – Вольт-амперна характеристика випрямного діода

2. Інерційні властивості діода

При зворотному зсуві $p-n$ переходу електрони і дірки знаходяться по обидва боки переходу, а в області самого $p-n$ переходу їх дуже мало. Таким чином, при зворотному включенні діод має ємність, величина якої пропорційна площі $p-n$ переходу, концентрації носіїв заряду і діелектричної проникності напівпровідника. Цю ємність називають бар'єрною ємністю C_b .

При збільшенні зворотної напруги бар'єрна ємність зменшується внаслідок зменшення ширини шару, що запирає. При прямому включенні бар'єрна ємність підвищується, однак, тут $p-n$ перехід крім бар'єрної ємності має так звану дифузійну ємність C_d , яка в даному випадку грає домінуючу роль.

Дифузійна ємність істотно не впливає на роботу діода, тому що вона завжди зашунтована малим прямим опором $p-n$ переходу.

Залежність відносної зміни ємності $p-n$ переходу при прямому і зворотному включенні наведені на рис. 5.5.

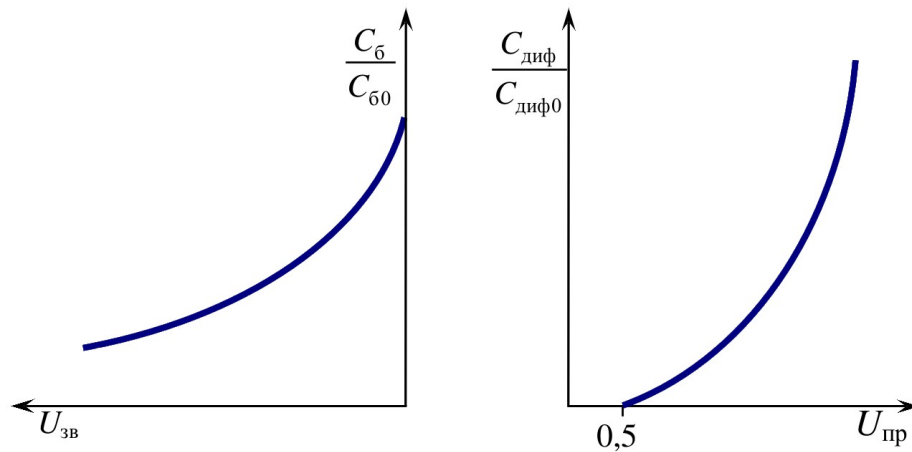


Рис. 5.5 – Вольт-фарадна характеристика діода:
а – зворотнє включення; б – пряме включення

Сучасні електронні прилади працюють на високій частоті, і ємність $p-n$ переходу багато в чому визначає інерційні властивості напівпровідникових елементів і області їх застосування. Зміну струму через випрямний діод при зміні полярності підключеної напруги демонструє рис. 5.6.

Як видно з рисунку, форма струму, що протікає через діод, має деяку інерційність, яка визначається часом встановлення прямої напруги $t_{вст}$ і часом відновлення зворотного опору $t_{відн}$. При роботі на високих частотах ємнісний опір $X_C = (\omega C)^{-1}$ зменшується і зворотний струм через діод може зрости на кілька порядків.

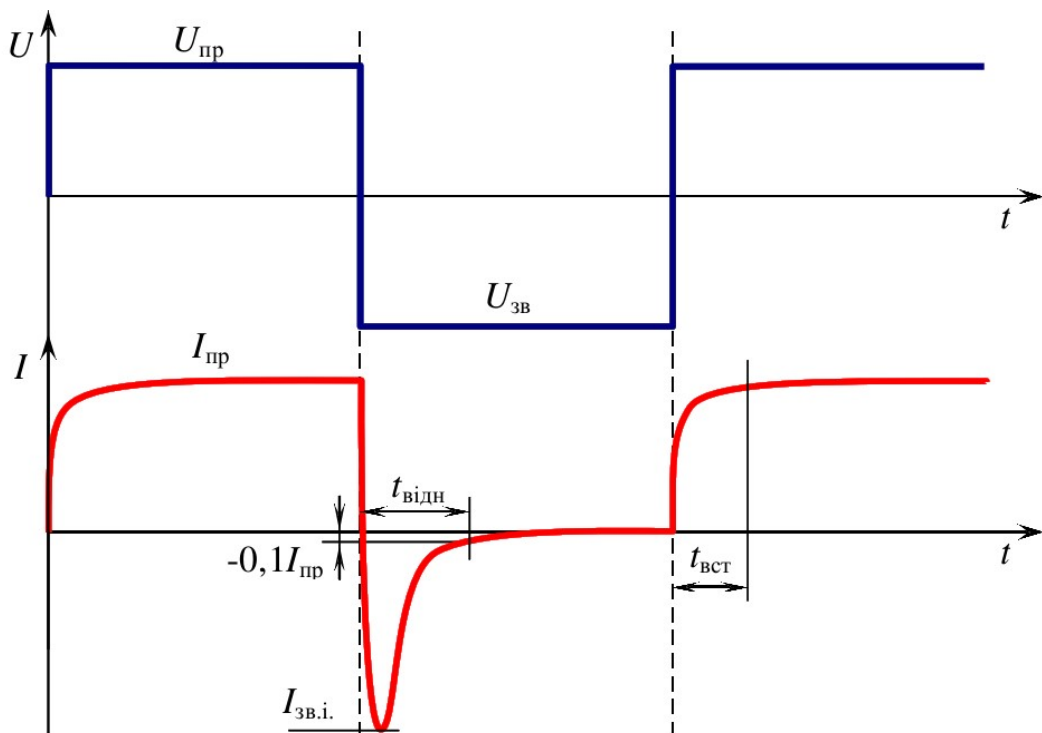


Рис. 5.6 – Перехідні процеси в $p-n$ переході

Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- модуль для дослідження характеристик напівпровідникових діодів;
- універсальне джерело живлення;
- комбінований вимірювальний прилад – 2 шт;
- генератор імпульсів FG-32;
- осцилограф GOS-620.

1. Дослідження характеристики діода в прямому включенні

1.1 Підготувати джерело живлення до роботи:

- ручки регуляторів напруги і струму 1 і 2 каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
- кнопки «СИНХРОНИЗАЦІЯ» встановити в режим «НЕЗАВИСИМО»;
- включити джерело живлення (кнопка «POWER»);
- налаштувати обмежувач струму 1 каналу джерела живлення:
- з'єднати клеми «+» і «-» 1-го каналу провідником;
- повернути ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» за годинниковою стрілкою приблизно на 90° ;
- перемикач індикатора встановити в положення «АМР»;
- ручкою «ТОК» виставити обмеження струму 0,25 А;
- зняти провідник і повернути перемикач індикатора в положення «VOLT»;
- ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» встановити напругу живлення 3,5 В.

1.2 Зібрати схему згідно рис. 5.7. При цьому ручка потенціометра $R_{д2}$ в початковому стані повинна бути викручена проти годинникової стрілки до упору.

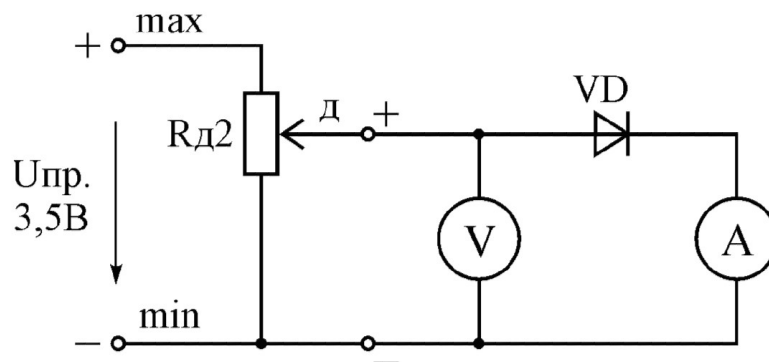


Рис. 5.7 – Схема для отримання вольт-амперної характеристики діода при прямому включенні

1.3 Плавно обертаючи ручку потенціометра $R_{д2}$, змінюйте струм, що протікає через діод VD, від 0 до 100 мА. Фіксуючи показання приладів, заповніть таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Результати вимірювань прямої гілки вольт-амперної характеристики діода

$I_{пр}, \text{мА}$	0,1	0,5	1	5	10	20	40	80
$U_{пр}, \text{В}$								

2. Дослідження характеристики діода в зворотному включенні

2.1 Встановіть вихідну напругу 1 каналу джерела живлення 0 В. Для цього поверніть ручку регулятора напруги проти годинникової стрілки до упору.

2.2 Зберіть схему згідно рис. 5.8.

2.3 Плавно повертаючи ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» джерела живлення, змінюйте напругу від 0 до 30 В. Фіксуючи показання приладів, заповніть таблицю 5.2.

Таблиця 5.2. Результати вимірювання зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода

$U_{зв}, \text{В}$	1	2	3	5	10	15	20	25	30
$I_{зв}, \text{мкА}$									

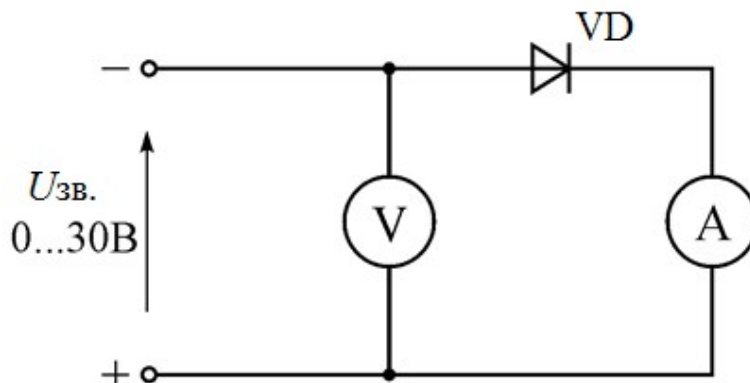


Рис. 5.8 – Схема для отримання вольт-амперної характеристики діода при зворотному включенні

3. Дослідження вольт-амперної характеристики діода

3.1 Побудувати вольтамперні характеристики діода, використовуючи дані таблиці 5.1 і таблиці 5.2. Масштаб напруги для зворотного включення діода (третій квадрант графіка) взяти в 100 разів більше, а масштаб струму в 1000 разів більше, ніж для прямого включення діода.

3.2 Для отриманої ВАХ визначити величину статичних і динамічних (диференціальних) опорів діода при прямому і зворотному включенні, як показано на рис.5.9.

$$r_D = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \beta; \quad R_{CT} = \frac{U_E}{I_E} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \alpha.$$

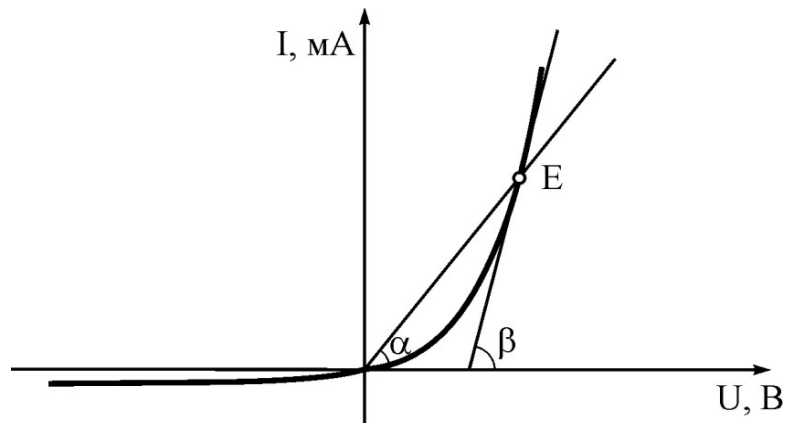


Рис. 5.9 – Визначення статичного і динамічного опорів діода

3.3 Результати розрахунків занести в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3. Результати розрахунків статичних і динамічних опорів діода

	Пряма ВАХ	Зворотна ВАХ
r_D		
R_{CT}		

4. Дослідження перехідних процесів діода

4.1 Підготувати генератор імпульсів FG-32 до роботи:

- за допомогою ручки «FUNCTION» встановити прямокутну форму імпульсу;
- за допомогою ручок «RANGE» і «FREQUENCY» встановити частоту 120 кГц;
- встановити максимальну амплітуду, для цього повернути ручку «AMPL» за годинниковою стрілкою до упору (ручка «OFFSET» в натиснутому положенні для отримання симетричних біполярних імпульсів).

4.2 Підготувати осцилограф GOS-620 до роботи, підключивши обидва канали згідно схеми (рис. 5.10) і встановити тривалість розгортки 0,2 мкс.

4.3 Зібрати схему згідно рис. 5.10.

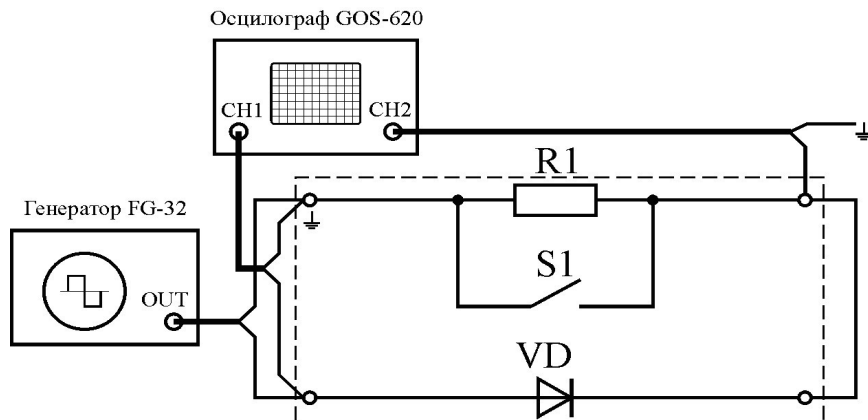


Рис. 5.10 – Схема для дослідження перехідних процесів діода

4.4 За допомогою ручок управління синхронізацією «TRIGGER» і зміщення променів «POSITION» осцилографа привести осцилограму до виду представленому на рис. 5.11.

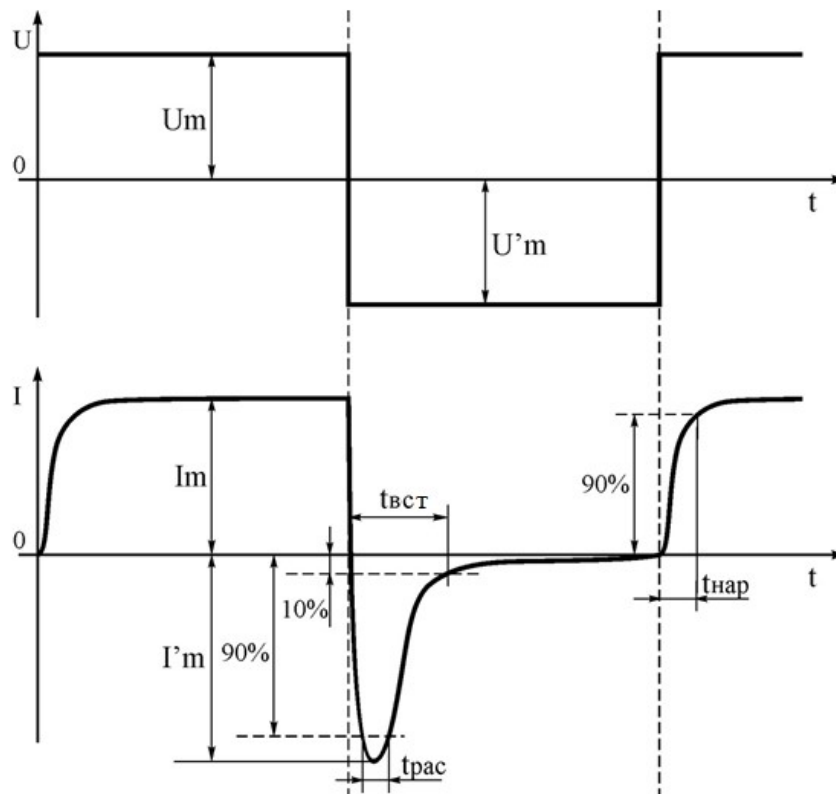


Рис. 5.11 – Осцилограма дослідження перехідних процесів діода

4.5 Натиснути кнопку десятикратного збільшення по горизонталі «x10 MAG». Виміряти всі необхідні параметри перехідного процесу згідно рис. 5.11 і занести в таблицю 5.4, враховуючи, що канал 2 осцилографа відображає падіння напруги на резисторі $R1$, знаючи номінал якого можна отримати струм I .

Таблиця 5.4. Результати дослідження параметрів перехідних процесів діода

$U_m, В$	$U'_m, В$	$I_m, мА$	$I'_m, мА$	$t_{вст}, мкс$	$t_{рас}, мкс$	$t_{нас}, мкс$

Контрольні питання до роботи

1. Поясніть процес утворення шару, що запирає в $p-n$ переході.
2. Поясніть виникнення струму через $p-n$ перехід при підключенні діода в прямому напрямку.
3. Поясніть виникнення струму через $p-n$ перехід при підключенні діода в зворотному напрямку.
4. Зобразіть вольт-амперну характеристику випрямного діода.
5. Поясніть відміну динамічного опору від статичного. Для яких елементів ці опори рівні за величиною?
6. Чим зумовлена наявність ємності $p-n$ переходу?
7. Поясніть, як впливає величина й напрямок прикладеної напруги на бар'єрну ємність?
8. Чим обумовлені інерційні властивості діода і як це проявляється на практиці?
9. Які електричні переходи мають найменшу ємність?