УДК 537.6/.8

# ОБЛАСТІ НЕКОРЕКТНОСТІ ЗАКОНУ ПОВНОГО СТРУМУ І ЗАКОНУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ

**В. О. Ручкін,** *канд. техн. наук,*
**В. О. Тарасов,** *докт. техн. наук*

**Постановка проблеми.** Закон повного струму і закон електромагнітної індукції є тими орієнтирами, за якими фахівці звіряють правильність своїх міркувань і дій у разі створення нових електричних машин.

У законі повного струму (1) стверджується, що циркуляція вектора напруженості магнітного поля в замкненому контурі чисельно дорівнює алгебраїчній сумі струмів, охоплюваних цим контуром [1, с. 214]; а в законі електромагнітної індукції (2) – ЕРС індукції $\varepsilon_{інд}$ у контурі дорівнює швидкості зменшення потоку індукції Ф, що пронизує цей контур [1, с. 253]. Закон повного струму може бути зображений у вигляді:

$$\Sigma H_i * dL_i = \Sigma I_n , \qquad (1)$$

де $\Sigma H_i * dL_i$ – магніторушійна сила (МРС);

$\Sigma I_n$ – алгебраїчна сума струмів, охоплюваних контуром;

а закон електромагнітної індукції – у вигляді:

$$E_{інд} = - dF/dt, \qquad (2)$$

де $E_{інд}$ – ЕРС індукції в замкненому контурі;

dF/dt – величина швидкості зміни магнітного потоку, що пронизує замкнений контур.

Мається на увазі, що ці закони описують і взаємодію пари замкнених контурів, один з яких виконаний з матеріалу з великою магнітною проникністю, а інший – з матеріалу з хорошою електропровідністю.

Закон повного струму і закон електромагнітної індукції в їхній загальноприйнятій редакції не сприяють реалізації в нових електричних машинах усіх тих можливостей, які передбачені в об'єктивних закономірностях збудження струмом магнітного потоку в магнітопроводі і збудження ЕРС індукції в замкненому контурі під час зміни магнітного потоку. За допомогою натурних експериментів [2; 3] доведено, що ці два закони описують взаємодію пари замкнених контурів не будь-якої форми, як це стверджується в підручниках фізики [1, с. 214; 4, с. 255; 5, с. 44], а тільки для одного окремого випадку, коли ці замкнені контури взаємно пронизують один одного.

**Мета статті** – показати, що:

• крім замкнених контурів, які взаємно пронизують один одного, існують принаймні ще два види пар замкнених контурів, в яких закономірності взаємодії між двома замкненими контурами не описуються законом повного

струму і законом електромагнітної індукції в їхній сучасній редакції;

• в розділі теорії електромагнетизму, в якому знайшли своє місце закон повного струму і закон електромагнітної індукції, найближчим часом варто очікувати появи нових підрозділів.

**Виклад основного матеріалу.** Закономірності взаємодії двох замкнених контурів, які взаємно не пронизують один одного, можна виразити формулами (3) і (4), які відрізняються від формул (1) і (2) тільки коефіцієнтами пропорційності $k_1$ і $k_2$.

$$\Sigma H_i * dL_i = k_1 * \Sigma I_n , \qquad (3)$$

$$E_{інд} = - k_2 * dF/dt. \qquad (4)$$

Числові значення коефіцієнтів $k_1$ і $k_2$ залежать від виду пари замкнених контурів, форми кожного контуру і взаємного розташування контурів у просторі.

На рис. 1 показана пара замкнених контурів (1 і 2), які не пронизують один одного, але змінний струм у зовнішній обмотці 1 збуджує змінний магнітний потік у магнітопроводі 2, і змінний магнітний потік у цьому магнітопроводі збуджує змінну ЕРС в обмотці 1. Внутрішня обмотка 3 слугує для створення змінного магнітного потоку в магнітопроводі або для виявлення змінного магнітного потоку в ньому по індукованій в ній змінній напрузі. Умовно назвемо такий вид пари контурів паралельними замкненими контурами.

На рис. 2 зображена інша пара паралельних замкнених контурів (1 і 2). На рисунку обмотки на магнітопроводах не показані. Пустотілий короткозамкнений виток 2 може бути виготовлений з листової міді.

Незважаючи на те, що контур пустотілого короткозамкненого витка не пронизує контур магнітопроводу, змінний струм, що проходить по цьому витку, збуджує магнітний потік у магнітопроводі. Для збудження струму в пустотілому короткозамкненому витку по обмотці внутрішнього магнітопроводу пропускається змінний струм.

Хоч контур магнітопроводу не пронизує контур пустотілого короткозамкненого витка, змінний магнітний потік, що проходить по магнітопроводу, збуджує струм у цьому витку. Для збудження змінного магнітного потоку в магнітопроводі по його обмотці пропускається змінний струм. Для виявлення змінного струму в пустотілому короткозамкненому витку використовується напруга, яка індукована в обмотці на внутрішньому магнітопроводі.

На рис. 3 зображена пара замкнених конту-

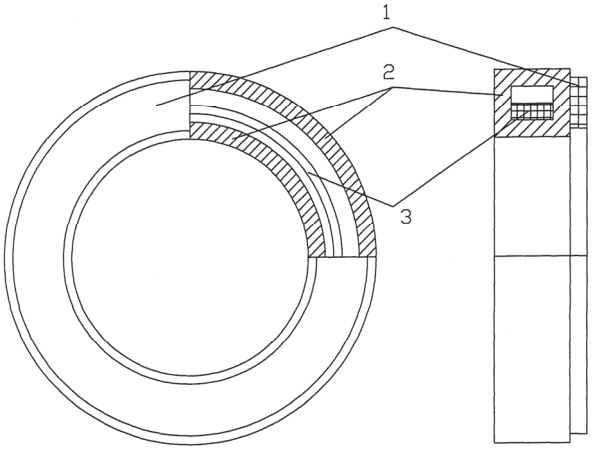


**Рис. 1. Паралельні замкнені контури (1 і 2): 1 – зовнішня обмотка; 2 – магнітопровід; 3 – внутрішня обмотка**

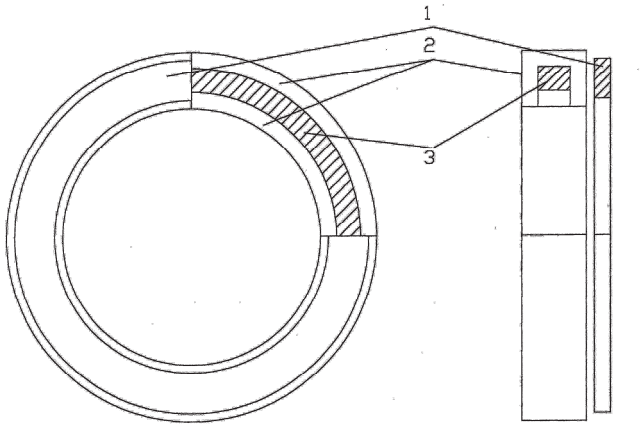


**Рис. 2. Паралельні замкнені контури (1 і 2): 1 – зовнішній кільцевий магнітопровід; 2 – пустотілий короткозамкнений виток; 3 – внутрішній кільцевий магнітопровід**

рів (1 і 2), які також не пронизують один одного, але закономірності взаємодії пар контурів цього виду (і числові значення коефіцієнтів $k_1$ і $k_2$) істотно відрізняються і від закономірностей взаємодії пар контурів взаємно пронизуючих один одного, і від закономірностей взаємодії пар паралельних контурів. Змінний струм у зовнішній обмотці, що не пронизує магнітопровід, збуджує змінний магнітний потік у феритовому магнітопроводі 2, але змінний магнітний потік у ньому не збуджує ЕРС індукції в зовнішній обмотці. Напруга, яка індукована у внутрішній обмотці, використовується для виявлення змінного магнітного потоку у феритовому магнітопроводі. Умовно назвемо цей вид пар контурів (1 і 2) частково екранованими.

На рис. 4 зображена інша пара (1 і 2) частково екранованих замкнених контурів. На рисунку обмотки на магнітопроводах не показані.

Змінний струм, що проходить по стінці пустотілого циліндра 2, збуджує змінний магнітний потік у феритовому магнітопроводі 1, але змінний магнітний потік у ньому не збуджує ЕРС індукції в короткозамкненому витку, утвореному пустотілим циліндром, торцями пустотілого циліндра і провідником, що з'єднує торці пустотілого циліндра.

Для збудження змінного струму, що проходить по стінці пустотілого циліндра, по обмотці кільцевого магнітопроводу 3 пропускається змінний струм; змінний магнітний потік, що проходить цим магнітопроводом, збуджує ЕРС індукції в короткозамкненому витку, утвореному пустотілим циліндром, торцями пустотілого циліндра і провідником, що з'єднує їх. Для виявлення змінного магнітного потоку в зовнішньому магнітопроводі 1, використовується напруга, що виникає в обмотці цього магнітопроводу.

Натурними експериментами, описаними в [2; 3], доведено:

• для збудження струмом магнітного потоку в замкненому контурі магнітопроводу зовсім не обов'язково, щоб струм пронизував замкнений контур магнітопроводу (див. рис. 2; 3);

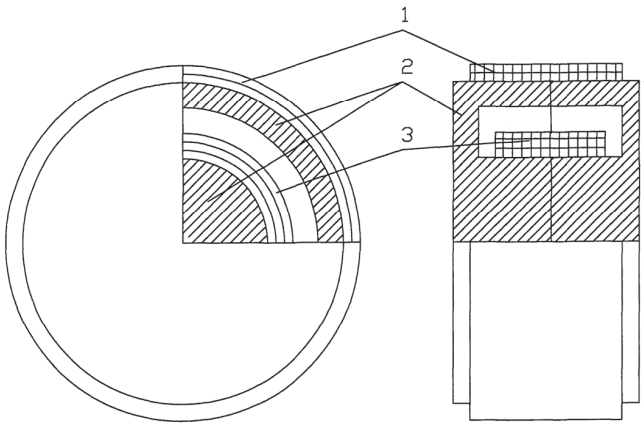


**Рис. 3. Частково екранована пара контурів (1 і 2): 1 – зовнішня обмотка; 2 – магнітопровід: 3 – внутрішня обмотка**

• для збудження ЕРС індукції в замкненому контурі при зміні магнітного потоку, не обов'язково, щоб магнітний потік, що змінюється, пронизував цей контур (див. рис. 1);

• у магнітопроводі, що охоплює два рівних струми, що протікають у протилежних напрямках (алгебраїчна сума струмів дорівнює нулю), може виникати магнітний потік (див. рис. 4);

• коефіцієнти взаємної індукції (взаємної індуктивності) двох замкнених контурів із матеріалу з великою електропровідністю можуть істотно розрізнятися, що є основою для побудови невзаємних електромагнітних систем (див. рис. 3; 4).

Особливістю невзаємних електромагнітних систем є те, що дія причинно-наслідкових зв'язків у них має однобічний напрямок. Точніше кажучи, у цих системах передача енергії в одному напрямку відбувається на порядок або два більш ефективно, ніж у протилежному. На вході звичайних електричних машин завжди відчувається вплив величини навантаження на їхньому виході. За умови збільшення:

• струму у вторинній обмотці трансформатора під впливом навантаження збільшується струм у первинній обмотці;

• гальмуючого моменту на валу електро-

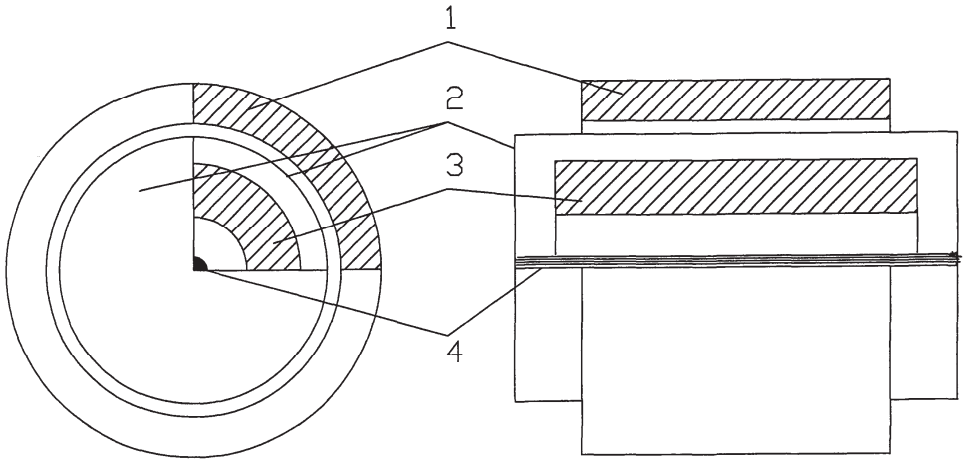


**Рис. 4. Частково екранована пара контурів (1 і 2): 1 – зовнішній кільцевий магнітопровід; 2 – мідний пустотілий циліндр; 3 – внутрішній кільцевий магнітопровід; 4 – провідник**

мотора збільшується струм, споживаний ним від мережі;

• струму навантаження електрогенератора збільшується гальмуючий момент на його вхідному валу. На вході електричних машин, виконаних на невзаємних електромагнітних системах, відсутній вплив величини навантаження на їхньому виході.

**Можливе практичне застосування.** Зміна відстані між обмоткою і магнітопроводом (див. рис. 1) надає можливість плавно регулювати величину ЕРС індукції в обмотці без комутації електричного кола. Величина ЕРС індукції в обмотці залежить не тільки від відстані між обмоткою і магнітопроводом, але й від значення діелектричного постійного середовища між обмоткою і магнітопроводом. Це дає змогу застосовувати трансформатор, зображений на цьому рисунку як датчик під час вимірювання значення діелектричного постійного середовища, зокрема, визначення процентного вмісту води в дизельному паливі.

Із цією ж метою може застосовуватися й трансформатор, зображений на рис. 2, при виборі потрібної відстані між зовнішнім кільцевим магнітопроводом і поверхнею пустотілого короткозамкненого витка.

Трансформатор, зображений на рис. 3, може застосовуватися для захисту мережі від електричних перешкод, створюваних навантаженням. Потужність від такого трансформатора обмежена інтенсивністю намагнічування магнітопроводу струмом в обмотці. При живленні потужного електромотора від такого трансформатора можна обійтися без ступінчастого включення. З такою ж метою може застосовуватися й трансформатор, зображений на рис. 4.

**Висновки**

Об'єктивна закономірність збудження електричним струмом магнітного потоку в замкненому контурі магнітопроводу й об'єктивна закономірність збудження ЕРС індукції в замкненому провідному контурі при зміні магнітного потоку складніша, ніж сучасні загальноприйняті уявлення про ці закономірності, зафіксовані в законі повного струму, законі електромагнітної індукції і наслідках із цих законів.

Усі сучасні електричні машини (електрогенератори, трансформатори, електромотори) побудовані тільки на контурах взаємно пронизуючих один одного. У разі застосування в електричних машинах інших видів пар контурів електричним машинам можуть додаватися нові властивості.

Можливість застосування в електричних машинах інших видів пар контурів стимулюватиме проведення інтенсивних досліджень закономірностей взаємодії паралельних замкнених контурів і невзаємних замкнених контурів.

Установлення функціональних залежностей (3) і (4) з урахуванням геометричних співвідношень у паралельних і частково екранованих парах контурів надасть можливість ефективно проектувати дійсно сучасні електричні машини.

Очевидно, що в розділі теорії електромагнетизму, в якому знайшли місце закон повного струму і закон електромагнітної індукції, найближчим часом варто очікувати появи нових підрозділів, де будуть розкриті властивості паралельних і частково екранованих пар замкнених контурів.


ЛІТЕРАТУРА

1. *Зисман Г. А. , Тодес О.М.* Курс общей физики. – Т. 2. – М.: Наука, 1969. – 368 с.

2. *Ручкин В. А.* Две модели закономерности возбуждения магнитного потока. Введение в невзаимные электромагнитные системы. – К.: Знания Украины, 2012. – 23 с.

3. *Ручкин В. А.* Новое об электромагнетизме. Введение в невзаимные электромагнитные системы. – К.: Знания Украины, 2012. – 23 с.

4. *Телеснин Р. В.*, *Яковлев В. Ф.* Курс физики. Электричество. – 2-е изд., переработ: учеб. пособие для физ-мат. фак-тов пед. ин-тов. М.: Просвещение, 1960. – 488 с.

5. *Мочалов А. А.* Курс физики: учеб. пособие для вузов: в 2т. – Т.2. – Николаев: НУК, 2008. – 384 с.


# ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГІЙ

*Медицина*

## АПАРАТ ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЇ З БІОКЕРУВАННЯМ «ТРЕНАР-01»

**Призначення.** Апарат відновлює рухові функції людини, які порушені внаслідок важких захворювань центральної і периферійної нервової системи, травм у дорослих і дітей.

**Сфера застосування –** медицина.

**Опис.** Апарат має два канали електростимуляції й один канал реєстрації електроміограми.

Програма тренування:

• вимушених скорочень м'язів у різному ритмі за штучно синтезованими програмами електростимуляції;

• вимушених скорочень м'язів за природними програмами електростимуляції. Програма заснована на спеціальній обробці ЕМГ-сигналу, що надходить від довільних скорочень власних здорових м'язів пацієнта або м'язів іншої людини (інструктора) у режимі он-лайн;

• довільно вимушених скорочень м'язів. Програма електростимуляції надходить від довільних скорочень м'язу, що тренується в режимі запис-відтворення.

**Переваги –** зручність в експлуатації, а саме:

• світлова і звукова індикація функціонування програм;

• рідкокристалічний дисплей;

• процедурний таймер (5 – 60 хв.);

• індикація цілісності ланцюга стимуляції;

• захист від несанкціонованої подачі на пацієнта сигналу стимуляції;

• автономне живлення (9 В).

Здійснені успішні клінічні випробування, апарат внесено до Державного реєстру медичної техніки і виробів медичного призначення України і дозволено його застосування в медичній практиці, надано свідоцтво про Державну реєстрацію № 7872/2008.

На ДНВП «Електронмаш» (м. Київ) виготовлено установчу серію і повний комплект конструкторсько-технологічної документації.

**Технічні характеристики**

| | |
|---|---|
| Сигнал стимуляції | прямокутні радіоімпульси |
| Частота | 10–180 Гц, шпаруватість – 10 |
| Частота заповнення | 5 кГц, шпаруватість – 2 |
| Максимальна інтенсивність струму стимуляції | 50 мА |