

**O'ZBEKISTAN RESPUBLIKASI' BAYLANI'S,
MA'LIMLEMELESTIRIW HA'M TELEKOMMUNIKACIYA
TEXNOLOGIYALARI' MA'MLEKETLIK KOMITETI**

**TASHKENT INFORMACIYALI'Q TEXNOLOGIYALARI'
UNIVERSITETI NO'KIS FILIALI'**

KOMPYUTER INJINIRINGI FAKULTETI

«TELEKOMMUNIKACIYA INJINIRINGI» KAFEDRASI'

**«Wo'zgermeli elektr shi'nji'rlari'n laboratoriya sharayati'nda izertlew ha'm
analizlew» temasi'ndag'i'**

PITKERIW QA'NIGELIK JUMI'SI'

Wori'nladi': Telekommunikaciya
texnologiyalari' bag'dari' pitkeriwshi
4-kurs student Serjanov Q.M.

ILIMIY BASSHI:
t.i.d., a.i.x. Kaipbergenov B.T.

Pitkeriw qa'nigelik jumi'si' kafedradan da'slepki qorg'awdan wo'tti
_____ sanli' protokoli' «___» _____ 2014 j.

No'kis – 2014 j.

WO'ZBEKSTAN RESPUBLİKASI BAYLANIS, MA'LIMLEMELESTIRIW
HA'M TELEKOMMUNIKACIYA TEXNOLOGIYALARI MA'MLEKETLIK
KOMITETI

TASHKENT INFORMACIYALIQ TEXNOLOGIYALARI' UNIVERSITETI

KOMPYUTER INJINIRINGI FAKULTETI

«TELEKOMMUNUKATSIYA INJINIRINGI» KAFEDRASI'

«TASTI'YI'QLAYMAN»

Kafedra basli'g'i'

«____» _____ 2014 j.

Pitkeriw qa'niygelik jumi'si' boyi'nsha Serjanov Quwani'sh qa

TAPSI'RMA

Tema « Wo'zgeriwshi elektr shinji'rlari'n laboratoriya sharayatinda tekseriw»

Tema TITU NF «____» _____ 2014 j. buyri'g'i' menen tasti'yi'qlandi'.

Tamamlang'an jumi'sti' tapsi'ri'w mu'ddeti «____» _____ 2014 j.

Jumi'sta paydalani'latug'i'n mag'li'wmatlar: diplom a'meliyati' materiallari',
lekciya materiallari', ilimiy kitaplar ha'm internet materiallari'

Jumi'sta to'mendegi sorawlar ko`zde tuti'lg'an:

Kirisiw.

1 §. Wo'zgeriwshi tok shi'njai'rlari'ni'n' uli'wma xarakteristikolari' ha'm
olardi'n' ten'lemelerinin' zamanago'y awhali'

2 §. Wo'zgeriwshi elektr shi'njai'rlari'ndag'i' qarsi'li'q, si'yi'mli'li'q ha'm induktivlik elementlerinin' matematikalai'q an'lati'li'wi'

3 §. Rezonans ha'diyseleri ha'm real elementler jiyilikli xarakteristikalari'

4 §. Sinusoidal yemes elektr shi'njai'rlari'n yesaplaw usi'llari'

5 §. RL- ha'm RC- shi'njai'rlari'n garmonikali'q ta'sirler sharayatinda u'yreniw

6 §. Izbe-iz jalg'ang'an terbelmeli konturdi' izertlew

7 §. Wo'mir xi'zmeti qa'wipsizligi

Juwmaqlaw.

Grafikali'q materiallar dizimi: Slaydlar

Tapsi'rma berilgen sa`ne « ____ » _____ 2014 j.

İlimiy basshi' _____

qoli'

Tapst'rmani' qabi'lladi' _____

qoli'

Pitkeriw jumi'si'ni'n` baplari' boyi'nsha konsultantlar

Bo`limler ati'	Konsul`tant	Qol, sa`ne	
		Tapsi'rma berdi	Tapsi'rma aldi'
1, 2, 3, 4, 5, 6 bo`limler	B.T.Kaipbergenov		
5, 6, 7 bo`limler	B.Fayzullaev		

Jumi'sti' wori'nlaw grafigi

№	Baplar ati'	Wori'nlani'w mu`ddeti	İlimiy basshi'ni'n` qoli' (konsultant)
1.	Wo'zgeriwshi tok shi'njai'rlari'ni'n` uli'wma xarakteristikaları' ha'm olardi'n` ten'lemelerinin' zamanago'y awhali'	20.04.2014	
2.	Wo'zgeriwshi elektr shi'njai'rlari'ndag'i' qarsi'li'q, si'yi'mli'li'q ha'm induktivlik elementlerinin' matematikalai'q an'lati'li'wi'	27.04.2014	
3.	Rezonans ha'diyseleri ha'm real elementler jiyilikli xarakteristikaları'	05.05.2014	
4.	Sinusoidal yemes elektr shi'njai'rlari'n yesaplaw usi'llari'	10.05.2014	
5.	RL- ha'm RC- shi'njai'rlari'n garmonikali'q ta'sirler sharayati'nda u'yreniw	17.05.2014	
6.	Izbe-iz jalg'ang'an terbelmeli konturdi' izertlew	27.05.2014	
7.	Wo'mir xi'zmeti qa'wipsizligi	07.06.2014	

Pitkeriwshi _____

«_____»_____2014 j.

İlimiy basshi' _____

«_____»_____2014 j.

MAZMUNI'

Kirisiw	7
1 §. Wo'zgeriwshi tok shi'nji'rlari'ni'n' uli'wma xarakteristikolari' ha'm wolardi'n' ten'lemelerinin' zamanago'y awhali'	9
2 §. Wo'zgeriwshi elektr shi'nji'rlari'ndag'i' qarsi'li'q, si'yi'mli'li'q ha'm induktivlik elementlerinin' matematikali'q an'lati'li'wi'	13
3 §. Rezonans ha'diyseleri ha'm real elementler jiyilikli xarakteristikolari'	18
4 §. Sinusoidal yemes elektr shi'nji'rlari'n yesaplaw usi'llari'	27
5 §. Garmonikali'q terbelis rejimin izbe-iz RC shi'nji'ri'nda izertlew	32
6 §. Parallel jalg'ang'an terbelisli konturdi' izertlew	44
7 §. Wo'mir xi'zmeti qa'wipsizligi	53
Juwmaqlaw	59
Paydalani'lg'an a'debiyatlar	60
Qosi'mshalar.....	61

Kirisiw

Temani'n' aktualli'g'i'. Wo'zgermeli tokti'n' qollani'li'wi', bir ta'repten, wo'tip ati'rg'an processlerdin' quramalagi'wi'na ali'p kelgen bolsa, yekinshi ta'repten, elektr shi'nji'rlari'ni'n' wo'nimdarli' islewine jan'a imkaniyatlar jaratti'. 1831-jil'da Faradeyding' turaqli' tok generatori' ha'm motori'n jarati'wi' bunnan keyingi 50-60 jillarda dawami'nda sanaatti'n' keskin rawajlanishi'wi'na ta'sir ko'rsete almadi'.

Elektr shi'nji'rlari' teoriyasi' pa'ninin' tiykari'n qurag'an elektromagnit indukciyasi' ni'zami'ni'n' ashi'li'wi', wo'zgermeli toklardan payda bolatug'i'n wo'zgermeli magnit maydani'ni'n' elektr qozg'awshi' ku'shlerinin' induktivlenishi ha'diyselerinin' ashi'li'wi', 1889-jil'da wo'zgermeli elektr generatorlari', motorlari' ha'm transformatorlari' jarati'wg'a ali'p keldi. Sol sebepli, wo'zgermeli tok ha'mde kernew ma'nislerin' jen'il usil' menen transformaciyalaw, elektr energiyasi'n uzaq arali'qlarg'a uzati'w imkaniyati'n jaratti', woni'n' sanaatta ken' qollani'li'wi'na sebep boldi'. Bunda transformatorlar du'zilishinin' a'piwayi'li'g'i', wolardi'n' islewini'n' isenimlilik, paydali' jumi's koefficientinin' joqari' da'rejede yekenligi sheshiwshi a'hmiyetke iye boldi'. Sol sebepli elektr energiyasi'n uzati'w sistemalari'nda kernewdin' ma'nisin bir neshe yese wo'zgerti'w mu'mkin.

Joul-Lenc ni'zami' tiykari'nda liniyalardag'i' quwatli'li'q sarpi' tokti'n' kvadrati'na proporcional ra'wishte pa'seytirilip, paydalani'wshi'g'a jetkiziledi. Bul mi'saldan transformatorlari'n' ekonomikalig' wo'nimdarlig'i' qanshelli joqari' yekenligi ko'rinip turipti'.

Worayli'q Aziya ma'mleketlerinde wo'zgermeli tok liniyalari'ni'n' uli'wma uzi'nlig'i' mi'n'lap kilometrda quraydi'. Xali'q xojalig'i'ndag'i' tokti' jetkerip beriwshi elektr shi'nji'rlari'ni'n' a'hmiyeti ju'da u'lken. Soni'n' ishinde telekommunikaciya, axborot texnologiyalari' tarawlari'n elektr shi'nji'rlari'si'z, ko'z aldi'mi'zg'a keltire almaymiz. Joqari'da ayti'lg'anlardi', yesapqa alg'an halda elektr shi'nji'rlari'ni'n', soni'n' ishinde wo'zgermeli tok elektr shi'nji'rlari'n

real sharayatta, yag'ni'y laboratoriya sharayati'nda u'yreniw bu'gingi ku'nnin' aktual ma'selelerinen dep yesapladi'q.

Jumi'sti'n' maqseti. Usi' pitkeriw qa'nigelik jumi'si'nda wo'zgermeli elektr shi'nji'ri'ndag'i' ju'z беретug'i'n ha'diyselerdi u'yreniw, wolardi' real sharayatqa jaqi'nlasti'ri'lg'an halatlari'n ta'jiriybe wo'tkeriw arqali' izertlew, wolardi'n' funkciyalari'ni'n' grafikali'q ko'rinslerin jarati'w, ta'jiriybe (eksperiment) usi'li'nda ayi'ri'm koefficientlerin tabi'w arqali' identifikaciyalaw, kelip shi'qqan qa'teliklerdi ha'm yesaplaw usi'llari'ndag'i' ayi'rmashi'li'qti' sali'sti'ri'w ha'm analizlew ma'selesini ko'rip shi'g'i'ladi'.

Bul maqsetke yerisiw maqsetinde kelip shi'qqan qa'teliklerdi ha'm yesaplaw usi'llari'ndag'i' ayi'rmashi'li'qti' izertlewde si'zi'qli' elektr shi'nji'rlari'n izertlew laboratoriyasi' bazasi'nda, wolardi'n' matematikali'q modellerinen a'meliy paydalani'li'wi' arqali' sali'sti'ri'w ha'm analizlew **ma'seleleri** qaraladi'.

Izertlew obekti ha'm predmeti. Usi' jumi's si'zi'qli' elektr shi'ji'rlari'n izertlew laboratoriyasi' modullik a'sbabi'nan paydalai'lg'an halda, garmonikali'q ta'sirler sharayati'nda **RL**- ha'm **RC** – shi'nji'rlari', izbe-iz jalg'ang'an terbelmeli kontur izertlew predmetleri boli'p tabi'ladi'.

Izertlew usi'llari'. Obektti izertlewde identifikaciya, matematikali'q modellestiriw, sistemali' analiz elementleri, analitikali'q, eksperimental ha'm kombinaciyalang'an usi'llardan paydalani'ladi'.

1 §. Wo'zgeriwshi tok shi'nji'rlari'ni'n' uli'wma xarakteristikalari' ha'm wolardi'n' ten'lemelerinin' zamanago'y awhali'

Wo'zgermeli tok jiyiligi. Evropa ha'm Aziya ma'mleketleri energetika sistemalari'nda standart jiyilik $f = 50 \text{ Gc}$, $\omega = 2\pi \cdot f = 314c^{-1}$, Arqa Amerikada bolsa $f = 60Gc$, $\omega = 2\pi \cdot f = 367c^{-1}$ qabi'l yetilgen. [1]

Bulardan kishirek jiyilikler arnawli' jiyilikli basqari'li'wshi' elektromexanikali'q u'skenelerde qollani'ladi'.

Dawi'slar jiyiliklerinin' diapazoni' 20 Gc ten 20 kGc ke shekem boladi'. Radiotexnikada a'piwayi' qabi'l qi'li'wshi' radiolardi'n' jiyilikleri 150 kGc ten 12 MGc.ke shekem arali'qta boladi'. Ju'da' joqari' jiyilik (j.j.j.) texnikasi'nda bir neshe mi'n'lap megagerc (gigagerc)li jiyilikler qollani'ladi'. J.j.j. texnikasi'ni'n' rawajlani'wi' radiolokაციyani'n' jarati'li'wi'na ali'p keldi. Keyinirek bul jiyilikler baylani'sti'n' ha'r qi'yli' tu'rlerinde, fizikali'q baqlawlar texnikasi'nda ha'm eksperimentlerde qollani'la basladi'. Bular qatari'na radioastronomiya, elektron texnikasi', a'sirese, molekulyar elektronika kiredi.

Wo'zgermeli tok generatorlari'. Sanaatta ha'm u'y xojali'g'i'nda qollani'latug'i'n wo'zgermeli tok ko'pshilik aylanba ha'reketli mexanikali'q energiyani' elektr energiyasi'na aylandi'ri'wshi' elektr mashinalar–generatorlar (turbogeneratorlar yaki gidrogeneratorlar) ja'rdeminde ali'nadi'. Bunda genaratorlardi'n' sxematik islewi to'mende keltiriledi. Joqari' jiyiliklerdi payda yetiw ushi'n tiykari'nan yari'm wo'tkizgishli generatorlar qollani'ladi'. J.j.j. texnikasi'n toli'q u'yreniw elektr shi'nji'rlari' teoriyasi' pa'nine kirmeydi. Soni' ayti'w za'ru'r, elektr shi'nji'rlari' uli'wma teoriyasi'ni'n' ko'pshilik tu'siniklari j.j.j. texnikasi'nda da wo'z sa'wlesin tapqan.

Ko'pshilik jag'daylarda garmonikali'q wo'zgerip ati'rg'an elektr ha'm magnit ma'nisler usi' signal dereklerinde payda boladi' (mikrofonlar, astronomiyali'q obektler).

Basqa signallardi' qabi'l yetiwde tek «shawqi'm» (pomexa) si'pati'nda qarali'wshi' ko'pg'ana derekler bar: radio qabi'li'ndag'i' ha'm baylani'stag'i' atmosferadag'i' razryadlar.[2]

Wo'zgermeli tokli' elektr generatori' qozg'almaytug'i'n stator ha'm aylani'wshi' rotordan ibarat. Ko'pshilik, rotorda elektromagnitler jaylasti'ri'ladi'. Elektromagnitler wo'zek (polyus)lerden ha'm wolarg'a jaylasti'ri'lg'an qozg'alti'w woramlari'nan ibarat. Qozg'alti'w woramlari'na kontakt shen'berleri ha'm shshetkalar arqali' turaqli' tok dereginen tok uzati'ladi'. Na'tiyjede rotor wo'zekleri arqa (N) ha'm qubla (S) polyuslerdi payda yetedi. Stator wo'zegi 0,35-0,5mm qali'n'li'qtag'i' elektrotexnikali'q polat bo'leklerinen shtamplab shixtovka yetilgen boli'p, ishki cilindrlik maydani'nda stator woramlari'n (s.o.) jaylasti'ri'w ushi'n mo'lsheirlengen paz (kanalsha)lar da bar. Stator woramlari' wo'z-ara izbe-iz jalg'anadi'. Stator woramlari'ni'n' bir wo'tkizgishinde induktivlenetug'i'n E_{QK} tin' ma'nisi $e = Blv$, bunda V -stator ha'm rotor maydanlari' arasi'ndag'i' hawa arali'g'i' magnit ag'i'mi'ni'n' radial qurawshi'si'; ℓ – wo'tkizgishtin' aktiv uzi'nli'g'i'; v -rotor maydani'ni'n' si'zi'qli' tezligi. Bul elektr mashinasi'nda ℓ ha'm v ma'nisleri turaqli' bolg'anli'g'i' ushi'n E_{QK} tin' waqi't boyi'nsha wo'zgeriwi wo'tkizgish asti'ndag'i' hawa arali'g'i' magnit indukciyasi'ni'n' ma'nisine uqsas boladi'. Sinusoidal E_{QK} ti payda yetiw ushi'n (ko'pshilik sog'an qollanadi'), magnit indukciyasi' V ni'n' stator shen'beri boylap bo'listirilgenligi sinusoidal ma'niske jaqi'n boli'wi' ta'miynlenedi. Rotordi'n' bir ma'rte aylani'wi'na E_{QK} tin' r toli'q da'wiri sa'ykes keledi, bunda r -rotordi'n' jup polyusleri sani'. Yeger rotor 1 minutta p ma'rte aylansa, usi' waqi't kernewdin' $p r$ da'wirine sa'ykes keledi, demek jiyilik $f = p n / 60$ Gc.ke ten' boladi'. Turbogeneratordag'i' rotor polyusleri sani' $r=1$ bolsa, $f = 50$ Gc boli'wi' ushi'n, rotor tezligi $p=3000$ ayl/min boli'wi' za'ru'r. Iri elektr stanciyalar generatorlari'ni'n' 150-800 MVt. qa shekem bolg'an quwatli'li'qlari' ushi'n stator woramlari'ndag'i' kernew amplitudasi' bir neshe won mi'n' Volt, togi'ni'n' amplitudasi' bir neshe won mi'n' Amper boladi'.

Wo'zgermeli tok, yag'ni'y waqi'tqa baylani'sli' ra'wishte wo'zgeretug'i'n tok $i(t)$ haqqi'nda aytqanda, woni'n' menen baylani'sli' bolg'an ha'm elektr shi'nji'ri'n xarakterlewshi: kernew $u(t)$, zaryad $q(t)$, magnit ag'i'mi' $F(t)$ ha'm basqa ma'nislerdin' de waqi't boyi'nsha sonday wo'zgeriwi na'zerde tuti'ladi'. Wolar wo'zgermeli bolg'anli'g'i' ushi'n ($df/dt \neq 0$, yag'ni'y tuwi'ndi'lari' nolge ten' bolmag'anli'g'i' sebepli) induktivliklerde kernewler payda boladi', kondensatorli' bo'limshelerden bolsa toklar ag'i'p wo'tedi.[4]

Periodli' yemes ha'm periodli' wo'zgermeli ma'nisler. Yeger 1.1,a-su'wrettegi sxemada r - L shi'nji'rdi' kernewi E bolg'an turaqli' EQK deregine « K » gilt penen jalg'ansa, wondag'i' tok ma'nisi $i=const$ bolaman degenshe $i(t)$ wo'zgermelisi (1.1,b-su'wret) aperiodik wo'siwshi periodli' yemes boladi'. Yeger usi' shi'nji'r giltin (1.1,v-su'wret) T period penen t_1 waqi't arali'g'i'nda jalg'ap, t_2 waqi't arali'g'i'nda u'zip turi'lsa, periodli' sinusoidal yemes $i(t)$ togi' (1.1,g-su'wret) payda boladi'. Bunday mi'sallardi' ko'plep keltiriw mu'mkin. Biz yekinshi mi'saldag'i' si'yaqli', to'mendegi

$$f(t) = f(t + T), \quad (1)$$

$T=const$ sha'rtti wori'nlawshi' periodli' wo'zgeretug'i'n ma'nislerdi ko'riw menen sheklenemiz.

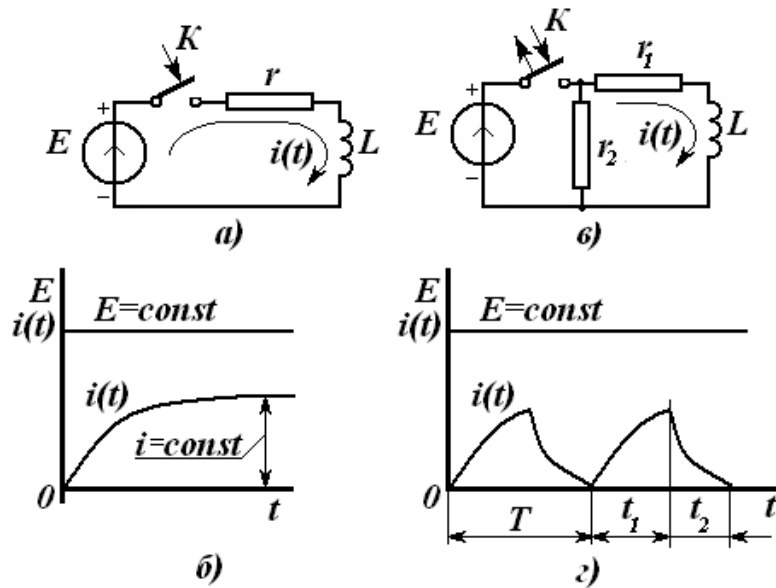
Bul (1) ten'lik soni' an'latadi', ko'rilip ati'rg'an ma'nistin' periodli' wo'zgeriwi ha'r T waqi't arali'g'i'nda (1.1,g, 1.2-su'wretler) ta'kirarlani'p turadi'; bunda T -period dep ataladi'. Period T g'a kerri ma'nis, yag'ni'y waqi't birligindegi (1 sekund) periodlar sani' bolsa

$$f = 1/T \quad (2)$$

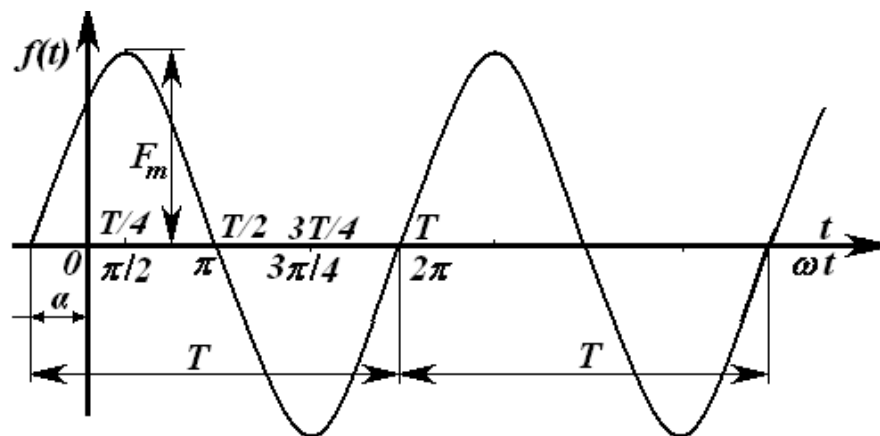
jiyilik (jiyilik) dep ataladi'. Jiyilik Gerc (Gc) birliginde wo'lshenedi. Elektr tarmag'i' kernewinin' standart jiyiligi $f = 50$ Gc.ke sol kernewdin' ha'r $T=0,02s$.ta bir ma'rte wo'zgeriwi sa'ykes keledi. Bunda a'piwayi' garmonikali'q terbelisler – sinusoidal (yaki sinusoidal yemes) wo'zgeriwshi ma'nislerdi ko'remiz (1.2-su'wret)

$$f(t) = F_m \sin(\omega t + \alpha) \equiv F_m \cos(\omega t + \alpha - \pi/2), \quad (3)$$

bunda $f(t)$ - bir zamattag'i' ma'nis; F_m -amplituda; ω - mu'yeshlik jiyilik;
 $\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2}$ - radian yaki gradusta an'lati'lg'an fazalar parqi'; α ; $\alpha - \frac{\pi}{2}$ - baslang'i'sh faza.



1.1-su'wret



1.2-su'wret

Jiyilikleri ten' bolg'an garmonikali'q funkciyalar ji'yi'ndi'si', za'ru'r bolg'anda, usi' jiyilikli garmonikali'q funkciya formasi'nda an'lati'li'wi' mu'mkin; woni'n' amplituda ha'm fazalari', hesh bolmag'anda, a'piwayi' trigonometriyalig' wo'zgerisler ja'rdeminde an'lati'li'wi' mu'mkin:[3]

$$F_{m1} \sin(\omega t + \alpha_1) + F_{m2} \sin(\omega t + \alpha_2) = F_m \sin(\omega t + \alpha),$$

bunda

$$F_m = \sqrt{(F_{m1} \sin \alpha_1 + F_{m2} \sin \alpha_2)^2 + (F_{m1} \cos \alpha_1 + F_{m2} \cos \alpha_2)^2};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{m1} \sin \alpha_1 + F_{m2} \sin \alpha_2}{F_{m1} \cos \alpha_1 + F_{m2} \cos \alpha_2} \quad (4)$$

2 §. Wo'zgermeli elektr shi'nji'rlari'ndag'i' qarsi'li'q, si'yi'mli'li'q ha'm induktivli elementlerinin' matematikali'q an'lati'li'wi'

R, C shi'nji'rda wo'zgermeli tok ha'm kondensatorda zaryadlani'w ha'm razryadlani'w procesi. Wo'zgermeli kernew deregi u kondensator S g'a jalg'ani'p, tuyi'q kontur payda yetse, shi'nji'rdan wo'zgermeli tok i ag'i'p wo'tedi. Mi'sal ushi'n, wo'zgermeli kernew generatori'na kabel tarmag'i' jalg'ang'ani'n ko'reyik. Tarmaqti'n' izolyaciyalang'an wo'tkizgishleri arasi'nda elektr maydani' payda boladi', wo'tkizgishlerde bolsa arti'qsha zaryadlar toplami' payda boladi': potentsiali' joqari'raq bolg'an wo'tkizgishte won' zaryadli' q ha'm to'menireginde - teris zaryadli' $-q$. Bunda zaryadti'n' ma'nisi si'yi'mli'li'q ha'm kernewdin' ko'beymesine ten': [3,5]

$$q = Cu_s = Su.$$

Kondensator elektr maydani' energiyasi'ni'n' wo'zgeriwi

$$w = w_{\mathcal{C}} = \frac{Cu^2}{2} = \frac{qu}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

(5)

generator ha'm zaryadlani'p ati'rg'an kondensator arasi'ndag'i' *energiya almasi'wi'* menen baylani'sli'. Generatoridan ha'r bir zamatta uzati'li'p ati'rg'an quwatli'li'q, yag'ni'y woni'n' bir zamattag'i' ma'nisi tok ha'm kernewler bir zamattag'i' ma'nislerinin' ko'beymesine ten':

$$p = ui = dw_{\mathcal{C}} / dt. \quad (6)$$

Quwatli'li'qti'n' joqari'da keltirilgen i'xti'yari'y baylani'slari'nan soni' ko'riw mu'mkin, wol kernew jiyiliginen yeki ma'rte u'lken bolg'an jiyilik penen wo'zgeredi yeken:

$$p = u \cdot i = -C\omega U_m^2 \cos \omega t \cdot \sin \omega t = -\frac{CU_m^2}{2} \omega \cdot \sin 2\omega t. \quad (7)$$

L ha'm r shi'nji'rda wo'zgermeli tok. Yeki wo'tkizgishli l uzi'nli'qtag'i', uzi'nli'q birliginin' qarsi'li'g'i' r_0 ha'm induktivligi L_0 bolg'an hawa liniyasi'n ko'reyik. Liniya basi'nda generator jalg'angan, aqi'ri'nda bolsa qi'sqa tutasqan bolsi'n. Bunday liniya qarsi'li'g'i' $r = r_0 \cdot l$, induktivligi $L = L_0 \cdot l$ g'a ten' bolg'an izbe-iz r ha'm L shi'nji'rda'n' wo'zgermeli tok generatori'na jalg'ang'an sxemasi'n an'latadi'.

Yeger liniyadan $i = I_m \sin \omega t$ togi' ag'i'p wo'tip ati'rg'an bolsa, wonda generatordi'n' kernewi to'mendegishe

$$u = u_r + u_L = ir + L di/dt \quad (8)$$

yaki

$$u = I_m \cdot r \cdot \sin \omega t + I_m \cdot L \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \quad (9)$$

boladi'.

Yeki garmonikali'q funkciyani'n' ji'yi'ndi'si' ushi'n joqari'da keltirilgen trigonometriyalik wo'zgertiwlerdi qollani'p, generator kernewi

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi),$$

ha'm amplitudasi'

$$U_m = I_m \sqrt{r^2 + (\omega L)^2} \quad (10)$$

boladi'. [3,7]

Kernewdin' fazasi' toktan φ mu'yeshke ilgerilep ketedi, bunda

$$\operatorname{tg} \varphi = \omega L / r. \quad (11)$$

Quwatli'li'q. Generatordan shi'nji'rg'a uzati'li'p ati'rg'an quwatli'li'qti'n' bir zamattag'i' ma'nisi tok ha'm kernewler bir zamattag'i' ma'nislerinin' ko'beymesine ten':

$$p = u \cdot i = U_m \sin(\omega t + \varphi) \cdot I_m \sin \omega t = \frac{1}{2} U_m I_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]. \quad (12)$$

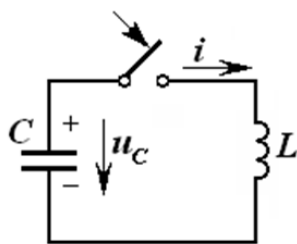
Bul ten'liktin' won' ta'repinen sol belgili boladi', quwatli'li'qti'n' qurami'nda turaqli' qurawshi'si' bar yeken. Woni'n' ma'nisi bolsa wortasha quwatli'li'qqa ten':

$$P = \frac{1}{2} U_m I_m \cos \varphi = UI \cos \varphi.$$

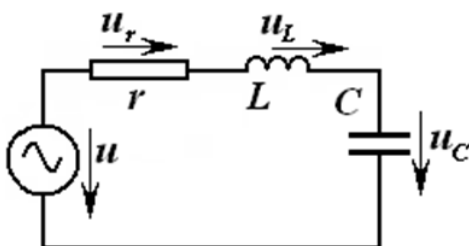
Bul baylani'sti' kernew ha'm toklari' arasi'ndag'i' fazalar parqi' φ g'a ten' bolg'an barli'q shi'nji'r quwatli'li'qlari' ushi'n qollaw mu'mkin.

L, r, C- konturda wo'zgermeli tok. Rezonans. Qurami'nda induktivlik (L) penen birge si'yi'mli'li'q (C) bolg'an wo'zgermeli tok shi'nji'rlari'n u'yreniw wo'zgeshe qi'zi'g'i'wshi'li'q woyatadi', sebebi L ha'm C elementleri terbelmeli kontur payda yetedi: si'yi'mli'li'qtag'i' energiya $w_c = Cu_c^2/2$ kemeyiw momentinde, induktivlik katushkadag'i' energiyani'n' $w_m = Li^2/2$ tap sonday arti'wi'n ko'remiz, periodti'n' keyingi yari'mi'nda bul process kerisine wo'zgeredi. Aldi'nnan zaryadlang'an kondensatorli' L - C kontur (2.1,a-su'wret) ideallasti'ri'lg'an - i'srapsi'z ($r=0$) bolsa, gilt jalg'ang'annan son' «so'nbes» terbelisler payda boladi'. Su'wrette tan'lang'an won' tok bag'i'ti' kondensatordi'n' razryadlani'wi'na sa'ykes keledi, soni'n' ushi'n

$$i = -C du_c / dt. \quad (13)$$



2.1.a, -su'wret



2.1.b-su'wret

Biraq Kirxgofti'n' kernewler ni'zami' tiykari'nda, i'xti'yari'y tan'lap ali'ng'an wonda kondensatordagi' kernew (u_S) mug'dari' induktivliktegi (u_L) kernewge ten' boli'wi' sha'rt $u_S = u_L = L di/dt$; soni'n' ushi'n tokti' (13)tegi u_S arqali' an'latsaq, to'mendegini ani'qlaymiz:[3,6]

$$u_C = -LC \frac{d^2 u_C}{dt^2}. \quad (14)$$

Bul ten'lemege to'mendegi garmonikali'q funkciya sa'ykes keledi

$$u_C = U_0 \cos \omega_0 t, \quad (15)$$

bunda U_0 - kondensatordi'n' baslang'i'sh waqi't ushi'n kernewinin' ma'nisi $U_C(0) = U_0$.

$$U_0 \cos \omega_0 t = LC \omega_0^2 U_0 \cos \omega_0 t,$$

bunnan yekenligi belgili boladi', quwatli'li'q jog'alti'wi' bolmag'an shi'nji'rdagi' yerkini garmonikali'q terbelistin' jeke mu'yesh jiyiligi to'mendegishe ani'qlanadi':

$$\omega_0^2 LC = 1$$

yaki

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (16)$$

Real shi'nji'rlarda aktiv qarsi'li'q bar ($r \neq 0$) boli'p, sarplani'p ati'rg'an energiya sarpi' bolg'ani' sebepli, terbelisler so'niwshen' boladi'. Qurami'nda L , r , C bolg'an izbe-iz jalg'ang'an kontur, ω jiyilikli garmonikali'q kernew deregine jalg'ang'an; kernew jiyiligi ω konturdi'n' jeke jiyiligi ω_0 g'a ten' bolg'an $\omega = \omega_0$ (rezonans) halati'n (2.1,b-su'wret) ko'reyik. Bunda L ha'm C elementlerde, joqari'da keltirilgenindey, terbelisler payda boladi'; r qarsi'li'qtag'i' energiya sarpi' bolsa derekten kelip ati'rg'an energiya yesabi'nan kompensaciyalanadi'.

Konturda $\omega = \omega_0$ (yag'ni'y, $\omega^2 LC = 1$ yaki $\omega L = 1/\omega C$) bolg'anda, induktivlik ha'm si'yi'mli'li'qtag'i' kernew ha'mme waqi't bir-birin kompensaciyalaydi', sol sebepli derektin' ha'mme kernewi qarsi'li'q r g'a qoyi'lg'an boladi', yag'ni'y $u = u_r$. Bul jag'daydi' shi'nji'rdi'n' uli'wma ten'lemesinen ko'riw mu'mkin:

$$u = u_L + u_r + u_C = L \frac{di}{dt} + ri + U_C. \quad (17)$$

2.1,b-su'wrettegi shi'nji'rda tok $i = Cdu_c / dt$, sebebi joqari'da saylang'an tokti'n' won' bag'i'ti'nda tok kondensatordi' zaryadlaydi' ha'm woni'n' kernewin ko'beytedi.

(17) ten'lemenin' won' ta'repindegi ma'nislerdi kondensator kernewi arqali' an'latsaq, to'mendegi ten'lemeni payda yetemiz:[6,10]

$$u = LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \frac{du_c}{dt} + u_c. \quad (18)$$

Si'yi'mli'li'qti'n' kernewin $u_c = U_{cm} \cos \omega t$ dep ali'p ten'lemeni differenciallasaq, to'mendegi sheshimlardi alami'z:

$$\left. \begin{aligned} u_L &= -LC\omega^2 U_{cm} \cos \omega t; \\ u_r &= -r\omega C U_{cm} \sin \omega t. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Kirxgofti'n' kernewler ni'zami'na muwapi'q, derek kernewi u'sh elementtin' kernewlerinin' ji'yi'ndi'si'na ten':

$$u = U_m \cos(\omega t + \beta) = U_{cm} (1 - LC\omega^2) \cos \omega t - U_{cm} r\omega C \sin \omega t. \quad (20)$$

Rezonans bolg'anda $U_L + U_C = 0$, yag'ni'y $1 - LC\omega^2 = 0$ bolg'ani' ushi'n derektin' kernewi qarsi'li'q r tag'i' kernewge ten':

$$u = u_r = -U_{cm} r\omega C \cdot \sin \omega t. \quad (21)$$

Sol sebepli, kondensatordag'i' kernewdin' amplitudasi' menen derek kernewinin' amplitudasi' to'mendegi baylani'sta boladi':

$$U_m = U_{cm} \cdot r \cdot \omega \cdot C. \quad (22)$$

Bul an'latpadan radiotexnikani'n' tiykari' bolg'an sonday a'jayi'p juwmaqqa klinedi: $r\omega C$ ni'n' ma'nisi birden kishi (yag'ni'y $r\omega C < 1$) bolg'anda kondensatordag'i' kernew amplitudasi' derek kernewinin' amplitudasi'nan bir neshe ma'rte, ayi'ri'm waqi'tlarda wonlap, ju'zlep ma'rte u'lken boladi'.

Terbelis sistemasi'nda terbeliwshi ku'sh jiyiligi jeke jiyilikke ten' bolg'andag'i' ($\omega = \omega_0$) terbelistin' bir qa'lipke ju'da' u'lken amplitudalarg'a shekem (rezonans) asi'p bari'wi'n a'piwayi' a'tko'nshek mi'sali'nda ha'r birimiz ko'rgenbiz. Aldi'n, kishi ku'sh ta'sirinde terbelmeli sistema ten'salmaqli'li'q halati'nan azg'ana awi'si'wi' ko'riledi. Periodli' bolg'an ku'sh (jeke jiyilik penen bir taktte) ta'sirinde terbelisler amplitudasi' arti'p baradi'. Rezonans sistemalari' amplitudalari'ni'n' arti'p bari'wi' tap sonday kishi ku'shler ta'sirinin' ji'ynali'w procesine uqsas boladi'.

3 §. Rezonans ha'diyseleri ha'm real elementler jiyilikli xarakteristikalar

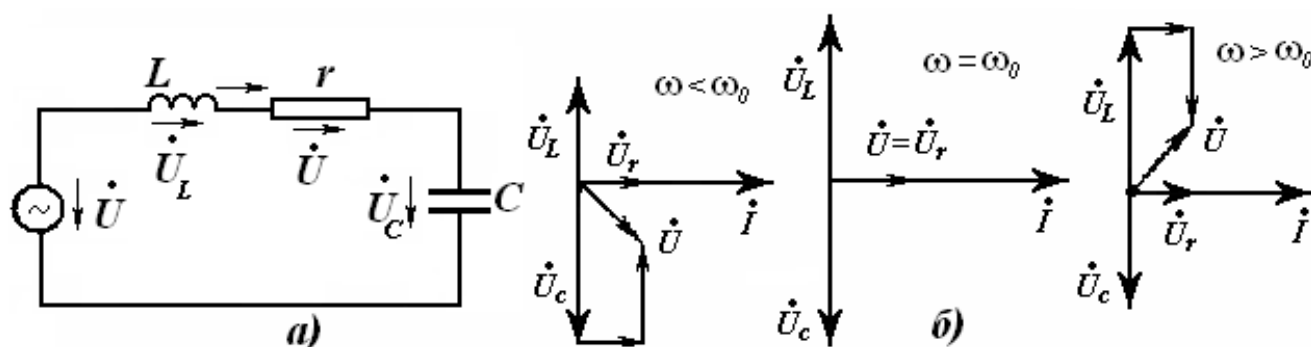
Rezonans ha'diyselerinin' analizi. Rezonans ha'diysesi bir neshe tu'rde ta'riypleniwi mu'mkin. Wolardan biri boyi'nsha S ha'm L elementlerge iye bolg'an berilgen passiv yeki polyusliktin' kiriw bo'liminde kernew fazasi' φ_u ha'm tok fazasi' φ_i sa'ykes kelse, yag'ni'y $\varphi_u - \varphi_i = \varphi = 0$ bolsa, rezonans xa'diysesi bar boladi'; bunda bul yeki polyuslik si'rttan reaktiv quwatli'li'q almaydi' ($\varphi = 0$). Bunday rezonans energetikali'q yaki fazali' rezonans delinedi. Rezonansti'n' bunday ta'riypi elektrotexnikada ken' qollani'ladi'.

Yekinshi ta'riyp informaciyali'q texnologiyalar tarawi'na ko'birek sa'ykes keledi. Wog'an ko're, rezonans ha'diysesi S ha'm L passiv elementleri bolg'an shi'nji'rg'a si'rttan berilip ati'rg'an kernew yaki tokti'n' mu'yeshlik jiyiligi ω shi'nji'rdi'n' jeke (rezonans) jiyiligi ω_0 ge ten' bolg'anda baqlanadi'. Bunday rezonans radiotexnikali'q (tolqi'n) rezonans dep ataladi'. Bul yeki tu'rli ta'riyplenip ati'rg'an ha'diyse negizinde bir jag'day, yag'ni'y $\varphi_u - \varphi_i = \varphi = 0$ bolg'anda $\omega = \omega_0$ di' ko'riw mu'mkin.

Kernew rezonansi'. SHi'nji'rda L , r , C elementler izbe-iz (6,a-su'wret) jalg'ang'andag'i' rezonans usi'lay ataladi'. [5,11]

Bul izbe-iz jalg'ang'an shi'nji'rdag'i' tok to'mendegishe ani'qlanadi':

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + j(x_L - x_C)} = \frac{\dot{U}}{r + jx}, \quad (23.a)$$



3.1-su'wret

yaki

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}},$$

(23.b)

bunda $x = x_L - x_C = \omega L - 1/\omega C$.

Rezonans bolg'anda derek kernewinin' mu'yeshlik jiyiligi jeke mu'yesh jiyiligine ten' boladi':

$$\omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC},$$

(24)

passiv elementlerdin' togi' wo'zinin' maksimal ma'nisine yerisedi

$$I_{max} = U/r \quad (25)$$

ha'm $x = 0$ bolg'anli'g'i' ushi'n kiristegi kernew φ_u ha'm tok φ_i fazalari' sa'ykes boladi'. Bul halat 6,b-su'wrettegi vektor diagrammalarda sa'wlengen. Ten'lik (25) ten soni' an'law mu'mkin, rezonansqa yerisiw ushi'n yaki derek kernewinin' jiyiligi ω ni', yaki konturdi'n' L ha'm S (yag'ni'y x_L ha'm x_C) reaktiv parametrleri (yaki jeke jiyiligi ω_0) ma'nislerin wo'zgertip yerisiw mu'mkin yeken.

Tok I , kernew (U_L yaki U_C)lerdi'n' ω g'a baylani'sli'li'g'i' L yaki C lardi'n' rezonans funkciyalari' (iymek si'zi'qlari') delinedi. Bul funkciyalardi'n' sali'sti'rmali' jiyilik arqali' an'latpalari' ko'birek qollani'ladi':

$$\eta = \omega / \omega_0 = \omega \sqrt{LC} . \quad (26)$$

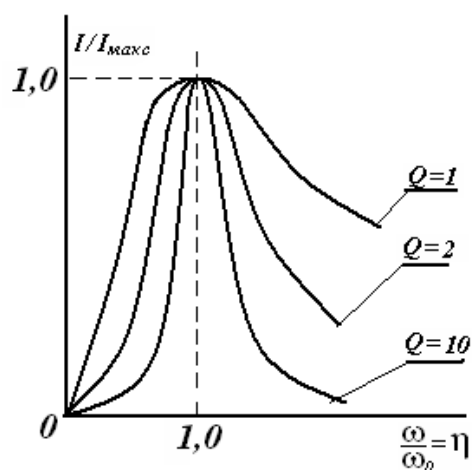
Rezonans konturdi'n' a'hmiyetli parametrlerinen biri – ku'shlengenlik (Q) yesaplanadi'. *Ku'shlengenlik dep elementlerden birinin' reaktiv qarsi'li'g'i' (yag'ni'y $\omega_0 L$ yaki $1/\omega_0 C$)ni'n' wog'an izbe-iz jalg'ang'an aktiv qarsi'li'qqa qatnasi'na ayti'ladi':*

$$Q = \omega_0 L / r = 1/(\omega_0 C r) = \rho / r . \quad (27)$$

Bul ten'likdin' ali'mi'nda konturdi'n' xarakteristikali'q qarsi'li'g'i' ρ keltirilgen. Woni'n' ma'nisi

$$\rho = \sqrt{L/C} . \quad (28)$$

Berilgen kontur rezonans funkciyalari'ni'n' sali'sti'rmali' birliktegi ko'rinishleri woni'n' ku'shlengenligine baylani'sli' (3.2-su'wret). Biraq bul baylani'slar ma'selenin' mazmuni' ($\omega = \omega_0$ bolg'anda tokti'n' maksimum I_{max} g'a yerisiwin) ko'rsetkeni menen, I_{max} ni'n' absolyut ma'nisi qanday wo'zgeriwin ani'qlamaydi'. Soni'n' ushi'n, $I(\omega)$ baylani'sta tokti' absolyut ma'niste alatug'i'n bolsaq, Q di'n' u'lken ma'nislerinde ha'm $\omega \neq \omega_0$ de I di'n' ma'nisi bir neshe amperdi qurasa da, $\omega = \omega_0$ bolg'andag'i' I_{max} di'n' ma'nisi wonlap, geyde bolsa ju'zlep amperge shekem jetiwi mu'mkin.[4,12]



3.2-su'wret

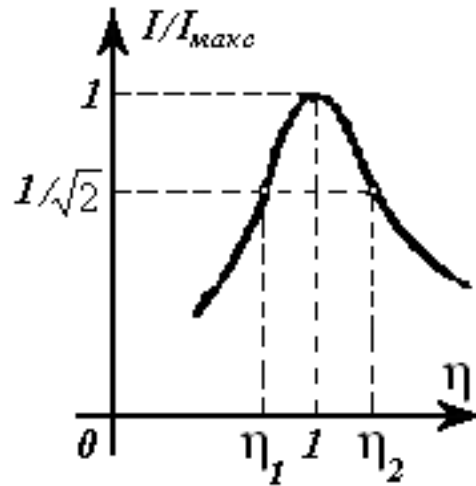
Ten'lik (23.b) ke wo'zgermeli η ha'm parametr Q di' kiritsek, tokti'n' uli'wmalasti'ri'lg'an rezonans funkciyasi'n ani'qlaymi'z:

$$I = \frac{U}{r \sqrt{1 + \frac{1}{r^2(\eta\omega_0 L - 1/\eta\omega_0 C)^2}}} =$$

$$= \frac{I_{max}}{\sqrt{1 + Q^2 \cdot (\eta - 1/\eta)^2}}. \quad (29)$$

Payda bolg'an ten'lik, ha'mde 3.2-su'wrette keltirilgen baylani'slardan soni' an'law muvin, konturdi'n' ku'shlengenligi qanshelli u'lken bolsa , tokti'n' rezonans iymek si'zi'g'i' sonshelli tik boladi' ha'm I_{max} sonshelli u'lken boladi'.

Konturdi'n' ja'ne bir a'hmiyetli ma'nislerinen biri, rezonans funkciyasi' ken'ligi yaki konturdi'n' uzati'w ken'ligi dep atalg'an $\Delta\eta$ shama yesaplanadi'. Wol tokti'n' ma'nisi $I_{max}/\sqrt{2}$ bolg'andag'i' η_2 ha'm η_1 jiyilikler parqi'na ten' (8-su'wret). Bunda konturdi'n' kompleks qarsi'li'g'i' rezonanstag'i' $Z_{min} = r$ minimal qarsi'li'qqa sali'sti'rg'anda $\sqrt{2}$ ma'rte u'lken boladi'.



3.3-su'wret

Ten'lik (29) dan $I_{max}/I = \sqrt{2}$ dep yesaplap η_1 ha'm η_2 lardi'n' ma'nislerin ani'qlaymi'z

$$\sqrt{2} = \sqrt{1 + Q^2(\eta_{1,2} - 1/\eta_{1,2})^2}$$

yaki

$$1 = \pm Q(\eta_{1,2} - 1/\eta_{1,2}), \quad (30)$$

bolg'andag'i' won' belgi η_2 ni'n' ma'nisine, teris belgi bolsa η_1 ma'nisine sa'ykes keledi. Solay yetip,

$$\eta_2 - 1/\eta_2 = 1/Q$$

ha'm

$$\eta_1 - 1/\eta_1 = -1/Q \quad (31)$$

Bul ma'nislerdin' ji'yi'ndi'si'n yesaplap, to'mendegini ani'qlaymi'z:

$$\eta_1 + \eta_2 - (\eta_1 + \eta_2)\eta_1\eta_2 = 0$$

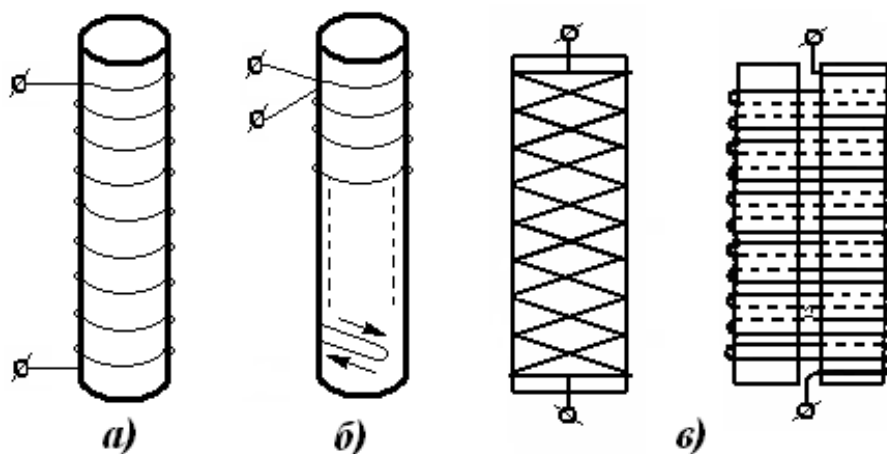
wonnan

$$\eta_1 \cdot \eta_2 = 1 \quad \text{yaki} \quad \omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}, \quad (32)$$

yekenligi belgili boladi'. Demek rezonans jiyiligi ω_0 uzati'w ken'ligi shegarali'q jiyiliklerinin' wortasha geometriyali'q ma'nisine ten'.

Qarsi'li'q. A'piwayi' si'mli' rezistorlarda (9,a-su'wret) yaki reostatlarda, sali'sti'rmali' kishi jiyiliklerde de, sezilerli induktivlik payda boladi'; bug'an sebep - si'm woramlari'ndag'i' magnit maydani' yesaplanadi'. Magnit maydani'n kemeytiriw ushi'n bifilyar woramlardan paydalani'ladi' (9,b-su'wret); bul jag'dayda konturdag'i' magnit ag'i'mi' ju'da' kishi boladi', sebebi qon'si' wo'tkizgishtegi tok keru bag'i'tlang'an. Biraq, bunday si'm worawda wolar arasi'ndag'i' si'yi'mli'li'q sezilerli da'rejege artadi'; a'sirese si'mli' rezistordi'n' kiriw ha'm shi'g'i'w klemmalari' jaqi'n jaylasqanda, tap sol jerde kernew yen' u'lken ma'niske iye, sol sebepli joqari' jiyiliklerde bifilyar qarsi'li'qlar qollani'lmaydi'. 9,v-su'wrette induktivlik ha'm si'yi'mli'li'q sali'sti'rmali' kishi bolg'an joqari' jiyilikli si'mli' rezistorlar keltirilgen. Wo'tkizgishtin' uli'wma uzi'nli'g'i'n kemeytiriw ushi'n joqari' sali'sti'rma qarsi'li'qqa iye bolg'an arnawli' metall quymalar qollani'ladi'. Bunda imkan bari'nsha qarsi'li'qlari' temperaturag'a baylani'sli' bolmag'an quyi'lmalar qabi'l yetiledi.

Joqari' jiyilikler texnikasi'nda (radiotexnika, elektronika) arnawli' quramg'a iye bolg'an (uglerod massalari', yari'm wo'tkiziwshi keramika ha'm t.b.) si'msi'z rezistorlar qollani'ladi'; u'lken qarsi'li'q, kishi wo'lshemleri ha'mde sali'sti'rmali' u'lken magnit ag'i'mlari'ni'n' joqli'g'i' sebepli wolarda induktivlik derlik bolmaydi' dep yesaplaw mu'mkin.



3.4-su'wret

Biraq, elektromagnit maydan payda yetip ati'rg'an induktivlik ha'm si'yi'mli'li'qtan bo'lek, wo'tkizgishlerdegi qarsi'li'q ta jiyilikke baylani'sli'. Ma'selen, turaqli' tok ag'i'p ati'rg'andag'i' qarsi'li'qtan (ol ko'binese "Omli'q" qarsi'li'q delinedi), wo'zgermeli tok aqqandag'i' wo'lshengen aktiv qarsi'li'qtan ko'p parq qi'ladi'. Bug'an "maydan effekti" u'lken ta'sir yetedi; turaqli' tok wo'tkizgishtin' kesim maydani'na sali'sti'rg'anda tegis bo'listiriledi; wo'zgermeli tok bolsa wo'tkizgish kesim maydani'ni'n' shetki bo'leklerinde bo'listiriledi. Woni'n' ishki qatlamlari' wo'tkizgish betindegi wo'tkeriw qatlamlari' menen "ekranlanadi'", tez wo'zgerip ati'rg'an magnit ag'i'm wo'tkizgishtin' ishki bo'limlerine "sin'iw"ge u'lgermeydi. Na'tiyjede, wo'tkizgish betindegi magnit maydan kernewliligi wo'tkizgish ishinde magnit maydan kernewliliginen u'lken boladi', demek tokti'n' ti'g'i'zli'g'i' da wo'tkizgish betinde u'lken boladi'. [5,13]

Si'yi'mli'li'q. Ekvivalent elektr sxemasi'nda bul qurawshi'lardi' yeki izbe-iz jalg'ang'an elementlerdegi kernewler dep qabi'l yetiw mu'mkin; biri taza aktiv qarsi'li'q r dag'i', yekinshisi - ideal kondensator $S_{izbe-iz}$ dag'i' kernewler boli'p tabi'ladi'. Ha'r yeki jag'daydag'i' tok I ha'm kernew U lar birdey boli'p, wolar arasi'ndag'i' faza mu'yeshi $(\frac{\pi}{2} - \delta)$ g'a ten', ku'shlengenlik bolsa Q_c boladi'. Aji'rali'p shi'g'i'p ati'rg'an quwatli'li'q

$$P = UI_a = U_a I = U \cdot I \cdot \sin \delta \quad (33)$$

g'a ten' boladi'.

Parallel almasti'ri'w sxemasi'nda (3.4,b-su'wret)

$$tg \delta = 1/Q_c = I_a / I_p = G / \omega C_{nap} = 1 / \omega C_{nap} R. \quad (34)$$

Izbe-iz ha'm parallel ekvivalent sxemalar parametrleri wo'z-ara baylani'si'n ku'shlengenlik ha'm $tg \delta = 1/Q_c$ arqali' an'lati'w qolayli'li'q tuwdi'radi':

$$C_{\kappa em} = C_{nap} (1 + tg^2 \delta);$$

$$r = R / (1 + Q_C^2).$$

(35)

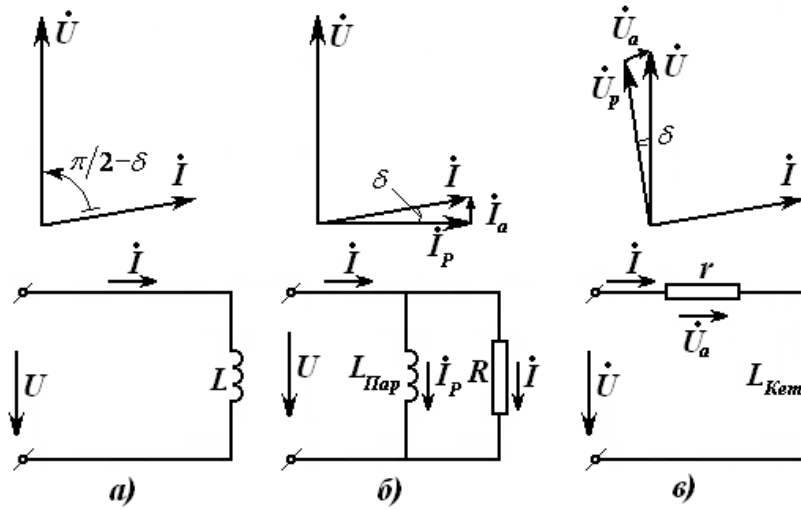
Ko'pshilik, kondensatorlarda $tg \delta < 0,1$, yag'ni'y $Q_c > 10$; bunda 1% dan kishi qa'telikte to'mendegini qabi'l yetiw mu'mkin:

$$C_{ket} = C_{par} \text{ ha'm } r = Rr = Rtg^2 \delta. \quad (36)$$

Real kondensatorlardag'i' ku'shlengenlik ma'nisi ko'binese mi'n'lar ha'm won mi'n'lardi' du'zedi.[5,13]

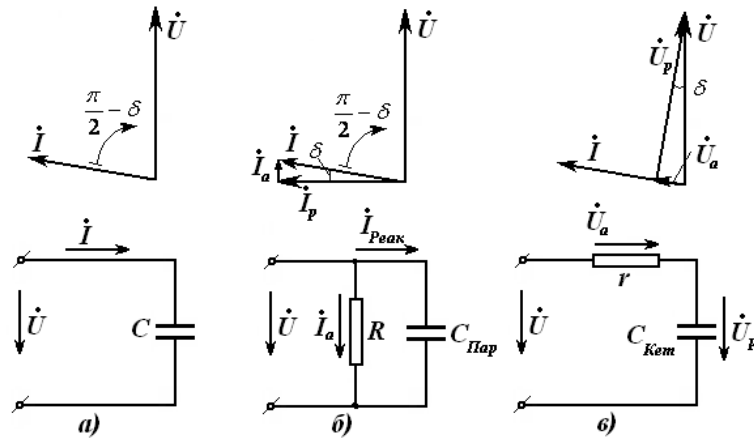
Induktivlik. Ferromagnit wo'zegi bolg'an induktivlik katushkasi' ha'mde woni'n' kernewi ha'm togi' vektor diagrammasi' 10,a-su'wrette keltirilgen. 10,b-su'wrette bolsa tokti'n' aktiv ha'm reaktiv qurawshi'larg'a aji'rati'lg'an vektor diagrammasi' ko'rsetilgen; sol jerde yeki parallel bo'limsheleri bolg'an ekvivalent sxema da keltirilgen: tokti'n' aktiv qurawshi'si' ag'i'wi' boljani'p ati'rg'an $R=1/G$ aktiv qarsi'li'q; tokti'n' reaktiv qurawshi'si' ag'i'wi' shamalani'p ati'rg'an L_{par} sap reaktiv bo'limshesi. Kernewi aktiv ha'm reaktiv qurawshi'larg'a aji'rati'lg'an vektor diagrammasi' ha'mde izbe-iz jalg'ang'an r ha'm $L_{izbe-iz}$ elementli ekvivalent sxemani' qaraymi'z.

3.5-su'wrette quri'lg'an barli'q almasti'ri'w sxemalari' ha'm diagrammalar 3.6-su'wrette keltirilgen almasti'ri'w sxemalari' ha'm diagrammalarg'a uqsas yesaplanadi'. Ha'r bir almasti'ri'w sxemasi'nda $\dot{U}$, $\dot{I}$, δ , Q_L ha'm sarplani'p ati'rg'an quwatli'li'q birdey [(33) ke qaran'].



3.5-su'wret

Parallel ha'm izbe-iz almasti'ri'w sxemalari'ni'n' parametrlari ushi'n keltirilgen baylani'slarda wo'zgerissiz boladi'.



3.6-su'wret

Parallel almasti'ri'w sxemasi'nda

$$\operatorname{tg} \delta = 1 / Q_L = I_a / I_p = \omega L_{nap} / R ; \quad (37)$$

$$\omega L_{nap} = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \times U / I ; \quad (38)$$

$$R = \frac{U}{I} \frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}}{\operatorname{tg} \delta} . \quad (39)$$

Parallel ha'm izbe-iz ekvivalent sxemalardag'i' parametrlardi sali'sti'ri'p to'mendegilerdi ani'qlaymi'z:

$$L_{nap} = L_{kem} (1 + \operatorname{tg}^2 \delta) \quad (40)$$

$$r = Rtg^2\delta / (1 + tg^2\delta) \quad (41)$$

Yeger $tg\delta < 0,1$, yag'ni'y $Q_L > 10$ bolsa, wol jag'dayda 1% dan kishi bolg'an qa'telik ushi'n to'mendegishe jazi'w mu'mkin:

$$L_{nap} = L_{kem}; \quad r = R \cdot tg^2\delta. \quad (42)$$

Real induktivlik katushkalari'nda ku'shlengenlik wonlap ha'm ju'zlep birliklerge ten' boladi'. Yeger katushka wo'tkizgishlerdi islew procesinde qi'zi'wdan qorg'ap suwi'ti'lsa yaki si'mlardi' asa wo'tkiziwshen'lik da'rejesine jetkizilse (bul xa'zirgi zaman ilim ha'm texnikasi' ushi'n wori'nlaw imkani' bar ma'sele), wol jag'dayda ku'shlengenliktin' ma'nisin ja'ne de asi'ri'w mu'mkin.

Wo'zekte magnit polyarizaciyasi' bolg'an halat ushi'n, aldi'n kondensator ushi'n ko'rilgendey, induktivlikti jiyilikg'a baylani'sli' bolg'an kompleks ma'nis dep qaralsa, geyde ta'jiriybege jaqi'n na'tiyjelerge yerisiw mu'mkin:

$$\tilde{L} = Le^{-j\delta} = L_0 / (1 + j\omega\tau). \quad (43)$$

4 §. Sinusoidal yemes elektr shi'nji'rlari'n yesaplaw usi'llari'

Quramali' garmonikali'q toklar. Quramali' garmonikali'q funkciyani'n' ju'da' a'hmiyetli tu'rlerinen biri - amplitudasi' garmonikali'q ni'zamli'li'qta modulyaciyalanatug'i'n garmonikali'q terbelisler yesaplanadi', ma'selen $u = U_0(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t$, bunda m -modulyaciya ken'ligi (ko'binese, $m < 1$); ω - tiykarg'i' yaki uzati'wshi' jiyilik, $\Omega \ll \omega$ - modulyaciya jiyiligi. Modulyaciyalani'p ati'rg'an terbelisler amplitudasi' wo'zgeriwinin' ni'zami' modulyaciyalani'p ati'rg'an signal tu'rine baylani'sli'. A'piwayi' garmonikali'q modulyaciyalani'p ati'rg'an (4.1,g-su'wret) signal

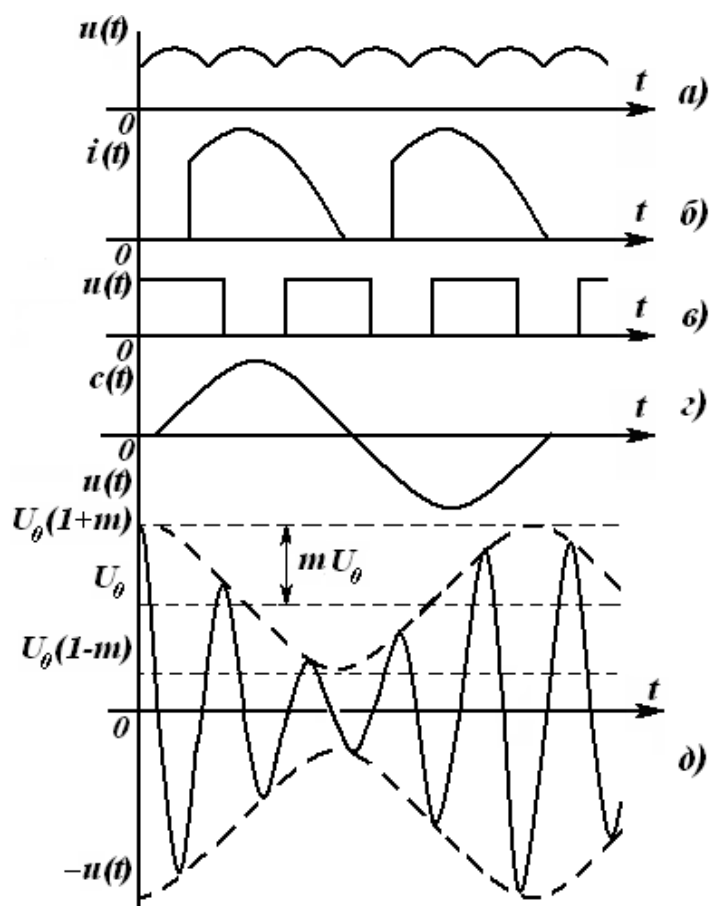
$$c(t) = mU_0 \cos \Omega t \quad (44)$$

baylani'stag'i' ha'm 4.1,d-su'wrette sa'wlelengen modulyaciyalang'an terbelis payda boladi'. [6,15]

Joqari' jiyilikli modulyaciyalang'an signallardi'n' a'hmiyeti biybaha, sebebi wolar tuwi'rlang'annan (detektorlang'annan) son' da'l modulyaciyalang'an signal payda yetiledi. Radio ha'm televidenie baylani'slari'ni'n' ha'mmesi modulyaciyalang'an joqari' jiyilikli signallardi' uzati'wg'a tiykarlang'an.

Soni'si' itibarg'a i'layi'q, amplitudalari' garmonikali'q modulyaciyalang'an a'piwayi' terbelisler (44) bolg'anda, barli'q garmonikali'q qurawshi'lardi' ani'qlaw ju'da' an'sat. Haqi'yqattanda, $\cos \alpha \cos b = \frac{1}{2}[(\cos(\alpha + b) + \cos(\alpha - b))]$ ten'likten paydalani'p (44)ti to'mendegi halg'a keltiremiz:

$$u = U_0 \cos \omega t + \frac{1}{2} m U_0 \cos(\omega - \Omega)t + \frac{1}{2} m U_0 \cos(\omega + \Omega)t. \quad (45)$$



4.1-su'wret

Solay yetip, garmonikali'q modulyaciyalang'an amplitudali' garmonikali'q terbelisler qurami'nda u'sh garmonikali'q qurawshi'lari' bar yeken, yag'ni'y ω tiykarg'i' (yaki uzati'wshi') jiyilikli ha'm yeki shegarali'q $(\omega - \Omega)$ ha'm $\omega + \Omega$ jiyilikli.

Sinusoidal yemes tokli' si'zi'qli' shi'nji'rlardi' yesaplaw. Tek si'zi'qli' shi'nji'rlardi' g'ana yesaplaw ushi'n mo'lsherlengen superpoziciya usi'li'nan paydalani'p ha'r bir garmonika ushi'n bo'lek yesaplardi' ali'p bari'p, son' na'tiyjelerdi qosi'w mu'mkin.

Quramali' garmonikali'q ta'sirge shi'nji'r reaksiyasi'ni'n' spektral qurawshi'lari'n ani'qlaw za'ru'r bolg'an halatlarda yesaplawdi'n' bunday usi'li' ken' tarqalg'an. Periodli' ta'sir joqari' garmonikalardi'n' u'lken spektri'na iye bolsa (tu'pten sinusoidal yemes ta'sir) ha'm yesaplaw ha'mde analizde, tek ta'sirdin' spektral qurami'n ani'qlaw za'ru'r bolsa, ba'lkim woni'n' waqi'tqa

sali'sti'rg'anda funktsional baylani'si'n da ani'qlaw za'ru'r bolg'an halatlarda, tu'pten sinusoidal yemes ta'sir ten'lemelerin sheshiwge mo'lsherlengen yesaplaw usi'llari' qollani'ladi'. Ko'binese superpoziciya usi'li'n qollawg'a tiykarlang'an sheshimler ko'riledi.

Aytayi'q, kernewdin' bir zamattag'i' ma'nisi

$$u(t) = U_0 + \sum_n \sqrt{2} U_n \sin(n\omega_1 t + \beta_n) \quad (46)$$

yaki kompleks formadag'i' woni'n' spektral qurami' belgili bolsi'n:

$$\dot{U}(jn\omega_1) = \dot{U}_n = U_n \angle \beta_n, \quad (47)$$

yag'ni'y ha'r bir jiyiligi $n\omega_1$ bolg'an n -garmonikani'n' kompleks kernewleri ma'lim bolsi'n.

Meyli, ko'rilip ati'rg'an kernew, kompleks qarsi'li'qlari' qa'legen jiyilik $n\omega_1$ ushi'n aldi'nnan ma'lim bolg'an

$$Z(jn\omega_1) = Z_n = z_n \angle \varphi_n \quad (48)$$

bo'limshege uzati'li'p ati'rg'an bolsi'n.

Bunday halat ushi'n tokti'n' barli'q garmonikali'q qurawshi'lari'n ani'qlaw mu'mkin:

$$\dot{I}_n = I_n \angle \alpha_n = \dot{U}_n / Z_n = (U_n / z_n) \angle \beta_n. \quad (49)$$

Barli'q garmonikalardi'n' bir zamattag'i' ma'nislerin qosi'w na'tiyjesinde izlenip ati'rg'an tokti'n' bir zamattag'i' ma'nisin ani'qlaw mu'mkin:

$$i(t) = I_0 + \text{Im} \sum_n \sqrt{2} \dot{I}_n e^{jn\omega_1 t} \quad (50)$$

yaki

$$i(t) = I_0 + \sum_n \sqrt{2} \cdot I_n \sin(n\omega_1 t + \alpha_n),$$

(51)

bunda I_0 - ma'nisi $n=0$ ge sa'ykes keletug'i'n turaqli' qurawshi'.

Yeger qarsi'li'q jiyilikke baylani'sli' bolsa, tokti'n' spektral qurami' ha'm woni' xarakterlewshi iymek si'zi'q $i(t)$ kernewdin' spektral qurami' ha'm woni' xarakterlewshi $u(t)$ iymek si'zi'g'i'nan tu'pten parqlani'wi' mu'mkin.[3,15]

Sinusoidal yemes tokli' shi'nji'rda induktivlik ha'm si'yi'mli'li'q. Induktiv reaktiv qarsi'li'g'i' jiyilikke (garmonika nomerine) proporcional ra'wishte artadi':

$$X_{L\ n} = n\omega_1 L. \quad (52)$$

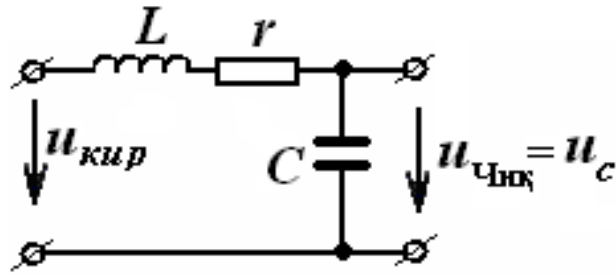
Soni'n' ushi'n, toktag'i' joqari' garmonikalardi'n' sali'sti'rmali' qurami' jalg'ang'an kernewdikinen kemireq. Si'yi'mli'li'qti'n' reaktiv qarsi'li'g'i' bolsa, kerisinshe, jiyilikke (garmonika nomerine) kerri proporcional:

$$X_{Cn} = 1/n\omega_1 C. \quad (53)$$

Kondensatordag'i' wo'tkiziwshen'lik garmonika nomerine proporcional artadi'. Yeger kondensatordag'i' kernew joqari' garmonikalarg'a iye bolsa , wolardi'n' tok qurami'ndag'i' ta'siri u'lkenireq boladi'.

Yeger L, C, M quramali' baylani'sta bolsa , sinusoidal yemes tokti' ani'qlaw ushi'n, tek qarsi'li'qti'n' haqi'yqi'y ha'm jormal bo'leklerin yaki woni'n' modulin, aytayi'q, tiykarg'i' jiyilik ushi'n biliw za'ru'r boli'p qalmastan, ba'lkim a'llette (48) de ko'rsetilgenindey, bul qarsi'li'qti'n' jiyilikke baylani'sli'li'g'i'ni'n' toli'q an'latpasi'n, yag'ni'y $Z(jn\omega_1)$ di biliw za'ru'r.

Izbe-iz jalg'ang'an r, L, C shi'nji'rdi'n' (4.2-su'wret) kiriw kernewi u_{Kir} ha'm shi'g'i'si'ndag'i' kernew u_s bolsa , shi'nji'rdi'n' m_1/m_2 qatnasi'n sali'sti'ri'n'. Bunda kontur ku'shlengenligi $Q=500$; uzati'wshi' jiyilik $1,6MGc$ ($\omega_1 = 2\pi \cdot 1,6 \cdot 10^6 c^{-1}$), dawi's jiyiligi $250\Gamma y$, ($\Omega_1 = 2\pi \cdot 250 c^{-1}$) – ko'pshilik u'nli dawi'slar jiyiligi; $5,5\kappa\Gamma y$, ($\Omega_2 = 2\pi \cdot 5,5 \cdot 10^3 c^{-1}$) – u'nsizler, ani'g'i'rag'i' S, SH ha'ripleri si'yaqli' si'rnay ta'rizli u'nsiz dawi'slar.



4.2-su'wret.

Meyli, shi'nji'rdi'n' kiriw bo'liminde modulyaciya shuqi'rli'g'i' bul yeki jiyilik ushi'n birdey $(m_1 / m_2)_{kup} = 1$ ha'm $(m_1 / m_2)_{shi'g'}$ di' ani'qlaw talap yetilsin. Buni'n' ushi'n U_{C1} / U_{C2} qatnas ma'nislerin yeki joqari' $(1,6 \cdot 10^6 + 250)$ ha'm $1,6 \cdot 10^6 + 5,5 \cdot 10^3$ ha'mde to'mengi $(1,6 \cdot 10^6 + 250$ ha'm $1,6 \cdot 10^6 - 5,5 \cdot 10^3)$ shegarali'q jiyiliklerde [(45)ti de qaran'] de ani'qlaw kerek.

Joqari' shegarali'q jiyilikler ushi'n:

$$\left(\frac{m_1}{m_2} \right)_{q_{uk}} = \frac{U_{C1}}{U_{C2}} = \frac{\eta_2 \sqrt{1 + (Q\alpha_2)^2}}{\eta_1 \sqrt{1 + (Q\alpha_1)^2}},$$

sebebi

$$\eta_1 = (1,6 \cdot 10^6 + 250) / 1,6 \cdot 10^6 \approx 1; \quad \alpha_1 \approx 0;$$

$$\eta_2 = (1,6 \cdot 10^6 + 5,5 \cdot 10^3) / 1,6 \cdot 10^6 = 1 + 0,0034; \quad \alpha_2 = 0,0068; \quad Q\alpha_2 = 0,34,$$

bolsa $(m_1 / m_2)_{q_{uk}} \approx 1,08$.

Sog'an uqsas na'tiyjeler qalg'an shegarali'q jiyilikler ushi'n da ani'qlanadi'. Bunday wo'zgeris, derlik sezilersiz.

Yendi, uzati'w jiyiligi 10 ma'rte kishi, yag'ni'y -160 kGc (bul radio tolqi'ni' diapazoni'nda): qalg'an sha'rtler ha'mmesi aldi'ng'i'day. Bunday halatta

$$\eta_1 \approx 1; \eta_2 = 1,034; \alpha_2 = 0,068; Q\alpha_2 = 3,4;$$

$$(m_1 / m_2)_{q_{uk}} = 3,54.$$

Yendi bunday wo'zgeris sezilerli boli'p tabi'ladi'.

5 §. Garmonikali'q terbelis rejimin izbe-iz RC ha'm RL shi'nji'rlari'nda izertlew

Joqari'da aytip wo'tilgendey elektr shi'nji'ri'ni'n' kompleks qarsilig'i

$$\mathbf{Z} = Z\mathbf{e}^{j\varphi},$$

bunda Z -kompleks qarsi'li'qti'n' moduli, φ –kompleks qarsi'li'qti'n' argumenti. Shi'nji'rdi'n' kompleks qarsi'l'ig'i'n' algebrali'q formada an'lati'w mu'mkin:[6,14]

$$\mathbf{Z} = R + jX,$$

bunda R -shi'nji'rdi'n' aktiv qarsi'li'g'i'; X -shi'nji'rdi'n' reaktiv qarsi'li'g'i'.

$$R = Z \cos\varphi; \quad X = Z \sin\varphi;$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{X}{R};$$

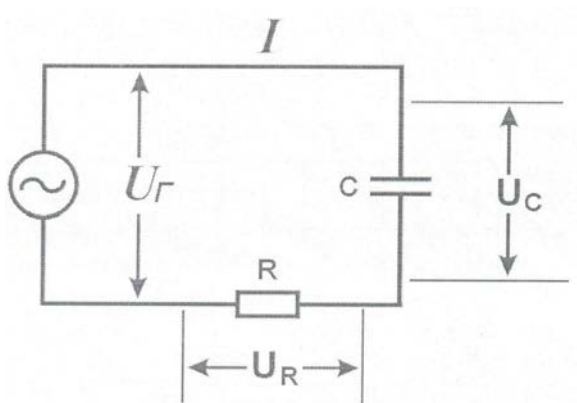
$$Z_R = R;$$

Ideal rezistordi'n' kompleks qarsi'li'g'i'nin' argumenti nolge ten', Ideal si'yi'mli'li'q C ni'n' kompleks qarsi'li'g'i' -90° ta minimum ma'niske iye.

$$Z_C = -jX_C;$$

X_C - jiylikke kerı praporcional bolg'an si'yi'mli'li'q qarsilig'i':

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC};$$



5.1-su'wret. RC izbe-iz jalg'ang'an elektr shi'nji'ri' parametrlerin esaplaw sxemasi'.

U_G - Generetor kernewi; F - Generator jiyiligi; R - Rezistor qarsilig'i'; C - kondensator si'yi'mli'lig'i' berilgen bolsa, Shi'nji'rdi'n' aktiv tok ma'nisi; U_G kernew ha'm I tok ku'shi arasindag'i fazaliq ji'lji'wi'; U_R rezistordag'i' kernew; U_C kondensatordag'i' kernewlerin esaplaw kerek bolsi'n.

Yesaplawlar na'tiyjesin 5.1- kestege tu'siremiz. U , I , U_R , U_C , φ sa'wleleniwshi vektor diagrammasi'n du'zemiz.

5.1-keste;

F, kHz	0,5	1	2	5	10	20	50
I, mA							
φ , grad							
U_R , V							
U_C , V							
φ_2 , grad							

Ta'jriybe bo'limin to'mendegishe algoritm ja'rdeminde alip barami'z:

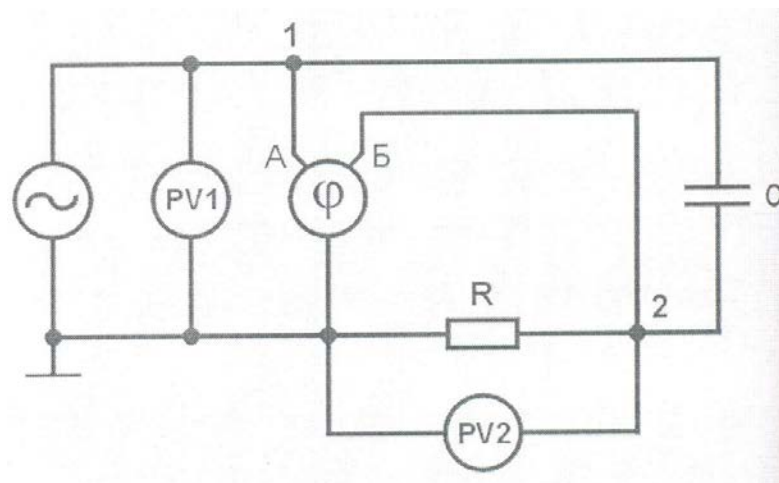
1. Ta'jriybe wo'tkeriw ushi'n shi'nji'r sxemasi' 2-su'wrette keltirilgendey yetip jalg'anadi'. Garmonikali'q terbelisler deregi (to'mengi jiyilik) TJ generatori (shig'i'wi' G2 «0 dB») yesaplanadi'.
2. Generatori'n' tu'rli jiyiliklerinde RC shi'nji'rdi'n' elemenlerindeki kernewdi wo'lshenedi. (R ha'm C turaqli'lar).
3. Generatori'n' tu'rli jiyiliklerinde RC shi'nji'rdag'i' tok ha'm kernew arasindag'i' fazali'q ji'lji'wdi' wo'lshenedi.
4. Tajriybe na'tiyjelerin esaplawlar menen sali'sti'ri'p olardi'n' duri'sli'g'i'na isenim payda etiledi.
5. RC shi'nji'ri'ni'n' elementlerindeki kernewdi R ha'm C lardin' tu'rli ma'nislerinde wo'lshenedi. (Generator jiyiligi turaqli' boli'p qali'wi' kerek).
6. RC shi'nji'ri'ndag'i' kernew ha'm tok ku'shi arasi'ndag'i' fazali'q ji'lji'wdi' R ha'm C lardi'n' tu'rli manislerinde wo'lshenedi. (Generator jiyiligi turaqli' boli'p qali'wi' kerek).

Generatori'n' kiriwshi U_G kernewin wo'lshew ushi'n **PV1** voltmetri qollani'ladi'.

Rezistordi'n' U_R kernewi **PV2** voltmetri arqali' wo'lshenedi.

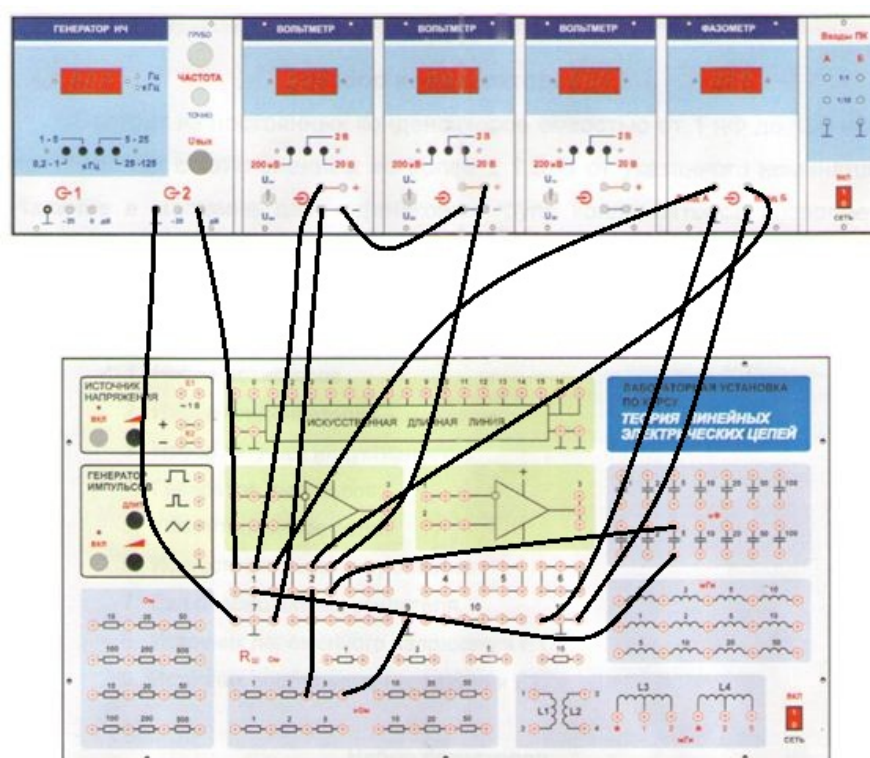
Shi'nji'rdag'i' tokti' yesaplaw joli menen tabi'ladi':

$$I = \frac{U_R}{R};$$



5.2-su'wret. Wo'lshevlardi ali'p bari'w ushi'n sxema.

Laboratoriyali'q u'skenelerdi wornati'w elemenleri 3-su'wrettegidey yetip baylani'sti'ri'ladi'. Kernewdi wo'lshegende wo'lshevl qa'teligi az boli'wi' ushi'n, PV1 ha'm PV2 voltmetrlerinin' minusi'n uli'wma "1" tu'yinine jalg'aw talap yetiledi.



5.3-su'wret. Quri'lma elementlerin tutasti'ri'w sxemasi'.

Ta'jiriybe wo'tkeriw algoritmi:

1. **PV1** voltmetrinin' ma'nisler shegin 20 V qi'li'p ornati'n'.
2. **PV2** voltmetrinde 20 V yetip wornatami'z (Ta'jiriybe procesinde basqa ma'niske wo'zgartiliwi mu'mkin).

3. Voltmetrdin' tumblerin wo'zgermeli tok ($\underline{U}_{\sim}$) bag'i'ti'na tuwri'laymi'z.
4. Kiriwshi generator TJ (to'mengi jiyilik) kernewi retlegishin saat strelkasi'na qarama-qarsi' bag'i'tta aqi'ri'na shekem buraymi'z.
5. Tekseriwden keyin ji'ynalg'an sxemani'n' sazlawi'n iske tu'siw kerek.
6. TJ generatori'ni'n' kiriwshi kernewin ornatami'z $\underline{U}_G = 3V$.
7. Uzaq waqi'tqa deyin onin' ma'nisin turaqli' uslap turin'.
8. kestegе muwapi'q generator jiyiligin ornatqan halda **PV2** voltmetrinin' ko'rsetkishin ha'm φ_1 fazometrinin' ko'rsetkishlerin kestegе kiritip barami'z.
9. Tok ku'shi I di esaplan' ha'm 2-kestegе kiritemiz.

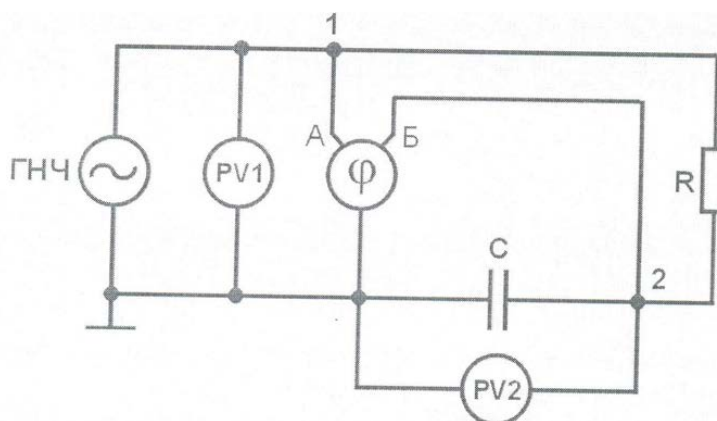
Eksperiment na'tiyjesinde ali'ng'an **RC** shi'nji'ri' parametrlerinin' ma'nisi:

$$\underline{U}_G = 3V, R = 50\Omega, C = 5nF;$$

2-keste.

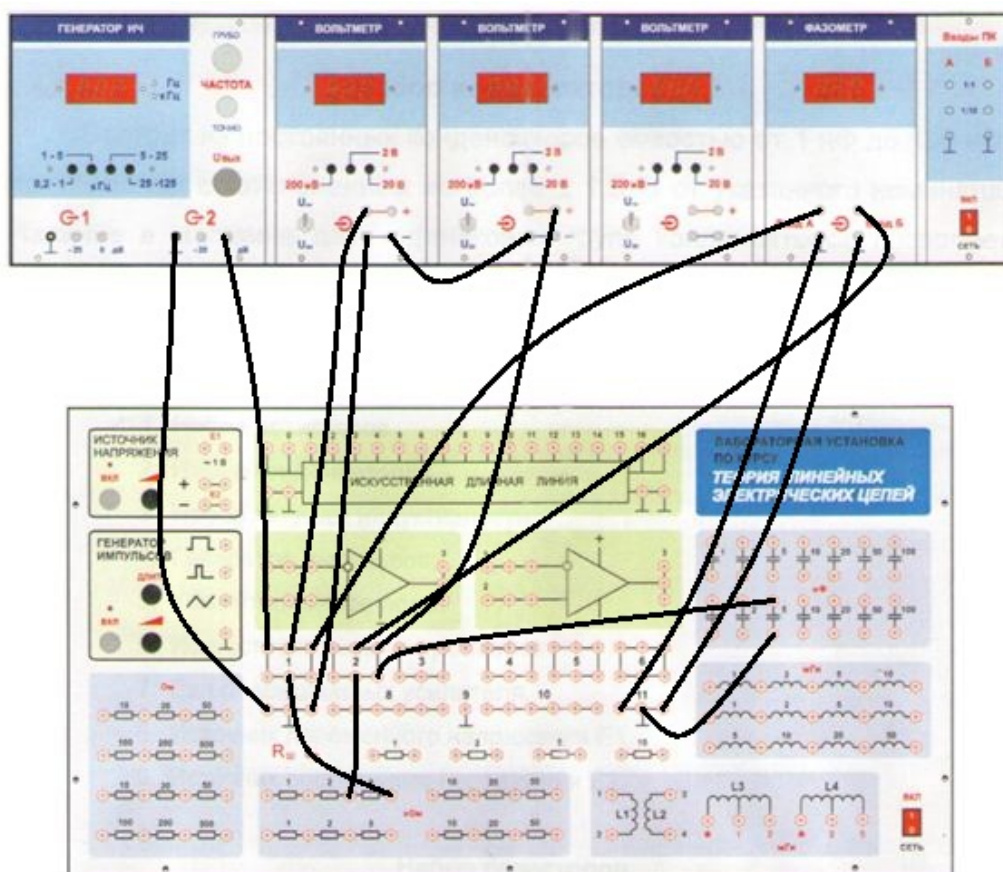
F, kHz	0,5	1	2	5	10	20	50
I, mA	0,22	0,45	0,89	1,84	2,50	2,80	2,92
φ_1 , grad	0,044	0,09	0,178	0,368	0,5	0,56	0,584
$\underline{U}_R$, V	85	81	73	52	32	17	6
$\underline{U}_C$, V	2,99	2,96	2,86	2,34	1,58	0,88	0,35
φ_2 , grad	4	8	17	38	58	73	84

$\underline{U}_C$ kondensatori'ndag'i' kernewdi ani'qlaw ushi'n sxemani' 5.4-su'wrettegi sxema menen almasti'rami'z. Bunda shi'nji'r rejimi almasti'ri'lmaydi', biraq **PV2** voltmetri kondensatordag'i' kernewdi ko'rsetedi, Fazometr – kiriwshi ha'm kondensator kernewi arasi'ndag'i' fazada ji'lji'ydi'.



5.4-su'wret. Wo'lshewlerdi ali'p bari'w ushi'n sxema. (II-variant)

Elementlerdin' baylani's sxemasi' 5.5- su'wrette ko'rsetilgen.



5.5-su'wret. Quri'lma elementlerin tutasti'ri'w sxemasi'. (II-variant)

Ji'ynalg'an sxema tekserilgennen keyin (to'mengi jiyilik) TJ generatori'ni'n' kiriwshi kernewin $U_G = 3V$ yetip ornati'n'. Usi' ma'nis uzaq waqi't saqlap turi'ladi', generator jiyiligin 2 - su'wrettegidey yetip ornati'p, 2-kestege U_C (PV2 voltmetrinin' ko'rsetkishi) kondensator kernewin ha'm ϕ_2 fazometr ko'rsetkishin kiritemiz.

Wo'lshe son'i'nda TJ generatori'ni'n' shi'g'iwshi' kernewi retlegishin saat tiline qarama-qarsi' bag'i'tta aqi'ri'na shekem buri'n'.

1 ha'm 2 kestedeg'i ma'nislerdi salisti'rami'z.

Aldi'ng'i' esaplawlar na'tiyjelerin tekserin'.

5nF kondensatordi'n' worni'na 10nF kondensatordi' shi'nji'rg'a jalg'awmi'z.

TJ generatori'ni'n' jiyiligin $F = 5kHz$ yetip ornami'z. TJ generatori'ni'n' shi'g'iwshi' kernewin $U_G = 3V$ yetip ornatin'. PV2 voltmetri ko'rsetkishi ha'm fazometr ko'rsetkishin 3-kestege tu'siremi'z. Tok ku'shi I di' esaplan' ha'm 3-kestege tu'sirin'.

TJ generatori'ni'n' shi'g'iwshi' kernewi retlegi'shin saat tiline qarama-qarsi' bag'i'ti'nda aqi'ri'na shekem buraymi'z.

Shi'nji'rg'a 10kOm rezistor ha'm 5nF kondensator jalg'ap ta'jiriybeni dawam yetemiz.

Ta'jiriybe na'tiyjesinde aling'an **RC** shi'nji'ri parametrleri ma'nislerin **$F_G=5\text{kHz}$** ; **R** ha'm **C** ha'r qiyli ma'nislerinde tekseremiz:

3-keste

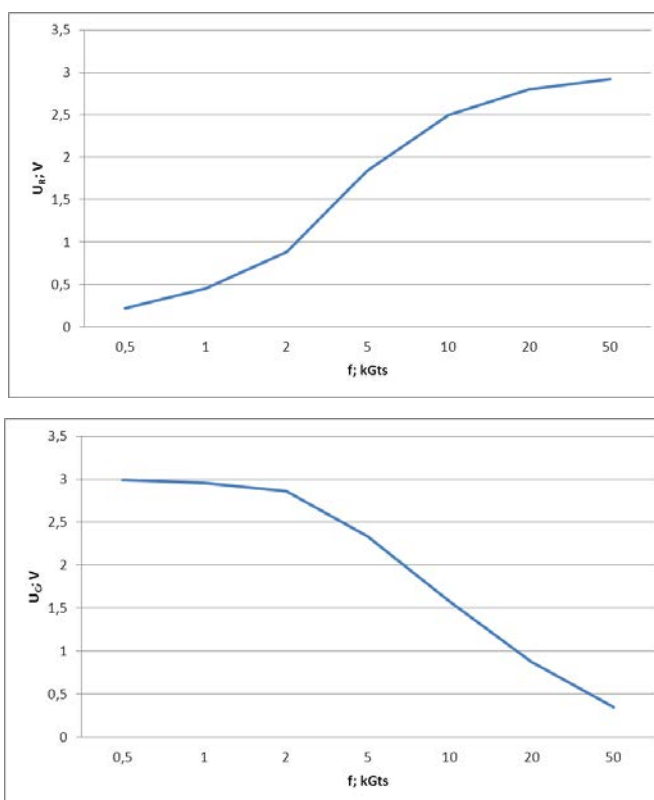
	R=5kOm C=10nF	R=10kOm C=5nF
I, mA	0,502	0,250
φ_1 , grad	33	32
U_R , V	2.51	2.50
U_C , V	1.62	1.59
φ_2 , grad	58	58

TJ generatori'ni'n' kiriwshi kernewine **$U_G = 3\text{V}$** ornati'p, 3-kestege **PV2** voltmetrinin' ha'm fazometrdin' ko'rsetkishlerin kiritemiz. Tok ku'shi **I** di' yesaplaymi'z ha'm 3-kestege tolti'ri'p barami'z.

2 ha'm 3 su'wrettegi wo'lshew sxemasi'na qayti'p, **R=10kOm**, **C=5nF** yetip wornatami'z. Na'tiyjeni 3- kestege jazip tolti'rami'z.

R=5kOm, **C=10nF** yetip ta'jiriybeni dawam yetemiz. Na'tiyjelerdi bolsa 5.3-kestege jazami'z.

To'mende usi' RL shi'nji'ri' ushi'n wo'tkerilgen ta'jiriybe grafigi berilgen:



5.6 a,b-su'wret. Wo'tkerilgen ta'jiriybe na'tiyjeleri.

5.3-kestedegi eksperiment na'tiyjelerin jiyilik 5kHz bolg'anda 5.2-keste na'tiyjeleri menen salisti'rami'z ha'm juwmaq shig'arami'z.

Garmonikaliq terbelis rejimin izbe-iz RL shi'nji'rinda izertlew. Joqarida atap wo'tilgende, elektr shi'nji'ri'nin' kompleks qarsilig'i':

$$Z = Z e^{j\varphi},$$

bunda Z -kompleks qarsi'li'qti'n' moduli, φ –kompleks qarsi'li'qti'n' argumenti.

Shi'nji'rdi'n' kompleks qarsi'li'g'i'n algebrali'q formada an'latiw mu'mkin:

$$Z = R + jX,$$

bunda R -shi'nji'rdin' aktiv qarsilig'i; X -shi'nji'rdin' reaktiv qarsi'li'g'i'.

$$R = Z \cos\varphi; \quad X = Z \sin\varphi;$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{X}{R};$$

$$Z_R = R;$$

Ideal rezistordi'n' kompleks qarsi'li'g'i' zatliq esaplanadi'. Onin' argumenti nolge ten'. Ideal induktivliktin' L kompleks qarsi'li'g'i' $+90^\circ$ ta jorimal san ma'niske iye boladi.

$$Z_L = jX_L;$$

X_L induktiv qarsi'li'q jiyilikke tuwri' proporcional:

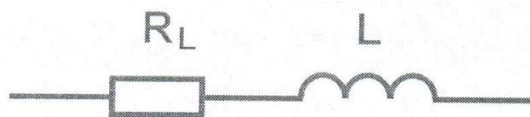
$$X_L = \omega L;$$

Ideal induktivlik qarsi'li'g'i' onin' reaktiv qarsi'li'g'i'na tuwra keledi:

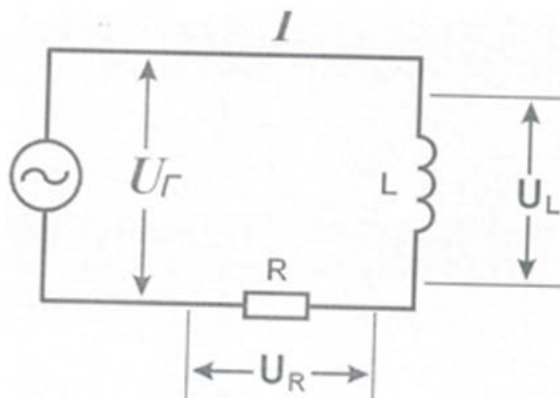
$$X = X_L;$$

Induktivliktin' real katushkasi onnan tok ag'i'p wo'tkende energiyani'n' tarqali'wi'na ali'p keledi. Induktivliktin' real katushkasi'nda energiyani'n' joyti'li'wi'n L ideal induktivlikke izbe-iz jalg'ang'an R_L resistor qarsi'lig'i' arqali' almasti'ri'wdi'n' izbe-iz sxemasi'nda u'yreniw mu'mkin. Soni'n' ushi'n real induktiv katushkani'n' kompleks qarsi'li'g'i' tek g'ana jori'malmsan ma'nisine iye emes.

$$Z_L = R_L + jX_L;$$



5.7-su'wret. Real sharayattag'i' induktivli katushkani' almasti'r'i'w sxemasi'.



5.8-su'wret. Induktivli qarsi'li'qti' yesaplaw ushi'n principal sxema

5.8-su'wrette ko'rsetilgen elektr shi'nji'ri ushin berilgenler: U_G Generetor kernewi, F Generator jiyiligi, R Rezistor qarsilig'i', L katushka induktivligi;

Bul jerde shi'nji'rdin' aktiv togi' ma'nisi; U_G kernew ha'm I tok ku'shi arasindag'i fazaliq jiljiwi; U_R Rezistordag'i kernew; U_L katushkadag'i kernew yesaplanadi'.

Yesaplawlar na'tiyjelerin 5.4- kestege tu'siremiz. U , I , U_R , U_L , φ sa'wleleniwshi vektor diagrammasin du'zemiz.

5.4-keste

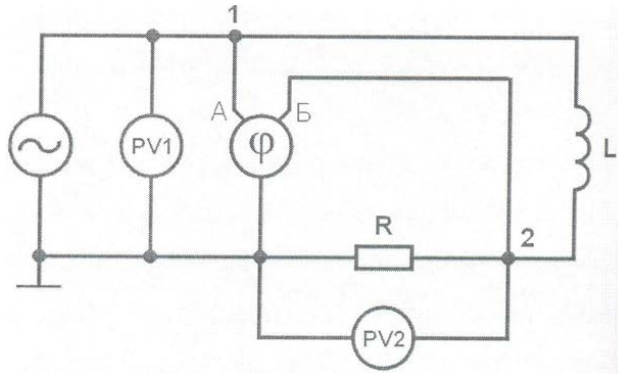
F, kHz	0,5	1	2	5	10	20	50
I, mA							
φ_1 , grad							
U_R , V							
U_L , V							
φ_2 , grad							

Eksperimental ta'jriybe bo'liminde bizge to'mendegiler kerek boladi:

- Generator din' tu'rli jiyiliklerinde RL shi'nji'rdin' elemenlerindagi kernewdi wo'lshe'w (R ha'm L turaqlilar).
- Generator di'n' tu'rli jiyiliklerinde RL shi'nji'rdag'i' tok ha'm kernew arasi'ndag'i' fazali'q ji'lji'w di' wo'lshe'w.
- Tajriybe na'tiyjelerin yesaplawlar menen sali'sti'ri'p juwmaq shi'g'ari'w.

- **RL** shi'nji'rinin' elementleridegi kernewdi **R** ha'm **L** lardin' tu'rli ma'nislerinde wo'lshew.(Generator jiyiligi turaqli').
- **RL** shi'nji'rindag'i' kernew ha'm tok ku'shi arasi'ndag'i' fazali'q ji'lji'wdi' **R** ha'm **L** lardi'n' tu'rli manislerinde wo'lshew (Generator jiyiligi turaqli').

Printsipial sxema 5.7- su'wrette keltirilgen. Garmonikaliq terbelisler deregi TJ generatori' (shi'g'i'wi' $G2 \ll 0 \text{ dB}$) yesaplanadi'.



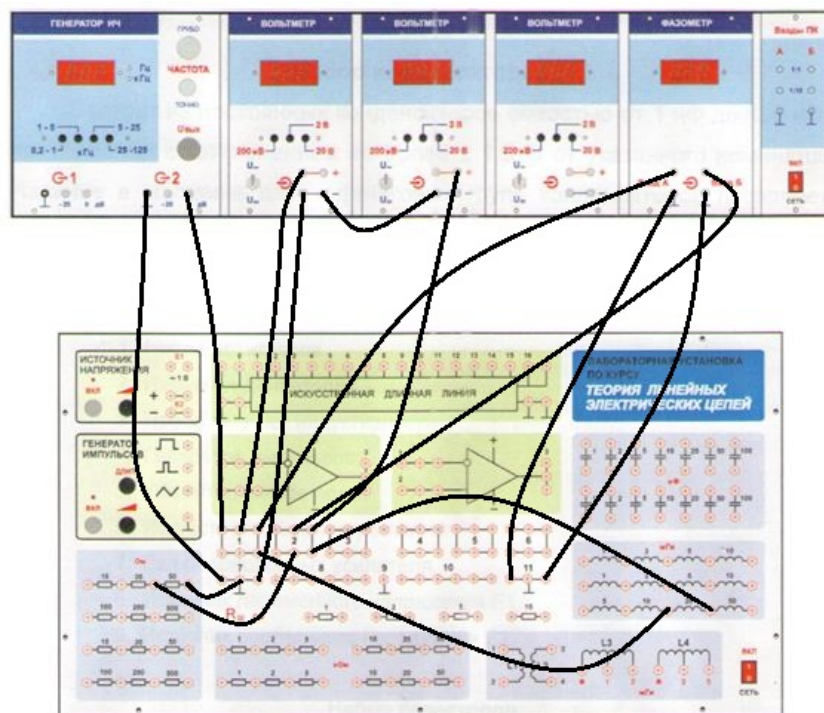
5.9-su'wret. Wo'lshewlerdi wo'tkeriw ushi'n principal sxema (I-variant)

Generatordi'n' kiriwshi U_G kernewin wo'lshew ushi'n **PV1** voltmetri qollani'ladi'. izbe-iz jalg'ang'an **RL** shi'nji'r parametrlarin ta'jiriybe usi'li'nda ani'qlaw algoritmi:

1. Rezistordi'n' U_R kernewi **PV2** voltmetri arqali' wo'lshenedi.
2. Shi'nji'rdag'i' tok esaplaw joli menen tabiladi:

$$I = \frac{U_R}{R};$$

3. Quri'lmada elemenlerdi 4-su'wrettegidey yetip wornatami'z.
4. Kernewdi wo'lshegende wo'lshew qa'teligi az boli'wi' ushi'n, **PV1** ha'm **PV2** voltmetrlarinin' uli'wma «**↓**» noqati'nda minusi'n jalg'aw talap yetiledi.
5. **PV1** voltmetrinin' ma'nisler shegin 2 V qi'li'p wornati'ladi'.
6. **PV2** voltmetrinde 2 V yetip wornati'ladi'.



5.10-su'wret. Qurilma elementlerin tutastiri'w sxemasi'

7. Voltmetrdin' tumblerin wo'zgermeli tok ($I_{\sim}$) bag'i'ti'na tuwri'lanadi'.
8. Kiriwshi generator TJ kernewi retlegishin saat strelkasi'na qarama-qarsi' bag'i'tta aqi'ri'na shekem buraladi'.
9. Ji'ynalg'an sxema di'qqat penen tekseriledi.
10. Tekserilgennen son' TJ generatori' iske qosi'ladi'.
11. $U_G=1V$ qi'li'p wornati'ladi'. Usi ma'nisti uzaq waqi't saqlap turi'ladi'.
12. Generator jiyiligin 5.5- kestedegidey yetip wornati'p, 5.5-kestege U_L (PV2 voltmetrinin' ko'rsetkishi) ha'm φ_2 fazometr ko'rsetkishin kiritip barami'z. Tok ku'shi I di yesaplan' ha'm 5.5-kestege tu'siriledi.

5.5-keste

F, kHz	0,5	1	2	5	10	20	50
I, mA	0,56	0,33	0,17	0,06	0,03	0,01	0,00
φ_1 , grad	11,2	6,6	3,4	1,2	0,6	0,2	0,00
U_R , V	52	68	78	84	85	82	64
U_C , V	0,80	0,93	0,98	1,00	1,00	1,00	0,99
φ_2 , grad	35	20	10	4	2	0	0

13. Ji'ynalg'an sxemani' di'qqat penen tekserin', keyin TJ generatori'ni'n' kiriwshi kernewin $U_G=1V$ qi'li'p wornati'n'. Usi ma'nisti uzaq waqi't saqlap turi'ladi'.

14. Generator jiyiligin 5.5- kestedegidey yetip wornati’p, 5.5-kestege U_L (**PV2** voltmetrinin’ ko’rsetkishi) ha’m φ_2 fazometr ko’rsetkishi kiritiledi.

15. Wo’lshew son’i’nda TJ generatori’ni’n’ shi’g’i’wshi’ kernewi retlegishin saat tiline qarama-qarsi’ bag’i’tta aqi’ri’na shekem buraladi’.

16. 4 ha’m 5 kestelerdegi ma’nislerdi sali’sti’ri’ladi’.

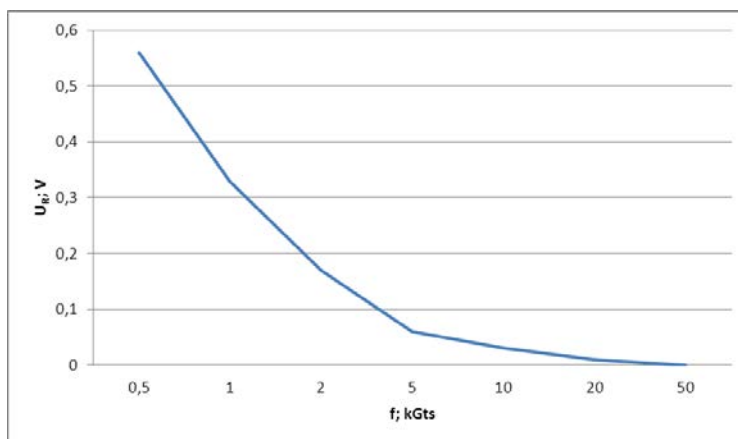
17. 20 mGn induktiv katushka worni’na 10 mGn induktiv katushka jalg’anadi’.

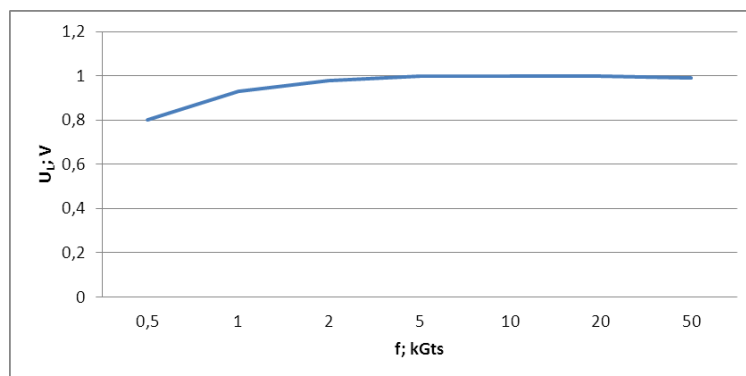
18. TJ generatori’ni’n’ jiyiligin $F=5\text{kHz}$ yetip wornati’n’. TJ generatori’ni’n’ shi’g’i’wshi’ kernewin $U_G=1\text{V}$ qi’li’p wornati’n’. **PV2** voltmetri ko’rsetkishi ha’m fazometr ko’rsetkishin 5.6-kestege tu’siriledi. Tok ku’shi I yesaplani’p 5.6-kestege tu’siriledi.

5.6-keste

	R=50 Om L=10 mGn	R=100 Om L=20 mGn
I, mA	0,14	0,14
φ_1 , grad	2,8	1,4
U_R , V	80	81
U_C , V	0,99	0,99
φ_2 , grad	8	8

$F_G=5\text{kHz}$ ha’m R ha’m L ha’r qiyli ma’nislerinde eksperiment na’tiyjesinde aling’an RL shi’nji’ri parametrleri ma’nisleri.





5.11a,b-su'wret. Wo'tkerilgen ta'jiriybe na'tiyjelerinin' grafikleri.

19. TJ generatori'ni'n' shi'g'i'wshi' kernewi regulyatori'n saat tiline qarama-qarsi' bag'i'tta aqi'ri'na shekem buraladi'.

20. Shi'nji'rg'a 100 Om liq resistor ha'm 20 mGn induktiv katushka jalg'anadi'. TJ generatori'ni'n' shi'g'i'wshi' kernewin $U_G=1V$ yetip wornati'ladi'.

21. 6-kestege **PV2** voltmetrinin' ha'm fazometrdin' ko'rsetkishlerin kiritiledi. Tok ku'shi **I** di yesaplan' ha'm 6-kestege kiritiledi.

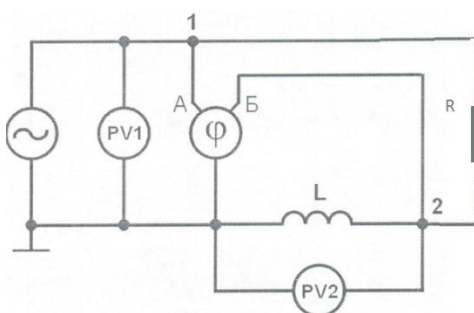
22. 5 ha'm 6 su'wrettegidey wo'lshevw sxemasi'na qayti'ladi'.

23. **R=100 Om, L=20n Gn**; qi'li'p kiritip, na'tiyje 5.6- kestege jazi'ladi'.

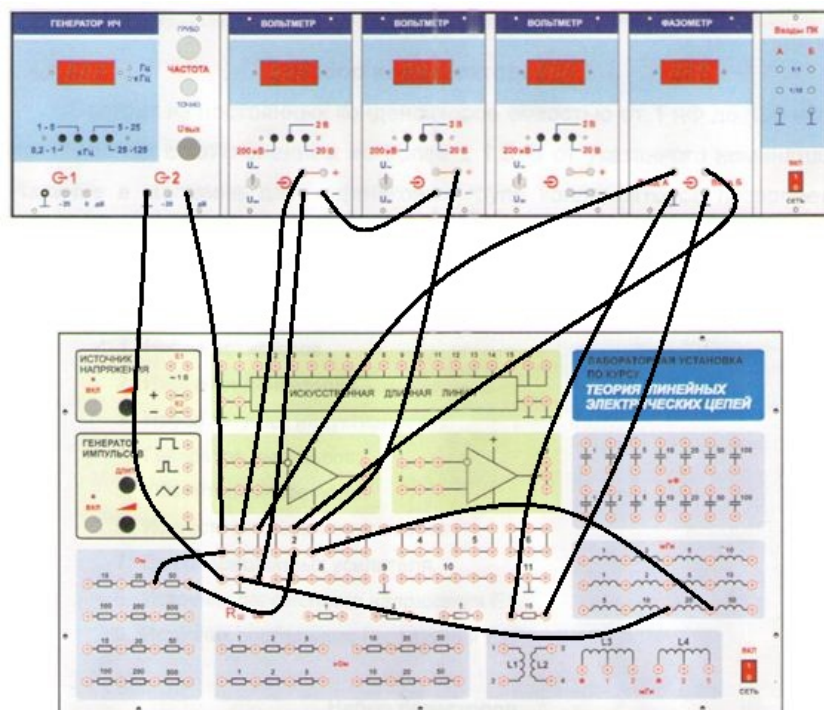
24. **R=500 m, L=10m Gn**; qi'li'p kiritip, na'tiyje 5.6- kestege jazi'ladi'.

25. 5.6-kestedegi eksperiment na'tiyjelerin jiyilik 5kHz bolg'anda 5.5-keste na'tiyjeleri menen salistirip juwmaq jasaladi'.

26. Katushkada U_L kernewdin' ma'nisin ali'w ushi'n sxemani' 11-su'wrettegidey yetip wo'zgertiwimiz kerek. Bunda shi'nji'r rejimi wo'zgermeydi, biraq **PV2** voltmetri induktiv katushkadag'i' kernewdi ko'rsetedi, al fazometr-generatori'ni'n' shi'g'i'wshi' kernewi ha'm katushka kernewi arasi'nda ji'lji'w parametrin ko'rsetedi. Elementlerinin' baylani's sxemasi' 5.11-su'wrette ko'rsetilgen.



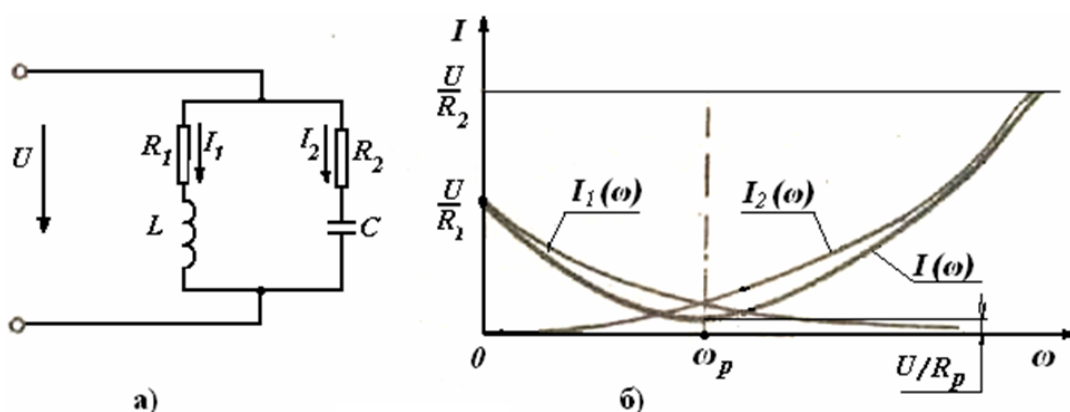
5.12-su'wret. Wo'lshewlerdi wo'tkeriw ushi'n principal sxema (II-variant)



5.13-su'wret. Qurilma elementlerin tutastiri'w sxemasi'

6 §. Parallel jalg'ang'an terbelisli konturdi' izertlew

Signallardi' payda yetiw ha'm wolardi' qayta islew ushi'n arnalg'an ko'pshilik qurilmalar qurami'na parallel terbelisli konturlari' (PTK) kiredi. Usi'lardan birinin' sxemasi' 6.1,a-su'wrette keltirilgen.



6.1-su'wret.

PTKdi'n' kompleks wo'tkizgishligi woni'n' shaqapshalari' kompleks wo'tkizgishliklerinin' qosi'ndi'si'na ten'

$$\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{1}{R_1 + j\omega L} + \frac{1}{R_2 - j\frac{1}{\omega C}} = g - jb, \quad \text{bunda}$$

$$g = \frac{R_1}{R_1^2 + (\omega L)^2} + \frac{R_2}{R_2^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}} \quad - \text{aktiv wo'tkizgishlik};$$

$$b = \frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2} - \frac{1/\omega C}{R_2^2 + (1/\omega C)^2} \quad - \text{reaktiv wo'tkizgishlik}.$$

Konturda toklar rezonansi' (TR) bolg'anda reaktiv wo'tkizgishlik nolga teng boladi' ($b = 0$),

$$\frac{\omega_p L}{R_1^2 + (\omega_p L)^2} - \frac{1/\omega_p C}{R_2^2 + (1/\omega_p C)^2} = 0,$$

(6.1)

bul bolsa TR payda boli'wi' sha'rti boli'p yesaplanadi'. Usi' (6.1) tenglikning sheshiminen rezonans jiyiliginin' ma'nislerin ani'qlaw an'latpasi'n du'zemiz:

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\rho^2 - R_1^2}{\rho^2 - R_2^2}}, \quad (6.2)$$

bunda $\rho = \sqrt{L/C}$ - PTKni'n' xarakteristikali'q qarsi'li'g'i'.

TR ($\omega = \omega_r$) bolg'andag'i' PTKni'n' qarsi'li'g'i' maksimal ma'niske iye ha'm to'mendegi an'latpa arqali' ani'qlanadi'

$$R_p = \frac{1}{g_p} = \frac{\rho^2 + R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (6.3)$$

PTKni'n' ku'shleniwi $Q = \rho/(R_1 + R_2)$ ge teng'.

Kishi quwatli'li'q i'srabi' ($R_1^2 < \rho^2$; $R_2^2 < \rho^2$) TR payda bolg'anda PTKni'n' qarsi'li'g'i' to'mendegige teng'

$$R_p = \frac{\rho^2}{R_1 + R_2} = Q\rho = Q^2(R_1 + R_2).$$

(6.4)

Bunday jag'dayda (6.2) rezonans jiyiligi to'mendegi formulag'a aylanadi'

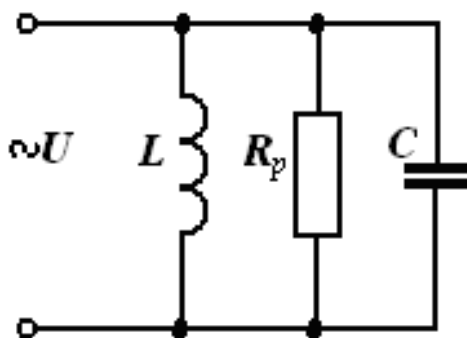
$$\omega_p \approx \omega_0 = 1/\sqrt{LC}.$$

TR bolg'anda yeki shaqapshalardag'i' toklar shama menen birdey boladi' ($I_{1p} \approx I_{2p}$) ha'm wolardi'n' ha'r biri shi'nji'rdi'n' kiriwindegi I_p toktan Q ret u'lken boladi':

$$I_{1p}/I_p \approx I_{2p}/I_p \approx Q.$$

PTK (6.1,a-su'wrettegi sxema) toklari'ni'n' $I(\omega)$, $I_1(\omega)$, $I_2(\omega)$ jiyilikli xarakteristikolari' 6.1,b-su'wrette ko'rsetilgen.

Kishi quwatli'li'q i'srabi' bolg'an PTK (6.1,a-su'wret), barli'q elementleri wo'zara parallel jalg'ang'an almasti'ri'w sxemasi' menen sali'sti'ri'li'p, almasti'ri'li'wi' mu'mkin.



6.2,a - su'wret.

Usi'nday terbelis konturi' kompleks wo'tkizgishligi to'mendegige ten':

$$\begin{aligned} Y(j\omega) &= \frac{1}{R_p} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = \frac{1}{R_p} + j\omega_0 C \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) = \frac{1}{R_p} \left[1 + j \frac{R_p}{p} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right] = \\ &= \frac{1}{R_p} \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right] = \frac{1}{R_p} (1 + j\xi), \end{aligned}$$

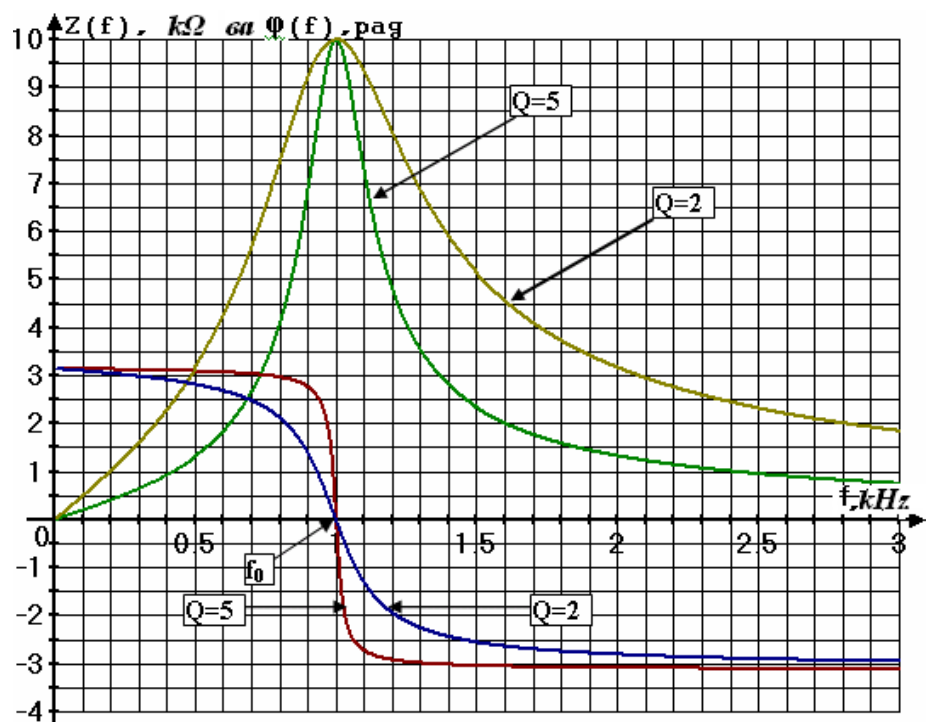
bunda $\xi = Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)$ – uli'wmalasti'ri'lg'an rezonans nasazli'g'i' delinedi.

PTKni'n' kompleks qarsi'li'g'i'

$$Z(j\omega) = \frac{1}{Y(j\omega)} = \frac{R_p}{1 + j\xi} = Z(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (6.5)$$

$$\text{bunda} \quad Z(\omega) = \frac{R_p}{\sqrt{1 + \xi^2}}; \quad \varphi(\omega) = -\arctg \xi. \quad (6.6)$$

6.2,b-su'wrette $R_r = 10 \text{ kOm}$, $Q = 2$ ha'm 5 bolg'an PTKni'n' AJX ha'm FJX keltirilgen. FJX $\varphi(\omega)$ dan, rezonans jiyiligi $\omega_p \approx \omega_0$ dan kishi bolg'an ($\omega < \omega_0$) jiyiliklerde, konturdi'n' qarsi'li'g'i' aktiv-induktiv (rezistiv-induktiv) xarakterde, rezonanstan u'lken bolg'an ($\omega > \omega_0$)-aktiv-si'yi'mli'li'q (rezistiv- si'yi'mli'li'q) xarakterinde boladi'.



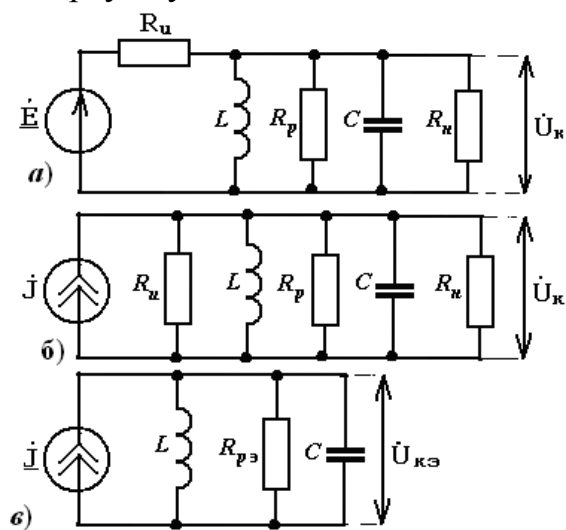
6.2,b - su'wret

Ta'jriybede, PTKlardi'n' tan'lawshan'li'n' qa'siyetin payda yetiw ushi'n ishki qarsi'li'g'i' R_i ju'da' u'lken bolgan derek ha'm maksimal qarsi'li'qli' R_{YU} ju'kleme tan'lanadi'. E kernewli ha'm R_i ishki qarsi'li'qqa iye e.q.k. deregin $J=E/R_i$ tokqa ha'm R_i qarsi'li'qqa iye tok deregi menen almasti'ri'p, 6.3,b-su'wrettegi sxemani' payda yetemiz.

Parallel jalg'ang'an qarsi'li'qlar R_i , R_r ha'm R_n di ekvivalent qarsi'li'q penen almasti'ri'p,

$$R_{ps} = \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_H} + \frac{1}{R_H} \right)^{-1}, \quad (6.7)$$

6.3,v-su'wrettegi sxemani' payda yetemiz.



6.3-su'wret.

PTKni'n' 6.3, v-su'wrettegi sxemasi'nda jiyilikli xarakteristikalar'di'n' kernewlerinin' ma'nislerin ishki qarsi'li'g'i' R_V bolg'an voltmetr menen wo'lshegende, voltmetr qarsi'li'g'i' ha'm shi'nji'rg'a parallel jalg'anadi'. Wlshovlarning aniqligini taminlash ushun R_V ni ha'm itibarg'a ali'w zaru'r boladi'; na'tiyjede shi'nji'rning umumiy qarsi'li'g'i' to'mendegige ten' boladi':

$$R_{p3} = \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_{II}} + \frac{1}{R_H} + \frac{1}{R_B} \right)^{-1}.$$

PTKni'n' ekvivalent ku'shlengenligi to'mendegi formula ja'rdeminde yesaplanadi':

$$Q_e = R_{re} / \rho. \quad (6.8)$$

Ekvivalent uli'wmalasti'ri'lg'an rezonans nasazli'g'i'

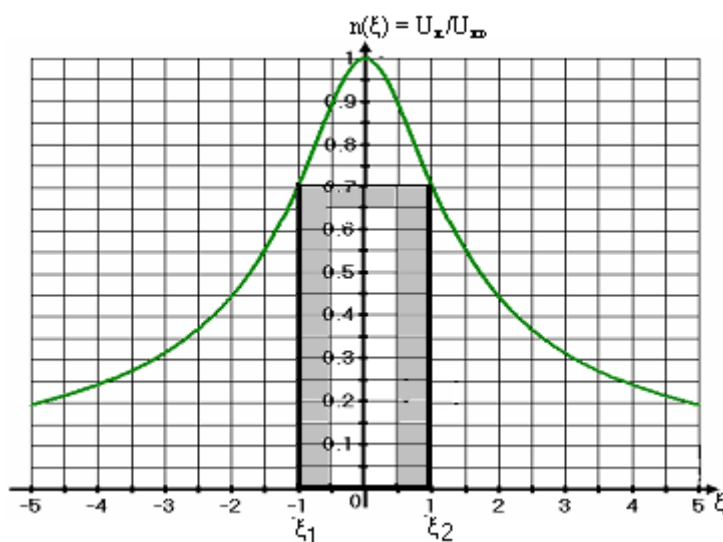
$$\xi_3 = Q_3 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right). \quad (6.9)$$

PTKdegi kernew to'mendegi an'latpa ja'rdeminde yesaplanadi'

$$U_K = J \cdot Z_3(\omega) = \frac{JR_{p3}}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{U_{kp3}}{\sqrt{1 + \xi^2}}, \quad (6.10)$$

bunda $U_{kre} = JR_{re}$ rezonans procesindegi PTKni'n' kernewi.

PTKni'n' a'hmiyetli xarakteristikalarin'nan biri woni'n' wo'tkeriw arali'g'i' (O'A) boli'p tabi'ladi'; wo'A dep rezonans jiyiligi a'tirapi'ndag'i' sonday jiyilikler diapazoni'na ayti'ladi', wonda PTKdegi kernew wo'zinin' maksimal (rezonansdag'i') ma'nisinin' $1/\sqrt{2} \approx 0,7$ ma'nisinen kishi bolmasi'n (6.4-su'wret).



6.4 - su'wret.

O'Ani'n' shegarali'q jiyiliklerin to'mendegi ten'likten ani'qlaymi'z:

$$U_{\kappa\vartheta}(f) = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\kappa p\vartheta}; \quad \frac{U_{\kappa p\vartheta}}{\sqrt{1+\xi^2}} = \frac{U_{\kappa p\vartheta}}{\sqrt{2}}; \quad 1+\xi^2 = 2; \quad \xi^2 = 1.$$

Demek, wo'Ani'n' shegarali'q jiyiliklerinde uli'wmalasti'ri'lg'an rezonans nasazli'g'i' $\xi_{1,2} = \pm 1$ boladi'.

Eger, $\xi_{\vartheta} = Q_{\vartheta} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$ yekenligin yesapqa alsaq, wonda to'mendegi ten'lemenin' sheshiminen

$$Q_{\vartheta} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) = \pm 1$$

O'Ani'n' shegarali'q jiyiliklerin yesaplaw an'latpalari'n ani'qlaw mu'mkin

$$f_{1,2} = f_0 \left(\sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2}} \pm \frac{1}{2Q} \right). \quad (6.11)$$

PTKni'n' wo'A absolyut ken'ligi

$$\Pi_{\vartheta} = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q} = df_0. \quad (6.12)$$

PTKni'n' wo'A sali'sti'rmali' ken'ligi

$$S_{0\vartheta} = \frac{\Pi_{\vartheta}}{f_0} = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{1}{Q_{\vartheta}} = d_{\vartheta}, \quad (6.13)$$

bunda $d_{\vartheta} = \frac{1}{Q_{\vartheta}}$ - PTKni'n' ku'shsizleniwi.

Bul (6.12) - (6.13) an'latpalardan ku'shlengenlik ma'nisin eksperiment ja'rdeminde aniqlawda paydalani'ladi'

$$Q_e = f_0 / (f_2 - f_1). \quad (6.14)$$

Yesaplawlar. Terbelis konturi'ni'n' berilgen parametrleri ushi'n (6.1-kesteg qaran') f_0 rezonans jiyiligin, xarakteristikali'q r qarsi'li'qti', ku'shlengenlik Q di', rezonans procesindegi konturdi'n' R_r ni' yesaplan'. Yesaplawlar na'tiyjelari 6.2-kesteg kiritin'. PTKni'n' dara ko'shlengenligin $Q = \rho/R_k$ an'latpa ja'rdeminde yesaplan', bunda R_k – induktivlik katushkasi' quwatli'li'q i'srabi' qarsi'li'g'i'.

6.1-kestedegi berilgen ma'nisler ushi'n ishki qarsi'li'g'i' R_I bolg'an kernew deregi ha'm ju'kleme qarsi'li'g'i' R_N qa jalg'ang'an PTKni'n' ekvivalent

ku'shlengenligin, ekvivalent qarsi'li'q R_{re} di yesaplan'. Yesaplaw na'tiyjelerin 6.2-kestege kiritin'.

Terbelis konturi' parametrleri

6.1-keste

$R=R_1+R_2=$	$L=$	$C=$	
$f_0=1/2\pi\sqrt{LC}=...$	$\rho=\sqrt{L/C}=...$	$Q=\rho/R_1=...$	$Q_e=Q\rho=...$
$R_n=50\text{ k}\Omega$	$R_{yuk}=$	$R_{p\varnothing}=(R_p^{-1}+R_H^{-1}+R_H^{-1})^{-1}=...$	$R_{re}=R_{re}/\rho=...$

PTKni'n' $E=5\text{ V}$. bolg'andag'i' kernew $U_k(f)$ boyi'nsha jiyilikli (6.3-su'wret) ha'm kernew menen tok arasi'ndag'i' fazalar ji'lji'wi' $\varphi(f)$ xarakteristikolari'n yesaplan'.

Yesaplawlardi' to'mendegi jiyiliklerde $f=f_0\pm4\Delta f_{gr}$, $f_0\pm2\Delta f_{gr}$, $f_0\pm\Delta f_{gr}$, f_0 wori'nlanadi', bunda $\Delta f_{gr}=f_0/20_e$. Yesaplawlar na'tiyjelerin 6.2-kestege kiritiledi. $U_k(f)$ ha'm $\varphi(f)$ yesaplawlardi' kompyuterda EXCEL, MatLab ha'm bocqa bag'darlamalari' ja'rdeminde wori'nlaw mu'mkin.

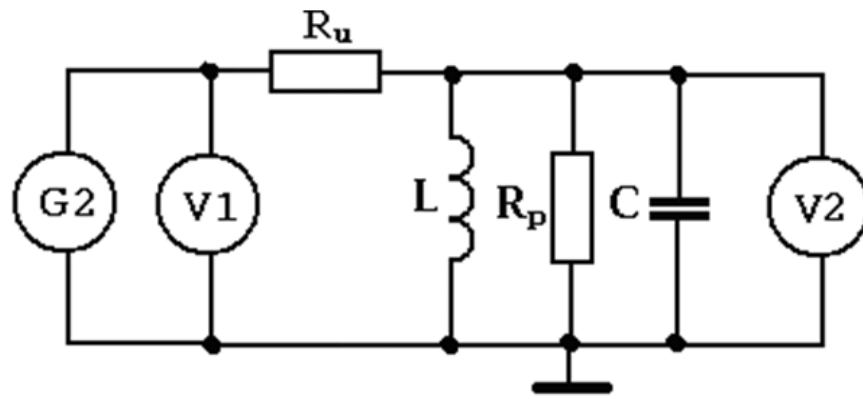
6.2-keste

№	Yesaplaw na'tiyjeleri				O'lshe'w na'tiyjeleri	
	f	f, kHz	U_k, V	φ, grad	U_k, V	φ, grad
1	$f_0-4\Delta f_{gr}$					
2	$f_0-2\Delta f_{gr}$					
3	$f_0-\Delta f_{gr}$					
4	f_0					
5	$f_0+\Delta f_{gr}$					
6	$f_0+2\Delta f_{gr}$					
7	$f_0+4\Delta f_{gr}$					
$f_0=... \text{kHz}; \quad f_1=... \text{kHz}; \quad f_2=... \text{kHz}; \quad Q_e=... \text{kHz}; \quad \Delta f=?;$						

Parallel jalg'ang'an terbelisli konturdi' izertlew algoritmi:

1. PTKni'n' dara rezonans qarsi'li'g'i' R_r ha'm rezonans jiyiligi ω_r yesaplanadi'.

6.5-su'wrette keltirilgen sxema ji'ynaladi'.



6.5-su'wret.

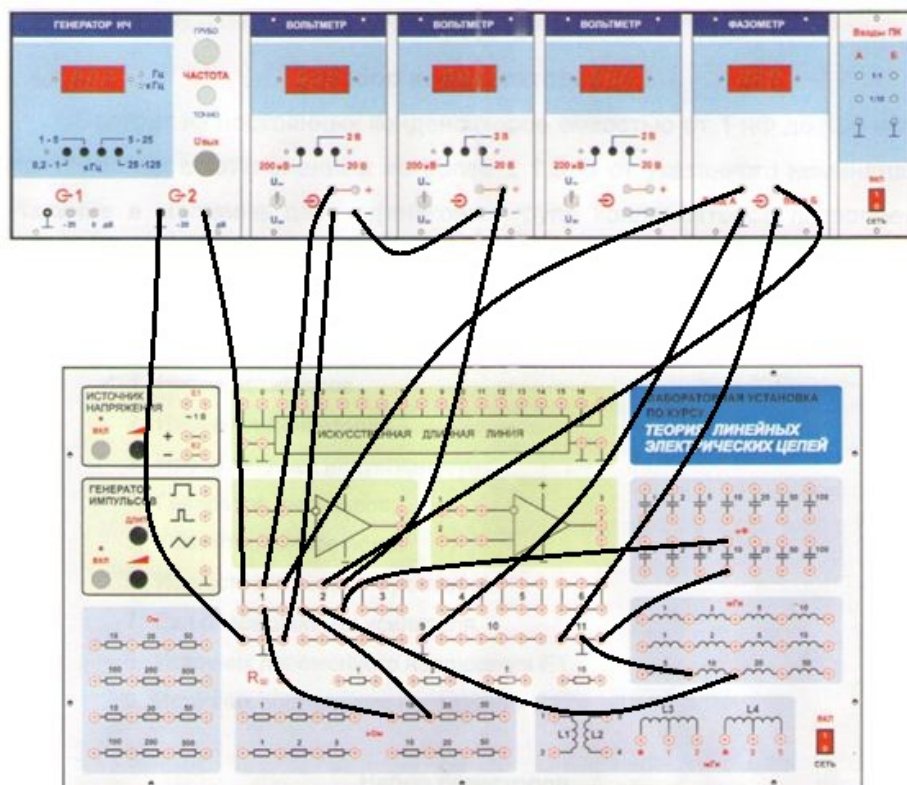
3. Generator kernewi jiyiligin bir tegis wo'zgartip, V_2 voltmetridin' maksimal ko'rsetkishi boyi'nsha PTKni'n' rezonans jiyiligi wo'lshenedi.

4. Rezonans jiyilik f_0 ha'm voltmetrlar V_1 ha'm V_2 kwrsetkishlari jazi'p ali'nadi'. PTKni'n' na'tiyjelilik rezonans qarsi'li'g'i' to'mendegi an'latpa ja'rdeminde ani'qlanadi':

$$R_p = R_{II} \frac{U_2}{U_1 - U_2}$$

5. Terbelis konturi'ni'n' xarakteristikali'q qarsi'li'g'i' to'mendegishe yesaplanadi':

$$\rho = \sqrt{L/C}.$$



6.6-su'wret. Qurilma elementlerin tutastiri'w sxemasi'

6. Induktivlik katushkasi'ni'n' i'srabi'na proporcional bolg'an aktiv qarsi'li'q (kondensatordag'i' i'sraplar yesapqa ali'n'basi'n). Buni'n' ushi'n, da'slep terbelis konturi'ni'n' ku'shlengenligi ani'qlanadi'

$$Q=R_p/\rho,$$

7. Induktivlik katushkasi' aktiv qarsi'li'g'i' yesaplanadi'

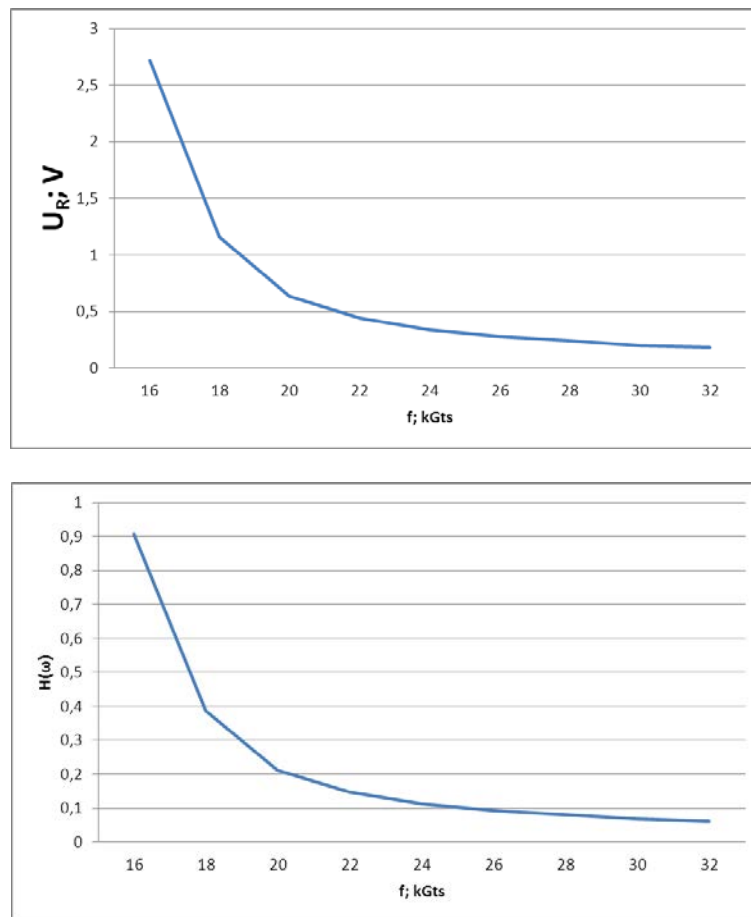
$$R_K=\rho/Q.$$

8. R_K ni'n' wo'lshengen ha'm yesaplang'an ma'nisleri (6.1-kestege qaran') sali'sti'ri'ladi'.

Parallel terbelisli konturi'ni'n' AJX ha'm FJXi'n wo'lshew algoritmi:

1. 6.6-su'wrette keltirilgen sxema ji'ynaladi'.
2. Sxema parametrleri 6.1-kestedegi ma'nisleri wornati'ladi'. G2 generatori'ni'n' shi'g'i'wi'nda kernew ma'nisi garmonikali'q kernew dereginin' maksimal imkoniyatli' kernewi wornati'ladi' ($E=5$ V).
3. Parallel terbelis konturi'ni'n' AJX ha'm FJX kernewleri $U_K(f)$ di', ha'mde kernew menen tok arasi'ndag'i' fazalar ji'lji'wi'n wo'lshew, da'slepki yesaplawlar wori'ngan' an jiyiliklerde a'melge asi'ri'ladi'. Wo'lshewler na'tiyjeleri 6.2-kestege kiritiledi.
4. Oscillograf ekrani'nan rezonans jiyiliginen kishi ($f=f_0 - \Delta f_{gr}$), rezonans jiyiligi ($f=f_0$)de ha'm rezonans jiyiliginen u'lken ($f=f_0 + \Delta f_{gr}$) bolg'an jiyiliklerde terbelis konturi' kiriwindegi kernew $U_K(f)$ ha'm $i_K(f)$ toklardi'n' bir zamattag'i' ma'nisleri grafikleri si'zi'ladi'.
5. Da'slepki yesaplawlar ha'm wo'lshewler na'tiyjeleri boyi'nsha (6.2-kestege qaran') jiyilikli xarakteristikalar grafikleri $U_K(f)$ ha'm $\varphi(f)$ si'zi'ladi'.

f; kGts	16	18	20	22	24	26	28	30
$U_R(\omega)$; V	2,72	1,16	0,63	0,44	0,34	0,28	0,24	0,20
U_K/U_{KP}	1	0,43	0,23	0,16	0,13	0,10	0,09	0,07
$H(\omega)$	0,907	0,387	0,21	0,147	0,113	0,093	0,08	0,067
$\Phi_K(\omega)$; grad	3	66	78	81	84	85	86	86



6.7 a,b-su'wret. Wo'tkerilgen ta'jiriybe na'tiyjelerinin/grafikali'q ko'rinishi.

7 §. Wo'mir xi'zmeti qa'wipsizligi

Elektr togi'nani paydalani'w qag'i'ydalari'. Ta'biyattag'i' barli'q na'rselerde, a'sirese, insan worganizminde de elektr zaryadlari' bar boli'p, wolar wo'z-ara ten'salmaqli'li'qta turadi' ha'm wo'mir ushi'n hesh qanday qa'wip turdi'rmaydi'. Bunnan ti'sqari', insan denesi ag'zalari'ni'n' iskerligi ju'da' ku'shsiz elektr signallari' ja'rdeminde a'melge asi'ri'ladi' ha'm basqari'ladi'. Biraq insan worganizminen elektr togi' wo'tip baslag'anda, bul ten'salmaqli'li'q ha'm zaryadlardi'n' jaylasi'w ta'rtibi wo'zgeredi ha'm ju'da' qi'sqa waqi'tta insanni'n' ju'rek, miy qusag'an ju'da' a'hmiyetli ag'zalari'ni'n' tiklep bolmaytug'i'n da'rejede isten shi'g'i'wi'na, yag'ni'y insan wo'limine ali'p keledi.

Insan wo'miri ushi'n pu'tkil dene boylap, ma'selen, bir qoldan yekinshisine qaray yaki qoldan ayaqqa qarap wo'teteug'i'n elektr togi' yen' qa'wipli

yesaplanadi'. A'dette, tok urg'anda elektr togi' insan denesi arqali' jerge wo'tip ketedi. Sol sebepli kompyuter xanasi'n beton polli' xanalarg'a yaki binani'n' jer to'lelerine jaylasti'ri'w qatan' qadag'an yetiledi ha'm xanani'n' poli' elektr togi'n wo'tkizbeytug'i'n (ma'selen, taxtadan) jasali'wi' ha'm barli'q kompyuterlerdin' korpuslari' jerge jalg'ani'wi' (yaki elektr ta'miynati'ni'n' evrou'lgilerge sa'ykeslenip jalg'i'ni'wi') talap yetiledi.

Joqari' kernew (220 Volt) ju'retug'i'n si'mlardi'n' barli'g'i', solardan uzayti'rg'i'shlar, kompyuter ha'm basqa elektr quri'lmalari' elektr ta'miynati'na jalg'ani'w si'mlari'ni'n' yeki ma'rte izolyaciya ki'li'ng'anli'g'i' talap yetiledi. Kompyuter xanasi'nda tek dawis ku'sheytiriw quri'lmalari', skanerler qusag'an elektr quwati'n az tuti'ni'wshi' quri'lmalar bir izolyaciya si'mlar menen elektr tarmag'i'n jalg'anadi'. Sol sebepli wolar basqa elektr quri'lmalari'nan bo'lek turi'wlari' ha'm wolardi'n' aldi'na woqi'wshi'lar kele almawi' tiyis.

Insan denesinen ag'i'p wo'tetug'i'n tok mug'dari' insan denesinin' elektr togi'na qarsi'li'g'i'na da baylani'sli'. Paydalani'wshi'lardi'n' samallap qali'wi', temperaturasi' ko'teriliwi, terlep turi'p kompyuterde islewi, barmaqlari'ni'n' ti'rnali'wi' yamasa jaralani'wi' ha'm ha'tte qoldi' juwi'p, jaqsi' su'rtpew de insan denesi qarsi'li'g'i'n 250 ma'rte kemeytirip, tok uri'w qa'wpin sonsha ma'rte asi'ri'p jiberiwi mu'mkin. Sol sebepli informatika pa'ninen sabaqlardi' dene ta'rbiya ha'm miynet ta'limi qusag'an pa'nlerden keyin sabaq kestesine qoyi'w mu'mkin yemes. Woqi'wshi'lardi' informatika xanasi'na kirgiziwde wolardi' birme-bir ko'zden wo'tkerip shi'g'i'w, salamatli'g'i' jaman ha'm barmaqlari'nda mashqalalar bolg'an woqi'wshi'larg'a bo'lek itibar beriw kerek.

Kompyuterdin' ha'm wog'an jalg'anatug'i'n barli'q quri'lmalardi'n' korpuslari' tok wo'tkermeytug'i'n materiallardan jasaladi' ha'm metall isletilgende de, wolar tok wo'tkermeytug'i'n boyawlar menen qaplanadi'. Bug'an tek kompyuterdin' arqa ta'repindegi boltlar ha'm tu'rli si'mlar jalg'anatug'i'n uyalar kirmeydi.

Kompyuterdin' korpusi'nda joqari' kernewli elektr togi' bolmasa da, wolar jerge jalg'anbag'an yamasa jaqsi' jalg'anbag'an ha'm uzaq waqi't, ma'selen, ku'n

boyi' islep ati'rg'an bolsa, korpusta wo'mir ushi'n qa'wipli xanada kompyuterlerdi diywal boylar yamasa xana wortasi'na yeki qatar yetip wornati'li'wi' kerek. A'sirese, xanag'a qarap, diywal qaptali'nda woti'ratug'i'n woqi'wshi'ni'n' kompyuterin wornati'wg'a u'lken itibar berip, woni'n' arqa ta'repine woqi'wshi'li'rdi'n' wo'te almawi'n ta'miyinlewi kerek.

Zamanago'y kompyuter texnikasi'nda sisema blogi'ni'n' aldi'n'g'i' ta'repindegi tu'yme kompyuterdi elektr togi'nan pu'tkilley u'zbeydi. Buni'n' ushi'n kompyuter korpusi'ni'n' arqa ta'repindegi tu'ymeden paydalani'w kerek. Yeger kompyuter korpusi'nda bunday tu'yme bolmasa, kompyuterdi elektr tarmag'i'na a'ne sonday tu'ymes bar uzayti'rg'i'shlar arqali' jalgaw kerek. Bunnan ti'sqari', xanadag'i' barli'q kompyuterlerdi elektr tarmagi'nan u'ziwshi jalg'i'z u'zgish te boli'wi' kerek.

O'rtin' aldi'n ali'w sharalari'. Kompyuterdin' ishinde keminde 4 dana: elektr ta'miynati' blogi'nda, mikroprocessor u'stinde, vinshestr markasi'ndag'i' diskte ha'm videoprocessor u'stinde ventilyator barli'g'i'ni'n' wo'zi kompyuterdin' qi'zi'p ketiw qa'wpi qanshelli joqari' yekenligin ko'rsetip turi'pti'. A'sirese, respublikami'z sharayati'nda ba'ha'r ha'm jaz aylari'nda hawa-rayi'ni'n' keskin i'si'p ketiwi bul qa'wipti ja'ne de asi'radi'. Tuwri', kompyuter u'skenelerinin' qi'zi'p ketiwi ko'birek wolardi'n' isten shi'g'i'wi'na ali'p kelse-de, ku'ygen u'skeneler elektr ta'miynati' sistemasi'nda qi'sqa tutasi'wg'a ha'm wo'rtke sebep boli'wi' mu'mkin. Kompyuter qi'zi'p ketiwinin' aldi'n ali'w ushi'n wolardi'n' korpusi'ndag'i' ventilyacion tesikler jabi'li'p kali'wi'na jol qoymaw kerek. Wolarg'a hawa ag'i'mlari'ni'n' biyma'lel bara ali'wi' ushi'n kompyuterdi diywalg'a taqap qoyi'w, wolardi' saqlaw ushi'n mo'lsherlengen temir quti'larda turg'an hali'nda isletiw, kompyuter ha'm monitor u'stine qag'az betleri, da'pter ha'm kitaplardi' qoyi'w, kompyuter texnikasi'n wolardi' shan'nan saqlaw ushi'n tigilgen qaplardi' ji'ynasti'rmay isletiw qadag'an yetiledi.

Kompyuter texnikasi'ni'n' basli' dushpani' hawadag'i' shan' boli'p, wol hawani' kompyuter ishine aydaytug'i'n ventilyatorlar sebpli kompyuter ishine ji'ynali'p qaladi', ventilyatoroardi'n' wo'zi toqtap qali'wi'na ali'p keledi, elektron

u'skeneler u'stin qaplap, wolardi'n' si'rtki' wortali'qqa i'ssi'li'q uzati'w imkaniyatlari'n kemeytirip, wolardi'n' ku'yiwine ali'p keledi. Hawadag'i' shan' mug'dari'n kemeytiriw ushi'n xanani'n' diywallari', poli' ha'm to'besi, yesik ha'm aynalardi' boyawda tek mayli' boyawlar isletiliwi kerek ha'm suwli' boyawlardan bul maqsette paydalani'p bolmaydi'.

Elektromagnit ha'm lazer nurlani'wlari'. Kineskopli' monitorlarda, ekrandag'i' su'wretke qarap 30 000 Voltqa shekem bolg'an joqari' kernew, sistemali' blokta 3 000 000 000 Gercqa shekem bolg'an joqari' jiyilikli elektr signallari' bar boli'p, wolardi'n' yekewi de an'sat nurlana aladi'. Bunday nurlardi' tosi'p kali'w ushi'n barli'q sharalar ko'rilgen ha'm insan salamatli'g'i' ushi'n qa'wipli yemes.

Kompyuter texnikasi'nan naduri's paydalani'w, a'sirese, bir xanada u'lken mug'darda texnika ji'ynalg'an, wolardan ku'n boyi' paydalani'lg'an, xana hawasi'nda jeterli mug'darda shan' bolg'an hallarda bull nurlani'w hawadag'i' shan' bo'lekshelerinin' az mug'darda bolsa da ionlasi'wi'na (zaryadlasi'wi'na) ali'p keliwi ha'm paydalani'wshi'lardi'n' keypiyati'na unamsi'z ta'sir yetiwi mu'mkin. Buni'n' aldi'n ushi'n kompyuter xanasi'na taza hawani'n' ta'biyiy ra'wishte hawa shaxtalari' arqali' ha'm ma'jbu'riy ra'wishte ventilyatorlar arqali' kiriwi ko'zde tuti'lg'an boli'wi' kerek.

Kompyuter texnikasi' qurami'na lazer nuri'nan paydalanatug'i'n quri'lmalar da boli'p, wolar qatari'na kompakt disklerdi woqi'w ha'm jazi'w quri'lmalari' ha'm lazerli baspadan shi'g'ari'w quri'lmalari' kiredi. Bul kuri'lmalar 1-klass lazerli quri'lmalar boli'p, wolardag'i' lazer nuri' salamatli'q ushi'n qa'wipli yemes ha'm quri'lmadan si'rtqa taralmaydi'. Biraq wolardi' won'law waqti'nda lazer nuri'na woni'n' bag'dari'nda ha'm lupa arkali' qaraw ko'z qarashi'g'i'na zi'yan jetkiziwi mu'mkin ha'm wolardi' tek arnawli' tayarli'q ko'rgen qa'niygeler won'lawi' talap yetiledi.

Za'ha'rli zatlar ha'm sanitariya-gigiena talaplari'. Lazerli printerdin' poroshogi qurami'na za'ha'rli zatlar kiredi. Wolar qag'azg'a tu'sirilip ati'rg'anda ku'ydiriledi ha'm pu'tkilley zi'yanzi'slandi'ri'ladi'. Printerge ti'g'i'li'p qalg'an

qag'az suwi'ri'p ali'ng'anda wondag'i' poroshokti'n' bir bo'legi ku'ydirilmegen boladi' ha'm hawag'a shan' ta'rizinde tarqali'wi', kiyim ha'm terige jug'i'p, insan worganizmine kirip bari'wi' mu'mkin. Bunday shala ku'ydirilgen qag'azlardi' qarawsi'z qaldi'ri'w, wolardan basqa maqsetlerde paydalani'w ha'm shi'g'i'ndi' quti'larg'a taslaw mu'mkin yemes. Wolardi' da'rhal aldi'nnan tayarlap qoyi'lg'an juqa cellopan yaki qag'az paketlerge sali'w ha'm si'rtqa ali'p shi'g'i'p ku'ydirip taslaw kerek.

Lazerli printerlerde tek wolarda paydalani'w ko'zde tuti'lg'an qag'azlardi' isletiw kerek. Basqa tu'rdegi, a'sirese, cipislenetug'i'n gazeta qag'azlari'nan paydalani'w usi'ni's yetilmeydi.

Informatika sabag'i'nda woqi'wshi'lar kompyuterde islegende, basqa sabaqlardan pari'qli' ra'wishte, wolardi'n' bir qatar muskulleri tarti'lg'an halatta boladi' ha'm kompyuterde uzaq mu'ddet islew toli'q qa'liplesip u'lgermegen woqi'wshi'lardi'n' deneleri zori'g'i'wi'na ha'm naduri's qa'liplesiwine ali'p keliwi mu'mkin. Buni'n' aldi'n ali'w ushi'n to'mendegi talaplarg'a a'mel qi'li'w kerek:[14]

1) Kompyuter monitori' woti'rg'an woqi'wshi'lardi'n' ko'zleri da'rejesindegi biyiklikte boli'p, woqi'wshi'lar wonnan 40 sm den 80 sm ge shekem bolg'an arali'qta woti'ri'w imkaniyati'na iye boli'wi' kerek.

2) Kompyuterdin' klaviaturasi' woti'rg'an woqi'wshi'lardi'n' bu'gilgen tirsekleri da'rejesinde boli'wi' kerek. Ti'shqansha ushi'n klaviaturani'n' yeki jeterli wori'n qaldi'ri'li'wi' ha'm wolar bir qi'yli' biyiklikte boli'wi' kerek.

3) Kompyuterdi ha'tte arnawli' islengen stend ha'm shkaf ko'rinishidegi mebellerge sali'w qadagan yetiledi. Kompyuter stoli'ni'n' tartpalari' bolsa, wolar woqi'wshi'lardi'n' woti'rg'an halda ayaqlari'n aqi'ri'na shekem uzati'wlari'na kesent yetpewi kerek.

4) Kompyuterde toqtawsi'z islew waqti' woqi'wii'lar ushi'n 30 minuttan aspawi' kerek.

5) Kompyuter xanasi'ni'n' kvadrat metrlerdegi qa'ddi wog'an jaylasti'ri'lg'an kompyuterler sani'nan keminde 6 ma'rte ko'p boli'wi' kerek.

6) Kompyuter xanalari' jeterli quwatqa iye ventilyaciya sistemasi'na boli'wi' lazi'm.

7) Kompyuter klaviaturasi'na patas qollar ha'm wo'stirilgen ti'rnaqlar menen islewge ruxsat berilmeydi.

8) Jug'i'mli' kesellikler itimali' bar waqi'tta woqi'wshi'lar kompyuterde islewden aldi'n ha'm keyin qollari'n sabi'n menen juwi'wi' kerek.

9) Klaviaturani'n' kompyuter islemey ati'rg'an waqi'tta uzaq mu'ddetke ashi'q qali'wi' ha'm wonda shan' ji'ynali'p qali'wi'ni'n' aldi'n ali'w kerek.

Juwmaqlaw

Usi' pitkeriw qa'nigelik jumi'si'nda wo'zgermeli elektr shi'nji'ri'ndag'i' ju'z beretug'i'n ha'diyselerdi u'yrenildi.

Bul wo'zgermeli tokti'n' ha'r qi'yli' elementli elektr shi'nji'rlari'nda ta'jiriybelerdi ali'p bari'w sxemalari' izertlendi, atap aytqanda:

- qarsi'li'q ha'm induktivlik elementleri qatnasqan elektr shi'nji'rlari'nda ta'jiriybe wo'tkeriw sxemasi' ha'm algoritmi;

- qarsi'li'q ha'm si'yi'mli'li'q elementleri qatnasqan elektr shi'nji'rlari'nda ta'jiriybe wo'tkeriw sxemasi' ha'm algoritmi;

- parallel jalg'ang'an terbelisli konturdi' izertlew sxemasi' ha'm algoritmi keltirilgen.

Joqari'da atap wo'tilgen shi'nji'rlarda ali'p bari'lg'an ta'jiriybe na'tiyjeleri keste ko'rinishde ha'm grafikali'q ko'rinishlerde su'wretlengen.

O'tkerilgen ta'jiriybeler, real sharayatqa jaqi'nlasti'ri'lg'an halatlari'n ta'jiriybe wo'tkeriw arqali' izertlenilip, analitikali'q usi'lda alng'an na'tiyjeleri menen wolardi'n' funkciyalari'ni'n' grafikali'q ko'rinishleri sali'sti'ri'p u'yrenildi.

Uli'wma juwmaqlasti'ri'p soni' ayti'wi'mi'z mu'mkin, ta'jiriybe (eksperiment) usi'li'nda ayi'ri'm koefficientlerin tabi'w arqali', yeki usi'ldag'i' kelip shi'qqan qa'teliklerdi ha'm yesaplaw usi'llari'ndag'i' ayi'rmashi'li'q sali'sti'ri'ldi'. Real sharayatta ta'jiriybeler ali'p bari'li'wi'nda ha'r bir obektin' wo'zine ta'n qa'siyetleri, wo'zgermeli tokti'n' wo'zgerip turi'wi', ha'r bir wo'tkerilgen ta'jiriybelerdegi ma'nislerge wo'z ta'sirin ko'rsetiwi ko'rip shi'g'i'ldi'.

PAYDALANILG'AN A'DEBIYATLAR

1. Антонью А. Цифровые фильтры: анализ и проектирование: Пер. с англ. –М.: Радио и связь, 1993. -320 стр.
2. Астайкин А.И., Помазков А.П., В 2 т. Т.1.: учеб. Пособия для студ. ВУЗов. Издательский центр «Академия», 2009. -304 стр.
3. Бакалов В.П., Воробиенко П.П., Крук Б.И. Теория электрических цепей.: Учебник для ВУЗов; Под ред. В.П. Бакалова, -М.: Радио и связь, 1998. 44 стр.
4. Белецкий А.Ф. Теория электрических цепей: Учебник для ВУЗов. –М.: Радио и связь, 1986. -544 стр.
5. Крылов В.В., Корсаков С.Я. Основы теории цепей для системотехников: Учеб. Пособие для ВУЗов. –М.: Высш. шк., 1990. - 224 стр.
6. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи: Учебник для ВУЗов. -3-е изд., -М.: Высш. шк., 1990. -400 стр.
7. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. Учебник для ВУЗов. В трех томах. Под общ. ред. К.М.Поливанова. Т.1. К.М.Поливанов. Линейные электрические цепи с сосредоточенными постоянными. М., «Энергия», 1972. -240 стр.
8. Русча-ўзбекча политехника атамалар луғати. О.У.Салимов бош муҳаррирлигида.–Т. «Фан», 1995. -360 бет.
9. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., Bazarov M.B., Xalilov A.J. Boshqarish sistemalarini kompyuterli modellashtirish asoslari. O'quv qo'llanma. Navoiy, «Navoiy Gold Servis», 2008. 184 bet.
10. [www. sciteclibrary. ru/](http://www.sciteclibrary.ru/)
11. [www. infonata. org/](http://www.infonata.org/)
12. [www. mirkinig. ru/](http://www.mirkinig.ru/)
13. [www. intuit. ru/](http://www.intuit.ru/)
14. www.ziyonet.uz/
15. www.tuit.uz/