5.5. Fure almashtirishning xossalari

Signal $s(t)$ va uning spektri $\dot{S}(\omega)$ oralig‘ida yagona bog‘liqlik mavjud. Signal shakliga o‘zgartirish kiritish natijasida uning spektri ham o‘zgaradi. Quyida signallarga ishlov berishda yuz beradigan asosiy o‘zgarishlar va ularga mos ravishda signal spektrining o‘zgarishlarini ko‘rib chiqamiz.

5.5.1. Signalni vaqt bo‘yicha surish

Misol uchun $s_1(t)$ signal $t_1 < t < t_2$ vaqt orasida mavjud bo‘lib, $\dot{S}_1(\omega)$ spektr zichligiga ega bo‘lsin. Ushbu signal $s_1(t)$ ni shaklini saqlagan holda uni t_0 ga kechiktirsak, u holda vaqtning yangi funksiyasi $s_2(t)$ ni olamiz, ya’ni $s_2(t) = s_1(t - t_0)$ bo‘lib, endi bu signal $t_1 + t_0$ dan $t_2 + t_0$ gacha vaqt oralig‘ida mavjud bo‘ladi. (5.31) ifodaga asosan $s_2(t)$ signalning spektri zichligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{S}_2(\omega) = \int_{t_1+t_0}^{t_2+t_0} s_2(t)e^{-j\omega t}dt = \int_{t_1+t_0}^{t_2+t_0} s_1(t - t_0)e^{-j\omega t}dt. \quad (5.38)$$

Yangi o‘zgaruvchi $\tau = t - t_0$ ni kiritib (5.38) ifoda o‘rniga quyidagi ifodani olamiz:

$$\dot{S}_2(\omega) = e^{-j\omega t_0} \int_{t_1}^{t_2} s_1(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau = e^{-j\omega t_0}\dot{S}_1(\omega). \quad (5.39)$$

(5.39) ifodadan ko‘rinadiki signal $s(t)$ ni $\pm t_0$ ga siljitish natijasida uning spektri $\dot{S}(\omega)$ ning faza xarakteristikasi $\pm\omega t_0$ ga o‘zgaradi. Aksincha, agar signal $s(t)$ spektral tashkil etuvchilarini $\varphi = \pm\omega t_0$ ga o‘zgartirsak, u holda u bilan chiziqli bog‘liq ravishda har bir spektr tashkil etuvchisi $\pm\omega t_0$ ga o‘zgaradi va signal $\pm t_0$ vaqtga kechikadi yoki ilgarilaydi. Signal spektri amplituda-chastota xarakteristikasi ushbu signalning vaqt o‘qida egallagan joyiga bog‘liq emas.

Fure almashtirishning yuqorida keltirilgan xossasi chiziqli radiotexnik tizimlardan signallar buzilishsiz o‘tishlarini ta’minlashi uchun qo‘yiladigan talabni keltirib chiqaradi: chiziqli RTTning amplituda-chastota va faza-chastota xarakteristikasi signal spektri (yoki signal spektri quvvatining asosiy qismi) joylashgan qismida chiziqli bo‘lishi kerak. Misol uchun, chiziqli RTT uzatish koeffisientining moduli $K(\omega) = K_0$ va faza-chastota xarakteristikasi chastotaning chiziqli funksiyasi $\varphi(\omega) = -t_0$ bo‘lsin (5.7-rasm), chiziqli RTT kirishiga spektri zichligi $\dot{S}(\omega)$ bo‘lgan $s(t)$ signal ta’sir etsin, u holda uning chiqishidagi signal

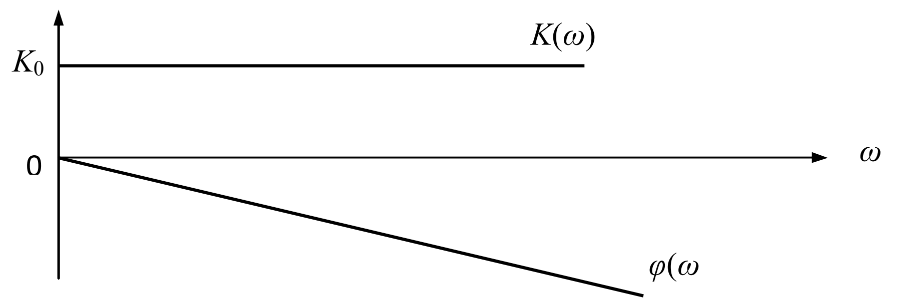
$$s_{chiq}(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\dot{S}(\omega)\dot{K}(\omega)e^{j\omega t}d\omega = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\dot{S}(\omega)K_0e^{-j\omega t_0}e^{j\omega t}d\omega =$$

$$= K_0\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\dot{S}(\omega)e^{j\omega(t-t_0)}d\omega. \qquad (5.40)$$

(5.40) ifodani quyidagi ko‘rinishda ham yozish mumkin

$$s_{chiq}(t) = K_0 s(t - t_0). \qquad (5.41)$$

Amplituda-chastota $K(\omega)$ va faza-chastota xarakteristikasi $\varphi(\omega)$ chiziqli bo‘lgan signal RTT orqali o‘tganda o‘z shaklini to‘liq saqlab qoladi, faqat signalning qiymati o‘zgaradi K_0 marta kattalashadi (kichiklashadi) va ushbu tizim faza-chastota xarakteristikasi qiyaligi $\frac{d\Psi}{d\omega} = t_0$ ga teng vaqtga kechikadi.



5.7-rasm. *Axborot uzatish ideal RTTning AChX va FChXlari*

Shuni alohida ta’kidlash kerakki, haqiqatda amalga oshirish mumkin bo‘lgan RTTlarning FChXlari qiyaligi tizimning signal o‘tkazish polosasida hamma vaqt manfiy bo‘ladi, chunki chiqish signali hech vaqt kirish signalidan avval paydo bo‘lmaydi.

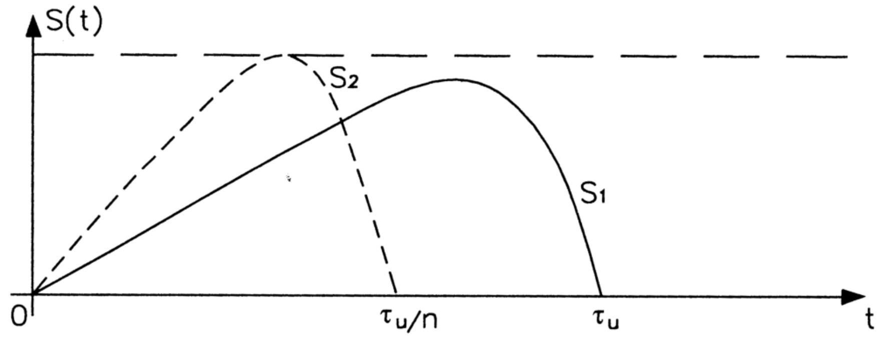
5.5.2. Vaqt masshtabini o‘zgartirish

Misol uchun 5.8-rasmda uzluksiz chiziq orqali tasvirlangan signal $s_1(t)$ ni vaqt bo‘yicha siqishni ko‘ramiz. Vaqt bo‘yicha n marta siqilgan signal $s_2(t)$ (5.8-rasm shtrix chiziq) birlamchi signal $s_1(t)$ bilan quyidagicha bog‘liqlikka ega:

$$s_2(t) = s_1(nt_u), \qquad (n > 1). \tag{5.42}$$

Signal $s_2(t)$ ning davomiyligi birlamchi signal $s_1(t)$ davomiyligi τ_u dan n marta kichik, ya’ni τ_u/n. Siqilgan impuls signal spektri zichligi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\dot{S}_2(\omega) = \frac{1}{n}\dot{S}_1\left(\frac{\omega}{n}\right). \tag{5.43}$$



5.8-rasm. *Signal shakli va amplitudasini saqlagan holda uni siqish*

Shunday qilib, signal davomiyligini vaqt bo‘yicha n marta qisqartirsak uning spektri kengligi mos ravishda n marta kengayadi. Bunda signal spektri zichligining moduli n marta kichiklashadi. Xuddi shuningdek, agar signalni n marta uzaytirsak (cho‘zsak) uning spektri kengligi n marta torayadi va spektri zichligining moduli n marta kattalashadi.

Yuqoridagilardan quyidagi xulosa kelib chiqadi: axborot uzatish tezligini unda foydalanilayotgan signal davomiyligini qisqartirish hisobiga amalga oshirish uchun RTTning signal chastota tashkil etuvchilari polosasini kengaytirish talab etiladi.

5.5.3. Signal spektrini surish

Spektri zichligi $\dot{S}(\omega)$ bo‘lgan $s(t)$ signalni birlik amplitudaga ega bo‘lgan $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ signalga ko‘paytirish natijasida quyidagini olamiz:

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)\, e^{-j\omega t} dt =$$
$$= \frac{1}{2}\left[e^{j\varphi_0}\dot{S}(\omega - \omega_0) + e^{-j\varphi_0}\dot{S}(\omega + \omega_0)\right]. \qquad (5.44)$$

(5.44) ifodadan ko‘rinadiki signal $s(t)$ ning spektri $\dot{S}(\omega)$ ni ikkiga, chastotalari $+\omega_0$ va $-\omega_0$ ga farqlanadigan tashkil etuvchilarga bo‘lish $s(t)$ signalning chastotasi ω_0 bo‘lgan garmonik tebranish $\cos(\omega_0 t)$ ga ($\varphi_0 = 0$ bo‘lgan holat uchun) ko‘paytirishni anglatadi. Bu masala chastota almashtirish qurilmalarining bajaradigan vazifalarini tahlil etishda qo‘shimcha ko‘rib chiqiladi.

5.5.4. Signallarni differensiallash va integrallash

Signal $s(t)$ ni differensiallash deganda ushbu signal hamma spektr tashkil etuvchilarini alohida-alohida differensiallash (hosila olish) jarayoni (natijasi) tushuniladi. Ammo $e^{j\omega t}$ ning hosilasi $j\omega e^{j\omega t}$ bo‘lgani uchun kirish signali $s_1(t)$ ning spektri $\dot{S}_1(\omega)$ bo‘lsa, differensiallangan signal $s_2(t)$ ning spektri zichligi $\dot{S}_2(\omega)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$s_2(t) = \frac{ds_1(t)}{dt} \div \dot{S}_2(\omega) = j\omega\dot{S}_1(\omega). \qquad (5.45)$$

Yuqoridagiga o‘xshash shaklda $s_1(t)$ signalni integrallash bu uning spektri tashkil etuvchilari quvvatini to‘plashni anglatadi, ya’ni

$$s_2(t) = \int_{-\infty}^{t} s_1(t) dt, \qquad (5.46)$$

va mos ravishda signal $s_2(t)$ spektri zichligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\dot{S}_2(\omega) = \frac{1}{j\omega}\dot{S}_1(\omega). \tag{5.47}$$

(5.47) ifodada funksiya $\dot{S}_1(\omega)$ ni $\frac{1}{j\omega}$ ga ko'paytirish vaqt bo'yicha $-\infty$ dan t gacha integrallashga mos keladi (anglatadi).

5.5.5. Signallarni qo'shish

Vaqt funksiyasi bo'lgan signal $s(t)$ ning spektri zichligini Fure almashtirishi orqali aniqlash chiziqli bog'liqlik bo'lgani uchun bir necha $s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)$ signallar yig'indisi

$$s(t) = s_1(t) + s_2(t) + \dots + s_n(t) \tag{5.48}$$

ga ushbu signallar spektri zichligi yig'indisi mos keladi, ya'ni

$$\dot{S}(\omega) = \dot{S}_1(\omega) + \dot{S}_2(\omega) + \dots + \dot{S}_n(\omega). \tag{5.49}$$

5.5.6. Ikki signalning ko'paytmasi

Misol uchun tahlil etilayotgan $s(t)$ signal $s_1(t)$ va $s_2(t)$ signallarning ko'paytmasi bo'lsin va quyidagi moslik kuchga ega bo'lsin:

$$s_1(t) \div \dot{S}_1(\omega) \text{ va } s_2(t) \div \dot{S}_2(\omega).$$

Bu holda ushbu ikki signal (funksiya) ko'paytmasining spektri ushbu signallar spektrlari $\dot{S}_1(\omega)$ va $\dot{S}_2(\omega)$ o'ramining $\frac{1}{2\pi}$ koeffisientiga ko'paytmasiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\dot{S}(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}_1(x)\dot{S}_2(\omega - x)dx. \tag{5.50}$$

Xuddi shuningdek ikki signal spektrlarining ko‘paytmasi $\dot{S}_1(\omega) \times \dot{S}_2(\omega) = \dot{S}(\omega)$ vaqt funksiyasi bo‘lgan $s_1(t)$ va $s_2(t)$ larning o‘rami $s(t)$ ga teng bo‘ladi, ya’ni

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t)s_2(t-\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t-\tau)s_2(t)d\tau =$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}_1(\omega)\dot{S}_2(\omega)e^{j\omega t}d\omega. \qquad (5.51)$$

(5.51) ifodadan chiziqli tizimlar orqali signal uzatishda keng foydalaniladi. Bu holda $s_1(t)$ va $s_2(t)$ signallardan biri $s_1(t)$ kirish signali ikkinchisi esa chiziqli radiotexnik tizimning impuls xarakteristikasi $g(\tau)$yoki $h(\tau)$ deb qaraladi, $\dot{S}_1(\omega)$ va $\dot{S}_2(\omega)$ lardan biri kirish signali $s_1(t)$ ning spektr zichligi deb, ikkinchisi $\dot{S}_2(\omega)$ esa ushbu chiziqli tizimning kompleks uzatish koeffisienti $\dot{K}(j\omega)$ deb qabul qilinadi.

5.6. Ba’zi signallarning Fure almashtirishi

Nisbatan ko‘proq ishlatiladigan video va radiosignallarning Fure almashtirishlarini ko‘rib chiqamiz.

Dirak funksiyasi. δ -funksiya (5.11) ning filtrlash xossasidan foydalanib, uning spektrini topamiz:

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)e^{-j\omega t}dt = e^{-j\omega_0} = 1. \qquad (5.52)$$

δ -funksiya spektrining moduli barcha chastotalar diapazonida doimiy – o‘zgarmas bo‘lib birga teng, faza spektri esa nolga teng bo‘ladi.

Aniqlangan spektral funksiya $\dot{S}(\omega) = 1$ orqali $\delta(t)$ signalni Fure teskari almashtirishidan $\delta(t)$ signal mavjudligi to’g’risidagi taxmin tasdiqlanganligini ko‘rish mumkin:

$$\delta(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} 1 \cdot e^{j\omega t} d\omega = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} d\omega.$$

Ushbu ifodadan

$$2\pi\delta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{\pm j\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} \cos\omega t \, d\omega \pm j \int_{-\infty}^{\infty} \sin\omega t \, d\omega =$$

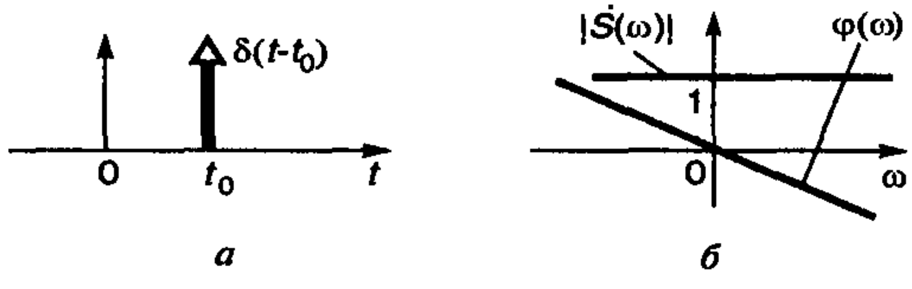
$$= \int_{-\infty}^{\infty} \cos\omega t \, d\omega, \qquad (5.53)$$

kelib chiqadi, va 5.4-bandda keltirilgan ω va t larga nisbatan Fure almashtirishining simmetrikligidan foydalanib quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$2\pi\delta(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{\pm j\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} \cos\omega t \, dt. \qquad (5.54)$$

$\delta(t - t_0)$ funksiyaning Fure almashtirishi

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0) e^{-j\omega t} dt = e^{-j\omega t_0}. \qquad (5.55)$$



5.9-rasm. *Dirak funksiyasi (a) va uning spektri (b)*

Vaqt o‘qi bo‘yicha surilgan δ-funksiyaning amplituda spektri o‘zgarmasdan saqlanadi, faza spektri esa qo‘shimcha ravishda $-\omega t_0$ qo‘shiluvchiga ega bo‘ladi. $\delta(t - t_0)$ funksiyaning grafigi va amplituda hamda faza spektri 5.9a va b-rasmlarda keltirilgan.

To‘g‘ri to‘rtburchakli videoimpuls. (5.31) ifodadagi integralni amaliy hisoblashda integrallash chegaralarini signalning noldan farqli mavjud bo‘lgan oralig‘i sifatida qabul qilish mumkin. (5.4) ifodadagi signal uchun

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} Ue^{-j\omega t}dt = -\frac{U}{j\omega}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e^{-j\omega t}d(-j\omega t) =$$

$$= -\frac{U}{j\omega}\left(e^{-\frac{j\omega T}{2}} - e^{\frac{j\omega T}{2}}\right) = \frac{2U}{\omega}\frac{e^{\frac{j\omega T}{2}} - e^{-\frac{j\omega T}{2}}}{j2} =$$

$$= \frac{2U}{\omega}\sin\frac{\omega T}{2} = UT\frac{\sin\frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} = \left|UT\frac{\sin\frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}}\right| e^{j\varphi(\omega)}. \qquad (5.56)$$

Kutilganidek, juft funksiyaning Fure almashtirishi ω ning haqiqiy funksiyasi hisoblanar ekan. $\dot{S}(\omega)$ ning yuqoridagi namunaviy shakli tahlil qilish va grafik tasvirlanishini chizish uchun juda qulay. 5.10a va b-rasmda to‘g‘ri to‘rtburchakli videoimpuls spektral funksiyasining moduli va fazalari, ya’ni amplituda va faza spektri grafiklari keltirilgan. Bunda

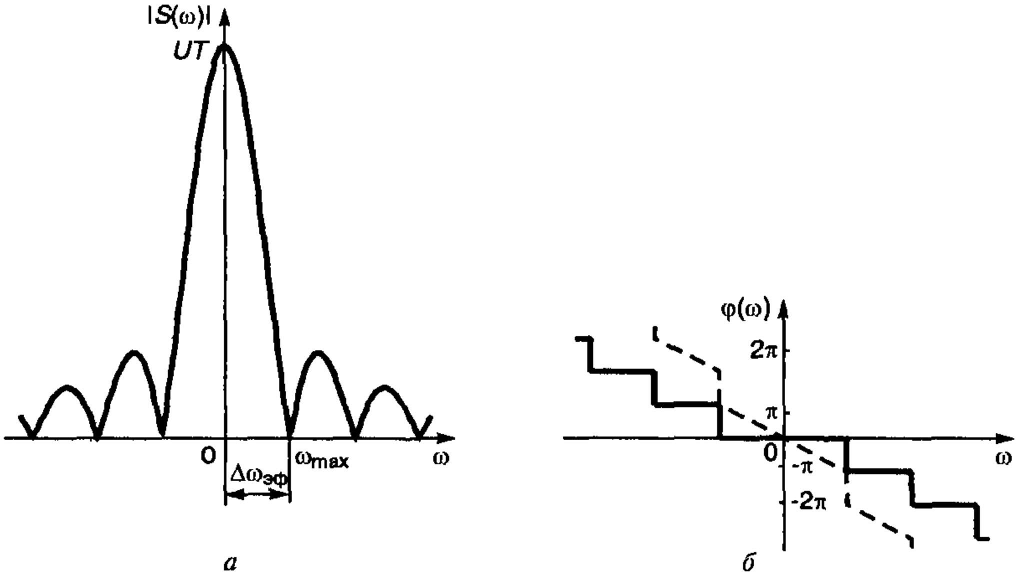
$$\dot{S}(0) = \lim_{\omega\to 0}\dot{S}(\omega) = UT,$$

bo‘lib, amplituda spektrining “nollik” koordinatalari ushbu $\omega T/2 = k\pi$ tenglamadan aniqlanadi, bunda $k = \pm 1, \pm 2, \ldots$. Ushbu natija va 5.3-bandda ko‘rib chiqilgan to‘g‘ri to‘rtburchakli impulslar ketma-ketligining Fure qatori natijalarini taqqoslash foydali bo‘ladi.

Ko‘rib chiqilayotgan holat uchun faza spektri $\varphi(\omega)$ o‘ziga xos: spektral funksiyaning mavhum qismi nolga teng, ammo (5.56) ifodadagi aynan $\exp j\varphi(\omega)$ ko‘paytiriluvchi $S(\omega)$ haqiqiy funksiyaning belgisi o‘zgaruvchan xarakterda ekanligini bildiradi. Shundan kelib chiqib, faza spektri quyidagi qiymatlarga ega bo‘ladi:

- $\omega \in [-4\pi/T,\ -2\pi/T]$ chastotalar intervali uchun $\varphi(\omega) = \pi$;
- $\omega \in [-2\pi/T,\ 2\pi/T]$ chastotalar intervali uchun $\varphi(\omega) = 0$;

- $\omega \in [2\pi/T,\ 4\pi/T]$ chastotalar intervali uchun $\varphi(\omega) = -\pi$ va h.k.



5.10-rasm. *To‘g‘ri to‘rtburchakli videoimpulsning amplituda (a) va faza (b) spektrlari*

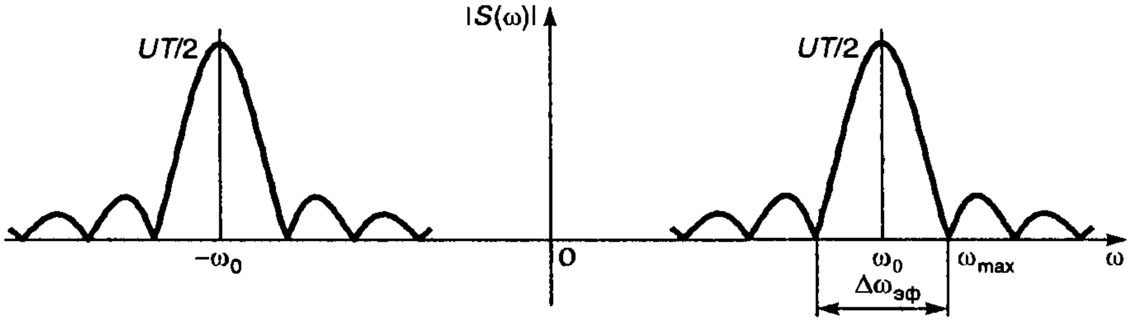
To‘g‘ri to‘rtburchakli radioimpuls (radiosignal). (5.15) ifodadagi radiosignal uchun

$$S(\omega) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} U \cos\omega_0 t\, e^{-j\omega t} dt = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \frac{e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}}{2} e^{-j\omega t} dt =$$

$$= \frac{U}{2}\left\{ \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e^{-j(\omega+\omega_0)t} dt + \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e^{-j(\omega-\omega_0)t} dt \right\} =$$

$$= \frac{1}{2} UT \left\{ \frac{\sin\frac{(\omega+\omega_0)T}{2}}{\frac{(\omega+\omega_0)T}{2}} + \frac{\sin\frac{(\omega-\omega_0)T}{2}}{\frac{(\omega-\omega_0)T}{2}} \right\}. \qquad (5.57)$$

(5.57) ifoda modulining grafiki 5.11-rasmda keltirilgan. Videoimpulsning garmonik funksiya $\cos\omega_0 t$ ga ko‘paytmasi spektral sohada videoimpuls spektrining chastotalar o‘qi bo‘yicha $\pm\omega_0$ qiymatga chapga va o‘ngga surilishiga olib keladi.



5.11-rasm. *To'g'ri to'rtburchakli radioimpulsning amplituda spektri*

Spektral funksiya (5.56) ifodaga quyidagi belgilashni kiritsak va o'rovchi spektr deb nomlasak

$$S_U(\omega) = UT\frac{\sin\frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}},$$

hamda undan foydalanib, (5.57) ifodani quyidagi sodda ko'rinishda yozish mumkin

$$S(\omega) = \frac{1}{2}\{S_U(\omega + \omega_0) + S_U(\omega - \omega_0)\}. \qquad (5.58)$$

Ushbu (5.58) ifodadan radiosignal va uning o'rovchisi spektrlari orasidagi bog'liqlikni kuzatish mumkin bo'ladi.

Spektral funksiyaning effektiv kengligi va maksimal (chegaraviy) chastotasi. Ko'rib chiqilgan video- va radioimpuls finit signallarning amplituda spektrlari cheksiz keng bo'lib, $|\omega|$ chastota oshib borgan sari amplitudasi kichiklashib boradi. Shuning uchun signal spektrining "amaliy" ya'ni effektiv kengligi tushunchasi yuzaga keladi. Ushbu miqdorni aniqlashning turli mezonlari mavjud. Agar amplituda spektrining yaproqsimonlik tuzilishidan kelib chiqib qaralsa (biz yuqorida ko'rib chiqqan misollarimizdagi kabi), effektiv kenglik sifatida "asosiy yaproqcha" kengligi tanlanadi. Manfiy chastotalarning fizik jihatdan mavjud emasligidan kelib chiqadiki, natijada to'g'ri to'rtburchakli videoimpuls amplituda spektrining effektiv kengligi $\omega \in [0,\ 2\pi/T]$ oraliqda bo'lib, qiymati

$$\Delta\omega_{ef\,v} = 2\pi/T$$

ga teng.

Ushbu mezon (kriteriy) asosida to‘g‘ri to‘rtburchakli radioimpuls amplituda spektrining effektiv kengligi $\omega \in [\omega_0 - 2\pi/T,\ \omega_0 + 2\pi/T]$ oraliqda bo‘lib,

$$\Delta\omega_{ef\,r} \approx 2 \cdot \Delta\omega_{ef\,v} = 4\pi/T$$

ga teng, videoimpulsning effektiv kengligidan ikki marotaba keng.

Signalning davomiyligi va uning effektiv spektr kengligi bir-biri bilan teskari proporsional ravishda bog‘langan: signal qancha tor bo‘lsa, uning spektri shuncha keng bo‘ladi. Ushbu munosabat deyarli barcha turdagi signallarga to‘g‘ri keladi.

Spektral funksiyaning effektiv spektr kengligi tushunchasi bilan maksimal (chegaraviy) chastota tushunchasi bir-biri bilan o‘zaro chambarchas bog‘liq. Videosignal spektri nol va past chastotalar sohasida (past chastotalar spektri) to‘plangan bo‘ladi, uning maksimal chastotasi effektiv kenglik $\Delta\omega_{ef\,v}$ miqdori bilan mos keladi

$$\omega_{max\,v} = \Delta\omega_{ef\,v}.$$

Radiosignal spektrining maksimal chastotasi tashuvchi chastota ω_0 sohasida (atrofida) to‘plangan bo‘ladi, 5.11-rasmdan ko‘rinadiki, spektrning effektiv kengligi bilan quyidagicha bog‘liq

$$\omega_{max\,r} = \omega_0 + \Delta\omega_{ef\,v} = \omega_0 + \frac{1}{2}\Delta\omega_{ef\,r}.$$

Signal bazasi. Signal bazasi deganda signal davomiyligini uning spektri effektiv kengligiga ko‘paytmasi tushuniladi. Videosignal uchun uning bazasi $T\Delta\omega_{ef} \approx 2\pi$ yoki $T\Delta f_{ef} \approx 1$ ga teng. Radiosignalning bazasi esa mos videosignal bazasidan ikki marta katta.

To‘g‘ri to‘rtburchakli video- va radioimpulslar ko‘rinishidagi signallar radiotexnikada keng qo‘llaniladi; nazariy tadqiqotlar olib borishda ushbu signallarga ko‘plab murojat qilinadi.

Nazorat savollari

1. Signallarni Fure qatoriga yoyish sharti nimadan iborat?

2. Fure qatorining a_0, a_k va b_k koeffisientlari qanday aniqlanadi va qanday fizik ma’noga ega?

3. Signal uchun Fure to‘g‘ri va teskari bog‘lanishi ifodalarini yozib bering.

4. Signal amplituda va faza spektri deganda nimani tushunasiz va ular qanday aniqlanadi?

5. Davriy takrorlanuvchi to‘g‘ri to‘rtburchak ko‘rinishidagi signal amplituda va faza spektrini hisoblab chiqing.

6. Davriy bo‘lmagan signallar spektri qanday baholanadi?

7. $s(t)$ *signalni* $\cos\omega_0 t$ *ga ko‘paytirish natijasida* $\dot{S}(\omega)$ *spektral funksiya qanday o‘zgaradi?*

8. Fure almashtirishi xossalarini sanab bering.