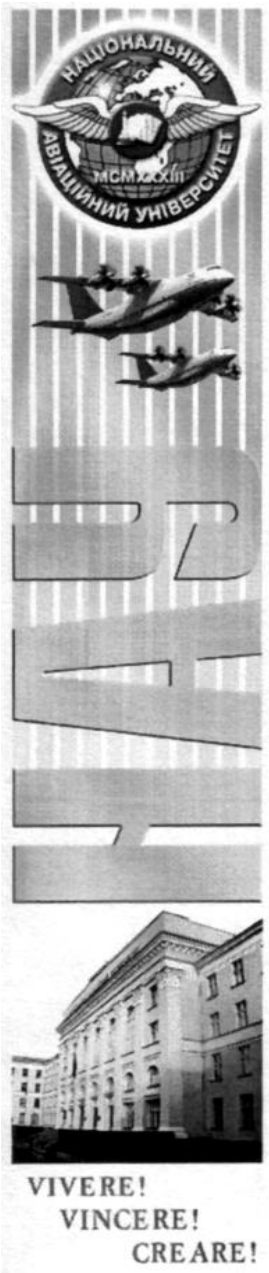


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної та курсової робіт для студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації»

Київ 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ТА СИГНАЛІВ

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної та курсової робіт для студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації»

Київ 2014

УДК621.3.011.732.1:004.056 (076.5)
ББК3211р
О 751

Укладачі: *В.А. Сердюков, В.А. Швець,Т. В. Мелешко*

Рецензент: *д.т.н., проф. Л. В. Сібрук*

Затверджено методично-редакційною радою Національного авіаційного університету (
.)

О 751 **Теорія електричних кіл та сигналів:** методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної та курсової робіт/ уклад.: В.А. Сердюков, В.А. Швець, Т. В. Мелешко - К.: НАУ, 2014. - 36 с.

Містять завдання та методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної та курсової робіт, список рекомендованої літератури. Для студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації» .

ЗМІСТ

ВСТУП.....4
РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА.....5
Завдання 1.....5
Методичні рекомендації до виконання завдання 1.....6
Завдання 2.....14
Методичні рекомендації до виконання завдання 2.....15
КУРСОВА РОБОТА.....20
Завдання 1.....20
Методичні рекомендації до виконання завдання 1.....20
Завдання 2.....24
Методичні рекомендації до виконання завдання 2.....25
Завдання 3.....28
Методичні рекомендації до виконання завдання 3.....30
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....31

ВСТУП

Дисципліна «Теорія електричних кіл та сигналів» знайомить студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації» із комп'ютерними методами аналізу електричних схем, покладених в основу функціонування сучасних телекомунікаційних систем.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студенти оволодівають знаннями з основ електротехніки та електроніки, на які опираються методи моделювання, розробки, експлуатації та аналізу роботи телекомунікаційних систем.

Дисципліну «Теорія електричних кіл та сигналів» студенти вивчають протягом другого та третього семестрів.

Розрахунково-графічна робота, яка виконується в другому семестрі, має мету закріплення та поглиблення теоретичних знань та вмінь в області аналізу складних електричних кіл в стаціонарних режимах.

Метою курсової роботи, яка виконується в третьому семестрі є поглиблення теоретичних знань та вмінь в області спектрального аналізу періодичних та неперіодичних сигналів довільної форми з метою визначення енергетичного, амплітудного та фазового спектра.

Роботи складаються з декількох завдань, які охоплюють по змісту всі основні розділи навчальної дисципліни. Кожне завдання супроводжується методичними рекомендаціями щодо вибору варіанту завдань, вихідних даних і розрахунку електричних чи електронних схем.

Матеріали для виконання робіт викладені в літературі, список якої подано в кінці роботи. До виконання робіт можна приступити після вивчення відповідних розділів дисципліни і самостійного розв'язку ряду завдань.

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Розрахунково-графічна робота на тему «Розрахунок електричних кіл в стаціонарних режимах», складається з двох завдань.

Кожен студент повинен виконати свій варіант роботи. Номер варіанта розрахунково-графічної роботи вибирається за двома останніми цифрами номера залікової книжки студента. В разі ускладнень, що зустрічаються при виконанні роботи, студент може звернутися до викладачів за усною консультацією.

Завдання 1

Дано складне розгалужене електричне коло гармонічного струму, у якому діють джерела електрорушійних сил (ЕРС) $e_1 = \sqrt{2}E_1 \sin(\omega t + \psi_{E1})$, $e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin(\omega t + \psi_{E2})$ та $e_3 = \sqrt{2}E_3 \sin(\omega t + \psi E_3)$, де E_1, E_2, E_3 – діючі значення ЕРС, ω – частота гармонічного струму, ψ_{E1}, ψ_{E2}, ψ_{E3} – початкова фаза ЕРС.

Номер схеми визначається з рис. 1-5 за двома останніми цифрами залікової книжки студента *i* та *j*, при цьому номер *N* варіанта визначається із співвідношення $N=ij-30k$ повинно бути від 0 до 30, *ij* – число, утворене двома останніми цифрами залікової книжки, $k=0,1,2,3,\ldots$ При $ij=00$ вважати $N=10$.Приклад номер залікової книжки 446672, тоді $ij=72$, $N=72-30\times2=12$.

За значеннями параметрів цього кола, варіант яких визначається з табл. 1 за передостанньою цифрою номера залікової книжки, необхідно:

1) визначити миттєві значення струмів в гілках кола;

2) побудувати векторну діаграму струму для одного з вузлів та векторну діаграму напруг для одного з контурів розрахункового кола;

3) виконати перевірку правильності розрахунків за допомогою рівнянь балансу активних і реактивних потужностей.

Методичні рекомендації до виконання завдання 1

Розрахунок електричних кіл, які представлені на рис. 1–5 можна, наприклад, виконати застосувавши метод контурних струмів. Покажемо розв'язання поставленої задачі на прикладі електричного кола зображеного на рис. 6а. Рекомендується наступний порядок розрахунку.

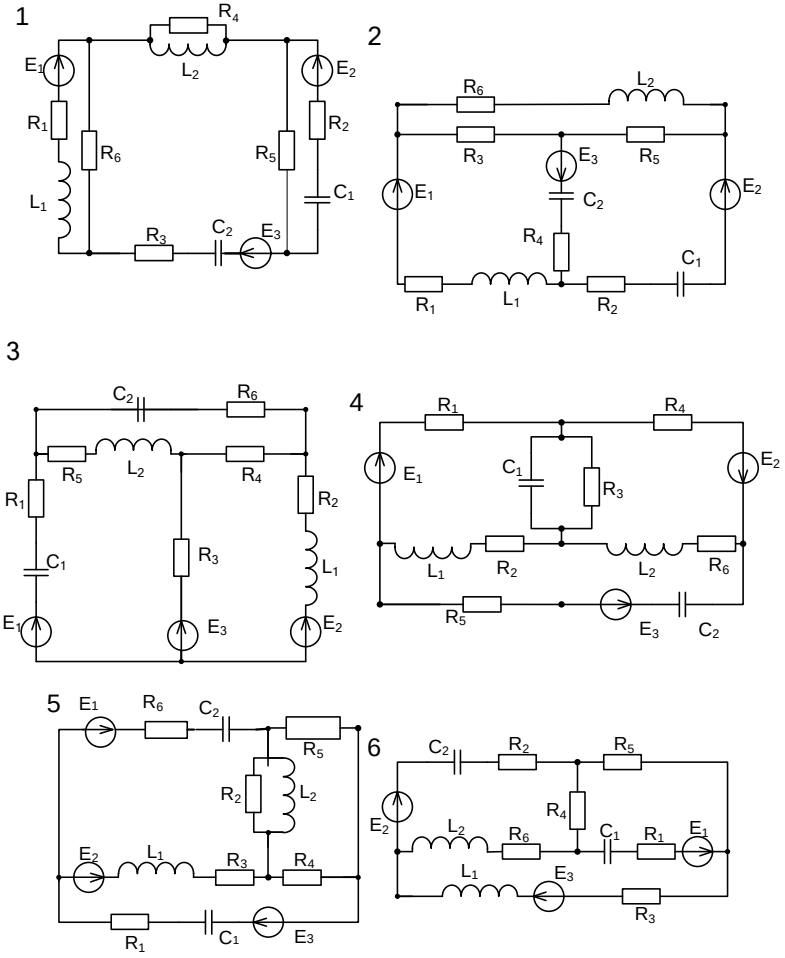


Рис. 1. Варіанти електричних схем для розрахунків

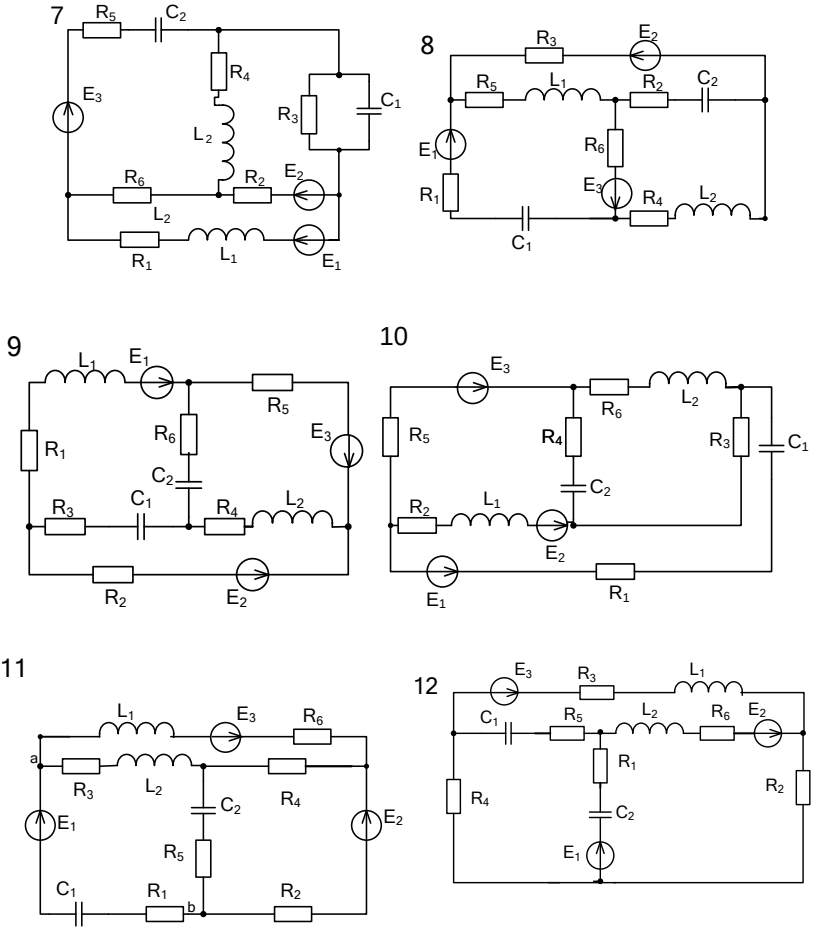


Рис. 2. Варіанти електричних схем для розрахунків

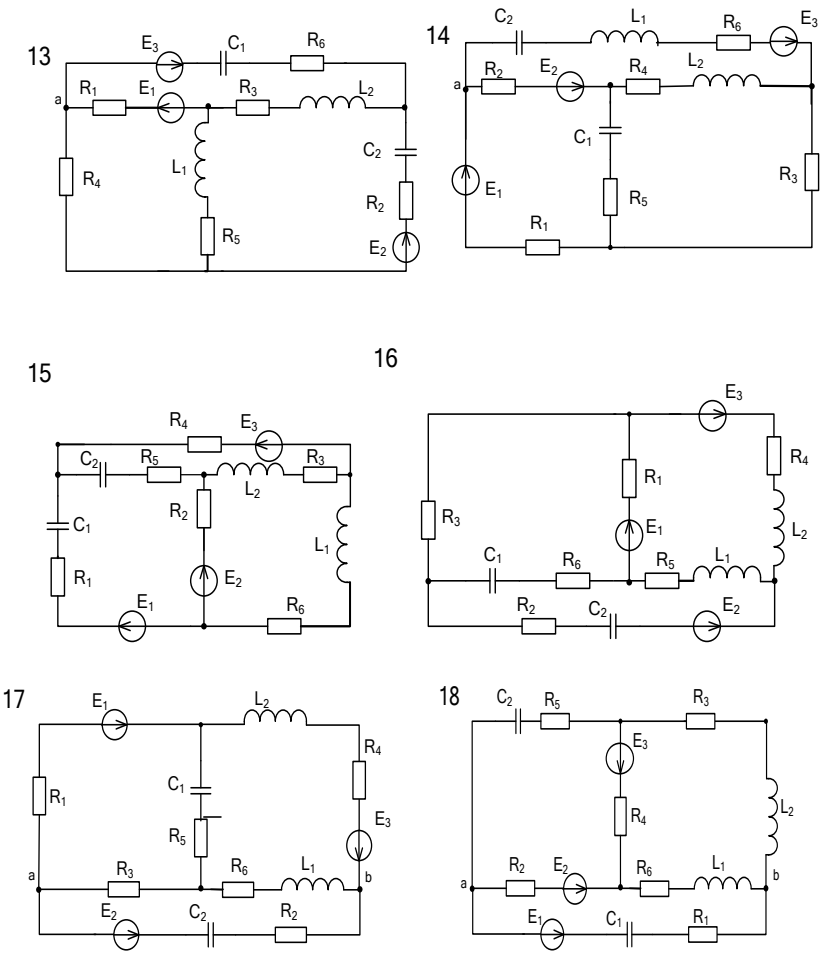


Рис. 3. Варіанти електричних схем для розрахунків

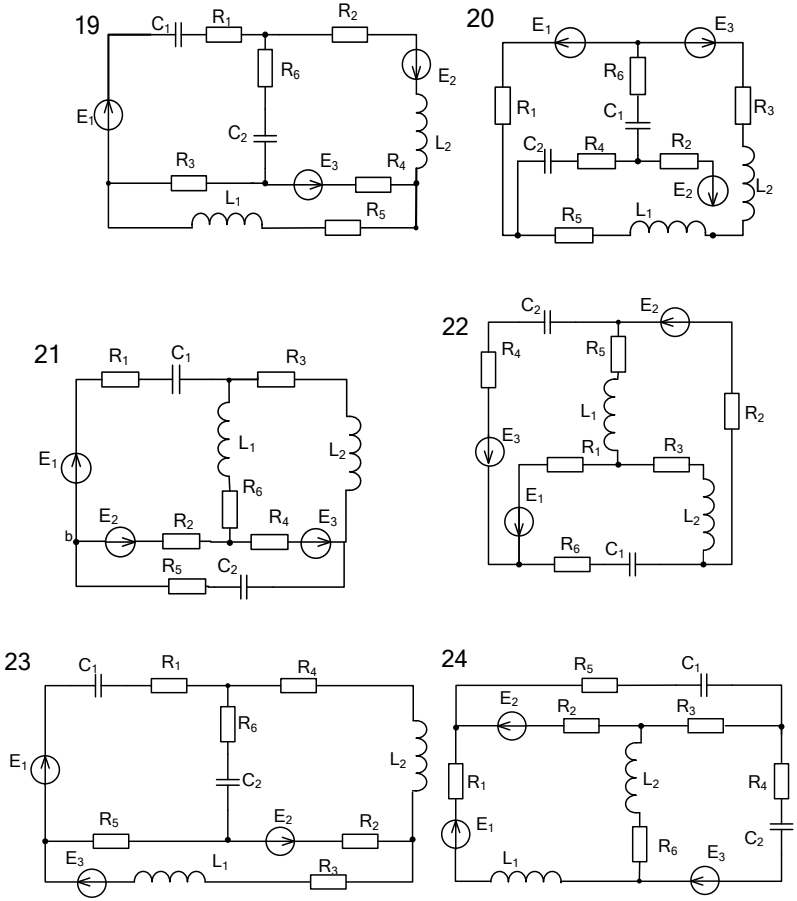


Рис. 4. Варіанти розрахункових електричних схем

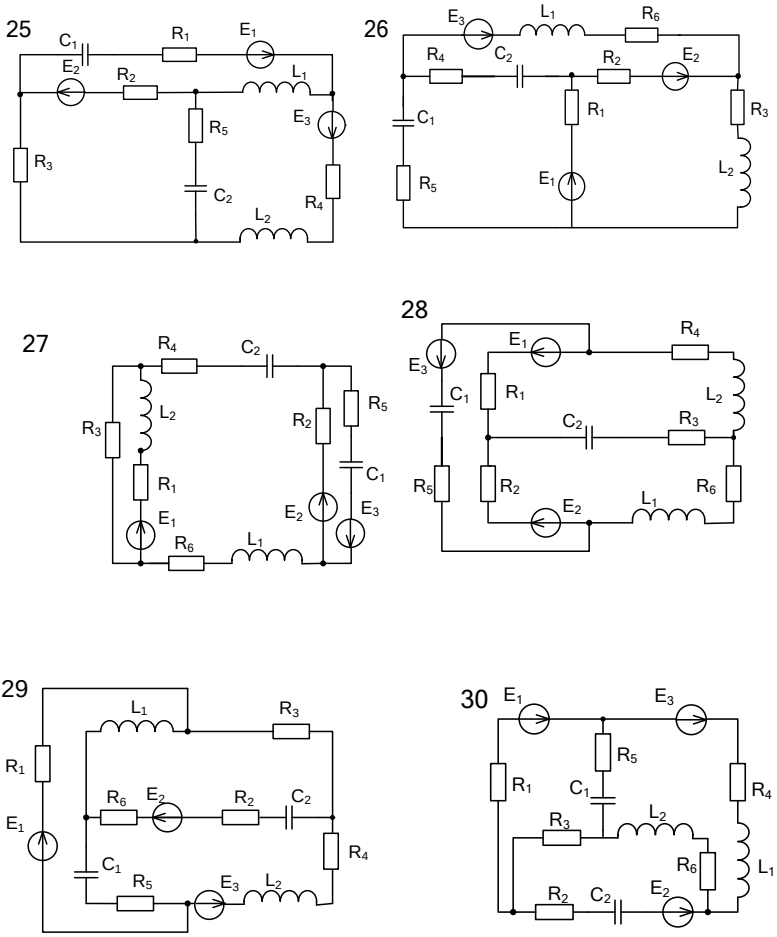


Рис. 5. Варіанти електричних схем для розрахунків

Таблиця 1 **Параметри кола**

Параметри	Передостання цифра номера залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_1, В	120	80	40	50	60	70	100	20	30	100
ψ_{E1}, град	20	45	-30	50	60	0	70	-40	80	-60
E_2, В	35	40	60	30	80	90	55	35	25	15
ψ_{E2}, град	120	-20	-40	100	-30	-45	0	90	-60	30
E3, В	40	50	60	70	80	20	70	100	120	150
ψ_{E_3}, град	-30	-45	-60	90	0	-30	45	-60	100	20
R_1, кОм	2,0	0,4	0,35	0,25	0,7	0,5	0,4	0,2	0,45	0,3
R_2, кОм	0,65	0,5	0,25	0,15	0,3	0,25	0,15	0,4	0,2	0,4
R_3, кОм	0,45	1,0	0,4	0,5	0,45	0,3	1,0	0,4	0,5	0,25
R_4, кОм	0,35	0,2	0,5	0,4	0,3	0,4	0,6	1,0	1,6	0,5
R_5, кОм	0,56	0,6	0,9	0,6	1,2	1,8	0,3	0,5	0,35	1,6
R_6, кОм	1,2	0,1	1,0	1,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,7	0,1
L_1, мГн	220	200	250	170	250	150	180	200	150	180
L_2, мГн	180	200	170	220	300	450	220	120	180	240
C_1, мкФ	0,35	0,20	0,036	0,04	0,05	0,08	0,07	1,0	0,05	0,03
C_2, мкФ	0,82	0,16	0,27	0,18	0,2	0,35	0,2	0,05	0,03	0,2
f, кГц	0,4	0,075	0,125	0,15	0,175	0,5	0,05	0,8	1,0	0,9

1. Створити комплексну еквівалентну схему кола (рис. 6б). При цьому треба замінити всі елементи схеми їх комплексними

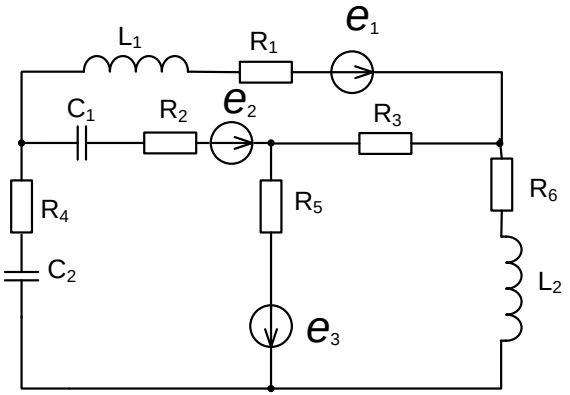
опорами, а миттєві значення ЕРС їх комплексними амплітудами.

$$z_1 = R_1 + j\omega L_1,\ z_2 = R_2 - \frac{1}{j\omega C_1},\ z_3 = R_3,\ z_4 = R_4 - \frac{1}{j\omega C_2},\ z_5 = R_5,$$

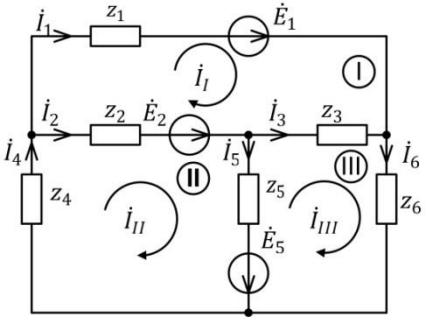
$$z_6 = R_6 + j\omega L_2.$$

2. Обрати умовно-додатні напрями струмів у всіх гілках схеми.

3. Обрати необхідну кількість незалежних контурів (I,II,III). Обрати додатковий напрям кожного контурного струму. Як правило додаткові напрями контурних струмів співпадають з ходом годинникової стрілки.



а)



б)

Рис. 6. Електричне коло для розрахунку методом контурних струмів

4. Скласти систему алгебраїчних рівнянь на основі другого закону Кірхгофа для незалежних контурів. Так для схеми рис.6б система буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \dot{I}_I\left(z_1+z_2+z_3\right)-\dot{I}_{II}z_2-\dot{I}_{III}z_3=\dot{E}_1 \\ -\dot{I}_I z_2+\dot{I}_{II}\left(z_2+z_4+z_5\right)-\dot{I}_{III}z_5=\dot{E}_2+\dot{E}_5 \\ -\dot{I}_I z_3-\dot{I}_{II}z_5+\dot{I}_{III}\left(z_3+z_5+z_6\right)=-\dot{E}_5 \end{cases} \quad (1.1)$$

Систему рівнянь 1.1 можна записати у такому вигляді:

$$\begin{cases} \dot{I}_I z_{11}+\dot{I}_{II}z_{12}+\dot{I}_{III}z_{31}=\dot{E}_{11} \\ \dot{I}_I z_{21}+\dot{I}_{II}z_{22}+\dot{I}_{III}z_{23}=\dot{E}_{22} \\ \dot{I}_I z_{31}+\dot{I}_{II}z_{32}+\dot{I}_{III}z_{33}=\dot{E}_{33} \end{cases} \quad (1.2)$$

ЕРС $\dot{E}_{11}, \dot{E}_{22}, \dot{E}_{33}$ називають контурними ЕРС контурів I, II, III відповідно. Вони дорівнюють алгебраїчній сумі ЕРС всіх гілок, які входять в кожний із вибраних незалежних контурів, тобто:

$$\dot{E}_{11}=\dot{E}_1,\ \dot{E}_{22}=\dot{E}_2+\dot{E}_5,\ \dot{E}_{33}=-\dot{E}_5 .$$

ЕРС беруться із знаком плюс, якщо напрям ЕРС збігається з вибраним обходом контуру,та зі знаком мінус, якщо напрям ЕРС протилежний обраному напряму обходу контуру.

Опори, які знаходяться в спільних гілках двох контурів і взяті з протилежним знаком $z_{12} = z_{21} = -z_2$, $z_{13} = z_{31} = -z_3$, $z_{23} = z_{32} = -z_5$, називаються взаємними опорами між I і II,I і III, II і III контурами відповідно.

Арифметичні суми опорів, які входять в кожний із вибраних контурів, називаються власними опорами контурів I, II, III. Тобто $z_{11}=z_1+z_2+z_3$, $z_{22}=z_2+z_4+z_5$, $z_{33}=z_2+z_5+z_6$.

5. Розв'язати систему алгебраїчних рівнянь відносно контурних струмів. В результаті рішення системи (1.2) отримуємо значення контурних струмів $\dot{I}_I, \dot{I}_{II}, \dot{I}_{III}$. Систему алгебраїчних рівнянь можна розв'язати за допомогою детермінантів:

$$\dot{I}_I=\frac{\Delta_I}{\Delta};\ \dot{I}_{II}=\frac{\Delta_{II}}{\Delta};\ \dot{I}_{III}\ \frac{\Delta_{III}}{\Delta}.$$

де Δ – детермінант системи, елементами якого являються власні і взаємні опори зі своїми знаками:

$$\Delta = \begin{vmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} \end{vmatrix}.$$

– той же детермінант, де перший, другий, третій стовпець замінений на стовпець ЕРС (права частина рівняння (1.2)). Тобто:

$$\Delta_I = \begin{vmatrix} \dot{E}_{11} & z_{12} & z_{13} \\ \dot{E}_{22} & z_{22} & z_{23} \\ \dot{E}_{33} & z_{32} & z_{33} \end{vmatrix}, \Delta_{II} = \begin{vmatrix} z_{11} & \dot{E}_{11} & z_{13} \\ z_{21} & \dot{E}_{22} & z_{23} \\ z_{31} & \dot{E}_{33} & z_{33} \end{vmatrix}, \Delta_{III} = \begin{vmatrix} z_{11} & z_{12} & \dot{E}_{11} \\ z_{21} & z_{22} & \dot{E}_{22} \\ z_{31} & z_{32} & \dot{E}_{33} \end{vmatrix}.$$

6. Виразити струми у гілках через контурні струми, як сукупність контурних струмів:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_I, \dot{I}_2 = \dot{I}_{II} - \dot{I}_I, \dot{I}_3 = \dot{I}_{III} - \dot{I}_I, \dot{I}_4 = \dot{I}_{II}, \dot{I}_5 = \dot{I}_{II} - \dot{I}_{III}, \dot{I}_6 = \dot{I}_{III}.$$

7. Перейти від зображень струмів в гілках до їх оригіналів, тобто записати їх миттєві значення.

8. Перевірити правильність розрахунків шляхом складання балансу активних і реактивних потужностей: активні потужності джерел дорівнюють активній потужності навантаження $\sum P_{\text{дж}} = \sum P_{\text{н}}$, та алгебраїчна сума реактивних потужностей джерел енергії дорівнює алгебраїчній сумі реактивних потужностей приймачів $\sum Q_{\text{дж}} = \sum Q_{\text{н}}$, причому реактивній потужності індуктивності Q_L приписують знак плюс, а реактивній потужності ємності Q_C – знак мінус.

Завдання 2

На рис.7 зображена схема послідовного коливального контуру, до якого прикладена гармонійна напруга з частотою ω.

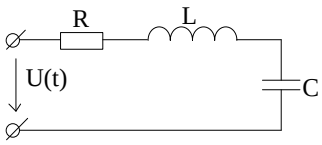


Рис.7. Послідовний коливальний контур

Необхідно:

1) визначити вторинні параметри послідовного коливального контуру;

2) побудувати амплітудо-частотну і фазо-частотну характеристики (АЧХ і ФЧХ) комплексної функції послідовного коливального контуру при різних добротностях контуру (Q=1, 5, 10);

3) визначити смугу пропускання та коефіцієнт прямокутності контуру;

4) побудувати АЧХ і ФЧХ однієї з комплексних функції контуру, для різних значень добротності.

Параметри коливального контуру приведені в табл. 2 і обираються за останньою цифрою номера залікової книжки; тип комплексної функції – із табл. 3 відповідно за передостанньою цифрою номера залікової книжки.

Методичні рекомендації до виконання завдання 2

Величини R, L, C послідовного коливального контуру (рис.7) називають первинними, а величини ω_0, f_0,T_0, ρ, Q, d – вторинними параметрами контуру, які можна визначити із наступних рівнянь:

$\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ – циклічна резонансна частота;

$f_0 = \dfrac{\omega_0}{2\pi} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ – лінійна резонансна частота;

$T_0 = \dfrac{1}{f_0} = 2\pi\sqrt{LC}$ – період коливань.

Таблиця 2 **Параметри послідовного коливального контуру**

Параметри послідовного коливального контуру	Остання цифра номера залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R, Ом	140	50	20	30	25	50	80	20	40	15
L, мГн	1,5	1,2	1,02	1,15	1,0	0,8	0,75	1,4	0,9	0,6
C, пФ	50	100	120	100	60	40	50	90	45	70

Таблиця 3 **Тип комплексної функції**

Комплексна функція	Передостання цифра номера залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вхідний опір, $Z(j\omega)$	+					+				
Вхідна провідність, $Y(j\omega)$		+					+			
Коефіцієнт передачі напруги, $K_{UL}(j\omega)$			+					+		
Коефіцієнт передачі напруги, $K_{UC}(j\omega)$				+					+	
Коефіцієнт передачі напруги, $K_{UR}(j\omega)$					+					+

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} - \text{характеристичний опір контуру;}$$

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} - \text{добротність контуру;}$$

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\rho} = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 RC = R\sqrt{\frac{C}{L}} - \text{затухання контуру.}$$

Здатність контуру виділяти сигнал заданої частоти з множини сигналів інших частот називають вибірковістю, яка

характеризується двома величинами: смугою перепускання та коефіцієнтом прямокутності.

Смугою пропускання послідовного коливального контуру називається інтервал частот поблизу резонансної на межах якого струм (напруга) зменшується до $1/\sqrt{2}=0,707$ від свого максимального значення, при резонансі

$$I_{тн}(\omega)=\frac{1}{\sqrt{1+a^2}}=\frac{1}{\sqrt{2}},$$

де $I_{тн}(\omega)$ – нормований струм,

$a=Q\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)$ – узагальнене розтроювання,

ω – частота вхідного сигналу.

Звідси $a^2=1$ і $a_{1,2}=\pm 1$,

або

$$a_1=Q\left(\frac{\omega_1}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega_1}\right)=-1$$
$$a_2=Q\left(\frac{\omega_2}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega_2}\right)=1$$

.

Тоді можна отримати слідуючу систему рівнянь:

$$\begin{cases}\omega_1^2+\frac{1}{Q}\omega_0\omega_1-\omega_0^2=0\\ \omega_2^2-\frac{1}{Q}\omega_0\omega_2-\omega_0^2=0\end{cases}.$$

Розв'язуючи систему рівнянь і приймаючи додатні частоти, отримуємо значення граничних частот смуги пропускання: $П=\omega_2-\omega_1$, де ω_2 і ω_1– граничні частоти.

Ідеальний коливальний контур пропускає всі частоти, які розташовані в його смузі пропускання, і не пропускає частоти, які знаходяться за її межами. Амплітудно-частотна характеристика

такого контуру має форму прямокутника. Міра наближення реальної амплітудно-частотної характеристики до ідеальної оцінюється коефіцієнтом прямокутності:

$$K_{\text{П}} = \frac{\Pi_{0,707}}{\Pi_{0,1}}$$

де $\Pi_{0,707}$, $\Pi_{0,1}$ – полоси пропускання визначені на рівні 0,707 і 0,1 від максимального значення амплітудно-частотної характеристики.

Смугу пропускань на рівні 0,1 можна визначити із умови:

$$\frac{1}{\sqrt{1+a^2}} = 0.1$$

звідси a^2=99, $a_{1,2}\approx$10.

$$\begin{cases} \omega_1^2 + \dfrac{1}{10Q}\omega_0\omega_1 - \omega_0^2 = 0 \\ \omega_2^2 - \dfrac{1}{10Q}\omega_0\omega_2 - \omega_0^2 = 0 \end{cases}.$$

Розв'язуючи систему рівнянь і приймаючи додатні частоти отримуємо значення граничних частот на рівні 0,1.

Смуги пропускання $\Pi_{0,707}$ і $\Pi_{0,1}$ можна визначити із наступних рівнянь:

$$\Pi_{0,707} = \frac{\omega_0}{Q}, \quad \Pi_{0,1} = \frac{10\,\omega_0}{Q}, \text{ тоді} \quad K_{\text{п}} = \frac{\Pi_{0,707}}{\Pi_{0,1}} = 0.1\,.$$

Таким чином, коефіцієнт прямокутності для послідовних коливальних контурів однаковий і не залежить від їхньої добротності.

Частотні властивості кіл зручно характеризувати за допомогою комплексної передаточної функції:

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{U_2 e^{j\Psi_2}}{U_1 e^{j\Psi_1}} = \frac{U_2}{U_1} e^{j(\Psi_2 - \Psi_1)} = |K| e^{j\Psi}.$$

Залежності модулів вхідних або передаточних функцій від частоти називаються амплітудно-частотними характеристиками.

Залежності аргументів вхідних або передаточних функцій від частоти називаються фазо-частотними характеристиками.

Розрахунок ряду комплексних коефіцієнтів для послідовного коливального контуру можна виконати по наступним виразам:

для індуктивності
$$\begin{cases} K_{UL}(\omega) = \dfrac{Q}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \times \dfrac{\omega_0}{\omega} \\ \varphi_L(\omega) = \dfrac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left\{ Q \left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega} \right) \right\} \end{cases}$$

для ємності
$$\begin{cases} K_{UC}(\omega) = \dfrac{Q}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \times \dfrac{\omega_0}{\omega} \\ \varphi_C(\omega) = -\dfrac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left\{ Q \left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega} \right) \right\} \end{cases}$$

для активного опору
$$\begin{cases} K_{UR}(\omega) = \dfrac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \\ \varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \left\{ Q \left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega} \right) \right\} \end{cases}$$

КУРСОВА РОБОТА

Курсова робота на тему "Спектральний аналіз проходження сигналів крізь електричні кола" складається з трьох завдань. У першому завданні розглядаються питання, пов'язані з дослідженнями аналогових сигналів та методами їх аналізу. Друге завдання присвячено методам спектрального аналізу сигналів які пройшли крізь лінійне коло. Третє завдання присвячено методам спектрального аналізу сигналів які пройшли крізь нелінійне коло.

Завдання 1

1) Розрахувати аналітичним методом спектр керуючого сигналу (таб. 4) для перших десяти гармонік (обов'язково провести розрахунок з використання комплексних змінних).

2) Побудувати амплитудно-частотний (АЧС) та фазочастотний спектри (ФЧС).

3) Застосовуючи програмне забезпечення Mathcad, розрахувати і побудувати перші десять гармонік АЧС та ФЧС, провести порівнювальний аналіз результатів аналітичного розрахунку з математичним моделюванням.

Методичні рекомендації до виконання завдання 1

Варіанти першого завдання (табл. 4) обираються за двома останніми цифрами залікової книжки (студентського квитка) i та j. При цьому номер N варіанта визначається із співвідношення: $N = ij - 30k$; $N \le 30$, де ij – число, утворене двома останніми цифрами залікової книжки; k = 0, 1, 2, 3. При ij = 00 вважати, що N = 30.

Приклад: номер залікової книжки 345682. Тоді ij = 82 і $N = 82 - 2 \cdot 30 = 22$.

Порядок виконання завдання 1.

При виконанні першого завдання КР рекомендується ознайомитись з літературою [7, с. 36 - 48],[1, с. 38 - 43].

Розрахунок спектрів необхідно проводити в такій послідовності:

1) Привести аналітичний опис сигналу, для якого основними даними є тривалість імпульсів τ, період повторення T, максимальне значення імпульсу U_m.

Наприклад: трапецєідальний сигнал (рис. 8) – це складний сигнал, який складається з трьох частин: пилоподібного імпульсу на інтервалі $(0...t_1)$ з коефіцієнтом нахилу k_1, прямокутного імпульсу на інтервалі $(t_1 \ldots t_2)$, пилоподібного імпульсу на інтервалі $(t_2 \ldots T)$ з коефіцієнтом нахилу k_2 ,тобто

$$e(t) = \begin{cases} k_1 t, \ 0 \le t < t_1; \\ U_m, \ t_1 \le t \le t_2; \\ -k_2 t, \quad t_2 \le t < T. \end{cases}$$

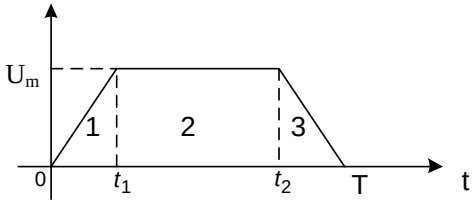


Рис. 8. Трапецєідальний відеоімпульс

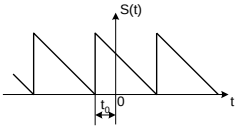
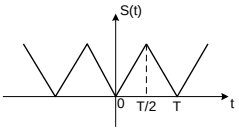
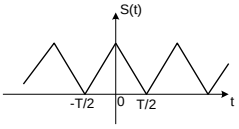
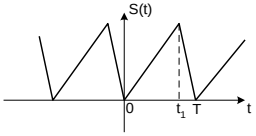
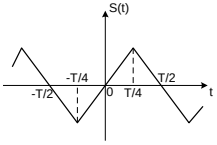
2) Розрахувати постійну складову

$$E_0 = \frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e(t)\,dt.$$

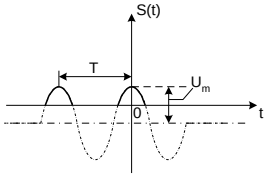
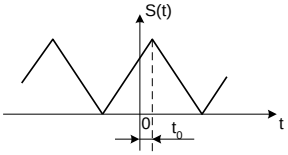
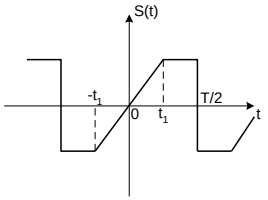
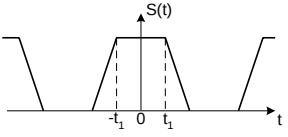
Для складного сигналу E_0 буде розраховуватись, як сума постійних складових простих сигналів (рис. 8.)

$$E_0 = E_{01} + E_{02} + E_{03} = \frac{a_{01}}{2} + \frac{a_{02}}{2} + \frac{a_{03}}{2} = \frac{1}{T}\int_0^{t_1} k_1 t dt + \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} U_m dt + \frac{1}{T}\int_{t_2}^{T} k_2 t dt$$

Таблиця 4 **Параметри сигналу**

№	Вид сигналу	Параметри			
		Амплітуда S, В	Тривалість $\tau, мкс$	Період $T, мкс$	Інше
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1 2		5 10	10 50	10 50	$t_0 = 0\ мкс$ $t_0 = 5\ мкс$
3 4 5		10 10 5	50 25 100	50 25 100	
6 7 8		10 10 5	50 25 50	50 25 50	
9 10 11 12		10 10 10 10	100 100 100 50	100 100 100 50	$t_1 = T/3$ $t_1 = T/2$ $t_1 = T/5$ $t_1 = 2T/3$
13 14		5 10	100 40	100 40	

Таблиця 4 (закінчення)

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
15 16 17 18		5 10 20 30	T/3 1 0,3T T/2	2π/Ω 2 1/F 2π/Ω	$\Omega = 10^5 c^{-1}$ $F = 10^5\ Гц$ $\Omega = 5 \cdot 10^5 c^{-1}$
19 20 21 22		10 10 5 5	20 10 10 25	100 100 50 50	$t_0 = 5\ мкс$ $t_0 = 0\ мкс$ $t_0 = 2\ мкс$ $t_0 = 10\ мкс$
23 24 25		10 10 10	50 100 200	50 100 200	$t_1 = T/4$ $t_1 = T/2$ $t_1 = T/4$
26 27 28 29 30		15 15 15 10 10	60 90 90 50 75	180 180 180 150 150	$t_1 = 30\ мкс$ $t_1 = 45\ мкс$ $t_1 = 30\ мкс$ $t_1 = 10\ мкс$ $t_1 = 25\ мкс$

3) Розрахувати амплітуди косинусоідальних і синусоідальних складових спектру сигналу:

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e(t)\cos(n\Omega t)dt,$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e(t)\sin(n\Omega t)dt.$$

Для складного сигналу (рис. 8) складові будуть розраховуватись, як сума складових простих сигналів:

$$a_n = a_{n_1} + a_{n_2} + a_{n_3} + \ldots + a_{n_n} =$$

$$= \frac{2}{T}\left[\int_0^{t_1} k_1 t\cos\left(n\Omega t\right)dt + + \int_{t_1}^{t_2} U_m \cos\left(n\Omega t\right)dt + \int_{t_2}^{T} k_2 t\cos(n\Omega t)dt\right]$$

Складові b_n розраховуються аналогічно.

4) Розрахувати складові амплітудно-частотного і фазочастотного спектрів і побудувати спектри

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2},$$

$$\psi_n = -arctg\frac{b_n}{a_n}.$$

Будуємо спектри сигналу (рис. 9).

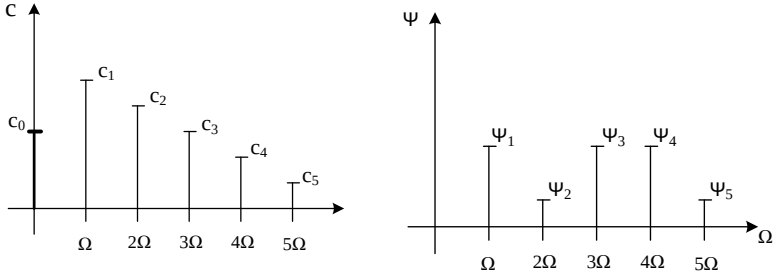


Рис. 9. Спектр сигналу

де $\Omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, замість циклічної частоти Ω, по горизонтальній осі можна відкладати лінійну частоту *f*.

Завдання 2

Знайти форму сигналу на виході лінійної ланцюга використовуючи метод спектрального аналізу.

Номер схеми (рис. 10) обирається по останній цифрі залікової книжки *j*, якщо *j*> 5, тоді номер схеми визначається, як *j-5*, якщо *j* = 0, то обирається схема 5. Параметри *R*=2,7 кОм, *L*=15 мкГн, *C*=6,8 нФ. Вхідний сигнал обирається за останньою цифрою залікової книжці з табл. 8 (для виконання цього завдання необхідно використовувати математичний пакет Mathcad або інші).

Методичні рекомендації до виконання завдання 2

Для розрахунку реакції кола на вхідний вплив необхідно розкласти вхідний сигнал у ряд Фур'є:

$$S_{\text{вх}}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=0}^{+\infty} A_{n\text{вх}} \cos(n\omega_1 t - \varphi_0).$$

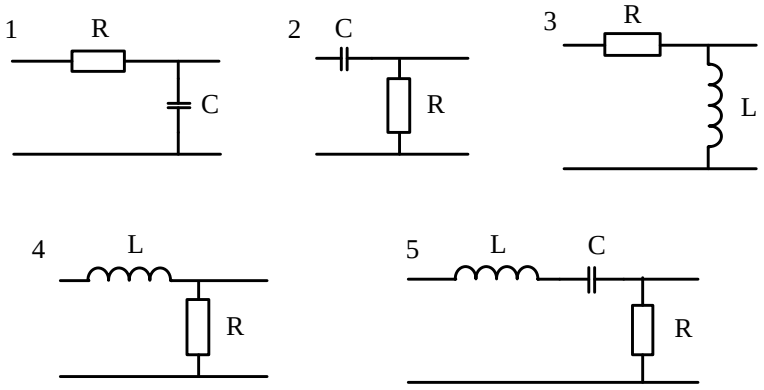
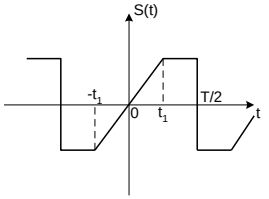
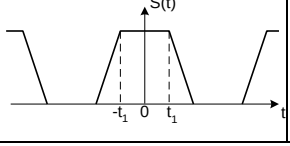


Рис.10. Лінійний ланцюг

Для електричного кола (рис. 13) знаходиться частотний коефіцієнт передачі $K(j\omega)$.

Даний частотний коефіцієнт передачі дискретизується по осі частот із кроком дискретизації $n\omega_1$ $(K(n\omega_1))$.

Таблиця 5 **Параметри сигналу**

№	Вид сигналу	Параметри			
		Амплітуда S, В	Тривалість τ, *мкс*	Період T, *мкс*	Інше
0		10	50	50	$t_1=T/4$
1		10	75	75	$t_1=T/3$
2		10	100	100	$t_1=T/4$
3		10	125	125	$t_1=T/3$
4		10	150	150	$t_1=T/4$
5		15	60	150	$t_1=15$ *мкс*
6		15	90	150	$t_1=25$ *мкс*
7		15	90	150	$t_1=30$ *мкс*
8		10	50	100	$t_1=10$ *мкс*
9		10	75	125	$t_1=25$ *мкс*

Розраховується реакція ланцюга на суму вхідних гармонічних впливів, представлених рядом Фур'є. Вихідна реакція визначається, як сума добутку амплітуди кожної з гармонік, помноженої на значення частотного коефіцієнту передачі на конкретній частоті.

$$A_{n\text{вих}}(n\omega_1) = K(n\omega_1)A_{n\text{вх}}(n\omega_1)$$

$$\varphi_{\text{вих}} = \varphi_{\text{вх}} - \varphi_{\dot{K}(\omega)}$$

$$U_{\text{вих}}(t) = \frac{a_{0\text{вих}}}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} A_{n\text{вих}}(n\omega_1)\cos(n\omega_1 t - \varphi_{\text{вих}})$$

Наприклад, розрахуємо реакцію кола 1 (рис. 10) на прямокутний відеоіпмульс.

Спектральні складові прямокутного відеоімпульсу описуються виразами (2.1 и 2.2), а ряд Фур'є виразом (2.3).

$$\frac{a_0}{2}=\frac{1}{T}\int_{-\frac{\tau_u}{2}}^{\frac{\tau_u}{2}}U_m dt=\frac{U_m}{q}$$

$$a_n=\frac{2}{T}\int_{-\frac{\tau_u}{2}}^{\frac{\tau_u}{2}}U_m\cos(n\omega_1 t)dt=\frac{2U_m}{q}\cdot\frac{\sin(n\omega_1\frac{t_u}{2})}{n\omega_1\frac{t_u}{2}} \tag{2.1}$$

$$b_n=0 \quad A_n=\sqrt{a_n^2+b_n^2}=\frac{2U_m}{q}\cdot\frac{\sin(n\omega_1\frac{t_u}{2})}{n\omega_1\frac{t_u}{2}} \tag{2.2}$$

$$S(t)=\frac{U_m}{q}+\frac{2U_m}{q}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\sin(n\omega_1\frac{t_и}{2})}{n\omega_1\frac{t_и}{2}}\cos(n\omega_1 t) \tag{2.3}$$

Коефіцієнт передачі кола описується виразом (2.4)

$$K(\omega)=\frac{U_{вих}(t)}{U_{вх}(t)}=\frac{\frac{1}{j\omega c}}{R+\frac{1}{j\omega c}}=\frac{1}{1+j\omega RC}=\frac{1}{1+j\omega\tau} \tag{2.4}$$

Представимо даний коефіцієнт передачі в показовому виді.

Модуль $\dot{K}(\omega)$ –це АЧХ-арка кола, $\mathrm{arctg}\varphi(\omega)$ - показник ступеня експоненти – це ФЧХ ланцюга.

$$\dot{K}(\omega)=\left|K(\omega)\right|e^{-j\mathrm{arctg}\varphi(\omega)}$$

де $\left|K(\omega)\right|=\frac{1}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}}$.

RC-коло даного типу є ФНЧ.

Розраховуємо дискретний коефіцієнт передачі електричного кола.

$$K(n\omega_1) = \frac{1}{\sqrt{1+(n\omega_1\tau)^2}}$$

де $\omega_1 = \dfrac{2\pi}{T_{вх}}$

Запишемо ряд Фур'є для вихідного сигналу.

$$A_{n\text{вих}}(n\omega_1) = K(n\omega_1)\cdot A_{n\text{вх}}(n\omega_1).$$

$$A_{n\text{вих}}(n\omega_1) = \frac{2Um}{q}\cdot\frac{\sin(n\omega_1\frac{t_и}{2})}{n\omega_1\frac{t_и}{2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+(n\omega_1\tau)^2}}.$$

$$\frac{a_{0\text{вих}}}{2} = \frac{a_0}{2}K(n\omega_1) = \frac{Um}{q}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+(n\omega_1\tau)^2}}$$

$$S_{вих}(t) = \frac{U_m}{q\sqrt{1+(n\omega_1\tau)^2}} + \frac{2Um}{q}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\sin(n\omega_1\frac{t_u}{2})}{n\omega_1\frac{t_u}{2}}\frac{1}{\sqrt{1+(n\omega_1\tau)^2}}\times$$
$$\times\cos[n\omega_1 t - \text{arctg}\varphi(n\omega_1)] \qquad (2.5)$$

На наступному етапі виконуємо синтез гармонійних складових на виході, амплітуди яких рівні $A_{вих}(n\omega_1)$. По формулі (2.5) побудуємо графік часового представлення сигналу $S_{вих}(t)$.

Завдання 3

Основною метою третього завдання є набуття навичок спектрального аналізу коливань у нелінійних колах.

В результаті виконання студенти повинні: навчитися проводити спектральний аналіз коливань в нелінійних колах методом кута відсічки, трьох і п‘яти ординат.

Зміст третього завдання курсової роботи

Трете завдання КР2 складається з двох частин.

Частина 1. Розрахувати спектр току на виході нелінійного елемента для 10 гармонік методом кута відсічки. Побудувати сигнал на виході нелінійного елемента (табл.6)

Частина 2. Побудувати залежність струму від напруги $i_{вих}(U_{вх})$ (табл.7) і розрахувати спектр струму на виході нелінійного елемента методом трьох і п‘яти ординат.

Таблиця 6 **Варіант завдання**

Остання цифра ЗК	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
S (мА/В)	5,4	7,2	9,0	8,7	13	8	4,3	11,0	7,5	6,5
U_m(В)	4									
U_0(В)	0,6									
Частота сигналу f (Гц)	3400	1000	250	5600	3400	3000	500	1300	7500	750

Таблиця 7 **Значення току (мА)**

U,(В)	Остання цифра ЗК										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0	0,5	10	1,5	4	0,2	0	2	2	0	Значення струму (мА)
1	1	2,8	11	1,7	6	0,4	4	6,5	2,4	1	
2	2	5,5	11,8	1,9	6,8	0,6	7,5	9,2	3,2	4	
3	5,7	6,9	12,2	2,0	7,5	0,9	8,6	11	4,3	9	
4	8,6	7	12,4	3,0	9,3	1,5	9	11,6	5,5	11	
5	10,3	7,3	12,5	5,0	11,3	2	9,2	12	6,5	10,8	
6	11,1	8,1	12,2	9,0	12	3	9,6	11,3	7,2	10	
7	11	10	12,1	12,2	13,5	4,5	10	10	7,8	8	
8	10	11,3	11,5	13,4	15	7	10,2	7,6	8	7	
9	7,6	10	10,3	13,6	15	12	10,5	2,7	7,6	3	
$U_{вх}$(В)	2,5	4	2	3,2	2,7	3	4	4	6	3	
U_0(В)	4	4,5	6	5	4,5	5,5	2,7	4,5	3	4,5	
f (кГц)	3,4	1,0	0,25	5,6	3,4	3,0	0,5	1,3	7,5	0,75	

Методичні рекомендації до виконання завдання 3

Перед виконанням завдання 3 необхідно вивчити характерні особливості математичної моделі нелінійного кола та його складових елементів. Нелінійна ємність та нелінійна індуктивність. Методи аналітичного визначення основних характеристик нелінійних кіл. Методи апроксимації вольт-амперних характеристик нелінійних кіл. Методи визначення оптимальних коефіцієнтів апроксимації. Особливості спектральних перетворень та ефект поширення спектру вихідного сигналу.

Література [7, с. 444-452],[9, с. 5-15;с.36-53; с. 58-70].

При виконанні частини 1 завдання 3 КР2 необхідно:

1) побудувати графік залежностей струму від напруги $i_{вих}(U_{вх})$ (вольт-амперна характеристика) нелінійного елемента, використовуючи кусково-лінійну апроксимацію, враховуючи, що коефіцієнт нахилу відповідає кривизні характеристики δ [9, с.64, рис 3.7], [13, с. 68-72], [1, с.272-273];

2) на графіку $i_{вих}(U_{вх})$ (вольт-амперна характеристика), використовуючи метод проекцій отримати графічну форму імпульсів струму на виході нелінійного елемента;

3) розрахувати спектр для 10 гармонік методом кута відсіку, використовуючи формулу (3.35) [9, с. 65], [13,с. 68 - 72], [1, с. 272 - 273];

4) побудувати спектр 10 гармонік.

При виконанні частини 2 третього завдання КР2 необхідно:

1) побудувати графік вольт-амперної характеристики, використовуючи дані з табл. 7, з діючим гармонічним коливанням на вході нелінійного елемента [9, с. 67], [13, с.72 - 74];

2) розрахувати три і п’ять гармонік струму за методом трьох і п’яти ординат [9, с. 67], [13, с. 72 - 74];

3) побудувати спектр струму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1.Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш.шк., 1988. – 448с.

2.Бессонов Л.К. Теоретические основы электротехники. М.: Гардарики, 1999. – 638 с.

3. П'яних Б.Є., Мельников Є.В., Животовський С.О. Аналіз електричних кіл. Розрахунок стаціонарних режимів. К.: КУЦА, 1999. – 183с.

4. П'яних Б.Є. Основи теорії кіл. Перехідні процеси в електричних колах. Чотириполюсники. Фільтри К.: НАУ, 2003. – 204 с.

5. Сердюков В.А., Швець В.А., Пепа Ю.В. Кола і сигнали. Резонансні явища та перехідні процеси в електричних колах. Лабораторний практикум. К.: НАУ, 2008. – 80 с.

6. Бычков Ю.А, Золотницький В.М., Чернышев З.П. Сборник задач и практикум по основам электрических цепей. Санкт-Петербург: Питер,2007. – 300 с.

7. Белецкий А.Я., Бабак В.П. Детерминированыес игналы и спектры м. Киев КИТ, 2002. – 501 с.

8. Белецкий А.Я. Радиотехнические цепи и сигналы. Спектральный анализ аналогових сигналов. Уч. пособие, К. КНИГА, 1992г. – 64 с.

9.Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей : Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1982. – 280с.

10.Гумен М.Б. Основи теорії електричних кіл. К.: В. школа, 2003. – 400 с.

11. Френкс А. Теория сигналов. М.: Сов. Радио 1975. – 320 с.

12. Жуков В.П. Задачник по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы». М.: Наука, 1989. – 496 с.

13.Кушнир В.Ф., Ферсман Б.А. Теория нелинейных электрических цепей. М.: Связь, 1974. – 384с.

14. Основи теорії кіл, сигналів та процесів в системах технічного захисту інформації. Електричні кола: лабораторний практикум / В. А. Сердюков, В. А. Швець, Т. В. Мелешко, Ю. В. Пепа– К.:ПП НВП Профі, 2012. – 112 с.

Навчальне видання

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРІЧНИХ КІЛ ТА СИГНАЛІВ

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної та курсової робіт для студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації»

Укладачі: СЕРДЮКОВ Володимир Андрійович
ШВЕЦЬ Валеріян Анатолійович
МЕЛЕШКО Тетяна Вікторівна