

Лекція 12

Імпульсні блоки живлення

Мета лекції: вивчити побудову імпульсних блоків живлення, їх характеристики та переваги перед іншими блоками живлення.

План лекції:

- 12.1. Порівняння стабілізаторів напруги безперервного та імпульсного регулювання.
- 12.2. Імпульсний стабілізатор наруги.
- 12.3. Імпульсний блок живлення.
- 12.4. Контрольно – навчальний тест до лекції 12.

12.1 Порівняння стабілізаторів напруги безперервного та імпульсного регулювання

Електронні елементи для якісного функціонування, як правило, вимагають стабільного живлення. З цією метою у блоках живлення електронної апаратури застосовують стабілізатори напруги, які поділяються на дві групи: безперервного та імпульсного регулювання.

Стабілізатори безперервного регулювання, це традиційні стабілізатори в яких напруга U_H на навантаженні R_H підтримується сталою за допомогою схеми керування (СК) (рис. 12.1). Так, наприклад, при збільшенні U_H збільшується різниця $U_H - U_0$ (U_0 - опорна напруга), яка після підсилення СК збільшує опір керованого елемента КЕ і відповідно напругу U_{KE} на ньому. Таким чином U_H зменшується і стає майже рівною U_0 .

У такому стабілізаторі функцію КЕ, як правило виконує біполярний транзистор. СК – це підсилювач постійного струму, опорна напруга U_0 формується високостабільним стабілітроном.

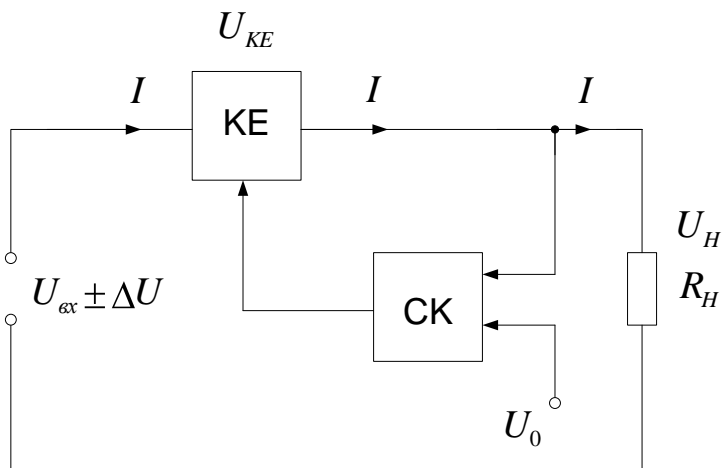


Рис. 12.1 Стабілізатор за методом безперервного регулювання

У такому стабілізаторі має місце співвідношення

$$U_{B_{X_H}} \pm \Delta U + U_{KE} = U_H - const,$$

де $U_{B_{X_H}}$ - номінальна вхідна напруга стабілізатора і її нестабільність ΔU .

Для забезпечення $U_H - const$ при зміні вхідної напруги необхідно забезпечити таке керування регульованими елементами, щоб виконувалось співвідношення

$$U_{BX_{\min}} = U_{BX_H} - \Delta U = U_{KE_{\min}} + U_H,$$

$$U_{BX_{\max}} = U_{BX_H} + \Delta U = U_{KE_{\max}} + U_H.$$

Після віднімання маємо, що

$$U_{KE_{\max}} = 2\Delta U + U_{KE_{\min}},$$

$U_{BX_{\min}}, U_{BX_{\max}}$ - мінімальна і максимальна допустимі напруги падіння на КЕ.

З останнього виразу маємо, що максимальна напруга КЕ тим більша чим більша нестабільність вхідної напруги. Це спричиняє низький коефіцієнт корисної дії (ККД) таких стабілізаторів. Доведемо це.

Нехтуючи незначним споживанням енергії СК, ККД можна представити, як

$$\eta = \frac{P_H}{P_{BX}},$$

де P_H, P_{BX} - потужність, що виділяється на навантаженні R_H і потужність, що підводиться до стабілізатора, відповідно

$$\eta = \frac{I^2 R_H}{I^2 R_H + I U_{KE_{\max}}} = \frac{1}{1 + \frac{U_{KE_{\max}}}{I R_H}} = \frac{1}{1 + \frac{U_{KE_{\max}}}{U_H}}.$$

Тобто, чим більша нестабільність вхідної напруги тим більша максимальна напруга на КЕ і тим нижчий ККД. Так, наприклад, якщо $U_{KE_{\max}} = 5\text{В}$, $U_H = 10\text{В}$, то $\eta = 0,65$ і 35% вхідної енергії витрачається даремно на нагрівання КЕ.

На рис. 12.2 зображено схему імпульсного стабілізатора напруги. У цій схемі СК так само як і у попередній схемі рис. 12.1, відслідковує нерівність U_H і U_0 , але на виході СК формуються імпульси, які замикають або розмикають ключ КЕ.

Тривалість замкнутого стану ключа t_i (рис. 12.2 б) залежить від різниці $U_H - U_0$ і

тим менша, чим більша ця різниця. Це широтно – імпульсна модуляція (ШІМ), при якій $t_i - \text{var}$, $T - \text{const}$.

Середнє значення напруги на R_H після фільтрації (конденсатор C):

$$U_{HCP} = U_{BX} t_i / T = U_{BX} t_i f_K, \quad (12.1)$$

де $f_K = 1/T$.

Іноді застосовують частотно – імпульсну модуляцію при якій $t_i - \text{const}$, $f_K - \text{var}$.

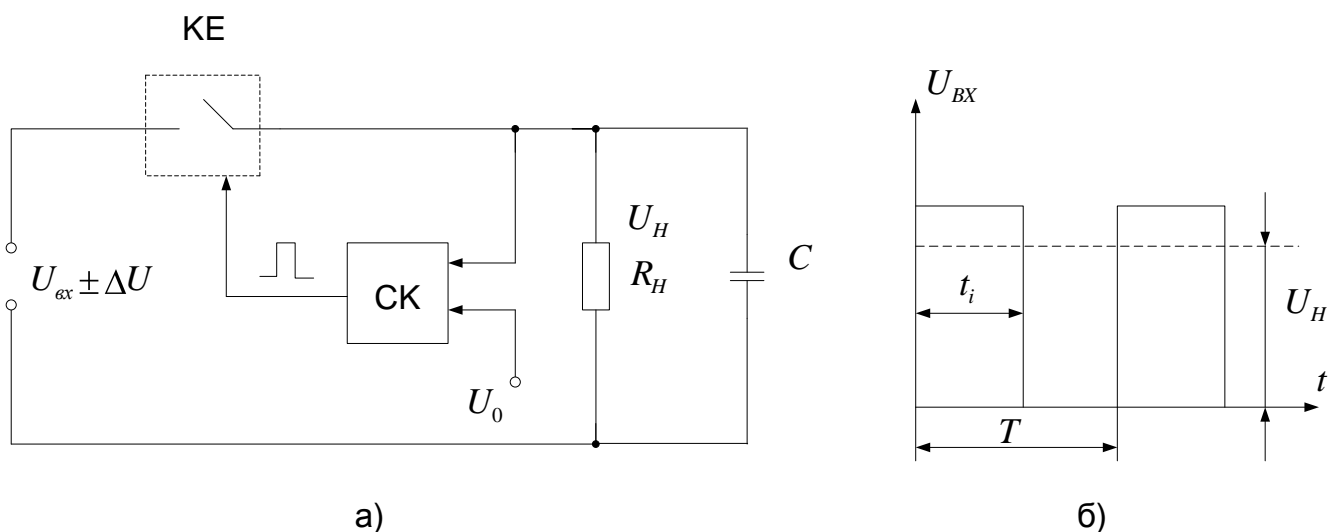


Рис. 12.2 Стабілізатор імпульсного регулювання: а – схема, б – графік

Основною перевагою імпульсних стабілізаторів напруги (ІСН) порівняно з безперервними (компенсаційними) стабілізаторами є те, що в ІСН регулювальний транзистор працює в ключовому режимі (у режимі відсічки або у режимі насичення), тому втрати потужності на ньому мінімальні. Тому, ІСН мають високий ККД (до 95 %), причому ККД зберігає таке значення в широкому діапазоні зміни вхідної напруги та струму навантаження. Розглянемо такі стабілізатори.

12.2 Імпульсний стабілізатор напруги

Схема імпульсного стабілізатора напруги ІСН наведена на рис. 12.3. Вона має дві складові частини: силову частину, що є імпульсним регулятором напруги (ІРН), і схему керування (СК) режимом роботи ІРН, що під час зміни вхідної напруги ІСН змінює режим роботи регульовального транзистора (VT) так, щоб вихідна напруга ІСН залишалася приблизно постійною.

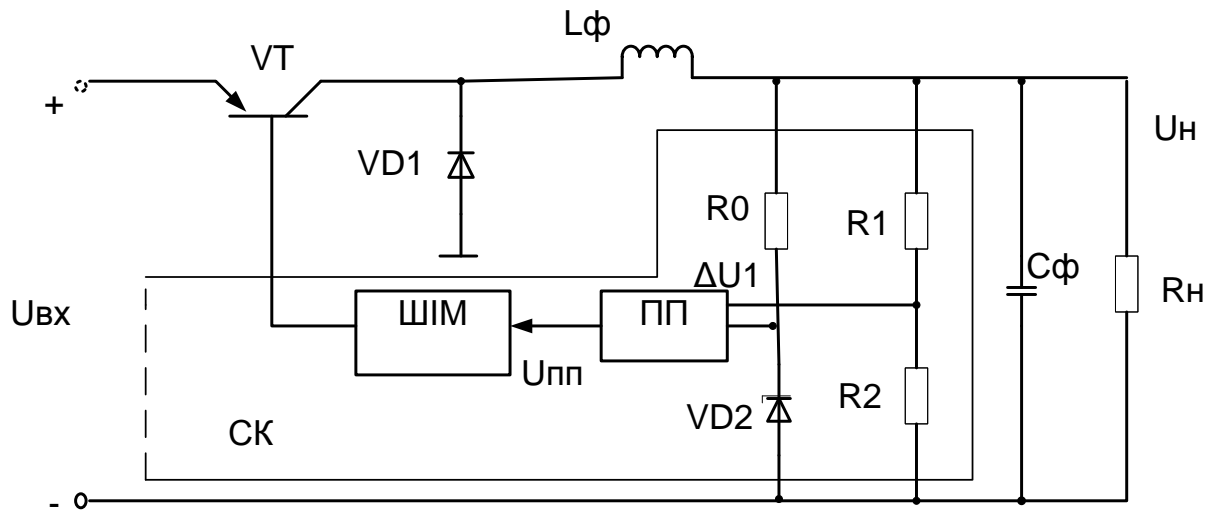


Рис. 12.3 Функціональна схема ІСН

Як і в схемі компенсаційного стабілізатора, схема керування ІСН містить вимірювальний елемент (подільник напруг на резисторах R_1, R_2), джерело опорної напруги (параметричний стабілізатор напруги на стабілітроні VD2) і пристрій порівняння ПП з коефіцієнтом підсилення $K_{ПП}$ на виході якого утворюється сигнал, пропорційний відхиленню напруги на R_H від необхідного значення. Маємо такі співвідношення:

$$U_{R_2} = U_H \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad \Delta U_1 = U_{R_2} - U_{VD_2}.$$

де U_{R_2}, U_{VD_2} - напруги на R_2 і стабілітроні VD2, відповідно. ΔU_1 - напруга некомпенсації на вході ПП.

До виходу ПП під'єднано широтно – імпульсний модулятор ШІМ, який перетворює вхідну напругу $U_{ПП}$ в тривалість t_i прямокутних імпульсів $U_{ШІМ}$.

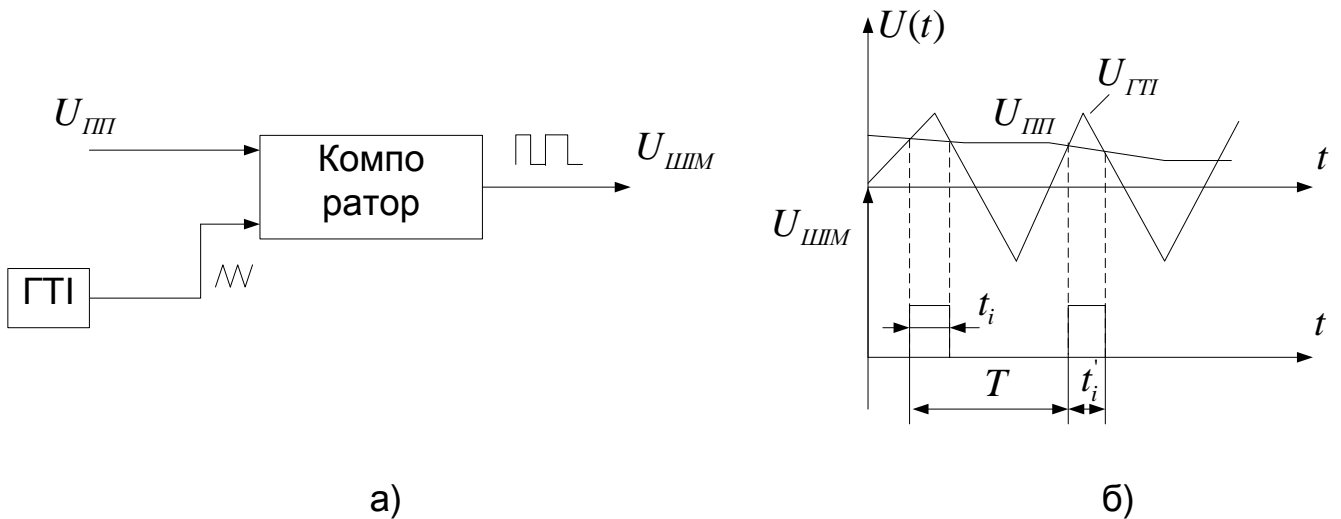


Рис. 12.4 Принцип дії ШІМ: а – схема ШІМ, б – діаграма

Принцип дії ШІМ полягає у порівнянні напруги трикутної форми із сигналом $U_{\text{ПП}}$. За допомогою компаратора визначається інтервал часу t_i , впродовж якого трикутна напруга перевищує напругу $U_{\text{ПП}}$ (рис. 12.4). Амплітуда трикутної напруги $U_{\text{ГТІ}}$ повинна бути не меншою, ніж максимальне значення сигналу $U_{\text{ПП}}$. Частота лінійно змінюваної напруги визначає частоту комутації регульовального транзистора, а лінійну залежність тривалості імпульсу від значення сигналу $U_{\text{ПП}}$ забезпечує напруга трикутної форми. Така напруга формується у мультивібраторі на операційному підсилювачі, що виконує функції генератора трикутних імпульсів ГТІ (рис. 12.4).

Можна визначити тривалість імпульсів на виході ШІМ із рис. 12.5.

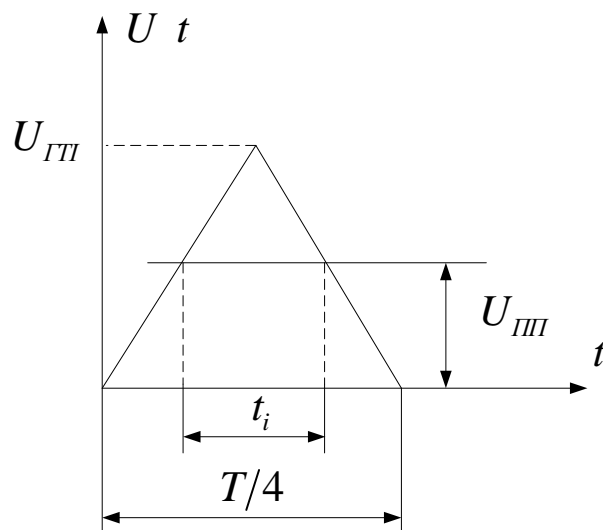


Рис. 12.5 До визначення тривалості імпульсів на виході ШІМ

$$0,5T/t_i = U_{ГТИ} / (U_{ГТИ} - U_{ШИМ}),$$

звідки

$$t_i = 0,25T(1 - U_{ШИМ}/U_{ГТИ})$$

де $U_{ГТИ}$ - амплітуда трикутних імпульсів. При $U_{ШИМ}=0$, $t_{i0} = 0,25T$. Приріст тривалості імпульсу Δt_i можна знайти з такого виразу:

$$\begin{aligned} t_{i0} + \Delta t_i &= 0,25T(1 - U_{ШИМ}/U_{ГТИ}) \\ \Delta t_i &= 0,25T U_{ШИМ}/U_{ГТИ} \end{aligned} \quad (12.2)$$

Коефіцієнт стабілізації ІСН визначається глибиною негативного зворотнього зв'язку по контуру: дільник напруги ($R_2/(R_1 + R_2)$), ПП, ШІМ, вихідний каскад (ВК),

$$K_{СТ} \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot K_{ПП} \cdot K_{ШИМ} \cdot K_{VT}$$

де $K_{ШИМ}; K_{VT}$ - коефіцієнти передачі ШІМ, регульованого транзистора VT, відповідно урахувавши співвідношення (12.1 ÷ 12.2), нехтуючи витратами в ключовому транзисторі, VT ($K_{VT} = 1$) для приросту сигналів можна записати коефіцієнт стабілізації, як

$$K_{СТ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{U_{ВХ}}{4U_{ГТИ}} K_{ПП} \quad (12.3)$$

Таким чином $K_{СТ}$ в основному визначається коефіцієнтом підсилення пристрою порівняння. Найчастіше ПП – це операційний підсилювач.

Основною функцією ШІМ є формування тривалості імпульсу, а узгодження ланки керування регульовальним транзистором з виходом ШІМ здійснюється за допомогою трансформаторного вихідного каскаду. Це дає змогу здійснити гальванічну розв'язку силової частини ІСН і схеми керування.

В ІСН варто розрізняти поняття пульсації та нестабільності вихідної напруги. Пульсації вихідної напруги ІСН зумовлюються принципом дії ІРН. Частота пульсацій дорівнює частоті комутації силового транзистора, а значення коефіцієнта пульсацій визначається значеннями індуктивності дроселя L_Φ та ємності

конденсатора C_ϕ , які утворюють згладжувальний фільтр. Відповідним вибором значень L_ϕ і C_ϕ значення коефіцієнта пульсацій вихідної напруги можна довести до будь-якого необхідного значення.

Нестабільність вихідної напруги зумовлюється зміною ΔU вхідної напруги U_{BX} ІСН, коефіцієнтом стабілізації K_{CT} стабілізатора, дрейфом «нуля» пристрою порівняння, нестабільністю опорної напруги U_0 стабілітрона, резисторами R_1, R_2 . Із цих декількох причин найбільш суттєвими є дрейф «нуля» пристрою порівняння і нестабільність опорної напруги. Нестабільність вихідної напруги сучасних ІСН складає $(0,01 \div 0,2)\%$.

12.3 Імпульсний блок живлення

Розглянемо схему імпульсного блока живлення (рис. 12.5). Падіння напруги на кожному з двох послідовно ввімкнених згладжувальних конденсаторів C_1, C_2 складає 150В. За допомогою комутуючих транзисторів VT_1 і VT_2 до первинної обмотки силового високочастотного трансформатора подається поперемінно напруга: $U_1=+150$ В, коли відкритий транзистор VT_1 ; -150 В, коли відкритий транзистор VT_2 .

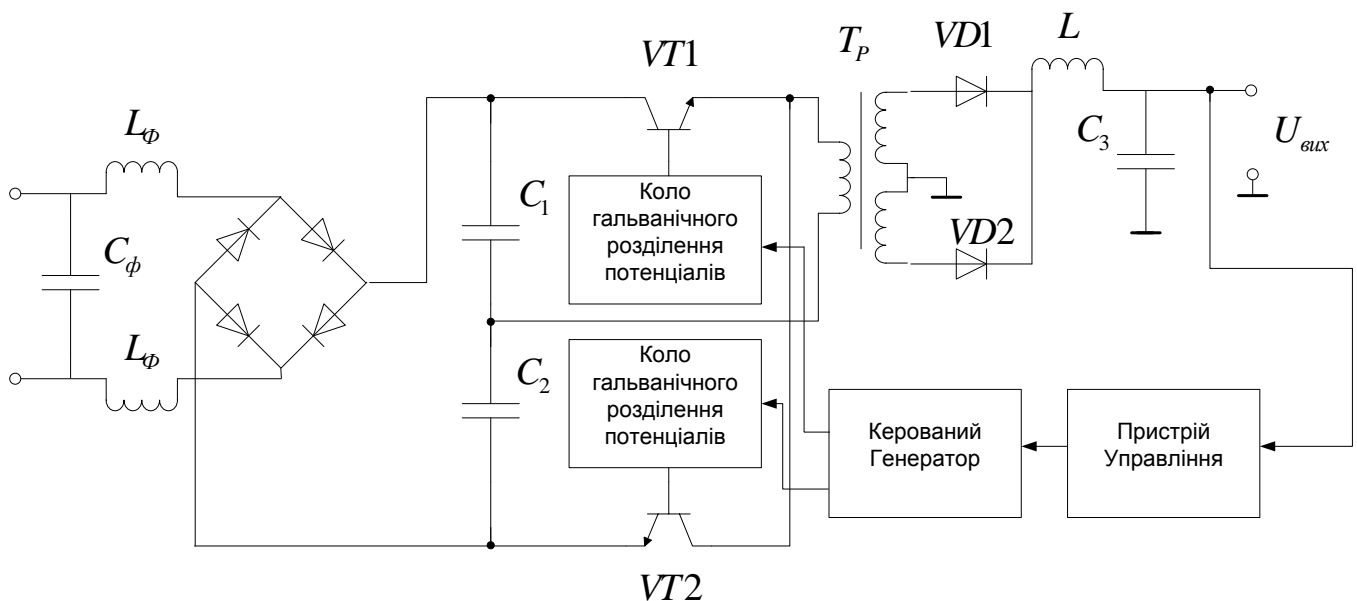


Рис. 12.5 Схема імпульсного блока живлення

Як видно зі схеми, первинна обмотка трансформатора підключається до випрямляча так, щоб через неї не могла протікати постійна складова струму. Це попереджує можливість насичення трансформатора цим струмом.

Вторинна змінна напруга випрямляється стандартною схемою випрямляча з середнім виводом вторинної обмотки. Використання такої схеми практично не збільшує втрат на додаткову частину вторинної обмотки, так як на високій частоті число витків вторинної обмотки мале. В той час ця схема відносно мостової двохнапівперіодної схеми знижує потужність втрат на випрямлячі, так як напруга падає тільки на одному відкритому діоді. Це важливо при отриманні малих вихідних напруг, так як діоди VD_1 і VD_2 при цьому є основним джерелом втрат потужності. Для зниження статичних і динамічних втрат в таких схемах корисно використовувати потужні діоди Шоттки, наприклад типу MBR 3520..MBR 7545 фірми Motorola.

Згладжування пульсацій вихідної напруги відбувається за допомогою LC-фільтру.

Пристрій управління функціонує за тим же принципом, що і для вторинних стабілізаторів. Додатково в цьому пристрої включена схема розподілення імпульсів, яка подає імпульси управління поперемінно на кожний з комутуючих транзисторів. Для запобігання проникнення високої напруги 220В на вихід схеми через схему управління (техніка безпеки) управління цим транзистором повинно здійснюватись з гальванічною розв'язкою від вторинної сторони. Через це імпульси управління повинні подаватись на них через імпульсні трансформатори або оптрони ключі.

Щоб знизити втрати потужності на комутуючих транзисторах, необхідно розрахувати схему так, щоб ці транзистори комутували напругу з можливо більшою крутизною фронтів імпульсів струму, а також не знаходились одночасно у відкритому стані. При оптимальному виборі параметрів схеми можна отримати коефіцієнт корисної дії перетворювача більш як 80%. Схеми управління для перетворювачів випускаються в монолітному інтегральному виконанні, наприклад SG 3524 фірми Silicon General або TL 494C фірми Texas Instruments.

Описану схему можна використовувати і при живленні від мережі постійної напруги. В цьому випадку вона працює як перетворювач постійної напруги з високим коефіцієнтом корисної дії.

Перевагою імпульсних блоків живлення відносно традиційних з компенсаційним стабілізатором є: більший коефіцієнт корисної дії із-за менших витрат енергії на регулюючому елементі; менші габарити і вага із-за менших розмірів трансформатора T_p (рис. 12.5), який передає електричну потужність не на частоті 50 Гц, як це відбувається в традиційних блоках живлення, а на частотах (20 ÷ 100) кГц. Ці переваги ще більше зростають для потужних блоків живлення.

Контрольно - навчальний тест до лекції 12

Питання 12.1

Який фактор найбільш впливає на ККД стабілізатора неперервного регулювання?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – потужність на навантаженні;
- 2 – вхідна потужність;
- 3 – нестабільність вхідної напруги;
- 4 – струм у навантаженні.

Питання 12.2

Визначити ККД стабілізатора неперервного регулювання якщо дано:

$$\Delta U = |\pm 5| B,$$

$$U_{KE_{\min}} = 2B,$$

$$U_H = 15B.$$

Вибір правильної відповіді:

- 1 – 0,55;
- 2 – 0,75;
- 3 – 0,9;
- 4 – 0,5.

Питання 12.3

За рахунок чого відбувається стабілізація вихідної напруги у ШІМ стабілізатора (рис. 12.2)?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – частота замикання і розмикання ключа KE;
- 2 – тривалості імпульсів, що замикають і розмикають ключ KE;
- 3 – конденсатора С.

Питання 12.4

З яких елементів складається схема керування (СК) ІСН?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – R_1, R_2, VD_2 ;
- 2 – ШІМ, ПП, VT;
- 3 – VD1, VD2, L_ϕ, C_ϕ, R_H ;
- 4 – VD2, R_0, R_1, R_2 , ШІМ, ПП.

Питання 12.5

Який принцип формування імпульсів при ШІМ?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – порівняння напруг трикутної форми з сигналом U_{III} ;
- 2 – перетворення сигналу U_{III} в імпульси;
- 3 – управління мультівібратором.

Питання 12.6

Яка залежність тривалості вихідних імпульсів ШІМ від вхідної напруги U_{III} ?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – лінійна;
- 2 – гіперболічна;
- 3 – лінійна із зміщенням;
- 4 – квадратична.

Питання 12.7

Від чого залежить коефіцієнт стабілізації ІСН?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – частоти перемикавання ключа КЕ;
- 2 – U_{BX} і $U_{ГП}$;
- 3 – $R_1, R_2, U_{BX}, U_{ГП}, K_{III}$.
- 4 – стабільності стабілітрона.

Питання 12.8

За допомогою чого значення коефіцієнта пульсацій вихідної напруги можна довести до будь-якого необхідного значення?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – відповідним вибором значень діодів;
- 2 – відповідним вибором значення резистора навантаження R_H ;
- 3 – відповідним вибором значень L і C .

Питання 12.9

Чим в основному визначається нестійкість вихідної напруги ІСН?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – нестійкістю U_{BX} ;
- 2 – нестійкістю R_0, R_1, R_2 ;
- 3 – дрейфом «нуля» пристрою порівняння і нестійкістю опорної напруги;
- 4 – коефіцієнтом стабілізації K_{CT} .

Питання 12.10

У схемі рис. 12.5 яку функцію виконують конденсатори C_1, C_2 ?

Вибір правильної відповіді:

- 1 – згладжувальну;
- 2 – підвищення коефіцієнта стабілізації схеми.

Питання 12.11

Чи можливе живлення схеми рис. 12.5 від постійного струму

Вибір правильної відповіді:

- 1 – так, можливе;
- 2 – ні, неможливе.