

J4 情報システム実験実習 II 実験報告書

題目

交流電力と力率の測定

実施年月日 2025年 7月11日

提出年月日 2025年 7月18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

単相交流回路における各種負荷の電圧、電流と消費電力を測定し、交流回路の電圧、電流、電力および力率の概念を理解する。

2. 原理

2.1. 電流計形計器（単相電力計）の構造と働き

電力計、変圧器の構成がわかって良い

電流計形計器とは、固定コイルに流れる電流の磁界と、可動コイルに流れる電流との間に生じる力によって、可動コイルを駆動させる方式[6]を用いた計器のことである。今回はその中でも特に、単相電力を測定するためのものである。

電力計の構造を表した図を以下に示す。

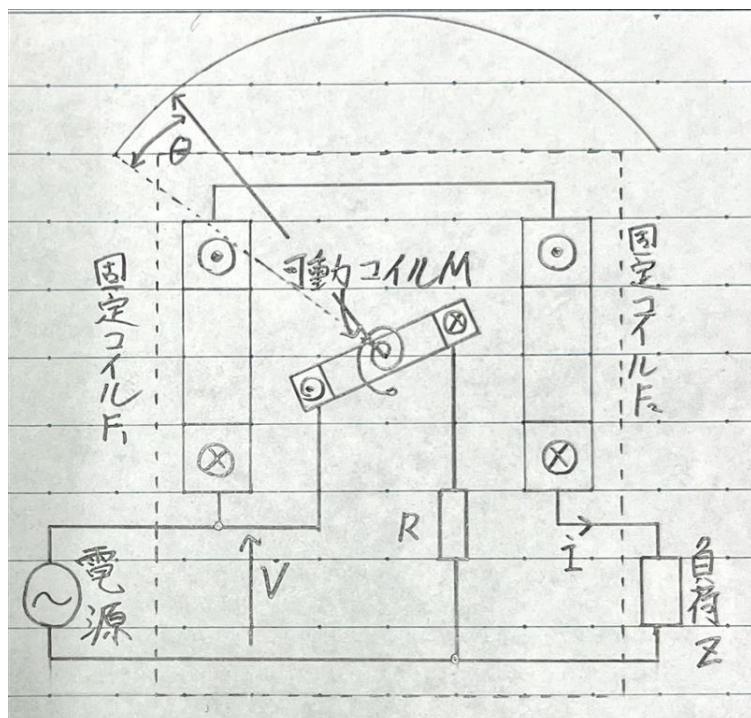


図1 電力計の構造[5]

電力は電圧と電流の積に比例するため、電力計では電圧と電流を同時に測定する必要がある。そのため固定コイルには電流を流し磁界を発生させる。そして、その磁界の中にある可動コイルに電圧に比例する電流を流す。それによって指針の振れ幅を電圧と電流の積に比例させることができる。位相のずれも、固定コイル、可動コイルによって発生する磁界の強さのずれとして現れるため、指針の振れ幅に影響している。

2.2. 単巻変圧器（スライダック）の構造と働き

単巻変圧器は交流の出力電圧を変換できるため、電圧調整に使われる。コンセントと電子機器の間に挿むことによって電圧を調整することができる。

単巻変圧器の構造を表した図を以下に示す。

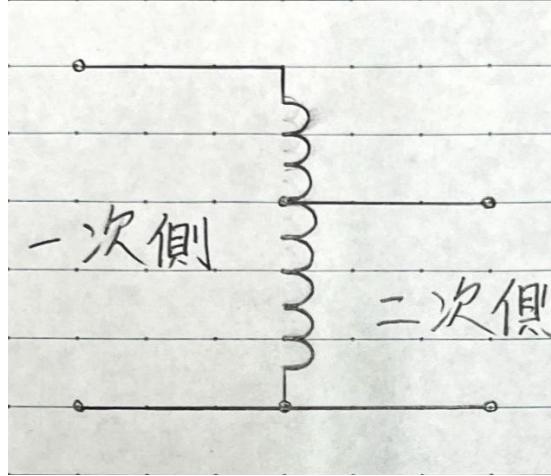


図 2 単巻変圧器の構造

単巻変圧器とは一次側の巻線と二次側の巻線の 1 部を共有している変圧器のことである。一次側と二次側で巻線を共有しているため、一次側と二次側が絶縁されていないが、その分巻線の量が少なくなり小型、軽量、低コストといった特徴がある。また、漏れ磁束が少なく電圧変動率が小さくなる。

2.3. 実効値の定義と計算方法[7]

瞬時値の 2 乗を 1 周期にわたって平均したものの平方根の値が実効値である。これは 1 つの抵抗に同じ値の直流を流したときに等しい電力の値となるような物理的意味をもっている。

次のような、正弦波交流の実効値 I を求めるとき以下のような式になる。

$$i = I_m \sin(\omega t + \theta) [A]$$

$$\begin{aligned}
 I &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2(\omega t + \theta) dt} \\
 &= \sqrt{\frac{I_m^2}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \{1 - \cos 2(\omega t + \theta)\} dt} \\
 &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2T} \left[t - \frac{1}{2\omega} \sin 2(\omega t + \theta) \right]_0^T} \\
 &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2T} \left\{ T - \frac{1}{2\omega} \sin 2(\omega T + \theta) - 0 + \frac{1}{2\omega} \sin 2\theta \right\}} \\
 &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2T} \left\{ T - \frac{1}{2\omega} \sin 2(4\pi + \theta) + \frac{1}{2\omega} \sin 2\theta \right\}} \\
 &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} \\
 &= \frac{I_m}{\sqrt{2}}
 \end{aligned}$$

2.4. インピーダンスの定義と計算方法[7]

回路全体の電圧 \dot{V} と電流 \dot{I} は、角周波数 ω と回路を構成する要素によって関係づけられる。そこで

$$\dot{V} = \dot{Z}\dot{I}$$

と表した時の、 \dot{Z} をインピーダンスという。

R-L 直列回路に、電流 $\dot{I} \angle \theta_I [A]$ が流れているとき、抵抗 R とインダクタンス L の各端子電圧は

$$\begin{aligned}\dot{V}_R &= R\dot{I} [V] \\ \dot{V}_L &= j\omega L\dot{I} [V]\end{aligned}$$

となる。そうすると、この回路全体の電圧は

$$\dot{V} = \dot{V}_R + \dot{V}_L = (R + j\omega L)\dot{I} [V]$$

となる。よって、上記の

$$\dot{V} = \dot{Z}\dot{I}$$

より

$$\dot{Z} = R + j\omega L [\Omega]$$

であることがわかる。

2.5. 交流電力の計算方法[7]

瞬時電圧 v 、瞬時電流 i が

$$\begin{aligned}i &= I_m \sin(\omega t + \theta_I) [A] \\ v &= V_m \sin(\omega t + \theta_V) [V]\end{aligned}$$

上記のような正弦波交流であるとすると、瞬時電力 p は

$$\begin{aligned}p &= iv \\ &= I_m V_m \sin(\omega t + \theta_I) \sin(\omega t + \theta_V) \\ &= \frac{1}{2} I_m V_m \{ \cos(\theta_I - \theta_V) - \cos(2\omega t + \theta_I + \theta_V) \}\end{aligned}$$

となる。

交流の瞬時電力 p の時間平均値 P を有効電力という。有効電力 P は

$$\begin{aligned}P &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt \\ &= \frac{1}{2} I_m V_m \cos(\theta_I - \theta_V)\end{aligned}$$

となる。ここで V_m 、 I_m は正弦波交流電圧、電流の最大値だから

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} [V], \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} [A]$$

の関係から実効値を用い、位相角については

$$\theta = \theta_I - \theta_V$$

とおくと、有効電力 P は

$$P = IV \cos \theta [W]$$

となる。一般に交流で、単に“電力”と呼ぶものは、この“有効電力”を示している。

3. 接続図

実験ごとに負荷の構成がどのようにになっているか
わかつて良い

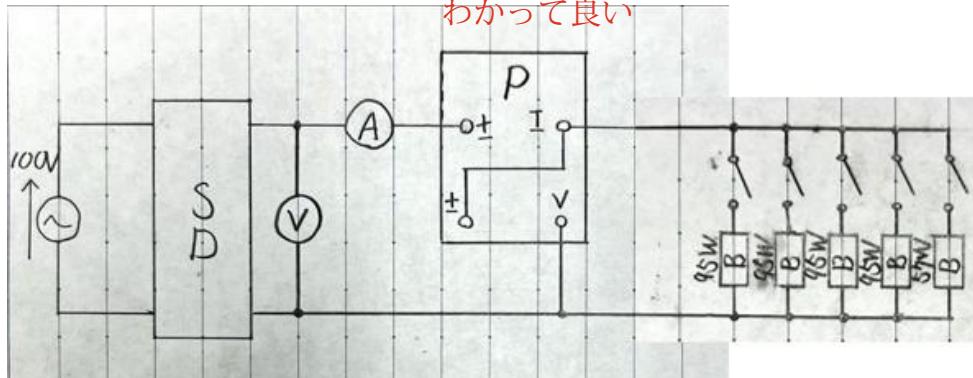


図3 単相交流の電圧, 電流, 電力の測定装置接続図 (抵抗負荷)

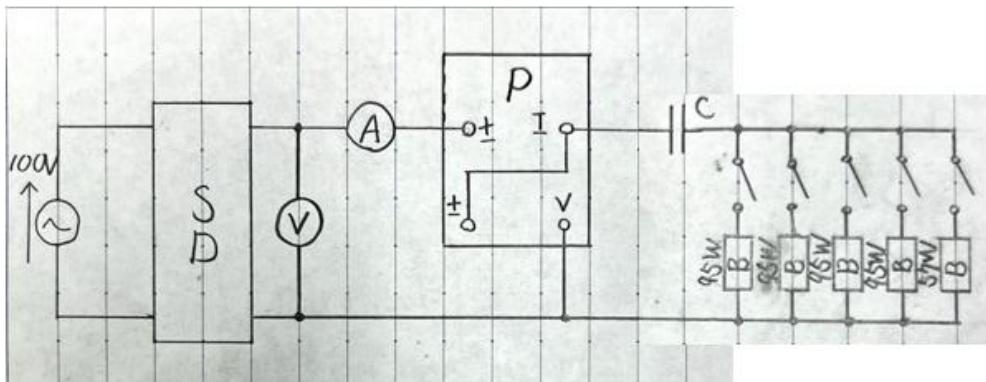


図4 単相交流の電圧, 電流, 電力の測定装置接続図 (容量性負荷)

4. 使用機器

- 単相電力計 : P

名称 : 携帯用電力計

メーカー : 横河計測株式会社

型番 : 2041

- 交流電圧計 : V

名称 : 携帯用可聴波電圧計

メーカー : 横河計測株式会社

型番 : 2017

- 交流電流計 : A

名称 : 携帯用交流電流計

メーカー : 横河計測株式会社

型番 : 2013

- スライダック : SD

名称 : 摺動式 (ボルトスライダー)

メーカー : 山菱電機株式会社

型番 : N-130-10

- 白熱電球 : B

メーカー : 東芝

60W 形 : 100V 57W

100W 形 : 100V 95W

- コンデンサ : C

メーカ : 指月電機製作所

容量 $10[\mu\text{F}] \pm 10\%$ 定格電圧 $250[\text{V}]$

5. 実験結果

5.1. 抵抗負荷 (Rのみ) の電流, 電力の測定結果と考察

テスターで $57[\text{W}]$ および $95[\text{W}]$ の電球の抵抗値を測定したが, 抵抗値はそれぞれ $12.4[\Omega]$, $7.4[\Omega]$ であった. しかし, 供給される電圧が $100[\text{V}]$ であることを考えるとそれぞれの理論抵抗 R_{57} と R_{95} は

$$\begin{aligned} R_{57} &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{V}{\frac{W}{V}} \\ &= \frac{V^2}{W} \\ &\approx 175[\Omega] \end{aligned}$$

同様に

$$R_{95} \approx 105[\Omega]$$

となる. 実測値と理論値に大きな乖離があるがこれは白熱電球のフィラメントに使用されているタングステンの抵抗温度係数 a_t が関係している. タングステンの抵抗温度係数 a_t はおよそ $0.0045[1/\text{°C}]$ (20°C) である. この抵抗温度係数 a_t を用いると温度 $T[\text{°C}]$ での抵抗 $R_T[\Omega]$ は

$$\begin{aligned} R_T &= R_t \{1 + a_t(T - t)\} \\ R_t[\Omega] &: t[\text{°C}] \text{ での抵抗} \end{aligned}$$

と求めることができる. これより, a_t が正のときは抵抗と温度に正の相関があることがわかる. そのため電球が消灯しており常温のときは抵抗値が小さいが, 点灯し温度が上昇すると抵抗値も大きくなり理論値に近づくと考えられる.

実験結果を以下に示す.

表 1 抵抗負荷の実験結果

95W電球[個]	57W電球[個]	V[V]	I[A]	P[W]	Z[Ω]	$\cos\phi$
4	1	100	4.42	434.0	22.6	0.982
3	1	100	3.47	346.5	28.8	0.999
2	1	100	2.53	248.0	39.5	0.980
1	1	100	1.56	154.5	64.1	0.990
1	0	100	0.98	96.50	102	0.985
0	1	100	0.57	56.50	175	0.991

ここでインピーダンス Z と力率 $\cos\phi$ は以下の式で計算した.

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$\cos\phi = \frac{P}{V \cdot I}$$

電球の理論抵抗を使用して計算した結果を以下に示す. なお, ここでは電球は理論抵抗(リアクタンス $X=0$)

として位相角 ϕ を

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

として求めた。

表 2 抵抗負荷の理論値

95W電球[個]	57W電球[個]	抵抗値R[Ω]	V[V]	I[A]	位相角 ϕ [°]	P[W]	$\cos \phi$
4	1	22.9	100	4.37	0	437.0	1.000
3	1	29.2	100	3.42	0	342.0	1.000
2	1	40.5	100	2.47	0	247.0	1.000
1	1	65.8	100	1.52	0	152.0	1.000
1	0	105	100	0.95	0	95.0	1.000
0	1	175	100	0.57	0	57.0	1.000

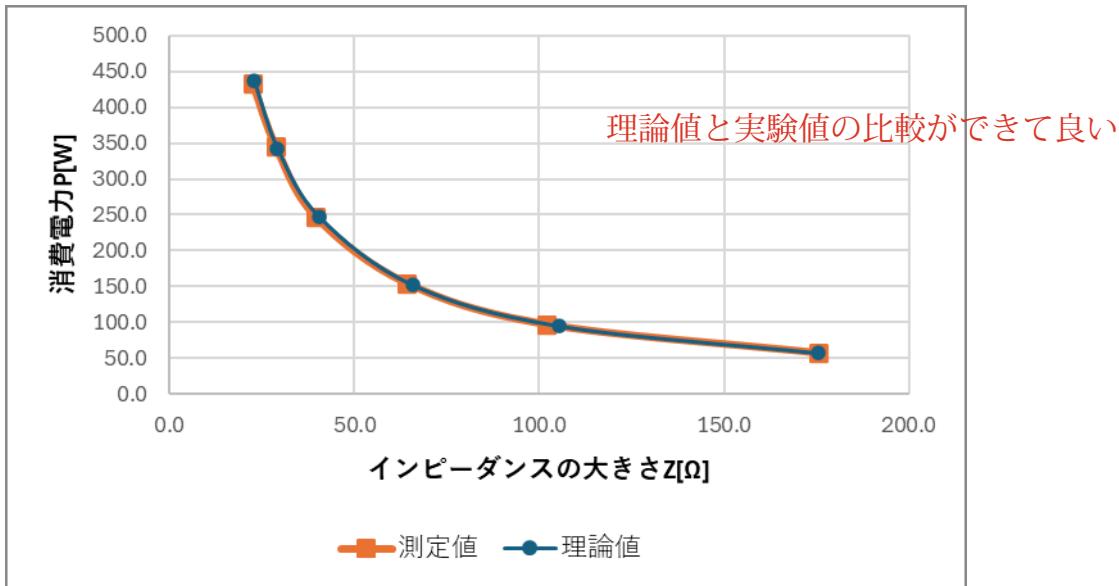


図 5 抵抗負荷の電力測定

この図を見ると、測定値と抵抗値がほぼ等しい値を示していることがわかる。よってこの実験の確からしさが確認できる。

5.2. 容量性負荷 (R-C 直列) の電流、電力の測定結果と考察

LC メータでコンデンサの静電容量と損失を測定した。それぞれ $20.89[\mu F]$ 、 0.005 であった。実験結果を以下に示す。

表 3 容量性負荷の実験結果

95W電球[個]	57W電球[個]	V[V]	I[A]	P[W]	Z[Ω]	R[Ω]	X[Ω]	$\cos \phi$
4	1	100	0.806	2.50	124	3.85	124	0.0310
3	1	100	0.802	4.10	125	6.37	125	0.0511
2	1	100	0.791	9.20	126	14.7	126	0.116
1	1	100	0.762	22.0	131	37.9	126	0.289
1	0	100	0.677	36.1	148	78.8	125	0.533
0	1	100	0.505	39.3	198	154	124	0.778

電球の理論抵抗、コンデンサの理論リアクタンスを使用して計算した結果を以下に示す。

表 4 容量性負荷の理論値

95W電球[個]	57W電球[個]	抵抗値 R[Ω]	リアクタンス値 X[Ω]	位相角 ϕ [°]	インピーダンス値 Z[Ω]	V[V]	I[A]	$\cos \phi$	P[W]
4	1	22.9	127	79.8	129	100	0.775	0.177	13.7
3	1	29.2	127	77.0	130	100	0.767	0.224	17.2
2	1	40.5	127	72.3	133	100	0.750	0.304	22.8
1	1	65.8	127	62.6	143	100	0.699	0.460	32.2
1	0	105	127	50.3	165	100	0.606	0.638	38.7
0	1	175	127	35.9	217	100	0.462	0.810	37.4

ここでそれぞれの値は以下の式で計算した。

$$X = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

$$I = \frac{V}{Z}$$

$P = VI \cos \varphi$ 理論値と実験値の比較ができる

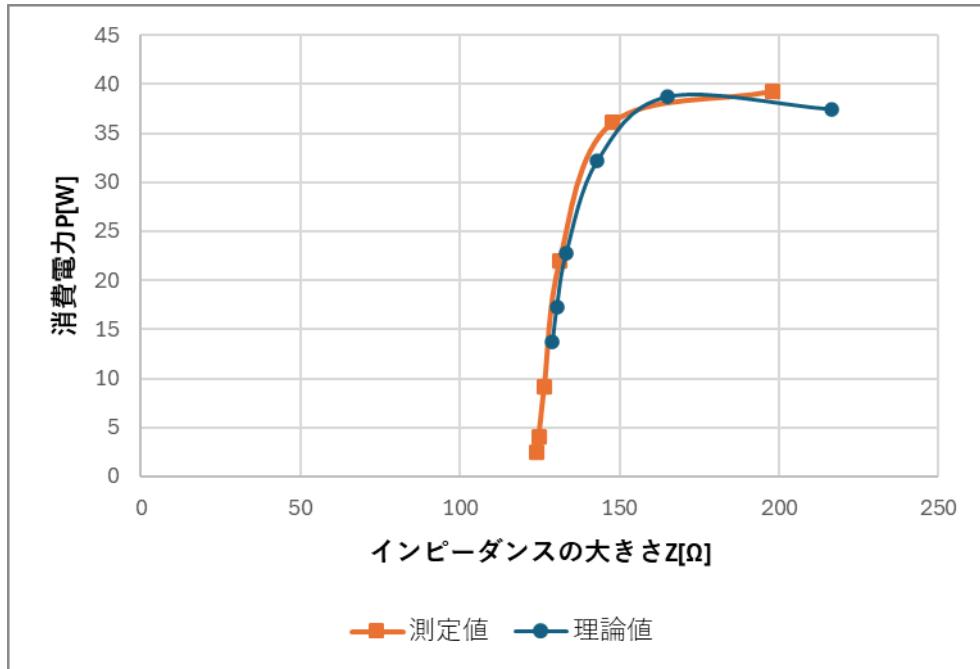


図 6 容量性負荷の電力測定

表 3 と表 4 の抵抗値 $R[\Omega]$ を比べると、電球の数が多い時には測定値の方が理論値に比べて大幅に小さくなっている。これには 5.1 の冒頭で触れている抵抗温度係数 a_t が関係していると考えられる。電球の数が多い時には電球は光っていなかった。白熱電球はフィラメントであるタングステンが高温になることによって発光している。つまり電球が光っていない時にはフィラメントは十分に高温になっていなかったと考えられる。5.1 で触れたようにタングステンは温度が上がると抵抗が大きくなるため、電球が光っていなかった時はタングステンの温度は低く、そのため抵抗も小さかったのではないかと考える。

6. 課題

抵抗負荷に電球を使用すると、スライダックで電圧を低下させてから電球のスイッチを入れなければならぬ理由は白熱電球のフィラメントに使用されているタングステンの抵抗温度係数 a_t にある。5.1.の冒頭で触れているが、抵抗温度係数 a_t がおよそ $0.0045[1/^\circ\text{C}]$ (20°C) と正の値であることからも明らかだが、タングステンの抵抗は温度が上昇するほど大きくなる。つまり、5.1.の電球の抵抗値の測定結果からもわかるように常温では抵抗は大きくなないのである。 $95[\text{W}]$ の電球の測定した抵抗値は $7.4[\Omega]$ であったが、もしこれにいきなり $100[\text{V}]$ の電圧をかけると $13.5[\text{A}]$ 程の非常に大きな電流が流れることになる。大きな電流が流れると、導線などに発生するジュール熱が大きくなるほか、人体にとっても危険である。そのため、電圧を徐々に上げていき、同時にタングステンの温度を上げ、抵抗を高くすることによって大きな電流が流れないようにしているのである。

7. 感想

温度によって抵抗値が変わることをこの実験で初めて知ったが、知っていないと危険な場合もあるため知ることができて良かった。このことを、実際に常温での白熱電球の抵抗値を測定した後で、ワット数と計算が合わないことを知らせるのはわかりやすくて覚えやすかった。

抵抗負荷の電流、電力の測定では抵抗負荷しか使用していないにも関わらず、力率が 1 ではなかったが配線などが疑似的にコンデンサやコイルのような働きをしている個所があったのだろうか。

実験書を総合工学科バージョンに更新した方がよいと思う。

8. 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

9. 参考文献

- [1] 「抵抗の温度特性について！抵抗温度係数ってなに？」, Electrical Information, <https://detail-infomation.com/temperature-coefficient-of-resistance/>, 2025 年 7 月 15 日参照.
- [2] 「キャノン：技術のご紹介 | サイエンスラボ 白熱灯と蛍光灯」, キャノン株式会社, https://global.canon/ja/technology/s_lab/light/002/02.html, 2025 年 7 月 15 日参照.
- [3] 「計測関連用語集 スライダック」, 横河レンタ・リース株式会社, <https://www.techeyesonline.com/glossary/detail/>, 2025 年 7 月 16 日参照.
- [4] 「【单巻変圧器とは？】複巻変圧器との違いや特徴について！」, Electrical Information, <https://detail-infomation.com/auto-transformer/>, 2025 年 7 月 16 日参照.
- [5] 「電力計の構造と主な測定値や演算結果」, アイメディア株式会社, <https://edn.itmedia.co.jp/edn/articles/2004/14/news002.html>, 2025 年 7 月 16 日参照.
- [6] 「電流力計形計器とは」, 株式会社メディア・ファイブ, <https://www.media5.co.jp/jyouhou/denki3/tango/0070.html>, 2025 年 7 月 16 日参照.
- [7] 西巻正郎, 森武昭, 荒井俊彦, 「電気回路の基礎」, 森北出版, 2023.