**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від __ _____ 20__ р.
№__

# МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
## для проведення лабораторної роботи № 3
## з навчальної дисципліни
## «Електроживлення систем зв'язку»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньо-професійна програма «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньо-професійна програма «Інформаційні відеосистеми та системи контролю доступу»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях

Рекомендовано на засіданні кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях
___ _____ 20__ р.,
протокол № ___


Розробник: ст. викладач кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях
БЕНЕДИЦЬКИЙ Василь


Житомир
2024

# Лабораторна робота № 3

## Дослідження параметричного стабілізатора постійної напруги

**Мета роботи:** Ознайомитися із принципами розрахунку, роботою параметричних стабілізаторів постійної напруги. Дослідити характеристики параметричного стабілізатора.

## Теоретичні відомості

Стабілізатор напруги ставиться на виході вторинного джерела живлення і служить для зменшення коливань вихідної напруги, викликаних змінами струму навантаження, напруги первинної мережі, температури довкілля тощо.

характеризується такими основними показниками:

1) коефіцієнтом стабілізації $K_{\text{ст}}$, що показує, у скільки раз відносна зміна напруги на виході стабілізатора менше його відносної зміни на вході:

$$K_{\text{ст}} = \frac{\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}}}{\frac{\Delta U_{\text{вих}}}{U_{\text{вих}}}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}} U_{\text{вих}}}{\Delta U_{\text{вих}} U_{\text{вх}}}, \tag{3.1}$$

де $\Delta U_{\text{вх}}$, $\Delta U_{\text{вих}}$ – збільшення вхідної і вихідної напруги при постійному струмі навантаження $I_{\text{н}} = const$; $U_{\text{вх}}$, $U_{\text{вих}}$ – номінальні значення вхідної і вихідної напруги стабілізатора;

2) внутрішнім опором стабілізатора $R_i$, що визначається відношенням збільшення вихідної напруги до збільшення струму навантаження при постійній напрузі на вході:

$$R_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{\Delta I_{\text{н}}} \text{ при } U_{\text{вх}} = const, \tag{3.2}$$

3) коефіцієнтом згладжування пульсації вхідної напруги $K_{\text{згл}}$:

$$K_{\text{згл}} = \frac{U_{\text{вх}\nabla} U_{\text{вих}}}{U_{\text{вих}\nabla} U_{\text{вх}}}, \tag{3.3}$$

де $U_{\text{вх}\nabla}$, $U_{\text{вих}\nabla}$ – амплітуда напруги пульсації на вході і виході стабілізатора;

4) температурним коефіцієнтом стабілізації $\gamma$ – відношенням збільшення

вихідної напруги до збільшення температури навколишнього середовища при постійній напрузі на вході і струмі навантаження:

$$\gamma = \frac{U_{\text{вих}}}{\Delta t_{\text{нав}}} \text{ при } U_{\text{вх}} = const, I_{\text{н}} = const. \quad (3.4)$$

В якості параметричних стабілізаторів постійних напруг використовуються нелінійні опори, у яких струм є нелінійною функцією напруги. Найбільш широко в параметричних стабілізаторах застосовуються кремнієві стабілітрони. Стабілізуюча властивість їх заснована на тому, що падіння напруги на *p-n* переході мало залежить від струму на робочій ділянці вольт-амперної характеристики. Кремнієві стабілітрони характеризуються параметрами:

$U_{\text{ст}}$ – напругою стабілізації на робочій ділянці вольт-амперної характеристики при номінальному струмі стабілізації;

$I_{min}$ – мінімально допустимим струмом стабілізації, який характеризує початок робочої ділянки;

$I_{max}$ – максимально допустимим струмом стабілізації, при якому потужність розсіювання на стабілітроні не перевищує максимально допустиме значення;

$r_{\text{ст}}$ – диференційним опором стабілітрона, який визначається як відношення приросту напруги стабілізації до приросту струму через стабілітрон;

$\alpha = \frac{\Delta U_{\text{ст}} 100}{(\Delta t_{\text{нав}} U_{\text{ст}})}$ [%/°C] – температурним коефіцієнтом напруги стабілізації, який визначається відношенням зміни напруги стабілізації у відсотках до абсолютної зміни температури;

$P_{max}$ – максимально допустимою потужністю розсіювання стабілітрона, при якій температура *p-n* переходу не перевищує гранично допустимого значення;

$\Delta U_{\text{ст}}$ – максимальним відхиленням напруги стабілізації на робочій ділянці вольт-амперної характеристики стабілітрона.

Однокаскадна схема параметричного стабілізатора напруги із кременевим стабілітроном. представлена на рисунку 3.1. Баластний резистор $R_б$, включений послідовно із колом джерела постійної напруги, визначає початкове положення робочої точки на вольт-амперній характеристиці стабілітрона.

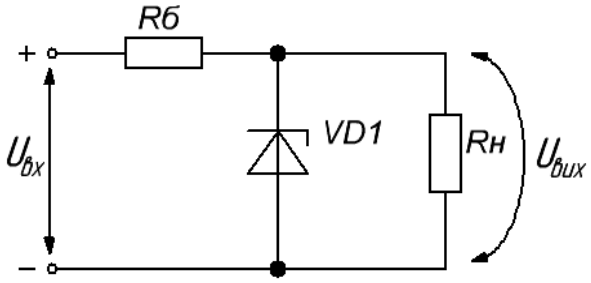


Рис. 3.1. – Схема однокаскадного параметричного стабілізатора постійної напруги

Точність підтримки напруги на виході параметричного стабілізатора тим вище, чим менше зміна струму через стабілітрон. Зміна напруги на вході стабілізатора (рис. 3.1) викликає зміну струму у стабілітроні і у баластному опорі, падіння напруги на якому змінюється та забезпечує сталість вихідної напруги із певним ступенем точності. Якщо при постійному $U_{вх}$ змінюється $R_н$, то струм навантаження змінюється обернено пропорційно до зміни $R_н$.

При малому коливанні $U_{вих}$ напруга на $R_б$ рис. 3.1. (при постійному $U_{вх}$) змінюється так само мало, що означає сталість струму через $R_б$.

Звідси видно, що за певної зміни струму навантаження, струм стабілітрона змінюється протифазно на таку ж величину. При цьому зміна $U_{вих}$ дорівнює добутку зміни струму стабилитрона на $r_{ст}$. Розрахунок параметричних стабілізаторів напруги зводиться до визначення коефіцієнта стабілізації, величини баластного опору, внутрішнього опору. Максимально можливий коефіцієнт стабілізації однокаскадного параметричного стабілізатора дорівнює

$$K_{ст\,max} = U_{вих}\frac{1-\alpha-\alpha_\nabla}{((I_н + I_{ст})r_{ст})}, \qquad (3.5)$$

де $\alpha$ – відносне відхилення вхідної напруги у бік зниження; $\alpha_\nabla$ – відносне

значення амплітуди пульсації вхідної напруги. Величина баластного опору $R_б$ знаходиться із виразу

$$R_б = \frac{U_{вх\,min} - U_{вих}}{I_{ст} + I_н}, \tag{3.6}$$

де $U_{вх\,min} = U_{вх}(1 - \alpha)$.

Мінімальна вхідна напруга повинна мати значення, за якого $I_{ст} > I_{ст\,min}$. Для схеми рис. 3.1 коефіцієнт стабілізації визначається за формулою

$$K_{ст} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}\left(1 + \frac{R_г}{R_н} + \frac{R_г}{r_{ст}}\right) \cong \frac{U_{вих}R_г}{U_{вх}r_{ст}}. \tag{3.7}$$

Внутрішній опір стабілізатора:

$$R_i = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta I_н} = \frac{r_{ст}R_г}{r_{ст} + R_г} \cong r_{ст}. \tag{3.8}$$

Для зменшення температурного коефіцієнта напруги стабілізатора $\gamma$, який залежить від $\alpha_{ст}$ кремнієвого стабілітрона рис. 3.1, застосовують температурну компенсацію, включаючи послідовно зі стабілітроном VD1 один або кілька термокомпенсуючих діодів, зміщених у прямому напрямку. Коефіцієнт корисного дії стабілізатора:

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P_{вх}} = \frac{U_{вих}I_н}{U_{вх}(I_{ст} + I_н)}, \tag{3.9}$$

При збільшенні $R_г$ у схемі рис. 3.1 коефіцієнт стабілізації також зростає, але при цьому знижується коефіцієнт корисної дії (3.9) та збільшується вхідна напруга.

## Постановка завдань дослідження в роботі

**Завдання 1**. Запустити програмний пакет Ltspice XVII. В робочому вікні Ltspice зібрати схему параметричного стабілізатора напруги (рис. 3.1) або запропоновану викладачем.

У схему включити наступні компоненти:

– джерело постійної напруги **V1**,

– струмообмежуючий резистор **R1**

– напівпровідниковий діод **D1** (стабілітрон).

– опір навантаження **R2**.

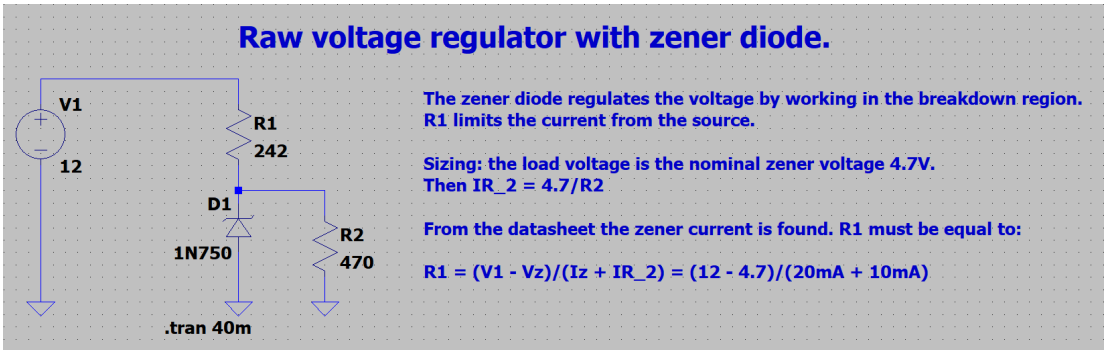


Рис. 3.1. Робоча схема для дослідження параметричного стабілізатора.

Для цього створіть новий файл шляхом послідовного вибору наступних підпунктів меню: **File/New Schematic (Ctrl+N)**. Розставте відповідні елементи схеми (спочатку можна в довільному місці і з довільними параметрами), для чого натисніть піктограми встановлення компонентів.

По довідниковій літературі обрати відповідний стабілітрон (**Zener**), що пропонуються для досліджень в роботі за номінальною напругою стабілізації $U_{ст}$ (табл. 3.1), крім того додатково визначити номінальний струм стабілізації $I_{ст}$.

Типи діодів можуть бути замінені на інші після клацання правою кнопкою мишки на відповідному зображенні компонента в робочому вікні Ltspice та обрати **Pick New Diode**.

Таблиця 3.1. Основні параметри стабілітронів.

| Варіант | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Напруга стабілізації номінальна $U_{ст}$, В | 6,2 | 9,1 | 11,0 | 13,0 | 16,0 | 20,0 | 24,0 | 30,0 | 36,0 | 68,0 |

Таблиця 3.2. Основні параметри навантаження.

| Варіант | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Опір | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |

| навантаження $R_н$, Ом | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

Напруга джерела постійної напруги V1

$$U_{вх} = 2 \cdot U_{ст}. \quad (3.10)$$

Опір струмообмежуючого резистора $R_1$ розрахувати за формулою

$$R_1 = \frac{U_{вх} - U_{ст}}{I_{ст} + I_н}. \quad (3.11)$$

Струм навантаження $I_н$ розрахувати за формулою

$$I_{ст} = \frac{U_{ст}}{R_н}. \quad (3.12)$$

**Завдання 2**. Змінюючи напругу $U_{вх}$ джерела V1 відповідно до табл. 3.3 зняти амплітудну характеристику параметричного стабілізатора напруги для трьох значень струму навантаження: $I_н = 0$, $I_н$, $2I_н$.

Результати занести до табл.3.3. Графічно відобразити залежність вихідної напруги стабілізатора від напруги з його вході $U_{вих} = f(U_{вх})$.

Таблиця 3.3. Результати вимірів. Залежність вихідної напруги стабілізатора від напруги на вході

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_н = 0$ | $U_{вх}$ | $0{,}1U_{ст}$ | $0{,}25U_{ст}$ | $0{,}5U_{ст}$ | $U_{ст}$ | $1{,}5U_{ст}$ | $2U_{ст}$ | $2{,}5U_{ст}$ |
| | $U_{вих}$ | | | | | | | |
| $I_н$ | $U_{вх}$ | $0{,}1U_{ст}$ | $0{,}25U_{ст}$ | $0{,}5U_{ст}$ | $U_{ст}$ | $1{,}5U_{ст}$ | $2U_{ст}$ | $2{,}5U_{ст}$ |
| | $U_{вих}$ | | | | | | | |
| $2 \cdot I_н$ | $U_{вх}$ | $0{,}1U_{ст}$ | $0{,}25U_{ст}$ | $0{,}5U_{ст}$ | $U_{ст}$ | $1{,}5U_{ст}$ | $2U_{ст}$ | $2{,}5U_{ст}$ |
| | $U_{вих}$ | | | | | | | |

Визначити напругу стабілізації $U_{ст0}$ (початок горизонтальної ділянки амплітудної характеристики).

**Завдання 3**. Змінюючи напругу на вході стабілізатора, встановити на виході напругу $U_{ст0}$. Зафіксувати значення $U_{вх0}$.

Збільшити напругу на вході стабілізатора на 1,0 В, виміряти $U_{вих}$ та визначити

$$\Delta U_{\text{вих}} = U_{вих} - U_{ст0} \tag{3.13}$$

Визначити значення коефіцієнта стабілізації:

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вих}} / U_{\text{ст0}}}, \tag{3.14}$$

де $\Delta U_{\text{вх}} = 1$ В.

## Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1) формулювання мети дослідження;

2) Принципову схему для дослідження;

3) Таблиці результатів вимірювань з розрахованими параметрами;

4) Таблиці осцилограм;

5) Аналіз отриманих результатів.

## Контрольні питання

1. Намалюйте однокаскадну схему параметричного стабілізатора постійної напруги і поясніть принцип її роботи.

2. Поясніть існуючі методи стабілізації напруги, їхні переваги і недоліки.

3. Які основні параметри стабілізаторів напруги ви знаєте?

4. Намалюйте двокаскадну схему параметричного стабілізатора напруги і поясніть принцип її роботи.

5. Назвіть область застосування параметричних стабілізаторів напруги.

6. Що називається коефіцієнтом стабілізації і як він визначається розрахунковим і експериментальним методами?

7. Вкажіть шляхи збільшення коефіцієнта стабілізації параметричних стабілізаторів постійної напруги.

8. Що називається зовнішньою характеристикою стабілізатора напруги і якою вона має вигляд?

9. Перерахуйте основні дестабілізуючі фактори, що впливають на стабільність вихідного напруги параметричного стабілізатора. Намалюйте схему параметричного стабілізатора із струмостабілізуючім двополюсником і поясніть принципи її роботи.

## Перелік посилань

1. LTspice Information Center. Analog Devices. URL:https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice simulator.html (дата звернення 14.11.2024).

2. Gabino Alonso. Get Up and Running with LTspice. Analog Devices. URL:https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/get-up-and-running-with-ltspice.html (дата звернення 14.11.2024).

3. LTspice® Technical Information and Guides. Analog Devices.

URL:https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator/ltspice-recommended-reading-list.html (дата звернення 14.11.2024).

## Рекомендована література

1. Захарченко М.В. Електроживлення систем зв’язку. Лабораторний практикум: Частина 1: Теоретичні положення; Частина 2: Методичні вказівки / М.В. Захарченко, А.Ф. Кадацький, О.П. Русу, І.П. Малявін, В.Б. Русаловський, О.А. Грабовий. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2011. – 312 с.,іл.