

Конспект лекцій Компенсаційні стабілізатори

1. Загальні принципи роботи компенсаційних стабілізаторів.

Компенсаційний стабілізатор (КСН) з неперервним способом регулювання вихідної напруги являє собою замкнуту систему автоматичного регулювання (САР) зі зворотним від'ємним зв'язком. Факторами, що збурюють вихідну напругу, є зміни напруги живлення, навантаження, температури.

Активні елементи компенсаційних стабілізаторів працюють в лінійному режимі, тому такі стабілізатори ще називають лінійними.

Стабілізатори можуть бути виконані з **послідовним та паралельним увімкненням регулюючого елемента**. Вихідна напруга підтримується постійною за рахунок зміни падіння напруги відповідно на регулюючому елементі чи баластному резисторі. У якості регулюючого елемента у сучасних стабілізаторах використовують в основному транзистори, які працюють в режимі підсилення струму.

2. Аналогові компенсаційні стабілізатори

Аналоговий компенсаційний стабілізатор напруги (АКСН) це електронний пристрій з регулюючим елементом, який працює у безперервному режимі.

2.1 АКСН з послідовним регулюючим елементом

Структура АКСН, що зображена на рис. 11.1, складається:
РЕ – регулюючий елемент,
ППС – підсилювач постійного струму,
ПН – дільник напруги,
ПВ – пристрій вирахування різниці між напругою ПН та ДОН,
ДОН – джерело опорної напруги.

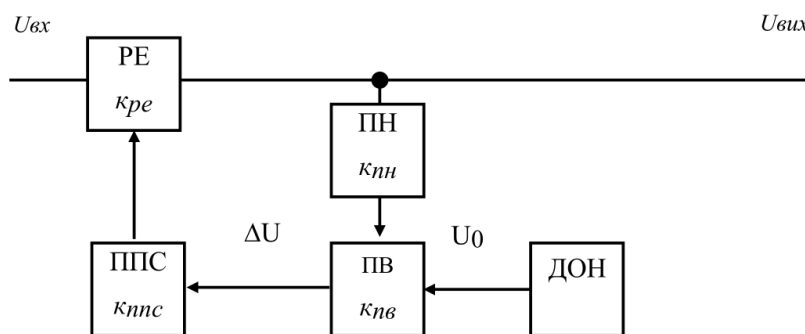


Рис. 11.1. Структурна схема послідовного АКСН

Принцип роботи АКСН полягає в наступному. Підвищення вихідного параметру $U_{\text{вих}}$ фіксується подільником ПН і зрівнюється з напругою джерела U_0 опорної напруги ДОН $\Delta U = U_{\text{вих}} - U_0$. Як наслідок це викликає зростання падіння напруги на регулюючому елементі $U_{\text{ре}}$, що призводить до зниження вихідної напруги. Враховуючи $k_{\text{пв}} = 1$, рівняння що описують роботу пристрою має вигляд

$$\begin{cases} U_{\text{вх}} = U_{\text{ре}} + U_{\text{вих}} \\ U_{\text{ре}} = k_{\text{ппс}} k_{\text{ре}} \Delta U = (k_{\text{пн}} U_{\text{вих}} - U_0) k_{\text{ппс}} k_{\text{ре}} \end{cases} \quad (11.1)$$

де k_i – коефіцієнт передачі за напругою відповідного вузла. Рішенням системи є

$$U = \frac{U_{\text{вх}} + U_0 k_{\text{ппс}} k_{\text{ре}}}{1 + k_{\text{пн}} k_{\text{ппс}} k_{\text{ре}}} \quad (11.2)$$

Звідки коефіцієнт стабілізації визначається шляхом диференціювання відповідно лівої та правої сторін отриманого виразу і знаходження частинної похідної від вихідної напруги по вхідній з наступним множенням обох сторін рівняння на $1/U_{\text{вих}}$.

$$k_{\text{ст}} = \frac{\frac{dU_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}}}{\frac{dU_{\text{вих}}}{U_{\text{вих}}}} = 1 + \frac{U_{\text{вих}} k_{\text{ппс}} k_{\text{ре}}}{U_{\text{вх}}} \quad (11.3)$$

2.2 АКСН з паралельним регулюючим органом

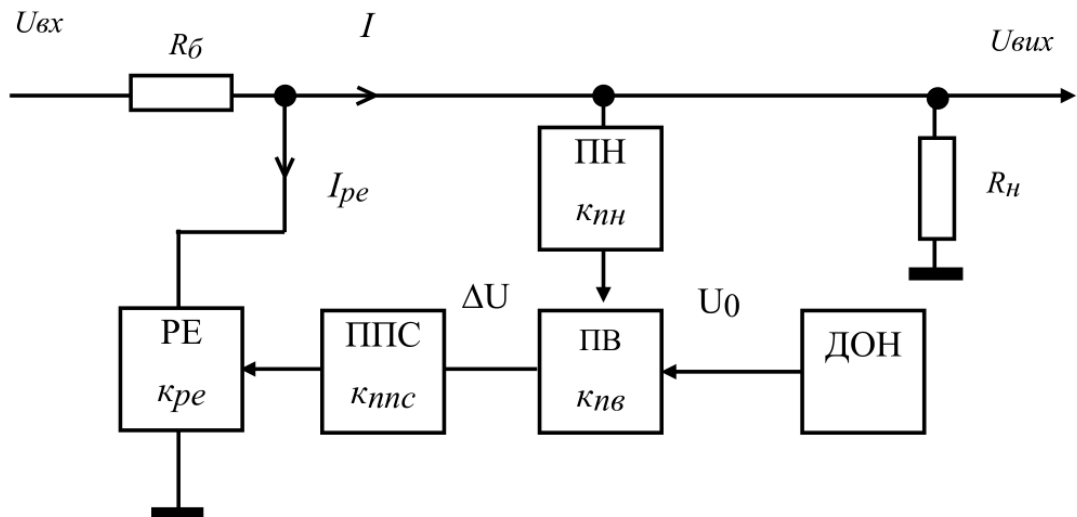


Рис. 11.2. Структурна схема паралельного АКСН

Розглянемо її принцип роботи. Підвищення напруги на навантаженні сприяє збільшенню різниці ΔU , що також виділяється із напруг зворотного зв'язку і джерела опорної напруги. Її підсилене значення відкриває регулюючий орган, який шунтує струм I (рис. 11.2) і таким чином зменшує напругу на навантаженні. І навпаки.

Порівнюючи компенсаційні стабілізатори напруги з послідовним та паралельним розташуванням регулюючого органу можна сказати, що при однакових коефіцієнтах передачі відповідних вузлів вихідна напруга на останньому буде трохи меншою з-за падіння на баластному резисторі.

Переваги АКСН:

1. Коефіцієнт стабілізації вихідної напруги на порядок вищий ніж у параметричних.
2. Завдяки високій швидкодії мають властивості фільтрів.
3. Для них є характерним низький рівень статичного та динамічного опору

$$r_{вн} \approx r_T / k_{ст} \tag{11.4}$$

де r_T – диференційний опір регулюючого транзистора .

Недоліки АКСН:

1. Складніше схемне рішення і, як наслідок, більші вартість, масо-габаритні показники.
2. Низький ККД із-за падіння напруги на регулюючому органі.
3. Велика залежність вихідної напруги від температури навколишнього середовища.

При порівнянні компенсаційних стабілізаторів до переваги стабілізатора із паралельним розміщенням регулюючого органу можливо віднести кращу роботу на імпульсне навантаження і нечутливість до перевантажень на виході.

Але завдяки більшим ККД і коефіцієнту стабілізації, на практиці частіше використовують стабілізатори з послідовним регулюючим органом.

3.Імпульсні компенсаційні стабілізатори постійної напруги (Стабілізатори на базі ШІМ-контролера)

Узагальнена структурна схема імпульсного стабілізатора (ІСН) постійної напруги зображена на рис. 11.3.

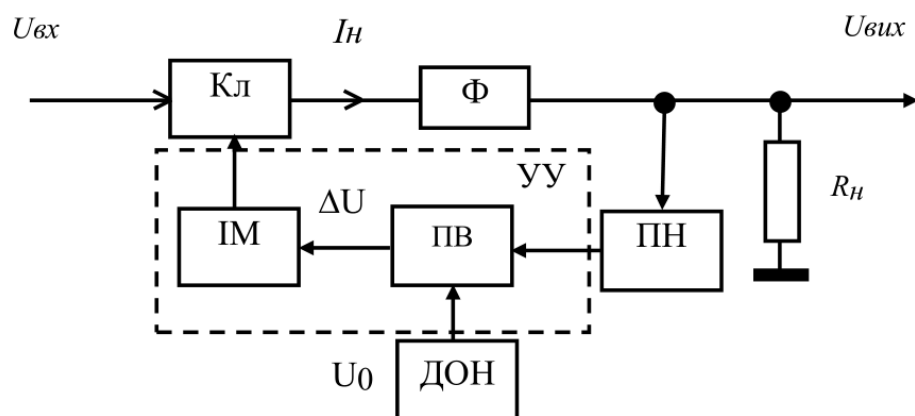


Рис. 11.3. Структурна схема ІСН

Принцип дії ІСН базується на періодичному підключенні навантаження до джерела нестабілізованої напруги $U_{вх}$. На виході фільтру виділяється постійна складова з допустимим рівнем пульсацій. Управління здійснюється наступним чином: результати виміру напруги на навантаженні з ПН порівнюється з опорною напругою ДОН і ΔU поступає на вхід імпульсного модулятора ІМ, який формує імпульси керування ключа Кл. У випадку замкненого ключа за термін часу $t_{и}$ середня випрямлена напруга на виході за період комутації T дорівнює

$$U_{вих\ ср} = U_{вх} t_{и} / T = \gamma U_{вх} \quad (11.5)$$

де γ – зворотна шпаруватість роботи ключа.

Таким чином, регулювання γ дозволяє стабілізувати випрямлену напругу, що підтверджується рівнянням (11.5). В якості ключа зазвичай використовують транзистори, які працюють не у лінійному, а ключовому режимі, який характеризується швидким переходом робочої крапки із області відсічки в насичення. При виборі транзисторів слід намагатись обирати такі з них, в яких у відкритому стані опір $r_{від} \rightarrow 0$, а у замкненому стані $r_{зам} \rightarrow \infty$, що зменшить потужність розсіювання на транзисторі і підвищить ККД стабілізатора. Крім цього транзистор повинен бути швидкодіючий, щоб забезпечити мінімум часу на проходження лінійного режиму.

Окрім ключа у силову частину імпульсного стабілізатора входить фільтр, що складається із дроселя, конденсатора і діода. При цьому розрізняють три основні схеми побудови силової частини.

3.1 Схема з послідовним увімкненням дроселя і ключа

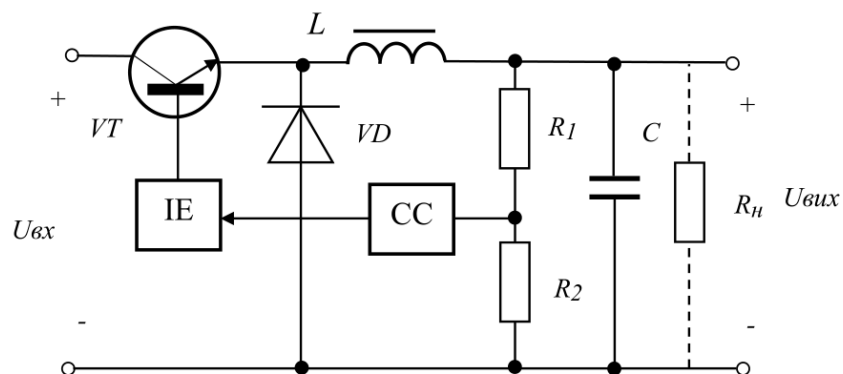


Рис. 11.4. Структурна схема ІСН з послідовним дроселем

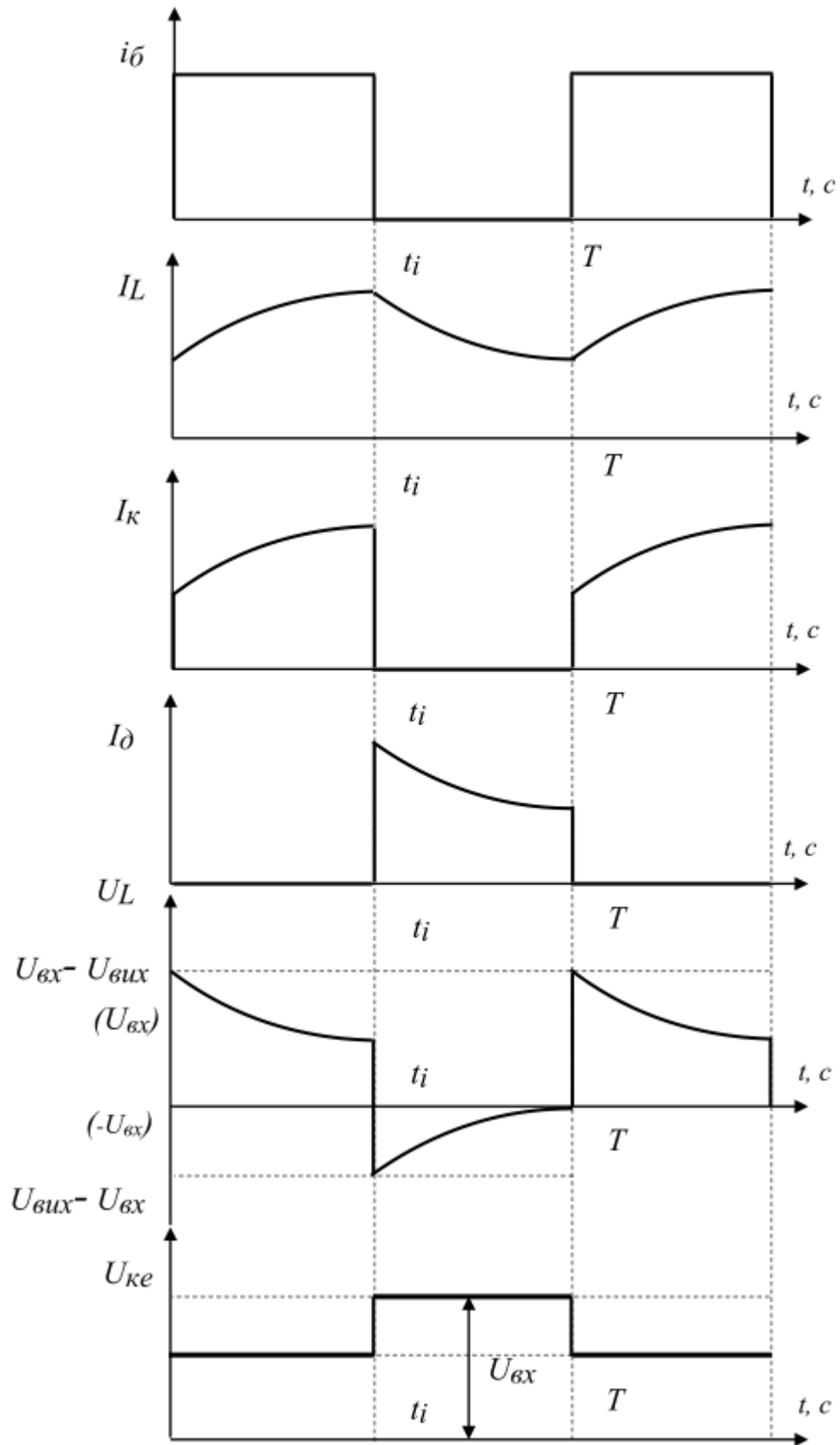


Рис. 11.5. Часові діаграми ІСН

В інтервалі часу $0 \dots t_i$ транзистор VT відкритий і знаходиться у режимі насичення, а його колекторний струм i_k зростає. При цьому справедливе

рівняння $i_k = i_L$. Комутуючий діод VD закритий і його зворотна напруга становить

$$U_{зв\ max} = U_{вх\ max} \quad (11.6)$$

Напруга на дроселі L дорівнює різниці між вхідною і вихідною напругами $U_L = U_{вх} - U_{вих}$, що дозволяє йому накопичувати електромагнітну енергію.

При закриванні ключа VT у момент часу t_i дросель генерує ЕРС самоіндукції, в наслідок чого відкривається діод VD. При цьому струм через діод дорівнює

$$i_d(t_i) = i_k(t_i) \quad (11.7)$$

У наступний період часу $t_i \dots T$ ключ закрито, а діод відкрито. Накопичена у дроселі енергія розсіюється в навантаженні. Струм дроселя дорівнює струму діода і поступово зменшується. Напруга колектор-емітер ключового транзистора максимальна і дорівнює вхідному $U_{ке\ max} = U_{вх\ max}$. Із вище сказаного витікає, що напруга на виході стабілізатора залежить від шпаруватості імпульсів керування γ

$$U_{вих} = \gamma U_{вх} \quad (11.8)$$

3.2 Схема з послідовним увімкненням дроселя і паралельним ключа

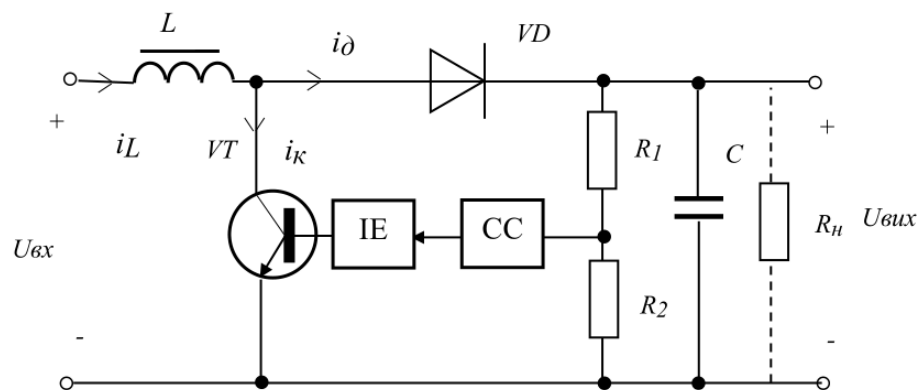


Рис. 11.6. ІСН з послідовним дроселем і паралельним ключем

Часові діаграми для схеми рис. 11.6. однакові зі схемою рис. 11.5. Різниця у рівнях напруги U_L , зображена у дужках рис. 11.5. Для інтервалу $0 \dots t_i$ транзистор VT відкритий, дросель при цьому заряджається. Діод в цей час закритий і знаходиться під зворотною напругою $U_{зв\ max} = U_{вих\ max}$, а конденсатор С розряджається на навантаження.

При запиранні ключового транзистора енергія дроселя і джерела живлення додаються і приєднуються через діод до навантаження та

конденсатора. Середня вихідна напруга стабілізатора рис. 11.6 розраховується за рівнянням

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вх}}}{1 - \gamma} \quad (11.9)$$

3.3 Схема з послідовним увімкненням ключа і паралельним дроселем

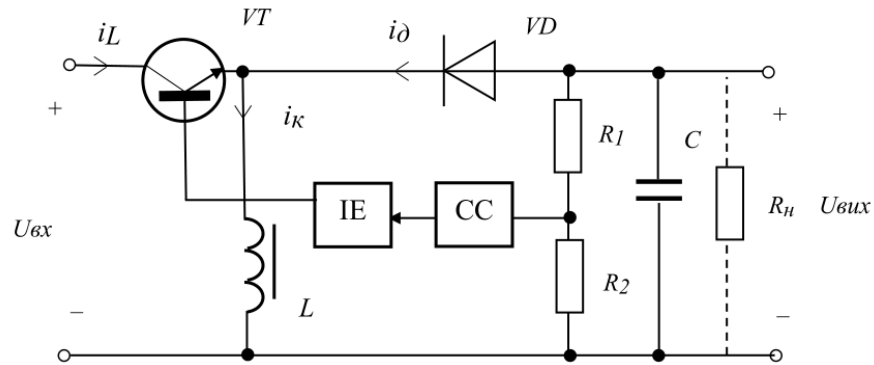


Рис. 11.7. ІСН з послідовним ключем і паралельним дроселем

При відкритому транзисторі VT і закритому діоді VD до дроселя L прикладена напруга джерела живлення $U_L = U_{\text{вх}}$. Це відповідно стає причиною його заряджання. В наступний період часу, коли транзистор закритий, накоплена енергія у дроселі виділяється на навантаженні за напрямом: негативний полюс дроселя, навантаження, анод діода, позитивний полюс дроселя.

Середнє значення напруги на навантаженні дорівнює

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вх}} \gamma}{1 - \gamma} \quad (11.10)$$

Практична схемотехніка в електроприводі [текст]: навчальний посібник (лабораторний практикум) / В.А. Бородай, Савченко С.Б., Р.О. Боровик – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2014. – 49-55с.