

**РОЗРАХУНОК ГЕОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ПРИ ГЕОМАГНІТНИХ
ЗБУРЕННЯХ**

В роботі представлено метод розрахунку геоелектричного поля за однорідною моделлю структури Землі для визначення поверхневої напруги між заземленими нейтралами трансформаторів магістральної лінії електропередавання. Виконано розрахунок геоелектричного поля, з використанням апарату прямого і зворотного перетворення Фур'є та визначенням поверхневого опору Землі як функції від частоти коливання магнітного поля при геомагнітних збуреннях навколосемного простору.

Ключові слова: геомагнітні індукційні струми, геоелектричне поле, перетворення Фур'є

Вступ

Турбулентність іоносферних струмів, викликана потоками заряджених частинок, що прямують від Сонця, призводить до збурення геомагнітного поля Землі. Геомагнітне поле, відповідно до закону Фарадея, призводить до наведення електричного поля на поверхні регіонів, над якими відбувається флуктуація магнітосфери. Поверхневий потенціал, що має місце в точках заземлення нейтралей трансформаторів магістральних ліній електропередавання викликає протікання геомагнітних індукційних струмів в колі: фазні проводи ліній електропередач, обмотки трансформаторів та провідники заземлених нейтралей.

Мета та завдання

Оскільки діапазон частот ГІС (геомагнітних індукційних струмів) знаходиться в межах 0,001 – 1 Гц, коливання магнітного поля можуть проникати на сотні кілометрів у глиб поверхні Землі. Тому при розрахунках геоелектричного поля і струмів ГІС, необхідно враховувати як провідності Земної кори, так і її мантиї. Враховуючи при цьому те, що поверхневий опір є функцією від частоти.

Результати дослідження

Для визначення поверхневої напруги між двома точками заземлених нейтралей магістральних ліній електропередавання необхідно визначити вектор геоелектричного поля в кожній точці проходження лінії електропередач і розрахувати криволінійний інтеграл для цих векторів по кривій проходження траси лінії. Оскільки визначення вектора геоелектричного поля пов'язане з достовірністю даних про зміну вектора магнітної індукції магнітного поля Землі, який для території України відомий лише в регіоні міст Києва та Львова, тому для спрощення розрахунку маючи індукцію магнітного поля в певній точці, розраховуємо вектор геоелектричного поля і приймаємо його однорідним по всій трасі проходження лінії електропередач. В цьому випадку напруга між двома точками заземлених нейтралей визначається за формулою:

$$U_{12} = \oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = |\mathbf{E}| \cdot |\mathbf{r}_{12}| \cdot \cos\alpha, \quad (1)$$

де \mathbf{E} - вектор геоелектричного поля; L - шлях проходження лінії електропередавання; \mathbf{r}_{12} - радіус вектор, що сполучає дві точки заземлення нейтралей земної поверхні; α - кут, що утворюється між векторами \mathbf{E} та \mathbf{r}_{12} .

Залежність геоелектричного поля від геомагнітного в прийнятій точці та повного поверхневого опору описується виразами:

$$E_x(\omega) = Z(\omega)H_y(\omega) \quad (2)$$

$$E_y(\omega) = -Z(\omega)H_x(\omega), \quad (3)$$

де $E_x(\omega)$ - складова геоелектричного поля, яка направлена на північ (В/м); $E_y(\omega)$ - складова геоелектричного поля, яка направлена на схід (В/м); $H_x(\omega)$ - складова напруженості геомагнітного поля, яка направлена на північ (А/м); $H_y(\omega)$ - складова напруженості геомагнітного поля, яка направлена на схід (А/м); $Z(\omega)$ - повний поверхневий опір (Ом).

Зв'язок між напруженістю магнітного поля $H(\omega)$ та магнітною індукцією $B(\omega)$ можна записати у вигляді:

$$H(\omega) = -\frac{B(\omega)}{\mu_0}, \quad (4)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність повітряного простору.

Поверхневий повний опір $Z(\omega)$ залежить від структури Землі. Для обчислення повного поверхневого опору була використана одновимірна модель з однорідною структурою в поперечному напрямку [1]. Модель не враховує поперечні зміни провідності, але забезпечує прийнятні наближення при розрахунку поверхневого опору. До розрахунку вектора однорідного геоелектричного поля були взяті дані зміни провідностей прошарків Землі в залежності від глибини у квадранті прийнятої точки для території на якій знаходиться місто Львів (модель 42) [2].

Кожен прошарок Землі характеризується власним коефіцієнтом розповсюдження хвилі:

$$k_n = \sqrt{j\omega\mu_0\sigma_n}, \quad (5)$$

де ω – кутова швидкість, (рад/с); μ_0 – магнітна проникність повітряного простору; σ_n – провідність шару n , 1/(Ом м); j – уявна одиниця.

Для нижнього шару приймаємо, що відбиття хвилі відсутнє і поверхневий опір шару розраховується за виразом:

$$Z_n = \frac{j\omega\mu_0}{k_n}. \quad (6)$$

Для розрахунку поверхневого опору шару вище, визначаємо коефіцієнт відбиття хвилі від шару нижче:

$$r_n = \frac{1 - k_n \frac{Z_{n+1}}{j \cdot \omega \cdot \mu_0}}{1 + k_n \frac{Z_{n+1}}{j \cdot \omega \cdot \mu_0}}. \quad (7)$$

Тоді повний поверхневий опір для шару, що знаходиться вище, розраховується за формулою:

$$Z_n = j\omega\mu_0 \left(\frac{1 - r_n \cdot e^{-2k_n d_n}}{k_n (1 + r_n \cdot e^{-2k_n d_n})} \right). \quad (8)$$

Ці кроки повторюються для кожного з шарів у напрямку до поверхні Землі. До розрахунку беремо тільки повний поверхневий опір верхнього шару (Z_1), в якому вже враховано коефіцієнти відбиття шарів, що розміщені нижче.

Послідовність розрахунку геоелектричного поля приведена на рис. 1.

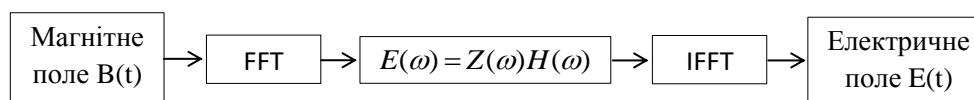


Рисунок 1 – Послідовність розрахунку геоелектричного поля

Дані щодо зміни індукції магнітного поля від часу $B(t)$ були взяті із сайту Intermagnet (International Real-time Magnetic Observatory Network) для Львівської обсерваторії за 06.06.2015р.

Застосовуючи до компонент коливань індукції магнітного поля Землі виду $B_x(t)$ та $B_y(t)$ швидке перетворення Фур'є (FFT) отримуємо частотний спектр зміни індукції магнітного поля для $B_x(\omega)$, $B_y(\omega)$. Коефіцієнти розповсюдження та відповідні повні поверхневі опори є функціями від частоти, тому послідовність подібних розрахунків слід повторювати для кожної частоти.

За формулами (2) та (3) знаходимо значення напруженості геоелектричного поля $E(\omega)$. Застосування зворотного швидкого перетворення Фур'є (IFFT) до значень компонент геоелектричного поля $E_x(\omega)$ і $E_y(\omega)$ дозволить отримати криві коливань напруженості геоелектричного поля від часу $E_x(t)$ та $E_y(t)$, які показані на рис.2 і рис 3.

За умови прийняття геоелектричного поля однорідним коливання магнітного поля можна вважати однаковими в кожній точці поверхні при незмінній величині повного поверхневого опору.

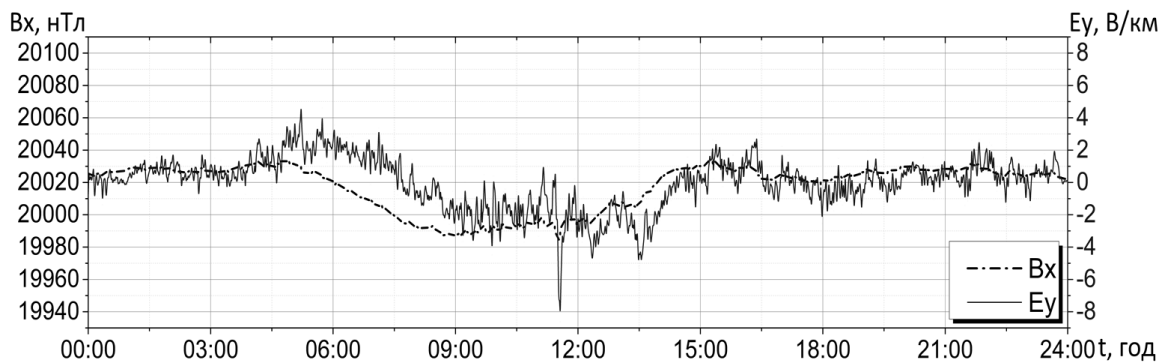


Рисунок 2 – Залежність зміни компонент вектора магнітної індукції геомагнітного (B_x) та геоелектричного (E_y) полів від часу

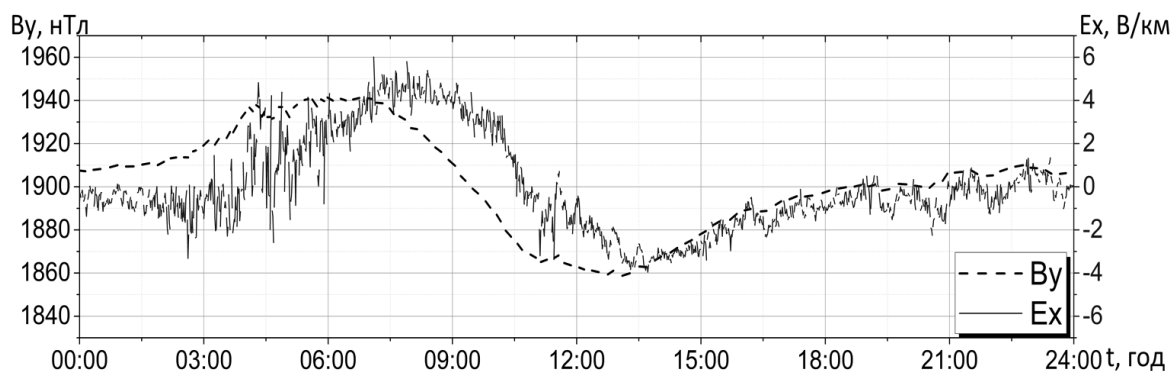


Рисунок 3 – Залежність зміни компонент вектора магнітної індукції геомагнітного (B_y) та геоелектричного (E_x) полів від часу

Висновки. Зважаючи на невизначеність даних щодо коливань магнітного поля в кожній точці проходження лінії електропередавання, при розрахунках геомагнітних індукційних струмів геоелектричне поле в прийнятному наближенні можна вважати однорідним і розраховувати за даними коливань магнітного поля в одній точці Земної поверхні. Згідно результатів розрахунків, для прийнятих вхідних даних, можна стверджувати, що компонента напруженості геоелектричного поля, спрямована на схід, досягає максимального значення 8 В/км, а компонента, спрямована на північ, досягає максимального значення 6 В/км. Отримані максимальні значення компонент напруженості геоелектричного поля мають місце в різні моменти часу, однак кожна з компонент може створити значні струми ГІС в мережі. Оскільки лінії 750 кВ України характеризуються значною протяжністю та порівняно невеликим опором електричного кола для квазіпостійних струмів ГІС, останні можуть сягати сотень ампер та створювати аварійні ситуації в системі.

Представлений метод розрахунку геоелектричного поля за однорідною моделлю структури Землі дозволяє в певному наближенні визначити максимальні значення поверхневої напруги між заземленими нейтраліями трансформаторів магістральної лінії електропередавання та на їх основі виконати розрахунок можливих максимальних значень геомагнітних індукційних струмів в періоди геомагнітних збурень навколоремного простору.

Список літератури

1. DRAFT Application Guide for Computing GIC in the Bulk Power System // NERC. – 2013. – с. 39.
2. A. Ádám, E. Prácsér, V. Wetztergom. Estimation of the electric resistivity distribution (EURHOM) in the European lithosphere in the frame of the EURISGIC WP2 project // Acta Geodaetica et Geophysica. – 2012. – Vol.47, Issue 4. – С. 377-387.

V.V. Kyryk, R.V. Nahorniý

National Technical University of Ukraine « Kyiv Polytechnic Institute » GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENTS CALCULATION DURING GEOMAGNETIC DISTURBANCES

A new method is presented to calculate geo-electric field using uniform Earth structure model for defining surface potential between grounded neutral of grid power transformers. It was calculated geo-electric field

applying direct and inverse Fourier transform and calculated a surface impedance as a function of frequency of magnetic field oscillation during near-Earth space geomagnetic disturbances.

Key words: geomagnetically induced currents, geoelectric field, Fourier transform

References

1. DRAFT Application Guide for Computing GIC in the Bulk Power System // NERC. – 2013. – с. 39.
2. A. Ádám , E. Prácsér, V. Wesztergom. Estimation of the electric resistivity distribution (EURHOM) in the European lithosphere in the frame of the EURISGIC WP2 project // Acta Geodaetica et Geophysica. – 2012. – Vol.47, Issue 4. – С. 377-387.

УДК 621.314.223

В.В. Кирик, д-р тех. наук, профессор, **Р.В. Нагорный**, аспирант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» РАСЧЕТ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

В работе представлен метод расчета геоэлектрического поля на основании однородной модели структуры Земли для определения поверхностного напряжения между заземленными нейтральными трансформаторов магистральных линий электропередач. Выполнен расчет геоэлектрического поля с использованием аппарата прямого и обратного преобразования Фурье и определения поверхностного сопротивления Земли как функции от частоты колебания магнитного поля при геомагнитных возмущениях околоземного пространства.

Ключевые слова: геомагнитный индуцированный ток, геоэлектрическое поле, преобразование Фурье.

Надійшла 07.12.2015

Received 07.12.2015

УДК 502/504:620.92

В.П. Кравченко, д-р техн. наук, профессор, **Є.В. Кравченко**, **І.В. Бондар**
Одеський національний політехнічний університет

ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ІНСОЛЯЦІЇ В РАЙОНІ М. ОДЕСИ

Використання сонячних установок (СУ) знижує споживання органічного палива і, відповідно, антропогенне навантаження на довкілля. Основним параметром при проектуванні СУ є величина інсоляції. В роботі за вимірами метеостанції уточнено середньомісячну та середньорічну інсоляцію в м. Одесі. Проведено співставлення отриманих величин з літературними даними. Проведено розрахунок приведених витрат при використанні сонячної установки чи котла на природному газі для гарячого водопостачання. Показано, що з урахуванням податків за викиди шкідливих речовин приведені витрати для сонячної установки на 31 % більші.

Ключові слова: інсоляція, сонячні установки, приведені витрати.

Вступ

Одним із перспективних напрямів відновлювальних джерел енергії, що в останні роки дуже активно впроваджуються в світову промисловість і побут, є сонячна енергетика. Розробки і промислова продукція в цій області на сьогодні дуже активно розвиваються в таких країнах як Німеччина, США, Великобританія, Японія, Корея та Китай і становлять вагомий відсоток енергетичного виробітку в світі [1, 2]. Використання сонячних установок на півдні України є одним з перспективних вже сьогодні методів видобутку електроенергії і тепла, які на відміну від традиційних методів (спалювання вуглеводнів, застосування атомної енергії та ін.), не сильно поширені, але становлять інтерес через свою екологічність та відновлюваність [3]. Впровадження та екологічне обґрунтування сонячних установок (СУ) вимагає знання інсоляції в регіоні. За спостереженнями за кліматом, впливає, що клімат змінюється в бік збільшення температури [4], отже використання СУ буде більш виправдано. Тому була поставлена задача уточнити середньомісячні та середньорічні значення енергії, отриманої від сонця.