

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ  
про виконання лабораторної роботи №2  
з дисципліни: «Напівпровідникова електроніка»  
Тема роботи: «Дослідження випрямляючих напівпровідникових діодів»

Виконав студент 3-го курсу групи ДП-91  
Ремез Сергій Олександрович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(дата здачі)

Перевірив Королевич Любомир Миколайович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(дата здачі)

## 1. МЕТА РОБОТИ

Теоретичне вивчення та експериментальне дослідження електричного пробою електронно-діркового переходу; дослідження вольт-амперних характеристик і параметрів напівпровідникових стабілітронів.

## 2. ЗАВДАННЯ

1. Вивчити принцип дії і структуру параметрів (паспортних даних) стабілітронів.
2. Зібрати схему дослідження напівпровідникових стабілітронів.
3. Виміряти вольт-амперні характеристики двох стабілітронів в прямому і зворотньому напрямках при кімнатній температурі.
4. Провести температурні дослідження ВАХ двох стабілітронів при температурі  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для прямої та зворотної полярності напруги).
5. Визначити температурний коефіцієнт напруги стабілізації, а також температурний коефіцієнт прямої напруги стабілітронів при заданих струмах  $I_{st}$  та  $I_{пр}$ . (Значення струмів задаються викладачем).
6. \*Виміряти температурний коефіцієнт двох зустрічно ввімкнених стабілітронів при тих же струмах і температурах. Порівняти отримані результати з розрахунковими ТКН.
7. \*\*Провести вимірювання коефіцієнта стабілізації вихідної напруги схеми на малюнку 1.
8. Побудувати графіки вольт-амперних характеристик досліджених стабілітронів.
9. За побудованими графіками характеристик визначити основні параметри стабілітронів: напругу стабілізації, диференційний опір  $r_{st}$ , статичний опір стабілітрона  $R_{ST}$ , та інші. Розрахувати коефіцієнт якості стабілітрона  $Q = R_{st} / r_{st}$ .

### 3. СХЕМА ВИМІРЮВАННЯ

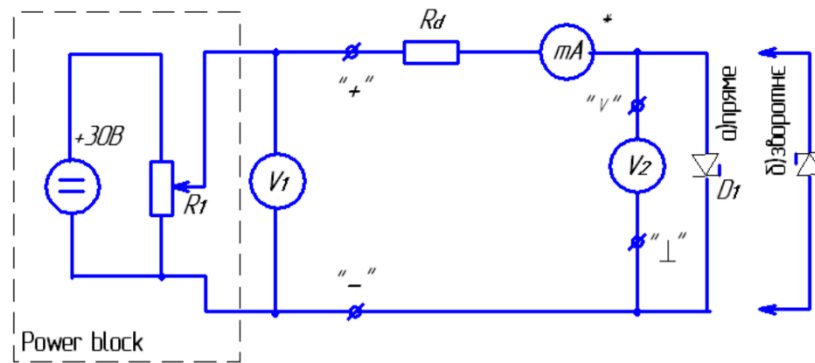


Рис. 1. Схема експериментальної установки для дослідження вольт-амперної характеристики стабілітронів.

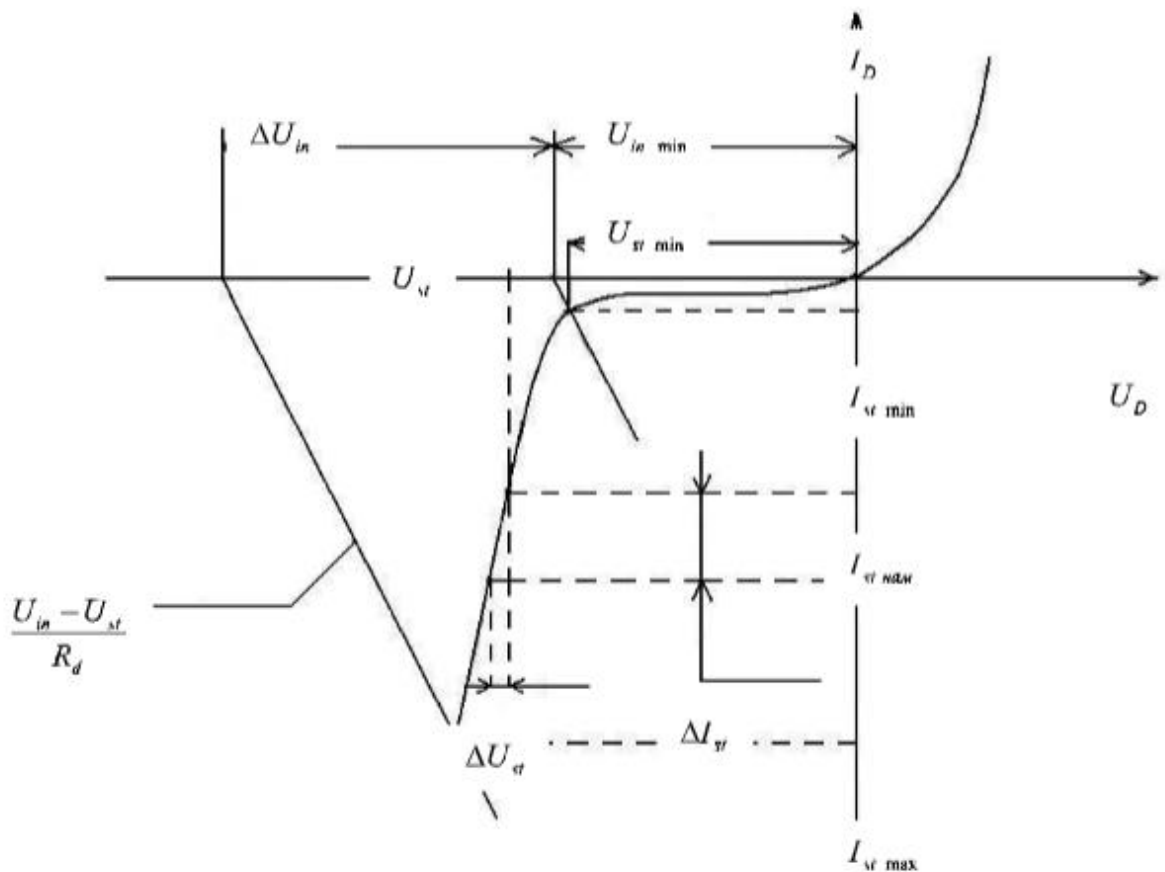


Рис. 2. Графічне визначення окремих параметрів стабілітрона за його вольт-амперною характеристикою.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ

#### 3.1.Результати вимірювань

|                  |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $I_D, \text{mA}$ | 0 | 1     | 1,6   | 3     | 3,55  | 5,4   | 5,9   | 7,1   | 8,2   | 9     | 10    |
| $U_D, \text{B}$  | 0 | 0,611 | 0,629 | 0,642 | 0,648 | 0,660 | 0,663 | 0,668 | 0,674 | 0,677 | 0,680 |

Табл. 4.1. ВАХ стабілітрона №1. Умови досліджень: пряме зміщення,  $T_1=20^\circ\text{C}$ .

|                  |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $I_D, \text{mA}$ | 0 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5,6  | 7,5  | 8,6  | 10   |
| $U_D, \text{B}$  | 0 | 8,61 | 8,62 | 8,63 | 8,64 | 8,65 | 8,66 | 8,66 | 8,67 |

Табл. 4.2. ВАХ стабілітрона №1. Умови досліджень: зворотне зміщення,  $T_1=20^\circ\text{C}$ .

|                  |   |       |       |       |       |       |       |     |       |       |       |       |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| $I_D, \text{mA}$ | 0 | 1     | 2     | 3,4   | 4,1   | 5     | 5,9   | 7,4 | 7,6   | 8,5   | 9,5   | 10    |
| $U_D, \text{B}$  | 0 | 0,644 | 0,664 | 0,678 | 0,683 | 0,689 | 0,694 | 0,7 | 0,701 | 0,705 | 0,708 | 0,709 |

Табл. 4.3. ВАХ стабілітрона №2 Умови досліджень: пряме зміщення,  $T_1=20^\circ\text{C}$ .

|                  |   |     |      |      |      |      |      |     |      |     |      |      |
|------------------|---|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|------|
| $I_D, \text{mA}$ | 0 | 1   | 1,7  | 2,6  | 3,3  | 4,5  | 5,8  | 6,6 | 7,4  | 8,4 | 9,2  | 10   |
| $U_D, \text{B}$  | 0 | 2,6 | 2,87 | 3,03 | 3,12 | 3,24 | 3,35 | 3,4 | 3,45 | 3,5 | 3,54 | 3,57 |

Табл. 4.4. ВАХ стабілітрона №2. Умови досліджень: зворотне зміщення,  $T_1=20^\circ\text{C}$ .

#### 3.1.1. Пряма гілка ВАХ.

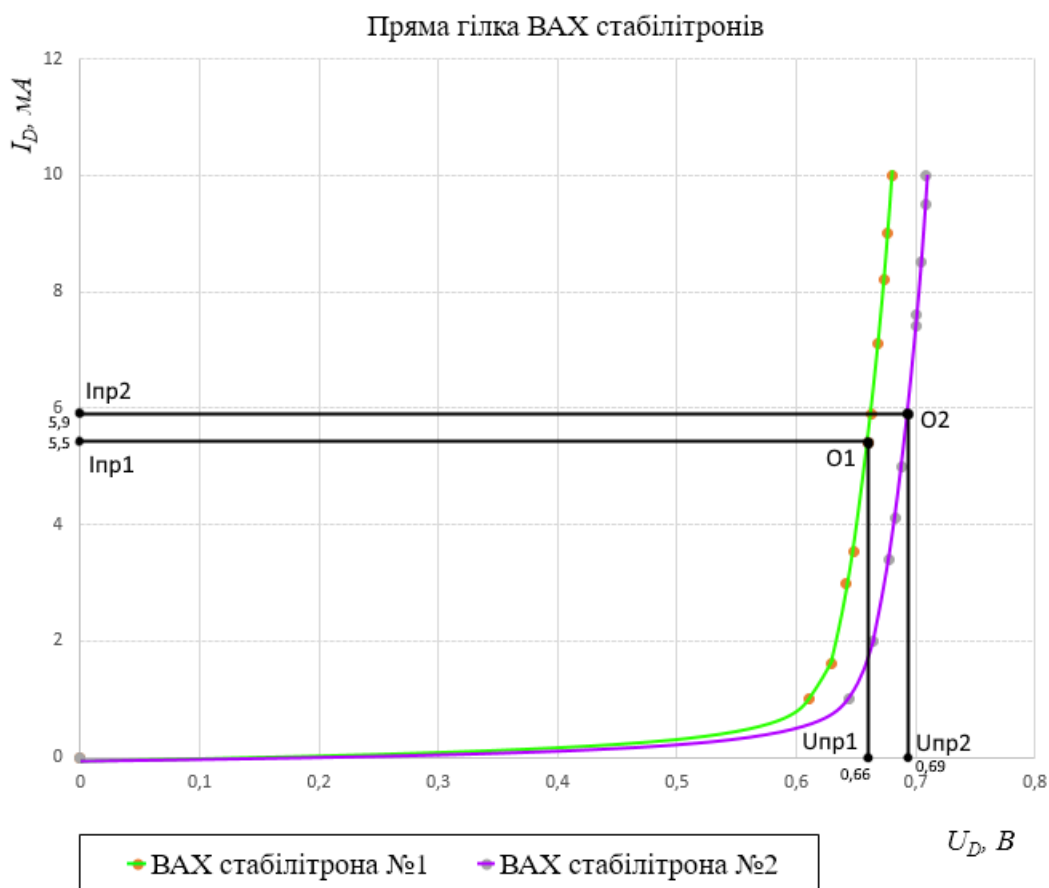


Рис. 3. Графічна залежність для прямої гілки ВАХ стабілітронів.

### 3.1.2. Зворотня гілка ВАХ.

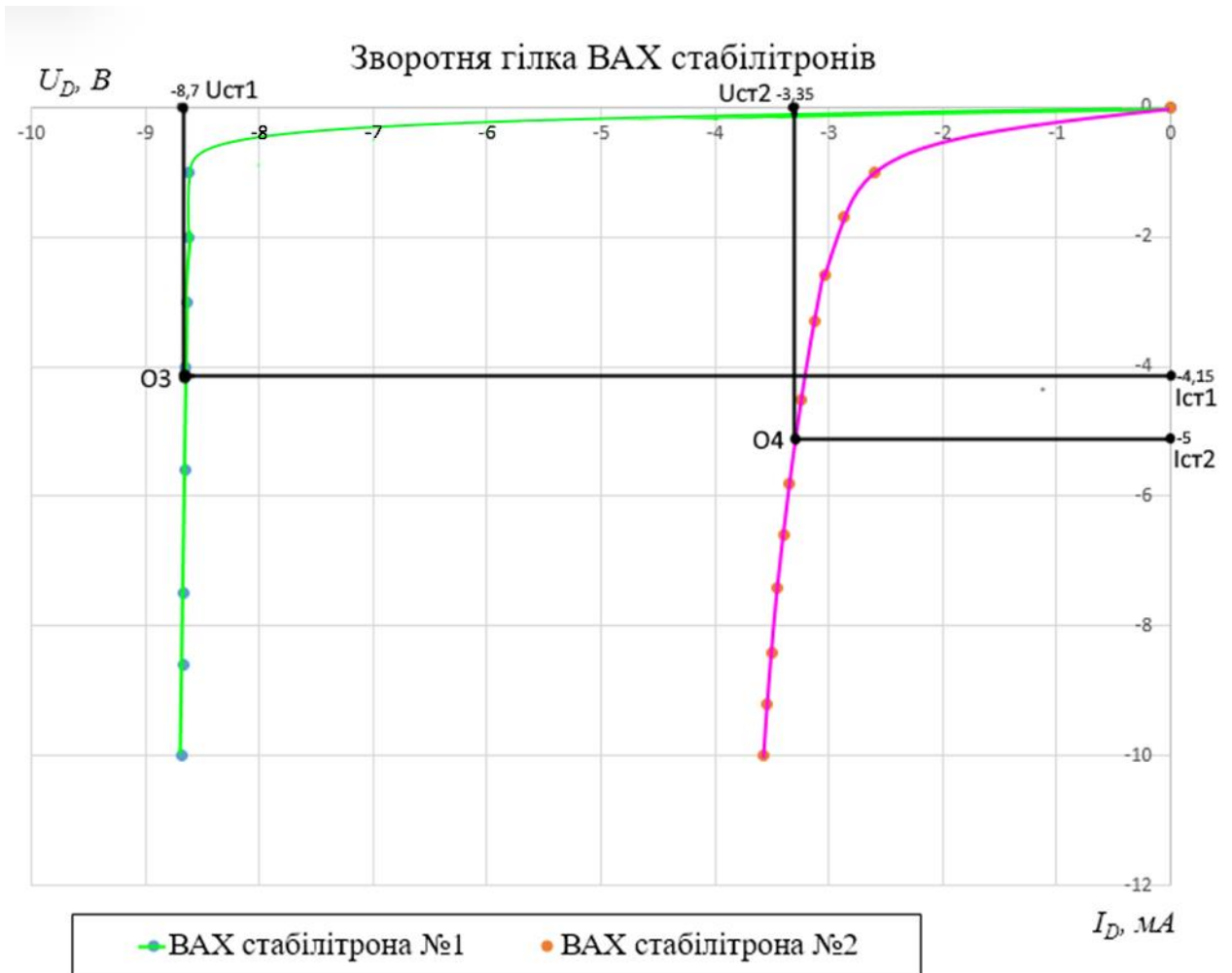


Рис. 4. Графічна залежність для зворотної гілки ВАХ стабілітронів.

## 4.РОЗРАХУНКИ

**Важливо:** За несправності термостату, за попереднім погодженням з викладачем, деякі завдання будуть упущені у зв'язку з відсутністю необхідних даних: температурні дослідження ВАХ стабілітронів зі завдань 4-5 включно.

### 4.1. Розрахунок опорів та інших параметрів діода-стабілітрона.

#### 4.1.1. Знайдемо параметри для діода стабілітрона №1.

Для прямої гілки:

Виходячи з графіку Рис. 3. у пункті, визначимо параметри прямої гілки ВАХ стабілітрона в робочій точці  $O_1$ :

- Струм  $I_{пр1} = 5,5$  мА;
- Напруга  $U_{пр1} = 0,66$  В;
- Потужність  $P_{пр} = I_{пр1} \cdot U_{пр1} = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,66 = 3,63$  мВт;
- За апроксимацією Шоклі впливає, що при  $I_{пр} \rightarrow 0$  спад напруги

визначається лише висотою потенціального бар'єра, тобто:

$$\varphi_0 - \varphi_T = \frac{(U_2 - U_1) \cdot (-I_1)}{(I_2 - I_1)} + U_1;$$

$$\varphi_0 = \frac{(U_2 - U_1) \cdot (-I_1)}{(I_2 - I_1)} + U_1 + \varphi_T,$$

де  $\varphi_T$  – тепловий потенціал

$$\varphi_T = \frac{k \cdot T}{q},$$

де  $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  - стала Больцмана,  $T = 293,15$  К ( $20^\circ\text{C}$ ) - температура,

$q = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл - електричний заряд.

$$\varphi_T = \frac{1,381 \cdot 10^{-23} \cdot 293,15}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 25,27 \text{ мВ};$$

Потенціал  $\varphi_{01} = 0,616$  В;

$$\text{Опір бази } r_b = \frac{U_{пр} - \varphi_0}{I_{пр}} = \frac{0,66 - 0,616}{5,84} \cdot 10^3 = 7,53 \text{ Ом};$$

$$\text{Струм виродження } I_{вир} = \frac{\varphi_T}{r_b} = \frac{25,27 \cdot 10^{-3}}{7,53} = 3,36 \text{ мА};$$

### Для зворотної гілки:

Виходячи з графіку Рис.4 у пункті:

- Мінімальна напруга стабілізації  $U_{ст\ min1} = 8,61\ В$ ;
- Максимальна напруга стабілізації  $U_{ст\ max1} = 8,67\ В$ ;
- Напруга стабілізації знайдемо за наступною формулою:

$$U_{ст1} = \frac{U_{ст\ min1} + U_{ст\ max1}}{2} = \frac{8,61 + 8,67}{2} = 8,64\ В ;$$

- Маючи значення напруги стабілізації, можна графічно отримати струм стабілізації:

$$\text{Струм } I_{ст\ min1} = 1\ \text{мА};$$

$$\text{Струм стабілізації } I_{ст1} = 4,15\ \text{мА} ;$$

- Скориставшись графіком ВАХ характеристики Рис.4, виберемо робочу точку  $O_3$ , що знаходиться посеред діапазону стабілізації, тому ми можемо знайти параметри робочої точки:

$$\text{Струм } I_{роб} = 4,15\ \text{мА};$$

$$\text{Напруга } U_{роб} = 8,65\ В;$$

$$\text{Потужність } P_{роб} = I_{роб} \cdot U_{роб} = 4,15 \cdot 10^{-3} \cdot 8,65 = 35,856\ \text{мВт};$$

$$\text{Потужність } P_{ст} = I_{ст2} \cdot U_{ст2} = 4,15 \cdot 10^{-3} \cdot 8,64 = 35,542\ \text{мВт};$$

$$\text{Диференційний опір } r_{диф} = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{8,64 - 8,6334}{4,1 - 4,0995} = \frac{0,0066}{0,0005} \approx 13,2\ \text{Ом} ;$$

$$\text{Статичний опір } R_{ст} = \frac{U_{роб}}{I_{роб}} = \frac{8,65}{4,15} \cdot 10^3 \approx 2084,33\ \text{Ом} ;$$

$$\text{Коефіцієнт якості стабілітрона } Q = \frac{R_{ст}}{r_{диф}} = \frac{2084,33}{13,2} = 157,9;$$

$$\text{Параметр якості } \frac{U_{ст\ max2} - U_{ст\ min2}}{U_{ст2}} = \frac{8,67 - 8,61}{8,64} = 0,00694 ;$$

### 4.2.2. Знайдемо параметри для діода стабілітрона №2

#### Для прямої гілки:

Виходячи з графіку Рис.3 у пункті, визначимо параметри прямої гілки ВАХ стабілітрона в робочій точці  $O_2$ :

- Струм  $I_{пр} = 5,9\ \text{мА}$ ;

- Напруга  $U_{пр} = 0,685 \text{ В}$ ;
- Потужність  $P_{пр} = I_{пр} \cdot U_{пр} = 5,9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,685 = 4,04 \text{ мВт}$ ;
- За апроксимацією Шоклі впливає, що при  $I_{пр} \rightarrow 0$  спад напруги

визначається лише висотою потенціального бар'єра, тобто:

$$\varphi_0 - \varphi_T = \frac{(U_2 - U_1) \cdot (-I_1)}{(I_2 - I_1)} + U_1;$$

$$\varphi_0 = \frac{(U_2 - U_1) \cdot (-I_1)}{(I_2 - I_1)} + U_1 + \varphi_T,$$

де  $\varphi_T$  – тепловий потенціал

$$\varphi_T = \frac{k \cdot T}{q},$$

де  $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  - стала Больцмана,  $T = 293,15 \text{ К}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) - температура,

$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  - електричний заряд.

$$\varphi_T = \frac{1,381 \cdot 10^{-23} \cdot 293,15}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 25,27 \text{ мВ};$$

Потенціал  $\varphi_{01} = 0,633 \text{ В}$ ;

Опір бази  $r_b = \frac{U_{пр} - \varphi_0}{I_{пр}} = \frac{0,685 - 0,633}{5,9} \cdot 10^3 = 8,81 \text{ Ом}$ ;

Струм виродження  $I_{вир} = \frac{\varphi_T}{r_b} = \frac{25,27 \cdot 10^{-3}}{8,81} = 2,868 \text{ мА}$ ;

**Для зворотної гілки:**

Виходячи з графіку Рис.4 у пункті:

- Мінімальна напруга стабілізації  $U_{ст min2} = 2,87 \text{ В}$ ;
- Максимальна напруга стабілізації  $U_{ст max2} = 3,57 \text{ В}$ ;
- Напруга стабілізації знайдемо за наступною формулою:

$$U_{ст2} = \frac{U_{ст min2} + U_{ст max2}}{2} = \frac{2,87 + 3,57}{2} = 3,22 \text{ В};$$

- Маючи значення напруги стабілізації, можна графічно отримати струм стабілізації:

Струм  $I_{ст min1} = 1,7 \text{ мА}$ ;

Струм стабілізації  $I_{ст1} = 4,47 \text{ мА}$ ;



- Скориставшись графіком ВАХ характеристики Рис.4, оберемо робочу точку  $O_4$ , що знаходиться посеред діапазону стабілізації, тому ми можемо знайти параметри робочої точки:

$$\text{Струм } I_{\text{роб}} = 4,5 \text{ мА};$$

$$\text{Напруга } U_{\text{роб}} = 3,25 \text{ В};$$

$$\text{Потужність } P_{\text{роб}} = I_{\text{роб}} \cdot U_{\text{роб}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,25 = 14,625 \text{ мВт};$$

$$\text{Потужність } P_{\text{ст}} = I_{\text{ст2}} \cdot U_{\text{ст2}} = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot 3,22 = 14,439 \text{ мВт};$$

$$\text{Диференційний опір } r_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{3,22 - 3,26}{4,47 - 4,476} = \frac{0,04}{0,006} \approx 66 \text{ Ом};$$

$$\text{Статичний опір } R_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{роб}}}{I_{\text{роб}}} = \frac{3,25}{4,5} \cdot 10^3 \approx 722,2 \text{ Ом};$$

$$\text{Коефіцієнт якості стабілітрона } Q = \frac{R_{\text{ст}}}{r_{\text{диф}}} = \frac{722,2}{6,6} = 109,42;$$

$$\text{Параметр якості } \frac{U_{\text{ст max2}} - U_{\text{ст min2}}}{U_{\text{ст2}}} = \frac{3,57 - 2,87}{3,22} = 0,217;$$

## 6.АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

| Основні параметри:<br>(умовне познач.,<br>розмірність)     | для діода типу<br>№1,<br>пряма гілка<br>ВАХ | для діода типу<br>№1,<br>зворотня гілка<br>ВАХ | для діода типу<br>№2,<br>пряма гілка<br>ВАХ | для діода типу<br>№2,<br>зворотня гілка<br>ВАХ |
|--|---|--|---|--|
| Струм $I_{пр}$ , мА  | 5,84  | -  | 5,9   | -  |
| Напруга $U_{пр}$ , В                                       | 0,673                                       | -  | 0,685                                       | -  |
| Потужність, $P_{пр}$ ,<br>мВт                              | 3,93  | -  | 4,04  | -  |
| Потенціал $\varphi$ , В                                    | 0,616                                       | -  | 0,633                                       | -  |
| Опір бази $r_6$ , Ом                                       | 9,76  | -  | 8,81  | -  |
| Струм<br>виродження $I_{вир}$ ,<br>мА                      | 2,589                                       | -  | 2,868                                       | -  |
| Мінімальна<br>напруга<br>стабілізації<br>$U_{ст min}$ , В  | -   | 8,61   | -   | 2,87   |
| Максимальна<br>напруга<br>стабілізації<br>$U_{ст max}$ , В | -   | 8,67   | -   | 3,57   |
| Напруга<br>стабілізації $U_{ст}$ , В                       | -   | 8,64   | -   | 3,22   |
| Струм $I_{ст min}$ , мА                                    | -   | 1  | -   | 1,7  |
| Струм стабілізації<br>$I_{ст}$ , мА                        | -   | 4,1  | -   | 4,47   |
| Струм $I_{роб}$ , мА                                       | -   | 4,15   | -   | 4,5  |
| Напруга $U_{роб}$ , В                                      | -   | 8,65   | -   | 3,25   |
| Потужність $P_{роб}$ ,<br>мВт                              | -   | 35,856   | -   | 14,625   |
| Диференційний<br>опір $r_{диф}$ , Ом                       | -   | 13,2   | -   | 66   |

|                                       |   |         |   |        |
|---------------------------------------|---|---------|---|--------|
| Статичний опір<br>$R_{ст}$ , Ом       | - | 2084,33 | - | 722,2  |
| Коефіцієнт якості<br>стабілітрона $Q$ | - | 157,9   | - | 109,42 |
| Параметр якості                       | - | 0,00694 | - | 0,217  |

Табл. №6.1. Зведені дані.

## **7. ВИСНОВОК**

У ході виконання роботи було проведено дослідження електричного пробою р-п переходу та дослідження ВАХ характеристик і параметрів напівпровідникових стабілітронів.