МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

АКАДЕМІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

О.В.Кулаков, В.О.Росоха

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ПОЖЕЖНА ПРОФІЛАКТИКА В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

**Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів**

**Харків
2003**

УДК 621.3; 614.841.3
ББК 31.2
К 90

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (лист від 17.06.2003 р. за №14/18.2 – 1034)

Рецензенти: О.В. Квашніна, кандидат технічних наук, доцент кафедри пожежної автоматики та зв'язку Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України;

М.Ю. Медведєв, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри пристороїв вимірювання та прийому сигналів радіолокаційного озброєння Харківського військового університету МО України;

О.А. Дерев'янко, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри пожежної автоматики та зв'язку АПБУ МНС України.

Кулаков О.В., Росоха В.О.
Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках. Навчальний посібник – Харків, 2003. – 362 с.

К 90

Навчальний посібник відповідає програмі для підготовки фахівця освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр" з напряму 0928 "Пожежна безпека" на базі повної загальної середньої освіти (програма рекомендована Науково-методичною комісією з вищої освіти за напрямом 0928 "Пожежна безпека", протокол №1 від 19.06.2002 р.).

Навчальний посібник призначений для курсантів, студентів, слухачів, що навчаються у вищих навчальних закладах пожежно-технічного профілю. Також може бути корисним широкому колу фахівців, які займаються профілактикою пожеж в електроустановках.

УДК 621.3; 614.841.3
ББК 31.2

© Кулаков О.В., Росоха В.О., 2003
© Академія пожежної безпеки України, 2003

ПЕРЕДМОВА

Курс "Електротехніка і пожежа профілактика в електроустановках" умовно можна розбити на дві частини:

1) електротехніка;

2) пожежна профілактика в електроустановках.

Електротехніка - наука про застосування електричної енергії для практичних цілей.

Виникненню електротехніки як прикладної науки передував досить тривалий період накопичення знань про електрику та магнетизм. Великий внесок у її розвиток зробили російські вчені М.В.Ломоносов, Е.Х.Ленц, П.Н.Лодигін, М.О. Доливо-Добровольський та інші; радянські - М.А.Бонч-Бруєвич, С.І.Вавилов, А.Ф.Іоффе, Є.О. Патон та інші.

З усіх видів енергії (теплова, хімічна, механічна, ядерна, електрична, світлова) електрична енергія найбільш зручна і універсальна. Вона порівняно легко утворюється, передається на значні відстані, перетворюється в інші види енергії.

В Російській імперії (до складу якої на той час входила Україна) перша електростанція потужністю 1,2 МВт з напругою 250 В постійного струму була побудована в 1893 р. А.Н. Шенсковичем у м. Новоросійську. Зараз встановлена електрична потужність підприємств Міненерго України перевищує 32 ГВт. У складі Міненерго 104 енергоблока на атомних, гідро- і теплових електростанціях. Промисловість споживає близько 50 відсотків виробленої електроенергії.

Аналіз сучасного стану систем енергетики показує, що:

1. Виробництво електроенергії на теплових електростанціях екологічно шкідливе, йде скорочення обсягів видобутку вугілля, нафти та газу. Нарощування потужностей гідроелектростанцій є достатньо важким. Тому основний напрямок подальшого розвитку електроенергетики вбачається в будівництві атомних електростанцій (не дивлячись на відомі наслідки Чорнобильської трагедії).

2. Електрообладнання, що знаходиться в експлуатації, старе, вимагає ремонту і заміни. Стан ускладнюється відсутністю достатнього фінансування.

3. Відзначені явища збільшують можливість виникнення небезпечних режимів роботи електроустановок, що можуть призвести до аварій та навіть катастроф.

4. У сучасних умовах особливо значущим є енергозбереження.

Предмет другої складової частини курсу - **пожежної профілактики в електроустановках** - ясний з назви. Це комплекс заходів, спрямованих на запобігання виникнення небезпечних ситуацій в електроустановках, що можуть призвести до пожеж.

Важливість предмета для робітників пожежної охорони підтверджується статистичними даними. Якщо всі пожежі прийняти за 100 %, то пожежі, що відбулися через порушення правил улаштування та експлуатації електрообладнання, становлять приблизно 25 %. Незадовільний стан справ з пожежами в країні обумовлений, з одного боку, невиконанням вимог робітників пожежної охорони, несвоєчасною заміною застарілого і зношеного обладнання, а з іншого боку, - недоліками в організації служби і профілактичної роботи підрозділів пожежної охорони, слабким контролем за станом справ на об’єктах, невжиттям заходів щодо попередження пожеж.

Життя потребує, щоб у всіх сферах господарства країни, у тому числі і в пожежній охороні, працювали висококваліфіковані спеціалісти. Для того, щоб виявити порушення в улаштуванні і при експлуатації електроустаткування, а також запропонувати правильне рішення, співробітник пожежної охорони повинен знати будову, принцип дії і пожежну небезпеку електроустановок і електричних мереж, мати практичні навички щодо виявлення пожежонебезпечних ситуацій, розробки протипожежних заходів, проведення агітаційно-роз'яснювальної роботи.

Знання понять і законів електротехніки потрібно не тільки для проведення профілактичної роботи, але і для особистої безпеки співробітників пожежної охорони при гасінні пожеж (та й у повсякденному житті). Однією з причин загибелі робітників пожежної охорони на пожежі є ураження електричним струмом.

РОЗДІЛ І. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
1 ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Основні поняття електротехніки

Електричний струм - це спрямований рух заряджених часток. Виробляється джерелом (генератором, акумулятором, термопарою).

За своєю природою електричний струм буває:

- струмом провідності (за рахунок прямування вільних електронів у металах);
- струмом переносу (за рахунок переміщення іонів в електролітах і газах);
- струмом поляризації (прямування пов'язаних заряджених часток (диполів) у діелектрику).

Постійний струм - електричний струм, значення якого не змінюється в часі.

За напрямок електричного струму прийнято вважати напрямок руху позитивних зарядів.

Сила струму (позначається I, [А]) - міра інтенсивності спрямованого руху заряджених часток - кількість електрики, що протікає через поперечний переріз провідника в одиницю часу:

$$I = \frac{q}{t}, \tag{1.1}$$

де q, [Кл] – заряд;

t, [с] - час.

Всі речовини поділяються на:

- провідники - володіють високою електропровідністю (метали, електроліт);
- діелектрики - речовини з дуже малою електропровідністю (полімери, нафтопродукти та їхні розчини);
- напівпровідники - речовини, електропровідність яких займає проміжне положення між провідником і діелектриком (силіцій, германій, селен).

Потужність (позначається P, [Вт]) – характеризує швидкість, з якою відбувається перетворення енергії:

$$P = \frac{A}{t}, \tag{1.2}$$

де A, [Дж]- робота;

t,[с] – час.

Електричне коло - це путь, по якому переносяться електричні заряди, або сукупність пристроїв, призначених для проходження через них електричного струму. Електричне коло може бути замкненим і незамкненим.

Електричний опір (будемо позначати r - для змінного струму, R - для постійного струму, [Ом]) - сукупність усіх перешкод, що зустрічають вільні заряди (у металах - електрони) на шляху свого прямування по провіднику. Величина опору залежить від:

- матеріалу, із якого виготовлений провідник;
- розмірів провідника;
- температури провідника (при нагріванні металів їх опір зростає):

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \qquad (1.3)$$

де ρ, $[\frac{Ом \cdot мм^2}{м}]$ - питомий опір провідника;

ℓ, [м] - довжина провідника;

S, [мм^2] - площа поперечного перерізу провідника.

Провідність (позначається G, [См]) - фізична величина, обернено пропорційна опору:

$$G = \frac{1}{R}. \qquad (1.4)$$

Розглянемо електричне коло, зображене на рис.1.1.

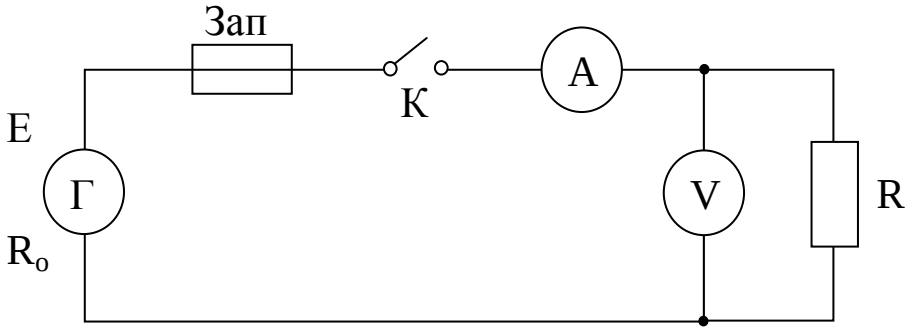

Рис.1.1 - Найпростіше електричне коло

R_0- опір внутрішньої ділянки кола (джерела електричної енергії); R- опір зовнішньої ділянки кола (сполучні проводи, вимикачі, запобіжники, вимірювальні прилади та споживачі - електродвигуни, лампи, нагрівальні прилади і т.п.); К – ключ; Г - генератор (джерело ЕРС); А – амперметр; V - вольтметр.

Вітка - ділянка електричного кола, у якій в будь-який момент часу сила струму має одне й те ж саме значення.

Вузол - місце з'єднання трьох і більше віток.

Контур –будь-який замкнутий путь струму, що проходить по декількох вітках.

Електрорушійна сила (ЕРС, позначається Е, [В]) - сила, що встановлює і підтримує різницю потенціалів на затискачах джерела, викликаючи електричний струм у колі, долаючи його внутрішній і зовнішній опір.

Напруга (позначається U, [В]) - різниця потенціалів, що викликає проходження електричного струму.

1.2 Основні закони електротехніки

Закон Ома. Це головний закон електротехніки. Він зв'язує поняття "струм", "напруга" та "опір кола" між собою.

Закон Ома для ділянки кола:

$$I = \frac{U}{R}, \tag{1.5}$$

де I, [А] - сила струму;
U, [В] - напруга на затискачах ділянки кола;
R [Ом] - опір ділянки кола.

Закон Ома для повного кола:

$$I = \frac{E}{R + R_o} = \frac{U + U_o}{R + R_o}, \tag{1.6}$$

де Е, [В] - ЕРС джерела;
U, [В] - напруга на затискачах джерела;
U_o, [В] - внутрішнє падіння напруги;
R, [Ом] - опір зовнішньої ділянки кола;
R_0, [Ом] - опір внутрішньої ділянки кола.

Очевидно, що у розімкнутому колі U=E.
У замкнутому колі U<E.

Закон Джоуля-Ленца. Всі провідники при проходженні по них електричного струму нагріваються. У металах при прямуванні вільних електронів по провіднику вони зіштовхуються з

іонами кристалів і передають їм свою енергію, тобто відбувається перетворення електричної енергії на теплову. Кількісне співвідношення, що характеризує це перетворення енергії, встановлює **закон Джоуля-Ленца** (відкритий у 1844 р. російським вченим, членом Петербурзької академії наук Є.Х. Ленцем і, незалежно від нього, англійським вченим Джоулем): кількість теплоти Q, що виділяється в провіднику при проходженні електричного струму, дорівнює добутку квадрата сили струму I, опору провідника R і часу проходження струму по провіднику t:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \text{ [Дж]}. \qquad (1.7)$$

Спочатку після вмикання кола різниця між температурами проводу і навколишнього середовища невелика. Тільки незначна частина тепла, що виділяється струмом, розсіюється в навколишнє середовище, а більша частина тепла залишається в проводі та йде на його нагрівання. Цим пояснюється швидке зростання температури проводу на початковій стадії нагрівання. За мірою збільшення температури проводу зростає різниця температур проводу і навколишнього середовища і збільшується кількість тепла, що віддається проводом. У зв'язку з цим зростання температури проводу усе більше сповільнюється. Нарешті, за деякої температури встановлюється теплова рівновага: за однаковий час кількість тепла, що виділяється в проводі, стає рівною тій, що розсіюється в зовнішнє середовище.

При подальшому проходженні струму, величина якого не змінюється, температура проводу залишається постійною. Час нагрівання до сталої температури неоднаковий для різних провідників: нитка лампи розжарювання нагрівається за частки секунди, електрична машина - за декілька годин.

Розігрівання ізольованих проводів не можна допускати вище за означену межу, тому що ізоляція при сильному перегріві може розплавитися і навіть зайнятися. Для ізольованих проводів встановлена гранична температура нагрівання, що визначається властивостями ізоляційних матеріалів і межею їх механічної тривкості.

Всі електроізоляційні матеріали розподілені на 9 температурних класів (ГОСТ 8865-93 (МЕК 85-84)) - таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 - Температурні класи електроізоляційних матеріалів

Клас	Припустима температура нагрівання, ^{0}C
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200	200
220	220
250	250

Припустима температура нагрівання провідників (температуру середовища взято 25^{0}C для проводів і кабелів і 35^{0}C для електричних машин):

- проводи і кабелі з гумовою або поліхлорвініловою ізоляцією - 65^{0}C;
- кабелі з паперовою непропитаною ізоляцією до 1000 В з мідними або алюмінієвими жилами - 80^{0}C;
- обмотки електричних машин з ізоляцією класу А - 105^{0}C;
- голі шини, мідні та алюмінієві - 70^{0}C.

Закони Кірхгофа. 1-й закон Кірхгофа: алгебраїчна сума струмів у вузлі електричного кола, дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^{K} I_k = 0. \qquad (1.8)$$

При цьому звичайно струми, спрямовані до вузла, вважаються позитивними, а від вузла - негативними.

2-й закон Кірхгофа: алгебраїчна сума ЕРС у замкнутому електричному контурі, дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг на ділянках цього контуру:

$$\sum_{n=1}^{N} E_n = \sum_{k=1}^{K} (I_k \cdot R_k). \qquad (1.9)$$

1.3 Використання законів Ома, Кірхгофа для розрахунку електричних кіл

Послідовне з'єднання опорів

Розглянемо рис.1.2.

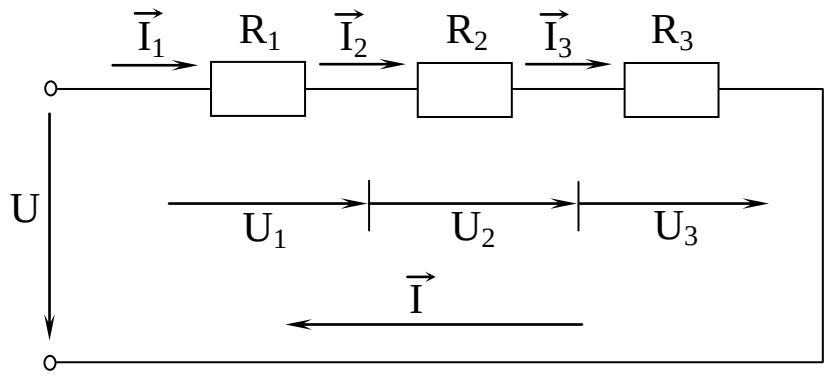

Рис.1.2 - Послідовне з'єднання опорів

$$I = I_1 = I_2 = I_3; \qquad U = U_1 + U_2 + U_3 = \sum_{m=1}^{3} U_m;$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \sum_{k=1}^{3} R_k .$$

Паралельне з'єднання опорів

Розглянемо рис.1.3.

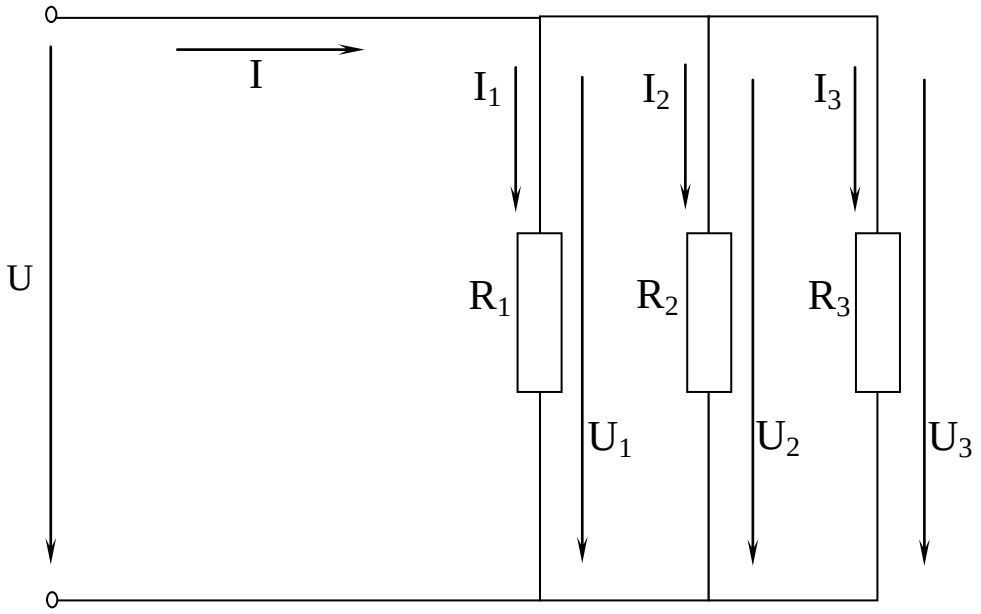

Рис.1.3 - Паралельне з'єднання опорів

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \sum_{p=1}^{3} I_p; \qquad U = U_1 = U_2 = U_3;$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \sum_{n=1}^{3} \frac{1}{R_n}; \qquad G = G_1 + G_2 + G_3 = \sum_{m=1}^{3} G_m$$

Змішане з'єднання опорів

Розглянемо рис.1.4.

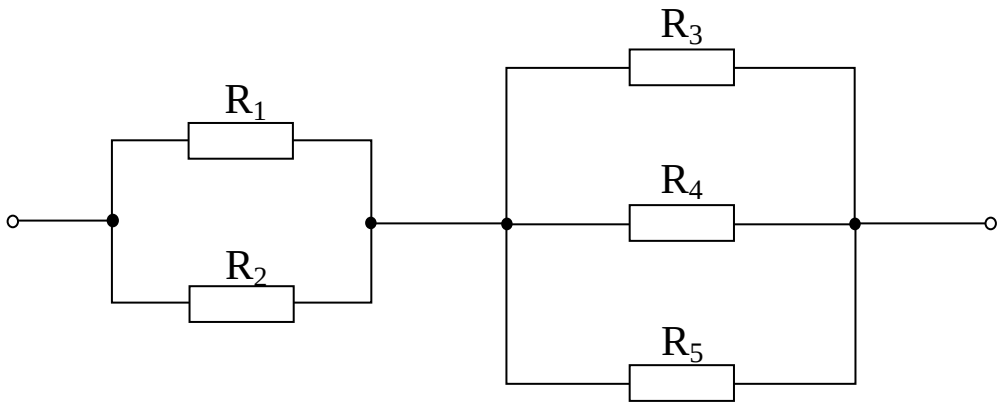

Рис.1.4 - Змішане з'єднання опорів

При розрахунку змішаного з'єднання:

а) необхідно виділити паралельні вітки і розрахувати їх;

б) розрахувати еквівалентні послідовні вітки.

Джерела ЕРС також можуть бути з’єднані послідовно, паралельно і змішано.

1.4 Методи розрахунку складних електричних кіл

До цього ми розглядали прості електричні кола – тобто кола, що мають послідовне або паралельне з’єднання джерел і споживачів. **Складним** називається електричне коло, що не зводиться до послідовного або паралельного з'єднання джерел і споживачів.

Методи розрахунку складних кіл:

- метод вузлових і контурних рівнянь (за законом Ома і законами Кірхгофа);
- метод перетворення;
- метод контурних струмів;
- метод накладення;
- метод вузлових напруг;
- метод еквівалентного генератора.

Метод вузлових та контурних рівнянь. Мета розрахунку**:** визначити струми у вітках по заданих ЕРС і опорах.

Правила розрахунку:

1. Загальна кількість рівнянь дорівнює числу невідомих струмів, тобто числу віток.

2. Вибрати довільно напрямок струмів. Струми, спрямовані до вузла, вважаються позитивними, від вузла - негативними.

3. Скласти вузлові рівняння (за 1-им законом Кірхгофа). Кількість рівнянь дорівнює числу вузлів мінус 1.

4. Скласти контурні рівняння (за 2-им законом Кірхгофа). Кількість контурних рівнянь дорівнює різниці загальної кількості рівнянь та кількості вузлових рівнянь.

При цьому слід вибирати найбільш прості контури, тобто контури з меншим числом джерел ЕРС і опорів, а в кожному новому контурі повинна знаходитися хоча б одна вітка, що не входить до контурів, для котрих уже складені рівняння. Обхід контуру вибирають довільно. Позитивними вважають ЕРС, напрямок яких збігається з напрямком обходу контуру. Падіння напруги на опорі позитивне там, де напрямок струму збігається з напрямком обходу. Оскільки напрямок струму вибирається довільно, то якщо при розрахунку утвориться негативне значення, то в дійсності струм протікає у зворотному напрямку.

Розглянемо приклад (рис.1.5).

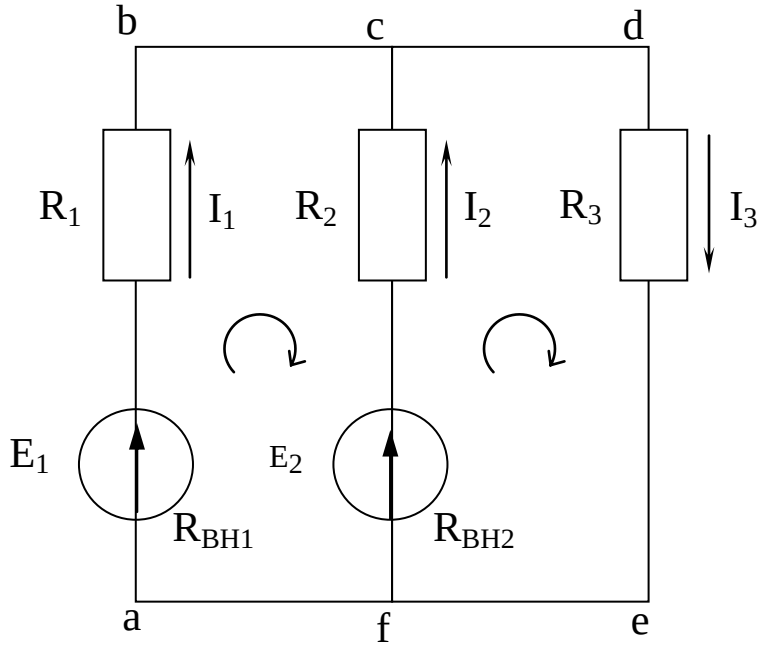

Рис.1.5 - Приклад застосування методу вузлових і контурних рівнянь

Коло містить три вітки. Отже, загальне число рівнянь дорівнює 3. Вибираємо напрямок струмів I_1, I_2, I_3. Складаємо вузлові рівняння. У нас два вузли, отже вузлове рівняння буде одне.

Для вузла "С": $I_1 + I_2 - I_3 = 0$.

Необхідно скласти 2 контурних рівняння.

Контур abcfa: $E_1 - E_2 = (R_1 + R_{вн1}) \cdot I_1 - (R_2 + R_{вн2}) \cdot I_2$.

Контур fcdef: $E_2 = (R_2 + R_{вн2}) \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3$.

Одержуємо неоднорідну систему з трьох лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 - E_2 = (R_1 + R_{вн1}) \cdot I_1 - (R_2 + R_{вн2}) \cdot I_2 \\ E_2 = (R_2 + R_{вн2}) \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 \end{cases}$$

Як вирішувати такі системи, відомо з курсу вищої математики (через головний визначник і алгебраїчне доповнення). В даному випадку систему можна вирішити простіше - методом виключення змінних.

Метод контурних струмів. Метод вузлових і контурних рівнянь достатньо громіздкий (чим більше число віток, тим більше кількість рівнянь). Метод контурних струмів дає значне спрощення, тому що зменшує кількість рівнянь. Відповідно до цього методу складаються рівняння тільки за другим законом Кірхгофа, для чого обирається необхідне число контурів.

Розглянемо схему, приведену раніше в прикладі до методу вузлових і контурних рівнянь (рис.1.6).

Обмежимося двома контурами. Вибираємо напрям струмів I_1, I_2 .

Контур abcfa:

$$(R_1 + R_2 + R_{вн1} + R_{вн2}) \cdot I_1 - (R_2 + R_{вн2}) \cdot I_2 = E_1 - E_2.$$

Контур fcdef: $(R_2 + R_3 + R_{вн2}) \cdot I_2 - (R_2 + R_{вн2}) \cdot I_1 = E_2$.

Таким чином у нас утворилося на 1 рівняння менше.

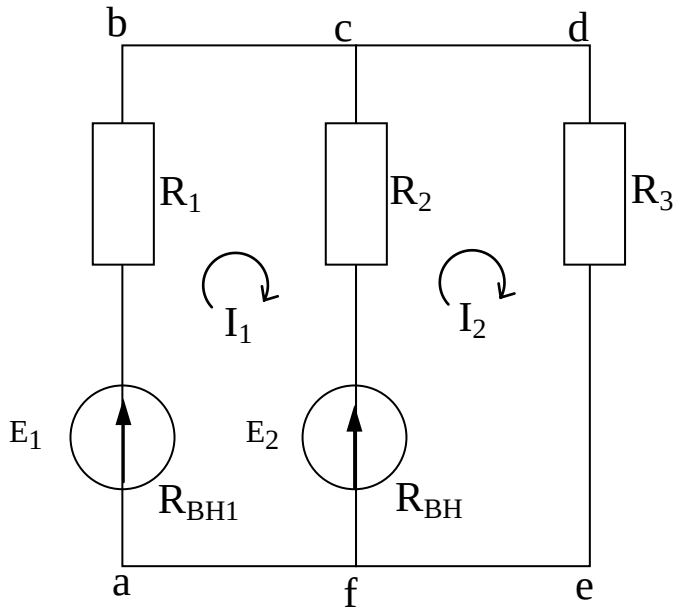

Рис.1.6 - Приклад застосування методу контурних струмів

Інші методи розрахунку складних кіл розглядаються в електротехнічній літературі.

Питання для самоконтролю за темою "Електричні кола постійного струму":

1. Закон Ома для ділянки кола.
2. Закон Ома для повного кола.
3. Закон Джоуля-Ленца.
4. Закони Кірхгофа.
5. Порядок застосування методу вузлових та контурних рівнянь.
6. Порядок застосування методу контурних струмів.

2 МАГНІТНІ КОЛА

Основними характеристиками магнітного кола є магнітна індукція, магнітний потік, напруженість магнітного поля. Основні закони магнітних кіл – закон Біо і Савара-Лапласа, закон повного струму.

Магнітне поле характеризується:

- **магнітною індукцією** (позначається B, [Тл]), яка є крапковою характеристикою магнітного поля; магнітна індукція в 1 Тл дорівнює силі, з якою магнітне поле діє на провідник довжиною 1 м, розташований перпендикулярно магнітним силовим лініям, по якому протікає струм у 1 А;

- **магнітним потоком** або потоком магнітної індукції (позначається Ф, [Вб]), це об'ємна характеристика магнітного поля - число магнітних силових ліній, що проходять через площу S:

$$\Phi = B \cdot S. \tag{2.1}$$

Закон електромагнітної індукції відкрито в 1831 р. англійським фізиком Майклом Фарадеєм. Існує два формулювання цього закону.

Закон електромагнітної індукції **у формулюванні Фарадея**: ЕРС, що індукується при перетинанні магнітними лініями провідників кола, дорівнює швидкості перетинання магнітних ліній, узятій з негативним знаком:

$$e = -\frac{dN}{dt}, \tag{2.2}$$

де N - кількість магнітних ліній, що перетинаються.

Закон електромагнітної індукції **у формулюванні Максвелла**: ЕРС, що індукується в колі при зміні магнітного потоку, що проходить через поверхню, обмежену контуром кола, дорівнює швидкості зміни магнітного потоку, узятій з негативним знаком:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}. \tag{2.3}$$

Обидва формулювання є рівноцінними.

Для провідника, що переміщається в магнітному полі, закон електромагнітної індукції має вид:

$$e = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \alpha, \qquad (2.4)$$

де e, [В] - значення індукованої ЕРС,

ℓ, [м] - довжина провідника,

B, [Тл] - величина магнітної індукції,

v, [м/с] - швидкість пересування провідника щодо магнітних силових ліній,

α - кут між вектором магнітної індукції і вектором швидкості.

Відомі три способи одержання індукційних ЕРС:

- **індукція** (переміщення провідника в нерухомому магнітному полі);

- **власноіндукція** (змінюється струм у провіднику, змінюється й охоплюючий його магнітний потік);

- **взаємоіндукція** (магнітна взаємодія котушок зі струмом - трансформатор).

Напрямок індукованої ЕРС визначається **законом Ленца**: напрямок ЕРС такий, що викликаний нею струм завжди протидіє причині появи ЕРС. Зокрема, напрямок індукованої ЕРС у прямолінійному провіднику визначається за **правилом правої руки**: якщо праву руку розмістити так, щоб магнітні силові лінії входили в долоню, а відігнутий великий палець указував напрямок прямування провідника, то витягнуті чотири пальці укажуть напрямок індукованої ЕРС.

Електромагнітна сила - сила, що діє на провідник, який знаходиться у магнітному полі (виникає в результаті взаємодії магнітного поля струму з зовнішнім магнітним полем). Кількісно величина електромагнітної сили визначається за **формулою Ампера** (або законом електромагнітних сил):

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \beta, \qquad (2.5)$$

де F, [Н] – сила;

B, [Тл] - величина магнітної індукції;

ℓ, [м] - довжина провідника з струмом;

I, [А] - сила струму в провіднику;

β- кут між вектором індукції і напрямком струму.

Напрямок електромагнітної сили визначається **правилом лівої руки:** якщо, поклавши ліву руку на провідник, направити пальці за напрямком струму і повернути долоню перпендикулярно магнітним силовим лініям так, щоб вони в неї входили, то відігнутий великий палець укаже напрямок сили, що діє на провідник.

Передмова..... 3
Розділ І. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА 5
1 Електричні кола постійного струму 5
1.1 Основні поняття електротехніки 5
1.2 Основні закони електротехніки 7
1.3 Використання законів Ома, Кірхгофа для розрахунку електричних кіл..... 10
1.4 Методи розрахунку електричних кіл..... 11
2 Магнітні кола 15