

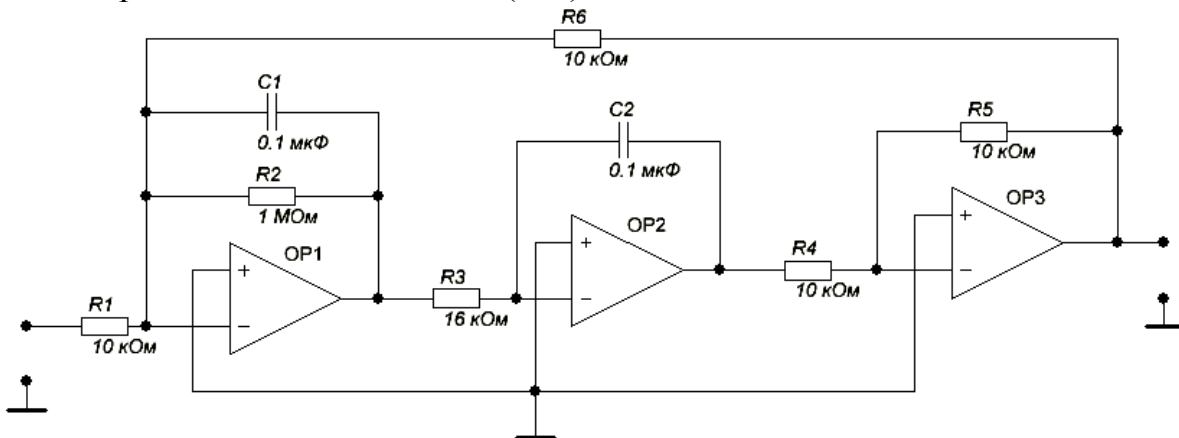
## АНАЛІЗ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЛЬТРА ТОУ ПРИ РОЗКИДІ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ

**А.В. Рудик**, к.т.н., доцент, **В.А. Рудик**, Національний університет водного господарства та природокористування, [andrey05011971@mail.ru](mailto:andrey05011971@mail.ru)

**О.О. Семенова**, к.т.н., **А.О. Семенов**, к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, [semenov79@ukr.net](mailto:semenov79@ukr.net)

Побудова селективного фільтра, який би забезпечив різницю коефіцієнтів передачі на частотах 50 Гц та 100 Гц на 40 дБ, є доволі складною задачею. Використання пасивних фільтрів на LC-елементах неможливе через дуже низькі частоти сигналів, а використання RC-фільтрів обмежено необхідністю використання схем п'ятого або шостого порядку.

Тому активні RC-фільтри широко застосовуються в таких галузях, як телефонія, системи передачі даних, телебачення, радіомовлення та системи якісного відтворення звуку. Вони передусім використовуються на низьких частотах, де використовувати котушки індуктивності неможливо через їх надмірні габарити та низьку якість. На існуючих активних елементах частотний діапазон може бути від нуля до сотень кГц. Для досягнення поставленої мети найкраще підходить активний фільтр, реалізований за схемою Тоу (рис.1). Теоретичне виведення передавальних функцій для такої схеми викладено в роботі [1]. Така схема є біквдратним колом, реалізованим на трьох операційних підсилювачах (ОП).



*Рис.1. Смугопропускальний фільтр, реалізований за схемою Тоу*

Дослідження схеми на зміну параметрів при розкиді параметрів елементів схеми доцільно проводити тільки за “найгіршим” випадком, тобто коли всі елементи схеми мають максимальне відхилення тільки в один бік.

Для даного пристрою прийемо точність елементів рівною 10%. Дослідження звичайного підсилювача на ОП, який не містить реактивних елементів, а реактивні параметри самого операційного підсилювача в даному діапазоні частот ще не мають істотного значення, проводити немає потреби, тому що коефіцієнт підсилення є регульованою величиною, тобто такий розкид не може погіршити характеристики приладу в цілому. З іншого боку, до-

слідження смугового фільтра має за мету показати вимоги до точності підбору елементів схеми фільтра. Тому в даній роботі дослідження на найгірший випадок буде присвячено власне смугопропускальному фільтру.

Аналіз будемо проводити для двох крайніх випадків:

- в першому значення параметрів всіх елементів зменшимо на 10%;
- в другому значення параметрів всіх елементів збільшимо на 10%.

Розрахунок величини модуля коефіцієнта передачі при величині номіналів елементів на 10% меншій, ніж розраховано:

- коефіцієнт передачі для частоти 50 Гц:  $K_{-10\%}(50 \text{ Гц}) = 0.772$ ;
- коефіцієнт передачі для частоти 100 Гц:  $K_{-10\%}(100 \text{ Гц}) = 3.752$ .

Тоді коефіцієнт придушення завади з частотою 50 Гц дорівнює

$$d_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{0.772}{3.752}\right) = -13.733 \text{ дБ.}$$

Проведемо розрахунок величини модуля коефіцієнта передачі при величині номіналів елементів на 10% більшій, ніж розраховано:

- коефіцієнт передачі для частоти 50 Гц:  $K_{+10\%}(50 \text{ Гц}) = 1.523$ ;
- коефіцієнт передачі для частоти 100 Гц:  $K_{+10\%}(100 \text{ Гц}) = 4.142$ .

Тоді коефіцієнт придушення завади з частотою 50 Гц дорівнює

$$d_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{1.523}{4.142}\right) = -8.691 \text{ дБ.}$$

Порівняно з коефіцієнтом придушення завади з частотою 50 Гц при точних значеннях номіналів елементів  $d_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{1.012}{101.478}\right) = -40.024 \text{ дБ}$  видно сильну залежність коефіцієнта фільтрації завади від розкиду параметрів елементів схеми.

Подальше дослідження передавальної функції на розкид параметрів елементів схеми показує, що основний вплив дає розкид параметрів елементів C1, C2, R1 та R3.

При точному значенні параметрів елементів схеми C1, C2, R1 та R3 і розкиді  $-10\%$  у інших елементів схеми отримаємо такі результати:

- коефіцієнт передачі для частоти 50 Гц:  $K_{-10\%}(50 \text{ Гц}) = 1.181$ ;
- коефіцієнт передачі для частоти 100 Гц:  $K_{-10\%}(100 \text{ Гц}) = 100.864$ ;
- коефіцієнт придушення завади:  $d_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{1.181}{100.864}\right) = -38.63 \text{ дБ}$ , що

вказує на покращення коефіцієнта фільтрації.

При точному значенні параметрів елементів схеми C1, C2, R1 та R3 і розкиді  $+10\%$  у інших елементів схеми отримаємо такі результати:

- коефіцієнт передачі для частоти 50 Гц:  $K_{+10\%}(50 \text{ Гц}) = 0.963$ ;
- коефіцієнт передачі для частоти 100 Гц:  $K_{+10\%}(100 \text{ Гц}) = 99.938$ ;
- коефіцієнт придушення завади:  $d_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{0.963}{99.938}\right) = -40.324 \text{ дБ}$ , що та-

кож вказує на покращення коефіцієнта фільтрації.

В загальному випадку схема фільтра є дуже чутливою до розкиду параметрів елементів схеми, тому при виробництві потребує окремого регулювання та настроювання.

Залежності коефіцієнта придушення завади від розкиду параметрів елементів схеми показані на рис. 2 та рис. 3. На рис. 2 показана залежність при розкиді всіх параметрів елементів схеми, а на рис. 3 – всіх параметрів елементів схеми, крім  $C1$ ,  $C2$ ,  $R1$  та  $R3$ . Всі вищевказані залежності приводяться для доведення твердження про точний підбір номіналів елементів  $C1$ ,  $C2$ ,  $R1$  та  $R3$ . Таким чином, після аналізу вищевказаних залежностей стає очевидним рішення про точний підбір параметрів елементів або про застосування підстроювальних резисторів в якості елементів регулювання, що спростить регулювання даного блоку, однак зменшить надійність приладу за рахунок ускладнення схеми та меншої надійності підстроювальних резисторів.

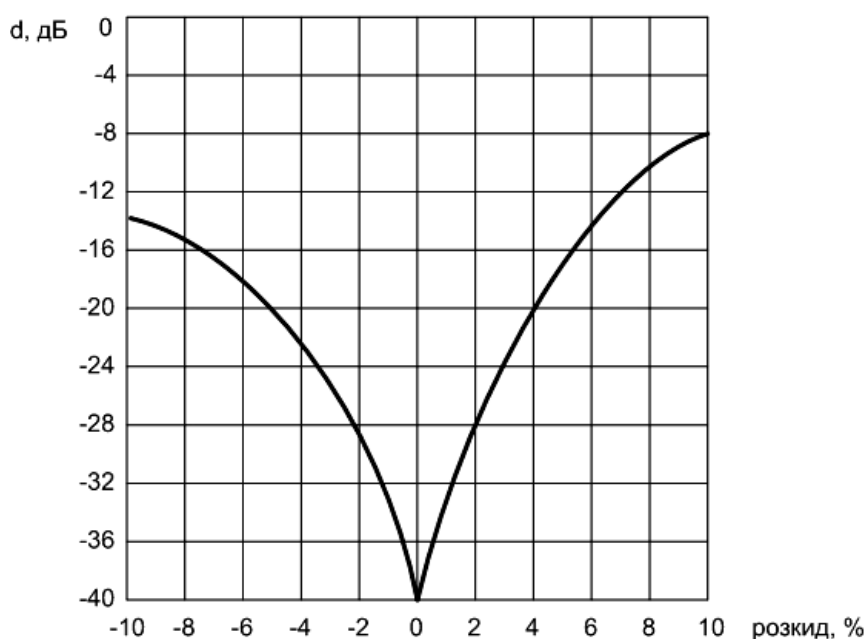


Рис. 2. Залежність коефіцієнта придушення завади смугопронускального фільтра від розкиду всіх параметрів елементів схеми

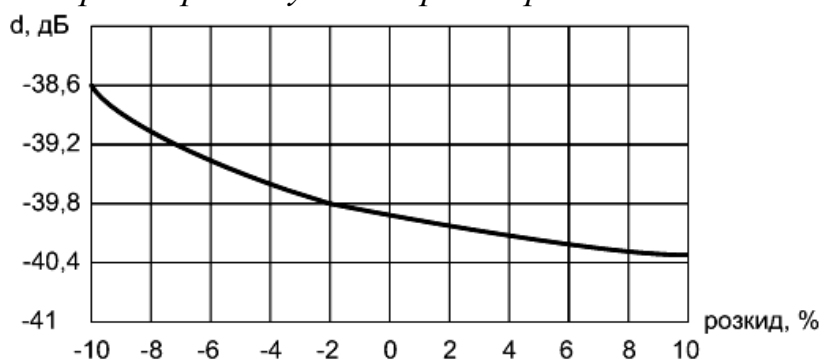


Рис. 3. Залежність коефіцієнта придушення завади смугопронускального фільтра від розкиду всіх параметрів елементів схеми, крім  $C1$ ,  $C2$ ,  $R1$  та  $R3$

### Література

1. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчёт и реализация. – М.: Мир, 1982. – 592 с.