

## 7. SIGNALLARNI UZATISHDA ULARGA ISHLOV BERISH

Vaqt bo'yicha diskretizatsiyalash natijasida uzluksiz signal  $u(t)$  bir-birini qamrab olmaydigan davomiyligi  $\Delta t_i$  bo'lgan oraliqlarga bo'linadi.

Diskretlash oralig'i  $\Delta t_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, M$ ) ning qanday vaqt oralig'ida davom etishiga qarab, ularni ikki guruhga bo'lish mumkin: bir xil davomiylilik va turli davomiylikka ega bo'lgan. Signalni qayta tiklash ham shunga mos ravishda amalga oshiriladi.

Diskretlash oralig'i davomiyligi bir xil bo'lgan signal deb  $T_s$  davomiylikka ega bo'lgan uzluksiz signaldan bir xil  $\Delta t = \text{const}$  vaqt oraliqlarida uning oniy qiymatlarini aniqlashga aytiladi. Bunda diskretlash oralig'i  $\Delta t$  yoki diskretlash chastotasi  $F_d = \frac{1}{\Delta t}$  diskretlanayotgan uzluksiz signal  $u(t)$  ning spektri haqidagi avvaldan ma'lum ma'lumotlar asosida tanlanadi.

Diskretlash oralig'ining bir xil bo'lishi diskretizatsiyalash va qayta tiklash algoritmining sodda bo'lishini ta'minlaydi. Ammo diskretizatsiyalanadigan uzluksiz signal spektrining o'zgarishi haqidagi ma'lumotlar avvaldan yetarli darajada ma'lum emasligi uni diskretlashda ortiqchaliklar hosil bo'lishiga olib keladi.

Vaqt bo'yicha diskretlash oralig'i  $\Delta t$  turlicha bo'lsa, bunday diskretizatsiyalash notekis diskretizatsiyalash deb ataladi. Notekis diskretizatsiyalash ikki turli bo'ladi: adaptiv va dasturiy.

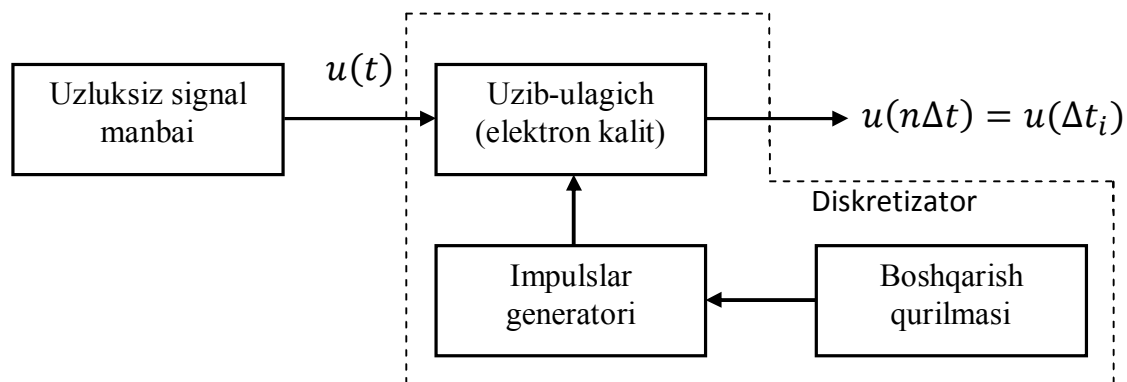
Adaptiv (moslashuvchi) diskretizatsiyalashda diskretlash oralig'i uzluksiz signalning spektri (tez va asta) o'zgarishiga mos ravishda o'zgarib boradi. Signalni adaptiv diskretizatsiyalash uni uzatishdagi ortiqchalikni sezilarli darajada kamaytiradi, buning natijasida aloqa kanalining xabar o'tkazish imkoniyati oshadi. Hozirda adaptiv impuls-kod modulyatsiyali signallardan foydalanishga asoslangan aloqa tizimlari mavjud.

Diskretlash oralig'ini dasturiy o'zgartirishga asoslangan aloqa tizimlarida diskretlash oralig'i operator tomonidan uzluksiz signalni tahlil etish asosida yoki oldindan o'rnatilgan ishlash dasturi asosida o'zgartirib turiladi.

## 7.1. Uzlüksiz signallarni bir xil oraliqlarda diskretizatsiyalash

Uzlüksiz signallarni bir xil oraliqlarda diskretizatsiyalashda  $\Delta t_i$  larning davomiyligi va diskretizatsiyalash chastotasi  $f_d$  o'zgarmas – doimiy bo'ladi.

Uzlüksiz signalni vaqt bo'yicha diskretizatsiyalovchi qurilma diskretizator deb ataladi. 3.2-rasmda diskretizatorning funksional sxemasi keltirilgan.



7.1-rasm. *Diskretizatorning funksional sxemasi*

Diskretizatorni uzlüksiz signalni ma'lum vaqtlarda elektron kalit yordamida uzib-ulovchi qurilma deb tahlil etish mumkin. Impulslar generatoridan elektron kalit kirishlaridan biriga berilayotgan signallar yordamida uning kirishiga berilgan uzlüksiz  $u(t)$  signal impulslar ketma-ketligiga o'zgartiriladi. Impulslar generatorining ish jarayoni boshqarish qurilmasi orqali boshqariladi. Bir xil vaqt oraliqlarida diskretlashda impuls generatoridan elektron kalitga berilayotgan impulslar chastotasi bir xil – o'zgarmas bo'ladi.

V.A. Kotelnikov tomonidan spektri yuqori chastotasi chegaralangan funksiya (signal) uchun teorema yaratilgan. Ushbu teorema quyidagicha ta'riflanadi: spektrining eng yuqori chastotasi  $F_m$  bilan chegaralangan funksiya (signal)  $u(t)$  o'zining  $\frac{1}{2F_m}$  sekund vaqt oraliqlarida olingan oniy qiymatlarining ketma-ketligi orqali to'liq qayta tiklanadi. Ushbu teoremaga asosan spektrining eng yuqori chastotasi  $\omega_m = 2\pi F_m$  bo'lgan uzlüksiz signal  $u(t)$  ni quyidagi qator orqali ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned}
u(t) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} u\left(\frac{k}{2F_m}\right) \frac{\sin \omega_m(t - k\Delta t)}{\omega_m(t - k\Delta t)} = \\
&= \sum_{n=-\infty}^{\infty} u(k\Delta t) \varphi_k(t).
\end{aligned} \tag{7.1}$$

bunda,  $\Delta t = \frac{1}{2F_m}$  – ikki qo‘shni diskretlash vaqti oralig‘idagi qiymat,  $u(k\Delta t) - u(t)$  uzluksiz signalning  $t = k\Delta t$  vaqt oraliqlarida olingan oniy qiymatlari.

(7.1) interpolyatsiyalash qatori – Kotelnikov qatori deb ataladi. Uzluksiz signal  $u(t)$  ni Kotelnikov qatori bilan interpolyatsiyalash mumkinligini ko‘rib chiqamiz. Spektri kengligi chegaralangan  $u(t)$  signal uchun Fure almashtirishini qo‘llab signal spektrini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j\omega t} dt, \tag{7.2}$$

bunda,  $|\omega| > \omega_m$  chastotalarda  $S(j\omega) = 0$  bo‘lishini e‘tiborga olish natijasida hamda past chastotani anglatuvchi  $F_m$  o‘rniga umumlashgan holatni e‘tiborga olgan holda  $\omega_m$  dan foydalanib, signalning kompleks spektri orqali Fure teskari almashtirishidan foydalanib uzluksiz signal  $u(t)$  ni aniqlaymiz:

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_m}^{\omega_m} \dot{S}(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \tag{7.3}$$

Signal spektri  $\dot{S}(\omega)$  ni (7.2) ifoda  $[-\omega_m; \omega_m]$  chastotalar oralig‘i uchun quyidagi qator ko‘rinishida ifodalash mumkin:

$$\dot{S}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}}. \tag{7.4}$$

(7.4) ifodadagi  $C_k$   $u(t)$  signal spektri tashkil etuvchilarining koeffisientlari bo'lib, u quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$C_k = \frac{1}{2\omega_m} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}} d\omega. \quad (7.5)$$

(7.3) va (7.5) ifodalarni taqqoslash shuni ko'rsatadiki ular bir-biri bilan  $\Delta t = \frac{\pi}{\omega_m}$  o'zgarmas kattalikkacha aniqlik bilan bir-biriga mos keladi, bunda uzluksiz vaqt  $t = -k\Delta t$  deb qabul qilinadi, natijada

$$C_k = \frac{\pi}{\omega_m} u(-k\Delta t). \quad (7.6)$$

(7.6) ifodani (7.4) ifodaga qo'yib  $u(t)$  signal spektri funksiyasini quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\dot{S}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\pi}{\omega_m} u(-k\Delta t) e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}}. \quad (7.7)$$

(7.7) formulani (7.3) formulaga qo'yamiz, bunda qator yig'indisi alohida tashkil etuvchilari  $k$  ning hamma musbat va manfiy qiymatlari uchun aniqlanishini e'tiborga olib  $k$  ondagi minus belgisini plyusga almashtirish mumkin. Bundan tashqari (7.7) qatorni Fure integraliga yaqinlashishini e'tiborga olib integrallash va yig'ish (qo'shish) amallarini bajarish ketma-ketligini almashtirish mumkin, ya'ni avval integrallash amalini so'ngra qo'shish amalini bajarish mumkin. U holda

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_m}^{\omega_m} e^{j\omega t} d\omega \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\pi}{\omega_m} u(-k\Delta t) e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}} = \\ &= \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} u(k\Delta t) \int_{-\omega_m}^{\omega_m} e^{j\omega(t-k\Delta t)} d\omega. \end{aligned} \quad (7.8)$$

(7.8) formuladagi integrallash natijasi

$$\int_{-\omega_m}^{\omega_m} e^{j\omega(t-k\Delta t)} d\omega = \frac{2 \sin \omega_m(t - k\Delta t)}{\omega_m(t - k\Delta t)}$$

ni e'tiborga olsak, (7.8) formula (7.1) ko'rinishni oladi.

(7.1) ifodadan ko'rindiki, spektri  $F_m$  chastota bilan chegaralangan  $u(t)$  signal o'zining

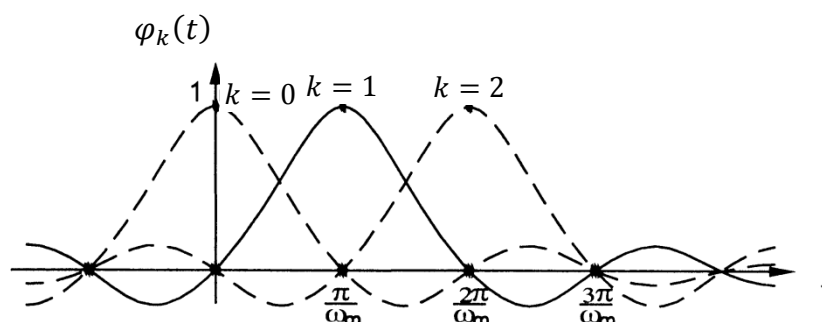
$$\Delta t = \frac{1}{2F_m} = \frac{\pi}{\omega_m} \quad (7.9)$$

oraliqlarda olingan  $u(k\Delta t)$  qiymatlari orqali qayta tiklanishi mumkin.

Uzluksiz signal ikki tashkil etuvchidan: birinchisi  $u(t)$  signalning  $k\Delta t$  vaqtlarda olingan oniy qiymatlari  $u(k\Delta t)$ ; ikkinchisi esa uzluksiz signalni vaqt bo'yicha asos (bazis) funksiyasi

$$\varphi_k(t) = \frac{\sin \omega_m(t - k\Delta t)}{\omega_m(t - k\Delta t)} \quad (7.10)$$

dan iborat bo'lib, bu funksiyaning grafigi 7.1-rasmida keltirilgan.



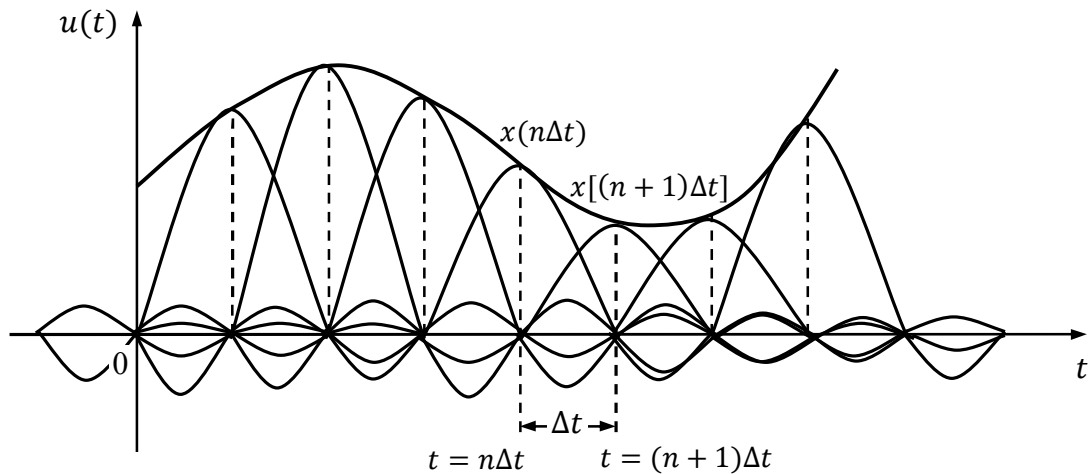
7.1-rasm. Vaqt bo'yicha ortogonal bazis (asos) funksiya

Oniy qiymat bazis funksiyasi quyidagi xossalarga ega:

1.  $t = k\Delta t$  vaqtlarda  $\varphi_k(k\Delta t) = 1$  va  $t = n\Delta t$  vaqtlarda  $\varphi_k(n\Delta t) = 0$ , bunda  $n - k$  ga teng teng bo'lmagan musbat yoki manfiy butun son;
2.  $\varphi_k(t)$  vaqt funksiyasining spektri zichligi  $|\omega| < \omega_m$  chastotalar oralig'ida bir tekis bo'lib, qiymati  $\frac{1}{2F_m} = \frac{\pi}{\omega_m}$  ga teng.

Uzluksiz signal  $u(t)$  ni  $\varphi_k(t)$  bazis funksiya orqali tasvirlashga tegishli chizma 3.4-rasmda keltirilgan. Vaqt bazis funksiyasi  $\varphi_k(t)$  ni ba'zan Kotelnikov funksiyasi deb ham ataladi.

(7.1) formulani keltirib chiqarishda uzluksiz signal  $u(t)$  Direxle shartiga javob beradi deb qabul qilingan. Shuning uchun olingan natijani  $t \rightarrow \infty$  da qiymati nolga teng bo'lmaydigan signallarga nisbatan qo'llash imkoniyatini bermaydi.



7.2-rasm. Uzluksiz signalni Kotelnikov qatori orqali qayta tiklashga tegishli chizma

Kotelnikov teoremasi spektri kengligi chegaralangan, cheksiz davomiylikka ega bo'lgan signallarga tegishli. Haqiqiy signallar ma'lum bir davomiylikka ega bo'ladi. Har qanday davomiyligi chegaralangan signal cheksiz keng spektrga ega bo'lib, (7.1) ifodani haqiqiy – real signallarga nisbatan qo'llash uni qayta tiklashda ma'lum darajada tiklangan signalning diskretizatsiyalangan uzluksiz signaldan farqlanishiga olib keladi, bunga sabab diskretizatsiyalash oralig'i (7.9) ni tanlash yoki diskretlash chastotasi  $f_d = 2F_m$  ni tanlashdagi noaniqlikdir. Shuning uchun Kotelnikov teoremasini qayta tiklangan signal  $v(t)$  uzatilgan diskretizatsiyalangan signal  $u(k\Delta t)$  lar asosida  $v(t) \equiv u(k\Delta t)$  aniqlikda amalga oshirish uchun qo'llash mumkin emas, amalda bunday aniqlik talab etilmasligi, aniqlik mezonini berilgan holatlarda foydalanish mumkin.

Davomiyligi  $T_c$  bo'lgan va spektri eng yuqori chastotasi  $F_m$  bo'lgan signaldan

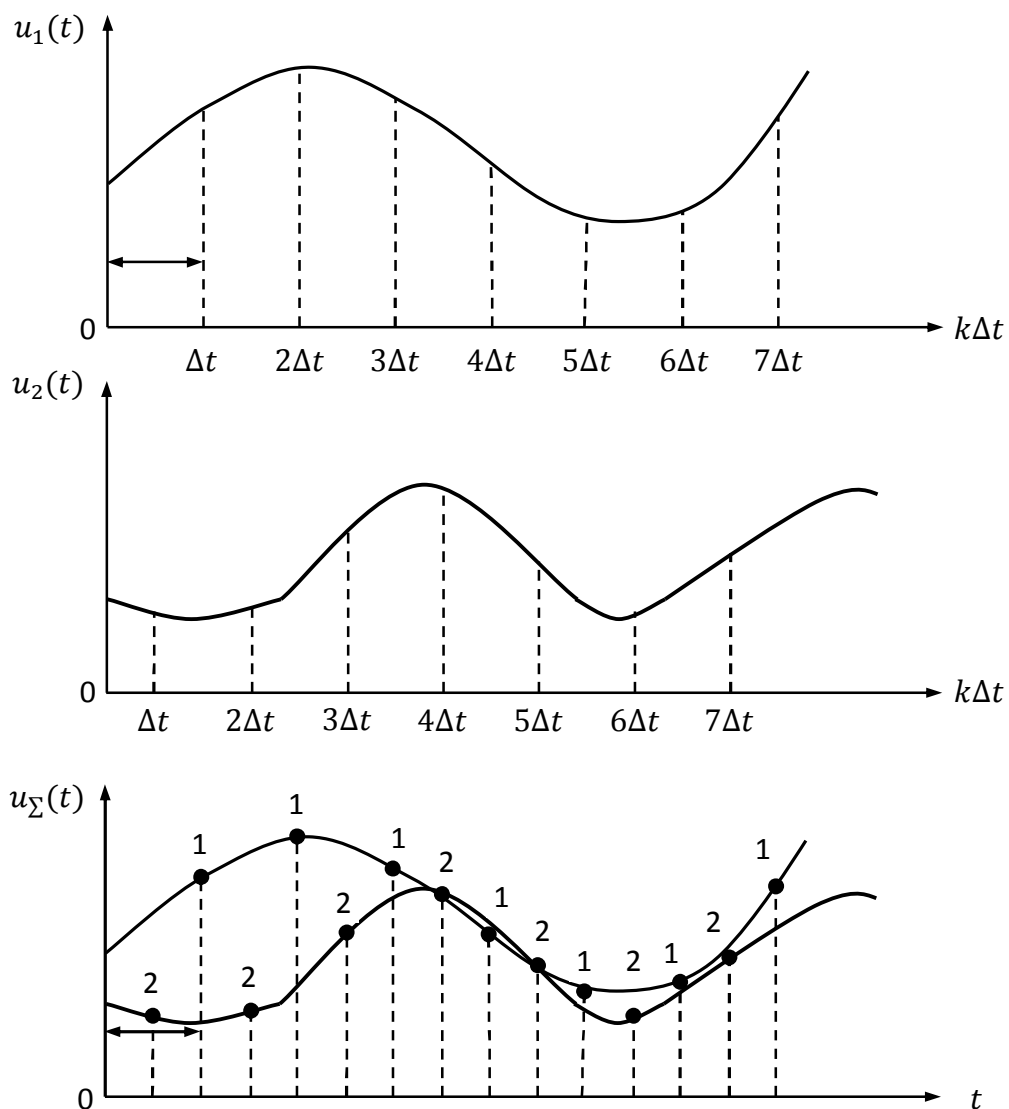
$$N = \frac{T}{\Delta t} = 2F_m T \quad (7.11)$$

ta bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan oniy qiymatlarni olish mumkin.

(7.11) ifodani e‘tiborga olib (7.1) formulani quyidagi ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$u(t) = \sum_{n=0}^{2F_m T} u(k\Delta t) \frac{\sin \omega_m(t - k\Delta t)}{\omega_m(t - k\Delta t)}. \quad (7.12)$$

$N$  ning qiymati  $u(t)$  signalning bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan bazis funksiyalari soniga teng bo‘lib, ba‘zan uni signalning erkinlik darajasi, bazasi deb ham ataladi.



7.3-rasm. Vaqt bo‘yicha zichlashgan aloqa tizimida guruh signalini shakllantirish

Uzluksiz signalni Kotelnikov qatori orqali ifodalash aloqa kanallarini vaqt bo'yicha zichlab, ikki qo'shni diskret vaqt oralig'ida boshqa axborot manbalaridan olingan signallarni uzatish imkoniyatini yaratadi. Signallarni ushbu asosda shakllantirish vaqt diagrammalari 7.3-rasmda keltirilgan.

Kotelnikov teoremasi impuls modulyatsiyasi signallarini shakllantirishda uning tashuvchisi vazifasini bajaruvchi impulslar takrorlanish chastotasini tanlash, har qanday spektri kengligi va davomiyligi cheklangan uzluksiz signallarni raqamli shaklda uzatish imkoniyatini beradi. Aloqa tizimida bir qator afzalliklarga ega bo'lgan raqamli sxemotexnikadan, signallarga raqamli ishlov berish usullaridan, axborotni raqamli shaklda xotirada saqlash, turli kodlash usullaridan foydalanib axborot uzatish xalaqitbardoshligini oshirish, signallarni regeneratsiya qilish, turli integral mikrosxemalardan aloqa tizimi qurilmalarida foydalanish har qanday signalni yagona raqamli shaklda uzatish imkoniyatini yaratdi.

## **7.2. Uzluksiz signallarni adaptiv diskretizatsiyalash**

Adaptiv diskretizatsiyalashda diskretlash oralig'i  $\Delta t_i$  turlicha bo'lib, diskretizatsiyalanayotgan signal sathining va spektrining o'zgarishiga qarab muntazam ravishda o'zgarib turadi, davriy ravishda takrorlanmaydi. Bunda diskretlash vaqti oraliqlari turlicha bo'ladi, uni tanlashda qabullash tomonida signalni qayta tiklash aniqligiga bo'lgan talab asos qilib olinadi. Shunday qilib, adaptiv diskretizatsiyalashda ma'lum aniqlik bilan signalni qayta tiklashga yetarli oniy qiymatlar – asos qiymatlar olinadi.

Adaptiv diskretizatsiyalangan signalni qayta tiklash uchun uzatish tomonida tanlangan diskretizatsiyalash vaqti  $\Delta t_i$  yoki har bir diskretizatsiyalash vaqti davomiyligi  $\Delta t = \Delta t_{i+1} - \Delta t_i$  haqidagi ma'lumot signali uzatilishi kerak.

Hozirda adaptiv diskretizatsiyalashning bir qator usullari va algoritmlari mavjud bo'lib, ulardan quyidagi ikki guruhni alohida ta'kidlash mumkin:

- uzatilgan signal  $u(t)$  ning asosiy xarakteristikalarini asosida qabul qilingan – qayta tiklangan  $v(t)$  signal bilan taqqoslash usuli;
- qayta tiklangan signalni doimiy o'zgarmas parametrlarga ega bo'lgan etalon signal  $v'(t)$  signal bilan taqqoslash usuli.



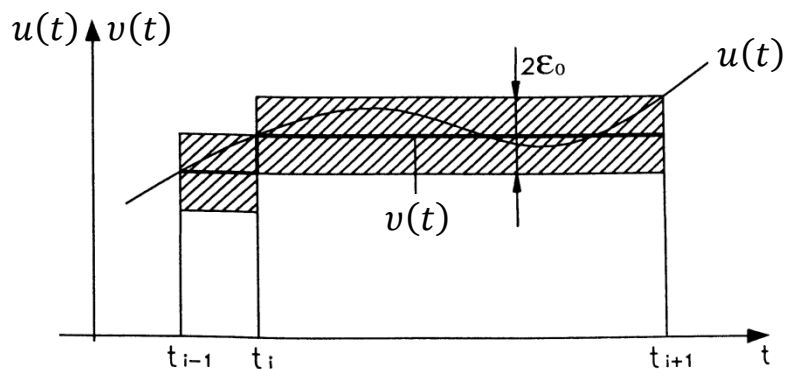
Bu ikki usuldan  $u(t)$  signalni adaptiv diskretizatsiyalashga va tiklangan signal  $v(t)$  bilan taqqoslash usuli amaliy ahamiyatga ega bo'lib, bu usuldan foydalanilganda ortiqchalikni kamaytirish samaradorligining yuqoriligiga erishish mumkin va signalni diskretizatsiyalab uzatishga tegishli ma'lumotlar hajmi ham sezilarli darajada qisqaradi. Umuman olganda adaptiv diskretizatsiyalashga asoslanib  $u(t)$  signal uzatilganda uni tiklashda  $t_{i+1} \div t_i = \Delta t$  vaqt oralig'ida  $u(t)$  ga talab etiladigan aniqlikni ta'minlovchi  $v(t)$  ni izlashdan iborat bo'ladi.

Adaptiv diskretizatsiyalashni shunday tashkil etish mumkin, bunda  $t_{i+1} \div t_i = \Delta t$  o'zgarmas vaqt davomiyligida qabullangan  $v(t)$  signalning turi yoki uni talab darajasidagi aniqlik mezonini qoniqtiradigan darajada yaqinlashishi, yoki talab darajasidagi yaqinlik darajasi va signal  $v(t)$  shakli saqlangan holda uning davomiyligi  $\Delta t_i$  o'zgarishi mumkin. Ba'zan har ikki usulda adaptiv diskretizatsiyalash asosida signalni qayta tiklash usulidan foydalanish mumkin.

Adaptiv diskretizatsiyalash quyidagi ikki usulda ham amalga oshirilishi mumkin. Birinchisi, diskretizatsiyalash oralig'i  $\Delta t$  o'zgarmas saqlangan holda  $u(t)$  ga yaqinlashuvchi funksiya turi va uning yaqinlashish darajasi o'zgartiriladi. Ikkinchisi yaqinlashuvchi funksiya turi va yaqinlashish darajasi o'zgarmas saqlab qolingan holda diskretizatsiyalash oralig'i  $\Delta t$  o'zgartiriladi. Umuman olganda tiklangan signal  $v(t)$  ni talab darajasida  $u(t)$  ga yaqinlashtirish uchun yuqorida keltirilgan har ikki usuldan birgalikda foydalanish mumkin.

Amalda vaqt bo'yicha diskretlash oralig'i  $\Delta t = \text{const}$  bo'lmagan adaptatsiya, nolinch va birinchi darajali algebraik polinomdan foydalanish usulidan keng foydalaniladi. Adaptiv diskretizatsiyalashda  $v(t)$  ning  $u(t)$  ga yaqinlashish darajasini eng kichik absolyut orqali baholash mezoni asosida ko'rib chiqamiz. Adaptiv diskretizatsiyalashda nolinch darajali polinomni qo'llab ekstrapolyatsiya usulidan foydalanilganda uzluksiz signal  $u(t)$  ning  $\Delta t_i$  vaqtdagi oniy qiymati undan bitta oldingi diskretizatsiyalash vaqti  $\Delta t_{i-1}$  dagi oniy qiymati bilan taqqoslanadi.

Masalan, diskretizatsiyalangan signalning  $t_i; t_{i+1}$  vaqt oralig'idagi qiymati  $v(t) = u(t_i)$  qilib tanlanadi. Bunda  $u(t_i)$  – uzluksiz signalning  $t_i$  vaqtdagi oniy qiymati (7.4-rasm).



7.4-rasm. Nolinchi darajali polinom bilan adaptiv diskretizatsiyalash

Diskretizatorida  $u(t)$  ning  $t_i; t_{i+1}$  vaqtlardagi oniy qiymatlari farqi  $\Delta u = u_{i+1} - u_i$  aniqlanadi va ushbu farqning moduli (absolyut farqi) ruxsat etilgan xatolik  $\varepsilon_0$  bilan taqqoslanadi. Navbatdagi  $u(t)$  ning oniy qiymatini olish vaqti  $t_{i+1}$   $v(t)$  ning  $u(t)$  dan farqi  $|\Delta u(t)| = \varepsilon_0$  qilib olinadi. Nolinchi darajali polinomdan foydalanish usuli adaptiv diskretizatsiyalash qurilmasida keng qo'llaniladi.

Adaptiv diskretizatsiyalashda birinchi darajali polinomdan foydalanilganda  $t_i; t_{i+1}$  vaqt oralig'ida qayta tiklangan signal  $v(t)$  quyidagicha aniqlanadi:

$$v(t) = u(t_i) + [u'(t_i)] \cdot t. \quad (7.13)$$

Bunda diskretizatsiyalash qurilmasida har bir  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$  vaqt oralig'ida generator  $u(t)$  ga  $\Delta u(t)$  xatolik bilan yaqinlashuvchi  $v(t)$  signalni shakllantiradi va  $u(t)$  ning oniy qiymatlarini olish – diskretizatsiyalash vaqtida  $|\Delta u(t)| = \varepsilon_0$  bo'lishi talab etiladi. Bu usuldan foydalanilganda  $t_i; t_{i+1}$  vaqt oraliqlarida  $u(t)$  ga talab darajasidagi aniqlik bilan yaqinlashuvchi  $v(t)$  ni aniqlash uchun  $u(t)$  signalni differensiallash kerak bo'ladi.

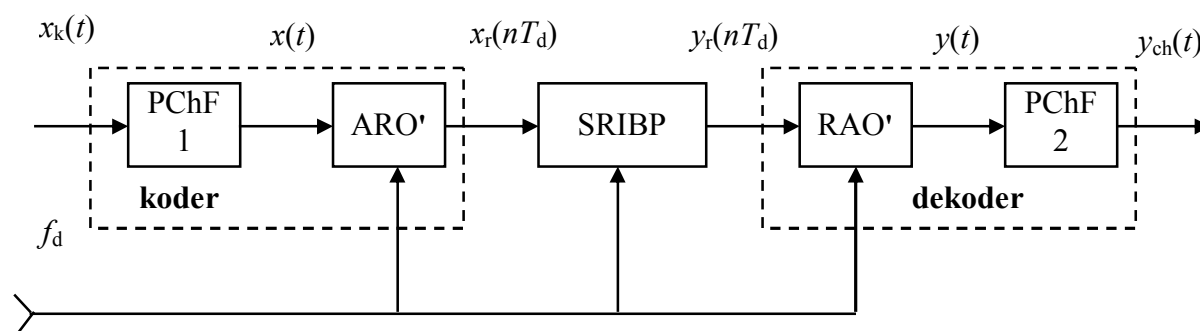
Shuni alohida ta'kidlash kerakki, birinchi darajali polinomdan foydalanib adaptiv diskretizatsiyalashni amalga oshirish qurilmasi nolinchi darajali polinomdan foydalanib adaptiv diskretizatsiyalashga nisbatan murakkab bo'ladi.

Etalon (namunaviy) yaqinlashtiruvchi funksiya (signal)lar asosida adaptiv diskretizatsiyalash usulidan foydalanilganda uzluksiz signal  $u(t)$  dan oniy qiymatni olish vaqtidagi signal etalon (namunaviy) signallar generatori shakllantirayotgan  $z(t)$  signallar bilan taqqoslash

asosida aniqlanadi, natijada tiklangan signal  $v(t)$  ning uzatilayotgan  $u(t)$  signaldan diskretlash vaqtidagi farqi  $\Delta u(t) \leq \varepsilon_0$  bo'lishi ta'minlanadi.

### 7.3. Signallarga raqamli ishlov berish umumlashgan sxemasi

Birlamchi kirish analog signali  $x_k(t)$  ni boshqa chiqish analog signali  $y_{ch}(t)$  ga berilgan algoritm asosida raqamli hisoblash texnikasi yordamida o'zgartirish jarayoni ketma-ketligi 7.5-rasmda keltirilgan.



7.5-rasm. Signallarga raqamli ishlov berish umumlashgan sxemasi

Signallarga raqamli ishlov berishda quyidagi uch bosqichni alohida ajratish mumkin:

- birlamchi signal  $x_k(t)$  dan raqamli  $x_r(nT_d)$  ni shakllantirish;
- raqamli signal  $x_r(nT_d)$  asosida raqamli  $y_r(nT_d)$  signalini shakllantirish;
- natijaviy chiqish analog signal  $y_{ch}(t)$  ni raqamli  $y_r(nT_d)$  asosida shakllantirish.

SRIB umumlashgan sxemasida bu uch bosqichga uch funksional qurilma mos keladi:

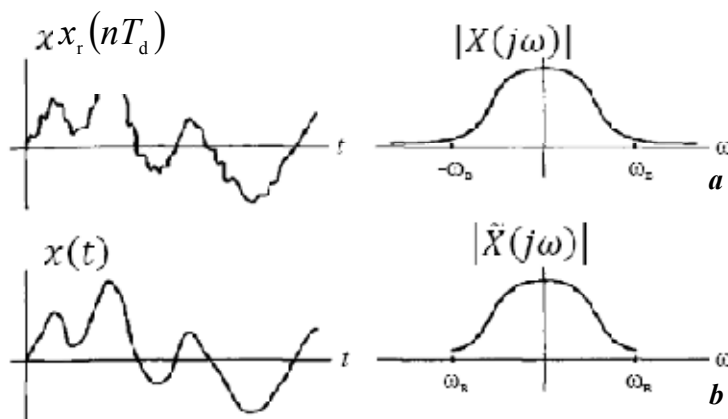
- koder;
- SRIB protsessori;
- Dekoder.

Birinchi bosqichda koder birlamchi kirish analog signal  $x_k(t)$  ni  $x_r(nT_d)$  raqamli shaklga keltiradi, chunki bu shakllantirishni amalga oshirmasdan signallarga raqamli ishlov berish umuman mumkin emas. Koder tarkibiga analog past chastotalar filtri (PChF-1) va analog-raqam o'zgartirgich (ARO') kiradi. Past chastotalar analog filtri birlamchi signal  $x_k(t)$  spektri  $x(j\omega)$  ni chegaralashga xizmat qiladi.

Birlamchi signal spektrini chegaralash Kotelnikov teoremasi talabidan kelib chiqadi, chunki bu teoremaga asosan diskretlash chastotasi  $f_d$  quyidagi shart asosida tanlanadi:  $f_d \geq 2f_{yu}$ , bunda  $f_{yu}$  – signal spektri eng yuqori chastotasi.

Signal spektrini chegaralash imkoniyati uning energiyasining oʻziga xos xususiyatiiga bogʻliq: signal energiyasining asosiy qismi  $f \leq f_{yu}$  da toʻplangan, yaʼni signal spektral tashkil etuvchilari amplitudasi qandaydir  $f > f_{yu}$  dan boshlab keskin kichiklashadi. Signal yuqori chastotasi  $f_{yu}$  ni chegaralash signal turiga va yechiladigan masalaga bogʻliq. Audio va videosignallarga ishlov berishda  $f_{yu}$  ushbu signallarni qabullash impuls xarakteristikasi fiziologik xususiyatlariga bogʻliq. Misol uchun, standart telefon signali uchun  $f_{yu} = 3,4$  kHz va minimal diskretlash chastotasi  $f_d = 8$  kHz.

PChF chiqishida chastotasi spektri chegaralangan (finit)  $x(t)$  spektri  $\tilde{x}(j\omega)$  boʻlgan analog signal shakllantiriladi (7.6-rasm). Analog-raqam oʻzgartirgich  $x(t)$  signalni diskretlash va kvantlash natijasida oʻz chiqishida raqamli  $x_r(nT_d)$  signalni shakllantiradi.



7.6-rasm. Signallar va ularning PChF kirishi (a) va chiqishidagi (b) amplituda spektrlari

*Vaqt boʻyicha diskretizatsiyalash* (oddiy diskretizatsiyalash) jarayoni analog  $x(t)$  signal dan diskretlash odimi davri  $T_d$  ga teng oraliqlarda uning oniy qiymat (hisob)larini aniqlashdan iborat. Raqamli signal  $x_r(nT_d)$  oʻlchovi  $x(t)$  signalning  $t = nT_d$  vaqtdagi oniy qiymatlariga teng (mos) keladi:

$$x_r(nT_d) = x(t)|_{t=nT_d}$$

*Sath bo'yicha kvantlash* (kvantlash) raqamli signal  $x_r(nT_d)$  ning aniq o'lchovlari  $x_r(nT_d)$  larini cheklangan razryadli ikkilik sonlar – kvantlangan o'lchov  $x_r(nT_d)$  lar orqali ifodalash maqsadida amalga oshiriladi. Buning uchun diskret signal  $x(nT_d)$  ning dinamik diapazoni soni cheklangan diskret sathlariga – kvantlash sathlariga bo'linadi va har bir o'lchovga ma'lum qoida asosida unga eng yaqin bo'lgan sathlardan biri biriktiriladi. Kvantlash sathlari umumiy sathlar soni  $R$  ga bog'liq ravishda razryadlari soni  $b$  ga teng bo'lgan ikkilik kod bilan kodlanadi:

$$R \leq 2^b,$$

bundan  $b = \text{int}(\log_2 R)$ ,  $\text{int}$  – olingan natija yuqori tomondagi butun sonni olish amalini bajarishini anglatadi.

Kvantlangan o'lchov  $x_r(nT_d)$  ni ( $n = 0, 1, \dots$ ) kodlash natijasida olingan ikkilik signal raqamli signal deb ataladi.

Analog signalni raqamliga o'zgartirish natijasidagi kvantlash xatoligi  $\varepsilon_{kv}(n)$  avvaldan ma'lum va tasodifiy qismini baholash quyidagicha ifodalandi:

$$\varepsilon_{kv}(n) = x(nT_d) - x_r(nT_d).$$

Ikkinchi bosqichda SRIB protsessori raqamli signal  $x_r(nT_d)$  ni raqamli signal  $y_r(nT_d)$  ga berilgan algoritm asosida o'zgartiradi. SRIB protsessori (SRIBP) o'rniga signallarga raqamli ishlov berish maxsus dastur asosida amalga oshirilishi mumkin.

Umuman olganda SRIB qurilmalari (SRIBP yoki dasturiy amalga oshirilishi) real vaqt yoki noreal vaqtlarda ishlashi mumkin. Signallarga real vaqtda ishlov berish kirish signali  $x(t)$  ning o'lchovlari  $x_r(nT_d)$  ( $n = 0, 1, \dots$ ) ning uning kirishi tezligiga qarab shu onda amalga oshirilishi kerak va quyidagi talablarni qondirishi lozim.

-  $y_r(nT_d)$  ning o'lchovlarini hisoblash sikli vaqti  $\Delta t_s$   $x_r(nT_d)$  ning ikki qo'shni o'lchovlari orasidagi vaqtdan katta bo'lmasligi, ya'ni diskretlash vaqti  $T_d$  dan kichik bo'lishi kerak:

$$\Delta t_s \leq T_d,$$

- protsessor takt chastotasi  $x_r(nT_d)$  signal diskretlash chastotasi  $f_d$  dan ancha katta bo'lishi kerak,

$$f_r \gg f_d.$$

Oxirgi talab  $y_r(nT_d)$  bitta o'lchamini hisoblashga kerakli SRIB algoritmlaridagi bajarishi kerak bo'ladigan amallar soni juda ko'pligidan kelib chiqadi.

Misol uchun, diskretlash chastotasi 8 kHz bo'lgan standart telefon signali uchun takt chastotasi 6 MHz dan kichik bo'lmasligi kerak. Birlamchi analog signal  $x(t)$  ni raqamli aloqa kanalari, shu jumladan Internet orqali uzatish ularga real vaqtda ishlov berishni talab qiladi. SRIBlar real vaqtda ishlov berishini talab qiladigan vazifalarga quyidagilar kiradi: signallarni qidirib topish, filtrlash, siqish, tanlash va h.k.

Signallarni tadqiqot qilish bilan bog'liq bo'lgan SRIB noreal vaqtda bajarilishi mumkin. Noreal vaqtda SRIB vazifalariga quyidagilar kiradi: audio va video signallarga studiyada ishlov berish, turli fizik tabiiy kattaliklarni elektr signaliga o'zgartirib beruvchi (datchik) qurilmalardan olingan ma'lumotlarga ishlov berish va boshqalar.

Uchinchi bosqichda raqamli signal  $y_r(nT_d)$  asosida dekoder natijaviy chiqish signali  $y_{ch}(t)$  ni shakllantiradi. Dekoder tarkibiga raqam-analog o'zgartirgich (RAO) va silliqlovchi past chastotalar filtri (PChF-2) kiradi. Raqam-analog o'zgartirgich raqamli signal  $y_r(nT_d)$  ni zinasimon analog signal  $y(t)$  ga aylantiradi. Silliqlovchi filtr RAO chiqishidagi  $y_{ch}(t)$  dagi zinasimon o'zgarishlarni tekislaydi.

## 7.4. Impulslar modulyatsiyasi

Modulyatsiyalanadigan impulslar ketma-ketligi chastotasi  $V.A.$  Kotelnikovning uzluksiz signallarni diskretlash haqidagi teoremasi asosida aniqlanadi, bunda impulslar takrorlanish chastotasi  $f_i$  modulyatsiyalovchi analog signal maksimal chastotasi  $F_m$  dan kamida ikki barobar katta bo'lishi shart.

Turli parametrlari modulyatsiyalangan impulslar ketma-ketliklari vaqt diagrammalari 7.7-rasmda keltirilgan.

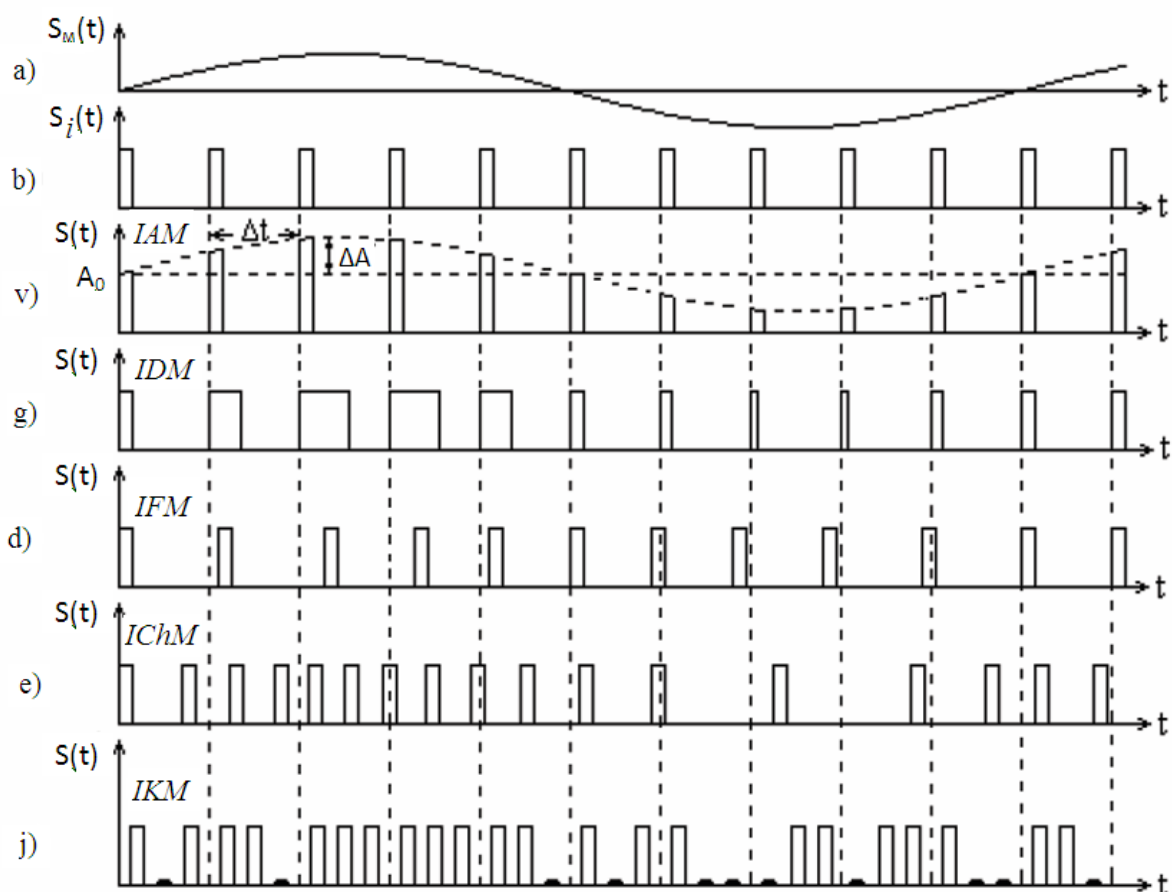
1. **Impuls amplitudasi modulyatsiyasi** (IAM), bunda impulslar ketma-ketligi amplitudalari uzatilayotgan xabarga mos ravishda o'zgaradi. Impulslar amplitudasi modulyatsiyalanganda impuls amplitudasi quyidagicha o'zgaradi:

$$A(t) = A_0 + \Delta A[u(t)].$$

IAM signallar ikki xil bo'lishi mumkin:

a) birinchi tur IAM-I, bunda impulslar oniy qiymatlari modulyatsiyalovchi xabarga mos ravishda o'zgaradi;

b) ikkinchi tur IAM-II, bunda impulslar amplitudasi uning davomiyligi  $\tau_0$  da o'zgaras bo'lib, modulyatsiyalovchi signalning takt nuqtasidagi qiymatiga mos keladi (7.7v-rasm).



7.7-rasm. Turli parametrlari modulyatsiyalangan impulslar ketma-ketliklari vaqt diagrammalari

2. **Impuls davomiyligi modulyatsiyasi** (IDM), bunda uzatilayotgan xabarga mos ravishda impulslar (kengligi) davomiyligi  $\tau_0$  o'zgaradi. Impuls davomiyligi modulyatsiyalanganda impuls kengligi quyidagicha o'zgaradi:

$$\tau_0(t) = \tau_0 + 2\Delta\tau_m[u(t)],$$

bunda,  $\Delta\tau_m$  – impulsning bir tomonga maksimal kengayishi.

IDM ikki turli bo'lishi mumkin (7.7g-rasm):

a) impulsning takt chizig'iga nisbatan faqat bir tomonga – orqa tomonga  $\Delta\tau(t)$  ga uzatilayotgan xabar signali amplitudasiga mos ravishda kengayishi;

b) impulsning takt chizig'iga nisbatan har ikki tomonga uzatiliyotgan xabar amplitudasiga mos ravishda  $\Delta\tau(t)$  ga kengayishi (old va orqa frontning bir hilda surilishi);

3. **Impuls fazasi modulyatsiyasi** (IFM), bunda uzatilayotgan xabarga mos ravishda impulsning holati takt chizig'iga nisbatan chapga yoki o'ngga siljiydi (davomiyligi  $\tau_0$  o'zgaras saqlanib qoladi, 7.7d-rasm). Impuls fazasi modulyatsiyalanganda uning fazasi (boshlang'ich holati) takt chizig'iga  $kT_i$  nisbatan oldiga yoki orqaga siljiydi, ya'ni

$$t_k = \theta(t) = kT_i + \Delta\tau_m[u(t)].$$

4. **Impuls chastotasi modulyatsiyasi** (IChM), bunda impuls takrorlanish chastotasi modulyatsiyalovchi xabar amplitudasiga mos ravishda  $\pm\Delta f_i$  ga o'zgaradi (7.7e-rasm). Impuls chastotasi modulyatsiyalanganda ularning takrorlanish chastotasi  $u(t)$  xabarga mos ravishda kattalashadi va kichiklashadi.

$$f_T = f_i + \Delta f_i[u(t)].$$

IFM va IChM signallarni umumlashtirgan holda vaqt bo'yicha modulyatsiyalangan impuls – impuls vaqt modulyatsiyasi (IVM) deb ataladi.

5. **Impuls kod modulyatsiyasi** (IKM), bunda birlamchi analog xabar (signal) diskretlash va kvantlash natijasida raqamli kodlangan diskret xabarga aylantiriladi va har bir takt chizig'i vaqt oralig'ida



ushbu kodlar kombinatsiyasiga mos keluvchi “1” va “0” elementar signallar ketma-ketligi shakllantiriladi. Ushbu kodlar ketma-ketligi impulslari yuqori chastotali garmonik tebranish signalining asosiy parametrlaridan birini modulyatsiyalashi natijasida: IKM-AM, IKM-ChM, IKM-NFM signalalr shakllantiriladi.

## 7.5. Impuls amplitudasi modulyatsiyalangan signal spektri

To‘rtburchak shaklidagi videoimpulslar ketma-ketligini past chastotali bir tonli signal  $u(t) = U_m \cos \Omega t$  bilan IAM-I signal spektrini aniqlaymiz. Modulyatsiyalovchi xabar signali  $u(t) = 0$  bo‘lgan holat uchun videoimpulslar ketma-ketligi spektri quyidagilardan tashkil topgan bo‘ladi.

$$s(t) = \frac{A_0 \tau_i}{T} \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i / 2)}{k\omega_1 \tau_i / 2} \cos k\omega_1 t \right], \quad (7.14)$$

bunda,  $A_0$ ,  $T$ ,  $\omega_1 = 2\pi/T$ ,  $\tau_i$  – amplituda, impulslar takrorlanish davri, chastotasi va impulslar davomiyligi.

Impulslar ketma-ketligi amplituda modulyatsiyasi natijasida quyidagi qonuniyat bo‘yicha o‘zgaradi:

$$u(t) = A_0(1 + m \cos \Omega t), \quad m = \frac{kU_m}{A_0}.$$

Bu holda

$$s(t) = A_0 [1 + m \cos \Omega t] \frac{\tau_i}{T} \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i / 2)}{k\omega_1 \tau_i / 2} \cos k\omega_1 t \right]. \quad (7.15)$$

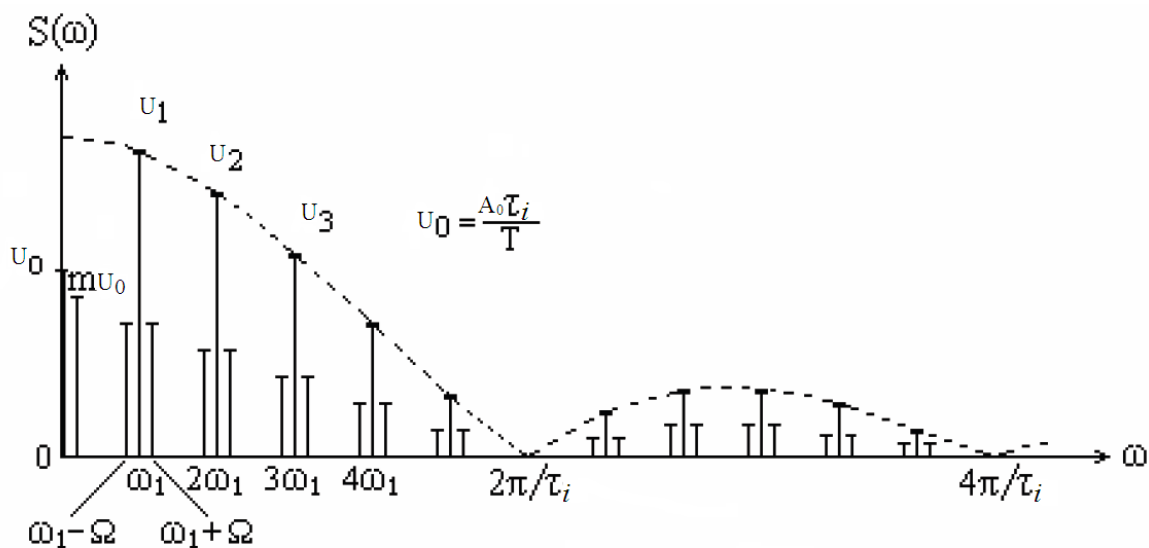
Uncha murakkab bo‘lmagan trigonometrik shakl o‘zgartirishlardan so‘ng IAM signal uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\begin{aligned} s(t) = & A_0 \frac{\tau_i}{T} \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i / 2)}{k\omega_1 \tau_i / 2} \cos k\omega_1 t \right] + mA_0 \frac{\tau_i}{T} \cos \Omega t + \\ & + mA_0 \frac{\tau_i}{T} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i / 2)}{k\omega_1 \tau_i / 2} [\cos(k\omega_1 + \Omega)t + \cos(k\omega_1 - \Omega)t]. \end{aligned} \quad (7.16)$$

(7.15) va (7.16) ifodalarni bir tonli xabar signali  $u(t) = U_m \cos \Omega t$  bilan modulyatsiyalash natijasida olingan IAM signal spektri oddiy modulyatsiyalanmagan impulslar spektridan quyidagilar bilan farqlanadi:

- modulyatsiyalovchi signal chastotasi  $\Omega$  ga teng tashkil etuvchisi borligi bilan;
- modulyatsiyalanmagan impulslar ketma-ketligi spektrining har bir tashkil etuvchisi yonida  $k\omega_1 \pm \Omega$  chastotali yon tashkil etuvchilari borligi bilan (7.8-rasm).

Agar impulslar ketma-ketligi murakkab shakldagi (davriy bo'lmagan) xabar signali bilan modulyatsiyalansa, u holda yuqori chastotali yon spektr tashkil etuvchilari soni va past chastotali spektr tashkil etuvchilari soni ko'payadi. Ushbu IAM signal spektrida past chastotali ( $\Omega$ ) tashkil etuvchining borligi, uning detektorlanishini past chastotalar filtri yordamida amalga oshirish imkoniyatini beradi. Past chastotaga eng yaqin bo'lgan IAM signal spektri tashkil etuvchisi chastotasi  $k\omega_1 - \Omega$  ga teng bo'lib, past chastotali tashkil etuvchilarni ajratib olishni osonlashtirish uchun  $\omega_1 > 2\Omega$  sharti bajarilishi talab etiladi.



7.8-rasm. IAM signal spektri

Boshqa tur impuls modulyatsiyasi signallarining spektrlari ham IAM signal spektri kabi aniqlanadi. Bunda modulyatsiyalanmagan impuls spektri ifodasidagi tegishli o'zgaruvchini modulyatsiyalanadigan

parametrni modulyatsiyalovchi  $u(t)$  ga mos ravishda o'zgartirish va uni tashkil etuvchilarga yoyish kerak bo'ladi.

### **Nazorat savollari**

1. Diskretlash oralig'i nechta guruhga bo'linadi?
2. Diskretizatorning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
3. Adaptiv diskretizatsiyalash afzalliklari nimadan iborat?
4. Signalga ishlov berish umumlashgan strukturaviy sxemasini chizing va har bir tashkil etuvchisining vazifasini aytib bering.
5. Amplitudasi, chastotasi va fazasi 110010 ketma-ketligi bilan manipulyatsiyalangan signallar vaqt diagrammalarini chizing.
6. Impulslar ketma-ketligidan tashuvchi sifatida foydalanib qanday modulyatsiya turlarini amalga oshirish mumkin va ularning vaqt diagrammalari uzluksiz kosinusoidal signal bilan modulyatsiyalanganda qanday ko'rinishda bo'ladi?
7. Bir past chastota  $\Omega$  yoki  $F$  bilan turli impuls modulyatsiyalangan signallar uchun analitik ifodalarni yozing va tushuntirish bering.
8. Bir past chastota  $\Omega$  yoki  $F$  bilan impuls modulyatsiyalangan signallar spektri matematik ifodalarini yozing va spektr diagrammalarini chizing, ularni uzaro taqqoslang.
9. Impuls amplitudasi modulyatsiyalangan signal spektri qanday hisoblanadi va spektrogrammasini chizib bering.