

## 15-laboratoriya jumisi Operatsion kúsheytgishlerdi izertlew

**Jumistın maqseti** - laboratoriya stendinda  $V_{IN}$  kópirinen paydalanıp invertorsiz operatsion kúsheytgish (OK) bolǵan RC-avtogeneratorınıń teoriyalıq hám eksperimental izertlewın ótkeriw; óz-ózin qozǵaltıw shártleriniń hám generatsiya chastotası RC-element parametrlerine baylanıslılıǵınıń eksperimental izertlewı.

### 1. Laboratoriya jumısın orınlawǵa tayarlanıw :

Sırtqı tásir bolmaǵan jaǵdayda elektr terbelislerin ózbetinshe payda etiwshi aktiv elektr shınjırları *avtogeneratorlar* dep ataladı. Olarda aktiv elementler retinde elektron lampalar, tranzistorlar, OKlar isletiledi. Joqarı chastotalı avtogeneratorlarda passiv elementler retinde LC-elementler qollanıladı ; tómén chastotalarda bolsa - RC-elementler isletiledi.

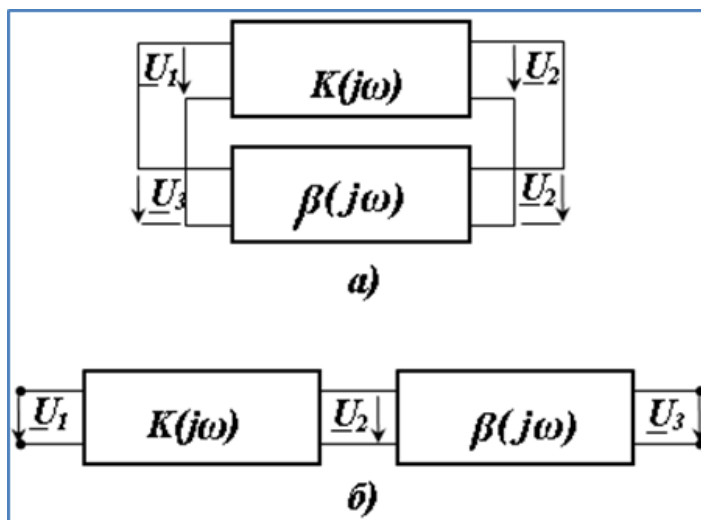
Avtogeneratorlar shıǵıwındaǵı ózgeriwshen kernewdın bir bólegin avtogenerator kiriwine uzatıwshı oń teris baylanısıw (TB) nátiyjesinde elektr (elektromagnit ) terbelislerin islep shıǵaradı. Bul hádiyse tek terbeliwshi energiyanıń artıwı quwat ısıraplarınan úlken bolǵandaǵana júz boladı. Bunda baslanǵısh terbelislerdin amplitudasi artıp baradı.

Avtogeneratorlar radio uzatıw hám radio qabıllaw apparatlarında, simlı elektr baylanısa hám ólshew texnikasında qollanıladı.

Avtogenerator (ózgeriwshen tok) ulıwmalastırılǵan struktura sxeması (1,a-su'wret) quramında kompleks uzatıw koefficiyenti

$$K(j\omega) = U_2 / U_1 = K(\omega)e^{j\varphi_K(\omega)}$$

bolǵan kúsheytgish hám kompleks uzatıw koefficiyentine teń bolǵan TB bar.



1-súwret. Avtogeneratordın ulıwmalastırılǵan struktura sxeması (a) hám kúsheytgishtin hám TB shınjırınıń kaskad (b) jalǵanıwı

Eger sónbés garmonik terbelislerdi saqlap qalıw ushın 1, b-suwretdegi ashıq sxema shıǵıwındaǵı kernew kiriwindegi kernewge teń bolıwı zárúr ekenligin, yaǵnıy  $\underline{U}_3 = \underline{U}_1$  itibarǵa alsaq, ol halda ashıq sxemanıń kompleks uzatıw koefficiyenti tómendegine teń boladı :

$$H(j\omega) = \underline{U}_3 / \underline{U}_1 = 1, \quad (15.1)$$

yamasa

$$H(j\omega) = K(j\omega)\beta(j\omega) = K(\omega)e^{j\varphi_K(\omega)}\beta(\omega)e^{j\varphi_\beta(\omega)} = K(\omega)\beta(\omega)e^{j(\varphi_K(\omega) + \varphi_\beta(\omega))} = 1 \quad (15.2)$$

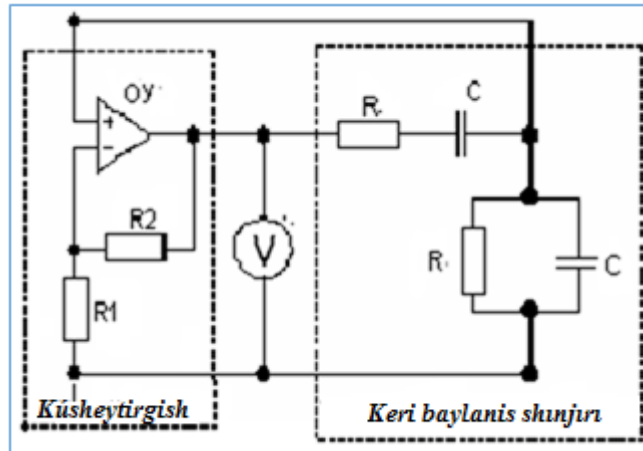
bunnan sónbés terbelisler payda etiwdin eki shárti kelip shıǵadı :

$$K(\omega)\beta(\omega) = 1; \quad (15.3)$$

$$\varphi_K(\omega) + \varphi_\beta(\omega) = 0, 2\pi, \dots, k2\pi. \quad (15.4)$$

Birinshi shárt (15. 3) *amplitudalar balansı shártı* dep ataladı hám statsionar rejimde ashıq sistemanın uzatıw koefficiyenti birge teń ekenligin ańlatadı. (15. 4) ańlatpa *fazalar teń salmaqlılıqı shártı* dep ataladı hám bul shıñır boylap ótkende birdey fazalı terbelis alınıwın ańlatadı.

Ámeliyatda, keńislik-balans shıñır -  $V_{IN}$  kópiri retinde isletiletuǵın invertorsız TBli RC-avtogenerator sxeması keń qollanıladı (2-súwret).



2-súwret. Fazobalans shıñır retinde most-Vin qollanılgan  
Invertorlamaytuǵın OK tiykarındaǵı RC-avtogenerator sxeması

Eger, uyqas túrde, RC parallel hám izbe-iz qurawshılarının kompleks qarsılıqların tómendegishe belgilesak

$$Z_1 = RQ1/j\omega C \quad i \quad Z_2 = (R/j\omega C)/(RQ1/j\omega C),$$

ol halda TB shıñırının kernewdi uzatıw kompleks koefficiyenti

$$\begin{aligned} \beta(j\omega) &= U_3/U_2 Q Z_2/(Z_1 Q Z_2) = 1/(1 Q Z_1/Z_2) = 1/[3Qj(\omega RC - 1/\omega RC)] = \\ &= 1/[3Qj(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)] = (1/3)/[1Qj(1/3)(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)] = \\ &= (1/3)G'[1QjQ(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)] = (1/3)/(1Qj\xi) = \beta(\omega e^{j\varphi_\beta(\omega)}), \end{aligned} \quad (15.5)$$

bunda  $\omega_0 = 1/RC = 1/\tau$  - kvazirezons múyesh chastotası, onıń ma`nisi generatsiya chastotasına teń;

$$f_0 = \omega_0/2\pi = 1/2\pi RC - \text{avtogenerator chastotası}; \quad (15. 6)$$

$\tau = RC$  - waqıt turaqlısı ;

$$\xi = Q(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega) = Q(f/f_0 - f_0/f) - \text{ulıwmalastırılǵan buzılıw}; \quad (15. 7)$$

$$\beta(\omega) = (1/3) / \sqrt{1 + [Q(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)]^2} = (1/3) / \sqrt{1 + \xi^2} - \text{TB shıñır AChT}; \quad (15. 8)$$

$$\varphi_\beta(f) = - \arctg [Q(f/f_0 - f_0/f)] = - \arctg \xi - \text{FChX tsepi OS.} \quad (15. 9)$$

$\beta(j\omega)$  (15. 5) baylanısıw haqıyqıylığı  $Q=1/3$  ke teń bolǵan parallel terbelis konturının baylanısıw  $Z(j\omega)$ ga uqsas bolıp tabıladı.

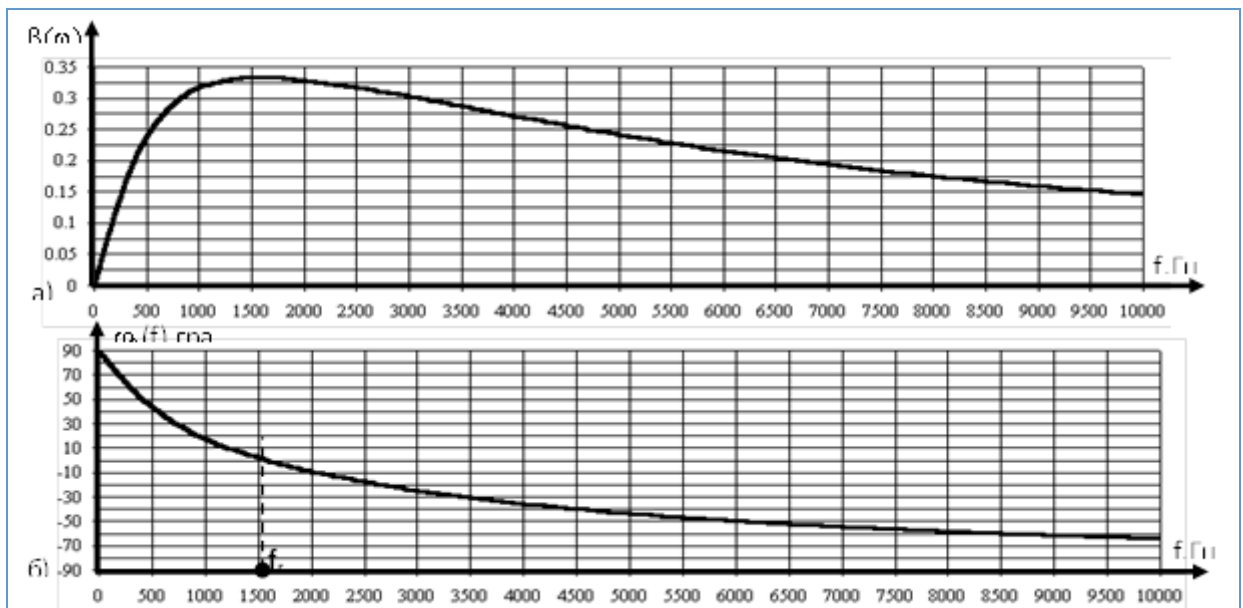
Islep shıǵıwshı terbelis chastotası  $f_0$  de TBli faza balans shıñırının uzatıw koefficiyenti  $\beta(f_0)$  maksimal bolıp (15. 5), (15. 8) ańlatpalarına tiykarınan  $\beta(f_0)=1/3$  ke teń.

Amplitudalar teńligi shártine tiykarınan, uzatıw koefficiyenti  $K(f_0)=1/\beta(f_0) = 3$  bolǵanlıǵı ushın, avtogenerator óz-óziniń oyatıwı ushın  $K(f_0)>3$  shárti atqarılıwı zárúr eken.

TB li shıñır úzilgen jaǵdayında (1, b-su'wret) kúsheytiw koefficiyenti  $K(\omega)=3$  bolǵan kúsheytingish penen  $\beta(\omega)$  AChTli TBli RC-shıñır fazajılıtıwshı shıñır payda bolǵan. Bunday sistemanın nátiyjelik AChTi qoyatuǵın ańlatpa menen anıqlanadı :

$$H(\omega) = K(\omega)\beta(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + [Q(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})]^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + [Q(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})]^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}}, \quad (15.10)$$

TB li shıñır (2-súwret) AChT hám FChTi 3-suwretde keltirilgen.



3-súwret. Joqarıdağı 2-súwretde  $R=1\text{ k}\Omega$ ,  $C=0,1\text{ mkF}$  ( $\tau=RC=100\text{ mks}$ ;  $f_0=1,592\text{ kGts}$ ) bolǵandağı TB-shıńjırdıń AChT  $\beta(\omega)$  (a) hám FChT  $\varphi_\beta(\omega)$ .

Tájiriye sonı kórsetedi, kernew boyınsha kúsheytiw koefficiyenti  $K=3,015\div3,080$  bolǵanda avtogenerator shıǵıwı daǵı kernew jaqsı sinusoidal kóriniste óz-óziniń qozǵaltıwdıń jumsaq rejimi payda boladı. Avtogeneratorda óz-ózın qozǵaltıw támiyinleniwi ushın kúsheytgishtiń kernew boyınsha kúsheytiw koefficiyenti  $K=3$  ten anaǵurlım úlken bolıwı zárúr.  $K=U_2/U_1=1QR_2/R_1$  kúsheytiw koefficiyentin alıw ushın (15. 2-súwret) bir rezistor  $R_1=1\text{ k}\Omega$  den paydalanamız,  $R_2$  rezistorı bolsa eki-ush  $2\text{ k}\Omega$  li hám  $(10\div80)\ \Omega$ li rezistorlardı izbe-iz jalǵaw jolı menen payda etemiz. Sol jaǵdayda óz-ózın qozǵaltıwdıń jumsaq jaǵdayı támiyinlenedi hám avtogenerator shıǵıwındaǵı kernew sinusoidal kóriniske iye boladı.

Avtogenerator shıǵıwındaǵı kernewdın shegaralaw dárejesi OK dın kernew deregi kernewinen shama menen  $\pm 10\%$  kishilew, yaǵnıy  $U_{\text{sheg}}=\pm 0,9U_0$ . Laboratoriya jumısı atqarılıp atırǵan stendda  $U_{\text{sheg}}=\pm 0,12\text{ V}$ . Bul jerde sonı atap ótiw zárúrki, kúsheytiw koefficiyentiniń kútá úlken ma`nisi onıń inertsiyılıǵın asa asıradı, nátiyjede avtogeneratordın generatsiyalaw chastotası óziniń teoriyalıq ma`nisi  $f_0=1/2\pi RC$  ge salıstırǵanda kútá azayıp ketiwine alıp keledi.

$V_{\text{in}}$  kópirine iye bolǵan RC-avtogenerator  $20\text{ Hz}$  den  $200\text{ Hz}$  ge shekem aralıqta isleytuǵın kóp sanlı laboratoriya generatorlarınń tiykarǵı elementleri esaplanadı. Generator chastotasınıń áste qayta ózgeriwi (mısalı  $20\div200\text{ Hz}$ ,  $200\div2000\text{ Hz}$  hám h. z. aralıqlarda ) RC-shıńjırdın eki sıyımlılıqın ózgeritiw jolı menen ámelge asırıladı. Bul eki sıyımlılıq bir oqqa iye bolǵan 2 birdey ózgeriwshen kondensatorlardan ibarat ; bir diapazonnan basqasına ótiw bul shıńjırdaǵı eki rezistordı qayta jalǵaw jolı menen atqarıladı.

## 2. Laboratoriya jumısın orınlaw ushın tapsırma :

2. 1. Shıńjır elementleriniń ( 1-keste) berilgen bahaları boyınsha generatsiya chastotası  $f_0$  in (15. 6 ) ańlatpa boyınsha esaplań. Nátiyjelerdi 2-kestege kiritiń.

Úyrenilip atırǵan sxema elementleri parametrleriniń variantları

1-keste

Variant	$R, \text{k}\Omega$	$C, \text{nF}$	Variant	$R, \text{k}\Omega$	$C, \text{nF}$
1	10	100	11	50	5
2	20	50	12	60	2
3	30	20	13	70	1
4	50	10	14	80	2
5	60	5	15	70	5
6	70	2	16	60	10
7	80	1	17	50	20

8	10	50	18	30	50
9	20	20	19	20	100
10	30	10	20	10	50

Variantqa nomerine muvapiq  $V_{in}$  kópiriniń parametri (1-kestege qarań) ózgeredi. Oǵan uyqas túrde avtogeneratordıń chastotası ózgeredi. Mısalı,  $R=10k\Omega$ ,  $C=5nF$  bolǵanda (2-súwret) sxemada generatsiya chastotası tómendegine teń

$$f_0 = 1/2\pi\tau = 1/2\pi RC = 1/(2\pi \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-9}) = 3183,1 \text{ Hz} = 3,1831 \text{ kHz}$$

2. 2. Júksiz islew rejimindegi shıńırdıń (2-súwret) AChTi hám FChTmı (15. 9 ) hámde (15. 10 ) ańlatpalar járdeminde 10 chastotada esaplań :

$$F = 0,2 \text{ kHz}; 0,2f_0; 0,5f_0; f_0; 0,8f_0; f_0; 1,2f_0; 1,5f_0; 2f_0; 4f_0; 120 \text{ kHz}.$$

Ólshew nátiyjelerin 2-kestege kiritiń.

Dáslepki esaplawlar hám eksperiment nátiyjeleri

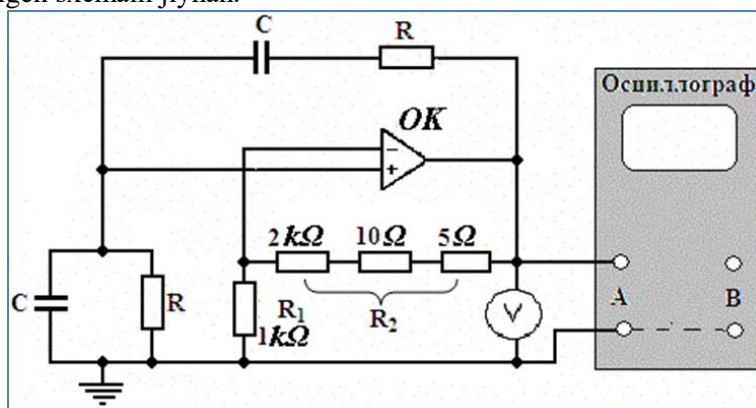
2-keste

N	Dáslepki esap					Tájritbe			
	f	$f, \text{ kHz}$	$\Xi$	H(f)	$\varphi(f), \text{ grad}$	$U_1, V$	$U_3, V$	H (f)	$\varphi(f), \text{ grad}$
1	$f_{\min}$	0,2							
2	$0,2f_0$								
3	$0,5f_0$								
4	$0,8f_0$								
5	$f_0$								
6	$1,2f_0$								
7	$1,5f_0$								
8	$2 f_0$								
9	$4 f_0$								
10	$f_{\max}$	120							

### 3. Tájiriybede alıńǵan nátiyjelerdi islew.

#### 3. 1. RC-avtogeneratordıń shıǵıw kernewi hám chastotasın ólshew

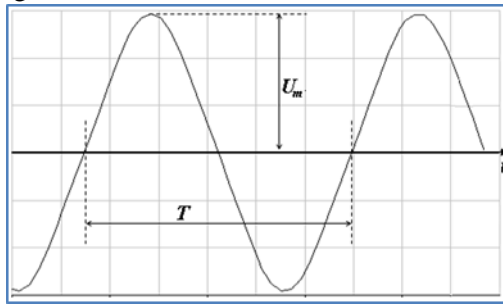
5-súwretde keltirilgen sxemanı jıynań.



5-súwret. OKli RC-avtogenerator sxeması izertlewi

Avtogeneratordıń shıǵıwındaǵı garmonik kernewdiń tásir etiwshi ma`nisin cifrlı voltmetr V menen olshenedi. Generator sxemasında qarsılıqlar R hám sıyımlılıqlar C parametrlerin 15. 1-kestedegi berilgen variant tiykarında ornatiń. Laboratoriya stendi paneliniń onı tómende jaylasqan tumblarnı búrib,

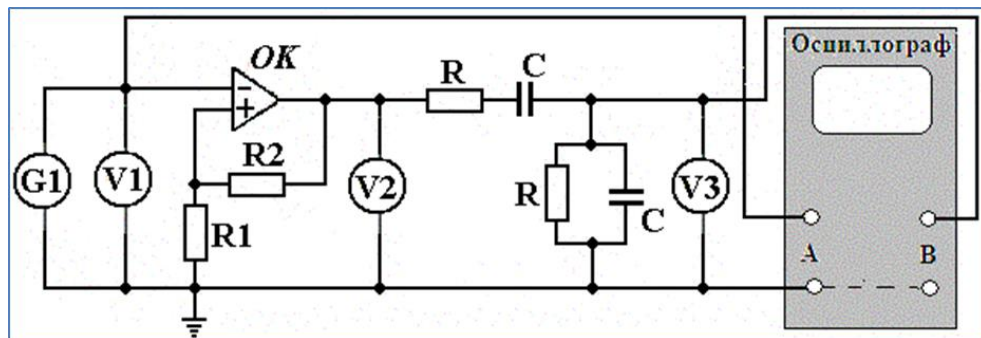
avtogenerator sxemasın derek kernewine jalǵań. Ostsillograftı jaǵıp, onıń razvyortkasi tezligi hám kúsheytiwdi ózǵertirip, generatsiyalanıp atırǵan terbelisler dáwiri  $T$  ni ólshew ushın qolay bolǵan jaǵdayǵa eriwıń (6 -súwret). Ólshengen terbelisler dáwiri  $T$  ólshengen ma`nisi boyınsha avtoterbelisler chastotası esaplanadı hám 2-kestege kiritiledi.



6 -súwret. Garmonik terbelisler dáwiri  $T$  hám amplitudasi  $U_m$  di anıqlaw  
Masshtabǵa ámel etken halda, ostsillograf ekranınan avtogeneratr kernewi grafigini sıızıp alın.

### 3. 2. Úzilgen TBli shıńjır uzatıw koefficiyentiniń AChXsi hám FChX sin ólshew

Generatsiyalanıp atırǵan terbelislerdi ólshengennen keyin, 2-súwretdegi sxemaǵa qaytıw hám kúsheytgish menen TB shıńjırınıń kaskad jalǵanǵan sxeması (1, b hám 7-súwret) AChT hám FChTnıń izertlewine ótiw zárúr.



7-súwret. Uzatıw koefficiyenti AChT hám FChTsini ólshew sxeması

7-súwretdegi sxemanı payda etiw ushın 3-súwretdegi sxemada TBni OKdan úziw jáne onı garmonik kernew generatorı G1 ge jalǵaw zárúr. 7-súwretdegi sxemada :

G1 - garmonik (sinusoidal ) kernew generatorı ;

V1 - voltmetr kirisiw kernewi tásir etiwshi ma`nisi  $U_1$  ni ólsheydi;

V3 - voltmetr shıǵıw kernewi tásir etiwshi ma`nisi  $U_1$  ni ólsheydi.

AChX ni ólshew ushın E generator chastotasın izbe-iz ornayıp

(2-keste), hár bir baha ushın  $U_1$ ,  $U_3$  hám  $\varphi$  lardıń ólshengen bahaların sol kestege kiritiń. Hár bir chastota ushın AChT dıń bahaların esaplab,  $N(f) = U_3/U_1$  olardı 2-kestege kiritemiz.

Esaplaw hám ólshew nátiyjeleri boyınsha AChT  $N(f)$  hám FChT  $\varphi(f)$  lardıń grafikların sıziń.  $\varphi(\omega)$  grafiktan paydalanıp fazalar balansı shártı atqarılatuǵın  $\varphi(f_0)q_0$  eksperimental chastota  $f_0$  ni anıqlań.  $f_0$  generatsiya chastotasınıń teoriyalıq hám tájiriybede alınıǵan bahaların salıstırıw qılıń.

Ótkerilgen izertlewler boyınsha juwmaq etiń.

### 4. Esabat mazmunı.

- 4.1. Jumıstıń maqseti.
- 4.2. Sxemalar hám esaplaw ańlatpaları.
- 4.3. 15. 2-kestege kiritilgen dáslepki esaplawlar hám eksperimentlar nátiyjeleri.
- 4.4. Úzilgen TB hám OKli ARC-avtogeneratordıń esaplaw hám eksperimental qurılǵan AChT  $H(f)$  hám FChT  $\varphi(f)$  grafikları.
- 4.5. Izertlewı atqarılıp atırǵan RC avtogeneratordıń kirisiw hám shıǵıw kernewleri grafikları.
- 4.6. Dáslepki teoriyalıq esaplawlar hám eksperiment nátiyjeleri analizinen juwmaqlar.

## 5. Qadaǵalaw sorawları.

- 5.1. RC avtogeneratorınıń (2-súwret) sxemasında  $R=1\text{ k}\Omega$ ;  $C=1\text{ pF}$  bolsa, generatsiya chastotası nege teń boladı?
- 5.2. RC avtogenerator sxemasında (2-súwret), amplitudalar teńlik shárti nege teń?
- 5.3.  $\beta=1/3$  bolǵanda amplitudalar teńlik shárti atqarılatuǵın kúsheytiw koefficiyenti  $K$  dıń ma`nisi nege teń?
- 5.4.  $K=3$  bolsa, TBli shıńjırda amplitudalar teń salmaqlılıqı shárti atqarılatuǵın TB shıńjırı uzatıw koefficiyenti  $\beta$ -dın ma`nisi nege teń?
- 5.5.2-súwretdegi faza jılıtıwshı RC-shıńjır daǵı barlıq qarsılıqlar bahaları eki ret asırılsa, avtogeneratordıń generatsiyalaw chastotası  $f_r$  qanday ózgeredi?
- Juwaplar :
- A. Eki ret artadı, B. Eki ret azayadı,  
V. Tórt ret artadı, G. Tórt ret azayadı.
- 5.6. Qanday etip avtogeneratorda (2-súwret) statsionar garmonik terbelisler payda boladı?
- 5.7. 2-súwret boyınsha avtogeneratordıń islew principin túsintiriń.
- 5.8.  $V_{in}$  kópiri bolǵan RC avtogeneratorda óz-ózin qozǵawtıw shártini aytnı.
- 5.9.  $V_{in}$  kópiri bolǵan RC avtogeneratorda islep shıǵıwshı terbelisler chastotası qanday esaplanadı?
- 5.10. Eger  $C_1 = C_2 = 7\text{ nF}$ ,  $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$  bolsa,  $V_{in}$  ko'pri menen RC avtogeneratorda islep shıǵıwshı terbelisler chastotasın esaplań.
- 5.11. Turaqlılasqan jaǵdayda amplitudalar hám fazalar teńlik shártin aytp beriń.
- 5.12. Qaysı shártler orınlanganda avtogeneratordıń óz-ózin qozǵaltıw jaǵdayı jumsaq (qattı) boladı?