

## Лабораторна робота 4

### **Тема: Дослідження напівпровідникових стабілітронів**

*Мета роботи:* поглиблення і закріплення знань з основних фізичних процесів, що протікають у зворотно-зміщених електронно-діркових переходах, особливості напівпровідникових стабілітронів, їхні експлуатаційні параметри; набуття навичок експериментального дослідження таких приладів і визначення показників параметричних стабілізаторів.

### **4.1. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

Напівпровідникові діоди ефективно використовуються й у зворотному включенні. Коли зворотна напруга діода досягає визначеного критичного значення, струм діода починає різко зростати. Це явище називають пробоем діода. Розрізняють три види пробою: тунельний, лавинний і тепловий. Перші два пов'язані зі зростанням напруженості електричного поля в переході, а третій – зі зростанням потужності, яка розсіюється в переході, а отже і температури.

В основі тунельного пробою лежить тунельний ефект, тобто «просочування» електронів крізь тонкий потенційний бар'єр переходу. В основі лавинного пробою лежить «розмноження» носіїв в сильному електричному полі, яке діє в області переходу. Електрон і дірка, які прискорюються полем під час вільного пробігу, можуть розірвати один з ковалентних зв'язків напівпровідника. В результаті з'являється нова пара електрон-дірка і процес повторюється уже за участі нових носіїв. Якщо напруга поля достатньо велика, тобто якщо вихідна пара носіїв в середньому дає життя більш ніж одній новій парі, іонізація набуває лавинний характер, подібно самостійному розряду в газі. При цьому струм буде обмежено тільки зовнішнім опором. Явище пробою застосовується в стабілітронах – приладах, який призначено для стабілізації напруги.

Тунельний та лавинний пробій не приводять до руйнування р-n переходу. Тому при зниженні напруги р-n перехід повертається до свого попереднього стану.

Тепловий пробій, як правило руйнує р-n перехід, тому зворотної дії не має.

В основі теплового пробою лежить саморозігрів переходу під час протікання зворотного струму.

При зростанні температури зворотній струм теж зростає, відповідно зростає потужність, яка розсіюється в переході; це викликає додаткове зростання температури і, як наслідок, руйнування переходу.

#### 4.1.1. Моделювання стабілітронів.

В програмі Multisim стабілітрони представлено в каталозі Diodes бібліотеки компонентів.

Після натискання кнопки Zener з'явиться діалогове вікно вибору конкретного діоду (рис. 4.1).

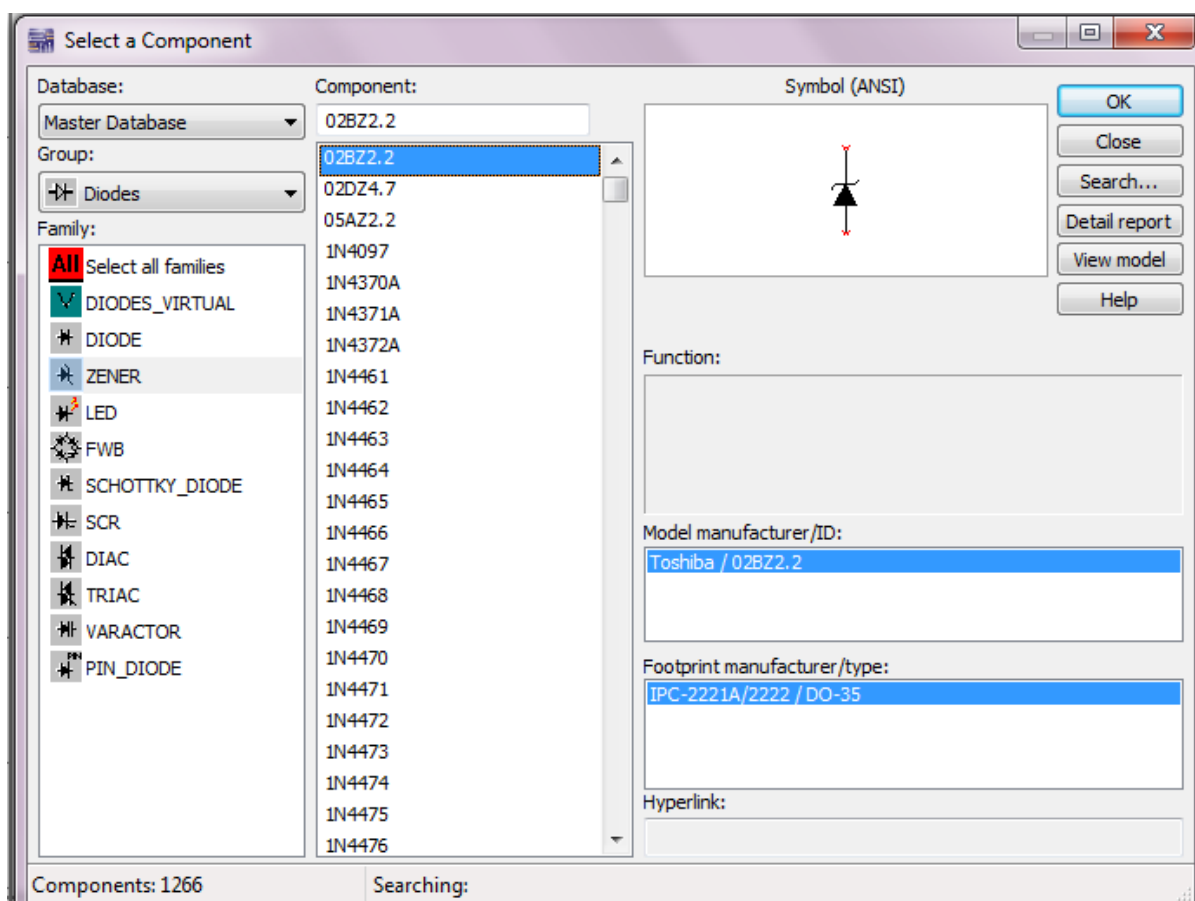


Рис. 4.1 Діалогове вікно вибору моделі стабілітрона програми Multisim

#### 4.1.2. Параметричний стабілізатор.

Використовується в малопотужних джерелах живлення (з вихідним струмом 15...20 мА), а також у якості джерел опорної напруги в компенсаційних стабілізаторах і контрольно-вимірювальній апаратурі.

Основну схему одно каскадного параметричного стабілізатора наведено на рисунку 4.2,а. При зміні входної напруги  $U_i$  струм  $I_s$  через стабілітрон VD теж змінюється. Це призводить до незначних змін напруги на стабілітроні, а отже, і на навантаженні. Зміна  $U_0$  залежить від приросту  $\Delta U_i$ , опору резистора  $R_0$ , і внутрішнього (диференційного) опору стабілітрона, який дорівнює  $R_s = dU_s/dI_s$ .

Коефіцієнт стабілізації в загальному випадку визначається за формулою:

$$K_{CT} = \frac{\Delta U_i}{\Delta U_0} \cdot \frac{U_0}{U_i} \quad (4.1)$$

Для орієнтовних розрахунків використовують наближену формулу:

$$K_{CT} = \frac{U_0}{U_i} \cdot \frac{R_0}{R_s} \quad (4.2)$$

Для більш точних розрахунків рекомендується формула:

$$K_{CT} = \frac{1 + \frac{R_0}{R_i}}{1 + R_0 \frac{I_s + I_n}{U_0}} \quad (4.3)$$

де  $I_s$ ,  $I_n$  – струм стабілітрона і навантаження відповідно.

Коефіцієнт корисної дії такого стабілізатора розраховується за формулою:

$$\hat{\epsilon} = \frac{U_0 \cdot I_n}{U_i \cdot (I_n + I_s)} \quad (4.4)$$

Внутрішній опір стабілізатора, обумовлений в основному диференційним опором стабілітрона, досягає мінімальної величини для стабілітронів з напругою стабілізації 6 ... 8В.

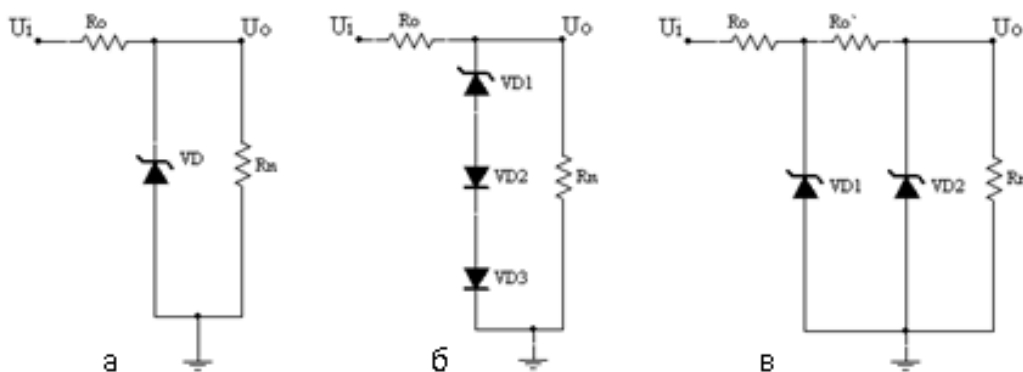


Рис. 4.2 Схема параметричного стабілізатора напруги: а) без термокомпенсації ;  
б) з термокомпенсацією; в) двохкаскадний

Температурний коефіцієнт напруги  $K_{\text{тн}}$  стабілітрона визначає відхилення вихідної напруги параметричного стабілізатора при зміні температури. Найбільшу температурну залежність мають прилади з напругою стабілізації  $U_s > 5,5\text{В}$ . Температурна компенсація в цьому випадку може бути досягнута ввімкненням послідовно зі стабілітроном діодів в прямому напрямку (VD2 і VD3 на рис.4.2,б). Але при цьому зростає внутрішній опір стабілізатора за рахунок диференційних опорів термокомпенсуючих діодів. Крім того, термокомпенсований стабілізатор має підвищене значення  $U_s$  і знижений коефіцієнт стабілізації.

Якщо потрібна підвищена стабільність вихідної напруги, то використовують двох каскадні (рис. 4.2,в), мостові схеми стабілізаторів або параметричні стабілізатори зі стабілізатором струму. Попередня стабілізація напруги в двох каскадному стабілізаторі (рис. 4.2,в) за допомогою елементів  $R_0$  і VD1 дозволяє отримати достатньо високий коефіцієнт стабілізації вихідної напруги. Він визначається за формулою:

$$K_{CT} = \frac{U_0}{U_i} \cdot \frac{R_0}{R_{S1}} \cdot \frac{R_0}{R_{S2}}, \quad (4.5)$$

де  $R_{S1}$  і  $R_{S2}$  - динамічні опори стабілітронів VD1 і VD2.

## 4.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Запустити програму Multisim.
2. Побудувати та вивчити призначення всіх елементів схеми (рис. 4.3).
3. Дослідити зворотну гілку вольт-амперної характеристики напівпровідникового стабілітрону 1N4733A. Для цього:
  - встановити значення напруги генератора 0,1В;
  - увімкнути моделювання;
  - занести показники амперметра (U1) та вольтметра (U2) до протоколу;
  - вимкнути моделювання;
  - повторити вищеназвані дії для наступних напруг генератора: 0,5В; 1В; 3В; 5В; 7В; 10В;

- побудувати вольт-амперну характеристику.

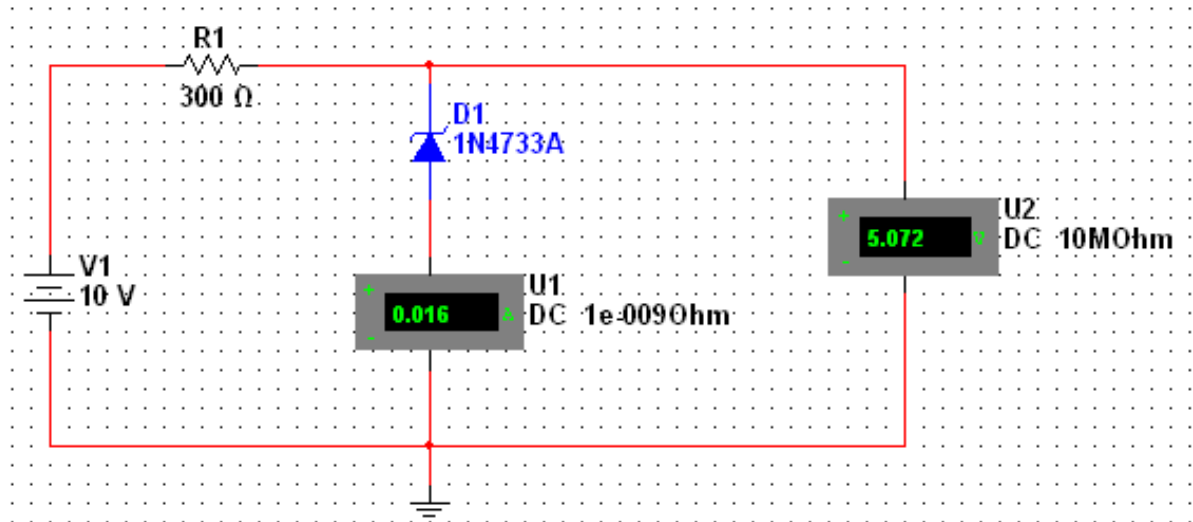


Рис. 4.3. Електрична принципова схема виміру вольт-амперної характеристики напівпровідникових стабілітронів

4. Побудувати та вивчити призначення всіх елементів схеми (рис. 4.4). Початкові значення потенціометрів дорівнюють 100%.

5. Зняти залежність струму стабілітрона, струму навантаження і вихідної напруги  $U_{ст}$  від опору навантаження  $R_H$ . Для цього необхідно:

- зафіксувати значення  $U_{ст}$ ,  $I_{ст}$ ,  $I_H$  у п'яти значеннях потенціометра  $R_3$  (0%, 25%, 50%, 75%, 100%);
- зробити такі ж виміри при **мінімальному** та середньому значеннях обмежувального опору (потенціометр  $R_2 = 0\%$  та 50%). Порівняти значення  $U_{ст}$  при  $R_{2max}$  і  $R_{2min}$

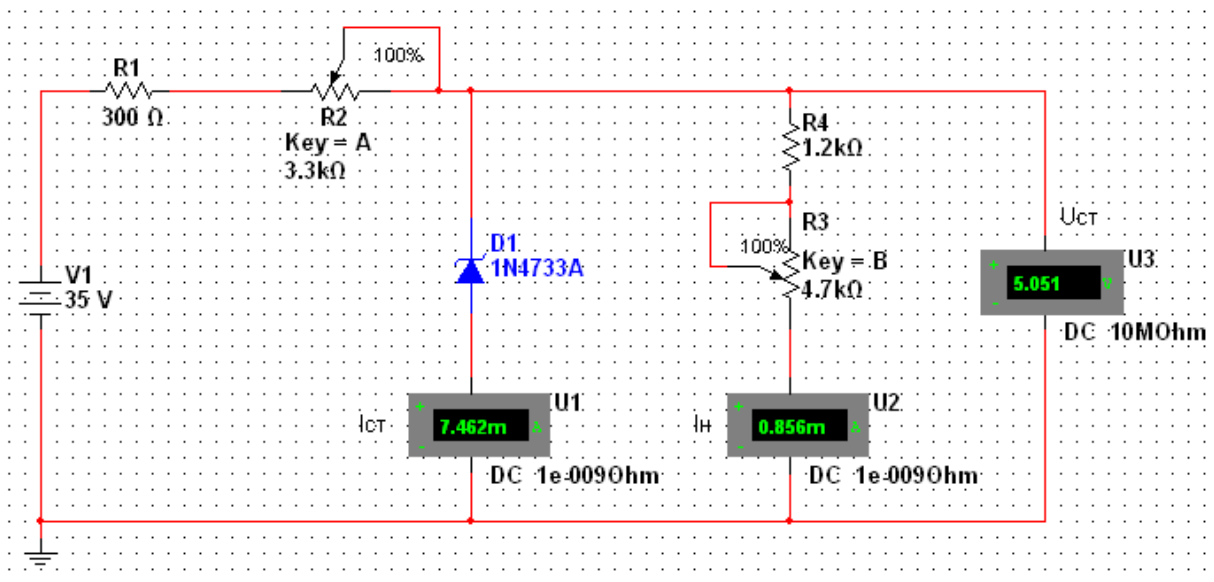


Рис. 4.4 Схема електрична принципова параметричного стабілізатора

6. Результати вимірів звести в таблиці.

7. Побудувати графіки залежностей:  $U_{ст} = f(U_{вх})$  і  $I_{ст} = f(U_{вх})$ ,  $I_{н} = f(U_{вх})$ ,  $U_{ст} = f(R_{н})$ ,  $I_{ст} = f(R_{н})$ ,  $I_{н} = f(R_{н})$ , при  $R_{2max}$  і  $R_{2min}$ . Перший, другий, третій та четвертий, п'ятий, шостий графіки відповідно сполучаються.

8. Побудувати та вивчити призначення всіх елементів схеми (рис. 4.5). Початкові положення перемикачів «1». Напруга джерела сигналу повинна дорівнювати 3В.

9. Дослідити роботу одностороннього обмежувача. Для цього:

- увімкнути моделювання;
- зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів;
- визначити амплітуду вихідного сигналу;
- за допомогою клавіші «Space» змінити полярність увімкнення стабілітрона в контур;
- зарисувати осцилограму вихідного сигналу;
- вимкнути моделювання;
- збільшити амплітуду вхідного сигналу до 7В і повторити всі вищевказані підпункти п. 9;
- занести результати в протокол.

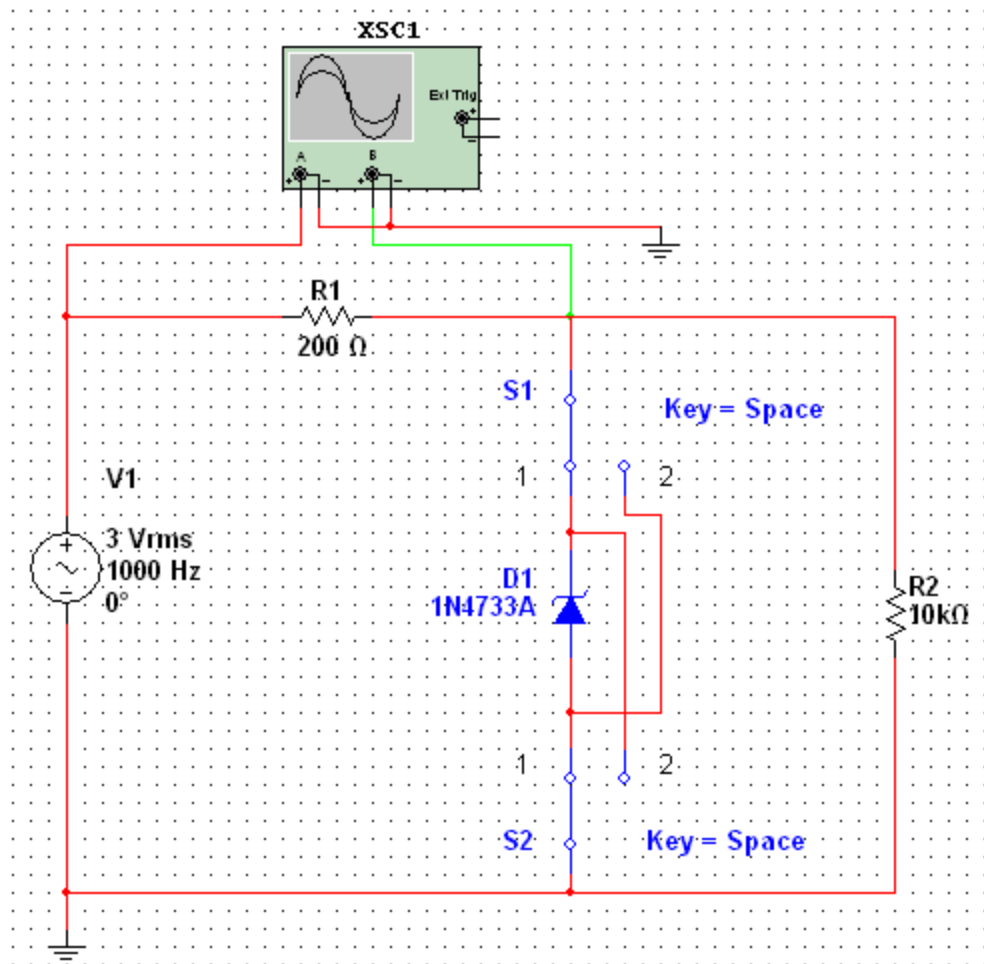


Рис. 4.5 Схема електрична принципова обмежувача на стабілітроні

10. Побудувати та вивчити призначення всіх елементів схеми (рис. 4.6).  
Напруга джерела сигналу повинна дорівнювати 4В.

11. Дослідити роботу двохстороннього обмежувача. Для цього:

- увімкнути моделювання;
- зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів;
- визначити амплітуду вихідного сигналу;
- вимкнути моделювання;
- повторити всі вищевказані підпункти п. 10 при наступних напругах джерела вхідного сигналу: 6В і 10В;
- занести отримані дані в протокол.

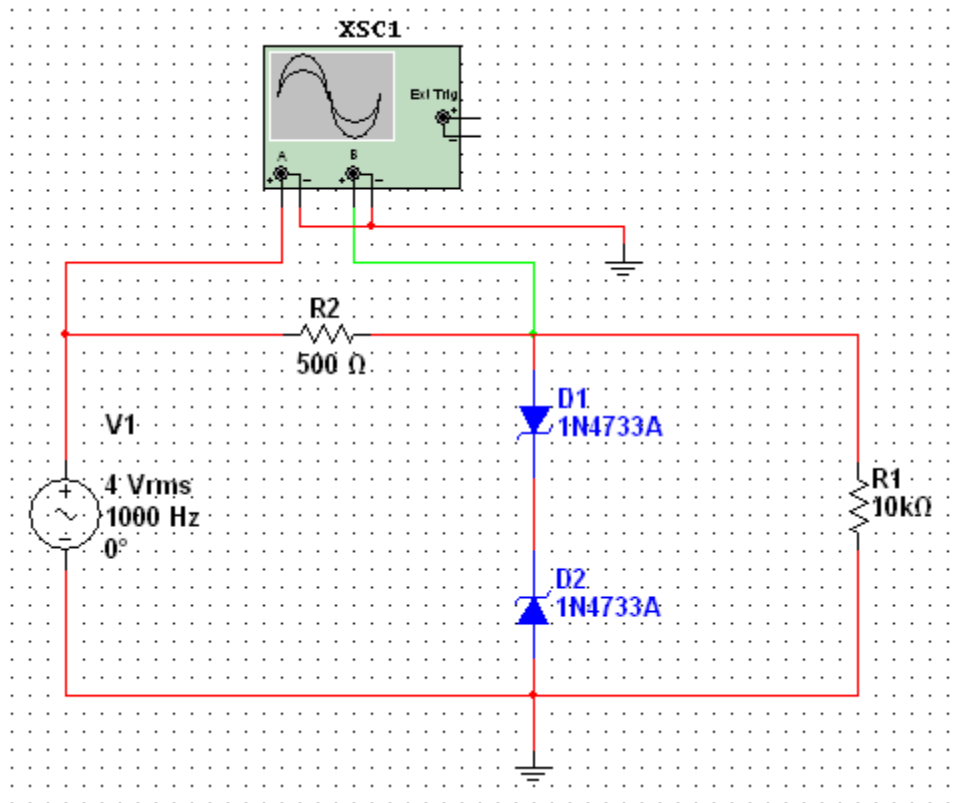


Рис. 4.6 Схема електрична принципова двохстороннього обмежувача на стабілітроні

12. Побудувати та вивчити призначення всіх елементів схеми параметричного стабілізатора (рис. 4.7). Обчислити та порівняти значення коефіцієнтів стабілізації за формулою (4.2) при значеннях потенціометра R2 **0%, 50% та 100%** його значення. Підключити навантажувальний резистор  $R_3 = 1\text{кОм}$  паралельно до стабілітрона D2 та знову обчислити такі ж коефіцієнти стабілізації. Результати занести до таблиці. Зробити висновки.



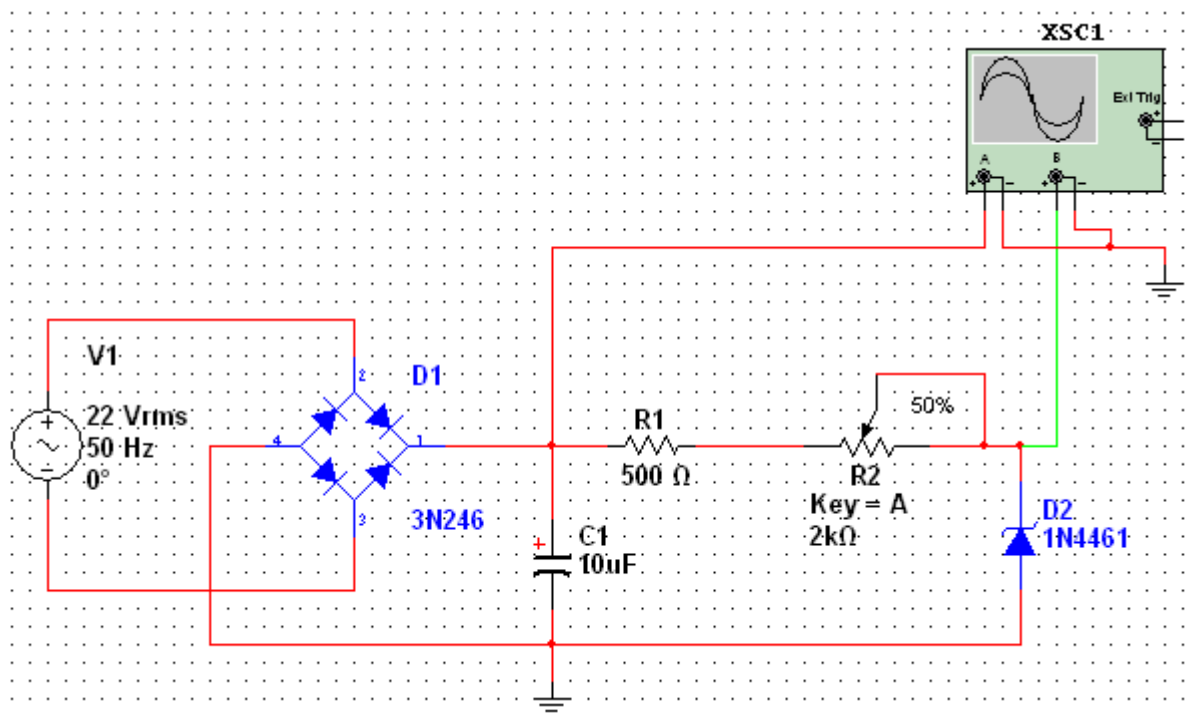


Рис. 4.7 Схема електрична принципова параметричного стабілізатора

13. Вимкнути програму Multisim.
14. Проаналізувати отримані результати, зробити висновки й оформити протокол звіту.

### 4.3. ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- мету лабораторної роботи;
- електричні параметри, СВAX і граничні експлуатаційні дані досліджуваного типу стабілітронів (1N4733A);
- позначення і графічне зображення стабілітронів за стандартом;
- принципову електричну схему для дослідження стабілітронів;
- результати експериментальних досліджень у вигляді таблиць і графіків;
- висновки, що базуються на аналізі отриманих результатів.

#### **4.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Охарактеризуйте види пробоїв напівпровідникових діодів.
2. При яких умовах можливий тунельний пробій?
3. Яка гілка ВАХ є робочою в стабілітронах і стабісторах?
4. Поясніть принцип дії параметричного стабілізатора.
5. Як відбувається стабілізація вихідної напруги при зменшенні вхідної?
6. Чому не змінюється напруга на стабілітроні при збільшенні струму навантаження?
7. Як обчислюється коефіцієнт стабілізації параметричного стабілізатора?