

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI**

**RADIOTEXNIK ZANJIRLAR VA
SIGNALLAR**

*fanidan amaliy mashg‘ulotlar uchun
o‘quv-uslubiy qo‘llanma*

TOSHKENT – 2018

UDK 621.396.61

Tuzuvchilar: Ibragimova B.B., Jabborov A.B. “Radiotexnik zanjirlar va signallar”. O‘quv-uslubiy qo‘llanma. Toshkent, ToshDTU, 2018. 88 b.

Ushbu qo‘llanma 5350700 – Radioelektron qurilmalar va tizimlar yo‘nalishi bo‘yicha ta’lim oluvchi talabalarga mo‘ljallangan bo‘lib, “Radiotexnik zanjirlar va signallar” fanining o‘quv dasturiga asosan amaliy mashg‘ulotlar uchun masalalar to‘plamini va ularni yechish uchun uslubiy ko‘rsatmalarni o‘z ichiga olgan.

Masalalar to‘plami talabalar tomonidan ma’ruza mashg‘ulotlarida olgan nazariy bilimlarini mustahkamlash uchun mo‘ljallangan.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetining ilmiy-uslubiy kengashi qarori bilan chop etildi.

Taqrizchilar: Sh.U. Po‘latov -TATU, “Mobil aloqa texnologiyalari” kafedrasi mudiri t.f.n.
A.A.Yarmuxamedov -ToshDTU, “Radiotexnik qurilmalar va tizimlar” kafedrasi dotsenti,t.f.n.

Kirish

Radiotexnika va radioelektronika sohasi bo'yicha zamonaviy muhandislarni tayyorlashda „Radiotexnik zanjirlar va signallar“ fani asosiy fanlardan biri hisoblanadi. Bu fanning asosiy maqsadi signallarni qanday qilib hosil qilish, ularni aloqa kanallari bo'yicha uzatish, radiotexnik zanjirlarda signallarni qayta ishlash va o'zgartirishlar bilan bog'liq bo'lgan fundamental qonuniyatlarni o'rganishdan iborat. “Matematika”, “Fizika” va “Elektrotexnika nazariyalari asoslari” fanlariga tayanuvchi “Radiotexnik zanjirlar va signallar” fani talabalarni yangi tushunchalar va terminlar doirasiga olib kiradi va ularni chuqur bilish va o'zlashtirish navbatdagi yo'nalish fanlarini o'rganishda katta omil hisoblanadi.

“Radiotexnik zanjirlar va signallar” fanida keltiriladigan signallarni va radiotexnik zanjirlarni tahlil qilish usullari talabalar uchun asosan avvalgi fanlardan ma'lum bo'lgan matematik apparatlar hisoblanadi. “Radiotexnik zanjirlar va signallar” fanining asosiy vazifasi talabalarning yechilayotgan masalani aniq tasvirlovchi matematik apparatlarni tanlash, radiotexnika sohasi bo'yicha konkret ilmiy va texnik masalalarni yechishda bu tanlangan matematik apparatlar qanday ishlashini ko'rsatishdan iborat. Shu bilan bir qatorda talabalarni matematik ifodalash bilan ko'rilayotgan hodisalarning fizik tomonlarini bog'liqligini ko'rish, o'rganilayotgan jarayonlarga matematik modellar tuzishni o'rganishdan iborat.

“Radiotexnik zanjirlar va signallar” fani ko'rib chiqadigan masalalar – bular signallar nazariyasiga kiradigan masalalar: informatsion va boshqaruvchi signallarni spektral va korrelyatsion tahlil qilish; diskret va raqamli signallar nazariyasi asoslari; deterministik signallar bilan bir qatorda o'rganiladigan tasodifiy signallar va xalaqitlarni statistik tahlil qilish; chiziqli zanjirlarda signallarni o'zgartirish nazariyasi; nochiziqli va parametrik qurilmalar nazariyasi kabilar.

1-Amaliy mashg'ulot. Signal va uning matematik modeli

Ishdan maqsad: Signal va uning matematik modelini o'rganish va sungnallarni matematik modullariga oid masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Informasiya – bu har xil fizik jarayonlar, tarixiy hodisalar to'g'risidagi ma'lumotdir.

Informasiyani uzatish uchun uni ma'lum bir shaklga keltirish lozim, (masalan: matn, jadval, grafik, rasm, harakatdagi tasvir va boshqalar). Bunday shakllanish natijasida informasiya xabarga aylantiriladi. Xabarni birinchi fazoviy nuqtadan ikkinchi nuqtaga uzatish uchun uni biror bir fizik jarayonga yuklashimiz, ya'ni signalga aylantirishimiz lozim.

Signal – deb, biror bir fizik jarayonning bir yoki bir nechta parametrlarini xabarga mos ravishda o'zgarishiga aytiladi.

Elektr signali – deb, elektr jarayonning bir yoki bir nechta parametrlarini xabarga mos ravishda o'zgarishiga aytiladi.

Garmonik tebranishlar shaklidagi signalning matematik modeli

$$u(t)=U_0\cos(\omega_0 t+\varphi_0) \quad (1.1)$$

Bunday signalning har qanday t_1 vaqtda oniy qiymati $u(t_1)$ ni aniqlash mumkin. Bunday signallardan qurilmani sozlash va tekshirishda foydalaniladi.

Mashqlar

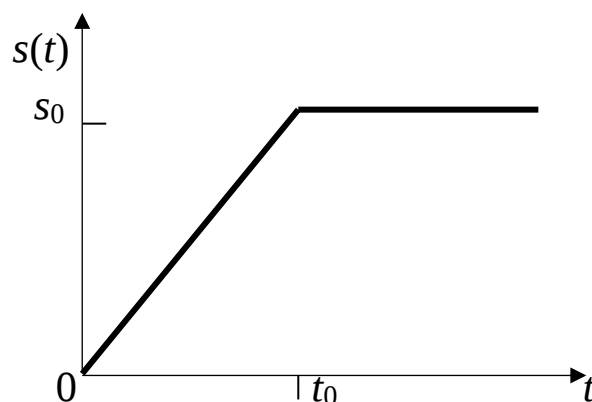
1.1. Kuchlanish o'lchamiga ega (V) impulsli $u(t)$ signal quyidagi ifoda orqali berilgan:

$$u(t)=25[\exp(-10^5 t)-\exp(-2 \cdot 10^5 t)]\sigma(t) \quad (1.2)$$

Topshiriq: berilgan impulsning grafigini quring. u_{max} signalning maksimal qiymatini va vaqtning maksimumga erishish t_{max} momentini aniqlang. Impuls davomiyligi τ_i ni vaqtning noldan signal oniy qiymati maksimal qiymatga nisbatan 10 barobar kamayadigan nuqtagacha bo'lgan kesim uzunligi sifatida aniqlab hisoblang.

1.2. Signal $s(t)$ quyidagi matematik model ko‘rinishida berilgan (1.1-rasm):

$$s(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ s_0(t/t_0), & 0 \leq t \leq t_0, \\ s_0, & t > t_0. \end{cases} \quad (1.3)$$



1.1-rasm. $s(t)$ signalning grafik tasviri

Topshiriq: berilgan bog‘liqlikni qisman-chiziqli funksiyalar yig‘indisi ko‘rinishida tasvirlang.

1.3. Sig‘imi $C(t) = C_0(1 + m \sin \Omega t)$ qonuniyat bo‘yicha o‘zgara-yotgan kondensatorga $u(t) = U_1 \sin \omega_1 t$, $-\infty < t < \infty$ kuchlanish ta’sir etmoqda.

Topshiriq: kuchlanish manbasidan olinayotgan tokni aniqlang va tokning spektral tarkibini tahlil qilib chiqing.

Uslubiy ko‘rsatmalar va javoblar

1.1. Signal oniy qiymatlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi 1.2-rasmda ko‘rsatilgan. $u'(t_{max}) = 0$ shartidan t_{max} ni aniqlash uchun tenglamani olamiz:

$$-\exp(-10^5 t_{max}) + 2 \exp(-2 \cdot 10^5 t_{max}) = 0, \quad (1.4)$$

undan esa

$$10^5 t_{max} = -\ln(1/2), \quad (1.5)$$

ya'ni, $t_{max}=6,931 \cdot 10^{-6}$ s=6,931 mks. Bunda $u_{max}=6,25$ V.

Impuls davomiyligi masala sharti bo'yicha quyidagi tenglamaning ildizi hisoblanadi:

$$\exp(-10^5 \tau_i) - \exp(-2 \cdot 10^5 \tau_i) = 0,025. \quad (1.6)$$

$x=10^5 \tau_i$ o'lchamsiz kattalikni kiritib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\exp(-x) - \exp(-2x) = 0,025, \quad (1.7)$$

undan x ga nisbatan ruxsat berilgan tenglamaga o'tib,

$$x = -\ln(0,025 + e^{-2x}) \quad (1.8)$$

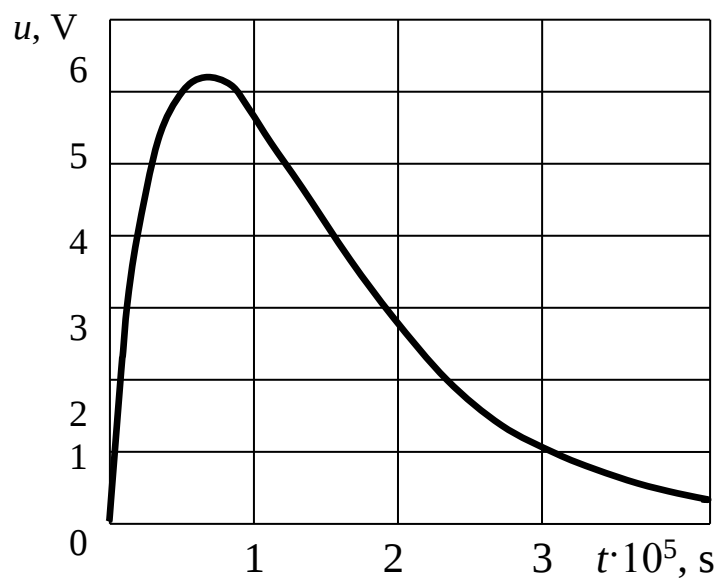
natijani olamiz.

Bunday transsendent tenglamalarning ildizlarini mikrokalkulyatordan foydalanib, ketma-ket yaqinlashishlar usuli orqali aniqlash qulaydir. Signal grafigidan foydalanib, faraz qilinayotgan ildizga yaqin x_0 yaqinlashishni tanlaymiz. $x_0=3$ ni olaylik. Bu qiymatni (*) ga qo'yib, birinchi yaqinlashishni aniqlaymiz, $x_1 = -\ln(0,025 + e^6) = 3,5943$. Ko'rsatilgan jarayonni iteratsion prinsip bo'yicha davom ettiramiz:

$$x_n = -\ln(0,025 + e^{-2x_{n-1}}), \quad n=2,3,\dots \quad (1.9)$$

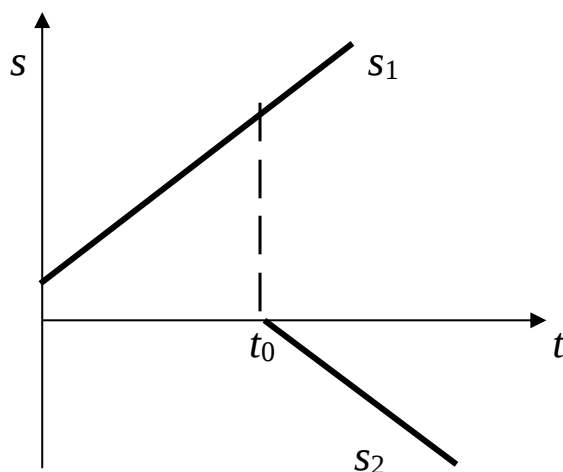
va u ikki ketma-ket taxminiy qiymatlar hisobning aniqligini belgilovchi oldindan berilgan kichik songacha farq qilmaguncha olib boriladi. Shu amallarni bajargandan so'ng, $x = 3,6628862$ (aniq son) ildizni olamiz.

Ildizni $x = 3,66$ qabul qilib, $\tau_i = 3,66 \cdot 10^{-5}$ s=36,6 mks ni olamiz.



1.2-rasm. Signal oniy qiymatlarining vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi

1.2. Ko'rilayotgan $s(t)$ signalni chiziqli o'sib borayotgan, kattaligi bir xil va burchakli og'ish koeffitsienlari ishorasi har xil ikkita funksiyalar $s_1(t)$ va $s_2(t)$ yig'indisi sifatida tasavvur qilish mumkin (1.3-rasm). Shunga asosan $s(t)=(s_0/t_0)t\sigma(t)-(s_0/t_0)(t-t_0)\sigma(t-t_0)$.



1.3-rasm. Ikkita funksiyalar $s_1(t)$ va $s_2(t)$ yig'indisi

1.3. Kondensator zaryadi $q(t)=u(t)C(t)$, tok esa quyidagiga teng:

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{du(t)}{dt} C(t) + u(t) \frac{dC(t)}{dt} = (U_1 \omega_1 \cos \omega_1 t) \cdot [C_0 (1 + m \sin \Omega t)] + \\ + U_1 \sin \omega_1 t (m C_0 \Omega \cos \Omega t) = U_1 [\omega_1 C_0 \cos \omega_1 t + \frac{m}{2} (\omega_1 + \Omega) \sin(\omega_1 + \Omega) t - \\ - \frac{m}{2} (\omega_1 - \Omega) C_0 \sin(\omega_1 - \Omega) t]. \quad (1.10)$$

ω_1 chastotali birinchi qo'shiluvchi o'zgarmas C_0 sig'imli kondensatorga kuchlanish $U_1 \sin \omega_1 t$ manbasidan yuboriladigan tokni aniqlaydi. Qolgan $\omega_1 \pm \Omega$ chastotali qo'shiluvchilar esa sig'im variatsiyasining natijasi hisoblanadi va ta'sir spektrida bo'lmaydi.

2-Amaliy mashg'ulot. Radiosignal turlari va ularning garmonik tahlili

Ishdan maqsad: Radiosignal turlari va ularning garmonik tahlil qilishga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Xabarlar va signallar quyidagicha farqlanadilar:

1. Shakli avvaldan ma'lum xabar va signallar. Bunday signallar ma'lum matematik formula orqali ifodalanadi. Masalan: garmonik tebranishlar shaklidagi signal

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2.1)$$

Bunday signalning har qanday t_1 vaqtda oniy qiymati $u(t_1)$ ni aniqlash mumkin. Bunday signallardan qurilmani sozlash va tekshirishda foydalaniladi.

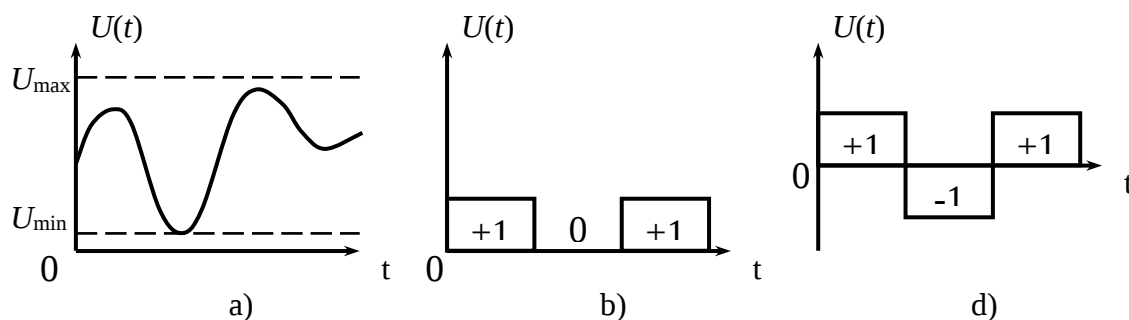
2. Tasodifiy signallar. Bunday signallarning berilgan t_1 vaqtdagi oniy qiymatini birga teng ehtimollikda aniqlab bo'lmaydi. Ularni avvaldan ma'lum bir matematik formula bilan ifodalab bo'lmaydi. Tasodifiy signallargina xabar yetkazish qobiliyatiga ega.

Xabarlar va signallar ko'p hollarda vaqt funksiyasi hisoblanadi va quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Uzluksiz xabar dastlab uzluksiz signalga aylantiriladi (2.1a-rasm). Masalan: mikrofon oldidagi aytilgan so'z, musiqa uning oldidagi fazo zichligini o'zgartiradi va mikrofon diafragmasiga ta'sir etib uni harakatga keltiradi. Diafragma biriktirilgan g'altak (katushka) o'zgarmas magnit maydonida

joylashgan bo'lgani uchun uning harakati natijasida g'altak qutblarida elektr yuritish kuchi hosil bo'ladi. Yopiq zanjirdagi tok qiymati va uning bir qismiga ulangan yuklama qarshilik R_{yu} dagi kuchlanish qiymati o'zgaradi. Ushbu R_{yu} dan o'tayotgan tok qiymati natijada undagi kuchlanishning o'zgarishi mikrofon oldidagi havo zichligiga mos ravishda o'zgaradi, xabar signalga aylantiriladi. Bunday $u(t)$ signal analog signal, ya'ni xabarga mos, o'xshash signal deb yuritiladi. Televizion kamera o'z obyektivi oldidagi tasvirni har bir nuqtasi yorug'ligi (rangi) va joylashish koordinatalarini aniqlaydi va uzluksiz $u(t, x, y)$ signalga aylantiradi. Bunday signal videosignal (tasvir signali) deb yuritiladi. Uzluksiz signallar qiymati o'zining eng kichik qiymati $U_{\min}$ va eng katta qiymati $U_{\max}$ oralig'idagi har qanday kattalikka ega bo'ladi.

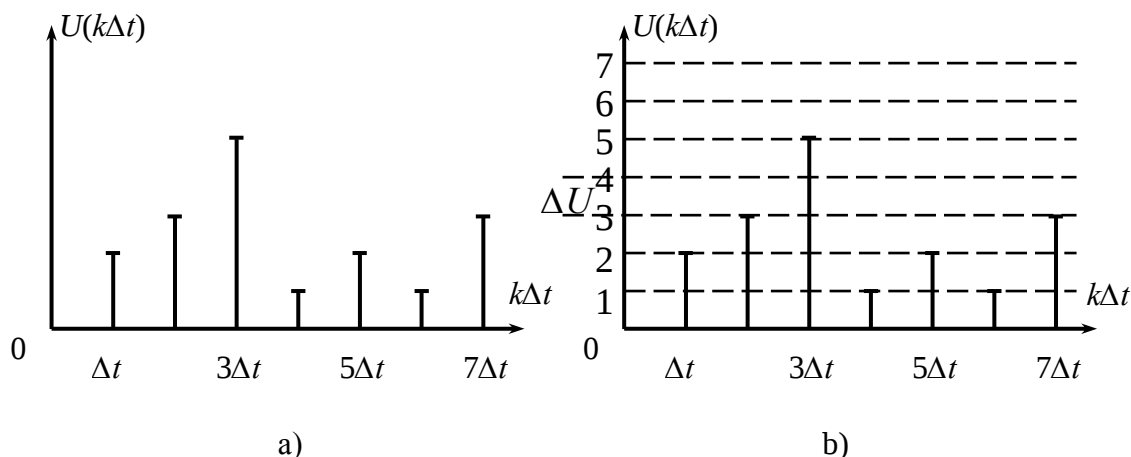
2. Uzlukli (diskret) xabar diskret signalga aylantiriladi. Masalan: biron-bir matndagi harflar ularga mos kodlar kombinatsiyasi bilan almashtiriladi. Ko'p hollarda kodlar kombinatsiyasi tokli (1) yoki toksiz (0) impulslardan iborat bo'ladi (2.1b-rasm), +1 va -1 impulslardan tashkil topgan bo'ladi (2.1d-rasm).



2.1-rasm. Xabar va signallarning turlari. a) uzluksiz signal, b) ikkilik “+1” va “0” impulsli signal, d) ikkilik “+1” va “-1” impulsli signal.

Odatda 1; 0 va +1; -1 oddiy signallar davomiyligi bir xil tanlanadi.

3. Vaqt bo'yicha diskret signallar qiymati o'zining eng kichik $U_{\min}$ va eng katta $U_{\max}$ qiymatlari orasidagi har qanday kattalikka ega bo'lishi mumkin (2.2a-rasm).



2.2-rasm. Vaqt va sath bo'yicha diskret signallar. a) vaqt bo'yicha diskret signal, b) sath bo'yicha diskret signal.

Odatda vaqt oralig'i Δt bir xil qilib tanlanadi.

4. Vaqt va sathi bo'yicha diskret signallar (2.2b-rasm) deb, har bir diskret $k\Delta t$ vaqtda qiymati avvaldan o'rnatilgan $n\Delta U$ sathlardan biriga teng signalga aytiladi. Bunda ΔU – signal qo'shni sathlari orasidagi farq. Odatda $k\Delta t$ – vaqt oraliqlari bir xil o'rnatiladi, ΔU – bir xil yoki signalning vaqt bo'yicha sekin yoki tez o'zgarishiga qarab turlicha o'rnatilishi mumkin. Δt – vaqt bo'yicha diskretlash qadami deb va ΔU sath bo'yicha diskretlash qadami deb ataladi. Uzlüksiz signal vaqt va sath bo'yicha diskret signalga aylantirilishi va uning har bir $k\Delta t$ vaqtdagi oniy qiymati mos ravishda $n\Delta U$ sath qiymatlari bilan almashtirilishi, sath qiymatlari raqamlar bilan belgilanishi o'z navbatida raqamlar tegishli kodlar kombinatsiyasi bilan almashtirilishi asosida hosil bo'lgan signal raqamli signal deb ataladi. Masalan: $3\Delta t$ vaqtda signal sathi $5\Delta U$ ga teng bo'lsin, uholda 5 raqami 10110 kod bilan almashtiriladi va aloqa liniyasi orqali modulyasiyaning ma'lum bir turi orqali uzatiladi, ya'ni sathga mos impuls signallar raqamga almashitiriladi, kodlanadi va modulyasiyalangan signal IKM-ChM, IKM-FM shaklida aloqa liniyasi orqali uzatiladi. Bunda ohirgi ikki harf foydalanilgan modulyasiya turini ko'rsatadi.

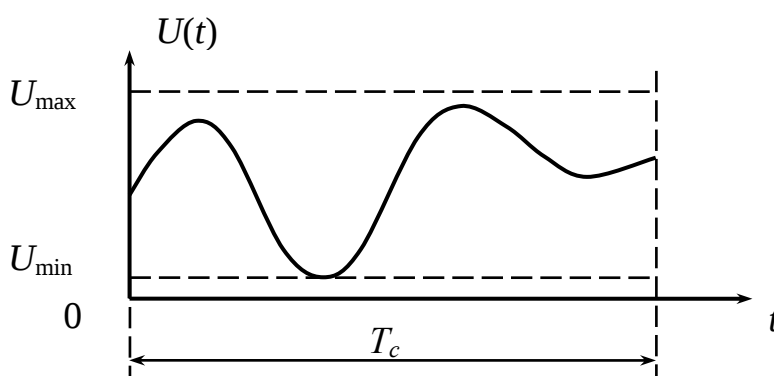
Uzlüksiz signalning $k\Delta t$ diskret vaqtdagi oniy qiymatlari o'rnatilgan sath qiymatiga teng bo'lmasa bu oniy qiymat eng yaqin o'rnatilgan sath qiymati bilan almashtiriladi. Bunda signal oniy qiymatini o'rnatilgan sath qiymati bilan almashtirishdagi hatolik ε_x , sathlar oraliq qiymatining yarmidan oshmaydi, ya'ni $\varepsilon_x = \Delta U/2$ bo'ladi. Bu hatolik aloqa kanalida kvantlash shovqini shaklida paydo bo'ladi. Signalni sath bo'yicha diskretlash kvantlash deb ataladi.

Aksariyat signallar vaqt funksiyasi $s(t)$ shaklida ifodalanishi mumkin. Signalga mos matematik ifoda yordamida signalning asosiy xususiyatlarini

aniqlash mumkin. Ko'p hollarda turli signallar uchun umumiy bo'lgan signal bir necha ko'rsatkichlari (parametrlari)ni bilish yetarli hisoblanadi.

Signallarni aloqa kanallari orqali axborot tashuvchi deb hisoblab, uni biron bir buyumni jo'natishdagi asosiy ko'rsatkichlar (eni, bo'yi va balandligi)iga o'xshash ko'rsatkichlarini aniqlaymiz. Buyumni jo'natishda ko'p hollarda uni rangi, yumshoq yoki qattiqligi e'tiborga olinmaydi.

Har qanday signal vaqt funksiyasi hisoblanadi, ma'lum bir T_s vaqt davomiyligida uzatiladi (2.3-rasm). Signal T_s vaqt oralig'ida o'zining eng kichik oniy qiymati $U_{\min}$ bilan eng katta oniy qiymati $U_{\max}$ oralig'ida o'zgaradi. Signal eng katta qiymati $U_{\max}$ ning uning eng kichik qiymati $U_{\min}$ ga nisbati, ya'ni $U_{\max}/U_{\min}=D_c$ signal dinamik diapazoni deb ataladi. Signal T_s vaqt davomida o'zining $U_{\max}$ qiymatidan $U_{\min}$ qiymati oralig'ida tez va sekin o'zgaradi. Signalning o'zgarish tezligi uning spektri kengligi F_c – ga bog'liq, ya'ni keng spektrli signal tor spektrli signalga nisbatan tez o'zgaradi va teskarisi. Shunday qilib signal asosan uchta ko'rsatkichi bilan baholanadi: T_s – signal davomiyligi; D_c – signal dinamik diapazoni va F_c – signal spektri kengligi.



2.3 –rasm. Uzluksiz signal.

Signal asosiy uch ko'rsatkichlarining ko'paytmasi

$$T_s \cdot D_c \cdot F_c = V_c$$

signal hajmi deb ataladi.

Radio yoki televideniye suhandoni nutq signali dinamik diapazoni 25-30 DB, uncha katta bo'lmagan ashula guruhi 45-55 DB va simfonik orkestr signali diapazoni esa 65-75 DB ga teng.

Har qanday aloqa kanalida foydali signal bor yoki yo'qligidan qat'iy nazar doimo halaqit bo'ladi. Signalni qoniqarli sifat bilan uzatish uchun foydali

signal quvvati halaqit quvvatidan katta bo'lishi kerak. Shuning uchun ba'zi hollarda signal dinamik diapazoni D_c o'rniga, signal quvvatini halaqit quvvatiga bo'lgan nisbati $P_c/P_x=q$ dan foydalaniladi.

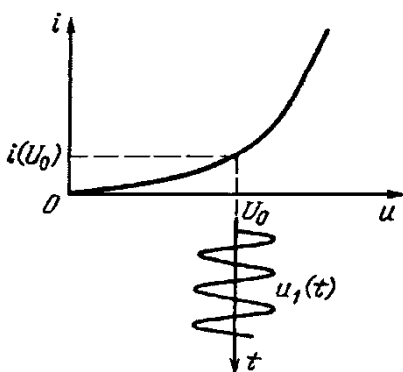
Signal spektri odatda juda keng bo'ladi. Bu holda signal spektri kengligi qilib signal quvvatining asosiy qismi joylashgan spektr kengligi olinadi. Ba'zi hollarda signal spektri kengligi uni uzatish sifatiga qo'yilgan texnik talab asosida aniqlanadi. Masalan: telefon orqali aloqada quyidagi ikki talab asosida spektr kengligi aniqlanadi: birinchisi – nutqning dona-donaligi va ikkinchisi – telefon orqali so'zlashayotgan ikki shaxs bir-birini tovushidan tanib olishi. Bu talablarga tovush spektrining 300÷3400 Gs oraliqdagi qismini uzatish orqali erishish mumkin.

Televideniye tizimida asosiy talab tasvirning tiniqligi hisoblanadi. Tasvir bir kadrini 625 qatorga yoyish va bir qator o'tkazib tasvirni yoyish usulidan foydalanilganda, televizion signal spektri 6,25 MGs ga yaqin bo'ladi. Televideniye signali spektri telefon va radioeshittirish tizimi signali spektridan juda katta, bu televizion signal uzatish tizimini bir necha bor murakkablashtiradi. Telegraf signali spektr kengligi signal uzatish tezligiga bog'liq bo'lib $F_c=1,5v$ ifoda orqali aniqlanadi, bunda v – telegraflash tezligi. Bodlarda baholanadi va vaqt birligida uzatilgan telegraf elementar signallari soni bilan aniqlanadi. Agar $v=50$ Bod bo'lsa, $F_c=75$ Gs bo'ladi.

Ko'p hollarda modulyasiyalangan signal spektri modulyasiyalovchi uzatiladigan xabar signali spektridan keng bo'ladi.

Mashqlar

2.1. Volt-amper xarakteristikasi 2.4-rasmda ko'rsatilgan diodga $u_1(t)=U_1\cos\omega_1t$ garmonik tebranish ta'sir qilmoqda. $|u_1(t)|<U_0$ oraliqda xarakteristikani $i=i(U_0)+a_1u_1+a_2u_1^2$ ifoda bilan approksimatsiyalash mumkin.



2.4-rasm. Diod volt-amper xarakteristikasi

Topshiriq: tok $i(t)$ aniqlansin va uning spektri tahlil qilinsin.

2.2. Oldingi masaladagi diodga

$$u(t)=u_1(t)+u_2(t)=U_1\cos\omega_1t+U_2\cos\omega_2t, \quad \omega_1\neq\omega_2 \quad (2.2)$$

kuchlanishlar yig'indisi ta'sir qilmoqda.

Topshiriq: tok $i(t)$ aniqlansin va uning spektri tahlil qilinsin.

2.3. $f_0=500$ kGs chastotaga sozlangan qabul qilgichga $T=50$ mks davrli va $A=10$ mV amplitudali davriy to'g'riburchaksimon impulsar ketma-ketligi ko'rinishidagi xalaqit ta'sir qilmoqda. Qabulqilgichning o'tkazish kengligiga davriy ketma-ketlikning garmonikalaridan biri tushadi.

Topshiriq: shu garmonikaning raqami aniqlansin va qabul qilgich chiqishida xalaqit amplitudasining impulsar davomiyligi τ_i ga T/τ_i nisbatning 20, 15, 10 va 5 qiymatlarida bog'liqligi topilsin.

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

2.1. Tok $i(t)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} i(t) &= i(U_0) + a_1 U_1 \cos \omega_1 t + a_2 U_1^2 \cos^2 \omega_1 t = \\ &= i(U_0) + \frac{a_2 U_1^2}{2} + a_1 U_1 \cos \omega_1 t + \frac{a_2 U_1}{2} \cos 2\omega_1 t. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Spektr tahlili quyida keltirilgan:

$i(U_0) + \frac{a_2 U_1^2}{2}$ – doimiy (o'zgarmas) tashkil etuvchi;

$a_1 U_1 \cos \omega_1 t$ – birinchi garmonika; $\frac{a_2 U_1}{2} \cos 2\omega_1 t$ – ikkinchi garmonika.

2.2. Oldingi masaladagi kabi $i(t)$ tokni aniqlaymiz va garmonik tahlil qilamiz:

$$i(t) = i(U_0) + a_1 (U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t) + a_2 (U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t)^2 =$$

$$= i(U_0) + \frac{a_2 U_1^2}{2} + \frac{a_2 U_2^2}{2} + a_1 U_1 \cos \omega_1 t + a_2 U_2 \cos \omega_2 t +$$

doimiy tashkil etuvchi; ω_1 va ω_2 birinchi garmonikalari;

$$+ \frac{a_2 U_1^2}{2} \cos 2\omega_1 t + \frac{a_2 U_2^2}{2} \cos 2\omega_2 t + a_2 U_1 U_2 \cos(\omega_2 + \omega_1)t + a_2 U_1 U_2 \cos(\omega_2 - \omega_1)t.$$

$2\omega_1$ va $2\omega_2$ ikkinchi garmonikalari; $\omega_2 + \omega_1$ va $\omega_2 - \omega_1$ kombinatsion chastotalari.

$2\omega_1$ va $2\omega_2$ garmonikalar bilan bir qatorda tok spektrida $|\omega_2 \pm \omega_1|$ kombinatsion chastotalar vujudga keladi. Ular nochiziqli elementda (diodda) $u_1(t)$ va $u_2(t)$ garmonik tebranishlarning o'zaro ta'siri natijasidir.

2.3. Ko'rilayotgan davriy ketma-ketlikning diskret spektri $n/T = n \cdot 20$ kGs chastotalardan tashkil topgan garmonikalarga ega. 500 kGs chastotaga sozlangan qabulqilgichning shaffoflik kengligiga raqami $n = 500/20 = 25$ bo'lgan garmonika to'g'ri keladi. Bu garmonikaning amplitudasi quyidagiga teng:

$$|a_n| = \frac{2A}{n\pi} \left| \sin \frac{n\pi\tau_i}{T} \right|.$$

$n=25$, $A=10$ mV va $T/\tau_i=20, 15, 10, 5$ larni qo'yib, mos ravishda $|a_n|$ uchun 180, 220, 254, 0 mkV natijalarni olamiz.

3-Amaliy mashg'ulot. Mutlaq aniq signalning xarakteristikalarini. Nodavriy signallarning garmonik tahlili

Ishdan maqsad: Mutlaq aniq signalning xarakteristikalarini o'rganish va nodavriy signallarni garmonik tahlil qilishga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Moddiy $s(t)$ signalning energetik xarakteristikalarini sifatida uning quvvati va energiyasi hisoblanadi.

Oniy quvvat $s(t)$ signalning oniy qiymatining kvadrati sifatida aniqlanadi:

$$P(t) = s^2(t) \quad (3.1)$$

Agar $s(t)$ kuchlanish yoki tok bo'lsa, u holda $P(t)$ sifatida 1 om lik qarshilikda ajralgan oniy quvvat hisoblanadi.

t_2, t_1 oralig'ida signal energiyasi sifatida oniy quvvat integrali aniqlanadi:

$$\mathcal{E} = \int_{t_1}^{t_2} P(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} S^2(t)dt. \quad (3.2)$$

Quyidagi munosabat:

$$\mathcal{E}/(t_2-t_1) = 1/(t_2-t_1) \int_{t_1}^{t_2} S^2(t)dt = S^2(t) \quad (3.3)$$

t_2, t_1 oralig'ida signalning o'rtacha quvvati deyiladi.

Real signallar quvvati bo'yicha aniq davomiylik va chegaralangan oniy quvvatga ega. Bunday signallarning energiyasi aniqdir.

Nodavriy signallarning garmonik tahlili: Davriy signallarni garmonik analiz qilishni nodavriy signallarga ham qo'llash mumkin.

Faraz qilaylik, vaqtning t_1, t_2 oralig'ida noldan farqli bo'lgan, nodavriy $s(t)$ signal birorta funksiya ko'rinishida berilgan (3.1-rasm).

Vaqtning t_1, t_2 oralig'ini o'z ichiga olgan, vaqtning ixtiyoriy bir bo'lagi T ajratib olinib, berilgan signalni Furiye qatori ko'rinishida ifodalashimiz mumkin:

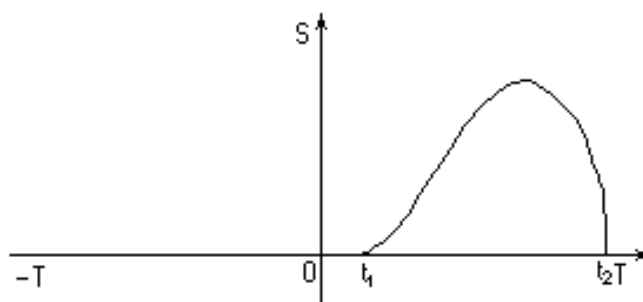
$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{in\omega_1 t}, \quad 0 < t < T, \quad (3.4)$$

bu yerda $\omega_1 = 2\pi/T$, koefitsiyent c_n esa mos ravishda:

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} s(t) e^{-in\omega_1 t} dt$$

Quyidagi berilgan signalni topamiz:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\int_{t_1}^{t_2} s(x) e^{-in\omega_1 x} dx \right) e^{in\omega_1 t} \frac{\omega_1}{2\pi}, \quad 0 < t < T \quad (3.5)$$



3.1– rasm. Yakka impuls.

Bu holda Furiye qatoriga kiruvchi, garmonik tashkil etuvchilarning soni cheksiz katta bo‘ladi, chunki $T \rightarrow \infty$ qiymatlarda funksiyaning asosiy chastotasi

$$\omega_1 = 2\pi/T \rightarrow 0 \quad (3.6)$$

Boshqacha qilib aytganda, asosiy chastota ω_1 ga teng bo‘lgan, spektral liniyalar orasidagi masofa (3.2-rasm), cheksiz kichik, spektri esa tutash, yaxlit bo‘lib boradi.

Shu sababli yuqoridagi ifodada ω_1 ni $d\omega_1$ ga, $n\omega_1$ ni esa joriy ω chastotaga almashtirish mumkin, yig‘indi operatsiyasini esa integrallash operatsiyasiga almashtirish mumkin.

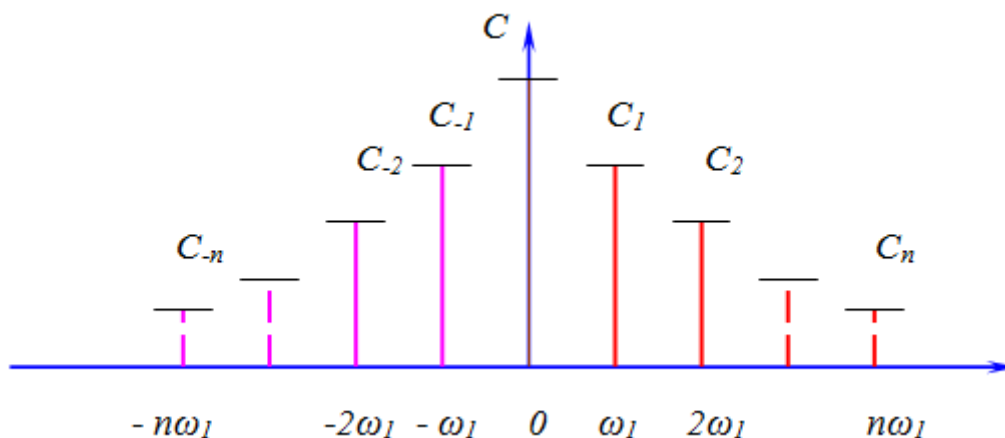
Shunday qilib, Furiyening ikki karrali integraliga kelamiz:

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} \left[\int_{t_1}^{t_2} s(x) e^{-i\omega x} dx \right] d\omega \quad (3.7)$$

Chastota ω funksiyasining ichki integrali hisoblangan

$$S(\omega) = \int_{t_1}^{t_2} s(t) e^{-i\omega t} dt, \quad (3.8)$$

spektral zichlik, yoki $s(t)$ funksiyaning spektral xarakteristikasi deyiladi.



3.2–rasm. Vaqtning davriy funksiyasi bo‘lgan Furiye kompleks qatorining koeffitsientlari.

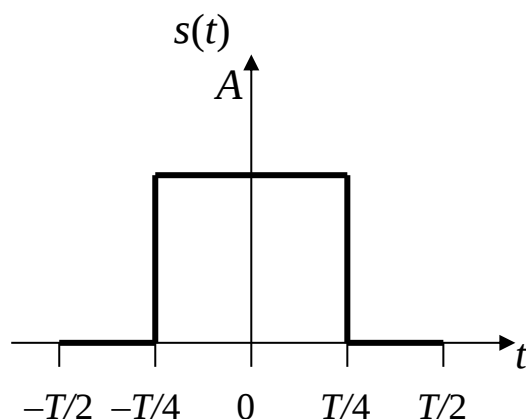
Mashqlar

3.1. To‘g‘riburchaksimon A amplitudali (10-rasm) $[-T/2, T/2]$ vaqt oralig‘ida aniqlangan impuls uchun

$$1, \cos \frac{2\pi}{T}t, \cos 2\frac{2\pi}{T}t, \dots, \cos n\frac{2\pi}{T}t, \dots \quad (3.9)$$

funksiyalar tizimi bo‘yicha Furiye umumlashtirilgan qatori yozilsin. Impuls davomiyligi $\tau_i = T/2$. $s(t)$ funksiyani Furiye umumlashtirilgan qatorining ikkita, uchta va to‘rtta qo‘shiluvchilari orqali approssimatsiyalaganda nisbiy o‘rtacha kvadratik xatoligi aniqlansin.

3.2. $\alpha=10^3 \text{ s}^{-1}$ da $s(t)=A\exp(-\alpha|t|)$ signalning spektral zichligi, samarali davomiyligi, spektr samarali kengligi hamda spektr samarali davomiyligi bilan kengligi ko‘paytmasini aniqlansin. Spektral zichlik o‘zining maksimal qiymatidan 1/10 ga teng bo‘lishiga olib keluvchi chastotani topilsin.



3.3-rasm. To‘g‘riburchaksimon videoimpuls

3.3. Signal $s(t)=A[\delta(t+\tau_i/2) - \delta(t-\tau_i/2)]$ ko‘rinishda berilgan.

Topshiriq: signalning spektral zichligi $S(\omega)$ aniqlansin. Integrallaganda signal shakli va spektri qanday o‘zgaradi? Takroran integrallaganda spektr aniqlansin.

Uslubiy ko‘rsatmalar va javoblar

3.1. Funktsiyalar normalarining kvadratlarini aniqlaymiz:

$$\|\varphi_n\|^2 = \int_{-T/2}^{T/2} 1^2 dt = T, \|\varphi_n\|^2 = \int_{-T/2}^{T/2} \cos^2 2\pi n \frac{t}{T} dt = \frac{T}{2}. \quad (3.10)$$

Furye umumlashtirilgan qatorining koeffitsientlarini aniqlaymiz:

$$c_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/4}^{T/4} A dt = A/2, \quad c_n = \frac{2}{T} \int_{-T/4}^{T/4} A \cos 2\pi n \frac{t}{T} dt = A \frac{\sin n\pi/2}{n\pi/2}. \quad (3.11)$$

Furye umumlashtirilgan qatori berilgan funktsiyalar tizimi bo‘yicha:

$$s(t) = \frac{A}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \frac{2\pi}{T} t - \frac{2}{3\pi} \cos 3 \frac{2\pi}{T} t + \frac{2}{5\pi} \cos 5 \frac{2\pi}{T} t - \dots - \frac{2A(-1)^n}{\pi(2n-1)} \cos \frac{(2n-1)2\pi}{T} t \dots$$

Nisbiy o‘rtacha kvadratik xatolik quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$M_N = \left(\int_{-T/4}^{T/4} s^2(t) dt - \sum_{n=0}^N c_n^2 \|\varphi_n\|^2 \right) / \int_{-T/4}^{T/4} s^2(t) dt. \quad (3.12)$$

Aniqlangan c_n va $\|\varphi_n\|^2$ qiymatlarini qo'yib, quyidagilarni olamiz:

$$M_2 = 1 - \frac{1}{2} - \frac{2^2}{\pi^2} \approx 0,095, \quad M_3 = 1 - \frac{1}{2} - \frac{2^2}{\pi^2} - \frac{2^2}{9\pi^2} \approx 0,049,$$

$$M_4 = 1 - \frac{1}{2} - \frac{2^2}{\pi^2} - \frac{2^2}{9\pi^2} - \frac{2^2}{25\pi^2} \approx 0,033.$$

3.2. Simmetrik eksponensial impulsning spektral zichligi quyidagiga teng:

$$S(\omega) = \frac{2A\alpha}{\alpha^2 + \omega^2} = \frac{2A}{\alpha} \frac{1}{1 + \omega^2/\alpha^2}. \quad (3.13)$$

Impulsning samarali davomiyligi

$$T_{sam} = \left[\int_0^\infty A^2 t^2 e^{-2\alpha t} dt / \int_0^\infty A^2 e^{-2\alpha t} dt \right]^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{2}\alpha} = 0,707 \text{ ms.}$$

Impuls spektrining samarali kengligi

$$\Omega_{sam} = \left[\frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left(\frac{2\alpha A \omega}{\alpha^2 + \omega^2} \right)^2 d\omega / \left(\frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left(\frac{2\alpha A}{\alpha^2 + \omega^2} \right)^2 d\omega \right) \right]^{1/2} = \alpha = 10^3 \text{ rad/s;}$$

$$f_{sam} = \Omega_{sam} / 2\pi \approx 159 \text{ Gs.}$$

Kenglikning davomiylikka ko'paytmasi

$$\Omega_{sam} T_{sam} = 1/\sqrt{2} \approx 0,707.$$

Spektral zichlikning maksimal qiymati $S(0) = 2A/\alpha$.

Spektral zichlik $1/(1+\omega_{\text{cheg}}^2/\alpha^2)=0,1$ tenglamadan aniqlanadigan ω_{cheg} chastotalarda 10 barobar kamayadi. Bu chastotalar $\omega_{\text{cheg}}=\pm 3\alpha=\pm 3\cdot 10^3$ rad/s ga teng, shunga mos ravishda $f_{\text{cheg}}\approx 477$ Gs.

3.3. Signalning spektral zichligi vaqt bo'yicha siljigan ikkita δ -funktsiyalar yig'indisi ko'rinishida quyidagicha aniqlanadi:

$$S(\omega) = A[\exp(i\omega\tau_i/2) - \exp(-i\omega\tau_i/2)] = 2Ai \sin \frac{\omega\tau_i}{2}. \quad (3.14)$$

Integrallaganda A amplitudaga va τ_i davomiylikka ega simmetrik, bir qutbli to'g'riburchak shaklidagi impuls hosil qilinadi. Uning spektral zichligi

$$S_1(\omega) = S(\omega)/(i\omega) = \frac{2A}{\omega} \sin \frac{\omega\tau_i}{2}. \quad (3.15)$$

Spektrni aniqlashda takroran integrallagandan keyin shuni inobatga olish kerakki, to'g'riburchakli impuls $S_1(0)=A\tau_i$ yuzaga ega bo'ladi, shuning uchun

$$S_2(\omega) = \frac{S_1(\omega)}{i\omega} + \pi S_1(0)\delta(\omega) = \frac{2A}{i\omega^2} \sin \frac{\omega\tau_i}{2} + \pi A\tau_i\delta(\omega). \quad (3.16)$$

4-Amaliy mashg'ulot. Radiosignallar modulyatsiyasi. Amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan radiosignallar

Ishdan maqsad: Radiosignallar modulyatsiyasi. Amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan radiosignallarga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Tashuvchi sifatida yuqori chastotali garmonik tebranuvchi signalni olamiz (4.1,a-rasm):

$$U_t(t) = U_\omega \cos \omega_0 t. \quad (4.1)$$

Modulatsiyalovchi signalning chastotasi Ω ga teng garmonik tebranuvchi signal deb hisoblaymiz (4.1b-rasm):

$$U_m(t) = U_\Omega \cos \Omega t. \quad (4.2)$$

Odatda $\omega_0 \gg \Omega$ tanlanadi. $U_t(t) = U_\omega \cos \omega_0 t$ tashuvchining amplitudasi U_ω modulatsiyalovchi U_Ω signal amplitudasiga mos ravishda o'zgaradi:

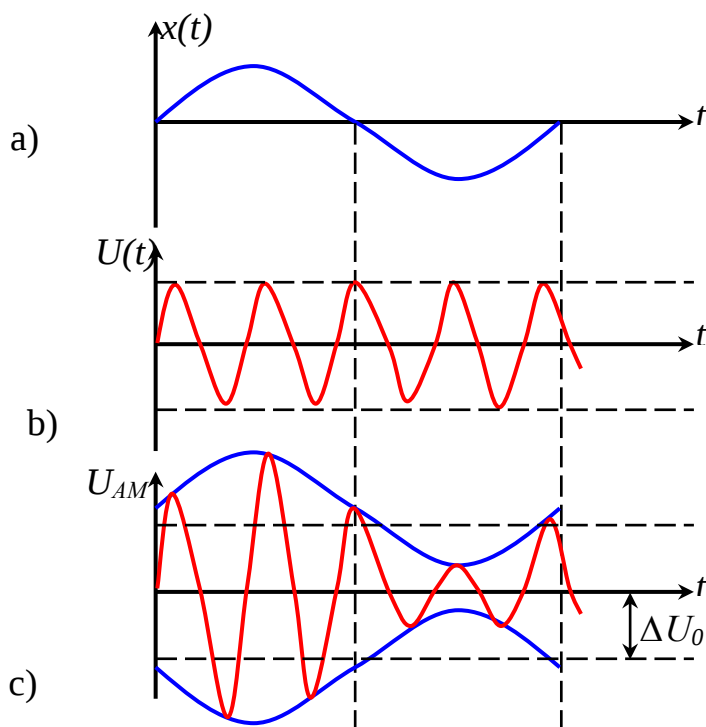
$$U_{AM}(t) = [U_\omega + k U_\Omega \cos \Omega t] \cdot \cos \omega_0 t, \quad (4.3)$$

bu yerda, k – proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, modulatsiyalovchi signal amplitudasi o'zgarishini tashuvchi U_ω amplitudasi o'zgarishi ΔU_ω bilan bog'laydi, ya'ni $\Delta U_\omega = k U_m$

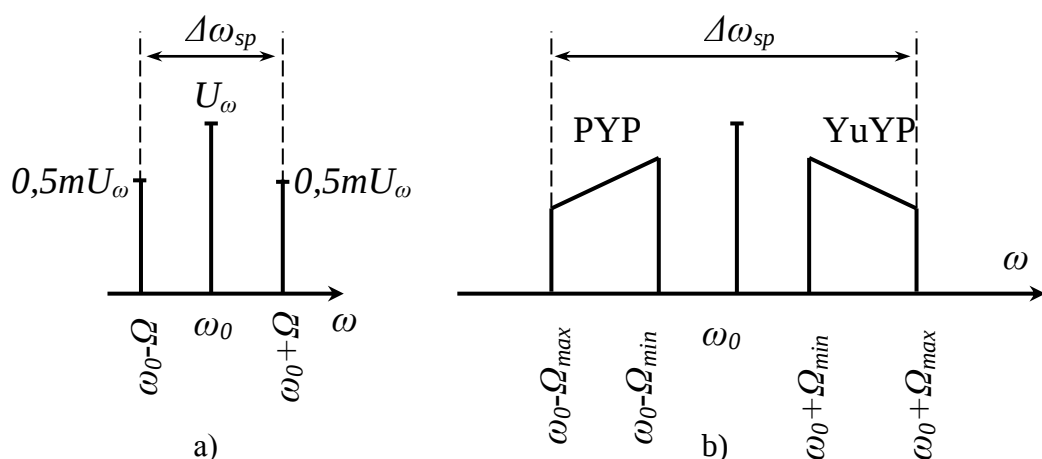
AM signal spektral tashkil etuvchilarini aniqlash uchun qavsni ochamiz va $\cos \alpha \cdot \cos \beta$ trigonometrik ifodani yoyishdan foydalanamiz, natijada quyidagi ifodani olamiz:

$$U_{AM}(t) = U_\omega \cos \omega_0 t + 0,5m U_\omega \cos(\omega_0 + \Omega)t + 0,5m U_\omega \cos(\omega_0 - \Omega)t \quad (4.4)$$

Bir ton Ω bilan modulyatsiyalangan AM signal uchta tashkil etuvchidan iborat: tashuvchi chastota – ω_0 ; $(\omega_0 + \Omega)$ va $(\omega_0 - \Omega)$ chastotalar (4.2a-rasm). Bir ton Ω bilan modulyatsiyalangan AM signal spektri kengligi $\Delta \omega_{sk} = 2\Omega_{max}$ (4.2b-rasm).



4.1-rasm. Amplitudasi modulyatsiyalangan signalni hosil qilish.

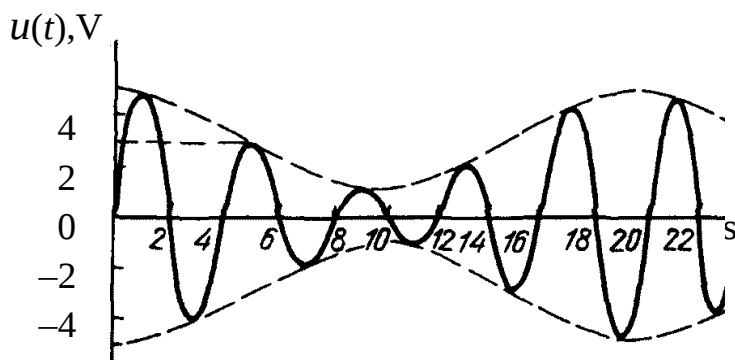


4.2-rasm. Amplitudasi modulyatsiyalangan signal spektri.

Mashqlar

4.1. To‘lqin uzunliklari $\lambda=2-5$ m oralig‘ida bo‘lgan diapazonda o‘zaro xalaqitlarsiz ishlashi mumkin bo‘lgan radioeshittirish, radiotelefoniya, televizion va telegraf kanallari sonini quyida berilganlarga asosan aniqlang: uzatiladigan ma‘lumotlar spektrlarida maksimal chastotalar telegraf kanallari uchun 300 Gs, radiotelefoniya uchun 3 kGs, radioeshittirish uchun 5 kGs, televizion kanallar uchun 6 MGs; televizion signal uzatilishi amplitudasi modulyatsiyalangan tebranishlar (AMT) chastotalarining bir yon polosasida olib boriladi; aloqa kanallari orasidagi kesishish xalaqitlarini bartaraf etish uchun ma‘lumot spektrining maksimal chastotasidan 10% kenglikda himoya intervallarini hisobga olinsin. $\lambda=2$ va 5 m da AMT chastotalarining nisbiy polosasi baholansin.

4.2. AMT diagrammasi ko‘rsatilgan 4.3-rasmdagi signalning analitik ifodalanishi yozilsin va uning spektrogrammasi qurilsin. Modulyatsiya davridagi 1 Om qarshilikda ajraladigan o‘rtacha quvvatni hisoblang.



4.3-rasm. Amplitudasi modulyatsiyalangan tebranish diagrammasi

4.3. Amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan signal (V) quyidagi ifoda orqali keltirilgan:

$$u(t)=12(1+0,6\cos\Omega t+0,2\cos2\Omega t)\cos\omega_0 t. \quad (4.5)$$

Topshiriq: berilgan signal og'uvchisi $U(t)$ ning eng katta va eng kichik qiymatlarini toping.

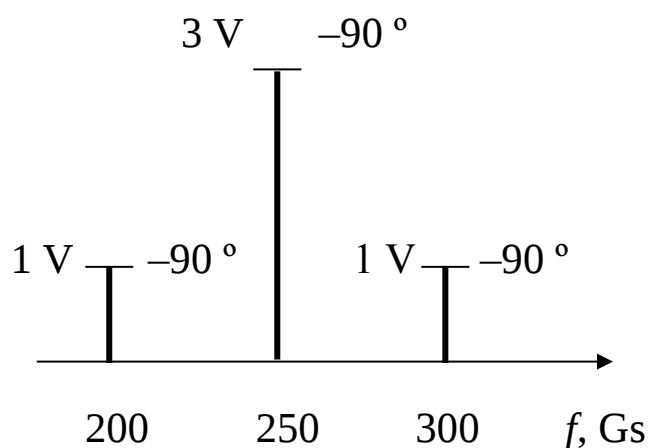
Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

4.1. Amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan tebranish spektr kengligining modulyatsiyalovchi tebranish spektrida maksimal chastota F_{max} ga bog'liqligi quyidagicha: $\Delta f = 2F_{max}$. Shunga asosan, signal spektrining kengligi himoya intervalini hisobga olganda radioeshittirish kanali uchun 11 kGs, radiotelefoniya uchun 6,6 kGs; televizion kanal uchun AMT bir yon polosasida uzatilganda 6,6 MGs; telegraf uchun 0,66 kGs. Sanab o'tilgan kanallarning ishlashi uchun mo'ljallangan chastota diapazoni 90 MGs ni tashkil etadi, shuning uchun televizion kanallar soni 13 ta, radioeshittirish kanallari soni 8182 ta, radiotelefoniyaniki 13636 ta, telegrafniki 136363. $\lambda=2$ m da AMT chastotalarining nisbiy polosasi televizion kanal uchun $4 \cdot 10^{-2}$, radioeshittirish uchun $6,7 \cdot 10^{-5}$, radiotelefoniya uchun $4 \cdot 10^{-5}$, telegraf uchun $4 \cdot 10^{-6}$ ni tashkil etadi. $\lambda=5$ m da mos ravishda 0,1; $1,7 \cdot 10^{-4}$; 10^{-4} ; 10^{-5} .

4.2. Keltirilgan grafik bo'yicha AMT parametrlarini aniqlaymiz: $T_0=4$ ms, $T_{mod}=20$ ms, $U_0=3$ V, $\Delta U=2$ V, $\theta_0= -90^\circ$, $\gamma=0^\circ$, modulyatsiya koeffitsienti $M=2/3$. U holda berilgan AMT ning analitik ifodalanishi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$u(t) = 3 \left(1 + \frac{2}{3} \cos 2\pi 50t \right) \cos(2\pi 250t - 90^\circ), \text{ V.} \quad (4.6)$$

Spektral diagramma 4.4-rasmda ko'rsatilgan. 1 Om qarshilikda ajraladigan o'rtacha quvvat 5,5 Vt ni tashkil qiladi.



4.4-rasm. Spektral diagrammaning ko‘rinishi

4.3. Signal og‘uvchisi $U(t)=12(1+0,6\cos\Omega t+0,2\cos2\Omega t)$, V ifoda orqali berilmoqda. $x=\Omega t$ o‘lchamsiz argumentni kiritib, x ning og‘uvchi ekstremal qiymatlarga erishadigan qiymatlari quyidagi tenglamaning ildizlari bo‘lishi kerak ekanligini ko‘ramiz:

$$0,6\sin x + 0,4\sin 2x = 0. \quad (4.7)$$

Yaqqol ildiz $x=0$ og‘uvchining $U_{max}=21,6$ V maksimumiga mos keladi. tenglamaning boshqa ildizini ikkala qismni $\sin x \neq 0$ ga bo‘lib topamiz. Shunda $\cos x = -0,75$, ya’ni, $x = 2,419$ va $U_{min}=6,9$ V.

5-Amaliy mashg‘ulot. Faza modulyatsiyasi. Impuls modulyatsiyasi

Ishdan maqsad: Fazasi modulyatsiyalangan va Impulsi modulyatsiyalangan radiosignallarga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Tebranish chastotasi oniy qiymati va oniy fazasi bir-biri bilan matematik jihatdan hosila va integral bilan bog‘langan. Bu kattaliklardan birining o‘zgarishi ikkinchisining unga bog‘liq o‘zgarishiga olib keladi, ya’ni:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{va} \quad \Psi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \varphi_0 \quad (5.1)$$

Shuning uchun ular chastotasi va fazasi modulyatsiyalangan signallar deb ataladi. Quyida shu ikki tur modulyatsiyani batafsil ko‘rib chiqamiz.

Faza modulyatsiyasi natijasida yuqori chastotali tashuvchi

$$U_{\omega}(t)=U_{\omega}\cos(\omega_0+\varphi_0)t \quad (5.2)$$

ning fazasi modulyatsiyalovchi $U_m(t)$ qonuni bo'yicha o'zgaradi, ya'ni,

$$\varphi(t)=\varphi_0+aU_m(t) \quad (5.3)$$

bu yerda a - proporsionallik koeffitsiyenti. Burchak modulyatsiyasida tashuvchining amplitudasi o'zgarmaydi, ya'ni, $U_{\omega}=\text{const}$, shuning uchun FM tebranishni quyidagicha ifodalash mumkin

$$U_{FM}(t)=U_{\omega}\cos[\omega_0t+\varphi_0+aU_m(t)] \quad (5.4)$$

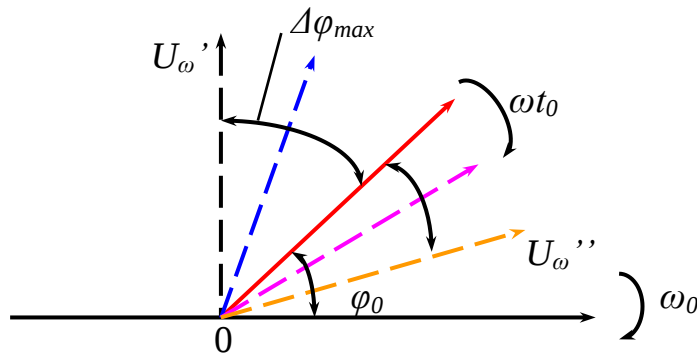
Agar modulyatsiya past chastotali garmonik signal

$$U_m(t)=U_m\sin\Omega t \quad (5.5)$$

ta'sirida amalga oshirilsa, FM signalning fazasi oniy qiymati quyidagiga teng bo'ladi

$$\Psi(t)=\omega_0t+\varphi_0+aU_m\sin\Omega t \quad (5.6)$$

Yuqoridagi ifodada birinchi va ikkinchi tashkil etuvchisi modulyatsiyalangan signal fazasiga teng, uchinchi fazaning modulyatsiya natijasida o'zgarishi 5.1-rasmda FM signal vektor diagrammasi yordamida tushuntirilgan.



5.1-rasm. FM signal vektor diagrammasi.

Modulyatsiyalangan tebranish fazasining modulatsiyalanmagan tebranish fazasidan bir tomonga maksimal siljishi faza modulatsiyasi indeksi deb ataladi. Modulatsiya indeksi modulatsiyalovchi signal amplitudasiga bog'liq bo'lib, uning o'zgarish chastotasiga bog'liq emas. $\Delta\varphi_{\max}=M_{FM}=aU_m$ ni e'tiborga olib $U_{\omega}(t)=U_{\omega}\cos(\omega_0+\varphi_0)t$ ifodani quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$U_{FM}(t)=U_0\cos[\omega_0t+\varphi_0+m\sin\Omega t] \quad (5.7)$$

FM signalning oniy chastotasi quyidagicha o'zgaradi:

$$\omega(t) = \omega_0 t + m\Omega \cos \Omega t \quad (5.8)$$

Shunday qilib FM signal turli onlarda turlicha chastotaga ega bo'ladi, uning tashuvchi chastotasidan farqi

$$\Delta\omega = m\Omega \cos \Omega t \quad (5.9)$$

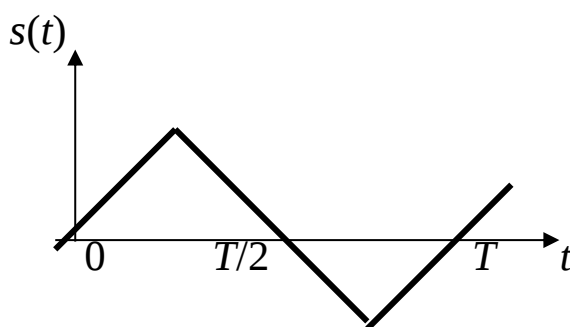
bo'lib, FM signalni ChM signal deb qarash mumkin.

Mashqlar

5.1. Faza modulyatsiyasi qo'llanilgan radioaloqa kanali uchun $f_0 = 10$ MGs tashuvchi chastotada 100 kGs chastotalar polosasi ajratilgan.

Topshiriq: burchak modulyatsiyasi m indeksi 5 dan kam bo'lmasligi sharti bilan eng yuqori bo'lishi mumkin modulyatsiya chastotasi F ni aniqlang.

5.2. Faza modulyatori kirishiga 5.2-rasmda ko'rsatilgan $s(t)$ signal berilgan.



5.2-rasm. Faza modulyatori kirishiga berilgan signal

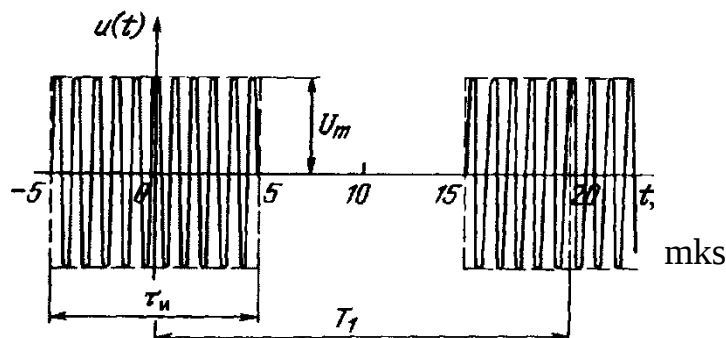
Topshiriq: modulyatsiyalangan tebranish fazasi $\theta(t)$ va oniy chastotasining o'zgarish qonunlarini aniqlang.

5.3. FMT chastotasi $\omega(t) = 2\pi \cdot 10^6 (1 + 0,1 \cos 2\pi \cdot 10^4 t)$, rad/s qonuni bo'yicha o'zgaradi.

Topshiriq: bu tebranishning amplitudasi 20 V ga teng deb olib, u uchun analitik ifodani aniqlang.

5.4. To'g'riburchak og'uvchili radioimpulslar davriy ketma-ketligi berilgan (5.4-rasm). U quyidagi ko'rsatkichlarga ega: impuls davomiyligi $\tau_i = 10$ mks, takrorlanish davri $T_1 = 20$ mks, to'ldirish chastotasi $\omega_0 = 2\pi/T_0$, $\tau_i/T_0 > 1$, impulslar amplitudasi $U_m = 10$ V.

Topshiriq: shu tebranish uchun analitik ifoda tuzilsin va spektrogramma qurilsin.



5.3-rasm. To'g'riburchakli radioimpulslar ketma-ketligi

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

5.1. Fazasi modulyatsiyalangan tebranish quyidagicha ifodalanadi:

$$u(t) = U_m \cos[2\pi f_0 t + m \cos(2\pi F t)], \quad (5.10)$$

bu yerda $m = f_d/F$, f_d – chastota deviatsiyasi.

Kanalning 100 kGs chastota kengligida deviatsiya 50 kGs dan ko'p bo'lishi mumkin emas, shuning uchun quyidagi shart bajarilishi zarur:

$$F_{max} \leq f_d/m = 10 \text{ kGs}. \quad (5.11)$$

5.2. $\theta(t)$ faza $s(t)$ signalning o'zgarishiga mos qonun bo'yicha o'zgaradi, $\omega(t) = \omega_0 + d\theta/dt$ oniy chastota esa o'zining o'rtacha qiymati ω_0 ga nisbatan meandr shaklida o'zgaradi.

5.3. Analitik ifoda quyidagicha aniqlanadi:

$$u(t) = 20 \cos(2\pi \cdot 10^6 t + 10 \sin 2\pi \cdot 10^4 t), \text{ V}. \quad (5.12)$$

5.4. 5.4-rasmda ko'rsatilgan AMT og'uvchisi bir qutbli to'g'riburchaksimon impulslarning davriy ketma-ketligi bo'lib, Furre qatori orqali quyidagicha aniqlanadi:

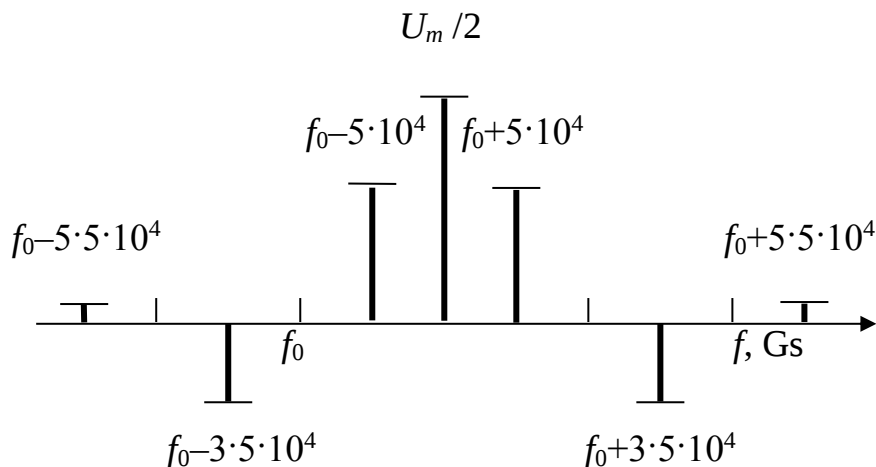
$$U(t) = \frac{U_m}{2} + a_1 \cos \frac{2\pi}{T_1} t + a_3 \cos 3 \frac{2\pi}{T_1} t + a_5 \cos 5 \frac{2\pi}{T_1} t + \dots, \quad (5.13)$$

bu yerda $a_n = \frac{2U_m}{n\pi} \sin n\pi \frac{\tau_i}{T_1}$ – qator koeffitsiyentlari.

$\tau_i / T_1 = 1/2$, $a_1 = 2U_m / \pi$, $a_3 = -2U_m / 3\pi$, $a_5 = 2U_m / 5\pi, \dots$ bo'lganda izlanayotgan analitik ifoda quyida keltirilgan:

$$u(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \theta_0) = \frac{U_m}{2} \left\{ \cos(\omega_0 t + \theta_0) + \frac{2\pi}{\pi} \left[\cos\left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{T_1} t + \theta_0\right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \cos\left(\omega_0 t - \frac{2\pi}{T_1} t + \theta_0\right) \right] - \frac{2}{\pi} \left[\cos\left(\omega_0 t + 3 \frac{2\pi}{T_1} t + \theta_0\right) + \cos\left(\omega_0 t - 3 \frac{2\pi}{T_1} t + \theta_0\right) \right] + \dots \right\}. \quad (5.14)$$

AMT spektri 5.4-rasmda ko'rsatilgan. Modulyatsiyaning alohida koeffitsiyentlari $2/n\pi = M_n/2$ tenglikdan aniqlanadi; shunday qilib, $M_1 = 4/\pi = 1,27$, $M_3 = 4/3\pi = 0,42$ va hokazo.



5.4-rasm. AMT spektri

$M_1 > 1$ bo'lishiga qaramasdan bu holda qayta modulyatsiya bo'lmaydi, sababi $U(t)$ modulyatsiyalovchi funksiyaning uchinchi, yettinchi va h.k. garmonikalari birinchi gamonika bilan teskari fazada qo'shilib ketadi.

6-Amaliy mashg'ulot. Chastota modulyatsiyasi. Chastotasi modulyatsiyalangan signallarning energetik spektri

Ishdan maqsad: Chastotasi modulyatsiyalangan signallarning energetik spektrini o'rganish va chastotasi modulyatsiyalangan radiosignallarga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Chastota maksimal qiymati ω ning ω_0 dan farqi $\Delta\omega_d$ chastota deviatsiyasi deb ataladi, ya'ni

$$\Delta\omega_d = m_{chm}\Omega \quad \text{yoki} \quad \Delta f_d = M_{chm}F$$

Chastota modulyatsiyasini amalga oshirilganda tashuvchining chastotasi oniy qiymati modulyatsiyalovchi signal $U_m(t)$ ga mos ravishda o'zgaradi, ya'ni,

$$\omega(t) = \omega_0 + aU_m(t) \quad (6.1)$$

bu yerda a – proporsionallik koeffitsienti. ChM signalning oniy fazasi:

$$\Psi(t) = \omega_0(t) + \varphi_0 + a \int_0^t U_m(t) dt \quad (6.2)$$

ChM signalning analitik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$U_{chM}(t) = U_0 \cos \left[\omega_0 t + \varphi_0 + a \int_0^t U_m(t) dt \right] \quad (6.3)$$

Agar $U_m(t) = U_m \cos \Omega t$ bo'lsa, u holda

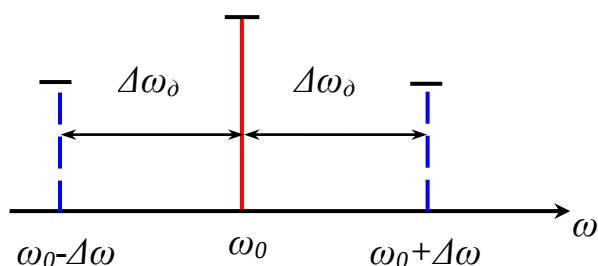
$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_d \cos \Omega t \quad (6.4)$$

bu yerda $\Delta\omega_d$ – chastota deviatsiyasi, ya'ni tashuvchi chastotasi ω_0 ning bir tomonga maksimal oshishi yoki kamayishi (6.1-rasm).

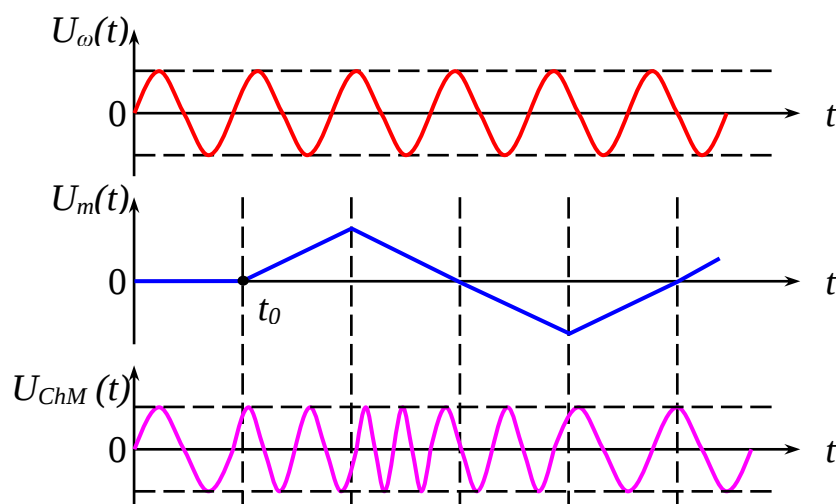
$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_d \cos \Omega t$ e'tiborga olib, yuqoridagi formulani

quyidagi shaklga keltiramiz:

$$U_{chM}(t) = U_0 \cos \left[\omega_0 + \varphi_0 + \frac{\Delta\omega_d}{\Omega} \sin \Omega t \right] \quad (6.5)$$



6.1-rasm. Chastota deviatsiyasi



6.2-rasm. Chastotasi modulyatsiyalangan signalni olish.

Mashqlar

6.1. To‘g‘riburchak og‘uvchili chastotasi modulyatsiyalangan radioimpuls 1 ms davomiylikka ega. Uning amplitudasi oniy chastota quyidagi qonuniyat bo‘yicha o‘zgarganda 5 V ga teng:

$$\omega(t) = \omega_{\min} + \beta t, 0 \leq t \leq 1 \text{ ms}, \quad (6.6)$$

bu yerda $\omega_{\min} = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^4 \text{ rad/s}$ – chastotaning boshlang‘ich qiymati; $\beta = 2 \cdot \pi \cdot 10^7 \text{ rad/s}^2$ – chastota o‘zgarish tezligi.

Topshiriq: agar tebranishning boshlang‘ich fazasi $\pi/6$ bo‘lsa, radiosignalning bazasi aniqlansin va analitik ifodasi yozilsin.

6.2. Burchak modulyatsiyali tebranish quyidagi ifoda orqali berilgan:

$$u(t) = 15 \cos(10^8 t + 3 \sin 10^6 t + 1,4 \sin 10^5 t + \pi/4). \quad (6.7)$$

Topshiriq: berilgan signalning oniy chastotasi $\omega(t)$ qiymatini $t = 1 \text{ mks}$ vaqt momentida aniqlang.

6.3. Qo‘ng‘iroqsimon og‘uvchili chiziq-chastotaviy modulyatsiyalangan radiosignalning analitik ifodasi quyidagicha berilgan:

$$a(t) = A \exp(-\alpha^2 t^2) \cos(\omega_0 t + \beta t^2), \quad -\infty < t < \infty. \quad (6.8)$$

Topshiriq: berilgan signalning $A=10$ V, $f_0=1$ MGs, $\alpha=10^4$ s⁻¹, $\beta=10^9$ rad·s⁻² bo'lganda energiyasi va bazasi aniqlansin. Berilgan α qiymatida va β ning $0...10^8$ 1/s² oralig'ida o'zgarganida spektr samarali kengligining β ga bog'liqligi qurilsin.

6.4. Amplitudasi U_0 , davomiyligi τ_i va chastotasi o'sib borish tezligi μ ma'lum bo'lgan to'g'riburchakli chiziq-chastotaviy modulyatsiyalangan $u(t)$ impuls berilgan bo'lsin. Bu impulsning energiyasi E_i taxminiy qiymatini hisoblang. Masalani ikki usul orqali yeching: a) vaqt mintaqasida bevosita integrallab, b) signal energetik spektri W_i tushunchasini qo'llab. Signal bazasini $B \gg 1$ deb oling.

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

6.1. Tebranishning to'liq oniy fazasi quyidagiga teng:

$$\psi(t)=2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 t + 2\pi \cdot 10^7 t^2 + \pi/6 \quad (6.9)$$

Chastota devitsiyasi $f_d=10$ kGs; tebranishning bazasi $N=\Delta f_{sam} \tau_i = m=2$ $f_d \tau_i=20$. Bu tebranishni quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$u(t) = \begin{cases} 5 \cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^4 t + 2\pi \cdot 10^7 t^2 + \pi/6), & 0 < t < \tau_i, \\ 0, & t < 0, \quad t > 0. \end{cases} \quad (6.10)$$

6.2. Berilgan signalning to'liq fazasi:

$$\psi(t)=10^8 t + 3 \sin 10^6 t + 1,4 \sin 10^5 t + \pi/4. \quad (6.11)$$

Oniy chastota esa to'liq fazadan olingan hosila hisoblanadi:

$$\omega(t)=10^6 + 3 \cdot 10^6 \cos 10^6 t + 1,4 \cdot 10^5 \cos 10^5 t. \quad (6.12)$$

$t=10^{-6}$ s qiymatni qo'yib, $\omega=1,0176 \cdot 10^8$ s⁻¹ olinadi.

6.3. Signal bazasi quyidagicha aniqlanadi:

$$N=\Delta t_{sam} \Delta f_{sam},$$

bu yerda $\Delta t_{sam} = \frac{1}{A} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt$ – signalning samarali davomiyligi;

$\Delta f_{sam} = \frac{1}{2\pi S_{\max}^2(\omega)} \int_{-\infty}^{\infty} S^2(\omega) d\omega$ – spektrning samarali kengligi.

Tor polosali signalning energiyasini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \mathfrak{S}_s &= \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt = A^2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{-2\alpha^2 t^2} \cos^2(\omega_0 t + \beta t^2) dt \approx \\ &\approx \frac{A^2}{2\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ V}^2 \cdot \text{s}. \end{aligned} \quad (6.13)$$

Bundan signalning samarali davomiyligi kelib chiqadi:

$$\Delta t_{sam} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}} 10^{-4} = 62,65 \text{ mks.}$$

Δf_{sam} ni aniqlash uchun berilgan signalning spektral zichligini topish kerak:

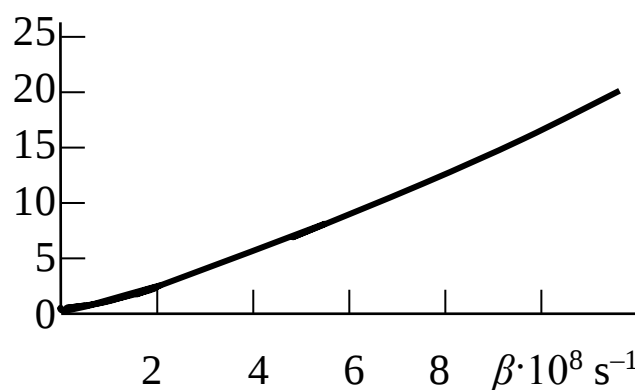
$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} A \frac{1}{2} \exp(-\alpha^2 t^2) \exp[i(\omega_0 t + \beta t^2)] dt = \\ &= \frac{\sqrt{5}}{2} \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 - i\beta}} \exp\left[-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{4(\alpha^2 - i\beta)}\right], \quad -\infty < \omega < \infty. \end{aligned} \quad (6.14)$$

$$\text{U holda } \Delta f_{sam} = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{\alpha^4 + \beta^2}}{\alpha}, \text{ demak, signal bazasi}$$

$$m = \Delta t_{sam} \Delta f_{sam} = \frac{1}{8\alpha^2} \sqrt{\alpha^4 + \beta^2} = 1,26.$$

Δf_{sam} ning β ga bog‘liqlik grafigi 6.3-rasmda ko‘rsatilgan.

$$\Delta f_{sam} \cdot 10^3, \text{ Gs}$$



6.3-rasm. Δf_{sam} ning β ga bogʻliqlik grafigi

6.4. a). Vaqt hisobining boshlanishi impuls oʻrtasi bilan mos kelishini nazarda tutib, quyidagiga egamiz:

$$E_i = \int_{-\tau_i/2}^{\tau_i/2} \cos^2 \left(\omega_0 t + \frac{\mu t^2}{2} \right) dt = U_0^2 \int_{-\tau_i/2}^{\tau_i/2} \frac{1 + \cos 2 \left(\omega_0 t + \frac{\mu t^2}{2} \right)}{2} dt. \quad (6.15)$$

Integral ostidagi ifodaning suratidagi ikkinchi qoʻshiluvchi ishorasi oʻzgaruvchi funksiya hisoblanadi; uning kiritmasi signal bazasi oʻsishi bilan nolga intilib boradi. Shunday qilib

$$E_i \approx U_0^2 \tau_i / 2. \quad (6.15)$$

b). Signalning energetik spektri amalda $\Delta\omega = \mu\tau_i$ chastotalar oraligʻida oʻzgarmasdir va $W_i = \pi U_0^2 / (2\mu)$ ga teng. U holda signal energiyasi yuqorida boshqa usul orqali olingani singari

$$E_i = W_i \cdot \Delta\omega / \pi = U_0^2 \tau_i / 2. \quad (6.16)$$

7-Amaliy mashgʻulot. Nochiziqli zanjirlar va ularni tahlil qilish usullari

Ishdan maqsad: Nochiziqli zanjirlar va ularni tahlil qilish usullarni oʻrganish va ularga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Radiotexnik zanjir nochiziqli hisoblanadi, qachonki uning tarkibiga bir yoki bir necha parametri kirish signaliga bogʻliq boʻlgan elementlar kirsan.

Nochiziq differensial tenglamalar nazariyasidan ma'lumki, bunday tenglamalarni yechishda ustma-ust qo'yish prinsipi to'g'ri kelmaydi.

Nochiziq sistemalarning asosiy xususiyatlarini sanab o'tamiz.

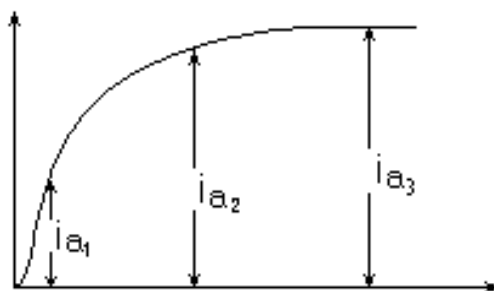
1. Nochiziq zanjirlar uchun (va elementlar uchun) superpozitsiya prinsipi mos emas.

Nochiziqli sistemalarning bu xususiyati nochiziq elementlarning kuchlanish va tok orasidagi proporsionallikni buzuvchi, volt-amper xarakteristikalarining (VAX) egriliklari bilan mustahkam bog'liq.

Masalan, diod uchun (7.1-rasm), agar U_1 kuchlanish uchun i_1 tok mos kelsa, U_2 kuchlanish uchun esa i_2 mos kelsa, u holda yig'indi $U_3=U_1+U_2$ kuchlanish uchun i_3 tok mos keladi, ammo $i_1+i_2 \neq i_3$.

Bu oddiy misol orqali ko'rinadiki, nochiziq zanjirga murakkab signalning ta'sirini tahlil qilinadigan bo'lsa, murakkab signalni ancha sodda signallarga yoyish mumkin emas, sistema javobini natijaviy signal uchun qidirish kerak.

Nochiziq sistemalar uchun usma-ust qo'yish prinsipini joriy qilib bo'lmazligi, murakkab signallarni uning tashkil etuvchilariga yoyishga asoslangan spektral va boshqa tahlil usullarini qo'llashni bekor qiladi.



7.1-rasm. Nochiziq elementning volt-amper xarakteristikasi.

2. Nochiziq zanjirlarning asosiy xususiyati signal spektrini o'zgartirish hisoblanadi.

Nochiziq zanjirga oddiy garmonik signal ta'sir qilganida zanjirda asosiy chastotali tebranish bilan bir qatorda asosiy chastotaga nisbatan bir necha karra chastotali garmonikalar vujudga keladi (ba'zi hollarda esa tok yoki kuchlanishning o'zgarish tashkil etuvchilari ham).

Nochiziq zanjirda murakkab shaklli signal ta'sirida garmonikalardan tashqari yana kombinatsion chastotali tebranishlar vujudga keladi. Bular signal tarkibiga kiruvchi ayrim tebranishlarning o'zaro ta'siri orqali vujudga keladi.

Signal spektrini o'zgartirish nuqtai nazaridan chiziqli parametr va nochiziqli zanjirlarning prinsipial farqini ko'rsatish joiz.

Asosiy radiotexnik jarayonlar: generatsiya, modulatsiya, detektorlash va chatotani o'zgartirish chastota spektrini transformatsiyasi orqali sodir bo'ladi. Shu sababli bunday jarayonlarni nochiziqli yoki chiziqli parametrik zanjirlar yordamida bajarish mumkin.

Ba'zi hollarda bir yo'la ham nochiziqli, ham chiziqli parametrik zanjirlar qo'llaniladi.

Shuni aytish lozimki, o'zgartirilgan spektrning foydali tashkil etuvchilarini ajratib olishda nochiziqli elementlar chiziqli zanjirlar bilan birgalikda ishlatiladi. Shu sababli sistemalarni chiziqli, nochiziqli va parametrik turlarga ajratish juda ham shartli hisoblanadi.

Mashqlar

7.1. Biquotbli tranzistor o'tish xarakteristikasining ish qismi 7.1-jadvalda keltirilgan tok qiymatlari orqali berilgan.

7.1-jadval

u_b, V	0,2	0,24	0,28	0,32
i_k, mA	0,1	0,6	1,9	8,0

Topshiriq: ish qismining o'rtasida bazadagi U_0 siljishni o'zgartirib borib, tranzistor xarakteristikasini uchinchi darajali polinom bilan approksimatsiyalansin.

7.2. Biquotbli tranzistor o'tish xarakteristikasi ish nuqta U_0 atrofida quyidagi uchinchi darajali polinom orqali berilgan:

$$i_k = 0,9 + 28,3(u_b - U_0) + 875(u_b - U_0)^2 + 10400(u_b - U_0)^3, \text{ mA.} \quad (7.1)$$

Tranzistor bazasidagi kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi 60 va 10 mV amplitudali hamda chastotalari 1 va 0,8 MGs bo'lgan ikki garmonik tebranishlar yig'indisiga teng.

Topshiriq: kollektor tokini spektral tahlil qilinsin va spektri qurilsin.

7.3. Oldingi masalada berilgan o'tish xarakteristikani ikkinchi darajali polinom orqali, tokni 0,2; 0,26; 0,32 V kuchlanishlarda mos kelishini talab etib

approksimatsiyalansin. Kollektor tokining spektral tahlilini 7.2-masaladagi ta'sir ostida bajarilsin. Natijalar taqqoslansin.

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

7.1. Ish nuqtasining berilgan holatiga mos keluvchi bazadagi kuchlanish 7.1-jadvalga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$U_0 = 0,2 + (0,32 - 0,2)/2 = 0,26 \text{ V.} \quad (7.2)$$

Xarakteristikani approksimatsiyalovchi polinom

$$i_k = a_0 + a_1(u_b - U_0) + a_2(u_b - U_0)^2 + a_3(u_b - U_0)^3. \quad (7.3)$$

Bu ifodaga 1-jadvaldan tok va kuchlanish qiymatlarini qo'yib, noma'lum a_0, a_1, a_2, a_3 koeffitsientlarni aniqlash uchun to'rtta tenglamani olamiz:

$$\begin{aligned} 0,1 &= a_0 - a_1 0,06 + a_2 (0,06)^2 - a_3 (0,06)^3; \\ 0,6 &= a_0 - a_1 0,02 + a_2 (0,02)^2 - a_3 (0,02)^3; \\ 1,9 &= a_0 + a_1 0,02 + a_2 (0,02)^2 - a_3 (0,02)^3; \\ 8 &= a_0 + a_1 0,06 + a_2 (0,06)^2 - a_3 (0,06)^3. \end{aligned} \quad (7.4)$$

Tenglamalar tizimini noma'lum parametrlarga nisbatan yechib, quyidagilarni topamiz: $a_0 = 0,9 \text{ mA}$, $a_1 = 28,3 \text{ mA/V}$, $a_2 = 875 \text{ mA/V}^2$, $a_3 = 10400 \text{ mA/V}^3$.

Shunday qilib, tranzistor o'tish xarakteristikasini approksimatsiyalovchi ifoda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$i_k = 0,9 + 28,3(u_b - 0,26) + 875(u_b - 0,26)^2 + 10400(u_b - 0,26)^3 \quad (7.5)$$

(tok o'lchami mA, kuchlanish o'lchami V da olingan).

7.2. Tok spektri tashkil etuvchilarining amplitudalari va chastotalarini aniqlash uchun quyidagini bajaramiz:

$$u = U_0 + U_a \cos \omega_a t + U_b \cos \omega_b t, \quad (7.6)$$

bu yerda

$$U_a=60 \text{ mV}, U_b=10 \text{ mV}, \omega_a=2\pi f_a, \omega_b=2\pi f_b, f_a=10^6 \text{ Gs}, f_b=0,8 \cdot 10^6 \text{ Gs}.$$

Kollektor toki

$$i_k = a_0 + a_1(U_a \cos \omega_a t + U_b \cos \omega_b t) + a_2(U_a \cos \omega_a t + U_b \cos \omega_b t)^2 + a_3(U_a \cos \omega_a t + U_b \cos \omega_b t)^3. \quad (7.7)$$

Ikki garmonik tebranish yig'indisining kvadrati va kubi uchun ma'lum trigonometrik ifodalarni qo'llab, kollektor tokining spektridagi quyidagi tashkil etuvchilarga kelimiz:

doimiy tashkil etuvchi

$$I_0 = a_0 + (a_2 U_a^2)/2 + (a_2 U_b^2)/2 = 2,51 \text{ mA};$$

$$f_a = 10^6 \text{ Gs chastotali va } I_{a1} = a_1 U_a + \left(\frac{3}{2} U_b^2 U_a + \frac{3}{4} U_a^3 \right) = 3,47 \text{ mA},$$

$$I_{a2} = a_2 U_a^2 / 2 = 1,57 \text{ mA}, I_{a3} = a_3 U_a^3 / 4 = 0,56 \text{ mA}$$

amplitudali tebranish garmonikalari;

$f_b = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Gs}$ chastotali va

$$I_{b1} = a_1 U_b + a_3 \left(\frac{3}{2} U_b U_a^3 + \frac{3}{4} U_b^3 \right) = 0,85 \text{ mA},$$

$$I_{b2} = a_2 U_b^2 / 2 = 0,044 \text{ mA}, I_{b3} = a_3 U_b^3 / 4 = 0,0026 \text{ mA}$$

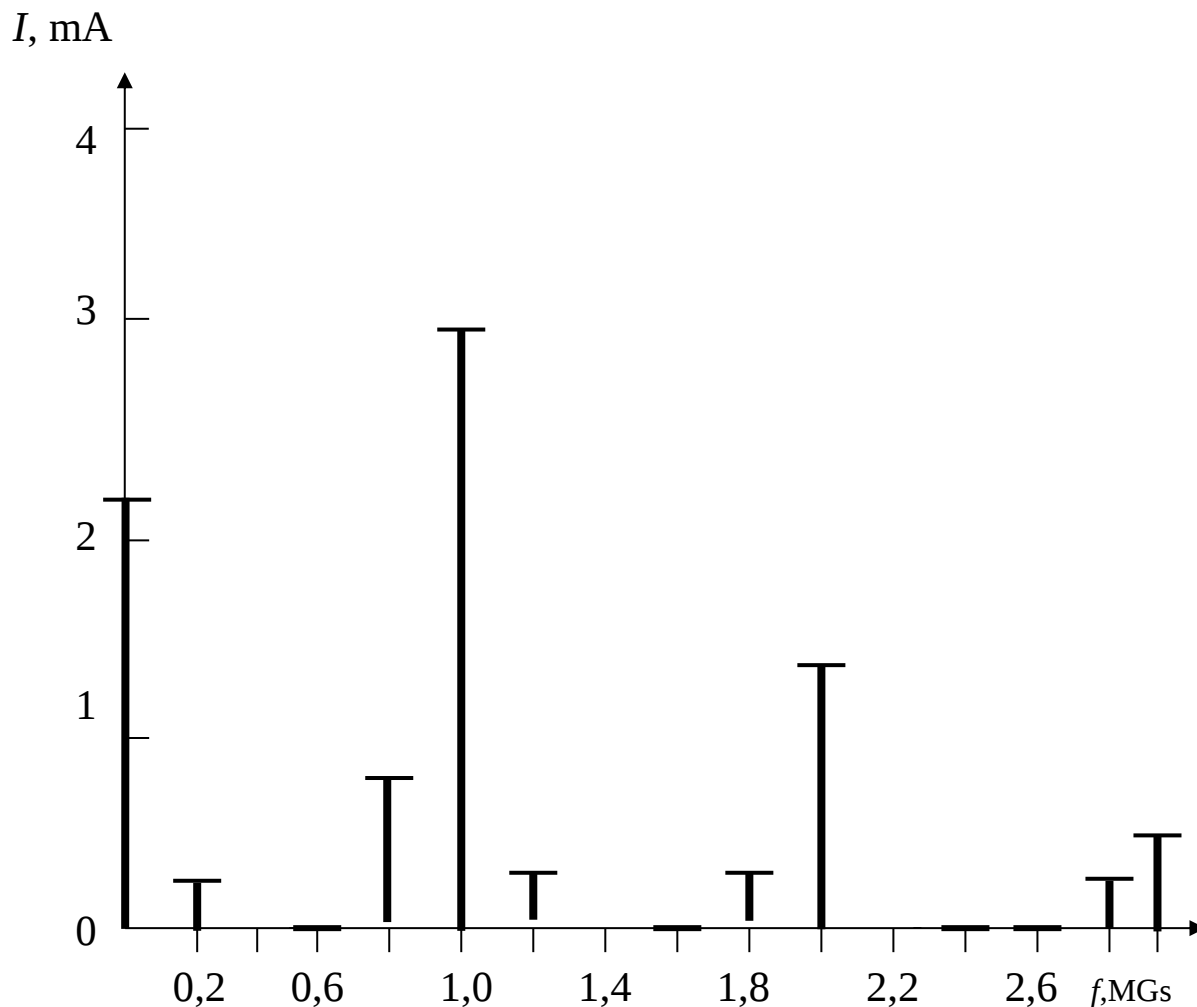
amplitudali tebranish garmonikalari hamda $f_a + f_b = 1,8 \cdot 10^6 \text{ Gs}$ va $f_a - f_b =$

$= 0,2 \cdot 10^6 \text{ Gs}$ chastotali va $I_{11} = \frac{a_2}{2} U_a U_b = 0,26 \text{ mA}$ amplitudali kombinatsion tebranishlar;

$2f_a + f_b = 2,8 \cdot 10^6 \text{ Gs}$ va $2f_a - f_b = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Gs}$ chastotali va $I_{21} = a_3 \frac{3}{4} U_a^2 U_b = 0,28 \text{ mA}$ amplitudali kombinatsion tebranishlar;

$2f_b + f_a = 2,6 \cdot 10^6$ Gs va $2f_b - f_a = 0,6 \cdot 10^6$ Gs chastotali va
 $I_{12} = a_3 \frac{3}{4} U_a U_b^2 = 0,047$ mA amplitudali kombinatsion tebranishlar.

Kollektor tokining amplitudaviy spektral diagrammasi 7.2-rasmda ko'rsatilgan.



7.2-rasm. Kollektor tokining amplitudaviy spektral diagrammasi

7.3. O'tish xarakteristikasini approksimatsiyalovchi polinomni quyidagicha yozamiz:

$$i_k = a_0 + a_1(u_b - 0,26) + a_2(u_b - 0,26)^2. \quad (7.8)$$

Bazadagi berilgan kuchlanishlarga mos keluvchi tok qiymatlarini aniqlab va ularni yozilgan ifodaga qo'yib, uch tenglamali tizimni olamiz

$$0,1 = a_0 - a_1 0,06 + a_2 (0,06)^2;$$

$$0,9 = a_0;$$

$$8 = a_0 + a_1 0,06 + a_2 (0,06)^2. \quad (7.9)$$

Bu tizimni yechib, quyidagilarni olamiz $a_0 = 0,9$ mA, $a_1 = 65,8$ mA/V, $a_2 = 875$ mA/V².

Bu holda tokni spektral tahlili tokning o'zgaras tashkil etuvchisi I_0 ni, ikkala tebranishning birinchi va ikkinchi garmonikalari amplitudalari hamda birinchi tartibli kombinatsion tebranishlarning amplitudalarini aniqlashga imkon beradi. Bunda oldingi masaladagi uslubiy ko'rsatmalardan $a_3 = 0$ uchun keltirilgan ifodalardan foydalansa bo'ladi. Tokning o'zgaras tashkil etuvchisi, tebranishlar ikkinchi garmonikalarining amplitudalari va birinchi tartibli kombinatsion tebranishlar amplitudalari xarakteristikani ikkinchi va uchinchi darajali polinom orqali ko'rsatganda bir xil bo'ladi. Birinchi garmonikalarning amplitudalari ikkinchi darajali polinom bilan approksimatsiyalaganda quyidagicha bo'ladi:

$$I_{a1} = a_1 U_a = 3,95 \text{ mA}; I_{b1} = a_1 U_b = 0,66 \text{ mA}. \quad (7.10)$$

Xatoliklar mos ravishda quyidagiga teng:

$$\delta_a = \frac{3,95 - 3,47}{3,95} 100 = 12\% \quad (7.11)$$

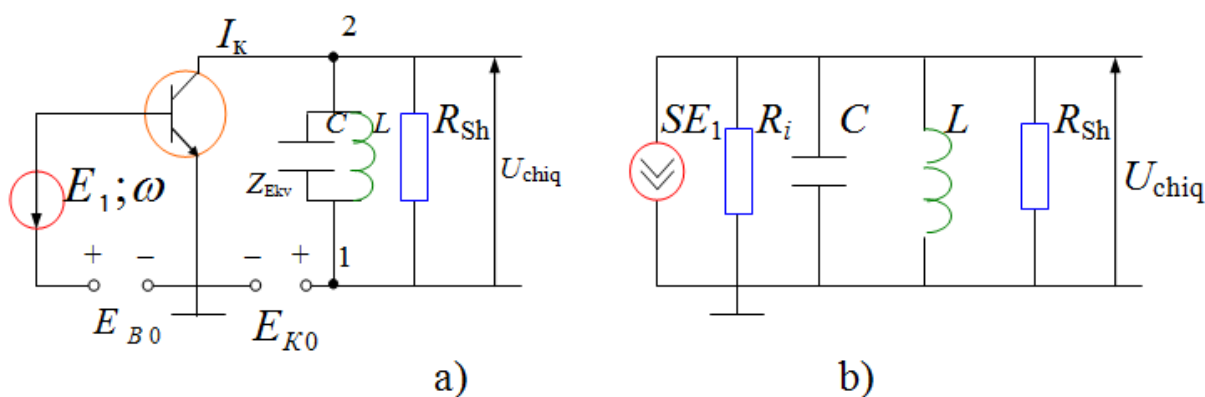
8-Amaliy mashg'ulot. Nochiziqli rezonans kuchaytirgichlar. Chastota ko'paytirgichlari

Ishdan maqsad: Nochiziqli rezonans kuchaytirgichlari va Chastota ko'paytirgichlariga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Nochiziqli rezonans kuchaytirgichlar. Radioqabulqiluvchi qurilmalarda ishlatiladigan rezonans kuchaytirgichlarda I_1/I_0 nisbat shunaqangi kichikki, FIK haqida savol umuman etiborga olinmaydi. I_1/I_0 nisbatni kuchaytirgichning tokni kesish bilan ishlash rejimiga, ya'ni, nochiziqli rejimga o'tkazish yo'li bilan oshirish mumkin.

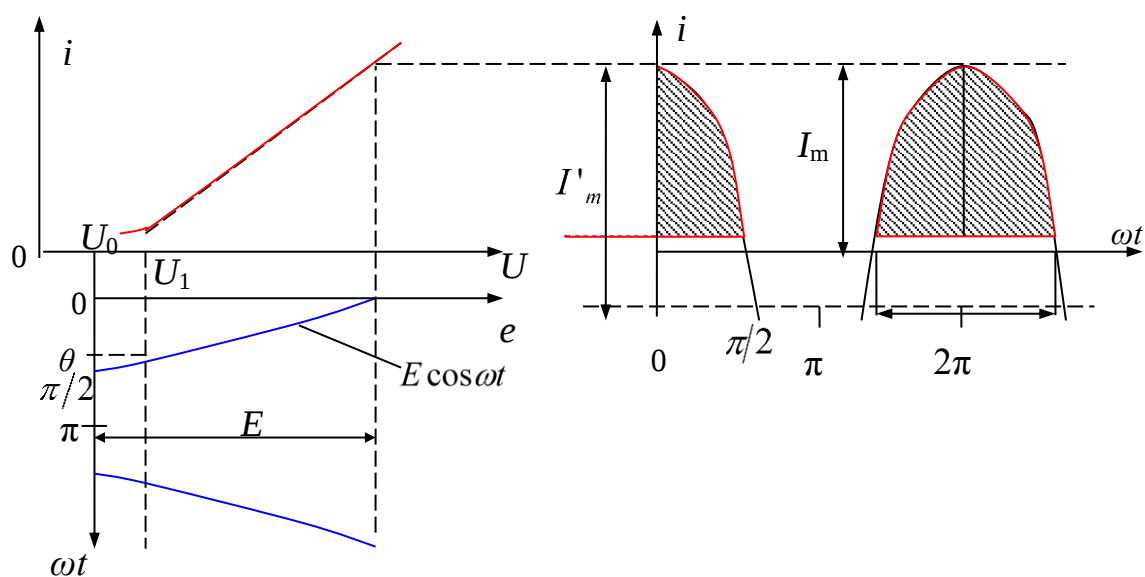
Avvalambor kuchaytirgich kirishidagi garmonik signalni ko'rib chiqaylik.



8.1-rasmda nohiziqli rezonans kuchaytirgichning sxemasi ko'rsatilgan.

Uning asosiy farqi – kuchaytiruvchi asbobning ishlash rejimidadir. Volt-amper xarakteristikadagi U_0 ish nuqtasini siljitish va kirishdagi tebranish E_0 amplitudasini oshirish orqali ish rejimi tranzistorli kuchaytirgichda kollektor toki $i_k(t)$ ni kesish bilan o'rnatiladi (8.2-rasm).

Tokning maksimal qiymati I_m dan nolgacha o'zgarishiga mos keluvchi θ burchagi *tokni kesish burchagi* deb nom olgan.



8.2-rasm. Kuchaytiruvchi asbobning tokni kesish rejimida ishlashi

Chastotani ko'paytirish

Agar kirish signalining katta amplitudasi bilan ishlayotgan rezonansli kuchaytirgich sxemasida tebranish tizimi $n\omega$ chastotasiga, ya'ni, kirish signalining biror bir yuqori garmonikalaridan birining chastotasiga sozlansa, u xolda bu qurilma chastota ko'paytirgichi sifatida qo'llanilishi mumkin.

Chastota ko‘paytirgichi va nochiziqli rezonans kuchaytirgichlarni hisoblash amalda bir-biridan farq qilmaydi. Kollektor tokining birinchi garmonikasi chiqishda hosil qilgan

$$U_{mchiq} = I_1 R_{rez} = S R_{rez} U_m \gamma_1(\theta) \quad (8.1)$$

amplitudali foydali kuchlanishning ifodasi kabi, ko‘paytirgichning chiqish signalining amplitudasi qisman-chiziqli approksimasiyalanganda quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$U_{mchiq} = S R_{rez} U_{mkir} \gamma_n(\theta) \quad (8.2)$$

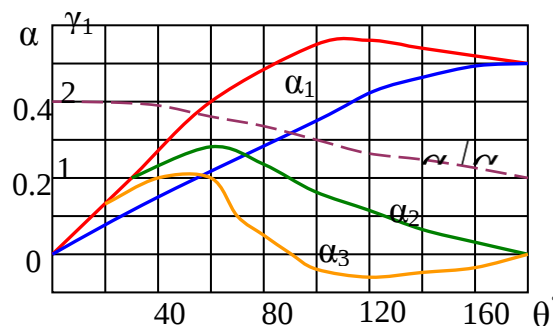
Chastota ko‘paytirgichlarini qurishning qiyin tomoni shundaki, ko‘paytirish darajasining katta qiymatlarida $\gamma_n(\theta)$ ning qiymatlari kamayib ketadi. Shuning uchun mos keluvchi Berg koefitsientlarini maksimallashtiruvchi kesish burchagini tanlash zarur. $\gamma_n(\theta)$ funksiyalarini tahlili shuni ko‘rsatadiki, optimal θ_{opt} burchagi mavjud bo‘lib, u quyidagicha aniqlanadi

$$\theta_{opt} = 180^\circ/n \quad (8.3)$$

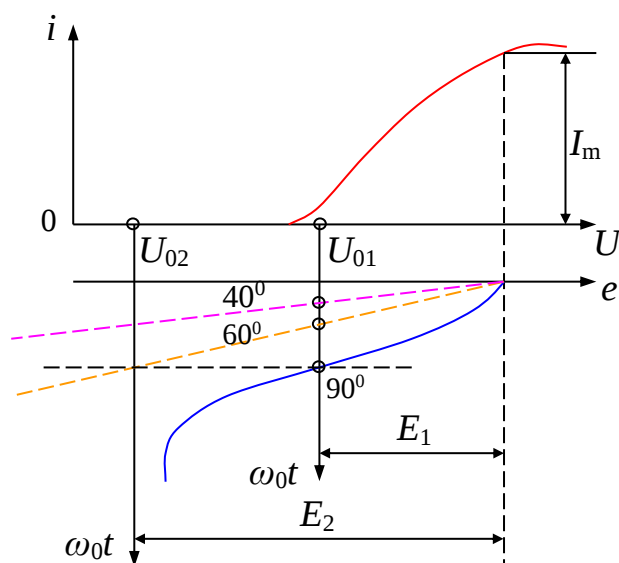
Chastota ko‘paytirgichida tokni kesish burchagi qo‘zg‘atuvchi kuchlanish amplitudasining o‘zgarmas (fiksatsiyalangan) qiymatida aynan shunday bo‘lishi lozim.

8.3-rasmda ko‘rsatilgan grafiklardan ko‘rinib turibdiki, chastotani ikkiga ko‘paytirish uchun 60° ga yaqin kesish burchagi bilan ishlash afzaldir. Unda ikkinchi garmonika koefitsienti maksimumdan o‘tadi, chastotani uchga ko‘paytirish uchun 40° kesish burchagi to‘g‘ri keladi va hokazo.

Agar kontur $n\omega_0$, $n = 2, 3, \dots$, chastotaga sozlangan bo‘lsa, tokning $n-1$ va undan ham past tartibli garmonikalari induktiv zanjir orqali, $n+1$ va undan yuqori garmonikalar esa konturning sig‘imli zanjiridan o‘tadi. Yetarlicha yuqori asilligida konturdagi kuchlanish n -garmonikadan tashqari barcha garmonikalarda juda pastdir. Shuning uchun konturdagi kuchlanish $n\omega_0$ chastotali garmonik kuchlanishga yaqin bo‘ladi.



8.3-rasm. Impuls tokni Furiye qatoriga yoyishda θ kesish burchagiga bog‘liqlik koefitsiyenti



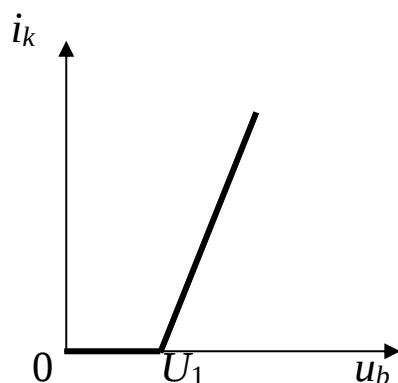
8.4-rasm. Ko‘paytirishning har xil koeffitsientlarida chastota ko‘paytirgichi uchun kesish burchagini tanlash

Shuni nazarda tutish lozimki, elektron qurilmaning quvvatini to‘liq ishlatish uchun kesish burchagini kamaytirib, impuls amplitudasini o‘zgartirmasdan ushlab turilganda bajarilishi kerak. Buning uchun $|U_0|$ ko‘chishni o‘zgartirish bilan birgalikda kirishdagi o‘zgaruvchan E kuchlanishning amplitudasini ko‘tarish zarur bo‘ladi. 8.4-rasmda $\theta = 90^\circ$ burchakka U_{01} ko‘chish mos keladi, $\theta = 60^\circ$ burchakka U_{02} ko‘chishi va hokazo. $E_1, E_2, \dots$, amplitudalari shunday tanlanganki, I_m o‘zgarmasdan qoladi.

Yuqoridagilarni hisobga olib, chastota ko‘paytirgichlari uchun kirish signalining katta amplitudali ish rejimi tavsifli ekanini ta’kidlash mumkin.

Mashqlar

8.1. Tranzistor o‘tish xarakteristikasining (8.5-rasm) qisman-chiziqli approksimatsiyasi quyidagi ko‘rsatkichlar orqali aniqlanadi: chiziqli qismning qiyaligi $S=400 \text{ mA/V}$, buzilish nuqtasiga mos keluvchi kuchlanish $U_1=0,5 \text{ V}$.



8.5-rasm. Tranzistor o'tish xarakteristikasi

Topshiriq: tebranish xarakteristikasi $I_{k1}(E)$ tenglamasini oling, bu yerda I_{k1} – kollektor toki birinchi garmonikasining amplitudasi; E – bazadagi garmonik kuchlanishning amplitudasi. Ish (U_0) nuqtasining ikki: 0,4 va 0,6 V holati uchun $0 \leq E \leq 0,4$ V amplitudalar oralig'ida tebranish xarakteristikalarini quring.

8.2. Chastotani ko'paytirishda qo'llanilayotgan tranzistorning o'tish xarakteristikasi quyidagi ifoda orqali approksimatsiyalanadi:

$$i_k = \begin{cases} 0, & u_b \leq U_1, \\ S(u_b - U_1), & u_b > U_1. \end{cases} \quad (8.4)$$

Tranzistorning parametrlari: $S=50$ mA/V, $U_1=0,5$ V. Impulsdagi I_m tokning maksimal qiymatini 12,5 mA ga teng qilib olib, chastotani ikkiga ko'paytirish uchun eng qulay sharoitlarga ega vaziyat topilishiga ish nuqtasi U_0 holatini va bazadagi kuchlanish E amplitudasi aniqlansin.

8.3. Rezonansli chastotani ikkiga ko'paytirgich kritik rejimda ishlamoqda, ya'ni, chiqish kuchlanishi U_{mchiq} ta'minot manbasi E_{tam} kuchlanishiga teng.

Topshiriq: ko'paytirgich foydali ish ko'effitsienti η ning kirish signali U_{mkir} o'zgarmas amplitudasida tokni kesish burchagi qiymatiga bog'liqligini toping.

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

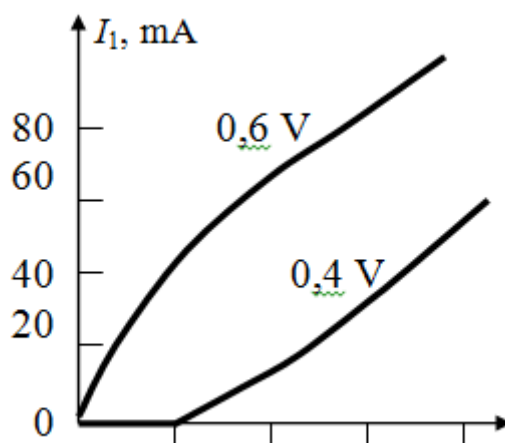
8.1. Tok birinchi garmonikasining amplitudasi $I_1=\alpha_1 I_m$, bu yerda $\alpha_1=[\theta - \sin\theta\cos\theta] / [\pi(1-\cos\theta)]$ – Berg ko'effitsienti. I_1 tokni bevosita U_1-U_0 orqali $\theta=\arccos(U_1-U_0)/E$ nisbat yordamida ifodalash maqsadga muvofiq. Shunda quyidagi natijaga kelish mumkin:

$$I_1 = \frac{SE}{\pi} \left[\arccos \frac{U_1 - U_0}{E} - \frac{U_1 - U_0}{E} \sqrt{1 - \left(\frac{U_1 - U_0}{E} \right)^2} \right]. \quad (8.5)$$

Agar $E < U_1 - U_0$ bo'lsa, u holda kollektor toki nolga teng. Agar $E < U_0 - U_1$ bo'lsa, boshqaruvchi kuchlanishning o'zgarishlari o'tish xarakteristikasi chiziqli qismining chegarasidan chiqib ketmaydi va tok birinchi garmonikasining amplitudasi $I_1 = SE$ bo'ladi. 8.2-jadvalda E va U_0 qiymatlariga mos keluvchi I_1 ning hisoblangan natijalari keltirilgan. 8.6-rasmda siljish kuchlanishining 0,4 va 0,6 V qiymatlari uchun mos keluvchi tebranish xarakteristikalari ko'rsatilgan.

8.2-jadval

U_0, V	E ning (V) quyidagi qiymatlarida I_1, mA							
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
0,4	0	0	6,6	15,6	25,2	35,0	44,8	55,0
0,6	20	40	53,4	64,3	74,7	84,9	95,1	105,2



8.6-rasm. Tebranish xarakteristikalari

8.2. Kollektor toki ikkinchi garmonikasi ($n=2$) amplitudasining impulsdagi tokning eng yuqori qiymatiga maksimal nisbatini ta'minlash nuqtai nazaridan chastotani ikkiga ko'paytirish uchun eng qulay sharoitlar $\theta=120^\circ/n=60^\circ$ kesish burchagida sodir bo'ladi. Tokning impulsdagi maksimal qiymati $I_m = SE(1 - \cos\theta)$, undan esa $E = I_m / [S(1 - \cos\theta)] = 0,5 V$. Kesish burchagi tranzistor bazasidagi kuchlanish bilan $\cos\theta = (U_1 - U_0)/E$ nisbat orqali bog'langan, undan esa ish nuqtasining holati aniqlanadi:

$$U_0 = U_1 - E \cos\theta = 0,25 V.$$

8.3. Ta'minot manbasidan olinadigan quvvat,

$$P_0 = E_{tam} I_0 = E_{tam} S U_{max} \gamma_0(\nu). \quad (8.6)$$

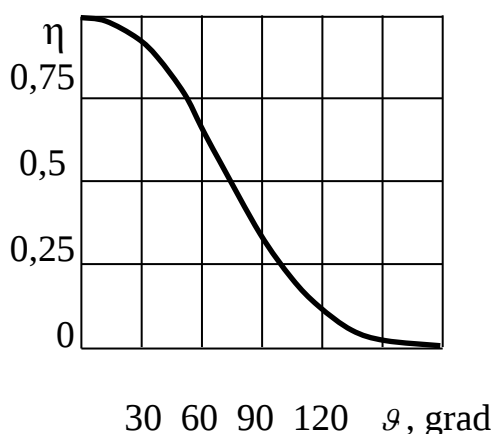
Foydali quvvat

$$P_2 = U_{mchiq} I_2 / 2 \approx E_{tam} S U_{max} \gamma_2(\nu). \quad (8.7)$$

Undan kelib chiqqan holda FIK

$$\eta = \frac{\gamma_2(\vartheta)}{2\gamma_0(\vartheta)} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\sin 2\vartheta \cdot \cos \vartheta - 2 \cos 2\vartheta \cdot \sin \vartheta}{\sin \vartheta - \vartheta \cos \vartheta}. \quad (8.8)$$

Bu ifodaga asosan qurilgan grafik 8.7-rasmda ko'rsatilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, yetarli FIK bilan ta'minlash uchun, ko'paytirgichda tokni kesish burchagini 90° dan kamroq olish zarur.



8.7-rasm. Tokni kesish burchagini aniqlash

9-Amaliy mashg'ulot. Chastota o'zgartirgichlari. Nosimmetrik spektrli signallar

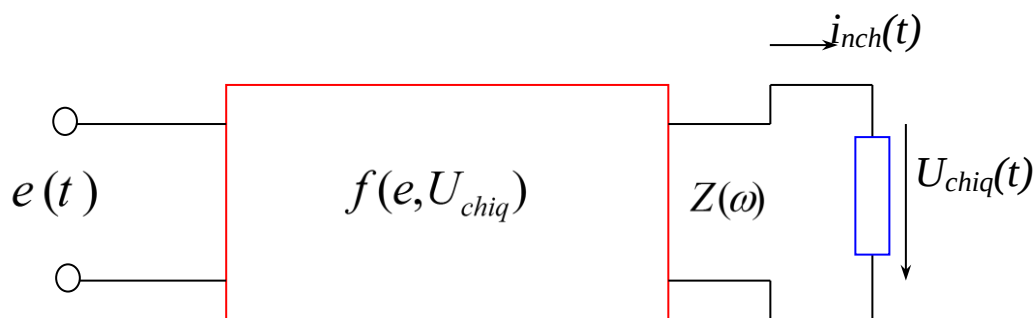
Ishdan maqsad: Chastota o'zgartirgichlarini o'rganish va Nosimmetrik spektrli signallarga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Radiotexnikada ko'p hollarda signal spektrini chastotalar o'qi bo'ylab ma'lum bir o'zgarish qiymatga signal strukturasini (tuzilishini) saqlagan holda

siljitishni amalga oshirish talab qilinadi. Bunday siljitishni *chastotani o'zgartirish* deyiladi.

Nochiziqli elementga ikki kuchlanishning ta'sirini ko'rib chiqaylik.



9.1-rasm. Nochiziqli to'rtqutblilik va teskari reaksiya sodir bo'lganda spektrning foydali tashkil etuvchilarini ajratib olish uchun tanlovchi zanjir.

Nochiziqli zanjirda tok $i_{nch}(t)$ ham kirishdagi $e(t)$ signalga, ham kuchlanish $U_{chiq}(t)$ ga bog'liq bo'ladi. Nochiziqli elementning xarakteristikasini ko'rsatuvchi $f(e)$ nochiziqli funksiya uning qurilishi va ish rejimiga bog'liq.

$Z(\omega)$ orqali chiziqli-chastotaviy tanlovchi zanjirning kompleks qarshiligi belgilangan. Berilgan bu holatda yordamchi generator (geterodin) tomonidan ishlab beriladigan tebranish garmonik hisoblanadi. Ikkinchi tebranish, ya'ni, signal, istalgan murakkab, ammo tor kenglikka ega jarayon bo'lib, u o'zgartirilishi lozim bo'ladi.

Shunday qilib, nochiziqli elementga ikki kuchlanish ta'sir qilmoqda: geterodindan

$$e_g = E_g \cos(\omega_g t + \theta_g), \quad (9.1)$$

signal manbasidan

$$e_s = E_s(t) \cos \left[\int \omega_s(t) dt + \theta_s \right] \quad (9.2)$$

E_g amplituda, ω_g chastota va boshlang'ich faza θ_g geterodin tebranishining o'zgarmas kattaliklaridir. Signalning $E_s(t)$ amplitudasi va $\omega_s(t)$ oniy chastotasi modulatsiyalangan bo'lishi mumkin, ya'ni, vaqtning sekin o'zgaruvchi funksiyalari (tor kenglikli jarayon) bo'lishi mumkin. Signalning boshlang'ich fazasi θ_s – o'zgarmas kattalik.

Chastotani o'zgartirilishining maqsadi, yig'indi yoki farqlanuvchi $\omega_s \pm \omega_g$ chastotani olish hisoblanadi.

Tebranishni quyidagi yig'indi ko'rinishida tasvirlaymiz:

$$e_s(t) = E_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) + E_2 \cos(\omega_2 t + \theta_2) = E_1 \cos \Psi_1(t) + E_2 \cos \Psi_2(t) \quad (9.3)$$

Endi quyidagini eslaylik: asli xarakteristikani uni yaqinlashtirib ko'rsatadigan funksiya bilan almashtirilish xarakteristikani approksimatsiyalash deyiladi. Ehg keng tarqalgan usullardan biri bu – darajali polinom bilan approksimatsiyalash hisoblanadi.

Approksimatsiyalovchi darajali polinomni quyidagi shaklda yozamiz:

$$i(u) = i(U_0) + a_1(u - U_0) + a_2(u - U_0)^2 + a_3(u - U_0)^3 + \dots \quad (9.4)$$

$a_1, a_2, a_3, \dots$, koeffitsiyentlari

$$a_1 \left(\frac{di}{du} \right)_{u=U_0}, \quad a_2 = \frac{1}{2!} \left(\frac{d^2 i}{du^2} \right)_{u=U_0}, \quad a_3 = \frac{1}{3!} \left(\frac{d^3 i}{du^3} \right)_{u=U_0} \quad (9.5)$$

ifodalar orqali aniqlanadi, bu yerda a_1 – xarakteristikaning $u=U_0$ nuqtadagi qiyaligini ko'rsatadi; a_2 – qiyalikning $1/2!$ koeffitsiyentli birinchi hosilasini, a_3 – qiyalikning $1/3!$ koeffitsiyentli ikkinchi hosilasini va h.k. Volt-amper xarakteristikaning berilgan shaklida $a_1, a_2, a_3, \dots$, koeffitsiyentlar U_0 ga, ya'ni, ish nuqtasining xarakteristikadagi vaziyatiga bog'liq.

Yuqoridagi ifodalarni qatorga qo'yish quyidagi natijalarga olib keladi:

a) qatorning chiziqli tashkil etuvchisi uchun

$$a_1 e_s(t) = a_1 E_1 \cos \Psi_1(t) + a_2 E_2 \cos \Psi_2(t) \quad (9.6)$$

b) qatorning kvadratik tashkil etuvchisi uchun

$$\begin{aligned} a_2 e_s^2(t) &= a_2 [E_1 \cos \Psi_1(t) + E_2 \cos \Psi_2(t)]^2 = 1/2 a_2 (E_1^2 + E_2^2) + \\ &+ 1/2 a_2 E_1^2 \cos 2(\omega_1 t + \theta_1) + 1/2 a_2 E_2^2 \cos 2(\omega_2 t + \theta_2) + \\ &+ a_2 E_1 E_2 \{ \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (\theta_1 + \theta_2)] + \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\theta_1 - \theta_2)] \} \end{aligned} \quad (9.7)$$

vaqtga bog'liq bo'lmagan birinchi qo'shiluvchi o'zgarmas tokning ko'payishini aniqlab beradi. $2\omega_1$ va $2\omega_2$ chastotali qo'shiluvchilar kirish signalining mos tashkil etuvchilarining ikkinchi garmonikalaridir. $\omega_1 - \omega_2$ chastotali qo'shiluvchilar kombinatsion tebranishlarni ko'rsatadi.

Shunday qilib, chastota o'zgartirishning maqsadi, yig'indi yoki farqlovchi chastota $\omega_s \pm \omega_g$ ni olish hisoblanadi. Nochiziqli element sifatida diodni olamiz, ammo signal va geterodin tebranishlarining o'zaro amal qilish natijalarini to'liq aniqlash uchun diodning xarakteristikasini to'rtinchi darajali polinom bilan approksimatsiyalaymiz:

$$\begin{aligned} i &= i_0 + a_1(e_s + e_g) + a_2(e_s + e_g)^2 + a_3(e_s + e_g)^3 + a_4(e_s + e_g)^4 = \\ &= i_0 + a_1e_s + a_1e_g + a_2e_s^2 + 2a_2e_se_g + a_2e_g^2 + a_3e_s^3 + 3a_3e_s^2e_g + \\ &+ a_3e_se_g^2 + a_4e_s^4 + 6a_4e_s^3e_g + 4a_4e_s^2e_g^2 + 4a_4e_se_g^3 + a_4e_g^4 \end{aligned} \quad (9.8)$$

Har xil darajali faqat e_s va faqat e_g lardan iborat qo'shiluvchilar qiziqish hosil qilishmaydi.

Chastotani o'zgartirish (siljitish) nuqtai nazaridan asosiy natijani $e_s^n e_g^m$ ko'rinishdagi ko'paytmalardan iborat tashkil etuvchilar hal etadi.

Shu ko'paytmalarga, hamda $\omega_s + \omega_g$ yig'indi yoki $\omega_s - \omega_g$ farqlanish chastotalari bo'lmagan tashkil etuvchilarni chiqarib tashlab, oson trigonometrik kiritishlardan keyin quyidagi ohirgi natijaga kelimiz :

$$\begin{aligned} i_{\omega_s \pm \omega_g}(t) &= a_2 E_s(t) E_g \left\{ \cos \left[\left(\int \omega_s(t) dt + \omega_g t \right) + \theta_s + \theta_g \right] + \right. \\ &+ \cos \left[\left(\int \omega_s(t) dt - \omega_g t \right) + \theta_s - \theta_g \right] \left. \right\} + \frac{3}{2} a_4 E_s(t) E_g \left[E_s^2(t) + E_g^2 \right] \times \\ &\times \left\{ \cos \left[\left(\int \omega_s(t) dt + \omega_g t \right) + \theta_s + \theta_g \right] + \cos \left[\left(\int \omega_s(t) dt - \omega_g t \right) + \theta_s - \theta_g \right] \right\} \end{aligned} \quad (9.9)$$

Bu natijadan ko'rinib turibdiki, bizni qiziqtirayotgan $\omega_s \pm \omega_g$ chastotalar nochiziqli elementning xarakteristikasini approksimatsiyalovchi polinomning juft darajalari tufayli vujudga keladi. Lekin polinomning (a_2 koeffitsiyentli) birgina kvadratik tashkil etuvchisigina faqat $E_s(t)$ birinchi darajasiga proporsional amplitudali tashkil etuvchilarni hosil qiladi. Ancha yuqori juft darajalar (to'rtinchi, oltinchi, va h.k.) bu proporsionallikni buzadi, chunki ular kiritadigan tebranishlar amplitudalari shuningdek $E_s(t)$ ning birinchisidan yuqori bo'lgan darajalarga ega bo'ladi.

Buning uchun quyidagi tengsizliklar bajarilishi zarur:

$$E_s^2 \ll a_2 / \left(\frac{3}{2} a_4 \right), \quad E_g^2 \ll a_2 / \left(\frac{3}{2} a_4 \right),$$

u holda

$$i_{\omega_s \pm \omega_g}(t) \approx a_2 E_s(t) E_g \left\{ \cos \left[\left(\int \omega_s(t) dt + \omega_g t \right) + \theta_s + \theta_g \right] + \right.$$

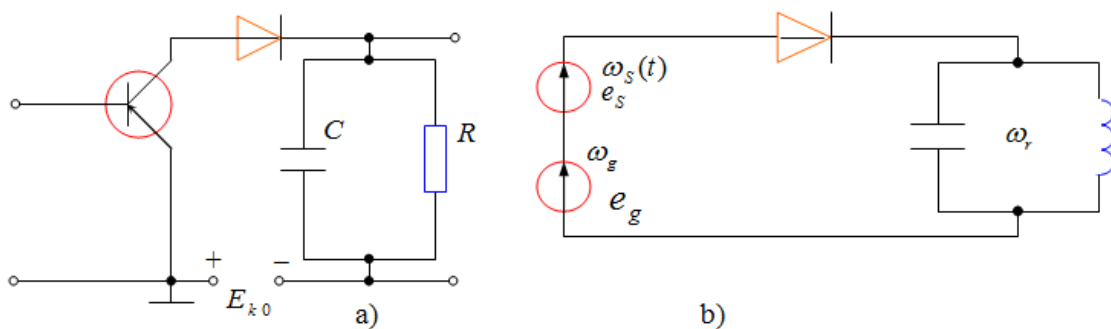
$$+ \cos \left[\left(\int \omega_s(t) dt - \omega_g t \right) + \theta_s - \theta_g \right] \} \quad (9.10)$$

Radioqabul qiluvchi va boshqa ko'pgina qurilmalarda chastotani o'zgartirish masalasi signalni kuchaytirish masalasi bilan keskin bog'liq bo'lgan hollarda, odatda, $E_s \ll E_g$ bo'ladi.

Katta qavslar ichidagi $\omega_s(t) + \omega_g$ chastotali birinchi qo'shiluvchi (kosinus argumentidan hosila) signal spektrini yuqori chastotalar mintaqasiga siljitishga mos keladi, $\omega_s(t) - \omega_g$ chastotali ikkinchi qo'shiluvchi esa past chastotali mintaqaga siljitishga mos keladi. Shu ikkala yig'indi yoki farqlanuvchi chastotalarning birini ajratib olish uchun o'zgartirgichning chiqishida mos keluvchi yuklamani qo'llash zarur. Masalan, ω_s va ω_g chastotalar bir-biriga yaqin bo'lsin, va nolga yaqin joylashgan past chastotani ajratib olish talab qilinsin.

Bu kabi masala o'lchash texnikasida ko'p uchrab turadi va u "nolli urilish" usuli deyiladi. Bu holda yuklama xuddi amplitudali detektorlashda kabi, ya'ni R va C parallel ulanishdan iborat bo'lishi kerak, (1.18-rasm) hamda ω_s va ω_g yuqori chastotalarni filtrlashni ta'minlab, $\omega_s - \omega_g$ farqlanuvchi chastotani ajratib berishi zarur. Agar $\omega_s - \omega_g$ farqlanuvchi chastota yuqori chastotalar diapazonida yotsa, uni ajratib olish uchun rezonansli tebranuvchi zanjirni (9.2-rasm) qo'llash lozim.

Agar foydali, ajratib olinishi zarur bo'lgan yig'indi chastota $\omega_s + \omega_g$ bo'lsa, u holda kontur mos ravishda $\omega_r = \omega_s + \omega_g$ chastotaga sozlangan bo'lishi kerak.

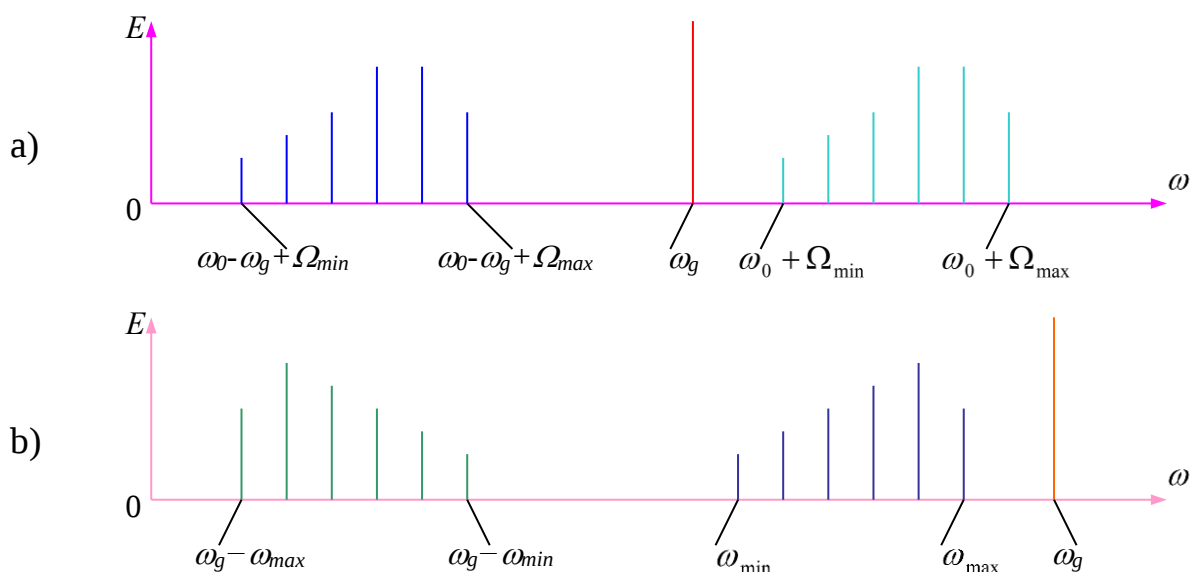


9.2-rasm. R va C parallel ulangan filtr (a) va uning ekvivalent sxemasi (b)

Odatda o'zgartirgichning yuklamasi hisoblangan tebranish zanjirining o'tkazish kengligi modulyatsiyalangan tebranish spektrining kengligiga moslashgan. Bu holda $\omega_s \pm \omega_g$ ga yaqin chastotalarga ega tokning barcha tashkil

etuvchilari kontur orqali bir tekis o'tadi va chiqishda signalning tuzilishi kirishdagi signal tuzilishi bilan mos keladi.

Birgina tafovut shundaki, chiqishdagi chastota $\omega_s(t) + \omega_g$ yoki $\omega_s(t) - \omega_g$ ga teng, ya'ni, yuklama zanjirining rezonans chastotasiga bog'liq. Chastotani o'zgartirishda amplituda $E_s(t)$, chastota $\omega_s(t)$ va faza $\int \omega_s(t) dt$ larning o'zgarish qonunlari chiqish tebranishiga o'tkaziladi. Bu ma'noda ko'rilayotgan signalni o'zgartirish chiziqli yoki „aralashtirgich“ deb ataladi.



9.3-rasm. O'zgartirgich kirishi va chiqishidagi signal spektri.

Farqlanuvchi chastotani ajratishda signalning tuzilishi $\omega_s(t) > \omega_g$ bo'lganda saqlanadi. Agar $\omega_s(t) < \omega_g$ bo'lsa, signal spektri teskari siljiydi.

9.3a-rasmda o'zgartirgichning kirishi va chiqishidagi spektral diagramma kirish tebranishi spektriga kiruvchi barcha chastotalar ω_g geterodin chastotasidan yuqori bo'lgan holat uchun tasvirlangan. Chap tomonga ω_g kattalikka siljutilib o'zgartirilgan spektr xuddi kirish spektri kabi tuzilishga ega. 9.3b-rasmda $\omega_s(t) < \omega_g$ bo'lganda, o'zgartirilgan spektrda ω_{max} va ω_{min} o'rinlari almashadi

Mashqlar

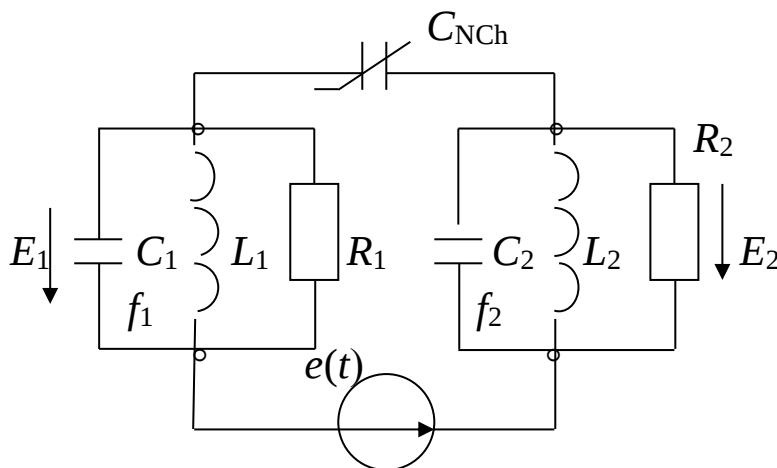
9.1. Nochiziqli sig'imga ega ketma-ket tebranma konturga siljish kuchlanishi $E_0 = 5$ V va E amplitudali garmonik EYuK manbalari ulangan. Berilgan siljishda differensial sig'im $C_0 = 100$ pF, sig'im $C = q/u = 80$ pF, kichik amplitudalar rejimida rezonans chastota $f_0 = 10$ MGs, kontur asilligi $Q = 40$ ga

teng. Volt-amper xarakteristikani nohiziqliligini hisobga oluvchi parametr quyidagiga teng:

$$B_3 = [1/LC - (2\pi f_0)^2] / (CE_0)^2 = 6,16 \cdot 10^{33} \text{ Kl}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}. \quad (9.11)$$

Topshiriq: agar $E=0,1 \text{ V}$ bo'lsa, sig'imda zaryad amplitudasi maksimal bo'ladigan chastotani aniqlang. Konturdagi tok va induktivlikdagi kuchlanish amplitudalari shu chastotada nechaga teng? Maksimal amplitudaning 0,7 sathiga mos keluvchi chastotalarni aniqlang.

9.2. Chastota o'zgartirgichi ikki yuqori asillikka ega konturlar tizimidan tashkil topgan (9.4-rasm). Konturlar nohiziqli sig'im orqali bog'langan bo'lib, rezonans chastotalari $f_1=10 \text{ MGs}$ va $f_2=50 \text{ MGs}$. Rezonansda konturlar qarshiligi $R=R_1=R_2=10 \text{ kOm}$. Garmonik EYuK manbasi chastotasi $f = 60 \text{ MGs}$.



9.4-rasm. Ikki konturli chastota o'zgartirgichi

Topshiriq: chastotasi 10 MGs va amplitudasi $E_1=1 \text{ V}$ tebranishni qo'zg'atish uchun zarur bo'lgan manba quvvatini aniqlang. Shunda E_2 amplitudasi nechaga teng bo'ladi?

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

9.1. Kontur induktivligi quyidagiga teng:

$$L = 1 / [C_0(2\pi f_0)^2] = 2,53 \cdot 10^{-6} \text{ Gn},$$

qarshiligi

$$r = 2\pi f_0 L / Q = 3,98 \text{ Om},$$

soʻnish koeffitsienti $\alpha = r/(2L) = 0,785 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$.

Zaryad amplitudasi A berilib, chastotaning mos qiymatlarini quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$\omega^2 = \omega_0^2 - 2\alpha^2 + \frac{3}{4}b_3A^2 \pm \left[\frac{E^2}{A^2L^2} - 4\alpha^2\omega_0^2 + 2\alpha^2 \left(2\alpha^2 - \frac{3}{2}A^2b_3 \right) \right]^{1/2}. \quad (9.12)$$

Ildiz ostidagi ifoda nolga teng boʻlganda amplituda maksimal qiymatga erishadi $A=A_m$, yaʼni,

$$A_m^4 + \frac{4}{3}A_m^2 \frac{\omega_0^2 - \alpha^2}{b_3} - \frac{E^2}{3\alpha^2b_3L^2} = 0. \quad (9.13)$$

Bu tenglamani A_m ga nisbatan yechib, quyidagini olamiz:

$$A_m = \left\{ -\frac{3}{2} \frac{\omega_0^2 - \alpha^2}{b_3} + \left[\left(\frac{2}{3} \frac{\omega_0^2 - \alpha^2}{b_3} \right)^2 + \frac{E^2}{3\alpha^2b_3L^2} \right]^{1/2} \right\}^{1/2} = 3,71 \cdot 10^{10} \text{ Kl}.$$

Mos keluvchi chastota

$$f_m = \frac{1}{2\pi} \left(\omega_0^2 - 2\alpha^2 + \frac{3}{4}b_3A_m^2 \right)^{1/2} = 10,77 \text{ MGs}.$$

Shu chastotadagi tok amplitudasi

$$I = A_m 2\pi f_m = 2,51 \cdot 10^{-2} \text{ A}.$$

Induktivlikdagi kuchlanish amplitudasi

$$E_L = 2\pi f_m IL = 4,31 \text{ V}.$$

$0,7A_m$ zaryad amplitudalariga mos keluvchi chastotalar 10,24 va 10,52 MGs ga teng. Bu chastotalarning koʻpi f_m dan kichik boʻlgani sababli, kirish

kuchlanishining berilgan amplitudasida turgʻunsiz holatlar vujudga kelishi mumkin degan xulosa chiqarsa boʻladi.

9.2. Konturdagi tebranishning E_1 amplituda qiymatida ajraladigan quvvat $P_1 = E_1^2 / (2R) = 5 \cdot 10^{-5}$ Vt. Manbadan olinadigan P quvvatni aniqlash uchun quyidagi proporsiyadan foydalanamiz:

$$P_1 / f_1 = -P / f, \text{ undan } P = -(f / f_1) P_1 = -3 \cdot 10^{-4} \text{ Vt.}$$

Bu yerda manfiy ishora quvvat manbadan olinayotganligini koʻrsatadi.

$P_2 / f_2 = -P / f$ proporsiyadan boshqa konturdagi quvvatni va amplitudani topamiz.

$$P_2 = -P f_2 / f = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Vt, } E_2 = \sqrt{2RP_2} = 2,33 \text{ V.}$$

10-Amaliy mashgʻulot. Amplitudasi modulatsiyalangan signallarning chastota tanlovchi zanjirlardan oʻtishi

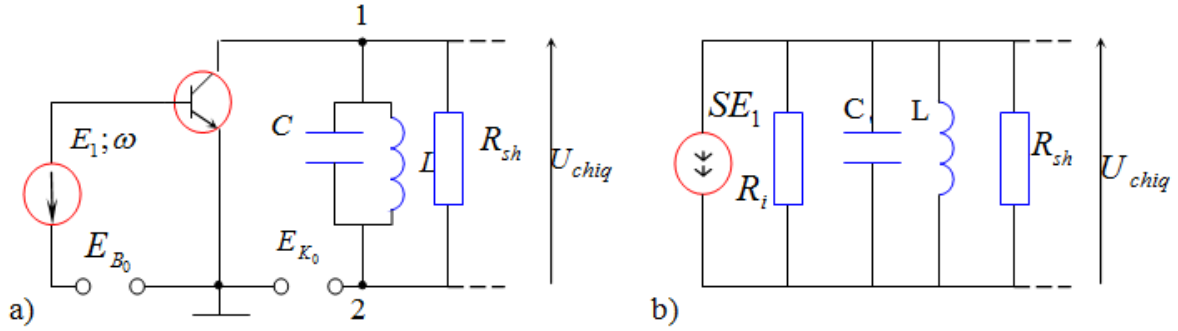
Ishtidan maqsad: Amplitudasi modulatsiyalangan signallarning chastota tanlovchi zanjirlardan oʻtishini tahlil qilish va masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Maʼlumotni uzatishda xabar yuqori chastotali tebranish parametrlaridan biriga biriktirilgan, bu holda yuklama sifatida LC parallel tebranish konturini tutashtiruvchi (shuntlovchi) R_{sh} rezistori hisoblanadi. R_{sh} rezistorda ajralayotgan quvvatga nisbatan induktiv gʻaltak L va kondensator C dagi quvvat yoʻqotishlarini eʼtiborga olmasa boʻladi. Shunday shart bilan yuklamaning toʻliq oʻtkazuvchanligi (1–2 nuqtalar orasida):

$$G_{yuk} = G_{sh} + i\omega C + \frac{1}{i\omega L}$$

bu yerda G_{yuk} – quyidagi $E_2 = -I_2 Z_{yuk}$; $Z_{yuk} = 1/G_{yuk}$; $G_{yuk} = 1/Z_{yuk}$, tenglamalarga asosan yuklama oʻtkazuvchanligi.



10.1-rasm. Rezonans kuchaytirgich (a) va kollektor zanjirining ekvivalent sxemasi (b).

Kuchaytirgich ekvivalent sxemasidan kelib chiqqan holda (10.1b–rasm) h_{22} ni G_i ga o‘zgartirib, kuchaytirgichning uzatish funksiyasini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned}
 K_E(i\omega) &= -\frac{S}{G_i + G_{yuk}} = -\frac{S}{G_i + G_{sh} + i\omega C + 1/i\omega L} = \\
 &= -\frac{S}{C} \cdot \frac{i\omega}{\frac{(G_i + G_{sh})}{C}i\omega + (i\omega)^2 + \frac{1}{LC}}
 \end{aligned} \quad (10.1)$$

yuqoridagi ifodaning maxrajidagi $(G_i + G_{sh})/C = 1/R_{ekv} C = 2\alpha_{ekv}$ ko‘paytma aktiv elementning tutashtirishda (shuntlashda) kontur so‘nishiga ta’sirini hisobga oladi.

Yuqorida keltirilgan kontur parametrlarini belgilashlarga asosan (ifoda bilan berilgan uzatish funksiyasi quyidagi ko‘rinishga keltiriladi:

$$K_E(i\omega) = -\frac{S}{C} \cdot \frac{i\omega}{(i\omega)^2 + 2\alpha_{ekv}i\omega + \omega_r^2} \quad (10.2)$$

Yuqori asillik ko‘rsatkichli konturlar uchun asosiy parametr sifatida rezonans chastota ω_r ga yaqin kuchaytirgich chastotalaridagi uzatish funksiyasining qiymati hisoblanadi. Bu holda yuqoridagi ifodani quyidagi ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$K(i\omega) \approx -\frac{S}{C} \frac{1}{2\alpha_{ekv}} \frac{1}{1 + i \frac{2(\omega - \omega_r)}{\omega_r} G_{ekv}} = -K_{\max} \frac{1}{1 + i(\omega - \omega_r)\tau_{ekv}} \quad (10.3)$$

bu yerda $K_{\max}=S/(G_i+G_{sh})$ – $\omega = \omega_r$ chastotada maksimal kuchaytirish;
 τ_{ekv} – aktiv element G_i ning ichki o'tkazuvchanligini hisobga olgan holda konturning vaqt doimiysi.

Quyidagi kattalik

$$\alpha_{ekv} = \frac{2(\omega - \omega_r)}{\omega_r} Q_{ekv} = (\omega - \omega_r) \tau_{ekv} \quad (10.4)$$

konturning umumlashtirilgan buzilishi (nosozlanishi) deyiladi.

$$K(i\omega) \approx -\frac{S}{C} \frac{1}{2\alpha_{ekv}} \frac{1}{1+i\frac{2(\omega-\omega_r)}{\omega_r} G_{ekv}} = -K_{\max} \frac{1}{1+i(\omega-\omega_r)\tau_{ekv}} \quad (10.5)$$

ifodani quyidagi shaklda yozish mumkin:

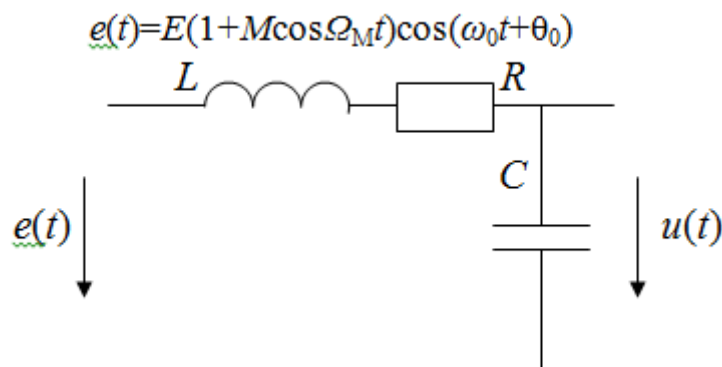
$$K(i\omega) = -\frac{K_{\max}}{\sqrt{1+\alpha_{ekv}^2}} e^{-i \arctg \alpha_{ekv}} = -K(\alpha_{ekv}) e^{-i\varphi(\alpha_{ekv})} \quad (10.6)$$

Mashqlar

10.1. Rezonans kuchaytirgich N ta bir xil bir konturli, vaqt doimiysi τ_k qiymatlari ma'lum pog'onalarining kaskadli ulanishidan tashkil topgan.

Topshiriq: berilgan kuchaytirgichning o'tkazish kengligi $\Pi_{0,707}$ ni hisoblash uchun ifodani keltirib chiqaring.

10.2. 10.2-rasmda ko'rsatilgan zanjir kirishiga $t=0$ vaqt momentida quyidagi EYuK berilmoqda:



10.2-rasm. Past chastotalar uchun RLC -zanjiri.

Topshiriq: o‘ram integral (taxminiy) usuli orqali $\omega_0=\omega_r$, $\Omega_M=2/\tau_k$ (bu yerda $\tau_k=2Q/\omega_r$) bo‘lganda zanjir chiqishidagi kuchlanishni hisoblang.

10.3. 10.2-rasmda ko‘rsatilgan zanjir kirishiga $t=0$ vaqt momentida quyidagi EYuK ta‘sir etmoqda:

$$e(t)=E\exp(-\alpha t)\cos(\omega_0 t+\theta), t\geq 0, \quad (10.7)$$

bu yerda $E=2$ V, $\alpha=10^4$ s⁻¹, $\omega_0=2\pi\cdot 10^6$ rad/s, $\theta=\pi/4$.

Topshiriq: taxminiy spektral usuldan foydalanib, $\omega_r=\omega_0$ da zanjir chiqishidagi kuchlanishni aniqlang. O‘tkazish kengligi $2\Delta\omega_0=2\pi\cdot 10^4$ rad/s. Chiqish kuchlanishning grafigi qurilsin.

Uslubiy ko‘rsatmalar va javoblar

10.1. N-tartibli kuchaytirgichning uzatish koefitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$K(j\omega)=\frac{(-K_{rez})^N}{[1+j\tau_k(\omega-\omega_{rez})]^N}. \quad (10.8)$$

Berilgan tizimning amplituda-chastotaviy xarakteristikasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$|K(j\omega)|=\frac{K_{rez}^N}{[1+\tau_k^2(\omega-\omega_{rez})^2]^{N/2}}. \quad (10.9)$$

O‘tkazish polosasining chegaraviy ω_{cheg} chastotasida

$$[1+\tau_k^2(\omega_{cheg}-\omega_{rez})^2]^{N/2}=\sqrt{2}$$

tenglik o‘rinlidir, unga asosan o‘tkazish kengligi

$$\Pi_{0,707}=\frac{1}{\pi\tau_k}\sqrt{\sqrt[N]{2}-1}.$$

10.2. Zanjir chiqishidagi kuchlanishni quyidagi ifoda orqali aniqlaymiz:

$$u_{chiq}(t) = \operatorname{Re} \left[\frac{1}{2} \exp(i\omega_0 t) \int_{-\infty}^{\infty} A(x) G(t-x) dx \right], \quad (10.10)$$

bu yerda $A(t)=E(1+M\cos\Omega t)\exp(i\theta_0)$ – kirishdagi kuchlanishning kompleks og‘uvchisi, $G(t)=\frac{Q}{\tau_k}\exp(-i\pi/2)\exp(-t/\tau_k)$, $t \geq 0$, – tor polosali zanjirning $\omega=\omega_0$ da impuls xarakteristika kompleks og‘uvchisi.

Integralni yechib quyidagi natijaga kelimiz:

$$u_{chiq}(t) = -\frac{1}{2}QE \left\{ 1 + \frac{M}{\sqrt{1+\Omega^2\tau_k^2}} \cos(\Omega t - \varphi) - \right. \\ \left. - \exp(-t/\tau_k) \left[1 + \frac{M}{\sqrt{1+\Omega^2\tau_k^2}} \cos \varphi \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_0) \right] \right\}, \quad (10.11)$$

bu yerda $\varphi=\arctg\Omega\tau_k=\arctg 2=63,4^\circ$.

Statsionar rejimda ($t \rightarrow \infty$)

$$u_{chiq}(t) = -\frac{1}{2}QE \left[1 + \frac{M}{\sqrt{5}} \cos(\Omega t - \varphi) \cos(\omega_0 t + \theta_0) \right]. \quad (10.12)$$

Kontur inersionligi $\Omega\tau_k=2$ da modulatsiya chuqurligini $\sqrt{5}$ marta kamayishiga va og‘uvchini faza bo‘yicha kirish tebranishi og‘uvchisiga nisbatan $63,4^\circ$ ortda qolishiga olib keladi.

10.3. Berilgan EYuK kompleks og‘uvchisi $A(t)=E\exp(-at+i\theta)$, $t \geq 0$, ko‘rinishga ega, bu funksiyaning Laplas bo‘yicha tasviri esa $S(p)=E\exp(i\theta)/(\alpha+p)$.

Zanjirning (past chastotali ekvivalentning) soddalashtirilgan uzatish funksiyasi $K_1(p)=Q/(1+p\tau_k)$.

Demak,

$$A_{chiq}(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} S(p)K_1(p)e^{pt} dp = EQe^{i\theta} \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \frac{e^{pt} dp}{(\alpha + p)(1 + p\tau_k)} =$$

$$= \frac{EQe^{i\theta}}{1 - \alpha\tau_k} (e^{-\alpha t} - e^{-t/\tau_k}) \quad (10.13)$$

va

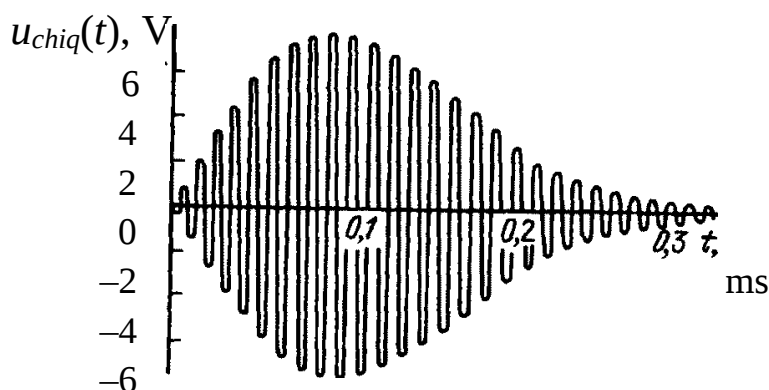
$$u_{chiq}(t) = \frac{EQ(e^{-\alpha t} - e^{-t/\tau_k})}{1 - \alpha\tau_k} \cos(\omega_0 t + \theta). \quad (10.14)$$

Berilgan parametrlarga asosan

$$u_{chiq}(t) = 14,7(e^{-10^4 t} - e^{-\pi \cdot 10^4 t}) \cos(2\pi \cdot 10^6 t + \pi/4), \text{ V}. \quad (10.15)$$

$u_{chiq}(t)$ grafigi 10.3-rasmda ko'rsatilgan.

Diagramma qurishni yengillashtirish uchun yuqori chastotali to'ldirish davri 10 barobar kattalashtirilgan.



10.3-rasm. 10.2-rasmdagi zanjir chiqishidagi kuchlanish

11-Amaliy mashg'ulot. CHM va FM signallarning chastota tanlovchi zanjirlardan o'tishi

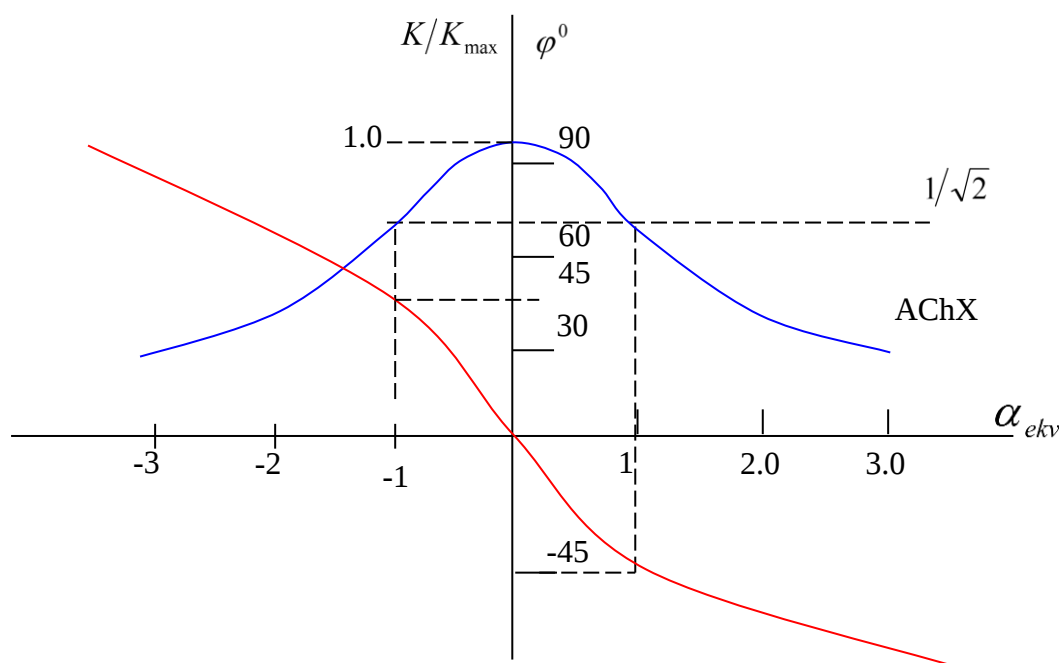
Ishdan maqsad: Chastotasi va Fazasi modulatsiyalangan signallarning chastota tanlovchi zanjirlardan o'tishini tahlil qilish va masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Signalning tanlovchi zanjir orqali o'tishini tahlil qilish analitik signalni qo'llaganda osonlashadi:

$$Z(t) = a(t) + ia_1(t) = A(t)e^{i\omega_0 t} \quad (11.1)$$

bu yerda $A(t) = A(t)e^{i\theta(t)}$ kompleks og'uvchi ham amplituda bo'yicha ham burchak modulatsiyasida $a(t)$ signalga biriktirilgan to'liq ma'lumotni o'z ichiga oladi.



11.1-rasm. Bir konturli rezonans kuchaytirgichning AChX va FChX lari

Zanjir orqali o'tgandan keyin yangi analitik signal hosil bo'ladi:

$$Z_{chiq}(t) = a_{chiq}(t) + ia_{1chiq}(t) = A(t)e^{i\omega_0 t} = A_{chiq}(t)e^{i\theta_{chiq}(t)}e^{i\omega_0 t} \quad (11.2)$$

uning haqiqiy qismi esa

$$a_{chiq}(t) = \text{Re } Z_{chiq}(t) = A_{chiq}(t) \cos[\omega_0 t + \theta_{chiq}(t)] \quad (11.3)$$

chiqish signalini ifodalaydi.

Shunday qilib, masalani hal qilish, kirish signalning kompleks og'uvchisiga zanjirning ta'sir etishini aniqlashga olib keladi.

Mashqlar

11.1. Radiostansiya 4,25 m to'liqinida chastota modulatsiyasini qo'llagan holda ishlamoqda. Modulatsiyaning eng yuqori chastotasi $F_m=100$ kGs, burchak modulatsiyasi indeksi $m=0,1$.

Topshiriq: shu stansiyaga sozlangan tunerda konturning asilligi, modulatsiya indeksining kamayishi 3 dB dan oshmasligi uchun qanday bo'lishi kerak?

11.2. $K(i\omega) = 2Q/[1 + i(\omega - \omega_r)/\Delta\omega_0]$ uzatish funksiyali rezonans kuchaytirgich kirishiga chiziqli chastotaviy modulatsiya-langani $s(t) = E \cos(\omega_0 t + \beta t^2 / 2)$, $0 \leq t \leq \tau_i$ impuls signal berilgan. Kontur parametrlari: $Q=50$, $\omega_r=10^6$ rad/s, $\Delta\omega_0=10^4$ rad/s; signal parametrlari: $E=0,1$ V, $\omega_0=\omega_r$, $\beta=10^7$ rad/s², $\tau_i=4$ ms.

Topshiriq: berilgan masala shartlarida oniy chastota usuli qo'llanilishi tekshirilsin.

11.3. Oldingi masalada chiqish impulsi og'uvchisining o'zgarish qonuni aniqlansin.

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

11.1. Berilgan modulatsiya $m=0,1$ indeksida ChMT spektrida uchta spektral tashkil etuvchilarni hisobga olsa bo'ladi: f_0 , $f_0 \pm F$, shuningdek burchak modulatsiyasi indeksi birinchi yon chastota amplitudasiga proporsional. Konturda modulatsiya indeksining kamayishi 3 dB dan oshmasligi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$[1 + (2FQ/f_r)^2]^{1/2} = 1, \quad (11.4)$$

ya'ni, $Q = f_r / (2F)$.

Bu holda $f_r = f_0 = c/\lambda = 70,6$ MGs, $F_m = 100$ kGs va $Q = 70,6 \cdot 10^6 / 100 \cdot 10^3 = 353$.

11.2. Oniy chastota usulining qo'llanilish shartlari $\Omega/\Delta\omega \ll 1$ va $\omega_d/\Delta\omega \leq 1$. Chiziqli-chastotaviy modulatsiya uchun Ω kattalik ostida $2\pi/\tau_i$ qiymatni tushunish mumkin, ω_d ostida esa $\beta\tau_i/2$ qiymatni. Shunday qilib, yuqorida keltirilgan shartlarga asosan,

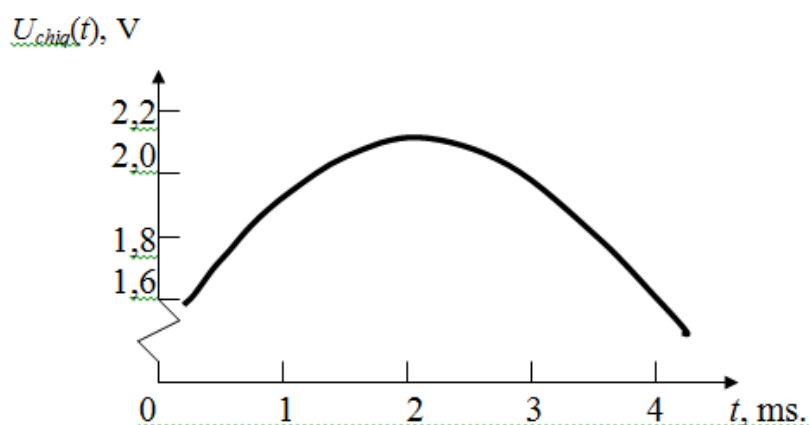
$$\Omega/\Delta\omega = 2\pi/(\tau_i \Delta\omega) \approx 0,075; \quad \omega_d/\Delta\omega = \beta\tau_i/(2\Delta\omega) = 1. \quad (11.5)$$

Demak, tahlil qilish uchun oniy chastota usuli qo'llanilishi mumkin.

11.3. Konturni signalning oʻrtacha chastotasiga ($\omega_r = \omega_0$) aniq sozlaganda va EYuK chastotasining $f_0 - f_d$ dan $f_0 + f_d$ gacha oraliqlarda chiziqli oʻzgarganida chiqishdagi amplitudalarning ogʻuvchisi

$$U_{chiq}(t) = 2Q / \sqrt{1 + \{2[\omega(t) - \omega_r] / \Delta\omega_{0,7}\}^2}, \quad \omega_0 - \omega_d < \omega(t) < \omega_0 + \omega_d.$$

$U_{chiq}(t)$ ogʻuvchi kuchaytirgich ACHX sining shaklini koʻrsatadi (11.2-rasm).



11.2-rasm. Kuchaytirgich ACHXsi

12-Amaliy mashgʻulot. LC-avtogeneratorning stabillik shartlari

Ishdan maqsad: LC-avtogeneratorning stabillik shartlari oʻrganish va unga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Avtogeneratorlarni chastota turgʻunligi yuqori boʻlishi uchun, ularni tebranish konturida quvvat sarf boʻlishi iloji boricha kam boʻlishi kerak. Demak $Z_1 = r_1 + jx_1$ $Z_2 = r_2 + jx_2$ $Z_3 = r_3 + jx_3$ kompleks qarshiliklarning aktiv tashkil etuvchilarini salmogʻi kichik boʻlishi kerak: $r_1/X_1 \ll 1$, $r_2/X_2 \ll 1$ $r_3/X_3 \ll 1$. U holda boshqaruvchi qarshilik uchun ifoda ancha soddalashadi:

$$Z_y = -\frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = -\frac{(r_1 + jx_1)(r_2 + jx_2)}{r_1 + r_2 + r_3 + j(x_1 + x_2 + x_3)} \approx \frac{x_1 x_2}{r + jx} \quad (12.1)$$

bu erda $r = r_1 + r_2 + r_3$; $X = X_1 + X_2 + X_3$

Aktiv to'rtqutblikni inersiyasiz va uni qiyaligi S_1 faqat haqiqiy qismdan iborat deb hisoblaymiz, u holda va boshqaruvchi qarshilik $Z_y = R_y + jX$ aktiv qarshilik R_y ga teng bo'ladi va AG ni stasionar ish holatini quyidagicha yozish mumkin

$$S_1 R_y = 1 \quad X = 0$$

$Z_y = R_y$ bo'lishi uchun reaktiv qarshiliklar yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak.

$$X = X_1 + X_2 + X_3$$

$$Z_y = -\frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = -\frac{(r_1 + jx_1)(r_2 + jx_2)}{r_1 + r_2 + r_3 + j(x_1 + x_2 + x_3)} \approx \frac{x_1 x_2}{r + jx} \quad (12.2)$$

tenglamani surati haqiqiy bo'lgani uchun boshqaruvchi qarshilikni aktiv qarshilik orqali yozish mumkin.

$$R_y = X_1 X_2 / r \quad (12.3)$$

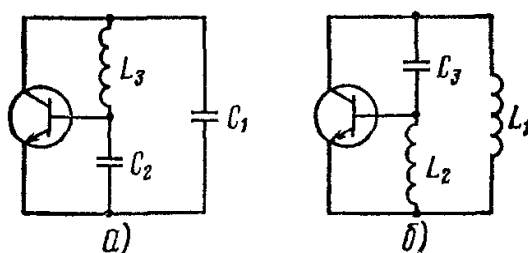
X_1, X_2, X_3 reaktiv qarshiliklar AG chastotasiga kuchli bog'liq bo'ladi va amplitudasiga esa deyarli bog'liq bo'lmaydi. Yuqoridagi tenglama AG ishlab berayotgan to'lqin chastotasini belgilab beradi. AE qiyaligi $S_1 > 0$ bo'lgani uchun boshqaruvchi qarshilik R_y ham musbat ishorali va haqiqiy bo'lishi kerak. Shuning uchun $r > 0$ bo'lganda X_1 va X_2 reaktiv qarshiliklar ishorasi bir xil, X_3 niki esa qarama-qarshi bo'lishi kerak. Shunday qilib uch nuqtali avtogenerator sxemalari ikki turga bo'lishi mumkin:

a) Uch nuqtali sig'imli sxema 12.1a-rasm

$$X_1 < 0, X_2 < 0, X_3 < 0$$

b) Uch nuqtali induktivlik sxema 12.1b-rasm

$$X_1 > 0, X_2 > 0, X_3 > 0$$



12.1-rasm. Avtogeneratorni uch nuqtali sxemasi: a) sig'imli,
b) induktivli

Mashqlar

12.1. Transformatorli bog'langan avtogeneratorlarda o'rtacha qiyaligi S_1 (mA/V) boshqaruvchi kuchlanish U (V) ga bog'liqligi 2-darajali ko'p had bilan approssimatsiyalangan elektron qurilma qo'llanilgan:

$$S_1(U)=a_1+3/4a_3U^2, \quad (12.4)$$

bu yerda $a_1=1 \text{ mA/V}$, $a_3=-2,5 \text{ mA/V}^3$. Generator tebranish konturi quyidagi parametrlarga ega: $\omega_0=6 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$, $Q=25$.

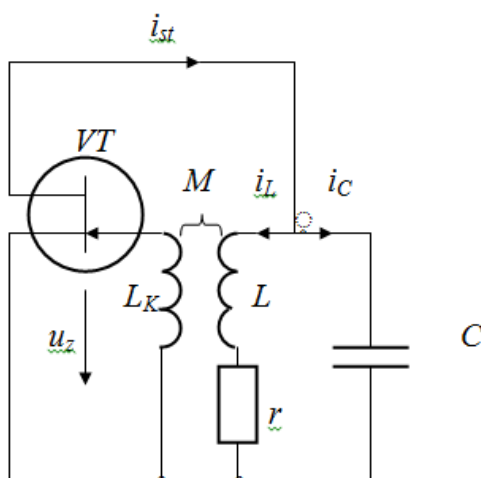
Topshiriq: o‘zaro induksiya koeffitsiyenti M_{min} ning qanday minimal qiymatida tizimda avtotebranishlar vujudga keladi? Agar $M=3M_{min}$ bo‘lsa, statsionar rejimda U_{st} amplitudani hisoblang.

12.2. Tranzistor xarakteristikasi $i_k=10+2(u_b-U_0)-0,5(u_b-U_0)^3$, mA ifoda orqali approksimatsiyalanadi, sinxronlovchi kuchlanish esa baza zanjiriga kiritilib, $E=0,16 \text{ V}$ amplitudaga ega.

Topshiriq: agar kontur parametrlari $Q=50$, $\rho=200 \text{ Om}$, $f_r=1 \text{ MGs}$, teskari aloqa koeffitsienti $K_{TA}=0,1$ bo‘lsa, kollektor zanjirida konturli generator chastotasini egallash sodir bo‘ladigan chastotalar polosasi aniqlansin.

12.3. Kontur parametrlari: $L=500 \text{ mkGn}$, $C=2000 \text{ pF}$, $r=5 \text{ Om}$. Tranzistor parametrlari: $S=5 \text{ mA/V}$, $\mu=20$.

Topshiriq: 12.2-rasmda tasvirlangan avtogenerator o‘z-o‘zidan qo‘zg‘alishi uchun zarur bo‘lgan minimal o‘zaro induktivlik M aniqlansin.



12.2-rasm. Maydon tranzistorli avtogenerator

Uslubiy ko‘rsatmalar va javoblar

12.1. $U=0$ va o‘z-o‘zidan qo‘zg‘alish chegarasida

$$a_1=RC/M_{min}=1/(\omega_0QM_{min}) \quad (12.5)$$

bajarilishi lozim. Undan kelib chiqqan holda

$$M_{min}=1/(a_1\omega_0Q)=6,66\cdot 10^{-8} \text{ Gn.}$$

Agar $M=M_{min}$ bo'lsa, u holda

$$1/(\omega_0QM)=3,34\cdot 10^{-4} \text{ Sm.}$$

Statsionar rejimda tebranishlar amplitudasi quyidagi tenglamani qoniqtirishi zarur:

$$10^{-3}-1,875\cdot 10^{-3}U_{st}^2=3,34\cdot 10^{-4}.$$

Uni yechgandan so'ng $U_{st}=0,596 \text{ V}$ ni olamiz.

12.2. Avval $S_{o'rt}=rC/M$ shartidan o'rnatilgan tebranishlar amplitudasi aniqlanadi. Tranzistor volt-amper xarakteristikasini kubik approksimatsiyalagan-da

$$S_{o'rt} = a_1 + \frac{3}{4}a_3U_{o'rn}^2 = 2 - \frac{3}{4}0,5U_{o'rn}^2, \text{ mA/V;} \quad (12.6)$$

$$\frac{rC}{M} = \frac{1}{Q\omega_r M} \frac{L}{L} = \frac{1}{Q\rho K_{TA}} = 1 \text{ mA/V;} \quad (12.7)$$

$$U_{o'rn} = \sqrt{\frac{a_1 - S_{o'rt.o'rn}}{0,75a_3}} = 1,57 \text{ V.} \quad (12.8)$$

Quyidagi egallash polosasi to'liq nisbiy kengligining ifodasidan

$$\frac{2\Delta\omega_{\max}}{\omega_r} = \frac{2|\omega - \omega_r|_{\max}}{\omega_r} \approx \left(\frac{E}{U_{TA}}\right)\left(\frac{1}{Q}\right) = \left(\frac{E}{U_{TA}}\right)d, \quad (12.9)$$

bu yerda $d=1/Q$ – kontur so'nish koeffitsiyenti, aniqlash zarur bo'lgan chastotalar polosasi

$$2\Delta f = f_r \frac{1}{Q} \frac{E}{U_{o'rn}} = 2 \text{ kGs.} \quad (12.10)$$

12.3. Tizimning turg'unlik chegarasiga mos keluvchi kritik M qiymati (ya'ni tebranishlar vujudga kelishi) quyidagicha aniqlanadi:

$$M_{kr} = L \left(\frac{1}{R_{ekv} S} + \frac{1}{\mu} \right) = \frac{rC}{S} + \frac{L}{\mu}. \quad (12.11)$$

Berilgan r, C, L, S va μ parametrlardan $M_{kr}=4,5 \cdot 10^{-6}$ Gn ni olamiz.

13-Amaliy mashg'ulot. RC-avtogeneratorning energetik parametrlarini o'rganish

Ishdan maqsad: LC-avtogeneratorning energetik parametrlarini o'rganish va unga doir masalalar yechish

Qisqacha nazariy tushunchalar

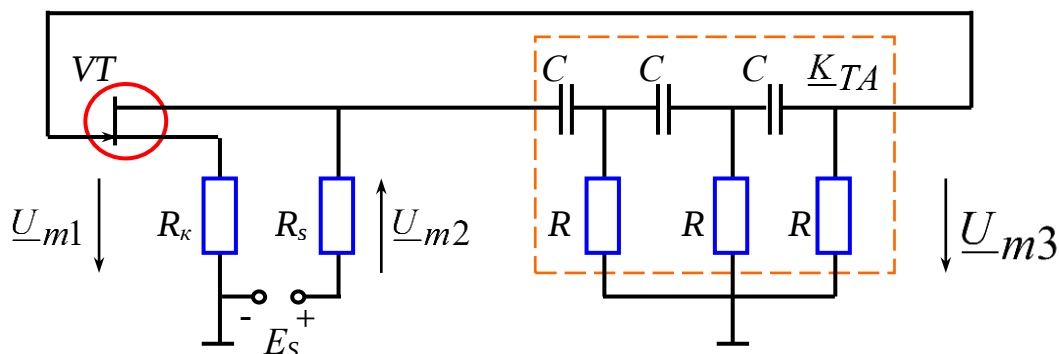
LC-konturli avtogenerator yordamida past chastotali signallarni generatsiyalash qiyin, chunki L va C larning qiymatlari oshgan sari LC-kontur asilligi Q juda kamayib ketadi va amplituda balansi sharti bajarilmaydi, induktivlik L o'ramlari ko'payadi, natijada yo'qotish qarshiligi R_y da tok quvvati ko'p sarf bo'ladi, L va C larning geometrik o'lchamlari ham katta bo'ladi.

RC-generatorlarda generatsiyalanadigan tebranishlar davri, ushbu elementlar vaqt doimiysi $\tau = RC$ bilan mos o'lchamli. R va C larning qiymatlari katta bo'lgani bilan geometrik o'lchamlari kichik qilib tanlash mumkin, natijada generatsiya chastotasi Gersning mingdan biridan bir necha yuz kGs bo'lishi mumkin.

Xuddi LC-avtogeneratordek, RC-generatorlarda ham amplituda va faza balansi sharti bajarilishi kerak. Aktiv element – biqutbli tranzistor umumiy emitter yoki maydon tranzistori umumiy istok sxemasi bo'yicha foydalanilsa, ularning chiqishidagi kuchlanish kirishdagiga nisbatan 180° ga o'zgaradi. Fazalar balansi bajarilishi uchun uni yana $\pm 180^\circ$ ga surish kerak. Fazalarni 180° ga surishni RC zanjirlar orqali amalga oshirish mumkin.

Faza suruvchi RC zanjirli generator. Bunday generator sxemasi 13.1-rasmda keltirilgan bo'lib, maydon tranzistori VT, uning yuklamasi R_{yuk} va teskari bog'lanish zanjiri K_{TA} dan iborat. Faza balansi bajarilishi uchun teskari

bogʻlanish zanjiri oʻz kirishidagi kuchlanishni 180^0 ga surishi kerak, natijada umumiy faza surishi 2π ga teng boʻladi.



13.1-rasm. Faza suruvchi RC zanjirli generator sxemasi

Bitta yuqori chastota RC–zanjiri (13.2a-rasm) kirishidagi U_m , kuchlanishni φ gradusga suradi. 13.2b-rasmda 13.1-rasmdagiga mos belgilashda vektor diagramma keltirilgan. Bunda asos qilib tok U_m olingan, u bilan rezistor R dagi kuchlanish U_{m2} mos keladi; kondensator C dagi kuchlanish U_{mc} tok I_m dan 90^0 ga kechikadi. Kirish kuchlanishi U_{m1} chiqish kuchlanishi U_{m2} va kondensatordagi kuchlanish vektor yigʻindisi shaklida aniqlanadi, natijada U_{m2} fazasi U_{m1} ga nisbatan 90^0 ga surilgan boʻladi.

RC–zanjir faza-chastota xarakteristikasini 13.2b-rasmdagi vektor diagramma orqali aniqlaymiz

$$\tan \varphi = \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \frac{1}{\omega RC} \quad (13.1)$$

13.2c-rasmdagi RC–zanjir faza–chastota xarakteristikasidan koʻrinib turibdiki, kirish va chiqish orasidagi kuchlanish fazasi chastotaga bogʻliq.

$$\tan \varphi = \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \frac{1}{\omega RC} = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} + R} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega RC}} \quad (13.2)$$

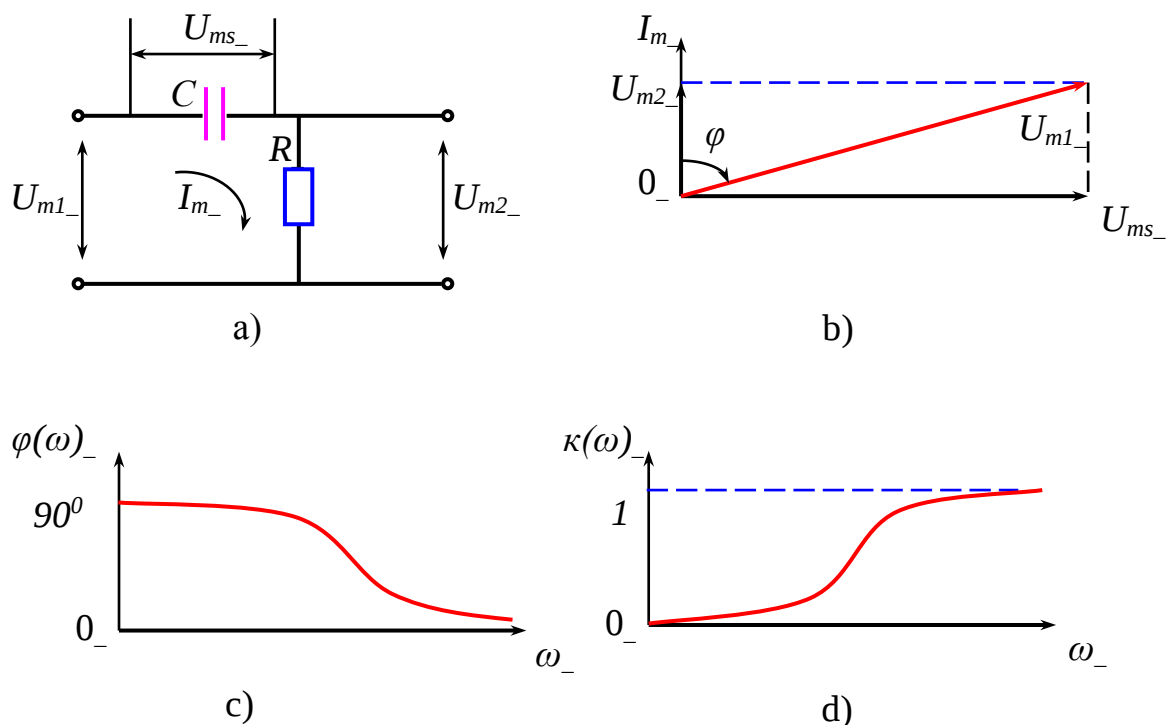
RC–zanjirning uzatish koeffitsienti $\omega=0$ da nolga teng va $\omega \rightarrow \infty$ da $K_{uk}=1$ (13.2d-rasm).

Har bir RC–zanjir qandaydir chastota ω da kirish kuchlanishi fazasini 60^0 ga siljitsa, ulardan uchta 180^0 ga suradi.

Ushbu uchta RC -zanjirli generator $\omega_g = \frac{1}{\sqrt{6}RC}$ chastotada tebranadi.

Tranzistorning kuchaytirish koeffitsienti $K_k=29$ bo'lganda, amplituda balansi sharti bajariladi.

Agar past chastota RC -zanjiridan (13.2a-rasm) uchta olsak, generatsiya chastotasi $\omega_g = \frac{\sqrt{6}}{RC}$ va $K_k=18$ bo'ladi.

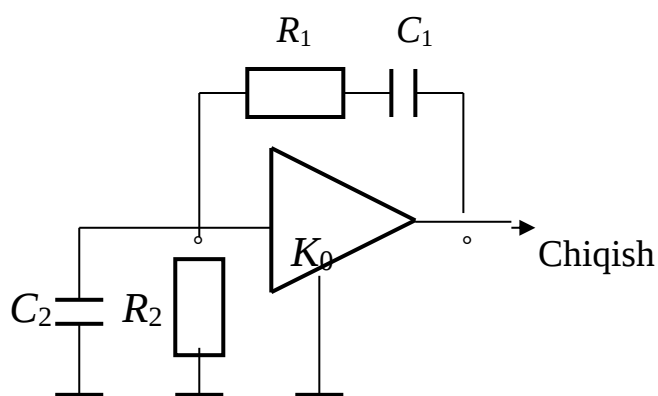


13.2-rasm. Faza suruvchi RC -zanjir (a), uning vektor diagrammasi (b), faza-chastotaviy xarakteristikasi (c) va uzatish koeffitsiyenti grafigi (d)

Mashqlar

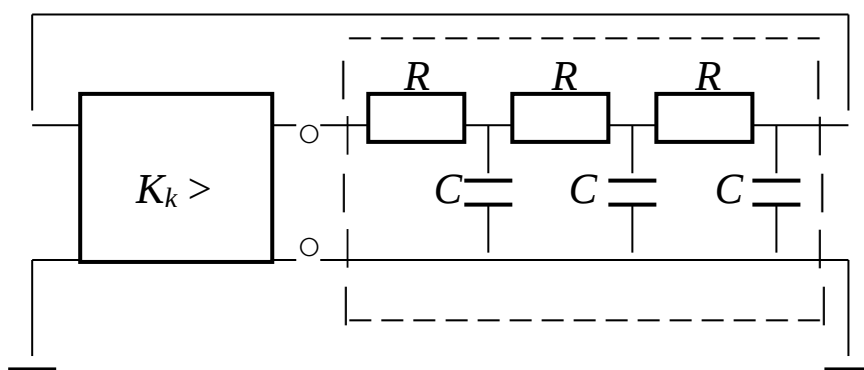
13.1. Garmonik tebranishlar RC -generatorining sxemasi 13.3-rasmda ko'rsatilgan.

Topshiriq: agar $R_1=R_2=3,6$ kOm, $C_1=0,15$ mkF, $C_2=0,05$ mkF bo'lganda aktiv zvenoning tizim o'z-o'zidan qo'zg'alishi sodir bo'ladigan kuchaytirish koeffitsienti K_0 aniqlansin. Generatsiya-lanuvchi chastota ω_{gen} qiymatini aniqlang.



13.3-rasm. Garmonik tebranishlar RC-generatori

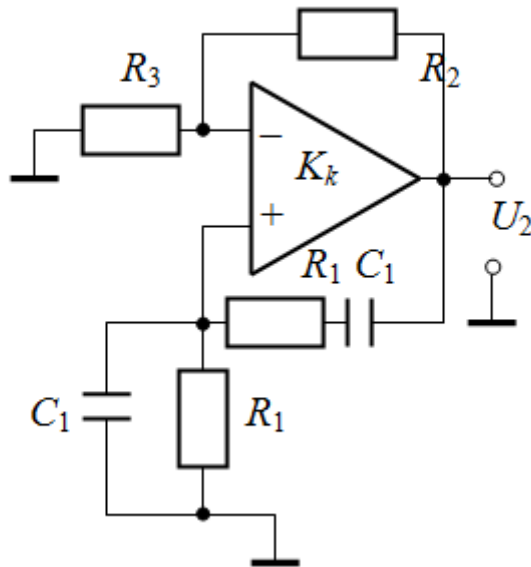
13.2. Aktiv to'rtqutblik va teskari aloqali to'rtqutblikdan iborat (13.4-rasm) berk tizimning qo'zg'alish shartlarini aniqlang. Aktiv to'rtqutblik $R_{kir} \rightarrow \infty$ va $R_{chiq} \rightarrow 0$ qarshiliklarga ega deb hisoblansin.



13.4-rasm. Teskari aloqali RC-avtogenerator

13.3. Operatsion kuchaytirgichda yig'ilgan RC-generatorda (13.5-rasm) rezistor R_3 qarshiligi 10 kOm.

Topshiriq: turg'un generatsiyani ta'minlash uchun minimal mumkin bo'lgan R_2 qarshilikni aniqlang.



13.5-rasm. Operatsion kuchaytirgichda yig‘ilgan RC-generator

Uslubiy ko‘rsatmalar va javoblar

13.1. O‘z-o‘zidan qo‘zg‘alish shartidan foydalanib, quyidagini olamiz:

$$K_0 > 1 + (R_1 C_1 + R_2 C_2) / (R_2 C_1). \quad (13.3)$$

Bunga masala shartida berilgan elementlar nominallarini qo‘yib, $K_0 > 2,33$ ekanligini olamiz. Generatsiyalanuvchi chastotaning qiymati:

$$\omega_{gen} = 1 / \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2} = 3,208 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}. \quad (13.4)$$

13.2. Berilgan aktiv to‘rtqutblik va teskari aloqa to‘rtqutbligidan tashkil topgan berk tizim uchun qo‘zg‘alish shartlari quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$K_k K_{TA} > 1; \varphi_k + \varphi_{TA} = 2\pi n, n = 1, 2, 3, \dots,$$

bu yerda K_k, φ_k – aktiv to‘rtqutblikning kuchaytirish ko‘effitsiyenti va faza siljishi; K_{TA}, φ_{TA} – teskari aloqa to‘rtqutbligining uzatish ko‘effitsiyenti va faza siljishi.

Berilgan zanjir uchun qo‘zg‘alish shartlari $\omega_{cheg} = \sqrt{6/(RC)}$ chastotada bajariladi va bunda kuchaytirish ko‘effitsienti $K_k > 29$ bo‘lishi kerak.

13.3. Umumiy holatdan kelib chiqqan holda quyidagilarga egamiz:

$K_k K_{TA} > 1; \varphi_k + \varphi_{TA} = 2\pi n, n=1, 2, 3, \dots$,
va 13.5-rasmdagi teskari aloqa to'rtqutbligi uchun generatsiya chastotasida $K_{TA}(\omega_{gen}) = 1/3$ ekanligini hisobga olib, $K_k(\omega_{gen}) > 3$ ni aniqlaymiz. Operatsion kuchaytirgich asosida yig'ilgan masshtab kuchaytirgichi uchun $K_k = R_2/R_3$ bo'lgani uchun, izlanayotgan R_2 minimal mumkin bo'lgan qiymati $K_k R_3 = 30$ kOm bo'ladi.

14-Amaliy mashg'ulot. Differensiallovchi va integrallovchi elektr zanjirlar

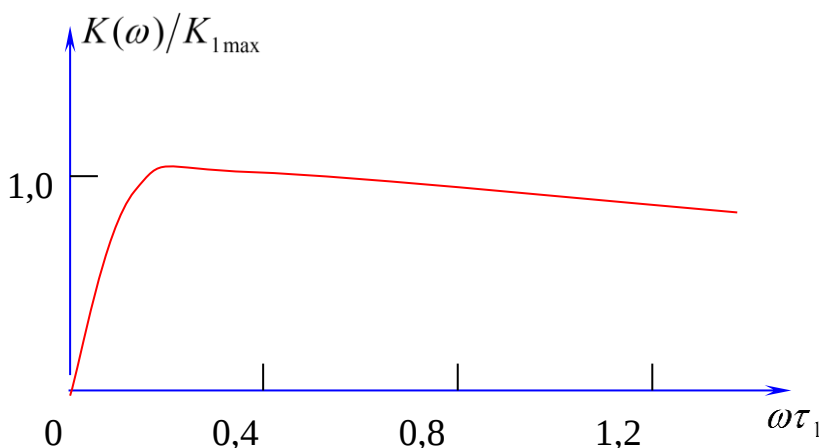
Ishdan maqsad: Differensiallovchi va integrallovchi elektr zanjirlarni o'rganish va ularga doir masalalar yechish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

Radioelektronikada ko'p hollarda signallarni differensiallash va integrallash xarakteriga ega bo'lgan o'zgartirishlarni amalga oshirish to'g'ri keladi.

Differensiallashni amalga oshiruvchi chiziqli zanjirning kirishiga $s(t)$ signal berilsa, uning chiqishidan quyidagi signal olinadi:

$$s_{chiq}(t) = \tau_0 \frac{ds(t)}{dt} \quad (14.1)$$



14.1-rasm. Kuchaytirgichning amplituda – chastota xarakteristikasi.

Integrallovchi qurilmada chiqishdagi $s_{chiq}(t)$ va kirishdagi $s(t)$ signallar orasidagi bogʻlanish quyidagi koʻrinishda boʻladi:

$$s_{chiq}(t) = \frac{1}{\tau_0} \int s(t) dt \quad (14.2)$$

Bu ifodalarda τ_0 – vaqt oʻlchamiga ega boʻlgan doimiy kattalik.

Differensiallash va integrallash chiziqli matematik operatsiyalar hisoblanadi. Shunga binoan, signalni differensial va integral oʻzgartirilishi uchun kirish va chiqishdagi kattaliklarning orasida talab qilingan nisbatlarga ega boʻlgan chiziqli zanjirlar va elementlar qoʻllanilishi zarur. Bu talablarga odatdagi kondensatorlar yoki induktivlik gʻaltaklari kabi elementlar rezistor bilan birgalikda chiqishdagi signalni toʻgʻri tanlagan holatda javob beradi.

Endi 14.1-rasmdagi zanjirni koʻrib chiqaylik.

Kirish signali EYuK sifatida $s(t)$ signalni nazarda tutgan holda zanjir toki $i(t)$ uchun tenglama tuzamiz:

$$Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = s(t) \quad (14.3)$$

Bu tenglamani C ga koʻpaytirib va zanjirning vaqt doimiysini $\tau_0 = RC$ bilan belgilab olib quyidagini olamiz:

$$\tau_0 i(t) + \int i(t) dt = Cs(t) \quad (14.3)$$

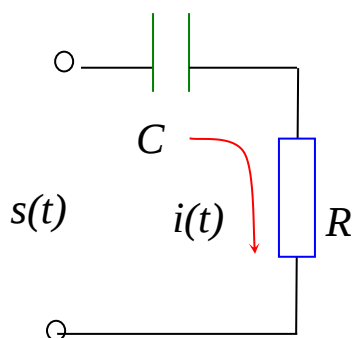
Tok $i(t)$ va kirish signali $s(t)$ orasidagi funksional bogʻlanishning xarakteri vaqt doimiysi τ_0 ga bogʻliq. Ikki cheklangan, yaʼni, juda kichik va juda katta τ_0 uchun holatlarni koʻramiz. Juda kichik τ_0 holatida $\tau_0 i(t) + \int i(t) dt = Cs(t)$ tenglamaning chap qismidagi birinchi qoʻshiluvchini chiqarib tashlash mumkin.

Undan soʻng qolgan tenglamani t boʻyicha differensiallab $i(t) \approx C \frac{ds(t)}{dt}$ ni olamiz.

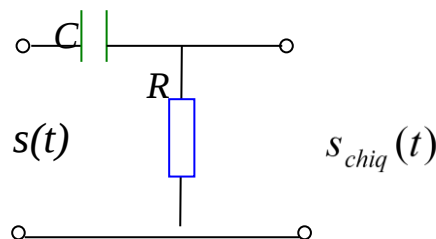
Bundan koʻrinadiki, $i(t)$ shakli bilan mos keluvchi rezistor R dagi kuchlanish kirish signali hosilasiga proporsional:

$$u_R = Ri(t) \approx RC \frac{ds(t)}{dt} = \tau_0 \frac{ds(t)}{dt}. \quad (14.4)$$

Shunday qilib, chiqish signali rezistor R dan olinadigan 14.2-rasmdagi differensiallovchi toʻrtqutblik sxemasiga kelimiz.



14.1-rasm. Differensiallash va integrallash uchun qo'llaniladigan eng sodda zanjir.



14.2-rasm. Differensiallovchi zanjir.

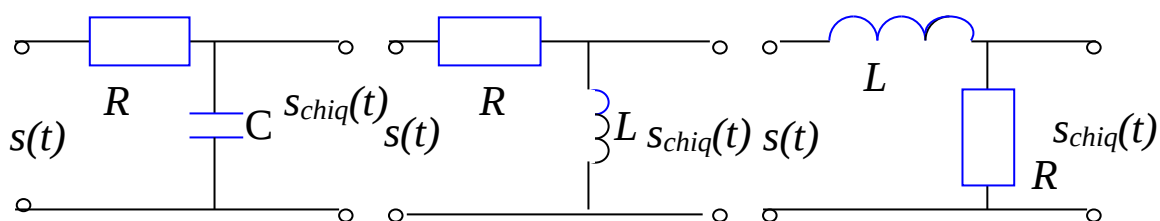
τ_0 ning juda katta qiymatlaridagi holatda esa $\tau_0 i(t) + \int i(t) dt = Cs(t)$ tenglamaning chap qismidagi ikkinchi qo'shiluvchini chiqarib tashlash mumkin va bunda tok

$$i(t) \approx \frac{C}{\tau_0} s(t) = \frac{1}{R} s(t) \quad (14.4)$$

kirishdagi signal shakli bilan mos tushadi, C kondensatordagi kuchlanish esa,

$$u_c = \frac{1}{C} \int i(t) dt \approx \frac{1}{CR} \int s(t) dt \quad (14.5)$$

kirishdagi $s(t)$ signal integraliga proporsional. Bundan kelib chiqadiki, integrallashni amalga oshirish uchun RC -zanjir 14.3-rasmdagi ko'rinishga ega bo'lishi kerak.



14.3-rasm. Integrallovchi zanjir.

14.4-rasm. Differensiallovchi zanjir.

14.5-rasm. Integrallovchi zanjir.

Shu kabi natijalarni RL -zanjir yordamida ham olsa bo'ladi (14.4- va 4.5-rasmlar).

Differensiallovchi zanjirning vaqt doimiysi $\tau_0 = L/R$ yetarlicha kichik, integrallovchi zanjirniki esa yetarlicha katta bo'lishi kerak. 14.1-rasmdagi sxema

uchun differensiallash prinsipini quyidagicha tasvirlash mumkin. Rezistorning yetarlicha katta qarshiligida RL -zanjir orqali o‘tadigan tok L ga bog‘liq emas va kirish $s(t)$ signali bilan shakli mos keladi. Chiqishdagi $s(t)$ signal L induktivlikdan olinib, quyidagiga teng:

$$s_{chiq}(t) = L \frac{di}{dt} \approx L \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{R} s(t) \right] = \tau_0 \frac{ds(t)}{dt} \quad (14.6)$$

14.5-rasmdagi sxemada aksincha, tok asosan L induktivlik orqali aniqlanadi (sababi R ancha kichik):

$$i(t) \approx \frac{1}{L} \int s(t) dt \quad (14.7)$$

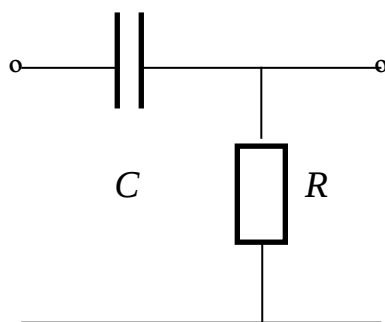
resistor R dan olinadigan chiqish signali quyidagiga teng:

$$s_{chiq}(t) = Ri(t) \approx \frac{1}{\tau_0} \int s(t) dt. \quad (14.8)$$

Mashqlar

14.1. Differensiallovchi zanjirga 50 mks davomiylikga ega E amplitudali to‘g‘riburchakli impuls berilmoqda (14.6-rasm). Signal manbasining ichki qarshiligi $R_i=50$ Om.

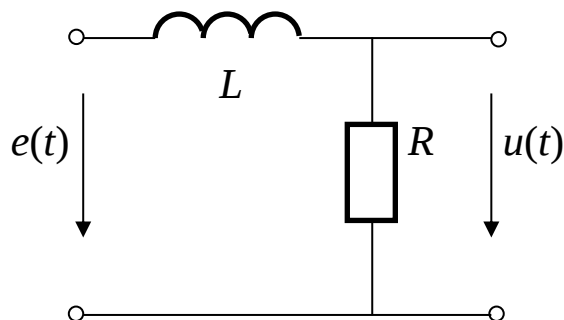
Topshiriq: $0,5U_{chiqmax}$ sathda aniqlanuvchi, davomiyligi 10 mks bo‘lgan qisqartirilgan birinchi musbat impulsni zanjir chiqishida olish sharti bilan R va C parametrlarini aniqlang. Bu yerda $U_{chiqmax}$ – impuls cho‘qqisi bo‘lib, u $0,95E$ dan kam bo‘lmasligi kerak.



14.6-rasm. Differensiallovchi RC -zanjir

14.2. Vaqt doimiysi $\tau_z=2$ ms bo'lgan zanjir kirishiga (14.7-rasm) $t=0$ vaqt momentida davomiyligi $\tau_i=2$ ms, amplitudasi $E=1$ V ga teng to'g'riburchakli impuls berilmoqda.

Topshiriq: zanjir chiqishidagi signalni aniqlang. Quyidagi holatlarda: a) zanjirning vaqt doimiysini uzaytirganda; b) zanjirning vaqt doimiysini kamaytirganda, chiqishdagi signal shakli qanday o'zgarishini tekshiring. Mos keluvchi vaqt diagrammalarini tasvirlang va ularni vaqt hamda spektral nuqtai nazarlaridan tushuntiring.



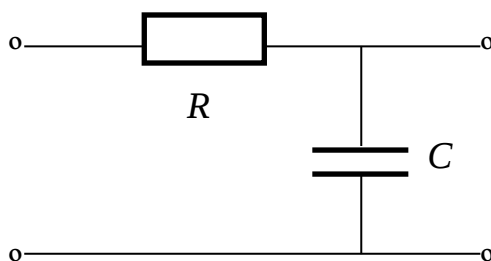
14.7 - rasm. Integrallovchi RL -zanjir

14.3. 14.6-rasmdagi differensiallovchi zanjirga $t=0$ momentda $\tau_i=3$ ms davomiylikka ega $E=10$ V amplitudali musbat to'g'riburchakli impuls berilmoqda. Zanjir vaqt doimiysi $RC=1$ ms.

Topshiriq: zanjir chiqishidagi signalni aniqlang.

14.4. 14.8-rasmda ko'rsatilgan integrallovchi zanjirga $t=0$ momentda oldingi masaladagi singari signal berilgan bo'lsin. Zanjir vaqt doimiysi $RC=5$ ms.

Topshiriq: zanjir chiqishidagi signalni aniqlang.



14.8-rasm. Integrallovchi RC -zanjir

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

14.1. Differensiallovchi zanjir R qarshiligini $U_{chiqmax}/E = R/(R+R_i)=0,95$ shartdan topish mumkin, undan esa $R=0,95R_i/0,05 = 950$ Om. Chiqish impulsi

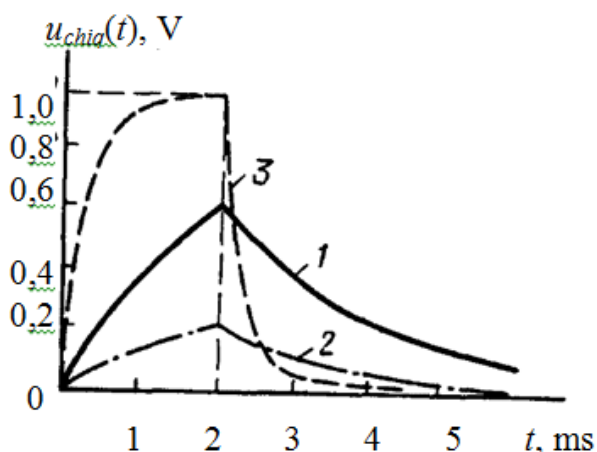
davomiyligi 10 mks bo'lishi kerak, shunga binoan $t_1=10$ mks, $u(t_1)=0,5U_{\max}$, $R=950$ Om va $R_i=50$ Om qiymatlarni $u(t)=U_{\max}\exp\{-t/[C(R+R_i)]\}$ ifodaga qo'yib, $C=14,4$ nF olamiz.

14.2. Berilgan zanjirning uzatish funksiyasi $K(i\omega)=1/(1+i\omega\tau_z)$ orqali aniqlanadi. Laplas o'zgartirishi yordamida chiqish signali uchun ifodani olish mumkin:

$$u_{chiq}(t) = \begin{cases} 1 - e^{-0,5 \cdot 10^3 t}, & 0 \leq t \leq \tau_i, \\ 0,6 e^{-0,5 \cdot 10^3 t}, & t > \tau_i. \end{cases} \quad (14.9)$$

$u_{chiq}(t)$ signal 14.9-rasmda 1 raqami ostida ko'rsatilgan. 2 raqami ostida $\tau_z' > \tau_z$ zanjir vaqt doimiysida chiqish signali ko'rsatilgan, 3 raqami ostida esa $\tau_z'' \ll \tau_z$ dagi chiqish signali.

Pasayish qiyaligining $\tau_z' > \tau_z$ da kamayishi (2 egriligi) filtr AChX si $K(\omega)=[1+(\omega \tau_z)^2]^{-1/2}$ da signal spektri yuqori chastotali tashkil etuvchilarining kuchsizlanishi sababli tushuntiriladi. $\tau_z'' \ll \tau_z$ da esa aksincha, pasayish qiyaligi o'sib boradi (3 egriligi).



14.9-rasm. Integrallovchi RL -zanjir uchun mos vaqt diagrammalari

14.3. Chiqishdagi signalni o'ram integrali usulini qo'llab aniqlash mumkin.

$$s_{1chiq}(t) = \begin{cases} 10e^{-10^3 t}, V, & 0 \leq t \leq 3 \text{ ms}, \\ -9,5e^{-10^3(t-3 \cdot 10^{-3})}, V, & t \geq 3 \text{ ms}. \end{cases} \quad (14.10)$$

14.4. Chiqish signali quyidagiga teng:

$$s_{2chiq}(t) = \begin{cases} E(1 - e^{-t/(RC)}), & 0 \leq t \leq \tau_i, \\ E(1 - e^{-\tau_i/(RC)})e^{-(t-\tau_i)/(RC)}, & t > \tau_i. \end{cases} \quad (14.11)$$

14.9-rasmda 3 va 4 masalalar uchun kirish signali, $s_{1chiq}(t)$ va $s_{2chiq}(t)$ chiqish signallari ko'rsatilgan.

15-Amaliy mashg'ulot. Raqamli filtrlar va ularning uzatish funksiyasi

Ishdan maqsad: Raqamli filtrlarni o'rganish va ularning uzatish funksiyalarini tuzish.

Qisqacha nazariy tushunchalar

15.1-rasmda kattalik bo'yicha ixtiyoriy va vaqt bo'yicha uzluksiz signal ko'rsatilgan. Bu toifa signallarni analogli deb atashadi, chunki ularni fizik kattaliklarning elektrik modeli yoki uzluksiz deb qarash mumkin. Ular vaqt o'qida cheksiz ko'p nuqtalarda beriladi. Bunday ko'pliklar continual deb ataladi. Bu holda ordinata o'qida signallar ma'lum oraliq ichida istalgan qiymatga ega bo'lishi mumkin. Shuningdek, bu signallar 15.1-rasmda ko'rsatilganidek uzulishlarga ega bo'lishi mumkin.

Continual $s(t)$ signal uzluksiz t o'zgaruvchining funksiyasi hisoblanadi, diskret $s(x)$ esa faqat o'zgartirilmaydigan qiymatlarni qabul qiluvchi diskret x o'zgaruvchining funksiyasi hisoblanadi.

Bundan keyin diskret atamasi faqat vaqt bo'yicha diskretlashga nisbatan qo'llaniladi. Daraja bo'yicha diskretlik esa kvantlash atamasi orqali belgilanadi. Shuning uchun vaqt bo'yicha diskretlangan va daraja bo'yicha kvantlangan signal bundan buyon raqamli deyiladi.

$s(t)$ signalni diskretlash deganda uni vaqtning $\eta \Delta t$ diskret momentlarida hisoblarning to'planishi yordamida analitik ko'rinishi nazarda tutiladi.

Elektron kalit yordamida bajariladigan diskretlash jarayonini $s(t)$ funksiyaning yetarlicha qisqa takt impulsarining $y_T(t)$ yordamchi davriy ketma-ketligiga ko'paytmasi sifatida ko'rish osonroq.

Bunday impulsar sifatida odatda T qadamdan nisbatan kichikroq τ_0 davomiylikka ega to'g'ri burchakli impulsar ko'rib chiqiladi.

Shunday qilib, T qadam bilan diskretlangan signalni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$s_T(t) = s(t)y_T(t)$$

RF kirishida amal qiluvchi diskret signalni quyidagicha shaklda ko'rsatish qulay:

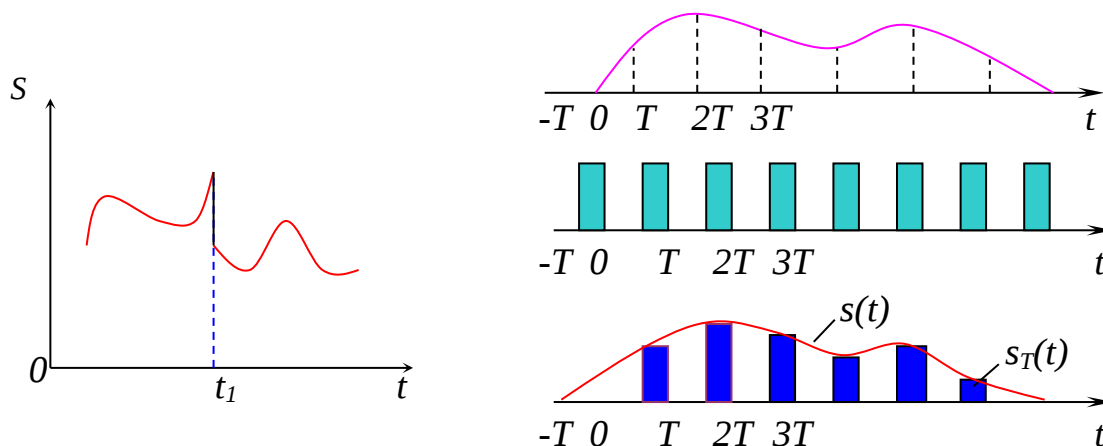
$$s_T(t) = s_T(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(kT) \delta(t - kT) \quad (15.1)$$

lekin, boshlang'ich $s(kT)=0, k<0$ shartiga ko'ra:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{\infty} s(kT) \delta(t - kT) \quad (15.2)$$

Mos ravishda Laplas bo'yicha tasvirlash quyidagicha bo'ladi:

$$L[s_T(t)] = \sum_{k=0}^{\infty} s(kT) e^{-pkT} \quad (15.3)$$



15.1-rasm. Kattalik bo'yicha ixtiyoriy va vaqt bo'yicha uzluksiz signal

15.2-rasm. Tugallanuvchi davomiylikli takt impulsleri ketma-ketligiga ko'paytirish misolida signalni diskretlash

Filtr chiqishidagi diskret signal uchun mos keluvchi ifodani ham tuzish qiyin bo'lmaydi. Transversal filtr holatida summator chiqishidagi natijaviy signalni quyidagi yig'indi ko'rinishida yozish mumkin:

$$s_{Tchiq}(t) = a_0 s_T(t) + a_1 s_T(t-T) + \dots + a_H s_T(t-HT)$$

Siljish teoremasini hisobga olib bu ifodaga Laplas o'zgartirishini qo'llab quyidagini olamiz:

$$L[s_{Tchiq}] = s_{Tchiq}(p) = s_{T(p)} \sum_{k=0}^H a_k e^{-pkT} \quad (15.4)$$

bu yerda $\delta(t)$ – delta-funksiya;

$p = \sigma + i\omega$ – kompleks chastota;

H – eslab qolinuvchi raqamlarning maksimal soni;

a_i – filtrning vazn koefitsiyentlari.

RFning uzatish funksiyasini umumiy ko‘rinishda quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$K_T(p) = s_{Tchiq}(p) / s_T(p) \quad (15.5)$$

Transversal filtr uchun bu nisbat quyidagicha ifodalanadi:

$$K_T(p) = a_0 + a_1 e^{-pT} + a_2 e^{-p2T} + \dots + a_H e^{-pHT} \quad (15.6)$$

Yuqoridagi ifodani shuningdek Laplas o‘zgartirishini bevosita $g(kT)$ impuls xarakteristikaga qo‘llab quyidagi shaklda olish mumkin:

$$g_T(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \delta(t - kT) \quad (15.7)$$

Haqiqatan,

$$L[g_T(t)] = a_0 + a_1 e^{-pT} + a_2 e^{-p2T} + \dots + a_H e^{-pHT} = K_T(p) \quad (15.8)$$

Shunday qilib, RF impuls xarakteristikasi va uzatish funksiyasi xuddi analog filtr holatida kabi o‘zaro Laplas va Furiye o‘zgartirishlari orqali bog‘liq.

$K_T(p) = a_0 + a_1 e^{-pT} + a_2 e^{-p2T} + \dots + a_H e^{-pHT}$ ifodaga $p = i\omega$ ni qo‘yib chastotalar o‘qida quyidagi uzatish funksiyasini olamiz:

$$K_T(i\omega) = \sum_{k=0}^H a_k e^{-ik\omega T} \quad (15.9)$$

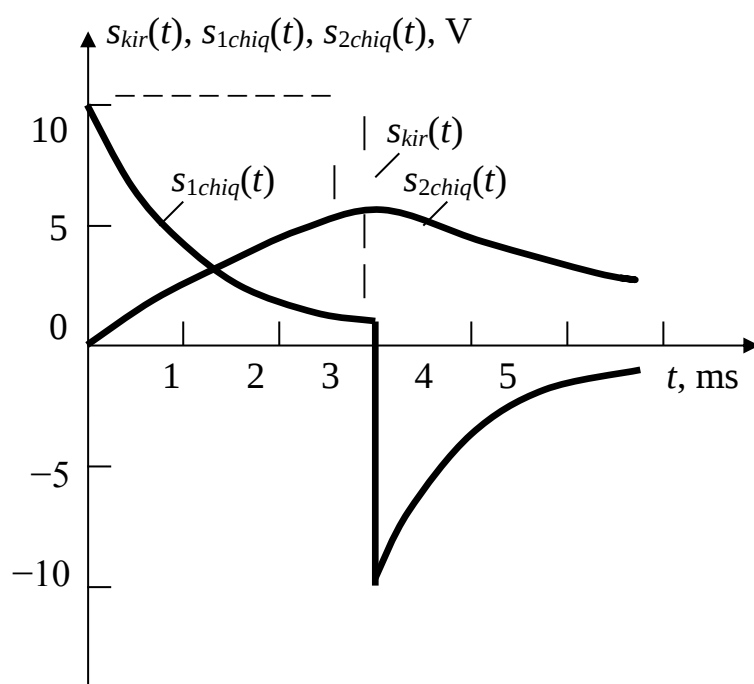
$$K_T(i\omega) = \sum_{k=0}^H a_k e^{-ik\omega T} \quad \text{va} \quad s_T(t) = s_T(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(kT) \delta(t - kT) \quad (15.10)$$

ifodalardan RF uzatish funksiyasi $K_T(i\omega)$ xuddi $s_T(\omega)$, $s_{Tchiq}(\omega)$ spektrlari singari $2\pi/T$ ga teng davrli (chastotalar o'qida) davriy tuzilishga ega ekanligini ko'rsatadi.

Mashqlar

15.1. Signal $\zeta(t)$ birlik amplitudali to'g'riburchak videoimpulslar cheksiz davriy ketma-ketligidan iborat. Ketma-ketlik davri Δ ga teng, bitta impuls davomiyligi τ ni tashkil etadi.

Topshiriq: berilgan ketma-ketlikning spektral zichligi $S_\zeta(\omega)$ hisoblansin.



15.3-rasm. 14.3 va 14.4 masalalar uchun kirish signali, $s_{1chiq}(t)$ va $s_{2chiq}(t)$ chiqish signallari

15.2. Amplitudasi U_0 , davri T va alohida impulsning davomiyligi $T/3$ parametrlarga ega to'g'riburchak videoimpulslar davriy ketma-ketligi shunday diskretlanganki, unda ketma-ketlikning bir davriga N ta hisoblar to'g'ri keladi.

Topshiriq: $N=8$ va $N=32$ qiymatlarda berilgan signalni Furiye diskret o'zgartirishida C_1 koefitsiyent qiymatlarini hisoblang.

15.3. Uchta hisob (0, 10, 20) orqali berilgan $x_d(t)$ diskret davriy signalning C_n ($n=0, 1, 2$) Furiye diskret o'zgartirishi koefitsiyentlari hisoblansin.

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

15.1. Furiye kompleks qatori C_n koefitsientlari $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ da quyidagiga teng:

$$C_n = \frac{1}{\Delta} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} \exp(-j2n\pi\tau/\Delta) dt = \frac{\tau}{\Delta} \frac{\sin(n\pi\tau/\Delta)}{n\pi\tau/\Delta}. \quad (15.11)$$

Barcha garmonik tashkil etuvchilar hissalarini qo'shib quyidagini olamiz:

$$S_{\xi}(\omega) = \frac{2\pi\tau}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} [\sin(n\pi\tau/\Delta)(n\pi\tau/\Delta)] \delta(\omega - 2\pi n/\Delta). \quad (15.2)$$

15.2. $N=8$ da impuls davomida uchta hisob joylashadi. U holda, $n=1$ qo'yilib quyidagi natija kelib chiqadi:

$$C_1 = \frac{U_0}{8} \sum_{k=0}^2 \exp(-j\pi k/4). \quad (15.3)$$

Geometrik progressiyaning yig'indisini yechib keyingi natijani olamiz:

$$C_1 = \frac{U_0}{8} \frac{1 - \exp(-j3\pi/4)}{1 - \exp(j\pi/4)} = 0,301U_0 \exp(-j45^\circ). \quad (15.4)$$

Agar $N=32$ bo'lsa, u holda impuls davomida 11 hisob bo'ladi. Shuning uchun

$$C_1 = \frac{U_0}{32} \sum_{k=0}^{10} \exp(-j\pi k/16) = \frac{U_0}{32} \frac{1 - \exp(-j11\pi/16)}{1 - \exp(-j\pi/16)} = 0,2814U_0 \exp(-j56,28^\circ). \quad (15.5)$$

Uzluksiz signal Furiye qatorining C_1 koefitsiyenti esa quyidagiga teng:

$$C_1 = 0,276U_0 \exp(-j60^\circ). \quad (15.6)$$

Yuqoridagi natijalarni solishtirib, N ortishi bilan Furiye diskret o'zgartirishining C_1 koefitsiyenti diskretlangan uzluksiz signal Furiye qatorining mos koefitsiyentiga intilib borishiga ishonch hosil qilish mumkin.

15.3. Umumiy ifodadan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$C_0 = \frac{1}{3}(10 + 20) = 10, C_1 = \frac{1}{3}(10e^{-j120^\circ} + 20e^{-j240^\circ}),$$

$$C_2 = \frac{1}{3}(10e^{-j240^\circ} + 20e^{-j480^\circ}).$$

$$e^{-j120^\circ} = e^{-j480^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad e^{-j240^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

bo'lgani sabab,

$$C_1 = \frac{5}{3}(-3 + j\sqrt{3}); C_2 = \frac{5}{3}(-3 - j\sqrt{3}).$$

16-Amaliy mashg'ulot. Radiotexnik zanjirlarda shovqinni bartaraf qilish usullari

Ishdan maqsad: Radiotexnik zanjirlarda shovqinni bartaraf qilish usullarini o'rganish va ularga doir masalalar yechish.

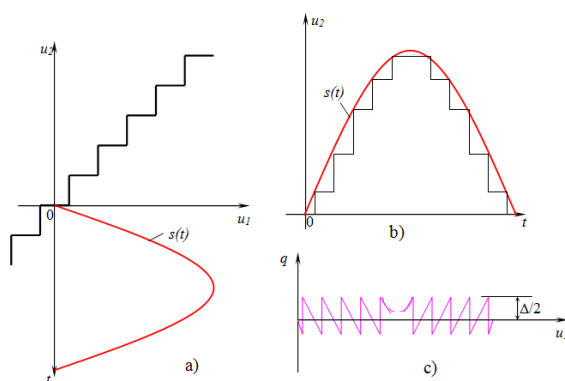
Qisqacha nazariy tushunchalar

Kvantlash shovqinining o'rtacha quvvatini hisoblab chiqish qiyin emas. Impulslarning $\Delta/2$ amplituda bilan shakli uchburchaksimon qilib olinganda (16.1c-rasm) bitta impulsning davomiyligida o'rtacha quvvati quyidagiga teng:

$$(1/3) \cdot (\Delta/2)^2 = \Delta^2/12 \quad (16.1)$$

Bu kattalik impulsning davomiyligiga bog'liq bo'lmagani uchun kvantlash shovqinining o'rtacha quvvati quyidagicha olinishi mumkin:

$$P_q = \Delta^2/12$$



16.1-rasm. Kvantlovchi qurilmaning kirishidagi (a) va chiqishidagi (b) signal; kvantlash shovqini (c)

Garmonik signal uchun chiqarilgan bu natijani boshqa istalgan signal, shu jumladan tasodifiy signalga ham qo'llash mumkin. Farqi faqat shundaki, $q(t)$ funksiya impulsning tasodifiy davomiyligi tufayli tasodifiy jarayon bo'ladi.

Kvantlash jarayonida signal/xalaqit nisbati. Bu nisbatni hisoblash ham qiyinchilik tug'dirmaydi. ARO' xarakteristikasining oraliqlariga joylashuvchi L ga teng pog'onalarining umumiy soni va pog'onaning Δ balandligida garmonik signalning amplitudasi $L \cdot \Delta/2$ dan, signalning o'rtacha quvvati esa $1/2(L \cdot \Delta/2)^2$ kattalikdan oshmasligi kerak.

Shularga asosan garmonik tebranishni kvantlaganda signal/xalaqit nisbati quyidagicha aniqlanadi:

$$P_s/P_q = 3L^2/2 \quad (16.2)$$

Darajalar soni L ikkilik razryadlari soni r bilan $L=2^r$ orqali bog'liq bo'lgani uchun oxirgi ifodani quyidagi shaklda ko'rsatish mumkin:

$$P_s/P_q = (3/2) \cdot 2^{2r} \quad (16.3)$$

Kvantlash shovqinidan signalning ustunligini taxminan baholashda quyidagi nisbat beriladi:

$$P_s/P_q = 2^{2r}$$

yoki detsibellarda quyidagicha aniqlanadi:

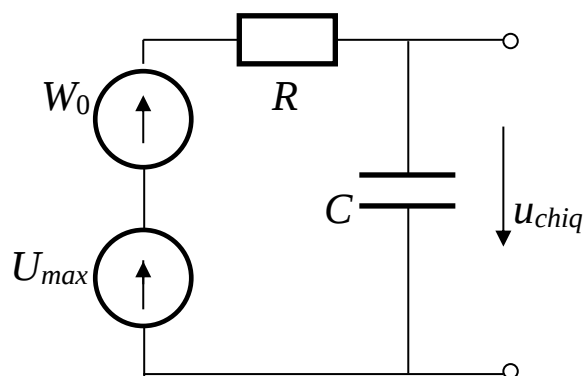
$$D_{dB} = (P_s/P_q)_{dB} = 10 \lg 2^{2r} = 10 \cdot 2r \cdot \lg 2 \approx 6r \quad (16.4)$$

Zamonaviy ARO' larda razryadlar soni 10 va undan ortiq bo'ladi. Bunda ARO' ning dinamik diapazonini xarakterlovchi D_{dB} kattalik taxminan 60 dB tashkil etadi (har bir razryadga 6 dB).

Mashqlar

16.1. RC-zanjir kirishida (16.2-rasm) ikkita ketma-ket ulangan EYuK manbasi ishlarotqda. Ulardan biri barcha chastotalarda quvvat spektri W_0 o'zgarmas qiymatida oq shovqinni yuzaga keltiradi. Ikkinchi manba amplituda va chastotasi ma'lum bo'lgan $U_{mkr} \cos \omega_0 t$ garmonik signalni hosil qiladi.

Topshiriq: chiqishdagi signal/shovqin nisbati $Q = U_{mchiq}/\sigma_{chiq}$ maksimal bo'ladigan RC vaqt doimiysini aniqlang.



16.2-rasm. Ketma-ket ikkita manba ulangan RC-zanjir

16.2. Bir konturli rezonans kuchaytirgich quyidagi chastotaviy uzatish koeffitsiyentiga ega:

$$K(j\omega) = \frac{-K_{rez}}{1 + j(\omega - \omega_{rez})\tau_k}. \quad (16.5)$$

Kuchaytirgich kirishida quvvat spektri zichligi W_0 hamda to'ldirish chastotasi ω_{rez} , davomiyligi τ_i va amplitudasi U_{mkir} bo'lgan to'g'riburchakli radioimpuls yig'indisidan iborat oq shovqin mavjud.

Topshiriq: berilgan kuchaytirgichda mumkin bo'lgan chegaraviy signal/shovqin nisbatining Q_{cheg} qiymati aniqlansin. Kuchaytirgich tebranish konturining optimal Q_{opt} asilligini hisoblash uchun ifoda olinsin.

16.3. Normal taqsimlangan oq shovqin fonida ishlovchi to'g'ri-burchakli videoimpuls bilan moslashgan filtr sintezlansin. Videoimpuls amplitudasi $E=5$ V, davomiyligi $\tau_i=2$ ms, shovqin quvvatining spektral zichligi $W_0(\omega)=5 \cdot 10^{-2}$ V²/Gs.

Topshiriq: filtr chiqishida signalning eng yuqori qiymatini shovqin o'rtacha kvadratik qiymatiga nisbati aniqlansin.

Uslubiy ko'rsatmalar va javoblar

16.1. Ko'rilayotgan zanjir chiziqli hisoblanadi va u uchun ustma-ust qo'yish prinsipi o'rinli. Shuning uchun chiqishdagi shovqin va garmonik signal kuchlanishlari alohida aniqlanishi mumkin.

Bu holda

$$\sigma_{chiq} = \sqrt{\frac{W_0}{2RC}}; \quad U_{mchiq} = \frac{U_{mkir}}{\sqrt{1 + \omega_0^2 R^2 C^2}}. \quad (16.6)$$

Signal/shovqin nisbatini quyidagi ko‘rinishda ko‘rsatish qulay:

$$Q = U_{mkir} \sqrt{\frac{2}{\omega_0 W_0}} \cdot \sqrt{\frac{\omega_0 RC}{1 + \omega_0^2 (RC)^2}}. \quad (16.7)$$

$x = \omega_0 RC$ belgilash kiritamiz. Quyidagi funksiya $x=1$ da yagona maksimumga ega:

$$F(x) = \sqrt{x/(1+x^2)}. \quad (16.7)$$

Undan esa $(RC)_{opt} = 1/\omega_0$.

16.2. Impuls oxirida chiqish tebranishining amplitudasi

$$U_{mchiq}(\tau_i) = K_{rez} U_{mkir} (1 - \exp(-\tau_i/\tau_k)). \quad (16.8)$$

Kuchaytirgich chiqishida shovqin dispersiyasi

$$\sigma_{chiq}^2 = 2W_0 K_{rez}^2 \Pi_{sh} = W_0 K_{rez}^2 / \tau_k. \quad (16.9)$$

Shunday qilib, $t = \tau_i$ da

$$Q = \frac{U_{mkir} (1 - \exp(-\tau_i/\tau_k))}{\sqrt{W_0/\tau_k}}. \quad (16.10)$$

Optimal filtr quyidagi signal/shovqin nisbatini ta’minlashni hisobga olib

$$Q_{max} = U_{mkir} \sqrt{\tau_i/(2W_0)}, \quad (16.11)$$

ifodani o‘zgartiramiz:

$$Q = Q_{mkir} F(\tau_i/\tau_k), \quad (16.12)$$

bu yerda

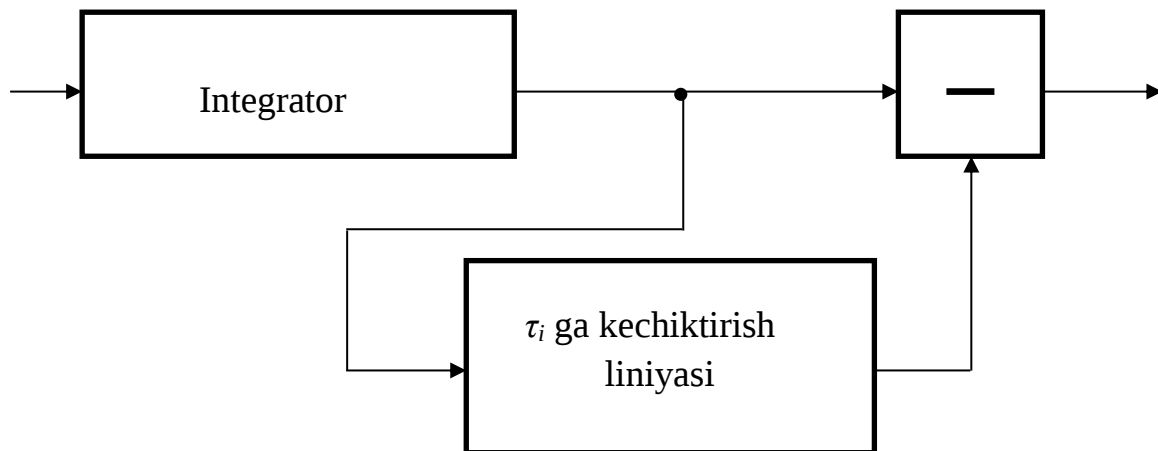
$$F(\tau_i/\tau_k) = \frac{1 - \exp(-\tau_i/\tau_k)}{\sqrt{(\tau_i/\tau_k)/2}}. \quad (16.13)$$

$F(\tau_i/\tau_k)$ funksiya 0,9 ga teng maksimal qiymatni $\tau_i/\tau_k=1,25$ da qabul qiladi. Demak, $Q_{cheg} = 0,9Q_{max}$; $\tau_k = 2Q/\omega_{rez}$ bo'lgani uchun, $Q_{opt} = 0,4\omega_{rez}\tau_i$.

16.3. Berilgan signal $S(\omega)=E(1-e^{-i\omega\tau_i})/(i\omega)$ spektral zichligidan va $K(i\omega)=AS^*(\omega)e^{-i\omega t_0}$ ifodadan kelib chiqqan holda $t_0=\tau_i$ da moslashgan filtr uzatish funksiyasini aniqlaymiz:

$$K(i\omega) = \frac{5A}{i\omega} (1 - e^{-i\omega\tau_i}). \quad (16.14)$$

Filtr struktura sxemasi 16.3-rasmda ko'rsatilgan. $5A/i\omega$ ko'paytuvchi integrator orqali, $e^{-i\omega\tau_i}$ ayriluvchi esa τ_i ga kechiktirish liniyasi orqali ishlab chiqiladi.



16.3-rasm. Moslashgan filtr struktura sxemasi.

Filtr chiqishida kuchlanish bo'yicha signal/shovqin nisbati $E=5$ V, $\tau_i=2$ ms va $W_0=5 \cdot 10^{-2}$ V²/Gs bo'lganda quyidagiga teng:

Adabiyotlar

Asosiy adabiyotlar

1. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000.
2. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002.
3. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002.
4. **Гоноровский И. С.** Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: ДРОФА, 2006.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. **Каганов В. И.** Радиотехнические цепи и сигналы. Компьютеризированный курс. Учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005.
2. **Попов В. П.** Основы теории цепей. – М.: Высшая школа, 2000.
3. **Гоноровский И. С.** Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи. – М.: Радио и связь, 1989.

Internet saytlari

1. <http://www.radio.ru/>
2. <http://www.twirpx.com/>
3. www.elektronika.ru
4. www.radiolab.ru
5. <http://www.toehelp.ru/>
6. <http://fismat.ru/elect/ozonov/>
7. <http://electrofaq.com/TOE.htm>
8. <http://electcsys.chat.ru/>

	Mundarija	Bet
	Muqaddima.....	3
1	Signal va uning matematik modeli	4
2	Radiosignal turlari va ularning garmonik tahlili	8
3	Mutlaq aniq signalning xarakteristikalar. Nodavriy signallarning garmonik tahlili.....	14
4	Radiosignallar modulyatsiyasi. Amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan radiosignallar	20
5	Faza modulyatsiyasi. Impuls modulatsiyasi.....	24
6	Chastota modulyatsiyasi. Chastotasi modulyatsiyalangan signallarning energetik spektri	29
7	Nochiziqli zanjirlar va ularni tahlil qilish usullari	33
8	Nochiziqli rezonans kuchaytirgichlar. Chastota ko'paytirgichlari	39
9	Chastota o'zgartirgichlari. Nosimmetrik spektrli signallar.....	45
10	Amplitudasi modulyatsiyalangan signallarning chastota tanlovchi zanjirlardan o'tishi	53
11	CHM va FM signallarning chastota tanlovchi zanjirlardan o'tishi	59
12	LC-avtogeneratorning stabillik shartlari.....	61
13	RC-avtogeneratorning energetik parametrlarini o'rganish.....	65
14	Differensiallovchi va integrallovchi elektr zanjirlar.....	70
15	Raqamli filtrlar va ularning uzatish funksiyasi.....	76
16	Radiotexnik zanjirlarda shovqinni bartaraf qilish usullari.....	81
	Adabiyotlar.....	87

Radiotexnik zanjirlar va signallar

Tuzuvchilar: Ibragimova B.B.
Jabborov A.B.

Muharrir: Sidikova K.A.