

J4 情報システム実験実習Ⅱ 実験報告書

題目 インピーダンスの測定

実施年月日 2025年 7月 1日

提出年月日 2025年 7月 11日

共同実験者 7班

池口寛大 河本かれん 西村彪我 森田龍亮 湯原陸斗

提出者

通し番号 22 学籍番号 22070 氏名 齊藤寛人

1. 目的

抵抗 R とキャパシタンス C の直列回路のインピーダンスを測定し、交流回路におけるインピーダンスの測定および周波数特性について理解する。

2. 原理

A) 抵抗 R と静電容量 C の直列回路のインピーダンス Z を示す式を以下に示す。

$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} [\Omega]$$

B) 角周波数 ω を変化させたときの R-C 直列回路のインピーダンスの大きさ Z と、位相角 θ_Z の変化を表したグラフを以下に示す。

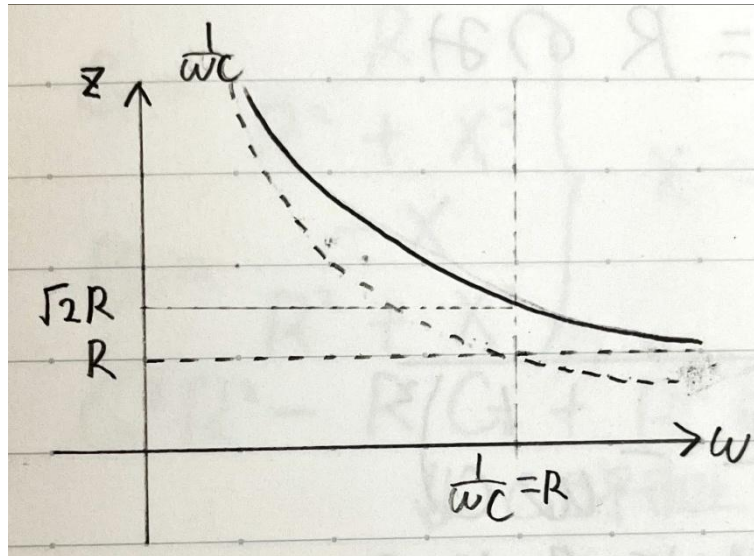


図1 インピーダンスの大きさ

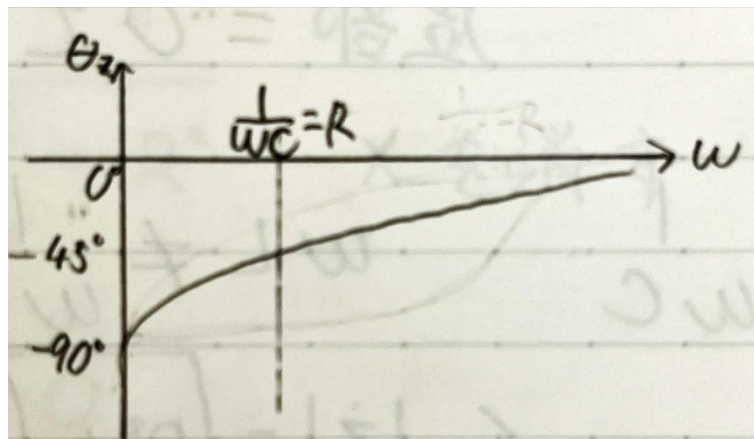


図2 インピーダンスの位相角

C) 角周波数 ω を変化させたときの R-C 直列回路のアドミタンスの大きさ Y と、位相角 θ_Y の変化を表したグラフを以下に示す。

アドミタンスの式もあると良い

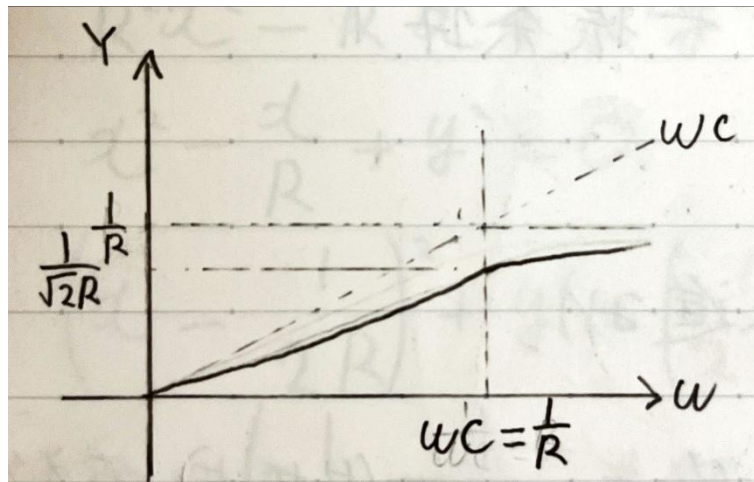


図3 アドミタンスの大きさ

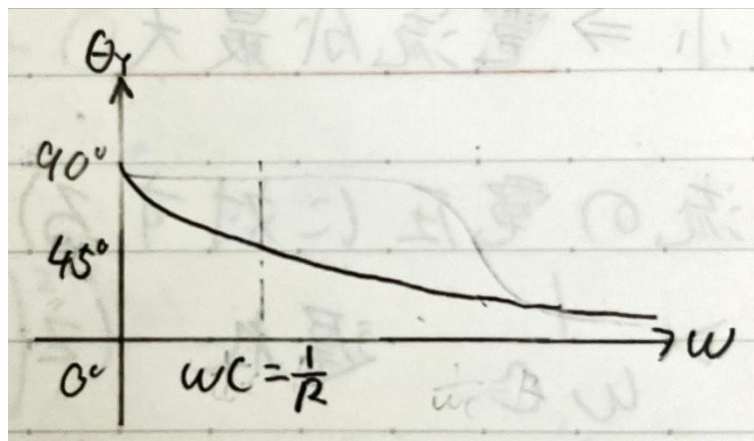


図4 アドミタンスの位相角

- D) 角周波数 ω を変化させたときの R-C 直列回路のインピーダンスの極表示の軌跡を以下に示す.

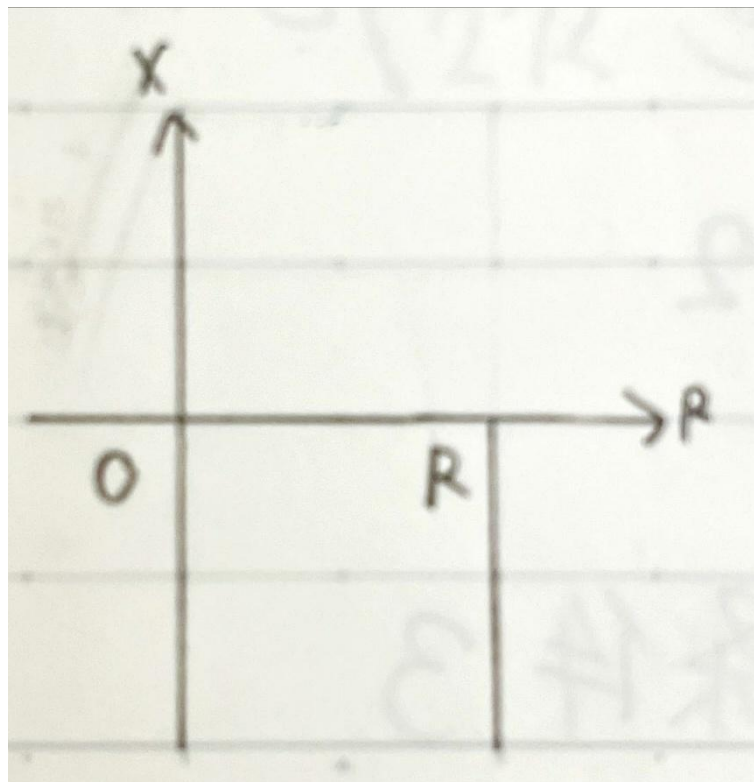


図5 インピーダンスの極表示の軌跡

- E) 角周波数 ω を変化させたときの R-C 直列回路のアドミタンスの極表示の軌跡を以下に示す.

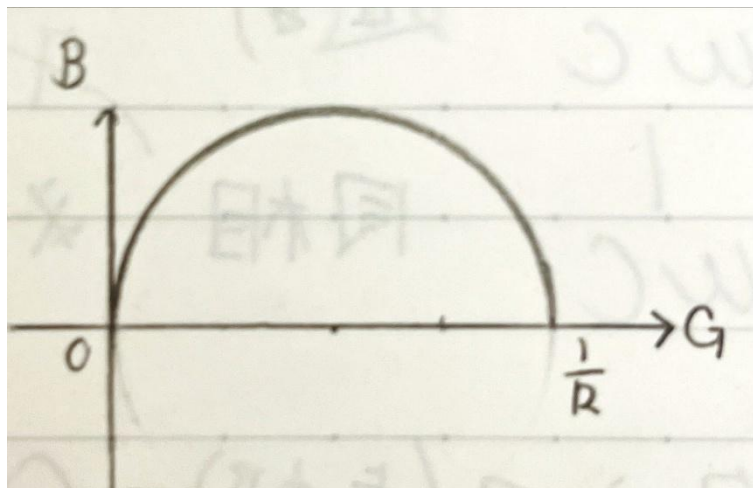


図6 アドミタンスの極表示の軌跡

3. 接続図

今回の実験で使用した回路の接続図を以下に示す.

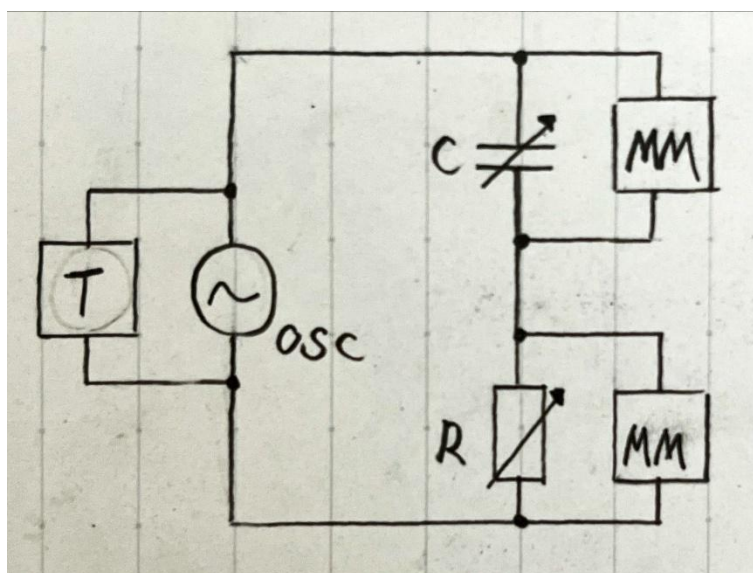


図7 接続図

4. 使用機器

- 低周波発振器：OSC AG-203D (KENWOOD)

発振周波数 10Hz~1MHz 周波数確度 $\pm(3\%+1\text{Hz})$ 出力電圧 $10V_{p-p}$ 出力インピーダンス約 600 Ω

- 抵抗器：R ダイヤル形可変抵抗器 2786 (横河計測株式会社)

100 Ω ステップでの確度 $\pm 0.05\%$ 残留抵抗 23m Ω 以下 使用温度範囲 0~40 $^{\circ}\text{C}$

- コンデンサ：C ダイヤル式精密可変コンデンサ DSC-1 (安藤電機)

- マルチメータ：MM 34401A (Agilent Technologies)

$6^{1/2}$ 桁の分解能 基本確度 0.06%(AC) 測定速度 1000 回/秒 周波数測定方法レシプロカルカウント法

- テスタ：T DE-200A (DER EE Electrical Instrument Co., Ltd)

分解能 0.001V (2V レンジ) 確度 $\pm(2.3\%rdg+5dgt)$ (40~500Hz) 入力抵抗約 11M Ω (2V レンジ)

5. 実験方法

5.1. 周波数 f を変化させたときの測定

5.1.1. 接続図のように結線し， $R = 600[\Omega]$ ， $C = 0.1[\mu F]$ に調整した．

5.1.2. OSC の出力電圧を正弦波，1[kHz]，負荷状態で 0.8[V]に調整した．

5.1.3. OSC の発振周波数を 50[Hz]から 10[kHz]まで（1，1.5，2，3，5，7）ステップで変化させ，その時の抵抗器の電圧 V_R ，コンデンサの電圧 V_C ，OSC 出力電圧 V を測定した．

6. 実験結果

6.1. 周波数を変化させたときの R-C 直列回路のインピーダンス，アドミタンスの変化を以下の表に示す．

表 1 インピーダンス，アドミタンスの変化

f(Hz)	V_R(V)	V_C(V)	V(V)	Z(Ω)	$\theta_z(^{\circ})$	Y(s)	$\theta_y(^{\circ})$
50	0.01764	0.9245	0.927	31451	-88.91	3.180E-05	88.91
70	0.02451	0.9225	0.925	22591	-88.48	4.427E-05	88.48
100	0.03489	0.9181	0.921	15800	-87.82	6.329E-05	87.82
150	0.05357	0.9336	0.937	10474	-86.72	9.548E-05	86.72
200	0.07035	0.9277	0.932	7935	-85.66	1.260E-04	85.66
300	0.1038	0.9132	0.920	5313	-83.52	1.882E-04	83.52
500	0.1657	0.8739	0.890	3221	-79.26	3.105E-04	79.26
700	0.2187	0.8245	0.852	2340	-75.14	4.273E-04	75.14
1000	0.2810	0.7415	0.789	1693	-69.25	5.906E-04	69.25
1500	0.3540	0.6223	0.706	1213	-60.37	8.240E-04	60.37
2000	0.3931	0.5181	0.634	992.6	-52.81	1.007E-03	52.81
3000	0.4302	0.3787	0.541	799.4	-41.36	1.251E-03	41.36
5000	0.4538	0.2395	0.447	678.4	-27.82	1.474E-03	27.82
7000	0.4605	0.1736	0.393	641.2	-20.66	1.560E-03	20.66
10000	0.4633	0.122	0.342	620.5	-14.75	1.612E-03	14.75

6.2.

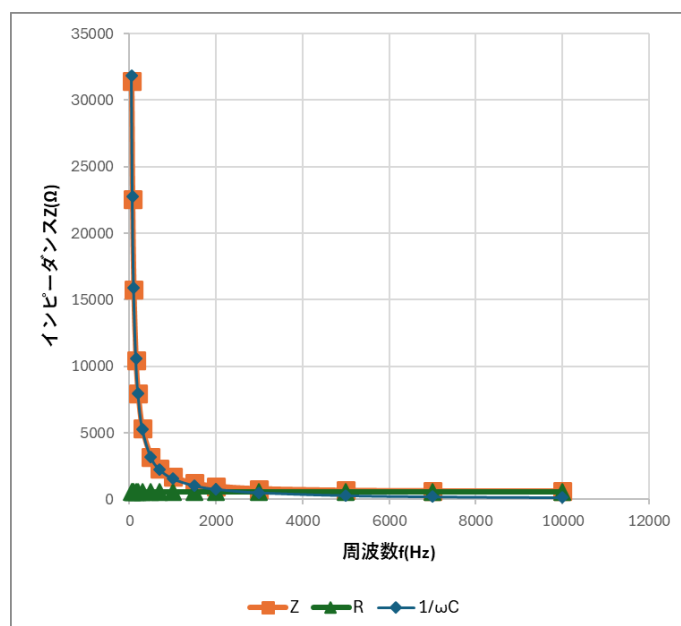


図 8 インピーダンスの絶対値の周波数特性

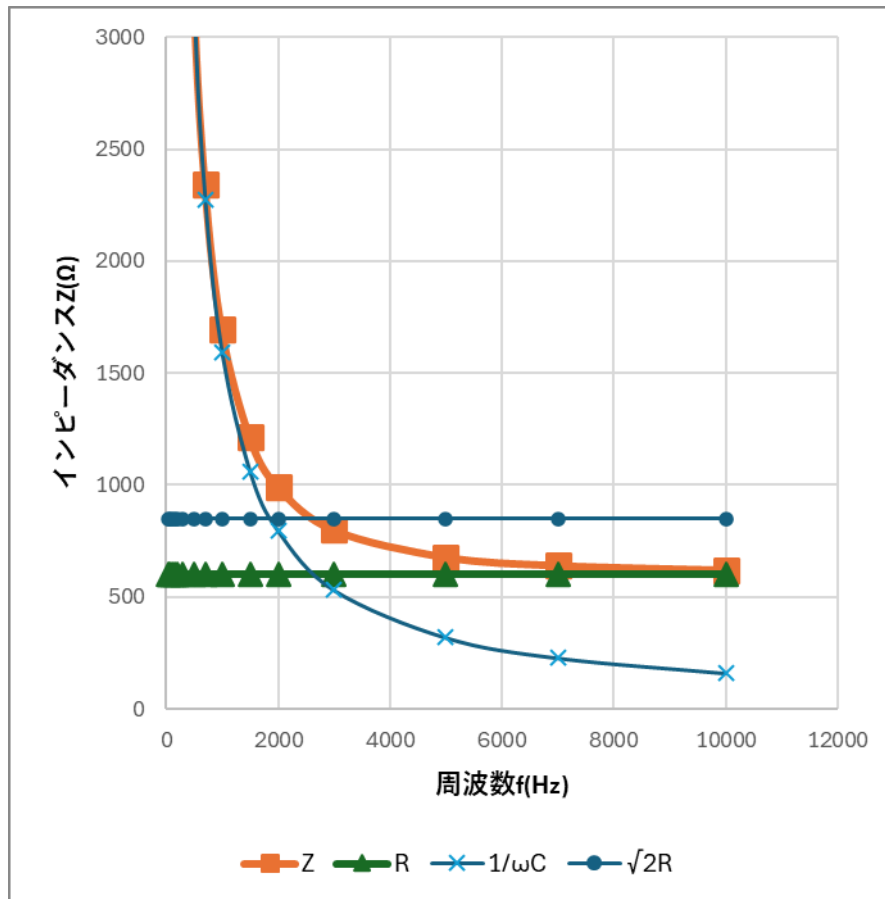


図 9 インピーダンスの周波数特性（拡大図）

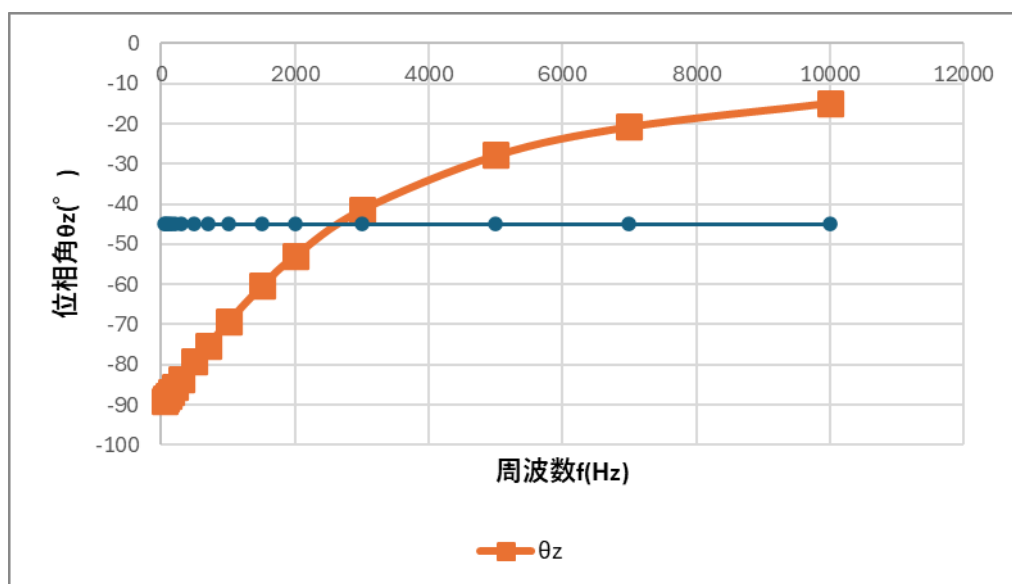


図 10 インピーダンスの位相角の周波数特性

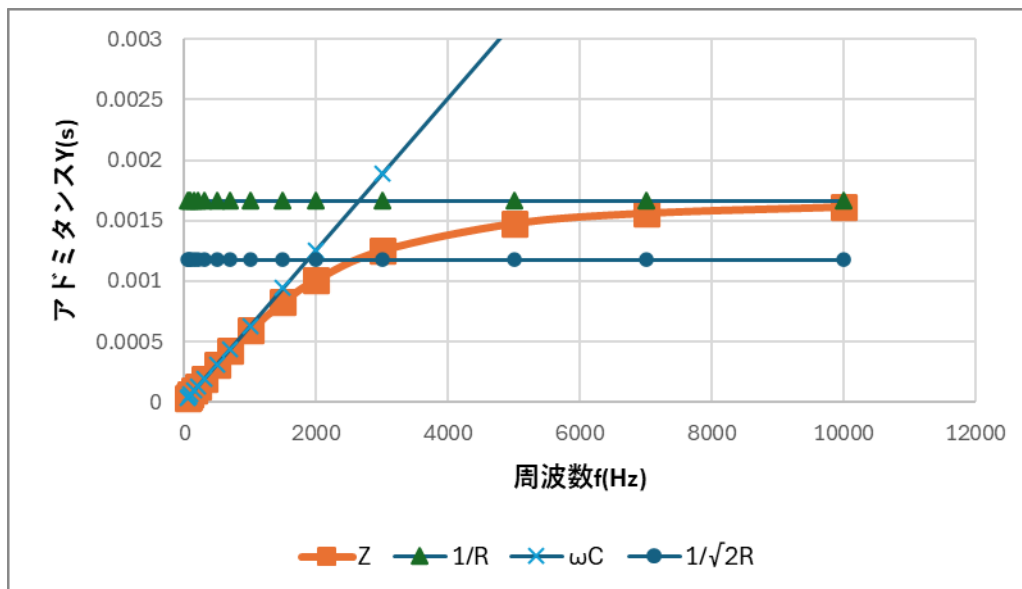


図 11 アドミタンスの周波数特性

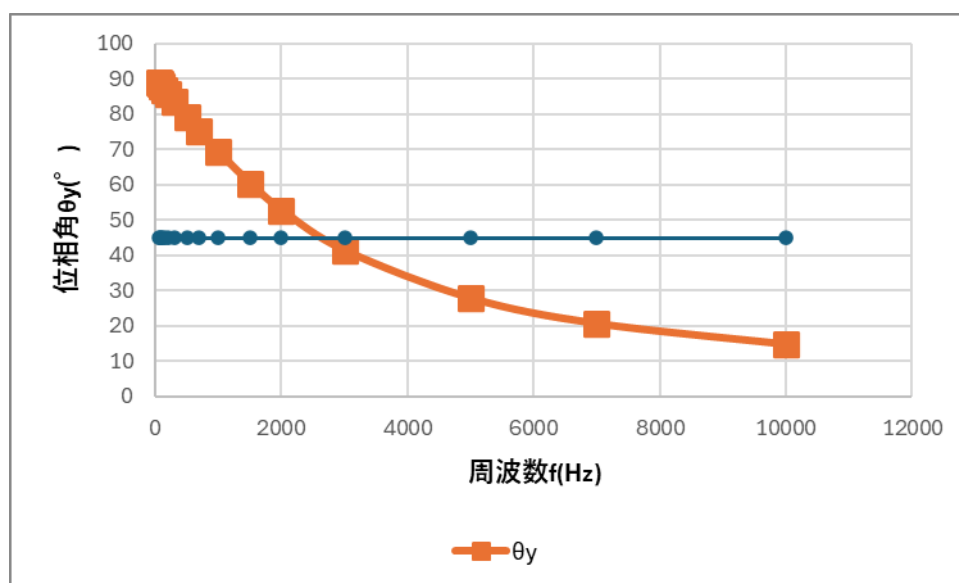


図 12 アドミタンスの位相角の周波数特性

インピーダンス，アドミタンスの周波数特性を上図に示す．

表 1 の結果から，インピーダンス Z ，位相角 θ_Z ，アドミタンス Y ，位相角 θ_Y を求めた式を示す．

$$Z = \frac{\sqrt{V_R^2 - V_C^2}}{V_R} \times R[\Omega]$$

$$\theta_Z = -\tan^{-1} \frac{V_C}{V_R} [^\circ]$$

$$Y = \frac{1}{Z}[\Omega]$$

$$\theta_Y = -\theta_Z [^\circ]$$

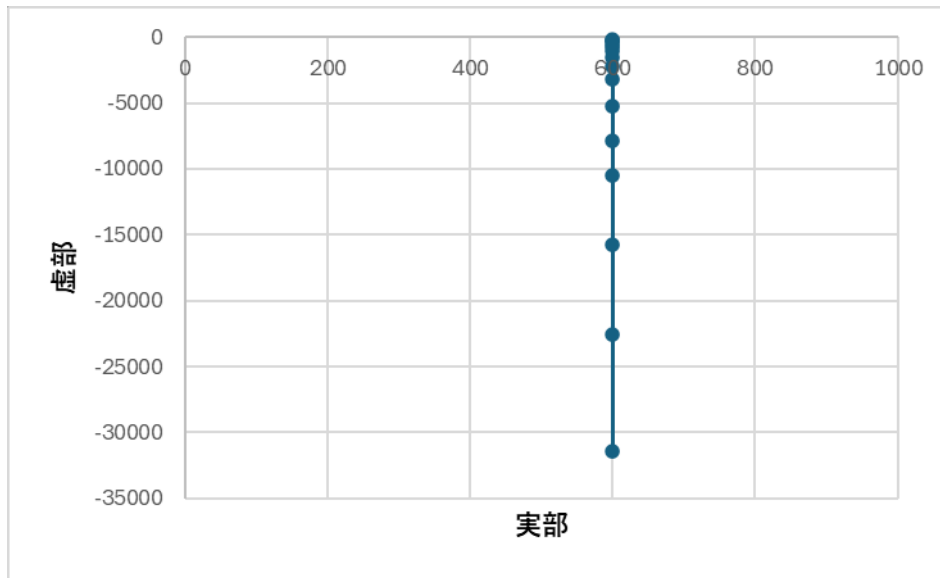


図 13 インピーダンスの極表示の軌跡

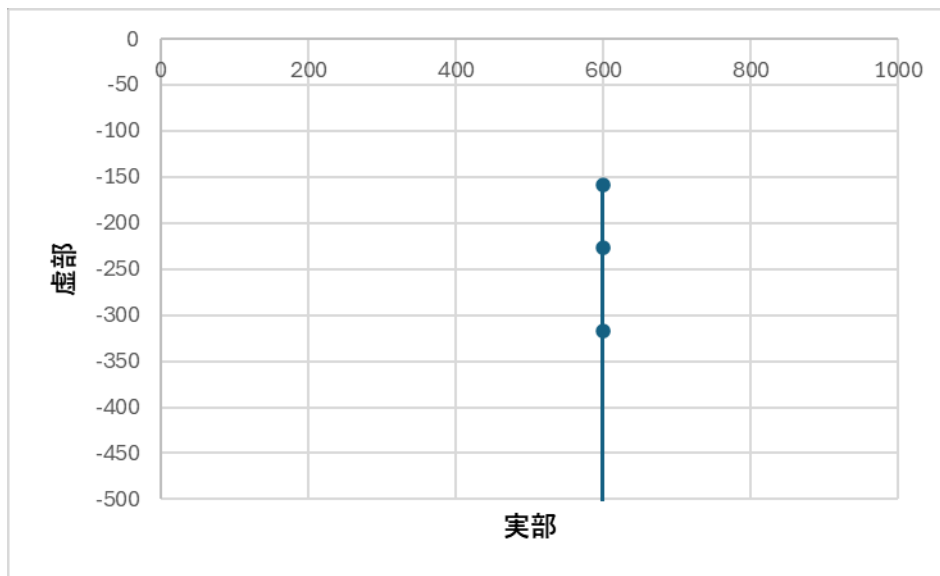


図 14 インピーダンスの極表示の軌跡（拡大図）

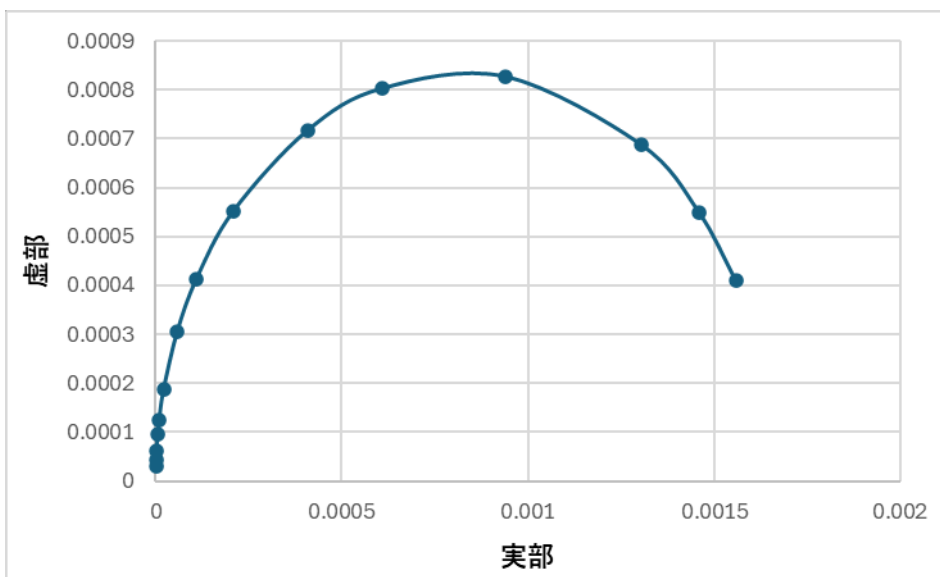


図 15 アドミタンスの極表示の軌跡

周波数を変化させたときのインピーダンス，アドミタンスの極表示の軌跡を上図に示す．

表 1 の結果から，インピーダンスの実部 $Re(Z)$ ，虚部 $Im(Z)$ ，アドミタンスの実部 $Re(Y)$ ，虚部 $Im(Y)$ を求めた式を示す．

$$Re(Z) = Z \cos \theta_Z [\Omega]$$

$$Im(Z) = Z \sin \theta_Z [\Omega]$$

$$Re(Y) = Y \cos \theta_Y [S]$$

$$Im(Y) = Y \sin \theta_Y [S]$$

- 6.4. インピーダンスの周波数特性のグラフを見ると、反比例に近い形のグラフができている。また、拡大図を見ると Z の線は周波数が低いところでは $1/\omega C$ に沿うようにして推移し、周波数が高いところでは R に漸近している。

インピーダンスの位相角の周波数特性のグラフを見ると、 $-90[^\circ]$ から始まり、周波数が高くなると $0[^\circ]$ に漸近している。

アドミタンスの周波数特性のグラフを見ると、周波数が低いところでは ωC に沿うようにして推移し、周波数が高いところでは $1/R$ に漸近している。

アドミタンスの位相角の周波数特性のグラフを見ると、 $90[^\circ]$ から始まり、周波数が高くなると $0[^\circ]$ に漸近している。

これらの特徴は原理で調べた理論値の図の特徴とおおむね一致しておりこの実験の確からしさが確認できる。

また、 Z が $\sqrt{2}R$ と交わる点、 θ_Z が $-45[^\circ]$ と交わる点、 Y が $1/\sqrt{2}R$ と交わる点、 θ_Y が $45[^\circ]$ と交わる点での周波数を見ると、どれもおよそ $2500[Hz]$ であることがわかる。理論値の図によるとこの角周波数は

$$\frac{1}{\omega C} = R$$

であるはずである。これを周波数に直し、 C に $0.1[\mu F]$ 、 R に $600[\Omega]$ を代入すると

$$\begin{aligned} f &= \frac{\omega}{2\pi} \\ &= \frac{1}{2\pi CR} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 0.1 \times 10^{-6} \times 600} \\ &= 2653[Hz] \end{aligned}$$

となる。よって、実験結果はおおよそ理論通りに求められていることがわかる。このことから、この実験の確からしさが確認できる。

- 6.5. インピーダンスの極表示の軌跡を見ると、実部の値は変化せず虚部の値のみ変化し、虚部が負の部分に直線ができている。この直線は虚部が -32000 ほどで途切れているが、原理で調べた理論値の図では直線は途切れることなく無限に負の方向に延びている。これは、今回の実験で測定した周波数の範囲が原因である。虚部が負の方向に無限に伸びているとき周波数は $0[Hz]$ である。しかし今回の実験では周波数は $50[Hz]$ である。そのため虚部は負の方向に無限に伸びることなくあるところで途切れているのである。また、拡大図を見ると上端も虚部が 0 になることなく途切れていることがわかる。これも、理論値の図では虚部が 0 になるはずである。しかし、この時の周波数は $\infty[Hz]$ であり、今回の実験では周波数を $10[kHz]$ までにしているため、途切れているのである。

アドミタンスの極表示の軌跡を見ると、上に凸な半円に近い形ができているが、半円は完成することなく左右どちらも途切れている。原理で調べた理論値の図では半円は完成しているが、実験結果では完

成していない理由はインピーダンスと同様に測定した周波数の範囲が原因である。左側で半円の端が原点に到達するとき周波数は $0[\text{Hz}]$ であり、右端が実軸と交わるときには周波数は $\infty[\text{Hz}]$ である。そのため、理論値の図では綺麗な半円になるが実験結果では途切れているのである。

7. 課題

今回の実験で OSC の出力電圧 V が一定にならなかった原因は OSC の出力インピーダンスである。データシートによると今回の実験で使用した OSC, 低周波発振器 AG-203D の出力インピーダンスは $600[\Omega]$ である。出力インピーダンスとは内部抵抗と同様であるから、出力インピーダンスを考慮して接続図を書き直すと以下のようなになる。

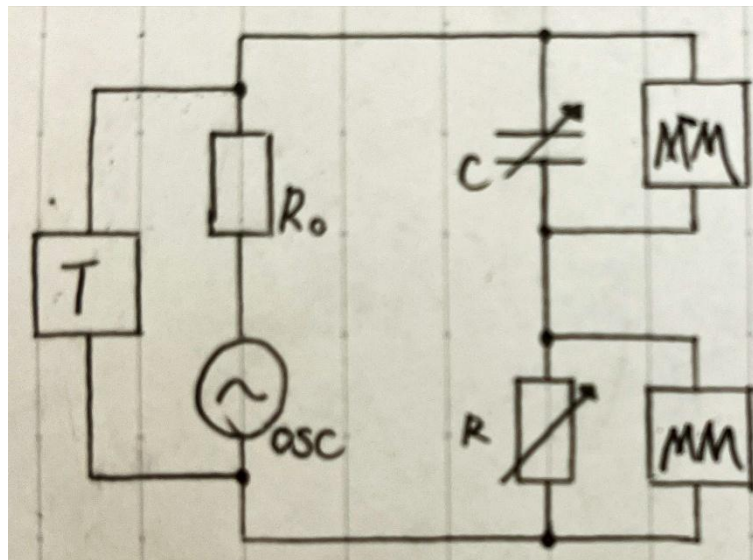


図 16 出力インピーダンスを考慮した接続図

この図からもわかるように出力インピーダンスが存在すると、OSC の出力電圧を測っているはずの V は、出力インピーダンスの端子間を測ることになってしまう。OSC の起電力が一定であっても、出力インピーダンス、可変抵抗、可変コンデンサの直列回路であるため、周波数の変化によって可変コンデンサのインピーダンスが変動すれば当然出力インピーダンスの端子間電圧は変動してしまう。そのため、今回の実験で OSC の出力電圧 V が一定にならなかったのである。

8. 感想

アドミタンスの極表示の軌跡が円になると授業で聞いても、正直信じていなかったが、実際に実験してみると授業で習った通りの軌跡になり納得することができた。座学も大事だが、やはり「百聞は一見に如かず」というように手を動かして実験を行うことも大事だと感じた。

周波数特性のグラフを作図したが、極表示の軌跡が途中で途切れているためもう少し周波数の範囲を広げて実験を行いたかった。

9. 実験スキル

- 計画と実施 1B
- 機器、器具の準備と操作 1A
- 結果、分析、考察 1A

10. 参考文献

[1] 「低周波発振器 AG-203D/AG-204D」, アールエスコンポーネンツ株式会社, <https://docs.rs->

online.com/3934/0900766b804bd2c5.pdf, 2025 年 7 月 9 日参照.

[2] 「ダイヤル形可変抵抗器 278610/20」, 横河計測株式会社, <https://cdn.tmi.yokogawa.com/18/2647/files/BU2700.pdf>, 2025 年 7 月 9 日参照.

[3] 「Keysight Technologies 34401A デジタルマルチメータ」, Keysight Technologies, <https://www.keysight.com/jp/ja/assets/7018-06774/data-sheets-archived/5968-0162.pdf>, 2025 年 7 月 9 日参照.

[4] 「取扱説明書 デジタルマルチメータ MODEL DE-200A/201A」, 秋月電子通商, https://akizukidenshi.com/goodsaffix/de-200a_manu.pdf, 2025 年 7 月 9 日参照.