Від 11.09.2021 р. ІКС в АУТП АТ-26м ауд 25

**Лекція 2. Нормалізація сигналів ІКС**

Процедура нормалізації сигналів інформаційно-вимірювальних систем (ІКС) передбачає повне або часткове усунення впливу перешкод при одночасній обробці інформаційної частини сигналу. Замкнений ключ комутатора фактично виконує квантування сигналу і тому останній можна розглядати як імпульс з амплітудою Um і тривалістю tв. Тривалість tв – час вибірки, тобто час, протягом якого відповідний ключ комутатора знаходиться у замкненому стані. Час вибірки повинен бути таким, щоб можна було нехтувати змінами амплітуди Um. Інколи для виконання цієї умови приходиться використовувати схеми "вибірка - пам'ять".

За допомогою перетворень Фур’є

 (9.1)

 (9.2)

імпульс (рис. 9.6) може бути описаний функцією спектральної щільності F(ω), зображеною на рис. 9.7.

З графіка (рис. 9.7) видно, що основна частина енергії спектру зосереджена на ділянці низьких частот. Це дає підставу зробити висновок, що для заглушення перешкод необхідно використовувати фільтри нижніх частот. Їх верхня межа визначається досить часто експериментальне з урахуванням датчиків, якими оснащена система. Послаблення високочастотних складових сигналу і перешкод, яке буде виникати при цьому, не викличе суттєвого зменшення кількості інформації в імпульсі.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 9.6. Імпульс  вибірки | Рис. 9.7. Частотний спектр імпульсу вибірки |

Проблеми, що виникають при виборі схеми фільтра нижніх частот, пов'язані з суперечливістю вимог щодо характеристик фільтра. Це можна пояснити на прикладі простого пасивного фільтра нижніх частот (рис. 9.8).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 9.8. Пасивний фільтр нижніх частот і його реакція на  імпульс | |

Реакція фільтра на імпульсний вхідний сигнал Uвх=Um згідно теорії перехідних процесів, визначається формулою

 (9.3)

де τ=RC – стала часу.

На підставі (9.3) можна визначити, що відносна похибка вимірювань системи в кінці часу вибірки дорівнює:

 (9.4)

Отже, відносна похибка залежить від співвідношення tв/τ. З метою розгляду конкретного прикладу щодо вибору пасивного НЧ-фільтра нижче наведені її чисельні значення:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| δ, % | 10 | 5 | 1 | 0,5 | 0,1 | 0,05 | 0,01 |
| tв/τ | 2,3 | 3,0 | 4,61 | 5,3 | 6,91 | 7,6 | 9,21 |

З наведених обчислень видно, що при допустимій похибці   
δ≤1% час вибірки tв повинен перевищувати в 4,61 разів сталу часу фільтра.

Як було раніше доведено, не дивлячись на те, що шум має досить широкий спектр, основні перешкоди виникають за рахунок наводок на частоті напруги живлення. У зв'язку з цим при проектуванні фільтрів необхідно домагатись максимального ослаблення на низьких частотах. Коефіцієнт послаблення на будь-якій частоті для пасивного фільтра (рис. 20.16) визначається відношенням діючих значень напруг вихідного і вхідного сигналів:

 (9.5)

Нормування коефіцієнта ослаблення є основоположним при проектуванні пасивних RC-фільтрів. Так, наприклад, якщо вимогою щодо фільтра є забезпечення умови k=0,01 для частоти f=50 Гц, то на підставі (9.5) можна визначити, що таке послаблення буде забезпечене фільтром із сталою часу 0,101 с. Якщо точність вимі­рювань системи повинна бути не нижче 0,01 %, то з урахуванням наведених вище значень нормованих похибок знаходимо, що час вибірки фільтра повинен бути не менше 9,21τ. Одночасне задоволення вимог щодо вказаних коефіцієнта ослаблення і точності вимірювань буде за умови, якщо час вибірки становитиме   
tв=9,21⋅0,101=0,93 с. Це означає, що частота опитування інформаційних каналів за таких умов майже не перевищує 1 вибірка/с. Досить низька швидкість опитування каналів вступає у протиріччя з припущенням, що протягом часу вибірки амплітуда вхідного сигналу є незмінною. Отже, при високій точності вимірювань і значному послабленні низькочастотних перешкод розглянутий вище пасивний фільтр має обмеження щодо використання.

Параметри фільтра і, як наслідок, його характеристики залежать від місця включення фільтра по відношенню до комутаційного пристрою (до чи після пристрою).

Особливості синтезування фільтра за певними якісними ознаками доцільно розглянути на конкретному прикладі. Будемо вважати, що вимірювальна система має N інформаційних каналів (входів) з часом вибірки tв і їх послідовним переключенням. Якщо нехтувати паузами (час між відключенням попереднього каналу і підключенням наступ­ного), то період опрацьовування інформації системи дорівнює tвN, с. Згідно теореми відліків, частота вибірок 1/(tвN) з метою реєстрації всіх існуючих змін сигналів будь-якого з каналів повинна принаймні у 2 рази перевищувати найбільшу з частот fi, що існують у спектрі вихідного сигналу:

  (9.6)

Порівняльний аналіз характеристик фільтрів в залежності від місця їх включення (до чи після комутатора) необхідно проводити шляхом співставлення смуг пропускання. Фільтр, який встановлюється перед комутатором, повинен мати смугу пропускання, яка дорівнює ωi – частоті найбільш високочастотної складової у спектрі сигналу. Характеристики фільтра, встановленого після комутатора, повинні забезпечувати необхідний рівень похибки при обробці сигналу. Базуючись на попередніх розрахунках характеристик пасивного RC-фільтра, де похибка вимірювань була встановлена на рівні 1%, можна визначити його смугу пропускання:

 (9.7)

З урахуванням визначених умов порівняння отримаємо:

 (9.8)

Таким чином, фільтр, який встановлюється після комутатора, повинен мати смугу пропускання в 1,47N разів більшу, ніж у фільтра, який встановлюється до комутатора.

Для фільтрів послаблення шумів буде тим сильнішим, чим вужчою буде смуга пропускання. Тому фільтри, встановлені перед комутатором, мають значні переваги.

Крім перерахованих вимог щодо характеристик фільтрів, при синтезуванні системи необхідно також оптимізувати їх кількість та вартість.

Одним з сучасних методів боротьби з перешкодами, які складаються в основному з наводок від джерела живлення, є цифрова фільтрація. Її використовують в цифрових вимірювальних системах, керуючи процесом опитування каналів та алгоритмом обробки отриманої інформації. Суть цифрової фільтрації полягає в наступному. Будемо вважати, що сигнал після датчика uc складається з корисної компоненти – постійної напруги *U*0 і узагальненої перешкоди, тобто є неперервним сигналом, спектральний склад якого:

 (9.9)

Алгоритм обробки сигналів побудовано за принципом проведення двох відліків, один з яких виконується в момент часу t1, а другий – в момент часу t2=t1+(π/ω), і знаходження середнього значення. Кожному з цих відліків на вході ЕОМ буде відповідати цифровий сигнал – еквівалент сигналу датчика:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9.10)  (9.11) |

Результуючий сигнал тоді буде:

 (9.12)

Таким чином, після цифрової фільтрації результуючий сигнал складається з корисного сигналу (постійна складова U0) та парних гармонік перешкод. Цей метод фільтрації у порівнянні з іншими має ряд суттєвих переваг. Одна з них полягає у тому, що в узагальненій перешкоді відсутня найбільша за рівнем гармоніка на основній частоті напруги живлення. Якщо виникає необхідність зменшення впливу парних гармонік, то використовується додаткова фільтрація. З урахуванням наведених вище прикладів видно, що виконувати її можна, значно зменшивши час вибірки за умови сталої похибки вимірювань.

Більш точне усереднення можна отримати при використанні процедури інтегрування. Якщо вибірка сигналу відбувається періо­дично протягом інтервалу часу Т, то середнє значення сигналу визначається за формулою (9.13):

. (9.13)

У даному випадку вибір Т залежить від встановленого коефіцієнта ослаблення перешкод.

Вважаючи, що спектральний склад сигналу описується рівнянням (9.9), за допомогою (9.13) можна визначити:

. (9.14)

З (9.14) видно, що рівень компонент перешкоди можна мінімізувати шляхом вибору інтервалу інтегрування Т. Обмеження щодо використання методу фільтрації полягає в тому, що ефективність заглушування перешкод зменшується зі зменшенням періоду вибірки.

В сучасних вимірювальних системах набули поширення активні фільтри на основі операційних підсилювачів. Підсилювачі з вибірними властивостями умовно поділяють на:

– фільтри низьких та високих частот, які пропускають тільки низькі або тільки високі частоти;

– фільтри смугові та режекторні (загороджувальні), які пропус­кають або не пропускають сигнали відповідних частот.

Вибірні властивості на ділянці низьких частот (нижче 20 кГц) у підсилювачів можуть бути отримані переважно при використанні *RC*-кіл диференціюючого або інтегруючого типів. Такі кола, включені на вході або виході підсилювача, створюють частотно-залежний зворотний зв'язок.

Полосові та режекторні фільтри виконуються на основі використання *LC*-кіл.

Схеми найпростіших активних фільтрів високих та низьких частот зображені на рис. 9.9, а та рис. 9.10, б відповідно. Частотна характеристика кожного з них залежить від ємності конденсатора, ввімкненого в коло зворотного зв'язку (ЗЗ).

Передаточна характеристика фільтра високих частот (ФВЧ) в операторній формі має вигляд:

  (9.15)

де *τ*1=*R*1*C*1 – стала часу.

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) цього фільтра зображена на рис. 9.9, б. Частота спряження асимптот ω1 знаходиться за умови *ω*2*τ*2=1, звідки *f*1=*ω*1/(2*π*)=1/(2*πR*1*C*1).

Фільтр низьких частот (рис. 9.10, а) має передаточну характеристику

 (9.16)

де *τ*2=*R*2*С*2.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) б)  Рис. 9.9. Фільтр високих частот | |

ЛАЧХ для ФНЧ зображена на рис. 9.10, б. Оскільки на частоті спряження асимптот виконується умова *ω*2*τ*2=1, то частота спряження *f*2=*ω*2/(2*π*)=1/(2*πR*2*C*2).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) б)  Рис. 9.10. Фільтр низьких частот | |

Наведені вище передаточні характеристики ФВЧ і ФНЧ є рівняннями першого порядку. Зменшення коефіцієнта підсилення у них становить 20 дБ/дек, що свідчить про недостатні вибірні властивості. Покращити цей показник (збільшити крутість передаточної характеристики) можна послідовним включенням ідентичних активних фільтрів, введенням додаткових RC-кіл або використанням операційних підсилювачів з колами ЗЗ, робота яких визначається рівняннями другого порядку.

Каскадне включення фільтрів другого порядку також сприяє покращенню їх вибірних властивостей.

Найпростіший смуговий активний фільтр можна отримати,   
об’єднавши ФНЧ і ФВЧ (рис. 9.11, а) з ЛАЧХ (рис. 9.11, б).

З врахуванням розкиду параметрів RC-елементів необхідно виконувати їх коригування з метою отримання відповідної амплітудно-частотної характеристики.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) б)  Рис. 9.11. Схема найпростішого активного смугового  фільтра (а) і його ЛАЧХ (б) | |

Деякі із схем активних фільтрів другого порядку низьких і високих частот зображені на рис. 9.12 відповідно. Оптимальний синтез таких фільтрів дозволяє отримати нахил асимптот майже 40 дБ/дек. Як видно зі схем, перехід від ФНЧ до ФВЧ чи навпаки відбувається шляхом заміни резисторів на конденсатори з відповідними параметрами.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) б)  Рис. 9.12. Активні фільтри другого порядку | |

Передаточні функції цих фільтрів описуються відповідно рівняннями:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9.17)  (9.18) |

При досить жорстких умовах фільтрації використовуються смугові активні фільтри за схемою Т-подвійного моста, який не пропускає сигнал на резонансній частоті і за схемою моста Віна, який пропускає сигнал на резонансній частоті. Зі схемами та параметрами названих фільтрів можна познайомитись в спеціальній літературі з електроніки.

Однією з процедур нормалізації сигналів датчиків може бути необхідність їх підсилення. Це виникає при необхідності досягнення високої точності вимірювальної системи та у випадку використання однодіапазонних АЦП. Якщо число каналів незначне, то підсилювач можна ставити до комутатора. За відповідних умов експлуатації датчик виконується як інтегрований модуль разом підсилювачем. В інших випадках використовують один підсилювач, встановлений на виході комутатора, який має зв'язок з відповідною групою датчиків.

Власне підсилювач повинен задовольняти наступним основним вимогам:

– мати необхідний коефіцієнт підсилення для створення номіналь­ного сигналу на вході АЦП;

– за умови заданої частоти опитування каналів забезпечувати достатню швидкість зростання сигналу на вході АЦП;

– мати мінімальний рівень власних шумів при забезпеченні двох попередніх вимог.