

Експериментальні дослідження електромагнітних процесів в установках плазмового розширення свердловин в лабораторних умовах показали, що вихідні припущення, які було взято при виводі кількісних співвідношень, наведених в цій роботі, дають можливість обчислити величини струмів витoku на землю в комбінованих електричних мережах з достатньою для потреб розробки апаратури їх контролю точністю.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок / В.П.Колосюк. – М.: Недра, 1980. – 334с.: ил.
2. Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники: в 2-х т. Том 1 / Л.Р.Нейман, К.С.Демирчян. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 536с.: ил.

Надійшла до редколегії 17.03.2014.

УДК 621.371: 621.314.4

ДОРОШЕНКО О.І., к.т.н., доцент  
ВОДІЧЕВ В.А., д.т.н., професор

Одеський національний політехнічний університет

### ЩОДО ФІЗИЧНИХ ОСНОВ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

**Вступ.** Зважаючи на вимоги безпеки та технічні перешкоди доступу до діючого електрообладнання електроенергетичних систем (ЕЕС), у практиці досліджень їх режимів широко використовують математичне моделювання [1]. Для цього достатньо написати математичні рівняння, які зв'язують параметри елементів ЕЕС з параметрами її режиму, і віднайти алгоритм їх розв'язання із застосуванням сучасної обчислювальної техніки. Але для деяких сучасних дослідників створення математичної моделі стає самоціллю, а фізична сутність явища відходить на другий план [2]. Таке ставлення до моделювання призвело до того, що на сьогодні в електроенергетиці існують дві електромагнітні концепції [3].

Перша – електродинаміка Фарадея-Максвелла, що сформувала фундамент уявлення про електромагнетизм. Її основа – учення про електромагнітне поле як про реальну фізичну субстанцію – своєрідне середовище, динаміка якого визначає дію електричних сил між зарядженими частинками (їх електричними зарядами).

Друга – математична концепція. В ній поле – визначена у просторі математична функція і не більше того. Це значно спрощує розв'язання багатьох прикладних задач завдячуючи тому, що вплив великої кількості фізичних факторів, діючих на предмет дослідження, можна замінити тільки одним чисельним значенням напруженості поля у конкретній точці, яка визначає кінцеву силу, що діє у цій точці. Одночасно з цим, зникає і поняття фізичної природи електромагнетизму та прозорість дії його внутрішнього механізму.

**Постановка задачі.** *Аналіз відомих рішень.* За пропозицією [4] моделювання будь-якого електроенергетичного процесу ЕЕС необхідно проводити у два етапи:

1. Ідейно-теоретична модель, що дає відповіді на питання: Як? Чому так?
2. Реально-математична модель, що відповідає на питання: Скільки? Чому стільки?

Мета цієї роботи – не зменшуючи ролі та значення математичної складової моделювання в електроенергетиці, розробити ідейно-теоретичну основу моделювання, яка розкриває реально фізичну основу процесу електропередачі.

З приводу електропередачі в [5] стверджується: „...Электромагнитная энергия от места ее генерирования передается к месту потребления по диэлектрику (провода же в линиях передачи выполняют двойную роль: они являются каналами, по которым проходит ток, и организаторами структуры поля в диэлектрике)...”.

Таким чином, носієм енергії в ЕЕС є загальне електромагнітне поле усіх її елементів-електроустановок, а електрична енергія, фізично, є енергією електромагнітного поля системи, яке є її робочим інструментом і може існувати лише в електропружному матеріальному середовищі.

На роль такого універсального будівельного матеріалу-матерії можуть претендувати найменші фізичні (матеріальні) частинки, які у нормальному становищі себе не проявляють ніяким чином і які автори [6] називають фітонами (від поняття фізичного вакууму). За їх версією густина фізичного вакууму дуже мала і не перебільшує величину  $10^{-18}$  г/см<sup>3</sup>.

У відповідності до закону парності [7] фітони мають володіти одночасно однаковими позитивним і негативним елементарними зарядами, які у нормальному становищі такої частинки можуть оберталися (під дією Вселенського електромагнітного поля) у протилежних напрямках навколо загальної осі. При цьому загальний заряд і загальний момент обертання (спін) фітона дорівнюють нулю, тому у нормальному стані частинка себе ніяк не проявляє і може називатися нейтроном.

За припущенням [6] під дією зовнішніх чинників може відбуватися поляризація фітонів, за якої осі обертання їх зарядів зміщуються у поздовжньому і поперечному напрямках. При цьому фітони набувають властивості полярних частинок і їх спіни вже відрізняються від нуля. Таким чином, поляризація фітонів призводить до виходу їх внутрішньої енергії за їх межі і до створення енергії у фізичному просторі, якщо воно пружне. Можливо, що поляризовані фітони і створюють атоми простих речовин.

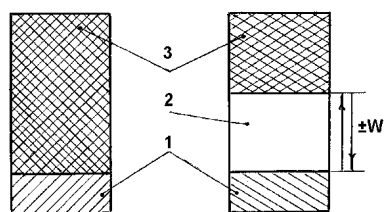
Цілком можливо, що за певних умов із атомів простих речовин (дякуючи електричним взаємодіям між ними) можуть створюватися і молекули складних хімічних речовин (як найменші їх частинки). І в першому, і у другому випадках атоми і молекули стабільно існують за рахунок електричних сил (закон парності), діючих між зарядами, які їх створили з фізичного вакууму. Очевидно, що для створення речовин з фізичного вакууму необхідною умовою є наявність достатнього обсягу сторонньої енергії.

Як відомо, електрообладнання ЕЕС створено з провідників та діелектриків. Їх атоми складаються із ядра, що має позитивний заряд, який урівноважений сумарним негативним зарядом електронів, що обертаються в нормальних умовах навколо ядра за круговими орбітами. Таким чином, атоми і молекули будь-якої речовини мають внутрішню енергію, яка за нормальних умов за їх межі не виходить.

Незважаючи на те, що атоми провідників і діелектриків мають однакову будову, сили, які утримують їх електрони на кругових орбітах, створюються по-різному. Провідники – це метали (зазвичай, мідь і алюміній), які мають кристалічну будову. У вузлах кристалічної решітки провідника розташовані позитивно заряджені ядра атомів речовини (протони), а в середовищі фізичного вакууму між ними обертаються електрони. Електричний зв'язок між протонами і електронами провідників одержав назву електронного зв'язку. Кожна одиниця заряду протона утримує на круговій орбіті тільки один (свій) електрон. Такий зв'язок вважається надто слабким, і під дією зовнішніх факторів електрони атомів провідника легко стають вільними, утворюючи в них струм провідності.

У більшості діелектриків кристалічної решітки нема і зв'язок між атомами молекули називають молекулярним. При цьому кожен електрон кожного атому молекули утримується на круговій орбіті кожним протоном кожного її атому.

Як показано на рис.1, у атомів діелектриків (на відміну від провідників) існують заборонені енергетичні зони 2 для електронів (орбіти, на яких вони не можуть розташо-



провідник діелектрик

Рисунок 1 – Енергетичні зони атомів

уватися) – енергетичні рівні. Зона 1 – щільно заповнена електронами, а зона 3 – зона вільних електронів.

Можна бачити, що електрони атомів провідника легко можуть стати вільними (зона вільних електронів розташується впритул до заповненої зони). При цьому у провідників за рахунок вільних електронів створюється струм провідності. Можна стверджувати, що окремий такий електрон не може бути окремою елементарною частинкою, а є лише властивістю фітону до силової взаємодії з

подібним до себе іншим зарядом.

Незважаючи на тверду монолітну структуру провідників, вузли їх кристалічної решітки, зберігаючи динамічну рівновагу, виконують коливання в зоні певних точок рівноваги, заважають при цьому рухові вільних електронів. Ступінь такої перешкоди оцінюють величиною активного опору ( $R$ , Ом).

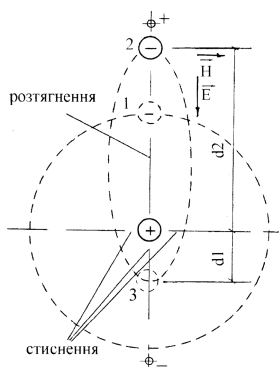


Рисунок 2 – Поляризація атому діелектрика

У атомів діелектрика між заповненою зоною і зоною вільних електронів існує заборонена зона, у якій електрони можуть знаходитись тільки тимчасово і тільки під дією зовнішніх факторів. При цьому їх кругові орбіти набувають овальної форми (рис.2), унаслідок чого внутрішня енергія фітонів, що створили атоми діелектрика, виходить за їх межі (відбувається їх поляризація), і в діелектрику появляються струми зміщення.

Відношення питомих об'ємних струмів зміщення і струмів провідності складають величину: у діелектриків – 278 в.о.; у провідників –  $5,6 \cdot 10^{-6}$  в.о. [6]. Такі співвідношення можуть свідчити про те, що діелектричне середовище (на відміну від провідного) є електрично пружним середовищем і в ньому може існувати енергія [8].

**Результати роботи.** Очевидно, що ідейно-теоретична модель ЕЕС повинна базуватись на положенні про те, що на відміну від провідників діелектрики є речовинами, які мають електричну пружність. Саме тому в них (дякуючи спроможності до поляризації) можуть створюватись сили, які діють між електричними зарядами і створюють енергію електромагнітного поля.

Основним зовнішнім фактором, який, діючи на діелектричне середовище ЕЕС, сприяє появі у ньому електроенергії (ЕЕ), є напруга, яку створюють генератори електростанцій системи. При цьому в струмоведучих частинах створюється струм провідності за рахунок вільних електронів. Перед тим, як стати вільним, електрон спочатку обертається навколо вузла кристалічної решітки, де розташовано ядро атому, тому можливо, що струм провідності струмоведучих частин є рухом вільних електронів за спіральною траєкторією, що визначає наявність у таких частин індуктивності.

Кількість електронів на поверхні струмоведучих частин (їх заряд) залежить від величини напруги таких частин і їх конструктивного виконання, що визначає наявність у цих частин електричної ємності.

Очевидно, що наявність у струмоведучих частин ЕЕС ємності і індуктивності визначає вплив на оточуюче їх діелектричне середовище напруги і струму провідності згаданих частин, а оточуюче їх пружне діелектричне середовище можна розглядати як „пружину”, що діє одночасно у двох напрямках – вздовж і поперек напрямку електропередачі. При цьому напруга (за допомогою ємності) стискає таку „пружину”, а струм

провідності (за допомогою індуктивності) її розтягує.

Як відомо, потужність об'ємної поляризації діелектрика елементарної площинки, що спирається на елементарну довжину  $\partial p / \partial \ell$  кола струму провідності його струмоведучих частин, за постійної напруги можна визначити за допомогою теореми Пойтинга,  $\text{ВА}/\text{м}^2$ :

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}, \quad (1)$$

де  $\vec{E}$  – вектор напруженості електричного поля площинки,  $\text{В}/\text{м}$ ;

$\vec{H}$  – вектор напруженості магнітного поля площинки,  $\text{А}/\text{м}$ .

Таким чином, вектор  $\vec{P}$  – це потужність, що передається споживачеві ЕЕ від джерела живлення через площину  $1 \text{ м}^2$ .

Оскільки  $E \equiv U$  та  $H \equiv I$ , то спираючись на рівняння (1), миттєву потужність кола з синусоїдальними напругою і струмом провідності можна представити у вигляді, кВА:

$$s = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi), \quad (2)$$

де  $U_m, U$  – амплітудне і діюче значення синусоїдальної напруги, що змінюється з кутовою частотою  $\omega t$ , В;

$I_m, I$  – амплітудне і діюче значення синусоїдального струму провідності, який відстає від напруги за фазою на кут  $\varphi$ .

Можна допустити, що рівняння (2) визначає загальну об'ємну потужність поляризації діелектричного середовища ЕЕС як „пружини”, що працює одночасно у двох згаданих раніше напрямках (рис.3).

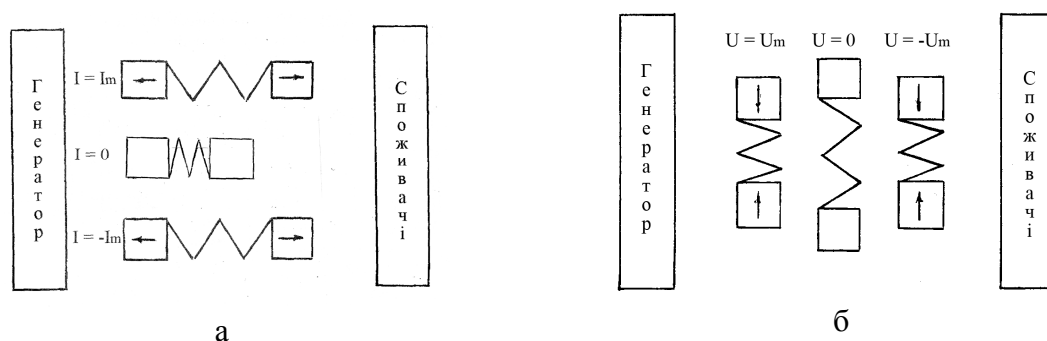


Рисунок 3 – Ідейно-теоретична модель електропередачі ЕЕС

При цьому за нормальних умов роботи ЕЕС у поперечному напрямі переважає дія напруги, а у поздовжньому – дія струму провідності струмоведучих частин системи. Тобто, електричну потужність електропередачі (потужність її електромагнітного поля) можна умовно розкласти у двох напрямках відносно до її напрямку (за основним напрямком дії на її діелектричне середовище напруги і струму провідності струмоведучих частин). При цьому можна допустити, що один кінець „пружини” діелектричного середовища у поздовжньому напрямку електропередачі надійно закріплюють генератори електростанцій ЕЕС (рис.3, а).

Цілком очевидно, що незалежно від стану такої „пружини” (розтягнуто чи стиснено) її енергія може передаватись тільки споживачам. Цю умовну частину потужності електропередачі називають її активною потужністю. Спираючись на рівняння (2), активну потужність електропередачі як потужність плоско-паралельного поля можна визначити за допомогою формули, кВт

$$P = UI \cos \varphi. \quad (3)$$

Обидва кінці „пружини” діелектричного середовища вільні (рис.3, б). Тому ця умовна частина енергії електромагнітного поля, фізично, може передаватись тільки у середину струмоведучих частин, де енергія існувати не може (за твердженням [8] відсутня електрична пружність). Але унаслідок електромагнітної індукції в них створюється ЕРС самоіндукції і струм самоіндукції (реакція ЕЕС на власне електромагнітне поле), який у будь-який момент часу має напрям, протилежний відносно струму, що надходить від генераторів ЕЕС.

Через таку дію самоіндукції цю умовну складову потужності ЕЕС називають реактивною потужністю. Очевидно, що це внутрішня частина ЕЕ системи, яка за її межі не виходить, ні до споживачів, ні від них передаватись не може. Але, на відміну від активної потужності, може мати дві ознаки: індуктивний і ємнісний характер.

Для плоско-паралельного поля електропередачі реактивна потужність змінюється за часом з подвійною частотою і визначає амплітуду хвилі енергії електромагнітного поля ЕЕС, що біжить від генераторів її електростанцій до споживачів ЕЕ.

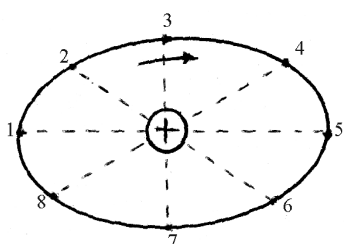


Рисунок 4 – Поляризація діелектрика поперек напрямку електропередачі

$\varphi$  (діє її індуктивність), а за ємнісного характеру навантаження – випереджає його (діє її ємність).

Спираючись на рівняння (2), реактивну потужність електропередачі як потужність плоско-паралельного поля можна визначити за допомогою формули, кВАр

$$Q = -UI \cos(2\omega t \mp \varphi). \quad (4)$$

При цьому  $-\varphi$  відповідає відстаючому від напруги струму провідності, а  $+\varphi$  – струмові, що випереджає напругу.

Для плоско-паралельного загального електромагнітного поля електропередачі її повну потужність можна представити у вигляді, кВА

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (5)$$

На рис.5 представлено можливий варіант співвідношення потужностей поляризації діелектричного середовища електропередачі, що працює з  $\text{tg } \varphi = 0.25$ , з відстаючим струмом провідності її струмоведучих частин.

**Висновки.** Виконане ідейно-теоретичне і реально-математичне моделювання електроенергетичного процесу електропередачі дозволяє зробити наступні висновки:

1. Електрична енергія електроенергетичної системи, фізично, є хвилею енергії поляризації електрично пружного діелектричного середовища, яке оточує усі її струмоведучі частини одночасною дією на нього їх напруги і струму провідності.

2. Електрична енергія як товарна продукція електроенергетичної системи – це робота, яку виконують генератори її електростанцій для створення напруги на своїх затишках, під дією якої створюється струм провідності в її струмоведучих частинах і струм

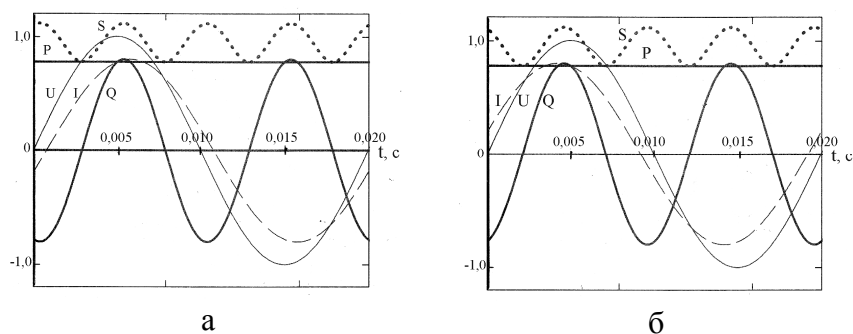


Рисунок 5 – Складові потужності електропередачі ЕЕС

зміщення – в діелектричному середовищі, що оточує згадані частини.

3. Реактивна потужність – змінна за часом (з подвійною частотою) поперечна (відносно напрямку електропередачі) складова частина потужності електромагнітного поля електроенергетичної системи, яка споживачам не передається (внутрішня енергія ЕЕС) і товарною продукцією бути не може.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики / В.А.Веников. – М.: Высшая школа, 1966. – 487с.
2. Физические явления внутреннего резонанса в электрооборудовании с обмотками высокого напряжения / [Бучковский И.Р. Молнар М.М., Никонец А.Л. и др.]; под ред. Л.А.Никонца. – Львов: НВФ “Українські технології”, 2012. – 167с.
3. Репченко О.Н. Полевая физика или как устроен мир ? / О.Н.Репченко // – М.: Галерея, 2005. – 320с.
4. Дорошенко О.І. Щодо питання матеріальності в фізиці електроенергетики / О.І.Дорошенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк. – 2011. – Випуск 11 (186). – С.120-124.
5. Копылов И.П. Великие законы природы / И.П.Копылов // Электричество. – 2011. – № 4. – С.63-66.
6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: учебник для студ. энергетич. и электротехнич. вузов / Л.А.Бессонов. – Изд. 6-е. – М.: Высшая школа, 1973. – 752с.
7. Акимов А.Е. Модели поляризованных состояний физического вакуума и торсионных полей / А.Е.Акимов, В.Я.Тарасенко // Известия высших учебных заведений. Физика. – 1992. – №3. – С.13-23.
8. Ландау Л.Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика / Л.Д.Ландау, А.И.Ахиезер, Е.М.Лифшиц. – М.: Изд. „Наука”, Главная редакция физико-математической литературы. – 1969. – 399с.
9. Дорошенко О.І. Про фізику електромагнітного поля електроенергетичної системи / О.І.Дорошенко // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів: XI міжнар. наук.-техн. конф., 2-4 листопада 2012 р.: матеріали конференції. – Кременчук, 2012. – С.33-35.

Надійшла до редколегії 27.06.2014.