

# Індукований струм

В. Чабан, проф.

Національний університет "Львівська політехніка"

**Abstract.** In the paper is shown that in ideal superconducting counters Faraday's law does not and induced EMF loses sense. Here mutual connection is realized by induced current under Ampere's law as on AC so on DC.

**Key words:** induced current, superconducting, AC and DC.

**Вступ.** У роботі йдеться про важливе теоретичне питання електромагнетизму – як здійснюється взаємоіндуктивний зв'язок з надпровідним контуром оскільки поняття індукованої ЕРС тут губить сенс.

**Теорія.** За основу приймемо класичні рівняння Максвелла в квазістационарному наближенні

$$\nabla \times \mathbf{H} = \gamma \mathbf{E}; \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{E}, \mathbf{H}$  – вектори напруженостей електричного й магнетного полів;  $\gamma, \mu$  – електропровідність та магнетна проникність середовища.

Розглянемо зафіксовані в просторі деякий замкнутий контур  $l$  і будь-яку поверхню  $S$ , обмежену даним контуром. Використавши теорему Стокса, візьмемо циркуляції обох векторів електромагнетного поля. Якщо прийняти до уваги (1), то матимемо

$$\oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{E}) \cdot \mathbf{n} dS = - \int_S \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \cdot \mathbf{n} dS = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}; \quad (2)$$

$$\oint_l \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{H}) \cdot \mathbf{n} dS = \int_S \gamma \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS = i, \quad (3)$$

де  $\Phi, i$  – магнетний потік і струм контура.

Вирази (2), (3) – відомі закони Фарадея та Ампера. Закон Фарадея однозначно пов'язує швидкість зміни потоку контура з індукованою в ньому ЕРС. Закон Ампера однозначно пов'язує магнетний потік і струм контура.

Як бачимо, ні один з цих законів не передбачає існування індукованих струмів, а лише індуковані ЕРС. Що на перший погляд заперечує назву статті. Але ситуація різко міняється, якщо ми застосуємо обидва закони до надпровідного контура.

Справа в тім, що в ідеальному надпровідному контурі ЕРС індукуватися не може, бо під її дією протікали б безмежно великі струми, що суперечить основним законам фізики. Це впливає з того, що ліва частина (2), виходячи з природи надпровідності, вироджується в нуль. Тоді закон Фарадея спрощується до невпізнання

$$\Phi(t) = \Phi(0) = const. \quad (4)$$

Початковий потік  $\Phi(0)$  зберігає те значення, при якому був заморожений контур. Зрозуміло, що воно може бути зокрема нульовим.

Збудимо деякий інший контур струмом  $i_e$ . Згідно з (3) він породить власне поле  $\mathbf{H}_e$ . Помістимо наш надпро-

відний контур у поле  $\Phi_e(t)$  потоку вектора  $\mathbf{H}_e$ . Тоді згідно з (4) одержимо парадоксальну рівність

$$\Phi(t) + \Phi_e(t) = \Phi(0). \quad (5)$$

Щоб задовольнити цю рівність, у контурі мусить виникнути додатковий струм  $i_i$  такого знаку, щоб повністю компенсувати потік  $\Phi_e(t)$ . Тільки в такому разі зникне суперечність формул (4) і (5).

Поява такогоструму – беззаперечний факт, установлений експериментально в [1] при вивченні магнетної потенціальної ями в надпровідних системах, відкритої відомим українським фізиком В. Козорізом у 1975 р. Мова йдеться про стійку природну магнетну левітацію. Але таку стійкість заперечувала відома теорема Ірншоу, опублікована в 1839 р. Проти феномену Козоріза, не дивлячись на переконливе експериментальне підтвердження, виступив весь радянський науковий світ, у тому числі відомі нобелівські лауреати, аби відмовити автору у відкритті. Не знати доки б велася ця дискусія, якби через 12 років на це явище не натрапили американські вчені. Ірншоу виходив з пошуку мінімуму енергії взаємодіючих тіл, який настає в стійкому стані, довівши його не існування. Але при прискіпливішому підході до проблеми автор відкриття все таки показав на підставі теорії кіл наявність такого мінімуму за певних умов [1]. Невдовзі цей мінімум було одержано й на підставі теорії електромагнетного поля [2], [3].

А тепер про основне. Беззаперечно, що між струмами  $i_i$  і  $i_e$  існує штивний взаємоіндуктивний зв'язок – струм індукує струм на підставі закону Ампера (3), втиснутого в умову ідеальної надпровідності (4). Закон Фарадея з його індукованою ЕРС в умовах надпровідності згідно з (4) втрачає сенс. Оскільки в законі (3) відсутня часова похідна, то на його підставі взаємоіндуктивний зв'язок здійснюється як на змінному, так і на постійному струмі!

## Висновки.

1. У ідеальних надпровідних контурах не може індукуватися ЕРС, тому закон Фарадея втрачає сенс.

2. Взаємоіндуктивний зв'язок з надпровідним контуром здійснюється індукованими струмами на підставі закону Ампера.

3. Якщо індукована ЕРС можлива лише на змінних сигналах, то індукований струм можливий як на змінних, так і на постійних сигналах.

[1]. Михалевиц В. С., Козориз В. В., Рашкович В. М., Хусайнов Д. Я., Чеборин О. Г. "Магнитная потенциальная яма" – эффект стабилизации сверхпроводящих динамических систем. – К.: Наукова думка. – 1991. – 336 с.

[2]. V. Tchaban, V. Kozoriz. Mathematical modelling of interaction of superconductors magnetic systems. – Proceedings Intern. AMSE Conference "Systems", London (U.K.), Sept. 1–3, 1993, AMSE Press, Vol.3, pp. 149–153.

[3]. Чабан В. Математичне моделювання в електротехніці. – Л.: Вид-во Тараса Сороки, 2010, 508 с.

# Induced current (in addition)

Prof. V. Tchaban

Lviv Polytechnic National University

**Abstract.** In the paper is shown that in ideal superconducting counters Faraday's law does not and induced EMF loses sense. Here mutual connection is realized by induced current under Ampere's law as on AC so on DC.

**Key words:** induced current, superconducting, AC and DC.

**Entry.** In process speech goes about the important theoretical question of electromagnetism – as inductive connection comes true with a superconducting contour as a concept induced electromotive force (EMF) loses sense here.

**Theory.** For basis will accept classic Maxwell's laws in the quasi-stationary approaching

$$\nabla \times \mathbf{H} = \gamma \mathbf{E}; \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad (1)$$

where  $\mathbf{E}, \mathbf{H}$  are vectors of intensities of the electric and magnetic fields;  $\gamma, \mu$  are conductivity and permeability of medium.

Will consider fixed in space some superconducting contour of  $l$  and any surface of  $S$ , limited to this contour. Using the theorem of Stokes, we take circulations of both vectors of the electromagnetic field. If to take into account (1), then will have

$$\oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{E}) \cdot \mathbf{n} dS = - \int_S \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \cdot \mathbf{n} dS = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}; \quad (2)$$

$$\oint_l \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{H}) \cdot \mathbf{n} dS = \int_S \gamma \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS = i, \quad (3)$$

where  $\Phi, i$  are magnetic flux and current of contour.

Expressions (2), (3) are the known Faraday's law and Ampere's law. The Faraday's law simply binds speed of change of thread of contour to EMF induced in him. The Ampere's law simply links magnetic flux and current of the contour.

As see, not one of these laws does not foresee existence of the induced currents, and only induced EMF. That denies the name of the article on the face of it. But a situation changes sharply, if we will apply both laws to the superconductor contour.

On the right in that in the superconductor contour of EMF induced can not be, because under her action large currents would flow infinitely, those conflicts with the basic laws of physics. It swims out from that the left part (2), coming from nature of superconductivity, degenerates in a zero. Then the Faraday's law is simplified to the unrecognizability

$$\Phi(t) = \Phi(0) = const. \quad (4)$$

An initial magnetic flux  $\Phi(0)$  keeps a that value there was the frozen contour at that. It can in particular zero clear that.

Will excite some other contour a current  $i_e$ . According to (3) he will generate proper field  $\mathbf{H}_e$  actually. Will place our superconductor contour in the field of flux  $\Phi_e(t)$  excited by

vector  $\mathbf{H}_e$ . Then according to (4) we obtain paradoxical equality

$$\Phi(t) + \Phi_e(t) = \Phi(0). \quad (5)$$

To satisfy this equality, there must be an additional current  $i_i$  of such sign in a contour, fully to compensate a flux  $\Phi_e(t)$ . Only in such time contradiction of formulas (4) and (5) will disappear.

Appearance of such current is the implicit fact set experimentally in [1] at the study of magnetic potential pit in the superconductor systems, open by the known Ukrainian physicist V. Kozoriz in 1975. Here speech goes about a natural magnetic levitation. But such stability was denied by the known theorem of Irnshou, published in 1839. The phenomenon of V. Kozoriz, in spite of convincing experimental confirmation, the whole soviet scientific world protested against, including the known Nobel laureates, if to say no to the author in opening. Not to know this discussion was while conducted, if not in 12 year later the American scientists was found on this phenomenon. Irnshou quit the search of a minimum of energy of interactive bodies, that comes in the stable state, having proved of its not existence. But at more captious approach to the problem an opening author nevertheless showed on the basis of theory of circles the presence of such minimum at certain terms [1]. Soon this minimum was got on the basis of theory of the electromagnetic field [2], [3].

Now about basic. Implicitly, that between currents  $i_i$  and  $i_e$  exists stiff inductive connection – a current induces a current on the basis of Ampere's law (3) pressed into the condition of ideal superconductivity (4). Faraday's law with its induced EMF in the conditions of ideal superconductivity according to (4) loses sense. As a time derivative is absent in a law (3), then on its founding inductive connection comes true as on AC so on DC!

## Conclusions.

1. EMF can not be induced in superconductor contours, that is why the Faraday's law loses sense.

2. Inductive connection with a superconductor contour comes true by the induced currents on the basis of law of Ampere.

3. If induced EMF is possible only on variable signals, then the induced current is possible as on variables so permanent signals.

[1]. Mikhalevich V. C., Kozoriz V. V., Rashkovich V. M., Khusainov D. J., Cheborin O. G. "Magnetic potential pit" – effect of stabilization of superconductor dynamic systems (In Russian). – Kyiv: Scientific thought. – 1991. – 336 p.

[2]. V. Tchaban, V. Kozoriz. Mathematical modeling of interaction of superconductor magnetic systems. – Proceedings Intern. AMSE Conference "Systems", London (U.K.), Sept. 1–3, 1993, AMSE Press, Vol.3, pp. 149–153.

[3]. Tchaban V. A mathematical modeling in electric engineering (In Ukrainian). – Lviv: T. Soroka's publishing house, 2010, 508 p.