

第3学年 電気電子工学実験実習報告書

3 電力と力率

実験日 令和4年5月12日(木)
令和4年5月19日(木)

班	学生番号	氏名
3	3307	王 逸杰

共同実験者名

五十嵐航, 三觜舞夏, 鈴木未耶美

提出日			備考	評価
予定日	5/18	5/26		
提出日				

1 目的

本実験では

- 単相交流回路における電圧・電流・電力・力率を測定するための結線方法を学ぶ。
- 単相電力計と力率計の扱い方を習得する。
- 有効電力と力率、皮相電力と無効電力に関する理解を深める

ことを目的とする。

2 原理

2.1 瞬時電力

インピーダンス $\dot{Z} [\Omega]$ へ印加された時刻 $t [\text{s}]$ における交流電圧 $v(t) [\text{V}]$ と、 \dot{Z} に流れる交流電流 $i(t) [\text{A}]$ がそれぞれ次式で表されたとする。

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta_V) \quad (1)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_I) \quad (2)$$

ここで、 V_m 、 I_m は最大値、 $\omega [\text{rad/s}]$ は角周波数、 $\theta_V [\text{rad}]$ と $\theta_I [\text{rad}]$ はそれぞれの位相である。この $v(t)$ と $i(t)$ の積を瞬時電力 $p(t)$ と呼び、次式で表される。

$$\begin{aligned} p(t) &= v(t)i(t) \\ &= V_m I_m \sin(\omega t + \theta_V) \sin(\omega t + \theta_I) \\ &= \frac{V_m I_m}{2} (\cos(2\omega t + \theta_I + \theta_V) + \cos(\theta_I - \theta_V)) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 有効電力と力率

式 (3) は $v(t)$ や $i(t)$ の 2 倍の角速度を持つ周期関数であることが確認できる。そのため、時間的な平均を算出することができ、この値を有効電力 $P [\text{W}]$ と呼ぶ。

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_m I_m}{2} (\cos(2\omega t + \theta_I + \theta_V) + \cos(\theta_I - \theta_V)) dt \\ &= \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_I - \theta_V) \end{aligned} \quad (4)$$

この上式が得られたとき、交流回路における実効値表現に置き換えると

$$P = VI \cos \theta \quad (5)$$

を得ることができる。ここで、 V 、 I はそれぞれの実効値、 $\theta = \theta_I - \theta_V$ である。式 (5) の右辺は電圧と電流の実効値の積と、 $\cos \theta$ から構成されている。 θ は \dot{Z} の実部（抵抗）と虚部（リアクタンス）の比によって決定される値であり、

$$-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

であるので、

$$0 \leq \cos \theta \leq 1 \quad (7)$$

の不等式が成立する。

以上の関係から、インピーダンス \dot{Z} の端子電圧と流れる電流値の積とは必ずしも等しくなく、有効に消費される電力の比が $\cos \theta$ に相当することが分かる。この比として見なせる $\cos \theta$ を力率、 θ を力率角と呼ぶ。

2.3 無効電力と皮相電力

式 (3) において、インピーダンスがリアクタンス成分のみ ($\dot{Z} = jX$) の場合について考える。この時、電圧と電流の位相差 $\theta_I - \theta_V$ は $\pm\pi/2$ となり、括弧内の第二項の値は 0 となる。従って、瞬時電力 $p(t)$ の振る舞いは平均値が 0 の正弦波（あるいは余弦波）になることが分かる。これは、電源から負荷へ、負荷から電源へ電力供給が交互に行われていることを示し、電力として消費されず仕事をしない。この電力を無効電力 Q とよび、単位には var（バール）を用い、次式で計算される。

$$Q = VI \sin \theta \quad (8)$$

電圧の実効値と電流の実効値の積 VI は、インピーダンス \dot{Z} が純抵抗（リアクタンス $X = 0$ ）の場合にのみ有効電力と等しくなり、それ以外の場合では $VI > P$ となる。この、見かけ上の電力を皮相電力 S とよび、単位には VA（ボルトアンペア）を用いる。また、皮相電力と有効電力、無効電力には次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} S &= VI \\ &= \sqrt{P^2 + Q^2} \end{aligned} \quad (9)$$

2.4 前試問

電力の定義は、図 1 のようになる [1], [2]。

3 方法

3.1 使用器具

表 1: 実験器具

装置名	製造会社	型番	定格	製造番号
電力計	YOKOGAWA	YEW2041	120/240V	不明
低力率電力計	YOKOGAWA	B-3041	120/240V	不明
電圧計	YOKOGAWA	B-6052	150V	不明
電流計	YOKOGAWA	B-2044	5A	OG0575
力率計	YOKOGAWA	YEW2039	不明	不明
スライダック	Toshiba	B-5031	不明	不明
総合負荷装置	yamabushi	UL-100-30	100V30A	01-0091

前試問

瞬時電力：任意の瞬時の電圧や電流から求める電力

$$v(t) = V_m \sin \omega t \text{ [V]} \dots ①$$

$$i(t) = I_m \sin \omega t \text{ [A]} \dots ②$$

①は電圧の瞬時値、②は電流の瞬時値なので

①と②をかけて電力の瞬時値 $p(t)$ は、

$$p(t) = v(t) \times i(t) = V_m \sin \omega t \times I_m \sin \omega t = V_m I_m \sin^2 \omega t$$

$$\therefore P(t) = V_m I_m \sin^2 \omega t \dots ③$$

$\therefore \sin^2$ は三角関数の公式を使用すると

$$\therefore P(t) = \frac{V_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) \text{ [W]}$$

有効電力：負荷が消費する電力

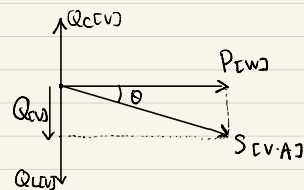
$$P = V_R I = I^2 R = \frac{V_R^2}{R}$$

無効電力：負荷が消費しない電力

$$Q_L = V_L I = I^2 X_L = \frac{V_L^2}{X_L}$$

$$Q_C = V_C I = I^2 X_C = \frac{V_C^2}{X_C}$$

皮相電力：電源から送り出される電力



$$P = S \cos \theta = EI \cos \theta$$

$$Q = S \sin \theta = EI \sin \theta$$

$$S = VI \text{ [VA]}$$

力率：皮相電力に対する有効電力の割合

$$\cos \theta = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

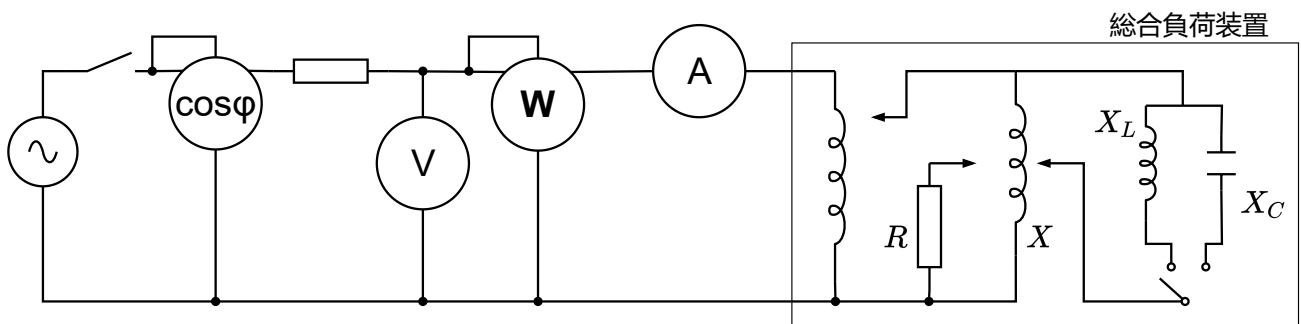


図 2: 測定用の回路図

3.2 実験手順

1. 実験器具の準備し、図2の通りに回路を組み立てる。
2. スイッチを切って電流が流れないようにする。
3. スライダックのつまみを0にして電圧がかからないようにする。
4. 総合負荷装置を X_L 側にする。
5. 力率を1.0に調節する。
6. スライダックのつまみを回して100[V]になるように調節する。
7. 電流計が5Aになるようになるように調節する。
8. この時の力率を計測する。
9. 同様に1～5Aまで1A刻みで、各値を計測する。
10. 測定後に力率を0.8,0.6,0.4,0.2に調節して計測する。
11. 総合負荷装置を X_C に調節する。
12. スライダック、電流、電圧をすべて0にする。
13. 5～10番を同じ操作をする。

4 結果

表 2: R_L 設定力率=1.0 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 1.0					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	115.0	102.5	1	0.95	1.12	102.5
2	207.5	102.0	2	1	1.02	204.0
3	305.0	102.0	3	1	1.00	306.0
4	402.5	100.5	4	1	1.00	402.0
5	510.0	100.0	5	1	1.02	500.0

表 3: 設定力率=0.8 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.8					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	115.0	101.0	1	0.855	1.13	101.0
2	165.0	101.0	2	0.84	0.82	202.0
3	242.5	101.0	3	0.83	0.80	303.0
4	317.5	100.5	4	0.825	0.79	402.0
5	397.5	100.0	5	0.825	0.80	500.0

表 4: 設定力率=0.6 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.6					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	72.5	100.5	1	0.73	0.72	100.5
2	127.5	100.5	2	0.70	0.63	201.0
3	185.0	100.5	3	0.68	0.61	301.5
4	240.0	100.5	4	0.66	0.60	402.0
5	300.0	100.5	5	0.66	0.60	502.5

表 5: 設定力率=0.4 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.4					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	57.5	101.0	1	0.62	0.57	101.0
2	97.5	101.0	2	0.56	0.48	202.0
3	137.5	100.5	3	0.54	0.46	301.5
4	177.5	100.5	4	0.52	0.44	402.0
5	215.0	100.5	5	0.50	0.43	502.5

表 6: 設定力率=0.2 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.2					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	40.0	100.5	1	0.480	0.40	100.5
2	57.5	99.5	2	0.380	0.29	199.0
3	80.0	99.5	3	0.345	0.27	298.5
4	100.0	100.0	4	0.340	0.25	400.0
5	117.5	99.5	5	0.340	0.24	497.5

表 7: R_C 回路の設定力率=1.0 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 1.0					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	112.5	102.0	1	1	1.10	102.0
2	205.0	101.5	2	1	1.01	203.0
3	307.5	100.5	3	1	1.02	301.5
4	402.5	100.5	4	1	1.00	402.0
5	502.5	100.0	5	1	1.01	500.0

表 8: R_C 回路の設定力率=0.8 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.8					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	100.0	101.0	1	0.88	0.99	101
2	177.5	101.0	2	0.84	0.88	202
3	262.5	100.5	3	0.82	0.87	301.5
4	392.5	100.0	4	0.81	0.98	400
5	422.5	99.5	5	0.8	0.85	497.5

表 9: R_C 回路の設定力率=0.6 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.6					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	57.5	100.5	1	0.74	0.57	100.5
2	142.5	100.0	2	0.62	0.71	200.0
3	207.5	100.0	3	0.62	0.69	300.0
4	272.5	100.0	4	0.62	0.68	400.0
5	335.0	100.0	5	0.6	0.67	500.0

表 10: R_C 回路の設定力率=0.4 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.4					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_0 [VA]
1	70.0	101.0	1	0.69	0.69	101.0
2	112.5	100.5	2	0.48	0.56	201.0
3	155.0	100.5	3	0.44	0.51	301.5
4	202.5	100.5	4	0.43	0.50	402.0
5	247.5	100.0	5	0.42	0.50	500.0

表 11: R_C 回路の設定力率=0.2 の場合の実験結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.2					
	電力	電圧	電流	力率 $\cos \theta$		皮相電力
	P_a [W]	V [V]	I [A]	測定値	計算値	P_a [VA]
1	45.0	100.5	1	0.42	0.45	100.5
2	65.0	100.0	2	0.28	0.33	200.0
3	87.5	100.0	3	0.24	0.29	300.0
4	112.5	101.0	4	0.22	0.28	404.0
5	137.5	100.0	5	0.20	0.28	500.0

5 考察

5.1 電流電力グラフの作成

図 3 は RL 回路の電流電力の関係を示したグラフである。図 4 は RC 回路の電流電力の関係を示したグラフである。図 3, 図 4 より電流電力の関係は比例をしていることがわかる。

5.2 力率電力グラフの作成

図 5 は RL 回路の力率電力の関係を示したグラフである。図 6 は RC 回路の力率電力の関係を示したグラフである。図 5, 図 6 より力率電力の関係も比例していることがわかる。

5.3 電力と電圧, 電流, 力率の関係を述べよ

電力と電圧, 電流, 力率の関係を示す式は

$$P = VI \cos \theta$$

である。図 1, 図 3, 図 4, 図 5 より電力 P は電流 I 、電圧 V 、力率 $\cos \theta$ は比例していることがわかる。

5.3.1 電力と電流の関係

表 12 より図 3 と図 4 のふたつのグラフの傾きはほとんど同じであることがわかる。

$$P = VI \cos \theta$$

より電力を求めることができる。電流の値が大きくなれば、電力の値も大きくなるため比例していると言える。

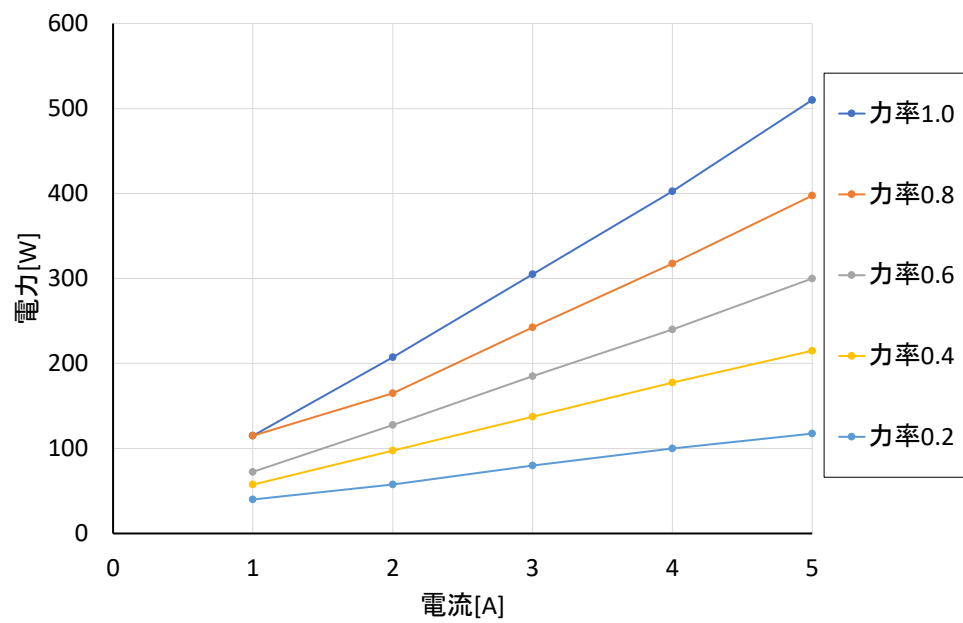


図 3: RL 回路の各力率における電力と電流の関係

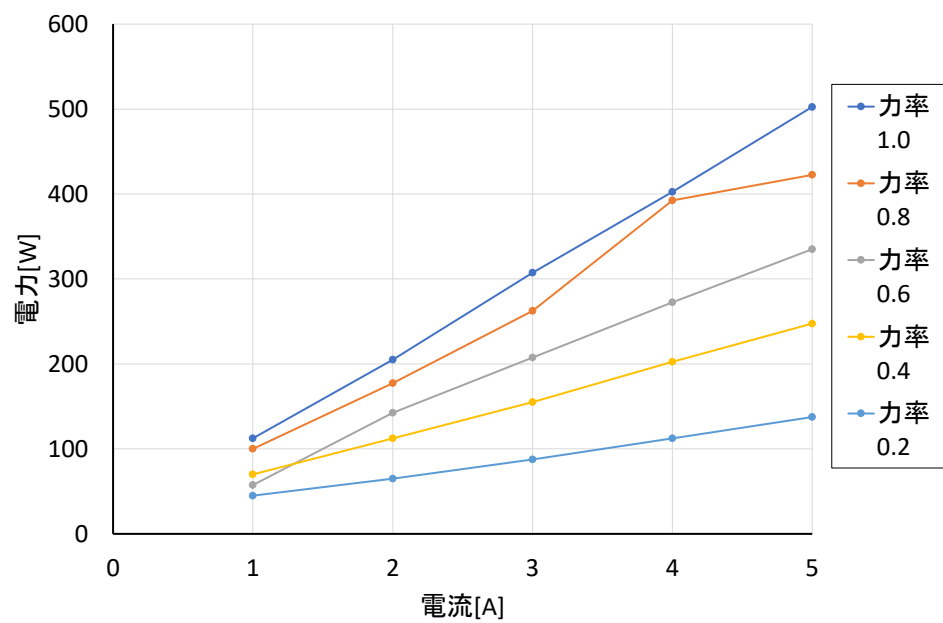


図 4: RC 回路の各力率における電力と電流の関係

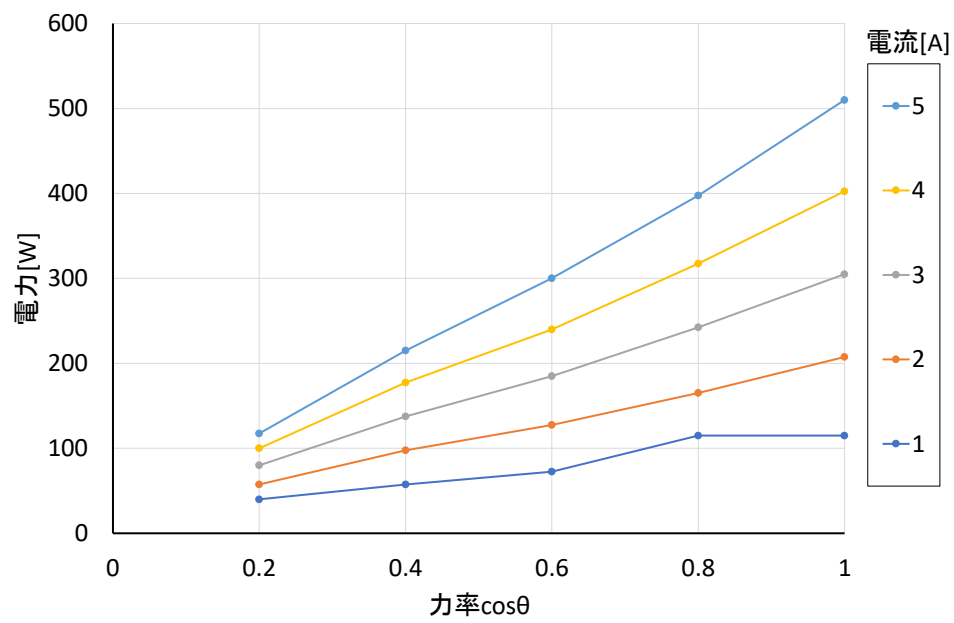


図 5: RL 回路の各電流における電力と力率の関係

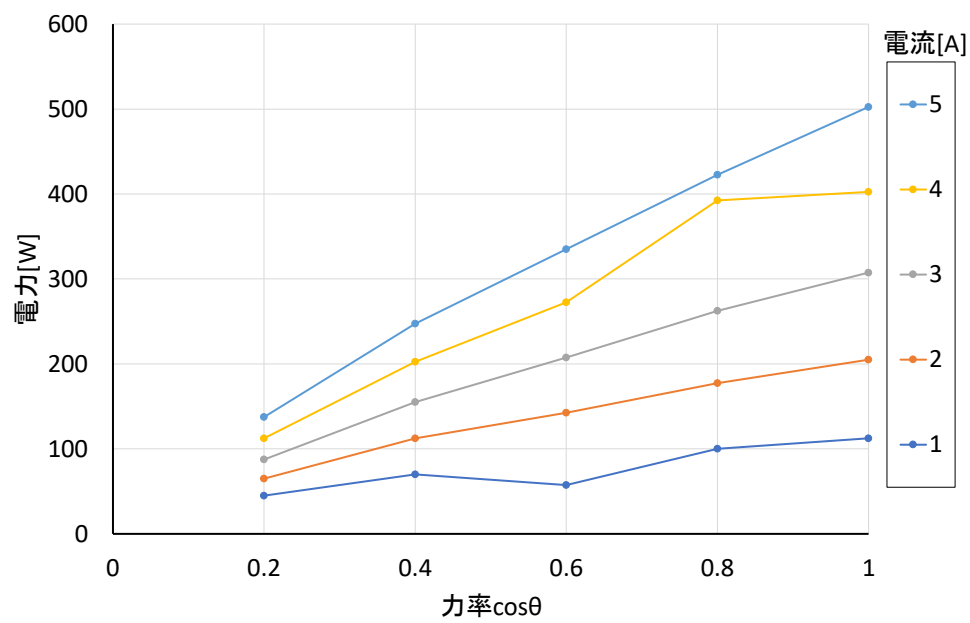


図 6: RC 回路の各電流における電力と力率の関係

表 12: 各力率の時の傾き

力率	傾き	
	R_L	R_C
1.0	98.5	97.8
0.8	71.8	86.0
0.6	56.8	68.5
0.4	39.5	44.5
0.2	19.8	23.3

5.3.2 電力と力率の関係

図 5 と図 6 よりふたつのグラフの傾きはほとんどおなじであることがわかる。

$$A = V \cos \theta \quad (10)$$

この式より比例定数を求めることができる。この時定数は電圧 V と力率 $\cos \theta$ の積と考えることができる。

5.3.3 電力と電圧の関係

対照実験をしていないため、電圧の変化によって電力の変化を確認することができなかった。

$$P = VI$$

この式より電力を求めることができるので、電圧の値が大きくなれば、電力の値も大きくなるので比例していると言える。

傾きの検証

表 13: 各力率の時の傾き (検証用)

力率	傾き	
	R_L	R_C
1.0	100	100
0.8	80	80
0.6	60	60
0.4	40	40
0.2	20	20

(11) の式に $V=100[V]$ と力率を代入することで、表 13 が得られる。これにより表 12 の値が正しいのかを確認することができる。

5.4 普通電力計による測定結果と低力率電力計による計測結果

普通電力計による測定結果と低力率電力計による計測結果の比較をするために相対誤差率を使う。

$$B = \left| \frac{\text{測定値} - \text{真の値}}{\text{真の値}} \right| \times 100 \quad (11)$$

(11) は相対誤差率を求めたときに使用した式である。

表 14: R_L 回路の低力率電力計の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.2					
	電力 Pa[W]	電圧 V[V]	電流 I[A]	力率 $\cos \theta$		皮相電力 P0[VA]
				測定値	計算値	
1	36	100.5	1	0.45	0.36	100.5
2	57	100.5	2	0.34	0.28	201.0
3	80	100.0	3	0.32	0.27	300.0
4	101	100.0	4	0.30	0.25	400.0
5	119	100.0	5	0.30	0.24	500.0

表 15: R_C 回路の低力率電力計の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.2					
	電力 Pa[W]	電圧 V[V]	電流 I[A]	力率 $\cos \theta$		皮相電力 P0[VA]
				測定値	計算値	
1	39	100.5	1	0.4	0.39	100.5
2	64	100.5	2	0.3	0.32	200.0
3	88	100.0	3	0.28	0.29	300.0
4	114	100.0	4	0.25	0.29	400.0
5	132	100.0	5	0.25	0.26	500.0

表 16: 普通電力計の RL 回路

力率 0.2	
電流 [A]	誤差率 [%]
1	20.60
2	31.51
3	28.73
4	36.00
5	43.96

表 17: 低力率電力計の RL 回路

力率 0.2	
電流 [A]	誤差率 [%]
1	25.63
2	19.89
3	20.00
4	18.81
5	26.05

表 18: 普通電力計の RC 回路

力率 0.2	
電流 [A]	誤差率 [%]
1	6.20
2	13.85
3	17.71
4	21.00
5	27.27

表 19: 低力率電力計の RC 回路

力率 0.2	
電流 [A]	誤差率 [%]
1	3.08
2	6.25
3	4.55
4	12.28
5	5.30

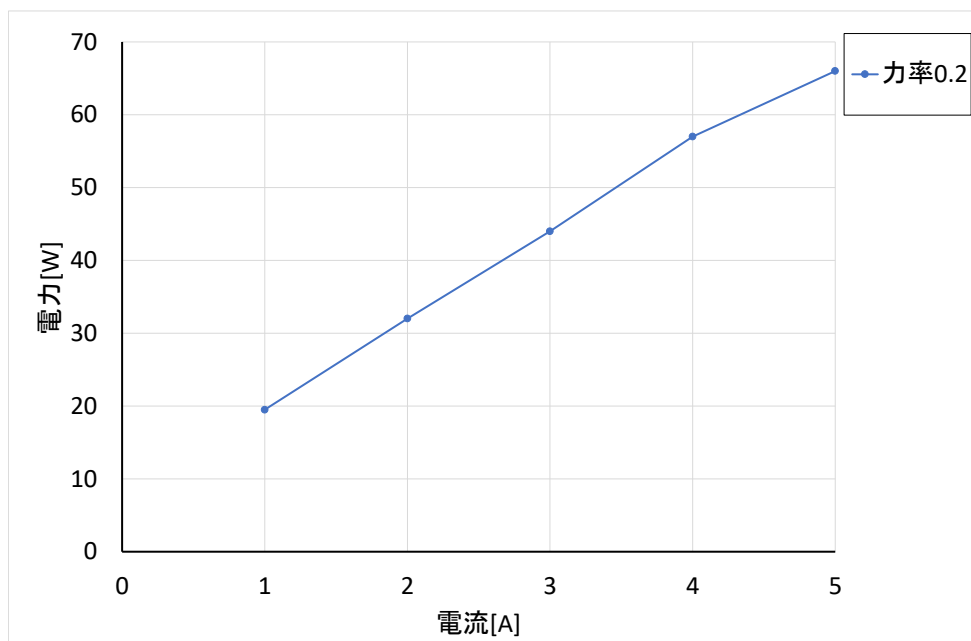


図 7: 低力率電力計の RL 回路の電流電力

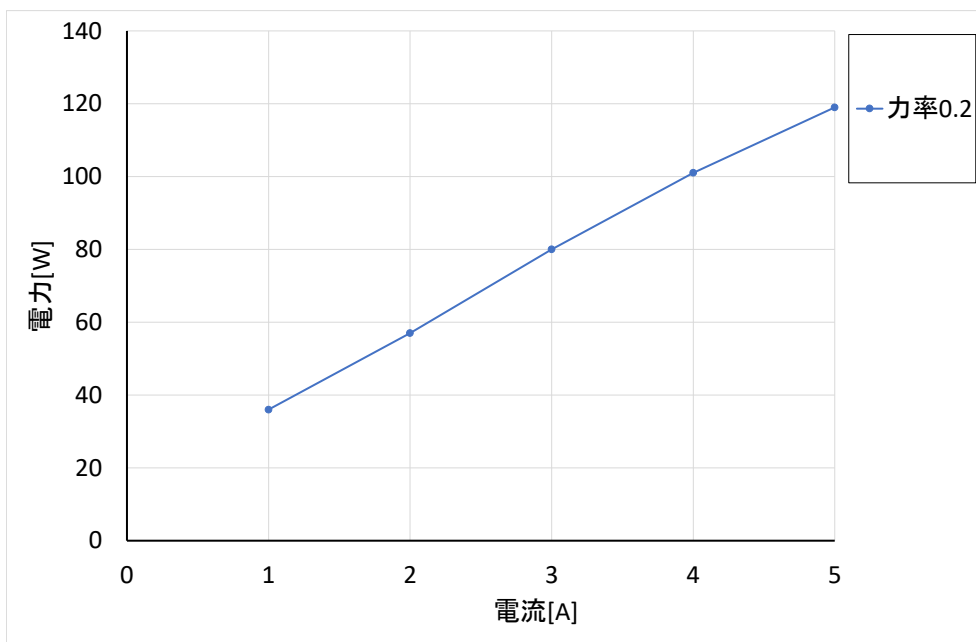


図 8: 低力率電力計の RC 回路の電流電力

図 7 は RL 回路の低力率計のグラフを示したものである。図 8 は RC 回路の低力率計のグラフを示したものである。 R_L 回路を比べた時に誤差率は普通の電力計の方が高いことがわかる。 R_C 回路を比べた時に誤差率は普通の電力計の方が 2 倍近く大きいことがわかる。そのため、低力率計は誤差が小さい状態で値を求めることができる。

5.5 グループ考察

なぜ力率の誤差が生まれるのか？

測定機器によって一部の電力が消費されるため、誤差が生じる。そのため、機器による消費電力が大きければ、誤差は大きくなる。それに対して機器による消費電力が小さければ、誤差も小さくなると考える。消費電力の少ない機器を使用することで誤差を小さく抑えることができる。

5.6 独自考察

力率の考察

RL 回路の時、電圧に比べて電流の位相は遅れ位相になる。RC 回路の時、電圧に比べて電流の位相は進み位相になる。実験の結果と比べてみたところ特性は一致した。

5.7 疑問点

特になし。

6 結論

単相交流回路における電圧, 電流, 電力, 力率の測定するための結線方法を完璧ではないが, 理解することができた。単相電力計と力率計の扱い方を理解できた。有効電力と力率, 皮相電力と無効電力の関係を完璧ではないが, 理解することができた。

参考文献

- [1] 小関修, 光本真一, “基礎電気回路ノート”, 電気書院, 2022 年 2 月 7 日
- [2] “電気の資格とお勉強”, 佐藤共史、<https://eleking.net/study/s-accircuit/>、2012 年