

ЛЕКЦІЯ № 10

Стабілізатори постійної напруги та струму

10.1 Призначення

Для нормального функціонування більшості телекомунікаційних систем і пристроїв необхідно забезпечити їх стабільною напругою живлення. Основними чинниками, що викликають коливання напруги є: коливання напруги мережі живлення, зміни частоти струму мережі живлення, коливання опору навантаження, зміни температури.

Залежно від типу телекомунікаційних систем і пристроїв відносна зміна напруги живлення $(\Delta U_{\text{вих}} / U_{\text{вих.н}}) \cdot 100\%$ може змінитися в межах від 0,005 до 3% і більше [1, ..., 6].

Низькою стабільністю вважають таку, при якій напруга (струм) змінюється більше, ніж на 5 %, середньою – 1...5 %, високою – 0,1...1 %, прецизійною - менше 0,1 % [4].

10.2 Класифікація стабілізаторів

Стабілізатором напруги (струму) називають пристрій, що автоматично і з необхідною точністю підтримує на навантаженні заданий параметр при зміні дестабілізуючих чинників у визначеному діапазоні.

Стабілізатори напруги, що використовують в джерелах живлення ділять на групи: параметричні та компенсаційні.

Параметричні стабілізатори (ПШ) – це такі стабілізатори напруги або струму, принцип дії яких базується на використанні елементів з нелінійними вольт-амперними характеристиками (ВАХ).

Для стабілізації напруги використовують елементи з характеристиками, які наведені на рисунку 10.1,а. Значні зростання струму такого елемента, починаючи з деякого значення, призводять до малих змін напруги на ньому. Таку ВАХ мають, наприклад, стабілітрони, котушки індуктивності з насиченими осерддями.

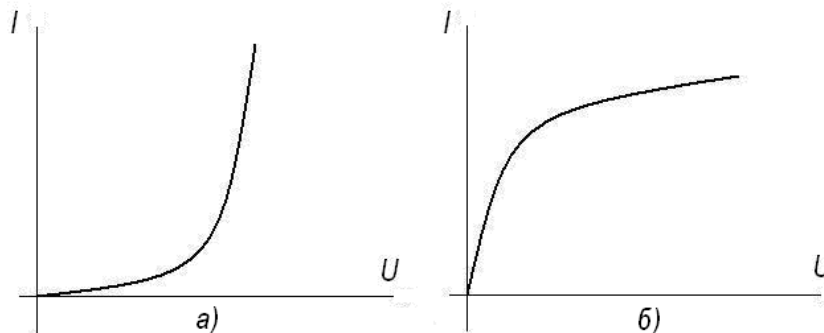


Рисунок 10.1 – Вольт амперні характеристики:
а – стабілізатора напруги; б – стабілізатора струму

Елементи з характеристиками, наведеними на рисунку 10.1,б (баретери, термістори, лампи накалювання), використовують **для стабілізації струму**.

Компенсаційні стабілізатори напруги або струму (КШ) – це стабілізатори, що являють собою замкнуті системи автоматичного регулювання (САР) з від'ємним зворотнім зв'язком (ЗЗ), ефект стабілізації у яких відбувається внаслідок змін характеристик регулюючого елемента (РЕ) [3, 4, 7]. Структурна схема компенсаційного стабілізатора наведена на рисунку 10.2.

У компенсаційних стабілізаторах напруги сигнал ЗЗ є функцією вихідної напруги, а у стабілізаторах струму – вихідного струму.

Залежно від типу регулюючого елемента стабілізатори поділяють на лампові, транзисторні, тиристорні, дросельні, комбіновані.

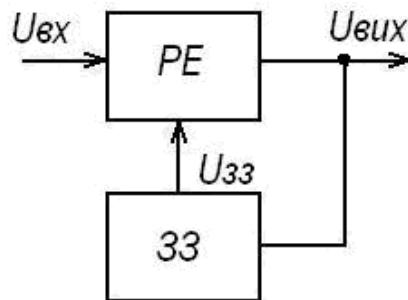


Рисунок 3.2 – Структурна схема компенсаційного стабілізатора

За способом увімкнення РЕ відносно навантаження стабілізатори напруги ділять на **послідовні та паралельні**. За режимом роботи регулюючого елемента РЕ їх ділять на стабілізатори з **неперервним регулюванням та імпульсні**. Останні класифікують за принципом керування: **широтно-імпульсні, частотно-імпульсні, релейні**.

10.3 Основні характеристики стабілізаторів

Основними характеристиками стабілізаторів напруги, як параметричних так і компенсаційних, є [3, ...,6]:

1) **Коефіцієнт стабілізації** за зміною вхідної напруги:

$$K_{стаб} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вих} / U_{вих}} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вих}} \frac{U_{вих}}{U_{вх}}, \quad (10.1)$$

де $\Delta U_{вх}, \Delta U_{вих}$ – приріст вхідної та вихідної напруги при постійному струмі навантаження;

$U_{вх}, U_{вих}$ – значення вхідної та вихідної напруги.

Замість коефіцієнта $K_{стаб}$ може використовуватися статична помилка стабілізації δ , яку знаходять при незмінному струмі навантаження:

$$\delta = \frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих}}. \quad (10.2)$$

2) **Внутрішній опір**:

$$R_i = - \left(\frac{\Delta U_{вих}}{\Delta I_H} \right), \quad (10.3)$$

де $\Delta U_{вих}, \Delta I_H$ – приріст вихідної напруги та струму навантаження при незмінній вхідній напрузі.

Знаючи R_i , можна знайти зміну вихідної напруги при зміні струму навантаження. У стабілізаторах напруги R_i може досягати тисячних часток Ома.

3) **Коефіцієнт згладжування пульсацій**:

$$K_{32л} = \frac{U_{вх_n}/U_{вх_0}}{U_{вих_n}/U_{вих_0}} = \frac{U_{вх_n}}{U_{вих_n}} \frac{U_{вих_0}}{U_{вх_0}}. \quad (10.4)$$

Властивості стабілізаторів заглажувати пульсації випрямленої напруги проявляються, якщо їх інерційність значно менша періоду пульсації.

4) **Температурний коефіцієнт нестабільності** дорівнює приросту вихідної напруги $\Delta U_{вих}$ до приросту температури середовища $\Delta t_{навк}$ при незмінній вхідній напрузі та струмі навантаження:

$$\gamma = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta t_{навк}}. \quad (10.5)$$

Аналогічно визначаються параметри стабілізаторів струму.

Окрім параметрів, які характеризують якість стабілізації, стабілізатори напруги та струму оцінюють за енергетичними показниками, коефіцієнтом корисної дії, вартістю, масою, габаритами, експлуатаційними показниками.

10.4 Використання стабілітронів у стабілізаторах напруги

Стабілітрони використовують як джерела еталонної (**опорної**) напруги у складних схемах стабілізації і як елементи самостійних стабілізаторів, коли навантаження є малопотужним. У першому випадку зміни струму, який протікає через стабілітрон малі у порівнянні з його середнім (постійним) значенням, а у другому – зміни струму можуть бути відносно великими [3, 4].

ВАХ стабілітрона (рисунок 10.3,а) має зворотню протяжну ділянку, яка є робочою у параметричних стабілізаторах напруги. На ній значним приростам струму відповідають малі зміни напруги.

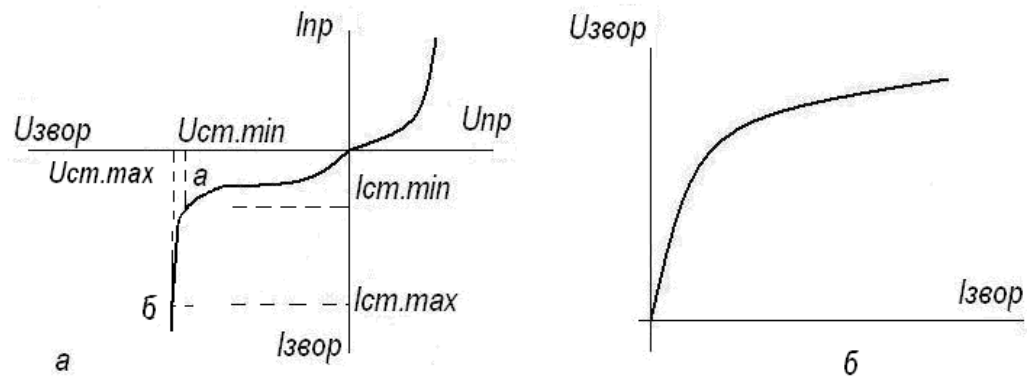


Рисунок 10.3 – Вольт-амперна характеристика стабілітрона

Зазвичай робочу ділянку ВАХ стабілітрона зображають так, як показано на рисунку 10.3,б.

Якщо струм стабілізації виявиться більшим максимально допустимого I_{max} , то потужність, що на ньому розсіюється, перевищить граничне значення, температура р-п переходу стане вище допустимої і відбудеться необоротний **тепловий пробій**, який зруйнує р-п перехід.

Електричний пробій, наслідком якого є поява робочої ділянки, є зворотним. Напруга пробою при чергових увімкненнях повторюється з високою точністю (приблизно 0,01 %). На її значення не впливають електричне і магнітне поля, світлове опромінювання.

Недоліком стабілітрона є зміна напруги стабілізації при зміні температури. У діапазоні (від -40 до $+60$) $^{\circ}\text{C}$ напруга стабілізації міняється у більшості стабілітронів практично лінійно. Тому температурна нестабільність визначається температурним коефіцієнтом стабілізації напруги (ТКН).

Стабілітрони з напругою стабілізації меншою 6 В мають від'ємний ТКН, а більшою – позитивний. Діапазон зміни ТКН $0,06 \dots 0,2 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$.

На рисунку 10.4 наведена залежність відносного коефіцієнта стабілізації напруги $\gamma_i = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta T}$ від значення напруги, на яку виготовлено стабілітрон. Наявність стабілітронів з позитивним і негативним значеннями ТКН надає можливість скласти схему з декількох стабілітронів, у якій ТКН буде близьким до нуля (температурна компенсація) [3, 6].

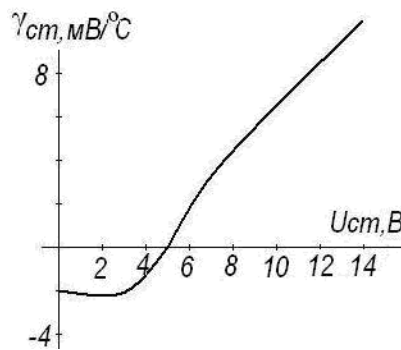


Рисунок 10.4 – Залежності ТКН від напруги, на яку виготовлено стабілітрон

При невеликих змінах струму робочу ділянку ВАХ можна замінити відрізком прямої (рисунок 10.5,а) [3]. Еквівалентна схема при такому поданні стабілітрона містить джерело еквівалентної ЕРС $E_{екв}$ і внутрішній диференційний опір r_i (рисунок 10.5,б).

Еквівалентна ЕРС визначається відрізком, який відсікає пряма на осі напруги, а $r_i = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}}$, де ΔU_{cm} і ΔI_{cm} – прирости напруги та струму стабілітрона.

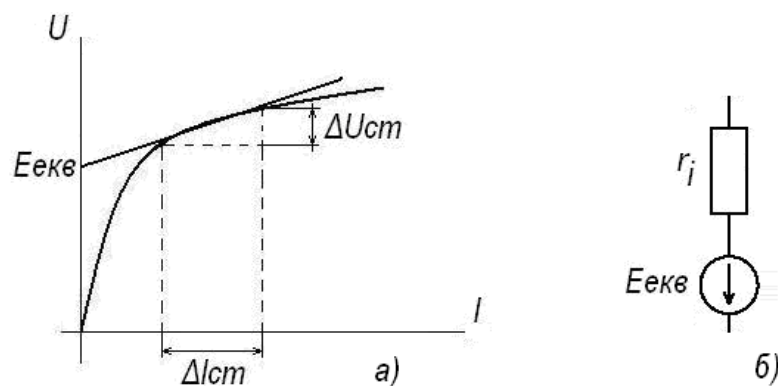


Рисунок 10.5 – Робоча ділянка ВАХ (а) та еквівалентна схема стабілітрона (б)

10.5 Однокаскадний стабілізатор на стабілітроні

10.5.1 Схема стабілізатора

Принципова схема однокаскадного ПСН наведена на рисунку 10.6,а. Вона складається з баластного (гасячого) резистора R_2 та стабілітрона $VD1$. Баластний резистор R_2 обмежує струм стабілітрона [3].

Лінійна схема заміщення дозволяє за допомогою методів розрахунку лінійних кіл визначити усі параметри стабілізатора.

Зміна напруги на вході стабілізатора викликає зміну струму, що протікає через стабілітрон і баластний резистор, внаслідок цього змінюється падіння напруги на резисторі, стабілізуючи вихідну напругу. Наприклад, при збільшенні $U_{вх}$ збільшується величина струму у ланцюзі R_2 , $VD1$, збільшується падіння напруги на резисторі, а напруга на стабілітроні залишається незмінною.

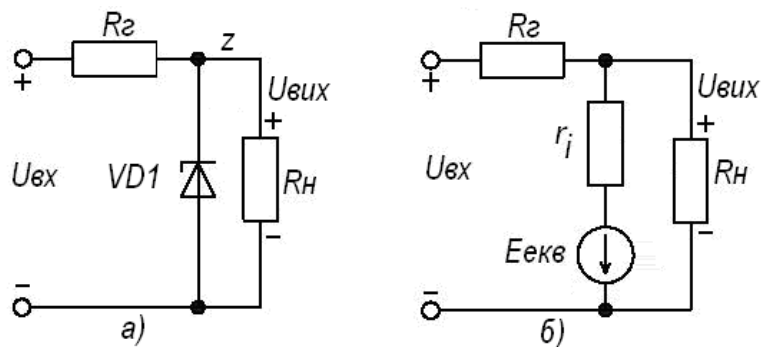


Рисунок 10.6 – Принципова (а) та еквівалентна (б)) схеми ПСН

10.5.2 Рівняння для вихідної напруги

Для невеликих змін струму на основі закону Кірхгофа рівняння для вузла z (рисунок 10.6.,а) записується так [3]:

$$I_{R_2} = I_{r_i} + I_H,$$

де I_{R_2} , I_{r_i} , I_H – струми баластного резистора, стабілітрона і навантаження.
або

$$(U_{вх} - U_{вих}) / R_2 = (U_{вих} - E_{екв}) / r_i + I_H. \quad (10.6)$$

Оскільки нас цікавить нестабільність вихідної напруги, то отримаємо залежність $U_{вих}$ від параметрів схеми, перетворивши (10.6).

$$\frac{U_{вх}}{R_2} - \frac{U_{вих}}{R_2} = \frac{U_{вих}}{r_i} - \frac{E_{екв}}{r_i} + I_H,$$

$$U_{вих} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_i} \right) = \frac{U_{вх}}{R_2} + \frac{E_{екв}}{r_i} - I_H, \quad (10.7)$$

$$U_{вих} = \frac{r_i}{R_2 + r_i} U_{вх} + \frac{R_2}{R_2 + r_i} E_{екв} - \frac{R_2 r_i}{R_2 + r_i} I_H. \quad (10.8)$$

Під час роботи ПСН можуть змінюватися: напруга $U_{вх}$, еквівалентна ЕРС стабілітрона $E_{екв}$ та струм навантаження I_H (10.8). Нестабільність напруги на навантаженні буде дорівнювати сумі часткових похідних цих змін, які множаться на нестабільність змінних [3]:

$$\Delta U_{вих} = \frac{\partial U_{вих}}{\partial U_{вх}} \Delta U_{вх} + \frac{\partial U_{вих}}{\partial E_{екв}} \Delta E_{екв} + \frac{\partial U_{вих}}{\partial I_H} \Delta I_H,$$

$$\Delta U_{вих} = \frac{r_i}{R_2 + r_i} \Delta U_{вх} + \frac{R_2}{R_2 + r_i} \Delta E_{екв} - \frac{R_2 r_i}{R_2 + r_i} \Delta I_H. \quad (10.9)$$

Аналізуючи (10.9), знайдемо характеристики ПСН.

10.5.3 Вихідний опір стабілізатора

Нестабільність вихідної напруги ΔU , яка викликана зміною струму навантаження ΔI_H при $\Delta U_{вх} = \Delta E_{екв} = 0$, обумовлена наявністю кінцевого вихідного опору ПСН [3], який в загальному випадку (3.3) дорівнює

$$\frac{\Delta U_{вих}}{\Delta I_H} = -R_{вих}.$$

Знайдемо вихідний опір з виразу (10.9).

$$\frac{\Delta U_{вих}}{\Delta I_H} = -\frac{R_2 r_i}{R_2 + r_i}.$$

Звідки $R_{вих} = \frac{R_2 r_i}{R_2 + r_i} \approx r_i,$ (10.10)

так як $R_2 \gg r_i$.

Вихідний опір ПСН (10.10) визначається диференціальним (внутрішнім) опором стабілітрона. Якщо на виході стабілітрона вмикають конденсатор, то вихідний опір для змінної складової додатково зменшується.

10.5.4 Коефіцієнт стабілізації

Користуючись (10.9), визначимо коефіцієнт стабілізації вихідної напруги ПСН, при змінах напруги живлення. У зв'язку з тим, що при цьому вихідна напруга все таки дещо змінюється, то змінюється і струм навантаження [3]. Незмінною у виразі (10.9) залишається лише ЕРС стабілітрона $\Delta E_{екв} = 0$. Тому:

$$\Delta U_{вих} = \frac{r_i}{R_2 + r_i} \Delta U_{вх} - \frac{R_2 r_i}{R_2 + r_i} \Delta I_H. \quad (10.11)$$

Врахуємо у (10.11), що $\Delta I_H = \frac{\Delta U_{вих}}{R_H}$, а $\frac{R_2 r_i}{R_2 + r_i} \approx r_i = R_{вих}$ бо $R_2 \gg r_i$.

Тому

$$\Delta U_{вих} = \frac{r_i}{R_2 + r_i} \Delta U_{вх} - \frac{R_{вих}}{R_H} \Delta U_{вих}.$$

Або
$$\Delta U_{вих} \left(\frac{R_H + R_{вих}}{R_H} \right) = \frac{r_i}{R_2 + r_i} \Delta U_{вх}, \quad (10.12)$$

з (10.12) знайдемо $\frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вих}}$, враховуючи що $R_H \gg R_{вих}$ і $R_2 \gg r_i$.

$$\frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вих}} = \frac{R_H + R_{вих}}{R_H} \cdot \frac{R_2 + r_i}{r_i} \approx \frac{R_2}{r_i}. \quad (10.13)$$

Щоб знайти вираз для коефіцієнта стабілізації, виконаємо перетворення лівої частини (10.13):

$$\frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вих}} = \frac{\Delta U_{вх} \cdot \frac{U_{вх}}{U_{вх}}}{\Delta U_{вих} \cdot \frac{U_{вих}}{U_{вих}}} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} \frac{U_{вх}}{U_{вих}} = K_{ст} \frac{U_{вх}}{U_{вих}}.$$

Отже
$$K_{ст} \frac{U_{вх}}{U_{вих}} = \frac{R_2}{r_i}.$$

Звідси:
$$K_{ст} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} \cdot \frac{R_2}{r_i}. \quad (3.14)$$

Коефіцієнт стабілізації ПСН визначається відношенням величини баластного (гасячого) резистора R_2 до диференціального опору стабілітрона.

Вираз (10.14) справедливий коли температура р-п переходу стабілітрона не змінюється. Якщо ця умова не виконується, то замість r_i необхідно підставити значення внутрішнього опору при даній температурі.

$$r_{iT} = r_i + \gamma \cdot \Delta T,$$

де γ - температурний коефіцієнт нестабільності;

ΔT - різниця між значенням температури, при якій вимірюється r_i , що наводиться у довідниках і температурою експлуатації стабілізатора.

Величина резистора R_2 визначається за умови, щоби при мінімальній вхідній напрузі стабілізатора $U_{вх_min}$, максимальній вихідній напрузі $U_{вих_max}$ та максимальному струмі навантаження I_{H_max} струм стабілітрона був більший від

мінімального струму стабілізації стабілітрона I_{cm_min} , значення якого наводиться у довідниках [4, 7]:

$$R_2 = \frac{U_{R_2}}{I_{R_2}} = \frac{U_{vx_min} - U_{вих_max}}{I_{H_max} + I_{cm_min}}. \quad (10.15)$$

10.5.5 Вплив нестабільності ЕРС стабілітрона на вихідну напругу ПСН

Користуючись (10.9), знайдемо коефіцієнт нестабільності ПСН за зміною еквівалентної ЕРС стабілітрона $K_{екв} = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta E_{екв}}$. Незмінними і рівними нулю при цьому будуть $\Delta U_{вх}$, ΔI_H .

$$\frac{\Delta U_{вих}}{\Delta E_{екв}} = K_{екв} = \frac{R_2}{R_2 + r_i} \approx 1. \quad (10.16)$$

При отриманні результату (10.16) враховано, що $R_2 \gg r_i$.

У зв'язку з тим, що $K_{екв} \approx 1$, зміни еквівалентної ЕРС стабілітрона практично повністю передаються на вихід стабілізатора.

10.6 Графічний розрахунок режиму роботи ПСН

Отримані у попередньому підрозділі аналітичні вирази дозволяють знайти показники ПСН при малих коливаннях струму та напруги. Для того, щоб знайти положення робочої точки на ВАХ стабілітрона, необхідно провести розрахунок, враховуючи нелінійність характеристики. Такий розрахунок дозволить також знайти показники ПСН при значних коливаннях струму навантаження.

Поширеним методом розрахунку статичного режиму роботи нелінійного кола є графічний метод. Він відрізняється наочністю та дозволить у нашому випадку провести грубу оцінку показників стабілізації [3].

На рисунку 10.7 наведена ВАХ стабілітрона 1 та навантаження 2. Оскільки навантаження і стабілітрон увімкнені паралельно, то для побудови сумарної ВАХ необхідно скласти їх струми.

Крива 3 являє залежність $U_{вих} = f(I_H + I_{cm})$. Відклавши на осі ординат вхідну напругу $U_{вх}$, побудуємо із цієї точки характеристику резистора R_g (пряма 4).

Точка перетину прямої 4 з ВАХ 3 визначає режим роботи ПСН, який встановився при напрузі $U_{вх}$. Якщо змінювати $U_{вх}$, то пряма 4 буде зміщуватися паралельно собі і відповідно зміщується робоча точка на ВАХ 3.

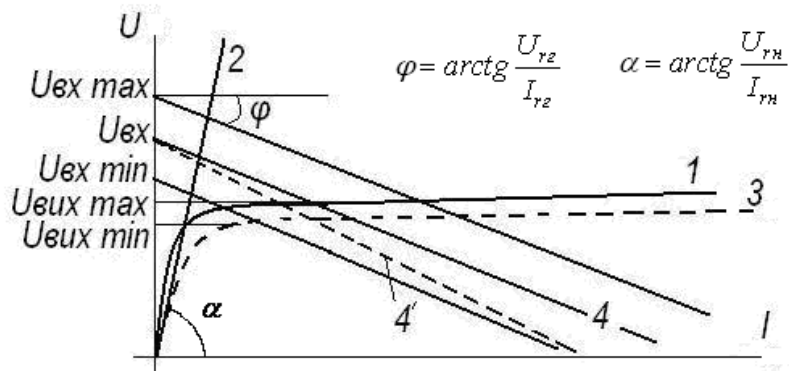


Рисунок 10.7 – Графічний розрахунок параметричного стабілізатора

При зміні вхідної напруги від $U_{вх_min}$ до $U_{вх_max}$ напруга на навантаженні змінюється від $U_{вих_min}$ до $U_{вих_max}$. Видно, що вихідна напруга змінюється у менших межах, ніж вхідна. Нестабільність вихідної напруги можна оцінити коефіцієнтом стабілізації [3]:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U}{U_{вих}} = \frac{\frac{U_{max} - U_{min}}{2}}{\frac{U_{max} + U_{min}}{2}} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}. \quad (10.17)$$

Зміна величини резистора R_2 веде до зміни кута φ (пряма 4' відповідає збільшеному значенню R_2) та зміщенню місця робочої точки на залежності 3.

З виразу (10.14) слідує, що для збільшення коефіцієнта стабілізації ПСН необхідно збільшувати R_2 . Однак, як видно із графіка, збільшення R_2 (кут φ збільшується) призводить до зменшення струму стабілітрона і виходу робочої точки на нелінійну ділянку залежності 3, де коефіцієнт стабілізації менший.

Зі збільшенням струму навантаження і незмінних інших параметрах ПСН крива 3 стає більш лінійною і зміщується вправо. При цьому робоча точка зміщується на більш нелінійну частину кривої, і при зміні $U_{вх}$ діапазон коливань вихідної напруги збільшується – коефіцієнт стабілізації зменшується.

10.7 Стабілізатори напруги на стабілітронах

10.7.1 Параметричний каскадний стабілізатор напруги

Розглянута у пункті 10.5.1 схема ПСН, яка містить гасячий резистор і стабілітрон, не завжди забезпечує необхідну стабільність вихідної напруги. Її коефіцієнт стабілізації складає 50...100 [4, 6].

Для збільшення коефіцієнта стабілізації застосовують послідовне (каскадне) з'єднання стабілізаторів, як це показано на рисунку 10.8.

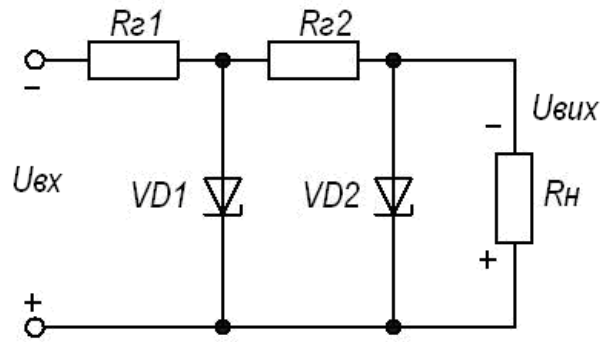


Рисунок 10.8 – Схема послідовного з'єднання однокаскадних стабілізаторів

Загальний коефіцієнт стабілізації ПСН дорівнює добутку коефіцієнтів стабілізації першого та другого каскадів.

$$K_{cm} = K_{cm1} \cdot K_{cm2} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} \cdot \frac{R_{z1}}{r_{\partial 1}} \cdot \frac{R_{z2}}{r_{\partial 2}}, \quad (10.18)$$

де $r_{\partial 1}, r_{\partial 2}$ – диференційні опори стабілітронів.

Перший стабілізатор повинен мати напругу стабілізації більшу, ніж другий. Вихідний опір і температурний коефіцієнт багатокаскадного ПСН визначаються відповідними параметрами останнього діода. Для уніфікації схеми замість $VD1$ можна поставити два або три послідовно увімкнених діоди типу $VD2$.

Каскадне увімкнення ПСН використовують для отримання еталонних напруг у більш складних компенсаційних стабілізаторах.

10.7.2 Температурна компенсація у ПСН

Зміна навколишньої температури стабілізатора призводить до зміни його вихідної напруги (10.5, 10.16). Для зменшення температурної залежності напруги використовують **температурну компенсацію** [3, 4]. Схема стабілізатора, яка наведена на рисунку 10.9, містить термокомпенсуючі діоди $VD2, VD3$ (стабілітрони або звичайні діоди), увімкнені у прямому напрямі. Стабілітрон має позитивний **температурний коефіцієнт** (ТКН). Термокомпенсуючі діоди, завдяки увімкненню в прямому напрямі, – від'ємний ТКН.

Підбір діодів для термокомпенсації необхідно проводити так, щоб їх температурні зміни напруги були рівні по модулю зміні напруги стабілітрона.

Але застосування термокомпенсації погіршує інші показники стабілізатора:

– збільшується вихідний опір ПСН, він дорівнює:

$$r_{\Sigma} = r_i + r_{i_к}, \quad (10.19)$$

де $r_{i_к}$ – загальний диференціальний опір термокомпенсуючих діодів (практично $r_i = (8-15)$ Ом, а $r_{\Sigma} = (20-40)$ Ом;

– у 2 ...3 рази зменшується коефіцієнт стабілізації.

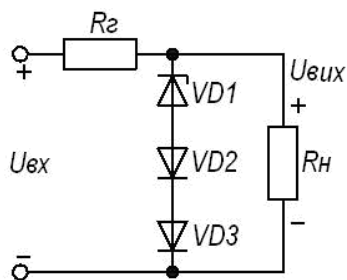


Рисунок 10.9 – Схема ПСН з температурною компенсацією

Диференційний опір термокомпенсуючих діодів можна зменшити, пропустивши через них від загального чи окремого джерела додатковий струм (рисунок 10.10). Однак це ускладнює стабілізатор та зменшує ККД.

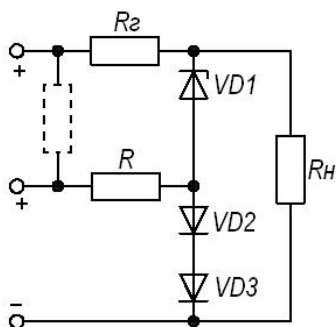


Рисунок 10.10 – Схема ПСН з термокомпенсацією і додатковим струмом через діоди

У деяких стабілітронах компенсуючі діоди вмонтовують в корпус у процесі їх виготовлення. Наприклад, стабілітрон Д818 складається з одного стабілітрона зі зворотною напругою $U_{звор} = 9 \pm 1,3 В$, та двох стабілітронів, увімкнених у пряму напругу. Від'ємний ТКН стабілітрона складає приблизно $3,5 м В/°С$, а ТКН компенсуючого стабілітрона близько $+1,75 мВ/°С$. У результаті ТКН діода Д818 покращується більше, ніж на порядок.

10.7.3 Мостова схема ПСН

Більш високу стабільність у порівнянні з однокаскадним ПСН можна отримати в мостовому ПСН (рисунок 10.11) [4, 7].

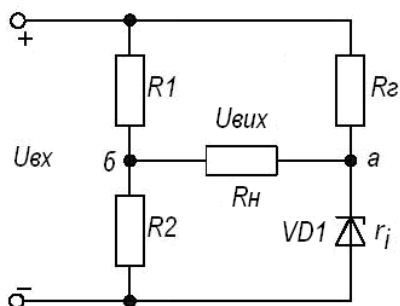


Рисунок 10.11 – Мостова схема ПСН

При зміні вхідної напруги на $\Delta U_{вх}$ потенціал точки a зміниться на величину:

$$\Delta U_a = \Delta U_{вх} \frac{r_i}{r_i + R_2}.$$

А потенціал точки b на : $\Delta U_b = \Delta U_{вх} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$.

Вихідна наруга являє собою різницю напруг у точках a та b . Тому її зміна буде рівною

$$\Delta U_{вих} = \Delta U_a - \Delta U_b = \Delta U_{вх} \left(\frac{r_i}{r_i + R_2} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right). \quad (10.20)$$

Вихідна наруга буде ідеально стабільною ($\Delta U_{вих} = 0$), якщо частина виразу (10.20), яка знаходиться в дужках, дорівнює нулю, а це значить, що

$$\frac{r_i}{r_i + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Звідси знаходимо умову для підтримання вихідної напруги незмінною, тобто умову нескінченно великого значення коефіцієнта стабілізації:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{r_i}. \quad (10.21)$$

В схемі необхідно використовувати термокомпенсацію.

Недоліки стабілізатора: коефіцієнт стабілізації залежить від величини навантаження; відносно великий вихідний опір; вхід та вихід не можуть мати загального з'єднання.

10.7.4 Параметричні стабілізатори з активними елементами

Коефіцієнт корисної дії однокаскадного стабілізатора дорівнює:

$$ККД = \frac{P_n}{P_{вх}} = \frac{P_n}{P_2 + P_{ст} + P_n}, \quad (10.22)$$

де $P_{вх}$, P_n , P_2 , $P_{ст}$ – відповідно вхідна потужність і потужності, що розсіюються навантаженням, баластним резистором, стабілітроном.

Кількісно значення ККД ПСН знаходяться у межах 20 %. Малий ККД пояснюється, у тому числі, великими втратами потужності на гасячому резисторі R_2 . Збільшити опір резистора, не зменшуючи ККД, можна уведенням замість баластного резистора транзисторного стабілізатора струму, як це показано на рисунку 10.12 [3, 7].

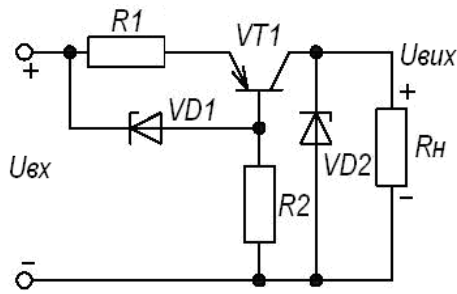


Рисунок 10.12 – Схема ПСН з активним елементом

Стабілізатор струму складається з транзистора $VT1$, діода $VD1$, резисторів $R1$, $R2$. Транзистор увімкнений за схемою емітерного повторювача. Напряга на його базу знімається зі стабілітрона $VD1$. Вона практично не змінюється при зміні $U_{вх}$. Напряга на резисторі $R1$ приблизно дорівнює напрузі на $VD1$ і також змінюється мало. Внаслідок цього мало змінюються струми емітера і колектора при зміні вхідної напруги, а відповідно постійним залишається струм навантаження. Стабілізатор струму має великий диференціальний опір, і його увімкнення еквівалентно увімкненню баластного резистора великого опору.

Використання стабілізатора струму не змінює вихідний опір та температурний коефіцієнт ПСН, але збільшує ККД і коефіцієнт стабілізації.

Стабілізатором струму може бути польовий транзистор (рисунок 10.13) [3].

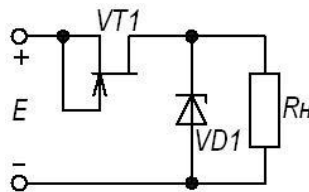


Рисунок 10.13 – Схема ПСН на польовому транзисторі

Опір сток-виток через малий нахил вихідних характеристик є для змінної складової струму дуже великим, опір для постійної складової напруги значно менший. Тому ця схема при високому ККД забезпечує кращий коефіцієнт стабілізації напруги.

10.7.5 Порівняння схем ПСН

ПСН застосовують для стабілізації напруги при потужності навантаження до одиниць ват і як джерела еталонної напруги в електронних стабілізаторах.

Однокаскадні малопотужні ПСН забезпечують $K_{см}$ до 100 і вихідний опір 5...15 Ом. Уведення термокомпенсуючих елементів знижує $K_{см}$ у 2...3 рази.

У двокаскадних стабілізаторах $K_{см} \approx 1000$. Вихідний опір дорівнює вихідному опору однокаскадного стабілізатора.

Мостові стабілізатори та ПСН зі стабілізаторами струму забезпечують коефіцієнт стабілізації до 10000. Проте вихідний опір мостового стабілізатора більший, ніж однокаскадного.

Достоїнства ПСН – мала кількість елементів; згладжування пульсацій напруги (коефіцієнт згладжування $K_{згд}$ дорівнює коефіцієнтові стабілізації $K_{см}$).

Недоліки ПСН: відносно великий вихідний опір, малий ККД, неможливість плавно регулювати вихідну напругу.

10.7.6 Порядок розрахунку ПСН

Наведемо порядок розрахунку ПСН за такими початковими даними:
величина, діапазон змін та коефіцієнт пульсацій вхідної напруги (необхідну величину напруги можна також розрахувати);
номінальне значення вихідної напруги і допуск на її розкид (наприклад: $8 \pm 1\text{В}$);
максимальний та мінімальний струми навантаження;
максимальна відносна нестабільність вихідної напруги при зміні вхідної напруги та струму навантаження;
допустима амплітуда пульсацій вихідної напруги;
номінальне, максимальне та мінімальне значення робочої температури.

У процесі проектування стабілізатора необхідно: вибрати схему і стабілітрони; розрахувати величину вхідної напруги; знайти величину баластного резистора; визначити, якщо це необхідно, дані для розрахунку випрямляча (струм, напругу, коефіцієнт пульсацій). Струми, напруги, потужності не повинні перевищувати допустимі значення для елементів ПСН.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Конспект лекцій з дисципліни “Електротехнічні пристрої”, рівень підготовки – бакалавр, спеціаліст, магістр, напрямки 6.0907, 7.0907, 8.0907 – “Радіотехніка”, Є.О.Чемес. – Одеса: ОНПУ, 2010. – 145 с.

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник / За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.
2. И.М.Готлиб. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы. – М.: Постмаркет, 2002. – 544 с.
3. Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС: Учебн. для ВУЗов по специальности "Радиотехника". – М.: Высш. шк., 1991, – 272 с.
4. Алексеев О.В., Китаев В.Е., Шихин А.Я. Электротехнические устройства: Учебн. для Вузов. – М.: Энергоиздат, 1993. – 336 с.
5. Костиков В.Г. и др. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебн. для ВУЗов. – М Радио и связь. 1998. – 343 с.
6. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Г.С.Найвельт, К.Б.Мазель, Ч.И.Хусаинов и др.; Под ред. Г.С.Найвельта. – М.: Радио и связь, 1993. – 576 с.
7. Артамонов Б. И., Бокуняев А. А. Источники электропитания радиоустройств. – М.: Энергоиздат, 1982, – 296 с.
8. Источники вторичного электропитания. В.А. Головацкий, Г.Н. Гулякович, Ю.И.Конев и др.; Под ред. Ю.И.Конева. – М.: Радио и связь, 1990. – 380 с.
9. Вересов Г.П., Смуряков Ю.Л. Стабилизированные источники питания радиоаппаратуры. – М.: Энергия, 1978. – 192 с.
10. Интегральные микросхемы. Микросхемы для линейных источников питания и их применение. – М.: ДОДЕКА, 1998. – 400 с.
11. Полянин К.П. Интегральные стабилизаторы напряжения. – М.: Энергия, 1979. – 192 с.