

8. SIGNALLARNI RAQAMLI FILTRLAR YORDAMIDA QAYTA ISHLASH

Raqamli filtr atamasi orqali kirish signali raqamli signal bo'lgan va chiqish signali boshqa raqamli signalni olishni ta'minlovchi matematik algoritmnini apparat yoki dasturiy ta'minot orqali amalga oshiruvchi qurilma tushuniladi. Bunda raqamli filtrning amplituda va faza xarakteristikasi maxsus shakllantirilgan bo'ladi. Ko'p hollarda raqamli filtrlardan foydalanish afzalliklarga ega, ular amplituda va faza xarakteristikalari qiymatlarini nisbatan aniq ta'minlash imkoniyatini beradi.

Norekursiv filtrlarda navbatdagi chiqish signali oniy qiymati $y(n)$ ni hisoblashda ikki tur ma'lumotlardan: kirish signalining bir necha oniy qiymatlaridan va chiqish signalining bir necha odim avvalgi oniy qiymatlaridan foydalaniladi. Bunday filtrlardan foydalanib hisoblashlarda kirish signalining eng kamida bitta qiymati qatnashishi kerak, aks holda chiqish signali kirish signaliga bog'liq bo'lmaydi. Buning aksiga hisoblashlarda chiqish signalining avvalgi oniy qiymatlaridan foydalanilmasa ham bo'ladi. Bu holda filtrlash tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$y(n) = \sum_{i=0}^m a_i x(n-i).$$

Bunday filtrlar uchun foydalaniladigan oniy qiymatlar soni m uning tartibini baholaydi. Ushbu ifodadagi algoritmnini amalga oshiruvchi strukturaviy sxema 8.7-rasmda keltirilgan.

Kirish signalining dastlabki bir necha oniy qiymatlari raqamli kechiktirish liniyasi xotirasi yacheykasida saqlanadi. Kirish signalining bu oniy qiymatlari a_i koeffisientlariga ko'paytiriladi va qo'shish (yig'ish) amali bajarilishi natijasida chiqish signali oniy qiymati $y(n)$ ni shakllantiradi.

Bu tur filtrlarda chiqish signalini aniqlashda chiqish signalining avvalgi oniy qiymatlaridan foydalanilmaydi, uning strukturaviy sxemasida teskari bog'lanish zanjiri bo'lmaydi. Shuning uchun bunday filtrlarni norekursiv filtrlar deb ataladi. Ba'zan esa bu tur filtrlarni transversal filtrlar (inglizcha transversal – ko'ndalang so'zidan olingan) deb ataladi.

Norekursiv filtrning impuls xarakteristikasi $h(n)$ ni juda oson aniqlash mumkin. Yuqoridagi tenglamaga yakka impuls $x_0(n)$ ni kirish signali sifatida qo'yib quyidagi tenglamani olamiz:

$$h(n) = \sum_{i=1}^m a_i x_0(n-i).$$

Bunda $x_0(n-i)$ n ning $n=i$ dan boshqa hamma qiymatlari uchun nolga teng bo'lib, $n=i$ bo'lganda birga teng. Shuning uchun norekursiv filtrning impuls xarakteristikasi $h(n)=a_k$ bo'ladi, ya'ni a_i koeffisientlar filtrga ta'sir qiluvchi kirish signali oniy qiymatiga aks ta'siriga – impuls xarakteristikasiga mos keladi. Filtr kirishiga yakka impuls shaklidagi signal berilganda u kechiktirish liniyasi orqali o'tishi jarayonida $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ koeffisientlariga ko'paytiriladi va uning chiqishida $y(n)$ signali hosil bo'ladi. Ushbu filtrdagi kechiktirish liniyalari soni chekli bo'lgani, norekursiv filtr chiqishidagi impuls xarakteristikasi davomiyligi cheklangan bo'ladi. Shuning uchun bunday filtrlarni impuls xarakteristikasi chekli deb ham ataladi. Kelgusida norekursiv filtr atamasi bilan birga impuls xarakteristikasi chekli filtr atamasidan ham keng foydalanamiz.

Impuls xarakteristikasi chekli filtrlarda teskari bog'lanish zanjiri bo'lmaganligi uchun har qanday boshlang'ich sharoit bo'lganda ham bunday filtrlar o'z-o'zidan qo'zg'almaydi (barqaror bo'ladi), chunki kirish signali $x(n)=0$ bo'lganda, chiqish signali ham kechiktirish liniyasini kelgusi kirish signali oniy qiymati ta'sir etishiga tayyorlash uchun kerakli m taktgacha davomiylilikda mavjud bo'lishi mumkin.

Impuls xarakteristikasi chekli – norekursiv filtrlardan ularni tahlil qilish, sintezlash va amalga oshirish, asbolyut barqarorligi uchun amaliyotda keng foydalaniladi. Ammo amplituda-chastota xarakteristikasi yuqori darajada Π -simon shaklda bo'lishini ta'minlash uchun yuqori tartibli – bir necha yuz, ba'zan esa ming bo'lgan filtrlardan foydalanish kerak bo'ladi.

Rekursiv filtrlar. Agar filtrlash tenglamasi umumiy ko'rinishda bo'la, u holda bunday filtrlashda kirish va chiqish signali oniy qiymatlaridan foydalaniladi. Bunday filtrlarda chiqish signali oniy qiymatlar $y(n-i)$ ni xotirada saqlash uchun ikkinchi kechiktirish liniyalari zanjirini sxemaga qo'shish kerak bo'ladi. Bu tur filtrning strukturaviy sxemasi 8.4-rasmda keltirilgan. Bu tur filtrlarda

hisoblashlarda chiqish signali oniy qiymatlarining avvalgi m tasidan foydalanish kerak bo'lgani uchun albatta teskari bog'lanish zanjiri bo'lishi shart. Shuning uchun bunday filtrlarni rekursiv filtrlar deb ataladi. Bu tur filtrlarda foydalaniladigan kirish va chiqish signallari oniy qiymatlari soni bir-biriga teng bo'lmasligi mumkin. Bu holda filtrning tartibi n va m lardan qaysi biri katta bo'lsa, shu tartib orqali baholanadi. Misol uchun $m > n$ bo'lsa, m -chi tartibli rekursiv filtr deb ataladi.

Rekursiv filtrning impuls xarakteristikasi hisoblash norekursiv filtrning impuls xarakteristikasini hisoblashga qaraganda sezilarli darajada murakkabroq. Impuls xarakteristikasining dastlabki bir nechasing shakllanishini ko'rib chiqamiz. Filtr kirishiga birinchi kirish signali oniy qiymati ta'sir etganda, u a_0 ga ko'paytiriladi va filtr chiqishidagi $h(0) = a_0$ paydo bo'ladi. So'ngra kirish yakka impulsi kirish kechiktirish liniyasiga kelib tushadi va chiqish signali oniy qiymati a_0 chiqish kechiktirish liniyasiga ta'sir etadi. Natijada, filtr chiqishidagi impuls xarakteristikasi ikkinchi oniy qiymati shakllanadi, ya'ni

$$h(1) = a_1 + b_1 h(0) = a_1 + a_1 b_1.$$

Shu tartibda kirish signali yakka sakrash impulsini kirish kechikish liniyasi orqali so'rilishi va chiqish kechiktirish liniyasi signali oniy qiymati qo'shilishi e'tiborga olib quyidagi natijani olamiz:

$$h(2) = a_2 + b_2 h(0) + b_1 h(1) = a_2 + a_0 b_2 + b_1 (a_1 + a_0 b_1) = a_2 + a_1 b_1 + a_0 b_2 + a_0 b_1^2.$$

Yuqorida olingan ifodadan ko'rinadiki chiqish kechiktirish liniyasi impuls xarakteristikasi oniy qiymatlari bilan to'lib borgani sari filtrni hisoblash matematik formulalari ham murakkablashib boradi.

Rekursiv filtrlarda teskari bog'lanish kechiktirish liniyalari zanjirlari mavjudligi cheksiz davomiylikka ega bo'lgan impuls xarakteristikasini olish imkoniyatini beradi. Shuning uchun rekursiv filtrlarni impuls xarakteristikasi cheksiz bo'lgan filtrlar deb ham ataladi. Kelgusida rekursiv filtrlar atamasi bilan bir ma'noda bo'lgan impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlar atamalaridan foydalaniladi.

Rekursiv filtrlarda teskari bog'lanish kechiktirish liniyalari zanjiri mavjudligi va bu tur filtrlarning impuls xarakteristikalari davomiyligi yaeksiz (nisbatan uzoq) davomiylikka ega bo'lgani uchun o'z-o'zidan

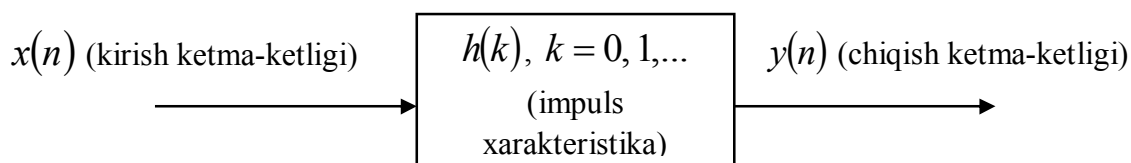
qo'zg'alish hodisasi yuz berishi, ya'ni generatsiyalash ish holatiga o'tishi mumkin.

8.1. Raqamli filtrlarning turlari: impuls xarakteristikalari chekli va impuls xarakteristikalari cheksiz filtrlar

Raqamli filtrlar ikki katta turga bo'linadi:

- cheksiz impuls xarakteristikali filtrlar;
- chekli impuls xarakteristikali filtrlar.

Har ikki tur filtrlarni (standart ko'rinishda) ularning impuls xarakteristikalari koeffitsienti $h(k)$ ($k = 0, 1, \dots$) orqali 8.1-rasmda keltirilgandek tasvirlash mumkin.



8.1-rasm. Raqamli filtrni konseptual tasvirlash

Filtr kirish va chiqish signallari o'ram amali orqali bir-biriga bog'langan. Ushbu bog'liqlik (8.1) formula orqali impuls xarakteristikasi cheksiz filtr uchun va (8.2) formula orqali impuls xarakteristikasi chekli filtrlar uchun keltirilgan.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k), \quad (8.1)$$

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k). \quad (8.2)$$

Ushbu (8.1) va (8.2) tenglamalardan shuni xulosa qilish mumkinki, impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlarning impuls xarakteristikalari cheksiz davomiylikka ega va impuls xarakteristikasi chekli filtrlar uchun impuls xarakteristikasi davomiyligi cheklangan, chunki impuls xarakteristikasi cheklangan filtr impuls xarakteristikasi $h(k)$ faqat N ta qiymatni qabul qiladi. Amalda impuls xarakteristikasi cheksiz filtr chiqish signalini (8.1) tenglamadan foydalanib hisoblash

mumkin emas, chunki aks ta'sir impuls xarakteristikasi juda katta miqdorda davomli (nazariy nuqtai nazardan cheksiz katta). Shuning uchun impuls xarakteristikasi cheksiz filtr uchun (8.1) tenglamani rekursiv shaklda quyidagicha ifodalaymiz:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k) = \sum_{k=0}^N b_k x(n-k) - \sum_{k=1}^M a_k y(n-k), \quad (8.3)$$

bunda a_k va b_k – filtr koeffisientlari. Shunday qilib (8.2) va (8.3) tenglamalar impuls xarakteristikasi cheklangan va impuls xarakteristikasi cheklanmagan filtrlarning farqli tenglamalari hisoblanadi. Ushbu tenglamalardan raqamli filtrlarni loyihalash bilan bog'liq masalalarni yechishda keng foydalaniladi.

(8.3) tenglamada tizim chiqish signalining real vaqtdagi oniy qiymatlari $y(n)$ undan oldingi chiqish funksiyalari bo'lib, hozir uning kirishiga ta'sir etayotgan va bundan avvalgi ta'sir etgan kirish signallari oniy qiymatlarining ham funksiyasi hisoblanadi. Impuls xarakteristikasi cheksiz filtr – bu teskari bog'lanishli tizim. Impuls xarakteristikasi chekli filtrlarning chiqish signali oniy qiymatlari $y(n)$ avval ta'sir etgan va hozirda ta'sir etayotgan kirish signali qiymatiga bog'liq. Agar (8.3) tenglamaning hamma b_k koeffisientlarini nolga teng qilib olinsa, u holda (8.2) tenglama kelib chiqadi.

(8.4) tenglamalarda impuls xarakteristikasi cheksiz va chekli filtrlar ularning uzatish funksiyalari orqali ifodalangan bo'lib, bunday ko'rinishda talqin etish ularning chastota xarakteristikalarini baholashda qulayliklar keltirib chiqaradi:

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)z^{-k}, \quad (8.4a)$$

$$H(z) = \sum_{k=0}^N b_k z^{-k} / (1 + \sum_{k=1}^M a_k z^{-k}). \quad (8.4b)$$

Raqamli filtrlarni loyihalashda (8.4a) yoki (8.4b) tenglamalardan foydalanish loyihalanayotgan filtrning qaysi tur filtr guruhiga - impuls xarakteristikasi chekli yoki cheksiz turiga tegishliligiga bog'liq. Shuning uchun raqamli filtrlarni bir-biridan farqini bilish ularning o'ziga xos xarakteristikalarini va eng kerakligi qaysi tur filtrni tanlashni bilish kerak.

8.2. Impuls xarakteristikasi cheksiz va chekli filtrlarni tanlash

Impuls xarakteristikasi cheksiz va chekli filtrlardan birini tanlash ularning o'ziga xos afzalliklariga bog'liq.

1. Impuls xarakteristikasi chekli raqamli filtrlar yuqori darajada chiziqli fazaviy xarakteristikaga ega. Shuning uchun u signal spektral tashkil etuvchilari fazalari orasidagi munosabatlarning buzilishiga yo'l qo'ymaydi, natijada signal shakli buzilmaydi. Bu ko'p hollarda muhim hisoblanadi, misol uchun, ma'lumotlarni uzatishda, biomedisinada, audio va video signallarga ishlov berishda va h.k. Impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlarning fazaviy xarakteristikalari nochiziqli, ayniqsa signal o'tkazish polosasi chekkalarida.

2. Impuls xarakteristikasi chekli filtrlar norekursiv amalga oshirilgan, ya'ni ular hamma vaqt barqaror (bu 8.2-formula tahlilidan kelib chiqadi). Impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlarning barqarorligiga hamma vaqt ham kafolat berib bo'lmaydi.

3. Filtrlarni amalda qo'llash uchun cheklangan bitlar sonidan foydalaniladi. Buning amaliy ta'siri impuls xarakteristikasi chekli filtrlarga qaraganda impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlarga nisbatan kam (misol uchun, butunlash shovqini va kvantlash xatoligi).

4. Cheklangan davomiyli impuls xarakteristikani olishda chastota xarakteristikasining qiyaligi katta bo'lishi uchun impuls xarakteristikasi cheklanmagan filtnikiga qaraganda ko'p koeffisientlar kerak bo'ladi. Natijada impuls xarakteristikasi cheklangan AChX berilgan filtni amalga oshirish uchun impuls xarakteristikasi cheksizga nisbatan katta hisoblash quvvati va xotira kerak bo'ladi.

5. Analog filtrlarni ularga ekvivalent bo'lgan impuls xarakteristikasi cheksiz filtrga almashtirish nisbatan oson. Impuls xarakteristikasi chekli filtrlar uchun bunday almashtirish mumkin emas, chunki unga o'xshash analog filtrlari yo'q. Ammo impuls xarakteristikasi chekli filtrlar yordamida istalgan AChXli filtni yaratish oson.

6. Impuls xarakteristikasi chekli filtrlarni sintezlash agar kompyuterdan foydalanilmasa algebraik jihatdan murakkabroq.

7. Impuls xarakteristikasi chekli filtrlar rekurent. Bu u orqali "vaqt bo'yicha teskari"sig'a o'zgaruvchi yagona signalni berganda, umuman olganda, biz boshqa natijalarni olamiz. Agar bu vaqt bo'yicha anizotropiya nutq signali uchun tabiiy bo'lgani bilan, tasvir signallari

uchun qo'llash mumkin emas. Shuning uchun impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlardan foydalanish uchun bir qator cheklanishlar mavjud.

Yuqorida keltirilgan xulosalar asosida impuls xarakteristikasi chekli va cheksiz filtrlarni tanlashda quyidagilarga e'tibor berish kerak:

- agar filtr AChX signal o'tkazish polosasida bir xil uzatish koeffisientiga va signal o'tkazish imkoniyati katta bo'lishi yagona talab bo'lsa impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlardan foydalanish kerak, chunki impuls xarakteristikasi cheklanmagan (ayniqsa elleptik xarakteristikasidan foydalaniladigan) filtrlar impuls xarakteristikasi chekli filtrlarga qaraganda kam sonli koeffisientlarni aniqlashni talab etadi;

- impuls xarakteristikasi chekli filtrlardan, agar filtrlar koeffisientlari uncha katta bo'lmagan, xususan agar faza xarakteristikasida buzilishlari bo'lmashligi yoki kichik bo'lganda foydalanish tavsiya etiladi. Bundan tashqari so'nggi yillarda yaratilgan signallarga raqamli ishlov berish protsessorlari impuls xarakteristikasi chekli filtrlar arxitekturasini (tuzilishi)ga asoslangan bo'lib, ulardan ba'zilar maxsus impuls xarakteristikasi chekli filtrlar uchun ishlab chiqilgan.

8.3. Filtrlarni loyihalash bosqichlari

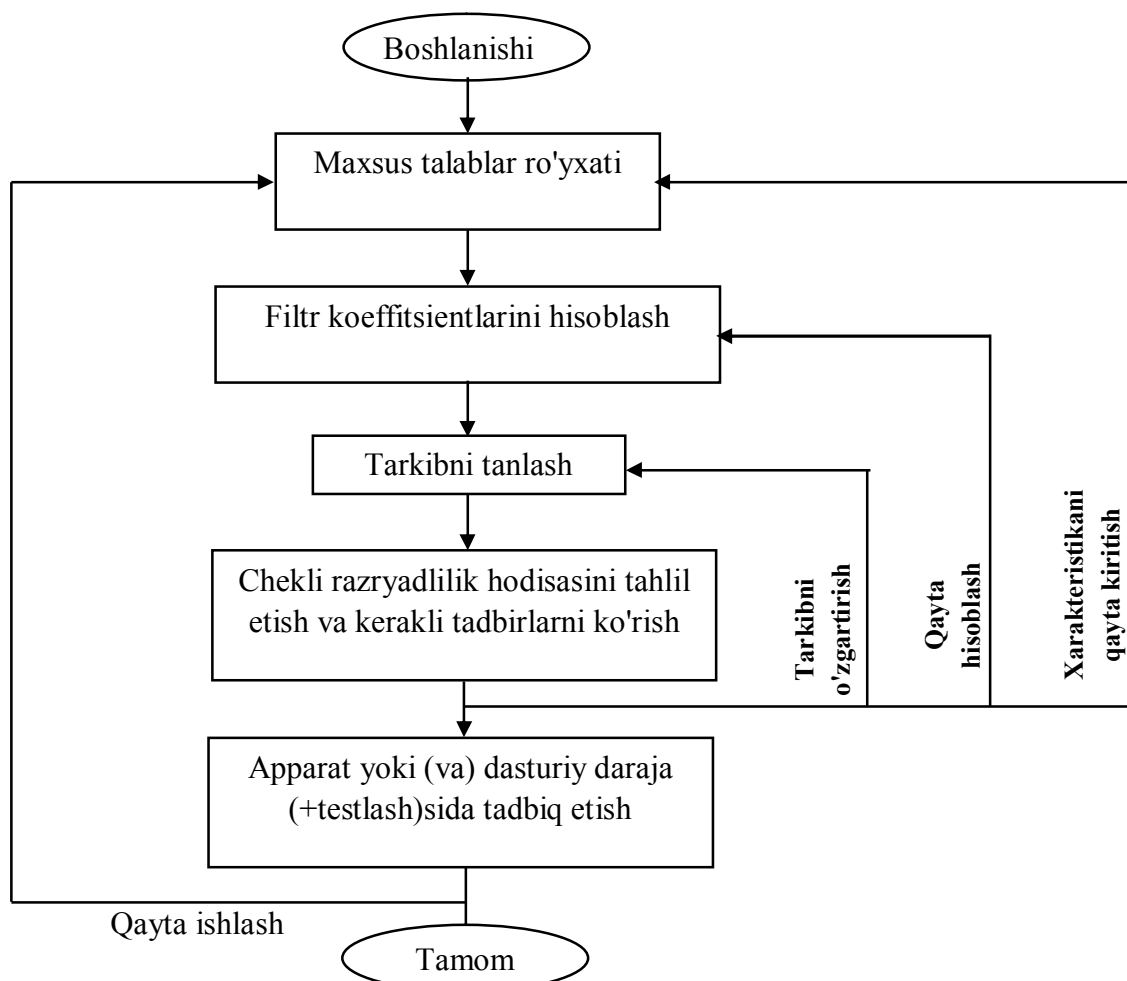
Raqamli filtrlarni loyihalash besh bosqichda o'tadi (8.2-rasm).

1. Filtrga qo'yiladigan asosiy texnik talablar.
2. Filtrning mos keluvchi koeffisientlarini hisoblash.
3. Filtrning tegishli strukturasini tasavvur etish.
4. Filtrning ishlash sifatiga razryadlar soni cheklanganligini tahlil etish.
5. Filtrni dasturiy yoki (va) apparat darajasida amalga oshirish.

Yuqorida keltirilgan besh bosqich ba'zan bir-biriga bog'liq bo'ladi: bundan tashqari ular hamma vaqt ham keltirilgan tartibda joylashgan bo'ladi. Amalda ikkinchi bosqichni uchinchi va to'rtinchi bosqichlar bilan birga qurish imkoniyatini beradigan usullar ham bor.

Ammo samarador filtrni olish uchun ushbu jarayonni bir necha "iteratsiya" – yaqinlashtirishlardan foydalanib amalga oshirishga to'g'ri keladi, ayniqsa filtrga bo'lgan maxsus talablar to'liq ma'lum bo'lmagan

hollarda yoki ishlab chiqaruvchi boshqa teng kuchli SRIB filtrini tahlil etmoqchi bo'lgan hollarda yuz beradi.



8.2-rasm. *Impuls xarakteristikasi chekli filtrlarni loyihalash bosqichlari*

8.3.1. Maxsus talablar ro'yxati

Maxsus talablar ro'yxati quyidagilardan iborat:

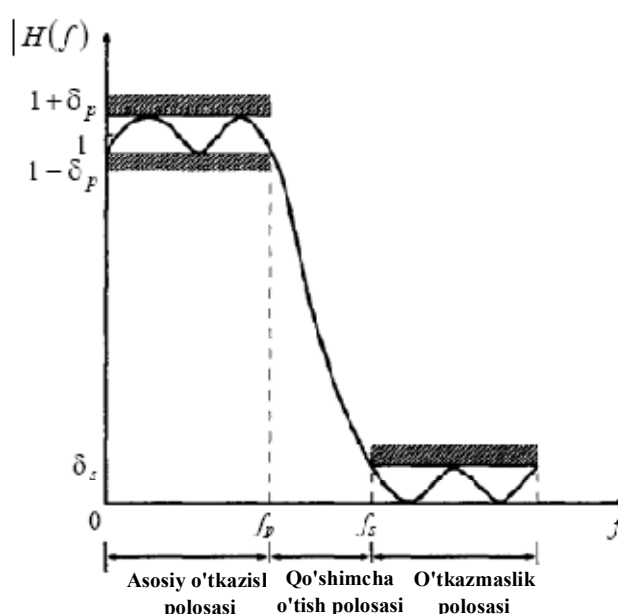
1) signal xarakteristikolari (signal va uni oluvchi turi, signalni kiritish-chiqarish interfeysi, ma'lumotlarni uzatish tezligi va polosa kengligi, eng yuqori chastota);

2) filtr xarakteristikolari (talab etiladigan AChX va FChX va ushbu xarakteristikalariga talablarning qanchalik qat'iyligi, ishlash tezligi va filtr ish rejimi (real yoki kechiktirilgan (model) vaqt));

3) amalga oshirish prinsipi (misol uchun, kompyuter uchun yuqori darajali dasturlash tilida yoki protsessorga asoslangan SRIB tizimi, shu bilan birga signal protsessorini tanlash ham amalga oshiriladi);

4) filtr tarkibi (strukturasi)ga qo'yiladigan boshqa talablar (misol uchun, filtr tannarxi). Loyihalovchi va ishlab chiqaruvchi boshlang'ich bosqichlarida to'liq axborot (ma'lumot)larga ega bo'lmasligi mumkin. Ammo loyihalash va ishlab chiqarish jarayonini soddalashtirish uchun iloji boricha ko'p sonli talablar ma'lum bo'lgani ma'qul.

Filtrlar xarakteristikalarini ko'p hollarda chastotalarga bog'langan ko'rinishda beriladi. Chastota tanlovchan filtrlar; past chastota filtrlari; chastota polosasi filtri uchun odatda maxsus talablar ruxsat etiladigan farqlanishlar chizmasi orqali ifodalanadi. Past chastota filtri uchun shunday chizma 8.3-rasmda keltirilgan.



8.3-rasm. *Past chastotalar filtri uchun ruxsat etiladigan farqlanishlar chizmasi*

Shtrixlangan gorizontall chiziqlar ruxsat farqlanishlar chegarasini belgilaydi. Asosiy o'tkazish polosasida amplituda-chastota xarakteristikasining eng katta farqlanishi δ_p , o'tkazmaslik polosasida eng katta farqlanish δ_s .

Qo'shimcha o'tish polosasi kengligi filtr xarakteristikasi qanday darajada tikligini bildiradi. AChX uzatish koeffitsienti $H(f)$ bu qismida asta-sekin, to o'tkazmaslik polosasiga qadar kamayib boradi. Amalda quyidagi asosiy ko'rsatkichlar asosiy qiziqish bildiradi:

δ_p – o'tkazish polosasidagi filtr uzatish koeffitsienti $H(f)$ ning farqlanishi (o'zgarishi);

δ_s – o'tkazmaslik polosasidagi filtr uzatish koeffisienti $H(f)$ ning farqlanishi (o'zgarishi);

f_p – o'tkazish polosasi chegaraviy chastotasi;

f_s – o'tkazmaslik polosasi chegaraviy chastotasi.

Chegaraviy chastotalar normallashtirilgan ko'rinishda beriladi, ya'ni diskretlash chastotasi f/F_s ulushi ko'rinishida, ammo ko'p hollarda Hz yoki kHz larda berilgan maxsus talablardan foydalaniladi. O'tkazish polosasidagi va o'tkazmaslik polosasidagi farqlanishlar oddiy sonlar orqali yoki desibellarda ifodalanishi mumkin. Misol uchun, o'tkazmaslik polosasidagi so'nishning eng kichik qiymati A_s va o'tkazish polosasidagi maksimal o'zgarish (farqlanish) desibellarda impuls xarakteristikasi chekli filtrlar uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$A_s(\text{o'tkazmaslik polosasidagi so'nish}) = -20 \lg(1 + \delta_s) \quad (8.5a)$$

$$A_p(\text{o'tkazish polosasidagi farqlanish}) = -20 \lg(1 + \delta_p). \quad (8.5b)$$

Raqamli filtr faza-chastota xarakteristikasiga talablar ko'p hollarda faza xarakteristikasi nochiziqliligi ko'rsatkichi keltiriladi yoki faza xarakteristikasi ideal chiziqli bo'lishi talab etiladi.

8.3.2. Raqamli filtr koeffisientlarini hisoblash

Bu bosqichda approksimatsiya usullaridan biri tanlanadi va impuls xarakteristikasi chekli filtrlar uchun $h(k)$ koeffisientlar va impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlar uchun a_k va b_k koeffisientlar hisoblanadi. Koeffisientlarni hisoblash usuli ushbu koeffisientlarning impuls xarakteristikasi chekli yoki cheksiz filtrga tegishli ekanligiga bog'liq.

Impuls xarakteristikasi cheksiz filtrning koeffisientlarini hisoblash an'ana bo'yicha ma'lum analog filtrlarning xarakteristikalarini unga mos raqamli filtrlar xarakteristikalariga almashtirishga asoslangan. Bunda ikki asosiy yondashishdan foydalaniladi: impuls xarakteristikani invariant almashtirish va bichiziqli almashtirish usuli.

Impuls xarakteristikani invariant usuldan foydalanib almashtirishda analogli filtrni raqamliga almashtirilganda birlamchi analog filtrning impuls xarakteristikasi saqlanmaydi. Ichki bir-birini

ustiga tushishi sababli ushbu usulni yuqori chastota filtrlari va rejektor filtrlar uchun qo'llab bo'lmaydi.

Ikkinchi tomondan bichiziqli (ikki chiziqli) usul juda samarali filtrlashni ta'minlaydi va chastota tanlovchan filtrlarning koefitsientlarini hisoblashga yaxshi mos keladi. Natijada an'anaviy xarakteristikali raqamli filtrlarni: Battervort, Chebishev va elliptik filtrlarni yaratish mumkin bo'ladi.

Bichiziqli usulda yaratilgan filtrlar, umuman olganda an'anaviy filtrlar amplituda xarakteristikasiga o'xshash, ammo vaqt bo'yicha boshqa xossalarga ega bo'ladi. Impuls xarakteristikani invariant almashtirish usuli analog tizimlarni modellash uchun yaxshi bo'lib, ammo chastota tanlovchi impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlar uchun bichiziqli usuldan foydalanilgani ma'qul.

Impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlar koefitsientlarini hisoblashda uning o'rnini bosuvchi (alternativ) nol va qutblarni joylashtirish usulidan ham foydalansa bo'ladi – bu usuldan oddiy filtrlarning koefitsientlarini oson hisoblash imkoniyatini beradi. Shu bilan birga, bu usuldan yaxshi amplituda xarakteristikali filtrlarni hisoblash uchun tavsiya etilmaydi, chunki bunda juda ko'p nol va qutblar borligi hisoblash hajmini oshirib yuboradi.

Impuls xarakteristikasi chekli filtrlar koefitsientlarini bir necha usullar bilan hisoblash mumkin: kesish (tortish – vaznni aniqlash), chastota bo'yicha tanlash va Parks-Mak-Klippan optimal algoritmi.

Kesish usuli impuls xarakteristikasi chekli filtrlar koefitsientlarini hisoblashning juda oson va moslashuvchan usuli hisoblanadi, ammo loyihalovchi, ishlab chiqaruvchiga filtr parametrlarini kerakli miqdorda o'zgartirish imkoniyatini bermaydi.

Chastota bo'yicha tanlash usuli shu bilan o'ziga e'tiborni tortadiki, u yordamida impuls xarakteristikasi chekli filtrlarni rekursiv shaklda amalga oshirish imkoniyatini beradi, bu sonli hisoblashni qo'llash nuqtai nazaridan e'tiborli. Ammo bu usulga filtr parametrlarini boshqarish va o'zgartirish uchun moslashuvchanlik yetishmaydi.

Hozirda sanoat ishlab chiqarayotgan raqamli filtrlarda optimal usuldan foydalaniladi, chunki bu usul bilan impuls xarakteristikasi chekli filtrlarning unga qo'yilgan texnik talabga javob berishiga erishiladi. Shuning uchun bunday filtrlarni loyihalashda dastlab optimal usuldan foydalanib ko'rish kerak (agar boshqa usuldan foydalanish sharti avvaldan belgilangan bo'lmasa).

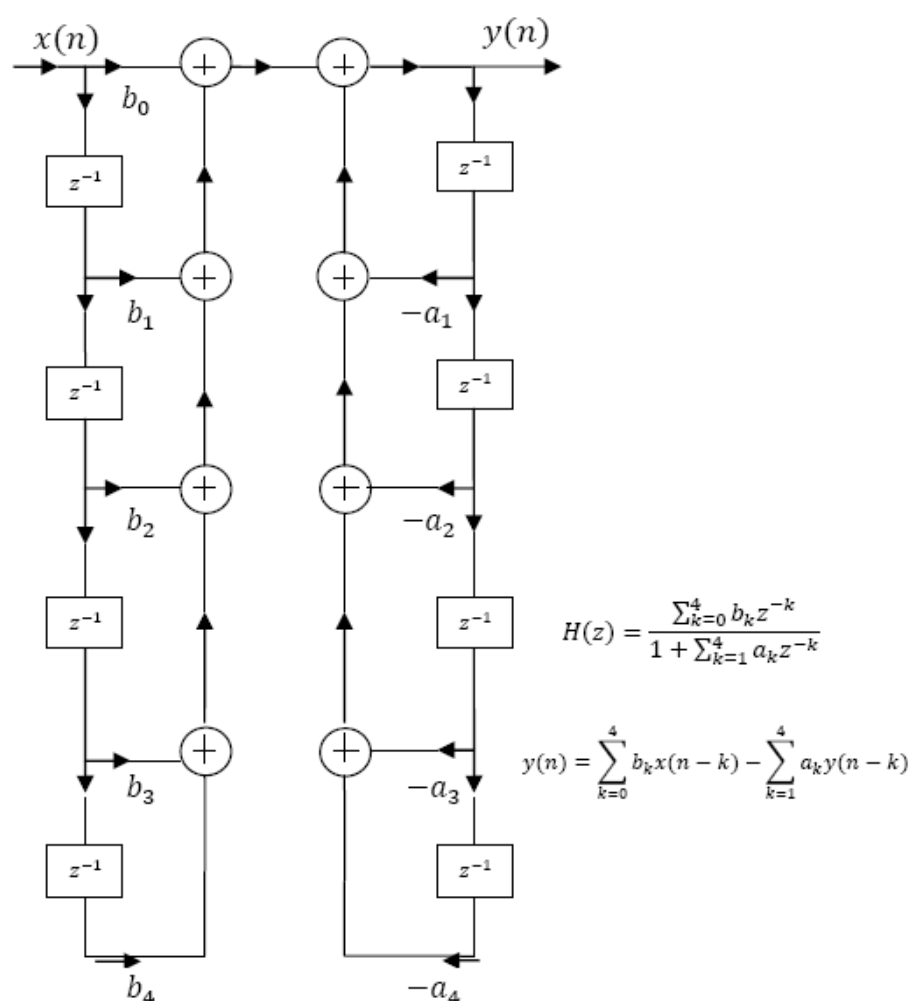
8.3.3. Filtrni unga mos keluvchi struktura orqali ifodalash

Bu bosqichda berilgan $H(z)$ uzatish koeffitsientini unga mos filtrlovchi tarkib (struktura) orqali ifodalash amalga oshiriladi. Filtr tarkibini tasvirlash uchun ko'p hollarda blok-sxemalar yoki funksional sxemalardan foydalaniladi va ularda raqamli filtrni amalga oshirishni osonlashtirish uchun hisoblash amallarini bajarish ketma-ketligi ham ko'rsatiladi.

Foydalaniladigan struktura qaysi tur filtrni impuls xarakteristikasi chekli yoki cheksiz filtrni tanlanganligiga bog'liq.

Impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlar uchun quyidagi uch shakl strukturalardan foydalaniladi: to'g'ri, kaskadli va parallel shakldagilar.

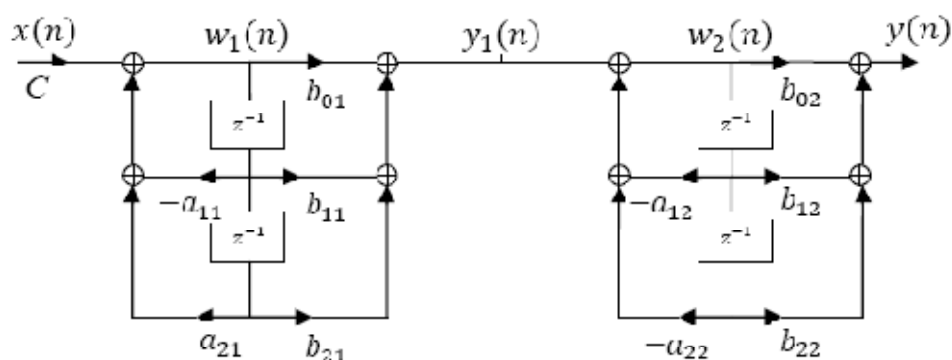
To'g'ri shakl – bu impuls xarakteristikasi cheksiz filtr uzatish funksiyasini to'g'ridan-to'g'ri ifodalash (8.4-rasm).



8.4-rasm. To'rtinchi tartibli impuls xarakteristikasi cheksiz filtrni amalga oshirish to'g'ri shakl strukturasi

Kaskad shaklida – impuls xarakteristikasi cheksiz filtr uzatish funksiyasi (8.5-rasm) bir necha bor takrorlanadi va ikkinchi tartibli zvenolar ko‘paytmasi orqali ifodalanadi.

Parallel shaklda – $H(z)$ ikkinchi tartibli zvenolar yig‘indisi shaklida joylashtiriladi (bunda elementar kasrlardan foydalaniladi). 8.6-rasmda uzatish koeffisientlari va farqlanish tenglamalarining filtr strukturasi tasvirlanishi turlari keltirilgan.



$$H(z) = C \prod_{k=1}^2 \frac{1 + b_{1k}z^{-1} + b_{2k}z^{-2}}{1 + a_{1k}z^{-1} + a_{2k}z^{-2}}$$

$$w_1(n) = Cx(n) - a_{11}w_1(n-1) - a_{21}w_1(n-2)$$

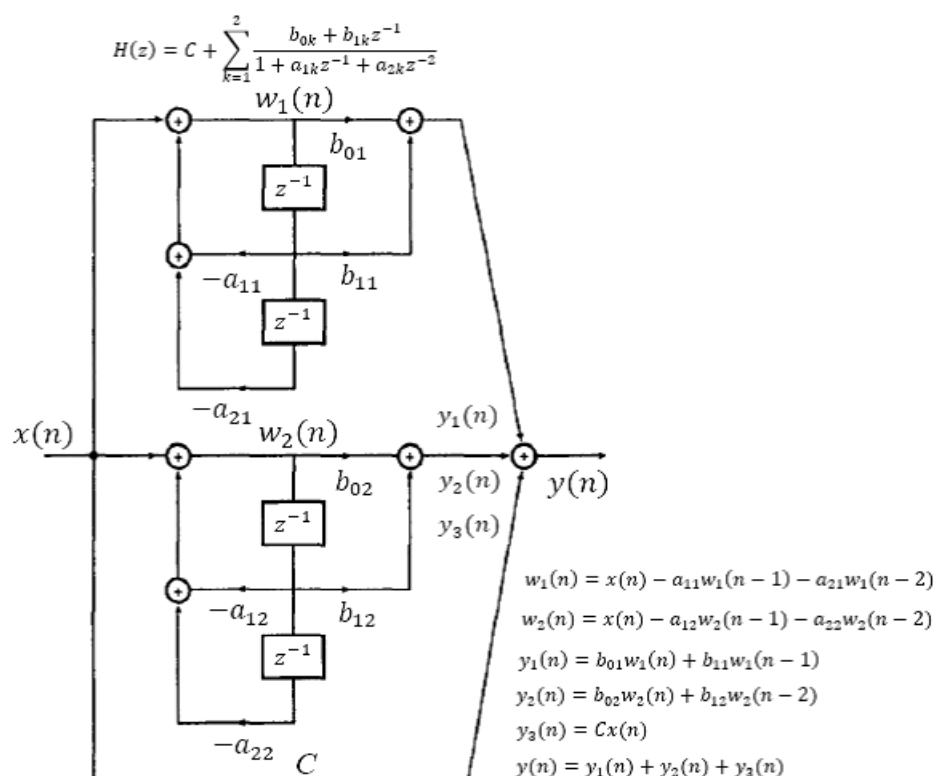
$$y_1(n) = b_{01}w_1(n) + b_{11}w_1(n-1) + b_{21}w_1(n-2)$$

$$w_2(n) = y_1(n) - a_{12}w_2(n-1) - a_{22}w_2(n-2)$$

$$y(n) = b_{02}w_2(n) + b_{12}w_2(n-1) + b_{22}w_2(n-2)$$

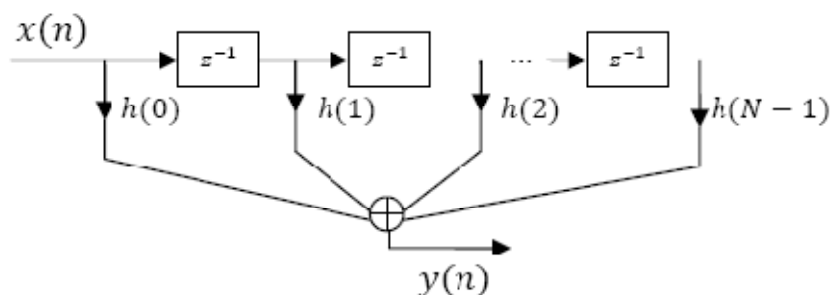
8.5-rasm. To‘rtinchi tartibli impuls xarakteristikasi cheksiz filtni amalga oshirish kaskad strukturasi

Impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlarni loyihalash va yaratishda parallel va kaskad strukturalaridan eng ko‘p foydalaniladi, chunki ular nisbatan sodda filtratsiya algoritmlari orqali amalga oshiriladi va ularning cheklangan sonli bitlardan foydalanib amalga oshirilishiga sezgirligi to‘g‘ri strukturali filtrlarning sezgirligiga nisbatan kichikroq.



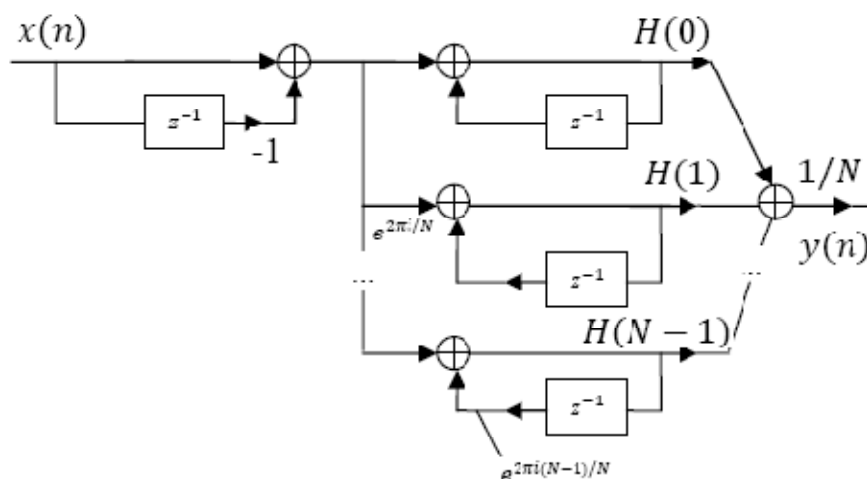
8.6-rasm. To'rtinchi tartibli impuls xarakteristikasi cheksiz filtrni amalga oshirish parallel strukturasini

Impuls xarakteristikasi chekli filtrlarni loyihalash va yaratishda eng ko'p foydalaniladigan struktura – bu to'g'ri struktura (8.7-rasm), chunki uni amalga oshirish boshqa strukturalarga qaraganda oson.

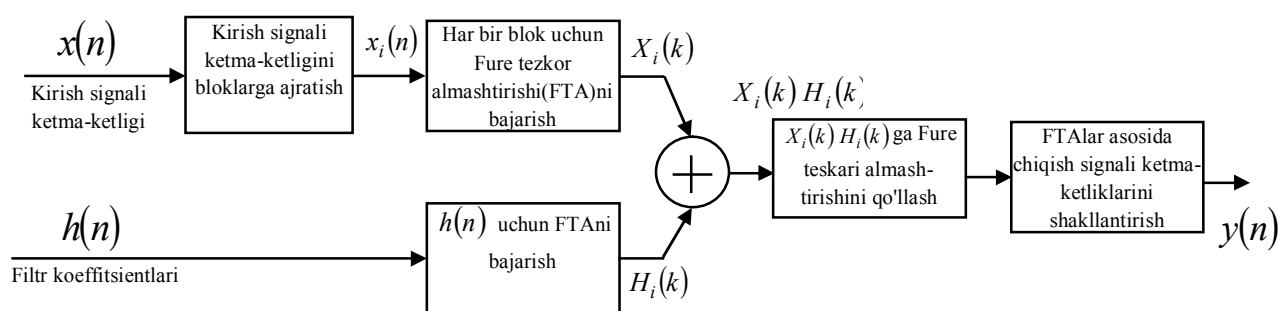


8.7-rasm. Impuls xarakteristikasi chekli filtrni amalga oshirish to'g'ri strukturasini (transversal filtri)

Impuls xarakteristikasi chekli filtrlarning (8.7-rasm) bunday struktura asosida yaratilganini ba'zan bir necha chiqish nuqtalari bor kechiktirish liniyasi yoki transversal filtri deb ataladi. Bundan tashqari, ya'ni boshqa ikki strukturadan foydalaniladi: chastotasi tanlangan struktura va tezkor o'rash strukturasidan ham foydalaniladi (8.8-rasm).



a



b

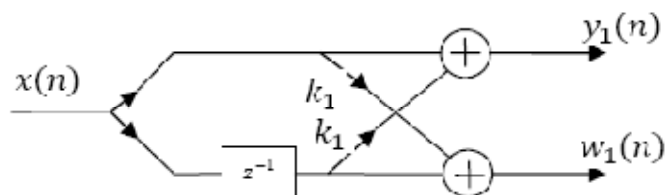
8.8-rasm. Impuls xarakteristikasi cheklangan filtrni tanlangan chastota asosida amalga oshirish strukturasi (a) va tezkor o'ram olish sxemasi (b)

Transversal strukturaga qaraganda tanlangan chastota (qiymati) bo'yicha hisoblash nisbatan samarador, chunki kam sonli koeffitsientlarni hisoblash talab etiladi. Ammo uni amalga oshirish oson emas, chunki u katta xotirani talab qiladi. Tezkor o'ram (svertka)dan Fure tezkor almashtirishi (FTA) afzalliklaridan foydalaniladi, bu usul yana shunisi bilan e'tiborliki, u yordamida signal spektrini ham hisoblash imkoni mavjud.

Bundan tashqari raqamli filtrlarni amalga oshirishning juda ko'p strukturaviy sxemalari mavjud, ammo ularning ko'pchiligi faqat ma'lum sohalarda foydalanish uchun mo'ljallangan.

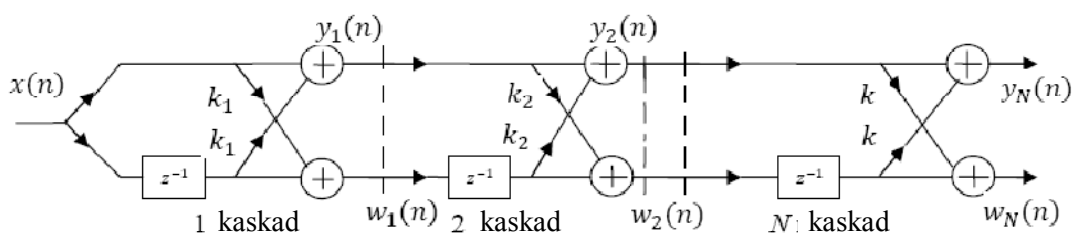
Misol uchun panjarasimon strukturadan nutq signallariga ishlov berishda va chiziqli bashoratlash sohalarda foydalaniladi. Panjarasimon strukturadan impuls xarakteristikasi chekli va cheksiz filtrlarini

ifodalashda ham foydalanish mumkin, bunda ular yagona kirish va bir juft chiqishlar orqali (8.9-rasm) standart ko‘rinishda tasvirlanadilar.

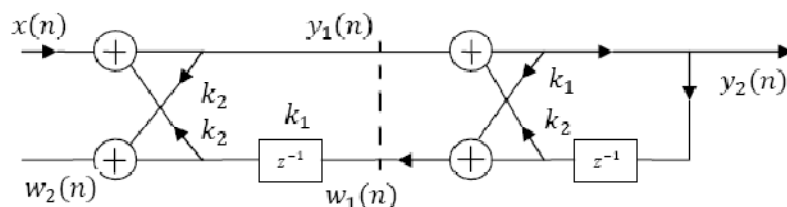


8.9-rasm. Panjarasimon struktura

U asosida olingan panjarasimon struktura orqali impuls xarakteristikasi chekli N nuqtali filtrni ta’riflovchi sxema 8.10a-rasmda keltirilgan va hamma qutblari ma’lum ikkinchi tartibli (faqat maxraj koeffisientlari keltirilgan) impuls xarakteristikasi cheksiz filtrni ifodalashga mo‘ljallangan struktura 8.10b-rasmda keltirilgan.



a



b

8.10-rasm. N kaskadli panjarasimon impuls xarakteristikasi chekli filtr (a) va ikki kaskadli panjarasimon hamma qutblari berilgan impuls xarakteristikasi cheksiz filtr strukturasi

8.3.4. Razryadlar soni cheklanganligining filtr tezkorligi va barqarorligiga ta’siri

Approksimatsiyalash va amalga oshirish bosqichlari filtrlarni cheksiz aniqlik bilan yoki juda yuqori aniqlik bilan ishlashini nazarda tutadi. Shuning bilan birga ularni amalga oshirishda filtr koeffisientlarini cheklangan sonli bitlar (odatda 8 dan 16 tagacha bitlar)

orqali ifodalash talab etiladi. Bundan tashqari farqlanish tenglamasidagi amallar aniqligi cheklangan arifmetikadan foydalanib amalga oshiriladi.

Razryadlardagi bitlar sonining cheklanganligi filtr tezkorligini kamayishiga olib keladi va natijada filtr barqarorligi yomonlashadi. Shuning uchun loyihalovchi ushbu holatlarni albatta e'tiborga olishi va filtr koeffisientlarini ifodalash uchun tegishli davomiyligni (bitlar sonini) tanlashi, filtr o'zgaruvchanlari (ya'ni, kirish va chiqish signallari o'lchamlari)ni va filtrda arifmetik amallarni bajarilishini e'tiborga olishi kerak. Filtr tezkorligini yomonlashishiga olib keluvchi sabablar quyidagilardan iborat.

- *Signalni filtr kirishi va chiqishida kvantlash.* Xususan, vaqt bo'yicha kirish signallarini kvantlash natijasida ARO'da hosil bo'ladigan shovqin – bu e'tiborga loyiq kattalik.

- *Koeffisientlarni kvantlash.* Ushbu jarayon impuls xarakteristikasi chekli va cheksiz filtrlar chastota xarakteristikalarining buzilishiga va impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlarning barqaror bo'lmasligiga olib kelishi mumkin.

- *Butunlash xatoligi.* Filtrlash uchun cheklangan aniqlikdagi arifmetikadan foydalanish natijalarini ifodalash qo'shimcha bitlar kiritilishini talab qiladi. Agar kvantlash natijasida olingan kodlar razryadi (bitlar soni) cheklangan bo'lsa, butunlash shovqini paydo bo'ladi. Natijada impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlarda barqarorlikning yomonlashishiga o'xshash holatlar yuz berishi mumkin.

- *To'lish.* Bu hodisa yig'ish natijasi "so'z" uchun ruxsat etilgan davomiylikdan katta bo'lganda ro'y beradi. Bu chiqish signali o'lchamlarining noto'g'ri bo'lishiga va impuls xarakteristikasi cheksiz filtrlar barqarorligi yomonlashishiga sabab bo'ladi.

Raqamli filtr sifat ko'rsatkichlarining yomonlashishi quyidagilarga bog'liq:

- 1) filtrlashda foydalaniladigan so'zlar uzunligi va arifmetika turiga;

- 2) filtr koeffisientlarini kvantlash va o'zgaruvchan koeffisientlarni tanlangan o'lchamlarga olib kelish usuliga;

- 3) filtr strukturasiga.

Ushbu sabablarni bilgan holda loyihalovchi va ishlab chiqaruvchi razryadlar soni cheklanganligining filtr tezkorligiga ta'sirini baholashi va tegishli chora-tadbirlar ko'rishini mumkin bo'ladi.

Filtrlarga qo'yilgan talablarga qarab ba'zi salbiy ta'sirlarni e'tiborga olmaslik mumkin. Misol uchun, agar filtr dastur shaklida yuqori darajali tilda bo'lib, kompyuter yordamida amalga oshirilsa, u holda koeffisientlarni kvantlash va butunlash xatoliklarini e'tiborga olmaslik mumkin. Kirish va chiqish signallarini filtr koeffisientlari va arifmetik amallar natijalariga real vaqtda ishlov berishda davomiyligi cheklangan so'zlar (odatda 8, 12 va 16 bit)dan foydalaniladi. Bu hollarda amalda hamma vaqt kvantlashni filtr tezkorligiga ta'sirini tahlil etish kerak.

8.3.5. Raqamli filtrni loyihalash

Raqamli filtr koeffisientlarini hisoblash unga mos amalga oshirish strukturasini tanlash, tanlangan davomiylidagi so'zlarga tegishli koeffisientlarni va filtr o'zgaruvchi argumentlarning raqamliga almashtirish natijasida filtr sifat ko'rsatkichlarining yomonlashishi ruxsat etilganidan katta emasligiga ishonch hosil qilgandan so'ng farqlanish tenglamalarini apparat yoki dastur darajasida amalga oshirish talab etiladi. Tanlangan usuldan qat'iy nazar filtr chiqishidagi signal har bir o'lcham uchun farqlanish tenglamasiga asoslangan tartibda hisoblanishi kerak (bunda vaqt bo'yicha amalga oshirish nazarda tutilgan).

Farqlanish tenglamalari (8.2) va (8.3) lardan ko'rinadiki $y(n)$ ni filtr chiqish signalini hisoblash, ko'paytirish, qo'shish, ayirish va kechiktirish amallari orqali bajariladi. Demak filtrni amalga oshirish uchun quyidagi asosiy tashkil etuvchilar bo'lishi talab qilinadi:

- xotira (masalan, PZU) filtr koeffisientlarini saqlash uchun;
- xotira (masalan, OZU) hozirgi va avvalgi kirish va chiqish signallarini xotirada saqlash uchun, ya'ni $\{x(n), x(n-1), \dots\}$ va $\{y(n), y(n-1), \dots\}$;
- apparat yoki dasturiy ko'paytirgich (ko'paytirgichlar);
- yig'uvchi yoki arifmetik mantiq sxemasi.

Raqamli filtrlarni ishlab chiqaruvchi unga tegishli asosiy ma'lumotlarni va undan ma'lum masalani yechish uchun mo'ljallanganligiga kafolat beradi. Raqamli filtrni yaratishda u bajaradigan vazifa – signallarga raqamli ishlov berish real vaqtda yoki modelda (paketli ishlov berish) foydalanishiga qarab turli struktura va elementlardan tashkil topgan bo'ladi.

Model vaqtda signallarga ishlov berishda hamma ma'lumotlar qandaydir xotira qurilmasida saqlanayotgan bo'ladi. Bu holat qandaydir tajriba natijalarini olish va so'ngra ularga ishlov berishda yuz beradi. Bunday hollarda raqamli filtr ko'p hollarda yuqori darajali dasturlash tilida amalga oshiriladi va universal kompyuterda bajariladi. Shunday qilib, signalga modeli ishlov berishni faqat dasturiy amalga oshirish ko'rinishda ta'riflash mumkin. Bunda ishlab chiqaruvchi signalga raqamli ishlov berish jarayonini tezlashtirish uchun qo'shimcha apparat vositalarini kiritishi mumkin.

Signallarga real vaqtda ishlov berishda filtrlardan quyidagilar talab etiladi: kirish signali o'lchami $x(n)$ bor vaqtda ishlash va chiqish signali $y(n)$ o'lchamini, kirish signali navbatdagi o'lchami paydo bo'lgungacha hosil qilish, yoki kirish signallari bloklariga proporsional bo'lgan chiqish signallari bloklarini olish (misol uchun, Fure tezkor almashtirishdan foydalanib). Agar diskretizatsiyalash chastotasi juda katta yoki yuqori tartibli filtr kerak bo'lsa real vaqtda filtrlash tezkor va maxsus apparat vositasini talab qilishi mumkin. Audiosignallar bilan ishlashda foydalanish uchun ko'p hollarda DSP56000 (Motorola) yoki TMS320C25 (Texas Instruments) firmalarining SRIB protsessorlari tezkorligi yetarli hisoblanadi. Bu protsessorlar tarkibida hamma talab qilinadigan asosiy bloklari, shu jumladan ko'paytirish apparaturalari bor. SRIB bloklarini ishlab chiqaruvchi (loyihalovchi) uning tarkibiga, ma'lumot manbai va uni oluvchi turiga qarab filtrga unga mos raqamli apparat bilan ta'minlangan kiritish-chiqarish interfeyslarini ham kiritishi mumkin (misol uchun, analog-raqam o'zgartirishlarda).

Nazorat savollari

- 1. Impuls xarakteristikasi chekli va cheksiz filtrlarning bir-biridan farqi nimada?*
- 2. Rekursiv va norekursiv filtrlarning bir-biridan farqi nimada?*
- 3. Impuls xarakteristikasi cheklangan filtrlar fazaviy xarakteristikasi qanday ko'rinishga ega?*
- 4. Raqamli filtrlarning barqarorligini qanday aniqlash mumkin?*
- 5. Impuls xarakteristikasi cheklangan filtrlarni loyihalash bosqichlari nimalardan iborat?*
- 6. Impuls xarakteristikasi cheklangan va cheklanmagan filtrlarning strukturaviy sxemalarini chizib ko'rsating.*

7. Chastotalar qiymati va tezkor o'rami orqali amalga oshiriladigan impuls xarakteristikasi cheklangan filtr strukturaviy sxemasini keltiring.

8. Impuls xarakteristikasi cheklangan filtr panjarasimon strukturaviy sxemasi.