

ЗАКОНИ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ МЕРЕЖ

Розрахунки струмів електричної мережі можна виконувати за чотирма системами законів: за законами Кірхгофа – при обмеженні струмів електричними параметрами та постійній чи змінній топології мережі; за законами "альфа" та "бета" – при обмеженні струмів пропускними здатностями гілок.

Расчеты токов электрической сети можно выполнять по четырем системам законов: по законам Кирхгофа – при ограничении токов электрическими параметрами и постоянной или переменной топологии; по законам "альфа" и "бета" – при ограничении токов пропускными возможностями ветвей.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні фахові довідники та підручники звичайно обмежуються описом законів Кірхгофа і не розглядають напрямки з новими можливостями аналізу електротехнічних мереж. Вони також не наводять особливості застосування закону електромагнітної індукції на макроскопічному рівні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

У фахових виданнях з електротехніки звичайно відсутня інформація про закони для аналізу електричних схем зі змінною структурою [1] та для аналізу мереж з потоками (струмів, потужностей, інформатики, нафти, товарів тощо) [2, 7], а закон Фарадея описується формулою $e = -d\Phi/dt$ (тут Φ – магнітний потік контуру, t – час) без згадування про перетинання магнітних силових ліній [6].

Метою статті є розгляд особливостей застосування законів для аналізу електричних мереж та закону електромагнітної індукції на макроскопічному рівні.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Закони Кірхгофа для схем зі змінною структурою. Загальноприйняті математичні записи законів Кірхгофа не відповідають у повній мірі їх лінгвістичній формі, бо у них не відображено поняття "замкнена гілка" та "замкнений контур". Відповідно відсутні математичні дії, які вводять у систему рівнянь або вилучають з неї ті гілки та контури, які виникають та зникають (наприклад, у вентильних перетворювачах) [1]. Наприклад, для трьох паралельних гілок, які мають замкнені комутатори, потрібно скласти одне рівняння для струмів у вузлі та два рівняння для контурів. Якщо розмикається один з комутаторів, то можна скласти лише одне рівняння.

Ця проблема розв'язується введенням перемикаючих функцій, які уперше застосував німецький вчений В. Шиллінг у 1933 р. для опису роботи автономних інверторів [9]. В роботі [1] було запропоновано у законах Кірхгофа разом використати відомі поняття складної гілки, складного контуру та перемикаючих функцій, що дало змогу аналізувати роботу будь-яких ВП та складних мереж з ВП (складна гілка вміщує хоча б один контур; складний контур має хоча б одну складну гілку):

1. Для з'єднаних у вершині простих та складних гілок алгебраїчна сума добутоків струмів гілок (чи похідних від струмів по часу) на їх перемикаючі функції дорівнює нулю (ці рівняння складаються для $(n-1)$ вершин)

$$\sum f_{ij} i_{ij} = 0, \quad \sum f_{ij} di_{ij} / dt = 0, \quad (1)$$

де f_{ij} – перемикаюча функція, яка приймає значення "1", якщо гілка увімкнена, та "0", якщо вимкнена

(увімкнення – вимкнення контролюється у динаміці по стану півпровідникових приладів та при зміні напрямків струмів); $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковий номер вершини; $j = 1, 2, \dots, n$ – порядкові номери сусідніх вершин при $i \neq j$; n – кількість вершин; i_{ij} – струм між вершинами; t – час.

2. Алгебраїчна сума падінь напруг вздовж замкненого простого чи складного контуру, помножена на перемикаючу функцію цього контуру, дорівнює нулю (згідно цьому закону складаються $[m-(n-1)]$ рівнянь, де m – кількість гілок)

$$f_K \sum u_{ij} = 0, \quad (2)$$

де f_K – перемикаюча функція контуру, яка дорівнює добутку перемикаючих функцій простих чи складних гілок, що створюють даний контур.

Математична модель для аналізу роботи схеми рис. 1 у режимі безперервного струму за методом складання матричного рівняння незмінного порядку [1] на основі законів (1) та (2) має вигляд:

$$\frac{di_d}{dt} - \frac{P_1 di_{1A}}{dt} - \frac{P_2 di_{2A}}{dt} - \frac{P_3 di_{3A}}{dt} = 0;$$

$$P_1 e_1 - L_1 \frac{di_{1A}}{dt} - P_1 (R_1 + R_P) i_{1A} - P_1 u_d = 0;$$

$$P_2 e_2 - L_2 \frac{di_{2A}}{dt} - P_2 (R_2 + R_P) i_{2A} - P_2 u_d = 0;$$

$$P_3 e_3 - L_3 \frac{di_{3A}}{dt} - P_3 (R_3 + R_P) i_{1A} - P_3 u_d = 0,$$

де $u_d = e_d + L_d \frac{di_d}{dt} + R_d i_d$; $j = 1, 2, 3$ – порядковий номер фази; e_j, E_m – ЕРС j -ої фази та її амплітуда; ω – циклічна частота; t – час; i_{jA}, L_j, R_j – струм фази при відкритому діоді, індуктивність та активний опір j -ої фази; R_P – активний опір відкритого діоду; i_d, e_d, L_d, R_d – струм, ЕРС, індуктивність та активний опір кола випрямленого струму.

Перемикаючі функції діодів визначаються за логічними умовами

$$P_j = 0; \text{ if } (i_{jA} > 0) \text{ or } (i_{jN} > 0) \text{ then } P_j = 1,$$

$$\text{де } i_{jN} = \frac{1 - P_j}{R_j + R_N} (e_j - u_d); R_N - \text{опір закритого діоду.}$$

Перехідні процеси при увімкненні схеми (рис. 1) у роботу наведені на рис. 2.

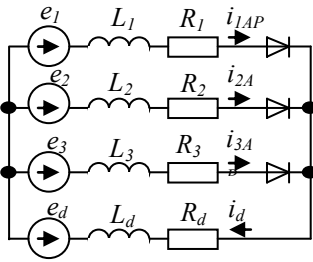


Рис. 1. Трьохфазний однопівперіодний випрямляч на діодах

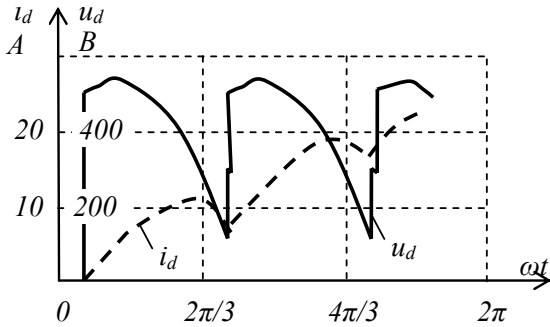


Рис. 2. Перехідні процеси при увімкненні випрямляча (рис. 1)

Параметри схеми (рис. 1) є такими:

$e_j = 523\sin(\omega t - \Psi_j) + 24\sin(5\omega t - 5\Psi_j - \pi/2) + 22\sin(7\omega t - 7\Psi_j - \pi/6)$;
 $\Psi_j = 2\pi(j-1)/3$; $R_j = R = 0,0108$ Ом; $R_p = 0,002$ Ом; $R_N = 10^5$ Ом; $\omega = 314$ с⁻¹; $L_j = L = 0,000195$ Гн; $E_d = 300$ В; $R_d = 0,018$ Ом; $L_d = 0,0761$ Гн; $\Delta t = 0,0000(5)$ с.

Закони "альфа" та "бета" для аналізу мереж з потоками. Закони Кірхгофа *не урахують пропускну здатність гілок* і тому звичайно *аналіз мереж з потоками* (струмів, електричних потужностей, інформації, нафти і т.д.) виконується за методами математичного програмування з курсу "Дослідження операцій", в тому числі на основі теореми Форда-Фалкерсона та удосконалення їх метода поміток при застосуванні теорії графів [5, 8]. Між тим при проектуванні, перевантаженні, при планових ремонтах та аваріях електроенергетичних мереж виникає потреба визначення величини та розподілу по гілках мережі максимального потоку струмів або потужностей між заданими вершинами з урахуванням пропускну здатностей гілок.

Граф із заданими пропускну здатностями по потоках (нафти, газу тощо), як електричну мережу з її аналізом на базі законів Кірхгофа, був уперше розглянутий у роботі [7] для визначення максимального потоку мережі та його розподілу по гілках. В роботі [3] був продовжений цей напрямок і було запропоновано аналізувати *електричні мережі* на основі трьох систем законів: законів Кірхгофа, законів "альфа" та законів "бета". Всі ці три системи законів дають *різні числові значення* для струмів мережі; вони мають різні математичні моделі і пояснюють роботу мережі з різних сторін.

Мережу з максимальним потоком " $Q_m=19$ ", рис. 3,а та з пропускну здатністю гілок S_{ij} можна замінити схемою заміщення рис. 3,б при введенні в кожен гілку "активного опору" $R_{ij}=1/S_{ij}$ [3, 7].

"Падіння тиску" потоку на "опорі" R_{ij} , дорівнює

$$u_{ij} = u_i - u_j = q_{ij} R_{ij} = q_{ij} / S_{ij},$$

де u_i, u_j - "тиски" вершин i та j ; бажано, щоб $u_{ij} = q_{ij}/S_{ij} \leq 1$.

Вершини неорієнтованої мережі рис. 3 нумеруємо від входу (початкова цифра 1) до виходу (кінцева цифра 6), а позитивне спрямування потоків гілок приймаємо від вершини з меншим номером до вершини з більшим номером. В такій мережі лише потоки вхідних або вихідних гілок є невід'ємними, а потоки інших гілок можуть змінювати позитивний напрямок на негативний.

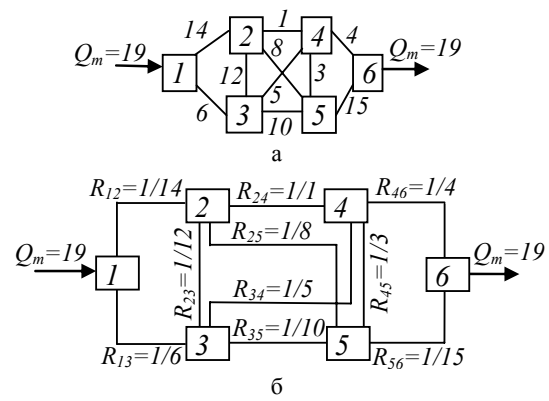


Рис. 3. Електроенергетична мережа з максимальним потоком $Q_m = 19$

Закони "альфа" є перефразованими законами Кірхгофа (1) та (2), які застосовуються до електричної схеми, у якій усі електричні параметри гілки замінені "активними опорами" пропускну здатності R_{ij} , а струми замінені на потоки струмів чи потужностей q_{ij} . Звичайно за законами "альфа" розподіл максимального потоку відбувається з отриманням перевантажених та недовантажених гілок. Тому у діалоговому режимі перевантажена гілка замінюється за законами "бета" на "джерело припустимого потоку" із заміною відповідного математичного рівняння, отриманого за законами "альфа", на вираз $q_{\beta ij} = S_{ij}$ за законами "бета". Потім виконується новий розрахунок потоків $q_{\beta i}$ для підтвердження відсутності перевантажених гілок. Розподілів потоків за законами β при відсутності перевантажених гілок може бути нескінченна кількість.

Закони для потоків β ("бета") дозволяють створити математичну модель, яка точно відтворює розподіл потоків по гілках мережі згідно методу поміток Форда-Фалкерсона, і мають вигляд:

1. Алгебраїчна сума потоків β у вершинах дорівнює нулю. Тобто цей закон є однаковим для потоків α та β , але їх кількість для потоків β може бути меншою за $(n-1)$, і деякі з них можуть бути замінені на джерело потоку або підсумок потоків сінчення мережі. Закони "бета" можуть складатись: лише з рівнянь для потоків в усіх вузлах (не для електричних мереж: в транспортній задачі, в матриці Леонтьєва по міжгалузевому балансу товарів); з рівнянь потоків для частки вузлів та/або джерел струмів для ряду гілок.

2. Отримані при максимальному потоці згідно законів "альфа" вирази *для контурів*, які мають перевантажені гілки, замінюються виразами на основі наведених нижче законів "бета":

- рівняння для контуру з перевантаженою (i, j) - гілкою замінюється рівнянням джерела потоку, рівному пропускну здатності гілки

$$q_{\beta ij} = S_{ij}; \quad (3)$$

- для цілком завантажених до пропускну здатності гілок алгебраїчна сума падінь тисків потоків β вздовж не замкнутого реального чи умовного контуру дорівнює сумі відповідних знакозмінних одиниць перевантажених гілок ("умовність контуру" означає, що ряд гілок "контур" не розглядається)

$$\sum \left[\pm \frac{q_{\beta ij}}{S_{ij}} \right] = \sum \pm 1_{ij}, \quad (4)$$

де знак одиниці " $\pm 1_{ij}$ " залежить від напрямку обходу реального чи умовного (не замкнутого) "контур";

• рівняння для контуру по потоках "альфа" можна замінити рівнянням джерела потоку по законах "бета" зі значенням змінної розрахованої по законах "альфа" величині недовантаженого потоку

$$q_{bij} = q_{\alpha ij} \quad (5)$$

Закони "бета" підтверджуються отриманням математичних моделей, які є тотожними з результатами розрахунків за методом поміток Форда-Фалкерсона.

Аналіз розподілу максимального потоку по гілках схеми рис. 3 на основі законів α ("альфа") та β ("бета"). Згідно законів "альфа" для $(n - 1)$ вузлів рис. 3, б складаємо п'ять рівнянь для потоків α (вузли 1-5):

$$\begin{aligned} q_{12} + q_{13} &= 19; \\ q_{12} - q_{24} - q_{25} - q_{23} &= 0; \quad q_{13} + q_{23} - q_{34} - q_{35} &= 0; \quad (6) \\ q_{24} + q_{34} - q_{45} - q_{46} &= 0; \quad q_{25} + q_{35} + q_{45} - q_{56} &= 0. \end{aligned}$$

Згідно другого закону складаємо систему рівнянь для контурів з потоками α :

Результати розв'язання системи рівнянь (6), (7) для потоків α

Змінні (потоки)	q_{12}	q_{13}	q_{23}	q_{24}	q_{25}	q_{34}	q_{35}	q_{45}	q_{46}	q_{56}
Пропускна здатність	14	6	12	1	8	5	10	3	4	15
Розв'язок	12,1	6,88	3,37	0,939	7,81	3,29	6,96	0,112	4,12	14,88

Таблиця 2

Результати розв'язання системи рівнянь для потоків β

Змінні (потоки)	q_{12}	q_{13}	q_{23}	q_{24}	q_{25}	q_{34}	q_{35}	q_{45}	q_{46}	q_{56}
Пропускна здатність	14	6	12	1	8	5	10	3	4	15
Розв'язок	13	6	5	0	8	4	7	0	4	15

до однієї мережі; переналаджена електрична мережа по результатах аналізу за законами "альфа" та "бета" потребує перевірки за законами Кірхгофа; математична

$$\begin{aligned} -\frac{q_{34}}{5} - \frac{q_{45}}{3} + \frac{q_{35}}{10} &= 0; \quad -\frac{q_{46}}{4} + \frac{q_{56}}{15} + \frac{q_{45}}{3} = 0; \\ -\frac{q_{23}}{12} - \frac{q_{35}}{10} + \frac{q_{25}}{8} &= 0; \quad -\frac{q_{24}}{1} - \frac{q_{45}}{3} + \frac{q_{25}}{8} = 0; \quad (7) \\ -\frac{q_{12}}{14} - \frac{q_{23}}{12} + \frac{q_{13}}{6} &= 0. \end{aligned}$$

Результати розв'язку системи рівнянь (6), (7) в MathCAD для потоків α представлено в табл. 1. При заміні рівнянь для контурів (7) на $q_{13}=6$; $q_{46}=4$; $q_{25}=8$; $q_{24}=0$; $q_{45}=0$ отримуємо данні табл. 2 для потоків β .

Закони "альфа" та "бета" [3] виокремленні від законів Кірхгофа з методологічної точки зору: закони "бета" можуть прямо суперечити законам Кірхгофа (падіння тиску вздовж замкненого контуру не дорівнює нулю; може не співпадати кількість рівнянь для потоків у вузлах; система рівнянь взагалі може складатись лише з рівнянь для потоків у вузлах); не забороняється одночасне застосування законів Кірхгофа, "альфа" та "бета"

Таблиця 1

модель за законами "бета" отримується з математичної моделі за законами "альфа"; фізична основа законів "альфа" та "бета" не є електротехнічною.

Визначення величини та розподілу максимального потоку по гілках мережі в MathCAD. Аналіз мережі виконується в MathCAD на основі моделі (6) для потоків в вузлах з урахуванням нерівностей лише по позитивних пропускних здатностях гілок (рис. 4).

ORIGIN:=1

$F1 := (q_{12}, q_{13}, q_{23}, q_{24}, q_{25}, q_{34}, q_{35}, q_{45}, q_{46}, q_{56}) := q_{12} + q_{13}$

$q_{12} := 0 \quad q_{13} := 0 \quad q_{23} := 0 \quad q_{24} := 0 \quad q_{25} := 0 \quad q_{34} := 0 \quad q_{35} := 0 \quad q_{45} := 0 \quad q_{46} := 0 \quad q_{56} := 0$

Given

$q_{12} - q_{24} - q_{25} - q_{23} = 0 \quad q_{13} + q_{23} - q_{34} - q_{35} = 0 \quad q_{24} + q_{34} - q_{45} - q_{46} = 0$

$q_{25} + q_{35} + q_{45} - q_{56} = 0 \quad q_{12} + q_{13} - q_{46} - q_{56} = 0$

$q_{12} \leq 14 \quad q_{13} \leq 6 \quad q_{23} \leq 12 \quad q_{24} \leq 1 \quad q_{25} \leq 8 \quad q_{34} \leq 5 \quad q_{35} \leq 10 \quad q_{45} \leq 3 \quad q_{46} \leq 4 \quad q_{56} \leq 15$

$P := \text{Maximize}(F1, q_{12}, q_{13}, q_{23}, q_{24}, q_{25}, q_{34}, q_{35}, q_{45}, q_{46}, q_{56}) ;$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P^T =$	q_{12}	q_{13}	q_{23}	q_{24}	q_{25}	q_{34}	q_{35}	q_{45}	q_{46}	q_{56}
	13	6	4	1	8	0	10	-3	4	15

Рис. 4. Розв'язання в MathCAD задачі оптимального розподілу потоків в мережі (рис. 3)

Але деякі потоки можуть змінювати свій знак (крім потоків входу та виходу). Якщо від'ємне значення потоку по модулю перевищує пропускну здатність, то вводять нерівності також і по від'ємному значенню потоку. У функції мети $F1(q_{12}, q_{13}, q_{23}, q_{24}, q_{25}, q_{34}, q_{35}, q_{45}, q_{46}, q_{56})$ потрібно перелічити всі змінні і прівняти $F1$ потоку одного перерізу мережі ($q_{12} + q_{13}$). В результаті отримуємо розподіл максимального потоку мережі, який хоча й відрізняється від даних табл. 2, але задовольняє законам "бета".

В MathCAD рішення отримується при використанні функцій *Find*, *Minerr*, *Minimize* та *Maximize* за кількома методами (якщо перший з цих методів не працює, то вмикається наступний): *Linear* (симплекс – метод; при цьому початкові значення змінних не використовуються і можна застосовувати до 8192 обме-

жень), або один з трьох нелінійних методів [*Levenberg-Marquardt*, *Conjugate Gradient*, *Quasi-Newton* (200-400 змінних)].

Особливості законів Фарадея та Максвелла по визначенню ЕРС. Фарадей не використовував математичні залежності, а приписувані йому формули розрахунку ЕРС впливають з лінгвістичного опису про швидкість перетинання провідником магнітних силових ліній [4]. Максвелл замість "формули закону Фарадея" для визначення ЕРС $e=B \cdot L \cdot V$ (тут B – індукція магнітного поля, L – довжина провідника, V – швидкість переміщення провідника у магнітному полі) використовував формулу $e = -d\Phi/dt$ без розгляду шляхів зміни магнітного потоку геометрично незмінного контуру. Академік В.Ф. Миткевич розрізняв закон Фарадея $e = -d\Phi^{**}/dt$ і закон Максвелла $e = -d\Phi/dt$ і вимірював

зміну потоку Φ^{**} кількістю пересічених магнітних силових ліній. ЕРС $e = -d\Phi^{**}/dt$ В.Ф. Миткевич назвав "Фарадейовським формулюванням закону електромагнітної індукції" [4, с. 79] і стверджував, що воно ближче до суті фізичного процесу і є стабільно універсальним у порівнянні з формулюванням Максвелла $e = -d\Phi/dt$ [4, с. 89]. Для доведення цього твердження, В.Ф. Миткевич дав опис ряду експериментів. Один з них наведений на рис. 5: по первинній обмотці трансформатора W_1 протікає постійний струм і створює у магнітопроводі постійний магнітний потік Φ , а замкнений один виток вторинної обмотки W_2 при ковзанні по електропровідному "кільцю" "стрибком" змінює свій магнітний потік з нуля на Φ . Але при цьому ЕРС за законом Максвелла $e = -d\Phi/dt$ не створюється, бо немає пересічення магнітних силових ліній (в той же час контрольне вимкнення та увімкнення обмотки W_1 наводить ЕРС в обмотці W_2).

У досліді Фарадея по генеруванню постійної ЕРС при обертанні електропровідного диску у магнітному полі (рис. 6) щітки і провідники контуру можна розмістити так, щоб мінімізувати магнітний потік контуру Φ^{**} (його можна вважати рівним нулю і незмінним у часі), а між тим ЕРС $e = -d\Phi^{**}/dt$ буде наводитись як завжди довго.

В цьому випадку закон Максвелла $e = -d\Phi/dt$ незбавлений фізичного сенсу, бо магнітне поле контуру e постійним, а ЕРС провідника визначається лише швидкістю перетинання магнітних силових ліній.

Електропровідне "кільце"

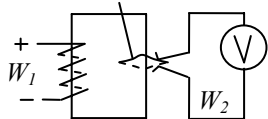


Рис. 5. Відсутність ЕРС $e_2 = -d\Phi/dt$

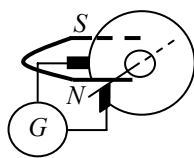


Рис. 6. Генератор

В.Ф. Миткевич стверджував, що в уніполярних машинах ми зустрічаємось із захованою комутацією (тобто вважав, що по провідниках приховано протікає змінний струм) [4, с. 215]. Але проведений пізніше дослід [2] уніполярного генератора з ізольованим провідником на роторі (рис. 7) довів, що у замкненому контурі можна нескінченно довго наводити постійну ЕРС, і тому "захованої комутації" не існує. Дослід з генератором рис. 7 також доводить, що магнітний потік контура може не збільшуватись до нескінченності при наведенні постійної ЕРС.

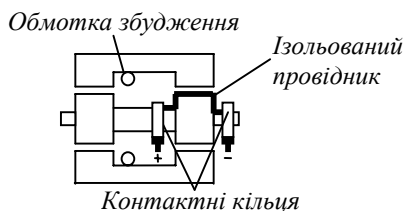


Рис. 7. Уніполярний генератор

Це вимагає чіткого дотримання формулювання Фарадея по створенню ЕРС.

ВИСНОВКИ

1. Розрахунки в електричній мережі можна виконувати по чотирьох системах законів (Кірхгофа для незмінної та змінної топології, "альфа" і "бета"), а також по математичній моделі з частковим використанням законів "бета" та нерівностей з урахуванням пропускових здатностей гілок мережі.

2. Закон електромагнітної індукції $e = -d\Phi^{**}/dt$ потрібно тлумачити у сенсі перетинання провідником магнітних силових ліній – за законом Фарадея.

3. Для уніполярного генератора рис. 6 закон Максвелла $e = -d\Phi/dt$ позбавлений фізичного сенсу, бо існуючий магнітний потік контуру не змінюється у часі, а "захованої комутації" не існує.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутковецький В.Я. Обобщенные методы переключаящих функций и их применение для расчета электромагнитных процессов в вентильных цепях. Специальности 05.09.12 – полупроводниковые преобразователи электроэнергии; 05.09.5 – теоретическая электротехника. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. – Киев: Институт электродинамики АН Украины, 1992. – 30 с.
2. Кутковецький В.Я., Запорожец Ю.М. Взаимодействие проводника с магнитным полем // Электричество. – 1996. – № 9. – С. 60-62.
3. Кутковецький В.Я. Теоретичні основи мереж потоків // Наукові праці: наук.-метод. журнал. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – Вип. 148. – Т. 160. Комп'ютерні технології. – С. 173-183.
4. Миткевич В.Ф. Магнитный поток и его преобразования. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1946. – 258 с.
5. Труфанов А. (n.d.) Алгоритмы нахождения максимального потока [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://algolist.manual.ru/maths/graphs/maxflows/> (14.03.2011).
6. Чолпан П.П. Фізика. – Київ: Вища школа, 2004. – 567 с.
7. Christiano P., Kelner J.A., Madry A., Shang-Hua Teng, Spielman D. Electrical Flows, Laplacian Systems an Faster Approximation of Maximum Flow in Undirected Graph. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://people.csail.mit.edu/madry/docs/maxflow.pdf> (18.10.2011).
8. Ford L.R. Jr., Fulkerson D.R. Maximal Flow Through a Network // Canadian J. Math., 8(3), 1956. – p. 399-404.
9. Schilling W. Die Berechnung der elektrischen Verhältnisse in einphasigen selbsterregten Wechselrichtern (Reihen- und Parallel-Wechselrichter). // Archiv für Elektrotechnik, 1933. Bd. XXVII, H1. – p. 22-34.

Bibliography (transliterated): 1. Kutkovetsky V.J. *Obobshhennye metody pereklyuchajushchih funktsij i ih primenenie dlya rascheta jelektromagnitnyh processov v ventil'nyh cepjakh*. Avtoreferat diss. doct. techn. nauk. Kiev, 1992. 30 p. 2. Kutkovetsky V.J., Zaporozhec Yu.M. *Vzaimodejstvie provodnika s magnitnym polem*. *Elektrichestvo*, 1996, no.9, pp. 60-62. 3. Kutkovetsky V.J. *Teoretychni osnovy meretz potokiv*. *Naukovi pratsi: nauk.-metod. zhurnal*, Mykolaiv, Petro Mohyla Black Sea State University publ., 2011, vol.160 *Kompiuterni tehnolohii*, no.148, pp. 173-183. 4. Mitkevich V.F. *Magnitnyj potok i ego preobrazovanija*. Moscow-Leningrad, Academy of Sci. of USSR Publ., 1946. 258 p. 5. Trufanov A. *Algoritmy nahozhdenija maksimal'nogo potoka*. Available at: <http://algolist.manual.ru/maths/graphs/maxflows/> (accessed 14 March 2011). 6. Cholpan P.P. *Fizyka*. Kyiv, Vyscha shkola Publ., 2004. 567 p. 7. Christiano P., Kelner J.A., Madry A., Shang-Hua Teng, Spielman D. *Electrical Flows, Laplacian Systems an Faster Approximation of Maximum Flow in Undirected Graph*. Available at: <http://people.csail.mit.edu/madry/docs/maxflow.pdf> (18 October 2011). 8. Ford L.R. Jr., Fulkerson D.R. Maximal Flow through a Network. *Canadian J. Math.*, 1956, no.8(3), pp. 399-404. 9. Schilling W. *Die Berechnung der elektrischen Verhältnisse in einphasigen selbsterregten Wechselrichtern (Reihen- und Parallel-Wechselrichter)*. *Archiv für Elektrotechnik*, 1933, Bd. XXVII, H1, pp. 22-34.

Надійшла (received) 15.09.2013

Кутковецький Валентин Якович, д.т.н., проф.,
Чорноморський державний університет ім. Петра Могили,
кафедра інформаційних технологій та програмних систем,
54003, Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10,
тел/phone +38 0512 366578, e-mail: kb@kma.mk.ua

V.J. Kutkovetsky
Petro Mohyla Black Sea State University
10, 68-Desantnykiv Street, Mykolaiv, 54003, Ukraine

Laws of electrical grid analysis.

Calculations of electrical network currents can be performed with four law systems, namely, Kirchhoff laws, under current limitation via electrical parameters and constant or variable network topology; "alpha" and "beta" laws, under current limitation via network arms transmission capacity.

Key words – Faraday laws, Maxwell laws, Kirchhoff laws, laws of "alpha" and "beta".