

Report on the Experiment

No. 2

Subject インダクタンス・静電容量の測定

Date 2019. 06. 10

Weather 晴れ Temp 26 °C Wet 59.8 %

Class	E3	
Group	6	
Chief		
Partner	大橋	りさ
	二重谷	光輝
	森	和哉
	DANDAR	TUGULDUR

No	15
Name	小畠 一泰

Kure National College of Technology

1 目的

交流ブリッジは交流による抵抗, インダクタンス, 静電容量あるいは周波数の測定に広く利用される. 本章では, 各種の交流ブリッジを利用し, 自己インダクタンス, 相互インダクタンス及び静電容量の測定法とともに LCR メーターの使用法も修得する.

2 実験方法と結果の整理

2.1 使用器具

1. LCR メーター (H9021212)
2. Q, S, r_0, R, P : ダイヤル抵抗 4 台, 備品番号 (Q: 2 番, S: 3 番, R, r_0 : 9 番, P: 4 番)
3. OSC: 低周波発振器 (YP-702B)
4. M_s, L_2 : 可変自己誘導器 (SI-B-50 型 3066H12 号)
5. M_x : 供試インダクタ
6. C_s : 4 ダイヤルコンデンサ (CD-41)(備品番号: B・4-23)
7. C_x : 供試コンデンサ 2 種
8. D: レシーバー
9. K: 三極スイッチ

2.2 実験方法

1. 供試インダクタの自己インダクタンス X_1, X_4 , 和動インダクタンス $X_1 + X_4$, 差動インダクタンス $X_1 - X_4$, を LCR メーターによって測定した. ここで, 式 1 によって相互インダクタンス M を算出しておいた.

$$M = \frac{(L_a - L_b)}{4} \quad (1)$$

2. 供試コンデンサの静電容量を LCR メーターによって測定した.
3. 供試インダクタの内部抵抗 (P_x), 可変自己誘導器の内部抵抗 (R) を LCR メーターによって測定した.

2.2.1 マクスウェルブリッジ

図 2 にしたがって結線をし, Q/S 比を適当な値として r_0 及び L_2 を調節してレシーバーの音が最小となるように平衡をとった. スイッチ K は $SP_x > QR$ なら図 2 において左側に (L_x 側), $SP_x < QR$ なら右側 (L_2 側) に倒した. L_x については 2.2 (1) で測定した端子と同一のものを使用する. また, ここで和動及び差動インダクタンスの測定値から 式 1 より相互インダクタンス M を算出しておいた.

2.2.2 キャンベルブリッジ

図 3 にしたがって結線をし, M_s の調整により平衡をとり, M_x を求める. 試料は X_1, X_4 を使用した.

2.2.3 ウィーンブリッジ

図 4 にしたがって結線をし, 各抵抗を調整し, また同時に C_s を調整して平衡を取り, ρ_x, C_x を求めた.

3 測定結果と処理

1. 測定データをもとに表 1 ~ 5 のように整理した.

表 1: LCR メーターによる測定表

項目	試料	測定値
インダクタンス	X_1	4.958 [mH]
インダクタンス	X_4	62.83 [mH]
インダクタンス	$X_1 + X_4$ (和動)	81.97 [mH]
インダクタンス	$X_1 - X_4$ (差動)	53.70 [mH]
静電容量	黄色	102.23 [nF]
静電容量	白色	22.40 [nF]

表 2: 内部抵抗の測定

項目	試料	測定値 [Ω]
供試インダクタ P_X	X_1	6.938
供試インダクタ P_X	X_4	6.700
供試インダクタ P_X	$X_1 + X_4$ (和動)	8730
供試インダクタ P_X	$X_1 - X_4$ (差動)	3800
可変自己誘導機	R	28.50

表 3: マクスウェルブリッジ

試料	Q [Ω]	S [Ω]	r_0 [Ω]	L_2 [mH]	R [Ω]	L_X [mH]	P_X [Ω]	スイッチの 向き
$X_1 + X_4$	300	100	54.5	27.25	28.5	81.75	31.00	L_2
$X_1 - X_4$	300	100	54.8	18	28.5	54.00	30.70	L_2

表 4: キャンベルブリッジ

試料	M_S [mH]
X_1, X_4	7.0675

表 5: ウィーンブリッジ

試料	Q [Ω]	S [Ω]	P [Ω]	R [Ω]	C_S [μF]	C_X [μF]	ρ_X [Ω]
黄色	100.000	102.400	1000.000	1000.000	0.22403	0.18850	24.000
白	1000.000	1000.000	10100.000	10100.000	1.01366	0.10227	0.000

表 6: 自己インダクタンス (マクスウェルブリッジ)

試料	LCR メーター測定値 [mH]	測定値 [mH]	誤差率 [%]
$X_1 + X_4$ (和動)	81.97	81.75	-0.2684
$X_1 - X_4$ (差動)	53.70	54.00	0.5587

表 7: 内部抵抗 (マクスウェルブリッジ)

試料	LCR メーター測定値 [Ω]	測定値 [Ω]	誤差率 [%]
$X_1 + X_4$ (和動)	8730	31.00	-99.6449
$X_1 - X_4$ (差動)	3800	30.70	-99.1921

表 8: 相互インダクタンス

試料	LCR メーター測定値 [mH]	マクスウェルブリッジ		キャンベルブリッジ	
		測定値 [mH]	誤差率 [%]	測定値 [mH]	誤差率 [%]
X_1, X_4	7.0675	6.9375	-0.018394	7.105	0.005306

表 9: 静電容量 (ウィーンブリッジ)

試料	LCR メーター測定値 [nF]	測定値 [nF]	誤差率 [%]
黄色	102.23	100.36	-0.0183

試料	LCR メーター測定値 [nF]	測定値 [nF]	誤差率 [%]
白	22.40	22.40	0.0001

4 考察

1. 表 6～表 9 をもとに各測定方法の誤差について吟味せよ.

表 6, 表 8, 表 9 においては誤差率が 1% 以下であるため問題なく測定できたと考えてよい.

しかし, 表 7 においては LCR メーターで内部抵抗の測定を失敗しているようだ. そのため, 誤差率が -99% と異常である.

2. 各測定法の特徴を調べ, 実際測定, 測定結果を通して吟味せよ.

- マクスウェルブリッジ

- マクスウェルブリッジは, 抵抗とインダクタンスを可変にし, 未知のインダクタンスの値を求める測定方法である.
- 本実験ではレシーバーの音が聞こえない = 平衡状態であるので, そこから未知のインダクタンスを L_2 と内部抵抗 P_x が求められる.
- 表 6, 表 8 よりインダクタンスの測定誤差は小さく, 正確に算出できた.
- 表 7 に関しては LCR メーターでの測定ミスにより不明.

- キャンベルブリッジ

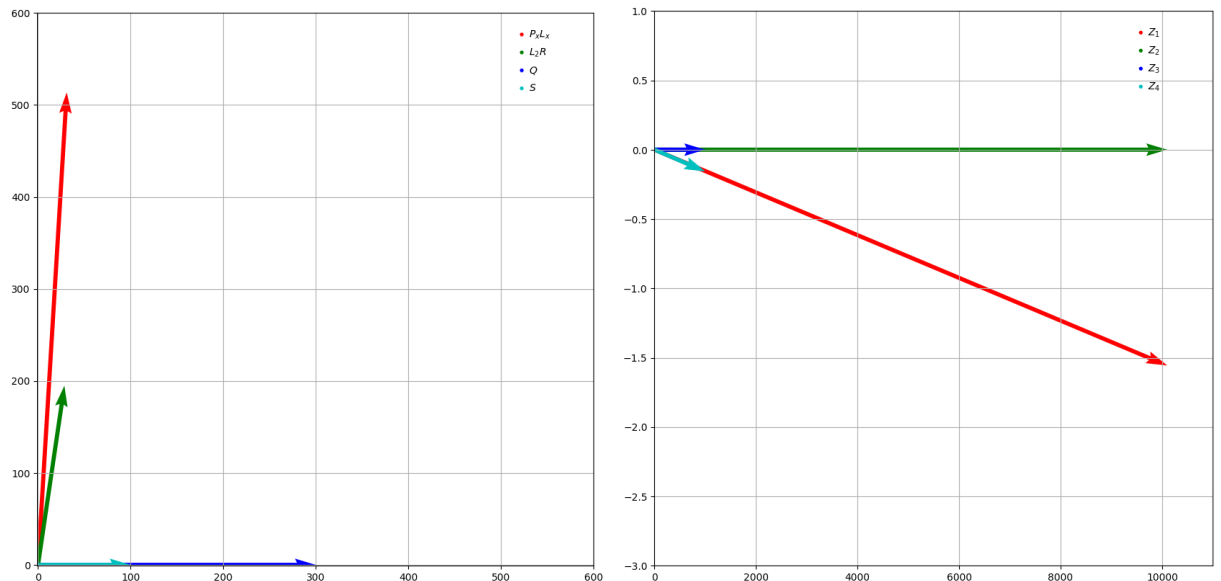
- キャンベルブリッジは, M_x, M_s の 1 次コイルを直列接続して電源に繋ぎ, 2 次コイルの誘起電圧が相殺するように M_s を調整して, 未知の相互インダクタンスを求める測定方法である.
- 本実験ではレシーバーの音が聞こえない = 平衡状態であるので, そこから $M_x = M_s$ より未知のインダクタンスの値を求める.
- 表 8 よりインダクタンスの測定誤差は小さく, 正確に算出できた.

- ウィーンブリッジ

- ウィーンブリッジは可変抵抗と既知のコンデンサを用いて, 未知のコンデンサの静電容量を求める測定方法である.
- 本実験ではレシーバーの音が聞こえない = 平衡状態であるので, そこから未知のコンデンサの静電容量を求める.
- また, 表 9 よりウィーンブリッジを用いると非常に正確に静電容量を測定できることが分かる.

5 研究

1. マクスウェルブリッジの平衡時のベクトル図およびウィーンブリッジの平衡時のベクトル図を描け.



2. 交流ブリッジの測定上注意すべきこと柄を次の項目別に述べよ.

1. 電源周波数 回路の測定中に電源周波数を変えてはならず, は常に一定でなければならない. なぜならば, 電源周波数を変えると, インピーダンスの虚数部が変化してしまうから.
 2. 残留インピーダンス 各素子や導線には残留インピーダンスがあるため, 平衡をとり測定する時にはインダクタンスやキャパシタンスにある内部抵抗を考慮して測定しなければならない.
 3. 電磁結合 コイルは電磁結合をすると, 互いのインダクタンスに誘起電圧を生じるため, 測定時には, 相互インダクタンス M を考慮しなければならない.
 4. 対地容量 回路素子は基板の接地部分との間に対地容量をもつため, 測定対象インピーダンスが高くなるとこの影響が大きくなり, 誤差が出てくる.
3. 図 1 は L , M の火を抵抗と比較して求めるマクスウェルブリッジ 2 の回路図である. ブリッジの平衡から, L_x , P を求める式を導き, L_x を既知とした時 M の測定も可能であることを示せ.

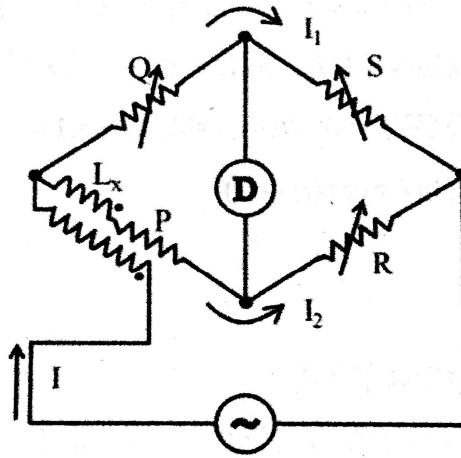


図 1: マクスウェルブリッジ 2

ブリッジの平衡条件より,

$$S(P + j\omega(L_x - M)) = R(Q + j\omega M) \quad (2)$$

式 2 の虚数部を比較して,

$$\begin{aligned} S(j\omega(L_x - M)) &= j\omega MR \\ S(L_x - M) &= MR \\ SL_x &= (S + R)M \\ L_x &= \left(1 + \frac{R}{S}\right)M \end{aligned} \quad (3)$$

式 2 の実数部を比較して,

$$\begin{aligned} SP &= RQ \\ \frac{R}{S} &= \frac{P}{Q} \end{aligned} \quad (4)$$

よって, M の測定も可能である.

6 参考文献

- 電磁気計測, 著: 岩崎俊, コロナ社, 2017 年, p.100(マクスウェルブリッジ)
- 電磁気計測, 著: 岩崎俊, コロナ社, 2017 年, p.117(ウィーンブリッジ)