

УДК 623.004.67

С.С. Котляр

Озброєння Збройних Сил України, Київ

ВИКОРИСТАННЯ РІВНЯННЯ ЧОТИРИПОЛЮСНИКА ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

В статті розглядається можливість представлення вимірювального перетворювача в якості чотириполосника.

Ключові слова: чотириполосник, вимірювальний перетворювач.

Вступ

Постановка задачі. Пересувні лабораторії вимірювальної техніки баз вимірювальної техніки Озброєння Збройних Сил України мають великий спектр засобів вимірювання військового призначення. При проведенні метрологічного нагляду зразків озброєння та військової техніки є необхідність перевірки засобів вимірювання неелектричних величин електричними вимірювальними засобами військового призначення. В ході такої перевірки здійснюється перетворення неелектричних величин у функціонально зв'язані з ними електричні величини за допомогою відповідних вимірювальних перетворювачів. Для вимірювання неелектричних величин необхідно мати первинний вимірювальний перетворювач неелектричної величини в електричну і вторинний електричний вимірювальний прилад та також пристрої їх спряження (лінії зв'язку, вимірювальні підсилювачі, пристрої гальванічної розв'язки вимірюваних кіл, пристрої корекції похибок, тощо. Дослідження фізичних явищ, які використовуються для здійснення перетворення зовнішніх впливів в електричні сигнали дозволяє підтримувати різноманітні датчики військового призначення в справному стані, що забезпечує бойову готовність озброєння та військової техніки.

Аналіз літератури. Основні відомості про вимірювальні перетворювачі викладені в [1]. В [2 – 5] розглянуті фізичні явища, які використовуються для прямого перетворення зовнішніх впливів в електричні сигнали. Але в [1 – 5] розглядаються лише одно каналні перетворювачі, хоча в зразках озброєння і військової техніки все частіше застосовуються багатоканальні вимірювальні перетворювачі. Разом з цим лишаються відкритими питання, які пов'язані з дослідженням характеристик вимірювальних перетворювачів з декількома каналами зв'язку і можуть бути розглянуті як узагальнені пасивні чотириполосники.

Метою статті є дослідженням властивостей вимірювальних перетворювачів з двома каналами зв'язку як узагальнених пасивних чотириполосників.

Основний матеріал

Передавання і перетворення вимірювальної інформації у перетворювачах фізичних величин здійснюється шляхом передавання та перетворення енергії [1]. Згідно з цим, будь-який вимірювальний перетворювач може бути представлений як чотириполосник зі сторонами, загалом різної фізичної природи, а перетворення вимірювальної інформації – як перетворення енергії одного виду в енергію іншого виду [1].

Звичайно, енергію будь-якої системи за аналогією з механічними системами можна подати добутком двох величин, однією з яких є сила, а іншою – переміщення (координата). Вибір фізичних величин, які були б еквівалентні механічній силі та переміщенню, значною мірою умовний, але їх добуток повинен відповідати енергії як фізичній величині [2]. Як узагальнені параметри при перетворенні можуть бути прийняті також сила та швидкість (похідна переміщення за часом), добуток яких відповідає потужності як фізичній величині [2 – 5].

Для знаходження зв'язку між силами та переміщеннями рухомої системи тіл широко використовуються рівняння Лагранжа другого роду [1]. Ці рівняння дають змогу порівняно легко розв'язувати задачі динаміки зв'язаних систем.

В рівняннях Лагранжа як узагальнені координати можуть бути прийняті будь-які фізичні величини, які визначають енергетичний стан системи. Це дає змогу застосовувати рівняння Лагранжа для аналізу роботи вимірювальних перетворювачів (ВП), вхідні та вихідні величини яких можуть бути величинами різної фізичної природи.

Отже, вимірювальний перетворювач з двома каналами зв'язку (один вхід та один вихід, рис. 1), може бути описаний рівнянням Z-форми використання узагальненого пасивного чотириполосника, які в випадку запису мають вигляд:

$$\begin{aligned} F_1 &= Z_{11}v_1 + Z_{12}v_2; \\ F_2 &= Z_{21}v_1 + Z_{22}v_2. \end{aligned} \quad (1)$$

Рівняння (1) записані в координатах сила F та швидкість руху v .

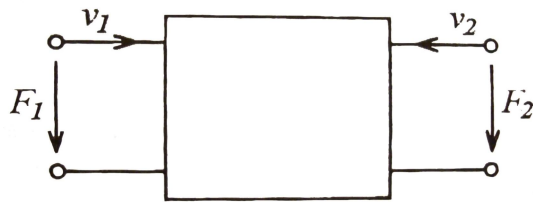


Рис. 1. Вимірювальний перетворювач як чотириполосник

Опори Z_{11} та Z_{21} визначаються як відношення відповідних узагальнених сил до узагальнених швидкостей за умови відсутності руху ($v = 0$, режим неробочого ходу) на другій стороні. У режимі неробочого ходу визначаються також опори Z_{12} та Z_{22} (випадок, коли $v_1 = 0$). Отже значення цих опорів не залежать від властивостей пристроїв, які можуть бути підключені до перетворювача, і характеризують лише властивості вимірювального перетворювача. Відповідно до місця цих опорів в структурі перетворювача Z_{11} та Z_{22} називають власними вхідним та вихідним опорами сторін перетворювача, а Z_{12} та Z_{21} - власними взаємними (передавальними) опорами. Як буде показано далі Z_{12} та Z_{21} мають зміст коефіцієнтів перетворення.

При приєднанні до виходу перетворювача деякого узагальненого опору Z_H вхідний опір перетворювача визначиться як:

$$\begin{aligned} Z_{вх} &= \frac{F_1}{v_1} = Z_{11} + Z_{12} \frac{v_2}{v_1} = \\ &= Z_{11} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_H + Z_{22}} = Z_{11} - \Delta Z, \end{aligned} \quad (2)$$

оскільки, виходячи з другого рівняння чотириполосника при під'єднаному Z_H (рис. 2),

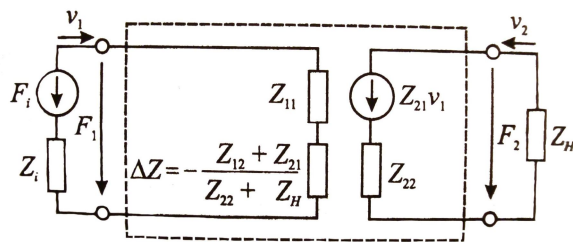


Рис. 2. Еквівалентна схема генераторного перетворювача

відношення

$$\frac{v_2}{v_1} = - \frac{Z_{21}}{Z_H + Z_{22}}$$

(тут $Z_H = - \frac{F_2}{v_2}$ за фізичною сутністю є опором навантаження; знак мінус враховує протилежність напрямів вихідної узагальненої швидкості в Z-формі рівнянь чотириполосника).

Із останнього виразу випливає, що вхідний опір вимірювального перетворювача загалом відрізняється від його власного вхідного опору, тобто опору Z_{11} на значення так званого внесеного опору ΔZ , яке обернено пропорційне сумі власного вихідного опору навантаження.

Розглянемо узагальнений генераторний перетворювач

Наведені вище рівняння вимірювального перетворювача як чотириполосника стосуються перетворювачів для яких справедливий принцип оборотності. Такими є генераторні перетворювачі, які в результаті дії вхідної величини генерують на виході певний енергетичний процес.

Виходячи із Z-форми рівнянь та враховуючи вираз для вхідного опору, еквівалентну схему генераторного перетворювача можна подати у вигляді, зображеному на рис. 2, де F_i - джерело вхідної сили з внутрішнім опором Z_i .

Залежно від того, які з вхідних та вихідних параметрів будуть інформативними, розв'язавши рівняння чотириполосника, можна знайти рівняння перетворення вимірювального перетворювача та відповідно коефіцієнти перетворення, виражені через узагальнені опори:

$$v_2 = k_1 F_1 = \frac{Z_{21}}{Z_{12}Z_{21} - Z_{11}(Z_H + Z_{22})} F_1, \quad (3)$$

$$F_2 = k_2 F_1 = \frac{Z_{21}}{Z_{11} + \frac{1}{Z_H(Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21})}} F_1, \quad (4)$$

$$v_2 = k_3 v_1 = - \frac{Z_{21}}{Z_{22} + Z_H} v_1,$$

або

$$F_2 = k_4 v_1 = \frac{Z_{21}}{1 + \frac{Z_{22}}{Z_H}} v_1 \quad (5)$$

Наведені рівняння зв'язують вихідні та вхідні параметри перетворювача в загальному випадку його роботи з навантаженням, і тоді перетворення визначаються не лише параметрами чотириполосника, але й узагальненим опором навантаження Z_H . Характеризувати роботу вимірювального перетворювача у першому наближенні можна простішими формулами.

Дійсно, режим роботи вимірювального перетворювача з вихідним інформативним параметром у вигляді узагальненої сили F_2 повинен бути близьким до режиму неробочого ходу $Z_H = \infty$, а режим роботи вимірювального перетворювача з інформативним параметром у вигляді узагальненої швидкості v_2 - близьким до режиму короткого замикання ($Z_H = 0$). Тоді:

$$v_2 = \frac{Z_{21}}{Z_{12}Z_{21} - Z_{11}Z_{22}} F_1, \quad (6)$$

$$F_2 = \frac{Z_{21}}{Z_{11}} F_1; \quad (7)$$

$$v_2 = -\frac{Z_{21}}{Z_{22}} v_1, \quad F_2 = Z_{21} v_1. \quad (8)$$

Коефіцієнти перетворення k_1, k_2, k_3 та k_4 для лінійних перетворювачів є сталими та незалежними від аргументів v_1 та v_2 . Необхідно однак зауважити, що, як правило, ми завжди маємо справу з нелінійними перетворювачами.

Аналіз роботи таких нелінійних перетворювачів зводиться до розв'язання складних нелінійних диференціальних рівнянь, що пов'язано зі значними труднощами. Тому дуже часто застосовують лінеаризацію цих рівнянь. Розглядають настільки малі прирощення Δv_1 та Δv_2 , що узагальнені власні опори Z_{ik} в цих межах будуть практично незмінними.

Коефіцієнти Z_{ik} в наведених вище рівняннях вимірювальних перетворювачів є операторними опорами і дорівнюють:

$$Z_{ik} = p^2 m_{ik} + p R_{ik} + C_{ik}, \quad (9)$$

де m_{ik} , R_{ik} та C_{ik} – узагальнені параметри перетворювача, відповідно узагальнена маса, узагальнений активний опір та узагальнена жорсткість, p – оператор диференціювання.

Отже, виразивши операторний опір Z_{ik} через параметри перетворювача можна перейти до диференціального рівняння перетворювача.

Найпростіші вимірювальні перетворювачі можуть бути з достатньою точністю описані диференціальними рівняннями першого або другого порядків. Рівняння вимірювального перетворювача як чотириполюсника з його вхідними та вихідними параметрами описують роботу узагальненого перетворювача. Використовуючи ці рівняння для оцінки

роботи реальних перетворювачів тих чи інших фізичних величин, можливо застосовувати методи подібності, які ґрунтуються на аналогії між узагальненими силами, переміщеннями, швидкостями та опорами і відповідними їм електричними, механічними, магнітними, тепловими та іншими величинами.

Висновки

1. В статті розглянуто вимірювальний перетворювач як чотириполюсник.

2. Наведені рівняння чотириполюсного вимірювального перетворювача. Доведено, що нього справедливий принцип оборотності.

3. Вимірювальні перетворювачі з двома каналами зв'язку як з достатньою точністю описуються диференціальними рівняннями першого або другого порядків. Використовуючи ці рівняння можна оцінити роботу реальних перетворювачів тих чи інших фізичних величин, застосовуючи методи подібності, що засновані на аналогії між узагальненими силами, переміщеннями, швидкостями та опорами і відповідними їм електричними, механічними, магнітними, тепловими та іншими величинами.

Список літератури

1. Поліщук Є.С. *Вимірювальні перетворювачі* / Є.С. Поліщук. – К.: Вища школа, 2003. – 283 с.
2. Григор'єва И.С. *Физические величины. Справочник* / И.С. Григор'єва, Е.З.Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 186 с.
3. Halhday, D. *Fundamentals of Physics, 2nd ed* / D. Halhday, R. Resnick. – John Wiley & Sons, New York, 1986. – 244 p.
4. Neubert, H.K.R. *Instrument transducers An introduction to their performance and design, 2nd ed* / H.K.R. Neubert. – Clarendon Press, Oxford, 1975. – 284 p.
5. Southgate, PD, *Appl Phys Lett* 28, 250, 1976.

Надійшла до редколегії 28.09.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКА ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

С.С. Котляр

В статье рассмотрено возможность представления использования измерительного преобразователя в качестве четырёхполюсника.

Ключевые слова: четырёхполюсник, измерительный преобразователь.

USE OF EQUALIZATION OF QUADRIPOLE FOR ANALYSIS OF WORK OF MEASUREMENTS TRANSFORMERS

S.S. Kotlyar

In the article possibility of presentation of the use of measuring transformer is considered as a quadripole.

Keywords: quadripole, measuring transformer.