

Laboratorium Podstaw Fizyki

Nr ćwiczenia 54

Temat ćwiczenia Badanie Zjawiska Rezonansu
Elektromagnetycznego

Wykonawca:	
Imię i Nazwisko	Bartłomiej Brzozowski
Termin zajęć: dzień tygodnia, godzina	Czwartek, 17:05
Data oddania sprawozdania:	16.03.2023

Zatwierdzam wyniki pomiarów.

Data i podpis prowadzącego zajęcia

Adnotacje dotyczące wymaganych poprawek oraz daty otrzymania poprawionego sprawozdania

Spis treści

1.Wprowadzenie.....	3
1.1 Cele Ćwiczenia	3
1.2 Spis Przyrządów	3
1.3 Schemat Układu Pomiarowego	3
1.4 Oznaczenia	4
2.Pomiary.....	4
2.1 Wyniki Pomiarów	4
2.2 Opracowanie Wyników.....	7
2.3 Przykładowe Obliczenia.....	17
3.Wnioski	18

1. Wprowadzenie

1.1 Cele Ćwiczenia

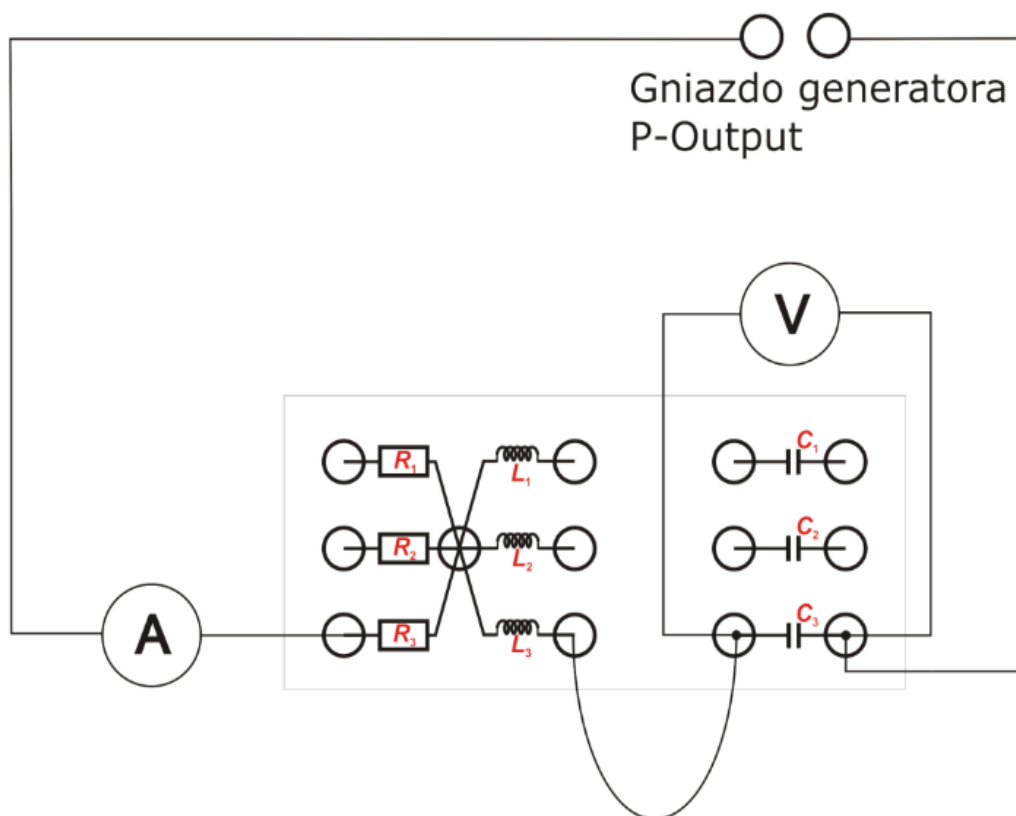
- Wykreślenie charakterystyk prąd-częstotliwość szeregowych obwodów RLC
- Wyznaczenie częstotliwości rezonansowych badanych układów
- Wyznaczenie pojemności wykorzystywanych kondensatorów
- Wyznaczenie współczynników dobroci badanych obwodów

1.2 Spis Przyrządów

- Generator mocy OWON AG 1022F
- Szeregowy obwód rezonansowy RLC
- Amperomierz (Multimetr V562)
- Woltomierz (

1.3 Schemat Układu Pomiarowego

- Układ pomiarowy



Rysunek 1 - Schemat Układu Pomiarowego

1.4 Oznaczenia

- U – Napięcie [V] (Wolt),
- I – Natężenie [mA] (miliAmper = $10^{-3} \cdot$ Amper),
- f – Częstotliwość [Hz] (Herc),
- f_r – Częstotliwość Rezonansowa [Hz] (Herc),
- C – Pojemność Kondensatora [F] (Farad),
- L – Indukcyjność Cewki [mH] (miliHenr = $10^{-3} \cdot$ Henr),
- Q – Współczynnik Dobroci Układu.

2. Pomiar

2.1 Wyniki Pomiarów

Wybrano sprzęt do przeprowadzenia pomiaru. Następnie, wykonano pomiar napięcia na generatorze. W dalszej kolejności, zgodnie z instrukcją zbudowano schemat pomiarowy (Rys.1) i przeprowadzono pomiary natężenia prądu płynącego w obwodach $R_1L_1C_1$, $R_1L_1C_2$ i $R_1L_1C_3$ w funkcji częstotliwości f . Dla obwodu $R_1L_1C_1$ przeprowadzono sto pomiarów natężenia zmieniając wartość częstotliwości w zakresach:

- 100 – 5100 [Hz] co 500 [Hz],
- 5100 – 10000 [Hz] co 100 [Hz],
- 10000 – 30000 [Hz] co 500 [Hz].

Dla obwodu $R_1L_1C_2$ przeprowadzono trzydziestotrzykrotne mierzenie natężenia zmieniając wartość częstotliwości w zakresach:

- 100 – 2100 [Hz] co 500 [Hz],
- 2100 – 4100 [Hz] co 200 [Hz],
- 4100 – 5500 [Hz] co 100 [Hz],
- 5500 – 7500 [Hz] co 500 [Hz].

Dla obwodu $R_1L_1C_3$ zmierzono czterdzieści cztery razy natężenie zmieniając wartość częstotliwości w zakresach:

- 100 – 1500 [Hz] co 200 [Hz],
- 1500 – 4500 [Hz] co 100 [Hz],
- 4500 – 7500 [Hz] co 500 [Hz].

Następnie otrzymane wyniki odpowiednio dla pierwszego, drugiego i trzeciego obwodu wpisano w tabele (Rys.3, Rys.4 i Rys.5).

$$U_0 = 3,035 [V]$$

Rysunek 2 - Napięcie początkowe na generatorze

Nr	Częstotliwość f [Hz]	Natężenie I [mA]	Nr	Częstotliwość f [Hz]	Natężenie I [mA]
1	100	0,24	51	9100	10,27
2	600	0,35	52	9200	9,95
3	1100	0,85	53	9300	9,63
4	1600	1,46	54	9400	9,34
5	2100	2,10	55	9500	9,06
6	2600	2,75	56	9600	8,80
7	3100	3,55	57	9700	8,53
8	3600	4,57	58	9800	8,26
9	4100	5,93	59	9900	8,06
10	4600	7,88	60	10000	7,85
11	5100	11,00	61	10500	6,87
12	5200	11,89	62	11000	6,10
13	5300	12,84	63	11500	5,43
14	5400	13,93	64	12000	4,86
15	5500	15,16	65	12500	4,35
16	5600	16,62	66	13000	3,94
17	5700	18,18	67	13500	3,57
18	5800	19,94	68	14000	3,28
19	5900	21,82	69	14500	2,88
20	6000	23,32	70	15000	2,58
21	6100	24,99	71	15500	2,31
22	6200	26,35	72	16000	2,05
23	6300	27,20	73	16500	1,81
24	6400	27,49	74	17000	1,61
25	6500	28,12	75	17500	1,41
26	6600	28,16	76	18000	1,22
27	6700	27,47	77	18500	1,07
28	6800	26,65	78	19000	0,90
29	6900	25,65	79	19500	0,77
30	7000	24,60	80	20000	0,66
31	7100	23,50	81	20500	0,58
32	7200	22,46	82	21000	0,47
33	7300	21,43	83	21500	0,45
34	7400	20,45	84	22000	0,38
35	7500	19,50	85	22500	0,37
36	7600	18,58	86	23000	0,34
37	7700	17,77	87	23500	0,31
38	7800	16,98	88	24000	0,26
39	7900	16,24	89	24500	0,23
40	8000	15,57	90	25000	0,21
41	8100	14,92	91	25500	0,17
42	8200	14,31	92	26000	0,15
43	8300	13,75	93	26500	0,13
44	8400	13,22	94	27000	0,12
45	8500	12,73	95	27500	0,10
46	8600	12,24	96	28000	0,08
47	8700	11,81	97	28500	0,07
48	8800	11,37	98	29000	0,07
49	8900	11,00	99	29500	0,06
50	9000	10,63	100	30000	0,06

Rysunek 3 - Wyniki pomiarów dla pierwszego obwodu

Nr	Częstotliwość f [Hz]	Natężenie I [mA]
1	100	0,10
2	600	1,25
3	1100	2,46
4	1600	3,9
5	2100	5,7
6	2300	6,66
7	2500	7,7
8	2700	8,95
9	2900	10,47
10	3100	12,37
11	3300	14,81
12	3500	17,95
13	3700	22,01
14	3900	26,84
15	4100	31,17
16	4200	32,36
17	4300	33,84
18	4400	33,2
19	4500	32,5
20	4600	31,25
21	4700	30,31
22	4800	28,82
23	4900	27,26
24	5000	25,79
25	5100	24,31
26	5200	22,95
27	5300	21,68
28	5400	20,47
29	5500	19,41
30	6000	15,2
31	6500	12,37
32	7000	10,37
33	7500	8,95

Rysunek 4 - Wyniki pomiarów dla drugiego obwodu

Nr	Częstotliwość f [Hz]	Natężenie I [mA]
1	100	0,43
2	300	1,25
3	500	2,36
4	700	3,47
5	900	4,65
6	1100	5,95
7	1300	7,43
8	1500	9,17
9	1600	10,22
10	1700	11,34
11	1800	12,61
12	1900	14,02
13	2000	15,64
14	2100	17,46
15	2200	19,6
16	2300	21,98
17	2400	24,62
18	2500	27,43
19	2600	30,24
20	2700	32,74
21	2800	34,54
22	2900	35,45
23	3000	35,43
24	3100	35
25	3200	33,95
26	3300	32,26
27	3400	29,91
28	3500	28,48
29	3600	26,96
30	3700	25,36
31	3800	23,82
32	3900	22,39
33	4000	20,99
34	4100	20
35	4200	18,93
36	4300	18,03
37	4400	17,15
38	4500	16,36
39	5000	13,3
40	5500	11,21
41	6000	9,67
42	6500	8,46
43	7000	7,58
44	7500	6,81

Rysunek 5 – Wyniki pomiarów dla trzeciego obwodu

2.2 Opracowanie Wyników

Po dokonaniu analizy wyników, dokonano obliczeń niepewności pomiarowych. Korzystano w nich z wzorów z poniższej grafiki (Rys.6). Po czym zapisano je w poniższych tabelach (Rys.7, Rys.8 i Rys.9). Zgodnie z zasadami zaokrąglano niepewności do dwóch miejsc znaczących w górę. Następnie wpisano je do tabel.

$\Delta f, \Delta U, \Delta I$ – Niepewności przyządu pomiarowego, gdzie

$$\Delta f = 1\%rdg + 1dgt,$$

$$\Delta U = 0,8\%rdg + 3dgt,$$

$$\Delta I = 2,5\%rdg + 3dgt, .$$

$u_A(x)$ – Niepewność standardowa (statyczna) typu A, gdzie

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

$u_B(x)$ – Niepewność standardowa (szacowana) typu B, gdzie

$$u_B(x) = \sqrt{\frac{\Delta x^2}{3} + \frac{\Delta_e x^2}{3}},$$

$\Delta_e x^2$ – niepewność eksperymentatora.

$u(x)$ – Niepewność standardowa całkowita, gdzie

$$u(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}.$$

$u_c(x)$ – Niepewność złożona, gdzie

$$u_c(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 u^2(x_j)}.$$

Rysunek 6 - Wzory użyte do obliczeń

Nr	f [Hz]	$u(f)$ [Hz]	$\approx u(f)$ [Hz]	I [mA]	$u(I)$ [mA]	$\approx u(I)$ [mA]
1	100,00	0,577408004	0,58	0,24	0,0207846096908265	0,021
2	600,0	3,464159350165	3,5	0,35	0,0223723229310980	0,023
3	1100,0	6,350910696113	6,4	0,85	0,0295892012959683	0,030
4	1600,0	9,237662042061	9,3	1,46	0,0383937929011101	0,039
5	2100	12,124413388009	13	2,10	0,0476313972081441	0,048
6	2600	15,011164733957	16	2,75	0,0570133390824756	0,058
7	3100	17,897916079905	18	3,55	0,0685603444662681	0,069
8	3600	20,784667425853	21	4,57	0,0832827763306035	0,084
9	4100	23,671418771802	24	5,93	0,1029126854830510	0,11
10	4600	26,558170117750	27	7,88	0,1310585111060450	0,14
11	5100	29,444921463698	30	11,00	0,1760918321028360	0,18
12	5200	30,022271732888	31	11,89	0,1889378755923050	0,19
13	5300	30,599622002077	31	12,84	0,2026499444855590	0,21
14	5400	31,176972271267	32	13,93	0,2183827393209760	0,22
15	5500	31,754322540456	32	15,16	0,2361362600985570	0,24
16	5600	32,331672809646	33	16,62	0,2572095449239780	0,26
17	5700	32,909023078836	33	18,18	0,2797262054223740	0,28
18	5800	33,486373348025	34	19,94	0,3051296172667170	0,31
19	5900	34,063723617215	35	21,82	0,3322650799186300	0,34
20	6000	34,641073886405	35	23,32	0,3539157150132410	0,36
21	6100	35,218424155594	36	24,99	0,3780200887519080	0,38
22	6200	35,795774424784	36	26,35	0,3976499979043550	0,40
23	6300	36,373124693973	37	27,20	0,4099186911246340	0,41
24	6400	36,950474963163	37	27,49	0,4141044805762590	0,42
25	6500	37,527825232353	38	28,12	0,4231977473159960	0,43
26	6600	38,105175501542	39	28,16	0,4237750975851850	0,43
27	6700	38,682525770732	39	27,47	0,4138158054416640	0,42
28	6800	39,259876039922	40	26,65	0,4019801249232770	0,41
29	6900	39,837226309111	40	25,65	0,3875463681935360	0,39
30	7000	40,414576578301	41	24,60	0,3723909236273090	0,38
31	7100	40,991926847490	41	23,50	0,3565137912245940	0,36
32	7200	41,569277116680	42	22,46	0,3415026842256640	0,35
33	7300	42,146627385870	43	21,43	0,3266359147940310	0,33
34	7400	42,723977655059	43	20,45	0,3124908331988850	0,32
35	7500	43,301327924249	44	19,50	0,2987787643056310	0,30
36	7600	43,878678193439	44	18,58	0,2854997081142700	0,29
37	7700	44,456028462628	45	17,77	0,2738083651631800	0,28
38	7800	45,033378731818	46	16,98	0,2624056973466850	0,27
39	7900	45,610729001007	46	16,24	0,2517247173666770	0,26
40	8000	46,188079270197	47	15,57	0,2420541003577510	0,25
41	8100	46,765429539387	47	14,92	0,2326721584834190	0,24
42	8200	47,342779808576	47	14,31	0,2238675668782770	0,23
43	8300	47,920130077766	48	13,75	0,2157846631096230	0,22
44	8400	48,497480346956	49	13,22	0,2081347720428600	0,21
45	8500	49,074830616145	50	12,73	0,2010622312452870	0,21
46	8600	49,652180885335	50	12,24	0,1939896904477140	0,20
47	8700	50,229531154524	51	11,81	0,1877831750539260	0,19
48	8800	50,806881423714	51	11,37	0,1814323220928400	0,19
49	8900	51,384231692904	52	11,00	0,1760918321028360	0,18
50	9000	51,961581962093	52	10,63	0,1707513421128320	0,18

Nr	f [Hz]	$u(f)$ [Hz]	$\approx u(f)$ [Hz]	I [mA]	$u(I)$ [mA]	$\approx u(I)$ [mA]
51	9100	52,538932231283	53	10,27	0,1655551896901250	0,17
52	9200	53,116282500473	54	9,95	0,1609363875366080	0,17
53	9300	53,693632769662	54	9,63	0,1563175853830910	0,16
54	9400	54,270983038852	55	9,34	0,1521317959314660	0,16
55	9500	54,848333308041	55	9,06	0,1480903440471390	0,15
56	9600	55,425683577231	56	8,80	0,1443375672974060	0,15
57	9700	56,003033846421	57	8,53	0,1404404529803760	0,15
58	9800	56,580384115610	57	8,26	0,1365433386633470	0,14
59	9900	57,157734384800	58	8,06	0,1336565873173980	0,14
60	10000	57,735084653990	58	7,85	0,1306254984041530	0,14
61	10500	60,621835999938	61	6,87	0,1164804168090070	0,12
62	11000	63,508587345886	64	6,10	0,1053664241271070	0,11
63	11500	66,395338691834	67	5,43	0,0956958071181805	0,10
64	12000	69,282090037782	70	4,860	0,0874685657822283	0,088
65	12500	72,168841383730	73	4,350	0,0801073498500606	0,081
66	13000	75,055592729678	76	3,940	0,0741895095908669	0,075
67	13500	77,942344075626	78	3,570	0,0688490196008629	0,069
68	14000	80,829095421575	81	3,280	0,0646632301492381	0,065
69	14500	83,715846767523	84	2,880	0,0588897274573418	0,059
70	15000	86,602598113471	87	2,580	0,0545596004384196	0,055
71	15500	89,489349459419	90	2,310	0,0506624861213897	0,051
72	16000	92,376100805367	93	2,050	0,0469097093716571	0,047
73	16500	95,262852151315	96	1,810	0,0434456077565193	0,044
74	17000	98,149603497263	99	1,610	0,0405588564105712	0,041
75	17500	101,036354843211	110	1,410	0,0376721050646231	0,038
76	18000	103,923106189160	110	1,220	0,0349296912859724	0,035
77	18500	106,809857535108	110	1,070	0,0327646277765113	0,033
78	19000	109,696608881056	110	0,900	0,0303108891324554	0,031
79	19500	112,583360227004	120	0,770	0,0284345007575891	0,029
80	20000	115,470111572952	120	0,660	0,0268467875173176	0,027
81	20500	118,356862918900	120	0,580	0,0256920869789383	0,026
82	21000	121,243614264848	130	0,470	0,0241043737386669	0,025
83	21500	124,130365610796	130	0,450	0,0238156986040721	0,024
84	22000	127,017116956745	130	0,380	0,0228053356329902	0,023
85	22500	129,903868302693	130	0,370	0,0226609980656928	0,023
86	23000	132,790619648641	140	0,340	0,0222279853638006	0,023
87	23500	135,677370994589	140	0,310	0,0217949726619084	0,022
88	24000	138,564122340537	140	0,260	0,0210732848254213	0,022
89	24500	141,450873686485	150	0,230	0,0206402721235291	0,021
90	25000	144,337625032433	150	0,210	0,0203515969889343	0,021
91	25500	147,224376378381	150	0,170	0,0197742467197447	0,020
92	26000	150,111127724330	160	0,150	0,0194855715851499	0,020
93	26500	152,997879070278	160	0,130	0,0191968964505551	0,020
94	27000	155,884630416226	160	0,120	0,0190525588832577	0,020
95	27500	158,771381762174	160	0,100	0,0187638837486628	0,019
96	28000	161,658133108122	170	0,080	0,0184752086140680	0,019
97	28500	164,544884454070	170	0,070	0,0183308710467706	0,019
98	29000	167,431635800018	170	0,070	0,0183308710467706	0,019
99	29500	170,318387145967	180	0,060	0,0181865334794732	0,019
100	30000	173,205138491915	180	0,060	0,0181865334794732	0,019

Rysunek 7 – Niepewności pomiarowe dla pierwszego obwodu

Nr	f [Hz]	$u(f)$ [Hz]	$\approx u(f)$ [Hz]	I [mA]	$u(I)$ [mA]	$\approx u(I)$ [mA]
1	100,00	0,577408004	0,58	0,100	0,018763884	0,019
2	600,0	3,46415935	3,5	1,250	0,035362704	0,036
3	1100,0	6,350910696	6,4	2,460	0,05282755	0,053
4	1600,0	9,237662042	9,3	3,90	0,073612159	0,074
5	2100	12,12441339	13	5,7	0,099592921	0,10
6	2300	13,27911393	14	6,66	0,113449328	0,12
7	2500	14,43381446	15	7,7	0,128460435	0,13
8	2700	15,588515	16	8,95	0,146502631	0,15
9	2900	16,74321554	17	10,47	0,168441941	0,17
10	3100	17,89791608	18	12,37	0,195866079	0,20
11	3300	19,05261662	20	14,81	0,231084445	0,24
12	3500	20,20731716	21	17,95	0,276406441	0,28
13	3700	21,3620177	22	22,01	0,335007494	0,34
14	3900	22,51671823	23	26,84	0,404722539	0,41
15	4100	23,67141877	24	31,17	0,467220705	0,47
16	4200	24,24876904	25	32,36	0,484396876	0,49
17	4300	24,82611931	251	33,84	0,505758836	0,51
18	4400	25,40346958	26	33,2	0,496521232	0,50
19	4500	25,98081985	26	32,5	0,486417602	0,49
20	4600	26,55817012	27	31,25	0,468375406	0,47
21	4700	27,13552039	28	30,31	0,454807675	0,46
22	4800	27,71287066	28	28,82	0,433301377	0,44
23	4900	28,29022093	29	27,26	0,410784717	0,42
24	5000	28,86757119	29	25,79	0,389567094	0,39
25	5100	29,44492146	30	24,31	0,368205134	0,37
26	5200	30,02227173	31	22,95	0,348575225	0,35
27	5300	30,599622	31	21,68	0,330244354	0,34
28	5400	31,17697227	32	20,47	0,312779508	0,32
29	5500	31,75432254	32	19,41	0,297479726	0,30
30	6000	34,64107389	35	15,2	0,23671361	0,24
31	6500	37,52782523	38	12,37	0,195866079	0,20
32	7000	40,41457658	41	10,37	0,166998565	0,17
33	7500	43,30132792	44	8,95	0,146502631	0,15

Rysunek 8 – Niepewności pomiarowe dla drugiego obwodu

Nr	f [Hz]	I [mA]	$\approx u(f)$ [Hz]	I [mA]	$u(I)$ [mA]	$\approx u(I)$ [mA]
1	100,00	0,577408004	0,58	0,430	0,023527023	0,024
2	300,0	1,732108543	1,8	1,250	0,035362704	0,036
3	500,0	2,886809081	2,9	2,360	0,051384174	0,052
4	700,0	4,041509619	4,1	3,4700	0,067405644	0,068
5	900,0	5,196210158	5,2	4,65	0,084437477	0,085
6	1100,0	6,350910696	6,4	5,95	0,103201361	0,11
7	1300,0	7,505611234	7,6	7,43	0,124563321	0,13
8	1500,0	8,660311773	8,7	9,17	0,149678057	0,15
9	1600,0	9,237662042	9,3	10,22	0,164833502	0,17
10	1700,0	9,815012311	9,9	11,34	0,180999309	0,19
11	1800	10,39236258	11	12,61	0,19933018	0,20
12	1900	10,96971285	11	14,02	0,219681777	0,22
13	2000	11,54706312	12	15,64	0,243064463	0,25
14	2100	12,12441339	13	17,46	0,269333901	0,27
15	2200	12,70176366	13	19,6	0,30022214	0,31
16	2300	13,27911393	14	21,98	0,334574481	0,34
17	2400	13,8564642	14	24,62	0,372679599	0,38
18	2500	14,43381446	15	27,43	0,413238455	0,42
19	2600	15,01116473	16	30,24	0,453797312	0,46
20	2700	15,588515	16	32,74	0,489881703	0,49
21	2800	16,16586527	17	34,54	0,515862466	0,52
22	2900	16,74321554	17	35,45	0,528997184	0,53
23	3000	17,32056581	18	35,43	0,528708509	0,53
24	3100	17,89791608	18	35	0,522501994	0,53
25	3200	18,47526635	19	33,95	0,507346549	0,51
26	3300	19,05261662	20	32,26	0,4829535	0,49
27	3400	19,62996689	20	29,91	0,449034172	0,45
28	3500	20,20731716	21	28,48	0,4283939	0,43
29	3600	20,78466743	21	26,96	0,40645459	0,41
30	3700	21,3620177	22	25,36	0,383360579	0,39
31	3800	21,93936796	22	23,82	0,361132593	0,37
32	3900	22,51671823	23	22,39	0,340492321	0,35
33	4000	23,0940685	24	20,99	0,320285062	0,33
34	4100	23,67141877	24	20	0,305995643	0,31
35	4200	24,24876904	25	18,93	0,290551523	0,30
36	4300	24,82611931	25	18,03	0,277561142	0,28
37	4400	25,40346958	26	17,15	0,264859436	0,27
38	4500	25,98081985	26	16,36	0,253456768	0,26
39	5000	28,86757119	29	13,3	0,209289473	0,21
40	5500	31,75432254	32	11,21	0,179122921	0,18
41	6000	34,64107389	35	9,67	0,156894936	0,16
42	6500	37,52782523	38	8,46	0,13943009	0,14
43	7000	40,41457658	41	7,58	0,126728384	0,13
44	7500	43,30132792	44	6,81	0,115614391	0,12

Rysunek 9 – Niepewności pomiarowe dla trzeciego obwodu

Następnie dla każdego z obwodów wykonano obliczenia: napięcia w momencie rezonansu, pojemności kondensatora i współczynnika dobroci układu. W dalszej kolejności sporządzono wykresy natężenia prądu od częstotliwości, również dla każdego z obwodów (Rys.13, Rys.14, Rys.15). Z wykresów oszacowano wartości współczynników dobroci dla odpowiednich obwodów.

Wyniki dla obwodu $R_1L_1C_1$:

U_r [V]	$u(U_r)$ [V]	$\approx u(U_r)$ [V]
11,600	0,070898613056486	0,071

$C \times 10^{-8}$ [F]	$u(C) \times 10^{-8}$ [F]	$\approx u(C) \times 10^{-8}$ [F]
5,82	0,585367444548276	0,59

Q	$u(Q)$	$\approx u(Q)$
3,822	0,0306450348846932	0,031

Rysunek 10 – Pojemność Kondensatora i współczynnik dobroci dla układu pierwszego

Wyniki dla obwodu $R_1L_1C_2$:

U_r [V]	$u(U_r)$ [V]	$\approx u(U_r)$ [V]
9,580	0,0615686327063817	0,072

$C \times 10^{-7}$ [F]	$u(C) \times 10^{-7}$ [F]	$\approx u(C) \times 10^{-7}$ [F]
1,37	0,13790484670865	0,14

Q	$u(Q)$	$\approx u(Q)$
3,157	0,0260740620218558	0,027

Rysunek 11 – Pojemność Kondensatora i współczynnik dobroci dla układu drugiego

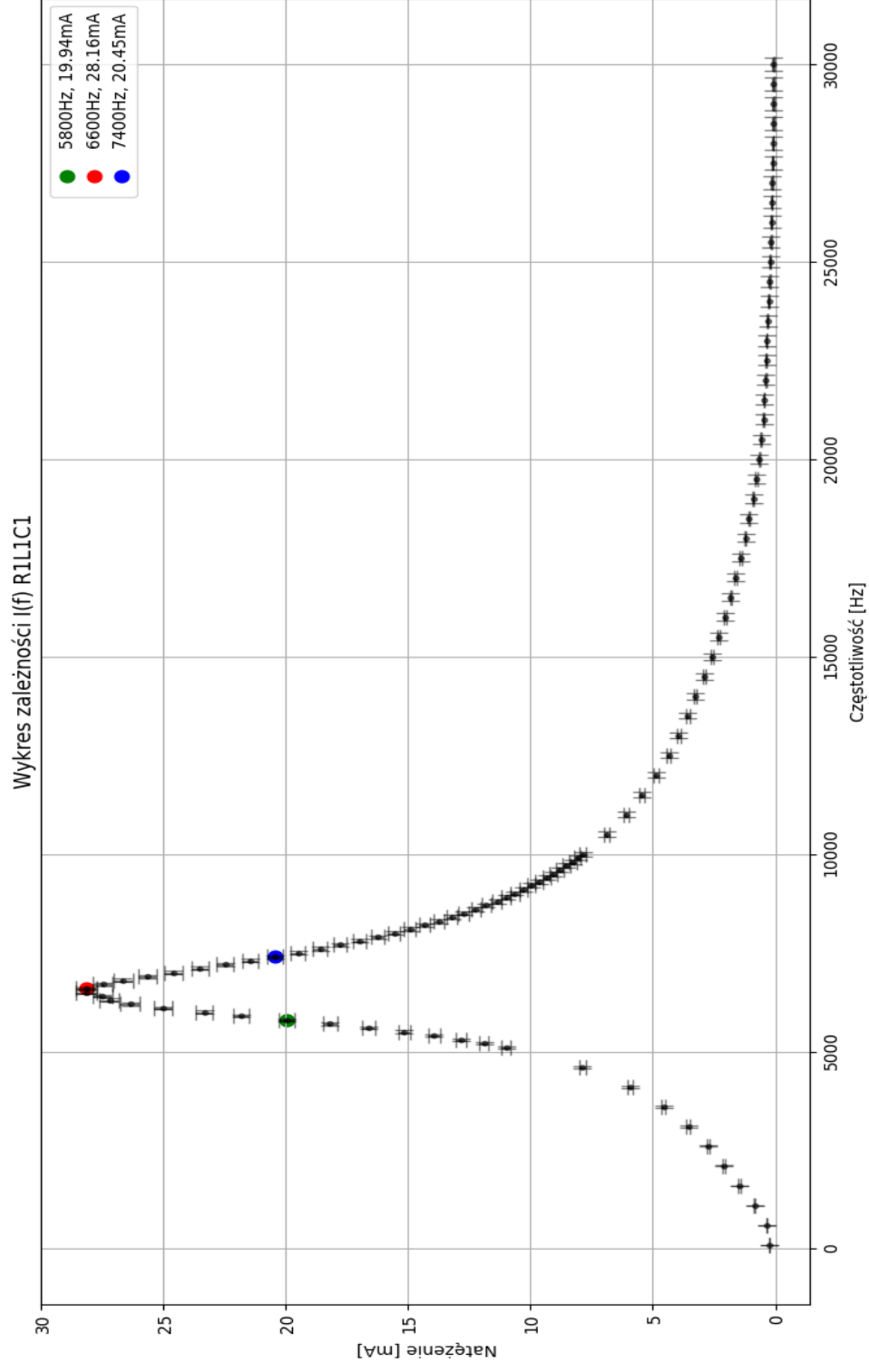
Wyniki dla obwodu $R_1L_1C_3$:

U_r [V]	$u(U_r)$ [V]	$\approx u(U_r)$ [V]
7,000	0,0496521231503078	0,050

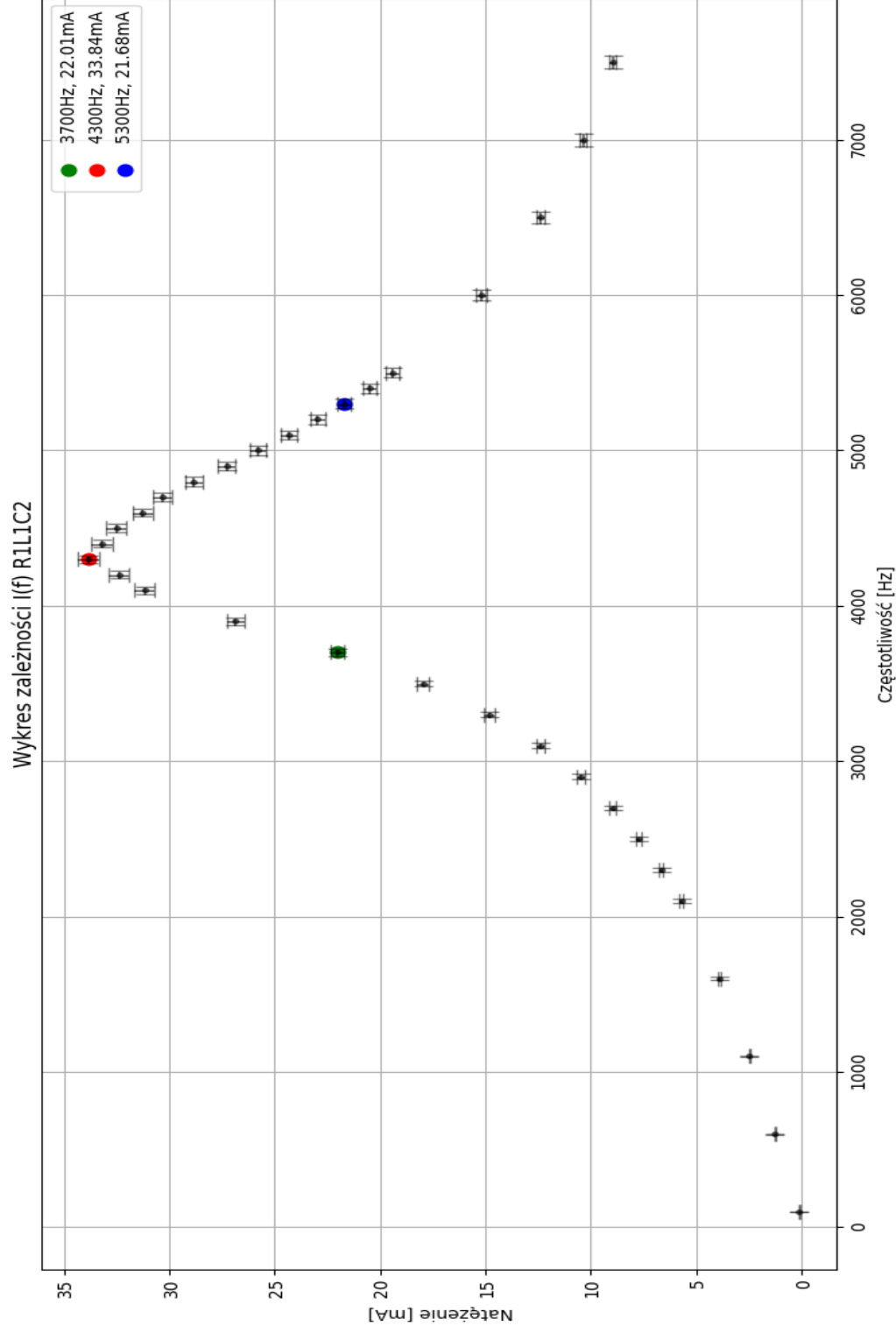
$C \times 10^{-7}$ [F]	$u(C) \times 10^{-7}$ [F]	$\approx u(C) \times 10^{-7}$ [F]
3,01	0,303193894567219	0,31

Q	$u(Q)$	$\approx u(Q)$
2,306	0,0202708095886265	0,021

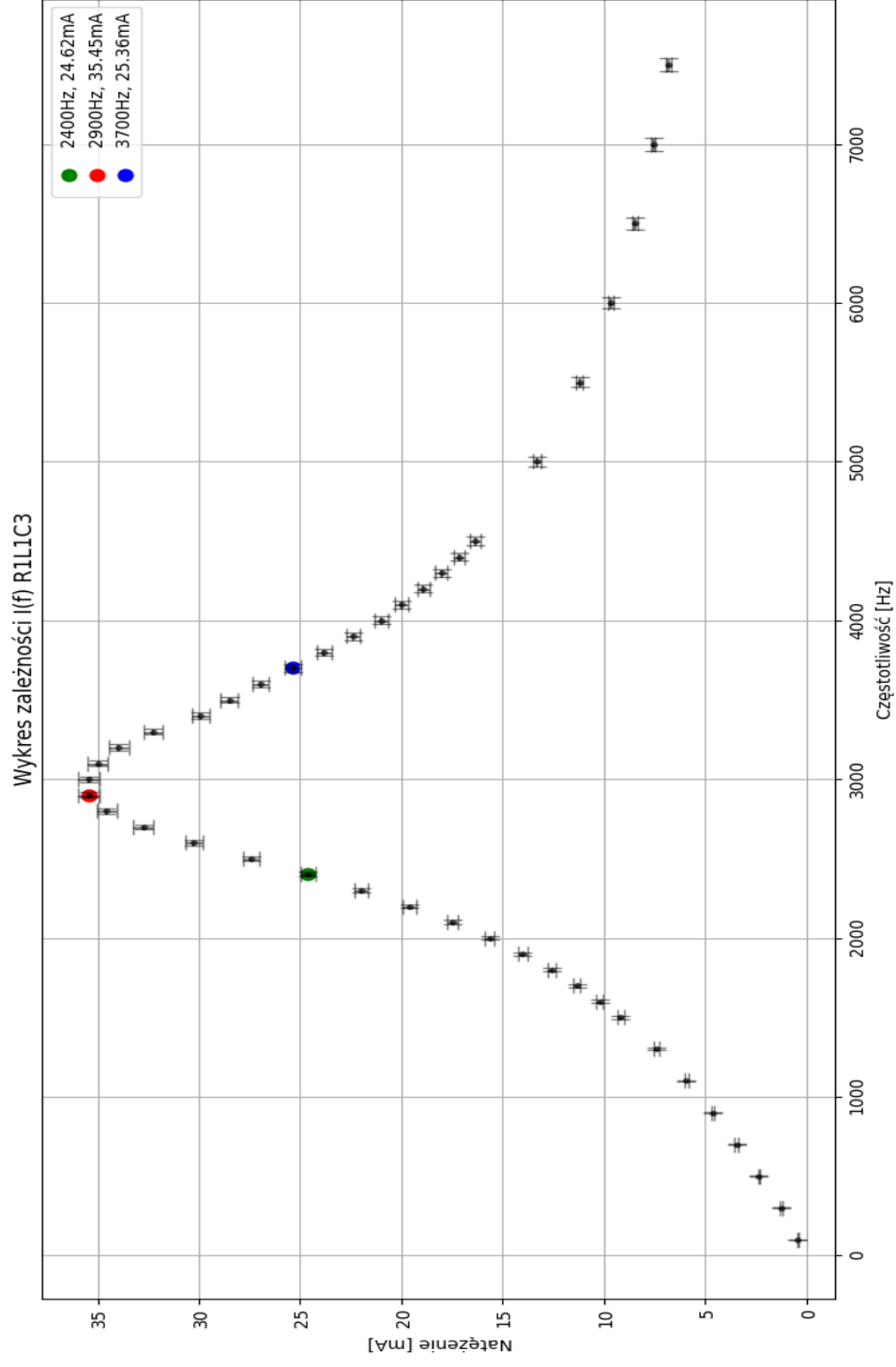
Rysunek 12 – Pojemność Kondensatora i współczynnik dobroci dla układu trzeciego



Rysunek 13 – Wykres zależności $I(f)$ dla układu $R_1L_1C_1$



Rysunek 14 – Wykres zależności $I(f)$ dla układu $R_1L_1C_2$



Rysunek 15 – Wykres zależności $I(f)$ dla układu $R_1L_1C_3$

Następnie oszacowano z wykresów wartości współczynnika dobroci układu, dla każdego z obwodów. Wyniki zapisano w poniższych tabelach.

Q	$u_c(Q)$	$\approx u_c(Q)$
4,125	0,0347489673576521	0,035

Rysunek 16 – Oszacowana wartość współczynnika dobroci układu dla pierwszego obwodu

Q	$u_c(Q)$	$\approx u_c(Q)$
2,688	0,0226394873513149	0,023

Rysunek 27 – Oszacowana wartość współczynnika dobroci układu dla drugiego obwodu

Q	$u_c(Q)$	$\approx u_c(Q)$
2,231	0,0189276977191414	0,019

Rysunek 38 – Oszacowana wartość współczynnika dobroci układu dla trzeciego obwodu

2.3 Przykładowe Obliczenia

Przykład obliczeń dla pierwszych wartości zmierzonych w pierwszym obwodzie.

$\Delta f, \Delta U, \Delta I$ – Niepewności przyrządu pomiarowego:

$$\Delta f = 1\% \cdot 100 + 1 \cdot 0,0001 = 1,0001 \text{ Hz},$$

$$\Delta U = 0,8\% \cdot 11,60 + 3 \cdot 0,01 = 0,1228 \text{ V},$$

$$\Delta I = 2,5\% \cdot 0,24 + 5 \cdot 0,01 = 0,056 \text{ mA}.$$

$u_A(x)$ – Niepewność standardowa (statyczna) typu A:

$$u_A(x) = 0, \text{ dla pojedynczych pomiarów.}$$

$u_B(x)$ – Niepewność standardowa (szacowana) typu B:

Założenia: $\Delta_e x^2 = 0$ – niepewność eksperymentatora.

$$u_B(x) = \sqrt{\frac{\Delta x^2}{3} + \frac{\Delta_e x^2}{3}} = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}.$$

$$u_B(f) = \frac{\Delta R}{\sqrt{3}} = 0,0207846096908265 \text{ Hz} \approx 0,021 \text{ Hz},$$

$$u_B(U) = \frac{\Delta U}{\sqrt{3}} = 0,070896131 \text{ V} \approx 0,071 \text{ V},$$

$$u_B(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}} = 0,0323316151 \text{ mA} \approx 0,033 \text{ mA}.$$

$u(x)$ – Niepewność standardowa całkowita:

Z tego, że $u_A(x) = 0$, dla pojedynczych pomiarów, wzór prezentują się następująco:

$$u(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} = u_B(x).$$

$$u(R) = u_B(R),$$

$$u(U) = u_B(U),$$

$$u(I) = u_B(I),$$

$u_c(x)$ – Niepewność złożona:

$$u_c(Q) = \sqrt{\left(\frac{u(U_c)}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{u(U_0)}{U_0^2} \cdot U_c\right)^2} = 0,0306450348846932 \approx 0,031$$

$$u_c(Q) = \sqrt{\left(\frac{u(f)}{\Delta f}\right)^2 + \left(\frac{-u(\Delta f)}{\Delta f^2} \cdot f\right)^2} = 0,0347489673576521 \approx 0,035$$

$$u_c(C) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{u(L)}{2f_r^2 L^2}\right)^2 + \left(\frac{u(f_r)}{f_r^3 L}\right)^2} = 0,0306450348846932 \text{ F} \approx 0,031 \text{ F}$$

3. Wnioski

Analizując wartości współczynników dobroci układu (dla każdego z obwodów) obliczonych za pomocą poniższej zależności (Rys.20), a oszacowanych z wykresów zależności $I(f)$, widzimy, że wartości są różne. Co dalej może nasuwać wniosek, że błędem było pominiecie niepewności eksperymentatora.

$$Q = \frac{U_c}{U_0}$$

Rysunek 20 – Współczynnik Dobroci Układu

Obwód:	Wyliczone Q	Szacowane Q
$R_1L_1C_1$	3,822(31)	4,125(35)
$R_1L_1C_2$	3,157(27)	2,688(23)
$R_1L_1C_3$	2,306(21)	2,231(19)

Rysunek 21 – Porównanie wartości współczynników dobroci układu

Odwołując się do kształtu wykresów, przypominały sinusoidę, ale nie były one do końca zbliżone, co pozwala jeszcze bardziej wnioskować, że pominiecie niepewności eksperymentatora było błędem, oraz, gdyby przeprowadzono większą liczbę pomiarów, to wykresy byłyby dokładniejsze. W pomiarach mogło dojść na przykład do błędnego odczytu natężenia z amperomierza, co skutkowało by złym odczytem napięcia dla momentu rezonansu, stąd mogły powstać niezgodności w wynikach obliczania i szacowania Q .

Obwód:	f_r [Hz]	I [mA]	U_r [V]	C [F]
$R_1L_1C_1$	6600	28,16(43)	11,600(71)	$5,82(59) \cdot 10^{-8}$
$R_1L_1C_2$	4300	33,84(51)	9,580(72)	$1,37(14) 10^{-7}$
$R_1L_1C_3$	2900	35,45(53)	7,000(50)	$3,01(31) 10^{-7}$

Rysunek 22 – Wyniki Końcowe