

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

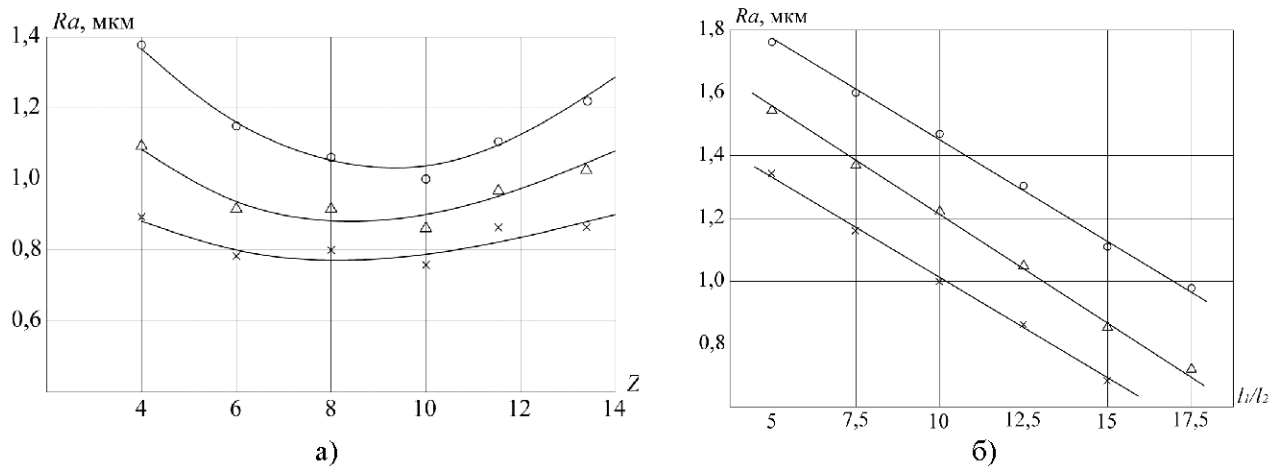


Рис. 5. Залежність шорсткості поверхні від числа ріжучих виступів круга а) і відношення протяжності виступу і впадини б).  $v_b = 53 \text{ м/хв.}$ ,  $t = 0,02 \text{ мм}$ ,  $S=20 \text{ мм/хід}$ .

X-X – T = 10с, Δ-Δ – T = 30с, O-O – T = 60с

Отже, під час чистового оброблення поверхонь обертання роликів конічних підшипників, доцільно використовувати суцільні шліфувальні круги, а на фінішних операціях технологічного процесу виготовлення при безцентровому шліфуванні – переривчасті шліфувальні круги із числом ріжучих виступів  $Z = 8$ .

### Інформаційні джерела

1. Бабаков И.Н. Теория колебаний / И.Н. Бабаков. – М.; Наука, 1968. – 560с.
2. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / А.И. Грабченко. – Харьков : Высш. Школа, 1985. – 184 с.
3. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
4. Oczos K. Struktura geometryczna powierzchni / K. Oczos, V. Luibimov. –Rzeszow, 2003. – 200 p.

УДК 681.2

В.Т. Михалевич<sup>1</sup>, к.т.н., Б.І. Тарас<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування

### УЗГОДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДАХ І СИСТЕМАХ

*Отримання оптимальних технічних та метрологічних характеристик вимірювальних засобів можливе лише за умови раціонального узгодження взаємодії їх функціональних елементів. Важливим завданням на етапі проектування приладів є забезпечення ефективної передачі інформаційного сигналу у послідовності вимірювальних перетворювачів. З цією метою пропонується використати принцип узгодження елементів за їх вхідним та вихідним опором.*

**Ключові слова:** вимірювання, перетворення, інформаційний сигнал, узгодження, опір

*Получение оптимальных технических и метрологических характеристик измерительных средств возможно лишь при условии рационального согласования взаимодействия их функциональных элементов. Важным заданием на этапе проектирования приборов является обеспечение эффективной передачи информационного сигнала в последовательности измерительных преобразователей. С этой целью предлагается использовать принцип согласования элементов по их входным и выходным сопротивлениям.*

**Ключевые слова:** измерение, преобразование, информационный сигнал, согласования, сопротивление

*Obtain optimal technical and metrological characteristics of measuring tools is possible only under condition of rational coordination of interaction of their functional elements. An important task at the stage of designing devices is to ensure effective transmission of the signal sequence of measuring transducers. To this end, proposed to use the principle of matching items for their input and output impedance.*

**Keywords:** measurement, transformation, information signal, negotiation, resistance

Кожен процес вимірювання, тобто отримання кількісної інформації про стан фізичного об'єкту або явища, супроводжується рядом послідовних перетворень. Всі перетворення здійснюються за допомогою технічних пристроїв – функціональних елементів, що складають схему вимірювального засобу. Часто ці перетворення, особливо, у вимірювальних системах, мають на меті зміну інформаційного сигналу не тільки за величиною або формою, але й за фізичною природою.

Загальна статична характеристика засобу вимірювання є результатом добутку передатних характеристик окремих елементів, а динамічна – результатом взаємодії кожної пари цих елементів у послідовності. Тому надзвичайно важливою задачею забезпечення ефективного функціонування вимірювального приладу чи системи є умова узгодженості взаємодії функціональних елементів.

Першим кроком на шляху вирішення цієї задачі є перевірка відповідності роду енергії вихідних сигналів попередніх елементів роду енергії, придатній для сприйняття вхідними колами наступних елементів. У випадку порушення такої відповідності необхідно ввести між елементами відповідний перетворювач енергії вихідного сигналу. Наприклад, світлова енергія оптичного елемента не може бути використана у вхідних колах напівпровідникового підсилювача без попереднього перетворення світлового потоку в електричну енергію. Якщо таке перетворення виявиться принципово недосяжним або з якихось інших причин нездійсненним, то необхідно переглянути вибрану елементну базу на таких ділянках функціональної схеми вимірювального засобу.

Узгодження елементів за характером сигналів зводиться до аналізу можливості роботи кожного наступного елемента пристрою на енергії вихідних сигналів конкретно визначеної форми (постійний, змінний, імпульсний сигнали) попередніх елементів. Якщо виявиться, що на виході попереднього елемента існує змінний сигнал, а наступний елемент може перетворювати тільки постійні сигнали або, навпаки, вихідний сигнал елемента є постійним, а наступний за ним елемент здатен виконувати функціональне перетворення тільки змінних сигналів, то між такими елементами обов'язково необхідно передбачити включення допоміжних елементів – демодуляторів чи модуляторів.

Найскладнішим питанням узгодження елементів все ж залишається узгодження за потужністю сигналів. Таке узгодження залежно від режиму роботи елемента і виконуваних ним функцій має на меті отримання або найбільшої вихідної потужності, або найбільшого коефіцієнта підсилення по потужності.

Подібно до того, як в електротехніці під час вимірювання електрорушійної сили стараються звести до мінімуму споживану вимірювачем енергію процесу, так і під час вимірювання механічних величин, наприклад сили чи тиску, прагнуть до зменшення переміщень чутливих елементів. У приладах це виражається збільшенням вхідного опору, а при вимірюваннях механічних сил, моментів і тиску – збільшенням жорсткості чутливого елемента. З іншого боку, під час вимірювання електричного струму прагнуть до зменшення вхідного опору, а під час вимірювання механічних переміщень – відповідно до збільшення механічної податливості чутливого елемента.

З метою опису реакції приладу на процес вимірювання вводиться поняття "податливості", або вхідного опору, приладу. У відповідності з поширеним у літературі визначенням під *узагальненим опором* приймається відношення узагальненої сили до викликаної нею узагальненої швидкості:

$$Z = F / \dot{q}, \quad (1)$$

де  $Z$ ,  $F$ ,  $\dot{q}$  – узагальнені опір, сила, швидкість.

Поняття узагальненого опору поширюється також і на вимірювальні прилади, оскільки прилад, як правило складається з сукупності послідовно з'єднаних вимірювальних перетворювачів, то добитись максимальної точності передачі інформації від перетворювача до перетворювача, а відповідно, і приладу в цілому можна лише за умови оптимальних умов спряження перетворювачів. Одним з основних принципів спряження перетворювачів і є принцип узгодження їх вхідних і вихідних опорів.

Поняття опору досить широко відоме в електротехніці, механіці, акустиці, теплотехніці тощо. На жаль не всі ці поняття відповідають загальному визначенню опору. Але функціонування більшості перетворювачів ґрунтується на двох загальних принципах: законі збереження енергії і принципі взаємності. Це дозволяє ввести поняття узагальненого опору і подати такі перетворювачі у вигляді чотирихвостосників зі сторонами різної фізичної природи.

Отже, узгодження елементів за потужністю зводиться до узгодження опору вихідних кіл попереднього елемента і вхідних кіл наступного за ним елемента. Будь-який перетворюючий елемент можна подати у вигляді блоку, що включає два кола – вхідне, що підключене до джерела корисного сигналу, і вихідне – з джерелом живлення і навантаженням (рис. 1).

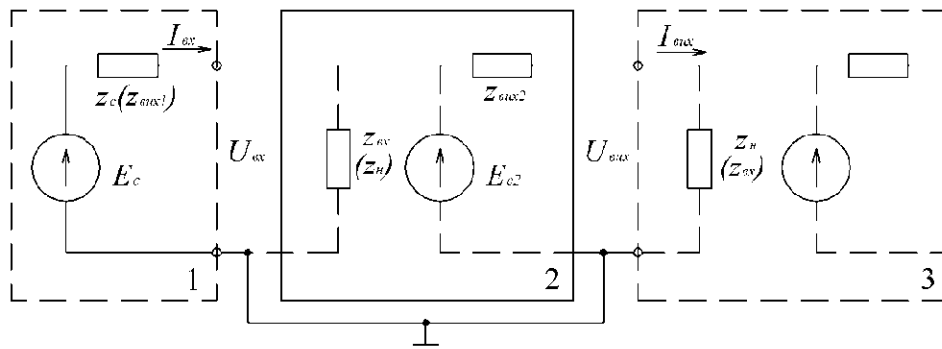


Рис. 1. Функціональна схема послідовного з'єднання елементів вимірювального засобу

Існує три співвідношення між вхідним опором наступного елемента і вихідним опором сусіднього з ним попереднього елемента:

- 1)  $z_{ex} \gg z_{ex1}$ . У цьому випадку джерело сигналу працює в режимі холостого ходу, тому вхідною величиною елемента, що є навантаженням джерела сигналу, буде напруга  $\dot{U}_{ex} \cong \dot{E}_c$ ;
- 2)  $z_{ex} \ll z_{ex1}$ . Ця умова відповідає роботі джерела сигналу у режимі, близькому до режиму короткого замикання. Вихідною величиною елемента (навантаження) буде струм короткого замикання джерела;
- 3)  $z_{ex1} \cong z_{ex}^*$ , де  $z_{ex}^*$  – комплексний опір, спряжений з  $z_{ex}$ . Таке співвідношення опорів близьке до умови передачі максимальної активної потужності від джерела сигналу до навантаження.

У теорії і практиці інформаційно-вимірювальної техніки користуються наступними основними поняттями опору: операторним, комплексним, перехідним. Поняття "операторний опір" є найбільш загальним і може бути отриманим з рівняння Лагранжа другого роду, що встановлює зв'язок між змінами енергії всередині системи і зовнішніми узагальненими силами.

Поняття *операторного опору* зручно використовувати для математичного моделювання та опису процесів узгодження елементів. Для механічних систем з узагальненими координатами  $x_i$  і швидкістю  $\dot{x}_i$  після диференціювання рівняння Лагранжа отримаємо:

$$F_i = \sum_{k=1}^n \left[ \frac{d}{dt} (m_{ik} \dot{x}_k) + R_{ik} \dot{x}_k + k_{ik} x_k \right]. \quad (2)$$

Позначивши операцію диференціювання  $d/dt$  через  $p$  і винісши за дужки  $px_k$ , отримаємо:

$$F_i = \sum_{k=1}^n \left( pm_{ik} + R_{ik} + \frac{1}{p} k_{ik} \right) px_k; \quad (3)$$

$$F_i = \sum_{k=1}^n Z_{ik} \dot{x}_k, \quad (4)$$

де  $Z_{ik} = pm_{ik} + R_{ik} + \frac{1}{p} k_{ik}$  – узагальнений операторний опір.

Для більшості перетворювачів кількість узагальнених координат може бути зведена до двох, що називаються сторонами перетворювачів. Дійсно, з  $n$  рівнянь, що описують перетворювач, можна залишити тільки два – що характеризують обмін енергією з зовнішнім середовищем і, як правило, містять вхідну та вихідну величини. У решті  $n - 2$  рівняннях за такої постановки задачі  $F_i$  будуть рівними нулю. Відповідно, рівняння можна розв'язати відносно проміжних узагальнених координат, що характеризують внутрішні ступені вільності, та підставити значення у перші два рівняння. Тоді з (3), (4) для  $n = 2$  отримаємо так звану Z-форму рівнянь:

$$\begin{aligned} F_1 &= Z_{11} \dot{x}_1 + Z_{12} \dot{x}_2; \\ F_2 &= Z_{21} \dot{x}_1 + Z_{12} \dot{x}_2, \end{aligned} \quad (5)$$

або

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= \frac{\Delta_{11}}{\Delta} F_1 + \frac{\Delta_{12}}{\Delta} F_2; \\ \dot{x}_2 &= \frac{\Delta_{21}}{\Delta} F_1 + \frac{\Delta_{22}}{\Delta} F_2,\end{aligned}\tag{6}$$

де  $\Delta = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix}$  – головний визначник;  $\Delta_{ik}$  – доповнення визначника  $\Delta$ , яке отримується викреслюванням  $i$ -го рядка і  $k$ -го стовпця з множенням на  $(-1)^{i+k}$  (для  $n = 2$   $\Delta_{ik} = Z_{ik}$ ).

Згідно принципу взаємності,  $\Delta_{12} = \Delta_{21}$  і відповідно  $Z_{12} = Z_{21}$ . Опори  $Z_{11}$  і  $Z_{22}$  називаються власними опорами – власним вхідним і власним вихідним,  $Z_{12}$  і  $Z_{21}$  – власними взаємними (передатними) вхідним і вихідним опорами.

Прийнявши  $x_1 = 0$  або  $x_2 = 0$  (холостий хід), визначаємо значення опорів:

$$\begin{aligned}Z_{11} &= \left. \frac{F_1}{\dot{x}_1} \right|_{\dot{x}_2=0}; & Z_{22} &= \left. \frac{F_2}{\dot{x}_2} \right|_{\dot{x}_1=0}; \\ Z_{12} &= \left. \frac{F_2}{\dot{x}_2} \right|_{\dot{x}_1=0}; & Z_{21} &= \left. \frac{F_1}{\dot{x}_1} \right|_{\dot{x}_2=0}.\end{aligned}\tag{7}$$

Знайшовши значення опорів холостого ходу, можна визначити вхідний і вихідний опір короткого замикання, тобто для  $F_1 = 0$  або  $F_2 = 0$  з (7) випливає:

$$\begin{aligned}Z_{1k} &= \left. \frac{F_1}{\dot{x}_1} \right|_{F_2=0} = Z_{11} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{22}}; \\ Z_{2k} &= \left. \frac{F_2}{\dot{x}_2} \right|_{F_1=0} = Z_{22} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{11}}.\end{aligned}\tag{8}$$

Значення опорів (7) і (8) визначені для випадку, коли вимірювальний засіб не працює на навантаження. Розглядаючи опір навантаження як відношення сили  $F_2$  і швидкості  $\dot{x}_2$ , визначаємо вхідний опір перетворювача:

$$Z_{1ex} = \frac{F_1}{\dot{x}_s} = Z_{11} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_n + Z_{22}},\tag{9}$$

де  $Z_n = -\frac{F_2}{\dot{x}_2}$  – опір навантаження.

Аналогічно вихідний опір перетворювача:

$$Z_{2вих} = \frac{F_2}{\dot{x}_2} = Z_{22} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{1н} + Z_{11}},\tag{10}$$

де  $Z_{1н}$  – умовне навантаження на вході перетворювача, рівне еквівалентному вихідному опору пристрою, підключеного до входу перетворювача.

Слід зауважити, що рівняння приладів і перетворювачів з одним входом і виходом можуть бути різними. Так, якщо перетворення вхідної величини ґрунтується на використанні кінетичної енергії, то справедливе рівняння (5), а якщо тільки на використанні потенціальної енергії, то справедливими будуть аналогічні рівняння, але аргументами у них будуть уже узагальнені координати. Відповідно, коефіцієнти  $Z_{ik}$  або узагальнені опори повинні стати узагальненими кружностями  $k_{ik}$ . Зв'язок між ними буде виражатись як:

$$k_{ik} = pZ_{ik}.\tag{11}$$

Рівняння (5) прийнято називати основною формою, з якої можна отримати інші. Оскільки рівняння містять чотири величини, то кількість форм у загальному випадку рівна шести. Вибір тієї чи іншої форми рівнянь залежить переважно від того, які з величин є вхідною і вихідною, та принципу побудови перетворювача.

Для лінійних перетворювачів залежність між вихідною та вхідною величинами визначається коефіцієнтом перетворення. Для різних поєднань вхідної і вихідної величин з (5) можна визначити коефіцієнти перетворення:

якщо інформативними параметрами є  $F_1$  та  $x_2$ :

$$k_{F\dot{x}} = \frac{x_2}{F_1} = \frac{Z_{21}}{Z_{12}Z_{21} - Z_{11}(Z_n + Z_{22})}; \quad (12)$$

якщо інформативними параметрами є  $F_1$  та  $F_2$ :

$$k_{FF} = \frac{F_2}{F_1} = -\frac{x_2 Z_{2\text{вх}}}{F_1} = -k_{F\dot{x}} Z_n = -\frac{Z_{21}Z_n}{Z_{12}Z_{21} - Z_{11}(Z_n + Z_{22})}; \quad (13)$$

якщо інформативними параметрами є  $\dot{x}_1$  та  $\dot{x}_2$ :

$$k_{\dot{x}\dot{x}} = \frac{\dot{x}_2}{\dot{x}_1} = \frac{x_2 Z_{1\text{вх}}}{F_1} = k_{F\dot{x}} Z_{1\text{вх}} = -\frac{Z_{21}}{Z_{22} + Z_n}; \quad (14)$$

якщо інформативними параметрами є  $F_2$  та  $\dot{x}_1$ :

$$k_{x_F} = \frac{F_2}{\dot{x}_1} = \frac{F_2 Z_{1\text{вх}}}{F_1} = -k_{F\dot{x}} Z_n Z_{1\text{вх}} = -\frac{Z_n Z_{21}}{Z_{22} + Z_n}. \quad (15)$$

У кінцевому підсумку опори  $Z_{ik}$  є функціями конструктивних параметрів перетворювачів. Відповідно, і коефіцієнти перетворення залежать від цих параметрів.

Залежність між узагальненою вхідною  $X$  і вихідною  $Y$  величинами для лінійних систем можна записати у вигляді:

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0)Y = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0)X, \quad (16)$$

де  $a_i, b_i$  – постійні коефіцієнти, що залежать від конструктивних параметрів.

Отже, виходячи зі значень  $Z_{ik}$  як функцій конструктивних параметрів, можна отримати рівняння (13). Дійсно, якщо, наприклад,  $Y \cong x_2$  і  $X \cong F$ , то рівняння (13) може бути отриманим із значення  $k_{F\dot{x}}$ , для  $Y \cong F_2$  і  $X \cong F$  – із  $k_{FF}$  і т. д.

Операторний опір є однією з форм подачі опору у функції часових процесів. Але для дослідження гармонійних коливних процесів у вимірювальних колах доцільно використати комплексний опір, який може бути отриманим з операторного шляхом заміни  $p \Rightarrow j\omega$ . Така заміна можлива завдяки тому, що оператор  $p$  можна розглядати не тільки як символ диференціювання, але й як деяке комплексне число  $p = c + j\omega$ , що виражає собою комплексну частоту.

Комплексний опір може бути визначений, якщо задана сила  $F = F_m e^{j\omega t}$ , як:

$$Z = F / q = Ze^{j\varphi} = Z_m (\cos \varphi + j \sin \varphi); \quad (17)$$

Якщо  $F = F_m \sin(\omega t + \varphi)$  і  $q = q_m \sin \omega t$ , то:

$$Z = F / q = Z_m (\cos \varphi + \sin \varphi \text{ctg} \omega t), \quad (18)$$

де  $\omega$  – частота процесу;  $\varphi$  – зсув фази між силою та швидкістю;  $Z$  – модуль опору.

Для характеристики засобу вимірювання, що працюють, наприклад, в імпульсному режимі, або для вивчення сил, що довільно змінюються за часом, тобто, у тих випадках, коли особливу важливість набувають перехідні процеси, використовується поняття перехідного опору.

Перехідний опір може бути визначений як відношення миттєвого значення узагальненої сили до миттєвого значення узагальненої швидкості:

$$Z(t) = F(t)q(t). \quad (19)$$

Отримані вирази для  $Z_{ik}$  і коефіцієнтів перетворення  $k$  можуть бути використані для опису двохсторонніх генераторних перетворювачів – з одним входом і виходом.

Висновки:

- Узгодження взаємодії сусідніх елементів є важливою задачею на етапі розроблення вимірювального засобу, бо це прямо впливає на ефективність роботи приладу та його експлуатаційні та метрологічні характеристики.
- Теоретичне узгодження елементів за потужністю зводиться до узгодження опору вихідних кіл попереднього елементу і вхідних кіл наступного за ним елементу.
- Якщо відомі значення опорів, то їх можна використати для знаходження оптимальних значень параметрів або ж визначити похибки перетворення, задавши, наприклад, похибки елементів.
- Узагальнені опори також можуть бути використані для створення математичної моделі засобу вимірювання.

#### Інформаційні джерела

1. Элементы автоматического управления и контроля / Н.И. Подлесный, В.Г. Рубанов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 477 с.
2. Таланчук П.М., Руценко В.Т. Основы проектирования измерительных приборов: Учеб. Пособие. – Киев: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 454 с.