

7. 考察

7. 1 直流における B の誤差検討

表 7.1 に、直流における B の誤差を示す。補正值は電流計の内部抵抗を考慮した値である。

表 7.1 各回路における B の測定値と理論値、誤差および誤差率

回路	測定値	補正值	理論値	誤差	誤差率
(1)	1.0434	1.0018	1.0000	0.0018	0.1804
(2)	1.0831	0.9999	1.0000	-2.94×10^{-5}	-0.0029
(3)	3.0611	2.9780	3.0000	-0.220	-0.7343

実際の測定では、抵抗器以外にも電流計を直列に接続している。その内部抵抗により、回路全体の抵抗は大きくなる。また、銅線抵抗も、回路全体の抵抗を上昇させる要因である。それらによって理論的には要素 B に入る R の値は、実際には、電流計の内部抵抗を r 、銅線抵抗を r_0 、合成抵抗を R_0 とすると、

$$R_0 = R + r + r_0$$

また、電流計の補正值を考慮した各回路の F 行列は、

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & R+r \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \cdots \text{回路(1)} \\ \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 2r+R \\ \frac{1}{R} & 1+\frac{r}{R} \end{bmatrix} \quad \cdots \text{回路(2)} \\ \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 2 & 2r+3R \\ \frac{1}{R} & 2+\frac{r}{R} \end{bmatrix} \quad \cdots \text{回路(3)} \end{aligned}$$

となる。ここで、 r_0 は R に比べて極めて小さいため、無視できるものとする。

今回の測定では、電流計のレンジは全て 10[mA] で測定している。測定回路 4.1 で、適当な負荷を持つ回路を接続して電流計の両端の電圧を測定し、その電圧を全体の電流で割ると、そのレンジでの内部抵抗がオームの法則より求められる。

(1)～(3)の回路で、10[mA]時の電流計の内部抵抗を調べると、まず(1)は I_1 が流れないため定義されず、(2)、(3)共に 41.58[Ω]という値となった。この内部抵抗の誤差は、測定に使用した抵抗器の誤差と比べて小さいために、銅線抵抗と同じく、電流計の内部抵抗の誤差は無視できる。

以上より、銅線抵抗を無視し、電流計の内部抵抗による補正をした上で誤差を求めた結果が表 7.1 の誤差及び誤差率である。上表より、各回路の誤差率は全て ± 1 [%]内に収まっている。また測定に使用した炭素皮膜抵抗器の公称誤差率は ± 1 [%]であることから、得られた誤差は妥当であると言える。

また、要素 D においても同様のことが言える。

7. 2 交流における各要素のグラフについての考察

図 6.2～6.5 のグラフにおいて、測定点の殆どは理論線上、もしくはその付近に存在しているといえる。そのため、測定値と理論値の差はそれほど無いといえる。図 6.6～6.9 のグラフにおいて、測定点のうちいくつかは理論線と離れたところに現れている。これは、小さい測定値を基に位相を算出していることに起因すると考えられる。誤差の

性質として、測定する値が小さければ全体の誤差が大きく、反対に測定する値が大きければ全体の誤差および誤差率は小さいというものがある。それに加え、小さい測定値自体がノイズの影響を受けやすいのも、このずれの原因と考えられる。

7. 3 Fマトリクスの性質

Fマトリクスは、能動回路ならば $AD-BC=1$ 、対称回路ならば $A=D$ になる性質を持つ。理論式は実験結果の項で述べたもので、(2)を除き全て対称回路である。当然、 $AD-BC=1$ となり、(2)以外の回路は $A=D$ を満たしている。

直流における、 $AD-BC$ 、 $A-D$ を次の表 7.2 に示す。

表7.2 $AD-BC$ 及び $A-D$ の値

回路	$AD-BC$	$A-D$	$AD-BC$ 誤差	$AD-BC$ 誤差率
(1)	1.0045	-0.0042	0.0045	0.45
(2)	0.9955	0.9560	-0.0045	-0.45
(3)	1.0369	-0.0333	0.0369	3.69

この表より、この三つの回路は能動回路の条件を満たしており、更にそのうち(1)と(3)の回路は対称回路であると言える。誤差については、 A 、 B 、 C 、 D 全ての要素に対して $\pm 1[\%]$ の公称誤差値があつて、また積の誤差率はそれぞれの要素の誤差率の和なので、 AD 、 BC の時点で $\pm 2[\%]$ の誤差を含んでいると考えられる。また、和（差）の誤差伝播の法則より、測定値の誤差はそれぞれの誤差の和となって現れる。そのことを踏まえれば、各回路の誤差、誤差率ともに妥当であると言える。

交流における $AD-BC$ 、 $A-D$ を次の表 7.3 に示す。

表7.3 交流における $AD-BC$ 、 $A-D$

f[Hz]	$AD-BC$ 実測	$AD-BC$ 理論	$A-D$ 大きさ	$A-D$ 位相[°]	$AD-BC$ 誤差	$AD-BC$ 誤差率
10	1.0115	1	0.0067	0	0.0115	1.1455
100	1.0119	1	0.0021	-2	0.0119	1.1904
1000	1.0048	1	0.0007	-1.5	0.0048	0.4772
10000	0.9206	1	0.3236	-0.4	-0.0794	-7.9424
100000	3527.3047	1	0.6854	-0.7	3526.3047	352630.4719

誤差および誤差率に関しては直流時のそれと同様に考えることができるが、100[kHz]時の $AD-BC$ は大きな値になった。それ以外の時には、概ね $AD-BC=1$ を満たしているといえる。この $AD-BC$ の値は、抵抗の周波数特性によって抵抗値が変化したり、周波数が増加したことによって熱雑音が増加したためだと考えられる。

7. 4 誤差の要因とその減少方法

誤差の要因として、出力が小さいことによって、出力信号におけるノイズの占める割合が大きくなっている（ノイズの影響を受けやすくなっている）ことが考えられる。このノイズは、オシロスコープの内部のみで発生しているもので、その殆どが熱雑音である。よって、出力信号を大きくすることで、出力信号におけるノイズの占める割合を小さくすることで、誤差の要因であるノイズの影響を小さくすることができる。具体的には、オシロスコープの感度を上げるなどをすればよい。