

УДК 389.12.14

Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова, Ю.С. Шумков, Я.О. Зейгерман

Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна

## ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ОКРЕМИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПРИСТРОЇВ

*Надані матеріали щодо розв'язання задач вибору складових частин окремих багатокомпонентних пристроїв; представлено методику перебору комбінаційних значень, яка надає можливість взаємної компенсації деяких похибок окремих складових принципових схем. Методику було опрацьовано при розробці блока еталонних перетворювачів змінної напруги, що увійшли до складу додаткового обладнання вторинного еталону електричної потужності і коефіцієнта потужності у розширеному діапазоні частот і струмів.*

**Ключові слова:** еталон, задача оптимального вибору, методика перебору комбінаційних значень.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день при створенні будь-яких вимірювальних пристроїв насамперед постає питання спрощення їх розробки та підвищення точності, тобто охоплюються як задачі аналізу так і задачі синтезу.

До задач синтезу можна в повній мірі віднести процедуру оптимального вибору складових частин окремих багатокомпонентних пристроїв.

Вирішити проблеми, що виникають при розв'язанні задач синтезу допомагає методика перебору комбінаційних значень [1, 2].

Дана методика полягає у виборі з множини компонентів за допомогою перебору комбінацій значень (опір, ємність, температурні коефіцієнти і т. ін.) заданої кількості елементів такої комбінації, яка дає або необхідне значення, тобто таке, що відпові-

дає заданому діапазону, або значення максимально наближене до цього діапазону в разі неможливості попадання в зазначений діапазон.

Методика перебору комбінаційних значень була опрацьована при виконанні науково-технічної роботи № 78/2044 «Розробка, виготовлення і поставка блока еталонних перетворювачів напруги» від 20.12.2004 р. для вторинного еталона електричної потужності і коефіцієнта потужності у розширеному діапазоні частот і струмів за державним замовленням згідно з Актуалізованою програмою створення еталонної бази України до 2006 року.

У межах даної науково-технічної роботи була обрана схема побудови саме резистивних подільників напруги, з причини того, що ємнісні та резистивні подільники напруги мають суттєві вади, які б не дозволили задовольнити поставлені вимоги [3].

Метою дослідження була апробація розробленої методики, яка полягала у підборі комплектів резисторів таким чином, щоб у разі їх послідовного, паралельного або комбінованого з'єднання в ланцюги подільника напруги, сумарне значення похибки було мінімальним. При цьому в ланцюгах можуть бути використані не лише резистори з однаковим номінальним опором.

На підставі отриманих позитивних результатів апробації розроблено відповідне програмне забезпечення.

### Основний зміст досліджень

При створенні масштабних перетворювачів напруги ретельну увагу приділяють діапазону допустимих напруг, потужностям, температурним коефіцієнтами та частотним характеристикам, тобто тим параметрам від яких залежать показники точності.

При цьому суттєвими нормованими показниками є температурна похибка, частотна похибка, похибка нестабільності в часі.

Виходячи з цих міркувань обираються схемні та конструктивні рішення. Так, резистор великого значення, який має великий ТКО доцільно замінити послідовно включеними резисторами меншого номінального значення, але з кращими температурними коефіцієнтами. Резистор високої допустимої потужності послідовним або паралельним з'єднаннями резисторів меншої потужності, але з кращими метрологічними характеристиками.

Ця обставина має супутній позитивний ефект, який полягає в тому, що з'являється можливість взаємокомпенсації деяких похибок окремих резисторів, які входять до складу принципової схеми.

Можливість взаємокомпенсації похибок дозволяє застосовувати резистори з гіршими метрологічними характеристиками, що в свою чергу здешевлює вартість виробу.

На основі саме цих теоретичних висновків і була розроблена методика перебору комбінаційних значень, математична модель якої детально викладена в [2].

До сфер прикладного застосування даної методики можна віднести:

1). Відбір елементів за умови, що їх значення дають необхідну суму (рис. 1).

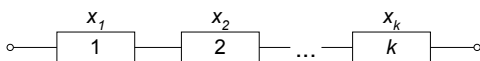


Рис. 1. Відбір елементів, значення яких дають необхідну суму

Для відбору елементів використовуються відповідні умови:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^k x_i \geq \Sigma_y - \Delta_y; \\ \sum_{i=1}^k x_i \leq \Sigma_y + \Delta_y, \end{cases} \quad (1)$$

де  $x_i$  – значення відповідного елемента,  $k$  – кількість елементів, які треба відібрати,  $\Sigma_y$  – сума, яка задається в умові,  $\Delta_y$  – допустиме відхилення від суми, що задається в умові.

Кількість можливих комбінацій елементів визначається відповідним виразом:

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (2)$$

де  $C_n^k$  – кількість комбінацій елементів,  $n$  – загальна кількість елементів, з числа яких проводиться відбір.

2). Відбір резисторів для подільника напруги з заданим коефіцієнтом ділення (рис. 2).

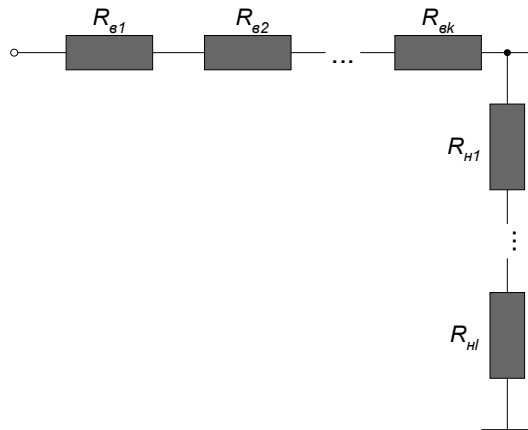


Рис. 2. Відбір резисторів для подільника напруги з заданим коефіцієнтом ділення

Для відбору резисторів використовуються наступні умови:

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^l R_{ni}}{\sum_{i=1}^k R_{vi} + \sum_{i=1}^l R_{ni}} \geq k_d - \Delta_d; \\ \frac{\sum_{i=1}^l R_{ni}}{\sum_{i=1}^k R_{vi} + \sum_{i=1}^l R_{ni}} \leq k_d + \Delta_d, \end{cases} \quad (3)$$

де  $R_{vi}$  – значення відповідного резистора верхнього плеча,  $R_{ni}$  – значення відповідного резистора нижнього плеча,  $k$  – кількість резисторів необхідних для верхнього плеча,  $l$  – кількість резисторів необхідних для нижнього плеча,  $k_d$  –

коефіцієнт ділення, що вказується в умові,  $\Delta_d$  – допустиме відхилення від коефіцієнта ділення, що задається в умові.

Кількість можливих комбінацій резисторів визначається відповідним виразом:

$$C = C_n^k \cdot C_{n-k}^l = \frac{n!}{k!l!(n-k-l)!}, \quad (4)$$

де  $C$  – кількість комбінацій резисторів,  $n$  – загальна кількість резисторів, з числа яких проводиться відбір.

3). Відбір резисторів для неінвертуючого підсилювача з віртуальним живленням з заданим коефіцієнтом підсилення (рис. 3).

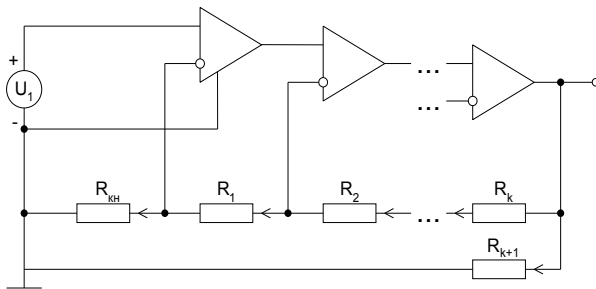


Рис. 3. Відбір резисторів для неінвертуючого підсилювача з віртуальним живленням з заданим коефіцієнтом підсилення

Для відбору резисторів використовуються відповідні умови:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^k R_i \\ R_{kn} + 1 \geq k_{\Pi} - \Delta_{\Pi}; \\ \sum_{i=1}^k R_i \\ R_{kn} + 1 \leq k_{\Pi} + \Delta_{\Pi}, \end{cases} \quad (5)$$

де  $R_i$  – значення відповідного резистора зворотнього зв'язку в каскаді підсилювача,  $R_{kn}$  – значення опору компенсаційної напруги,  $k$  – кількість каскадів підсилювача,  $k_{\Pi}$  – коефіцієнт підсилення, що вказується в умові,  $\Delta_{\Pi}$  – допустиме відхилення від коефіцієнта підсилення, що задається в умові.

Кількість можливих комбінацій резисторів визначається відповідним виразом:

$$C = C_n^k \cdot C_{n-k}^1 = \frac{n!}{k!(n-k-1)!}, \quad (6)$$

де  $C$  – кількість комбінацій резисторів,  $n$  – загальна кількість резисторів, з числа яких проводиться відбір.

4). Аналіз температурної похибки.

Математична модель в свою чергу стала підставою для створення відповідного програмного забезпечення (рис. 4) для скорочення часу виконання процедури підбору.

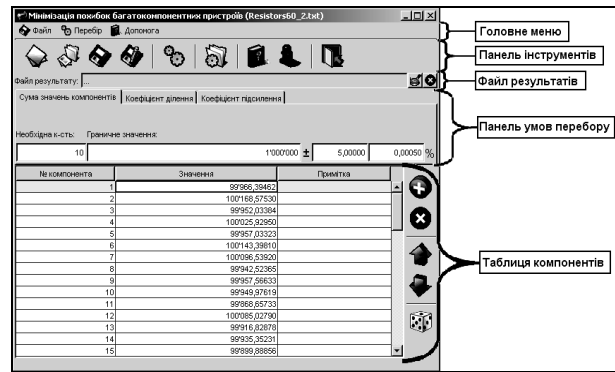


Рис. 4. Вікно програми мінімізації похибок

Розроблене програмне забезпечення складається з трьох частин, які відповідають зазначеній математичній моделі, а саме:

- 1) пошук комбінацій значень компонентів, що утворюють потрібну суму;
- 2) пошук комбінацій резисторів для подільника напруги, що відповідають заданому коефіцієнту ділення;
- 3) пошук комбінацій резисторів для неінвертуючого підсилювача з віртуальним живленням, що відповідають заданому коефіцієнту підсилення.

Програмне забезпечення розроблене таким чином, що реалізація кожної задачі проходить за наступним алгоритмом:

- завантаження масиву вхідних значень;
- заповнення полів умов;
- запуск на виконання;
- отримання діалогу процедури перебору із зазначенням кількості компонентів, з якої на даному етапі обирається поточний номер комбінації, та відповідно загальна кількість комбінацій; часових характеристик, тобто скільки часу взагалі необхідно та скільки часу ще залишилось до кінця перебору (необхідно зауважити, що перебір в багатьох випадках не проходить через всю множину можливих варіантів, це обумовлюється тим, що процес перебору переривається у випадку виконання умови попадання значення у вказаний діапазон під час перевірки чергової комбінації компонентів);
- закінчення процедури перебору та отримання результатів у вигляді таблиць діалогів.

### Отримані результати

Завдяки методиці перебору комбінаційних значень було створено комплект перетворювачів напруги з номінальними значеннями 1000, 600, 380, 220, 127, 100, 57.7, 30 В. При їх створенні були використані резистори з номінальним опором 1 кОм, 6.98 кОм, 10 кОм, 20 кОм, 100 кОм, 1 Ом, 2 Ом, 4.99 Ом, 10 Ом.

Після монтажу коректуючих резисторів для комплекту перетворювачів напруги та процедури калібрування були отримані значення коефіцієнтів ділення та їх похибки, які зведені в табл. 1.

Результати калібрування подільників напруги

Номінальна вхідна напруга, В	Номінальний коефіцієнт ділення	Реальний коефіцієнт ділення	Відносна похибка, %
1000	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,000019 \cdot 10^{-3}$	+0,002
600_1	$1,66666667 \cdot 10^{-3}$	$1,666664 \cdot 10^{-3}$	-0,0002
600_2	$1,66666667 \cdot 10^{-3}$	$1,666739 \cdot 10^{-3}$	+0,0043
600_3	$1,66666667 \cdot 10^{-3}$	$1,666646 \cdot 10^{-3}$	-0,0013
380	$2,63157895 \cdot 10^{-3}$	$2,631612 \cdot 10^{-3}$	+0,0012
220_1	$4,54545455 \cdot 10^{-3}$	$4,545466 \cdot 10^{-3}$	+0,0002
220_2	$4,54545455 \cdot 10^{-3}$	$4,545465 \cdot 10^{-3}$	-0,0002
220_3	$4,54545455 \cdot 10^{-3}$	$4,545425 \cdot 10^{-3}$	-0,0007
127	$7,87401575 \cdot 10^{-3}$	$7,874156 \cdot 10^{-3}$	+0,0018
100_1	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,000007 \cdot 10^{-2}$	+0,0007
100_2	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,000014 \cdot 10^{-2}$	+0,0014
100_3	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,000034 \cdot 10^{-2}$	+0,0034
57,7	$1,733102253 \cdot 10^{-2}$	$1,733093 \cdot 10^{-2}$	-0,0005
30	$3,333333333 \cdot 10^{-2}$	$3,333307 \cdot 10^{-2}$	-0,0008

### Висновки

Розроблено методику перебору комбінаційних значень, яка надає можливість взаємокомпенсації деяких похибок окремих складових принципів схем, що не тільки дозволяє підвищити точність, але й застосувати елементну базу з гіршими метрологічними характеристиками, що в свою чергу здешевлює вартість виробу.

Методика перебору комбінаційних значень реалізована за допомогою програмного забезпечення, яке дозволяє вирішувати задачі пошуку комбінацій значень компонентів, що утворюють потрібну суму; пошуку комбінацій резисторів для подільника напруги, що відповідають заданому коефіцієнту ділення; пошуку комбінацій резисторів для неінвертуючого підсилювача з віртуальним живленням, що відповідають заданому коефіцієнту підсилення.

За допомогою методики перебору комбінаційних значень було створено блок еталонних перетворювачів напруги, що увійшов до складу додаткового

обладнання вторинного еталона електричної потужності і коефіцієнта потужності у розширеному діапазоні частот і струмів. Подільники напруги пройшли процедуру калібрування, і її результати повністю задовольняють поставлені вимоги.

### Список літератури

1. Туз Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств: учебное пособие / Ю.М. Туз. – К.: Выща школа, 1976. – 256 с.
2. Туз Ю.М. Мінімізація похибок багатоконпонентних пристроїв на основі методики перебору комбінаційних значень / Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова // Механіка гіроскопічних систем. – 2010. – № 22. – С. 97-106.
3. Нестеренко А.Д. Основы расчета электроизмерительных схем уравновешивания: учебное пособие / А.Д. Нестеренко. – К.: Изд-во АН УССР, 1960. – 716 с.

Надійшла до редколегії 26.08.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

### ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР СОСТАВЛЯЮЩИХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УСТРОЙСТВ

Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова, Ю.С. Шумков, Я.А. Зейгерман

Представлены материалы для решения задач выбора составляющих отдельных многокомпонентных устройств; представлена методика перебора комбинационных значений, которая предоставляет возможность взаимной компенсации некоторых погрешностей отдельных составляющих принципиальных схем. Методика прошла апробацию при разработке блока эталонных преобразователей переменного напряжения, которые вошли в состав дополнительного оборудования вторичного эталона электрической мощности и коэффициента мощности в расширенном диапазоне частот и токов.

**Ключевые слова:** эталон, задача оптимального выбора, методика перебора комбинационных значений.

### THE OPTIMAL CHOICE OF COMPONENTS FOR ITEM MULTI-COMPONENT DEVICES

Y.M. Tuz, M.V. Dobrolyubova, Y.S. Shumkov, Y.A. Zeygerman

The materials for the solution of the optimal choice of components for item multi-component are presented. Combinational values search method are presented. This method provides mutual cancellation of some errors of the individual components of the schematic. The method was tested while the block of voltage references design, which became a part of supplementary equipment of Power and Power Coefficient Standard.

**Keywords:** standard, a problem of optimal choice of components, combinational values search method.