

ПРОВІДНИКОВА ЛІНІЯ ПЕРЕДАЧІ ЯК СИСТЕМА

Показано представлення провідникової лінії передачі у вигляді системи, що складається з окремих елементів. Взаємодія цих елементів обумовлює поведінку системи - її характеристики. А також, визначає реакцію на зовнішній вплив із врахуванням її внутрішнього стану.

It is shown representation of conductor transmission line as a system consisting of individual elements. The interaction of these elements determines the behaviour of the system - its characteristics. Also, determine the response to external influence with regard to its internal state.

Ключові слова: система, елемент системи, узагальнений кабель.

Вступ

Провідникові кабелі, що використовуються у народному господарстві для виконання різноманітних задач залишаються незамінним інструментом, який часто не має альтернативи у застосуванні. Постійно зростають вимоги до технічних показників, якими володіють провідникові системи – кабельні лінії. Конструкції кабелів удосконалюються. Не дивлячись на те, що кабельні системи використовуються вже досить давно, процес модернізації кабельних систем з метою підвищення їх надійності та покращення технологічних параметрів проводиться постійно.

Зростання обчислювальних потужностей дозволяє застосовувати різноманітні моделі ліній, математичне представлення яких може представляти собою достатньо громіздкий та об'ємний вид. Але при цьому час, необхідний для виконання циклу моделювання процесів в самій лінії за умов різноманітного впливу на неї стрімко зменшується. Тому, застосування засобів обчислювальної техніки дозволяє виконати складне моделювання різноманітних типів ліній для різних галузей народного господарства та, фактично, провести потрібні дослідження ще до стадії виготовлення конструкції провідникової лінії та фактично оцінити параметри майбутньої лінії.

Для діагностики кабельних систем, наявний описовий математичний апарат, у свою чергу, дозволяє реалізувати задачу дослідження методів діагностики на рівні програмного забезпечення і лише потім винести результати досліджень у площину практичних вимірювань.

Основна частина

Існує достатньо велика безліч типоміналів провідникових кабелів. Кожний типомінал кабелю можна представити своєю математичною моделлю, відмінною від інших. В процесі створення, моделювання та визначення параметрів кабелів, їх властивості слід звести до певної параметричної моделі, яка володіє певним набором властивостей, що враховують всі його властивості. Адже зрозуміло, що створення та використання кожен раз нової моделі лінії тільки погіршить можливість застосування стандартизованого програмного забезпечення, яке можна буде застосовувати кінцевому споживачу.

Набір методів моделі повинен бути єдиним системним представленням властивостей кабелю в узагальненій математичній формі [1,2], тобто бути заснованою на узагальненій теорії кабелю, та відображати певні загальні властивості. Такий принцип побудови можна представити поняттям "узагальнений кабель" [3,4].

У роботі [6] дається визначення спільних властивостей кабелів:

- Будь-який кабель можна розглядати як систему. Кабель складається з багатьох елементів-деталей – струмопровідні жили, ізолювані жили, діелектрики та інше. Елементи кабелю зв'язані між собою геометрично, механічно, електрично та разом визначають спільну конструкцію – кабель.

- Будь-який кабель представляє собою направлену систему. Використовується для передачі на відстань енергії, інформації.

- Різні кабелі за призначенням мають спільні за застосуванням елементи – струмопровідні, ізолюючі.

- Параметри кабелів визначаються сукупністю однакових параметрів – діелектрична проникність, магнітна проникність, провідність, кут діелектричних втрат, теплопровідність, теплоємність та інші.

- Кабелі володіють властивостями, характерними для окремого варіанту конструкції, що дозволяє відділяти один тип від іншого.

Згідно ГОСТ 15845-80 [7] визначаються поняття та терміни кабельної техніки. Найбільш важливими є:

1) кабельний виріб – електричний виріб, призначений для передачі по ньому електричної енергії, електричних сигналів інформації або що використовується для виготовлення обмоток електричних пристроїв, що відрізняється гнучкістю;

2) струмопровідна жила – елемент кабельного виробу, що призначено для проходження електричного струму;

3) кабельна оболонка – неперервна металева або неметалева трубка, що розміщується поверх осердя і призначена для захисту від вологі та інших впливів;

4) номінальний розмір елемента – розмір конструктивного елемента кабелю без врахування

допусків, що встановлений нормативними документами.

У роботі [6] запропоновано ввести додатково два поняття: "узагальнений кабель" ("УК") – як система та "елемент узагальненого кабелю" ("елемент УК") – частина цієї системи. Наведемо визначення з роботи [6] (скорочено):

Узагальнений кабель - математична модель у вигляді системи рівнянь, що адекватно відображає загальні властивості множини кабелів, в тому числі багатоеlementність, довільне розміщення елементів в кабелі та їх ієрархію.

Елемент УК - математична модель, що відповідає завершеним деталям кабелю.

Зрозуміло, що під елементом кабелю прийнято вважати окрему неподільну частину загальної системи – кабелю. Для елемента характерно простота, однорідність та він є носієм властивостей, що відносять його саме до кабелю. Подальше ділення окремого елемента кабелю призводить до виділення з нього елементів, які вже не є елементами кабелю [8]. До таких елементів-деталей нижчого рівня вже слід віднести дріт жили, ізоляційний шар, оболонка кабелю та таке інше.

Зазвичай, розмір окремого елемента кабелю приймається достатньо малим та таким, що наближається до нуля.

Таким чином, взаємодію кабелю з зовнішнім середовищем можна представити як взаємодію певної системи із зовнішніми сигналами. Властивості системи та її взаємодії зазвичай визначаються параметрами [8]:

– зовнішні параметри системи (властивості елементів системи):

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad n \in [1..N];$$

– внутрішні параметри системи (властивості безпосередньо системи):

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}, \quad k \in [1..K]; \quad (1)$$

– вихідні параметри системи (властивості зовнішнього середовища):

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}, \quad m \in [1..M].$$

де X, Q, Y – множини зовнішніх, внутрішніх та вихідних параметрів;

x_i, q_k, y_m – значення відповідного параметру;

I, K, M – кількість окремих параметрів системи.

Кабельна лінія характеризується постійною зміною стану системи в часі. В кабелі відбуваються електричні, механічні, теплові та інші процеси. Оскільки ці процеси мають місце в кабельній лінії – системі, то потрібно визначити взаємозв'язок між цими процесами в реальному середовищі. Якщо взаємозв'язок між процесами відсутній, тоді процеси приймаються як незалежні між собою. В реальному середовищі процеси проходження електричного струму, зміни геометрії кабелю в цілому або його окремих частин, нагріву або охолодження є невід'ємними і не дозволяють відділити їх між собою. Виділити рівень взаємозв'язку також складно, а тому ці процеси визначають спільний процес зміни стану системи. Цей процес також потрібно визначати як систему [6, 8].

Виходячи з цього, поєднання системи-процесу та системи-кабелю формується спільна надсистема. В залежності від взаємозв'язків, що визначаються в моделі лінії, ми можемо отримати або просту систему для спрощення, або складну систему із великою кількістю елементів та які, що найбільш важливо, мають велику кількість взаємозв'язків між собою.

Оскільки розмір кабельної лінії $l \gg 0$, кабельна лінія характеризується часом розповсюдження сигналу в лінії. А тому вихідний стан лінії буде визначатись поточним та попередніми станами системи.

Тоді враховуючи зміну значення параметрів системи в момент вимірювання t , отримаємо відгук системи на ці зміни.

$$\begin{aligned} X_t &= \{x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt}\} = X(t); & x_{i_{t_n}} &= F_x(x_{i_{t_{n-1}}}); \\ Q_t &= \{q_{1t}, q_{2t}, \dots, q_{kt}\}; & q_{k_{t_n}} &= F_q(q_{k_{t_{n-1}}}); \\ Y_t &= \{y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{mt}\}; & y_{m_{t_n}} &= F_y(x_{m_{t_{n-1}}}). \end{aligned} \quad (2)$$

де t_{n-1}, t_n – послідовні моменти часу, для яких визначається стан системи, $n \in [0..N]$.

F_x – функція зміни вхідного параметру, зазвичай є незалежна від стану лінії;

F_q – функція зміни стану системи, визначається самою системою;

F_y – функція вихідних станів системи, визначається самою системою.

Графічно, виходячи з виразу (1), взаємодію провідникової кабельної лінії з її параметрами X, Q, Y в момент часу t можна представити у вигляді взаємозв'язаних блоків (рис. 1), що і обумовлено сукупністю значень всіх параметрів окремих елементів кабелю, а також параметрів, що міняються в часі –

струму та напруги, механічних навантажень та таке інше.

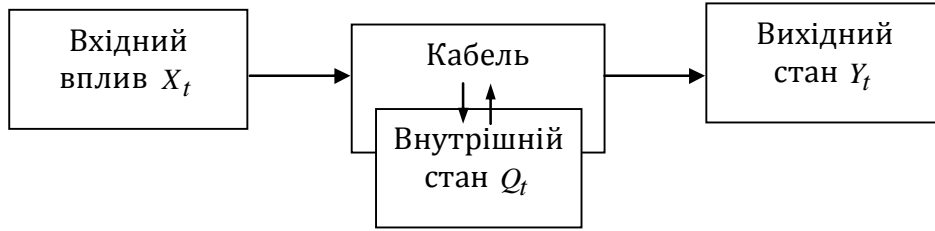


Рис. 1. Взаємодія кабелю із зовнішнім середовищем

З виразу (2) отримуємо сукупність станів системи в окремі моменти часу t , в результаті чого отримуємо простір станів, що будуть описувати поведінку провідникової кабельної лінії в загальному. Іншими словами, вираз (2) представляє собою фазову траєкторію руху процесу в просторі можливих значень станів параметрів системи.

Тоді, взаємозв'язок параметрів системи можна представити у вигляді наступного виразу:

$$\begin{cases} X_t = X(t) \\ Q_t = F_Q(Q_{t-1}, X_t) \\ Y_t = F_Y(Q_t); \end{cases} \quad (3)$$

$$t \in [0..T],$$

$$(t_i - t_{i-1}) \rightarrow 0$$

де F_Q – функція стану внутрішніх параметрів системи;

F_Y – функція вихідних параметрів системи;

T – час;

i – момент часу, для якого визначається стан системи.

Отже, стан системи визначається попереднім станом системи ($-\infty < t' \leq t$), а відгук системи – станом в момент часу t . Згідно роботи [6], поведінка кабельної системи може бути представлена через відгук системи від стороннього впливу, зазвичай зовнішнього, на саму систему. Реакція системи представлена у таблиці 1.

Таблиця 1

Напрямок впливу на лінію, Вп	Відгук системи, Вп	
	Торцевий	Боковий
Торцевий	<p><i>Передача енергії 1-1</i></p> <p>Нормальний режим лінії</p>	<p><i>Випромінювання 1-2</i></p> <p>Формування електромагнітного, теплового поля</p>
Боковий	<p><i>Поглинання 2-1</i></p> <p>Вплив на лінію зовнішнього електромагнітного поля</p>	<p><i>Перевипромінювання 2-2</i></p> <p>Взаємодія із зовнішніми пристроями пошуку кабелів</p>

Режим 1-1 (табл. 1) відповідає робочому режиму роботи кабельної лінії – передачі по ній енергії сигналу. Режими 1-2, 2-1, 2-2 також відповідають роботі лінії, але при цьому прийнята або випромінювана енергії не обов'язково мають бути електромагнітними. Випромінювання та поглинання є факторами, що впливають на лінію, і відповідно враховуються у визначенні множини внутрішніх станів Q_t . Складність

математичної моделі кабелю, а отже і його адекватності буде визначатись обсягом встановлених взаємозв'язків згідно виразу (3) і фактично полягає у визначенні функцій перетворення F_Q та F_Y .

З [8] слідує, що вираз (3) дозволяє отримати повну математичну модель системи, що дозволить дослідити статичну та динамічну моделі лінії. Динамічна модель, в свою чергу, дозволить провести дослідження стану лінії із застосуванням часової поведінки системи.

В кабельній системі визначаються не тільки модель взаємодії впливу (модель процесу, [6]) та відгуку на цей вплив. Взаємодія сигналу впливу та відгуку на цей вплив розглядається у структурі узагальненого кабелю також включаючи і модель конструкції, що нерозривно поєднані між собою. Модель конструкції складається з геометричної моделі, що відображує форми, розміри та розміщення елементів в кабелі, а також включає в себе властивості елементів кабелю.

До важливих властивостей елементів кабелю відносяться :

- магнітна та діелектрична проникність – μ , ϵ ;
- провідність – σ та $tg \delta$;
- механічні – модуль пружності та коефіцієнти Пуансона;
- інші показники (за необхідністю).

Модель процесу – сукупність процесів в кабелі: електромагнітного, механічного та ін. Кожна модель відображує залежність від часу зв'язаних між собою величин.

Модель конструкції враховує геометричну модель конструкції та фізичну модель конструкції. Тобто визначаються форма, розміщення в просторі та взаємне розміщення елементів кабелю без врахування інших властивостей. Більш детально, геометричні моделі розглянуто в [3, 6] та ряду інших.

Висновок

Адекватне застосування методів діагностики кабельної лінії ґрунтується на використанні граничних умов, які визначаються параметрами самої кабельної лінії. Адже використання різноманітних методів діагностики за умов суттєвих обмежень може призвести до спотворення визначених в процесі вимірювання параметрів. Це, як наслідок, призведе до втрати інформативності та отримання заздалегідь хибних результатів. Таким чином, застосування різноманітних методів діагностики, що вже використовуються або тільки розробляються, вимагають визначення певної сукупності вихідних параметрів кабельної системи $Y' \subseteq Y$ та визначення значень цих параметрів, які потрібно дослідити в існуючих моделях провідникових ліній. У свою чергу, адекватна модель конструкції кабелю дозволяє перейти до створення моделі лінії та визначити основні електричні параметри лінії.

Найбільш ймовірними причинами виникнення похибок під час розрахунку параметрів кабелю із застосуванням моделі кабелю є [6]:

1) Ідеалізовані розміри та взаємне положення елементів в кабелі. Ідеалізування призводить до спрощення розрахунків, але спостерігається завищення діаметрів груп пар від фактичного, і як наслідок, зменшення робочої ємності та збільшення індуктивності від фактичних.

2) Гвинтове згинання елементів (скрутка) призводить до збільшення довжини кабелюзміни форми електромагнітного поля та ємності і індуктивності. Хвильовий опір кабелю практично не змінюється, але при зменшенні кроку скручування вплив зростає.

3) Похибки у відтворенні форм елементів та їх взаємне розміщення в кабелі, оскільки не враховується деформування ізоляції при скручуванні жил в кабелі. Зближення струмопровідних провідників при деформуванні ізоляції та зростанні площі контакту до ізоляції сусідніх жил веде до зростання еквівалентної діелектричної проникності ізоляції.

Література

1. Норенков И. П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. – М. : Высшая школа, 1980. –
2. Мороз А. И. Курс теории систем. – М. : Высшая школа, 1987.
3. Абрамов К. К. Моделирование и расчет кабелей связи на ЭВМ. – М. : Связь, 1979.
4. Абрамов К. К., Алексеева Л. П. Электрическое поле и параметры кабеля с неоднородным диэлектриком // Труды ВНИИКП. – М. : Энергия, 1975. – Вып. XVIII
5. Кулешов В. Н. Теория кабелей связи. – М. : Связьиздат, 1950.
6. Абрамов К. К. Модель конструкции обобщенного кабеля связи // Наука и техника. - №2. – 2008. – С. 13-18
7. Изделия кабельные. Термины и определения : ГОСТ 15845-80. – Введ. с 01.07.1981. – 18 с.
8. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.

Надійшла 19.6.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.