

Частотні фільтри у приймальних пристроях

Мета заняття:

1 Практичне знайомство з методикою розрахунку частотних фільтрів нижніх частот за допомогою спеціалізованих онлайн-калькуляторів.

2 Розрахунок частотних фільтрів нижніх частот приймальних пристроїв.

Основні питання заняття:

1 Методика розрахунку частотних фільтрів.

2 Онлайн-калькулятори для розрахунку частотних фільтрів.

3 Відпрацювання алгоритму розрахунку частотних фільтрів нижніх частот приймальних пристроїв.

Короткі теоретичні відомості

Терміном фільтр (частотний фільтр) називають прилад, який здатен здійснювати частотну селекцію чи виділення електричних сигналів певних частот.

Вимоги до частотних характеристик фільтрів задають, вказуючи частотну смугу пропускання, у межах якої внесене послаблення $A = 20 \lg(U_{in}/U_{out})$ не повинно перевищувати деякого допустимого значення. Поза смугою пропускання внесене послаблення має бути якомога більшим. Іноді оговорюють частотну залежність фази коефіцієнта передачі, найчастіше у вигляді допустимого відхилення від лінійного закону при зміні частоти у смузі пропускання. Під U_{in} розуміють потужність падаючої хвилі на вході фільтра, а під потужністю U_{out} – потужність хвилі на його виході.

У смузі пропускання ідеального фільтра $A = 0$, а в смузі затримки $A = \infty$. За взаємним розташуванням смуг пропускання та затримки, тобто за формою амплітудно-частотної характеристики (АЧХ), фільтри поділяють на:

– **фільтр нижніх частот (*low pass filter*)** (ФНЧ) пропускає лише частоти, які розташовані нижче за певну задану частоту (частоту зрізу). Всі частоти вищі за частоту зрізу послаблюються (рисунок 4.1, а);

– **фільтр верхніх частот (*high pass filter*)** (ФВЧ) пропускає лише частоти, які розташовані вище, ніж частота зрізу (рисунок 4.1, б);

– **смугові фільтри (*band pass filter*)** (СФ) пропускають лише ті частоти, які розташовані у певній смузі та послаблюють всі частоти поза цією смугою. Смуговий фільтр має верхню та нижню частоти зрізу. Відповідний вибір цих частот дозволяє виділяти різні частотні ділянки ФКГ сигнала (рисунок 4.1, в);

– **режекторні фільтри (*band stop filter*)** (РФ) послаблюють всі частоти між двома частотами зрізу (рисунок 4.1, г).

В ідеальних фільтрах у смузі затримки вхідна потужність не приходить на вихід. Вона або повністю відбивається від входу фільтра, або поглинається в його елементах. У першому випадку фільтри відносять до фільтрів відбивного типу, в другому – до фільтрів поглинаючого типу.

Зауважимо, що повне значення внесених фільтром втрат складається з теплових втрат та втрат, спричинених відбиттям частини енергії від його входу.

Для зменшення теплових втрат фільтри відбивного типу зазвичай виконують з реактивних елементів. Параметри реактивних елементів підбирають так, щоб на частотах смуги пропускання відбиті від них хвилі компенсували одна одну на вході фільтра. При цьому потужність на вході фільтра

проходить на його вихід практично без відбиття. На частотах смуги затримки компенсація відбитих хвиль відсутня і потужність на вході фільтра практично повністю відбивається від нього.

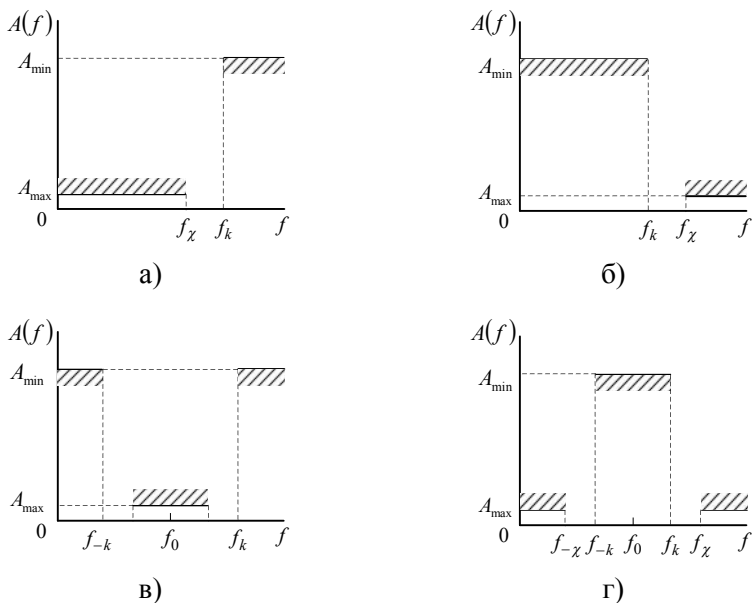


Рисунок 4.1 – АЧХ фільтрів: ФНЧ (а), ФВЧ (б), СФ (в), РФ (г)

Синтез фільтрів умовно можна розбити на три етапи. На першому етапі розв'язується *задача апроксимації*. Це пошук аналітичної функції (математичного описання), яка з потрібною точністю відтворює вид заданої характеристики пристрою (фільтра у даному випадку). Такою характеристикою може бути частотна, фазова або перехідна. Згідно цього, синтез розподіляють на синтез у частотній області (частотні та фазові характеристики) і на синтез у часовій області (перехідні характеристики). Синтез у частотній області поширеніший, ніж

синтез в часовій області. Далеко не кожен вид частотної (фазової) характеристики можна отримати за допомогою використовуваних каскадів, тому на апроксимуючі функції накладається обмеження.

На наступному етапі розв'язується *задача реалізації* – пошук сукупності кіл, що містять вихідні елементи (пасивні елементи, або активні ланки потрібного порядку), які дають в результаті характеристики, досить близькі до вибраної апроксимуючої функції. Зазвичай другим етапом є пошук способу з'єднання використовуваних ланок в єдиний пристрій (*структурний синтез*). У зв'язку з тим, що будь-яку необхідну характеристику можна реалізувати великою кількістю різних способів, структурний синтез є неоднозначною задачею. Як правило, розглядають декілька найбільш простих реалізацій (наприклад, ланки першого та другого порядків), які потім уточнюють, залучаючи додаткові критерії оптимізації вибраного рішення. Критеріями оптимізації можуть бути мінімальна кількість активних або пасивних елементів, чутливість до зміни їхніх параметрів і т.д.

Третім, заключним етапом є *вибір виду самих ланок*, тобто електричних схем тих вихідних елементів, з яких складається весь пристрій. Безпосередня реалізація апроксимуючої функції високого порядку є доволі складною. Тому її частіше представляють у вигляді комбінації більш простих парціальних функцій не вище другого порядку.

Зазвичай синтезують ФНЧ, а фільтри інших типів зводять до АЧХ ФНЧ за допомогою спеціальних частотних перетворень.

Ідеальну АЧХ для ФНЧ неможливо тримати за допомогою схеми зі скінченної кількості елементів n . Тому зазвичай використовують прийнятніший для практики спосіб задання вимог до АЧХ: у смузі пропускання значення внесеного

затухання не повинно перевищувати задане значення A_{\max} , а у смузі затримки внесене затухання має бути більшим за задане значення A_{\min} (рисунок 4.1). Таку АЧХ апроксимують тією чи іншою функцією.

На практиці найчастіше зустрічається два способи апроксимації ідеальної АЧХ, які дозволяють для даної кількості елементів n максимально наблизити реальну характеристику фільтра до ідеальної.

За першого способу параметри елементів фільтра підбирають таким чином, щоб отримати максимально плоску АЧХ (характеристику Батерворта). Ця характеристика називається максимально плоскою тому, що затухання монотонно збільшується зі збільшенням частоти.

За другого способу апроксимації реалізують рівномірно пульсуючу характеристику (характеристику Чебишева). Ця характеристика найменше відхиляється від ідеальної у смузі пропускання фільтра. За однакової кількості елементів n характеристика Чебишева має більшу стрімкість за характеристику Батерворта поза смугою пропускання, але при цьому у неї гірша рівномірність у смузі пропускання.

Хід заняття

1 Опрацювати теоретичний матеріал, наведений у «Коротких теоретичних відомостях».

2 Використовуючи калькулятор Analog Filter Wizard [1], синтезувати схему електричну принципову ФНЧ, варіанти вихідних даних до якого наведено у таблиці 4.1.

Кожен вибирає лише один варіант.

Таблиця 4.1

Номер варіанта	Верхня частота фільтра, МГц	Початок смуги затримки, МГц	Рівень мінімального затухання у смузі затримки, дБ
1	3	5	- 30
2	30	55	- 40
3	16	25	- 30
4	10	15	- 40
5	50	80	- 30
6	10	25	- 40
7	20	27	- 30
8	40	60	- 40
9	0,525	1,0	- 30
10	4	10	- 40
11	15	35	- 30
12	10	35	- 40
13	44	80	- 30
14	20	40	- 40
15	15	29	- 30
16	35	50	- 30
17	16,5	30	- 30
18	8,5	18	- 40
19	33,6	45	- 30
20	44	52	- 40
21	21,5	47	- 30
22	30	47	- 40
23	30,5	50	- 30
24	47	68	- 40
25	46	70	- 30

Інтернет-ресурси

1. Filter design tool. Analog Filter Wizard – Режим доступу:
<https://tools.analog.com/en/filterwizard/>