

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК 004.315.8:621.317.32(045)

Л. Я. Ильницький, д-р. техн. наук, проф.,**Л. В. Сибрук**, д-р. техн. наук, проф.,**В. Т. Богатир**, канд. техн. наук**СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВИМІРНИКА ПАРАМЕТРІВ
І РЕЖИМУ РОБОТИ СИМЕТРИЧНИХ ЛІНІЙ**

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Розглянуто математичний опис режиму роботи симетричних ліній, що дозволяє створити автоматизований вимірювальний комплекс для оцінювання параметрів лінії та контролю характеристик режиму її роботи.

Ключові слова: симетричні лінії, антенний ефект, автоматизований вимірювальний пристрій, хвиля напруги, хвиля струму, падаюча хвиля, відбита хвиля.

Вступ. У декаметровому діапазоні електромагнітних хвиль найчастіше для каналізації електромагнітної енергії від передавача до антени або від антени до приймача використовують відкриті симетричні лінії передавання. Вартість таких ліній низька, обслуговування не потребує великих витрат, легко усуваються місця пошкоджень і відносно проста технологія ремонту. Ці обставини сприяють широкому застосуванню відкритих симетричних ліній. На жаль, поряд з цими перевагами лініям властиві й істотні недоліки. Насамперед це залежність параметрів лінії від атмосферних опадів, можливість появи антенного ефекту й повна відсутність автоматизованих вимірювальних пристроїв для контролю, ремонту, налаштування й регулювання параметрів лінії передавання.

Постановка завдання. Сучасні можливості побудови вимірювальних апаратів дозволяють усунути один з недоліків, властивий використанню симетричних ліній, а саме: дозволяють створити вимірювальний комплекс, що не тільки оцінював би значення параметрів лінії, але й контролював би характеристики режиму роботи лінії. Процес вимірювання може бути повністю автоматизований. Для побудови такого автоматичного вимірювального комплексу розглянемо математичний опис режиму роботи лінії.

Основний зміст роботи. У нормальному стандартному режимі роботи симетричної лінії по проводах поширюються хвиля напруги й хвиля струму. Якщо навантаження симетричне, але не погоджене із хвильовим опором лінії, то в кожному перетині існують падаючі й відбиті хвилі. Хвилі струму й напруги в проводах антисиметричні й повністю визначаються за допомогою хвильового опору лінії W , довжини хвилі в лінії Λ й комплексному коефіцієнті відбиття $\tilde{\Gamma}_a = \Gamma_a e^{i\psi_a}$, де Γ_a – модуль коефіцієнта відбиття, а ψ_a – його фаза. Крім того, необхідна ще інформація про амплітуду напруги падаючої хвилі U_n , або амплітуду струму падаючої хвилі I_r . Отже, п'ять величин визначають усі особливості електричних процесів у симетричній лінії без втрат.

На жаль, у симетричних лініях можуть виникати симетричні хвилі, тобто хвилі, енергія яких переноситься з однаковими за амплітудою й фазою в обох проводах у тому самому перетині лінії хвилями напруги й струму. Це призводить до виникнення антенного ефекту лінії, зміни навантаження на передавач, спотворення діаграми напрямленості антени, збільшення втрат енергії в лінії й т. ін. Тому в процесі експлуатації необхідно не тільки вимірювати режим роботи за характеристиками антисиметричних хвиль, але й контролювати інтенсивність симетричних хвиль, для чого введено додаткові параметри (асиметрія лінії передавання й скіс хвилі). Щоб пояснити зміст цих параметрів, розглянемо фрагмент вимірювальної лінії (рис. 1). Цифрами 1 і 2 позначено відрізки проводів двох провідних ліній.

Вісь OZ координатної системи проведена вздовж осі симетрії лінії. Зазвичай для аналізу ліній передавання початок координат розміщують праворуч, а додатний напрямок осі Z – справа наліво. По осі ординат відкладають значення амплітуд напруги й струми. Залежності амплітуд струму від координати Z на рис. 1 не показано.

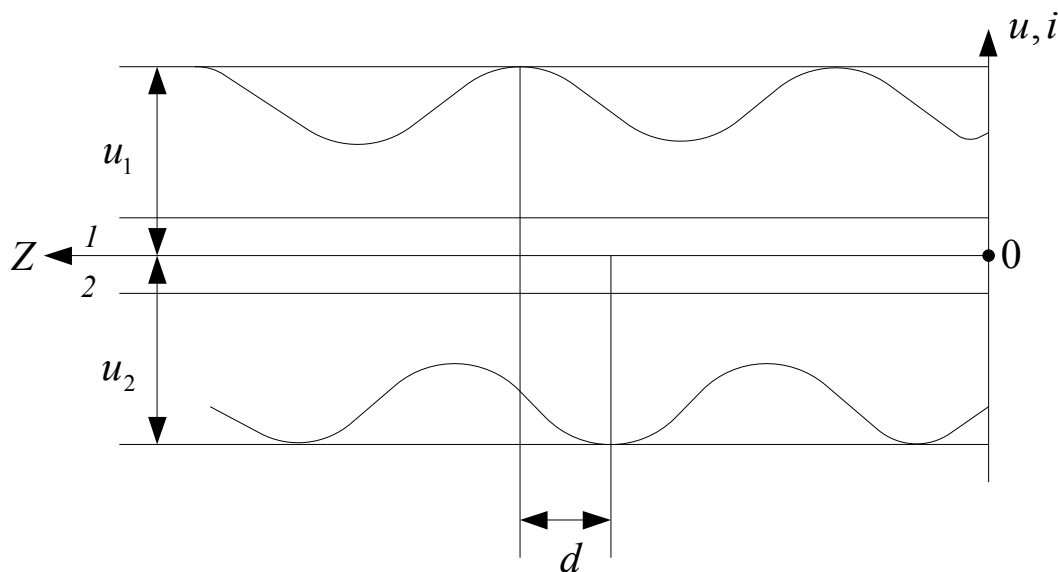


Рис. 1

У лінії поширюються симетричні й антисиметричні хвилі, тобто розглядається загальний випадок роботи двопровідної лінії. Напруга u_1 – це максимальне значення різниці потенціалів між пучністю (провід 1) й землею, потенціал якої сполучений з потенціалом осі Z (на рис. 1). Напруга u_2 – така ж різниця потенціалів між точками проводу 2 і землею.

У стандартному режимі виконуються такі умови

$$\begin{aligned} \dot{u}_1 &= -\dot{u}_2; \\ \dot{I}_1 &= -\dot{I}_2. \end{aligned} \quad (1)$$

З появою асиметрії в навантаженні лінії порушення симетрії в конструкції фідера, неоднаковому розміщенні проводів відносно поверхні землі або поруч розташованих протяжних об'єктів умови (1) не виконуються:

$$\begin{aligned} u_1 &\neq u_2; \\ I_1 &\neq I_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Мірою асиметрії розподілу амплітуд напруг і струмів у лінії є величина q , яку називають асиметрією. За відомими амплітудами напруг асиметрію визначають так [1]:

$$q = \frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2}. \quad (3)$$

Оскільки q не повністю характеризує відхилення від стандартного режиму роботи, вводиться ще один параметр – скіс хвилі. Його визначають в кутових градусах за зсувами пучності напруг d або вузлів у проводах лінії (рис. 1):

$$\psi = \frac{2\pi d}{\Lambda}, \quad (4)$$

де Λ – довжина хвилі в лінії.

Переходячи до розгляду режиму роботи лінії без втрат у самому загальному випадку, подамо значення комплексних амплітуд у довільному перетині провідників 1 і 2 лінії у вигляді

$$\left. \begin{aligned} \dot{u}_1 &= \dot{u}_a + \dot{u}_c; \\ \dot{u}_2 &= -\dot{u}_a + \dot{u}_c, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де $\dot{u}_a$ – комплексна амплітуда напруги між проводом 1 і землею для антисиметричної хвилі; $\dot{u}_c$ – комплексна амплітуда напруги між проводом 1 або 2 і землею для симетричної хвилі.

Аналогічним чином розкладемо амплітуди струмів на складові антисиметричних I_a і симетричних I_c хвиль:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_a + \dot{I}_c; \\ \dot{I}_2 &= -\dot{I}_a + \dot{I}_c. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Використовуючи теорію довгих ліній без втрат гармонійного процесу, визначимо розподіл напруг і струмів у лінії за допомогою падаючих і відбитих хвиль [2]:

$$\begin{aligned} \dot{u}_a &= \dot{u}_{ma} e^{i\beta z} \left[1 + \Gamma_a e^{-i(2\beta z - \psi_a)} \right]; \\ \dot{I}_a &= \frac{\dot{u}_{ma}}{W} e^{i\beta z} \left[1 - \Gamma_a e^{-i(2\beta z - \psi_a)} \right]; \\ \dot{u}_c &= \dot{u}_{mc} e^{i\beta_c z} \left[1 + \Gamma_c e^{-i(2\beta_c z - \psi_c)} \right]; \\ \dot{I}_c &= \frac{\dot{u}_{mc}}{W_c} e^{i\beta_c z} \left[1 - \Gamma_c e^{-i(2\beta_c z - \psi_c)} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

де $\dot{u}_{ma}$ – комплексна амплітуда напруги падаючої антисиметричної хвилі; $\beta = \frac{2\pi}{\Lambda}$ – коефіцієнт фази у двопровідній лінії антисиметричної хвилі; Λ – довжина антисиметричної хвилі в лінії; z – відстань від навантаження до розглянутого перетину; Γ_a – модуль комплексного коефіцієнта відбиття антисиметричної хвилі; ψ_a – фаза коефіцієнта відбиття антисиметричної хвилі; W – хвильовий опір лінії в режимі антисиметричної хвилі; $\dot{u}_{mc}$ – комплексна амплітуда напруги падаючої симетричної хвилі; $\beta_c = \frac{2\pi}{\Lambda_c}$ – коефіцієнт фази симетричної хвилі; Λ_c – довжина симетричної хвилі в лінії; Γ_c – модуль комплексного коефіцієнта відбиття симетричної хвилі; ψ_c – фаза коефіцієнта відбиття симетричної хвилі; W_c – хвильовий опір лінії в режимі симетричної хвилі.

У загальному випадку рівняння (7) містять дванадцять незалежних параметрів за обраного значення координати z . Якщо обрати фазу одного з коливань ($\dot{u}_a, \dot{I}_a, \dot{u}_{ma}, \dot{u}_c, \dot{I}_c, \dot{u}_{mc}$) як початкову й від неї відраховувати фазові зсуви, то кількість незалежних параметрів зменшиться на одиницю. Отже, для опису хвильових процесів у лінії передавання потрібно мати інформацію про одинадцять незалежних параметрів. В одному перетині лінії на відстані z від навантаження, виходячи з рівнянь (7), за результатами вимірювань, можна отримати сім незалежних значень, що недостатньо для розрахунку всіх незалежних параметрів.

Такими вимірювальними величинами можуть бути амплітудні значення напруг і струмів (u_a, I_a, u_c, I_c) та фазові зсуви між напругою й струмом антисиметричної хвилі ψ_{iu}^a , між напругою й струмом симетричної хвилі ψ_{iu}^c , а також фазовий зсув між напругою симетричної й антисиметричної хвиль ψ_{ac} . Для збільшення кількості незалежних вимірювальних величин необхідно використати ще один перетин лінії передавання на іншій

відстані від навантаження, що дорівнює z' , віддаленому від перетину з координатою z на відстань z_0 , тобто

$$z' = z + z_0.$$

Позначимо напруги й струми в другому перетині лінії штрихами, щоб відрізнити їх від величин у першому перетині з координатою z .

Отже, у першому перетині вимірюємо напруги $\dot{u}_1, \dot{u}_2$ й струми $\dot{I}_1, \dot{I}_2$. За допомогою простих співвідношень знаходимо:

$$\left. \begin{aligned} \dot{u}_a &= 0,5(\dot{u}_1 - \dot{u}_2); \\ \dot{u}_c &= 0,5(\dot{u}_1 + \dot{u}_2); \\ \dot{I}_a &= 0,5(\dot{I}_1 - \dot{I}_2); \\ \dot{I}_c &= 0,5(\dot{I}_1 + \dot{I}_2). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Аналогічно в другому перетині за обмірюваним значенням $\dot{u}'_1, \dot{u}'_2, \dot{I}'_1$ і $\dot{I}'_2$ розраховуємо

$$\left. \begin{aligned} \dot{u}'_a &= 0,5(\dot{u}'_1 - \dot{u}'_2); \\ \dot{u}'_c &= 0,5(\dot{u}'_1 + \dot{u}'_2); \\ \dot{I}'_a &= 0,5(\dot{I}'_1 - \dot{I}'_2); \\ \dot{I}'_c &= 0,5(\dot{I}'_1 + \dot{I}'_2). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Візьмемо за початок відліку фазових зсувів фазу напруги $\dot{u}_{ma}$ і з виразу (7) запишемо значення напруг і струмів антисиметричної й симетричної хвиль у першому перетині в такому вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{u}_a &= \dot{u}_{ma} e^{i\alpha} [1 + \Gamma_a e^{-i(2\alpha - \psi_a)}]; \\ \dot{I}_a &= \frac{\dot{u}_{ma}}{W} e^{i\alpha} [1 - \Gamma_a e^{-i(2\alpha - \psi_a)}]; \\ \dot{u}_c &= a \dot{u}_{ma} e^{i(\alpha_c + \varphi_c)} [1 + \Gamma_c e^{-i(2\alpha - \psi_c)}]; \\ \dot{I}_c &= a \frac{\dot{u}_{ma}}{W_c} e^{i(\alpha_c + \varphi_c)} [1 - \Gamma_c e^{-i(2\alpha - \psi_c)}], \end{aligned} \quad (10)$$

де введено такі позначення: $\dot{u}_{ma} = u_{ma} e^{i\omega t}$; $\alpha = \beta z$; $\alpha_c = \beta_c z$; $a = u_{mc} / u_{ma}$; φ_c – зсув фаз комплексних амплітуд напруг антисиметричної й симетричної хвиль:

$$\varphi_c = \arg \dot{u}_c - \arg \dot{u}_a. \quad (11)$$

Вимірювані величини в другому перетині набувають такого вигляду:

$$\begin{aligned} \dot{u}'_a &= \dot{u}_{ma} e^{i(\alpha + \alpha_0)} [1 + \Gamma_a e^{-i(2\alpha + 2\alpha_0 - \psi_a)}]; \\ \dot{I}'_a &= \frac{\dot{u}_{ma}}{W} e^{i(\alpha + \alpha_0)} [1 - \Gamma_a e^{-i(2\alpha + 2\alpha_0 - \psi_a)}]; \\ \dot{u}'_c &= a \dot{u}_{ma} e^{i(\alpha_c + \alpha_{0c} + \varphi_c)} [1 + \Gamma_c e^{-i(2\alpha_c + 2\alpha_{0c} - \psi_c)}]; \\ \dot{I}'_c &= a \frac{\dot{u}_{ma}}{W_c} e^{i(\alpha_c + \alpha_{0c} + \varphi_c)} [1 - \Gamma_c e^{-i(2\alpha_c + 2\alpha_{0c} - \psi_c)}], \end{aligned} \quad (12)$$

де позначено: $\beta z_0 = \alpha_0$ й $\beta_c z_0 = \alpha_{0c}$.

Оскільки формули, які описують антисиметричні й симетричні хвилі, мають однакову структуру й відрізняються лише значеннями кутів, хвильових опорів і модулями коефіцієнтів відбиття, того їх перетворення для визначення необхідних параметрів будуть ідентичними. Ця обставина дозволяє обмежитися аналізом одного типу хвилі, а результати використати й для іншої хвилі.

Спочатку розглянемо визначення параметрів лінії передавання для антисиметричної хвилі. З перших двох рівнянь системи (10) і системи (12) знайдемо квадрати модулів напруг і струмів:

$$\begin{aligned} |\dot{u}_a|^2 &= u_{m_a}^2 [1 + \Gamma_a^2 + 2\Gamma_a \cos(2\alpha - \psi_a)]; \\ |\dot{u}'_a|^2 &= u_{m_a}^2 [1 + \Gamma_a^2 + 2\Gamma_a \cos(2\alpha + 2\alpha_0 - \psi_a)]; \\ |I_a|^2 &= \frac{u_{m_a}^2}{W^2} [1 + \Gamma_a^2 - 2\Gamma_a \cos(2\alpha - \psi_a)]; \\ |I'_a|^2 &= \frac{u_{m_a}^2}{W^2} [1 + \Gamma_a^2 - 2\Gamma_a \cos(2\alpha + 2\alpha_0 - \psi_a)]. \end{aligned} \quad (13)$$

Визначаємо різниці квадратів напруг – p і струмів – r :

$$\left. \begin{aligned} p &= |\dot{u}_a|^2 - |\dot{u}'_a|^2 = 2\Gamma_a u_{m_a}^2 [\cos(2\alpha - \psi_a) - \cos(2\alpha + 2\alpha_0 - \psi_a)]; \\ -r &= |I_a|^2 - |I'_a|^2 = -2\Gamma_a \frac{u_{m_a}^2}{W^2} [\cos(2\alpha - \psi_a) - \cos(2\alpha + 2\alpha_0 - \psi_a)]. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

За відомим значенням різниць p і r розраховуємо хвильовий опір лінії передавання для антисиметричної хвилі (для стандартного режиму роботи):

$$W = \sqrt{\frac{p}{r}} = \sqrt{\frac{|\dot{u}_a|^2 - |\dot{u}'_a|^2}{|I_a|^2 - |I'_a|^2}}. \quad (15)$$

Комплексну амплітуду струму із другого рівняння системи (10) множимо на хвильовий опір (15) і одержимо напругу

$$\dot{u}_i = W I_a = \dot{u}_{m_a} e^{i\alpha} [1 - \Gamma_a e^{-i(2\alpha - \psi_a)}]. \quad (16)$$

Підсумовуючи комплексні амплітуди напруг $\dot{u}_a$ (10) і $\dot{u}_i$ (16), знаходимо величину, що являє собою комплексну амплітуду напруги падаючої хвилі, зсунутої за фазою на кут α .

$$\dot{u}_a + \dot{u}_i = 2\dot{u}_{m_a} e^{i\alpha}. \quad (17)$$

Модуль цієї суми визначає амплітуду напруги падаючої антисиметричної хвилі

$$u_{m_a} = \frac{1}{2} |\dot{u}_a + \dot{u}_i|. \quad (18)$$

Різниця комплексних амплітуд напруг $\dot{u}_a$ (10) і $\dot{u}_i$ (16) залежить від модуля коефіцієнта відбиття, його фази й амплітуди напруги падаючої хвилі:

$$\dot{u}_a - \dot{u}_i = 2\Gamma_a \dot{u}_{m_a} e^{-i(\alpha - \psi_a)}. \quad (19)$$

Очевидно, що модуль лівої частини рівняння (19) визначається добутком модуля коефіцієнта відбиття й амплітуди напруги падаючої хвилі, тому модуль коефіцієнта відбиття, використовуючи рівняння (18) і (19), знаходимо як відношення

$$\Gamma_a = \frac{|\dot{u}_a - \dot{u}_i|}{|\dot{u}_a + \dot{u}_i|}. \quad (20)$$

У результаті виконаних обчислень отримано значення хвильового опору W , амплітуди напруги падаючої хвилі u_{m_a} й модуль коефіцієнта відбиття Γ_a . Це дає можливість за допомогою виражень (13) розрахувати аргументи косинусоїдальних функцій. Так, з перших рівнянь можна розрахувати

$$\left. \begin{aligned} 2\alpha - \psi_a &= \arccos \frac{|\dot{u}_a|^2 - u_{m_a}^2 (1 + \Gamma_a^2)}{2\Gamma_a u_{m_a}^2}; \\ 2\alpha + 2\alpha_0 - \psi_a &= \arccos \frac{|\dot{u}'_a|^2 - u_{m_a}^2 (1 + \Gamma_a^2)}{2\Gamma_a u_{m_a}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

З рівностей (21) визначаємо фазовий зсув α_0 :

$$\alpha_0 \frac{1}{2} \left[\arccos \frac{|\dot{u}'_a|^2 - u_{m_a}^2 (1 + \Gamma_a^2)}{2\Gamma_a u_{m_a}^2} - \arccos \frac{|\dot{u}_a|^2 - u_{m_a}^2 (1 + \Gamma_a^2)}{2\Gamma_a u_{m_a}^2} \right]. \quad (22)$$

Відстань z_0 між перетинами, у яких установлюються датчики напруги й струму, вимірюють з високою точністю і його значення заздалегідь відомо, тому довжину хвилі в лінії визначаємо зі співвідношення

$$\Lambda = \frac{2\pi z_0}{\alpha_0}. \quad (23)$$

Використовуючи розраховані значення довжини хвилі в лінії й перше рівняння системи (21), знаходимо фазу коефіцієнта відбиття:

$$\psi_a = \frac{4\pi z}{\Lambda} - \arccos \frac{|\dot{u}_a|^2 - u_{m_a}^2 (1 + \Gamma_a^2)}{2\Gamma_a u_{m_a}^2}. \quad (24)$$

Таким чином, за результатами вимірювань за допомогою формул (15), (18), (20), (23) і (24) визначають величини, що характеризують хвильові процеси в лінії, і параметри самої лінії, що дає можливість із достатньою повнотою описувати режим роботи лінії.

Для симетричної хвилі параметри лінії передавання й характеристики режиму роботи визначаються аналогічно. Хвильовий опір лінії для симетричних хвиль

$$W_c = \sqrt{\frac{|\dot{u}_c|^2 - |\dot{u}'_c|^2}{|I_c|^2 - |I'_c|^2}}. \quad (25)$$

Амплітуда напруги падаючої симетричної хвилі

$$u_{m_c} = \frac{1}{2} |\dot{u}_c + \dot{u}_{i_c}|, \quad (26)$$

де $\dot{u}_{i_c} = \dot{I}_c W_c$.

Відношення амплітуд напруг падаючих симетричних і антисиметричних хвиль

$$a = \frac{u_{m_c}}{u_{m_a}} = \frac{|\dot{u}_c + \dot{u}_{i_c}|}{|\dot{u}_a + \dot{u}_i|}. \quad (27)$$

Модуль коефіцієнта відбиття симетричної хвилі

$$\Gamma_c = \frac{|\dot{u}_c - \dot{u}_{i_c}|}{|\dot{u}_c + \dot{u}_{i_c}|} \quad (28)$$

Довжина хвилі в лінії за симетричного режиму роботи

$$\Lambda_c = \frac{2\pi z_0}{\alpha_{0c}}, \quad (29)$$

де

$$\alpha_{0c} = \frac{1}{2} \left[\arccos \frac{|\dot{u}'_c|^2 - u_{m_c}^2 (1 + \Gamma_c^2)}{2\Gamma_c u_{m_c}^2} - \arccos \frac{|\dot{u}_c|^2 - u_{m_c}^2 (1 + \Gamma_c^2)}{2\Gamma_c u_{m_c}^2} \right] \quad (30)$$

Фаза комплексного коефіцієнта відбиття симетричної хвилі дорівнює

$$\psi_c = \frac{4\pi z}{\Lambda_c} - \arccos \frac{|\dot{u}_c|^2 - u_{m_c}^2 (1 + \Gamma_c^2)}{2\Gamma_c u_{m_c}^2}. \quad (31)$$

Для визначення останньої (одинадцятій) величини фазового зсуву комплексних амплітуд напруг падаючих антисиметричних і симетричних хвиль використаємо суму комплексних високочастотних напруг антисиметричної хвилі (17) і симетричної хвилі

$$\dot{u}_c + \dot{u}_{i_c} = 2\dot{u}_{m_c} e^{i\alpha_c} = 2a\dot{u}_{m_a} e^{i(\alpha_c + \varphi_c)}. \quad (32)$$

Фазовий зсув між двома сумами напруг дорівнює

$$\gamma = \arg(\dot{u}_c + \dot{u}_{i_c}) - \arg(\dot{u}_a + \dot{u}_i),$$

або

$$\gamma = \alpha_c + \varphi_c - \alpha. \quad (33)$$

Із рівняння знаходимо

$$\varphi_c = \left(\frac{2\pi}{\Lambda} - \frac{2\pi}{\Lambda_a} \right) z + \gamma = \frac{2\pi}{\Lambda} \left(\frac{\Lambda_c - \Lambda}{\Lambda_c} \right) z + \gamma. \quad (34)$$

За відомими параметрами ліній і режимів роботи будемо розподіли напруг $\dot{u}_1$ і $\dot{u}_2$ уздовж проводів симетричної лінії відповідно до формул (7)

$$\begin{cases} \dot{u}_1 = \dot{u}_a + \dot{u}_c = \tilde{f}_1(z); \\ \dot{u}_2 = \dot{u}_a - \dot{u}_c = \tilde{f}_2(z), \end{cases} \quad (35)$$

де аргумент z змінюється в інтервалі $0 \leq z \leq 2\lambda$ й λ – довжина хвилі в повітрі.

З побудованих залежностей знаходять перетини з максимальними значеннями напруг

$$\begin{cases} |\dot{u}_1|_{\max} = f_1(z_1); \\ |\dot{u}_2|_{\max} = f_2(z_2), \end{cases} \quad (36)$$

де z_1 – координата перетину з максимальним значенням напруги в проводі 1; z_2 – координата, найбільш близька до координати z_1 з максимальним значенням напруги в проводі 2.

Очевидно, що треба знайти таке значення z_2 , що задовольняє умову

$$|z_1 - z_2| = \min. \quad (37)$$

Різниця координат

$$|z_1 - z_2| = d.$$

Забезпечує оцінку скосу хвилі (4), а значення максимумів (36) за допомогою формули (3) дозволяють розрахувати симетрію.

Винахід. Структурна схема автоматичного вимірювального пристрою (рис. 2) містить блоки аналогової обробки сигналів (БАОС), які встановлюються в обраних перетинах лінії передавання. Низькочастотними лініями зв'язку ці блоки з'єднуються з керувальними

обчислювальним пристроєм, що відповідно до наведених формул розраховує параметри лінії й характеристики її режиму роботи. Результати обчислень виводяться на індикаторний пристрій.

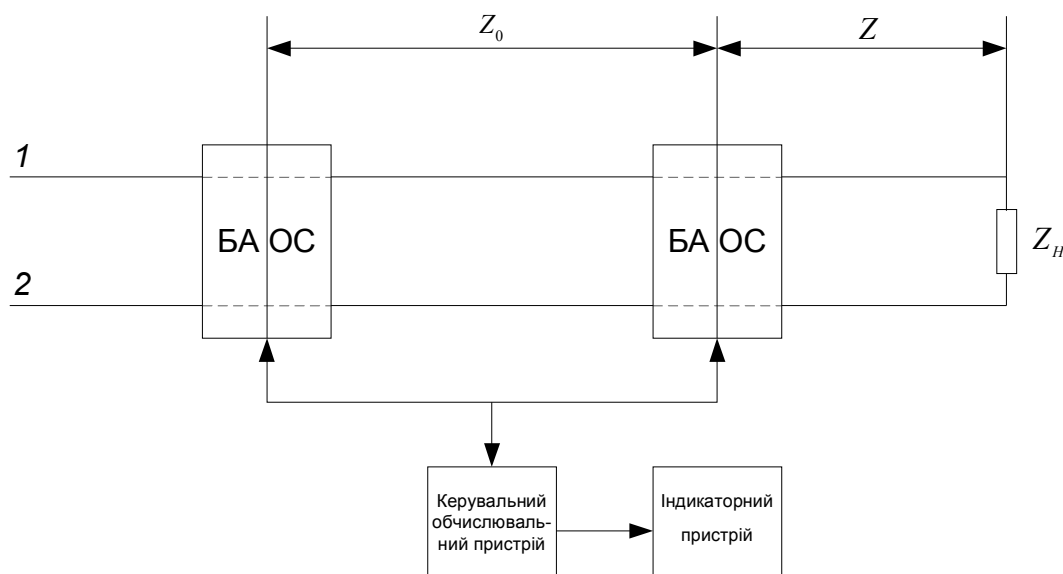


Рис. 2

Блоки аналогової обробки сигналів ідентичні й складаються із двох субблоків: один з них перетворює сигнали, які містять інформацію про струми, другий перетворює сигнали, що містять інформацію про напруги в проводах 1 і 2.

Схему субблока з датчиками струму зображено на рис. 3. У декаметровому діапазоні датчиками струму є високочастотні трансформатори, з виходів яких сигнали надходять у пристрій додавання, один з яких ліворуч визначають різницю напруг, а праворуч – суму вхідних напруг. Отже, на виходах цих пристроїв відповідно до виразу (9) одержуємо сигнали, які містять інформацію про амплітуду й фазу струмів антисиметричних і симетричних хвиль. Ці сигнали детектуються детекторами Д, у результаті чого отримуємо низькочастотні напруги, амплітуди яких пропорційні значенням $|\dot{I}_a|$ і $|\dot{I}_c|$. Одночасно високочастотні сигнали надходять на входи масштабних підсилювачів МП, коефіцієнти підсилення яких автоматично встановлюються керувальними сигналами, вироблюваними керувальним обчислювальним пристроєм (КОП). Значення коефіцієнтів підсилення пропорційні хвильовим опорам W і W_c , що забезпечує утворення напруг $\dot{u}_i$ (16) і $\dot{u}_{ic}$ (26), які повністю зберігають інформацію про струми $\dot{I}_a$ й $\dot{I}_c$.

Сигнали низької частоти $|\dot{I}_a|$ й $|\dot{I}_c|$ із субблока датчиків струму лініями зв'язку надходять у КОП. Сигнали високої частоти $\dot{u}_i$ й $\dot{u}_{ic}$ надходять у субблок датчиків напруги рис. 4.

Датчики напруги являють собою послідовне з'єднання конденсатора C і резистора R , підключених одним затискачем до проводу 1 або 2, а другим затискачем – до шини з нульовим потенціалом. Повний імпеданс такого датчика вибирають з умови, щоб струм, що протікає через датчик, був нехтовно малим і майже, не впливав на режим роботи фідера. Напруги з виходів датчиків у певному масштабі відображають амплітуди й фази напруг $\dot{u}_1$ і $\dot{u}_2$ між проводами й землею.

Ці сигнали відповідно до формул (9) визначають на виході пристрою, що віднімає, напруга антисиметричної $\dot{u}_a$ хвилі, а на виході суматора – $\dot{u}_c$ напруга. Після детектування детекторами D_1 одержуємо в певному масштабі амплітуди $|\dot{u}_a|$ й $|\dot{u}_c|$, які надходять на обробку в КОП. Ці ж сигнали, пропорційні напругам $\dot{u}_a$ і $\dot{u}_c$, підведені до входів суматора й обчислювача, на другі входи яких надходять сигнали, пропорційні $\dot{u}_i$ й $\dot{u}_{ic}$. На виходах обчислювачів отримуємо різницевий $\dot{u}_a - \dot{u}_i$ сигнал (19) і $\dot{u}_c - \dot{u}_{ic}$, які після детектирования пристроями D_2 низькочастотної ліній зв'язку підводяться до входу обчислювача КОП.

На виходах суматорів отримуємо сигнали $\dot{u}_a + \dot{u}_i$ (17) і $\dot{u}_c + \dot{u}_{ic}$. Після детектування детекторами D_3 вони являють собою амплітуди антисиметричної (18) і симетричної (26) хвиль. Для наступної обробки низькочастотні напруги (за одночастотного гармонійного режиму – це постійні напруги) надходять на вхід обчислювача КОП. Високочастотні сигнали $(\dot{u}_a + \dot{u}_i)$ й $(\dot{u}_c + \dot{u}_{ic})$ одночасно підводяться до входів фазометра Φ , що визначає фазовий зсув γ й інформацію про його значення передає на обчислювач КОП.

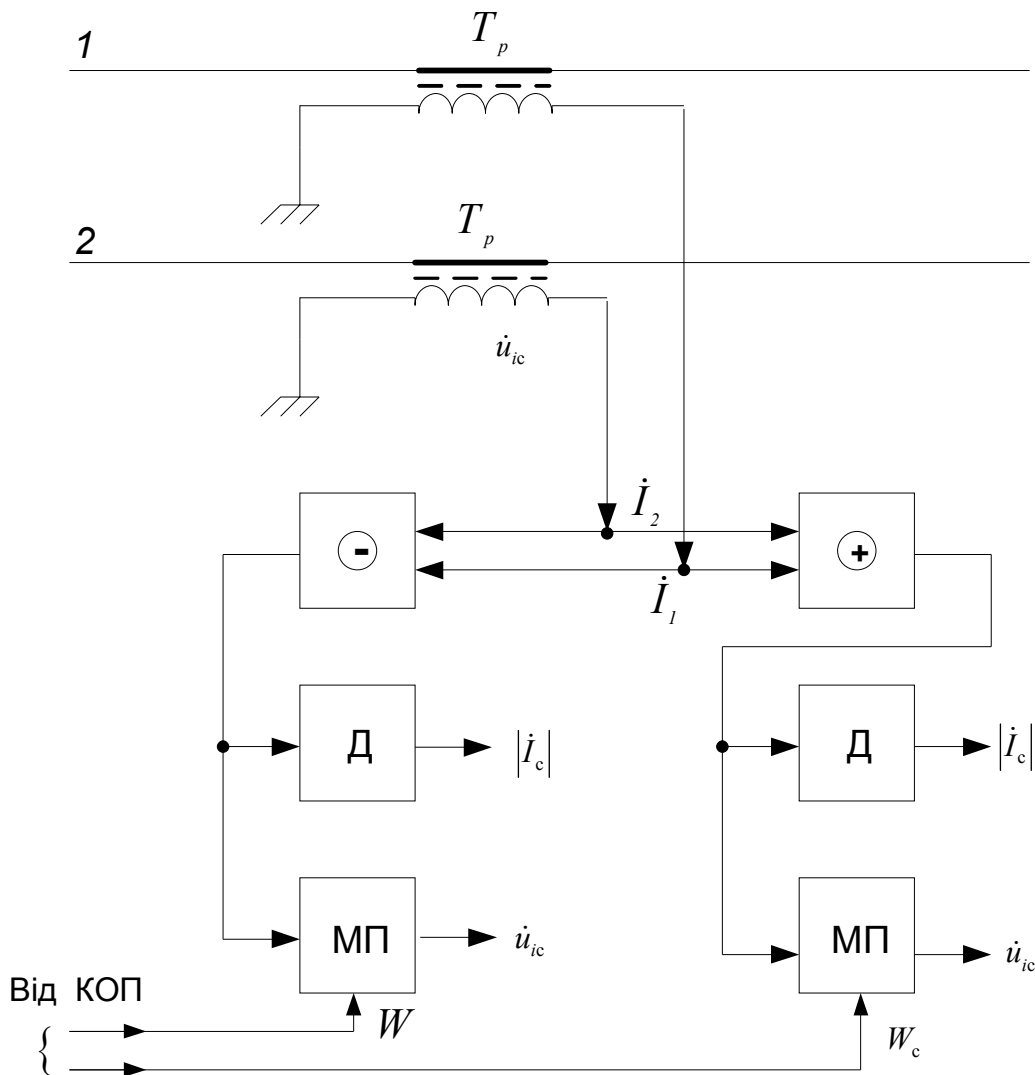


Рис. 3

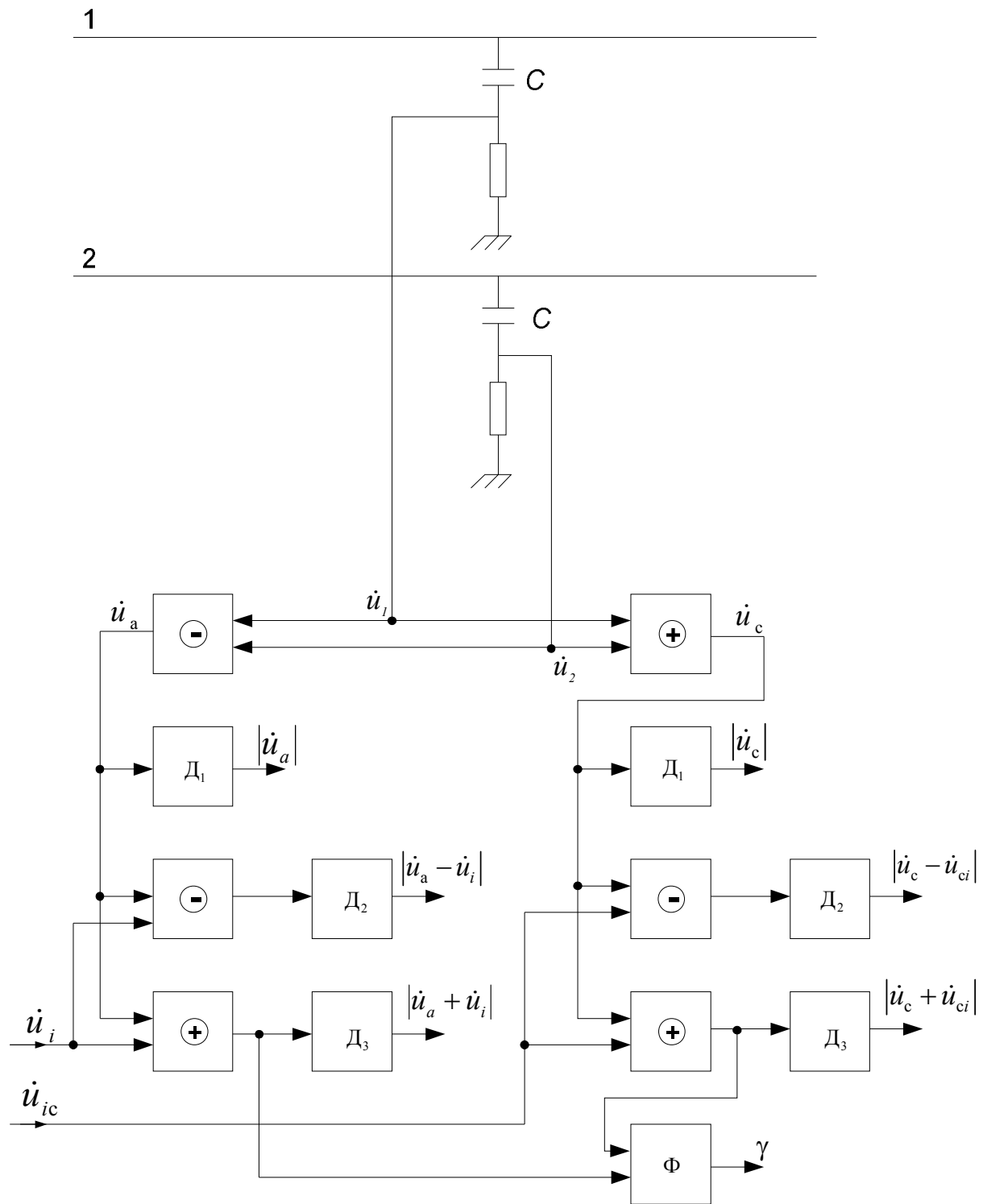


Рис. 4

Керувальний обчислювальний пристрій являє собою комп'ютер, що відповідно до формул (1 – 24) розраховує параметри W , u_{m_a} , Γ_a , Λ , ψ_a , а за допомогою формул (25 – 33) розраховує параметри W_c , u_{m_c} , a , Γ_c , Λ_c , ψ_c . За відомим кутом γ й за формулою (34) розраховують фазовий зсув φ_c . Комп'ютер виробляє керувальні сигнали, які надходять у субблоки датчиків і встановлюють необхідні коефіцієнти підсилення масштабних

підсилювачів. Регулювати коефіцієнт підсилення можна за допомогою цифро-керованого опору. Іншим варіантом масштабного підсилювача може бути перемножник.

Блок КОП розраховує залежності (35) у разі зміни координати в межах $0 \leq z \leq 2\lambda$. Оскільки $\Lambda \leq \lambda$ й $\Lambda_c \leq \lambda$, то в цьому інтервалі буде не менше двох максимумів функцій $f_1(z)$ і $f_2(z)$. Це дає змогу визначити з умов (36) положення цих максимумів z'_1 і z''_1 , z'_2 і z''_2 і відповідно до виразу (37) знайти значення зсуву максимумів α . Таким чином, як додаток до дванадцяти розрахованих величин визначаються асиметрія q й скіс хвилі ψ . У разі потреби за відомими виразами [2] можна розрахувати повний імпеданс навантаження й коефіцієнт біжучої хвилі у фідері.

Усі величини, визначені в результаті вимірювань і оброблювання даних вимірювань, виводяться на індикаторний пристрій і заносяться в пристрій пам'яті комп'ютера.

Висновок. На основі математичного аналізу запропоновано пристрій для вимірювання, оброблення і зберігання інформації про параметри режиму роботи симетричної лінії передавання.

Список літератури

1. Фрадин А. З., Рыжков Е. В. Вимір параметрів антенно-фідерних пристроїв. – М.: Зв'язок, 1972. – 352 с.
2. Ільницький Л. Я., Савченко О. Я., Сибрук Л. В. Антени та пристрої надвисоких частот: Підручник для ВНЗ / за ред. Л. Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496 с.

Л. Я. Ільницький, Л. В. Сибрук, В. Т. Богатырь

Синтез структурной схемы измерителя параметров режима работы симметричных линий

Приведен математический анализ режима работы симметричных линий, который позволяет создать автоматизированный измерительный комплекс для оценки параметров и контроля характеристик режима работы линий.

L.Ya. Ilnitsriy, L. V.Sibruk, V. T. Bogatir

Synthesis of the block circuit of a measuring instrument of parameters of operation mode of symmetric lines

The mathematical description of an operation mode of symmetric lines and the automatic measuring complex for an estimation of parameters of line and control of characteristics of a mode of its work is considered.