

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПЕРАТОРНОГО МЕТОДУ

© Ванько В., 2017

Розроблено новий підхід для знаходження аналітичного виразу функції перетворення вимірювального перетворювача фізичної величини на основі аналізу його вихідного сигналу за допомогою розробленої спеціальної установки, завдяки якій способом спеціальних регулювань визначають основні параметри еталонної функції перетворення, що відповідає досліджуваній кривій.

Ключові слова: вимірювальний перетворювач, функція перетворення, операторний метод, інформаційні технології.

A new approach for finding analytical expression conversion function transmitter physical value by analyzing its output using developed special installation through which by special regulations define the basic parameters of the reference conversion function corresponding to the investigated curve.

Key words: measuring transducer transfer, function, operator technique, information technology.

Вступ

Вимірювальне перетворення будь-якої фізичної величини – це вимірювальна операція, під час якої вхідна фізична величина перетворюється на функціонально пов'язану з нею вихідну величину. Однією з найважливіших характеристик вимірювальних перетворювачів (ВП) вважають функцію перетворення (ФП), котра відображає залежність між значеннями вимірюваної величини на виході та вході ВП. Незалежно від принципу побудови ВП часто виникає проблема ідентифікації його ФП. Відомі підходи стосовно різних варіантів відображення ФП ВП, починаючи від теорії проф. Харкевича [1]. Частіше ФП ВП сприймається у вигляді певного електричного еквіваленту (схеми), котрий містить активні і реактивні складові, які можна показати як деякі сполучення цих складових у різних варіаціях. Багато хто з провідних науковців і фахівців у цій галузі таке представлення ФП ВП вважають найдоцільнішим і таким, що просто і ефективно характеризує можливості і поведінку ВП у більшості промислових та інших застосувань.

Обґрунтування аналізу проблематики

Як відомо з теорії метрології, рівноцінними стосовно дослідження ВП вважають відображення їхніх ФП у частотній чи часовій площинах. В останньому випадку будь-який ВП розглядають як стаціонарну динамічну систему у вигляді диференціального рівняння

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x, \quad (1)$$

яке описує перетворення вхідного сигналу $X(t)$ на вихідний $Y(t)$ [2,3]. Традиційно для аналізу таких структур застосовують перетворення Лапласа, котре ще називають операторним методом. Особливістю дослідження ВП є той факт, що за певних умов можна отримати графік $Y(t)$ довільного вигляду, але за цим відображенням важко судити про ФП і, відповідно, властивості цього ВП. При цьому потрібно розглядати розв'язання цієї задачі дещо іншим шляхом, використовуючи можливості операторного методу.

Якщо вжити у дещо іншому форматі відомий традиційний підхід [2,3], то потрібно спочатку здійснити перетворення Лапласа над отриманою в результаті вимірювального експерименту функцією $Y(t)$, а потім шукати коефіцієнт перетворення ВП як функцію оператора p Лапласа

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}, \quad (2)$$

використовуючи відношення операторних зображень вихідного і вхідного сигналів. За видом $K(p)$ можна судити про особливості та властивості конкретного ВП. Тут найперше йдеться про заступну електричну схему ВП: про кількість та сполучення реактивних і активних елементів, котрі описують ФП ВП, що можна з'ясувати безпосередньо з виразу $K(p)$ чи після реалізації зворотного перетворення Лапласа: $K(p) \Rightarrow K(t)$.

При цьому головною проблемою є відсутність аналітичної залежності між $X(t)$ та $Y(t)$ ВП, що унеможливує розв'язання задачі – пошуку ФП – як теоретичного математичного вирішення.

Підхід до аналізу функції перетворення вимірювального перетворювача фізичних величин

Переважаючи з метою спрощення дослідження динамічних властивостей систем управління та технічних пристроїв пропонується застосовувати як вхідні сигнали стандартні функції типу Гевісайда $\sigma(t)$ або Дірака $\delta(t)$, що пояснюється потребами спрощення аналізу виразу (2). У такому випадку за цим виразом отримаємо два варіанти знаходження коефіцієнта перетворення ВП:

$$K(p) = p \cdot Y(p) \quad (3)$$

при використанні $\sigma(t)$ або

$$K(p) = Y(p). \quad (4)$$

за умови вживання $\delta(t)$.

Незважаючи на очевидну простоту, другий варіант аналізу ВП на практиці важче реалізувати, особливо коли йдеться не про одноразовий експеримент, а за потреби багаторазових визначень $K(p)$ згідно з (3) для статистичних досліджень ФП ВП. Крім того, перший варіант забезпечуватиме більшу достовірність результатів досліджень ВП завдяки простішій апаратній побудові, на відміну від другого варіанта.

Пропонується структура вимірювальної установки для дослідження ФП ВП (рис. 1), котра містить ГСФ – генератор стандартної функції, ДВП – досліджуваний ВП, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ОЗП – оперативний запам'ятовувальний пристрій, ГЕФ – генератор еталонних ФП, ППФ – пристрій порівняння ФП, КФП – коректор ФП, АКП – аналізуючий та керівний пристрій.

Як було наголошено вище, на вхід ДВП подається сигнал, що імітує $\sigma(t)$ або $\delta(t)$. Вид сигналу визначається різновидом ДВП та специфікою поставленого експерименту. На виході ДВП отримують сигнал $Y(t)$, котрий підлягає подальшому опрацюванню.

Оскільки, як наголошувалось вище, внаслідок проведення вимірювального експерименту матимемо лише графічне зображення $Y(t)$ для ДВП, доцільно взяти до уваги, що завдяки застосуванню сучасних інформаційних технологій вихідний сигнал ДВП можна перетворити на послідовність k цифрових кодів миттєвих значень $\{y_k\}$. Цього досягають за допомогою АЦП, а отримана послідовність даних зберігається в ОЗП.

Отже, використовуючи підхід до динамічного представлення сигналів згідно з [2], зобразимо досліджувану функцію як

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (y_{en})_k \cdot \delta(t - t_k) \cdot \Delta, \quad (5)$$

де $\{(y_{en})_k\}$ – масив трансформованих миттєвих значень вихідного сигналу ВП, а Δ – часовий інтервал дискретизації цього сигналу.

Отже, потрібно за цим масивом визначити аналітичний вираз ФП ДВП.

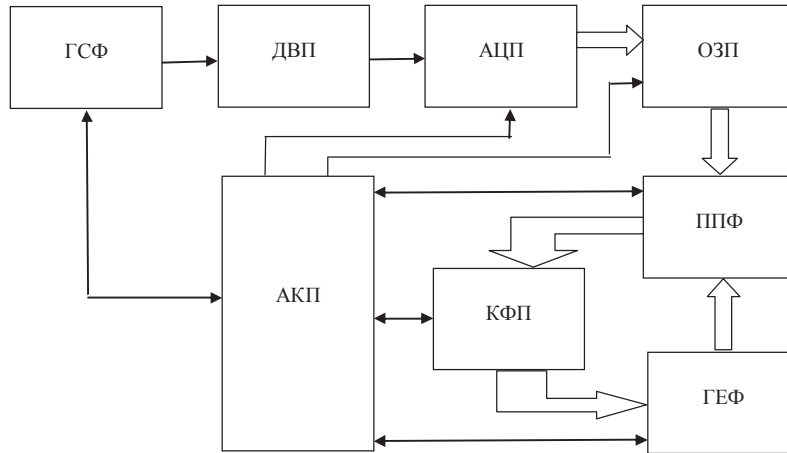


Рис. 1. Структура виміральної установки для дослідження ФП ВП

Розглядаючи досліджуваний сигнал $Y(t)$, перетворений потім на $Y(p)$, як суму деяких функцій, можна використати одну із фундаментальних формул операційного числення, коли зображення суми функцій дорівнює сумі окремих зображень цих функцій:

$$L \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} (Y_{en}(p))_k \right] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} L[Y_{en}(p)]_k. \quad (6)$$

Це означає, що для подальших опрацювань можна застосовувати дискретний сигнал безпосередньо з виходу АЦП чи з ОЗП. При цьому для знаходження $K(p)$ скористаємося відомим у метрології методом заміщення [4]. Якщо на ППФ подати цифрові послідовності досліджуваної $\{(y_{en})_k\}$ та певної еталонної $\{(y_{en})_k\}_{em}$, згідно з (3) і (4), у разі їхнього збігу можна стверджувати, що $U(p) \equiv U_{em}(p)$ і, відповідно $K(p) \equiv K_{em}(p)$. У цьому випадку точність визначення ФП ДВП залежатиме від точності моделювання $K_{em}(p)$ (чи $K_{em}(t)$) та правильності фіксації збігу $U(p)$ і $U_{em}(p)$, що реалізується ППФ. Завдяки застосуванню операторного методу легше порівнювати ФП, а також аналізувати характер кривої ФП ДВП, наприклад, щодо ступеня диференціального рівняння (1).

На практиці можна обмежити опис еталонних ФП ВП кривими не вище третього порядку. На рис. 2 показано еталонну криву для ФП першого порядку $Y_{em1}(p) = K_{em}(p) \cdot p = \frac{p}{p+a}$, а на рис. 3 –

стосовно ФП другого порядку $Y_{em2}(p) = K_{em}(p) \cdot p = \frac{p}{(p+a) \cdot (p+b)}$. Як бачимо, основними параметрами, що характеризують ці криві, є амплітуди вхідного сигналу та експоненційні коефіцієнти a та b , котрі описують швидкість зміни $Y(p)$.

Знаходять $K(p) \equiv K_{em}(p)$ за допомогою КФП поетапним порівнянням кривих: досліджуваної з виходу ОЗП та еталонної від ГЕФ. При цьому спочатку аналізують тип кривої $Y(p)$. Як видно з рис. 2 і рис. 3, еталонні криві ФП різних порядків суттєво відрізняються між собою. Тобто, за видом ФП ДВП можна одразу встановити порядок рівняння, що істотно спрощує подальший аналіз.

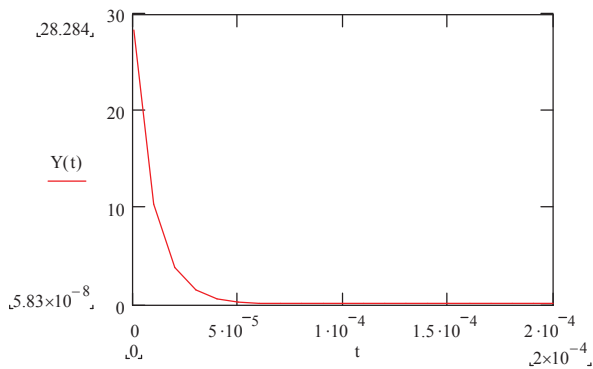


Рис. 2. Еталонна функція перетворення вимірювального перетворювача першого порядку

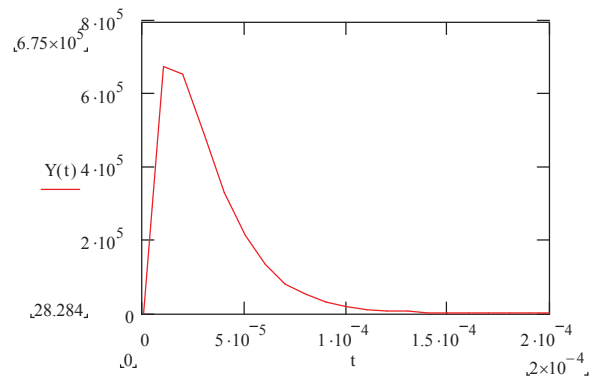


Рис. 3. Еталонна функція перетворення вимірювального перетворювача другого порядку

Наступним кроком у роботі КФП та АКП є почергові зміни значень a і b в еталонній ФП, щоб в результаті отримати збіг ФП ДВП з еталонною кривою. Такі зміни відбуваються поступово внаслідок покрокового дослідження АКП відмінностей між миттєвими значеннями цих кривих та подальшого встановлення напрямів і кроків регулювання основних параметрів еталонної ФП. Закінченням процесу налаштування вважають збіг цих кривих із попередньо задекларованою точністю.

Отже, можна стверджувати, що $K(p)$ і, відповідно $K(t)$, описуються аналітичними залежностями $K_{em}(p)$ та $K_{em}(t)$. З метою пришвидшення регульовного процесу доцільно функції КФП та АКП покласти на персональний комп'ютер або на однокристальний мікроконтролер з відповідними технічними характеристиками.

Висновки

Запропоновано підхід для визначення аналітичного виразу функції перетворення вимірювальних перетворювачів фізичних величин проведенням відповідних експериментальних досліджень і запам'ятовуванням його вихідного сигналу. Завдяки порівнянню функції перетворення досліджуваного вимірювального перетворювача з набором еталонних кривих встановлено вид та аналітичний вираз досліджуваної кривої на основі використання сучасних інформаційних технологій. Даний матеріал може слугувати для збирання вимірювальної інформації стосовно нових і перспективних вимірювальних перетворювачів різноманітних величин за умови застосування порівняно простих і недорогих інструментальних засобів.

1. Вимірювальні перетворювачі (сенсори): підручник / В. М. Ванько, Є. С. Поліщук, М. М. Дорожжовець, В. О. Яцук, Ю. В. Яцук; за ред. Є. С. Поліщука та В. М. Ванька. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 584 с. 2. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник. 2-е изд., доп. и перераб. / С. И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 1988. – 448 с. 3. Гінзбург С. Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. 3-е изд., доп. и перераб. / С. Г. Гінзбург. – М.: Высшая школа, 1967. – 388 с. 4. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожжовець, В. О. Яцук, В. М. Ванько, Т. Г. Бойко; за ред. Є. С. Поліщука. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 544 с.