

VOLUME II | ISSUE 3 | MAY-JUNE | 2024

Journal of
RESEARCH
and **INNOVATIONS**

ТАДҚИҚОТ ВА ИННОВАЦИЯЛАР | ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ

SPECIAL ISSUE

ISSN: 2181-4058

Available online at www.imfaktor.com

 **IMFAKTOR**
Science driven pages

ISSN: 2181-4058
DOI Journal 10.56017/2181-4058

ТАДҚИҚОТ ВА ИННОВАЦИЯЛАР ЖУРНАЛИ

II-ЖИЛД, 3 СОН

ЖУРНАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ
ТОМ-II, НОМЕР 3

JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATIONS
VOLUME-II, ISSUE 3

ТОШКЕНТ - 2024

ТАДҚИҚОТ ВА ИННОВАЦИЯЛАР ЖУРНАЛИ

ЖУРНАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ | JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATIONS

№ 3 (2024) DOI <http://dx.doi.org/10.56017/2181-4058-2024-3>

Бош муҳаррир:

Салимов А. – архитектура фанлари доктори, профессор

Масъул муҳаррир:

Кадиров К. – филология фанлари номзоди, доцент

Таҳририят аъзолари:

1. Закиров Х. – қишлоқ хўжалиги фанлари номзоди, профессор
2. Гулмуродов Р. – қишлоқ хўжалиги фанлари доктори, профессор
3. Якубжон Хатамович Юлдашов – қишлоқ хўжалик фанлари номзоди, профессор,
4. Камалова Дильфуза Энуаровна – филология ф.б.ф.д (PhD)
5. Раззақов Шухрат Турсунович – техника фанлари номзоди, доцент
6. Чоршанбиев Шухрат Махматмуродович – техника ф.б.ф.д. (PhD), доцент
7. Нематов Эркинжон Ҳамроевич – техника ф.б.ф.д (PhD), доцент
8. Бобокалонов Одилшоҳ Остонович – филология ф.б.ф.д (PhD)
9. Абдуллаева Садокат Шоназаровна – техника ф.б.ф.д (PhD)
10. Шарипов Козимжон Комилжонович – техника ф.б.ф.д (PhD)
11. Норматов Ғайрат Алижанович – техника ф.б.ф.д (PhD)
12. Бозорова Гульмира Зайниддиновна – филология ф.б.ф.д (PhD)
13. Убайдуллаев Фарход Бахтияруллаевич – қишлоқ хўжалиги ф.б.ф.д (PhD)
14. Каримова Дилафрўз Ҳалимовна Филология – филология ф.б.ф.д (PhD)
15. Маҳмудова Муаттар Мақсатуллаевна – филология ф.б.ф.д (PhD)
16. Юлдашева Дилафруз Махамадалиевна – филология фанлари доктори

“Тадқиқот ва инновациялар” журнали 2022 йил 22 декабрь куни № 054912-сонли гувоҳнома билан оммавий ахборот воситаси сифатида давлат рўйхатидан ўтказилган.

Мазкур журнал 6 та халқаро маълумотлар базаларида индексланган бўлиб, жорий йил учун UIF 2023 = 7.1 “импакт-фактор” кўрсаткичига эга. Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясининг 2023 йил 24 июлдаги 01-02/1199-сонли хатига мувофиқ ушбу журналда чоп этилган мақолалар хорижий мақолалар сифатида тан олинади.

Саҳифаловчи\Page Maker\Верстка: Абдураҳмон Хасанов

Таҳририят манзили: Тошкент шаҳар, Учтепа тумани, “Ватан” МФЙ, Чилонзор 24-мавзеси, 2/27-уй. Почта индекси 100152. Веб-сайт: www.imfaktor.uz/com

Телефон номер: +99894-410 11 55, **E-mail:** tahririyat@imfaktor.uz

© “ИМФАКТОР Pages” илмий нашриёти, 2024 йил.

© Муаллифлар жамоаси, 2024 йил.

ТАДҚИҚОТ ВА ИННОВАЦИЯЛАР ЖУРНАЛИ

ЖУРНАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ | JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATIONS

МАНАКОВ Александр Демьянович

д.т.н., профессор кафедры

«Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

ИФГБОУ ВО

«Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I»,

г. Санкт-Петербург, Россия

РАХМОНБЕРДИЕВ Абдулазиз Абдимажитович

ассистент кафедры «Автоматики и телемеханики»,

Ташкентский государственный транспортный университет,

г. Ташкент, Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12593547>

МЕТОДЫ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

АННОТАЦИЯ

В данной статье проведено детальное исследование и сравнительный анализ трех основных методов анализа сложных электрических схем: метода узловых потенциалов, метода контурных токов и метода переменных состояния. Анализ позволил выявить сильные и слабые стороны каждого метода, а также их применимость и эффективность в различных условиях. Несмотря на широкое применение метода узловых потенциалов и метода контурных токов, они требуют обращения параметрических матриц и решения интегро-дифференциальных уравнений, что делает их использование трудоемким и затратным по времени.

В отличие от них, метод переменных состояния показывает высокую эффективность и точность при анализе схем с нелинейными элементами, формулируя систему дифференциальных уравнений первого порядка без обращения параметрических матриц. Это упрощает процесс решения и сокращает временные затраты. Таким образом, метод переменных состояния является наиболее подходящим для анализа сложных электрических схем, обеспечивая быструю и точную оценку с минимальными затратами ресурсов, что подтверждает его предпочтительность для практического применения в области автоматизации и телемеханики на железных дорогах.

Ключевые слова: методы анализа сложных электрических схем, математическое моделирование, метод узловых потенциалов, метод контурных токов, метод переменных состояния, законы токов и напряжений Кирхгофа, параметрическая матрица, топологическая матрица, транспонированная матрица.

MURAKKAB ELEKTR SXEMALARINI TAHLIL QILISH USULLARI

ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada murakkab elektr sxemalarni tahlil qilishning uchta asosiy usuli: tugunli potentsiallar usuli, kontur toklar usuli va holat o'zgaruvchilari usulining batafsil o'rganilishi va solishtirma tahlili amalga oshirildi. Tahlil har bir usulning kuchli va zaif tomonlarini, shuningdek, ularning qo'llanilishi va samaradorligini turli sharoitlarda aniqlash imkonini berdi. Tugunli potentsiallar usuli va kontur toklar usulining keng qo'llanilishiga qaramay, ular parametrik matritsalarini va integratsion-differensial tenglamalarni yechishni talab qiladi, bu esa ularning qo'llanishini mehnat talab qiladigan va vaqtni talab qiladigan holga keltiradi.

Ulardan farqli o'laroq, holat o'zgaruvchilari usuli, chiziqli bo'lmagan elementlarga ega bo'lgan sxemalarni tahlil qilishda yuqori samaradorlik va aniqlikni namoyish etadi, parametrik matritsalarini qayta ishlashsiz birinchi tartibli differensial tenglamalar tizimini shakllantiradi. Bu yechish jarayonini sezilarli darajada soddalashtiradi va vaqt sarfini kamaytiradi. Shunday qilib, holat o'zgaruvchilari usuli murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish uchun eng maqbul usul bo'lib, resurslarni minimal sarflab, tez va aniq baholashni ta'minlaydi, bu uning avtomatizatsiya va temir yo'llarda telemexanika sohasida amaliy qo'llanish uchun afzalligini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullari, matematik modellashtirish, tugunli potentsiallar usuli, kontur toklar usuli, holat o'zgaruvchilari usuli, Kirxgofning tok va kuchlanish qonunlari, parametrik matritsa, topologik matritsa, transpozitsiyalangan matritsa.

METHODS OF ANALYSIS OF COMPLEX ELECTRICAL CIRCUITS

ANNOTATION

This paper presents a detailed study and comparative analysis of three main methods of analyzing complex electrical circuits: the nodal potential method, the loop current method, and the state variable method. The analysis revealed the strengths and weaknesses of each method, as well as their applicability and efficiency under various conditions. Despite the widespread use of the nodal potential method and the loop current method, they require the inversion of parametric matrices and the solution of integro-differential equations, making their use labor-intensive and time-consuming. In contrast, the state variable method demonstrates high efficiency and accuracy in analyzing circuits with nonlinear elements, formulating a system of first-order differential equations without the need for inverting parametric matrices.

This significantly simplifies the solving process and reduces time costs. Thus, the state variable method is the most suitable for analyzing complex electrical circuits, providing quick and accurate assessment with minimal resource expenditure, confirming its preference for practical application in the field of automation and telemechanics on railways.

Key words: methods of analysis of complex electrical circuits, mathematical modeling, method of nodal potentials, method of loop currents, method of state variables, Kirchhoff's laws of currents and voltages, parametric matrix, topological matrix, transposed matrix.

Введение

Известно, что метод узловых потенциалов, метод контурных токов и метод переменных состояния нашли применения в программах анализа сложных электрических схем [1].

При этих методах определяются токи и напряжения в каждом элементе, из которых определяются все интересующие характеристики схемы в целом. На основе этих методов лежат законы токов и напряжений Кирхгофа и соотношений токов и напряжений для каждого элемента в отдельности.

С помощью графа, который образуется заменой всех элементов линиями и перенесением на них направлений токов, а для источников напряжений указанием их полярности представляется конфигурация схемы для реализации этих методов. Структура схемы отражается с помощью топологических матриц. Следовательно, на основании топологических матриц составляются векторно-матричные уравнения цепей. Составления матричных уравнений, отражающих соотношения токов и напряжений элементов осуществляются на основе параметрических матриц, в котором представляются параметры элементов схемы. Полученная система матричных уравнений решается соответствующими численными методами [1].

1. Метод узловых потенциалов

Метод узловых потенциалов используется в тех случаях, когда в исследуемой электрической цепи количество узлов равно или меньше количества независимых контуров [2].

Этот метод позволяет получить векторно-матричное уравнение для всех узловых потенциалов в схеме. При этом вектор потенциалов узловых точек ($V^y(t)$) имеет следующий вид

$$V^y(t) = -(\mathbf{A} \cdot \mathbf{Y} \cdot \mathbf{A}^T)^{-1} \cdot \mathbf{A} \cdot \theta. \quad (1)$$

Из выражения (1): \mathbf{A} – матрица узлов; \mathbf{Y} – диагональная матрица проводимостей; \mathbf{A}^T – транспонированная \mathbf{A} – матрица; θ – вектор неизвестных величин токов источников напряжения.

В системе уравнений (1) число строк равно ($N^y - 1$), где N^y – число узловых точек. Уравнение (1) представляет собой совокупность интегро-дифференциальных уравнений. В этих дифференциальных уравнениях токи в ёмкостях определяются через производную, а токи в индуктивностях через интеграл функций напряжений соответствующих реактивных элементов.

2. Метод узловых потенциалов

Следующий метод - это метод контурных токов, являющийся одним из основных методов расчета сложных электрических цепей, которым широко пользуется на практике. Этот метод заключается в том, что вместо токов в ветвях определяются на основании второго закона Кирхгофа так называемые контурные токи, замыкающиеся в контурах [3].

В методе контурных токов используется система уравнений относительно контурных токов, полученная путем преобразования уравнений Кирхгофа и соотношений токов и напряжений всех элементов схемы. Вектор контурных токов ($I^c(t)$) показан в выражении (2):

$$I^c(t) = -(\mathbf{B} \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{B}^T)^{-1} \cdot \mathbf{B} \cdot V, \quad (2)$$

где \mathbf{Z} – диагональная матрица сопротивлений элементов; V – вектор неизвестных величин напряжения источников тока; \mathbf{B} – матрица контуров; \mathbf{B}^T – транспонированная \mathbf{B} – матрица.

Выражение (2) является векторно-матричным уравнением, в котором определяются относительно всех контурных токов связей графа.

Использование метода узловых потенциалов, как и метода контурных токов, требует обращения параметрических матриц (см. (1) и (2)). В первом случае – матрицы ($\mathbf{A} \cdot \mathbf{Y} \cdot \mathbf{A}^T$), во втором – матрицы ($\mathbf{B} \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{B}^T$). Обращение матриц является наиболее трудоемкой среди всех операций над матрицами. Это требует больших затрат времени.

3. Метод переменных состояния

Известно, что с энергией, накопленной в реактивных элементах, а также независимыми источниками напряжений и токов определяется состояние схемы. Заряд конденсаторов и потокосцепление катушек индуктивности являются переменными состояниями. Напряжения на емкостях и токи в индуктивностях считаются переменными состояниями при постоянных значениях емкостей и индуктивностей.

С помощью метода переменных состояния, возможно выразить напряжения на индуктивностях и токи через емкости, а также напряжения и токи нереактивных элементов схемы ($y(t)$), через переменные состояния ($x(t)$) и независимые источники напряжения и тока ($u(t)$).

Если известны независимые источники тока и напряжения $u(t)$ и заданы начальные значения переменных состояния ($x(t)$), то по уравнениям (3) и (4) определяются вектор напряжений и токов нереактивных элементов – $y(t)$, а также – напряжения на индуктивностях и токи через емкости для начального момента времени.

$$\dot{x}(t) = f_1[x(t), u(t)], \quad (3)$$

$$y(t) = f_2[x(t), u(t)]. \quad (4)$$

Определяются значения переменных состояния, т. е. вектор $x(t)$ для конца определенного интервала времени (шаг интегрирования) при решении дифференциального уравнения (3). Полученное значение вектора $x(t)$ принимается как начальное значение для следующего шага интегрирования. Далее операции повторяются заданное число раз [1].

Топологическая матрица контур-ветвь (F -матрице) сформирует основу алгоритма метода переменных состояния. Уравнения токов и напряжений Кирхгофа, выраженными через F -матрицу используются при методе переменных состояния.

$$U^C(t) = -F \cdot U^B, \quad (5)$$

$$I^B(t) = -F^T \cdot U^C. \quad (6)$$

В выражениях (5) и (6): $U^C(t)$, $I^C(t)$ – векторы напряжений и токов связей линейного направленного графа схемы; $U^B(t)$, $I^B(t)$ – векторы напряжений и токов ветвей линейного направленного графа схемы; F^T – транспонированная F -матрица.

4. Сравнения методов анализа сложных электрических схем по основными характеристиками

Осуществлена сравнения методов анализа сложных электрических схем по основными характеристиками. Результаты сравнения вышеуказанных методов анализа сложных электрических схем приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица методов анализа сложных электрических схем

Основные характеристики методов	Методы анализа сложных электрических схем		
	Метод узловых потенциалов	Метод контурных токов	Метод переменных состояния
Применение законов токов и напряжений Кирхгофа	Да	Да	Да
Применение интегро-дифференциальных уравнений	Да*	Да*	Нет
Использование параметрических матриц	Да**	Да**	Нет
Топологическая матрица	Нет	Нет	Да

Не требует больших затрат времени	Нет	Нет	Да
Возможность получения системы дифференциальных уравнений первого порядка	Нет	Нет	Да
Применимость к нелинейным элементам	Ограничена	Ограничена	Высокая
Простота решения уравнений	Низкая (требуется обращение матриц)	Низкая (требуется обращение матриц)	Высокая (не требуется обращение матриц)
Точность анализа	Высокая, но трудоемкая	Высокая, но трудоемкая	Высокая и эффективная
Преимущества	Точность, применимость в теории	Точность, применимость в теории	Высокая эффективность и точность, простота использования, быстрые вычисления
Недостатки	Трудоемкость, временные затраты	Трудоемкость, временные затраты	Нет значительных недостатков

Примечания:

*Интегро-дифференциальные уравнения сложнее, чем дифференциальные уравнения первого порядка, и их решение требует больших затрат времени;

**Обращение параметрических матриц является наиболее трудоемкой операцией среди всех операций над матрицами и требует больших затрат времени.

В методе переменных состояния количество дифференциальных уравнений равно количеству реактивных элементов схемы. Преимущество метода переменных состояния в том, что не требует обращения параметрических матриц и дает возможность получить просто решаемые дифференциальные уравнения первого порядка. Результаты сравнения вышеуказанных методов анализа сложных электрических схем приведены в таблице 1.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что метод переменных состояния является наиболее эффективным и точным для анализа сложных электрических схем, особенно тех, которые содержат нелинейные элементы. В отличие от метода узловых потенциалов и метода контурных токов, которые требуют обращения параметрических матриц и решения интегро-дифференциальных уравнений, метод переменных состояния позволяет формулировать систему первого порядка дифференциальных уравнений, что значительно упрощает процесс решения и сокращает временные затраты.

Преимущество метода переменных состояния заключается не только в его способности обеспечивать высокую точность и быстроту анализа, но и в минимизации трудозатрат и вычислительных ресурсов. Это делает данный метод особенно полезным для практического применения в области автоматизации и телемеханики на железных дорогах, где оперативность и точность анализа имеют критическое значение.

Таким образом, результаты исследования подчеркивают, что метод переменных состояния должен рассматриваться как предпочтительный инструмент для анализа сложных электрических схем, обеспечивая более эффективное и рациональное использование ресурсов.

IQTIBOSLAR. СНОСКИ. REFERENCES.

1. Чахмахсаян, Е.А. Машинный анализ интегральных схем. Вопросы теории и программирования / Е.А. Чахмахсаян, Ю.Н. Бармаков, А.Э. Гольденберг. - М.: Советское радио, 1974. - 272 с.
2. Шакурский В.К. Теоретические основы электротехники: в 2 ч. Ч.1. Аналитические и численные методы анализа установившихся режимов в электрических цепях: учебное пособие / В.К. Шакурский. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. – 219 с.
3. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: Учебное пособие. 7-е изд., стер. /Г.И. Атабеков. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009. – 592 с.

ISSN: 2181-4058
DOI Journal 10.56017/2181-4058

ТАДҚИҚОТ ВА ИННОВАЦИЯЛАР ЖУРНАЛИ

II-ЖИЛД, 3 СОН

ЖУРНАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ
ТОМ-II, НОМЕР 3

JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATIONS
VOLUME-II, ISSUE 3

«Тадқиқот ва инновациялар» электрон журнали 2022 йил 22 декабрь куни № 054912-сонли гувоҳнома билан оммавий ахборот воситаси сифатида давлат рўйхатидан ўтказилган.

Муассис: «IMFAKTOR Pages» масъулияти чекланган жамияти.

Таҳририят манзили: 100152, Тошкент шаҳри, Учтепа тумани, “Ватан” МФЙ, Чилонзор 24-мавзеси, 2-уй.

Телефон номер: +99894-410 11 55

Эл. почта: tahririyat@imfaktor.uz

Веб-сайт: www.imfaktor.uz