

Затверджено науково-методичною
радою ЖДТУ
протокол від «__» _____ 20__ р. №__

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для самостійної роботи студентів
з навчальної дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. Ч.1»

для студентів освітнього рівня «БАКАЛАВР»
денної форми навчання
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Розглянуто і рекомендовано
на засіданні кафедри А та КІТ ім.
проф. Б.Б. Самотокіна
протокол від 31.01.2018 р.
№ 5

Розробник: доц. Каргополова Н.П.

Н.П. Каргополова . Методичні вказівки до самостійної роботи над курсом
"Електротехніка та електромеханіка. Ч.1". – Житомир, 2018. – 19 с.

Укладач: Н.П. Каргополова

Відповідальний редактор: Ткачук А.Г.

Рецензент: Добржанський О.О.

Метою даних методичних вказівок є допомога студенту правильно організувати свою самостійну роботу над вивченням дисципліни «Електротехніка»

Основні види домашньої самостійної роботи над курсом «Електротехніка»:

- вивчення лекційного курсу;
- самостійне вивчення за літературними джерелами теоретичних запитань, рекомендованих викладачем згідно з робочою програмою;
- підготовка до практичних занять та розв'язок задач по курсу;
- виконання завдань розрахунково-графічної роботи;
- підготовка до виконання лабораторних робіт та оформлення звітів про експериментальні дослідження.

Графік самостійної роботи складається у робочій програмі дисципліни і доводиться до відома студентів на початку вивчення дисципліни. Перевірка виконання домашніх завдань здійснюється регулярно на практичних та лабораторних заняттях, під час проведення контрольних робіт і проміжного тестового контролю.

Усі види контролю роботи над вивченням дисципліни відповідно оцінюються викладачем і складають рейтингову оцінку роботи студента протягом семестр.

1. ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО КУРСУ

Вивчення лекційного курсу містить у собі засвоєння матеріалу, який викладено на лекціях, за допомогою конспектів лекцій і рекомендованої лектором літератури.

Електротехніка – це галузь науки і техніки, яка займається практичним використанням електромагнітних явищ. Вивчення цієї дисципліни базується на знанні наступних основ, що вивчаються в курсах фізики і математики:

- поняття про електричні, магнітні, енергетичні і механічні величини та одиниці їх вимірювання: заряд, потенціал, струм, напруга, електрорушійна сила, опір, провідність, частота і кутова частота, магнітні потік і індукція, потужність та ін.;
- закони електромагнетизму: закон Кулона, закон Ома, Закон Джоуля-Ленца, закони Кірхгофа, закон електромагнітної індукції та ін.
- математичні основи: диференціювання й інтегрування елементарних функцій, операції з комплексними числами і векторами, розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь.

Особливістю вивчення курсу електротехніки в ЖДТУ є наявність основного навчального посібника, написаного у відповідності з програмою дисципліни для даної спеціальності. Він являє собою повний лекційний курс з великою кількістю прикладів усіх практичних розрахунків по розділах та

завданнями для самостійної роботи дисципліни. Цей посібник студенти мають собою на усіх видах аудиторних занять з електротехніки. При такій організації роботи над курсом оптимізується конспектування лекцій. Більше уваги удається приділити осмисленню тексту лекцій під час її викладання, що дозволяє скоротити час позааудиторної роботи з вивчення курсу. Зрозумівши зміст, фіксувати треба не дуже багато – лише хід думок, необхідні схеми електричних кіл та основні міркування і логіку використання математичних співвідношень для аналізу цих схем. Викладач, як правило концентрує увагу студентів на тому, що потрібно внести в конспект. Оскільки основна частина курсу електротехніки присвячена методом практичних розрахунків роботи електричних кіл та пристроїв, то записавши основні положення теорії, студенти, відкривши навчальний посібник, разом з викладачем аналізують наведений там числовий приклад розрахунку. При подальшому опрацюванні курсу дома необхідно спільно використовувати конспект і посібник.

При опрацюванні розділів дисципліни треба звернути увагу на головні моменти, необхідні для розуміння основних явищ у електричних колах та їх теоретичного обґрунтування.

Основними законами електричного стану будь-якого кола являються закони Ома і Кірхгофа. Якщо коло містить один активний елемент (джерело електричної енергії), то, у ряді випадків, розрахунок схем найбільш раціонально вести за допомогою методу перетворень. При цьому треба пам'ятати, що в усіх перетвореннях заміна одних схем іншими, їм еквівалентними, не повинна призводити до зміни струмів або напруг на ділянках кола, які не піддалися перетворенням (заміна послідовно або паралельно сполучених опорів еквівалентними, перетворення трикутника опорів в зірку, або навпаки). Для швидкого і правильного розрахунку електричних кіл за допомогою законів Кірхгофа необхідно набути навичок в складанні рівнянь на підставі цих законів.

Закони Кірхгофа застосовують для знаходження струмів в гілках лінійних і нелінійних схем при будь-якому законі зміни в часі струмів і напруг. Прийнято користуватися приведеним нижче **алгоритмом методу законів Кірхгофа.**

1. Довільно вибирають напрями струмів в вітках і позначають їх на схемі.
2. Складають рівняння по першому закону Кірхгофа: на одне рівняння менше числа вузлів (для останнього вузла рівняння буде залежним від попередніх рівнянь).
3. Вибирають незалежні (головні) контури і напрям їх обходу. Зручно для усіх контурів вибрати однаковий напрям обходу.
4. Записують рівняння за другим законом Кірхгофа для вибраних контурів.
5. Розв'язують отриману систему рівнянь, визначають шукані струми.

Література: [1, с. 7-23]

Метод накладання заснований на властивості суперпозиції, справедливій тільки для лінійних кіл, і застосовується для визначення струмів в вітках схеми

з декількома джерелами. Спочатку знаходять струми в заданій вітці по черзі від кожного джерела, а за тим їх алгебрично складають. Схему розраховують стільки разів, скільки джерел діє в схемі.

Література: [1, с. 52-53]

Лінійне електричне коло будь-якого виду можна також розрахувати методом контурних струмів або методом вузлових потенціалів.

У методі контурних струмів за основні невідомі величини приймають контурні струми, які замикаються тільки по незалежних (головних) контурах. Контурні струми знаходять, розв'язуючи систему рівнянь, складену за другим законом Кірхгофа для кожного контура. За знайденими контурними струмами визначають струми віток схеми. Для цього методу рекомендується користуватися наступним алгоритмом.

1. Задаються напрямом струмів віток і позначають їх на схемі.

2. Визначають незалежні контури і їх нумерують. За наявності в схемі джерел струму незалежні контури, для яких складаються рівняння, можна визначити, якщо подумки видалити джерела струму.

3. Вибирають напрям контурних струмів (бажано - в один бік) і складають рівняння по методу контурних струмів, обходячи кожен контур у напрямі його контурного струму.

4. Отриману систему алгебраїчних рівнянь вирішують відносно контурних струмів.

5. Шукані струми знаходять як алгебраїчну суму контурних струмів, що проходять по даній гілці. Струми в гілках зв'язку дорівнюють контурним струмам.

Література: [1, с. 23-29]

У методі вузлових потенціалів за допоміжні величини приймають потенціали вузлів схеми. При цьому потенціалом одного з вузлів задаються, зазвичай вважаючи його рівним нулю. Цей вузол називають *опорним*. Потім для кожного вузла схеми, крім опорного, складають систему рівнянь методом вузлових потенціалом. За знайденими потенціалами вузлів знаходять струми віток за узагальненим законом Ома.

В той же час, відмітимо, що метод вузлових потенціалів без попереднього перетворення схеми не можна застосовувати до схем з взаємною індуктивністю і до схем, що містять декілька віток тільки з ідеальними джерелами ЕРС (без пасивних елементів), не мають загального вузла. У останньому випадку необхідно ідеальні джерела перенести на відповідні вузли в вітці з пасивними елементами.

Література: [1, с. 29-34]

Метод двох вузлів є окремим випадком методу вузлових потенціалів. Він застосовується для визначення струмів у вітках схеми з двома вузлами і довільним числом паралельних активних і пасивних віток.

Література: [1, с. 36-37]

Метод еквівалентного генератора ґрунтується на теоремі про активний двухполюсник та еквівалентний генератор.

Складну розгалужену схему розглядають як активний двухполюсник по відношенню до вітки з шуканим струмом, який визначають за формулою $I = U_{xx} / (R_{Bx} + R)$, де U_{xx} - напруга холостого ходу між затискачами підключеного пасивного елемента R у вітці з шуканим струмом; R_{Bx} - вхідний опір пасивного двухполюсника щодо розімкнутих затискачів.

Алгоритм методу

1. Визначають напругу холостого ходу U_{xx} . Для цього вітку з шуканим струмом розривають, викидають опір і оставляють ЕРС в цій вітці, якщо вона є.
2. Задаються напрямком струмів у вітках схеми, що залишилася після розмикання вітки. Записують вираз для напруги U_{xx} між роз'єднаними затискачами за другим законом Кірхгофа. У це рівняння увійде ЕРС розімкнутої вітки.
3. Раціональним методом розраховують струми в схемі, що увійшли до формули напруги U_{xx} .
4. Визначають вхідний опір двухполюсника щодо розімкнутих затискачів.
5. Відповідно до вихідного рівняння визначають шуканий струм вітки.

Література: [1, с. 54-56]

Прості нелінійні схеми постійного струму розраховують графічним способом. При цьому вважаються відомими вольт-амперні характеристики (ВАХ) нелінійних елементів, що входять до схеми.

Нелінійний елемент, ВАХ якого в робочому діапазоні наближено можна зобразити прямолінійною ділянкою, замінюють послідовним з'єднанням лінійного резистивного елемента з джерелом ЕРС. При цьому опір лінійного елемента приймається рівним диференційному опору нелінійного елемента в робочій точці його ВАХ.

Нелінійний елемент в області робочої точки характеристики можна також замінити паралельним з'єднанням джерела струму з лінійним елементом, провідність якого дорівнює диференційній провідності нелінійного елемента в цій точці.

Розгалужена схема з нелінійним елементом може бути розрахована методом еквівалентного генератора. При цьому замінюють лінійну частину (по відношенню до нелінійного елементу) еквівалентним джерелом. Отримане коло послідовного з'єднання джерела, лінійного та нелінійного елементів розраховують графічно.

Розв'язок нелінійних рівнянь, що описують нелінійні кола з двома вузлами, також проводять графічно. При цьому всі рівняння необхідно будувати в однаковому масштабі, на одному графіку у функції вузлової напруги.

Література: [1, с. 368-404]

Розрахунок магнітних кіл ґрунтується на законі повного струму. Наслідком цього закону є закони Кірхгофа для магнітних кіл, аналогічні законам Кірхгофа для електричних кіл. Розрахунок магнітних кіл, виконаних з феромагнітних матеріалів, аналогічний розрахунку електричних кіл з нелінійними елементами.

При вивченні методів розрахунку магнітних кіл слід звернути особливу увагу на два основні типи завдань. В одних завданнях зазвичай задається магнітний потік і потрібно визначити намагнічуючу силу або струми в обмотках (пряма задача); в інших завданнях відомі струми або намагнічуюча сила обмоток, потрібно знайти магнітні потоки в відповідних ділянках магнітного кола (зворотна задача). Завдання другого типу набагато складніші перших, тому що для визначення магнітних потоків за заданими намагнічуючими силами найчастіше доводиться будувати допоміжні характеристики, що являють собою залежності магнітних потоків від магнітних напруг відповідних ділянок магнітного кола.

Література: [1, с. 411-423]

Розрахунок електричних кіл при синусоїдних струмах і напругах значно спрощується із застосуванням комплексних чисел. Тому необхідно ретельно вивчити і зрозуміти принципи зображення векторів синусоїдних коливань у вигляді комплексів в осях комплексних площин, засвоїти зворотний перехід - від комплексів струму, напруги і ЕРС до їх миттєвих значень.

Важливо засвоїти співвідношення між струмами і напругами для ідеалізованих елементів електричних кіл у вигляді активних опорів, індуктивностей і ємностей. Треба пам'ятати, що струм в активному опорі збігається за фазою з напругою на його затискачах, струм в індуктивності відстає, а в ємності - випереджає відповідні напруга на чверть періоду.

При вивченні властивості ідеалізованих елементів електричних кіл слід враховувати, що реактивні опору індуктивності і ємності є функції частоти і за допомогою цих опорів враховується вплив відповідно ЕРС самоіндукції і струмів сплину на режим кола. Необхідно запам'ятати формули комплексів

опорів і провідностей для кіл з різними елементами. Крім того, корисно встановити аналітичним і графічним шляхом (користуючись векторною діаграмою) зв'язок між активними і реактивними складовими струмів і напруг для пасивного двухполосника з випереджаючим і з відстаючим струмами.

Всі методи розрахунку лінійних електричних кіл при постійних струмах і напругах цілком поширюються на електричні кола без взаємної індуктивності при синусоїдних струмах і напругах. При цьому струми, ЕРС і опори повинні бути записані в рівняння електричного стану у вигляді комплексів. Основними законами, що застосовуються для розрахунку електричних кіл, є закони Кірхгофа.

Корисною ілюстрацією розрахунку будь-якого електричного кола є його **топографічна діаграма**, яка дозволяє знаходити графічним шляхом напруги між будь-якими точками електричного кола без додаткових обчислень.

Література: [1, с. 65-101]

У колах з взаємною індуктивністю з'являється новий різновид складових напруги, обумовлений ЕРС взаємної індуктивності. У зв'язку з цим розрахунок кіл з взаємною індуктивністю складніший від розрахунку кіл аналогічної конфігурації без взаємної індуктивності. На прикладах порівняно легко засвоїти методику розрахунку таких кіл. Важливим для практики прикладом кіл із взаємною індуктивністю є трансформатор без феромагнітного осердя.

Література: [1, с. 113-131]

Аналіз схем при негармонійних впливах оснований на їхньому розкладанні у тригонометричний ряд Фур'є з подальшим застосуванням методу накладання. Важливо засвоїти, чому струми і напруги у вітках схеми визначають від кожної складової (гармоніки) ряду Фур'є окремо. Усвідомити, чому джерело негармонічної ЕРС (напруги) можна розглядати як послідовне з'єднання в загальному випадку джерела постійної ЕРС і гармонійних джерел, відповідно до складових ряду Фур'є.

Необхідно запам'ятати, що струми (напруги) від гармонічних джерел зручно знаходити комплексним методом, враховуючи, що комплексні опору віток (елементів) залежать від частоти відповідної гармоніки $k\omega$. Наприклад, $Z_k = R + jk\omega L - j/(k\omega C)$. Як наслідок - для постійної складової напруга на індуктивному елементі $U_L = 0$, що рівнозначно короткому замиканню індуктивного елемента L , а напруги на ємнісному елементі $U_C = \infty$ (розмикання вітки з ємнісним елементом).

При аналізі та розрахунку електричних кіл необхідно чітко усвідомлювати фізичний і математичний зміст основних величин і коефіцієнтів несинусоїдного струму, які наведені нижче.

Миттєве значення періодичного несинусоїдного струму представлено рядом Фур'є:

$$i(t) = I_o + I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1) + I_{m2} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + I_{mn} \sin(n\omega t + \varphi_n) + \dots$$

Діюче (або середньоквадратичне) значення вимірюється приладами електромагнітної, теплової та інших систем.

При виконанні конкретних завдань рекомендується дотримуватися **наступного алгоритму розрахунку**.

1. Заданий аналітичний вираз для напруги джерела ЕРС розкладають в ряд Фур'є (або користуються його табличним представленням):

$$u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{m_k} \sin(k\omega t + \psi_k).$$

2. Розраховують струми (напруги), створювані нульової гармонікою (постійною складовою) джерела ЕРС при $k = 0$. У вихідній схемі закорочуються індуктивні елементи (напруги дорівнюють нулю), а в з ємнісними елементами розмикають (струми рівні нулю). Застосовують методи аналізу схем постійного струму.

3. Визначають комплексні амплітуди струмів $\dot{I}_{m_1} = I_{m_1} e^{i\varphi_k}$ (напруг) перших гармонік по схемі, записуючи комплексну амплітуду першої гармоніки ЕРС і комплексні опору реактивних елементів:

$$\underline{Z}_{L_1} = j\omega L; \underline{Z}_{C_1} = -j/\omega C$$

4. Знаходять послідовно комплексні амплітуди струмів $\dot{I}_{m_k} = I_{m_k} e^{i\varphi_k}$ (напруг) вищих гармонік ($k > 1$). Для кожної гармоніки обчислюють опір реактивних елементів $\underline{Z}_{L_k} = jk\omega L; \underline{Z}_{C_k} = -j/k\omega C$, за знайденими комплексними амплітудами струмів записують вирази миттєвих значень кожної гармоніки:

$$i_k = I_{m_k} \sin(k\omega t + \psi_k - \varphi_k).$$

5. Миттєве значення шуканого струму представляють у вигляді суми миттєвих значень всіх гармонічних складових струмів:

$$i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{m_k} \sin(k\omega t + \psi_k - \varphi_k).$$

Література: [1, с. 153-156]

Трифазне коло – це сукупність трьох електричних кіл, в яких діють синусоїдні ЕРС однієї частоти, зсунуті по фазі відносно один одного на кут 120° . Таке трифазне коло називається симетричним. У симетричному трифазному колі сума ЕРС, напруг або струмів в будь-який момент часу дорівнює нулю:

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0,$$

або, для миттєвих значень,

$$e_A + e_B + e_C = 0.$$

У симетричному трифазному колі комплексні опори складових його фаз однакові.

Для симетричної трифазної системи при з'єднанні зіркою існують наступні залежності між лінійними і фазними напругами і струмами:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}; \quad I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}.$$

Для симетричної трифазної системи при з'єднанні трикутником лінійні та фазні напруги і струми зв'язані співвідношеннями:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}; \quad I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}.$$

Потужність у симетричній трифазній системі

$$P = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}} \cos\varphi_{\text{ф}} = 3U_{\text{ф}}I_{\text{ф}} \cos\varphi_{\text{ф}}.$$

Розрахунки несиметричних трифазних кіл можуть бути проведені за допомогою законів Кірхгофа або будь-якого методу розрахунку електричних кіл.

Література: [1, с. 133-153]

Частина електричного кола, розглянута по відношенню до будь-яких двох пар її затискачів, називається **чотириполюсником**.

Важливо засвоїти, що основний зміст теорії чотириполюсника полягає в можливості знаходити струми і напруги на вході і виході чотириполюсника, користуючись деякими узагальненими параметрами чотириполюсника.

Складне електричне коло (наприклад, канал зв'язку), що має вхідні і вихідні затискачі, може розглядатися як сукупність складових чотириполюсників, з'єднаних за певною схемою.

Теорія чотириполюсника дозволяє обчислити параметри такого складного чотириполюсника за параметрами складових чотириполюсників і таким чином отримати аналітичну залежність між струмами і напругами на вході і виході результуючого складного чотириполюсника, не розраховуючи струми та напругу всередині заданої схеми.

Електричні величини, що отримуються таким шляхом на вході і виході, дозволяють оцінити режим роботи передачі в цілому. При цьому користування узагальненими параметрами чотириполюсника дає можливість зіставляти і правильно оцінювати передаючі властивості електричних кіл, різних за своїм типом і структурою.

Теорія чотириполюсників дозволяє також вирішити задачі синтезу, тобто знаходити структуру та елементи чотириполюсника за заданими характеристиками.

Для успішного розв'язку завдань студент повинен чітко усвідомити наступні розділи теорії:

1. Рівняння пасивних чотириполюсників, їх параметри.
2. Схеми, еквівалентні чотириполюснику. Вхідні опори чотириполюсника при довільному навантаженні, холостому ході, короткому замиканні.
3. Різні форми запису рівнянь чотириполюсника. Застосування матриць.

4. Характеристичні параметри чотириполюсників – характеристичні опори і коефіцієнт розповсюдження.

Література: [1, с. 171-193]

Перехідні процеси характеризують роботу кола при його переході від одного усталеного режиму до іншого, теж усталеного.

Такий перехід може бути викликаний зміною параметрів або схеми кола, що називається у загальному випадку в електротехніці **комутацією**.

Можна теоретично вважати, що комутація кола проводиться миттєво, тобто на включення, вимикання або перемикавання кола час не витрачається. Тим не менш, перехід від початкового режиму роботи кола до подальшого сталого процесу відбувається не миттєво, а протягом деякого часу.

Пояснюється це тим, що кожному стану кола відповідає певний запас енергії електричних і магнітних полів. Перехід до нового режиму пов'язаний з наростанням або згасанням енергії цих полів. Енергія $W_L = \frac{Li_L^2}{2}$, що запасається в магнітному полі індуктивності L , і енергія $w_c = \frac{Cu_c^2}{2}$, що запасається в електричному полі ємності C , не можуть змінюватися миттєво: енергія може змінюватися безперервно, без стрибків, тому що в протилежному випадку потужність, що дорівнює похідній енергії за часом, сягала б нескінченних значень, що фізично неможливо. Саме тому, наприклад, у випадку розмикання гілки з індуктивною котушкою, в місці розмикання неминує виникати іскра, в опорі якої витрачається енергія, накопичена в магнітному полі індуктивної котушки. Аналогічно, якщо замкнути затискачі конденсатора, який був попередньо заряджений, то запасена в ньому електрична енергія розсіюється в опорі, що з'єднує дроти, і між контактами.

Таким чином, фізично перехідні процеси являють собою процеси переходу від енергетичного стану відповідного докомутаційного режиму до енергетичного стану відповідного післякомутаційного режиму.

Перехідні процеси зазвичай є швидкоплинними; тривалість їх складає часто десятки, соті, а інколи й навіть мільярдні долі секунди; порівняно рідко тривалість перехідних процесів досягає секунд і десятків секунд. Тим не менш, вивчення перехідних процесів дуже важливо, тому що воно дозволяє виявити можливі перевищення напруги на окремих ділянках кола, які можуть виявитися небезпечними для ізоляції установки; з'ясувати можливі збільшення амплітуд струмів, які можуть в десятки разів перевищувати амплітуду струму усталеного періодичного процесу; дає можливість встановити, як деформуються за формою і амплітудою сигнали при проходженні їх через підсилювачі, фільтри та інші радіотехнічні пристрої.

Якби електричне коло складалося лише з активних опорів і не містило індуктивностей і ємностей, то перехід від одного сталого стану до іншого

відбувався б миттєво, без витрат часу. Але в реальних електротехнічних пристроях теплові втрати, обумовлені струмом, магнітні й електричні поля супроводжують один одного.

В одних випадках, як зазначено вище, перехідні процеси в електричних колах небажані й небезпечні. В інших – перехідний процес представляє природний, нормальний режим роботи кола, як це, наприклад, має місце в системах автоматичного регулювання та інших колах. Тому, застосовуючи спеціальні схеми і підбираючи відповідні параметри кола, можна при необхідності прискорити або сповільнити перехідний процес.

Аналіз перехідних процесів в лінійних колах з зосередженими параметрами зводиться до вирішення лінійних диференціальних рівнянь, що складаються на підставі законів Кірхгофа.

Відомо, що спільний розв'язок неоднорідного лінійного диференціального рівняння дорівнює сумі частинного розв'язку неоднорідного рівняння і спільного розв'язку однорідного рівняння.

А значить, процес, що відбувається в колі, можна розглядати як суму двох процесів, що накладаються один на одного – усталеного (вимушеного), і вільного, що має місце тільки під час перехідного процесу.

У колі фізично існують тільки дійсні струми та напруги, а розкладання їх на вимушені і вільні складові є математичним прийомом, що спрощує розрахунок.

Розрахунок струмів і напруг вимушеного режиму (знаходження частинного розв'язку неоднорідного диференційного рівняння) не вимагає застосування прийомів, що викладаються в курсі вищої математики, тому що значно простіше струми і напруги вимушеного режиму визначаються загальними методами розрахунку кіл постійного або змінного струму.

Загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння, яке дає струм або напруга вільного режиму, містить постійні інтегрування. Постійні інтегрування визначаються з початкових умов, тобто на підставі значень дійсних струмів в індуктивностях та напруг на ємностях у момент, коли змінюються умови електричного стану кола.

Якщо число сталих інтегрування більше однієї, що відповідає диференційному рівнянню другого, третього і т.д. порядків, то повинні бути додатково знайдені з диференційних рівнянь величини похідних від струмів або напруг в момент комутації.

Самостійно опрацьовуючи теоретичний матеріал, потрібно звернути увагу на те, що початкові умови прийнято розділяти на залежні і незалежні, нульові і ненульові. При цьому для визначення **залежних початкових умов** конкретної задачі зручно користуватися **наступним алгоритмом**.

1. Знаходять незалежні початкові умови. Для цього в докомутаційній схемі розраховують струми в індуктивних елементах $i_L(0_-)$ і напруги на ємнісних елементах $u_C(0_-)$, а потім застосовують закони комутації $i_L(0_+) = i_L(0_-)$ та $u_C(0_+) = u_C(0_-)$.

2. Визначають залежні початкові умови. Для цього:

а) для післякомутаційної схеми складають рівняння за законами Кірхгофа, які потім записують для $t = 0_+$, враховуючи незалежні початкові умови;

б) отриману систему рівнянь вирішують щодо шуканих струмів і напруг в момент $t = 0_+$.

3. При необхідності визначення першої та другої похідних струмів при $t = 0_+$, рівняння Кірхгофа спочатку диференціюють, а потім записують їх для $t = 0_+$ і вирішують систему відносно шуканих похідних.

Початкові значення вільних складових струмів в індуктивних елементах $i_{LCB}(0_+)$ і напруг на ємнісних елементах $u_{C CB}(0_+)$ можна визначити з урахуванням законів комутації за наступним співвідношенням:

$$i_{LCB}(0_+) = i_L(0_+) - i_{Ly}(0_+);$$

$$u_{C CB}(0_+) = u_C(0_+) - u_{Cy}(0_+),$$

де i_{Ly} та u_{Cy} – усталені значення відповідно струму в індуктивному елементі і напруги на ємнісному елементі.

В інших елементах схеми початкові значення вільних складових струмів і напруг розраховують за рівняннями складеними за законами Кірхгофа або іншими методами для післякомутаційної схеми з відсутніми джерелами енергії (клеми, до яких було підключено джерело ЕРС, замикають, а вітки з джерелами струму розривають). Значення вільної складової залежить від топографії схеми, її параметрів і від перерозподілу запасів енергії. Вільна складова загасає з плином часу.

При вирішенні завдань, які мають чисто ємнісні контури або індуктивні перерізи (завдань з „некоректно” поставленими початковими умовами), приймають узагальнені закони комутації, відповідно, закон безперервності заряду і закон безперервності поточозчеплення.

Необхідно вміти складати характеристичне рівняння та визначати його порядок. При цьому в вірно складеному характеристичному рівнянні усі коефіцієнти повинні бути дійсними та додатними.

Алгоритм розрахунку перехідних процесів класичним методом

1. В післякомутаційній схемі відомими методами знаходять вимушені складові шуканих струмів та напруг.

2. Складають характеристичне рівняння та визначають його корені. Виходячи з характеру коренів, записують вирази для шуканих вільних складових струмів та напруг через сталі інтегрування. Перехідні значення шуканих функцій розглядають як суму знайдених вимушеної та вільної складових даної функції, наприклад $i_t = i_{TP} + i_{CB}$.

3. Розраховують струми до комутації в індуктивних $i_L(0_-)$ і напруги на ємнісних $u_C(0_-)$ елементах, в відповідності з якими за законами комутації визначають незалежні початкові умови: $i_L(0_+) = i_L(0_-)$ та $u_C(0_+) = u_C(0_-)$.

4. Залежні початкові умови знаходять, наприклад, за рівняннями Кірхгофа для післякомутаційної схеми з врахуванням незалежних початкових умов. Сталі інтегрування обчислюють за допомогою початкових умов для шуканих функцій та їх похідних. Знайдені початкові умови підставляють в рівняння шуканої перехідної функції для $t = 0_+$ та в рівнянні його похідних, записаних для $t = 0_+$. Отриману систему алгебраїчних рівнянь вирішують відносно шуканих постійних.

Відмітимо, що основною складністю при рішенні задач класичним методом є саме визначення сталих інтегрування, особливо якщо їхня кількість більша трьох.

Література: [1, с. 228-279]

Операторний метод розрахунку дає можливість виконувати інтегрування лінійних диференційних рівнянь без розрахунку сталих інтегрування. Нижче приводиться його алгоритм:

1. По закону комутації визначають незалежні початкові умови: $i_L(0_+)$ та $u_C(0_+)$.
2. Складають операторну схему (схему зображень). Ненульові початкові умови враховуються в цій схемі введенням додаткових джерел ЕРС або джерел струму.

В вітках, які містять індуктивні елементи, додаткові ЕРС рівні $L_K i_K(0_+)$ (якщо $i_K(0_+)$ не рівні нулю) та по напрямленню співпадають з із струмом $i_L(0_+)$. Опір гілок записують в операторній формі (R , pL та $1/(pC)$).

Література: [1, с. 283-311]

Для розрахунку перехідних процесів в вітках з нульовими початковими умовами при підключенні її до джерела ЕРС складної форми користуються **методом інтеграла Дюамеля**. Використання інтеграла Дюамеля вимагає знання перехідної характеристики схеми $h(t)$. Якщо визначають перехідний струм, то перехідна характеристика є перехідною провідністю $g(t)$; якщо розраховують перехідну напругу, то перехідна характеристика є перехідною функцією напруги $y(t)$.

Існує декілька форм запису інтеграла Дюамеля. Для кожної конкретної задачі обирають ту форму, яка має найбільш простий підінтегральний вираз та призводить до меншої кількості доданків. Нижче приводяться **алгоритми розрахунку заданим методом**.

1. Класичним чи операторним методом знаходять перехідну характеристику.
2. Вираховують похідну підінтегральної функції інтеграла Дюамеля. Для цього спочатку визначають похідну за часом t , а потім заміняють t на τ чи $(t - \tau)$ (друга, третя та четверта форми).

3. Записують інтеграл Дюамеля (в формі найбільш раціональній для задачі, що розв'язується) з моменту $t=0$ до фіксованого моменту. При цьому враховують можливі перепади струму(напруги) на початку (t_{k-}) та в кінці (t_{k+}) кожного інтервала k до фіксованого моменту часу t , що викликаються наявністю стрибків прикладеної напруги:

$$\Delta i_{t=t_k} = [u(t_{k+}) - u(t_{k-})]K(t - t_k) .$$

Література: [1, с. 314-328]

2. РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧ ПО КУРСУ ТА ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.

Вміння розв'язувати задачі – найкращий критерій оцінки глибини вивчення програмного матеріалу і його засвоєння. Перед тим, як почати розв'язання задач, необхідно проробити теорію питання і уважно розібрати за посібником приклади, що її ілюструють. Без твердого знання теорії неможливо розрахувати на успішне розв'язання і аналіз навіть порівняно простих задач.

Задані умови задачі треба ретельно проаналізувати. Для цього їх необхідно прочитати, як мінімум, двічі: спочатку побіжно, вияснивши ідею завдання в цілому, а потім повільно, намагаючись підмітити усі, навіть на перший погляд незначні деталі.

На схемі треба позначити усі необхідні струми і напруги, причому, бажано, усі величини, які мають відношення до одної вітки, позначати однаковим індексом: E_l , U_l , I_l , R_l , R_l' і т.д.. Найбільш природне зображення схеми зліва направо з вертикальним розміщенням елементів. Коротку умову задачі бажано проводити праворуч від розрахункової схеми.

Отриманий результат розрахунків треба осмислити, обов'язково перевірити. Для цього може бути використане чи то рівняння по одному з законів, чи то векторні діаграми, чи баланс потужностей, чи просто логічні міркування

Виконання завдань розрахунково-графічної роботи допомагає студентам перевірити рівень засвоєння ними дисципліни, виробляє у них навички чітко і коротко формулювати свої думки. Для успішного досягнення цієї мети необхідно керуватись такими правилами:

- привести повний текст умови задачі, розрахункову схему та задані для розв'язку числові значення величин; для зображення елементів електричних схем слід використовувати позначення, визначені державними стандартами на зображення елементів електричних кіл;
- ретельно продумати, які літерні чи числові позначення буде використано при розв'язку, та пояснити значення кожного позначення;
- при розв'язку задачі не слід змінювати уже раз прийняті напрями струмів та найменування вузлів; при розв'язку однієї самої задачі різними методами одну і ту саму величину слід позначати одним і тим самим літературним символом;
- розпочинаючи розв'язок задачі, треба пояснити, які розрахункові методи чи фізичні закони використати при розв'язку, привести математичний запис цих методів та законів;
- кожному етапу розв'язку треба давати короткі пояснення;
- розрахунок кожної із невідомих величин слід виконати спочатку у загальному вигляді, а потім у отриману формулу підставити числові

значення і привести остаточний результат з вказаними одиницями вимірювання;

- розв'язок задач не слід перевантажувати приведенням усіх алгебричних перетворень і проміжних розрахунків;
- для розв'язку систем рівнянь слід використовувати комп'ютери чи програмовані калькулятори;
- при будові графіків слід вибирати такий масштаб, щоб на 1 см. осі координат випадало $1 \cdot 10^{\pm n}$ чи $2 \cdot 10^{\pm n}$ одиниць вимірювання фізичної величини, де n - ціле число; градуювання осей виконувати, починаючи з нуля, рівномірно через один чи через два сантиметри, числові значення координат точок, по яких будуються криві, не приводяться.

Оформляється розрахункова графічна робота у зошиті з полями для зауваження викладача.

3. ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ І ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Зміст методичних робіт по курсу, їх мета, короткі теоретичні відомості, етапи експериментальних досліджень, рекомендації щодо обробки результатів експерименту приведені у методичних вказівках до виконання лабораторних робіт.

Лабораторні заняття з " Теорія електричних і магнітних кіл " проводяться завжди фронтальним методом, тому, як правило, відповідний теоретичний матеріал уже прослуханий студентами у курсі лекцій. Це значно полегшує розуміння цілей і задач лабораторних досліджень та опрацювання результатів експерименту.

Основні етапи підготовки до виконання лабораторної роботи:

- ознайомитись з описом лабораторної роботи за методичними вказівками;
- вивчити відповідний теоретичний матеріал за конспектом лекції чи навчальним посібником;
- розібратись у особливостях експериментальних схем для проведення досліджень;
- підготувати на листах формату А4 перші два розділи лабораторного звіту ("Короткі теоретичні відомості", "Порядок виконання роботи");
- познайомитись з контрольними запитаннями, які наведені у кінці опису кожної лабораторної роботи, та продумати відповіді на ці запитання.

Дозвіл на виконання лабораторної роботи студент отримує після перевірки готовності до її виконання. Це перевірка відбувається на занятті перед виконанням лабораторної роботи. Студент повинен надати розділи звіту, підготовленні заздалегідь, та продемонструвати знання відповідного теоретичного матеріалу. Для виконання останньої вимоги студент повинен

виконати індивідуальне теоретичне завдання по темі лабораторної роботи. За усі етапи попередньої підготовки до виконання роботи викладач виставляє студенту відповідну оцінку.

Отримавши позитивну оцінку за підготовку до лабораторної роботи, студент має приступити до експериментальних досліджень. Уся робота з електричним обладнанням у лабораторії чітко регламентується правилами техніки безпеки при роботі з джерелами електричної енергії та правилами проведення експериментів у електричних схемах. Результати експериментальних досліджень за кожним із етапів експерименту подаються для затвердження викладачеві. Обробка результатів вимірювання, оцінка похибок експериментів та остаточне оформлення відповідних розділів звіту закінчується студентом дома самостійно. Повністю оформлений звіт повинен бути поданий викладачеві до виконання наступної лабораторної роботи.

У лабораторному звіті уся графічна частина (рисунок, графіки, таблиці та ін.) повинна бути оформлена у відповідності з вимогами стандартів на зміст текстових технічних документів.

Після перевірки викладачем звіту про лабораторну роботу студент отримує його для роботи над помилками та неточностями, а потім, у кінці семестру, оформляє у зшиток звітів про виконання лабораторного практикуму по дисципліні.

Література

1. Каргополова Н.П. Теорія електричних і магнітних кіл. Навч. посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2003. - 474 с.
2. Мілих В.І. Електротехніка та електромеханіка: Навч. посібник. – К.: Каравела, 2006. – 376 с.
3. Касаткин А.С., Немцов В.М. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 440.
4. Гумен М.Б. та ін. Основи теорії електричних кіл: Підручник. У 3 кн. – К.: Вища шк., 2003.
5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. и др. Основы теории цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
6. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи. М.: Высшая школа, 1986. – 352 с.
7. Даньков В.Г. та ин. Збірник задач з електротехніки: . Навч. посібник. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2004. – 119 с.
8. Каргополова Н.П., Коробійчук І.В. Теорія електричних та магнітних кіл. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. – Житомир, 2009. – 63с.