

# Riešenie Wheatsonovho mostíka

17.0.03 ①  
J. H.

## Obsah:

1. Teoretický rozbor Wheatsonovho mostíka
2. Teoretický rozbor merania odporu na Wheatsonovom mostíku
3. Výpočet parametrov Wheatsonovho mostíka zo zadaných hodnôt

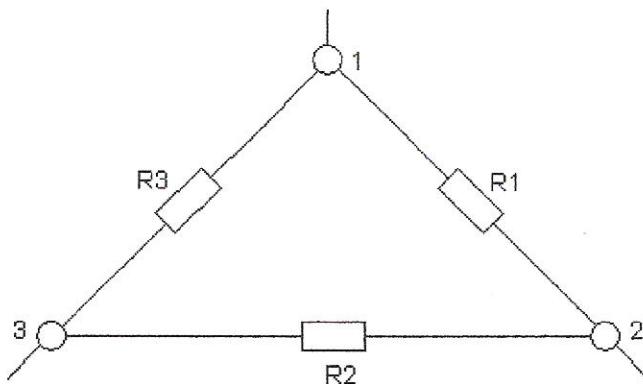
## 1. Teoretický rozbor Wheatsonovho mostíka

Wheatsonov mostík (ďalej už len WM) sa používa pre laboratórne meranie veľkosti odporu.

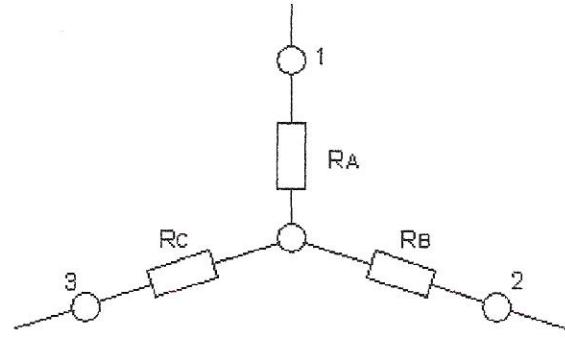
Teoretické, komplexné riešenie WM, tj. určenie veľkosti prúdov a napäti na mostíku, vyžaduje znalosť **transfigurácie** (tj. premeny, pretvorenia).

V praxi sa najčastejšie vyskytuje potreba nahradíť tzv. zapojenie do **trojuholníka** zapojením do tzv. **hviezdy**.

Princíp transfigurácie, tj. premeny zapojenia v trojuholníku na zapojenie vo hviezde spočíva v tom, že výsledný odpor medzi bodmi 1, 2, 3 musí byť rovnaký.

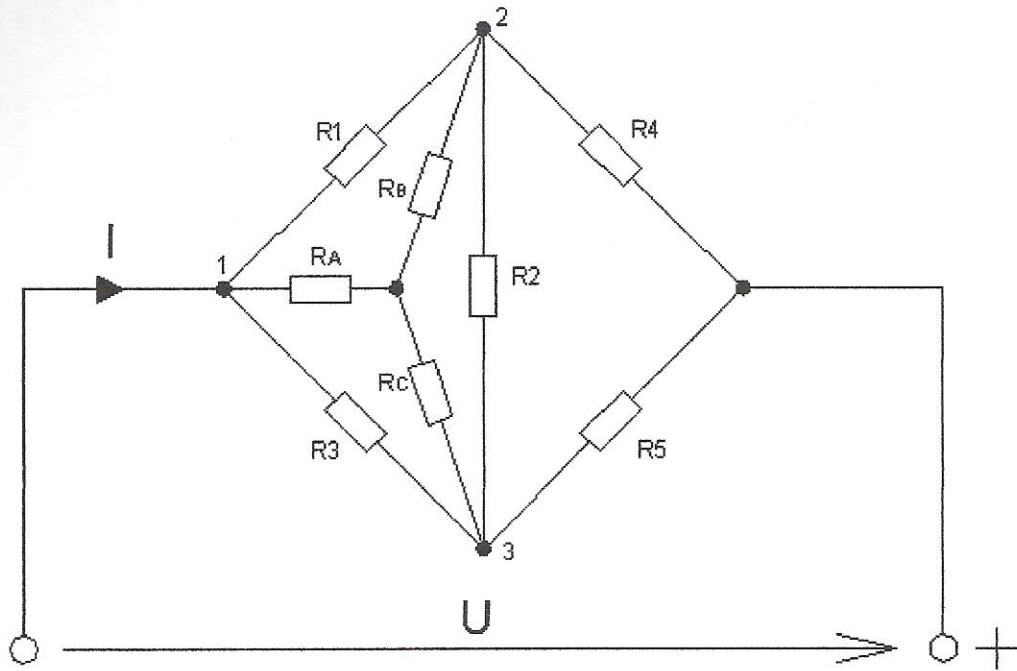


TROJUHOLNÍK



HVIEZDA

## Transfigurácia ľavej strany WM(výpočet $I_{R4}$ , $I_{R5}$ , $U_{R4}$ , $U_{R5}$ , $I$ , $R$ ):



A. Odpor medzi bodmi 1 a 2 v trojuholníku musí byť rovnaký ako odpor medzi bodmi 1 a 2 vo hviezde.

TROJUHOLNÍK:

$$\frac{1}{_T R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_3}$$

$$\frac{1}{_T R_{1,2}} = \frac{(R_2 + R_3) + R_1}{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}$$

$$_T R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$_T R_{1,2} = {}_H R_{1,2}$$

$$\frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_A + R_B$$

HVIEZDA:

$${}_H R_{1,2} = R_A + R_B$$

B. Odpor medzi bodmi 1 a 3 v trojuholníku musí byť rovnaký ako odpor medzi bodmi 1 a 3 vo hviezde.

TROJUHOLNÍK:

$$\frac{1}{_T R_{1,3}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{1}{_T R_{1,3}} = \frac{(R_1 + R_2) + R_3}{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}$$

$$_T R_{1,3} = \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

HVIEZDA:

$${}_H R_{1,3} = R_A + R_C$$

$$_T R_{1,3} = {}_H R_{1,3}$$

$$\frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_A + R_C$$

C. Odpor medzi bodmi 2 a 3 v trojuholníku musí byť rovnaký ako odpor medzi bodmi 2 a 3 vo hviezde.

**TROJUHOLNÍK:**

$$\frac{1}{_T R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1 + R_3}$$

$$\frac{1}{_T R_{2,3}} = \frac{(R_1 + R_3) + R_2}{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}$$

$$_T R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$_T R_{2,3} = {}_H R_{2,3}$$

$$\frac{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_B + R_C$$

**HVIEZDA:**

$${}_H R_{2,3} = R_B + R_C$$

Záver: Pre ďalší výpočet mám pripravenú sústavu troch rovnic

$$\text{I. } (1 - 2) \quad \frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_A + R_B$$

$$\text{II. } (1 - 3) \quad \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_A + R_C$$

$$\text{III. } (2 - 3) \quad \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_B + R_C$$

**RIEŠENIE:** Použijem rovnice I. a III.

$$\text{I. } \frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_A + R_B$$

$$\text{III. } \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_B + R_C$$


---

$$\text{I. } R_B = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} - R_A$$

$$\text{III. } R_B + R_C = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$


---

$$\left[ \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} - R_A \right] + R_C = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_C = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} - \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + R_A$$

$$R_C = \frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + R_A$$

Dosadím do II. rovnice:

$$\text{II.} \quad \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = R_A + R_C$$

---

$$\begin{aligned}\frac{R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} &= R_A + \frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + R_A \\ 2R_A &= -\frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + \frac{R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_A &= \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\end{aligned}$$

Odvodíme si  $R_B$  z I. rovnice:

$$\text{I.} \quad R_B = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} - R_A$$

---

$$\begin{aligned}R_B &= \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} - \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_B &= \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}\end{aligned}$$

Odvodíme si  $R_C$  z III. rovnice:

$$\text{III.} \quad R_B + R_C = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

---

$$\begin{aligned}R_C &= \frac{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} - \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_C &= \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\end{aligned}$$

Teraz prikročíme ku komplexnému riešeniu WM. Máme vypočítať:

- celkový prúd tečúci mostíkom (I)
- prúdy tečúce jednotlivými odporníkmi ( $I_{R1}, I_{R2}, I_{R3}, I_{R4}, I_{R5}$ )
- napäcia na jednotlivých odporníkoch ( $U_{R1}, U_{R2}, U_{R3}, U_{R4}, U_{R5}$ )
- celkový odpor mostíka (R)

Použijem Ohmov zákon na výpočet celkového prúdu - I pričom U je dané:

$$I = \frac{U}{R}$$

### Celkový odpor(R) WM:

$$R = R_A + R_{B,4,C,5}$$

$$\frac{1}{R_{B,4,C,5}} = \frac{1}{R_B + R_4} + \frac{1}{R_C + R_5}$$

$$\frac{1}{R_{B,4,C,5}} = \frac{R_4 + R_5 + R_B + R_C}{(R_B + R_4) \cdot (R_C + R_5)}$$

$$R_{B,4,C,5} = \frac{(R_B + R_4) \cdot (R_C + R_5)}{R_4 + R_5 + R_B + R_C}$$

Dosadím do rovnice:

$$R = R_A + \frac{(R_B + R_4) \cdot (R_C + R_5)}{R_4 + R_5 + R_B + R_C}$$

Použijem odvodené vzťahy pre  $R_A$ ,  $R_B$  a  $R_C$ . Teraz dosadím za  $R_A$  a vypočítam celkový odpor WM:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + \frac{(R_B + R_4) \cdot (R_C + R_5)}{R_4 + R_5 + R_B + R_C}$$

Výpočet R realizujem dosadením príslušných hodnôt.

Pre výpočet prúdov a napäti na jednotlivých odporníkoch potrebujem vypočítať  $U_{RA}$

$$U_{RA} = I \cdot R_A$$

Na zostatku obvodu bude napätie, ktoré označím ako  $U_1$

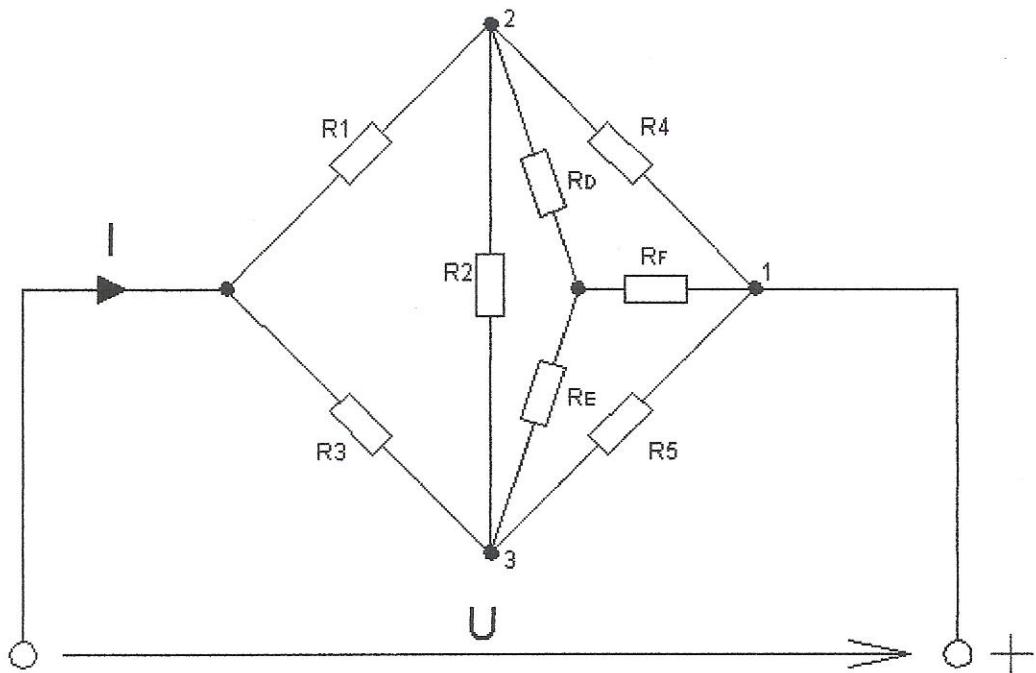
$$U_1 = U - U_{RA}$$

Teraz vyriešim prúdy tečúce hornou a spodnou vetvou, pričom horná vetva je tvorená  $R_B$  a  $R_4$  a spodná vetva je tvorená  $R_C$  a  $R_5$ .

$$I_{R4} = \frac{U_1}{R_B + R_4} \Rightarrow U_{R4} = I_{R4} \cdot R_4$$

$$I_{R5} = \frac{U_1}{R_C + R_5} \Rightarrow U_{R5} = I_{R5} \cdot R_5$$

## Transfigurácia pravej strany WM(výpočet $I_{R1}, I_{R3}, U_{R1}, U_{R3}, \dots$ ):



A. Odpor medzi bodmi 1 a 2 v trojuholníku musí byť rovnaký ako odpor medzi bodmi 1 a 2 vo hviezde.

**TROJUHOLNÍK:**

$$\frac{1}{_T R_{1,2}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2 + R_5}$$

$$\frac{1}{_T R_{1,2}} = \frac{(R_2 + R_5) + R_4}{R_4 \cdot (R_2 + R_5)}$$

$$_T R_{1,2} = \frac{R_4 \cdot (R_2 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5}$$

$$_T R_{1,2} = {}_H R_{1,2}$$

$$\frac{R_4 \cdot (R_2 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_F$$

**HVIEZDA:**

$${}_H R_{1,2} = R_D + R_F$$

B. Odpor medzi bodmi 1 a 3 v trojuholníku musí byť rovnaký ako odpor medzi bodmi 1 a 3 vo hviezde.

**TROJUHOLNÍK:**

$$\frac{1}{_T R_{1,3}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_2 + R_4}$$

$$\frac{1}{_T R_{1,3}} = \frac{(R_2 + R_4) + R_5}{R_5 \cdot (R_2 + R_4)}$$

$$_T R_{1,3} = \frac{R_5 \cdot (R_2 + R_4)}{R_2 + R_4 + R_5}$$

**HVIEZDA:**

$${}_H R_{1,3} = R_E + R_F$$

$$_T R_{1,3} = {}_H R_{1,3}$$

$$\frac{R_5 \cdot (R_2 + R_4)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_E + R_F$$

C. Odpor medzi bodmi 2 a 3 v trojuholníku musí byť rovnaký ako odpor medzi bodmi 2 a 3 vo hviezde.

TROJUHOLNÍK:

$$\frac{1}{_T R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4 + R_5}$$

$$\frac{1}{_T R_{2,3}} = \frac{(R_4 + R_5) + R_2}{R_2 \cdot (R_4 + R_5)}$$

$$_T R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot (R_4 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5}$$

$$_T R_{2,3} = {}_H R_{2,3}$$

$$\frac{R_2 \cdot (R_4 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_E$$

HVIEZDA:

$${}_H R_{2,3} = R_D + R_E$$

Záver: Pre ďalší výpočet mám pripravenú sústavu troch rovnic

$$\text{I. } (1 - 2) \quad \frac{R_4 \cdot (R_2 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_F$$

$$\text{II. } (1 - 3) \quad \frac{R_5 \cdot (R_2 + R_4)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_E + R_F$$

$$\text{III. } (2 - 3) \quad \frac{R_2 \cdot (R_4 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_E$$

RIEŠENIE: Použijem rovnice I. a III.

$$\text{I. } \frac{R_4 \cdot (R_2 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_F$$

$$\text{III. } \frac{R_2 \cdot (R_4 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_E$$

$$\text{I. } R_D = \frac{R_2 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} - R_F$$

$$\text{III. } \frac{R_2 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_E$$

$$\left[ \frac{R_2 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} - R_F \right] + R_E = \frac{R_2 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5}$$

$$R_E = \frac{R_2 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} - \frac{R_2 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} + R_F$$

$$R_E = \frac{R_2 \cdot R_5 - R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} + R_F$$

Dosadím do II. rovnice:

$$\text{II.} \quad \frac{R_5 \cdot (R_2 + R_4)}{R_2 + R_4 + R_5} = R_E + R_F$$

---

$$\begin{aligned}\frac{R_2 \cdot R_5 + R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} &= \frac{R_2 \cdot R_5 - R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} + R_F + R_F \\ 2R_F &= -\frac{R_2 \cdot R_5 - R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} + \frac{R_2 \cdot R_5 + R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} \\ R_F &= \frac{R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5}\end{aligned}$$

Odvodím si  $R_D$  z I. rovnice:

$$\text{I.} \quad R_D = \frac{R_2 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} - R_F$$

---

$$\begin{aligned}R_D &= \frac{R_2 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} - \frac{R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} \\ R_D &= \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4 + R_5}\end{aligned}$$

Odvodím si  $R_E$  z III. rovnice:

$$\text{III.} \quad \frac{R_2 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = R_D + R_E$$

---

$$\begin{aligned}R_E &= \frac{R_2 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} - \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4 + R_5} \\ R_E &= \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5}\end{aligned}$$

Pre výpočet prúdov a napäť na jednotlivých odporníkoch potrebujem vypočítať  $U_{RF}$

$$U_{RF} = I \cdot R_F$$

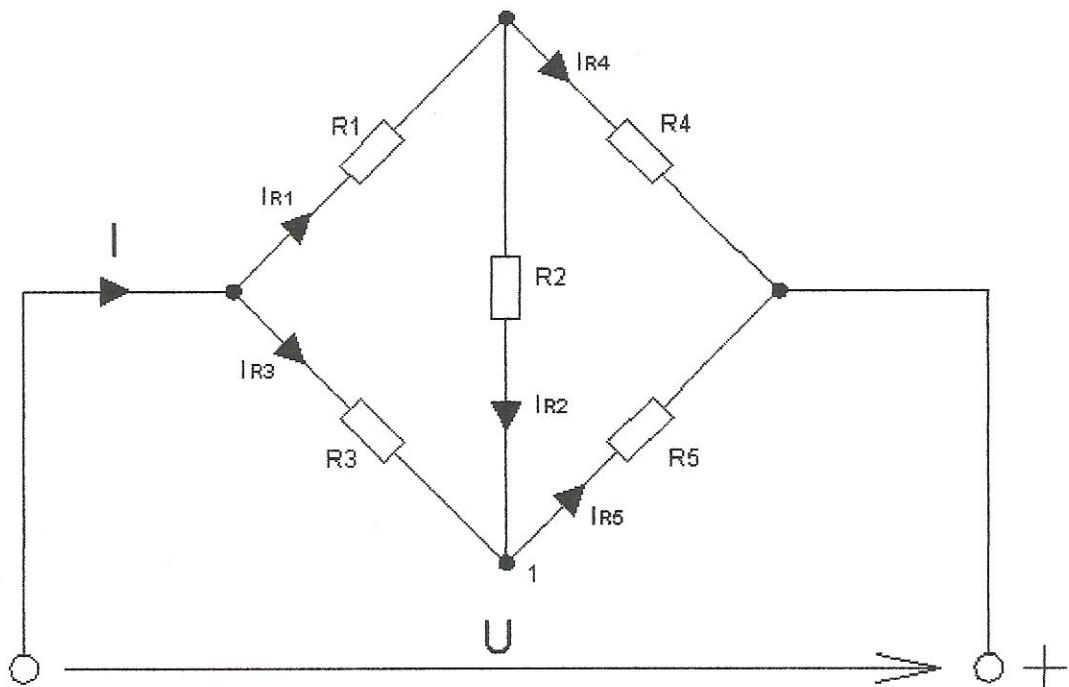
Na zostatku obvodu bude napätie, ktoré označím ako  $U_2$

$$U_2 = U - U_{RF}$$

Teraz vyriešim prúdy tečúce hornou a spodnou vetvou, pričom horná vetva je tvorená  $R_D$  a  $R_1$  a spodná vetva je tvorená  $R_E$  a  $R_3$ .

$$I_{R1} = \frac{U_2}{R_D + R_1} \Rightarrow U_{R1} = I_{R1} \cdot R_1$$

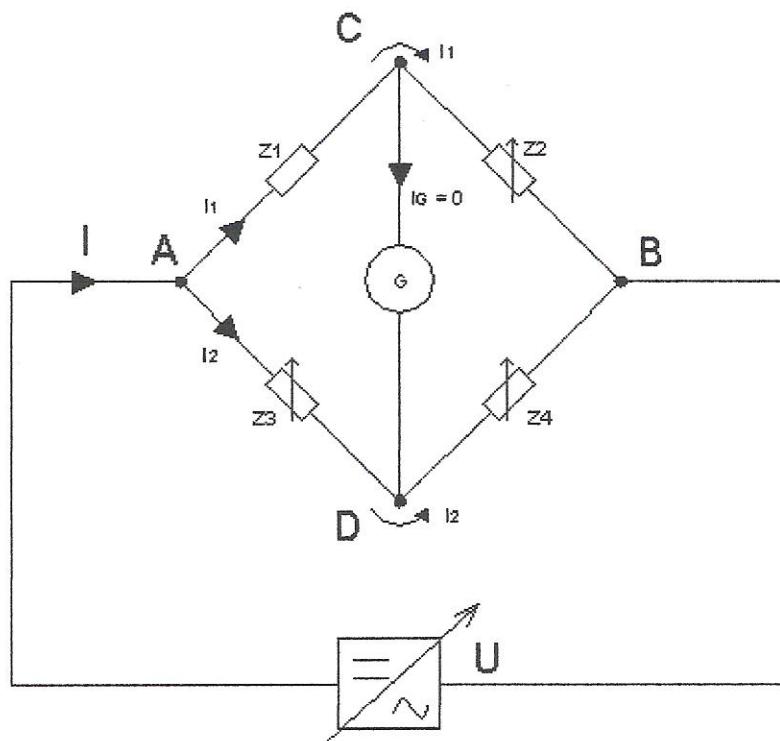
$$I_{R5} = \frac{U_2}{R_E + R_3} \Rightarrow U_{R3} = I_{R3} \cdot R_3$$



Ak poznám hodnoty prúdov  $I_{R1}$ ,  $I_{R3}$ ,  $I_{R4}$ ,  $I_{R5}$ , vyriešim prúd  $I_{R2}$  a napätie  $U_{R2}$  pomocou I. KZ. Napr. uzol č.1:

$$I_{R3} + I_{R2} - I_{R5} = 0 \Rightarrow I_{R2} = I_{R5} - I_{R3} \Rightarrow U_{R2} = I_{R2} \cdot R_2$$

## 2. Teoretický rozbor merania odporu na WM



## Teória obecného mostíka:

Na meranie odporu požívame tzv. vyvážený mostík. Základné zapojenie je zrejmé zo schémy.

Obecne nemusíme používať termín odpor, ale môžeme hovoriť o impedancii. Impedancia  $Z_1$  nech je neznáma;  $Z_1 = Z_x$ . Impedancie  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$  sú známe a aspoň dve z nich sú premenné (regulovateľné).

Tzv. vyvážovanie mostíka spočíva v tom, že impedancie  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$  meníme tak dlho, až kym diagonálou nepreteká žiadny prúd.

V praxi to realizujeme tak, že do diagonály zapojíme multimeter prepnutý na najmenší možný rozsah ( $200\mu A$ ).

### Pre vyvážený stav platí:

- 1) Medzi bodmi C a D nesmie byť žiadne napätie, tj. že potenciál bodu C sa musí rovnať potenciálu bodu D.
- 2) Z toho vyplýva, že úbytok napäťa na  $Z_1$  sa musí rovnať úbytku napäťa na  $Z_3$  a súčasne úbytok napäťa na  $Z_2$  sa musí rovnať úbytku napäťa na  $Z_4$ .

Matematické vyjadrenie poslednej napísanej podmienky je nasledovné:

$$I_1 \cdot Z_1 = I_2 \cdot Z_3$$

$$I_1 \cdot Z_2 = I_2 \cdot Z_4$$

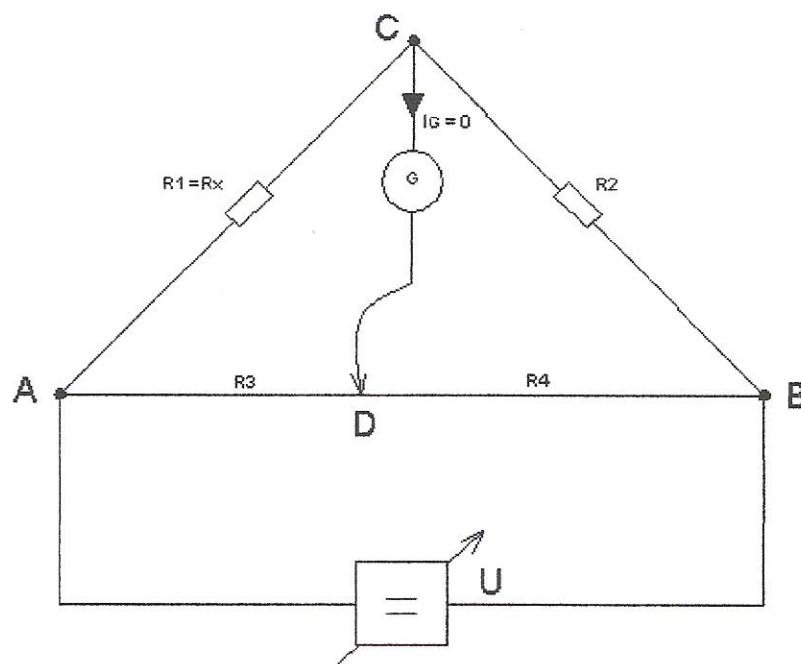
### Rovnice vydelíme:

$$\frac{I_1 \cdot Z_1}{I_1 \cdot Z_2} = \frac{I_2 \cdot Z_3}{I_2 \cdot Z_4} \Rightarrow \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4} \Rightarrow Z_1 = Z_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

V prípade jednosmerného WM možno nahradíť impedanciu priamo odporom a dostaneme vzťah:

$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

**POZNÁMKA:** Jednoduchý WM možno vyrovnávať tak, že odpory  $R_3$  a  $R_4$  sú tvorené odporovým vodičom a vyrovnávanie realizujeme posuvom bežca (bod D) po tomto odporovom vodiči. Schéma je nasledovná:



Z elektrotechniky vieme, že odpor vodiča sa dá vyjadriť pomocou vzťahu:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

$\rho$  - merný odpor, fyz. konšt. [ $\Omega\text{m}$ ]

$l$  - dĺžka vodiča [m]

$S$  - prierez vodiča [ $\text{m}^2$ ]

Teda:

$$R_3 = \rho \cdot \frac{l_3}{S} \quad R_4 = \rho \cdot \frac{l_4}{S}$$

Dosadím:

$$R_X = R_2 \cdot \frac{\rho \cdot \frac{l_3}{S}}{\rho \cdot \frac{l_4}{S}} = R_2 \cdot \frac{l_3}{l_4}$$

### ZÁVER:

Z odvodeného vzťahu vyplýva, že dosadzujeme presné úseky  $l_3$ ,  $l_4$  s presnosťou na 1mm.

**POZOR!** Meranie je silne ovplyvnené prechodnými odpormi.

### 3. Výpočet parametrov WM zo zadaných hodnôt

$$R_1 = 120\Omega$$

$$R_2 = 330\Omega$$

$$R_3 = 56\Omega$$

$$R_4 = 220\Omega$$

$$R_5 = 39\Omega$$

$$U = 10,5V$$

$$I = 150\text{mA}$$

$$R_A = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{120 \cdot 56}{120 + 330 + 56} = 11,96\Omega$$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{120 \cdot 330}{120 + 330 + 56} = 70,46\Omega$$

$$R_C = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{330 \cdot 56}{120 + 330 + 56} = 32,88\Omega$$

$$R_D = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{330 \cdot 220}{330 + 220 + 39} = 123,26\Omega$$

$$R_E = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{330 \cdot 39}{330 + 220 + 39} = 21,851\Omega$$

$$R_F = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{220 \cdot 39}{330 + 220 + 39} = 14,56\Omega$$

$$R = R_A + \frac{(R_B + R_4) \cdot (R_C + R_5)}{R_4 + R_5 + R_B + R_C} = 11,96 + \frac{290,46 \cdot 71,888}{362,34} = 69,581\Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10,5}{69,581} = 0,150A$$

$$U_{R4} = I \cdot R_A = 0,15 \cdot 11,96 = 1,794V$$

$$U_1 = U - U_{R4} = 10,5 - 1,794 = 8,706V$$

$$I_{R4} = \frac{U_1}{R_B + R_4} = \frac{8,706}{70,46 + 220} = 0,028A \Rightarrow U_{R4} = I_{R4} \cdot R_4 = 0,028 \cdot 220 = 6,16V$$

$$I_{R5} = \frac{U_1}{R_C + R_5} = \frac{8,706}{32,88 + 39} = 0,1142A \Rightarrow U_{R5} = I_{R5} \cdot R_5 = 0,1142 \cdot 39 = 4,45V$$

$$U_{RF} = I \cdot R_F = 0,15 \cdot 14,5671 = 2,1851V$$

$$U_2 = U - U_{RF} = 10,5 - 2,1851 = 7,8149V$$

$$I_{R1} = \frac{U_2}{R_D + R_1} = \frac{7,8149}{123,26 + 120} = 0,032A \Rightarrow U_{R1} = I_{R1} \cdot R_1 = 0,032 \cdot 120 = 3,86V$$

$$I_{R3} = \frac{U_2}{R_E + R_3} = \frac{7,8149}{21,851 + 56} = 0,1A \Rightarrow U_{R3} = I_{R3} \cdot R_3 = 0,1 \cdot 56 = 5,6V$$

$$I_{R2} = I_{R1} - I_{R4} = 0,032 - 0,028 = 0,004A \Rightarrow U_{R2} = I_{R2} \cdot R_2 = 0,004 \cdot 330 = 1,32V$$

Na záver som usporiadal vypočítané hodnoty do tabuľky:

Veličina	Vypočítaná hodnota
$I [mA]$	150 mA
$R [\Omega]$	69,581 $\Omega$
$I_{R1} [mA]$	32 mA
$I_{R2} [mA]$	4 mA
$I_{R3} [mA]$	100 mA
$I_{R4} [mA]$	28 mA
$I_{R5} [mA]$	114,2 mA
$U_{R1} [V]$	3,86 V
$U_{R2} [V]$	1,32 V
$U_{R3} [V]$	5,6 V
$U_{R4} [V]$	6,16 V
$U_{R5} [V]$	4,45 V