

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від __ _____ 20__ р.
№__

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення практичного заняття №2 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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 2

Практичне заняття №2

РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРІВ ЗГЛАДЖУВАННЯ

Мета роботи: вивчення методів розрахунку та вибору параметрів компонентів фільтрів згладжування.

Теоретичні відомості

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

На виході випрямляча напруги, крім постійної складової, міститься змінна складова – *пульсації напруги*. Вона настільки значна, що безпосередньо живлення навантаження від випрямляча можливе відносно рідко (при заряді акумуляторних батарей, живленні кіл сигналізації, електродвигунів тощо) там, де споживач енергії нечутливий до змінної складової кривої випрямленої напруги. При живленні апаратури електрозв'язку і радіоелектронної апаратури пульсація напруги різко погіршує, а частіше взагалі порушує роботу пристроїв живлення, вносячи додаткові спотворення в сигнали, що перетворюються.

Для зменшення змінної складової в кривій випрямленої напруги, тобто для ослаблення пульсації, між випрямлячем і навантаженням встановлюється спеціальний пристрій, що називається фільтром згладжування.

Змінна складова випрямленої напруги в загальному випадку є сукупністю ряду гармонік з різними амплітудами, зрушеними по відношенню до першої на різні кути. При цьому амплітуда першої гармоніки має максимальну величину і значно перевершує амплітуди вищих гармонік.

Різні види апаратури електрозв'язку висувають різні вимоги до значення та характеру пульсації випрямленої напруги.

Для більшості радіоелектронної апаратури якість напруги характеризується максимально допустимою амплітудою змінної складової. У цьому випадку фільтри слід розраховувати на максимальне придушення основної гармоніки, маючи на увазі, що гармоніки вищих частот фільтрами згладжуватимуться значно ефективніше.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 3

Основним параметром фільтрів згладжування є: коефіцієнт згладжування q , що є відношенням коефіцієнта пульсації на вході фільтра ($k_{\text{ПВХ}}$) до коефіцієнта пульсації на виході фільтра ($k_{\text{ПВИХ}}$) (на навантаженні):

$$q = \frac{k_{\text{ПВХ}}}{k_{\text{ПВИХ}}}.$$

Коефіцієнт пульсації на вході фільтра визначається схемою випрямлення і дорівнює

$$k_{\text{ПВХ1}} = \frac{U_{0m1}}{U_0} = k_{\text{П1}},$$

де U_{0m1} і U_0 – амплітуда першої гармоніки та постійна складова випрямленої напруги.

Коефіцієнт пульсації на виході фільтра

$$k_{\text{ПВИХ}} = \frac{U_{01m1}}{U_{01}},$$

де U_{01m1} і U_{01} — амплітуда першої гармоніки та постійна складова напруги на навантаженні.

Коефіцієнт пульсації на виході фільтра задається вимогами споживача енергії до напруги живлення, а коефіцієнт пульсації на виході випрямляча відомий після вибору схеми випрямлення та визначення його параметрів. Відношення цих величин визначає потрібний коефіцієнт згладжування фільтра.

Крім забезпечення необхідного коефіцієнта згладжування до фільтрів, пред'являється ще ряд вимог: мінімально можливе падіння постійної складової напруги на елементах фільтра; мінімальні габаритні розміри, маса та вартість; відсутність помітних спотворень, які вносяться у роботу навантаження; відсутність неприпустимих перенапруг та кидків струму при перехідних процесах; висока надійність.

Існуючі схеми фільтрів згладжування, можна розділити на наступні групи:

- фільтри з однієї ємності або індуктивності;
- фільтри з двох елементів (Г-подібні) індуктивно-ємнісні (LC) та активно-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 4

ємнісні (RC);

- фільтри П-подібні (CLC, CRC) та багатоланкові (LC, RC);
- резонансні фільтри;
- фільтри з компенсацією змінної складової на виході;
- електронні фільтри на транзисторах з операційних підсилювачах.

Фільтри згладжування із однієї індуктивності практичного застосування не знаходять, ємнісні фільтри застосовуються у пристроях випрямлення малих потужностей, їх розрахунок був приведений при розрахунку випрямляча, що працює на ємнісну реакцію. Резонансні фільтри складні в налаштуванні і ефективні лише при постійному навантаженні.

Поряд з ослабленням змінної складової напруги фільтр згладжування, дещо зменшує постійну складову. Чим менший ступінь зменшення постійної складової при незмінному ослабленні змінної складової, тим якісніший фільтр. У пристроях випрямлення малої потужності ослаблення постійної складової фільтром згладжування, може досягати 5...15%, а для випрямлячів великої потужності воно не перевищує кількох відсотків. Тому в практичних розрахунках можна не враховувати послаблення постійної складової напруги фільтром згладжування, і коефіцієнт згладжування визначати відношенням амплітуд перших гармонік змінних складових напруги на вході і виході фільтра, тобто

$$q = \frac{k_{\text{ПВХ}}}{k_{\text{ПВИХ}}} = \frac{U_{0m1}}{U_{01m1}}$$

2. РОЗРАХУНОК ІНДУКТИВНО-ЄМНІСТНИХ ФІЛЬТРІВ

Найбільш широко використовують Г-подібний індуктивно-ємнісний фільтр (рис. 2.1,а). Для згладжування пульсації таким фільтром необхідно, щоб ємнісний опір конденсатора для нижчої частоти пульсації був набагато менше опору навантаження $X_c \ll R_n$, а також менше індуктивного опору дроселя для першої гармоніки $X_c \ll X_L$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 5

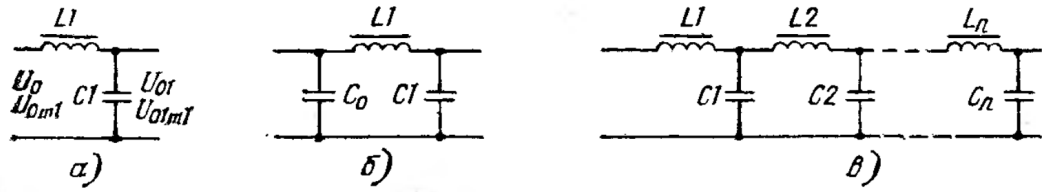


Рис. 2.1. Схеми індуктивно-ємнісних фільтрів: а – Г-подібний;
б – П-подібний: в – багатоланковий

При виконанні цих умов, нехтуючи активним опором дроселя коефіцієнт згладжування Г-подібного фільтра можна визначити наступним виразом:

$$q = \frac{k_{\text{ПВХ}}}{k_{\text{ПВИХ}}} = \frac{U_{0m1}}{U_{01m1}} = (m\omega)^2 L_1 C_1 - 1, \quad (2.1)$$

де $\omega = 2\pi f_c$.

Коефіцієнт згладжування q визначається відношенням відомих вже пульсацій на вході і виході фільтра. Таким чином, необхідний добуток індуктивності та ємності дорівнює

$$L_1 C_1 = \frac{(q + 1)}{(m\omega)^2}. \quad (2.2)$$

Виражаючи L_1 у генрі, а C_1 у мікрофарадах, отримуємо наступну розрахункову формулу:

$$L_1 C_1 = \frac{10 \cdot (q + 1)}{(am)^2}. \quad (2.3)$$

де $a = f_c/50$.

Визначивши з (2.2), (2.3) добуток, необхідно знайти L_1 і C_1 окремо.

Однією з основних умов вибору L_1 є забезпечення індуктивної реакції фільтра на випрямляч. Індуктивна реакція необхідна для більшої стабільності зовнішньої характеристики випрямляча. Крім цього при індуктивній реакції фільтра менше діюче значення струмів у вентиллях і обмотках трансформатора, а також менше габаритна потужність трансформатора.

Для забезпечення індуктивної реакції фільтра необхідно знайти критичне значення індуктивності обмотки дроселя $L_{\text{кр}}$ та вибрати $L_1 > L_{\text{кр}}$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 6

При $L_1 < L_{кр}$ струм у дроселі має уривчастий характер, при $L_1 > L_{кр}$ струм у дроселі безперервний, при $L_1 = L_{кр}$, амплітуда струму дроселя дорівнює його постійної складові:

$$L_{кр} = \frac{2U_0}{(m^2 - 1)m\omega I_{0min}} = \frac{2R_{нmax}}{(m^2 - 1)m\omega}. \quad (2.4)$$

Визначивши $L_{кр}$ та вибравши $L_1 > L_{кр}$, можна знайти значення ємності C_1 .

Якщо навантаження на виході фільтра непостійне, можна визначити ємність C_1 , задавшись допустимим викидом напруги на виході фільтра ΔU_{01} при стрибкоподібному зменшенні струму навантаження:

$$C_1 \geq \frac{\Delta I_0 \cdot \sqrt{L_1 C_1}}{\Delta U_{01}}.$$

де ΔI_0 – зміна струму навантаження на виході фільтра; ΔU_{01} – припустимий викид напруги на виході фільтра.

Визначивши C_1 , можна знайти L_1 . У цьому необхідно, щоб $L_1 > L_{кр}$.

При проектуванні фільтра необхідно також забезпечити таке співвідношення реактивних опорів дроселя та конденсатора, при якому не виникають резонансні явища на частоті пульсації напруги випрямленого і частоті зміни струму навантаження.

Умовою відсутності резонансу є

$$\omega_0 \leq \frac{m\omega}{2}, \quad (2.5)$$

де ω_0 – власна частота фільтра, що дорівнює $1/\sqrt{L_1 C_1}$. Ця умова завжди виконується при $q > 3$. Якщо струм навантаження змінюється з частотою ω_H , то умову відсутності резонансу можна записати у такому вигляді:

$$\omega_0 \leq \frac{\omega_H}{2} = \frac{k\omega}{2},$$

де ω_H – частота зміни струму навантаження; $k = \omega_H/\omega$.

Умова (2.5) виконується, якщо

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 7

$$q \geq \left(\frac{2m}{k}\right)^2 - 1. \quad (2.6)$$

Якщо при розрахунку фільтра виявиться, що задане значення q менше отриманого із (2.6), необхідно збільшити добуток $L_1 C_1$.

Знаючи L_1 можна розрахувати дросель фільтра або вибрати стандартний із довідникової літератури. За знайденим значенням можна вибрати із довідникової літератури конденсатор.

При виборі елементів фільтра необхідно враховувати, що при підключенні випрямляча до мережі виникає перехідний процес, що супроводжується перенапругою на вихідному конденсаторі та кидком струму через індуктивність.

Максимально можливі значення перенапруги на конденсаторі фільтра та кидка пускового струму визначаються співвідношеннями:

$$U_{сmax} = U_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{R_B \pi}{2\rho}\right) \right];$$

$$I_{0max} = I_0 + U_0 \exp\left(-\frac{R_B \pi}{4\rho}\right),$$

де $\rho = \sqrt{L_1/C_1}$. – хвильовий опір фільтра; R_B – активний опір випрямляча при його включенні в мережу.

З наведених виразів видно, що кидок струму тим менше, чим більше ρ , проте при цьому зростає перенапруга на вихідному конденсаторі.

З метою обмежень пускового струму і перенапруг послідовно із дроселем включають пусковий резистор $R_{пуск}$, який надалі замикається накоротко.

Слід враховувати також, що в момент пуску напруга на обмотці дроселя дорівнює напруги джерела живлення. При використанні у фільтрах електролітичних конденсаторів вони повинні вибиратися із урахуванням як максимально можливої напруги на них, так і напруги пульсації.

При прямокутній формі напруги на вході фільтра, що характерно для однотактних або двотактних конверторів, значення критичної індуктивності

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 8

визначається наступним виразом:

$$L_{кр} = \frac{U_0(1 - \gamma)}{2I_{0min}f},$$

де. γ – відносна тривалість імпульсів напруги на вході L_1C_1 -фільтра; f – частота проходження імпульсів напруги.

Задавшись значенням індуктивності обмотки дроселя $L_1 > L_{кр}$ і необхідний коефіцієнт пульсації, визначаємо значення ємності конденсатора:

$$C_1 \geq \frac{1 - \gamma}{4L_1k_{п1}f^2}.$$

П-подібний CLC -фільтр (рис.2.1,б) можна подати у вигляді дволанкового, що складається із ємнісного фільтра з ємністю C_0 і Г-подібного із L_1 і C_1 . При розрахунку П-подібного фільтра ємність і коефіцієнт пульсації напруги на ємності $k_{пс0}$ відомі з розрахунку випрямляча, що працює на ємнісне навантаження.

Коефіцієнт згладжування Г-подібної ланки фільтра дорівнює відношенню коефіцієнтів пульсації напруги на ємності $k_{пвх} = k_{пс0}$ і на опорі навантаження $k_{пвих}$.

Знаючи коефіцієнт згладжування Г-подібної ланки, з виразів (2.2), (2.3) можна визначити добуток L_1C_1 .

У П-подібному фільтрі найбільший коефіцієнт згладжування досягається за рівності ємностей C_0 і C_1 (за умови $C_0 + C_1 = const$).

Приймаючи $C_0 = C_1$, визначаємо індуктивність дроселя L_1 . Перевіряти умову $L_1 > L_{кр}$ у П-подібному фільтрі не потрібно.

Порівнявши П-подібний фільтр з Г-подібним, необхідно відзначити наступне: при П-подібному фільтрі погіршуються умови роботи вентилів; збільшується габаритна потужність трансформатора; зовнішня характеристика випрямляча має падаючий характер; випрямлена напруга при П-подібному фільтрі дещо більша, ніж при Г-подібному (при однакових напругах на

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 9

вторинній обмотці трансформатора).

За потреби забезпечення великого коефіцієнта згладжування доцільно застосування багатоланкового фільтра (рис.2.1,в). Коефіцієнт згладжування такого фільтра

$$q = \frac{k_{\text{пвх}}}{k_{\text{пвих}}} = \frac{k_{\text{пвх}}}{k_{\text{пс1}}} = \frac{k_{\text{пс1}}}{k_{\text{пс2}} \dots k_{\text{пс}(n-1)}/k_{\text{пвих}}},$$

оскільки відношення коефіцієнтів пульсації на вході та виході кожної ланки визначає коефіцієнт згладжування цієї ланки, відповідно,

$$\frac{k_{\text{пвх}}}{k_{\text{пс1}}} = q_1, \frac{k_{\text{пс1}}}{k_{\text{пс2}}} = q_2, \frac{k_{\text{пс}(n-1)}}{k_{\text{пвих}}} = q_n.$$

Якщо всі ланки фільтра складаються із однакових елементів ($L_1 = L_1 = \dots = L_n; C_1 = C_2 = \dots = C_n$), що найбільш доцільно, то $q_1 = q_2 = \dots = q_n$ і

$$q = q_{\text{зв}}^n = (m\omega)^{2n} (L_{\text{зв}} C_{\text{зв}})^n, \quad (2.7)$$

де $q_{\text{зв}}$ – коефіцієнт згладжування кожної ланки; $L_{\text{зв}}$, $C_{\text{зв}}$ – відповідно індуктивність і ємність кожної ланки; n – число ланок.

З (2.7) можна визначити добуток

$$L_{\text{зв}} C_{\text{зв}} = \sqrt[n]{\frac{q}{(m\omega)^{2n}}}. \quad (2.8)$$

Вибір числа ланок фільтра n проводиться або з умови його найменшої вартості, або з умови мінімуму його сумарної індуктивності ($L_{\Sigma} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$) та його сумарної ємності ($C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$).

Виходячи з умови найменшої вартості, дволанковий фільтр доцільно застосовувати при $q \geq 40 \dots 50$, триланковий – при $q \geq 1500 \dots 1700$.

Друга умова реалізується за умови

$$n_{\text{опт}} \approx 1,15 \log q. \quad (2.9)$$

У цьому випадку дволанковий фільтр вигідно використовувати при $q \geq 20$, а триланковий – при $q \geq 160$.

Визначити ємність $C_{\text{зв}}$ та індуктивність $L_{\text{зв}}$ можна виходячи із

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 10

забезпечення індуктивної реакції фільтра і допустимого викиду напруги на виході фільтра при скиданні навантаження.

У першому випадку із (2.5) визначаємо $L_{кр}$ і приймаємо $L_{зв} \geq L_{кр}$, а потім визначаємо $C_{зв}$.

У другому випадку $C_{зв}$ можна визначити з виразу:

$$C_{зв} = \frac{\Delta I_0 \cdot \sqrt{n} \cdot \sqrt[2n]{q}}{m\omega\Delta U_{01}},$$

де ΔI_0 – зміна струму навантаження фільтра; ΔU_{01} – допустимий викид напруги на виході фільтра.

Знаючи $C_{зв}$ і добуток $L_{зв}C_{зв}$, знаходимо $L_{зв}$.

3. РОЗРАХУНОК АКТИВНО-ЄМНІСНИХ ФІЛЬТРІВ

У пристроях випрямлення малої потужності у деяких випадках застосовуються фільтри, що складаються з активного опору та ємності (рис. 2.2,а). У такому фільтрі створюється відносно велике падіння напруги і мають місце значні втрати енергії на резисторі RI , але габаритні розміри та вартість такого фільтра менше, ніж індуктивно-ємнісного.

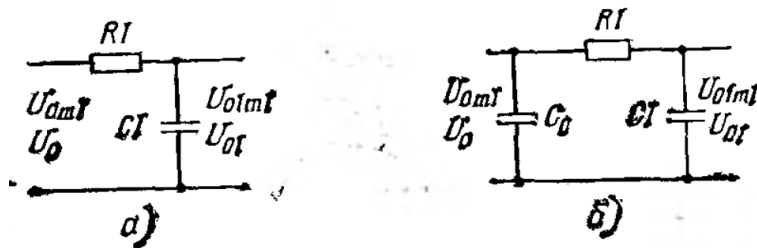


Рис. 2.2. Схеми активно-ємнісних фільтрів:

а – Г-подібний; б - П-подібний

Коефіцієнт згладжування RC -фільтра (рис. 2.2,а) дорівнює

$$q = \frac{m\omega C_1 R_1 R_H}{(R_H + R_1)}. \quad (2.10)$$

З виразу (3.10) добуток $R_1 C_1$:

$$\text{для } f_c = 50 \text{ Гц } R_1 C_1 = \frac{3200q(R_H + R_1)}{mR_H} \quad (2.11)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 11

$$\text{для } f_c = 400 \text{ Гц } R_1 C_1 = \frac{400q(R_H + R_1)}{mR_H}. \quad (2.12)$$

Значення опору резистора RI визначається за допустимим значенням коефіцієнта корисної дії фільтра, що зазвичай лежить у межах $0,6 \dots 0,8$. При $\eta = 0,8$ і $R_1 = 0,25R_H$ значення ємності визначається з наступного виразу:

$$\text{для } f_c = 50 \text{ Гц } C_1 = \frac{16qI_0}{mU_0}, \quad (2.13)$$

$$\text{для } f_c = 400 \text{ Гц } C_1 = \frac{2qI_0}{mU_0}, \quad (2.13)$$

де I_0 – струм навантаження.

При

$$R_1 = 0,25R_H, \quad (2.14)$$

напруга на вході фільтра $U_0 = 1,25U_{0H}$.

Розрахунок П-подібного активно-ємнісного фільтра проводиться так само, як і у разі П-подібного CLC -фільтра шляхом поділу цього фільтра на ємнісний та Г-подібний RC -фільтри.

Практичне завдання

Розрахувати елементи Г-подібного фільтра. схеми однофазного випрямляча ($m = 2$), на вхід якого подається випрямлена напруга U_0 . Через фільтр проходить випрямлений струм I_0 , мінімальне значення якого I_{0min} . Потрібно забезпечити амплітуду змінної складової (перша гармоніка $f_c = 50$ Гц) на виході фільтра не більше $U_{1mвих}$. Відносне відхилення напруги в сторону збільшення та зменшення $a_{max} = a_{min} = 0,1$. Вихідні дані наведено у табл. 2.1-2.2.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до завдання

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_0, В$	3	5	6	9	12	15	24	27	36	48
$I_0, А$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 12

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип схеми	LC	RC	LC	RC	LC	RC	LC	RC	LC	RC

Методичні рекомендації до розв’язування практичної задачі

ПРИКЛАДИ

Приклад 1. Розрахувати елементи Г-подібного LC-фільтра (рис.2.1.a). Початкові данні: випрямлена напруга $U_0 = 27$ В; випрямлений струм $I_0 = 4$ А; мінімальне значення випрямленого струму $I_{0min} = 1,5$ А; амплітуда змінної складової на виході $U_{1mвих} = 1$ В; схема випрямлення – двопівперіодна ($m = 2$); частота струму мережі $f_c = 400$ Гц. Відносне відхилення напруги в сторону збільшення та зменшення $a_{max} = a_{min} = 0,1$.

1. Визначаємо амплітуда змінної складової на вході фільтра. Оскільки зміст змінної складової кривої випрямленої напруги визначається коефіцієнтом пульсації

$$k_{пк} = \frac{U_{0mk}}{U_0} = \frac{2}{(km)^2 - 1}$$

Змінна складова або пульсація напруги здебільшого оцінюється за першою гармонікою, що має найбільшу амплітуду та нижчу частоту. Для першої гармоніки ($k = 1$) пульсація дорівнює

$$k_{п1} = \frac{U_{1m}}{U_0} = \frac{2}{(m)^2 - 1}$$

тоді

$$U_{1mвих} = 0,67U_0 = 0,67 \cdot 27 = 18,09 \text{ В} \quad (1)$$

2. Визначаємо коефіцієнт згладжування фільтра з виразу (2.1):

$$q = \frac{U_{1mвих}}{U_{1mвих}} = \frac{18}{1} = 18. \quad (2)$$

3. З виразу (2.3) знаходимо добуток $L_1 C_1$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 13

$$L_1 C_1 = \frac{10 \cdot (q + 1)}{\left(\frac{f_c}{50} m\right)^2} = \frac{10 \cdot (18 + 1)}{\left(\frac{400}{50} \cdot 2\right)^2} = \frac{190}{256} = 0,74 \text{ Гн} \cdot \text{мкФ}. \quad (3)$$

4. З виразу (2.4) визначаємо $L_{кр}$ при якій забезпечується індуктивна реакція фільтра:

$$L_{кр} = \frac{2U_{0max}}{(m^2 - 1)m\omega I_{0min}} = \frac{2U_0(1 + 0,1)}{(m^2 - 1)m\omega I_{0min}} = \frac{2 \cdot 27 \cdot 1,1}{12\pi \cdot 400 \cdot 1,5} = 0,0026 \text{ Гн}. \quad (4)$$

З довідникової літератури за струмом $I_0 = 4 \text{ А}$ і $L_{кр} = 0,0026 \text{ Гн}$ вибираємо стандартний дросель Д53 $L_1 = 0,02 \text{ Гн}$.

5. Визначаємо C_1 :

$$C_1 = \frac{L_1 C_1}{L_1} = \frac{0,74}{0,02} = 37 \text{ мкФ}. \quad (5)$$

Вибираємо конденсатор типу К50-3Б-50 В – 50 мкФ, враховуючи, що максимальна напруга $U_{0max} = U_0(1 + 0,1) = 29,7 \text{ В}$.

6. Перевіряємо коефіцієнт згладжування за обраними параметрами компонентів фільтра:

$$q = (m\omega)^2 L_1 C_1 - 1 = (2 \cdot 2\pi \cdot 400)^2 \cdot 0,02 \cdot 50 \cdot 10^{-6} - 1 = 24,26, \quad (6)$$

$$U_{1mвих} = \frac{U_{1mвх}}{q} = \frac{18}{24,26} = 0,741 \text{ В}. \quad (7)$$

Приклад 2. Розрахувати елементи багатоланкового LC-фільтра (рис.2.1.в).

Початкові данні: випрямлена напруга $U_0 = 240 \text{ В}$; випрямлений струм $I_0 = 1 \text{ А}$; мінімальне значення випрямленого струму $I_{0min} = 0,5 \text{ А}$; коефіцієнт пульсації на виході $k_{пвих} = 0,01$; схема випрямлення – однофазна мостова ($m = 2$); коефіцієнт пульсації на вході $k_{пвх} = 0,67$; частота струму мережі $f_c = 50 \text{ Гц}$; відносне відхилення напруги в сторону збільшення та зменшення $a_{max} = a_{min} = 0,1$.

1. Визначаємо коефіцієнт згладжування фільтра з виразу (2.1):

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 14

$$q = \frac{k_{\text{ПВХ}}}{k_{\text{ПВИХ}}} = \frac{0,67}{0,01} = 67. \quad (8)$$

2. Оскільки $q > 20$ вигідно використовувати дволанковий фільтр ($n = 2$)

З виразу (2.8) знаходимо добуток $L_{\text{ЗВ}} C_{\text{ЗВ}}$:

$$L_{\text{ЗВ}} C_{\text{ЗВ}} = \sqrt[n]{\frac{q}{(m\omega)^{2n}}} = \sqrt[2]{\frac{67}{(2 \cdot 2\pi \cdot 50)^4}} = 0,0000207 \text{ Гн} \cdot \text{Ф}. \quad (9)$$

3. З виразу (2.4) визначаємо $L_{\text{кр}}$ при якій забезпечується індуктивна реакція фільтра:

$$L_{\text{кр}} = \frac{2U_{0\text{max}}}{(m^2 - 1)m\omega I_{0\text{min}}} = \frac{2U_0(1 + 0,1)}{(m^2 - 1)m\omega I_{0\text{min}}} = \frac{2 \cdot 240 \cdot 1,1}{12\pi \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,56 \text{ Гн}. \quad (10)$$

З довідникової літератури за струмом $I_0 = 1 \text{ А}$ і $L_{\text{кр}} = 0,56 \text{ Гн}$ вибираємо стандартний дросель Д57 із індуктивністю $L = 1,2 \text{ Гн}$ і номінальний струм $I = 0,8 \text{ А}$. При паралельному з'єднанні дроселів Д57 отримаємо $L_{\text{ЗВ}} = 0,6 > L_{\text{кр}}$, та номінальний струм $I = 1,6 \text{ А}$.

4. Визначаємо $C_{\text{ЗВ}}$:

$$C_{\text{ЗВ}} = \frac{L_{\text{ЗВ}} C_{\text{ЗВ}}}{L_{\text{ЗВ}}} = \frac{0,0000207}{0,6} = 34,5 \text{ мкФ}. \quad (11)$$

Вибираємо конденсатор типу К50-35-400 В – 47 мкФ, враховуючи, що максимальна напруга $U_{0\text{max}} = U_0(1 + 0,1) = 264 \text{ В}$.

6. Перевіряємо коефіцієнт згладжування за обраними параметрами компонентів фільтра:

$$q = (m\omega)^{2n} (L_{\text{ЗВ}} C_{\text{ЗВ}})^n = (2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50)^4 (0,6 \cdot 47 \cdot 10^{-6})^2 = 123,92. \quad (12)$$

Приклад 3. Розрахувати елементи Г-подібного RC-фільтра (рис.2.2.а).

Початкові данні: випрямлена напруга $U_0 = 600 \text{ В}$; випрямлений струм $I_0 = 30 \text{ МА}$; мінімальне значення випрямленого струму $I_{0\text{min}} = 10 \text{ МА}$; коефіцієнт пульсації на виході $k_{\text{ПВИХ}} = 0,02$; схема випрямлення – однофазна мостова ($m = 2$); коефіцієнт пульсації на вході $k_{\text{ПВХ}} = 0,67$; частота струму

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК22- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 15

мережі $f_c = 50$ Гц; відносне відхилення напруги в сторону збільшення та зменшення $a_{max} = a_{min} = 0,1$.

1. Визначаємо коефіцієнт згладжування із виразу (2.1):

$$q = \frac{k_{\text{ПВХ}}}{k_{\text{ПВИХ}}} = \frac{0,67}{0,02} = 33,5. \quad (13)$$

2. Мінімальне та максимальне значення опору навантаження:

$$R_H = \frac{U_0}{I_0} = \frac{600}{30 \cdot 10^{-3}} = 20 \text{ кОм}. \quad (14)$$

$$R_{Hmax} = \frac{U_0}{I_{0min}} = \frac{600}{10 \cdot 10^{-3}} = 60 \text{ кОм}. \quad (15)$$

3. З виразу (2.14) знаходимо R_1 :

$$R_1 = 0,25R_H = 0,25 \cdot 20 = 5 \text{ кОм}, \quad (16)$$

приймаємо $R_1 = 5,1 \text{ кОм} \pm 5\%$.

4. З виразу (2.13) знаходимо C_1 :

$$C_1 = \frac{16qI_0}{mU_0} = \frac{16 \cdot 33,5 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 600} = 13,4 \text{ мкФ}, \quad (17)$$

5. Визначаємо максимальну напругу на виході фільтра:

$$U_{0max} = \frac{U_0(R_1 + R_H)R_{Hmax}(1 + a_{max})}{R_H(R_1 + R_{Hmax})} \quad (18)$$

$$= \frac{600 \cdot (5,1 \cdot 10^3 + 20 \cdot 10^3) \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{20 \cdot 10^3 \cdot (5,1 \cdot 10^3 + 60 \cdot 10^3)} = 763,41 \text{ В}.$$

Конденсатор C_1 вибирається за $U_{0max} = 763,41 \text{ В}$ і

$$U_{1твИХ} = k_{\text{ПВИХ}}U_{0max} = 0,02 \cdot 763,41 = 15,2682 \text{ В}. \quad (19)$$