

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6月2日(木)
令和4年6月9日(木)

班	学生番号	氏名
2	3322	高橋広旭

共同実験者名

共同実験者名

3306 上野航暉 3331 三瓶祐太 3335 吉岡大地

提出日			備考	評価
予定日	6/16			
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 Z [Ω] へ印加された時刻 t [s] における交流電圧 $v(t)$ [V] と、 Z に流れる交流電流 $i(t)$ [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、 ω [rad/s] は角周波数、 θ_V [rad] と θ_I [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 [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 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 事前課題

a 瞬時電力

瞬時電流と瞬時電圧の積で式 (10) と表される [1]。

$$\begin{aligned} p(t) &= e(t) \times i(t) \\ &= I^2 |Z| \sin \omega t \times \sin(\omega t + \angle Z) \\ &= 2I^2 |Z| \frac{1}{2} (\cos(\angle Z) - \cos(2\omega t + \angle Z)) \\ &= I^2 |Z| (\cos \angle Z - \cos(2\omega t - \angle Z)) [\text{W}] \end{aligned} \quad (10)$$

b 有効電力

実際に働いた電力で式 (11) と表される [2]。

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T I^2 |Z| (\cos \angle Z - \cos(2\omega t - \angle Z)) dt \\ &= I^2 |Z| \cos \angle Z [\text{W}] \end{aligned} \quad (11)$$

c 皮相電力

電源から送り出される電力で式 (12) と表される [2]。

$$\begin{aligned}
 S &= EI \\
 &= |Z||I|^2 \angle Z \\
 &= (|Z| \angle |Z|) I^2 \\
 &= I^2 |Z| \cos \angle Z + j I^2 |Z| \sin \angle Z [\text{VA}]
 \end{aligned} \tag{12}$$

d 無効電力

負荷と電源間を往復するだけで消費されない電力で式 (13) と表される [2]。

$$Q = VI \sin \theta [\text{var}] \tag{13}$$

e 力率

有効電力と皮相電力の比率で式 (14) と表される [2]。

$$\cos \theta = \frac{P}{S} [-] \tag{14}$$

3 方法

3.1 使用器具

電力計を用いた実験で使用した器具を表 1 に、低力率用電力計を用いた実験で使用した器具を表 2 示す。

表 1: 電力計を用いた実験の使用器具

装置名	製造会社	型番	定格	製造番号
電力計	横河計測株式会社	2041	レンジ：120 V, 5 A	B-5038.H1.2/2
電圧計	横河計測株式会社	2013	レンジ：150 V	B-6052.43.2/6
電流計	横河計測株式会社	2013	レンジ：5 A	B-3040.45.4/10
力率計	横河計測株式会社	2039	レンジ：5 A	B-2054.49.1/1
総合負荷装置	山菱電機株式会社	U7-0018	100 V, 30 A	B-3067.46.1/2
スライダック	松永製作所	SD-1310	130 V, 10A	B-2075.48.3/10

表 2: 低力率用電力計を用いた実験の使用器具

装置名	製造会社	型番	定格	製造番号
低力率用電力計	横河計測株式会社	2041	レンジ：120 V, 5 A	B-5038.47.1/2
電圧計	横河計測株式会社	2013	レンジ：150 V	B-3039.43.5/10
電流計	横河計測株式会社	2053	レンジ：5 A	B-2044.45.1/2
力率計	横河計測株式会社	2039	レンジ：5 A	-
総合負荷装置	山菱電機株式会社	U7-0018	100 V, 30 A	B-3067.46.1/2
スライダック	松永製作所	SD-1310	130 V, 10A	B-2075.48.3/10

3.2 実験手順

- 1 図1の回路を作成した。
- 2 総合負荷装置をリアクタンスをLに設定する。
- 3 力率を1にする。
- 4 スライダックを100 Vに設定する。
- 5 電流計の値が5 Aになるように調整し、5 A から1 A まで1 A 刻みで電圧、電流、電力、力率を計測した。
- 6 力率を0.8、0.6、0.4、0.2に変え、同様に電圧、電流、電力、力率を計測した。
- 7 総合負荷装置をリアクタンスをCに設定し、Lの時と同様にして電圧、電流、電力、力率を計測した。
- 8 電力計を低電力用のものに交換し、力率0.2をに、リアクタンスをLに設定する。
- 9 電流計の値が5 Aになるように調整し、5 A から1 A まで1 A 刻みで電圧、電流、電力、力率を計測した。
- 10 リアクタンスをCに設定し、Lの時と同様にして電圧、電流、電力、力率を計測した。

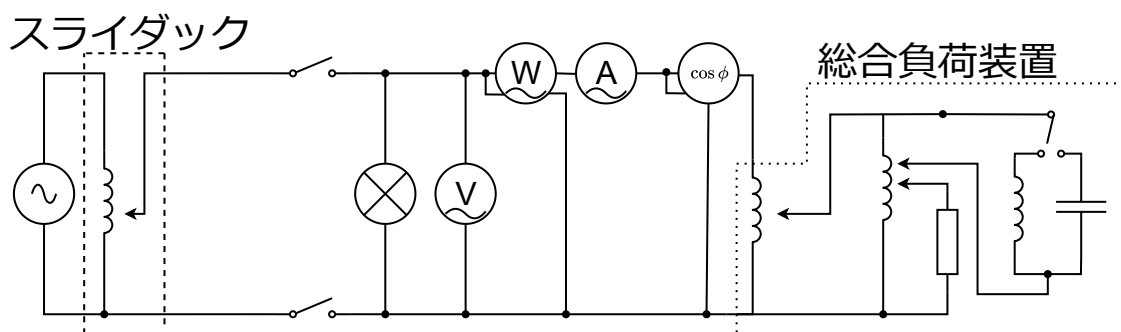


図 1: 測定回路図

4 結果

4.1 RL 負荷の電力測定結果

リアクタンスがLで力率が1.0の時の測定結果を表3に、力率が0.8の時の測定結果を表4に、力率が0.6の時の測定結果を表5に、力率が0.4の時の測定結果を表6に、力率が0.2の時の測定結果を表7に示す。皮相電力は、式(9)を用いた。力率の計算値は、式(5)より、 $\cos \theta = \frac{P}{VI}$ を用いた。

表 3: リアクタンス L、力率 1.0 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=1.0					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	110.0	102.0	1.00	0.991	1.078	102
2	200.0	101.0	2.00	0.995	0.990	202
3	296.0	100.0	2.95	0.995	1.003	295
4	400.0	100.0	4.05	0.995	0.988	405
5	494.5	100.0	5.00	0.995	0.989	500

表 4: リアクタンス L、力率 0.8 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.8					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	84.0	102.0	1.00	0.800	0.824	102
2	160.0	101.0	1.95	0.800	0.812	197
3	230.0	101.0	2.95	0.799	0.772	298
4	312.5	101.0	4.00	0.795	0.774	404
5	380.0	100.0	4.85	0.795	0.784	485

表 5: リアクタンス L、力率 0.6 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.6					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	70.0	101.0	0.99	0.680	0.700	100
2	130.0	101.0	2.05	0.650	0.628	207
3	189.5	101.0	3.02	0.630	0.621	305
4	245.0	100.0	3.95	0.630	0.620	395
5	310.0	100.0	5.00	0.620	0.620	500

表 6: リアクタンス L、力率 0.4 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.4					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	56.5	103.0	1.00	0.510	0.549	103
2	95.0	103.0	2.00	0.480	0.461	206
3	135.0	102.0	3.07	0.460	0.431	313
4	177.5	102.0	4.00	0.460	0.435	408
5	212.5	102.0	4.94	0.450	0.422	504

表 7: リアクタンス L、力率 0.2 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.2					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	40.0	103.0	1.00	0.380	0.388	103
2	62.5	103.0	1.99	0.320	0.305	205
3	85.0	103.0	3.00	0.300	0.275	309
4	110.0	102.0	4.00	0.290	0.270	408
5	122.5	102.0	4.95	0.280	0.243	505

4.2 RC 負荷の電力測定結果

リアクタンスが C で力率が 1.0 の時の測定結果を表 8 に、力率が 0.8 の時の測定結果を表 9 に、力率が 0.6 の時の測定結果を表 10 に、力率が 0.4 の時の測定結果を表 11 に、力率が 0.2 の時の測定結果を表 12 に示す。皮相電力は、式 (9) を用いた。力率の計算値は、式 (5) より、 $\cos \theta = \frac{P_a}{P_0}$ を用いた。

表 8: リアクタンス C、力率 1.0 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=1.0					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	105.0	102.0	1.00	0.992	1.029	102
2	197.5	101.0	1.99	0.980	0.983	201
3	290	100.0	2.99	0.995	0.970	299
4	397.5	100.0	4.05	0.995	0.981	405
5	535.0	100.0	4.95	0.995	1.081	495

表 9: リアクタンス C、力率 0.8 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.8					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	95.0	102.0	1.01	0.890	0.922	103
2	171.0	101.0	2.00	0.840	0.847	202
3	250.0	100.0	2.93	0.83	0.853	293
4	332.5	100.0	4.05	0.82	0.821	405
5	410.0	100.0	4.59	0.820	0.893	459

表 10: リアクタンス C、力率 0.6 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.6					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	82.5	102.0	1.00	0.760	0.809	102
2	145.0	102.0	2.00	0.660	0.711	204
3	202.5	101.0	2.95	0.640	0.680	298
4	270.0	100.0	4.05	0.625	0.667	405
5	332.5	100.0	5.00	0.620	0.665	500

表 11: リアクタンス C、力率 0.4 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.4					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	65.0	102.0	1.05	0.620	0.607	107
2	107.5	101.5	2.00	0.530	0.530	203
3	152.5	101.0	3.10	0.565	0.487	313
4	192.5	101.0	3.95	0.570	0.483	399
5	237.5	101.0	4.90	0.585	0.480	495

表 12: リアクタンス C、力率 0.2 の測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.2					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	45.0	102.0	1.05	0.370	0.420	107
2	67.5	102.0	2.00	0.320	0.331	204
3	90.0	101.0	3.11	0.350	0.287	314
4	120.0	100.0	4.00	0.370	0.300	400
5	135.0	100.0	4.90	0.380	0.276	490

4.3 低電力力率計の電力測定結果

リアクタンスが L の時の測定結果を表 13、リアクタンスが C の時の測定結果を表 14 に示す。皮相電力は、式 (9) を用いた。力率の計算値は、式 (5) より、 $\cos \theta = \frac{P}{VI}$ を用いた。

表 13: リアクタンス L、力率 0.2 の低力率用電力計測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.2					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	38.2	99.8	1.00	0.480	0.383	100
2	58.5	99.8	2.00	0.380	0.293	200
3	78.5	99.5	3.00	0.350	0.263	299
4	100.0	99.5	4.05	0.340	0.248	403
5	117.2	99.5	5.00	0.320	0.236	498

表 14: リアクタンス C、力率 0.2 の低力率用電力計測定結果

電流計 の指示 [A]	設定力率=0.2					皮相電力 P_0 [VA]
	電力 P_a [W]	電圧 V [V]	電流 I [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	43.5	100.0	1.00	0.410	0.435	100
2	64.5	100.0	2.00	0.260	0.323	200
3	86.5	100.0	3.00	0.230	0.288	300
4	109.0	99.5	4.00	0.210	0.274	398
5	120.0	99.5	4.50	0.200	0.268	448

5 考察

5.1 電流と電圧の関係

RL 負荷の電力電流特性グラフを図 2 に、RC 負荷の電力電流特性グラフを図 3 に示す。これらの図より、力率が大きくなると電力も増えることが分かる。また、電流が増加すると電力もほぼ一定の割合で増加していることが分かる。従って、電流と電力は比例の関係であるといえる。この関係は式 (5) から求めることができる。

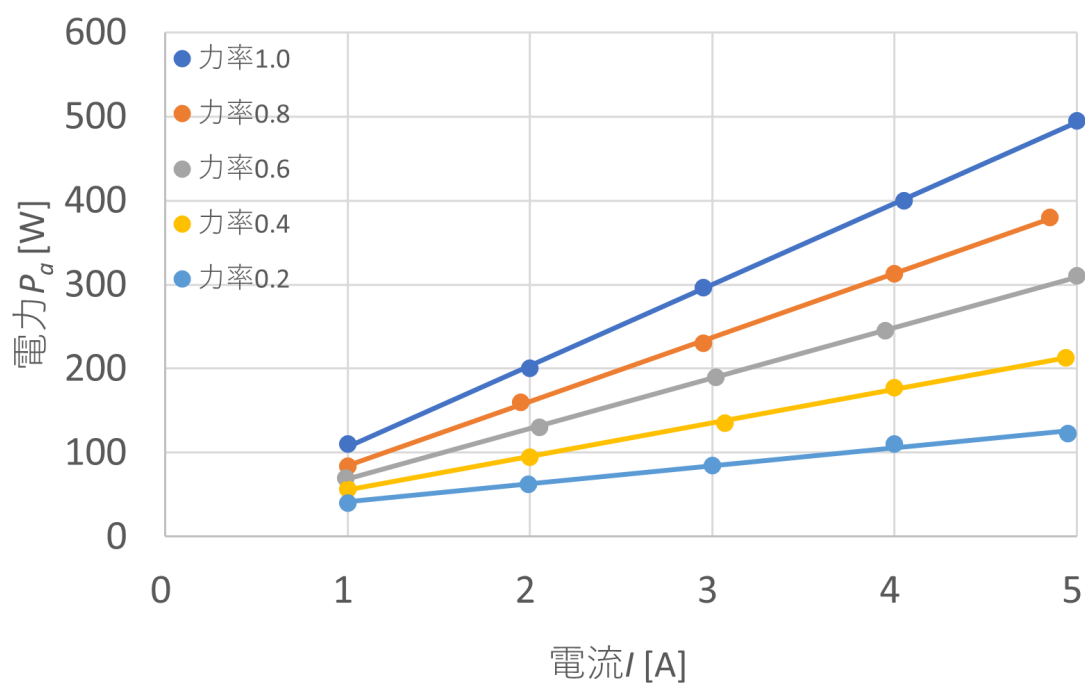


図 2: RL 負荷の電力電流特性

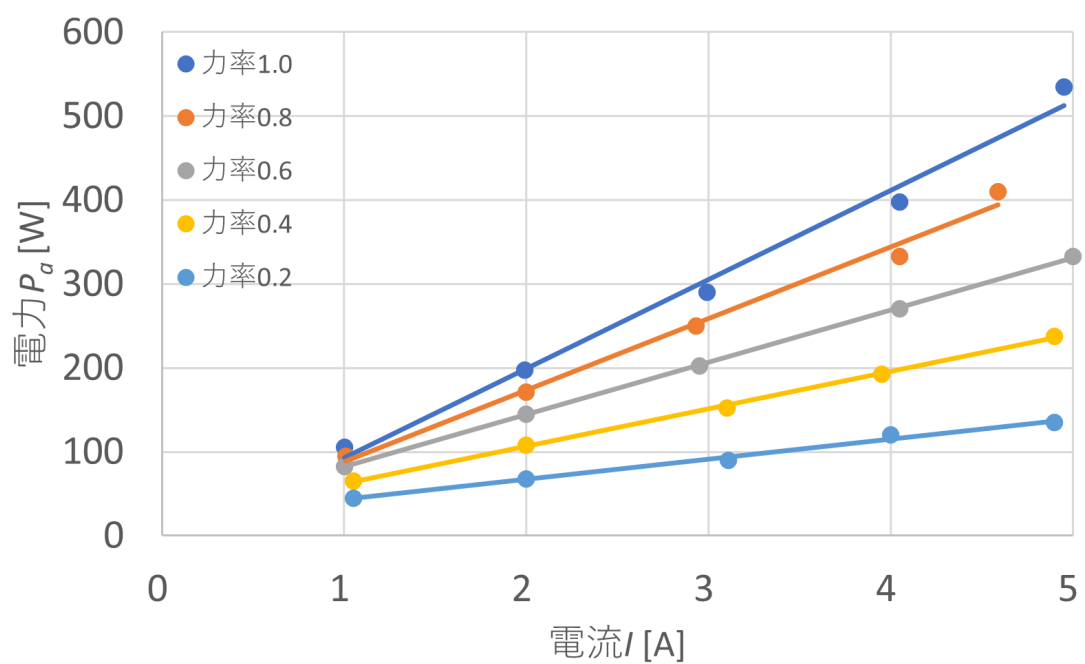


図 3: RC 負荷の電力電流特性

5.2 力率と電力の関係

RL 負荷の電力力率特性グラフを図 4 に、RC 負荷の電力力率特性グラフを図 5 に示す。これらの図より、電流が増えると電力も大きくなることが分かる。また、力率を大きくすると電力もほぼ一定の割合で増加していることが分かる。従って、力率と電力は比例の関係であるといえる。この関係は式 (5) から求めることができる。

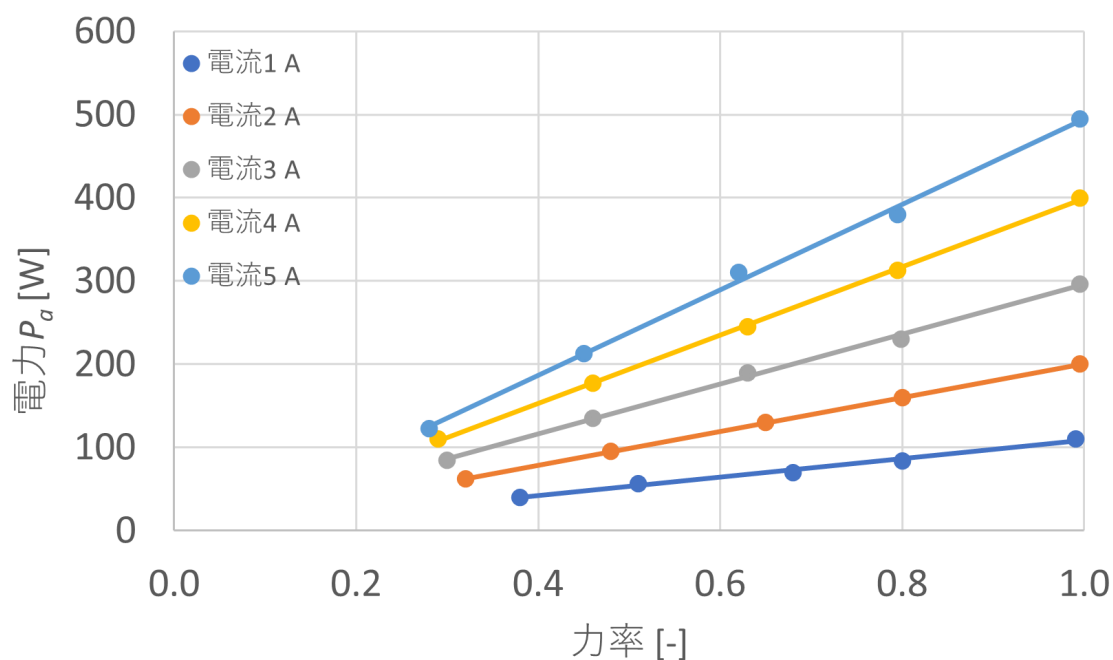


図 4: RL 負荷の電力力率特性

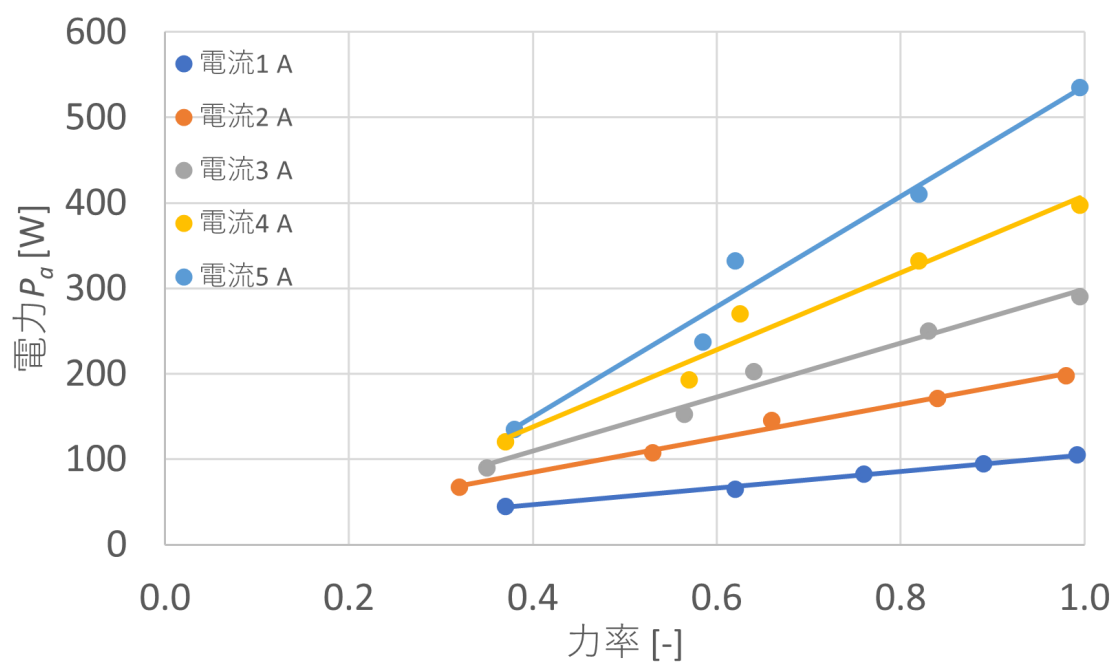


図 5: RC 負荷の電力力率特性

5.3 電力と電圧、電流、力率の関係

図 4 より、力率が 1.0 のとき電力の値は電流の 100 倍程度であることが分かる。また、図 2 より力率が 1.0 以外の場合は力率 1.0 の時の値の力率倍であることが分かる。従って電力 P_a は次式のように表される。

$$P_a = 100I \cos \theta \quad (15)$$

今回の実験では常に電源は 100 V を用いていたため、100 を V で置き換えると次式のように表される。

$$P_a = VI \cos \theta \quad (16)$$

式 (16) は式 (5) と一致することが確認できる。

5.4 普通電力計と低力率用電力計の比較

表 15 にリアクタンスが L で、力率 0.2 の時の普通電力計と低力率用電力計の時の誤差率を、表 16 にリアクタンスが C の時の誤差率を示す。誤差率は式 (17) を用いた。これらの表より、普通電力計より低電力計のほうが誤差率の幅が広いことが分かる。

表 15: RL 負荷の測定誤差率

電流 [A]	通常用 [%]	低力率用 [%]
1	2.20	13.56
2	4.71	3.40
3	8.31	18.14
4	7.03	18.92
5	13.35	27.50

表 16: RC 負荷の測定誤差率

電流 [A]	通常用 [%]	低力率用 [%]
1	20.26	6.10
2	22.87	24.04
3	24.86	25.36
4	27.01	30.41
5	26.38	34.00

$$\text{誤差率} = \frac{|\text{測定値} - \text{計算値}|}{\text{計算値}} \times 100 \quad (17)$$

5.5 グループ考察

一般的に力率は 1 にしたほうが良いと言われている。これは、無駄な無効電力を少なくすることによって、電力損失や電圧降下を減らし、設備利用率を高めることができるからである [3]。

5.6 独自考察

今回の実験は表 8 のように力率が 1 を超えてしまう計算結果が算出されている。力率は、1 を超えないので正確な実験ができているとは言い難い。今回の実験では測定器具を総合負荷装置の上に置いて計測した。その総合負荷装置は一部の車輪が破損しており、地面と並行では無い状況であった。従って、測定器具も傾いてしまったため、針が重力によって動いてしまい正しい測定ができなかったと考える。

5.7 疑問点

低力率用電力計と普通力率計の違いが分からなかった。

6 結論

今回の実験を通して、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理解し、単相電力計と力率計の扱い方を習得できた。また、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Ⅱ, 電気書院, 東京, 2014.
- [2] 独立行政法人中小企業基盤整備機構, “(受電) 力率とは?”, <https://j-net21.smrj.go.jp/development/energyeff/Q1231.html>, 閲覧日 2022 年 6 月 1 日 S
- [3] 安藤治, “力率改善はどのように行うのが良いか”, 日本電気技術者協会, <https://jeea.or.jp/course/contents/06201/>, 閲覧日 2022 年 6 月 15 日