

**Змістовий модуль 16. Електронні випрямлячі.
Лекція № 18. Тема № 14. Електронні випрямлячі.**

План лекції

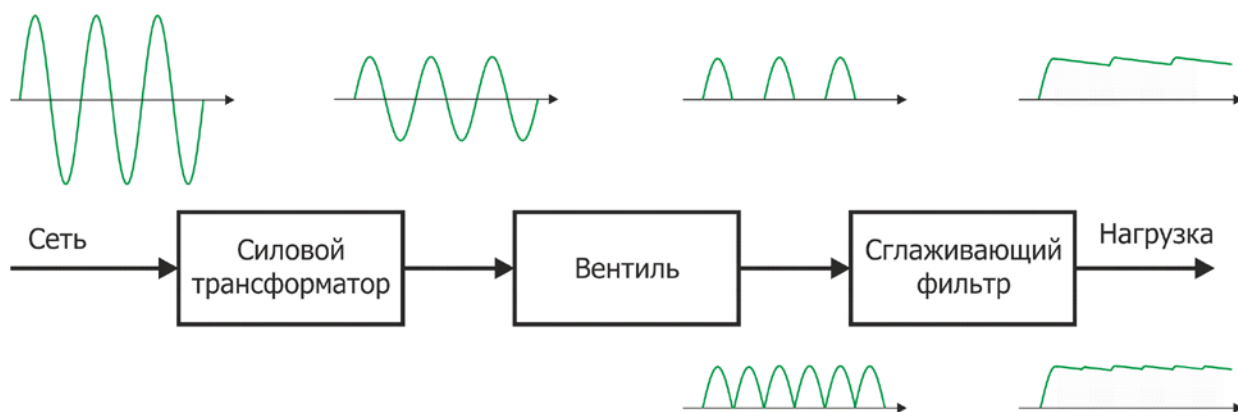
1. Призначення й устрій випрямлячів
2. Однопівперіодний випрямляч
3. Двопівперіодний випрямляч
4. Трифазна схема випрямлення
5. Фільтри, що згладжують
6. Стабілізатори напруги

1. Призначення й устрій випрямлячів

Випрямлячі – це пристрої, що служать для перетворення змінного струму в постійний.

На мал. 1 представлена структурна схема випрямляча, до складу якого входять:

- силовий трансформатор, що служать для перетворення (звичайно зниження) змінної живлячої напруги;
- вентиль, що володіє однобічною провідністю, що забезпечує перетворення змінного струму у випрямлений (струм одного напрямку);
- фільтр, що згладжує, який служать для перетворення випрямленого струму в струм, близький за формою до постійного.



Мал. 1. Структурна схема випрямляча з осцилограмами напруг

Для перетворення змінного струму в постійний служать електричні вентилі різних типів: електронні (кенотрони), напівпровідникові (германієві, кремнієві й ін.), іонні (газотрони, тиратрони й ін.).

Напівпровідниковий вентиль (діод) характеризується головним чином середнім припустимим значенням випрямленого струму й амплітудою зворотної напруги.

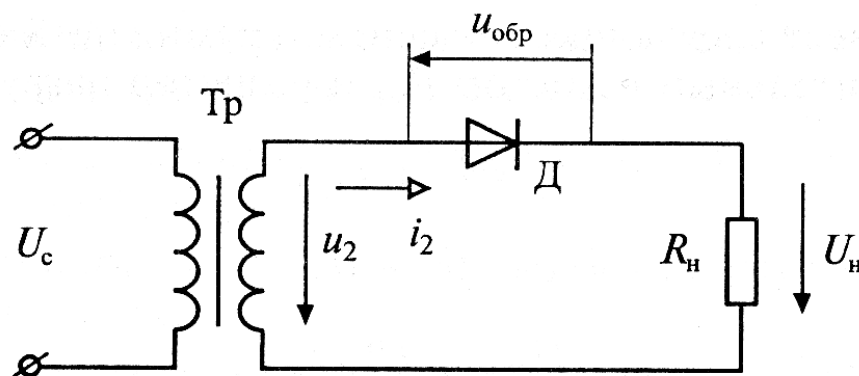
Середнє значення струму визначає тепловий режим вентиля, так що підвищення середнього значення струму поведе до перегріву вентиля.

Амплітуда зворотної напруги - це та найбільша напруга, яка може бути прикладена до вентиля у зворотному (непровідному) напрямку, не піддаючи його небезпеці пробою.

У випрямлячах вентилялі з'єднують по певних схемах.

2. Однопівперіодний випрямляч

На мал. 2 представлена схема однопівперіодного випрямляча.



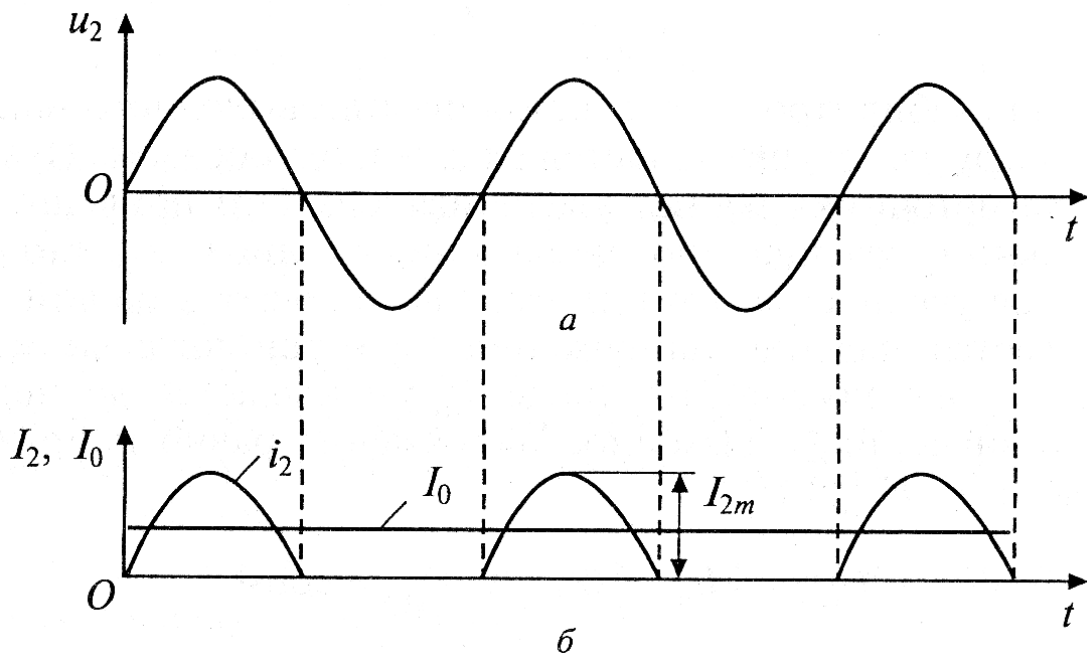
Мал. 2. Схема однопівперіодного випрямляча

Змінну синусоїдальну напругу u_2 (мал. 3, а) подають на діод Д. За рахунок односторонньої провідності діодів струм i_2 (мал. 3, б) проходить тільки в позитивні півперіоди напруги u_2 й, отже, має імпульсну форму. Постійна складова цього струму I_0 визначається середнім значенням струму i_2 , що проходить через навантаження R_H за півперіод.

Середнім значенням струму I_0 називається середнє арифметичне значення із усіх миттєвих значень i_2 за півперіод:

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i_2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_{2m} \sin \omega t dt = -\frac{I_{2m}}{\omega T} \cdot \cos \frac{2\pi}{T} t \Big|_0^{T/2} = -\frac{I_{2m} T}{2\pi T} \cdot (\cos \pi - \cos 0) = \frac{I_{2m}}{\pi}$$

$$I_0 = 0,318 I_{2m} = 0,45 I_2. \quad (1)$$



Мал. 3. Напряга на затискачах вторинної обмотки трансформатора (а), випрямлений струм i_2 , постійна складова струму I_0 (б)

Постійна складова випрямленої напруги на R_H визначається законом Ома:

$$U_0 = I_0 R_H = 0,318 I_{2m} R_H.$$

Знайдемо співвідношення між U_0 і діючим значенням напруги на затискачах вторинної обмотки трансформатора U_2 . Тому що $R_H \gg R_{\text{прд}}$ ($R_{\text{прд}}$ - прямий опір діода), то $I_{2m} R_H \approx U_{2m}$. Отже,

$$U_0 = I_0 R_H = 0,318 I_{2m} R_H \approx \frac{U_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} = 0,45 U_2. \quad (2)$$

Значення U_0 задають при розрахунках випрямляча, визначають U_2 , і за відомим значенням напруги мережі U_C визначають коефіцієнт трансформації $k = \frac{U_C}{U_2}$.

Раніше було встановлено, що напівпровідникові діоди характеризуються припустимою зворотною напругою $U_{\text{обрд}}$.

Під час негативного півперіоду напруги u_2 діод Д перебуває під дією зворотної напруги, максимум якого рівний U_{2m} .

Тому що $R_{ОБРД} \gg R_H$, то

$$U_{ОБРм} = U_{2m} = \pi U_0 = 3,14U_0. \quad (3)$$

Звідси випливає, що при виборі діода для роботи в схемі однопівперіодного випрямлення треба дотримувати нерівності $U_{ОБРД} > 3,14U_0$. Якщо такий діод підібрати не вдається, прибігають до послідовного включення декількох діодів.

Середнє значення струму, що проходить через діод, не повинне перевищувати $I_{СРД}$. Для однопівперіодного випрямляча

$$I_{СРД} = I_0 = \frac{I_m}{\pi}. \quad (4)$$

Якщо остання нерівність не виконується для діодів наявних типів, необхідно виключити кілька діодів паралельно.

Однопівперіодна схема рідко використовується в сучасних випрямлячах, тому що вторинна обмотка трансформатора працює тільки половину періоду, і тому габаритна потужність трансформатора повинна перевищувати потужність випрямленого струму приблизно в 3 рази. Зворотна напруга на діоді більш ніж в 3 рази перевищує випрямлену напругу на навантаженні, що накладає обмеження на застосовувані діоди. Випрямлена напруга має дуже високий рівень пульсацій, що утрудняє його згладжування.

3. Двонапівперіодний випрямляч

Найбільш широке поширення одержала мостова схема двонапівперіодного випрямляча (мал. 4).

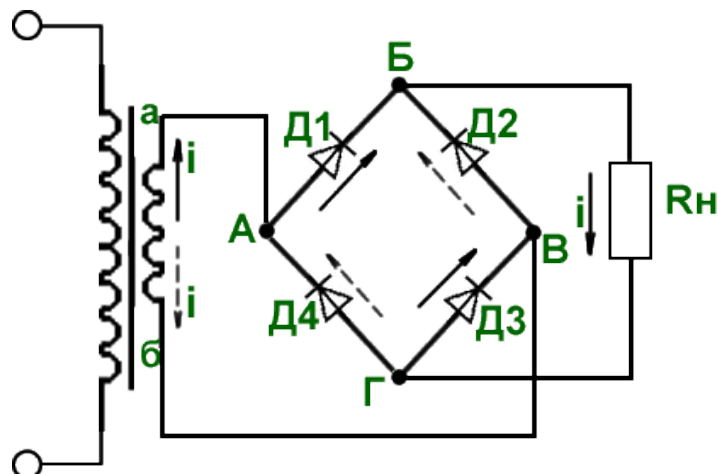
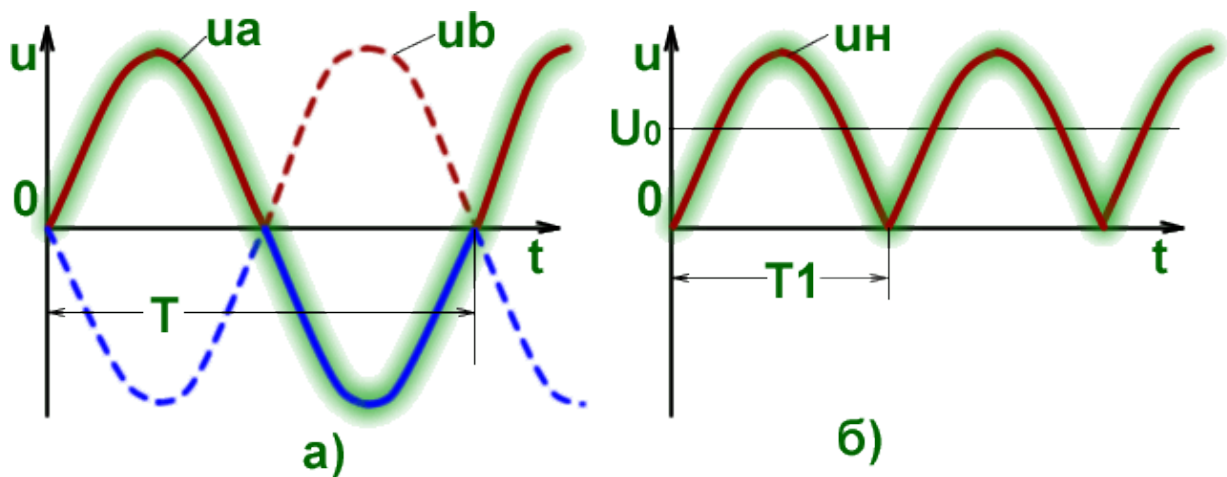


Рис. 4. Мостова схема двонапівперіодного випрямляча

Схема складається з силового трансформатора й чотирьох діодів Д1 – Д4. До діагоналі моста А-В підключена вторинна обмотка трансформатора, до діагоналі Б-Г - опір навантаження R_H .

У позитивний півперіод напруги u_2 , коли потенціал точки А вище потенціалу точки В (див. мал. 4, 5, а), відкриті діоди Д1 і Д3 і струм проходить по ланцюгу: точка А, діод Д1, опір навантаження R_H (зверху вниз за схемою), діод Д3, точка В. У негативний півперіод напруги відкриті діоди Д2 і Д4 і тепер струм проходить по ланцюгу: точка В, діод Д2, опір навантаження R_H (зверху вниз за схемою), діод Д4, точка А. Через опір навантаження R_H струм проходить увесь час у незмінному напрямку. Таким чином, струм в навантаженні має форму, показану на мал. 5, б, що й відповідає двонапівперіодному випрямленню.



Мал. 5. Криві напруг у двонапівперіодній схемі випрямлення:
а - у фазах вторинної обмотки, б - на навантаженні

Кожний діод тут працює як в однополуперіодній схемі. Струми діодів складаються, тому постійна складові струму

$$I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}I_2}{\pi} = 0,90I_2. \quad (5)$$

Зрівнявши це значення струму із I_0 для однопівперіодного випрямляча, доходимо висновку, що в даній схемі набагато краще використовуються обмотки трансформатора по струму. Це дозволяє значно зменшити габарити трансформатора.

Знайдемо тепер співвідношення між U_0 і U_2 . Тому що постійна складова напруги $U_0 = I_0 R_H$, то з урахуванням $R_H \gg R_{\text{прД}}$ і $I_2 R_H = U_2$,

$$U_0 = I_0 R_H = 0,90 I_2 R_H = 0,90 U_2. \quad (6)$$

Зворотна напруга, що діє на кожний діод у даній схемі така ж, як у схемі однопівперіодного випрямляча. Дійсно, коли діоди Д1 і Д3 відкриті, до діода Д2 прикладена повна зворотна напруга вторинної обмотки через відкритий діод Д1. Точно така ж зворотна напруга прикладена й до діода Д4. Отже,

$$U_{\text{обрм}} = U_{2m} = \sqrt{2} U_2 = \frac{\sqrt{2} U_0}{0,90} = 1,57 U_0. \quad (7)$$

Інакше кажучи, вимоги до одному діоду по припустимій зворотній напрузі в 2 рази менші, у порівнянні з однопівперіодною схемою.

Мале значення рівня пульсацій також є перевагою даної схеми.

4. Трифазна схема випрямлення

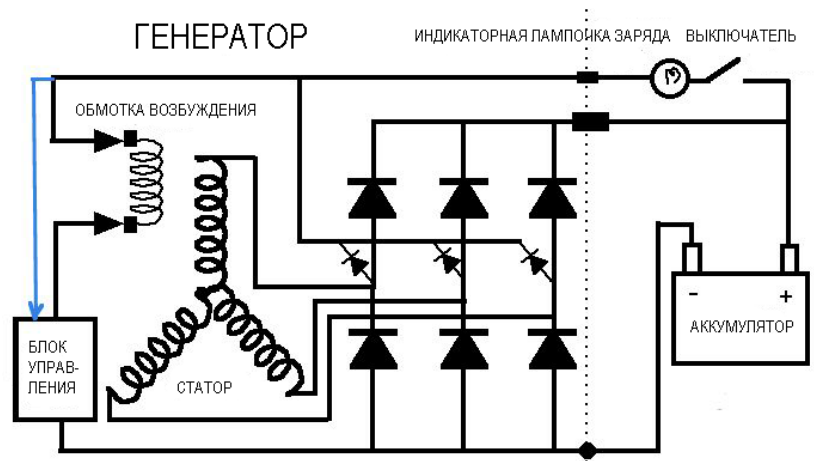
Мостова трифазна схема випрямлення змінного струму (на прикладі автомобільного генератора, мал. 6) зображена на мал. 7. У ній сполучаються принципи мостової схеми й схеми багатофазного випрямлення. У цій схемі первинні й вторинні обмотки можуть бути з'єднані як зіркою, так і трикутником.

Шість діодів утворюють дві групи – верхню по схемі мал. 7 і нижню. У верхньої групи катоди з'єднані разом і служать точкою виводу випрямляча з позитивним потенціалом, а в нижньої групи аноди з'єднані разом і служать точкою виводу з негативним потенціалом («0»).

При роботі цієї схеми випрямлюються обидві півхвилі змінних напруг усіх вторинних обмоток трансформатора, завдяки чому пульсації випрямленої напруги значно зменшуються.



Мал. 6. Автомобільний генератор



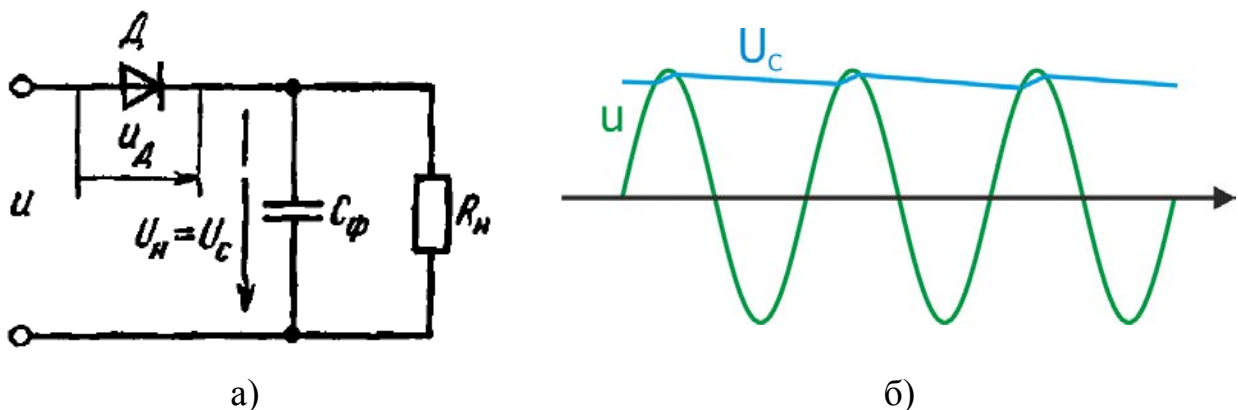
Мал. 7. Схема включення генератора

5. Фільтри, що згладжують

Для живлення низки вузлів електронної апаратури звичайно потрібна постійна напруга. Напруга ж, одержувана на виході розглянутих випрямних схем, є або пульсуючою (трифазний випрямляч), або імпульсною (одно- і двонапівперіодний випрямляч). Для того щоб випрямлена напруга мала необхідну форму, застосовують **фільтри, що згладжують**.

Фільтри, що згладжують, підрозділяються на ємнісні, індуктивні, індуктивно-ємнісні.

Найбільш простим є ємнісний фільтр, який складається з конденсатора C_ϕ , включеного паралельно з навантаженням (мал. 8, а). Робота фільтра заснована на здатності конденсатора швидко запасати електричну енергію, а потім відносно повільно віддавати її в навантаження.



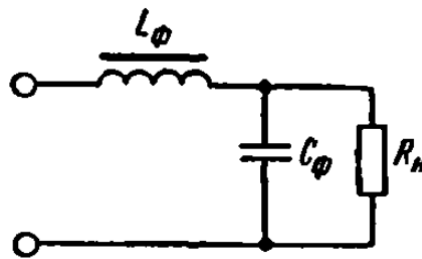
Мал. 8. Схема ємнісного фільтра (а) і графіки напруг у ньому (б)

Коли напруга на діоді D , рівна різниці напруги джерела й напруги на конденсаторі, позитивна, тобто $U_d = u - U_c > 0$, то діод відкритий і C_ϕ заряджається. Тому що опір діода D досить малий, конденсатор устигає

зарядитися майже до U_m . Потім, коли $U_d = u - U_c < 0$, діод замкнений і конденсатор повільно розряджається через R_H доти, поки напруга джерела u знову не стане більше U_c . Час розрядки залежить від постійної часу $\tau = C_\phi R_\phi$, яка показує, протягом якого часу напруга на конденсаторі поменшає в 2,72 рази.

Ємнісні фільтри, як правило, використовують у випрямлячах малої потужності.

У випрямлячах з більшими струмами застосовують індуктивні й комбіновані фільтри. Ці фільтри забезпечують гарне згладжування струму в навантаженні. Їхню роботу (мал. 9) зручно пояснювати, представляючи напругу на вході фільтра як суму постійної складової й цілого ряду гармонік (змінних складових). Тоді індуктивність і ємність фільтра являють собою дільник. На індуктивному опорі дільника ($X_L = 2\pi fL$) виділяється більша частина змінної, а на ємнісному ($X_C = 1/2\pi fC$) - більша частина постійної складової напруги випрямляча.



Мал. 9. Комбінований LC-фільтр

6. Стабілізатори напруги.

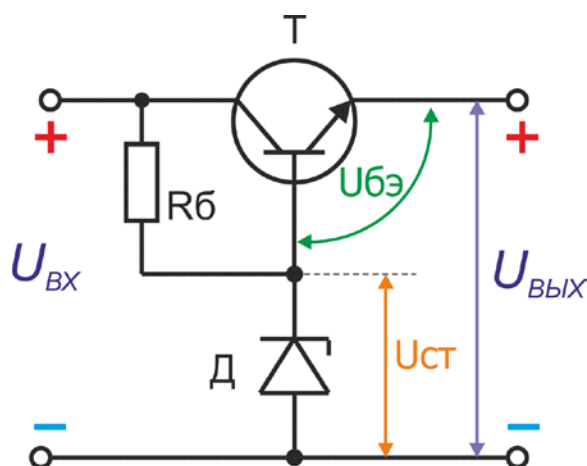
Обладнання, що підтримує автоматично постійну напругу на навантаженні при зміні дестабілізуючих факторів у певних межах, називається **стабілізатором напруги**. Такими дестабілізуючими факторами є вхідна напруга й опір навантаження, які змінюються в процесі роботи обладнання.

Існує два методи стабілізації напруги: *параметричний* і *компенсаційний*.

У параметричних стабілізаторах використовуються елементи з нелінійною вольт-амперною характеристикою (стабілітрони).

Компенсаційні стабілізатори мають більш оптимальні параметри. Робота таких стабілізаторів заснована на порівнянні вхідної напруги із заданим стабільним. Залежно від різниці між стабільним і вихідним напругами (неузгодженістю) здійснюється автоматичний вплив (регулювання), спрямоване

на зменшення цієї неузгодженості. Як приклад розглянемо схему стабілізатора, наведену на мал. 10.



Мал.10. Схема компенсаційного стабілізатора напруги

Стабільна (опорна) напруга U_{CT} створюється на кремнієвому стабілітроні Д. Транзистор Т відіграє роль елемента, що порівнює й регулює. Між базою й емітером діє невелика позитивна напруга $U_{BE} = U_{CT} - U_{ВИХ}$.

Таким чином, $U_{ВИХ} \approx U_{CT}$. Уявимо собі, що напруга на виході $U_{ВИХ}$ трохи зросла. Отже, напруга $U_{BE} = U_{CT} - U_{ВИХ}$ поменшає й транзистор почне закриватися (поменшає вихідний струм емітера). Ця обставина приведе до зменшення вихідної напруги практично майже до колишнього значення. Надлишок напруги впаде на транзисторі.

Найважливішим параметром, що характеризують роботу схеми стабілізатора, є коефіцієнт стабілізації, що представляє собою відношення відносної зміни вхідної напруги до відносної зміни вихідної напруги (при $R_H = \text{const}$):

$$k_{CTU} = \frac{\Delta U_{ВX} / U_{ВX}}{\Delta U_{ВИХ} / U_{ВИХ}}$$

де $U_{ВX}$ й $U_{ВИХ}$ - номінальні значення вхідного й вихідного напруг.

Питання для самоконтролю

1. Намалюйте схему однопівперіодного випрямляча й поясніть його роботу.
2. Які недоліки однопівперіодного випрямляча?

3. Намалюйте мостову схему двонапівперіодного випрямляча й поясніть його роботу.
4. Які достоїнства мостової схеми двонапівперіодного випрямляча?
5. Намалюйте схему трифазного випрямляча й поясніть її роботу.
6. Яке призначення фільтра, що згладжує?
7. Поясніть принцип роботи фільтра, що згладжує.
8. Для чого служить стабілізатор напруги?

Список літератури

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 2005. – глава 18, §§ 18.1 – 18.6 (с. 525 – 540).
2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие. – 15-е изд., стереотипное – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – §§12.1 – 12.3 (с. 319 – 340).