

УДК 537.31



Ащеулов А.А.

Ащеулов А.А. док. техн. наук, професор

Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна,
e-mail: ashcheulovaa@rambler.ru

ПРО ЕНЕРГЕТИЧНІ МОЖЛИВОСТІ У АНІЗОТРОПНОМУ БІПОЛЯРНОМУ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Проведено дослідження особливостей перетворення електричного струму анізотропним електропровідним середовищем яке характеризується різними типами провідності (р- та n-типи) у вибраних кристалографічних напрямках в умовах омичного контакту. Встановлено, що у випадку протікання зовнішнього електричного струму синусоїдальної форми через пристрій в основі якого є прямокутна пластина із згадуваного вище анізотропного матеріалу, в її об'ємі виникають вихори електричного струму. На основі аналізу функції $m(K, \alpha)$ (випадок $|m| > 1$), що визначає коефіцієнт перетворення пристрою, зроблено висновок про енергетичну взаємодію між об'ємом анізотропної пластини і зовнішнім середовищем. Проведені дослідження показали, що використання анізотропного електропровідного біполярного матеріалу призводить до значно вищої ($m > 1$) або нижчої ($m < -1$) величини коефіцієнта перетворення m ніж у випадку уніполярних анізотропних електропровідних матеріалів. До феномену електроомичного перетворення веде поява вихорів електричного поля, які характеризуються турбулентною течією, що представляються виразом $\text{rot } \mathbf{j} = \pm \omega$, де ω – кругова частота обертання вихору, а знаки «+» та «-» – позначають напрямки його обертання та визначаються величиною коефіцієнта анізотропії $K = \sigma_{11}/\sigma_{22}$. Такі електричні вихори з турбулентним характером течії є ефективним механізмом, що перекачує енергію між зовнішнім середовищем і в нашому випадку, анізотропною пластинною пристроєм. Слід відмітити, що в окремих випадках спостерігається аномальне значення згадуваного коефіцієнта. Застосування розглянутого методу перетворення електричного струму за допомогою запропонованих пристроїв, в основі роботи яких є пластинна виготовлена з анізотропного електропровідного матеріалу, значно розширює галузі альтернативної електроенергетики та інших пов'язаних з ним областей науки та техніки. Бібл. 14, рис.7.

Ключові слова: анізотропне середовище; електропровідність; перетворення; електричний струм; коефіцієнт корисної дії; нагрів; охолодження; генерація.

Вступ

У роботі [1] вперше показано можливість виникнення ефекту трансформації в анізотропних

електропровідних уніполярних середовищах. У цьому випадку пристрій, який отримав назву анізотропного електроомічного трансформатора, являє собою прямокутну пластину довжиною a висотою b та шириною c , виконану з анізотропних монокристалічних або шарових електропровідних матеріалів, що характеризуються лінійними вольт-амперними характеристиками. Вибрані кристалографічні осі анізотропного матеріалу 1 та 2, вздовж яких значення електропровідності дорівнюють σ_{11} та σ_{22} , і є за знаком уніполярними, розташовані в площині бічної грані $a \times b$ пластини, одну з яких орієнтовано під деяким кутом α . На торцевих гранях $b \times c$ та верхній і нижній грані $a \times c$ цієї пластини розташовані вхідні та вихідні електровиводи відповідно.

У випадку протікання змінного електричного струму синусоїдальної форми через торцеві контакти 4 та 5 електричного струму J_{in} через вихідні контакти 6, 7 протікає електричний струм J_{out} , а коефіцієнт трансформації m такого пристрою (рис. 1) представляється наступним виразом

$$J_{out} / J_{in} = m = p \cdot f \quad (1)$$

де p – коефіцієнт перетворення матеріалу пластини, $f = a / b$ коефіцієнт її форми.

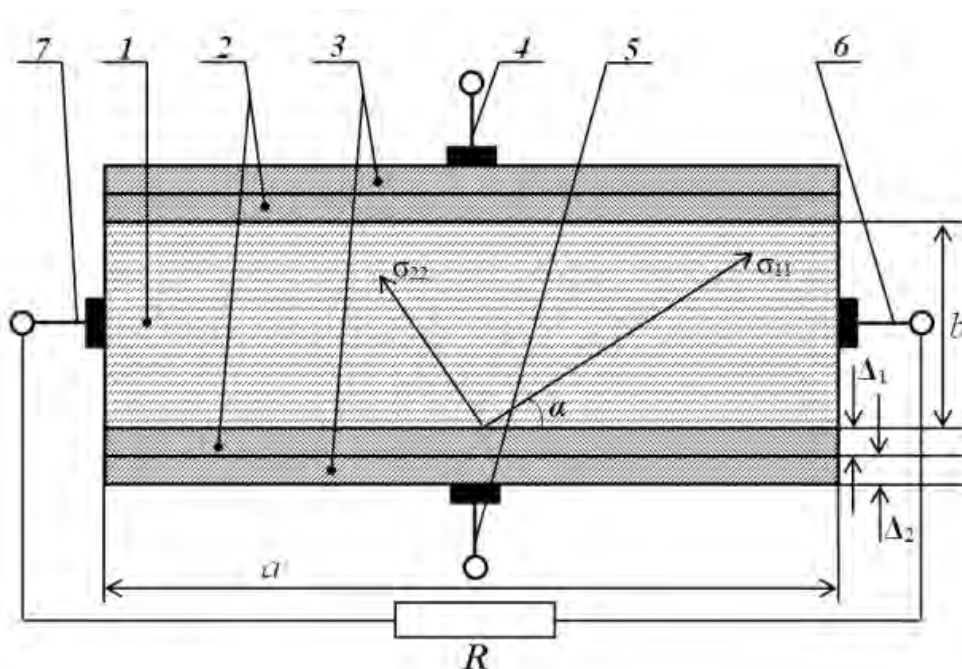


Рис. 1. Схематичне зображення конструкції анізотропного трансформатора 1 – Пластина з анізотропного електропровідного матеріалу; 2 – електроізоляційні шари; 3 – електропровідні шари; 4, 5 – вхідні; 6, 7 – вихідні електровиводи.

При цьому оптимальне значення кута нахилу α визначається із співвідношення

$$\alpha = \arctg \sqrt{K} \quad (2)$$

де $K = \sigma_{11} / \sigma_{22}$ – коефіцієнт анізотропії матеріалу пластини.

Оскільки у розглядуваному випадку виконується умова $\frac{\partial E_{11}}{\partial x} \neq \frac{\partial E_{22}}{\partial y}$ то в об'ємі такої анізотропної пластини виникає вихровий електричний струм який характеризується ламінарною течією [2].

Проведені дослідження показали, що в розглядуваному випадку величина коефіцієнта перетворення не перевищує 1 ($m \leq 1$). Для випадків, як $0 < K < 1$, так і для $1 < K < \infty$. У випадку $K = 1$, $n = 0$.

Метод трансформації, що розглянуто в роботах [1, 3] значно відрізняється від існуючих і має ряд відповідних, як переваг так і недоліків.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Ситуація зміниться, якщо перейти до анізотропного електропровідного середовища яке характеризується різним типом провідності (p - та n - типами провідності) у 1-му та 2-му вибраному кристалографічному напрямках (рис. 2), при цьому контакт між всіма шарами є омичним [4].

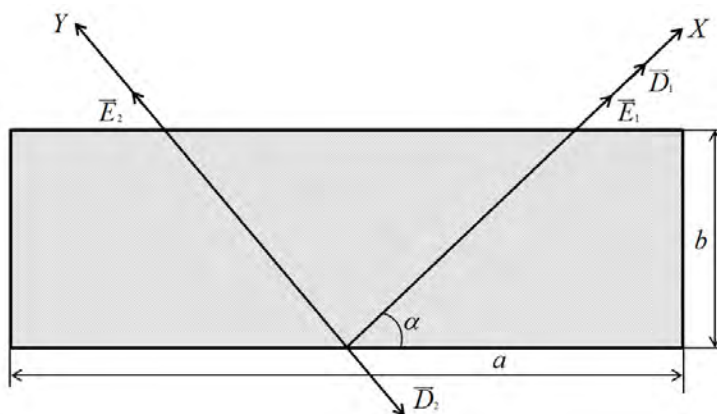


Рис. 2. Орієнтація кристалографічних осей OX , OY та OZ анізотропної електропровідної пластини та розташування векторів електричних полів $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, та індукції $\vec{D}_1$, $\vec{D}_2$

Тензор електропровідності такого монокристалічного або штучного анізотропного середовища має наступний вигляд.

$$\hat{\sigma} = \sigma_0 \begin{vmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_n & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_p & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_n \end{vmatrix} \quad (3)$$

Створення з такого матеріалу прямокутної пластини розмірами $a \times b \times c$ ($a \approx c \gg b$) головні кристалографічні осі OX та OY якої розміщені в площині її бічної грані $a \times b$, а одна з цих осей розташована під деяким кутом α до ребра a ($0 < \alpha < 90^\circ$) (рис. 2), дозволяє представити тензор $\hat{\sigma}$ наступним чином [5]:

$$\hat{\sigma} = \sigma_0 \begin{vmatrix} \sigma_{11} \cos^2 \alpha - \sigma_{22} \sin^2 \alpha & (\sigma_{11} + \sigma_{22}) \sin \alpha \cos \alpha & 0 \\ (\sigma_{11} + \sigma_{22}) \sin \alpha \cos \alpha & \sigma_{11} \sin^2 \alpha - \sigma_{22} \cos^2 \alpha & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{vmatrix} \quad (4)$$

що характеризується наявністю як поздовжньої ($\sigma_{\parallel}$) так і поперечної ($\sigma_{\perp}$) складових

$$\sigma_{\parallel} = \sigma_0 (\sigma_{11} \cos^2 \alpha - \sigma_{22} \sin^2 \alpha), \quad (5)$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_0 (\sigma_{11} + \sigma_{22}) \sin \alpha \cos \alpha. \quad (6)$$

При цьому коефіцієнт перетворення m_1 пристрою, в основі якого знаходиться вищезгадана прямокутна пластина, має такий вигляд

$$m_1 = \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel}} = \frac{(\sigma_{11} + \sigma_{22}) \sin \alpha \cos \alpha}{\sigma_{11} \cos^2 \alpha - \sigma_{22} \sin^2 \alpha} \quad (7)$$

Проведені чисельні оцінки показують, що при $a \approx c \gg b$ крайовими умовами на торцевих $b \times c$ і на бічних $a \times b$ гранях можна знехтувати [2].

Дослідження функції

$$m_1(K, \alpha) = \frac{(K + 1) \operatorname{tg} \alpha}{K - \operatorname{tg}^2 \alpha} \quad (8)$$

на екстремум ($\partial m / \partial \alpha = 0, \partial^2 m / \partial \alpha^2 < 0$) демонструє, що точки екстремуму функції відсутні.

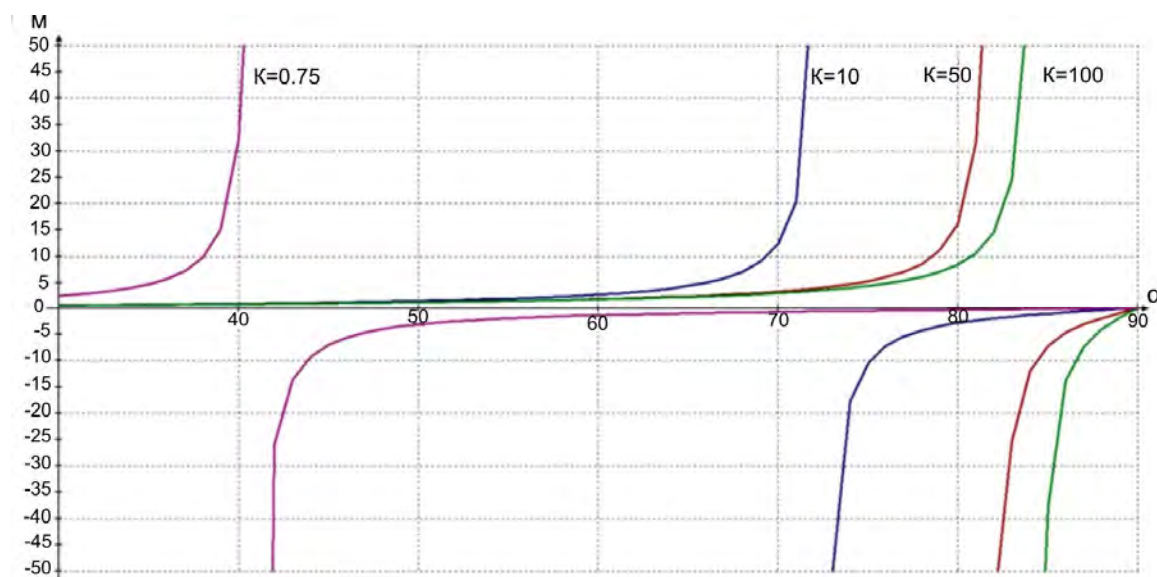


Рис. 3. Залежність коефіцієнта перетворення m від кута α при фіксованих коефіцієнтах анізотропії електропровідного матеріалу $K=0,75; 10; 50; 100$.

Це дає змогу варіювати величину коефіцієнта m цього пристрою в широких межах шляхом підбору відповідного кута α . Таку можливість продемонстровано на рис. 3. для чотирьох анізотропних електропровідних біполярних матеріалів з коефіцієнтами анізотропії 0.75, 10, 50 і 100. З цього графіка випливає, що завжди існує можливість підбору кута α для заданого m з необхідною величиною і знаком.

У разі кута $\alpha = 45^\circ$ вираз (7) набуває наступного вигляду

$$m = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{\sigma_{11} - \sigma_{22}} = \frac{K + 1}{K - 1} \quad (9)$$

Аналіз цих функцій показує, що значення коефіцієнта $|m| > 1$ це дає можливість зробити висновок про енергетичну взаємодію між об'ємом анізотропної пластини 1 із зовнішнім середовищем. Таким чином, використання анізотропного електропровідного біполярного матеріалу веде до значно вищої величини коефіцієнта перетворення m ніж у випадку уніполярних анізотропних електропровідних матеріалів (рис. 4.).

Пояснення цього явища можна представити з використанням уявлень вихрової електродинаміки. Якщо через пластину пропустити зовнішній електричний струм синусоїдальної форми то в її об'ємі виникають вихори електричного струму, які характеризуються турбулентною течією. [6, 7] У нашому випадку, аналогічно [8, 9] зміна характеру вихору з ламінарною течією на турбулентну обумовлена переорієнтацією напрямків відповідних складових векторів електричного струму та поля. У цьому випадку поздовжня складова вектора електричного струму та поля розташовується антипаралельно кристалографічному напрямку другої вибраної кристалографічної вісі. Напрямок електричного струму у цьому випадку розташовується антипаралельно напрямку електричного поля.

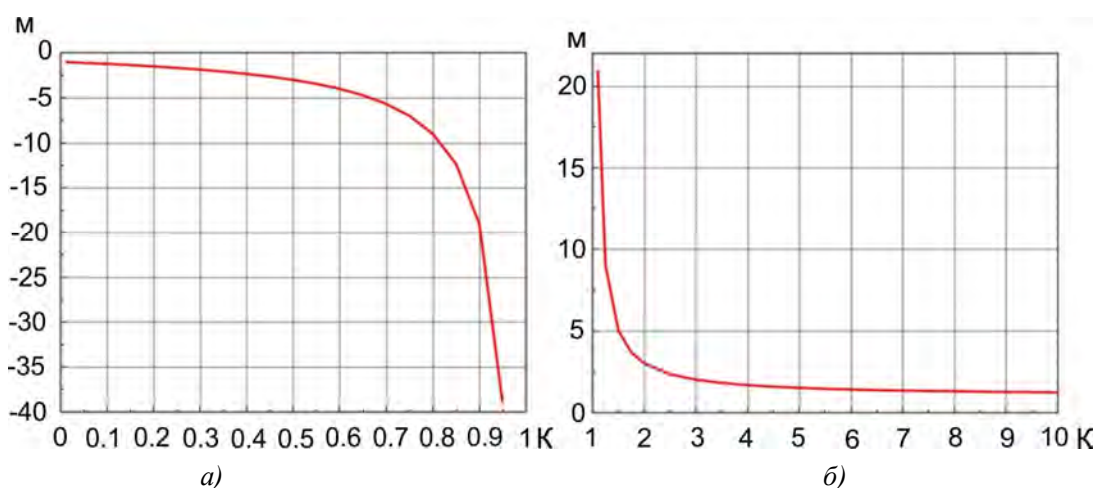


Рис. 4. Залежність коефіцієнта перетворення m від величини анізотропії до електропровідного матеріалу при $\alpha = 45^\circ$ а) Залежність коефіцієнта перетворення m від величини анізотропії при $0 < K < 1$ та куті $\alpha = 45^\circ$; б) Залежність коефіцієнта перетворення m від величини анізотропії при $1 < K < \infty$ та куті $\alpha = 45^\circ$.

Протікання вхідного електричного струму через торцеві контакти J_{on} викликає появу електричного струму J_{out} на вихідних контактах.

У цьому випадку вихор електричного струму згідно з [10, 11] представляється наступним чином:

$$\operatorname{rot} j = -\omega \quad \text{для} \quad 0 < K < 1, \quad (10)$$

$$\operatorname{rot} j = \omega \quad \text{для} \quad 1 < K < \infty \quad (11)$$

де $\omega = F(\sigma_{11}, \sigma_{22}, a, b, c, \alpha)$ – кругова частота обертання електричного вихору, знаки «+» та «-» – позначають напрямок його обертання.

Такі електричні вихори є ефективним механізмом, що перекачує енергію між зовнішнім середовищем і, в нашому випадку, об'ємом анізотропної електропровідної чергуючої біполярної пластини.

Представлений механізм енергетичної взаємодії є перспективним для сучасної науки та техніки.

Про можливості застосування запропонованого методу перетворення енергії:

У загальному випадку вибір конкретної конструкції анізотропного пристрою визначається як призначенням і функціональними особливостями, так і умовами його експлуатації.

У всіх можливих конструкціях такого пристрою основою є прямокутна пластина 1 з анізотропного матеріалу, який у вибраних кристалографічних осях Ox та Oy характеризується p - та n - типами електропровідності відповідно. При застосуванні штучного анізотропного електропровідного матеріалу він являтиме собою шарувату структуру, що чергується, на основі шарів електропровідного матеріалу 1 товщини τ_1 та електропровідного матеріалу 2 товщини τ_2 . Методика розрахунку цієї структури та її оптимізації аналогічна до методики, наведеної у [12].

Підбираючи відповідне значення коефіцієнта анізотропії шарів 1 та 2 цієї пластини, а також її геометричні розміри, дає можливість створення необхідних пристроїв та приладів з відповідними параметрами. Розглянемо конструкції конкретних пристроїв на основі вищенаведених анізотропних пластин.

Анізотропний електроомічний генератор (АЕГ)

У цьому випадку перетворювач – АЕГ в основі якого лежить прямокутна анізотропна пластина яка характеризується додатнім значенням коефіцієнта перетворення m ($1 < K < \infty$) та орієнтацією кристалографічної осі 1 під деяким обраним кутом α .

Схематична конструкція такого генератора представлена на рис. 5, яка складається: з пластини 1; шарів 2 – електроізоляційний шар та 3 – електропровідний шар; вхідних електровиводів 4, 5 які підключено до зовнішнього джерела електроенергії створюваної генератором, що задає; вихідних електровиводів 6, 7, до яких підключено зовнішнє навантаження, опором Z .

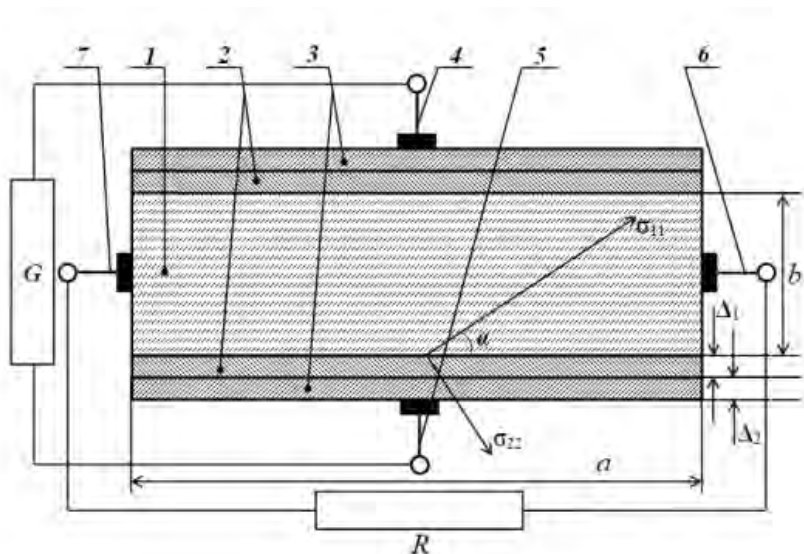


Рис. 5. Схематичне зображення конструкції АЕГ 1 – Пластина з анізотропного електропровідного матеріалу; 2 – електроізоляційні шари; 3 – електропровідні шари; 4, 5 – входні; 6, 7 – вихідні електровиводи.

При подачі деякої потужності $P(t) = P_0 \sin(\omega_1 t)$ від задаючого генератора на вхід АЕГ, в об'ємі пластины 1 виникають електричні вихори з турбулентною течією, які далі взаємодіють із зовнішнім середовищем. Це веде до виникнення енергетичного потоку спрямованих із цього середовища в об'єм пластины, яка перетворюється у електричну. Це призводить до появи на вихідних електровиводах 6, 7 деякої електричної потужності, P_{out} , яка представляється в наступному вигляді:

$$P_{out} = P_0 \sin(\omega_1 t_0) \frac{(K+1) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{K - \operatorname{tg}^2 \alpha}, \quad (12)$$

таким чином, правостороннє обертання електричних вихорів з турбулентною течією зумовлює можливість роботи пластины у режимі генерації електричної енергії. При цьому ω_1 – частота електричного вихору, яка визначається задаючим генератором.

Коефіцієнт корисної дії η_1 у цьому випадку визначається так:

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + P_1/P_2}, \quad (13)$$

де P_1/P_2 – потужності що виділяються в об'ємі, як пластины так і зовнішні навантаження опором Z відповідно.

Максимальне значення електричної потужності $P_{max.}$, яку може генерувати АЕГ, визначається наступним виразом:

$$P_{max.} = (s \cdot M \cdot \Delta T) / (P_1/P_2), \quad (14)$$

де $M = a \cdot b \cdot c \cdot d$ – маса пластины; d – щільність її матеріалу; s – питома теплоємність матеріалу; T_0 – температура довкілля; $T_{max.}$ – гранична робоча температура матеріалу, пластины 1.

Чисельні оцінки, які було проведено, показують, що величина ККД запропонованого пристрою знаходиться в межах $0.5 \div 0.99$

Слід зазначити, що при певних умовах АЕГ, що розглядається, також може активно функціонувати в режимі генерації теплової потужності.

Анізотропний електроомічний нагрівач (АЕН)

Особливістю такого нагрівача у порівняння із генератором є підвищені значення внутрішнього опору пластини. Схематична конструкція такого АЕН (рис. 6) аналогічна конструкції вищезгаданого АЕГ з тією різницею, що опір $R = 0$

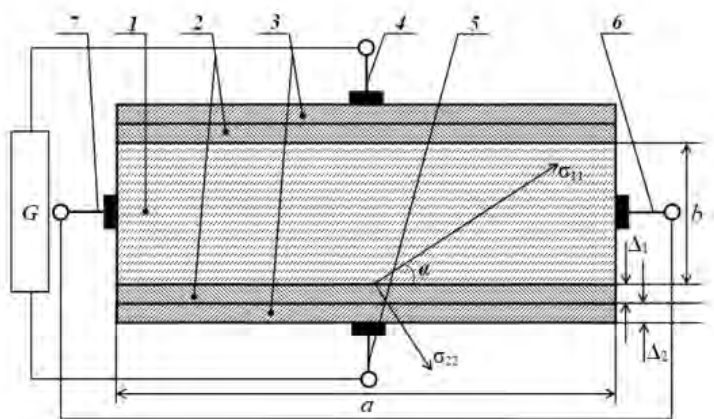


Рис. 6. Схематичне зображення конструкції АЕН 1 – Пластина з анізотропного електропровідного матеріалу; 2 – електроізоляційні шари; 3 – електропровідні шари; 4, 5 – вхідні; 6, 7 – вихідні електровиводи.

Анізотропний електроомічний охолоджувач (АЕО)

На відміну від конструкції АЕГ та АЕН конструкція АЕО складається з анізотропної прямокутної пластини 1 та електровиводів 4, 5 (рис. 7). Анізотропія електропровідності матеріалів пластини 1 вибирається з коефіцієнтом $0 < K < 1$.

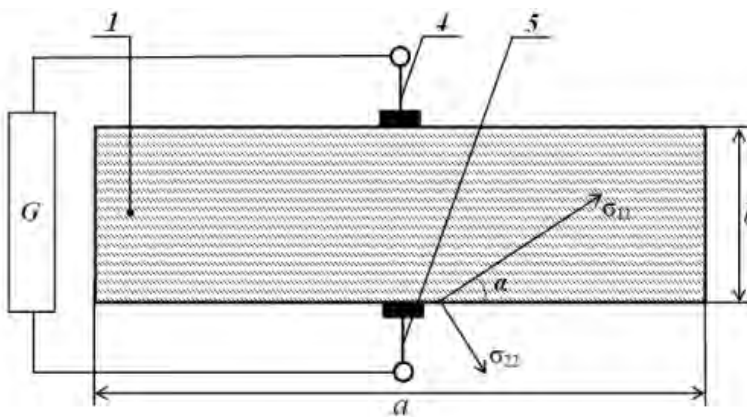


Рис. 7. Схематичне зображення конструкції АЕО 1 – Пластина з анізотропного електропровідного матеріалу; 4, 5 – вхідні; 6, 7 – вихідні електровиводи.

У цьому випадку прикладання до контактів 4, 5 потужності генератора веде до виникнення в її об'ємі турбулентних вихорів електричного струму з лівостороннім обертанням. Це призводить до зменшення внутрішньої енергії анізотропної пластини, що в кінцевому рахунку веде до відповідного зниження температури T пластини.

При додатному напівперіоді потужності, що подається на вхід такого пристрою частина його внутрішньої енергії поглинається зовнішнім середовищем через одну з бічних граней ($a \times b$), при від'ємному напівперіоді – через протилежну бічну грань ($a \times b$).

У цьому випадку холодопродуктивність Q визначається таким чином [13]:

$$Q = W_{\text{out}} \frac{(K + 1) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{K - \operatorname{tg}^2 \alpha}, \quad (15)$$

а різниця температур ΔT між навколишнім середовищем та анізотропним пристроєм, що досягається при адіабатичній ізоляції граней пластини,

$$\Delta T = (Q - q_{\text{los}}) / (s \cdot M), \quad (16)$$

де q_{los} – втрати, зумовлені охолодженням електропровідних та металевих шарів на верхній та нижній гранях перетворювача, s – теплоємність, M – його маса.

Коефіцієнт корисної дії ϑ аналізованого процесу охолодження представляється класичним виразом:

$$\vartheta = (T_1 - T_2) / T_1$$

де T_1 – температура оточуючого середовища, T_2 – температура анізотропної пластини яка досягається при охолодженні

Слід відмітити, що в якості матеріалів для пластини можливе застосування як напівпровідників з вузькою шириною забороненої зони напівпровідників p - та n - провідності, напівметалів та металів також відповідної провідності.

Результати проведених досліджень показують перспективність використання даного пристрою, як високоефективних холодильних елементів. Даний метод дозволяє здійснювати ефективну утилізацію та акумуляцію теплової енергії, що виділяється, як конкретних об'єктів, різних приладів і пристроїв, перекачуючи її в зовнішнє середовище.

Висновки

Вперше запропоновано оригінальну фізичну модель енергетичної взаємодії між вихровим електричним полем пластини з анізотропного електропровідного матеріалу, що характеризується різними типами провідності у вибраних кристолографічних осях та зовнішнім середовищем. Аналіз цієї моделі показує, що в інтервалі $0 < K < 1$ величина коефіцієнта перетворення m

характеризується від'ємним значенням, а в інтервалі $1 < K < \infty$ – додатнім. У першому випадку спостерігається ефект охолодження у другому – режим генерації електроенергії та виділення тепла.

Використання монокристалічних та штучно-анізотропних електропровідних матеріалів з різним типами провідності у вибраних кристалографічних осях дає можливість отримати значеннями модуль $m > 1$, яке зумовлене дією вихорів електричного поля з турбулентною течією в об'ємі анізотропної пластини.

Визначено перспективні галузі практичного застосування таких пристроїв у вигляді генераторів електрики, тепла та холоду, отримано розрахункові вирази для їх коефіцієнта корисної дії, що знаходиться в інтервалі $\eta = 0.5 \div 0.98$, а температура охолодження даного пристрою при застосуванні відповідних матеріалів з необхідною температурною залежністю їх кінетичних коефіцієнтів може досягати температури рідкого гелію.

Запропонована модель сприятиме появі нових науково-технічних напрямків в галузі електрики та усіх напрямках, які пов'язані із нею.

Література

1. Ashcheulov A., Derevianchuk M., Lavreniuk D. (2020). The Phenomenon of Electroohmic Transformation. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21(4), 743-748. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.743-748>
2. Самойлович А.Г. Термоэлектрические и термомагнитные методы преобразования энергии / А.Г. Самойлович. – Черновцы : Рута, 2006. – 226 с.
3. Ащеулов А.А., Деревянчук Н.Я., Лавренюк Д.А., Романюк И.С. Трансформация электрического тока анизотропной электропроводной средой / Ащеулов А.А., Деревянчук Н.Я., Лавренюк Д.А., Романюк И.С // ТКЭА. – 2020. – № 5-6, с. 28-32. – Режим доступа: DOI: 10.15222/ТКЭА2020.5-6.28
4. Ащеулов А.А. Термоэлектричні модулі Пельтье на основі кристалів твердих розчинів Bi-Te-Se-Sb / Ащеулов А.А., Горобець М.В., Добровольский Ю.Г., Романюк И.С. –Чернівці: Прут, 2011. -168с.
5. J.F. Nye, *Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices* (Oxford University Press, 1985)
6. Козлов В.В. Общая теория вихрей. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013. 319 с.
7. Davidson L. *An introduction to turbulence models*. – Göteborg: Chalmers Un-ty of Technology, 2003. – 48 p.
8. Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л. Лекции по теоретическим методам исследования турбулентности. – М.: Изд-во МФТИ, 2005. – 197 с.
9. Елизарова Т.Г., Широков И.А. Ламинарный и турбулентный режимы распада вихря Тейлора–Грина // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 63. 16 с. URL:

<http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-63>

10. Боев А.Г. Электромагнитная теория смерча. Электродинамика вихря. / А.Г. Боев // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009 – Т.14, №2, С. 121–149.
11. Прохоров А.М. Физическая энциклопедия. [Т.1-Т.5 Справочное издание] / А.М. Прохоров – Москва: Советская энциклопедия, 1988-1998, –704 с., 704 с. , 672 с., 704с., 760 с.
12. Patent UA. №147993. Anisotropic electrically conductive material. А.А. Ascheulov, М.Ya. Derevianchuk, D.O. Lavrenyuk. Bull. №25/2021 dated 23.06.2021
13. Процес термостатичного охолодження : пат. Україна : А.А. Ащеулов – № и 2021 03958; заявл. 07.07.2021
14. Энергия и физический вакуум / А.Н. Власов [и другие], – Волгоград: Станица-2, 2004. – 192 с.

Надійшли до редакції: 15.07.2021

Ащеулов А.А. док. техн. наук, профессор

Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина,
e-mail: ashcheulovaa@rambler.ru

О ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЯХ В АНИЗОТРОПНЫХ БИПОЛЯРНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ СРЕДАХ

Проведено исследование особенностей преобразования электрического тока анизотропной электропроводной средой, характеризующейся разными типами проводимости (р- и n-типы) в выбранных кристаллографических направлениях в условиях омического контакта. Установлено, что в случае протекания внешнего электрического тока синусоидальной формы через устройство, в основе которого имеется прямоугольная пластина из вышеупомянутого анизотропного материала, в ее объеме возникают вихри электрического тока. На основе анализа функции $m(K, \alpha)$ (случай), определяющий коэффициент преобразования устройства, сделан вывод об энергетическом взаимодействии между объемом анизотропной пластины и внешней средой. Проведенные исследования показали, что использование анизотропного электропроводного биполярного материала приводит к значительно более высокой ($m > 1$) или более низкой ($m < -1$) величине коэффициента преобразования m , чем в случае униполярных анизотропных электропроводных материалов. К феномену электроомического превращения ведет появление вихрей электрического поля, характеризующихся турбулентным течением, представляемым выражением $\text{rot } \vec{j} = \underline{1} \omega$

где ω – круговая частота вращения вихря, а знаки «+» и «-» – обозначают направление его вращения и определяются величиной коэффициента анизотропии $K=\sigma_{11}/\sigma_{22}$. Такие электрические вихри с турбулентным характером течения являются эффективным механизмом, перекачивающим энергию между внешней средой и в нашем случае, анизотропной пластиной устройства. Следует отметить, что в редких случаях наблюдается аномальное значение упомянутого коэффициента. Применение рассматриваемого метода преобразования электрического тока с помощью предложенных устройств, в основе работы которых пластина изготовлена из анизотропного электропроводящего материала, значительно расширяет области альтернативной электроэнергетики и другие, связанных с ней области науки и техники. Библ. 14, рис.7.

Ключевые слова: анизотропная среда; электропроводность; превращение; электрический ток; коэффициент полезного действия; нагрев; охлаждение; генерация.

Ashcheulov A.A., D.Sc (Tech), Prof.

Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1 Nauky str, Chernivtsi, 58029, Ukraine,
e-mail: ashcheulovaa@rambler.ru

ON ENERGY OPPORTUNITIES IN ANISOTROPIC BIPOLAR ELECTRICALLY CONDUCTIVE MEDIA

A study was made of the features of electric current transformation by an anisotropic electrically conductive medium characterized by different types of conductivity (p- and n-types) in selected crystallographic directions under ohmic contact conditions. It has been established that in the case of an external sinusoidal electric current flowing through a device based on a rectangular plate of the above mentioned anisotropic material, electric current vortices occur in its bulk. Based on the analysis of the function $m(K, \alpha)$ (case $|m| > 1$), which determines the transformation coefficient of the device, a conclusion is made about the energy interaction between the bulk of the anisotropic plate and the external medium.. Studies have shown that the use of anisotropic electrically conductive bipolar material leads to a significant higher ($m > 1$) or lower ($m < -1$) value of the transformation coefficient m than in the case of unipolar anisotropic electrically conductive materials. The phenomenon of electroohmic transformation is caused by the appearance of electric field vortices which are characterized by turbulent flow represented by the expression $\text{rot } \vec{j} = \pm \omega$, where ω is a circular frequency of vortex rotation, and signs «+» and «-» denote the direction of its rotation and are determined by the value of the anisotropy coefficient $K=\sigma_{11}/\sigma_{22}$. Such electric vortices with a turbulent flow are an efficient mechanism of pumping energy between the external medium and, in our case, the anisotropic plate of the device. It should be noted that in some cases

there is an anomalous value of the abovementioned coefficient. The application of the considered method of electric current transformation with the help of the proposed devices, which are based on a plate made of anisotropic electrically conductive material, significantly expands the field of alternative electricity and other related fields of science and technology. Bibl. 14, Fig. 7.

Key words: anisotropic medium; electrical conductivity; transformation; electric current; efficiency; heating; cooling; generation.

References

1. Ashcheulov A., Derevianchuk M., Lavreniuk D. (2020). The phenomenon of electroohmic transformation. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21(4), 743-748. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.743-748>
2. Samoilovich A.G. (2006). *Termoelektricheskie i termomagnitnye metody preobrazovaniia energii [Thermoelectric and thermomagnetic methods of energy conversion]*. Chernivtsi: Ruta [in Russian].
3. Ashcheulov A.A., Derevianchuk N.Ya., Lavreniuk D.A., Romaniuk I.S. (2020). Transformatsiia elektricheskogo toka anizotropnoi elektroprovodnoi sredoi [Electric current transformation by anisotropic electroconductive medium]. *TKEA*, 5-6, 28-32. – Retrieved from: DOI: 10.15222/TKEA2020.5-6.28
4. Ashcheulov A.A., Horobets M.V., Dobrovolskyi Yu.H., Romaniuk I.S. (2011). *Termoelektrychni moduli Peltier na osnovi krystaliv tverdykh rozchyniv Bi-Te-Se-Sb [Thermoelectric Peltier modules based on Bi-Te-Se-Sb solid solution crystals]*. Chernivtsi: Prut [in Ukrainian].
5. Nye J.F. (1985). *Physical properties of crystals: their representation by tensors and matrices* (Oxford University Press).
6. Kozlov V.V. (2013). *Obshchaia teoriia vikhrei [General theory of vortices]*. 2nd ed. revised and enlarged. Moscow: Izhevsk, Institute of Computer Research [in Russian].
7. Davidson L. (2003). *An introduction to turbulence models*. – Göteborg: Chalmers Un-ty of Technology.
8. Khlopkov Yu.I., Zharov V.A., Gorelov S.L. (2005). *Lektsii po teoreticheskim metodam issledovaniia turbulentnosti [Lectures on the theoretical methods of turbulence study]*. Moscow: FFTI Publ [in Russian].
9. Yelizarova T.G., Shirokov I.A. (2013). Laminarnyi i turbulentnyi rezhimy raspada Taylor-Green vikhria [Laminar and turbulent modes of the Taylor-Green vortex decay]. *Preprints of the Keldysh IPM*, No 63. 16 c. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-63> [in Russian].
10. Boev A.G. (2009). *Electromagnetic theory of tornado. Electrodynamics of vortex. Radiophysics and Radioastronomy*, 14 (2), 121–149.
11. Prokhorov A.M. (1988-1998). *Fizicheskaiia entsiklopediia. T.1-T.5. Spravochnoe izdaniie [Physics encyclopedia. Vol.1-Vol. 5 Reference edition]*. Moscow: Soviet encyclopedia, 1988-1998 [in Russian].
12. *Patent UA. №147993*. A.A. Ascheulov, M.Ya. Derevianchuk, D.O. Lavrenyuk Anisotropic

electrically conductive material. Bull. №25/2021 dated 23.06.2021[in Ukrainian].

13. *Patent UA № u 2021 03958*. A.A.Ashcheulov. Thermostatic cooling process [in Ukrainian].
14. Vlasov A.N., et al. (20045). *Energiia i fizicheskii vakuum [Energy and physical vacuum]*. Volgograd: Stanitsa-2 [in Russian].

Submitted: 15.07.2021