

第 3 章 ダブルブリッジによる低抵抗の測定

Measurements of Low Resistance by Double Bridge

3.1 目的

ダブルブリッジの構造および原理を理解し、これによって低抵抗（ 1Ω 以下）を測定する方法を習得し、導電材料の抵抗率の概念を理解する。

3.2 理論

ダブルブリッジはホイートストンブリッジと電位降下法の原理を応用して、接続線の抵抗および接触抵抗の影響をできるだけ少なくしたもので、低抵抗の測定に用いられる。

図 3.1 はダブルブリッジの原理を示している。 m 、 n は比例辺、 m' 、 n' は補助比例辺、 X は被測定抵抗である。矢印の方向に電流を流し、各辺の抵抗を変えて平衡状態を得たとすれば、次のような関係が成立する。

$$i_1 m = i_2 X + i_3 m' \quad i_1 n = i_2 R + i_3 n' \quad (3.1)$$

これから

$$\frac{m}{n} = \frac{i_2 X + i_3 m'}{i_2 R + i_3 n'} = \frac{X + \frac{i_3}{i_2} m'}{R + \frac{i_3}{i_2} n'} \quad (3.2)$$

また、bc 間の接続抵抗を α とすれば、

$$(i_2 - i_3)\alpha = i_3(m' + n') \quad (3.3)$$

となる関係がある。したがって、

$$\frac{i_3}{i_2} = \frac{\alpha}{m' + n' + \alpha} \quad (3.4)$$

この式を式(3.2)に代入すれば、

$$\frac{m}{n} = \frac{X + \frac{m'\alpha}{m' + n' + \alpha}}{R + \frac{n'\alpha}{m' + n' + \alpha}} \quad (3.5)$$

これから X を求めれば、

$$X = \frac{m}{n} R + \left(\frac{m}{n} - \frac{m'}{n'} \right) \frac{n' \alpha}{m' + n' + \alpha} \quad (3.6)$$

となる。いま、 $m/n = m'/n'$ の関係が成立すれば、右辺の第 2 項は零になり、

$$X = \frac{m}{n} R = \frac{m'}{n'} R \quad (3.7)$$

となり、bc 間の接続抵抗 α の影響を避けて、 X の値を求めることができる。

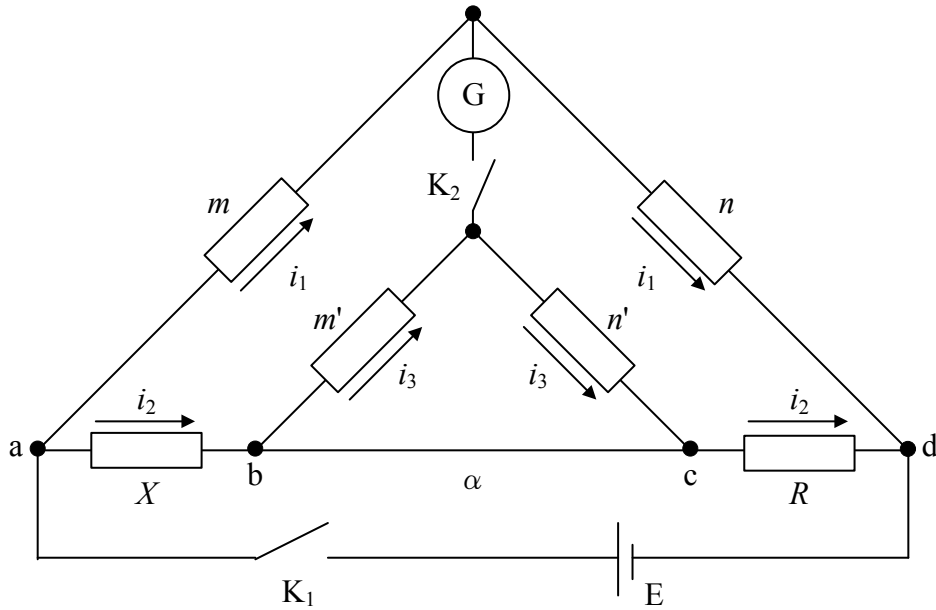


図 3.1 : ダブルブリッジの原理図

3.3 方法

図 3.2 はケルビンダブルブリッジの構造および接続を示す。ダブルブリッジ装置には標準用抵抗 Ω 、検流計 G 、比例辺抵抗 M 、補助比例辺抵抗 M' が内蔵されている。被測定抵抗 X は接続導体の抵抗が小さいクランプ装置に取り付けられている。接続端子は C_1 、 P_1 、 P_2 、及び C_2 の 4 つで、 C_1 と C_2 は電流測定用導線端子、 P_1 と P_2 は電圧測定用導線端子である。電圧測定用導線の抵抗および接触抵抗は比較的高抵抗の比例辺に直列に接続されるから、測定誤差をごくわずかにすることができる。

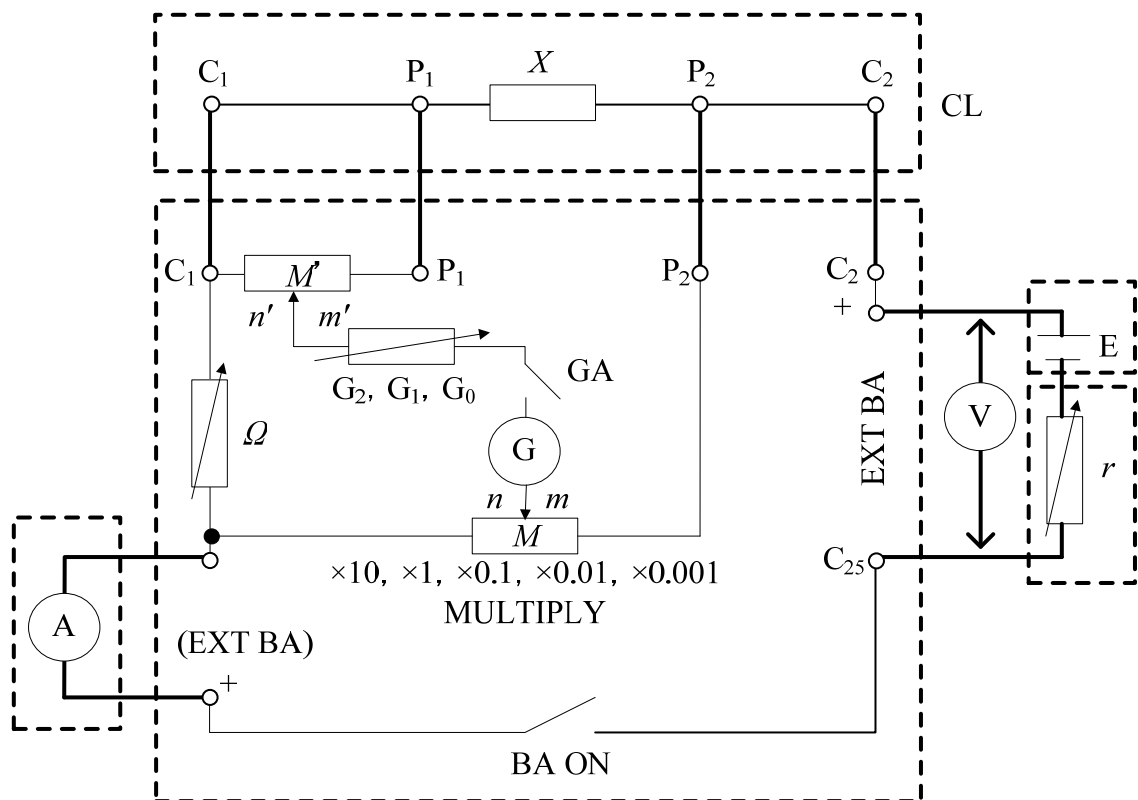


図 3.2 ダブルブリッジの結線図

E : 直流電源 V : 直流電圧計 A : 直流電流計
G : 検流計 X : 被測定抵抗 M : 比例辺抵抗
M' : 補助比例辺抵抗 Q : 抵抗 (既知値) CL : クランプ装置
C₁、C₂ : 電流測定用導線端子 P₁、P₂ : 電圧測定用導線端子

ダブルブリッジは、つねに $m/n = m'/n'$ の関係が満足されているから、適当な M の値に対して平衡状態を得れば、

$$X = MQ \quad (3.8)$$

となる。ただし、

$$M = m/n = m'/n' \quad (3.9)$$

である。

試料は、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、ニッケル(Ni)、洋銀、リン青銅など、導電材料の線 (導線) である。抵抗 X を各々3回測定し平均値 X_{AVE} を求めた後、次式から抵抗率を求める。

$$\rho = \frac{\pi D_{AVE}^2}{4L_{AVE}} X_{AVE} \quad (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}) \quad (3.10)$$

ただし、 D_{AVE} ：導線直径の平均値(mm)、 L_{AVE} ：導線長さの平均値(m)である。
銅線の直径及び長さは、それぞれデジタルノギス及び物差しを用いて各々3回測定する。

3.4 結果

周囲温度 _____℃

3.4.1 導線の直径と長さの測定結果

測定導線の種類	直径 $D(\text{mm})$	直径平均値 $D_{AVE}(\text{mm})$	長さ $L(\text{m})$	長さ平均値 $L_{AVE}(\text{m})$

3.4.2 導線の抵抗測定結果

測定導線の種類	比例辺 M	ダイアルの 指示抵抗値(Ω)	導線抵抗値 $X(\Omega)$	抵抗平均値 $X_{AVE}(\Omega)$

3.4.3 抵抗率

測定導線の種類	直径平均値 $D_{AVE}(\text{mm})$	長さ平均値 $L_{AVE}(\text{m})$	抵抗平均値 $X_{AVE}(\Omega)$	抵抗率 $\rho (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$

求めた各種の導電材料の抵抗率を 20℃の値に換算して、公称値（表 3.1 参照）と比較検討する。温度 $T(^{\circ}\text{C})$ の抵抗率 ρ_T は

$$\rho_T = \rho_{20}(1 + \alpha(T - 20)) \quad (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}) \quad (3.11)$$

で示される。ただし、 α は抵抗の温度係数（表 3.1 参照）である。

3.5 注意

デジタルノギスで被測定導線の直径を測定する際、大きな力を加えて被測定導線をつぶさないよう注意すること。

3.6 考察のヒント

※抵抗率の意味を調べ、データを比較する際に抵抗ではなく抵抗率を使うのはなぜか検討する。

※測定データを見るとわかりますが、材料により抵抗率が異なります。その理由は？何が抵抗率を決めているのでしょうか。

※式(3.10)より、抵抗率の計算には抵抗、線の直径（太さ）、長さを使います。表3.1のデータと実験値を比較し、その差は線の直径や長さの測定誤差で説明できるか検討する。

※金属が正の温度係数を持つ理由を調べてみる。

3.7 導電材料の抵抗率

表 3.1：導電材料の抵抗率(20℃)

材料	抵抗率 $\rho(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	温度係数 $\alpha (1/^\circ\text{C})$
モリブデン	0.0477	0.0033
タングステン	0.0548	0.0045
ニッケル	0.0690	0.0060
銀	0.0162	0.0038
アルミニウム	0.0262	0.0039
銅	0.0169	0.0039
リン青銅	0.02～0.06	0.030～0.040
洋銀	0.20～0.40	0.00034
マンガン	0.40～0.50	0.00001
ニクロム	1.00～1.10	0.00020