

# **Mexatron Tizimlar uchun Elektronika Fani**

## **Ma'ruza №3**

### **Elektronikada signal filtrlari**

#### **Reja:**

- Filtrlarga kirish
  - Kvadrat to'lqin signallar tahlili
  - Chastota Spektrumi
  - Past o'tkazuvchan filtrlar
  - Yuqori o'tkazuvchan filtrlar
  - Tarmoqli o'tish filtri
  - Haqiqiy filtrlar
  - Passiv past o'tkazuvchan filtrlar
  - Passiv yuqori o'tkazuvchan filtrlar
- Xulosa

## Filtrlarga kirish

Filtrlar audio va aloqa tizimlarida keng qo'llaniladi. Ular ba'zi signal chastotalari orqali o'tishga imkon beradi, boshqalari esa bloklanadi.

O'ngdagi rasmlarda turli xil musiqa asboblari chalingan bir xil nota uchun osiloskop izlari ko'rsatilgan.

Ularning ovoz balandligi bir xil bo'lsa ham, notalar boshqacha eshitiladi, chunki asboblarning notalarni chiqarmaydi (faqat bitta chastotani o'z ichiga oladi.)

Aksincha, tovushlar asosiy chastota va bir qator zaifroq chastotalardan iborat. Asosiy yoki asosiy nota birinchi garmonik deb ham ataladi.

Faraz qilaylik, birinchi garmonik  $f$  chastotaga ega bo'lsa, u holda:

- $2f$  chastotali komponentlar ikkinchi garmonik deb ataladi
- chastotasi  $3f$  bo'lgan komponent uchinchi garmonik deb ataladi va hokazo.

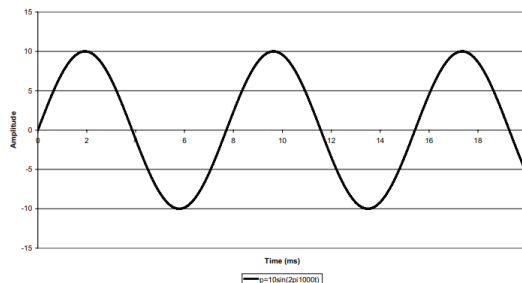
Garmonik tarkib to'lqin shaklining shakli va tovush ohangini belgilaydi. Turli xil asboblarning harmonikaning turli kombinatsiyasi bilan notalarni ishlab chiqaradi.

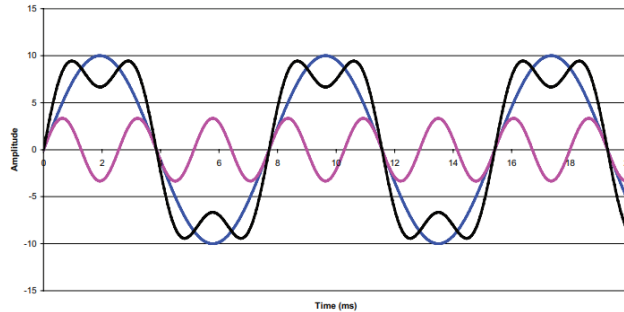
## Kvadrat to'lqin signallar tahlili

19-asr boshlarida matematik Jan Baptiste Furiye har qanday to'lqin shakli qanchalik murakkab bo'lmasin, turli amplituda va chastotalarga ega bo'lgan sinus to'lqinlar qatoridan iborat bo'lishi mumkinligi haqidagi nazariyani ishlab chiqdi.

Teng belgi/bo'shliq nisbati bo'lgan kvadrat to'lqinning Furiye tahlili shuni ko'rsatadiki, u kvadrat to'lqinning asosiy chastotasidan iborat bo'lib, cheksiz sonli g'alati harmonikalar bilan birlashtiriladi - doimiy ravishda kamayib boruvchi amplitudali sinus to'lqin signallari, chastotalar asosiyning toq karralari bo'lgan.

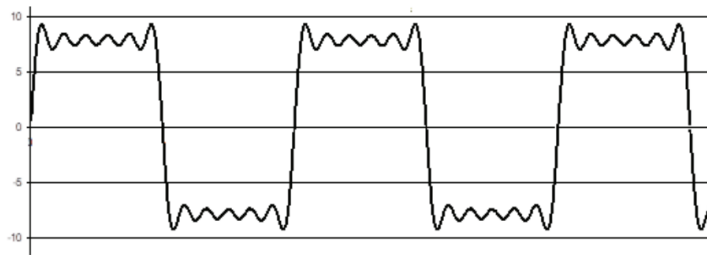
19-asr boshlarida matematik Jan Baptiste Furiye har qanday to'lqin shakli qanchalik murakkab bo'lmasin, turli amplituda va chastotalarga ega bo'lgan sinus to'lqinlar qatoridan iborat bo'lishi mumkinligi haqidagi nazariyani ishlab chiqdi.





Allaqachon, hosil bo'lgan to'lqin shakli biroz ko'proq "kvadrat" ko'rinishni boshlaydi.

Amplitudalarning kamayishi bilan yana g'alati harmonikalar qo'shilsa, to'lqin shakli kvadrat to'lqinga o'xshaydi. Yakuniy diagrammada 3-, 5-, 7-, 9- va 11- harmonikalarni qo'shish natijasi ko'rsatilgan.



Beshta harmonikaning qo'shilishi hali ham "mukammal" kvadrat to'lqindan uzoqdir. Furiye teoremasi shuni ko'rsatadiki, mukammal kvadrat to'lqinni yaratish uchun cheksiz miqdordagi g'alati harmonika kerak bo'ladi.

Nima uchun 6 kHz sinus to'lqin 6 kHz kvadrat to'lqin bilan bir xil tovush chiqaradi degan savolga qaytsak, kvadrat to'lqin asosiy chastota, 6 kHz sinus to'lqin va cheksiz sonli "g'alati" harmonikadan iborat.

Ulardan birinchisi 18 kHz ( $3 \times 6$  kHz) chastotaga ega, undan keyin 30 kHz ( $5 \times 6$  kHz), 42 kHz ( $7 \times 6$  kHz) va hokazolarda harmonikalar mavjud.

Biroq, 18 kHz chastotadagi harmonik allaqachon odamlar eshitishi mumkin bo'lgan chegaraga yaqinlashmoqda (20 Hz dan 20 kHz gacha). Aholining aksariyati faqat asosiy, 6 kHz chastotali sinus to'lqinni eshitadi. Bu 6 kHz sinus to'lqini bilan bir xil bo'lishi ajablanarli emas.

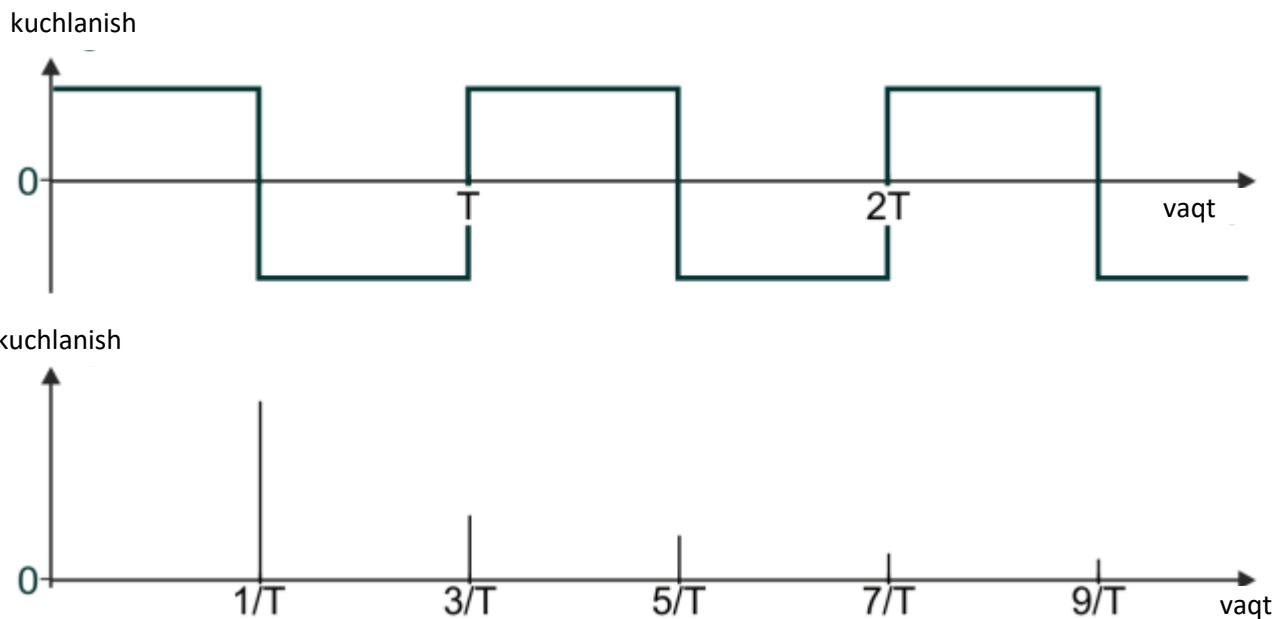
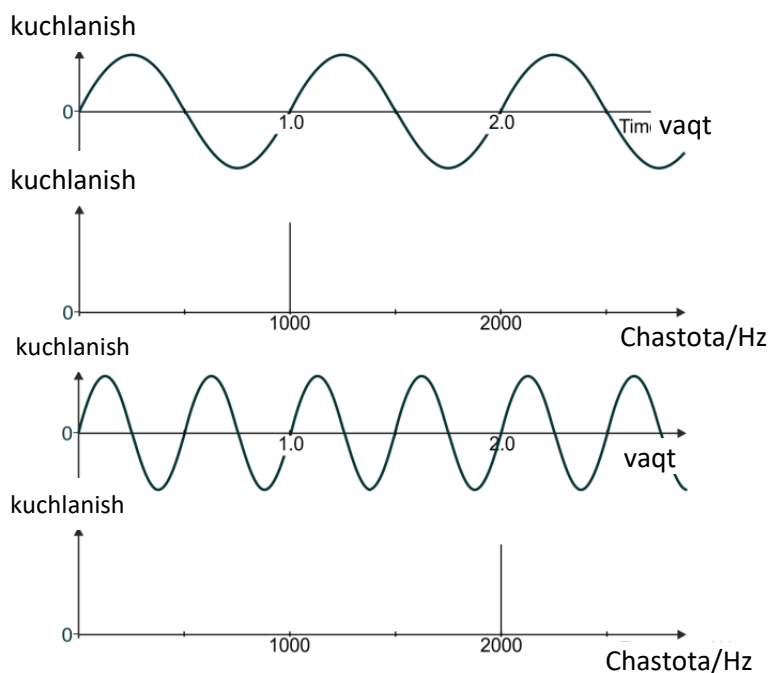
Xuddi shunday, 7 kHz chastotada hech qanday farq yo'q, chunki uchinchi harmonik 21 kHz ( $3 \times 7$  kHz) chastotada inson eshitish doirasidan tashqarida.

## Chastota Spektrumi

Operatsion kuchaytirgichlar haqidagi oldingi darsda biz chastota spektrining grafiklarini qisqacha bilib oldik. Endi biz sinus to'lqin, kvadrat to'lqin va audio signallar uchun chastota spektri grafisini ko'rib chiqamiz.

Quyidagi diagrammalar 1 kHz va 2 kHz chastotali sof sinus to'lqinlar uchun to'lqin shakli va chastota spektrini ko'rsatadi.

Keyingi diagrammalar davriy vaqtga ega bo'lgan kvadrat to'lqin uchun to'lqin shakli va chastota spektrini ko'rsatadi  $T$ . Chastota spektrida faqat asosiy va dastlabki to'rtta harmonika ko'rsatilgan.



Aloqa tizimlarida barcha signallarni ularning chastota tarkibini aniqlash uchun shu tarzda tahlil qilish mumkin.

Bu bizga signalni uzatish uchun zarur bo'lgan tarmoqli kengligini aniqlash imkonini beradi.

O'tkazish qobiliyati - signalni yaratish uchun zarur bo'lgan chastotalar diapazoni, ya'ni eng yuqori chastota komponenti minus eng past chastota komponenti.

Sinus to'lqin uchun tarmoqli kengligi nolga teng, chunki signalda faqat bitta chastota mavjud. Xuddi shu tarzda, kvadrat to'lqinning tarmoqli kengligi cheksizdir, chunki u cheksiz sinus to'lqinlarni o'z ichiga oladi.

Boshqa har qanday signal bu ekstremallar orasida yotadi. Ba'zan signalning o'tkazish qobiliyati ataylab kamayadi, chunki aloqa sifatiga ta'siri cheksizdir yoki xarajatlarni kamaytirish uchun.

### **Past o'tkazuvchan filtrlar**

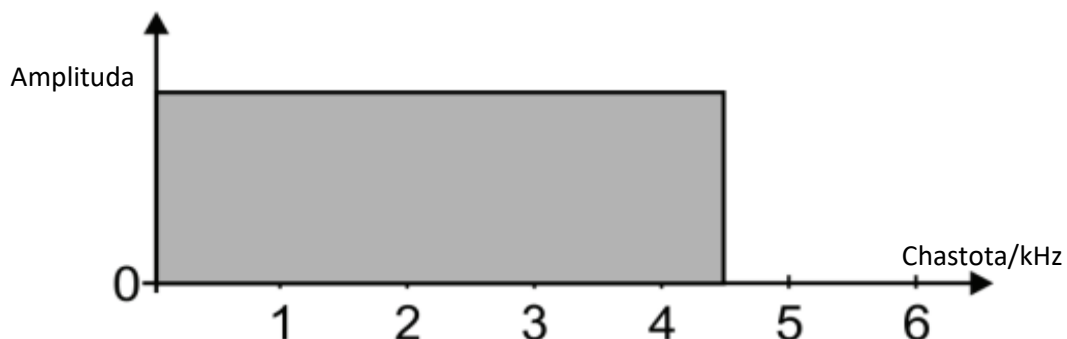
Filtrlar uchta asosiy toifaga bo'linadi:

- Past o'tkazuvchan filtr (LPF)
- Yuqori o'tkazuvchan filtr (HPF)
- Tarmoqli o'tkazuvchan filtri (BPF).

### **Past o'tkazuvchan filtr**

Nomidan ko'rinib turibdiki, bu turdagi filtr past chastotali signallarni ta'sirlanmagan holda o'tkazishga imkon beradi, lekin yuqori chastotali signallarni bloklaydi. Uning chastota spektri 4,5 kHz dan yuqori chastotalarni bloklaydigan LPF uchun chizilgan keyingi diagrammada ko'rsatilgan.

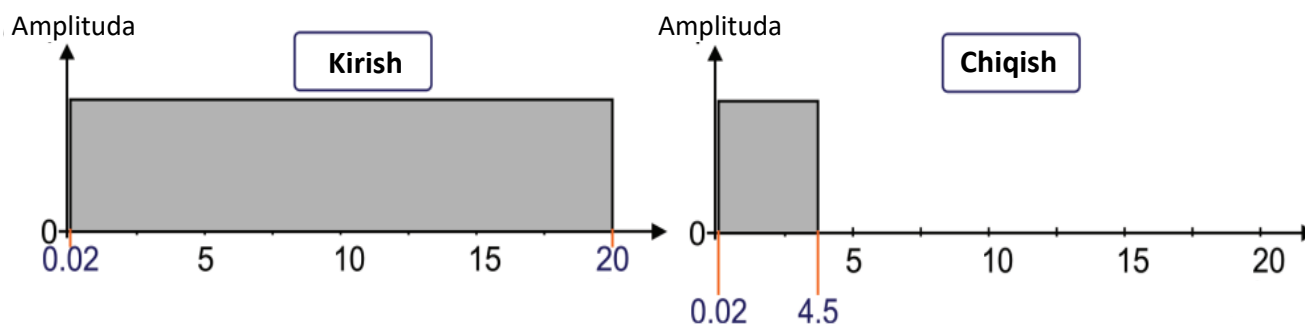
Ushbu filtr 4,5 kHz dan past bo'lgan barcha chastotalarni hech qanday o'zgarishsiz o'tkazadi, lekin chiqishda ularning izlari ko'rinmasligi uchun yuqori chastotalarni bloklaydi.



Misol.

Quyidagi grafiklar ushbu past chastotali filtrning ta'sirini ko'rsatadi.

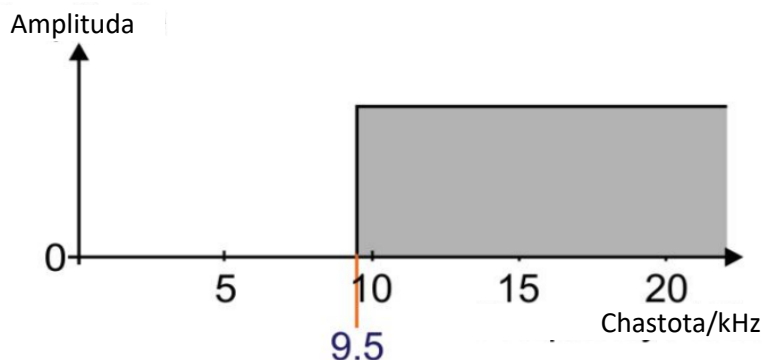
O'tkazish qobiliyati keskin qisqartirilgan bo'lsa ham, signal hali ham ajralib turadi. Bu yuqori chastotali komponentlarni kesish natijasida yo'qolgan sifatdir.



### Yuqori o'tkazuvchan filtrlar

Ushbu turdagi filtr yuqori chastotali signallarni ta'sirlanmagan holda o'tkazishga imkon beradi, lekin yuqori chastotali signallarni bloklaydi. Uning chastota spektri 9,5 kHz dan past chastotalarni bloklaydigan HPF uchun chizilgan keyingi diagrammada ko'rsatilgan.

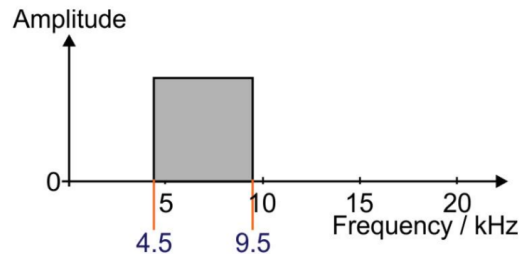
Ushbu filtr uchun 9,5 kHz dan yuqori barcha chastotalar hech qanday o'zgarishsiz ruxsat etiladi. 9,5 kHz dan past bo'lgan barcha chastotalar bloklanadi va chiqishda ularning izlari ko'rinmaydi.



### Tarmoqli o'tish filtri

Ushbu filtr faqat ma'lum bir diapazon yoki chastotalarning "diapazoni" ta'sirlanmagan holda o'tishga imkon beradi. Ushbu diapazondan past yoki yuqori chastotaga ega bo'lgan har qanday signal bloklanadi.

Quyidagi diagrammada tasvirlangan filtr uchun 4,5 kHz dan 9,5 kHz gacha bo'lgan barcha chastotalarga ta'sir qilmasdan ruxsat beriladi. 4,5 kHz dan past yoki 9,5 kHz dan yuqori bo'lgan barcha chastotalar bloklanadi va chiqishda ularning izlari ko'rinmaydi.



## Haqiqiy filtrlar

Filtrlar ikkita asosiy toifaga bo'linadi:

- Passiv filtrlar
- Faol (Aktiv) filtrlar.

Avvalo passiv filtrlarni ko'rib chiqamiz. Keyin esa aktiv filtrlarni ko'rib chiqamiz.

Rezistorlar, kondansatrlar va induktorlarning kombinatsiyasidan tayyorlangan passiv filtrlar chastota spektridagi ma'lum chastotalarni bostirishi mumkin.

O'zgarmas tok manbai asosida qurilgan sxemalarda kondansatrlar odatda tokni uzib ulagich vazifasini bajaradi - ular uzluksiz tok oqimini oldini oladi.

Biroq, o'zgaruvchan tok sxemalarida ularning xatti-harakatlari boshqacha ko'rinadi. Uzluksiz o'zgaruvchan tok oqishi mumkin. Kondensatorlar bu oqimni doimiy oqim davrlaridagi rezistorlarning xatti-harakatlariga o'xshash tarzda cheklaydi. Ular qarshilikka ega emas, lekin sig'imli reaktivlikka ega. Bu kondansatrlarning o'zgaruvchan tok oqimiga qarama-qarshiligini o'lchaydi.

Unga **XC** belgisi berilgan va om ( $\Omega$ ) bilan o'lchanadi.

Berilgan chastotada sig'imli reaktivlikni hisoblash uchun quyidagi tenglama qo'llaniladi, f:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Bu yerda:

$X_C$  – sig'im reaktivligi, o'lchanish birligi [om]

$f$  – o'zgaruvchan signal chastotasi, o'lchanish birligi [Hz]

$C$  – kondensator sig'imi, o'lchanish birligi farad

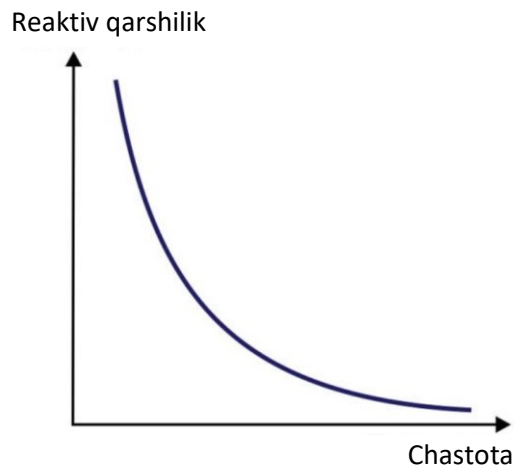
Quyidagi grafik signal chastotasi o'zgarganda sig'imli reaktivlik qanday o'zgarishini ko'rsatadi.

Kondensator o'zini chastotaga bog'liq rezistor sifatida tutadi. Chastota past bo'lganda o'zgaruvchan tok oqimiga juda katta ta'sir ko'rsatadi, lekin chastota ko'tarilganda ancha kichikroq ta'sir qiladi.

Impidens. Zanjirdagi rezistorlar va kondensatorlarning birgalikdagi ta'sirini ko'rib chiqsak, biz qarshilik va reaktivlikni oddiygina qo'sha olmaymiz. Biz yangi atama, empedansni ularning birgalikdagi ta'siri sifatida aniqlaymiz. Unga  $Z$  belgisi beriladi va om bilan o'lchanadi.

Impidensni xisoblash formulasi:

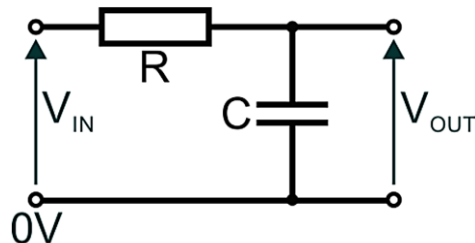
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



**Passiv past o'tkazuvchan filtrlar**

Past chastotali filtr (Low-pass filter – LPF) signal spektridan yuqori chastotali komponentlarni olib tashlash uchun ishlatiladi.

Elektr sxemada rezistor va unga kondensator ketma – ket ulangan. Chiqish kuchlanishi ko'rsatilgandek kondensator bo'ylab olinadi:



Ushbu sxemani kuchlanish bo'luvchi sifatida hisobga olgan holda, chiqish kuchlanishini kuchlanish bo'luvchi formulaning o'zgartirilgan versiyasi yordamida hisoblash mumkin:

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{Z} \times X_C = \frac{V_{IN}}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \times X_C$$

Bu zanjirning kuchlanish kuchayishini hisoblash uchun qayta tartibga solinishi mumkin:

$$\text{kuchlanish\_ortishi} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Juda past chastotada:  $X_C^2 \gg R^2$

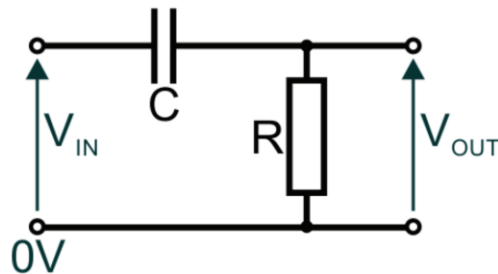
" $R^2$ " " $X_C^2$ " bilan solishtirganda shunchalik kichikki, uni e'tiborsiz qoldirish mumkin va formula quyidagicha kamayadi:

$$\text{kuchlanish\_ortishi} = \frac{X_C}{\sqrt{X_C^2}} = 1$$

### Passiv yuqori o'tkazuvchan filtrlar

Signaldan past chastotali komponentlarni olib tashlash uchun yuqori o'tkazuvchan filtr ishlatiladi. O'chirish to'g'ridan-to'g'ri, past o'tkazgichli filtr pallasining kondensatr va rezistorni almashtiriladi, shuning uchun chiqish signali rezistordagi kuchlanishdir.

Avvalgidek, kuchlanishni ajratuvchi sifatida tartibga solishni hisobga olgan holda, chiqish kuchlanishi quyidagicha beriladi:



$$V_{\text{OUT}} = \frac{V_{\text{IN}}}{Z} \times R = \frac{V_{\text{IN}}}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \times R$$

Ushbu formula zanjirning kuchlanish kuchayishini hisoblash uchun qayta tartibga solinishi mumkin.

$$\text{kuchlanish kuchayishi} = \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Ekstremallarga qarab:

- chastota yuqori bo'lsa,  $R^2 \gg X_C^2$  va  $X_C^2$  shunchalik kichik bo'ladiki, uni  $R^2$  o'lchamiga nisbatan e'tiborsiz qoldirish mumkin. Kuchlanish kuchayishi deyarli 1 ga teng bo'ladi, ya'ni o'zgarish bo'lmaydi
- chastota past bo'lsa,  $X_C^2 \gg R^2$  va shuning uchun  $R^2$  shunchalik kichik bo'ladiki, uni  $X_C^2$  o'lchamiga nisbatan e'tiborsiz qoldirish mumkin. Kuchlanish ortishi quyidagicha bo'ladi:

$$\text{kuchlanish kuchayishi} = \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{R}{X_C} = \frac{R}{1 / 2 \pi f C} = 2 \pi f C R$$

Bu 1 dan kichik va shuning uchun past chastotali signallar bostiriladi.

## **Xulosa**

Ushbu darsdagi biz quyidagilarni bilib oldik:

- Filtrlar haqida umumiy tushunchalar
- Turli elektr signallar xususan, kvadrat to'liqin signallari va chastota spektrumi
- Ikki turli filtrlar, past o'tkazuvchan va yuqori o'tkazuvchan filtrlar
- Bundan tashqari tarmoqli o'tish filtri va haqiqiy filtrlar
- Passiv filtrlar:
  - Past o'tkazuvchan filtrlar
  - Yuqori o'tkazuvchan filtrlar

## **Foydalanilgan adabiyotlar**

1) Electronics: A Systems Approach (6th edition), Neil Storey, Pearson Education UK, 2017

2) Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering, William Bolton, Pearson Education Limited 2015

3) Elektronika. X. Aripov, A. Abdullayev. Fan va texnologiya nashriyoti, 2011

4) wikipedia.org veb sayti