МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

3593 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт
на тему «Аналіз електричних ланцюгів.
Узагальнені матричні методи»
з дисципліни «Моделювання в електроніці»
для студентів напрямів підготовки
"Електронні пристрої та системи",
"Мікро- та наноелектроніка"
усіх форм навчання

Суми
Сумський державний університет
2013

Методичні вказівки до лабораторних робіт на тему «Аналіз електричних ланцюгів. Узагальнені матричні методи» з дисципліни «Моделювання в електроніці» / укладачі: Т. О. Протасова, І. Є. Бражник. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 19 с.

Кафедра електроніки і комп’ютерної техніки

МАТРИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Завдання аналізу електричного ланцюга полягає у визначенні струмів і напруги на його елементах у результаті дії джерел енергії.

Одним із найбільш поширених видів математичних моделей динамічних ланцюгів вважаються рівняння станів, які є системою рівнянь Коші в нормальній формі. Загальний вигляд рівнянь стану динамічного ланцюга в матричній формі записується так:

$$\frac{d}{dt}X(t) = AX(t) + BU \, . \qquad (1)$$

Повна математична модель у просторі станів містить ще одне рівняння – рівняння виходу:

$$y = CX(t) + DU \, . \qquad (2)$$

Використовувані позначення:

- X – вектор змінних станів;
- y – вектор виходу;
- U – вектор вхідних дій;
- A, B, C, D – матриці параметрів.

Розглянемо два методи формування рівнянь стану за допомогою матричного методу розрахунку, які полягають у підготовленні з подальшим розв’язанням відповідних матриць.

Основні рівняння схеми в матричній формі

Матричний метод базується на класичній теорії ланцюгів і орієнтований на застосування ЕОМ для розрахунку.

Загальний вигляд основних рівнянь в матричній формі такий:

$$[W]\cdot[X] = [Q], \qquad (3)$$

де Q – вектор задавальних змінних;

X – вектор шуканих змінних;

W – матриця еквівалентних параметрів.

Тоді, спираючись на I і II закони Кірхгофа, рівняння (3) можна записати стосовно до методів контурних струмів і вузлових напруг.

Метод вузлових потенціалів полягає в тому, що на підставі першого закону Кірхгофа визначаються напруги у вузлах електричного ланцюга щодо деякого базисного вузла. Ця шукана напруга (потенціали) називається вузловими потенціалами, причому позитивний напрям береться від даного вузла до базисного.

*Для **методу вузлових потенціалів,*** коли за шукані змінні вибрані вузлові потенціали, рівняння в матричній формі має вигляд

$$[G]\cdot[\varphi]=[I]. \tag{4}$$

Матрично-векторні параметри, що входять до цього рівняння, мають конкретний сенс:

- $[\varphi]$ – вектор вузлової напруги (вузлових потенціалів);
- $[G]$ – матрицю провідності схеми;
- $[I]$ – вектор задавальних струмів.

Метод контурних струмів є одним з основних методів розрахунку складних електричних ланцюгів. Цей метод полягає в тому, що на підставі другого закону Кірхгофа замість струмів у гілках визначаються так звані контурні струми.

Для методу контурних струмів рівняння в матричній формі має вигляд

$$[R]\cdot[I]=[U], \tag{5}$$

де $[I]$ – вектор контурних струмів;
$[R]$ – матриця опорів схеми;
$[U]$ – вектор задавальної напруги.

Аналіз електронних схем із використанням матричного методу розрахунку зводиться до таких операцій:

1 Складають систему рівнянь схеми за першим або другим законом Кірхгофа у векторно-матричній формі.

Вибір раціональнішого методу залежить від шуканої величини. З цієї точки зору бажано, щоб шукані величини (струми або напруга) безпосередньо збігалися з контурними струмами або вузловою напругою, оскільки при цьому відпадає необхідність у подальшому переході від знайдених величин до шуканих.

2 Систему приводять до стандартного вигляду.

3 Обирають спосіб розв’язання системи рівнянь щодо шуканих величин.

4 Будують необхідні графіки залежностей.

Лабораторна робота з теми
«АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ. УЗАГАЛЬНЕНІ МАТРИЧНІ МЕТОДИ. МЕТОД ВУЗЛОВИХ ПОТЕНЦІАЛІВ»

Мета роботи:

- *перевірити ступінь підготовки студентів самостійно формувати рівняння стану за допомогою методу вузлових потенціалів;*
- *набути практичних навичок під час розв'язування задач аналізу і розрахунку лінійних схем на комп'ютері.*

Завдання. Для кола, що подане на рисунку 1, записати систему рівнянь на основі методу вузлових потенціалів і знайти вихідну напругу $U_{вих}$. Параметри схеми для кожного варіанта наведені у додатку А.

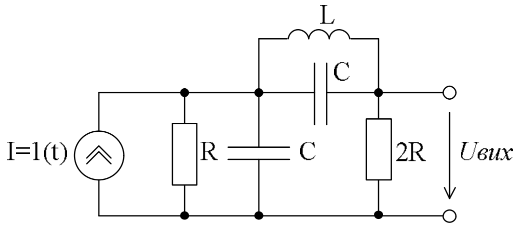

Рисунок 1 – Принципова схема пристрою

Методика підготовки вихідних даних

1 Вибираємо базисний вузол (потенціал цього вузла беремо таким, що дорівнює нулю) і присвоюємо йому номер 0. Решту вузлів нумеруємо по порядку (рис. 2).

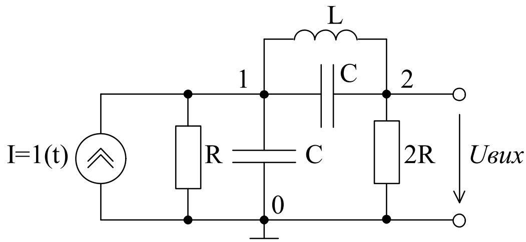

Рисунок 2

Такий вибір можна вважати природним, оскільки напруга на виході схеми збігається з вузловою напругою φ_2.

2 Складаємо основні рівняння відповідно до виразу (4).

Розрахунок електричного кола методом вузлових потенціалів доцільно починати зі складання матриці провідності. У цій матриці номер рядка і стовпця відповідає номеру вузла:

$$\begin{array}{c|c|c|} & 1 & 2 \\ \hline 1 & G_{11} & -G_{12} \\ \hline 2 & -G_{21} & G_{22} \\ \hline \end{array},$$

де G_{11}, G_{22} – власні провідності відповідних вузлів, які визначаються як сума провідності гілок, що під'єднані до вузлів 1 і 2;

G_{12}, G_{21} – взаємні провідності вузлів 1 і 2 (провідність гілки, що з'єднує вузли 1 і 2), узяті із знаком мінус.

Отже, матриця провідності для заданої схеми має вигляд

$$\begin{array}{c|c|c|} & 1 & 2 \\ \hline 1 & \frac{1}{R}+pC+pC+\frac{1}{pL} & -pC-\frac{1}{pL} \\ \hline 2 & -pC-\frac{1}{pL} & \frac{1}{2R}+pC+\frac{1}{pL} \\ \hline \end{array}.$$

У розгорненому вигляді система рівнянь у матричній формі для вузлових потенціалів набирає такого вигляду:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R}+pC+pC+\frac{1}{pL} & -pC-\frac{1}{pL} \\ -pC-\frac{1}{pL} & \frac{1}{2R}+pC+\frac{1}{pL} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I(\mathrm{p}) \\ 0 \end{bmatrix}.$$

3 Алгоритм формування рівнянь стану

Щоб система з цих рівняння була вирішувана, необхідно виключити з рівнянь незручну складову $\frac{1}{pL}$ шляхом введення нової змінної I_L і додаткового рівняння:

$$\frac{1}{pL}(\varphi_1 - \varphi_2) = I_L \quad \Rightarrow \quad (\varphi_1 - \varphi_2) - I_L pL = 0 .$$

У результаті їх підстановки в початкове матричне рівняння отримаємо нову систему рівнянь у матричній формі.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R} + 2pC & -pC & 1 \\ -pC & \frac{1}{2R} + pC & -1 \\ 1 & -1 & -pL \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I(p) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Оскільки необхідно сформувати математичну модель у вигляді рівнянь станів, взявши як змінні стани вузлові напруги і струм через індуктивність, ділимо матрицю провідності на дві частини: складові з множником ***p*** залишаємо в лівій частині, а складові без ***p*** переносимо в праву частину.

$$\begin{bmatrix} 2Cp & -Cp & 0 \\ -Cp & Cp & 0 \\ 0 & 0 & -pL \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R} & 0 & -1 \\ 0 & -\frac{1}{2R} & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ I_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I(p) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

При переході в часову область в лівій частині отримуємо похідні функцій, а в правій – просто функції.

$$\begin{vmatrix} 2C & -C & 0 \\ -C & C & 0 \\ 0 & 0 & -L \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \varphi_1' \\ \varphi_2' \\ I_L' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{1}{R} & 0 & -1 \\ 0 & -\frac{1}{2R} & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ I_L \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} I(p) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (6)$$

Прийнявши отримані рівняння за попередню математичну модель ланцюга, можна за допомогою матричних перетворень одержати систему рівнянь у нормальній формі (1).

Основні дії з матрицями

Для розв’язання рівняння вигляду $[N]\cdot|X'|=[M]\cdot|X|+[T]\cdot|U|$ необхідно обидві частини цього рівняння помножити на зворотну матрицю $[N]^{-1}$:

$$[N]^{-1}\cdot[N]\cdot|X'|=[N]^{-1}\cdot[M]\cdot|X|+[A]^{-1}\cdot[T].$$

Якщо врахувати, що матриця $[N]$, будучи помноженою на зворотну матрицю $[N]^{-1}$, дає одиничну матрицю $[N]\cdot[N]^{-1}=1$, отримаємо рівняння вигляду (1):

$$|X'|=[A]\cdot|X|+[B]\cdot|U|.$$

Далі розв’язуємо це рівняння.

Приклад.

Побудуємо графік перехідної функції для схеми на рисунку 1 при I = 1 А.

Параметри схеми: C = 0,002 *Ф*, R = 5100 *Ом*, L=0,033 *Гн*.

Підставляємо данні числові значення в рівняння (6).

$$\underset{[N]}{\begin{vmatrix} 0{,}004 & -0{,}002 & 0 \\ -0{,}002 & 0{,}002 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}033 \end{vmatrix}} \cdot \underset{|X'|}{\begin{vmatrix} \varphi_1' \\ \varphi_2' \\ I_L' \end{vmatrix}} = \underset{[M]}{\begin{vmatrix} -\frac{1}{5100} & 0 & -1 \\ 0 & -\frac{1}{10200} & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{vmatrix}} \cdot \underset{|X|}{\begin{vmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ I_L \end{vmatrix}} + \underset{[T]}{\begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}}$$

Отже, маємо такі матриці:

$$N=\begin{bmatrix}0,004 & -0,002 & 0\\ -0,002 & 0,002 & 0\\ 0 & 0 & -0,033\end{bmatrix},\ M=\begin{bmatrix}-1/5100 & 0 & -1\\ 0 & -1/10200 & 1\\ -1 & 1 & 0\end{bmatrix},\ T=\begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix}.$$

Усі необхідні дії з матрицями проводимо за допомогою програми 1, яка створена у програмному пакеті maple 7.

Програма 1

```
restart;
N:=matrix (3,3,[0.004,-0.002, 0,-0.002, 0.002, 0,
0, 0,-0.033]);
```

$$N:=\begin{bmatrix}.004 & -.002 & 0\\ -.002 & .002 & 0\\ 0 & 0 & -.033\end{bmatrix}$$

```
M:=matrix(3,3,[-1/5100,0,-1,0,-1/10200,1,-1,1,0]);
```

$$M:=\begin{bmatrix}\frac{-1}{5100} & 0 & -1\\ 0 & \frac{-1}{10200} & 1\\ -1 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

```
T:=matrix(3,1,[1,0,0]);
```

$$T:=\begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix}$$

```
obr:=evalm(1/N);
```

$$obr:=\begin{bmatrix}500.0000000 & 500.0000000 & 0.\\ 500.0000000 & 1000.000000 & 0.\\ 0. & 0. & -30.30303030\end{bmatrix}$$

```
odn:=evalm(N&*obr);
```

$$odn:=\begin{bmatrix}1.000000000 & 0. & 0.\\ 0. & 1.000000000 & 0.\\ 0. & 0. & .9999999999\end{bmatrix}$$

```
A:=evalm(obr&*M);
```

$$A := \begin{bmatrix} -.09803921568 & -.04901960784 & 0. \\ -.09803921568 & -.09803921569 & 500.0000000 \\ 30.30303030 & -30.30303030 & 0. \end{bmatrix}$$

```
B:=evalm(obr&*T);
```

$$B := \begin{bmatrix} 500.0000000 \\ 500.0000000 \\ 0. \end{bmatrix}$$

Отримані в результаті коефіцієнти матриць A і B рівнянь стану визначають математичну модель динамічного ланцюга:

- у матричній формі

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{[odn]} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \varphi_1' \\ \varphi_2' \\ I_L' \end{bmatrix}}_{|X'|} = \underbrace{\begin{bmatrix} -0{,}098 & -0{,}049 & 0 \\ -0{,}098 & -0{,}098 & 500 \\ 30{,}3 & -30{,}3 & 0 \end{bmatrix}}_{[A]} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ I_L \end{bmatrix}}_{|X|} + \underbrace{\begin{bmatrix} 500 \\ 500 \\ 0 \end{bmatrix}}_{[B]};$$

- у вигляді системи рівнянь

$$\begin{cases} \varphi_1' = -0{,}098 \cdot \varphi_1 - 0{,}049\varphi_2 + 0 \cdot I_L + 500, \\ \varphi_2' = -0{,}098 \cdot \varphi_1 - 0{,}098 \cdot \varphi_2 + 500 \cdot I_L + 500, \\ I_L' = 30{,}3 \cdot \varphi_1 - 30{,}3\varphi_2 + 0 \cdot I_L + 0. \end{cases}$$

Одним із методів числової інтеграції є метод Рунге-Кута, який і використовується у програмі 2, також реалізованій в середовищі maple 7.

Для зручності беремо: $\varphi_1 - x_1(t)$, $\varphi_2 - x_2(t)$, $I_L - x_3(t)$.

Початкові нульові умови: $x_1(0) = 0$, $x_2(0) = 0$, $x_3(0) = 0$.

Рівняння виходу (2) має вигляд

$$y = [1 \;\; 0 \;\; 0] \cdot \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix} + [0] \cdot I.$$

Згідно із завданням нас цікавить лише вихідна напруга, тому будувати графік будемо тільки для функції $x_1(t)$ – команда **display(p1).** Якщо цікаві результати розрахунків для інших функцій, то можна в кінці програми додати відповідні команди: **display(p2), display(p3).** У наведеній нижче програмі 2 дані команди наявні.

Програма 2

```
restart; cond:=x1(0)=0,x2(0)=0,x3(0)=0;
sys:=diff(x1(t),t)=-0.098*x1(t)-0.049*x2(t) +500,
diff(x2(t),t)= -0.098*x1(t) -0.098*x2(t) +
500*x3(t)+500, diff(x3(t),t)=30.3*x1(t)-
30.3*x2(t);
F:=dsolve({sys,cond},[x1(t),x2(t),x3(t)],numeric);
with(plots):
p1:=odeplot(F,[t,x1(t)],0..10, color=black);
p2:=odeplot(F,[t,x2(t)],0..10,color=green);
p3:=odeplot(F,[t,x3(t)],0..10,color=red);
display(p1);
display(p2);
display(p3);
```

Оформлення роботи

Звіт із лабораторної роботи повинен містити її назву, мету, розрахункову схему електричної системи, всю процедуру формування рівнянь стану з необхідними коментарями.

Також повинен бути накреслений графік залежності вихідної характеристики від часу.

У висновку до лабораторної роботи необхідно навести результати аналізу роботи електричної системи.

Лабораторна робота з теми

«АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ. УЗАГАЛЬНЕНІ МАТРИЧНІ МЕТОДИ. МЕТОД КОНТУРНИХ СТРУМІВ»

Мета роботи:

- перевірити ступінь підготовки студентів самостійно формувати рівняння стану за допомогою методу контурних струмів і вибору методу їх розв'язання;

- набути практичних навичок під час розв'язування задач аналізу і розрахунку лінійних схем на комп'ютері.

Завдання

Методом контурних струмів розрахувати струми у гілках ланцюга (див. рис. 7). Параметри схеми для кожного варіанта наведені у додатку А.

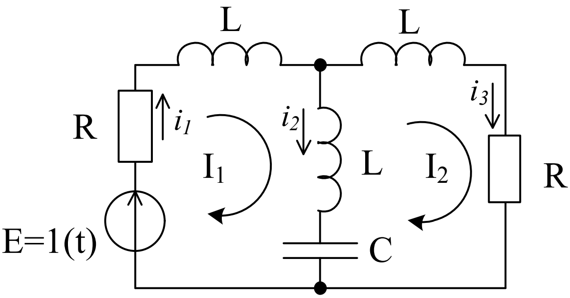

Рисунок 7

При розрахунку електричного кола методом контурних струмів необхідно:

- обрати позитивні напрямки контурних струмів у першому (I_{11}) та другому (I_{22}) контурах;

- скласти матрицю контурних опорів та записати систему рівнянь за другим законом Кірхгофа;

- розв'язати складену систему рівнянь та обчислити невідомі струми.

Матриця опорів заповнюється так само, як і матриця провідності, тільки у головній діагоналі записуємо власні опори відповідного контуру – R_{11}, R_{22}, а в інші клітинки вписуємо взаємні опори відповідних суміжних контурів – R_{12}, R_{21} зі знаком «мінус».

$$\begin{array}{c|c|c|}
 & 1 & 2 \\ \hline
1 & R_{11} & -R_{12} \\ \hline
2 & -R_{21} & R_{22} \\ \hline
\end{array}.$$

Тоді система рівнянь у матричній формі набере такого розгорненого вигляду:

$$\begin{bmatrix} R+2Lp+\dfrac{1}{pC} & -pL-\dfrac{1}{pC} \\ -pL-\dfrac{1}{pC} & R+2Lp+\dfrac{1}{pC} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{E(p)} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Для формування математичної моделі, яка описується співвідношеннями (1) і (2), видаляємо з матриці незручну складову $\dfrac{1}{pC}$. Робимо потрібну заміну

$$I_1 \cdot \frac{1}{pC} - I_2 \cdot \frac{1}{pC} = U_C \quad \Rightarrow \quad U_C \cdot CpI_1 - I_1 + I_2 = 0$$

і записуємо матричне рівняння з урахуванням нової змінної:

$$\begin{bmatrix} R+2Lp & -pL & 1 \\ -pL & R+2Lp & -1 \\ -1 & 1 & Cp \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ U_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{E(p)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Далі діємо аналогічно, як і в попередній роботі, – поділяємо матрицю на дві частини: складові з множником ***p*** залишаємо в лівій частині, а складові без ***p*** – переносимо в праву частину. Формуємо початкову математичну модель, проводимо необхідні операції з матрицями за допомогою програми 1, в результаті чого знаходимо коефіцієнти матриць A і B рівнянь стану.

Визначаємо математичну модель динамічного ланцюга, враховуючи попередні результати і розв’язуємо систему рівнянь стану (програма 2).

При записі рівняння виходу і побудові графіків залежностей не забуваємо, що шукані величини ще необхідно розрахувати виходячи з таких виразів:

$i_1 = I_1,\ i_2 = I_1 - I_2,\ i_3 = I_2 .$

Оформлення роботи

Звіт із лабораторної роботи повинен містити її назву, мету, розрахункову схему електричної системи, всю процедуру формування рівнянь стану з необхідними коментарями.

Також повинен бути накреслений графік залежностей струмів у гілках ланцюга від часу $i_1(t),\ i_2(t),\ i_3(t)$.

У висновку до лабораторної роботи необхідно навести результати аналізу роботи електричної системи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1 Назвіть правила формування матриці провідності.

2 Як визначити матрицю вузлових опорів.

3 Запишіть у матричній формі рівняння законів Ома та Кірхгофа.

4 Покажіть, як за допомогою законів Ома та Кірхгофа одержати вузлове рівняння у формі, що використовує матрицю вузлових провідностей.

5 Назвати правило складання основних рівнянь у матричній формі методом контурних струмів.

6 Як із системи лінійних рівнянь вузлових напруг, записаних із використанням матриці вузлових провідностей, одержати рівняння з матрицею вузлових опорів?

Список літератури

1. Булашенко А. В. Теорія електричних та магнітних кіл. Розділ "Перехідні процеси у лінійних електричних колах із зосередженими параметрами" : конспект лекцій / А. В. Булашенко. – Суми : СумДУ, 2012. – 232 с.

2. Булашенко А. В. Теорія електричних та магнітних кіл : конспект лекцій : у 5 ч. Ч. 1. Лінійні електричні кола постійного струму / А. В. Булашенко. – Суми : СумДУ, 2010. – 180 с.

3. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М. : Техносфера, 2007. – 128 с.

4. Основи теорії електронних кіл : підручник / Ю. Я. Бобало, Б. А. Мандзій, П. Г. Стахів та ін. ; за ред. проф. Ю. Я. Бобала. – Львів : Видавництво «Львівська політехніка», 2008. – 332 с.

5. Влах И. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем / И. Влах, К. Сингхал. – М. : Радио и связь, 1988. – 560 с.

Додаток А
(обов’язковий)

Варіанти завдання			
Номер варіанта	***R, Ом***	***С, Ф***	***L, Гн***
1	1000	0,00002	0,0001
2	1500	0,000018	0,0002
3	1200	0,000036	0,00033
4	6200	0,000051	0,00015
5	3300	0,000047	0,00024
6	7500	0,000016	0,00075
7	2700	0,000062	0,00011
8	3900	0,000027	0,0003
9	4300	0,00001	0,00082
10	1300	0,000022	0,00039
11	8200	0,000068	0,00012
12	9100	0,000033	0,00051
13	4700	0,000075	0,00013
14	5600	0,000024	0,00091
15	5100	0,000011	0,00068
16	1600	0,000091	0,00016
17	9100	0,000012	0,00056
18	1800	0,000082	0,00013
19	2000	0,00003	0,00018
20	2200	0,000056	0,00022
21	2400	0,000043	0,00036
22	3000	0,000039	0,00027
23	3600	0,000011	0,00047
24	6800	0,000043	0,00043

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
на тему «Аналіз електричних ланцюгів.
Узагальнені матричні методи»
з дисципліни «Моделювання в електроніці»
для студентів напрямів підготовки
"Електронні пристрої та системи",
"Мікро- та наноелектроніка"
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк
Редактор Н. З. Клочко
Комп’ютерне верстання І. Є. Бражник

Підп. до друку 30.08.2013, поз.
Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 1,16 Обл.-вид.арк. 0,92 Тираж 30 пр. Зам. №
Собівартість видання грн к.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Р.- Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК №3062 від 17.12.2007.