

J4 工学基礎実験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 5月 23日

提出年月日 2025年 5月 日

共同実験者 3班

小原 梅原 加藤 竹部 山根

提出者

通し番号 37 学籍番号 22139 氏名 福井 環

1. 実験の目的

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

- インピーダンス・アドミタンスの周波数特性

抵抗 R

$$\text{インピーダンス } Z = R + j0 = R\angle 0^\circ \equiv Z\angle\theta_Z$$

Z, θ_Z とも ω を含まないから、 ω が変化しても一定なので、図 1 のようになる。

$$\text{アドミタンス } Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R} \angle 0^\circ \equiv Y\angle\theta_Y$$

Y, θ_Y とも ω に依存せず、図 1 のようになる。

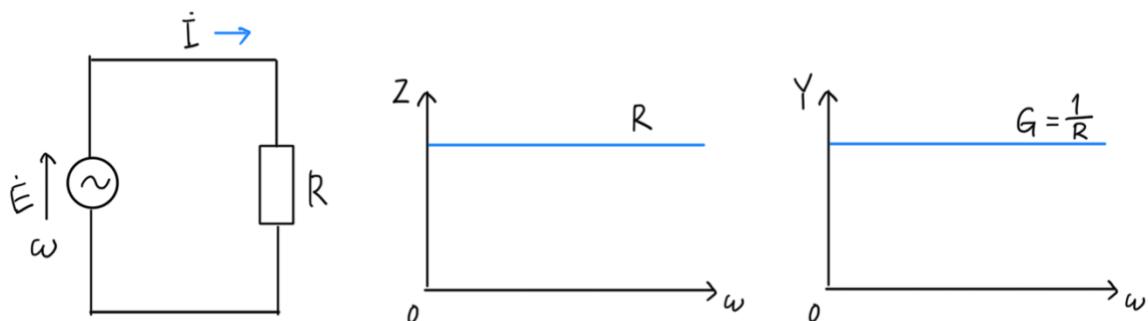


図 1 抵抗 R の周波数特性

インピーダンス面とアドミタンス面はそれぞれ図 2 のようになる。座標原点 0 と Z_1 の点とを結ぶ線分の長さがインピーダンス Z_1 の大きさ Z_1 に等しく、線分と実数軸との間の角が Z_1 の角 θ_Z に等しい。同様に、アドミタンス面上で原点と Y_1 の点を結ぶ線分の長さがアドミタンス Y_1 の大きさ Y_1 に等しく、実数軸との間の角が θ_Y に等しい[1]。

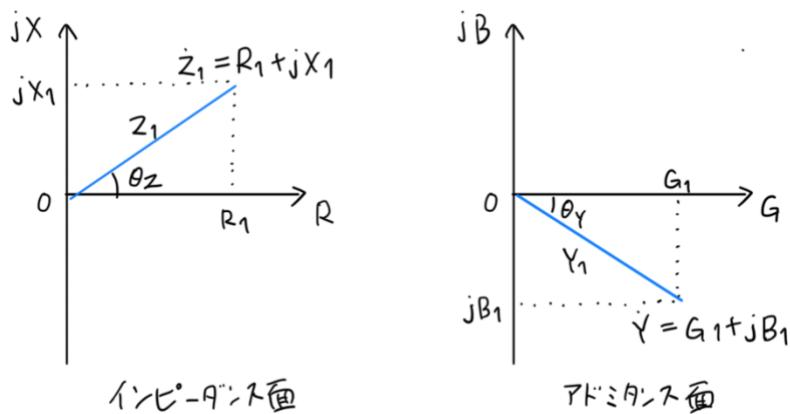


図 2 インピーダンス面とアドミタンス面

周波数が変化して、インピーダンス Z あるいはアドミタンス Y が変化すると、インピーダンス面上の Z あるいは、アドミタンス面上の Y を示す点が移動する。周波数の変化によって Z あるいは Y の点が描く図形を、インピーダンスあるいはアドミタンスの軌跡という[1]。

- (a) 抵抗 R と静電気容量 C の直列回路のインピーダンスを表す式

$$Z = R + jX_C = R - j\frac{1}{\omega C}$$

- (b) 電圧源の周波数 f を変化させたとき, 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 の変化について

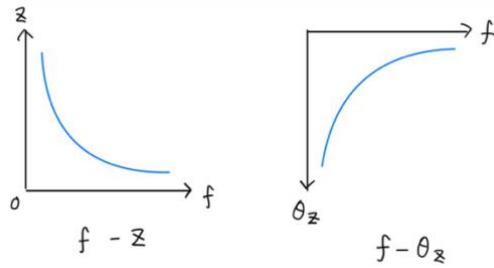


図 3 インピーダンスの大きさ Z (左) と位相角 θ_Z (右) の変化

- (c) 電圧源の周波数 f を変化させたとき, R-C 直列回路のアドミタンス Y の大きさと位相角 θ_Y の変化について

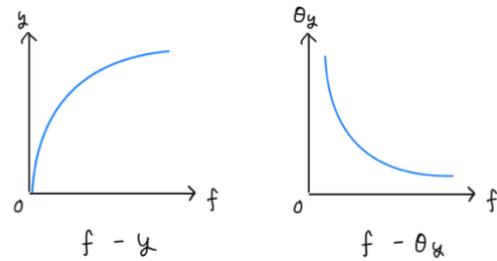


図 4 アドミタンスの大きさ Y (左) と位相角 θ_Y (右) の変化

- (d) 電圧源の周波数 f を変化させたとき, R-C 直列回路のインピーダンスの極表示 $Z = Z\angle\theta_Z$ の複素平面上での変化（軌跡）について

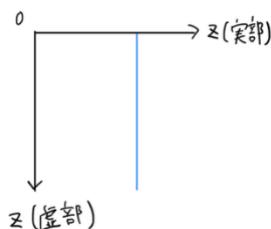


図 5 インピーダンスの極表示 $Z = Z\angle\theta_Z$ の複素平面上での変化

- (e) R-C 直列回路に印加する電圧源の周波数 f を変化させたとき, アドミタンスの極表示 $Y = Y\angle\theta_Y$ の複素平面上での変化（軌跡）について

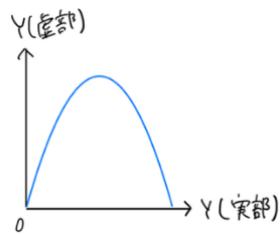


図 6 アドミタンスの極表示 $\dot{Y} = Y \angle \theta_Y$ の複素平面上での変化

3. 接続図

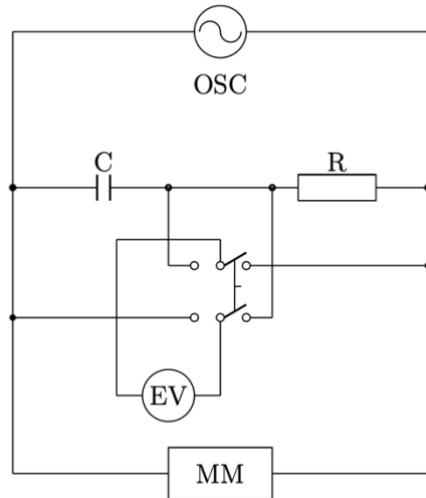


図 7 実験で使用した回路の接続図

4. 使用機器

使用機器名（記号）：低周波発振器（OSC）

名称：低周波発振器

メーカー：KENWOOD

型番：AG-203D

使用機器名（記号）：抵抗器（R）

名称：抵抗器

メーカー：YOKOGAWA ELECTRIC WORKS.LTD

型番：2786

使用機器名（記号）：コンデンサ（C）

名称：コンデンサ

メーカー：ANDOELECTRIC CO.,LTD

型番：DSC-1

使用機器名（記号）：電子電圧器（EV）

名称：マルチメータ

メーカー：Agilent

型番：34401A

使用機器名（記号）：マルチメータ(MM)

名称：マルチメータ

メーカ：DER EE

型番：DE-200A

5. 実験方法

5.1 周波数 f を変化させた場合の測定

- (1) 接続図のように結線し, $R=600[\Omega]$, $C=0.1[\mu F]$ に設定した.
- (2) OSC の出力電圧を正弦波, 1[kHz], 負荷状態 0.8[V]に調節した.
- (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て, その時の抵抗器の電圧降下 V_R , コンデンサの電圧降下 V_C , OSC 出力電圧 V_{MM} を測定した.
- (4) 実験結果を表 1 (実験資料) を参考にまとめた.
- (5) インピーダンスおよびアドミタンスの周波数特性を図 2 (実験資料) を参考に描いた.
- (6) インピーダンスの極表示 $Z = Z\angle\theta_Z$ およびアドミタンスの極表示の変化 (軌跡) を図 3 (実験資料) を参考に描いた.

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の表を表 1 に示す.

表 1 周波数を変化させたときのインピーダンスとアドミタンスの変化

$f[\text{Hz}]$	$ Z [\Omega]$	$ Y [\text{S}]$
50	31341.0	3.19E-05
70	22518.3	4.44E-05
100	17712.5	5.65E-05
150	10563.0	9.47E-05
200	7930.1	0.000126
300	5316.3	0.000188
500	3221.8	0.00031
700	2341.3	0.000427
1000	1695.1	0.00059
1500	1212.0	0.000825
2000	994.3	0.001006
3000	799.7	0.001251
5000	678.7	0.001473
7000	641.3	0.001559
10000	620.5	0.001612

6.2 周波数を変化させたときのインピーダンスとアドミタンスの周波数特性のグラフをそれぞれ図 8, 9 に示す.

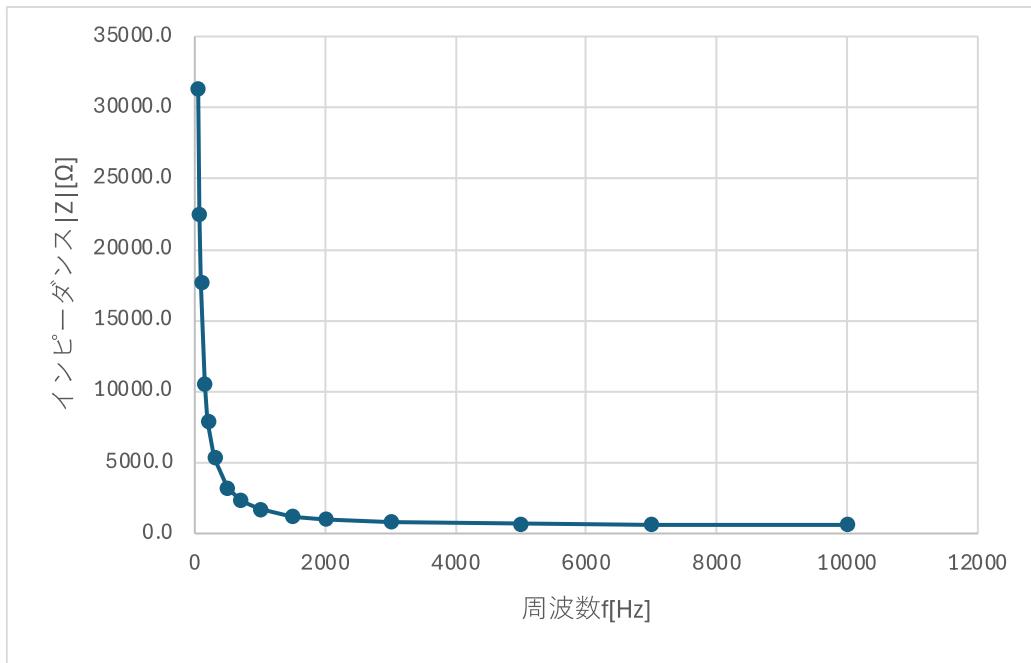


図 8 インピーダンスの周波数特性

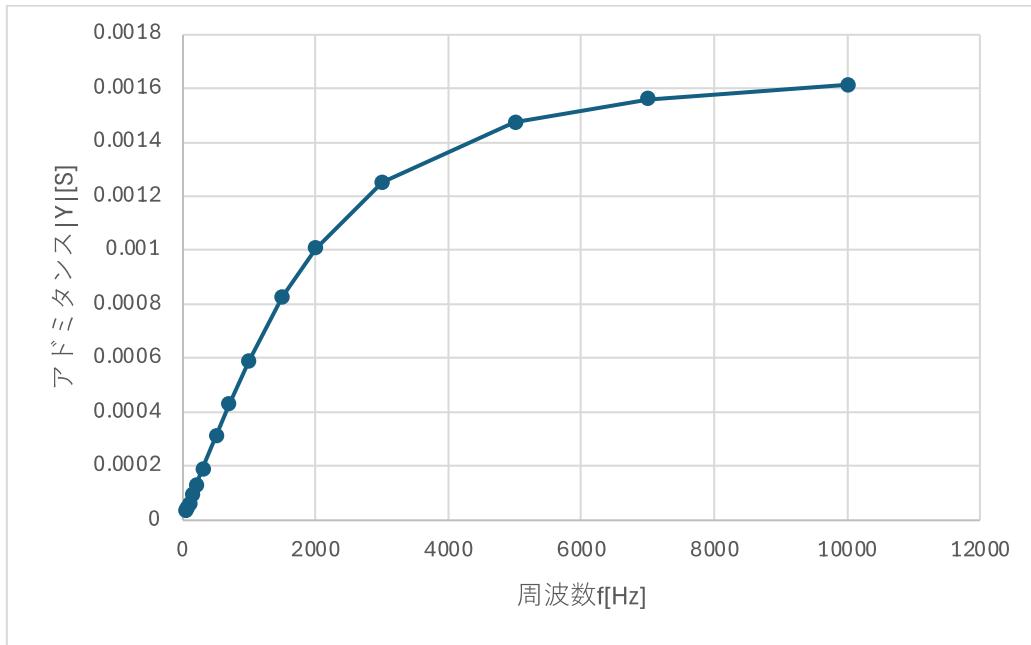


図 9 アドミタンスの周波数特性

6.3 周波数を変化させたときのインピーダンスとアドミタンスの極表示の軌跡のグラフをそれぞれ図 10, 11 に示す。

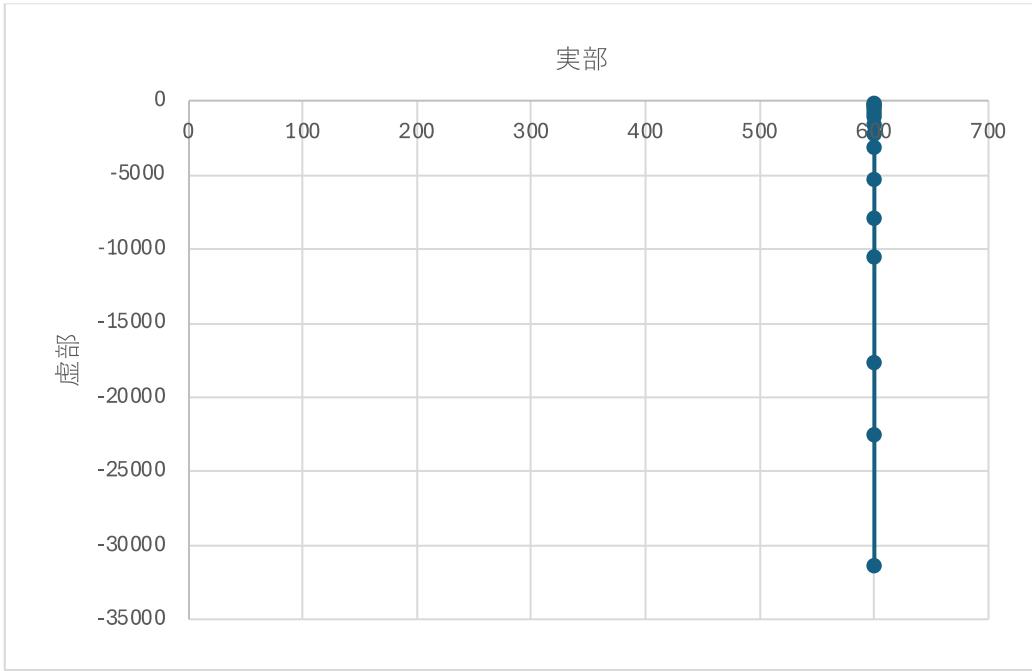


図 10 インピーダンスの極表示の軌跡

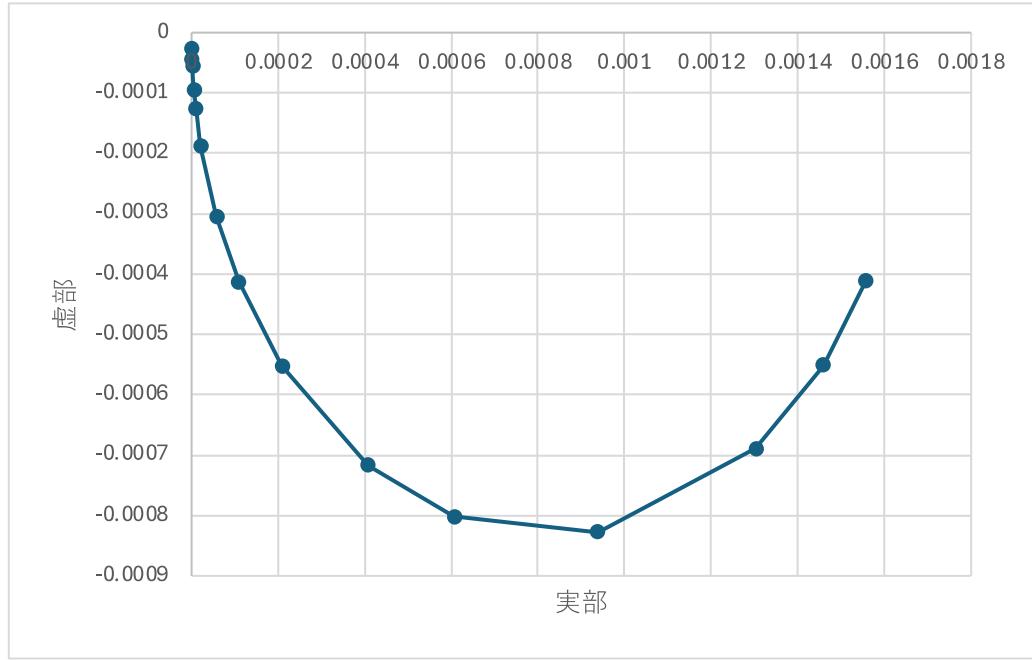


図 11 アドミタンスの極表示の軌跡

6.4 周波数を変化させたときのインピーダンスとアドミタンスの周波数特性のグラフの説明。

図 8 から、周波数が低い領域においてインピーダンスが非常に高く、周波数の上昇に伴って急激に減少する様子が確認された。この現象は、コンデンサのリアクタンスが周波数の逆数に比例して減少することに起因する。すなわち、低周波ではコンデンサが電流をほとんど通さず高いインピーダンスを示すが、高周波になるにつれて電流を通しやすくなり、インピーダンスが減少する。最終的には、インピーダンスは抵抗 R の値に近づいて飽和する傾向を示した。

図 9 から、周波数が上がるにつれてアドミタンスが増加し、ある周波数以降は飽和する傾向が見られた。アドミタンスはインピーダンスの逆数であるため、インピーダンスが小さくなるとアドミタンスは大きくなる。この結果は、RC 直列回路における理論的な振る舞いと一致しており、コンデンサの周波数依存性を正確に反映している。

6.5 周波数を変化させたときのインピーダンスとアドミタンスの極表示の軌跡の説明。

図 10 は、インピーダンスの実部を横軸、虚部を縦軸にとった複素平面上の軌跡を示している。周波数が低い領域では、コンデンサのリアクタンスが非常に大きいため、虚部が大きくマイナス方向に偏り、インピーダンスは主に虚数成分 (-j 方向) として表される。周波数が上昇するにつれて虚部の絶対値は小さくなり、インピーダンスは抵抗成分に近づくため、実軸方向へと移動する。この軌跡は、インピーダンスベクトルが虚軸下方から実軸方向へ接近する様子を表しており、典型的な RC 直列回路の振る舞いを反映している。

図 11 は、アドミタンスの実部および虚部を複素平面上にプロットしたものである。アドミタンスはインピーダンスの逆数であり、低周波領域では小さく、高周波になるにつれて増加する。軌跡は原点付近から始まり、実部および虚部がともに増加しながら曲線を描いて移動する。グラフの形状は右開きの曲線となっており、これは実部および虚部が周波数とともに増加しつつも、ある程度で飽和する性質を示している。

7. 課題

OSC の出力電圧 $\sqrt{V_R^2 + V_C^2}$ が一定とならない主な原因の一つに、発振器自身が内部インピーダンスを有していることが考えられる。理想的な電圧源であれば、負荷が変化しても常に一定の振幅で出力電圧を供給するが、実際の発振器には有限の内部抵抗や出力インピーダンスが存在する。今回の回路では、コンデンサ C と抵抗 R を直列に接続した RC 回路を負荷として発振器に接続しているが、この RC 回路のインピーダンスは周波数に依存して大きく変化する。特にコンデンサのリアクタンスは $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ の関係により、周波数の上昇とともに減少するため、RC 回路全体のインピーダンスも変動することになる。

このような負荷インピーダンスの変化により、OSC 内部のインピーダンスと分圧を起こす形となり、結果として OSC の出力電圧そのものが変化してしまう。すなわち、周波数を変化させることで負荷が変化し、それに応じて出力電圧 $\sqrt{V_R^2 + V_C^2}$ も一定とはならず変動する現象が起こると考えられる。

8. 感想

今回の実験では、RC 直列回路のインピーダンスやアドミタンスが、周波数によってどのように変化するのかを調べ、普段は教科書でしか見たことがないベクトル表示や複素数での表現が、実際のグラフや測定結果として目に見えたのがとてもおもしろかった。

参考文献

- [1] 西巻正朗, 森武昭, 荒井俊彦, 「電気回路の基礎」, 森北出版株式会社, pp.163-167, 2020 年 10 月 20 日発行。