# Практическое задание 2

# *Тема 3. Методы анализа электронных схем*

## Лекция 3.1. Метод узловых потенциалов

## Лекция 3.2. Метод контурных токов

**Задание:** произвести расчет по постоянному току указанным методом.

Номер варианта выбрать по первой букве фамилии студента, руководствуясь табл. 2.1.

Таблица 2.1

Индивидуальные варианты

|  |  |
| --- | --- |
| Первая буква фамилии | Индивидуальный вариант |
| А, Б, В, Г | 1 |
| Д, Е, Ж, З | 2 |
| И, К, Л, М | 3 |
| Н, О, П, Р | 4 |
| С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Э, Ю, Я | 5 |

**Рекомендации по выполнению задания**

Решение, выполненное по образцу, поместить в файл с именем МАРЭС1\_ПЗ2\_[Фамилия]\_[Вариант].doc(x) и загрузить на проверку. (Вместо [Фамилия] вписать свою фамилию, вместо [Вариант] – цифру номера варианта. Например, «МАРЭС1\_ПЗ2\_Кудинов\_3.doc»).

**Порядок решения**

1. Преобразовать цепь к виду, пригодному для анализа указанным методом. Вычертить расчетную схему, указать значения параметров ее элементов.
2. Для расчетной схемы вычертить направленный граф, составить топологическую (**А** или **В**) и компонентные (**Y**в, **J**в или **Z**в, **Е**в) матрицы.
3. Сформировать уравнение цепи указанным методом, используя найденные на шаге 2 матрицы.
4. Подставить численные значения параметров элементов и решить уравнение цепи.

### Вариант 1

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Определить потенциалы узлов 1 и 2 методом узловых потенциалов.

### Вариант 2

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Определить потенциалы узлов 1 и 2 методом узловых потенциалов.

### Вариант 3

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Определить токи I2 и I3 методом контурных токов.

### Вариант 4

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Определить токи I2 и I3 методом контурных токов.

### Вариант 5

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Определить потенциалы узлов 1 и 2 методом узловых потенциалов.

### Образец выполнения задания

**Задача**: определить потенциалы узлов 1 и 2 методом узловых потенциалов.



Рис. 2.1. К примеру расчета

В рассматриваемой цепи есть элементы, недопустимые для анализа методом узловых потенциалов. Это источник ЭДС E1 и ИТУТ αI1. Первый преобразуем в независимый источник тока по правилам Тевенина – Нортона (см. рис. 2.2). Здесь

. (2.1)

У ИТУТа нужно изменить управляющую величину, для чего выразим управляющий ток I1 через напряжение U1, которое станет управляющим вместо тока I1 (рис. 2.2):

. (2.2)

И ИТУТ превращается в ИТУН с параллельно включенным независимым источником:

. (2.3)

Здесь первое слагаемое  представляет собой независимый источник тока, а второе – ИТУН с передаточной проводимостью

. (2.4)

Окончательно расчетная схема замещения представлена на рис. 2. Здесь же приведен её направленный граф. При построении графа использовалась возможность метода узловых потенциалов объединять параллельные элементы в одну ветвь, что при ручных расчетах приветствуется, так как уменьшает размеры исходных матриц. Направления ветвей в общем случае выбираются произвольно.

Рис. 2.2. Расчетная схема замещения и её граф

Метод узловых потенциалов предполагает формирование узлового уравнения вида

, (2.5)

где матрица узловых проводимостей **Y** рассчитывается по формуле

, (2.6)

а вектор эквивалентных узловых токов **I**y – по формуле

. (2.7)

Матрица соединений **A** составляется на основе направленного графа (рис. 2.2):

. (2.8)

Матрица проводимостей ветвей **Y**B и вектор независимых источников токов ветвей **J**B – на основе графа и содержимого ветвей:

; (2.9)

. (2.10)

Рассчитаем матрицы узлового уравнения, выполнив произведения:

 (2.11)

 (2.12)

 (2.13)

Подставим численные значения:

, (2.14)

. (2.15)

Рассчитаем узловые потенциалы, например, через обратную матрицу:

. (2.16)

Ответ: φ1 = 0,887; φ2 = –0,332.

# Практическое задание 3

## Тема 3. Методы анализа электронных схем

## Лекция 3.4. Составление уравнений переменных состояния

**Задание:** для заданной цепи получить уравнения состояния и выхода в нормальной форме.

Номер варианта выбрать по первой букве фамилии студента, руководствуясь табл. 3.1.

Таблица 3.1

Индивидуальные варианты

|  |  |
| --- | --- |
| Первая буква фамилии | Индивидуальный вариант |
| А, Б, В, Г | 1 |
| Д, Е, Ж, З | 2 |
| И, К, Л, М | 3 |
| Н, О, П, Р | 4 |
| С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Э, Ю, Я | 5 |

**Рекомендации по выполнению задания**

Решение, выполненное по образцу, поместить в файл с именем МАРЭС1\_ПЗ3\_[Фамилия]\_[Вариант].doc(x) и загрузить на проверку. (Вместо [Фамилия] вписать свою фамилию, вместо [Вариант] – цифру номера варианта. Например, «МАРЭС1\_ПЗ3\_Кудинов\_3.doc»).

**Порядок решения**

1. Изобразить направленный граф цепи, считая каждый элемент цепи отдельной ветвью, выбрать нормальное дерево.
2. Записать топологическое уравнение цепи, воспользовавшись матрицей «контур – ветвь» **F**.
3. Записать компонентные уравнения для каждой ветви (каждого элемента).
4. Ввести компонентные уравнения в топологическое и разрешить последнее относительно производных переменных состояния и выходных величин.
5. Записать уравнения состояния и выхода в матричной форме.

### Вариант 1

|  |  |
| --- | --- |
|  | Получить уравнение состояния и уравнение выхода в нормальной форме, считая выходной величиной ток источника Е. |

### Вариант 2

|  |  |
| --- | --- |
|  | Получить уравнение состояния и уравнение выхода в нормальной форме, считая выходной величиной напряжение uвых. |

### Вариант 3

|  |  |
| --- | --- |
|  | Получить уравнение состояния и уравнение выхода в нормальной форме, считая выходной величиной напряжение на конденсаторе С3. |

### Вариант 4

|  |  |
| --- | --- |
|  | Получить уравнение состояния в нормальной форме. |

### Вариант 5

|  |  |
| --- | --- |
|  | Получить уравнение состояния и уравнение выхода в нормальной форме, считая выходной величиной ток I3 резистора R3. |

### Пример выполнения задания

В качестве примера покажем вывод уравнения состояния для схемы, представленной на рис. 3.1. Выходной величиной считать напряжение на катушке.

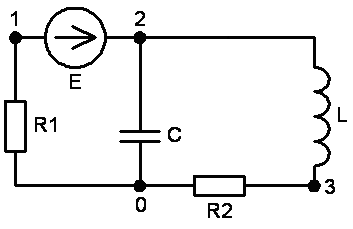


Рис. 3.1. К примеру расчета

Напомним, что уравнения состояния и выхода в нормальной форме должны выглядеть так.

Уравнение состояния:

. (3.1)

Уравнение выхода:

. (3.2)

Здесь **X** – вектор переменных состояния (напряжений конденсаторов и токов катушек с независимыми начальными условиями);

**U** – вектор внешних воздействий (независимых источников E и J);

**Y** – вектор выходных величин;

**A**, **B**, **C**, **D** – матрицы коэффициентов (собственно, их нахождение и является целью метода переменных состояния).

Составим направленный граф цепи и выделим на нём нормальное дерево (E, C, R2).



Рис. 3.2. Направленный граф для схемы примера

Поскольку все конденсаторы оказались в ребрах дерева, а катушки – в связях дерева (хордах), то особых контуров и сечений нет и, следовательно, в вектор переменных состояния **X** войдут и напряжение конденсатора, и ток катушки:

. (3.3)

Независимый источник всего один, поэтому вектор независимых источников

. (3.4)

Выходная величина задана тоже всего одна:

. (3.5)

Поэтому уравнение состояния и выхода будем искать в виде

, (3.6)

. (3.7)

Топологическая матрица **F** будет иметь вид:

. (3.8)

Топологическое уравнение

 (3.9)

для данного примера будет иметь вид:

. (3.10)

В правую часть этого уравнения введём компонентные зависимости резистивных элементов и источников:

, (3.11)

, (3.12)

, (3.13)

а в левую часть – компонентные зависимости реактивных элементов:

, (3.14)

 (3.15)

В результате будем иметь уравнение:

. (3.16)

Далее при ручных расчетах удобнее всего расписать систему (3.16) по строкам в виде отдельных уравнений:

. (3.17)

За основу уравнения состояния выберем второе и пятое уравнения системы (3.17), поскольку они содержат производные переменных состояния –  и . Из правых частей этих уравнений исключим «лишние» переменные (должны остаться согласно (3.6) только переменные состояния UC, IL и независимые источники E). Для этого воспользуемся оставшимися уравнениями системы (3.17):

. (3.18)

Оставляя в левой части только производные, запишем

. (3.19)

Это и есть уравнение состояния исследуемой цепи. В нормальной (матричной) форме оно выглядит так:

. (3.20)

Для формирования уравнения выхода также воспользуемся уравнениями системы (3.17). Какими именно, зависит от указанной в задании выходной величины. Уравнение выхода также должно быть записано в матричной форме.

Например, когда выходной величиной является напряжение на катушке UL, следует вспомнить, что (по 3.15)

. (3.21)

А согласно (3.18)

. (3.22)

Перепишем его в нормальной (матричной) форме:

. (3.23)

Таким образом,

. (3.24)

В качестве ответа приводятся уравнения (3.20) и (3.23) или же (3.3), (3.4), (3.5), (3.24).

# Практическое задание 4

# *Тема 3. Методы анализа электронных схем*

## Лекция 3.7. Машинное формирование узловых уравнений на основе принципа поэлементного вклада

**Задание:** для заданной цепи рассчитать потенциалы узлов, сформировав узловое уравнение с использованием принципа поэлементного вклада.

Номер варианта выбрать по первой букве фамилии студента, руководствуясь табл. 4.1.

Таблица 4.1

Индивидуальные варианты

|  |  |
| --- | --- |
| Первая буква фамилии | Индивидуальный вариант |
| А, Б, В, Г | 1 |
| Д, Е, Ж, З | 2 |
| И, К, Л, М | 3 |
| Н, О, П, Р | 4 |
| С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Э, Ю, Я | 5 |

**Рекомендации по выполнению задания**

Решение, выполненное по образцу, поместить в файл с именем МАРЭС1\_ПЗ4\_[Фамилия]\_[Вариант].doc(x) и загрузить на проверку. (Вместо [Фамилия] вписать свою фамилию, вместо [Вариант] – цифру номера варианта. Например, «МАРЭС1\_ПЗ4\_Кудинов\_3.doc»).

**Порядок решения**

1. Составить топологический список (Т-список) заданной цепи.
2. Рассчитать вклады каждой ветви в матричные коэффициенты узлового уравнения.
3. Просуммировать вклады ветвей, сформировав тем самым узловое уравнение.
4. Подставить численные значения параметров элементов и решить узловое уравнение.

### Вариант 1

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рассчитать потенциалы узлов 1, 2, 3, 4 методом узловых потенциалов.

### Вариант 2

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рассчитать потенциалы узлов 1, 2, 3, 4 методом узловых потенциалов.

### Вариант 3

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рассчитать потенциалы узлов 1, 2, 3, 4 методом узловых потенциалов.

### Вариант 4

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рассчитать потенциалы узлов 1, 2, 3, 4 методом узловых потенциалов.

### Вариант 5

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рассчитать потенциалы узлов 1, 2, 3, 4 методом узловых потенциалов.

### Пример выполнения задания

**Задача**: для цепи, изображенной на рис. 4.1, рассчитать потенциалы узлов 1...4.



Рис. 4.1. Схема для расчета

Таблица 4.2

Т-список для цепи на рис. 4.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № ветви | Собственные параметры | | | | | | Параметры управляющей ветви | | | |
| n | k | Gi | Ji | Передаточная проводимость  ( gi ) | Коэфф. передачи  ( αi ) | n' | k' | GУ | JУ |
| 1 | 0 | 1 | G1 | J1 | – | – | – | – | – | – |
| 2 | 1 | 3 | G2 | 0 | – | α2 | 4 | 3 | G5 | 0 |
| 3 | 1 | 2 | G3 | 0 | – | – | – | – | – | – |
| 4 | 4 | 2 | G4 | 0 | – | α4 | 1 | 2 | G3 | 0 |
| 5 | 3 | 4 | G5 | 0 | – | – | – | – | – | – |
| 6 | 0 | 4 | G6 | J6 | – | – | – | – | – | – |
| 7 | 2 | 0 | – | – | g7 | – | 3 | 1 | – | – |
| 8 | 3 | 0 | – | – | g8 | – | 2 | 4 | – | – |

Вычислим и запишем вклады ветвей. Вклады первой, третьей, пятой и шестой ветвей вычисляются однотипно, как вклады простой GJ-ветви:

. (4.1)

. (4.2)

. (4.3)

. (4.4)

Вторая и четвертая ветви смешанные, содержат как простую GJ-ветвь, так и ИТУТ. Их вклады также смешанные, состоят из двух частей. Первая часть соответствует GJ-ветви, вторая – ИТУТу:

. (4.5)

. (4.6)

Седьмая и восьмая ветви содержат ИТУНы:

. (4.7)

. (4.8)

Далее суммируем вклады в заранее подготовленных массивах нужного размера: **Y** – (4×4), **I**У – (4×1). При суммировании ориентируемся на координаты клеток массивов, указанных при вычислении вкладов. Строки и столбцы с нулевым номером игнорируем:

 (4.9)

. (4.10)

Подстановка численных значений дает:



Далее решаем систему линейных алгебраических уравнений **Yφ** = **I**У (например, методом Гаусса):

. (4.11)

В результате находим узловые потенциалы:

.

Замечание. При самостоятельном оформлении в случае отсутствия удобного редактора формул для записи матриц пользуйтесь обычными таблицами. Например, допустима такая запись (используйте как шаблон):

**Y**=

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 4 | –2 | –2 | 1 |
| 2 | –4 | 4 | 1 | –1 |
| 3 | –1 | 1 | 4 | –4 |
| 4 | 1 | –2 | –2 | 4 |

Или, если номера строк и столбцов очевидны, такая:

**Y**=

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 4 | –2 | –2 | 1 |
| –4 | 4 | 1 | –1 |
| –1 | 1 | 4 | –4 |
| 1 | –2 | –2 | 4 |