

SPRAWOZDANIE Z LABORATORIUM PODSTAW ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI

Imiona i Nazwiska:	Nr grupy:	Termin zajęć:	Data:
<u>Emilia Szymańska-spr.</u>	1b	CZWARTEK	07.11
Mateusz Malik		nieparzysty	2019
Hubert Górski		godz. 15–18	
Ćwiczenie nr 1 Podstawowe twierdzenia teorii obwodów			Ocena:

1. **Cel ćwiczenia:** zapoznanie się z zasadą superpozycji, twierdzeniem Thevenina o zastępczym źródle napięciowym i z twierdzeniem o dopasowaniu na maksimum mocy czynnej; sprawdzenie ich w praktyce.

2. **Przyrządy pomiarowe:**

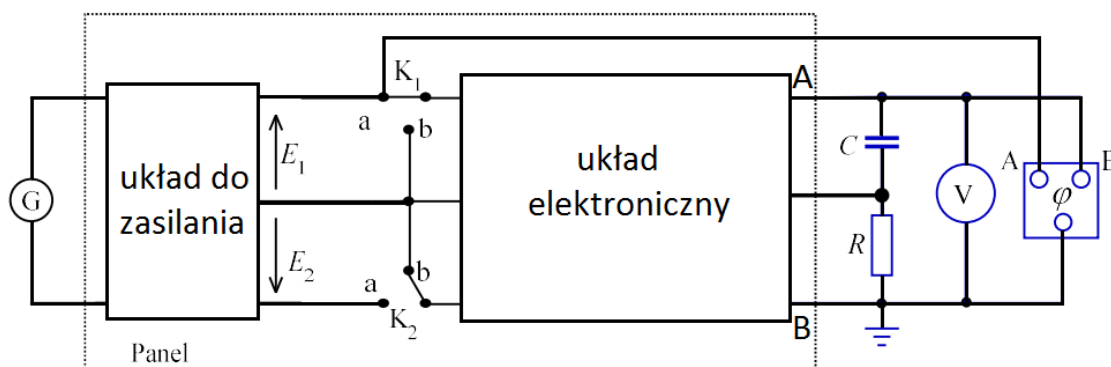
- fazomierz,
- woltomierz,
- rezystor dekadowy,
- kondensator dekadowy,
- cewka dekadowa,
- panel,
- generator częstotliwości.

3. **Pomiary**

CZĘŚĆ I – ZASADA SUPERPOZYCJI

W układzie przedstawionym poniżej zadaną mamy wartość częstotliwości $f = 1650$ [Hz] oraz impedancję $\underline{Z} = 550e^{-j50^\circ} = 353,5 - 421,3j$ [Ω]. Wiedząc, że $\omega = 2\pi f$, $R = \text{Re}(\underline{Z})$ oraz $\text{Im}(\underline{Z}) = \frac{1}{\omega C}$, otrzymujemy, że:

- $\omega = 10\,367,1$ [$\frac{1}{s}$],
- $R = 353,5$ [Ω],
- $C = 0,229$ [μF].



Rys.1 Schemat obwodu wykorzystanego do badania zjawiska superpozycji

Dodatkowo napięcie na rozwartych zaciskach panelu wynosi $U_0 = 598,4$ [mV]. Dokonujemy teraz pomiarów napięcia na zaciskach dołączonego dwójnika dla trzech przypadków: włączone tylko źródło E_1 , włączone tylko źródło E_2 i włączone obydwa źródła jednocześnie E_1 i E_2 .

Włączone tylko źródło E_1 :

- $U_1 = 361,2$ [mV],
- $\varphi_1 = -100^\circ$,

- $\underline{U}_1 = 361,2e^{-j100^\circ}$ [mV].

Włączone tylko źródło E_2 :

- $U_2 = 363,5$ [mV],
- $\varphi_2 = 132^\circ$,
- $\underline{U}_2 = 363,5e^{j132^\circ}$.

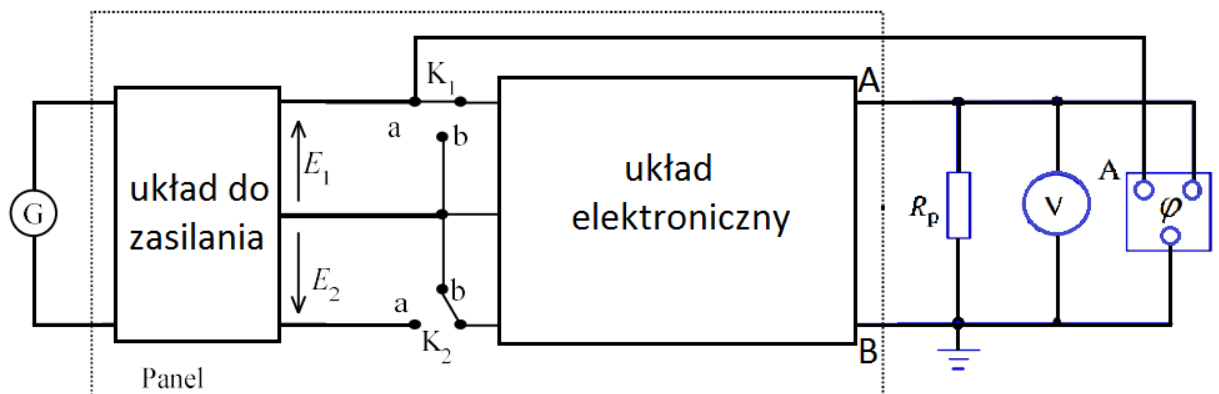
Włączone obydwa źródła jednocześnie E_1 i E_2 :

- $U_{12} = 329,0$ [mV],
- $\varphi_{12} = -164^\circ$,
- $\underline{U}_{12} = 329,0e^{-j164^\circ}$.

Sprawdzamy spełnienie zasady superpozycji. Wyliczamy $\underline{U}_1 + \underline{U}_2 = -306 - 86j$ [mV], a $\underline{U}_{12} = -316 - 91j$ [mV]. Wartości nie są sobie dokładnie równe, lecz są do siebie zbliżone – wynikać to może z niedokładnego odczytu wartości z woltomierza lub fazomierza, niedokładności samych przyrządów lub zjawisk dodatkowych nieprzewidzianych w doświadczeniu, które zakłócają pomiary. Możemy jednak (z dokładnością do występujących błędów), że $\underline{U}_1 + \underline{U}_2 = \underline{U}_{12}$ i jest spełniona zasada superpozycji.

CZĘŚĆ II – TWIERDZENIE THEVENINA

Łączymy elementy jak na rysunku poniżej. Dla trzech przypadków (włączonego tylko źródła E_1 , włączonego tylko źródła E_2 i włączonych obydwu źródeł jednocześnie E_1 i E_2) mierzymy najpierw napięcie między rozwartymi zaciskami wyjściowymi $\underline{U}_0$. Dołączamy do układu rezystor R_p i mierzymy napięcie na tym rezystorze; ustawiamy jego rezystancję tak, by $U_R \approx \frac{1}{2} U_0$.



Rys.2 Układ wykorzystany do badania twierdzenia Thevenina

Włączone tylko źródło E_1 :

- $U_0 = 598,4$ [mV],
- $\varphi_0 = -34^\circ$,
- $U_R = 299,3$ [mV],

- $\varphi_R = -64^\circ$,
- $R_P = 664 [\Omega]$.

Włączone tylko źródło E_2 :

- $U_0 = 603,7 [\text{mV}]$,
- $\varphi_0 = -158^\circ$,
- $U_R = 301,75 [\text{mV}]$,
- $\varphi_R = 170^\circ$,
- $R_P = 673 [\Omega]$.

Włączone obydwa źródła jednocześnie E_1 i E_2 :

- $U_0 = 544,1 [\text{mV}]$,
- $\varphi_0 = -96^\circ$,
- $U_R = 272,1 [\text{mV}]$,
- $\varphi_R = -126^\circ$,
- $R_P = 633 [\Omega]$.

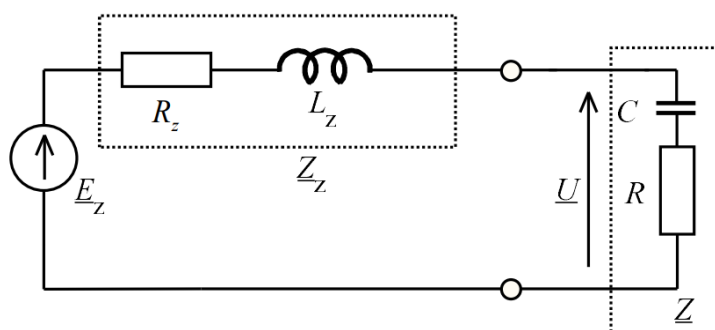
Ze wzoru $\underline{Z}_Z = \left(\frac{U_0}{U_R} - 1 \right) R_P$ obliczamy impedancję zastępczą dla wszystkich możliwości.

$$\underline{Z}_{Z1} = \left(\frac{598,4e^{-j34^\circ}}{299,3e^{-j64^\circ}} - 1 \right) \cdot 664 = 485,7 + 663,8j = 822,5 e^{j54^\circ} [\Omega]$$

$$\underline{Z}_{Z2} = \left(\frac{603,7e^{-j158^\circ}}{301,75e^{j170^\circ}} - 1 \right) \cdot 673 = 468,9 + 713,5j = 853,8 e^{j60^\circ} [\Omega]$$

$$\underline{Z}_{Z12} = \left(\frac{544,1e^{-j96^\circ}}{272,1e^{-j126^\circ}} - 1 \right) \cdot 633 = 463,3 + 632,9j = 784,4 e^{j54^\circ} [\Omega]$$

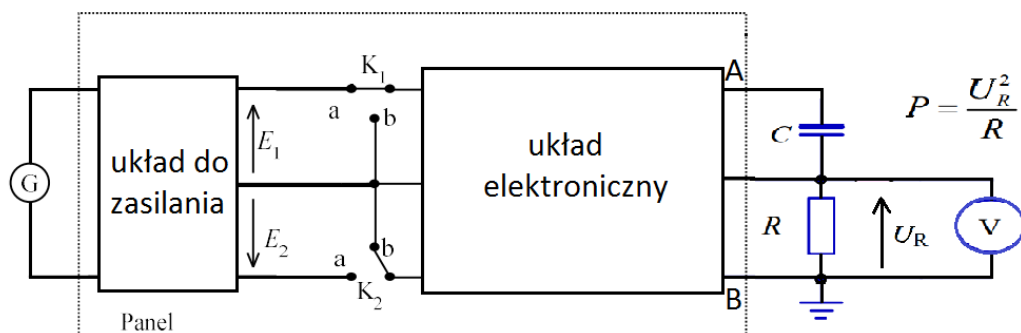
Dla pierwszego przypadku budujemy układ jak na rysunku poniżej, gdzie $L_Z = \frac{\text{Im}(\underline{Z}_{Z1})}{\omega} = 64 [\text{mH}]$, a $R_Z = \text{Re}(\underline{Z}_{Z1}) = 485,7 [\Omega]$. Ustawiamy wartość skuteczną napięcia $E_Z = U_0$ i mierzymy napięcie $\underline{U} = 377,1e^{-j64^\circ} [\text{mV}]$. Mamy następujące fazy: $\varphi_0 = -34^\circ$, $\varphi_1 = -100^\circ$, $\varphi_P = -64^\circ$. Fazy te spełniają zależność $\varphi_1 \approx \varphi_P + \varphi_0$, więc możemy założyć, że dobrze wyznaczyliśmy impedancję zastępczą.



Rys. 3 Układ zastępczy zbudowany wg twierdzenia Thevenina

CZĘŚĆ III – TWIERDZENIE O DOPASOWANIU NA MAKSIMUM MOCY CZYNNEJ

W układzie przedstawionym poniżej mamy następujące wartości początkowe: $R_0 = 486[\Omega]$ oraz $C_0 = 0,125 [\mu\text{F}]$. W takim przypadku C_p będące zaokrągleniem w górę C_0 do 100 [nF] wynosi 0,2 [μF]. Zmieniając pojemność dołączonego dwójnika mierzymy napięcie U_R na rezystorze R, gdy włączone jest tylko źródło E_1 . Ze wzoru $P = \frac{U_R^2}{R}$ wyliczamy moc czynną wydzieloną na rezystorze, natomiast potrzebna nam jeszcze będzie wartość bezwzględna z reaktancji kondensatora $|X_C| = \frac{1}{\omega C}$.



Rys. 4 Układ wykorzystywany do badania twierdzenia o dopasowaniu na maksimum mocy czynnej

C[μF]	U_R [mV]	P [μW]	X_C [Ω]
10	249,61	128,2	9,6
2	255,17	134,0	48,2
1	260,37	139,5	96,5
0,5	271,13	151,3	192,9
0,333	280,82	162,3	289,7
0,250	289,27	172,2	385,8
0,200	296,17	180,5	482,3
0,167	300,92	186,3	577,6
0,133	303,60	189,7	725,2
0,100	294,76	178,8	964,6
0,080	277,09	158,0	1205,7
0,067	252,13	130,8	1439,7
0,057	224,83	104,0	1692,2
0,050	201,04	83,2	1929,2

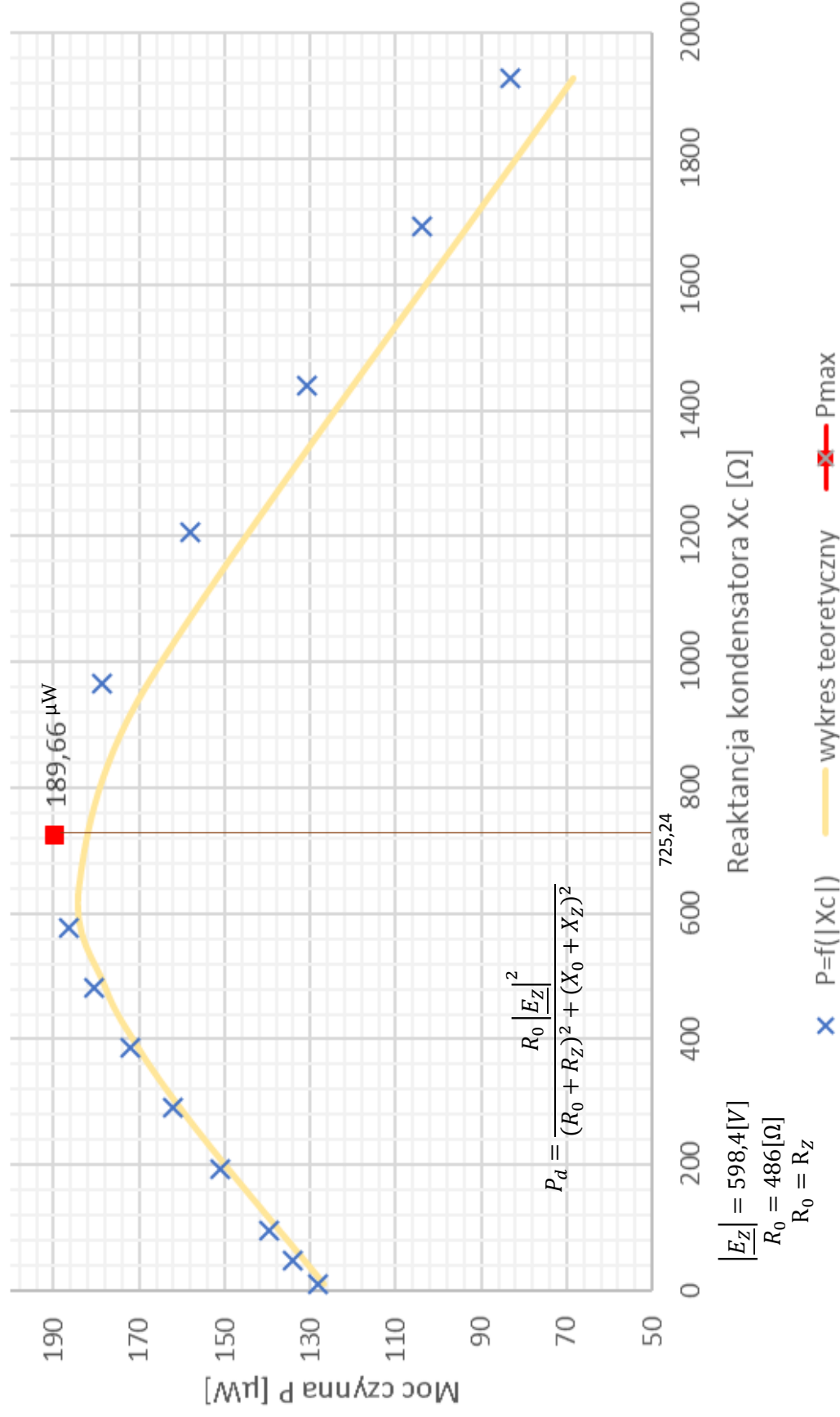
Tab. 1 Wyniki pomiarów napięcia, mocy i reaktancji w zależności od pojemności kondensatora

	E_1		E_2		E_1 i E_2	
$R[\Omega]$	$U_R[mV]$	$P[\mu W]$	$U_R[mV]$	$P[\mu W]$	$U_R[mV]$	$P[\mu W]$
0	0	0	0	0	0	0
50	93,18	173,65	94,03	176,83	85,05	144,67
100	131,23	172,21	132,68	176,04	119,97	143,93
150	164,08	179,48	165,64	182,91	149,77	149,54
200	192,52	185,32	194,34	188,84	175,7	154,35
300	239,58	191,33	241,76	194,83	218,42	159,02
400	276,81	191,56	279,43	195,20	252,37	159,23
500	307,13	188,66	310,06	192,27	279,91	156,70
600	332,23	183,96	335,29	187,37	302,81	152,82
700	353,31	178,33	356,48	181,54	321,87	148,00
800	371,27	172,30	374,70	175,50	338,11	142,90
900	386,81	166,25	390,37	169,32	352,19	137,82
1000	400,37	160,30	404,08	163,28	364,52	132,87
1200	422,90	149,04	426,74	151,76	385,11	123,59
1400	440,74	138,75	444,75	141,29	401,12	114,93
1600	455,31	129,57	459,43	131,92	414,34	107,30
1800	467,40	121,37	471,59	123,55	425,27	100,47
2000	477,58	114,04	481,87	116,10	434,52	94,40
2200	486,30	107,49	490,65	109,43	442,41	88,97
2400	493,87	101,63	498,26	103,44	449,46	84,17

Tab. 2 Wyniki pomiarów napięcia i mocy czynnej w zależności od rezystancji oraz podłączonych źródeł napięcia

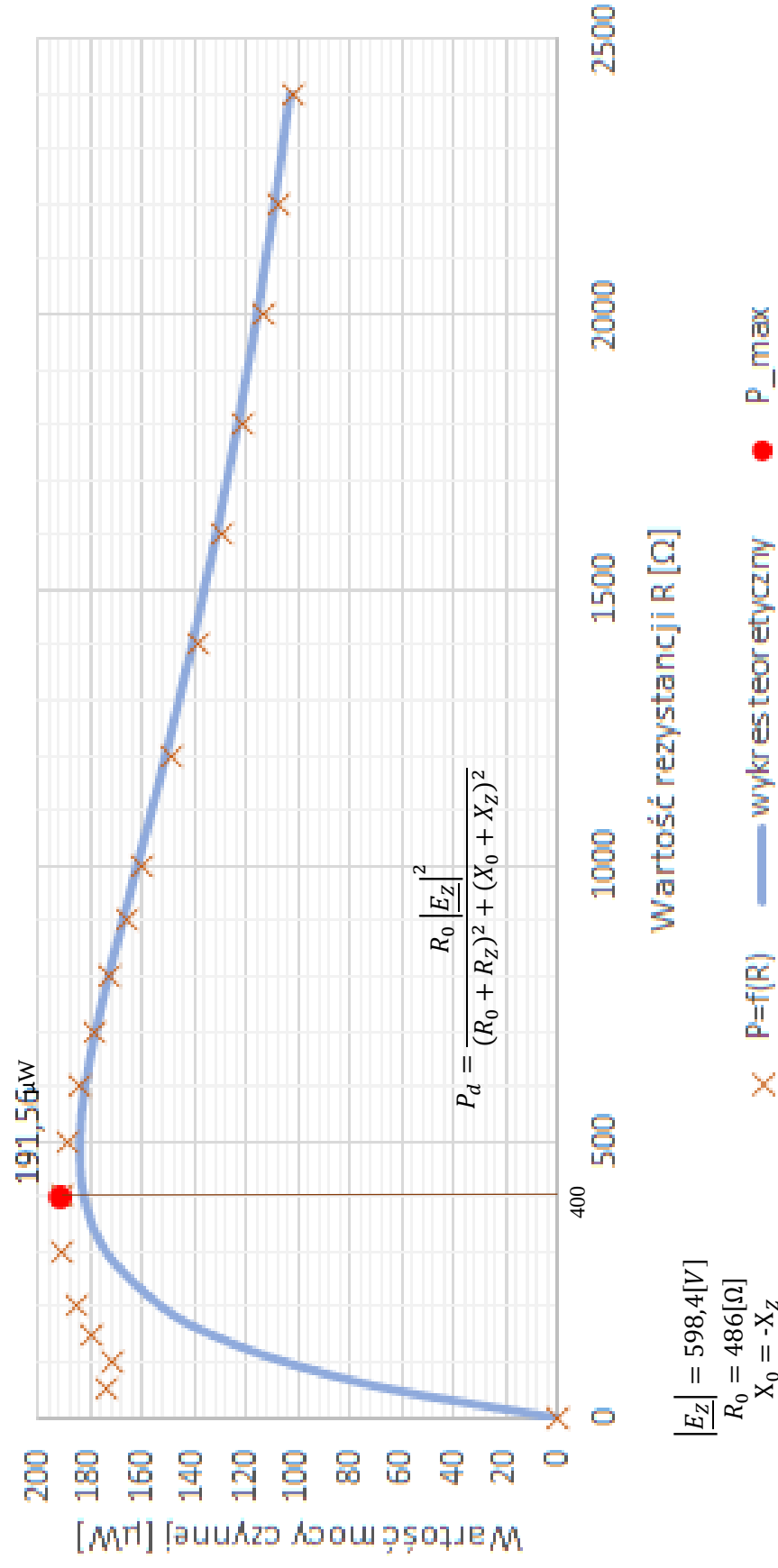
Dla każdego przypadku obliczamy maksymalną moc czynną ze wzoru $P_{max} = P_d = \frac{|E_Z|^2}{4R_Z}$. Otrzymujemy, że $P_{Cmax} = 189,7$ [μW], $P_{max1} = 184,33$ [μW], $P_{max2} = 194,33$ [μW], $P_{max12} = 159,76$ [μW]. Wyniki pomiarów są zbliżone do wartości przez nas oczekiwanych (w granicach do 10% błędu), więc zakładamy, że udało nam się dopasować rezystancję na maksymalną moc czynną. Wartości rezystancji, dla której wyszła nam największa moc, jest równa 400 [Ω] (gdzie dla 500 [Ω] wartość jest niewiele mniejsza), wartość konduktancji $X_C = 725,2$ [Ω], a nasze wyliczone wcześniej R_Z ma wartość z zakresu [400;500] [Ω], $X_Z \approx 650$ [Ω] (a w przedziale [570;720] mogło wystąpić maksimum, jeśli spojrzymy na wykres), więc możemy zakładać, że obliczenia z pomiarami są zgodne.

Wykres zależności $P=f(|X_c|)$



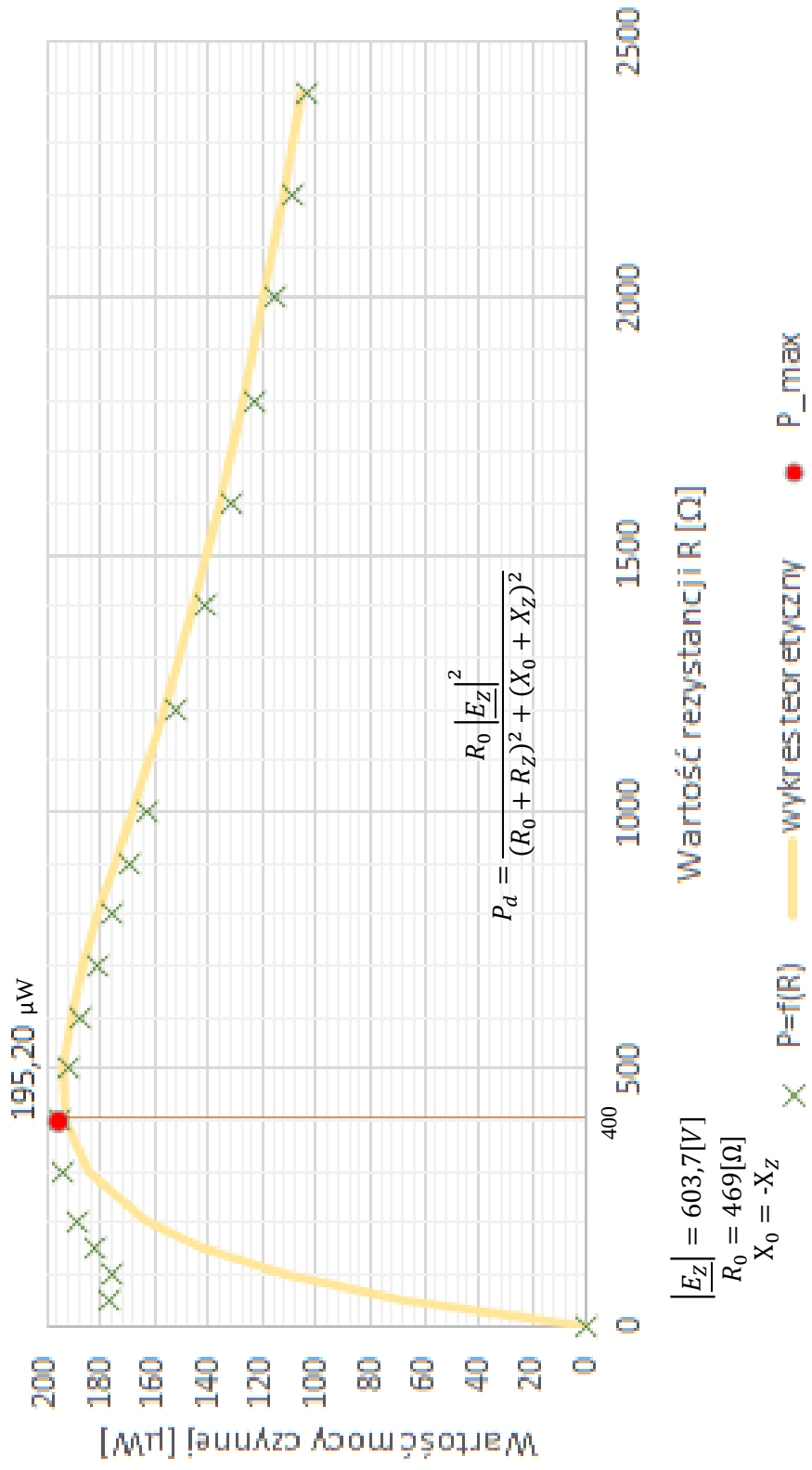
Zależność $P=f(R)$ dla podłączonego tylko źródła napięcia

E1

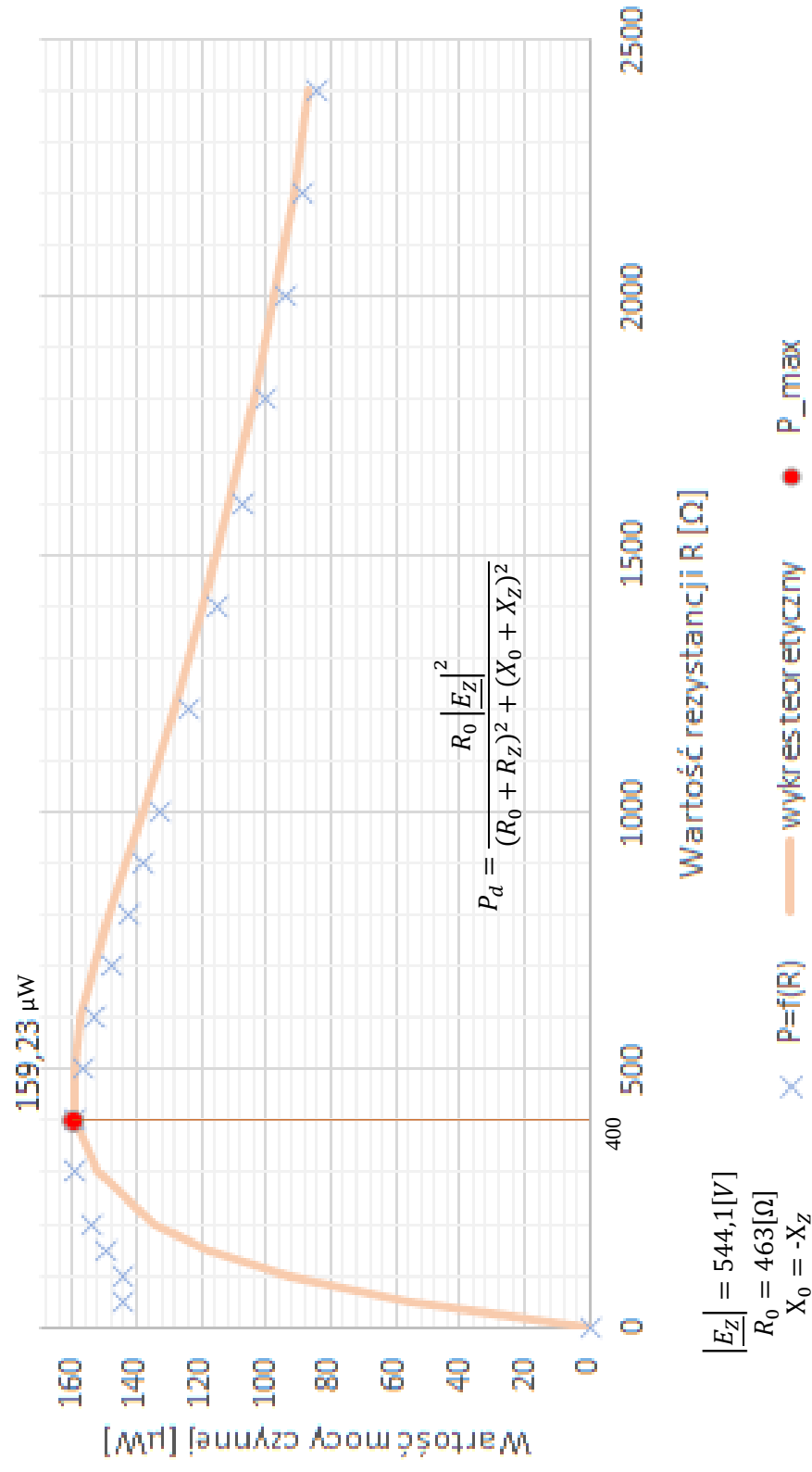


Zależność $P=f(R)$ dla podłączonego tylko źródła napięcia

E2



Zależność $P=f(R)$ dla podłączonego tylko źródła napięcia E1 i E2



4. Wnioski

W przypadku pierwszej części laboratoriów różnica w wynikach była niewielka, więc można założyć, że udało się nam potwierdzić prawdziwość zasady superpozycji. Wnioskujemy to po porównaniu ze sobą sumy $\underline{U}_1 + \underline{U}_2$ z pomiarem $\underline{U}_3$. Niedokładności mogą wynikać z występowania dodatkowych zjawisk nieprzewidzianych w doświadczeniu lub niedokładności mierników.

W drugiej części zadaniem było wyznaczenie impedancji zastępczej układu stosując się do twierdzenia Thevenina. Po analizie pomiarów przed i po stworzeniu układu zastępczego oraz porównaniu faz napięć widać, że założenie twierdzenia Thevenina zostało spełnione.

W trzecim podpunkcie można zauważyć, że maksymalną moc czynną otrzymujemy dla pojemności $C_{max} = 0,133 [\mu F]$, podczas gdy niewiele różni się ona od wartości pojemności początkowej $C_0 = 0,125 [\mu F]$. Przy zmiennej rezystancji w każdym z trzech przypadków moc czynna miała największą wartość dla $R_{max} = 400 \Omega$, gdy wartość rezystancji początkowej była równa $R_0 = 486 [\Omega]$. Tutaj różnica jest trochę większa niż zakładana, jednak może to wynikać z nieuwzględnionych zakłóceń lub niedokładnych odczytów wyników (następna wartość rezystancji jest równa $500 [\Omega]$ i poprawny wynik najpewniej uzyskalibyśmy mierząc napięcie dla wartości z przedziału właśnie $[400; 500]$). Problem natomiast pojawia się dla pierwszych trzech/czterech wyników pomiarów, gdyż znacznie odbiegają one od teoretycznych wartości mocy maksymalnej. Ciężko jest ocenić przyczynę błędów, może jest to wynikiem złej metody pomiarowej, nieuwzględnienie jakiegoś dodatkowego napięcia. W miarę jednak ze wzrostem rezystancji wartości się normują, więc te początkowe błędy są błędami grubymi i przy ewentualnych dalszych obliczeniach należałoby ich nie brać pod uwagę.