

1 目的

- R, L, Cなどで構成される交流回路の「電力」や「力率」などの基本的な概念を理解する。
- 電圧波形を実際に観測し、それをもとに電力や力率などを計算することで、これらの関係などを理解する。

2 原理

インピーダンス Z の負荷に、各周波数 ω 、実効値 V の交流電圧を加えて、実効値 I の電流が流れたとき、 I と、負荷で消費される電力(有効電力) P は、

$$I = \frac{V}{Z}[\text{A}] \quad (1)$$

$$P = VI\cos\theta[\text{W}] \quad (2)$$

ここで、 $\cos\theta$ を力率と呼び、

$$\cos\theta = \frac{P}{VI} = \frac{R}{Z} \quad (3)$$

θ は電圧と電流の位相差で、力率角とも呼ばれる。

R と L を直列接続した負荷の場合では、

$$P = VI\cos\theta = RI^2 = \frac{V_R^2}{R} \quad (4)$$

ただし、 V_R は R の両端の電圧(電位差)。

電源の電圧は一定とし、なるべく小さな電流で有効電力を大きくしたい場合、力率が大きくなるようにすればよい。力率は、 L を小さくするか、 C を接続するなどして大きくできる。

3 使用器具

デジタル・オシロスコープ：YOKOGAWA, DL1520, MODEL 701505, NO. 26W20491M

ファンクション・ジェネレーター：KENWOOD, FG-271, SERIAL NO:7080056

ブレッドボード：Sunhayato, SRH-21B

4 実験方法

1. 図のような回路を作り，発信機の電圧を $2[\text{V}]$ ，周波数を指定の値にする．
2. 点 a-アース間の電圧 V を CH1，点 b-アース間の電圧 V_R を CH2 で観測する．
3. 波形の最大値から， V ， V_R の実効値と回路電流 $I = \frac{V_R}{R}$ を求める．
4. V_R と I は同位相であることから，CH1(V) と CH2(V_R) の位相差を求め， V と I の位相差 θ とする．
5. 電力 $P = \frac{V_R^2}{R}$ を求める．
6. 周波数，リアクタンス X の種類を変えて同様に測定する．
(横軸が周波数 f ，縦軸が電力 P を示すグラフを片対数方眼紙に描きながら行う．)

リアクタンスの種類

(a): C 単独

(b): L 単独

(c): L - C 直列

(d): L - C 並列

($R = 10[\omega]$ ， $L = 1[\text{mH}]$ ， $C = 1[\mu\text{F}]$)

図 1: 実験回路

5 実験結果

表 1: 実験結果 (a): L 単独

f [kHz]	0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	50
電圧 V							
div [cm]	3	3	3	3	3	3	3
V/div [mV/cm]	500	500	500	500	500	500	500
最大值 [V]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
実効値 [V]	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
電圧 V_R							
div [cm]	2.65	2.38	1.81	2.15	2.37	2.36	2.32
V/div [mV/cm]	500	500	500	200	100	50	20
最大值 [mV]	1325	1190	905	430	237	118	46.4
実効値 [mV]	937	841	640	304	168	83.4	32.8
電流 I [mA] : $\frac{V_R}{R}$	93.7	84.1	60.4	30.4	16.8	3.28	3.28
電力 P [W] : $\frac{V_R^2}{R}$	87.8	70.7	41.0	9.24	2.82	0.696	0.108
位相差 θ [度]	16.2	31.7	50.8	72.0	80.6	85.7	88.2
力率 $\cos\theta$	0.960	0.851	0.633	0.309	0.163	0.0753	0.0314

表 2: 実験結果 (b):C 単独

f [kHz]	0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	50
電圧 V							
div [cm]	3	3	3	3	3	3	3
V/div [mV/cm]	500	500	500	500	500	500	500
最大值 [V]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
実効値 [V]	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
電圧 V_R							
div [cm]	2.36	1.95	3.36	2.52	1.6	1.65	2.75
V/div [mV/cm]	20	50	50	100	500	500	500
最大值 [mV]	47.2	97.5	168	252	800	825	1375
実効値 [mV]	33.4	68.9	119	178	566	583	972
電流 I [mA] : $\frac{V_R}{R}$	3.34	6.89	11.9	17.8	56.6	58.3	97.2
電力 P [W] : $\frac{V_R^2}{R}$	0.112	0.475	1.42	3.17	32.0	34.0	94.5
位相差 θ [度]	88.56	84.24	83.16	72.0	55.8	37.08	16.92
力率 $\cos\theta$	0.0251	0.100	0.119	0.310	0.562	0.798	0.957

表 3: 実験結果 (c):L - C 直列

f [kHz]	0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	50
電圧 V							
div [cm]	3	3	3	3	3	3	3
V/div [mV/cm]	500	500	500	500	500	500	500
最大值 [V]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
実効値 [V]	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
電圧 V_R							
div [cm]	2.45	2.03	1.88	2.39	3.09	2.51	2.58
V/div [mV/cm]	20	50	100	500	100	50	20
最大值 [mV]	49	101.5	188	1195	309	125.5	51.6
実効値 [mV]	34.6	71.8	133	844	219	88.7	36.5
電流 I [mA] : $\frac{V_R}{R}$	3.46	7.18	13.3	84.4	21.9	8.87	3.65
電力 P [W] : $\frac{V_R^2}{R}$	0.120	0.516	1.77	71.2	4.77	0.787	0.133
位相差 θ [度]	89.64	86.04	79.56	4.05	77.76	84.96	86.76
力率 $\cos\theta$	0.00628	0.0961	0.181	0.998	0.212	0.0879	0.0565

表 4: 実験結果 (d): $L - C$ 並列

	f [kHz]	0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	50
電	div [cm]	3	3	3	3	3	3	3
圧	V/div [mV/cm]	500	500	500	500	500	500	500
V	最大値 [V]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	実効値 [V]	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
電	div [cm]	2.62	2.350	1.52	3.38	3.09	2.22	2.24
圧	V/div [mV/cm]	500	500	500	20	200	500	500
V_R	最大値 [mV]	1310	1175	760	67.6	618	1110	1120
	実効値 [mV]	926	830	537	47.8	437	785	792
	電流 I [mA] : $\frac{V_R}{R}$	92.6	83.0	53.7	4.78	43.7	78.5	79.2
	電力 P [W] : $\frac{V_R^2}{R}$	85.7	68.9	28.8	0.228	19.1	61.6	62.7
	位相差 θ [度]	17.28	30.6	54.72	68.76	63.36	38.52	16.92
	力率 $\cos\theta$	0.955	0.861	0.578	0.362	0.448	0.782	0.957

6 考察

6.1 力率の誤差

波形から求めた力率（測定値）と， $\cos\theta = \frac{R}{Z}$ の関係より求めた力率（理論値）を表 5 にまとめた。

表 5: 力率の, 理論値と測定値の比較

		f [kHz]						
		0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	50
(a): L 単独	測定値 $\cos\theta$	0.960	0.851	0.633	0.309	0.163	0.0753	0.0314
	理論値 $\frac{R}{Z}$	0.954	0.847	0.623	0.303	0.157	0.0793	0.0318
	誤差	0.00629	0.00472	0.00161	0.0198	0.0382	0.0504	0.0126
(b): C 単独	測定値 $\cos\theta$	0.0251	0.100	0.119	0.310	0.562	0.798	0.957
	理論値 $\frac{R}{Z}$	0.0314	0.0627	0.125	0.210	0.532	0.782	0.953
	誤差	0.251	0.373	0.0504	0.323	0.0534	0.0201	0.0418
(c): L - C 直列	測定値 $\cos\theta$	0.00628	0.0961	0.181	0.998	0.212	0.0879	0.0565
	理論値 $\frac{R}{Z}$	0.0317	0.0653	0.148	0.999	0.208	0.0847	0.0321
	誤差	4.05	0.339	0.182	0.00100	0.0189	0.0365	0.432
(d): L - C 並列	測定値 $\cos\theta$	0.955	0.861	0.578	0.362	0.448	0.782	0.957
	理論値 $\frac{R}{Z}$	0.953	0.837	0.557	0.00415	0.425	0.762	0.952
	誤差	0.00209	0.0279	0.0363	0.989	0.0513	0.0256	0.00522

6.2 周波数と電力・力率の関係

力率は, 式 (3) より,

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

回路 (a) では,

$$X = \omega L = 2\pi f L \cos\theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}}$$

となり, 同一の L, R では, 周波数 f の値が大きくなるほど力率 $\cos\theta$ は 0 に近づく.

反対に, 回路 (b) では,

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

$$\cos\theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}}$$

となり, 同一の C, R では, 周波数 f が大きくなるほど力率は 1 に近づく.

回路 (c) では,

$$X = \left| \omega L - \frac{1}{\omega C} \right| = \left| 2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right|$$
$$\cos\theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right)^2}}$$

周波数 f が $X_C = X_L$ となる値 (共振周波数) になると, $\cos\theta = 1$ となり, その前後は, それぞれ 0 に向かう.

回路 (d) では,

$$X = \frac{1}{\left| \omega C - \frac{1}{\omega L} \right|} = \frac{1}{\left| 2\pi f C - \frac{1}{2\pi f L} \right|}$$
$$\cos\theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C} - \frac{1}{2\pi f L} \right)^2}}$$

周波数 f が $X_C = X_L$ となる値 (共振周波数) になると, $\cos\theta = 0$ となり, その前後は, それぞれ 1 に向かう.

6.3 C の接続により力率が改善する場合

回路 (a) のような L 単独の回路に, C を直列に接続したとき, 共振周波数に近い周波数が流れていれば力率は改善される. また, 共振周波数より大きい周波数が流れている場合は並列に接続すれば力率は改善される.

6.4 定格電力と抵抗の選び方など

抵抗は, それぞれ, それ以上の電力を消費させてはいけないという値 (定格電力) が決まっていて, これを超える電力を消費させた場合, 破損する可能性もある. また, 一般的には安全のために, 定格に近い値では使用せず, 定格電力の 3 割程度の消費電力で使用する.

また, 抵抗値 R の抵抗の定格電力を P としたとき, $P = \frac{V^2}{R}$ より,

$$V^2 = PR$$
$$V = \sqrt{PR}$$

この V が定格電圧である.

抵抗は, 定格電力と使用時の消費電力, または, 定格電圧と使用時の電圧を比較しながら選択する.

6.5 共振

C と L の直・並列回路で， $X_C = X_L$ となることを共振と呼ぶ．また，このときの周波数を共振周波数と呼び，これを f とすると，

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

となる．

今回の実験では， L と C の回路の力率や電力のグラフで，山型や谷型になっている部分の先端のある周波数とその回路の共振周波数で，この周波数でその回路は共振する．

参考文献

- [1] 東京都立工業高等専門学校電子情報工学科，
『電子情報工学実験実習書 — 第2学年 — 』
- [2] 同上，『電力と力率』，プリント（2002/11/25 配布）