

Габаритная рабоча №217.  
изображение процесса в последовательной  
электрической цепи.

Протокол.

$$L(2), C = 3,3 \text{ м}^3$$

2)

$R_{\text{н}}$	$I_{\text{н}}$	$A_5$	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_{1,2}$	$\delta$	$\bar{\tau}_{\text{н}}$
0	5	2,4	2,8	3,12	3,52	4,0		320
100		2,16	2,56	2,88	3,36	3,92		320
320		1,92	2,24	2,42	3,20	3,84		320
550		1,68	2,08	2,52	3,08	3,42		320
540		1,44	1,80	2,28	2,88	3,60		320
860		1,08	1,40	1,88	2,52	3,86		320
1600		0,92	0,46	1,16	1,84	2,88		320
2400		0,24	0,40	0,72	1,32	2,44		320
9100	-	-	-	-	-	-		$\bar{\tau} = \frac{1}{T} = 3125 \text{ Гц}$

2) На фазе

3) Резонансный ток  $I = 1600 \text{ Ам}$  Как изобразить осциллограмму?  
(затухание)

$$\textcircled{1} R = 220 \Omega \text{ и } R = 2400 \Omega \quad L \approx 0,786 \text{ Гн.}$$

Активная емкость цепи  $U = 0,213 \text{ В}$

$$R = 220 \Omega$$

$$U_{\text{ном}} = 3,94 \text{ В} \quad \bar{\tau}_c = 3200 \text{ Гц.}$$

$$0,7 \cdot U_{\text{ном}} = 2,75 \text{ А} \\ 2,69 \text{ В}$$

$$\bar{\tau} = 3250 \text{ Гц.}$$

$$V \rightarrow 0$$

$$\bar{\tau} = 9000 \text{ Гц.}$$

Равен ли он 60 Гц в синус?

$$R = 220 \Omega \text{ и } \bar{\tau}_c = 3125 \text{ Гц.}$$

$$\bar{\tau}_R = 3125 \text{ Гц}$$

$$\bar{\tau}_L = 3125 \text{ Гц} \sim 3200 \text{ Гц}$$

5,9

$$R = 2400 \Omega \text{ и } \bar{\tau}_c = 3106 \text{ Гц.}$$

$$\bar{\tau}_R = 3106 \text{ Гц.}$$

$$\bar{\tau}_L = 3144 \text{ Гц.}$$

7 Гц  
1000  
1400  
1800  
2200  
2600  
2800  
3000  
3008  
3016  
3024  
3032  
3040  
3048  
3056  
3064  
3072  
3080  
3096  
3104  
3112  
3120  
3128  
3137  
3145  
3153  
3161  
3169  
3174  
3185  
3193  
3201  
3209  
3217  
3225  
3233  
3241  
3249  
3257  
3265  
3273  
3281  
3289  
3297  
3305  
3400  
3500  
3700  
3800  
4500  
5500  
6500  
7500  
8500  
9500

7 T4.	Uc, B	Ul, B	Ur, B	R, Oo.	E, B.
1000	0, 808	0, 03	5, 2	220	0, 248
1400	0, 34	0, 064	5, 88		
1800	0, 402	0, 125	4, 02		
2200	0, 52	0, 243	9, 42		
2600	0, 807	0, 533	15, 44		
2800	1, 184	0, 908	13, 85		
3000	1, 639	1, 45	13, 80		
3008	1, 405	1, 52	85, 00		
3016	1, 46	1, 546	88, 15		
3024	1, 85	1, 666	38, 0		
3032	1, 925	1, 7445	39, 63		
3040	2, 02	1, 844	44, 4		
3048	2, 12	1, 95	43, 8		
3056	2, 316	2, 185	44, 8		
3064	2, 45	2, 528	56, 20		
3072	2, 82	2, 84	58, 49		
3080	3, 01	2, 82	62, 3		

3000	2, 36	2, 09	48, 2		
3020	2, 63	2, 38	53, 52		
3040	2, 95	2, 693	60, 48		
3060	3, 35	3, 10	68, 8		
3080	3, 84	3, 81	49, 35		
3088	4, 07	3, 89	84, 89		
3096	4, 281	4, 15	90, 36		
3104	4, 62	4, 428	98, 0		
3112	4, 89	4, 42	101, 9		
3120	5, 43	5, 04	112, 5		
3128	5, 56	5, 51	117, 40		
3137	5, 848	5, 74	118, 2		
3145	5, 880	5, 85	123, 19		
3153	5, 882	5, 882	125, 83		
3161	5, 910	5, 94	124, 28		
3169	5, 88	5, 886	123, 41		
3177	5, 45	5, 804	121, 30		
3185	5, 59	5, 662	118, 0		
3193	5, 384	5, 482	113, 89		
3201	5, 156	5, 27	109, 49		
3209	4, 92	5, 06	104, 29		
3217	4, 87	4, 82	98, 54		
3225	4, 44	4, 60	94, 69		
3233	4, 20	4, 38	89, 73		
3241	3, 98	4, 17	85, 11		
3249	3, 44	3, 849	74, 56		
3257	3, 04	3, 266	66, 0		
3300	2, 699	2, 93	58, 55		
3400	1, 05	1, 904	38, 42		
3500	1, 18	1, 42	28, 98		
3700	0, 908	0, 96	14, 11		
3900	0, 194	0, 788	12, 85		
4500	0, 24	0, 516	4, 98		
5500	0, 116	0, 389	5, 88		
6500	0, 064	0, 34	5, 26		
7500	0, 04	0, 315	5, 18		
8500	0, 03	0, 3	5, 20		
9500	0, 016	0, 29	5, 38		

△ = 50

D, F	U, G	UL, B	UR, WB
2000	0, 85	0, 03	48, 82
2400	0, 80	0, 06	63, 5
2800	0, 98	0, 123	61, 38
2800	0, 51	0, 286	94, 8
2800	0, 44	0, 488	155, 60
2800	1, 418	0, 934	183, 4
2920	1, 185	0, 944	189, 0
2930	1, 164	0, 984	190, 8
2945	1, 19	1, 018	195, 8
2980	1, 90	1, 05	203, 0
2995	1, 244	1, 084	205, 4
2990	1, 842	1, 12	210, 2
3005	1, 308	1, 20	222, 6
3020	1, 34	1, 295	224, 5
3035	1, 305	1, 291	232, 0
3050	1, 414	1, 308	236, 4
3085	1, 432	1, 389	240, 9
3080	1, 45	1, 38	244, 5
3095	1, 42	1, 388	244, 9
3110	-	-	-
3005	1, 30	1, 154	218, 2
3025	1, 33	1, 203	224, 3
3045	1, 38	1, 248	224, 3
3065	1, 386	1, 291	232, 6
3085	1, 402	1, 33	234, 9
3100	1, 42	1, 32	240, 5
3110	1, 428	1, 34	242, 3
3120	1, 438	1, 39	243, 4
3130	1, 424	1, 403	245, 0
3140	1, 440	1, 415	246, 0
3145	1, 4404	1, 4205	246, 2
3150	1, 4406	1, 4256	246, 5
3160	1, 439	1, 43	246, 9
3170	1, 437	1, 441	247, 1
3180	1, 432	1, 444	247, 0
3190	1, 426	1, 4509	246, 5
3200	1, 418	1, 453	246, 3
3210	1, 41	1, 453	246, 8
3220	1, 395	1, 456	247, 4
3230	1, 386	1, 498	247, 7
3240	1, 342	1, 442	246, 0
3250	1, 356	1, 435	238, 0
3260	1, 3417	1, 43	236, 8
3280	1, 304	1, 41	234, 0
3300	1, 24	1, 388	225, 4
3320	1, 23	1, 363	219, 6
3350	1, 17	1, 319	210, 1
3380	1, 09	1, 24	200, 8
3410	1, 05	1, 228	192, 5
3440	0, 99	1, 18	182, 5
3470	0, 94	1, 14	174, 8
3500	0, 88	1, 08	165, 4
3520	0, 85	1, 06	160, 28
3550	0, 80	1, 02	153, 9
3580	0, 45	0, 97	144, 0
3650	0, 646	0, 90	132, 0
4100	0, 3602	0, 617	83, 8

R, On  
2400  
0,248

F, A  
0,248

4600  
5000  
6000  
7000  
8000  
9000  
9900

Документ

3, здрав  
Р, ОН

0

100

200

✓ 350

✓ 540

уменьш.

800

СБ

1600

2400

9100

K

✓ F, склоняющ.

✓ F, склоняющ.

9800	0,22	0,485	64,6
5000	0,16	0,429	54,4
8000	0,09	0,358	50,5
7000	0,08	0,325	48,8
8000	0,098	0,30	48,85
9000	0,04	0,29	49,6
9900	0,03	0,284	50,95

Догадка № 400 18.

Загадка:

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	D	T, мк
0	34,2	39,6	32,6	31,6	29,8		320

100	32,8	31,4	30,8	29,8	28,4		320
-----	------	------	------	------	------	--	-----

200	29,4	28,8	28,2	24,4	28,2		320
-----	------	------	------	------	------	--	-----

350	25,8	24,8	23,6	22,0	19,8		320
-----	------	------	------	------	------	--	-----

500	23,8	23,2	22,2	21,0	19,2		320
-----	------	------	------	------	------	--	-----

880	20,0	19,6	19,0	18,0	16,4		320
-----	------	------	------	------	------	--	-----

1600	14,2	13,2	12,2	10,8	7,8		320
------	------	------	------	------	-----	--	-----

но убрано  $\tau_{\text{рас}} \approx 600$  мк

2400	10,4	10,1	9,68	8,92	8,80		320
------	------	------	------	------	------	--	-----

9500	бес	макс					
------	-----	------	--	--	--	--	--

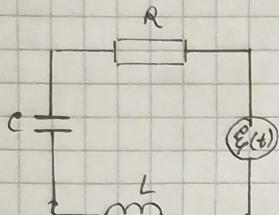
01. 03. 22

-1

Очаг по изобретательской работе № 217.  
Кондуктивные процессы в гидравлическом  
экспериментальном конкурсе.

Цель работы: исследование кондуктивных процессов в гидравлическом устройстве с потерями.

Приборы и оборудование: кондуктивный потокур, вакуумметры, осциллограф.



Теоретическая часть.

Уравнение, описывающее процесс в исследуемом потокуре:

$$\ddot{q} + 2\delta \dot{q} + \omega_0^2 q = f(t) \quad (1)$$

где  $q$  - заряд на конденсаторе,

$\delta = \frac{R}{2L}$  - подрывное засухание,

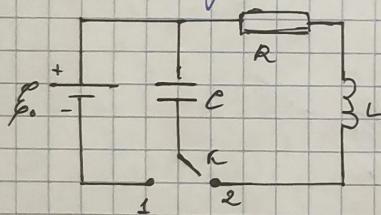
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  - собственная частота потокура,

$f(t) = \frac{\mathcal{E}}{L}$  - вынуждающая сила,  $\mathcal{E}$  - внешняя ЭДС.

Рассмотрим 3 случая

1) Собственное колебание в экспериментальном конкурсе:

Схема подключения: сначала к 1 контактам 1 (конденсатор заряжен), затем к 2.



Уравнение колебаний в таком случае:

$$\ddot{q} + 2\delta \dot{q} + \omega_0^2 q = 0$$

Решение этого ур:

$$q = A_0 \cdot e^{-\delta t} \cos(\omega_s t + \varphi)$$

где  $\omega_s = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ ,  $\varphi$  - фаза колебаний,  $A_0$  - нач. амплитуда,

$\delta = \frac{R}{2L}$  - подрывного засухания.

Если изначально  $I = 0$ , то конденсатор подключен к  $\mathcal{E}$ , то  $U_c(0) = \mathcal{E}_0$ :

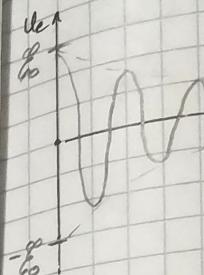
$$U_c = \frac{q}{C} = \frac{A_0}{C} e^{-\delta t} \cos(\omega_s t + \varphi) \\ \Rightarrow \mathcal{E}_0 = A_0 \cdot C \Rightarrow A_0 = \mathcal{E}_0 \cdot C$$

$I = \frac{dq}{dt} =$  условие начального засухания:  $\delta \ll \omega_s \Rightarrow -A_0 e^{-\delta t} \omega_s \sin(\omega_s t + \varphi)$ ,

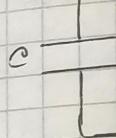
т.к.  $I(0) = 0$ , то  $\varphi = 0$ . « условие, что  $\delta \ll \omega_s$ , т.о.:

$$I \approx -A_0 \omega_s e^{-\delta t} \sin(\omega_s t)$$

$$\Rightarrow U_R = IR = -\mathcal{E}_0 \cdot C \cdot R e^{-\delta t} \sin(\omega_s t)$$



2) Внешнее



случай:

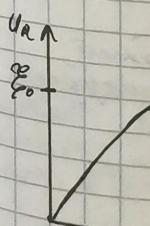
Установившееся колебание

$U_L =$

$U_C =$

$I_{av} = I_0$

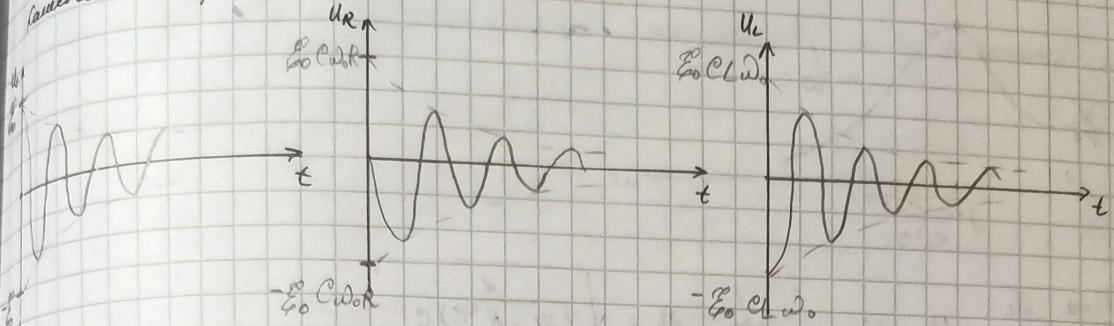
$D_{max} U_R$ :



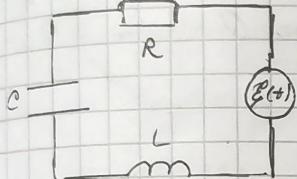
$D_{max} U_C$

$$U_L = L \frac{dI}{dt} = -A_0 \omega_0 L e^{-\delta t} \cos \omega_0 t.$$

Зависимость гармоник:



Взаимодействие колебаний в электрическом контуре:



Колебание под действием внешней силы (изменяющейся по гармоническому закону):

$$\ddot{q} + 2\delta\dot{q} + \omega_0^2 q = F_0 \cos(\omega t)$$

$$\Rightarrow q = B(\omega) \cos(\omega t - \psi)$$

$$\text{т.к. } B(\omega) = \frac{F_0}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}} ; \quad \tan \psi = \frac{2\delta\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}$$

Установившееся колебание имеет вид  $q = q_0 \cos(\omega t - \psi)$ , где  $q_0 = \frac{E_0}{L}$  называется амплитудой колебаний и зависит от  $\omega$ :

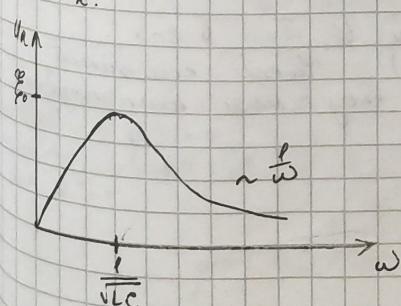
$$I_0 = \omega B(\omega) = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

$$U_L = I_0 \omega L = \frac{\omega L E_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

$$U_C = \frac{I_0}{\omega C} = \frac{E_0}{\omega C \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

$$U_R = I_0 R = \frac{E_0 R}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Для  $U_R$ :



$$U_R = U_{R\max} \quad \text{при} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$$

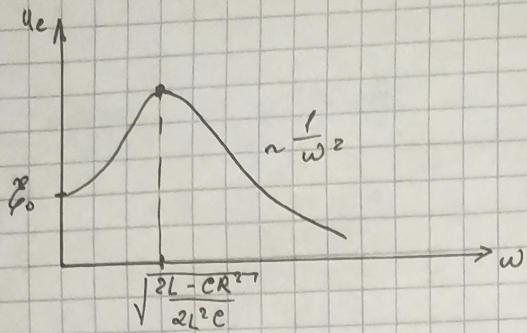
$$U_{R\max} = E_0$$

Для  $U_C$ :

$$U_C = U_{C\max} \quad \text{при} \quad \omega_c = \sqrt{\frac{R^2 - CR^2}{\alpha L^2 C}}$$

$$U_{cmax} = \frac{2LE_0}{R\sqrt{4LC - C^2R^2}}$$

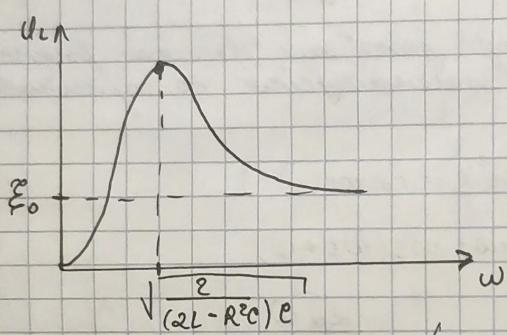
$$\text{или } U_{cmax} = \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}} E_0$$



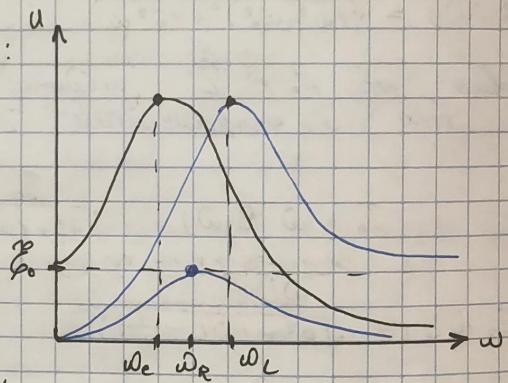
Для  $U_L$ :

$$U_L = U_{Lmax} \quad \text{при } \omega_L = \sqrt{\frac{2}{(2L - R^2C)C}}$$

$$U_{Lmax} = \frac{2LE_0}{R\sqrt{4LC - C^2R^2}} \quad \text{или } U_{Lmax} = \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}} E_0$$



Все 3 вида затухания:



Дифференциальный затухающий. Добротность.

Логарифмический дифференциальный затухающий:

$$\sqrt{I} = \ln \left( \frac{q_n}{q_{n+1}} \right) = \ln \left( \frac{I_n}{I_{n+1}} \right) = \delta T$$

~ логарифмическое относительное значение  $q$  или  $I$ , т.е. в 2-х последовательных мгновениях ( $n$  и  $n+1$ ). Число  $\delta T$  называется добротностью (брешью времени).

$$N = \frac{\tau}{\delta T} = \frac{\rho}{\delta T} = \frac{\rho}{\delta}$$

Добротность:

$$Q = \pi N = \frac{\pi}{\delta}$$

~ при  $\delta \ll \omega_0$  (малое затухание)

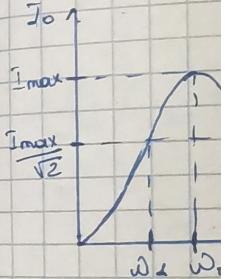
$$\sqrt{I} = \delta T \approx \frac{\delta T \sqrt{I}}{\omega_0} = \frac{\pi Q}{\omega_0 L} = \pi Q C \omega_0 = \pi Q \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Резонанс  
Резонансное  
затухание  
При

$U_L, U_C,$

=> затухание  
затухание  
затухание

но  $Q$



3) Горячий

процесс  
затухания

Контактный  
затухающий  
процесс при  
 $\delta = 0$

$$Q = \frac{I}{N} = \frac{1}{f} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Резонансное приведение:

Резонансная зависимость от частоты - зависимость амплитуды колебаний

При  $\omega = \omega_0$ :

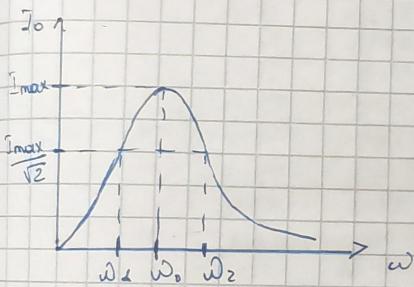
$$\frac{U_L}{U_R} = \frac{U_C}{U_R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = Q$$

$$U_R = \varphi_0$$

$U_L$ ,  $U_C$ ,  $U_R$  - амплитудные значения напряжений на  $L$ ,  $C$ ,  $R$  соответственно

$\Rightarrow$  амплитуда колебания показывает во сколько раз амплитуда колебаний на синусе в 2 раза больше при резонансе превышает амплитуду синуса ЭДС.

Но  $Q$  не имеет смысла  $\rightarrow$  по изучению резонансных явлений:



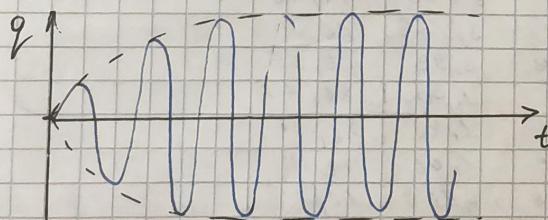
$$\Delta = \omega_2 - \omega_1$$

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta}$$

3) Установление колебаний в свободном колебании:

Процесс установления колебаний в колебании описывается уравнением:

$$q = A \cdot e^{-\delta t} \cos(\omega_0 t + \varphi) + B \cos(\omega t + \psi)$$



Например, в колебании без потерь и в случае начальных условий ( $q(0) = 0$ ,  $\dot{q}(0) = 0$ ) процесс установления колебаний можно определить по формуле  $A_0$  и  $\varphi$  из начальных условий и уравнения, что  $\delta = 0$ :

$$q(t) = \frac{F_0}{\omega_0^2 - \omega^2} (\cos \omega t - \cos \omega_0 t)$$

Прямоугольный частот.

2. Численное значение велических констант.

9) Построение регулярных кривых.

График 1.

N	$\tau, \text{Гц}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$U_c, \text{В}$	$U_L, \text{В}$	$U_R, \text{мВ}$	$R, \Omega$	$E, \text{В}$
1	1000	6283,2	0,306	0,05	6,8	220	0,276
2	1400	8788,5	0,34	0,064	5,88		
3	1800	11309,4	0,202	0,125	4,03		
4	2200	13823,0	0,52	0,243	9,42		
5	2600	16336,3	0,807	0,533	15,44		
6	2800	17592,9	1,187	0,808	23,35		
7	3000	18849,6	2,36	2,09	48,2		
8	3020	18975,2	2,63	2,36	53,52		
9	3040	19100,9	2,95	2,683	60,48		
10	3060	19226,5	3,25	3,1	68,8		
11	3080	19352,2	3,84	3,61	79,35		
12	3088	19402,5	4,07	3,89	84,89		
13	3096	19452,2	4,362	4,15	90,58		
14	3104	19503,0	4,62	4,428	96,0		
15	3112	19553,3	4,89	4,71	101,9		
16	3120	19603,5	5,43	5,27	112,5		
17	3128	19653,8	5,58	5,51	117,4		
18	3137	19710,4	5,746	5,71	118,2		
19	3145	19760,6	5,88	5,85	123,19		
20	3153	19810,9	5,882	5,882	123,88		
21	3161	19861,3	5,93	5,94	124,28		
22	3169	19911,4	5,86	5,886	123,41		
23	3177	19961,7	5,75	5,804	121,3		
24	3185	20011,9	5,59	5,662	118,0		
25	3193	20062,2	5,884	5,984	113,89		
26	3201	20112,5	5,158	5,27	109,49		
27	3209	20162,4	4,92	5,06	104,33		
28	3217	20215,0	4,67	4,82	99,57		
29	3225	20263,3	4,44	4,8	94,69		
30	3233	20313,5	4,2	4,38	89,73		
31	3241	20363,8	3,98	4,17	85,11		
32	3249	20418,5	3,47	3,879	44,58		
33	3257	20465,1	3,04	3,266	66,0		
34	3300	20734,5	2,699	2,93	58,55		
35	3400	21382,8	1,65	1,904	86,42		
36	3500	21801,1	1,16	1,42	26,48		
37	3700	23247,8	0,706	0,96	17,11		
38	3900	24504,4	0,997	0,766	12,85		
39	4500	28274,3	0,24	0,516	4,96		
40	5500	34557,5	0,118	0,389	5,86		
41	6500	40840,7	0,067	0,34	5,26		
42	7500	47123,9	0,04	0,315	5,18		
43	8500	53440,1	0,03	0,3	5,2		
44	9900	62203,5	0,016	0,29	5,38		

График 1 соответствует Графику 1.

График 2: выведенный График 2.

N	$\bar{v}, \text{f}_4$	$\bar{w}, \frac{\text{pop}}{c}$	$U_c, \beta$	$U_L, \beta$	$U_R, \text{dB}$	$R, \Omega_m$	$E, \beta$
1	1000	0283,2	0,34	0,03	48,82		
2	2000	8796,5	0,34	0,06	53,5	2400	0,278
3	1800	11309,7	0,398	0,123	61,38		
4	2200	13823,0	0,51	0,236	77,8		
5	2800	16336,3	0,74	0,488	115,6		
6	2900	18221,2	1,116	0,937	183,4		
7	2920	18846,9	1,165	0,974	189,0		
8	2930	18409,7	1,167	0,984	190,8		
9	2845	18503,9	1,19	1,018	195,8		
10	-2960	18598,2	1,22	1,05	203,0		
11	2975	18692,5	1,247	1,087	205,4		
12	2990	18486,7	1,242	1,12	210,3		
13	3005	18880,9	1,3	1,157	218,2		
14	3025	19006,8	1,33	1,203	221,3		
15	3045	19132,3	1,36	1,248	227,3		
16	3065	19257,9	1,388	1,291	232,6		
17	3085	19383,6	1,407	1,33	237,4		
18	3100	19477,9	1,42	1,32	240,5		
19	3110	19540,7	1,428	1,37	242,3		
20	3120	19603,5	1,433	1,39	243,7		
21	3130	19668,4	1,437	1,403	245,0		
22	3140	19729,2	1,44	1,415	246,0		
23	3145	19760,6	1,4404	1,4205	248,2		
24	3150	19482,0	1,4408	1,4258	246,5		
25	3160	19854,9	1,489	1,43	246,9		
26	3170	19917,7	1,437	1,441	247,1		
27	3180	19980,5	1,432	1,447	247,0		
28	3190	20043,4	1,426	1,4509	246,5		
29	3200	20106,2	1,418	1,453	245,3		
30	3210	20169,0	1,41	1,453	244,8		
31	3220	20234,9	1,395	1,451	242,7		
32	3230	20294,7	1,386	1,448	241,4		
33	3240	20357,5	1,372	1,445	240,0		
34	3250	20420,4	1,356	1,435	238,0		
35	3260	20483,2	1,347	1,43	235,8		
36	3280	20608,8	1,307	1,41	231,0		
37	3300	20784,5	1,27	1,388	225,4		
38	3320	20860,2	1,28	1,363	219,6		
39	3350	21048,7	1,17	1,319	210,1		
40	3380	21237,12	1,09	1,27	200,8		
41	3410	21425,7	1,05	1,226	191,5		
42	3440	21614,12	0,99	1,18	182,5		
43	3470	21802,7	0,94	1,14	174,8		
44	3500	21991,1	0,88	1,08	165,4		
45	3520	22116,8	0,85	1,06	160,28		
46	3550	22305,3	0,80	1,02	153,9		
47	3580	22556,16	0,75	0,97	144,0		
48	3650	22933,6	0,676	0,9	132,0		
49	4100	25781,1	0,3802	0,617	83,8		
50	4600	28902,7	0,22	0,485	69,6		
51	5000	31415,9	0,18	0,429	58,47		
52	6000	34699,1	0,09	0,258	50,5		
53	7000	43982,3	0,08	0,325	48,8		
54	8000	50265,5	0,048	0,3	48,65		
55	9000	58598,7	0,04	0,29	49,6		
56	9900	62203,5	0,03	0,247	50,45		

При  $R = 220 \text{ Ом}$  получим следующие данные:

$$\omega_0 \approx 1986 \frac{1}{\text{s}}, \quad \frac{\mu_{\text{вн}}}{C} = \omega_0$$

$$\omega_c \approx 1988 \frac{1}{\text{s}}, \quad \frac{\mu_{\text{вн}}}{C}$$

$$\omega_L \approx 1986 \frac{1}{\text{s}}, \quad \frac{\mu_{\text{вн}}}{C}$$

Из коэффициентов:

$$\omega_R = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{находим } L:$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{\omega_R^2 C} \approx 0,468 \text{ Гн.}$$

Рассчитаем коэффициент:

1) Стабильное значение  $U_C, U_L$  и  $U_R$  ( $\text{при } U_R = \varphi$ ) при резонансе:

$$\frac{U_L}{\varphi} = \frac{U_C}{\varphi} = \frac{1}{R_{\text{вн}}} \sqrt{\frac{L}{C}} = Q$$

$$Q = \frac{U_C}{\varphi} \approx 23,42$$

$$Q = \frac{U_L}{\varphi} \approx 23,43$$

2) Измеренное значение резонансного квадта:

$$\Delta = \omega_2 - \omega_1 \approx 20546,58 - 19425,44 \approx 921,12 \frac{\mu\text{рад}}{\text{с}}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta} \approx 23,58$$

3) На основе формулы  $Q = \frac{1}{R_{\text{вн}}} \sqrt{\frac{L}{C}}$ . Найдем сопротивление  $R_{\text{вн}}$ .

$$U_R = \frac{\varphi_0 \cdot R}{R + r_{\text{вн}}} \rightarrow U_R \cdot R + U_R \cdot r_{\text{вн}} = \varphi_0 \cdot R \rightarrow r_{\text{вн}} = \frac{(\varphi_0 + U_R)R}{U_R}$$

$$r_{\text{вн}} \approx 268,7 \text{ Ом.}$$

$$Q = \frac{1}{R_{\text{вн}}} \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 33,22$$

Фактическое значение и погрешность:

$$Q_{\text{ф.}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{4} \approx 32,95$$

$$\Delta Q_{\text{ф.}} = \frac{|Q_1 - Q_{\text{ф.}}| + |Q_2 - Q_{\text{ф.}}| + |Q_3 - Q_{\text{ф.}}| + |Q_4 - Q_{\text{ф.}}|}{4} \approx$$

$$\Rightarrow Q \approx (32,95 \pm 0,05)$$

$$r_{\text{вн}} \approx 200,84 \text{ Ом.}; \quad r_{\text{вн}} \approx 392,8 \text{ Ом}$$

При  $R = 2000$  Ом получаем следующие результаты:

$$\omega_0 = \omega_R \approx 19917,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_c \approx 19792,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_L \approx 20165,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Из соотношения:

$$\omega_R = \omega_0 = \frac{l}{\sqrt{Lc}}$$
 находим  $L$ :

$$L = \frac{l^2}{\omega_0^2 c} = \frac{l^2}{\omega_R^2 c} \approx 0,463 \text{ Гн}$$

Рассчитаем коэффициент:

1) Сравнение частот  $\omega_c$ ,  $\omega_L$  и  $\omega_R$  (тогда  $Q_a = \infty$ ) при резонансе:

$$Q \approx 5,22$$

$$Q \approx 5,26$$

2) Изменение коэффициента резонанса при  $\omega$ :

$$\Delta = \omega_2 - \omega_3 \approx 21805,75 - 17986,3 \approx 3839,45 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta} \approx 5,19$$

3) При основе фильтра  $Q = \frac{l}{R_{\text{вн}} \sqrt{C}}$ ; Наибольшая  $R_{\text{вн}}$ !

$$\frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{\text{вн}}) R}{U_R} \rightarrow R_{\text{вн}} \approx 288,65 \text{ Ом}$$

$$Q = \frac{l}{R_{\text{вн}} \sqrt{C}} \approx 5,47$$

Среднее значение и коэффициент:

$$Q_{\text{ср.}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{4} \approx 5,21$$

$$\Delta Q_{\text{ср.}} \approx 0,21$$

$$\Rightarrow Q \approx (5,21 \pm 0,21)$$

$$r_{\text{вн,1}} \approx 204,95 \text{ Ом}, r_{\text{вн,2}} \approx 303,48 \text{ Ом.}$$

$$r_1 = (r_{\text{вн,1}} + r_{\text{вн,2}})_1 \approx 492,64 \text{ Ом}$$

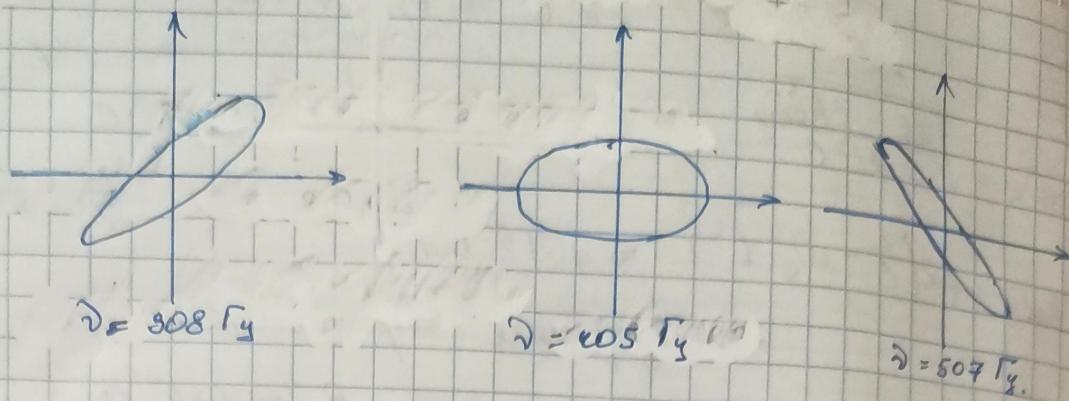
$$r_2 = (r_{\text{вн,1}} + r_{\text{вн,2}})_2 \approx 513,43 \text{ Ом}$$

$$r_{\text{ср.}} \approx 502,035 \text{ Ом.}$$

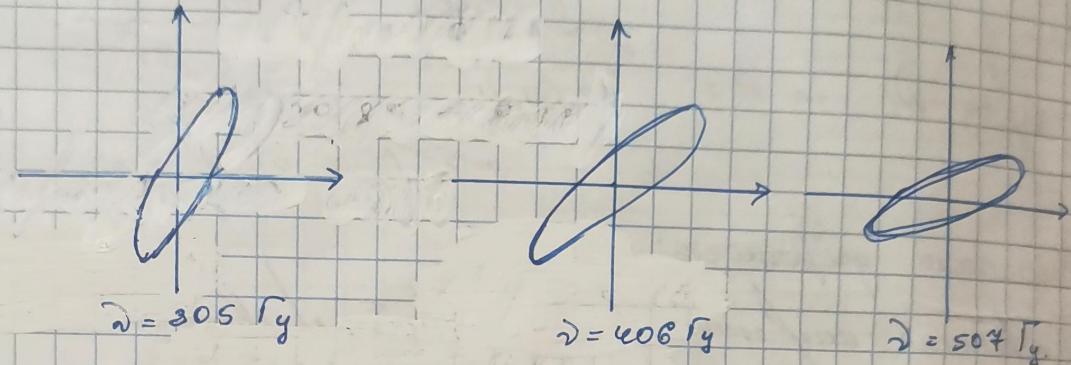
$$L_{\text{ср.}} \approx 0,4656 \text{ Ом.}$$

Радиобаcсостоjeaeeleet:

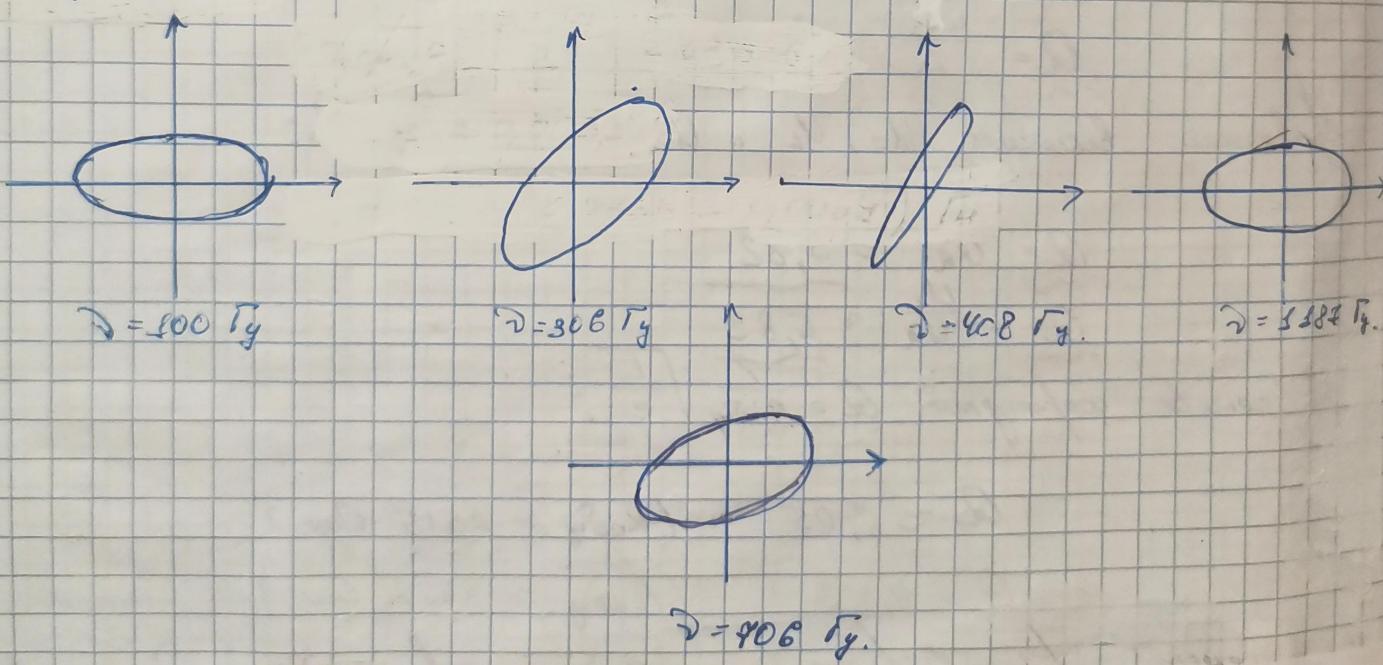
1)  $0x: U_c$   
 $0y: \xi$



2)  $0x: U_L$   
 $0y: U_c$

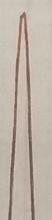
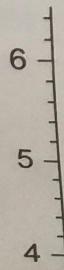


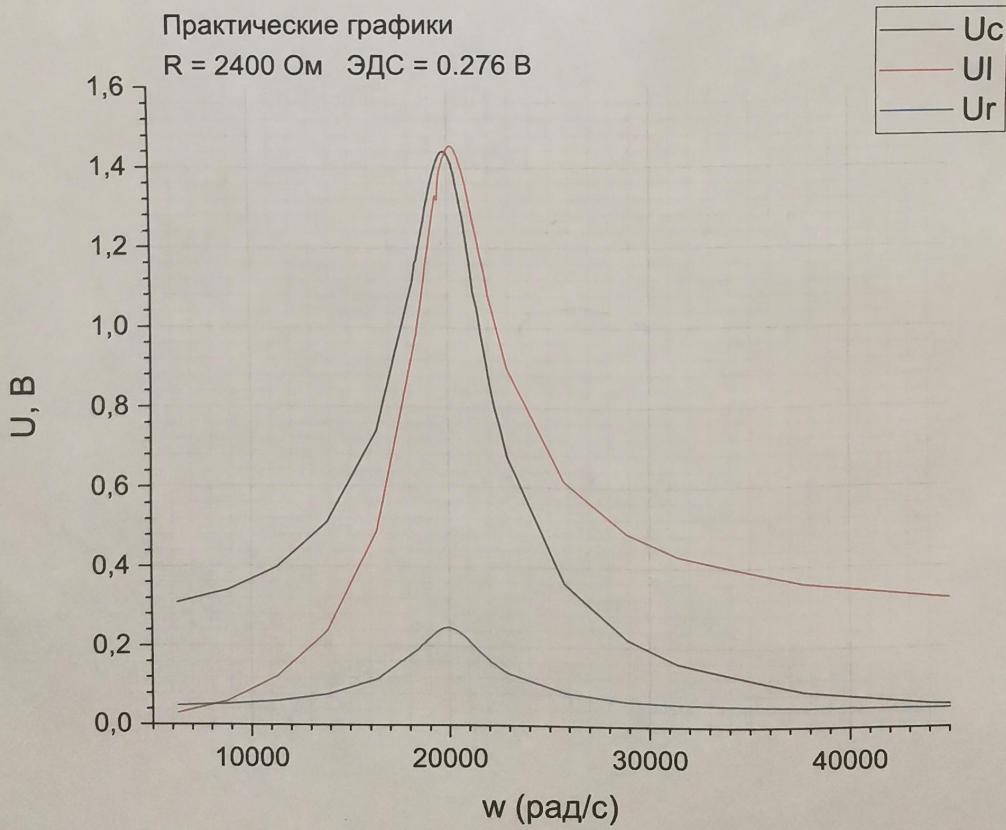
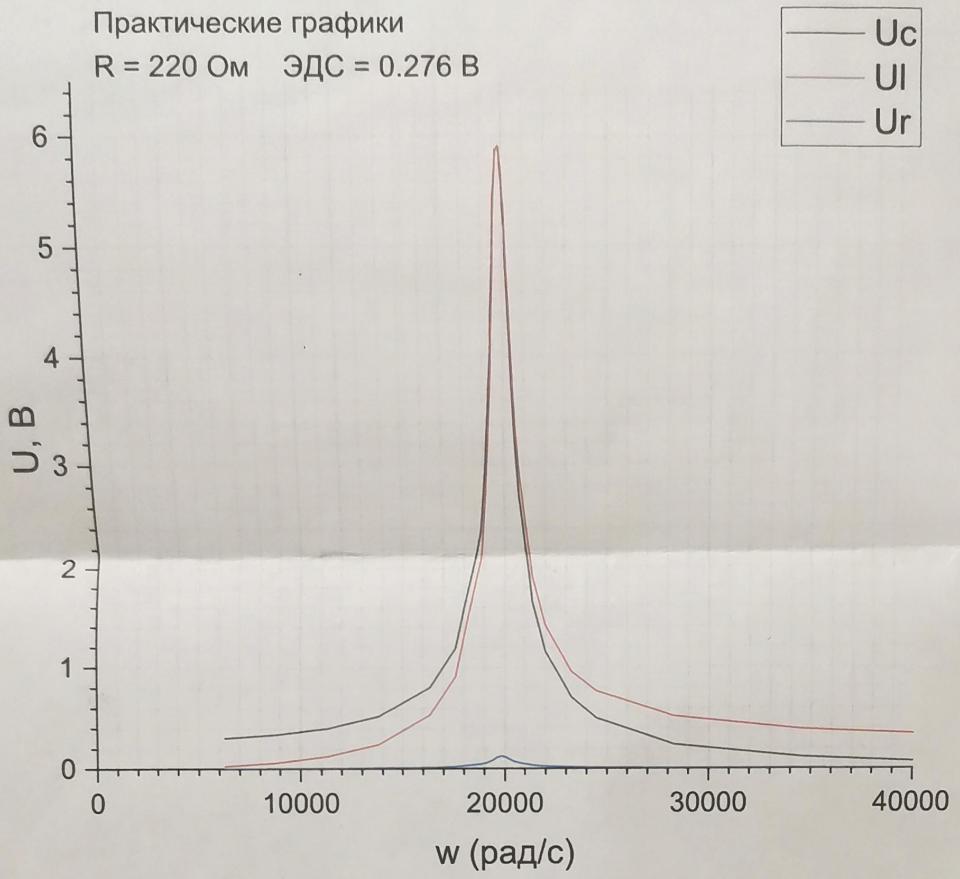
3)  $0x: \xi$   
 $0y: R$

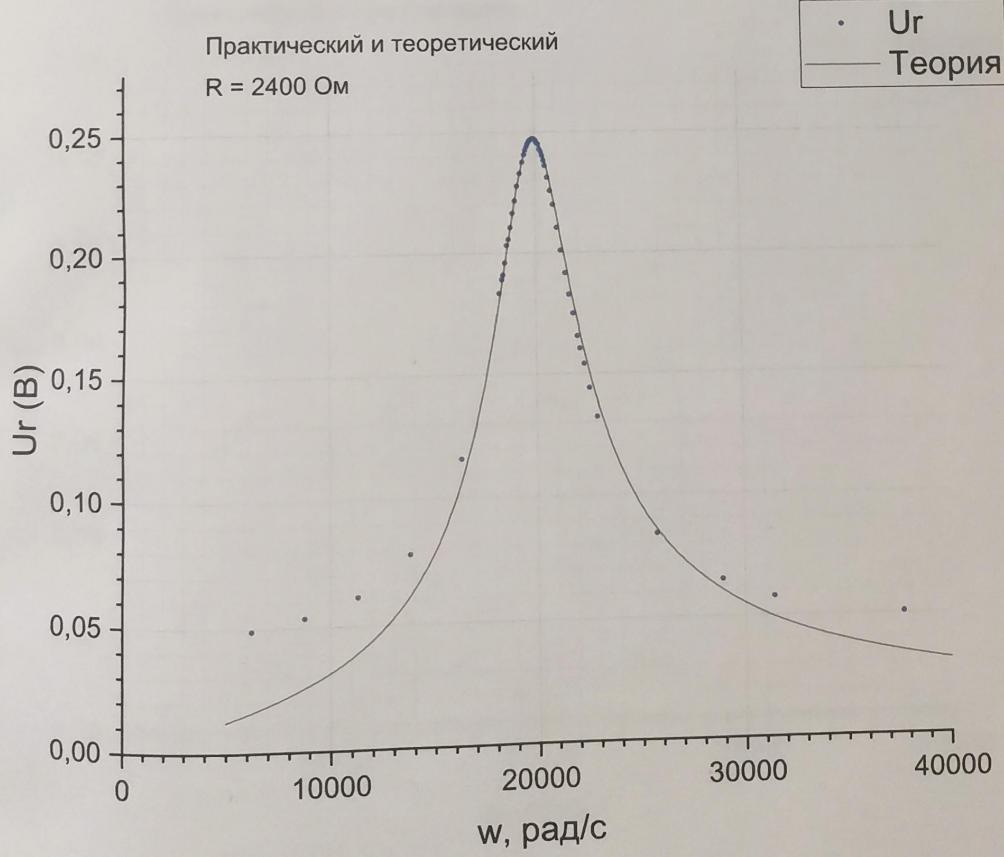
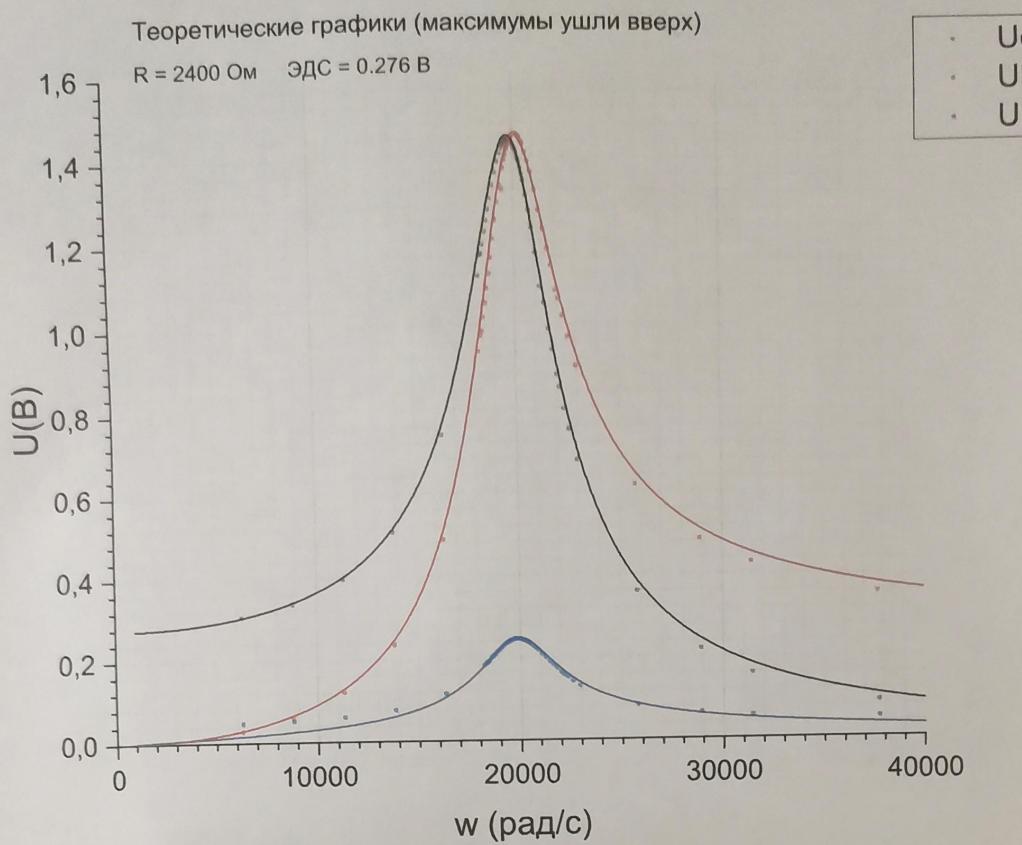


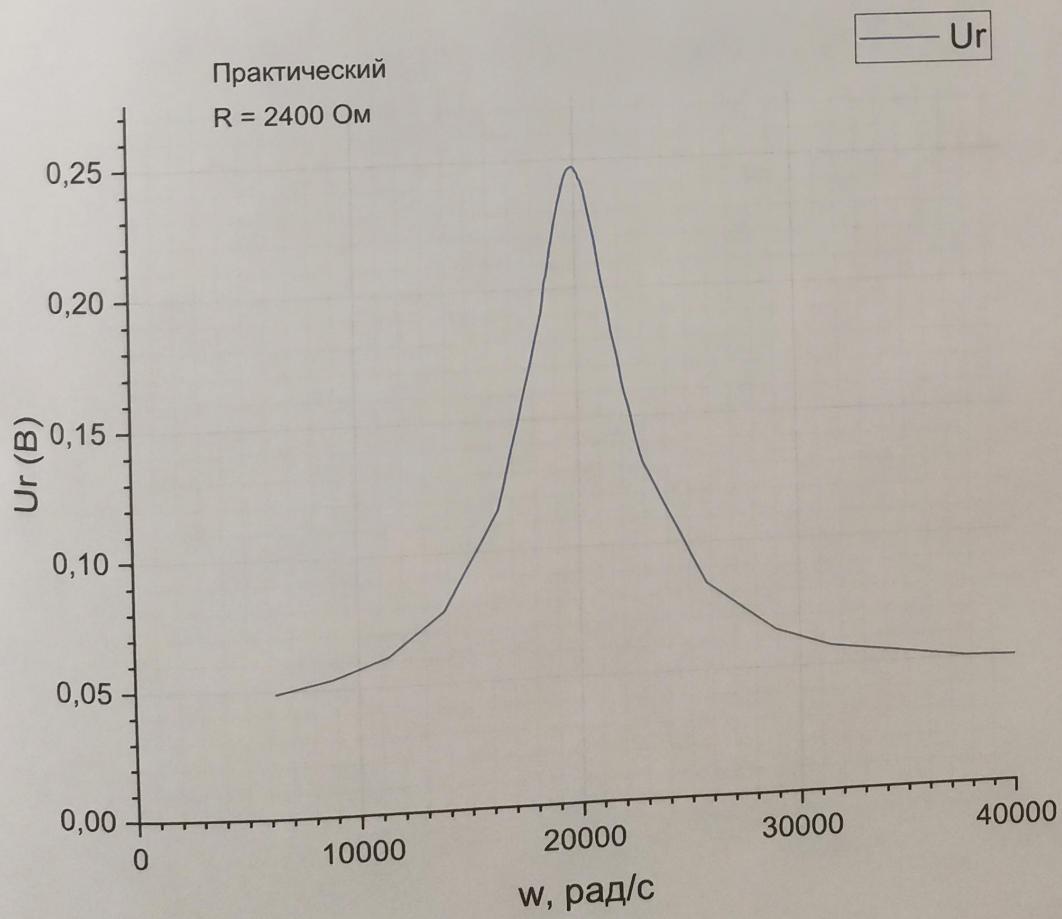
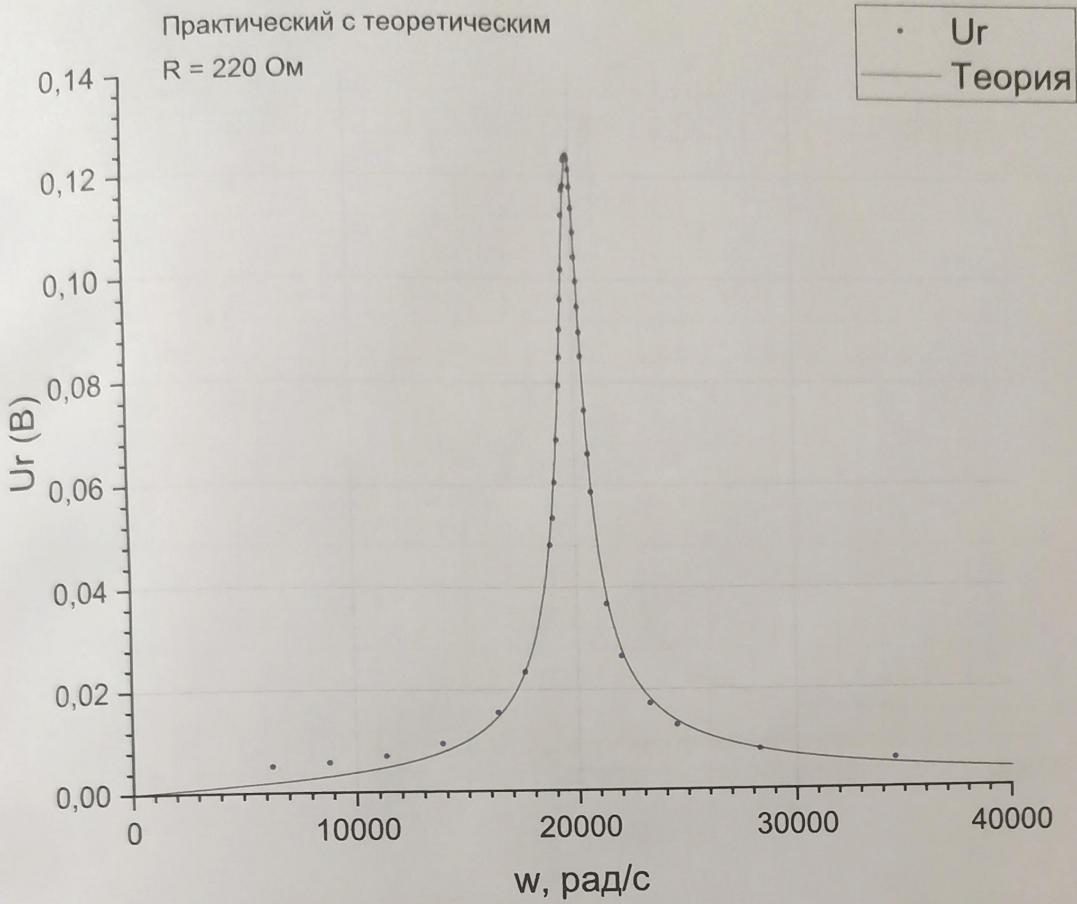
Практические графики  
 $R = 220 \Omega$  ЭДС = 0.276 В

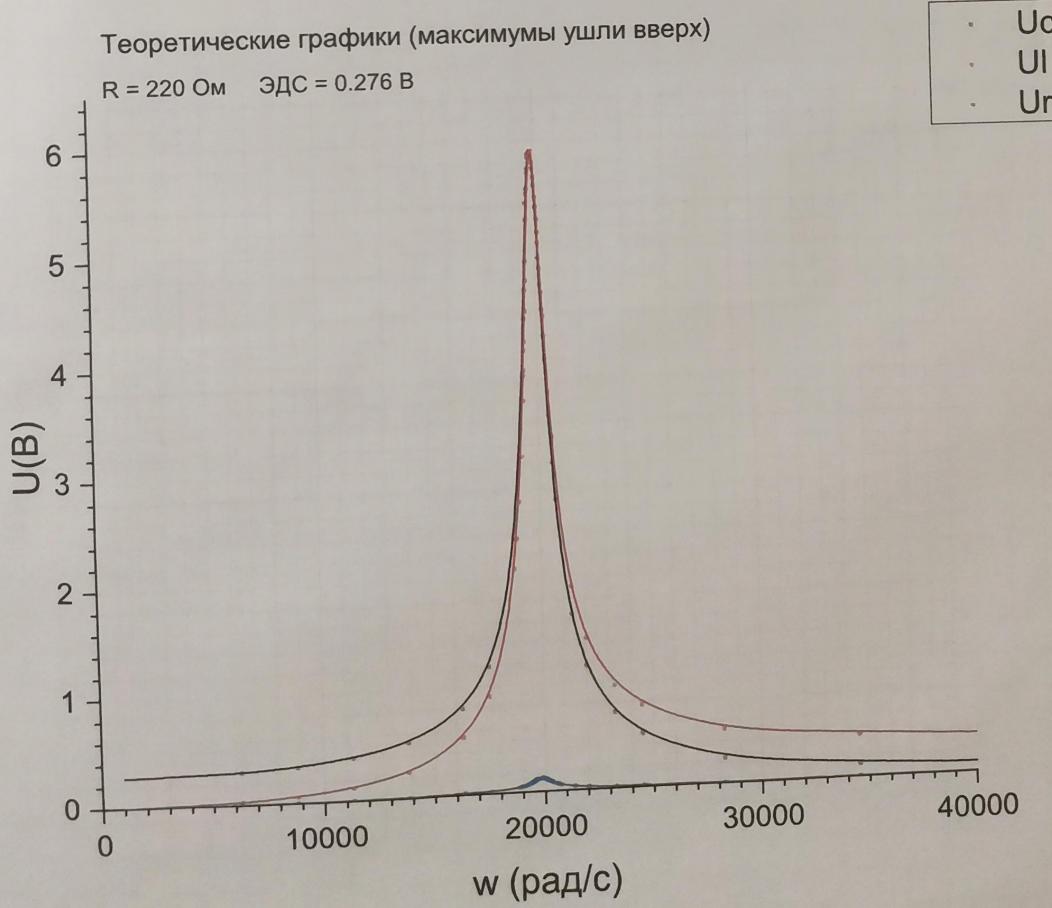
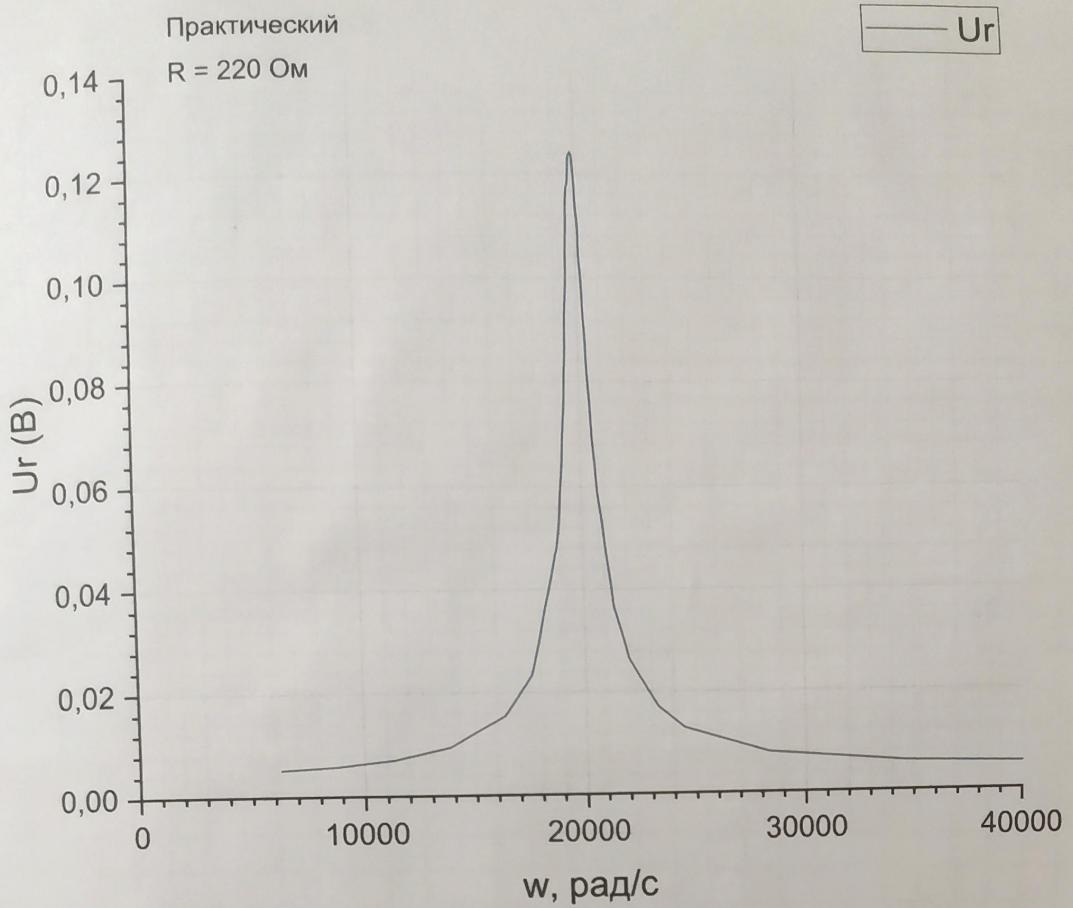
—	$U_c$
—	$U_I$
—	$U_R$



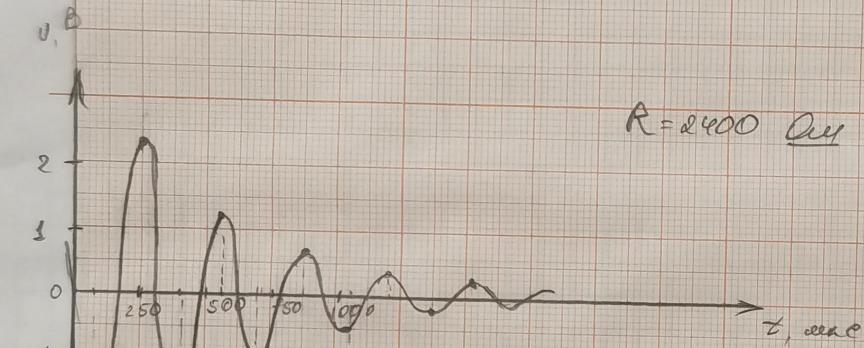
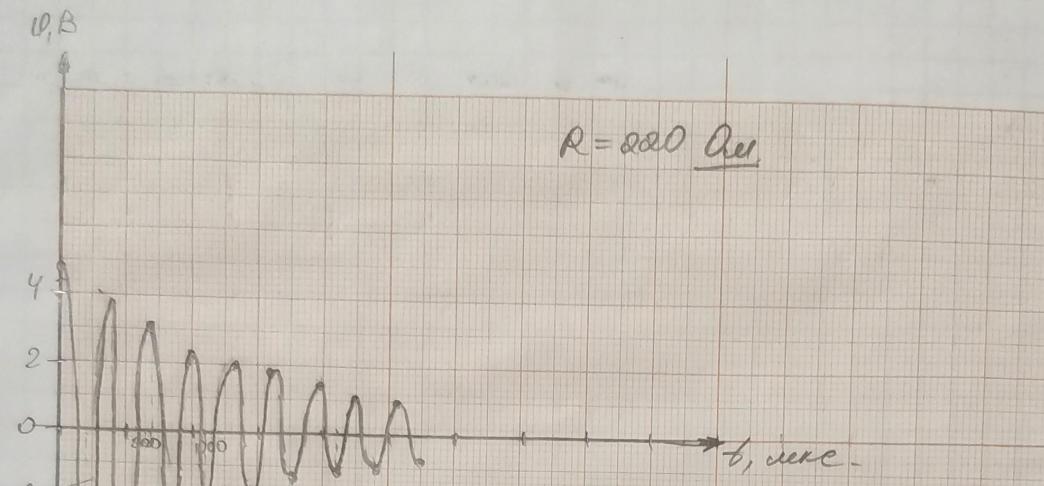




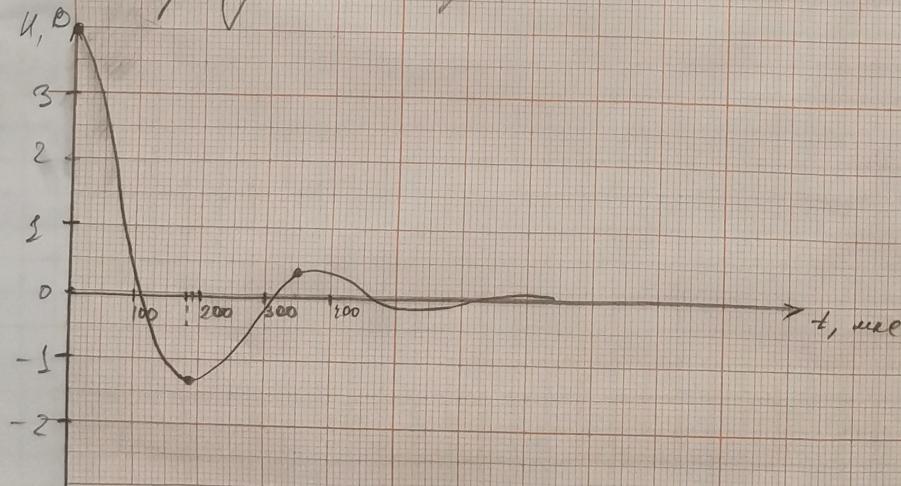




1. Численное собственное колебание в электрическом контуре:



Анти共振ный процесс.

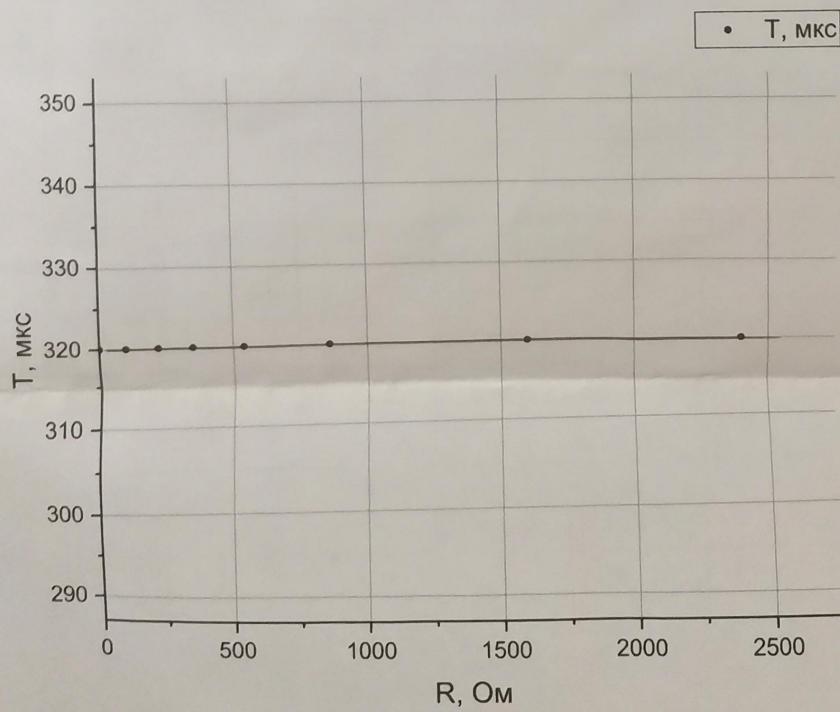
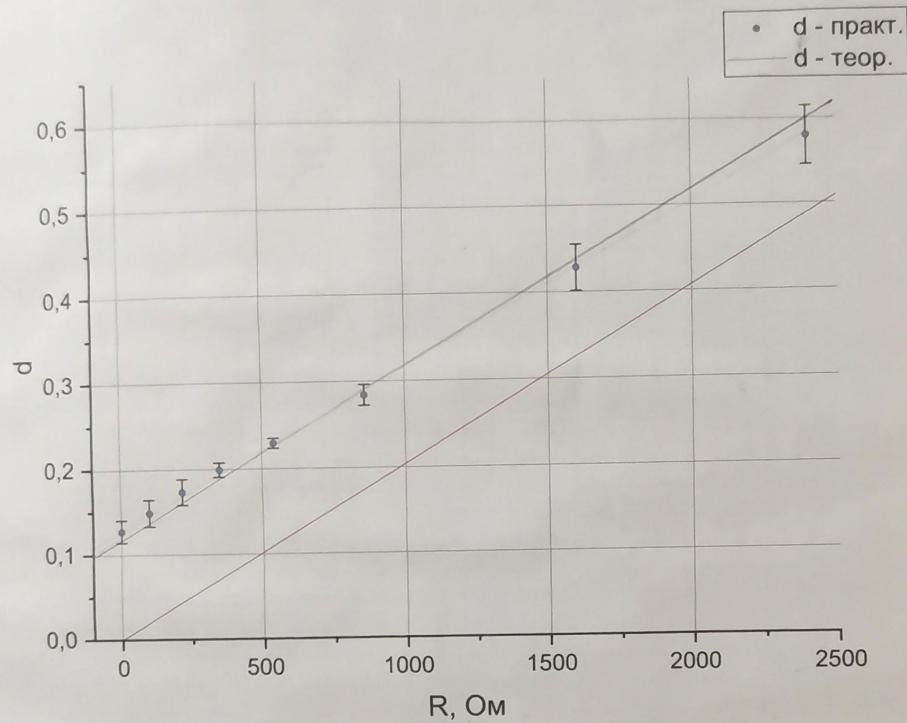


plot  
б. лист  
 $R = 2400$   
запись

На рисунках представлена зависимость коэффициента  $R = 220 \text{ Ом}$ ,  
 $A = 2400 \text{ см}^2$ .

Зависимость коэффициента затухания ( $\delta$ ) от сопротивления ( $R$ ):

$\delta$	0,187	0,149	0,173	0,199	0,229	0,284	0,427	0,579
$R, \Omega_{\text{н}}$	0	100	220	350	540	860	1800	2400
$\Delta t$	0,013	0,016	0,015	0,008	0,006	0,012	0,027	0,034



Геометрический график:

$$\delta = \delta\omega = \frac{\omega}{\omega_0} \sqrt{L} \approx \frac{\omega}{\omega_0} \frac{R}{2L} = \frac{\omega R \omega_0}{\omega_0^2 L} = \omega R \omega_0 C = \omega R \sqrt{\frac{C}{L}},$$

где  $R$  - наименое сопротивление цепи.

В экспериментальном датчике поддается зависящее от сопротивления резистора, но не удовлетворяющее сопротивление реального и проводов, поэтому при  $R=0$  производится расчета для  $\Delta \omega \neq 0$ .

Для для  $\delta\omega_{\text{раб}}$ :

$$\delta\omega_{\text{раб}} = \omega(R + r) \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad \text{где } r - \text{неучтённое сопротивление},$$

$$\Rightarrow \text{при } \delta\omega_{\text{раб}} (R=0) = \omega r \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\rightarrow r = \frac{\delta\omega_{\text{раб}} (R=0) \sqrt{L}}{\omega \sqrt{C}} \approx \underline{627,696} \text{ Ом.}$$

$$\Delta r \approx 10\% \\ \Delta r \approx 63 \text{ Ом.}$$

где  $L$  - измеряемое колебание, рассчитанное из формулы для  $\tau$ :

$$\tau = \frac{\omega}{\omega_s} \approx \frac{\omega}{\omega_0} = 2\omega \sqrt{LC}$$

$$\rightarrow L = \frac{\tau^2}{4\omega^2 C} = \underline{0,486} \text{ Гн.}$$

Обычное предположение  $\omega_s \approx \omega_0$ :

$$\omega_s = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \rightarrow \omega_0^2 \gg \delta^2$$

$$\rightarrow \frac{1}{LC} \gg \frac{R^2}{4L^2} \Rightarrow R \ll 2\sqrt{\frac{L}{C}} = R_{\text{раб.}}$$

$$R_{\text{раб.}} = \alpha \sqrt{\frac{L}{C}} \approx \underline{30866,28} \text{ Ом.}$$

Расчет  
параметров

Максимальное сопротивление, в то же время  $R_{\text{раб.}} = 2400$  Ом.

$$R_{\text{раб.}} \ll R_{\text{раб.}} \approx 30866,28 \text{ Ом.}$$

Разница между  $\tau$  и  $10 \text{ мс}$   $\Rightarrow$  предположение верно.

В таком случае  $\tau = \frac{2\pi}{\omega_0} = \text{const}$  не физически экспериментально!

$\frac{1}{C}$

Зависимость периода колебаний ( $\tau$ ) от сопротивления ( $R$ ):

$\tau, \text{мс}$	320	320	320	320	320	320	320	320
$R, \text{Ом}$	0	100	220	350	560	860	1800	2400

Как и предполагалось в георгиических, период колебаний  
равен периоду изменения, т.е.  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .

Затухающие колебания обусловлены наличием в  
георгиической реальности экспонентного.

$$q = q_0 e^{-\delta t} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Рассчитать затухание и коэффициент затухания:

$$Q = \frac{\tau}{T}; \quad \delta = \frac{R}{2L}$$

Дан  $R = 220 \text{ Ом}$ :

$$Q = \frac{\tau}{T} = \frac{3,19}{0,17329} \approx 18,12.$$

$$\delta = \frac{R}{2L} \approx 139,95 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

$$\Delta Q_i = \Delta t \cdot Q$$

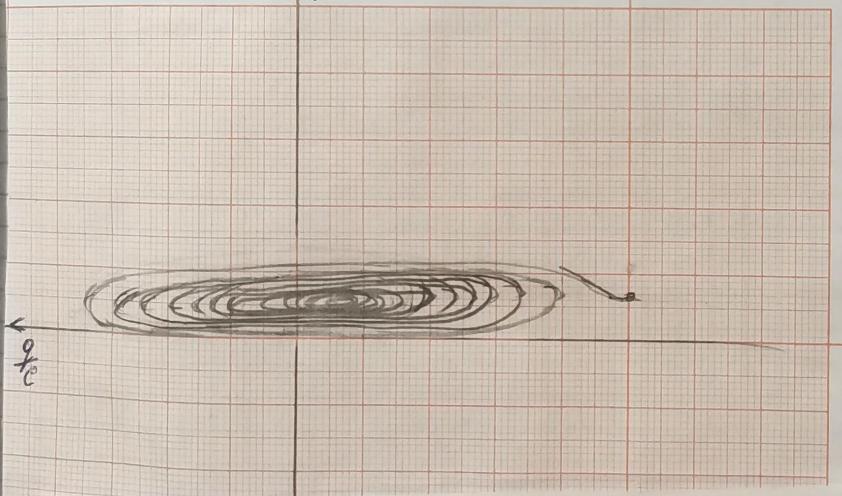
$$\Delta Q_{av} = \frac{\sum \Delta Q_i}{n} \approx 1,19$$

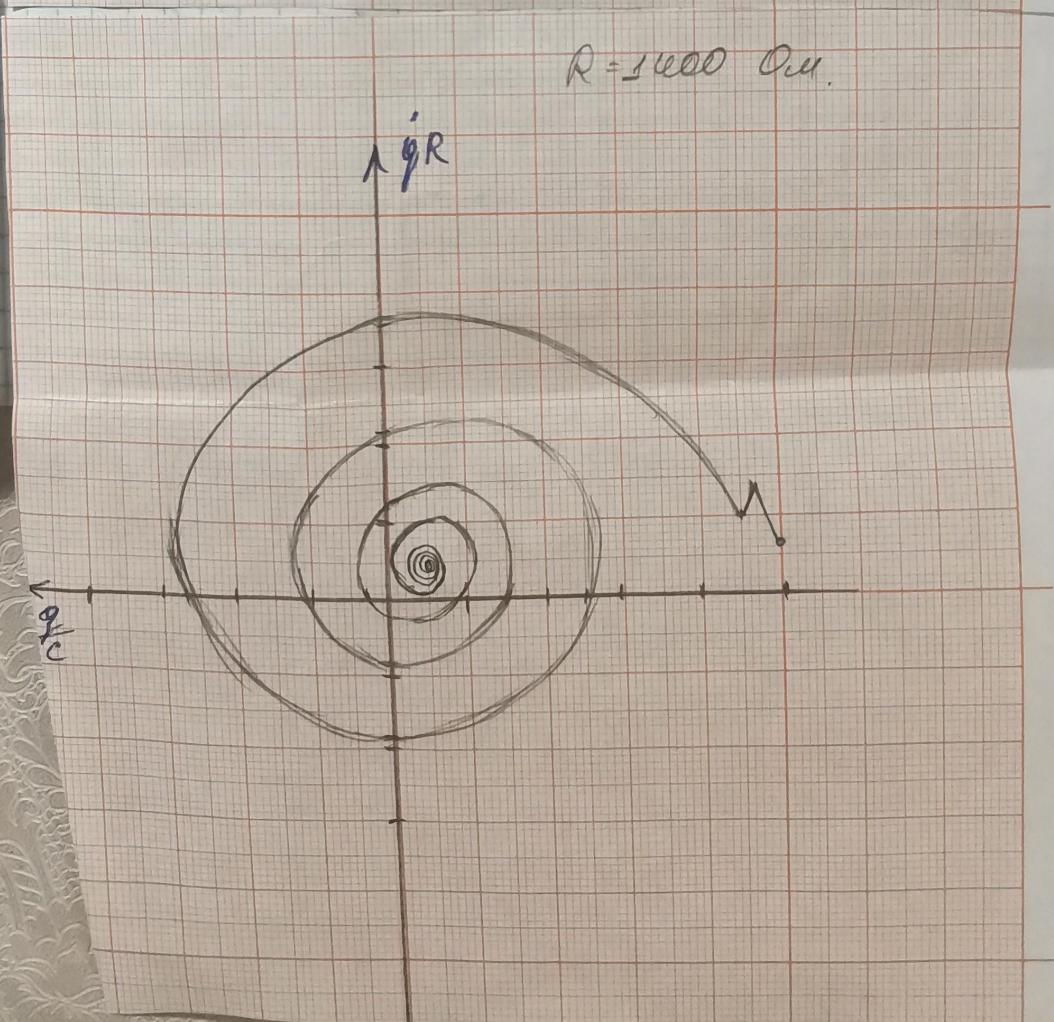
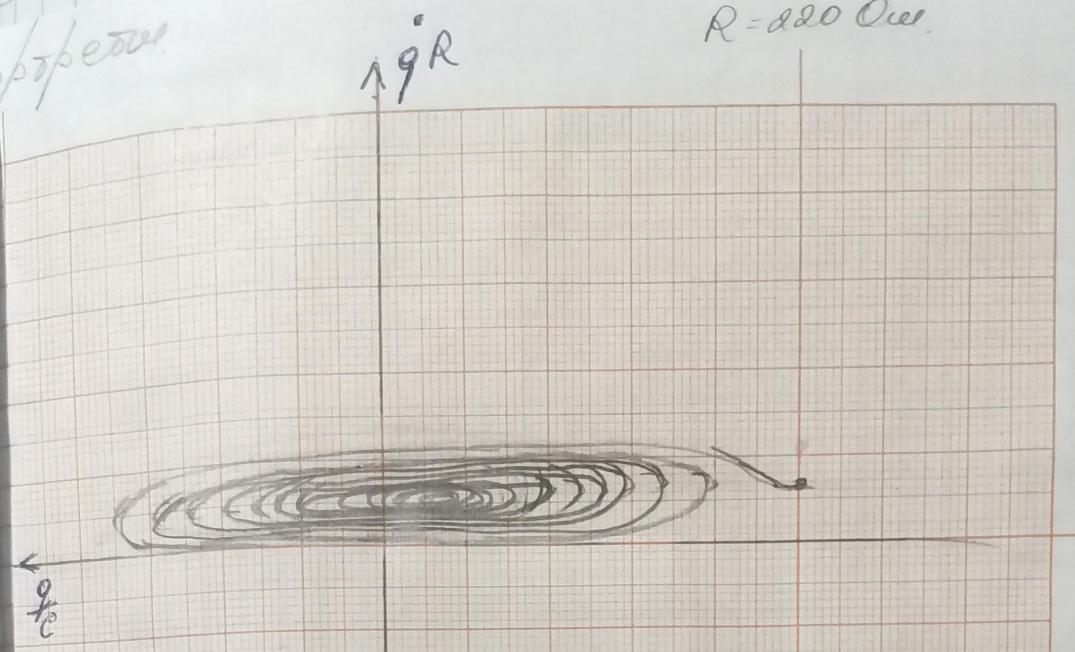
Причины затухания:

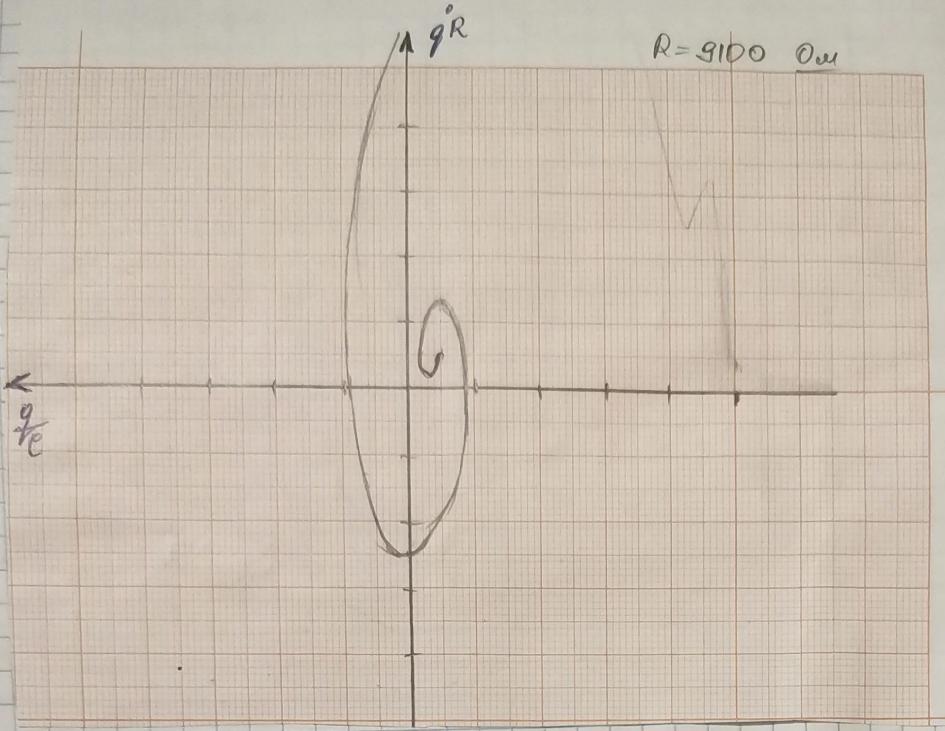
Сопротивление

$\uparrow iR$

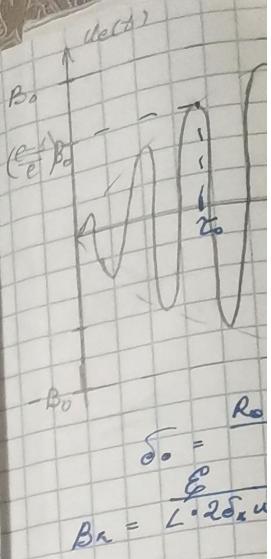
$R = 220 \text{ Ом}$







$$R = 9100 \text{ Ом}$$



Узкополосные гармонические колебания, которые для биполярных транзисторов, как правило, являются зеркально отраженными (сдвигом графика на  $\pi$ )

### 3. Установление установившихся колебаний

Установившиеся колебания можно выразить в виде

установившегося колебания:

$$A_n = B(s - e^{-\delta t_n}) \rightarrow e^{-\delta t_n} = \frac{B - A_n}{B}$$

$$A_{n+1} = B(1 - e^{-\delta(t_n + T_s)}) = B(s - e^{-\delta t_n} \cdot e^{-\delta T_s}) = B(1 - \frac{B - A_n}{B} e^{-\delta T_s})$$

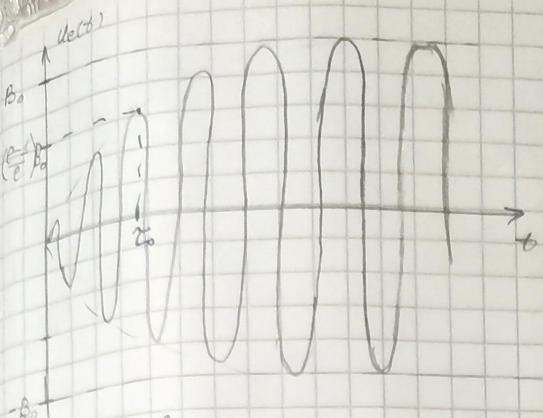
$$1 - \left( \frac{B - A_n}{B} \right) e^{-\delta T_s} = \frac{A_{n+1}}{B}$$

$$e^{-\delta T_s} = \left( 1 - \frac{A_{n+1}}{B} \right) \cdot \frac{B}{B - A_n} = \frac{B - A_{n+1}}{B - A_n}$$

$$\Rightarrow \boxed{t_s = \ln \frac{B_n - A_n}{B_n - A_{n+1}}} \quad \begin{aligned} & \text{~формула для погородительного} \\ & \text{длительности в случае установившихся} \\ & \text{колебаний при "к-ом" значении } R. \end{aligned}$$

$B$  ходе эксперимента было найдено значение  $B = B_0$  и  $t_s \approx 70$ .  
но вспомогательный  $R = 860 \text{ Ом}$ .

$$B_0 = 28,4 \Omega, \quad \epsilon_0 = 800 \text{ элл.}$$



Тенеро определяется  $B_0$  при всем оставшемся  
сигнале:

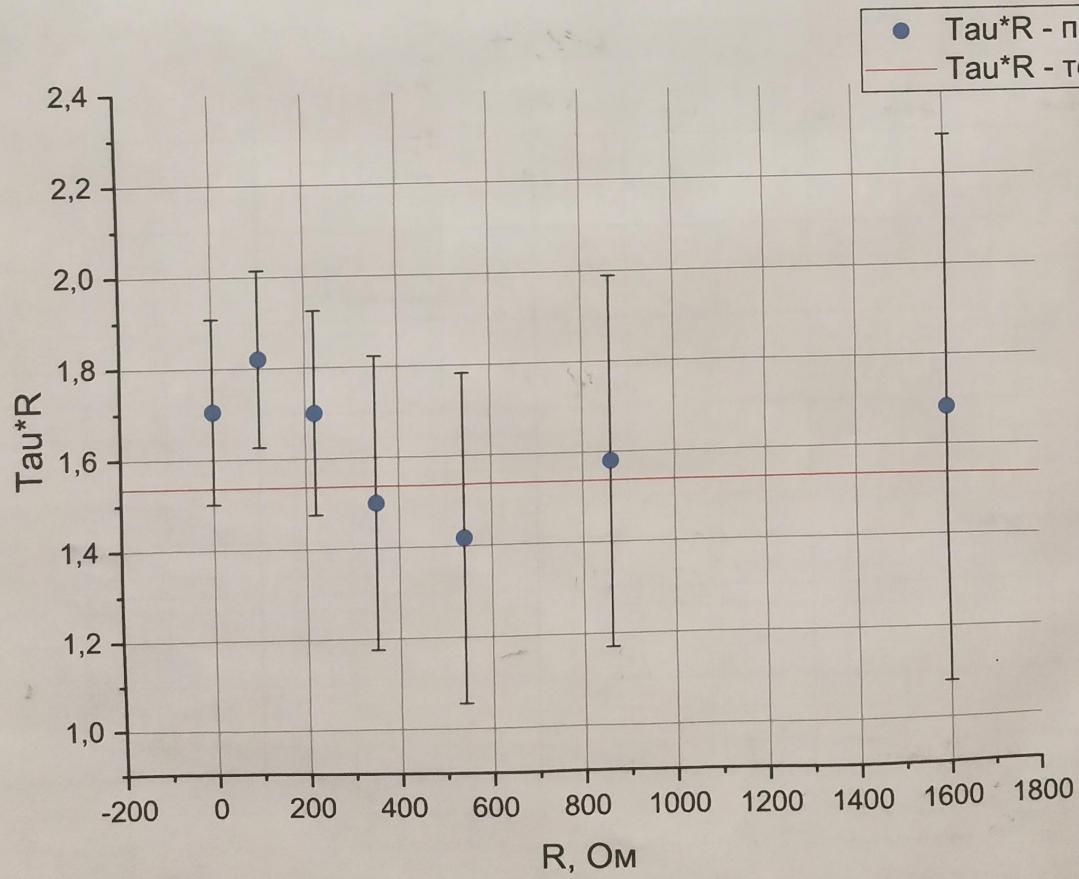
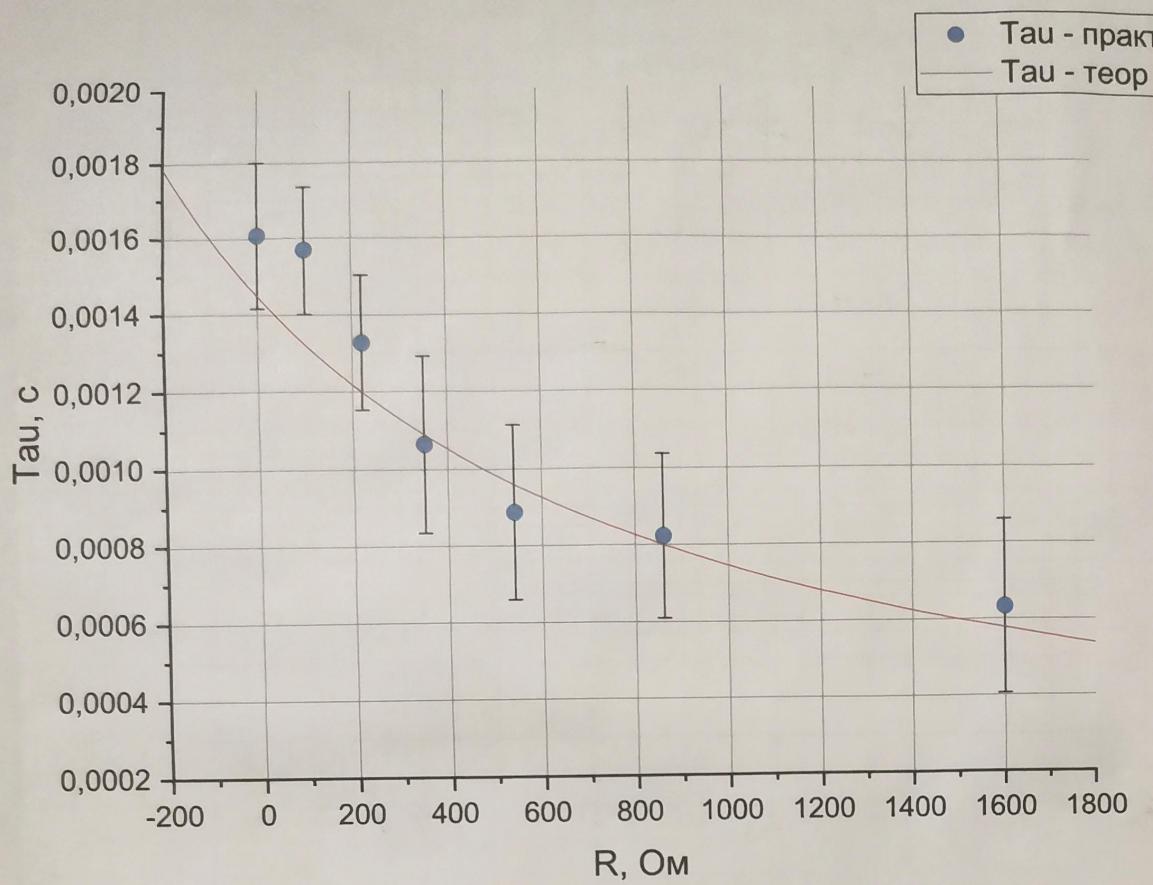
$$B_0 = \frac{E}{L\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 - 4\delta^2\omega^2}}$$

$$\begin{aligned} \delta_0 &= \frac{R_0 + r}{2L} \Rightarrow \chi_0 = \frac{2L}{R_0 + r} \Rightarrow R_0 + r = \frac{2L}{\chi_0} \Rightarrow r = \frac{2L}{\chi_0} - R_0 \approx 1060 \text{ Ом} \\ B_0 &= \frac{E}{L \cdot 2\delta_0 \omega_0} = \frac{E}{L \cdot 2 \left( \frac{R_0 + r}{2L} \right) \omega_0} = \frac{E}{\omega_0 (R_0 + r)} = \frac{\omega_0 B_0}{\chi_0 \omega_0 (R_0 - R_0) + \frac{2L}{\chi_0}} = \\ &= \frac{2L B_0}{\chi_0 (R_0 - R_0) + 2L} \end{aligned}$$

$R, \Omega_{\text{д}}$	$A_1, B$	$A_2, B$	$A_3, B$	$A_4, B$	$A_5, B$	$B, B$	$J$	$T, \text{мс}$
0	34,2	33,6	32,6	31,6	29,8	38,78	0,199	320
100	31,8	31,4	30,8	29,8	28,4	35,42	0,204	320
220	29,4	28,8	28,2	27,4	26,2	32,1	0,241	320
350	26,0	25,0	23,8	22,2	20,0	29,14	0,301	320
500	23,8	23,2	22,2	21,0	19,2	25,68	0,361	320
860	20,0	19,6	19,0	18,0	16,4	21,4	0,389	320
1600	14,2	13,2	12,2	10,6	7,8	15,45	0,506	320

$R, \Omega_{\text{д}}$	0	100	220	350	500	860	1600
$\chi, \text{мс}$	1,611	1,568	1,328	1,068	0,887	0,800	0,632
$\Delta \chi, \text{мс}$	0,279	0,286	0,256	0,140	0,108	0,128	0,163
$\chi \cdot R, \text{мс} \cdot \Omega_{\text{д}}$	1,707	1,819	1,697	1,501	1,419	1,536	1,681
$A(\chi \cdot R)$	0,295	0,332	0,328	0,188	0,172	0,247	0,433

всеобщий  
составлен  
и  
 $= \chi_0$



1) Исследование собственных колебаний в электрическом контуре:  
 а) Построение зависимости  $\omega(R)$ ,  $\tau(R)$ ; по узоденсии определение  
 внутренней емкости контура:

$$r \approx (828 \pm 63) \Omega_{\text{н.}}$$

б) Рассчитано: емкость, индуктивность и подстрекущее  
 загружение:

$$L \approx 0,488 \text{ Гн.}$$

$$Q \approx (18,12 \pm 5,19)$$

$$\delta \approx 159,95 \frac{\Omega_{\text{н.}}}{\text{Гн.}}$$

б) Избранные физические параметры.

2) Исследование внешнезарядочного контура.

а) Построение резонансных кривых  $U_e(\omega)$ ,  $U_c(\omega)$ ,  $U_R(\omega)$  при  
 разных значениях  $R$ ;

б) Рассчитаны индуктивность, емкость и внутреннее  
 сопротивление:

$$\text{Для } R = 220 \Omega_{\text{н.}}: \quad \omega_R = \omega_c = \omega_L = 1988,5 \frac{\text{рад.}}{\text{с}}$$

$$L \approx 0,4882 \text{ Гн.}$$

$$Q \approx (21,45 \pm 0,06)$$

$$r \approx 268,7 \frac{\Omega_{\text{н.}}}{\text{Гн.}}$$

$$\text{Для } R = 2400 \Omega_{\text{н.}}: \quad \begin{aligned} \omega_R &\approx 1891,7 \frac{\text{рад.}}{\text{с}} \\ \omega_c &\approx 1949,2 \frac{\text{рад.}}{\text{с}} \\ \omega_L &\approx 20185,0 \frac{\text{рад.}}{\text{с}} \end{aligned}$$

$$L \approx 0,483 \text{ Гн.}$$

$$Q \approx (5,22 \pm 0,02)$$

$$r \approx 268,7 \Omega_{\text{н.}}$$

б) Избранные физические параметры.

3) Исследование установление внешнезарядочных колебаний:  
 а) Построение зависимости  $r(R)$ ,  $\tau(R)$ ;

б) Изобраний процесса установления колебаний.

Установление:

$Q$	$R=220 \Omega_{\text{н.}}$	$R=2400 \Omega_{\text{н.}}$
$U_e/U_c$ , $U_c/U_R$	23,41	5,22 / 5,26
$L$	28,56	5,19
$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$	31,22	5,71

15.03.22