

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)

Перевірів 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_{pr} . (Значення струмів задаються викладачем).
6. *Виміряти температурний коефіцієнт двох зустрічно ввімкнених стабілітронів при тих же струмах і температурах. Порівняти отримані результати з розрахунковими ТКН і.
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

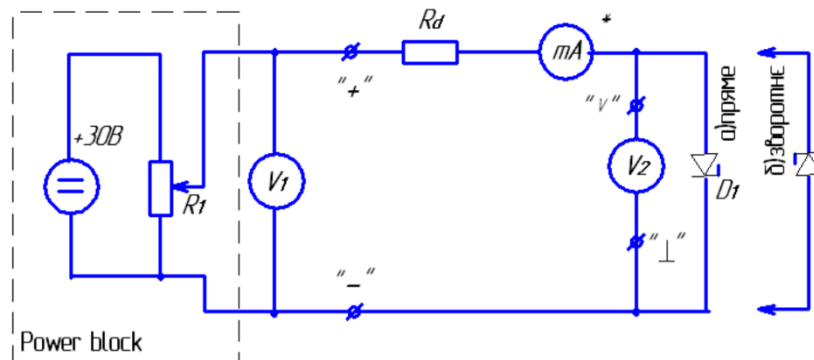


Рис.1. Схема експериментальної установки для дослідження вольт-амперної характеристики стабілітронів.

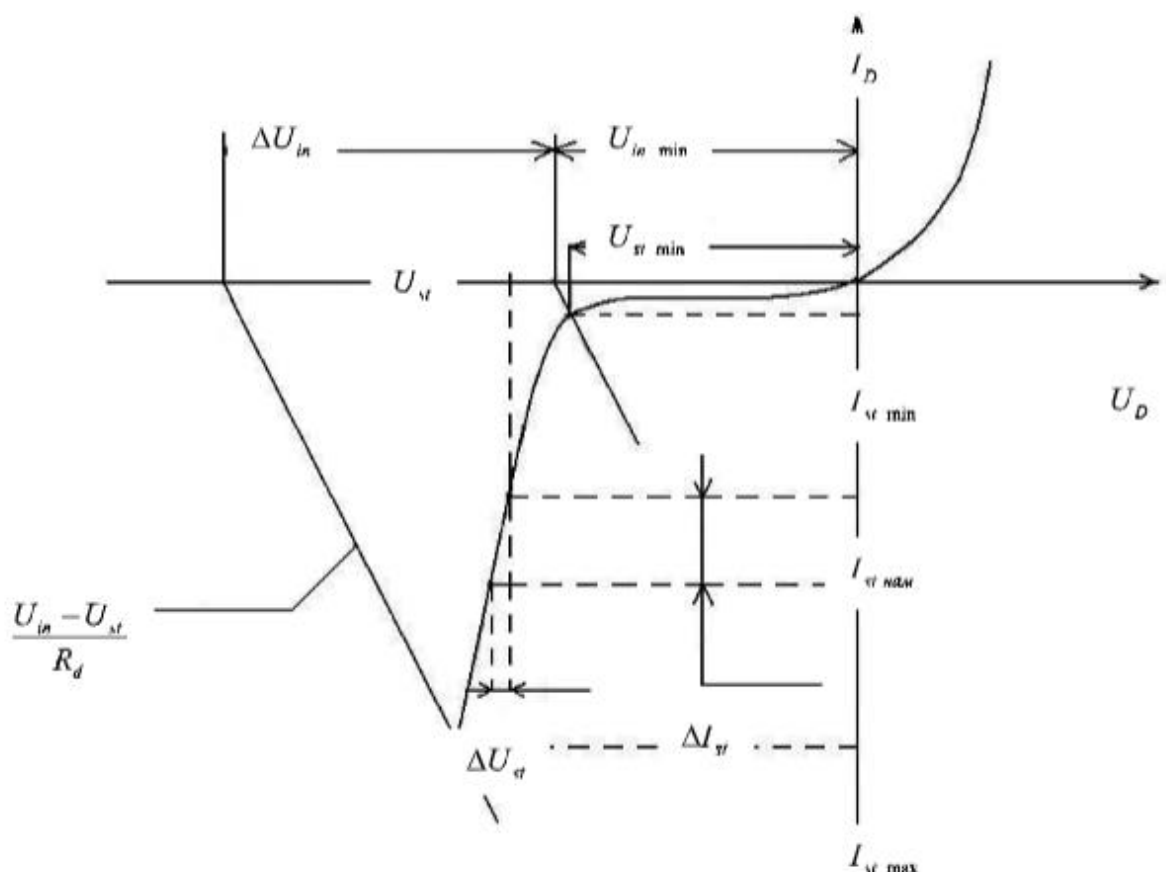


Рис.2. Графічне визначення окремих параметрів стабілітрона за його вольт-амперною характеристикою.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ

3.1.Результати вимірювань

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

I_D, mA	0	1	1,6	3	3,55	5,4	5,9	7,1	8,2	9	10
U_D, B	0	0,611	0,629	0,642	0,648	0,660	0,663	0,668	0,674	0,677	0,680

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

I_D, mA	0	1	2	3	4	5,6	7,5	8,6	10
U_D, B	0	8,61	8,62	8,63	8,64	8,65	8,66	8,66	8,67

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

I_D, mA	0	1	2	3,4	4,1	5	5,9	7,4	7,6	8,5	9,5	10
U_D, 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. №4.4. ВАХ стабілітрона №2. Умови досліджень: зворотне зміщення, $T_1=20^{\circ}\text{C}$

I_D, mA	0	1	1,7	2,6	3,3	4,5	5,8	6,6	7,4	8,4	9,2	10
U_D, B	0	2,6	2,87	3,03	3,12	3,24	3,35	3,4	3,45	3,5	3,54	3,57

3.1.1. Пряма гілка ВАХ.

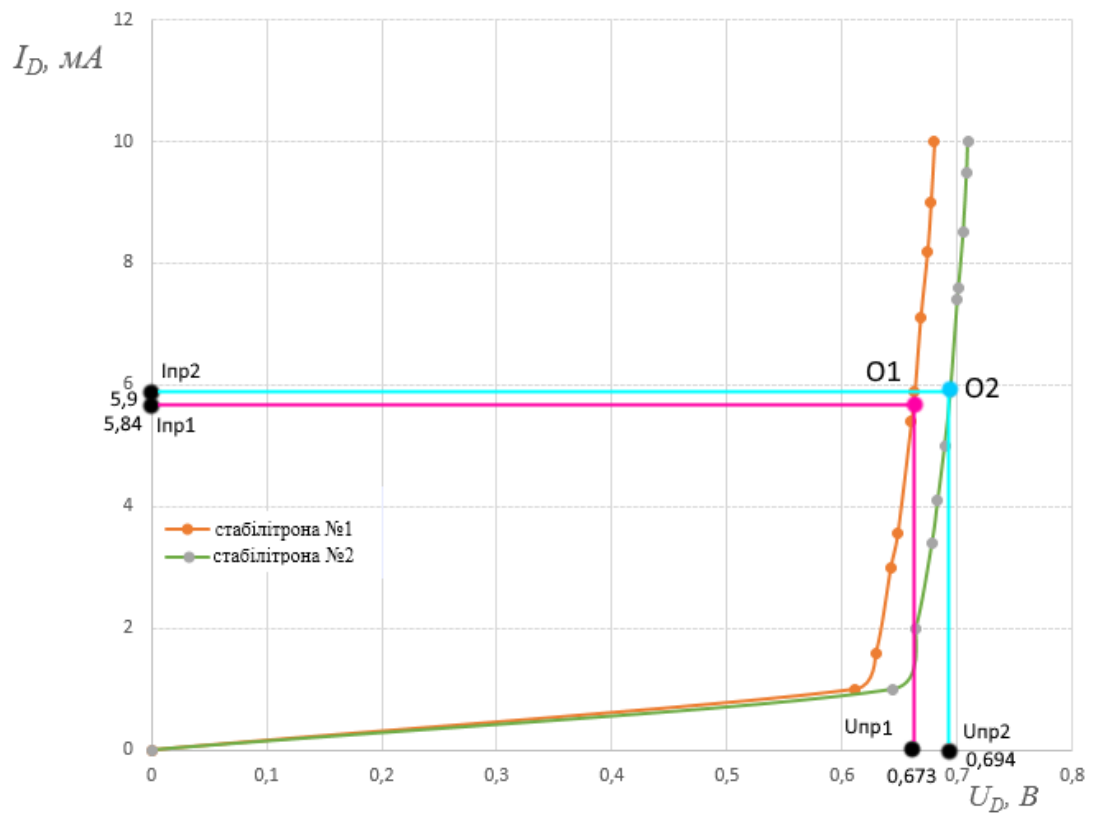


Рис.3: Графічна залежність для прямої гілки ВАХ стабілітронів.

3.1.2. Зворотня гілка ВАХ.

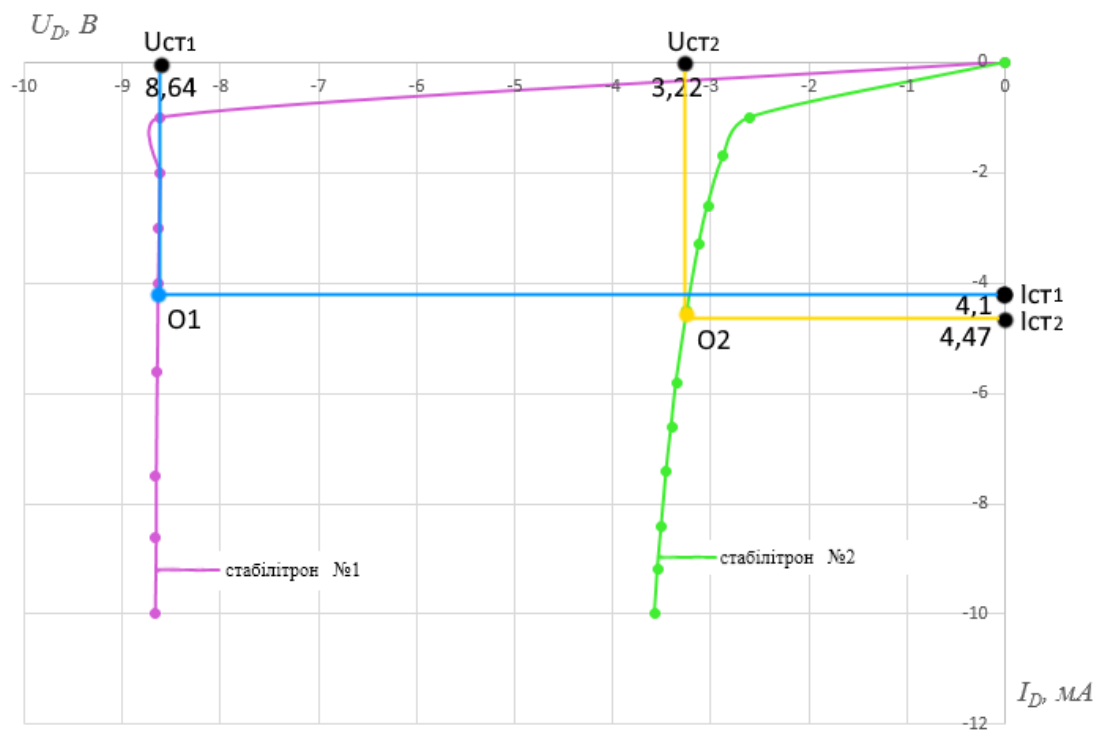


Рис.4: Графічна залежність для зворотної гілки ВАХ стабілітронів.

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:

Із вольт-амперної характеристики визначити (див. побудову на графіках ВАХ).

4.2.1 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 $I_{пр1} = 5,84$ мА;
- Напряга $U_{пр1} = 0,673$ В;
- Потужність $P_{пр} = I_{пр1} \cdot U_{пр1} = 5,84 \cdot 10^{-3} \cdot 0,673 = 3,93$ 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 φ_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°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;

$$\text{Опір бази } r_b = \frac{U_{пр} - \varphi_0}{I_{пр}} = \frac{0,673 - 0,616}{5,84} \cdot 10^3 = 9,76 \text{ Ом};$$

$$\text{Струм виродження } I_{вир} = \frac{\varphi_T}{r_b} = \frac{25,27 \cdot 10^{-3}}{9,76} = 2,589 \text{ мА};$$

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:

$$U_{ст1} = \frac{U_{ст\ min2} + U_{ст\ max2}}{2} = \frac{8,61 + 8,67}{2} = 8,64\ В ;$$

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

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

$$\text{Струм стабілізації } I_{ст1} = 4,1\ \text{мА} ;$$

- Скориставшись графіком ВАХ характеристики Рис.4, оберемо 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 $U_{пр} = 0,685\ В$;
- 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 $I_{np} \rightarrow 0$ 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 φ_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°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 $\varphi_{01} = 0,633 \text{ В};$

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

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

Для зворотної гілки:

Виходячи з графіку Рис.4 у пункті:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Статичний опір } R_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{роб}}}{I_{\text{роб}}} = \frac{3,25}{4,5} \cdot 10^3 \approx 772,2 \text{ Ом};$$

$$\text{Коефіцієнт якості стабілітрона } Q = \frac{R_{\text{ст}}}{r_{\text{диф}}} = \frac{772,2}{6,6} = 109,42;$$

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

6. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИСНОВКИ З ВИКОНАНОЇ РОБОТИ.

Табл. №6.1. Зведені дані.

Основні параметри: (умовне познач., розмірність)	для діода типу №1, пряма гілка ВАХ	для діода типу №1, зворотня гілка ВАХ	для діода типу №2, пряма гілка ВАХ	для діода типу №2, зворотня гілка ВАХ
Струм $I_{\text{пр}}$, мА	5,84	-	5,9	-
Напруга $U_{\text{пр}}$, В	0,673	-	0,685	-
Потужність, $P_{\text{пр}}$, мВт	3,93	-	4,04	-
Потенціал φ , В	0,616	-	0,633	-
Опір бази r_b , Ом	9,76	-	8,81	-
Струм виродження $I_{\text{вир}}$, мА	2,589	-	2,868	-
Мінімальна напруга стабілізації	-	8,61	-	2,87

$U_{ст min}, В$				
Максимальна напруга стабілізації $U_{ст max}, В$	-	8,67	-	3,57
Напруга стабілізації $U_{ст}, В$	-	8,64	-	3,22
Струм $I_{ст min}, МА$	-	1	-	1,7
Струм стабілізації $I_{ст}, МА$	-	4,1	-	4,47
Струм $I_{роб}, МА$	-	4,15	-	4,5
Напруга $U_{роб}, В$	-	8,65	-	3,25
Потужність $P_{роб},$ мВт	-	35,856	-	14,625
Диференційний опір $r_{диф}, Ом$	-	13,2	-	66
Статичний опір $R_{ст}, Ом$	-	2084,33	-	722,2
Коефіцієнт якості стабілітрона Q	-	157,9	-	109,42
Параметр якості	-	0,00694	-	0,217

ВИСНОВОК

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