

第3学年 電気電子工学実験実習報告書

3 総合負荷装置を用いた電力と力率の計測

(Measurement of power and power factor by comprehensive load device)

実験日 令和 04 年 06 月 23 日 (木)
令和 04 年 06 月 30 日 (木)

| | | |
|---|------|-------|
| 班 | 学生番号 | 氏名 |
| 1 | 3309 | 大山 主朗 |

共同実験者名

3301 青木 柊人, 3305 市川 潤

3326 塚原 秀翔

| 提出日 | | | 備考 | 評価 |
|-----|-------|-------|----|----|
| 予定日 | 06/30 | 07/07 | | |
| 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 (in-stantaneous power)[1][2]

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.

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

2.2 有効電力 (effective power)[1][3]

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.

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

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瞬時値電力 p の平均値, すなわち平均電力 (mean power) P [W] は以下のように表せる.

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

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 (9) 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.

2.3 力率 (power factor)[1]

式 (7) の関係より, $\cos \theta$ と有効電力および皮相電力の間には

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (8)$$

の関係がある. したがって, $\cos \theta$ は皮相電力のどれだけの割合が抵抗で熱となって消費されているのかを表す量で力率と呼ばれる. また, θ を力率角という.

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

$$P = VI \cos \theta \quad (9)$$

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 (9) 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，

$$-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (10)$$

であるので，

$$0 \leq \cos \theta \leq 1 \quad (11)$$

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．

2.4 無効電力 (reactive power)[1]

コンデンサあるいはコンデンサに蓄えられている電力は式 (12) で与えられ，この値 Q を無効電力という．単位は var(ヴァール) である．var は volt, ampere, reactive power の頭文字をとったもので，人名ではないため，v は大文字にしない．

上記のことは，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た場合と同値である．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．

$$Q = VI \sin \theta \quad (12)$$

2.5 皮相電力 (apparent power)[1]

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．

$$\begin{aligned} S &= VI \\ &= \sqrt{P^2 + Q^2} \end{aligned} \quad (13)$$

2.6 式 (4.7) の途中式

$$\begin{aligned} p &= ei = \sqrt{2}|Z|I \sin(\omega t + \angle Z) \cdot \sqrt{2}I \sin \omega t \\ \text{ここで } \sin \alpha \sin \beta &= -\frac{1}{2}(\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta)) \text{ より} \\ &= 2|Z|I^2 \cdot \left(-\frac{1}{2} \cos(2\omega t + \angle Z) + \frac{1}{2} \cos \angle Z \right) \\ &= -|Z|I^2 \cos(2\omega t + \angle Z) + |Z|I^2 \cos \angle Z \end{aligned}$$

2.7 式 (4.8) の途中式

$$\begin{aligned}p_a &= 2RI^2 \sin^2 \omega t \\ \text{ここで } \cos \angle Z &= \frac{R}{|Z|} \text{ より} \\ &= 2|Z|I^2 \cos \angle Z \sin^2 \omega t \\ \text{また } \sin^2 \alpha &= \frac{1}{2} (1 - \cos 2\alpha) \text{ より} \\ &= |Z|I^2 \cos \angle Z (1 - \cos 2\omega t)\end{aligned}$$

2.8 式 (4.12) の途中式

$$\begin{aligned}p_r &= ei \\ &= (\sqrt{2}XI \cos \omega t) \cdot (\sqrt{2}I \sin \omega t) \\ &= 2XI^2 \cos \omega t \sin \omega t \\ \text{ここで } \sin \angle Z &= \frac{X}{|Z|} \text{ より} \\ &= 2|Z|I^2 \sin \angle Z \cos \omega t \sin \omega t \\ \text{また, } \sin \alpha \cos \beta &= \frac{1}{2} (\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)) \text{ より} \\ &= 2|Z|I^2 \sin \angle Z \cdot \left(\frac{1}{2} \sin 2\omega t + \sin 0 \right) \\ &= |Z|I^2 \sin \angle Z \sin 2\omega t\end{aligned}$$

2.9 式 (4.15) の途中式

$$\begin{aligned}e &= \sqrt{2}|Z|I \sin(\omega t + \angle Z) \\ |E| &= |I||Z|, E \neq 0, I \neq 0 \text{ より} \\ &= \sqrt{2}E \sin(\omega t + \angle Z)\end{aligned}$$

3 方法

3.1 使用器具

今回の実験で使用した器具を表 1 に示す。

表 1: 使用器具

| 装置名 | 製造会社 | 型番 | 定格 | 製造番号 |
|---------|----------|----------------|---------------------|------------|
| 電力計 | YOKOGAWA | B-5038.H1.2/2 | レンジ：120-240V, 5-25A | 632 |
| 低力率用電力計 | YOKOGAWA | B-3041 | レンジ：120-240V, 1-5A | 04823M |
| 交流用電圧計 | YOKOGAWA | B-3039.44.9/10 | レンジ：0.1-300V | 70-1 |
| 交流用電流計 | YOKOGAWA | B-2044.45.1/7 | レンジ：1-5A | OG 0575 |
| 力率計 | YOKOGAWA | B-2054.49.1/1 | 120V | L94-004318 |
| スライダック | 東芝 | B-5091.H1.2/3 | 0-130V | 625 |
| 総合負荷装置 | 山菱電機株式会社 | UL-100-30 | 100V, 30A | L94-004164 |

3.2 実験手順

a) 電力計による RL 負荷の電力測定

(1) 図 1 のように回路を構築する。¹

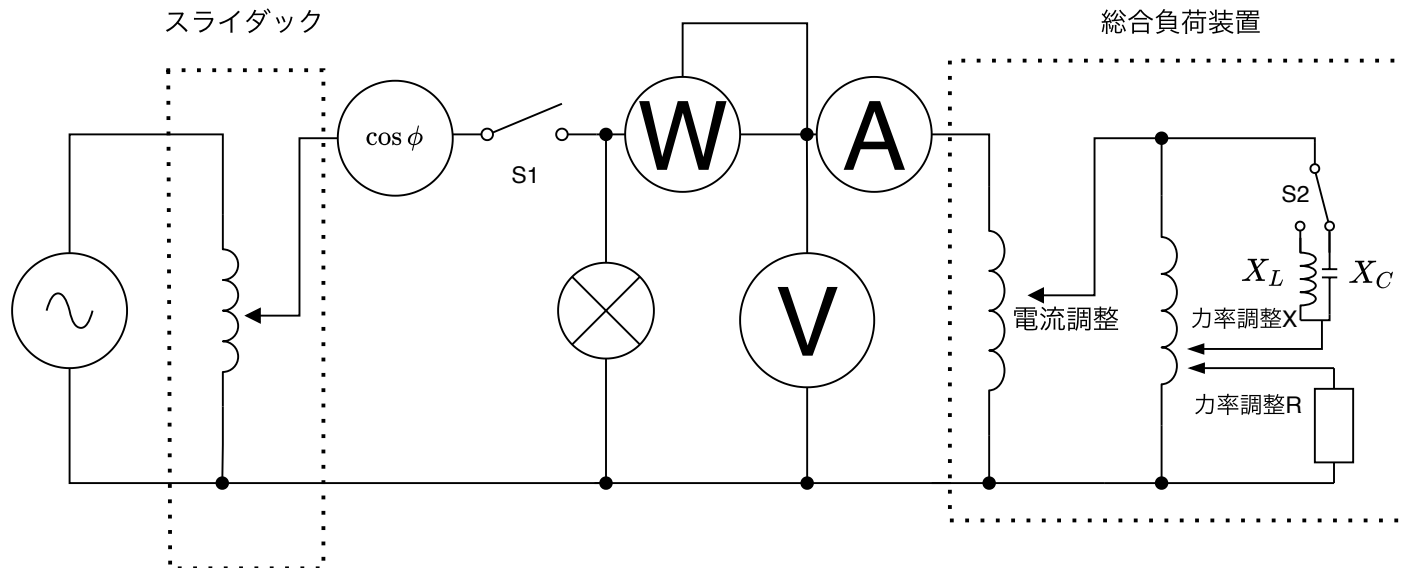


図 1: 測定回路

(2) スイッチ S1 を開き、負荷の電流調節つまみを DEC 方向いっぱいに戻した。²

(3) スイッチ S2 を X_L 側にし、リアクタンスとして L を選択。

(4) 力率を 1 に設定（負荷を $R = 1.0$, $X = 1.0$ に設定）

¹電源線ははずして作業を行う

²DEC:decrease の略で減らすの意。この処理は負荷に電流を加えないための初期設定

- (5) S1 を閉じ，商用電源の電圧 (スライダック部) が 100 V になるように調整し，総合負荷装置の電源ランプの点灯を確認した.
- (6) 電流計の読みが 1 A (± 0.1 A) となるように SL1 で電流を調整し，電力，力率，電圧，電流を計測.
- (7) 電流を 2 A から 5 A まで 1 A 刻みで同様の計測を実施.
- (8) 力率を以下のように設定し，上記の計測を繰り返した.
- 力率 0.8 ($R = 0.8$, $X = 0.8$)
 - 力率 0.6 ($R = 0.6$, $X = 0.6$)
 - 力率 0.4 ($R = 0.4$, $X = 0.4$)
 - 力率 0.2 ($R = 0.2$, $X = 0.2$)

b) 電力計による RC 負荷の電力測定

- (1) a を参考にし，a3 の部分でリアクタンスとして C を選択した. (スイッチ S2 を X_C 側に設定)

c) 低力率用電力計による電力計測

- (1) 図 1 において，電力計を低力率用のものに変更.
- (2) 力率 0.2 ($R = 0.2$, $X = 0.2$) に設定し a と同様の計測を行った.

4 結果

-

5 考察

- 1.) 各設定に対して，横軸が電流，縦軸が電力のグラフ (一つにまとめる) を描け.
- 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.
- 3.) 電力と電圧，電流，力率の関係を述べよ.
- 4.)

6 結論

参考文献

- [1] 俊. 岩崎 and 電子情報通信学会, 電磁気計測 (電子情報通信レクチャーシリーズ). コロナ社, 2002, p. 78. [Online]. Available: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000797667922816>.
- [2] 栄. 堀田, 電気基礎, 新訂版. 実教出版, 2017, p. 280. [Online]. Available: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282271973066112>.
- [3] 栄. 堀田, 電気基礎, 新訂版. 実教出版, 2017, p. 281. [Online]. Available: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282271973066112>.