

1.

УДК 652.1:586.24

О.О. Азюковський, канд. техн. наук

(Україна, м. Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»)

ФОРМУВАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИМ ІНВЕРТОРНИМ ВИПРЯМЛЯЧЕМ ЗАХИСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДЗЕМНОГО СТАЛЕВОГО ТРУБОПРОВОДУ

Вступ. Розвиток сучасної елементної бази водночас з підвищенням рівня вимог до якості захисту від електрохімічної корозії підземного металевого трубопроводу зумовлює впровадження нових схемотехнічних рішень з організації станцій катодного захисту (СКЗ). Матеріали, що ізолюють трубопровід від корозії, забезпечують високий опір протіканню електричного струму. Покращення ізоляційних характеристик підземного сталевих трубопроводу зумовлює зміни у співвідношенні величин електричної схеми заміщення та виникненню електромагнітних фізичних процесів, що до цього часу були не властиві електротехнічній системі захисту підземного сталевих трубопроводу від електрохімічної корозії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що ускладнення картини розподілу захисного потенціалу підземного сталевих трубопроводу може призвести до зниження якості його захисту від електрохімічної корозії [1,2]. Неузгодженість у роботі станцій електрохімічного захисту також викликає струми вирівнювання, що протікають сталевим трубопроводом [3,4]. У сукупності це погіршує стан захисту від електрохімічної корозії підземних сталевих трубопроводів [1]. Використання під час створення електротехнічної системи захисту підземного трубопроводу від електрохімічної корозії сучасної елементної бази, що покращує характеристики СКЗ, водночас змінює параметри струмів натікання з анодного заземлювача до трубопроводу.

Метою роботи є обґрунтування можливості виникнення відхилень значення захисного потенціалу підземного сталевих трубопроводу від загальної залежності за умови використання сучасних СКЗ.

Матеріали досліджень. Незважаючи на те, що довжина підземних комунікацій сягає десятків кілометрів, потенціал та струм стікання (натікання) сталевих підземного трубопроводу змінюються як за ча-

сом, так й за відстанню від точки підключення СКЗ, все ж розглянемо систему з розподіленими параметрами (рис. 1). Електричними параметрами сталевго підземного трубопроводу є: R_0 – поздовжній активний опір одиниці довжини трубопроводу; L_0 – індуктивність одиниці довжини трубопроводу; C_0 – ємність одиниці довжини трубопроводу; G_0 – поперечна провідність одиниці довжини трубопроводу (не є зворотною величиною відносно до R_0).

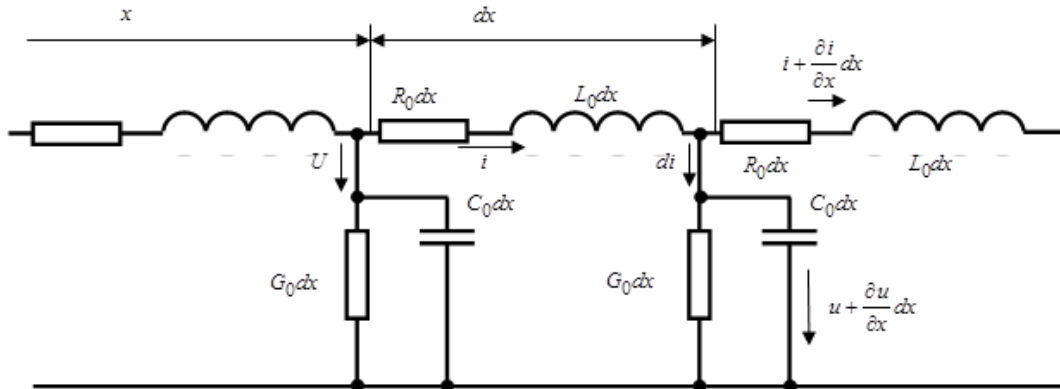


Рис. 1. Схема заміщення підземного сталевго трубопроводу як системи з розподіленими параметрами

Поділивши довжину лінії на ділянки dx , запишемо величини активного опору, індуктивності, провідності та ємності відповідно як $R_0 dx$, $L_0 dx$, $G_0 dx$, $C_0 dx$. Струм, що протікає на початку ділянки dx , визначимо величиною i , потенціал між сталевим трубопроводом та ґрунтом – як u . У певний проміжок часу значення струму дорівнює i . Через наявність струмів стікання з трубопроводу до навколишнього середовища (або навпаки) у кінці ділянки dx значення струму дорівнюватиме $i + \frac{\partial i}{\partial x} dx$. Величина $\frac{\partial i}{\partial x}$ характеризує швидкість зміни струму зі зміною координати x . Швидкість, що помножена на відстань dx дорівнює значенню приросту струму на відстані dx . Значення потенціалу u підземного сталевго трубопроводу відносно ґрунту в кінці ділянки dx визначається також як $u + \frac{\partial u}{\partial x} dx$. За другим законом Кірхгофа для ділянки dx запишемо:

$$-u + R_0 dx i + L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t} + u + \frac{\partial u}{\partial x} dx = 0. \quad (1)$$

Після спрощення виразу (1) маємо:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = L_0 \frac{\partial i}{\partial t} + R_0 i. \quad (2)$$

Струм контуру, що створений ділянкою dx ,

$$i = di + i + \frac{\partial i}{\partial x} dx. \quad (3)$$

Незважаючи на те, що струм di , який натікає на підземний сталевий трубопровід (внаслідок дії статичній катодного захисту), дорівнює сумі струмів через ємність та провідність, запишемо::

$$di = \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) G_0 dx + \frac{\partial}{\partial t} C_0 dx \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) \quad (4),$$

або:

$$di = u G_0 dx + C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (5)$$

Підставивши рівняння (5) у вираз (3), отримаємо:

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (6)$$

Сучасні СКЗ створені за високочастотним принципом перетворення сигналу (рис. 2). Головною перевагою їх є високі масо-габаритні характеристики, ККД та регульовальні характеристики, що дозволяють інтегрувати ці СКЗ до загальних систем автоматичного керування процесами захисту від електрохімічної корозії.

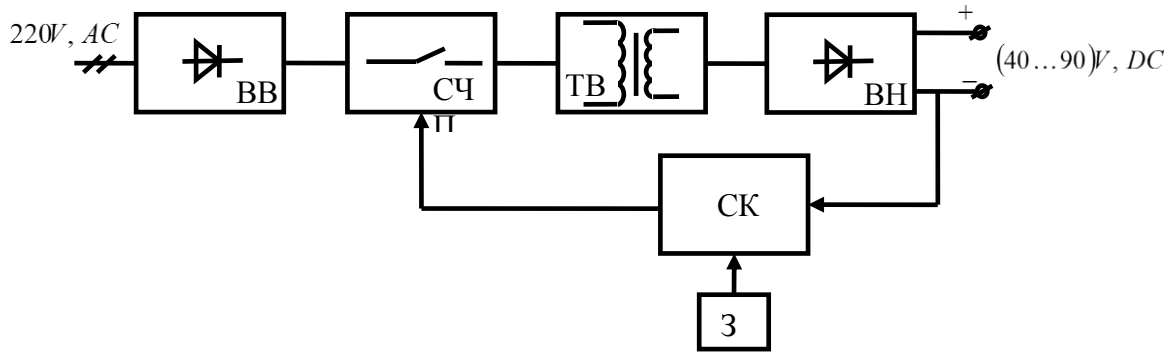


Рис. 2. Інверторний високочастотний випрямляч

Високовольтний випрямляч (ВВ) здійснює випрямлення напруги, яка за допомогою силового частотного перетворювача (СЧП) формується до змінної. Змінна напруга надходить до високочастотного трансформатора (ТВ), який перетворює рівень напруги до потрібного значення. Потім низьковольтний випрямляч (ВН) випрямляє напругу, що подається до підземного сталевому трубопроводу та анодного заземлювача. Система керування (СК) відпрацьовує сигнал завдання з блока (3) шляхом зміни параметрів комутації силових ключів у СПЧ. Приймавши сигнал на виході СКЗ правильної геометричної форми та розклавши його в ряд Фур'є, запишемо:

$$f(\omega t) = \frac{4U_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cos(2\omega t) - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos(4\omega t) + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos(6\omega t) - \dots \right). \quad (7)$$

Напругу на підземному сталевому трубопроводі можливо визначити за такою формулою [5]:

$$\dot{U} = \dot{A}_1 e^{\alpha x} e^{j(\psi_0 + \beta x)} + \dot{A}_2 e^{-\alpha x} e^{j(\psi_p - \beta x)}, \quad (8)$$

а струму, що протікає через трубопровід, як:

$$\dot{I} = -\frac{\dot{A}_1}{z_v} e^{\alpha x} e^{j(\psi_0 + \beta x - \varphi_v)} + \frac{\dot{A}_2}{z_v} e^{-\alpha x} e^{j(\psi_p - \beta x) - \varphi_v}, \quad (9)$$

де z_v – хвильовий опір, який визначається так:

$$z_v = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = z_v e^{j\psi_v}. \quad (10)$$

Здійснивши перехід від комплексних напруги та струму до функцій часу шляхом перемноження виразів (8) та (9) на величину $\sqrt{2}e^{j\omega t}$ й взявши від добутку уявну частину, запишемо:

$$u = A_1 \sqrt{2} e^{\alpha x} \sin(\omega t + \psi_0 + \beta x) + A_2 e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \psi_p - \beta x), \quad (11)$$

де A_1, A_2 – сталі інтегрування; α – коефіцієнт згасання; β – коефіцієнт фази; ψ_0, ψ_p – фази хвилі що падає та хвилі, що є віддзеркаленням; x – відстань від точки підключення СКЗ.

Струм, що протікає через трубопровід:

$$i = \frac{A_1}{z_v} \sqrt{2} e^{\alpha x} \sin(\omega t + \psi_0 + \beta x - \psi_v) + \frac{A_2}{z_v} \sqrt{2} e^{-\alpha x} \sin(\omega t + \psi_p - \beta x - \psi_v). \quad (12)$$

Розглядаючи електротехнічну систему підземний сталевий трубопровід – навколишній ґрунт – станція електрохімічного захисту як систему з розподіленими параметрами, за навантаження приймемо кінцеву ділянку $G_0 dx$, $C_0 dx$, $R_0 dx$, $L_0 dx$. За умови, коли не виконується рівняння:

$$\frac{z_v}{z_n} = 1 \quad (13)$$

де z_n – опір навантаження, спостерігається неузгодженість між параметрами навантаження та хвильового опору лінії. У цьому випадку, в підземному сталевому трубопроводі спостерігається разом зі хвилями, що рухаються, хвилі, що стоять. Тоді напруга для цього випадку запишеться так:

$$\dot{u} = u_2 \cos(\beta y) + j \frac{z_v}{z_n} \sin(\beta y) \quad (14)$$

або так:

$$\dot{u} = \dot{u}_2 e^{j\beta y} + j \left(\frac{z_v}{z_n} - 1 \right) \dot{u}_2 \sin \beta y, \quad (15)$$

де u_2 – напруга в кінці трубопроводу.

Залежність напруги трубопроводу в функції відстані від його кінця має такий вигляд:

$$u = u_2 \sqrt{\cos^2(\beta y) + \left(\frac{z_v}{z_n} \right)^2 \sin^2(\beta y)}. \quad (16)$$

Незважаючи на те, що значення опору навантаження менше величини хвильового опору мережі, що підлягає захисту від електрохімічної корозії, можна записати: $\frac{z_v}{z_n} > 1$. А це говорить про те, що наприкінці лінії напруга трубопроводу є мінімальною. З виразу (16) видно, що на відстані, яка дорівнює чверті хвилі ($\beta y = \frac{\pi}{2}$), напруга буде максимальною.

Використання сучасних схемотехнічних рішень під час створення СКЗ, зумовлює перехід до високочастотного перетворення електричної енергії. Частота комутації силових ключів досягає 28 – 43 кГц, що відповідає довжині хвилі 10,7 – 6,98 км. з розрахунку частоти першої гармоніки. При довжині гальванічно неізолюваних ділянок підземних сталевих трубопроводів у декілька десятків кілометрів, внаслідок взаємодії хвилі, що падає з хвилею, що стоїть можливе утворення змішаної хвилі. Наявність вузлів з нульовим значенням напруги на трубопроводі та пучностей з максимальним значенням стає причиною:

- утворення ділянок трубопроводу, що знаходяться без захисту від електрохімічної корозії;
- наявності ділянок з максимальним значенням напруги на трубопроводі, що викликає режим перекompенсації захисного потенціалу й зумовлює виділення водню;
- утворення анодних та катодних зон за довжиною підземного трубопроводу збільшує струми вирівнювання, що сприяє появі додаткових зон локальної корозійної небезпеки.

Висновки. Покращення фізико-хімічних параметрів ізоляційного покриття в сукупності з використанням сучасних високочастотних перетворювачів може призвести до ускладнення графіку залежності розподілу потенціалу підземного трубопроводу за його довжиною, що погіршує його корозійний стан.

Список літератури

1. Вербенець Б. Я. Безконтактний метод і прилади для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів: дис. кандидата технічних наук: 05.11.13 / Вербенець Богдан Ярославич. – Л., 2011. – 106 с.

2. Складов С. А. Математические модели и информационные технологии автоматизированного управления системами противокоррозионной защиты магистральных трубопроводов: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук.: 05.13.06/ Складов Станислав Александрович.- Х., 2002 – 168с.
3. Бешта О.С. Сумісна робота станцій катодного захисту підземних металевих трубопроводів від електрохімічної корозії / О.С. Бешта, О.О.Азюковський // Проблеми підвищення ефективності електромеханічних перетворювачів в електроенергетичних системах: Матеріали наук.-техн. конф. – Севастополь: Сев. НТУ, 2013. – С. 17-19.
4. Aziukovskyi A. The electrochemical cathodic protection stations of underground metal pipelines in uncoordinated operation mode / A. Aziukovskyi // CRC Press. Balkema is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, London, UK 2013– P. 47 – 55.
5. Стрижевский И. В. Теория и расчет влияния электрифицированной железной дороги на подземные металлические сооружения./ И.В. Стрижевский, В.И. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1967 – 227с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Слесарєвим В.В.