

Артюхов В.Г., Бритов О.А.

Інститут прикладного системного аналізу НТУУ "КПІ", Київ, Україна

### Цифрові фільтри в Мікро-Сар

Пакет схемотехнічного моделювання МікроСар є популярним інструментом моделювання електронних схем, як аналогових, так і цифрових. Сучасні версії пакета дозволяють також моделювати змішані аналого-цифрові схеми [1]. В склад пакету включено програму розрахунку аналогових активних та пасивних фільтрів і засоби моделювання цифрових фільтрів. Цифрова техніка взагалі, і цифрова обробка сигналів зокрема, є основою сучасних комп'ютерних та телекомунікаційних технологій. Можливості пакета схемо технічного моделювання було б значно розширено, якби в нього були включені засоби проектування цифрових фільтрів як найбільш поширених пристроїв цифрової обробки сигналів. Нажаль, пакет МікроСар не має готового модуля проектування ЦФ, але його можливості дозволяють організувати розрахунок ЦФ. Нижче показано, як проектування і моделювання цифрових фільтрів можуть бути організовані в рамках пакету з використанням його можливостей. Найбільш поширеним методом проектування цифрових фільтрів з нескінченною імпульсною характеристикою є метод розрахунку за аналоговим прототипом [2]. Найчастіше використовується варіант, при якому в якості прототипу в усіх випадках використовується нормований аналоговий фільтр низьких частот. При цьому для перетворення аналогового фільтру-прототипу в цифровий використовується білінійне (для фільтрів нижніх та високих частот) або біквадрагне (для смугових та режкторних) z-перетворення. В результаті для кожного типу АЧХ фільтру доводиться використовувати різні формули перетворення.

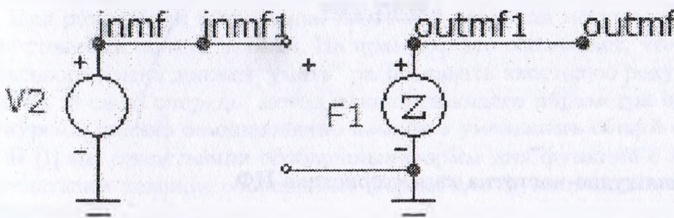
Програма проектування аналогових фільтрів зі складу Мікро-Сар видає передаточну функцію  $H(U)$  нормованого фільтру з заданим типом АЧХ як добуток ланок першого або другого порядку. Точний вигляд передаточної функції залежить від типу АЧХ фільтра, що проектується. Програма дозволяє проектувати аналогові фільтри з 4 стандартними типами АЧХ: низьких частот (LP), високих частот (HP), смуговими (BP) та режкторними (BS). Форми передаточних функцій ланок для цих фільтрів наведені в Таблиці 1. В результаті розрахунку аналогового фільтра ми отримуємо передаточну функцію, яка відповідає фільтру з необхідним типом АЧХ. Завдяки цьому процедура перетворення в цифровий фільтр може бути уніфікована, для всіх типів АЧХ можна використовувати одну загальну формулу перетворення:

Табл. 1. Передаточні функції аналогових фільтрів

Тип АЧХ	Передаточна функція
LP	$H_i(U) = \frac{b_{0i}}{U^2 + b_{1i}U + b_{0i}}$
HP	$H_i(U) = \frac{U^2}{U^2 + b_{1i}U + b_{0i}}$
BP	$H_i(U) = \frac{b_{0i}U}{U^2 + b_{1i}U + b_{0i}}$
BS	$H_i(U) = \frac{U^2 + 1}{U^2 + b_{1i}U + b_{0i}}$

$$U = c \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

### Схема Z-моделі фільтру



$$ZEXP = A01 * (1 + A11 * z^{-1} + A21 * z^{-2}) / (1 + B11 * z^{-1} + B21 * z^{-2})$$

Рис. 1. Реалізація ЦФ на основі керованого джерела

Всі необхідні обчислення можуть бути реалізовані в Мікро-Сар за допомогою директиви `define`. Для перевірки результатів розрахунку необхідно побудувати модель ЦФ та обчислити його характеристики. Порівняння характеристик ЦФ з вимогами, сформованим в технічному завданні, дає можливість оцінити правильність розрахунку.

Найпростіша модель ЦФ в Мікро-Сар будується у вигляді керованого джерела, коефіцієнт передачі якого являє собою передаточну функцію ЦФ (Рис.1).

Більш детальна модель, яка бере до уваги структуру реалізації ЦФ, може бути побудована з використання примітивів, включених до складу бібліотек компонентів Мікро-Сар (Рис.2).

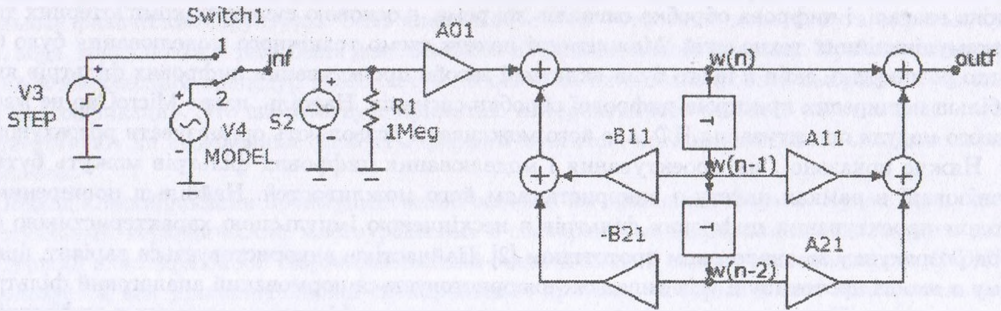


Рис. 2. Реалізація ЦФ за допомогою примітивів

Необхідні характеристики отримуються шляхом виконання аналізу перехідних процесів (Рис.3) та частотного аналізу (Рис.4).

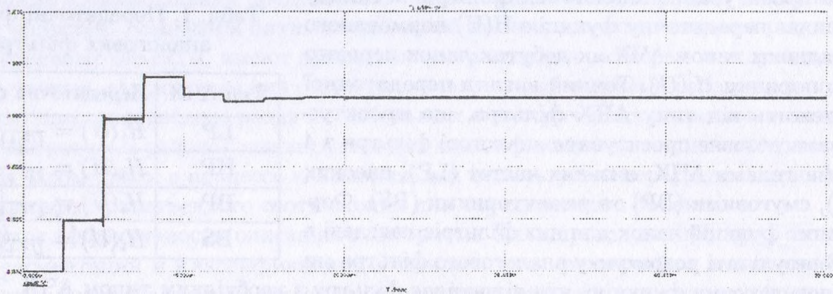


Рис. 3. Перехідна характеристика ЦФ

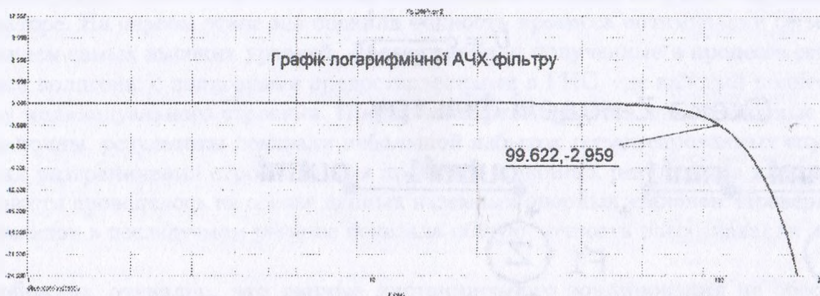


Рис. 4. Амплітудно-частотна характеристика ЦФ

**Література.** 1. М.А.Амелина, С.А.Амелин, Программа схемотехнического моделирования Мікро-Сар. Версии 9, 10.-Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012.-617 с., ил. 2. А.Б.Сергиенко, Цифровая обработка сигналов. – СПб:Питер, 2002. – 608с., ил.