

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA
MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI AL-XORAZMIY NOMIDAGI
URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI**

**“Fizika-matematika” fakulteti fizika yo‘nalishi 201-guruh
talabasi Ayitboyev Ilxomning “radioelektronika asoslari”
fanidan**

KURS ISHI

Mavzu: Bog‘lanish konturlar va ular uchun bog‘lanish koeffitsienti

Topshirdi:



Ayitboyev.I

Ilmiy raxbar:



Xalillayev.M

Urganch - 2015 y.

REJA:

1 Kirish

1.1. Tebranish konturlari.

1.2. Tebranish konturining ishlash printsipli.

1.3. Tebranish konturining parametrlari.

2. Asosiyqism.

2.1. Bog'langan tebranish konturlari.

2.2. Bog'lanish turlari.

2.3. Konturlarning o'zaro bog'lanish koeffitsienti.

3. Xulosa.

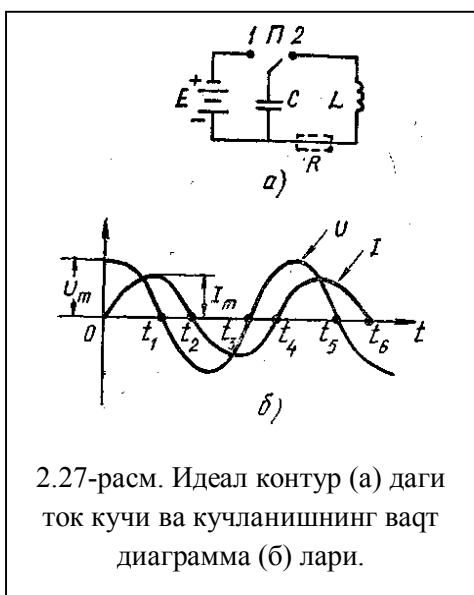
1.1 Radioelektron qurilmalarning asosiy zanjirlaridan biri tebranish konturlaridir. Ular yordamida yuqori chastotali elektr toki hosil qilinadi yoki murakkab tebranishlarning kerakli chastota spektri ajratib olinadi.

Tebranish konturi deganda L induktivlik g'altagi va C kondensatorning ulanishidan hosil bo'ladigan berk elektr zanjiri tushuniladi. Tebranish konturi tarkibida, albatta, aktiv R qarshilik ham qatnashadi. U tebranish konturini hosil qilgan simlardagi va kondensatorning dielektrigidagi energiya yutilishini ifodalaydi. Ulardan induktivlik g'altaning o'ramlaridagi energiya yo'qolishi katta ahamiyatga ega.

Tebranish konturlari soddavamurakkab bo'ladilar. Sodda konturga misol qilib yakka konturni ko'rsatish mumkin. U yakka C sig'im va L induktivlik g'altigidan tashkil topadi.

Murakkab konturlar yakka konturlar kombinatsiyasidan iborat bo'lib, ularni **bog'langan tebranish konturlari** deb ataladi. Umumiy holda bog'langan konturlar zanjirsimon tarkibga ega. Bog'lanishga kiradigan har bir kontur **partsial kontur** deyiladi. Partsial konturni yakka kontur sifatida ajratib o'rganish mumkin emas, chunki uning xususiyatlari yakka konturning xususiyatidan tubdan farq qiladi.

1.2. Tebranish konturining ishlash printsipini aniqlash uchun. 2.27a-rasmda keltirilgan sxemani olaylik. Agar kalit P ni «1» holatga ulasak, kondensator biror U_m miqdorgacha zaryadlanadi va unda



$$w_C = \frac{CU^2}{2}$$

elektr maydon energiyasi to'planadi. SHundan so'ng kalitni «2» holatga o'tkazsak, L induktivlik g'altagi orqali zanjir yopiladi va kondensator u orqali zaryadsizlana boshlaydi.

Kondensatorning zaryadsizlanish toki induktivlik g'altagi atrofida magnit maydonini

hosil qiladi, ya'ni kondensatorda to'plangan elektr maydon energiyasi induktivlik g'altagining magnit maydon energiyasiga aylana boshlaydi:

$$w_L = \frac{LI_m^2}{2}$$

Agar tebranish konturida energiya yutilishi bo'lmasa, ya'ni kontur ideal bo'lsa ($R \ll 0$), kondensator qoplamalari orasida to'plangan energiyaning maksimal qiymagi induktivlik g'altagining maksimal magnit maydon energiyasiga teng bo'ladi:

$$w_C = w_L.$$

Bu jarayonning xarakterli belgisi shuki, kondensatorning zaryadsizlanishi oniy vaqtda bo'lmay, asta-sekin boradi. Chunki bunda zaryadsizlanish tokining keskin katta bo'lishiga induktivlik g'altagida hosil bo'ladigan o'zinduktsiya EYUK yo'l qo'ymaydi.

O'zinduktsiya elektr yurituvchi kuchining o'zgarish yo'nalishi har doim tok kuchi yoki kuchlanishning tez o'zgarishida unga teskari yo'nalgan bo'ladi (Lents qoidasi). Konturdagi tok va kondensator kuchlanishining o'zgarishi 2.27b-rasmda ko'rsatilgan.

Shunday qilib, tebranish konturining ishlash printsipli kondensator qoplamalari orasida to'planadigan elektr maydon energiyasining induktivlik g'altagining magnit maydon energiyasiga va aksincha, magnit maydon energiyasining elektr maydon energiyasiga uzluksiz aylanib turishiga asoslangandir. Bunda energiya almashuvini tutib turuvchi kuch bo'lib induktivlik g'altagida hosil bo'ladigan o'zinduktsiya EYUK hisoblanadi. Konturdagi bunday tebranishlar xususiy yoki erkin tebranishlar deb ataladi.

1.2 Tebranish konturidagi erkin tebranishlar

Bizga R aktiv karshilikka ega bo'lgan real kontur berilgan bo'lsin. Undagi kondensatorni zaryadlab, induktivlik g'altagiga ulaylik ($t \ll 0$). Konturdagi tokning oniy qiymatini aniqlash uchun Kirxgof tenglamasini yozamiz:

$$L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int I dt + IR = 0 \quad (1)$$

Bundan vaqt bo'yicha hosila olib soddalashtirsak, quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\delta \frac{dI}{dt} + \omega_0^2 I = 0. \quad (2)$$

buerda $\delta = R/(2L)$ – konturning so'nish darajasi, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – konturning xususiy chastotasi. (8.10) birjinsli, ikkinchi tartibli, birinchi darajali differentsial tenglamadir. Uning umumiy echimi

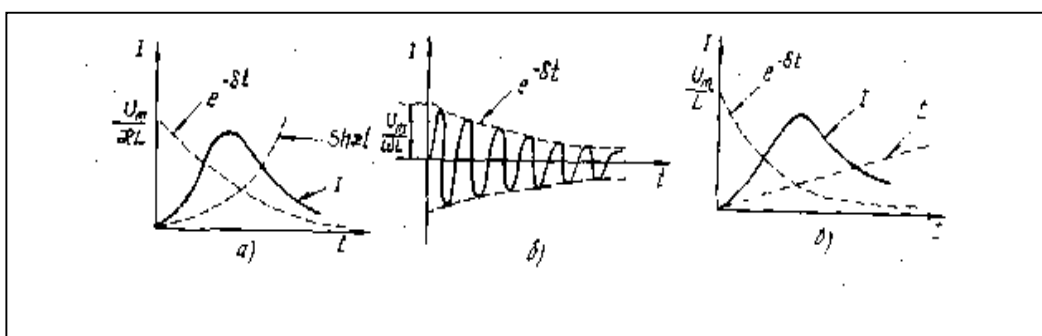
$$I = \frac{U_m}{2\kappa L} \exp(-\delta t) [\exp(\kappa t) - \exp(-\kappa t)] \quad (3)$$

ko'rinishiga ega. U real konturdagi tebranishlarning haqiqatan ham so'nuvchi ekanini va so'nishning eksponentsial qonun bo'yicha bo'lishini ko'rsatadi. Amplitudaning kichrayish tezligi konturning so'nish darajasi δ ga bog'liq bo'lsa, tebranish qonuni κ koeffitsient orqali xarakterlanadi. Uchta holni ko'rib o'taylik

$$1) \kappa > 0 (\delta^2 \gg \omega_0^2).$$

Bu holda κ koeffitsient haqiqiy miqdor bo'ladi. SHuning uchun (3) echim quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$I = \frac{U_m}{\kappa L} \exp(-\delta t) \cdot \text{sh} \kappa t \quad (3a)$$



Demak konturdagi tok giperbolik sinus qonuni bo'yicha o'zgaradi va davriy bo'lmaydi va ular aperiodik tebranish deb ataladi. Uning grafigi 2.28a-rasmda ko'rsatilgan.

$$\text{II) } \kappa < 0 (\delta^2 \ll \omega_0^2).$$

Bu holda κ koeffitsienti mavhum miqdor bo'ladi. SHuning uchun uning

ifodasini quyidagicha o'zgartirib yozish mumkin:

$$\kappa = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = j\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = j\omega$$

Bunda ω – konturda hosil bo'ladigan **tebranishlar chastotasi** deyiladi. Uning mohiyati quyidagicha: agar $\delta \ll \omega_0$ bo'lsa, $\omega \approx \omega_0$ bo'ladi. SHunga ko'ra, ω_0 ideal konturning xususiy chastotasi bo'lsa, ω real konturning xususiy chastotasidir. Demak, konturdagi energiya yutilishi faqat amplituda o'zgarishiga emas, balki chastota o'zgarishiga ham olib keladi.

SHularni hisobga olsak, (8.11) umumiy echim quyidagi ko'rinishga keladi:

$$I = \frac{U_m}{\omega L} \exp(-\delta t) \cdot \sin \omega t \quad (3b)$$

Demak, bu holda konturda ω chastotali garmonik tebranishlar hosil bo'lar ekan (2.28b-rasm).

III) $\kappa \ll 0$ ($\delta^2 \ll \omega_0^2$). Bu holda (3) ifoda aniqmas bo'ladi. Uni Lopital qoidasiga binoan ochsak,

$$I = \frac{U_m}{L} \exp(-\delta t) \cdot t \quad (3v)$$

ifoda hosil bo'ladi. Bu tebranish amplitudasining oldingi hollardagiga o'xshab eksponentsial qonun bo'yicha so'nishini, tebranish qonuni esa, giperbolik sinus qonunidan chiziqli qonunga o'tishini ko'rsatadi (2.28v-rasm). U davriy bo'lmaydi va **kritik tebranish** deb ataladi. U kontur tokining davriy va aperiodik tebranishlari chegarasidir.

Demak, real konturda har doim davriy tebranishlar hosil bo'lmas ekan. Davriy tebranishlarning hosil bo'lishi uchun konturning aktiv qarshiligi yetarlicha kichik kattalik bo'lishi kerak.

Konturdagi davriy tebranishlar chastotasi uning xususiy chastotasidan farq qiladi. Faqat energiya yutilishi kichik bo'lgandagina bu farqni hisobga olmaslik mumkin ($\omega \approx \omega_0$).

1.3 Tebranish konturining parametrlari

Ma'lumki, ideal kontur uchun quyidagi munosabat o'rinli:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Agar bu tenglikka tokning amplituda qiymati ifodasi

$$I_m = U_m \cdot \omega_0 C$$

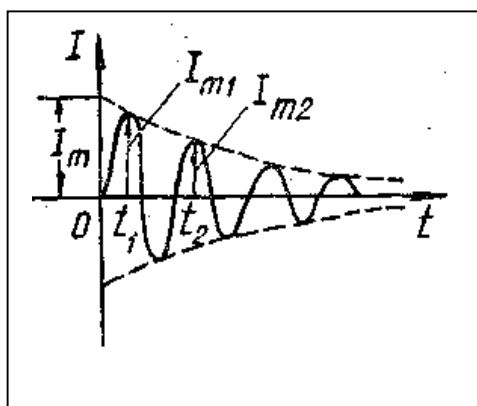
ni qo'ysak,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

hosil bo'ladi. Bundan tebranishlarning chiziqli chastotasiga o'tamiz:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

f_0 – **konturning xususiy chastotasi** deyiladi. Real konturda energiya yo'qolishi



mavjud bo'lgani uchun uning chastotasi f_0 xususiy chastotadan farq qiladi. Bu farqning kattaligi konturning so'nish ko'effitsienti (yoki so'nish darajasi) δ ga bog'liq. U tebranish amplitudasining so'nish tezligini ifodalovchi ko'effitsientdir.

Chastotaning ifodasini quyidagicha

o'zgartib yozamiz:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - (\delta / \omega_0)^2} = \omega_0 \sqrt{1 - (R / 2\rho)^2}$$

Bunda $\rho = \sqrt{L/C}$ – konturning **to'lqin** yoki **xarakteristik qarshiligi** deyiladi. U kondensatorga berilgan boshlang'ich zaryad miqdoridan qanday eng katta amplitudali tok hosil bo'lishi mumkinligini xarakterlaydi.

Demak, ρ va R kattaliklar orasidagi munosabat real kontur chastotasining ideal kontur chastotasidan qanday farq qilishini ko'rsatadi: Agar $R \ll \rho$ bo'lsa, bu

farqni hisobga olmaslik mumkin: $\omega \approx \omega_0$. Lekin ko'pincha aktiv qarshilikning ta'sirini hisobga olmaslik mumkin emas.

(8.12) dan ideal konturning tebranishlar davrini Tomson formulasi orqali aniqlash mumkin:

$$T = \frac{1}{f_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4b)$$

Bitta davr davomida tebranish amplitudasining nisbiy o'zgarishini xarakterlovchi kattalik konturning logarifmik sunish koeffitsient deb ataladi:

$$\theta = \ln \frac{I_{m1}}{I_{m2}}.$$

Agar 2.29-rasmdan

$$I_{m1} = I_m \exp(-\delta t_1) \quad \text{va} \quad I_{m2} = I_m \exp(-\delta t_2)$$

ligini aniqlab, $t_2 = t_1 + T$ ekanini hisobga olsak, logarifmik so'nish koeffitsienti:

$$\theta = \delta T = \pi \frac{R}{\rho} \quad (5)$$

bo'ladi.

Logarifmik so'nish koeffitsientidan π marta kichik miqdor **konturning so'nish dekrementi** deyiladi:

$$d = \frac{\theta}{\pi} = \frac{R}{\rho}. \quad (6)$$

U konturda to'plangan to'liq energiyaning bitta tebranish davrida yo'qoladigan o'rtacha miqdorini xarakterlaydi:

$$d = \frac{1}{2\pi} \frac{w_R}{w_L} \quad (6a)$$

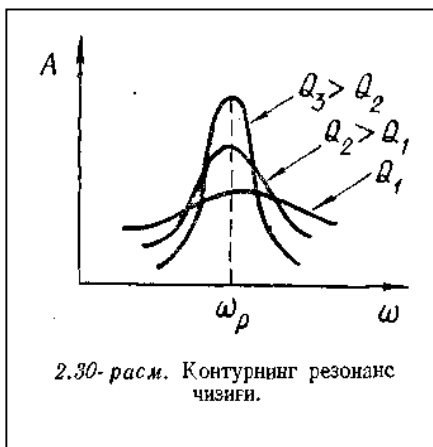
So'nish dekrementi d ga teskari miqdor **konturning sifati** yoki **aslligi** deb ataladi:

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{\rho}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} \quad (7)$$

Demak, konturda energiya yo'qolishi qancha kam bo'lsa, uning aslligi va kondensatorda to'plangan zaryadning berilgan qiymatida tebranish amplitudasi

shuncha katta bo`ladi.

5. Yakka tebranish konturidagi majburiy tebranishlar. Rezonans hodisasi



Ma'lumki, har bir sistemaga berilgan tashqi ta'sir uning energetik holatini o'zgartiradi va unda boshlang'ich holatga bog'liq bo'lmagan erkin tebranishlarni vujudga keltiradi. Sistemaning umumiy holati esa, tashqi kuchning tabiati bilan aniqlanadi.

Agar tashqi ta'sir qisqa muddatli turtki, ya'ni davom etish vaqti erkin tebranishlar davridan kichik

impulsdan iborat bo'lsa, sistemaning holati o'tish jarayonlari tabiatiga ega bo'ladi va tebranish amplitudasi nolga intilib boradi. Aksincha, agar tashqi kuch davriy kattalik bo'lsa, sistemaning holati turg'un holatga intiluvchi o'tish jarayonlari bilan xarakterlanadi. Bu holda sistemadagi erkin tebranishlar so'nmas tebranishga aylana boshlaydi va to'liq tashqi kuchning tabiati bilan xarakterlanadi. Ular **majburiy tebranishlar** deb ataladi.

Erkin tebranishlardan farqli ravishda majburiy tebranishlar quyidagi xususiyatlarga ega:

1. Tebranishlar so'nmas bo'lib, faqat tashqi kuch ta'siri vaqtidagina mavjud bo'ladi.
2. Tebranish shakli tashqi kuch shakliga bog'liq bo'ladi.
3. Tebranish chastotasi kontur elementlari L va C larga bog'liq bo'lmay, tashqi kuch chastotasi bilan belgilanadi.
4. Tebranish amplitudasi tashqi kuch amplitudasiga va konturning xususiy chastotasi bilan tashqi kuch chastotasi orasidagi munosabatga bog'liq bo'ladi.

Agar konturning xususiy chastotasi va tashqi kuch chastotalari orasidagi farq katta bo'lsa, konturdagi tebranishni tutib turish uchun katta energiya talab

qilinadts. Aksincha, bu farq kichik bo'lsa, uning miqdori ham kichik bo'ladi. SHunga kura, tebranish konturiga berilayotgan energiya o'zgaras bo'lganda, majburlovchi tebranishlar chastotasi konturning xususiy chastotasiga yaqinlashib borsa, konturda hosil bo'ladigan tebranishlarning amplitudasi o'sib boradi va bu chastotalar teng bo'lganda u maksimal qiymatga erishadi. Bu hodisa **rezonans hodisasi** yoki **rezonans** deb ataladi.

Rezonans **rezonans chizig'**iorqali ifodalanadi. U konturdagi tok yoki kuchlanish amplitudasining chastotaga bog'liqlik grafigi kabi aniqlanadi. Rezonans chizig'i konturlarning sezgirligini, ya'ni tashqi ta'sirga hozirjavobligini aniqlash imkoniyatini beradi. Uning shakli konturning aslligiga bog'liq. Asllikning ortishi bilan u o'tkirlasha boshlaydi va konturning sezgirligi – chastota tanlash qobiliyati o'sib boradi (2.30-rasm).

Y Akka konturdagi rezonans ikki turga ajratiladi:

- 1) Kuchlanish rezonansi yoki ketma-ket rezonans;
- 2) Tok rezonansi yoki parallel rezonans.

:Rezonanslar va bog'langan konturlar

1. Kuchlanish rezonansi

Kuchlanish rezonansi ketma-ket tebranish konturida kuzatiladi va shuning uchun uni **ketma-ket rezonans** deb ham ataladi.

Ketma-ket tebranish konturi deganda elementlari tashqi generator bilan ketma-ket ulangan kontur tushuniladi. Boshqacha qilib aytganda ketma-ket konturda tashqi generator konturning ichiga kiradi (2.31-rasm).

Konturning $a - a$ kirish klemmlariga $U = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$ kuchlanish beradigan generator ulangan bo'lsin. Oson bo'lishi uchun generatorning ichki qarshiligini nolga teng deb hisoblaymiz (u konturning aktiv qarshiligi tarkibiga

kiradi: $R = R_k + R_g$).



Ma'lumki, zanjirning statsionar rejimida tok kuchining oniy qiymatini aniqlash uchun uning kompleks amplitudasi $\dot{I}_m$ va konturning to'liq kompleks qarshiligi $\dot{Z}$ ni bilish etarli bo'ladi. Ko'rilayotgan holda kompleks qarshilik

$$\dot{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (8)$$

bo'ladi. Bunda

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \text{ – qarshilik moduli,}$$

$$\psi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \text{ – uning argumenti} \quad (8a)$$

Bu erda

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_m}{\dot{Z}} = \frac{U_m}{Z} \exp(\varphi - \psi)$$

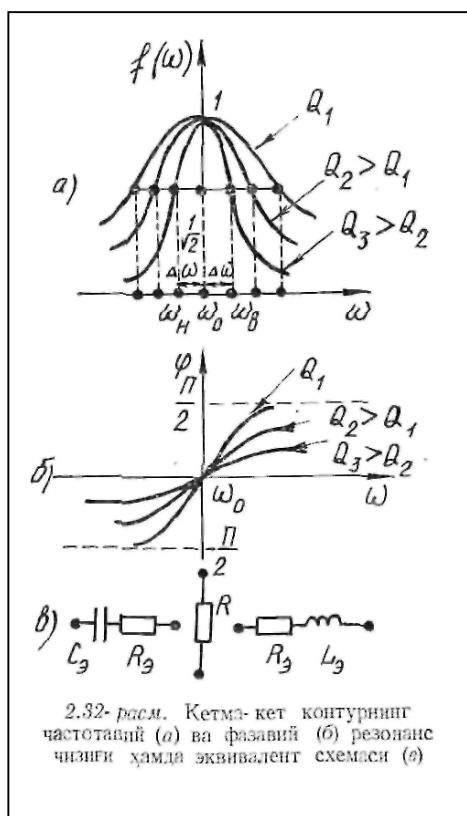
va

$$I = \frac{U_m}{Z} \cos(\omega t + \varphi - \psi)$$

ifodalarga asosan tokning amplitudasi quyidagicha bo'ladi:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (9)$$

Generatorning kuchlanishi bilan konturdagi tok orasidagi faza farqi $\varphi - \psi$ ga teng. $\varphi < 0$ bo'lganda, u (8a) ifoda bilan aniqlanadi.



(8a) va (9) ifodalar konturdagi tok kuchining amplitudasi va fazasi tashqi generatorning chastotasiga bog'liq miqdorlar ekanini ko'rsatadi. Agar $\omega L - 1/(\omega C) \neq 0$ bo'lsa, konturdagi tokning amplitudasi eng katta, to'liq qarshiligi eng kichik (aktiv) va faza siljishlari nolga teng bo'ladi:

Bu generator chastotasining

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

qiymatida kuzatilishi mumkin. Lekin shu ifoda orqali konturning xususiy chastotasi ham aniqlaiadi. SHuning uchun $\omega_r = \omega_0$. Bu **rezonans shartidar**.

Demak, rezonans vaqtida konturning reaktiv qarshiligi nolga teng:

$$x_L - x_C = x = 0 \quad (10)$$

Bu **rezonans shartining asosiy ifodasidir**. U barcha tebranish xususiyatiga ega bo'lgan sistemalar uchun o'rinlidir.

Ta'rifga ko'ra, rezonans vaqtida tebranish amplitudasi o'zining maksimal qiymatiga erishishi kerak. Bizning holda tok amplitudasi maksimal bo'lmoqda. Lekin biz uni tok rezonansi emas, balki kuchlanish rezonansi deb atadik. Buni aniqlashtirish uchun kontur elementlaridagi kuchlanish tushuvini aniqlash kerak:

$$U_{Lr} = I_{mr} \cdot \omega_0 L = U_m \cdot Q$$

$$U_{Cr} = I_{mr} \cdot \frac{1}{\omega_0 C} = U_m \cdot Q$$

$$U_{Rr} = I_{mr} R = U_m$$

Demak, rezonans vaqtida konturning reaktiv elementlaridagi kuchlanish ko'yilgan kuchlanishdan konturning aslligi (Q) marta ortib ketar ekan. Ular son jihatda bir-biriga teng bo'lsa ham, yo'nalishlari jihatdan qarama-qarshidir.

SHuning uchun bu kuchlanishlarning natijaviy ta'siri U_x nolga teng bo'ladi. Bundan rezonansga sozlangan ketma-ket konturda generator kuchlanishini Q marta yuksaltirib olish mumkin degai xulosa chikadi. SHu sababli ketma-ket konturdagi rezonans **kuchlanish rezonansi** deyiladi.

Ketma-ket konturning **rezonans chizig'ini** tok amplitudasiga, to'liq qarshilikka va faza siljishiga nisbatan tuzish mumkin. CHunki ular chastotaga bog'liq miqdorlardir. Ko'pincha rezonans chizig'i nisbiy kattalik sifatida tuziladi. U ko'rilyotgan kattalikning rezonans vaqtdagi qiymatidan qanday chetlashishini ko'rsatadi. Masalan, tok kuchi bo'yicha rezonans chizig'i tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$f(\omega) = \frac{I_m}{I_{mr}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (11)$$

yoki

$$f(\omega) = \frac{R}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (11a)$$

bu erda $Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)$ - kattalik **umumlashgan buzilish** deyiladi.

Kichik buzilishlar sohasi uchun (2.64a) quyidagicha bo'ladi:

$$f(\omega) = \frac{R}{\sqrt{1 + \left(Q \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad (11b)$$

bu erda $2\Delta\omega$ - **absolyut buzilish**, $2\Delta\omega/\omega_0$ - **nisbiy buzilish** deyiladi. (2.64b) rezonans chizig'ining kontur aslligiga bog'liqligini ko'rsatadi. Asllik Q ning ortishi bilan chastota o'zgarishining $f(\omega)$ ga ta'siri zo'rayadi (2.32 arasm). Rezonans chizig'i yordamida konturning o'tkazish sohasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\Delta\omega = 2\Delta\omega = \omega_0 d = \frac{\omega_0}{Q} \quad (12)$$

Demak, tebranish konturining o'tkazish sohasi uning aslligiga bog'liq ekan. Asllikning ortishi bilan o'tkazish sohasi torayib boradi va konturning tanlash xususiyati – sezgirligi ortadi (2.32 a rasmdagi punktir chiziqqa qarang). SHuni aytish kerakki, agar konturga biror rezistor ulansa, uning o'tkazish sohasi kengayadi. Chunki u konturning aslligini yomonlashtiradi. Buni isbot qilish uchun ulangan rezistor qarshilgining ta'sirini kontur ichiga kiritib hisoblanadi. U konturning ekvivalent aktiv qarshiligini orttiradi va energiya yutilishi ko'payadi, Demak, konturning aslligi kichrayadi.

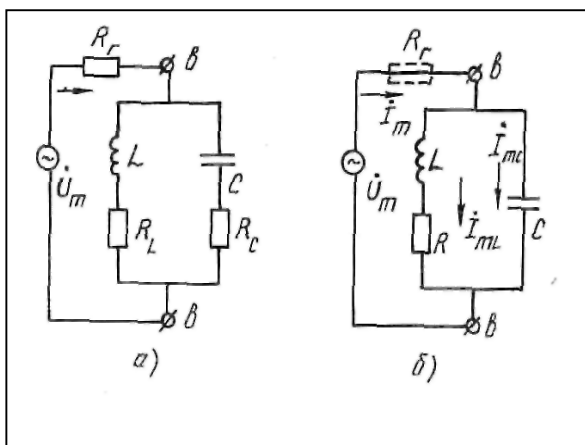
Konturning ekvivalent aslligi quyidagicha ifodalanadi:

$$Q_e = \frac{\rho}{R + R_g} = \frac{Q}{1 + R_g / R}$$

Bu kontur aslligining o'zgarishi generatorning ichki qarshiligi bilan konturning aktiv qarshiligi orasidagi nisbatga bog'liq ekanini ko'rsatadi. Generatorning ichki qarshiligi ortishi bilan uning ekvivalent aslligi kamayib boradi. SHuning uchun uning o'tkazish sohasi kengayib, chastotalarni tanlash qobiliyati (sezgirligi) susayadi.

Demak, ketma-ket konturga ichki qarshiligi kichik bo'lgan generator ulanishi kerak.

2. Tok rezonansi



Tok rezonansi parallel tebratuvchi konturida kuzatiladi. SHuning uchun u **parallel rezonans** deb ham ataladi.

Parallel kontur deganda elementlari tashqi generator ulanadigan klemmalarga nisbatan parallel bo'lgan kontur

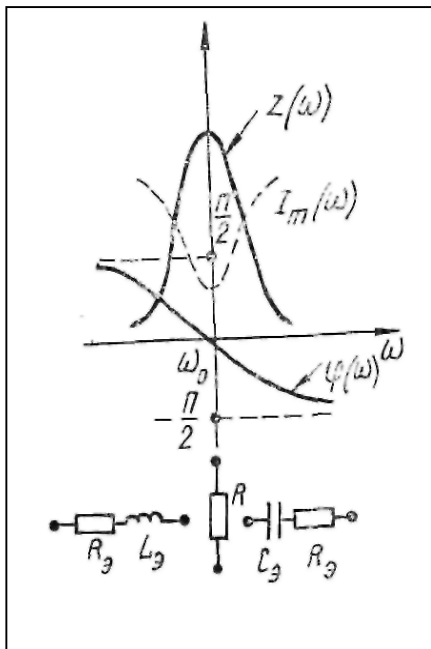
tushuniladi. YA'ni parallel konturga ulangan generator undan tashqarida bo'ladi.

2.33a-rasmda parallel tebranish konturining sxemasiko'rsatnlgan. Unda R_L – induktivlik tarmog'ining aktiv qarshiligi; R_C – sig'im tarmog'ining aktiv qarshiligi. U kondensator dielektrigidagi energiya yo'qolishini ham hisobga oladi.

Konturning $b - b$ klemmlariga garmonik kuchlanish generatori ulangan bo'lsin. Tekshirish oson bo'lishi uchun generatorning ichki qarshiligini nolga teng ($R_g \ll 0$) va energiya yo'qolishi faqat induktiv tarmoqda mavjud deb hisoblaymiz (2.33b-rasm). Bu holda kontur generatorga tashqi nagruzka vazifasini bajaradi va to'liq qarshiligi quyidagicha ifodalanadi ($R \ll \omega_0 L$):

$$\dot{Z} = \frac{L/C}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{\rho^2 \cdot \exp(j\psi)}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (13)$$

Tok amplitudasi esa (2.12 a) ifodaga binoan quyidagicha bo'ladi:



$$I_m = \frac{U_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}{\rho^2} \quad (14)$$

(2.67) va (2.68) nfodalar (2.63) rezonans sharti bajarilganda konturning to'liq qarshiligi deyarli aktiv qarshilnk tabiatiga ega bo'lib, miqdori eng katta

$$Z_r = \frac{\rho^2}{R} = Q^2 \cdot R \quad (15)$$

generatoridan konturga kelayotgan tok amplitudasi eng kichik

$$I_{mr} = \frac{U_m}{Q^2 R} \quad (16)$$

bo'lishini ko'rsatadi. Unda

$$\frac{I_{mC}}{I_{mr}} = \frac{I_{mL}}{I_{mr}} = Q$$

bo`ladi, ya'ni generatordan konturga kelayotgan tokdan uning tarmoqlaridagi tok  $Q$  marta katta bo`ladi.

Demak, rezonans vaqtida tarmoqlardan o`tdigan tok Q marta ortadi. SHuning uchun parallel konturdagi rezonans ***tok rezonansi*** yoki ***parallel rezonans*** deyiladi. Rezonans vaqtida konturning qarshiligi ortganligi sababli uni ***qarshiliklar rezonansi*** deb ham ataladi.

Umuman olganda, tok rezonansining rezonans chizig`ining ifodasi kuchlanish rezonansining (2.64) rezonans chizig`i ifodasidan farq qiladi va u quyidagicha bo`ldi:

$$f(\omega) = \frac{U_{mk}}{U_{mr}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \cong \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad (17)$$

Farq faqat fazaviy xarakteristikada kuzatiladi.

Umuman olganda parallel konturning rezonans chiziqlari to`liq qarshilik  $Z$  bilan generatorning ichki  $R_g$  qarshiligi orasidagi munosabatga bog`liq.. Bunda uch xil hol bo`lishi mumkin.

1) $Z \gg R_g$ (yoki $R_g \ll 0$). Bu holda kontur kuchlanishi U_{mk} generator kuchlanishi U_m ga teng: $U_{mk} \approx U_m$. Generatordan konturga keladigan tok konturning qanday sozlanganligiga bog`liq. Rezonans vaqtida  $Z_r$  maksimal qiymatga erishgani uchun  $I_{mr}$  tok minimal bo`ladi. Konturdagi kuchlanish U_{mk} generatorning chastotasiga bog`liq emas. SHuning uchun kontur kuchlanish bo`yicha tanlash xususiyatiga ega bo`lmaydi.

2) $Z \ll R_g$ (yoki $R_g \leftrightarrow \infty$). Bu holda konturga keladigan tok amplitudasi $I_m = U_m / R_g$ ko`rinishda ifodalanadi va generator chastotasiga bog`liq bo`ladi. Konturdagi kuchlanish  $U_{mk}$  uning qarshiligiga mutanoib o`zgarib, rezonans vaqtida maksimal qiymatga erishadi.

3) $Z \cong R$. Bu holda tok I_m va kuchlanish U_{mk} chastotaga bog`liq bo`lib,

ularning o'zgarish xususiyati 2) holdagi kabi bo'ladi.

Rezonans chizig'ining tenglamasidan parallel konturning o'tkazish sohasini aniqlash mumkin. U ketma-ket konturning o'tkazish sohasi bilan bir xil bo'ladi ((2.65) ifodaga karang).

Konturga nagruzka ulangan bo'lsa, uning ekvivalent aslligi

$$Q_e = \frac{Q}{1 + Z_r / R_g}$$

orqali aniqlanadi.

Parallel konturning o'tkazish sohasi generatorning ichki qarshiligi bilan konturning to'liq qarshiligi orasidagi nisbatga bog'liq. Agar $Z_r \gg R_g$ bo'lsa, konturning o'tkazish sohasi tokka nisbatan chekli qiymatga ega bo'lib, kuchlanish bo'yicha chegaralanmagan bo'ladi. Aksincha, $Z_r \ll R_g$ bo'lsa, u kuchlanish bo'yicha chekli qiymatga ega bo'lib, tok bo'yicha chegaralangan bo'lmaydi. Faqat konturning to'liq qarshiligi generatorning ichki qarshiligi tartibida bo'lgandagina u ham tok bo'yicha, ham kuchlanish bo'yicha chekli qiymatga erishadi.

Shunday qilib, parallel tebranish konturidan tashqi generatorning ichki qarshiligi konturning to'liq qarshiligi tartibida yoki undan katta bo'lgan hollardagina foydalanish mumkin.

2.1. Bog'langan tebranish konturlari

O'zaro energiya almashinishi mumkin bo'lgan konturlar sistemasi ***bog'langan tebranish konturi*** deb ataladi.

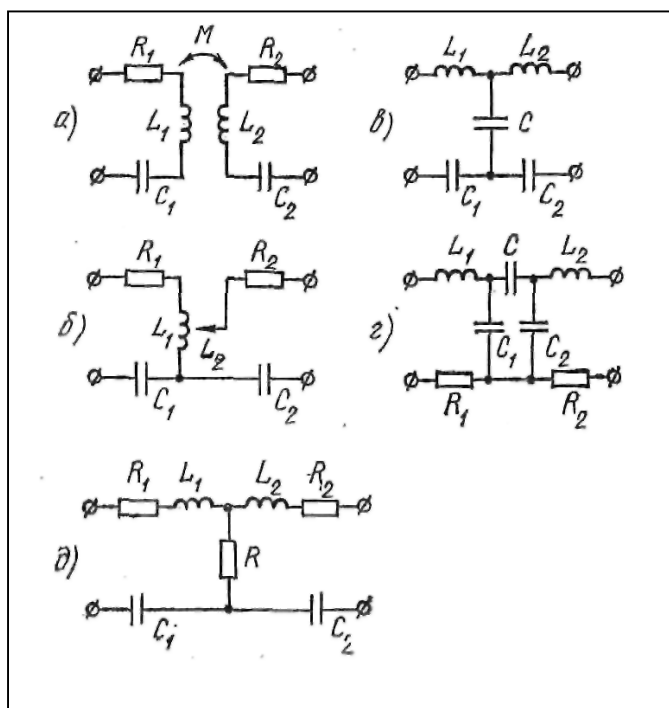
Partsial konturlar orasidagi bog'lanish ***bog'lanish qarshiligi*** deb ataladigan kattalik orqali xarakterlanadi. Almashinadigan energiya turiga qarab bog'lanish qarshiligining turi aniqlanadi.

Konturlar orasidagi bog'lanish uch turga bo'linadi: 1) konturlar orasida

magnit maydon ziergiyasi almasha, induktivlik g`altagi bog`lovchi qarshilik bo`lib xizmat qiladi; 2) agar konturlar orasida elektr maydon eiergiyasni almasha, bog`lovchi element bo`lib kondensator xizmat qiladi; 3) agar konturlar orasida energiya almashish oddiy elektr toki hisobiga bajarilsa, bog`lanish elementi bo`lib rezistor xizmat qiladi. SHunga ko`ra konturlar orasidagi bog`lanish **induktiv**, **sig`im** va **galvanik bog`lanish** deb uch turga ajratiladi. Bularga 2.36 rasmda tasvirlangan ikkita sodda konturning o`zaro bog`lanishi misol bo`ladi.

Har bir bog`lanish turi xilma-xil bo`lishi mumkin. Masalai, induktiv bog`lanish – transformator (2.36a-rasm) yoki avtotransformator (koinduktiv) (2.36b-rasm) bog`lanishga, sig`im bog`lanish ichki (2.36v-rasm) yoki tashqi (2.36g-rasm) sig`im bog`lanishlarga ajratilishi mumkin.

SHuni aytish kerakki, bog`lanish turlarining ko`pligi, sxemalarning murakkabligi va boshqa sabablar bog`lanishga kiruvchi partsial konturni yakka kontur sifatida ajratib olib o`rganish imkonini bermaydi. SHuning uchun partsial konturning xususiyatlari yakka konturning xususiyatlaridai tubdan farq qiladi.



2.2 Amalda induktiv bog`lanishli ikki partsial konturdan tashkil topgan sistemalar eng ko`p ishlatiladi. Partsial konturlarning chastotalari bir-biriga teng yoki yaqin qiymatli bo`lganda, ular orasidagi o`zaro bog`lanish miqdor jihatdan **bog`lanish koeffitsienti** deb atalgan kattalik orqali xarakterlanadi. Uning kattaligini sof induktiv yoki sig`im bog`lanish holi uchun aniqlash qulay.

Bizga induktiv bog`lanishli ikkita konturdan tashkil topgan sistema berilgan bo`lsin (2.37 rasm). Unda M – o`zaro induksiya koeffitsienty. Faraz qilaylik, sistemadagi C_1 kondensator tashqi

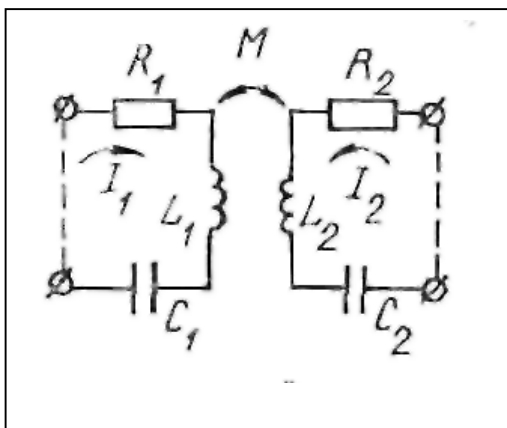
manbaga ulanib, biror qiymatli potentsiallar ayirmasi hosil bo'lguncha zaryadlangan bo'lsin. Agar tashqi manbani uzib, birinchi kontur zanjiri ulansa (ikkinchi kontur uzuk), C_1 kondensator L_1 induktivlik g'altagi orqali zaryadsizlana boshlaydi va konturda I_1 qiymatli oniy tok hosil bo'ladi. Natijada L_1 induktivlik g'altagida

$$U_{L1} = -L_1 \frac{dI_1}{dt}$$

kuchlanish vujudga keladi va uning magnit maydoni L_2 induktivlik g'altagida

$$U_{L2} = -M \frac{dI_1}{dt}$$

o'zaro induksiya EYUK ni hosil qiladi. (Ikkinchi kontur uzoq bo'lgani uchun zanjirda tok hosil bo'lmaydi). Bunda



$$n_1 = \frac{U_{12}}{U_{L1}} = \frac{M}{L_1}$$

kattalik **ikkinchi konturning birinchn kontur bilan bog'lanish darajasi** yoki **birinchi konturning uzatish koeffitsienti** deyiladi. U birinchi konturdan ikkinchi konturga energiya uzatilish jarayonini ifodalaydi. Agar

boshlang'ich holatga qaytib, C_2 kondensator zaryadlansa va yuqorida aytilgan mulohazalar takrorlansa, birinchi konturning ikkinchi kontur bilan bog'lanish darajasi, ya'ni ikkinchi konturning uzatish koeffitsienti

$$n_2 = \frac{U_{21}}{U_{L2}} = \frac{M}{L_2}$$

bo'lishini aniqlash mumkin. U ikkinchi konturdan birinchi konturga energiya uzatilishini ifodalaydi.

Bog'lanish darajalari n_1 va n_2 ning geometrik o'rtachasiga teng kattalik

$$n = \sqrt{n_1 \cdot n_2} = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (19)$$

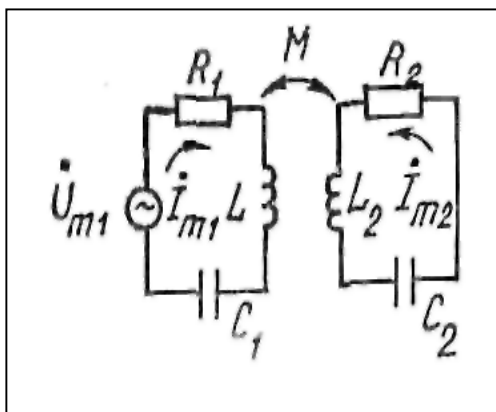
konturlarning o'zaro bog'lanish ko'effitsienti deb ataladi va konturlar orasidagi o'zaro energiya almashinuvini ifodalaydi. Agar (19) ni so chastotaga ko'paytirib bo'linsa, o'zaro bog'lanish ko'effitsientining umumlashgan ifodasi hosil bo'ladi:

$$n = \frac{\omega M}{\sqrt{\omega L_1 \cdot \omega L_2}} = \frac{X_b}{\sqrt{X_1 \cdot X_2}} \quad (19a)$$

Bunda, X_b – bog'lanish qarshiligi, $X_1 = \omega L_1 - L_1$ g'altakning induktiv qarshiligi, $X_2 = \omega L_2 - L_2$ g'altakning induktiv qarshiligi, Demak, o'zaro bog'lanish ko'effitsientining ifodasiga kiradigan qarshiliklarning reaktivlik tabiati bir xil bo'lar ekan. Boshqacha aytganda, (2.74a) ifodada induktiv bog'lanishda induktiv qarshiliklar, sig'im bog'lanishida esa, sig'im qarshiliklar qatnashadi.

Bog'langan tebranish konturidagi majburiy tebranishlar

Ma'lumki, sistemadagi majburiy tebranish tashqi majburlovchn kuch –



generator ta'sirida hosil bo'ladi. Bog'langan tebranish konturlarida majburlovchi generatorning ulanishi bog'lanishga kirgan konturlar orasidagi tengquqlilik xususiyatini yo'qotadi. Shuning uchun birlamchi va ikkilamchi konturlar tushunchasi kiritiladi.

Sistemadagi tashqi generator ulanadigai kontur **birlamchi kontur** deb, qolganlari esa, **ikkilamchi kontur** deb ataladi. Ikkilamchi kontur birlamchi konturning nagruzkasi (iste'molchisi) vazifasini bajaradi.

Har qanday sistemada bo'lgani kabi, bog'langan konturlar sistemasida ham, birlamchi konturga generator ulanishi bilan unda avval o'tish jarayonlari yuz beradi. Ma'lum vaqt o'tgandan keyin esa, turg'un jarayonlar vujudga keladi, ya'ni erkin jarayonlar so'nib majburlovchi jarayonlar qoladi. Natijada birlamchi konturdan ikkilamchi konturga davriy ravishda energiya uzatila boshlaydi (tashqi

generatorga bo'ladigan aks ta'sir hisobga olinmaydi).

O'zaro transformator bog'lanishli ikkita konturdan tashkil topgan sistemani olaylik (2.38 rasm). Unda birinchi konturni birlamchi kontur deb, ikkinchisini esa, ikkilamchi kontur deb hisoblaymiz. Majburiy tebranishlar tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{m1} &= \dot{I}_{m1} \cdot \dot{Z}_1 + j\omega M \dot{I}_{m2} \\ 0 &= \dot{I}_{m2} \cdot \dot{Z}_2 + j\omega M \dot{I}_{m1} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Bunda

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_1 &= R_1 + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) = R_1 + jX_1 \\ \dot{Z}_2 &= R_2 + \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) = R_2 + jX_2 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

(2.75) tenglamalar sistemasiga kiruvchi har bir tenglama ikkinchi darajali bo'lgan uchun u umuman to'rtinchi darajalidir. SHuning uchun tekshirishda o'rganayotgan zanjirimizni L_{ekv} , C_{ekv} va R_{ekv} ekvivalent elementlarning ketma-ket ulanishidan hosil bo'ladigan zanjir ko'rinishiga keltirib tekshirish mumkin emas. Faqat xususiy holda zanjirga garmonik tebranish generatori ulangan bo'lsa, statsionar jarayonlar uchungina bundan chekinish mumkin. Lekin bunda ekvivalent parametrlar chastotaga bog'liq bo'lib qoladi. SHularni hisobga olgan holda 2.38-rasmda ko'rsatilgan sistemaning ekvivalent sxemasini tuzamiz. Uning to'liq qarshiligi sistemamizning ekvivalent qarshiligini tashkil etadi.

(2.75) tenglamalar sistemasining ikkinchi ifodasidan I_{m2} tokni aniqlab, uni birinchi ifodasiga qo'yamiz va (2.76) ifodani hisobga olgan holda soddalashtiramiz:

$$U_{m1} = I_{m1} \left[\left(R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} R_2 \right) + j \left(X_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} X_2 \right) \right] = \dot{I}_{m1} \cdot \dot{Z}_{ekv}, \quad (22)$$

bu erda quyidagicha o'zgartishlar kiritilgan:

$$\left. \begin{aligned} R_{ekv} &= R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} R_2 = R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} R_2 = R_1 + R_{ich} \\ X_{ekv} &= X_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + X_2^2} X_2 = X_1 - \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} X_2 = X_1 + X_{ich} \end{aligned} \right\}. \quad (23)$$

Bu erda $R_{ich} = \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} R_2$ – kiritilayotgan aktiv qarshilik; $X_{ich} = \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} X_2$ – kiritilayotgan reaktiv qarshilik; $\dot{Z}_{ekv} = R_{ekv} + jX_{ekv}$ – ekvivalent (to'liq) qarshilik deyiladi.

Ekvivalent parametrlarning (2.78) ifodasini yakka konturning qarshiligi ifodasi (2.61) bilan solishtirsak, birlamchi konturning qarshiligi, bog'lanish tufayli, R_{ich} va X_{ich} miqdorlarga o'zgarganligini ko'rish mumkin. Bun erda R_{ich} va X_{ich} lar **reaktiv kiritilgan qarshiliklar** deyiladi. Ularning kattaligi o'zaro induksiya koeffitsienti M ga va tashqi generator chastotasiga, ya'ni bog'lanish qarshiligining kattaligiga bog'liqdir. Bog'langan tebranish konturidagi rezonans turli xil bo'lib, har xil nom bilan yuritiladi. Ular maxsus kurslarda o'rganiladi. Biz shularning biri bilan tanishamiz.

(2.75) tenglamalar sistemasining birinchi ifodasidan $\dot{I}_{m1}$ ni aniqlab, ikkinchisiga qo'yamiz va $\dot{I}_{m2}$ toknn topamiz:

$$\dot{I}_{m2} = \frac{\omega M \cdot \dot{U}_{m1}}{- (R_1 X_2 + R_2 X_1) + j(R_1 R_2 - X_1 X_2 + \omega^2 M^2)} \quad (24)$$

Rezonans shartita binoan $\dot{I}_{m2}$ tok maksimal qiymatta erishishi uchun (2.79) ifodaning mavhum qismi nolga teng bo'lishi kerak:

$$R_1 R_2 - X_1 X_2 + \omega^2 M^2 = 0 \quad (25)$$

Demak, (25) ifoda ko'rilayotgan hol uchun **bog'langan tebranish konturining rezonans shartidir**. Uni echib rezonans kuzatiladigan chastotalarni aniqlash mumkin. Ideal va bir xil ($L_1 = L_2 = L$, $C_1 = C_2 = C$, $R_1 = R_2 = 0$) konturlar sistemasi uchun ular quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega_1 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1+n}} \quad \text{va} \quad \omega_2 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-n}}, \quad (26)$$

bu erda ω_1 va ω_2 – **bogʻlanish chastotalari** deb ataladi. Ulardan ω_1 – sustkash, ω_2 – tezkor chastota hisoblanadi. Demak, koʻrayotgan bogʻlangan konturimizda sistemaning rezonans chizigʻi ikkita maksimal qiymatga ega. Bogʻlanish koeffitsientini kichraytirish uchun bogʻlanishga kiruvchi konturlarni bir-biridan uzoqlashtirish kerak.

2.3 Bogʻlanish turlari

Real konturlar uchun hamma vaqt energiya yutilishni mavjud ($R \neq 0$). SHuning uchun ikki maksimumli rezonans chizigʻi bitta maksimumli chiziqqa aylanishi uchun konturlarni bir-biridan cheksiz masofaga uzoqlashtirish shart emas, yaʼni bogʻlanish koeffitsientining chekli qiymatida ham rezonans bitta ω_0 chastotada kuzatilishi mumkin. SHunga koʻra oʻzaro bogʻlanish koeffitsientining qiymatlari turlarga ajratiladi va ularga toʻgʻri keladigan bogʻlanish har xil nom bilan yuritiladi:

1. Kuchsiz – (zaif) bogʻlanish – $n < n_{kr}$.
2. Kuchli bogʻlanish – $n > n_{kr}$.
3. Kritik bogʻlanish – $n = n_{kr}$.

Kuchsiz bogʻlanishda rezonans chizigʻi bitta maksimumli (ω_0 chastotada), kuchli bogʻlanishda esa, u ikki maksimumli (ω_1 va ω_2 chastotalarda) boʻladi. Bogʻlanish koeffitsientining kritik qiymati chegaraviy qiymat boʻlib, rezonans chizigʻi ikki maksimumli chiziqdan bir maksimumli chiziqqa (va, aksincha) oʻtish holidir. Bu holda rezonans chizigʻi bitta maksimumli boʻlib, uning choʻqqisi nisbatan yassiroq boʻladi.

Kuchli bogʻlanishda bogʻlanish koeffitsientining shunday qiymatini aniqlash mumkinki, tok kuchining minimal qiymati maksimal qiymatidan $\sqrt{2}$ marta farq

qiladi. Bog'lanish koeffitsientining bu qiymatiga to'g'ri keladigan bog'lanish ***optimal (qulay) bog'lanish*** deb ataladi. Bunda sistemaning o'tkazish sohasi eng keng bo'lib, shakli to'g'ri to'rtburchakka yaqin bo'ladi.

Kuchli bog'lanishda rezonans chizig'ining ikki maksimumga ega bo'lish sababini aniqlash uchun R_{ekv} va X_{ekv} qarshilnlarning chastotaga bog'liq o'zgarishini baholash kerak. $\omega = \omega_0$ chastotada har ikki konturining reaktiv qarshiliklari (X_1 va X_2) nolga teng. SHuning uchun $X_{ekv} \neq 0$ bo'lib, rezonans shart bajarilishi kerak. Ammo bu vaqtda aktiv qarshilik R_{ekv} o'zining maksimum qiymatiga erishadi va sistemaning aslligi yomonlashadi. SHuning uchun konturlarning toki kichik amplitudali bo'ladi.

Kuchsiz bog'lanishda ($n < n_{kr}$) kiritilayotgan qarshiliklarning ta'siri hisobga olinmaydi. SHuning uchun rezonans chizig'i bitta maksimumli bo'ladi.

3.Xulosa

Radioelektron qurilmalarning asosiy zanjirlaridan biri tebranish konturlaridir. Ular yordamida yuqori chastotali elektr toki hosil qilinadi yoki murakkab tebranishlarning kerakli chastota spektri ajratib olinadi. Tebranish konturlari sodda va murakkab bo'ladilar. Sodda konturga misol qilib yakka konturni ko'rsatish mumkin. U yakka sig'im va induktivlik g'altagidan tashkil topadi.

Kondensatorning zaryadsizlanish toki induktivlik g'altagi atrofida magnit maydonini hosil qiladi, ya'ni kondensatorda to'plangan elektr maydon energiyasi induktivlik g'altagining magnit maydon energiyasiga aylana boshlaydi. O'zaro energiya almashinishi mumkin bo'lgan konturlar sistemasi bog'langan tebranish konturi deb ataladi. Konturlar orasidagi bog'lanish induktiv, sig'im va galvanik bog'lanish deb uch turga ajratiladi.

Amalda induktiv bog'lanishli ikki partsial konturdan tashkil topgan sistemalar eng ko'p ishlatiladi. Partsial konturlarning chastotalari bir-biriga teng yoki yaqin

qiymatli bo'lganda, ular orasidagi o'zaro bog'lanish miqdor jihatdan bog'lanish koeffitsienti deb atalgan kattalik orqali xarakterlanadi. Uning kattaligini sof

induktiv yoki sig'im bog'lanish holi uchun aniqlash qulay. $n_1 = \frac{U_{12}}{U_{L1}} = \frac{M}{L_1}$

kattalik **ikkinchi konturning birinchi kontur bilan bog'lanish darajasi** yoki **birinchi konturning uzatish koeffitsienti** deyiladi. U birinchi konturdan ikkinchi konturga energiya uzatilish jarayonini ifodalaydi. Agar boshlang'ich holatga qaytib, C_2 kondensator zaryadlansa va yuqorida aytilgan mulohazalar takrorlansa, birinchi konturning ikkinchi kontur bilan bog'lanish darajasi, ya'ni ikkinchi konturning uzatish koeffitsienti

$n_1 = \frac{U_{21}}{U_{L2}} = \frac{M}{L_2}$ bo'lishini aniqlash mumkin. U ikkinchi konturdan birinchi konturga

energiya uzatilishini ifodalaydi. Bog'lanish darajalari n_1 va n_2 ning geometrik o'rtachasiga teng kattalik

$n = \sqrt{n_1 \cdot n_2} = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$ **konturlarning o'zaro bog'lanish koeffitsienti** deb ataladi

va konturlar orasidagi o'zaro energiya almashinuvini ifodalaydi. Bog'lanish koeffitsientining umumlashgan ifodasi:

$n = \frac{\omega M}{\sqrt{\omega L_1 \cdot \omega L_2}} = \frac{X_b}{\sqrt{X_1 \cdot X_2}}$ bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Нигматов Х. Радиоэлектроника асослари. Тошкент, “Ўзбекистон” , .1994-Ҳ
2. Калашников С.Г. Умумий физика курси. Электр. Олий ўқув юр்தларининг физика ихтисоси бўйича дарслик. Ўқитувчи, Тошкент-1979, 615 бет.
3. Юнусов М.С., Власов С.И., ва б. Электрон асбоблар. ЎЗМУ.,Т.:2003.-132 бет
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. М.: 1991.
5. <http://www.schem.net.ru/> - Турли радиоэлектрон схемалар ва уларнинг тавсифи.
6. Юнусов М.С., Власов С.И., ва б. Электрон асбоблар. ЎЗМУ.,Т.:2003.-132 бет
7. Radioelektronika asoslari (majmua-2012)