

# 第3学年 電気電子工学実験実習報告書

## 3 電力と力率の測定

### インダクタンスとキャパシタンス

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班	3314	城戸 貴博

共同実験者名

3302 新川 史人 3310 岡村 放

3318 鈴木 春香 3327 猶崎稜真

提出日			備考	評価
予定日	6/16	6/23		
提出日				

東京都立産業技術高等専門学校  
電気電子工学コース

# 1 目的

本実験では以下の3つが目的である。

- 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。

# 2 原理

## 2.1 瞬時電力

インピーダンス  $Z$  [ $\Omega$ ] 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るとする。

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

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

ここで、 $V_m$ ,  $I_m$  は最大値、 $\omega$  [rad/s] は角周波数、 $\theta_V$  [rad] と  $\theta_I$  [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。 $\theta$  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  $Z$  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、 $\theta$  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（ヴァール）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

[2] インピーダンス  $\dot{Z}$  の大きさは下式で求められる。 $R$  はレジスタンス成分  $X$  はリアクタンス成分である。

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

また偏角は下式で求められる。

$$\tan^{-1} \left( \frac{X}{R} \right) = \angle \dot{Z}$$

- 瞬時電力

瞬時電力はある時間における電力のことである。インピーダンス  $\dot{Z}$  の負荷に正弦波電流を  $i = \sqrt{2}I \sin(\omega t)$  [A] が流れていると仮定すると、瞬時電力  $p$  は下式のようになる。

$$\begin{aligned} p &= ei = 2I^2 |\dot{Z}| \sin(\omega t) \sin(\omega t + \angle \dot{Z}) \\ &= I^2 |\dot{Z}| \{ \cos \angle \dot{Z} - \cos(2\omega t + \angle \dot{Z}) \} \end{aligned}$$

- 有効電力

皮相電力のうち、レジスタンス成分が消費する電力のことである。 $P$  [W] で表される。

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_T^0 I^2 \dot{Z} \{ \cos \angle \dot{Z} - \cos(2\omega t + \angle \dot{Z}) \} dx \\ &= I^2 |\dot{Z}| \cos \angle \dot{Z} \\ &= RI^2 \end{aligned}$$

- 皮相電力

電源が供給した電力、すなわち見かけ上の電力のことである。 $Q$  [VA] で表される。

$$\begin{aligned} Q &= EI \\ &= I^2 |\dot{Z}| \end{aligned}$$

- 無効電力

皮相電力のうち、リアクタンス成分が (インダクタンスやキャパシタンス) 一時的に蓄える電力のことである。 $S[\text{var}]$  で表される。

$$\begin{aligned} S &= Q \sin \angle \dot{Z} \\ &= I^2 |\dot{Z}| \sin \angle \dot{Z} \\ &= X I^2 \end{aligned}$$

- 力率

皮相電力のうち有効電力の占める割合のことで  $\frac{P}{Q}$  である。電圧の位相を  $\theta_v$ 、電流の位相を  $\theta_i$  としたときに、 $\cos(\theta_i - \theta_v)$  で表されるものである。力率が 1 に近づくほど無効電力が少なくなるため、力率は 1 であることが望ましい。 $\cos \theta$  で表される。

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \frac{P}{Q} \\ &= \frac{P}{\sqrt{P^2 + S^2}} \end{aligned}$$

## 3 方法

### 3.1 電力計による電力測定

この実験では、誘導性負荷 (インダクタンス) と容量性負荷 (キャパシタンス) について、それぞれ力率と電力を測定した。

#### 3.1.1 使用器具

この実験で使用した器具を表 1 に示す。

表 1: 普通電力計での計測の使用器具

使用器具名	製造元	型番	定格	製造番号 (管理番号)
力率計	YOKOGAWA	203903	レンジ: 5 A	85AA0139
交流電力計	YOKOGAWA	B-3041	レンジ: 120 V, 5 A	L94-004329
交流電圧計	YOKOGAWA	B-3039	レンジ: 150 V	15
交流電流計	YOKOGAWA	B-2044	レンジ: 5 A	270-1
総合負荷装置	yamabishi	B-3067	レンジ: 100 V, 30 A	L94-004165
スライダック	Toshiba	B-5031	レンジ: 130 V, 20 A	625

#### 3.1.2 実験手順

以下の実験を誘導性負荷 (インダクタンス)、容量性負荷 (キャパシタンス) について、表 2 の場合について測定した。それぞれの力率について、電流値をそれぞれ変更し、電流計、電圧計、力率計、電力計の値を測定した。

表 2: 普通電力計での計測の実験条件

力率 [-]	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
電流 [A]	1	2	3	4	5

#### 1 注意・補足点

- 先生が回路を確認するまで、スライダックのプラグをコンセントに刺さない。
- 測定を開始したら、総合負荷装置の端子を触らない。(感電しないため)
- 力率計は力率により目盛の間隔が異なるため、有効桁数に気を付ける。

2 図 2 の S1 を開放し、図 1 の SL2 を可能な限り減少させた。

3 図 2 の通り回路を組んだ。

4 担当教員のチェックを受けた。

5 スライダックのプラグをコンセントに刺した。

6 図 1 の S2 を L に設定した。

7 S1 を接続し、電圧計が 100 V を示すようにスライダックの出力を調整した。

- 8 力率を 1.0 ( $R = 1.0, X = 1.0$ ) に設定した。
- 9 電流計が 1 A を示すように SL2 を調整した。
- 10 電流計, 電圧計, 力率計, 電力計の値を測定し, 記録した。
- 11 手順 8 ~ 10 を表 2 の通り, 電流値 1 ~ 5 [A] まで繰り返した。
- 12 手順 11 を表 2 の通り, 力率 1.0 ~ 0.2 まで繰り返した。
- 13 S2 を C に設定し, C についても手順 12 を行った。

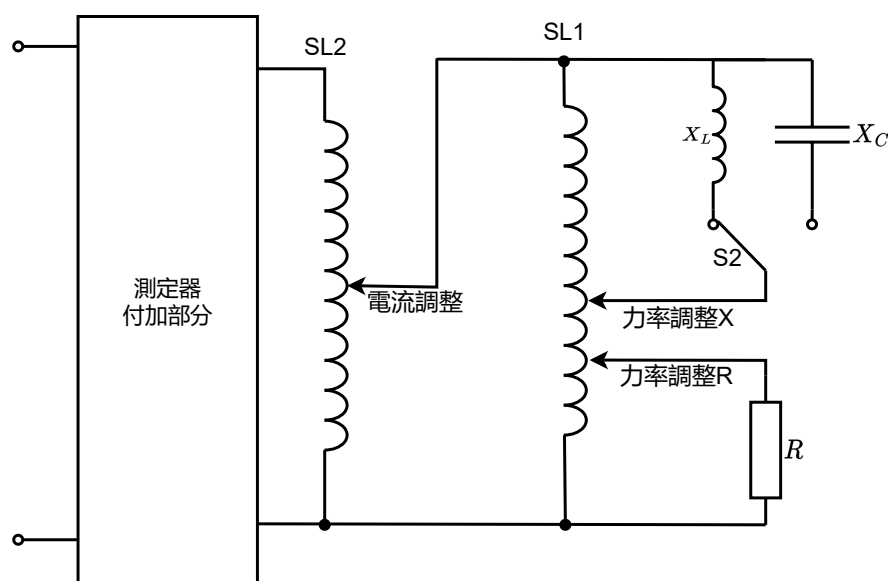


図 1: 総合負荷装置の内部回路

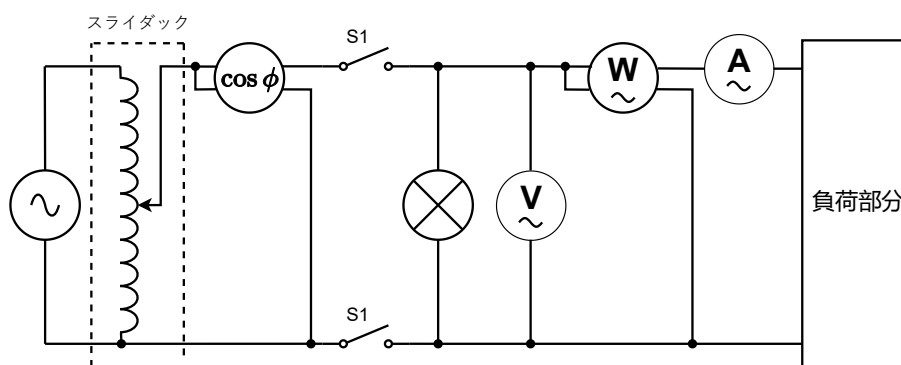


図 2: 電流計, 電圧計, 力率計, 電力計の結線

### 3.2 低力率用電力計による電力測定

この実験では、誘導性負荷 (インダクタンス) と容量性負荷 (キャパシタンス) について、力率と低力率時の電力を測定した。

#### 3.2.1 使用器具

この実験で使用した器具を表 3 に示す。

表 3: 低力率用電力計での計測の使用器具

使用器具名	製造元	型番	定格	製造番号 (管理番号)
力率計	YOKOGAWA	203903	レンジ: 5 A	85AA0139
交流電力計	YOKOGAWA	B-3041	レンジ: 120 V, 5 A	L94-004329
交流電圧計	YOKOGAWA	B-3039	レンジ: 150 V	15
交流電流計	YOKOGAWA	B-2044	レンジ: 5 A	270-1
総合負荷装置	yamabishi	B-3067	レンジ: 100 V, 30 A	L94-004165
スライダック	Toshiba	B-5031	レンジ: 130 V, 20 A	625
低力率用電力計	YOKOGAWA	B-3041	レンジ: 120 V, 5 A	L94-004041

#### 3.2.2 実験手順

電力計による電力測定 について電力計を低力率用電力計に変更し、低力率時の電力を測定した。以下の実験を誘導性負荷 (インダクタンス)、容量性負荷 (キャパシタンス) について、表 2 の場合について測定した。電流値を変更し、電流計、電圧計、力率計、電力計の値を測定した。基本的な手順は 電力計による電力測定 と変わらず、電力計と条件を変更しただけなので、細かい手順は省略する。

表 4: 低力率用電力計での計測の実験条件

力率 [-]	0.2				
電流 [A]	1	2	3	4	5

## 4 結果

### 4.1 誘導性負荷

誘導性負荷のそれぞれの設定力率の測定で記録した電流、電圧、力率、電力と計算した皮相電力、力率を表5 表6 表7 表8 表9 に示す。

表 5: 誘導性負荷 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					皮相電力 $P_0$ [VA]
	電力計 $Pa$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	99.0	99.8	1.00	0.995	0.992	99.8
2	199	99.0	2.02	0.998	0.995	200
3	300	98.5	3.05	0.999	0.997	300
4	397	97.6	4.09	0.999	0.995	399
5	480	97.1	5.03	0.999	0.983	488

表 6: 誘導性負荷 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					皮相電力 $P_0$ [VA]
	電力計 $Pa$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	83.0	100.1	1.02	0.832	0.813	102
2	155	99.5	1.95	0.830	0.796	194
3	233	99.0	2.98	0.828	0.788	295
4	308	98.1	3.98	0.822	0.788	390
5	374	97.8	4.93	0.820	0.776	482

表 7: 誘導性負荷 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					皮相電力 $P_0$ [VA]
	電力計 $Pa$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	66.5	99.7	1.02	0.700	0.654	102
2	125	99.1	2.01	0.680	0.628	199
3	180	98.5	2.98	0.662	0.613	294
4	241	99.5	4.02	0.648	0.601	400
5	293	99.0	4.99	0.646	0.592	494

これらの表から電流値が増加するに連れて測定力率が設定力率に近づいていることが分かる。また、力率は計算値より測定値のほうが大きいことも分かる。力率が変化してもそれぞれの指示電流ごとの皮相電力は変化していないことが分かる。指示電流が増加するに連れて、電圧がわずかに減少していくことも分かる。



表 8: 誘導性負荷 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					皮相電力 $P_0$ [VA]
	電力計 $Pa$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	54.5	100.9	1.02	0.584	0.530	103
2	95.0	100.5	1.97	0.540	0.480	198
3	136	100.0	2.99	0.520	0.453	299
4	178	100.0	3.99	0.510	0.445	399
5	216	99.8	4.97	0.500	0.434	496

表 9: 誘導性負荷 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					皮相電力 $P_0$ [VA]
	電力計 $Pa$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	35	101.0	1.00	0.480	0.34	101
2	55.0	100.8	1.97	0.368	0.277	199
3	75.0	100.5	3.01	0.326	0.248	303
4	95.0	100.5	4.00	0.320	0.236	402
5	113	100.0	4.93	0.320	0.229	493

## 4.2 容量性負荷

容量性負荷のそれぞれの設定力率の測定で記録した電流、電圧、力率、電力と計算した皮相電力、力率を表 10 表 11 表 12 表 13 表 14 に示す。

表 10: 容量性負荷 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					
	電力計 $Pa[W]$	電圧計 $V[V]$	電流計 $I[A]$	力率 $\cos \theta$		皮相電力 $P_0[VA]$
				測定値	計算値	
1	100	99.0	1.01	0.995(lag)	1.00	100
2	198	98.3	2.01	0.999(lag)	1.00	198
3	299	97.9	3.04	0.999(lag)	1.00	298
4	386	97.9	3.97	0.999(lag)	0.993	389
5	467	97.0	4.91	0.999(lag)	0.981	476

表 11: 容量性負荷 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					
	電力計 $Pa[W]$	電圧計 $V[V]$	電流計 $I[A]$	力率 $\cos \theta$		皮相電力 $P_0[VA]$
				測定値	計算値	
1	95.5	100.0	1.05	0.890	0.910	105
2	169	98.9	2.00	0.840	0.854	198
3	250	98.9	2.95	0.830	0.855	292
4	334	98.0	4.01	0.820	0.849	393
5	398	97.8	4.90	0.816	0.829	479

表 12: 容量性負荷 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					
	電力計 $Pa[W]$	電圧計 $V[V]$	電流計 $I[A]$	力率 $\cos \theta$		皮相電力 $P_0[VA]$
				測定値	計算値	
1	79.5	99.9	1.02	0.758	0.780	102
2	139	99.5	2.00	0.670	0.698	199
3	208	99.1	3.01	0.638	0.696	298
4	263	99.0	3.97	0.622	0.669	393
5	321	98.5	5.00	0.610	0.652	493

これらの表から電流値が増加するに連れて測定力率が設定力率に近づいていることが分かる。また、力率は計算値より測定値のほうが小さいことも分かる。さらに、力率が変化してもそれぞれの指示電流ごとの皮相電力は変化していないことが分かる。指示電流が増加するに連れて、電圧がわずかに減少していくことも分かる。

表 13: 容量性負荷 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					皮相電力 $P_0$ [VA]
	電力計 $Pa$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	64.5	100.1	1.04	0.598	0.620	104
2	108	99.9	2.03	0.488	0.530	203
3	150	99.2	2.98	0.450	0.507	296
4	195	99.2	3.92	0.436	0.500	389
5	231	99.0	4.95	0.424	0.471	490

表 14: 容量性負荷 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					皮相電力 $P_0$ [VA]
	電力計 $Pa$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		
				測定値	計算値	
1	41	100.5	1.00	0.452	0.41	101
2	64.0	100.4	2.01	0.28	0.317	202
3	83.5	100.1	2.99	0.23	0.279	299
4	107	100.1	3.97	0.21	0.269	397
5	130	100.0	4.94	0.20	0.263	494

### 4.3 低力率用電力計測定

誘導性負荷と容量性負荷の設定力率 0.2 の測定で記録した電流, 電圧, 力率, 電力と計算した皮相電力, 力率を表 15 表 16 に示す。

表 15: 誘導性負荷 設定力率=0.2 の場合の実験結果 (低力率用電力計)

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.2					
	電力計 $P_a$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		皮相電力 $P_0$ [VA]
				測定値	計算値	
1	36.9	99.3	1.00	0.398	0.372	99.3
2	55.8	99.8	2.02	0.318	0.277	202
3	74.9	99.5	3.00	0.29	0.251	299
4	95.0	99.6	4.00	0.28	0.238	398
5	114.4	99.9	4.99	0.29	0.229	499

表 16: 容量性負荷 設定力率=0.2 の場合の実験結果 (低力率用電力計)

電流計 の指示 [A]	設定力率 = 0.2					
	電力計 $P_a$ [W]	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]	力率 $\cos \theta$		皮相電力 $P_0$ [VA]
				測定値	計算値	
1	42.3	99.5	1.00	0.402	0.425	99.5
2	64.2	99.5	2.02	0.300	0.319	201
3	86.1	99.2	3.01	0.28	0.288	299
4	109.9	99.0	4.02	0.26	0.276	398
5	118.2	99.0	4.67	0.25	0.256	462

これらの表から電流値が増加するに連れて測定力率が設定力率に近づいていることが分かる。また, 誘導性負荷では力率は計算値より測定値のほうが大きく, 容量性負荷では力率は計算値より測定値のほうが小さいことも分かる。指示電流が増加するに連れて, 電圧がわずかに減少していくことも分かる。

## 5 考察

相対誤差率は下式を用いて導出した。

$$\varepsilon = \frac{|\text{真値} - \text{推定値}|}{\text{真値}} \times 100[\%]$$

1. 各設定力率に対して、横軸が電流、縦軸が電力のグラフを描け。  
測定結果を設定力率ごとに電流電力グラフにプロットし最小二乗法を用いて近似直線を描いたものを図3と図4に示す。

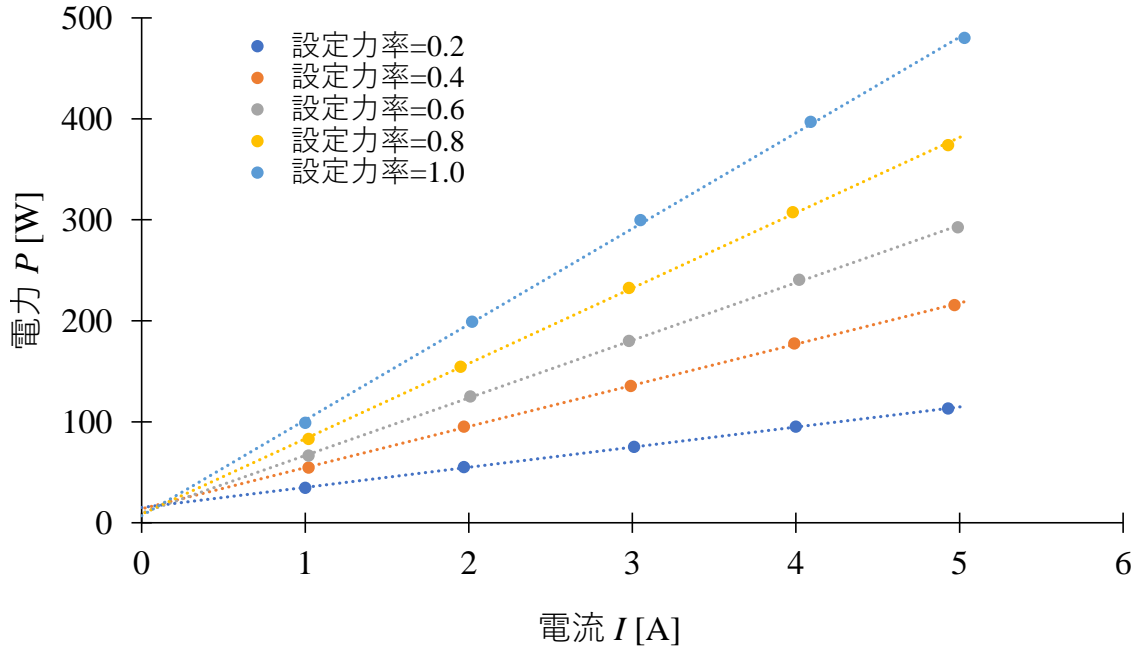


図 3: 誘導性負荷の電流と電力と近似直線

このグラフの理想的な傾きは、式 (5) より以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{P}{I} &= \frac{VI \cos \theta}{I} \\ &= V \cos \theta \end{aligned} \quad (10)$$

式 (10) のうち  $V$  は実験条件より、100 V である。 $\cos \theta$  は力率であり、傾きは  $100 \times (\text{力率})$  であることが分かる。よって、理想的な  $PI$  グラフの傾きが、それぞれの設定力率で表 17 のようになると考えられる。また、表 17 に近似直線の傾きも示した。

表 17: 設定力率と傾き

設定力率	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
傾き (理想)	100	80	60	40	20
傾き (誘導性)	94.8	74.6	57.0	40.8	19.9
傾き (容量性)	94.6	79.2	61.1	43.2	22.5

表 17 の理想的な傾きと近似直線の傾きの相対誤差率を表 18 に示す。

表 18 より、理想的な  $PI$  グラフの傾きは、測定値の近似直線の傾きとおおよそ同じだと分かる。よって、式 (10) および式 (5) の正確性が確認できる。

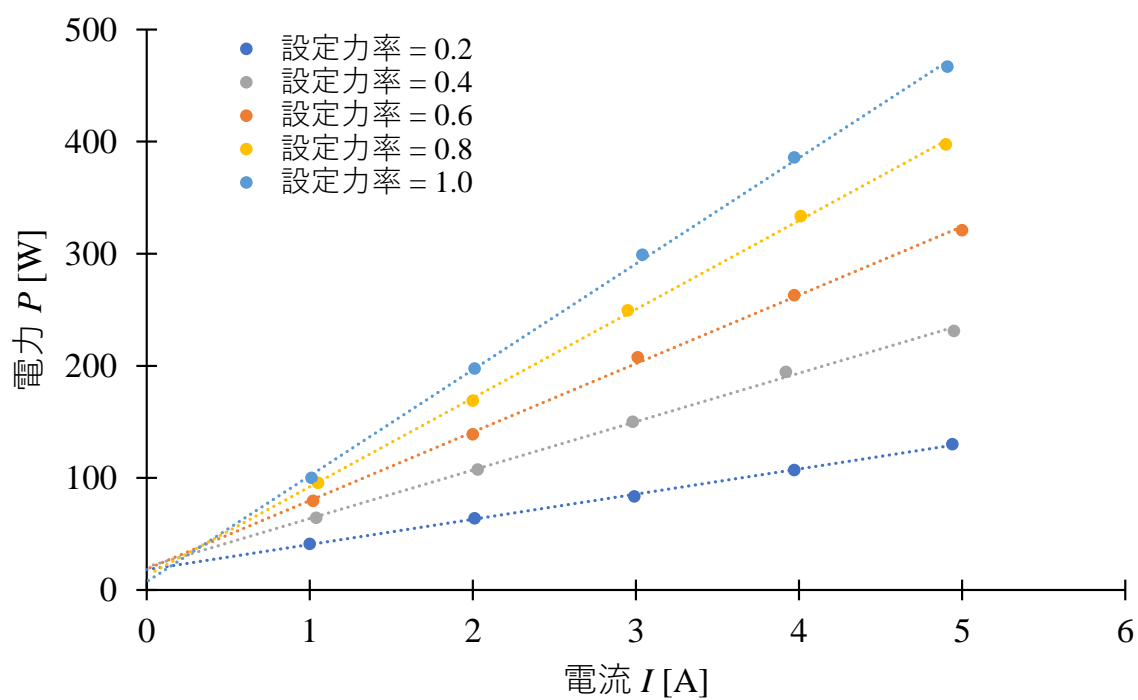


図 4: 容量性負荷の電流と電力と近似直線

表 18: 傾きの相対誤差率

設定力率	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
誘導性との誤差率 [%]	5.2	6.7	4.9	1.9	0.4
容量性との誤差率 [%]	5.4	1.0	1.9	8.1	12.3

2. 各電流計の指示に対して、横軸が力率、縦軸が電力のグラフ（一つにまとめる）を描け。  
測定結果を指示電流ごとに力率電力グラフにプロットし最小二乗法を用いて近似直線を描いたものを  
図5と図6に示す。

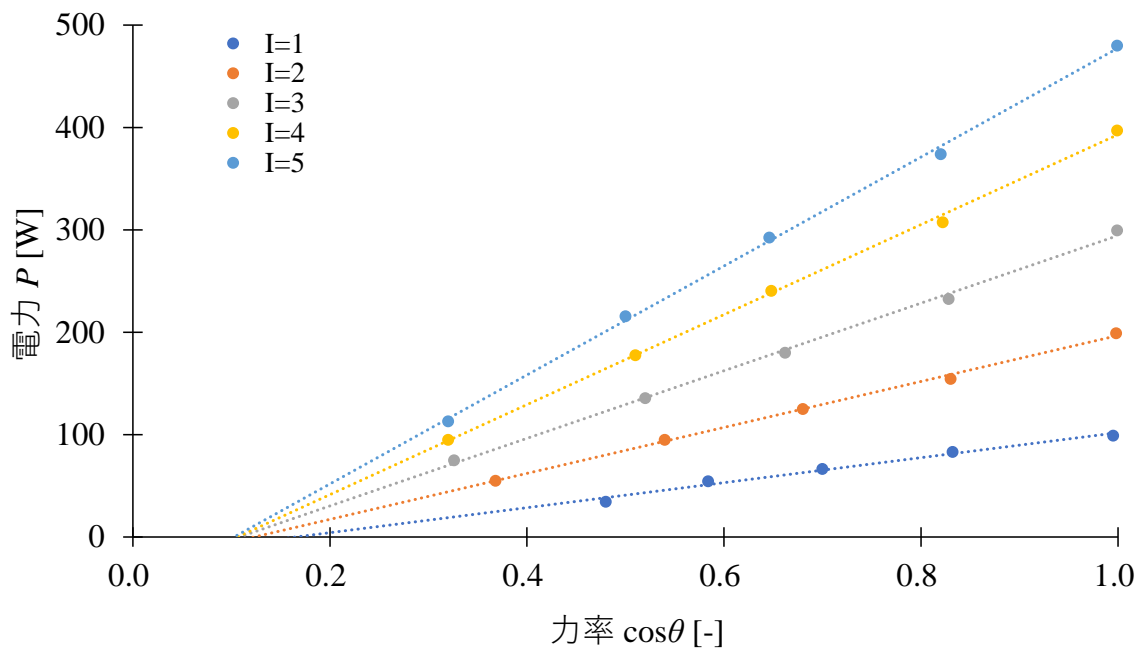


図 5: 誘導性負荷の力率と電力と近似直線

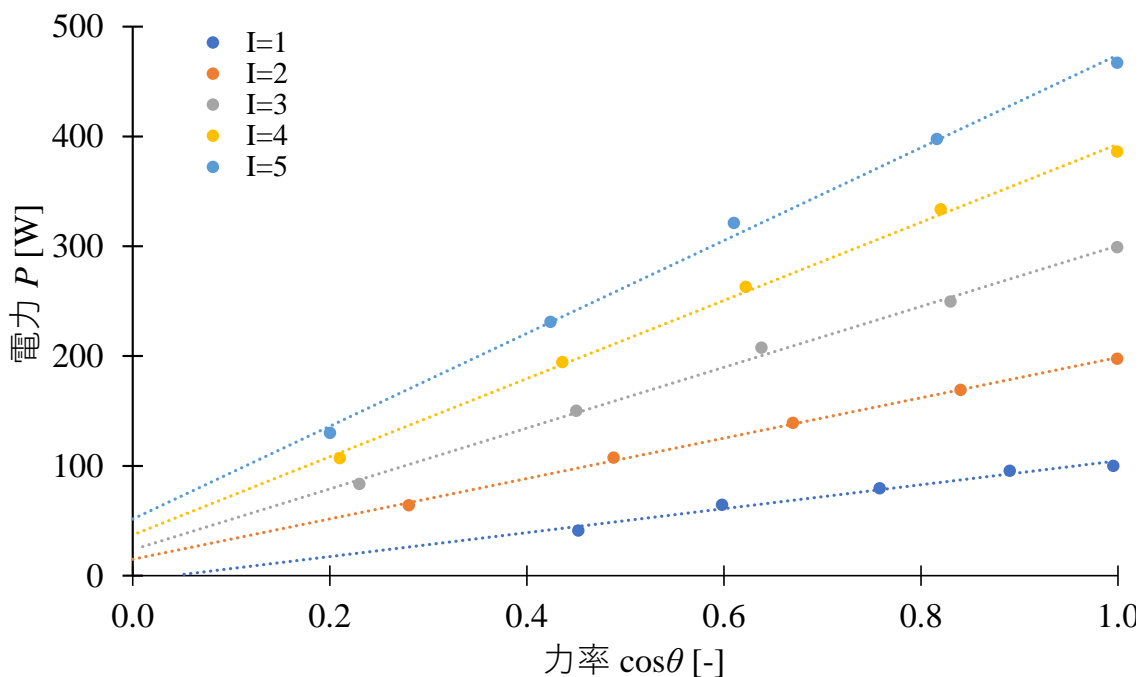


図 6: 容量性負荷の力率と電力と近似直線

このグラフの理想的な傾きは、式 (5) より以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{P}{\cos\theta} &= \frac{VI \cos\theta}{\cos\theta} \\ &= VI \end{aligned} \quad (11)$$

式 (11) のうち  $V$  は実験条件より、100 V である。 $I$  は電流であり、傾きは  $100 \times (\text{電流})$  であることが分かる。よって、理想的な  $P \cos \theta$  グラフの傾きが、それぞれの指示電流で表 19 のようになると考えられる。また、表 19 に近似直線の傾きも示した。

表 19: 設定力率と傾き

指示電流	1	2	3	4	5
傾き (理想)	100	200	300	400	500
傾き (誘導性)	122.1	224.5	330.1	439.6	532.1
傾き (容量性)	109.0	176.1	276.9	355.8	422.7

表 19 の理想的な傾きと近似直線の傾きの相対誤差率を表 20 に示す。

表 20: 傾きの相対誤差率

指示電流	1	2	3	4	5
誘導性との誤差率 [%]	22.1	12.2	10.0	9.9	6.4
容量性との誤差率 [%]	9.0	11.9	7.7	11.0	15.5

表 20 より、理想的な  $P$   $I$  グラフの傾きは、測定値の近似直線の傾きとおおよそ同じだと分かる。よって、式 (11) および式 (5) の正確性が確認できる。

- 電力と電圧、電流、力率の関係を述べよ。  
上記の考察より下式の正確性が確認できた。

$$P = VI \cos \theta$$

この式から電力は電圧、電流、力率に比例していることが分かる。



4. 普通電力計による測定結果と低力率用電力計による測定結果について比較検討せよ。  
普通電力計の相対誤差率と低力率用電力計の相対誤差率を表 21 表 22 に示す。

表 21: 誘導性負荷 測定力率の相対誤差率

	設定力率 = 1.0	設定力率 = 0.8	設定力率 = 0.6	設定力率 = 0.4	設定力率 = 0.2	設定力率 = 0.2(低力率用)
電流計 の指示 [A]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]
1	0.304	2.35	7.05	10.3	40.5	6.63
2	0.291	4.23	8.36	12.5	32.9	13.0
3	0.209	5.07	7.95	14.7	31.5	13.5
4	0.450	4.37	7.77	14.6	35.4	14.8
5	1.65	5.71	9.10	15.1	39.6	20.9

表 22: 容量性負荷 測定力率の相対誤差率

	設定力率 = 1.0	設定力率 = 0.8	設定力率 = 0.6	設定力率 = 0.4	設定力率 = 0.2	設定力率 = 0.2(低力率用)
電流計 の指示 [A]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]	相対 誤差率 [%]
1	0.510	2.15	2.84	3.48	10.8	5.75
2	0.058	1.69	4.08	7.94	11.6	6.47
3	0.562	2.94	8.29	11.3	17.6	2.98
4	0.589	3.38	7.05	12.8	22.0	6.21
5	1.88	1.62	6.41	10.1	24.0	2.26

設定力率 0.2 のときの相対誤差率が、普通電力計より低力率用電力計のほうが小さい。よって低力率用電力計は低力率のときに高い精度で電力を測定することができると分かる。今回の実験では設定力率 0.2 のときのみ低力率用電力計で測定したため、高力率での精度を評価することはできなかった。

5. グループで議論した考察を述べよ。

オームの法則より，式 (12) が成り立つ。

$$\dot{Z} = \frac{\dot{V}}{\dot{I}} \quad (12)$$

式 (12) のうち  $V$  は実験条件より一定で， $I$  も一定である。よって，力率に関わらずインピーダンス  $Z$  は一定になるはずである。式 (12) を用いて計算したインピーダンスと近似直線を  $\cos\theta - Z$  グラフにしたものを，図 7 図 8 に示す。

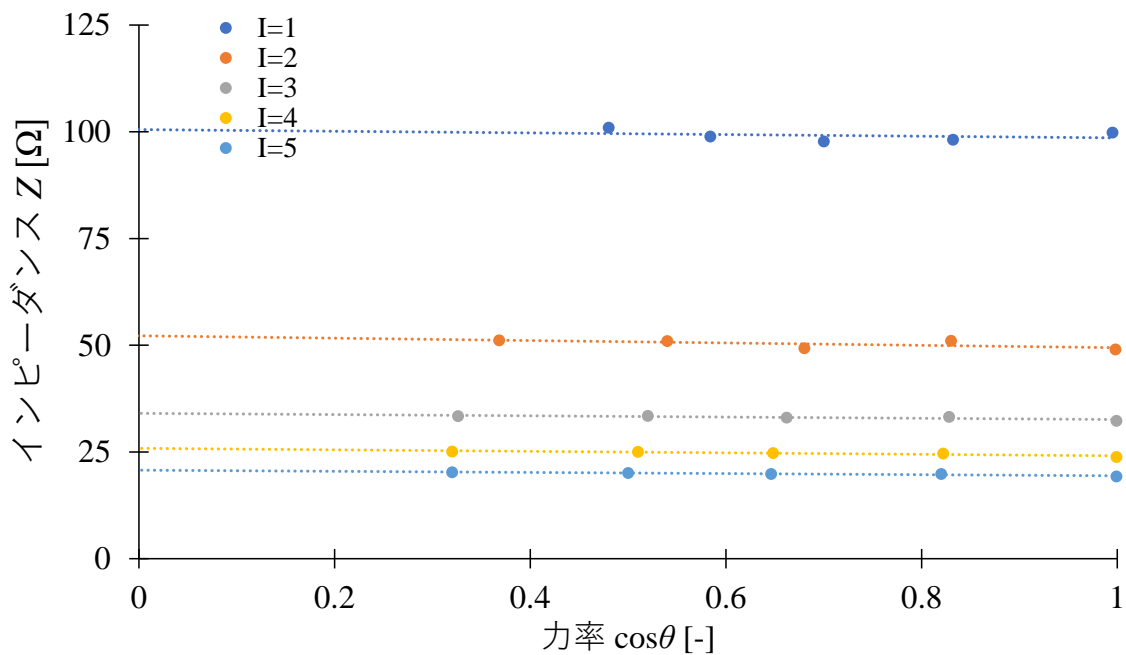


図 7: インピーダンスとその近似直線 (誘導性)

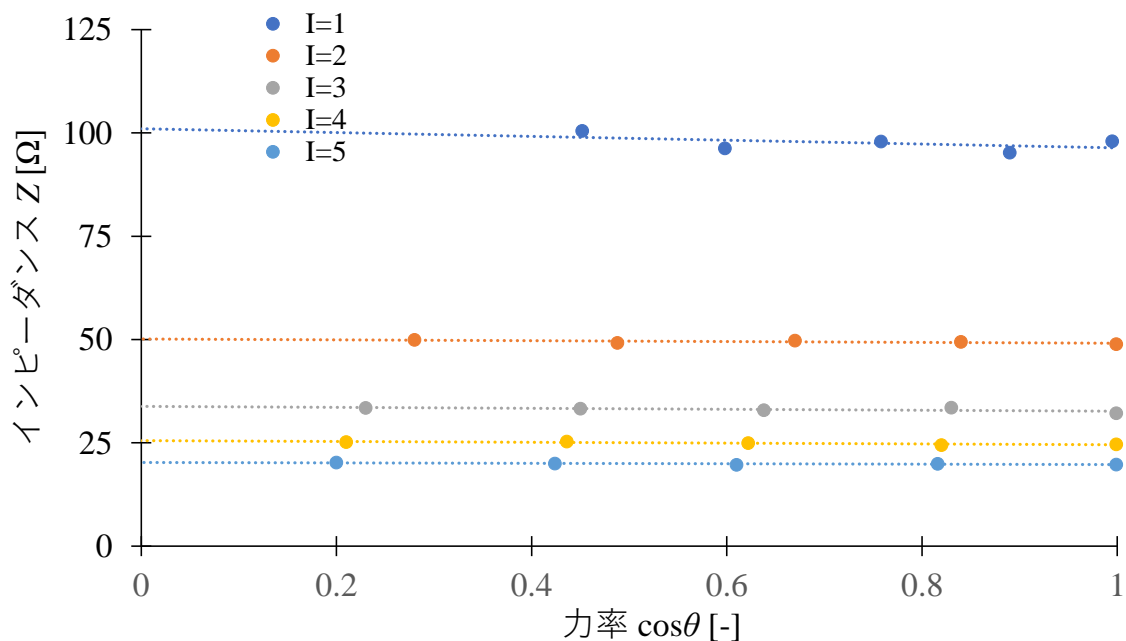


図 8: インピーダンスとその近似直線 (容量性)

図7 図8 より、インピーダンス  $Z$  は一定になることがグラフから分かる。図7 図8 の近似直線の傾きを表23 表24 に示す。また、インピーダンス  $Z$  は一定になるという仮定より、理想的な傾きは0である。さらにインピーダンスの平均値、近似直線の傾きから算出した力率が0～1まで変化したときのインピーダンスの変化量、変化量を与える誤差を表23 表24 に示す。変化量を与える誤差は下式を用いた。また、この考え方をグラフにしたものを図9 に示す。

$$\text{変化量を与える誤差} = \frac{\text{インピーダンスの変化量}}{\text{インピーダンスの平均値}} \times 100[\%] \quad (13)$$

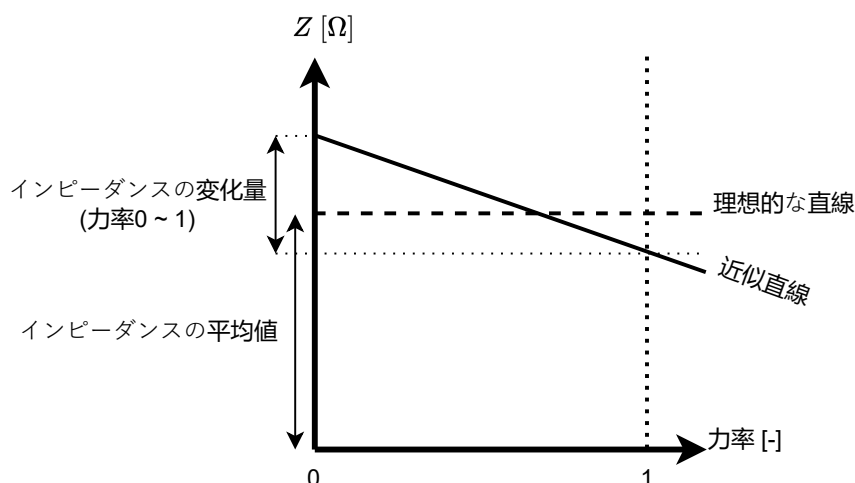


図 9: 変化量を与える誤差の考え方

表 23: 誘導性負荷の近似直線の傾きと誤差

指示電流 [A]	1	2	3	4	5
傾き (理想)	0	0	0	0	0
傾き	-1.94	-2.80	-1.45	-1.76	-1.32
インピーダンスの平均値 [Ω]	99.1	50.3	33.1	24.7	19.9
インピーダンスの変化量 [Ω]	1.94	2.80	1.45	1.76	1.32
変化量を与える誤差 [%]	1.96	5.56	4.37	7.13	6.62

表 24: 容量性負荷の近似直線の傾きと誤差

指示電流 [A]	1	2	3	4	5
傾き (理想)	0	0	0	0	0
傾き	-4.63	-1.03	-1.17	-1.00	-0.512
インピーダンスの平均値 [Ω]	97.6	49.5	33.1	24.9	19.9
インピーダンスの変化量 [Ω]	4.63	1.03	1.17	1.00	0.512
変化量を与える誤差 [%]	4.75	2.08	3.54	4.02	2.57

表23 表24 より、変化量を与える誤差は全て 10 % 以下なので、インピーダンス  $Z$  は一定であると言える。

6. この実験について独自の考察も加えよ。

i グループ考察の近似直線の傾きが負であるのはなぜか。

グループ考察の近似直線は力率が大きくなるほどインピーダンスが減少した。式 (12) のうち  $I$  は実験条件より一定である。よって、力率が大きくなると  $V$  が減少していると考えられる。ここで例として、変化量を与える誤差 [%] が最も大きい条件である「誘導性負荷，指示電流 4 A」の電圧，電流を表 25 に示す。表 25 より電圧が低下していることが確認できる。

表 25: 誘導性負荷 指示電流 4 A の電圧電流

設定力率	電圧計 $V$ [V]	電流計 $I$ [A]
0.2	100.5	4
0.4	100	3.99
0.6	99.5	4.02
0.8	98.1	3.98
1	97.6	4.09

総合負荷装置の等価回路 (誘導性負荷) と仮定した電圧電流を図 10 に示す。実際の内部回路とは違い，簡略化している。

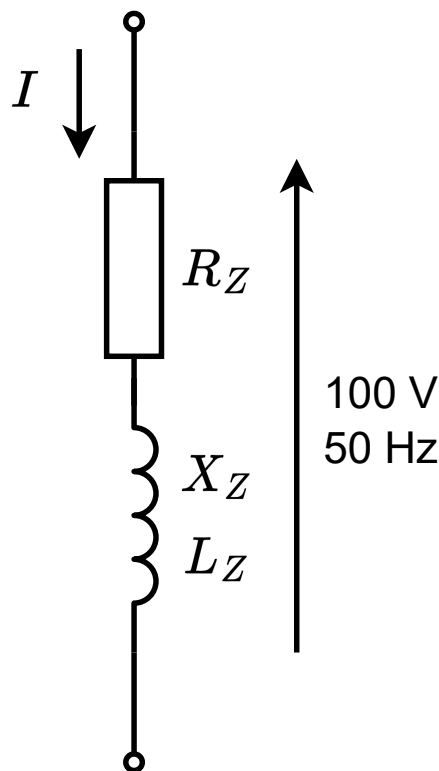


図 10: 総合負荷装置の等価回路と仮定した電圧電流

総合負荷装置の全体のインピーダンスを  $Z$  とすると， $Z$  は式 (12) より  $100 [\Omega]$  であると分かる。下式より  $R_Z$ ， $X_Z$  を求めることができる。また，力率 0.2，1.0 について算出した値を表

26 に示す。

$$R_Z = |\dot{Z}| \cos \theta$$

$$|\dot{Z}| = \sqrt{R_Z^2 + X_Z^2}$$

$$|\dot{Z}| = \sqrt{(\dot{Z} \cos \theta)^2 + X_Z^2}$$

$$X_Z = \sqrt{|\dot{Z}|^2 - (\dot{Z} \cos \theta)^2}$$

表 26: 力率 0.2 と 1.0 のインピーダンス  $\dot{Z}$

力率	$R_Z$ [ $\Omega$ ]	$X_Z$ [ $\Omega$ ]
0.2	20	$40\sqrt{6}$
1	100	0

測定機器を含めた回路全体の等価回路と仮定した電圧電流を図 11 に示す。力率計はレジスタンス成分もあるがとても小さいため無視する。電流計と電流計のレジスタンス・リアクタンス成分，電圧計のリアクタンス成分も無視する。

$R_V$  は非常に大きいので  $I_V$  は 0 A として扱える。よって， $I_Z = I$  が成り立つ。

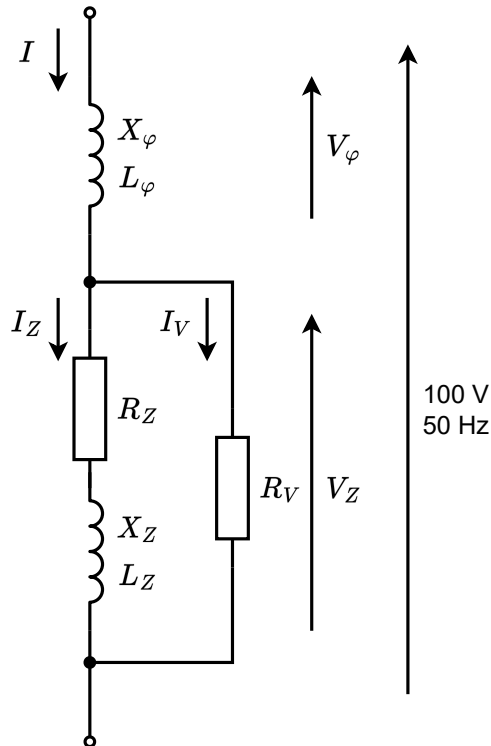


図 11: 測定機器を含めた回路全体の等価回路と仮定した電圧電流

下式より， $R_Z$ ， $X_\phi$ (力率計のリアクタンス)， $X_Z$  から測定機器を含めたインピーダンス  $Z'$  を求めることができる。

$$|\dot{Z}'| = \sqrt{R_Z^2 + (X_\phi + X_Z)^2}$$

ここで  $L_\phi = 1[\text{mH}]$  と仮定する。よって  $X_\phi = 2\pi f L_\phi = 0.1\pi[\Omega]$  となる。また，力率 0.2，1.0 について算出した値を表 27 に示す。

表 27: 力率 0.2 と 1.0 のインピーダンス  $\dot{Z}'$

力率	$ \dot{Z}'  [\Omega]$
0.2	100.308
1	100.000

$V_Z$  を分圧則を用いて求める。下式に  $|\dot{Z}_\varphi| = \sqrt{R_\varphi^2 + X_\varphi^2} = 0.1\pi[\Omega]$  を代入し  $\dot{V}_\varphi$  を求める。  
また、力率 0.2 , 1.0 について算出した値を表 28 に示す。

$$\dot{V}_\varphi = \dot{V}_{cc} \frac{|\dot{Z}_\varphi|}{|\dot{Z}|}$$

表 28: 力率 0.2 と 1.0 の  $\dot{V}_{cc}$  ,  $\dot{V}_\varphi$  ,  $\dot{V}_Z$

力率	$\dot{V}_{cc}$	$\dot{V}_\varphi$	$\dot{V}_Z$
0.2	100	0.3132	99.6868
1	100	0.3142	99.6858

力率が大きくなると力率計の電圧降下  $\dot{V}_\varphi$  が大きくなり、 $\dot{V}_Z$  が減少する。よって式 (12) に代入するとインピーダンスが減少しているように見える。これらのことから、”力率が大きくなるほどインピーダンスが減少する”のではなく、”力率が大きくなるほど  $V_Z$  が減少し、式 (12) よりインピーダンスが減少しているように見える”と考えられる。

- ii この配線抵抗が実験に与える影響について考える。  
2.5 mm の銅線の抵抗値は以下で計算できる。

$$\begin{aligned} \frac{R}{L} &= \frac{\rho}{S} \\ \begin{cases} \rho &= 1.72 \times 10^{-8} [\Omega\text{m}] \\ S &= \left(\frac{2.5 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \pi [\text{m}^2] \end{cases} \\ &= 3.50 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

ここから 2.5 mm の銅線は 1 m あたり  $3.50 \times 10^{-3} \Omega$  の抵抗値があることが分かる。今回の実験で使用した配線用銅線の長さが 5 m だとすると、配線抵抗は  $17.5 \times 10^{-3} \Omega$  であると考えられる。

回路全体のインピーダンスが最も小さくなるのは、実験条件が電圧 100 V 電流 5 A のときであり、回路全体のインピーダンスは  $20 \Omega$  となる。

$$\begin{aligned} R &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{100}{5} \\ &= 20 \Omega \end{aligned}$$

この時、配線抵抗が与える影響は、回路全体のインピーダンスの  $\frac{17.5 \times 10^{-3}}{20} \times 100\% = 0.875\%$  であり、1 % に満たない。このことから配線抵抗は実験にほとんど影響を与えないため、無視できると考えられる。ただし計器内の抵抗については言及していないため、 $20 \Omega$  全てが総合負荷装置のインピーダンスとするのは間違いである。

7. 報告書提出〆切までに理解できなかった疑問点を挙げよ。  
なし

## 6 結論

実験を通して以下の目的 3 つをすべて達成できた。

- 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。

## 参考文献

- [1] 堀田栄喜，“電気基礎 1 新訂版”，実教出版株式会社，東京，2020
- [2] 松本崇，“交流電力”，電気電子回路，pp.68-75，学献社，東京，1996