1. **Активні фільтри**

В радіоелектроніці часто виникає потреба пропустити та підсилити сигнали лише в деякому певному діапазоні частот, водночас подавивши сигнали на всіх інших частотах. Така задача розв’язується за допомогою частотних фільтрів - пасивних або активних чотириполюсників, амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) яких відмінні від нуля в смузі частот, що мають проходити через фільтр - в смузі прозорості або смузі пропускання - та дорівнюють або близькі до нуля і в смузі непропускання (непрозорості).

|  |
| --- |
|  |

Амплітудно-частотні характеристики різних за смугою пропускання фільтрів зображені на рис. 8.1; для ідеальних фільтрів - пунктирною лінією, а для реальних - суцільною. Прикладом АЧХ фільтра нижчих частот (ФНЧ) є крива, що зображена на рис.8.1а. Величина тут залишається постійною в частотному інтервалі від  до граничної частоти (частоти зрізу) і швидко прямує до нуля за частотою зрізу.

АЧХ фільтрів вищих частот (ФВЧ), смугового та режекторного фільтрів зображені відповідно на рис. 8.1б,в, та г. Смуговий фільтр, який пропускає частоти лише в смузі від  до , можна реалізувати послідовним увімкненням ФНЧ та ФВЧ, смуги прозорості яких перекриваються. А режекторний фільтр можна одержати паралельним увімкненням ФНЧ та ФВЧ, смуги пропускання яких не перекриваються.

Частотні фільтри можуть бути складені з  або з елементів (пасивні фільтри). Але останнім часом, для покращання форми АЧХ та компенсації втрат сигналу, фільтри стали комбінувати підсилювальними каскадами, застосовуючи при цьому позитивний або негативний зворотний зв’язок. Такі фільтри одержали назву активних фільтрів, або, як їх частіше називають, просто активних фільтрів.

1. Активний фільтр першого порядку

|  |  |
| --- | --- |
|  | Найпростіший активний фільтр може бути складений з фільтруючого елементу та широкосмугового підсилювача. На рис.8.2 зображено активний фільтр нижчих частот, в якому вхідний сигнал спочатку проходить через інтегруючий елемент, а потім подається на вхід операційного підсилювача увімкненого за неінвертуючою схемою з коефіцієнтом підсилення  (8.1) |

В цілому коефіцієнт пропускання такої схеми дорівнює

 (8.2)

|  |  |
| --- | --- |
|  | АЧХ такого фільтра, тобто залежність модулю коефіцієнта пропускання від частоти зображено на рис 8.3. Границя смуги пропускання умовно приймається рівною  (частота зрізу) на якій . Тоді вираз (8.2) можна записати так:  де  (8.3) |

такий найпростіший фільтр має назву фільтра першого прядку, оскільки в знаменнику виразу (8.3) стоїть поліном першого степеню.

АЧХ фільтра першого порядку далека від ідеальної: в області пропускання, для частот  коефіцієнт пропускання вже зазнає помітного спаду, а для частот модуль  виявляється обернено пропорційним до  і, отже, при зростанні частоти на один порядок (одну декаду) величина  зменшується на один порядок (у логарифмічних одиницях - на 20 дБ).

Збільшити крутість спаду АЧХ можна послідовним з’єднанням кількох фільтрів. При цьому їх АЧХ перемножуються, тобто при послідовному з’єднанні  активних фільтрів першого порядку на частотах  крутість спаду АЧХ становитиме вже 20 дБ на декаду.

1. Активні фільтри другого порядку

Кращих результатів можна досягти, застосовуючи більш складні схеми активних фільтрів із зворотними зв’язками. Прикладом подібного фільтра може бути зображена на

|  |  |
| --- | --- |
|  | рис. 8.4 так звана схема Саллена і Кея (активний фільтр з позитивним і негативним зворотним зв’язком). Тут негативний зворотний зв’язок, поданий на інвертуючий вхід через подільник , створює конкуренцію частотно-залежному позитивному зворотному зв’язку на неінвертуючий вхід. Вираз для коефіцієнта пропускання подібного фільтра досить складний |

 (8.4)

де- частота зрізу АЧХ. Для випадку  вираз (8.4) спрощується

 (8.5)

де  Оскільки знаменником у (8.5) є поліном другого степеню, такий фільтр називають фільтром *другого* порядку.

В цілому АЧХ активного фільтра другого порядку має вигляд, подібний до зображеного на рис 8.: порівняно повільна зміна  в межах області пропускання та швидкий спад за її межами. Однак, у залежності від конкретного значення параметрів  та , хід  має в околі  певні особливості і його можна оптимізувати відповідним підбором цих параметрів. Таку оптимізацію АЧХ можна робити за різними критеріями:

а) найбільш рівний хід АЧХ в смузі пропускання, Спад за межами смуги пропускання при цьому буде досить стрімкий. Це так званий фільтр Баттерворта. Оптимально він реалізується при значеннях . Однак, такому фільтру притаманний відмінний від прямолінійного хід фазово-частотної (ФЧХ) характеристики, викиди та коливання вихідної напруги при різких перехідних процесах.

б) Найбільш лінійний хід ФЧХ. Ця умова оптимально реалізується при . Такий фільтр має назву фільтра Бесселя, оскільки його АЧХ добре апроксимується поліномами Бесселя. Спад за межами смуги пропускання у фільтра Бесселя менш крутий, ніж у фільтрі Баттерворта. Зате він не створює викидів при перехідних процесах.

в) Найбільш крутий спад за межами смуги пропускання має фільтр Чебиева. Звичайно це найбажаніша властивість фільтра. Одначе, у фільтра Чебишева є досить серйозний недолік: у смузі пропускання його АЧХ має нерівномірний, хвилястий хід, при чому нерівномірність тим більша, чим крутіше спад. І те, і друга визначається вибором параметрів  та . Так наприклад, при спад виходить вельми крутим, зате нерівномірність у смузі пропускання сягаєдБ.

Таким чином, бажаний вигляд АЧХ та ФЧХ можна реалізувати відповідним підбором оптимальних величин елементів схеми. Така операція має назву *синтезу* активного фільтра.

При послідовному з’єднанні кількох активних фільтрів їх передавальні функції  перемножуються і степінь поліному у знаменнику зростає. Відповідно зростає і порядок фільтру, а також крутість спаду у смузі непропускання.

Помінявши місцями на рис.8.4 в колі позитивного зворотного зв’язку ємності і опори, дістанемо фільтр вищих частот. А з фільтрів вищих і нижчих частот. Як про це вже йшлося вище, можна скласти смугові або режекторні фільтри.

1. Порівняння з пасивним фільтрами

Амплітудно-частотні та фазово-частотні характеристики, подібні до описаних вище, можна одержати і без застосування підсилювачів, за допомогою пасивних фільтрів, складених лише з  елементів. Так наприклад, передавальна функція  для фільтра

|  |  |
| --- | --- |
|  | зображеного на рис.8.5 описується тим же виразом (8.5), що і для активного - фільтру, але з параметрами . Підбором цих параметрів можна реалізувати будь-який з розглянутих вище різновидів фільтрів: Баттерворта, Бесселя або Чебишева.  Однак активні - фільтри мають декілька істотних переваг порівняно з пасивними фільтрами: |

:

а) Для їх виготовлення не потрібні котушки індуктивності. Ця перевага особливо істотна при роботі з низькими частотами, коли потрібні індуктивності іноді такі великі, що реалізувати їх практично неможливо.

б) Можливість обійтися без індуктивностей особливо цінна при мікросхемному виконання фільтра, оскільки існуючі мікроелектронні технології неспроможні виготовляти індуктивностей скільки-небудь значної величини.

в) Передавальні характеристики  - фільтрів дуже чутливі до навантаження, тоді як у активних фільтрах вихід розв’язаний відносно входу підсилювача.

г)Нарешті, при проходженні через активний фільтр сигнал звичайно підсилюється за напругою та потужністю, тоді як у пасивному фільтрі він завжди зазнає тільки послаблення.