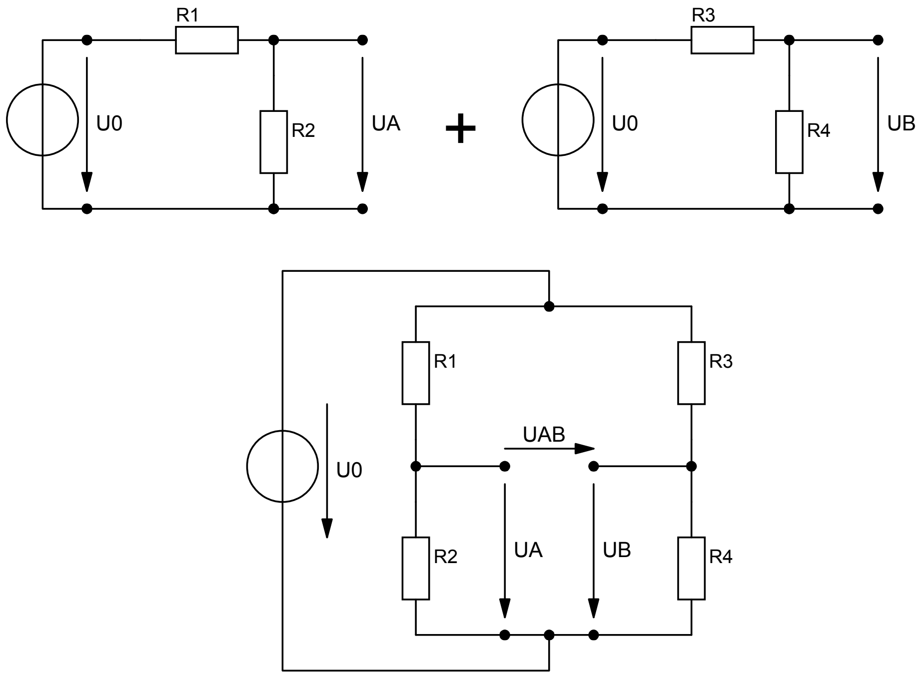
A Wheatstone-híd lényegében két feszültségosztóból kialakított négypólus áramkör, mely Sir Charles Wheatstone (1802 – 1875) angol fizikus és feltalálóról kapta a nevét.



1. ábra A Wheatstone-híd származtatása

Írjuk fel a kész feszültségosztó egyenletét!

$$U_A = U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad \text{és} \qquad U_B = U_0 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Míg a feszültségosztók földelt négypólusok (egyik be-, illetve kimeneti pontjuk közös), addig a Whwatstone-híd földfüggetlen kimenettel rendelkezik, ahol a kimeneti feszültség a két feszültségosztó kimeneti feszültségének különbsége:

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

Könnyen belátható, hogy ez a különbségi feszültség abban az esetben nulla, ha a két osztó kimeneti feszültsége azonos, vagyis az osztásarányok azonosak. Azonos forrás (U_0) esetén ez a következőképpen alakul:

$$U_{AB} = U_A - U_B = 0 \text{, ha} \qquad U_A = U_B$$

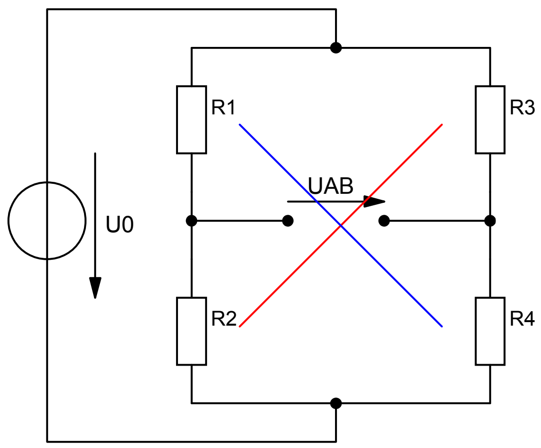
$$\text{ekkor:} \quad U_A = U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_B = U_0 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \qquad / U_0$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \qquad / x(R_1 + R_2) \text{ és } x(R_3 + R_4)$$

$$R_2 \cdot (R_3 + R_4) = R_4 \cdot (R_1 + R_2) \quad => \quad R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 = R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_4 \qquad / -(R_2 + R_4)$$

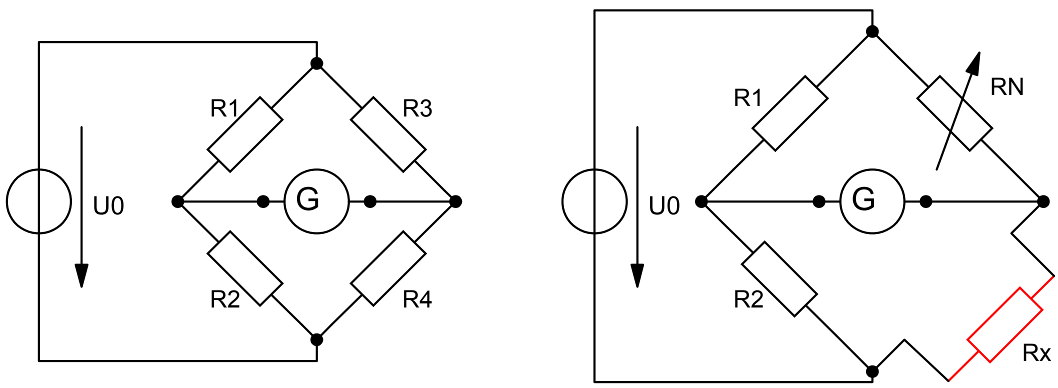
Mindezekből a hídegyensúly: $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$

Lássuk meg, hogy a hídegyensúly a Wheatstone-híd kiegyenlített állapotában adódik (a kimeneti feszültség nulla értékű), vagyis, ha a szemközti hídágak ellenállásainak szorzata azonos (2. ábra)!



2. ábra A Wheatstone-híd szemközti hídágai

A Wheatstone-híd főleg ellenállások, kapacitív- és induktív reaktanciák, impedanciák (Wien-híd, Schering-híd, Maxwell-híd), valamint nemvillamos mennyiségek mérésére alkalmas, ahol az egyik hídágban egy szenzor van, mely lényegében egy nemvillamos-villamos átalakító. Ilyen érzékelő lehet: a fotoellenállás, a termisztor, a nyúlásmérő bélyeg, az elmozdulásmérők, stb.). Mindezek mellett nemcsak kétpólusok vizsgálatára alkalmas a hídáramkör, hanem négypólusok bemeneti paramétereinek mérésére is.



3. ábra A Wheatstone-híd gyakorlati kapcsolása

A híd kiegyenlített állapotában a kimeneti feszültség nulla, ellenkező esetben nullától különböző nagyságú, amely feszültség az egyes feszültségosztó ágak osztásarányától függően pozitív, vagy negatív előjelű. A kimeneti feszültséget egy nagyérzékenységű galvanométer indikálja, mely egy középnullás mutatós műszer (lengőtekercses, lengőmágneses, feszített szálas, csúcsos, vagy lengőszálas, fém, üveg, vagy fénymutatós, kialakítástól függően). A 3. ábra szerinti kapcsolásban az R_x a mérendő ellenállás, az R_N pedig egy szabályozható, hitelesen kalibrált, úgynevezett normálellenállás (lényegében egy potenciométer), melynek értéke egy skála segítségével leolvasható.

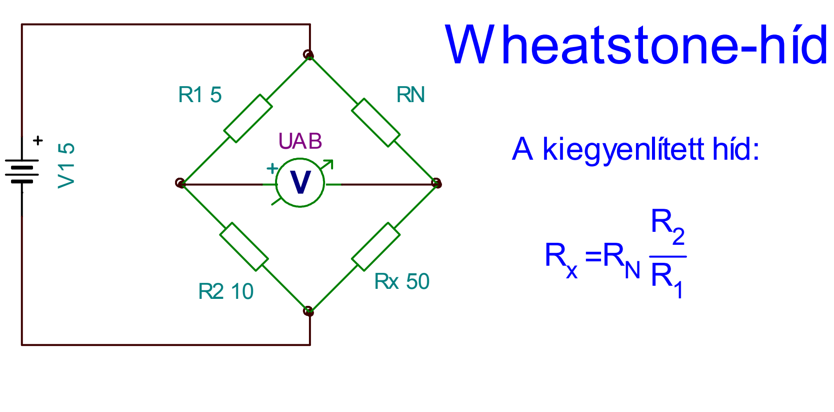
Tudjuk, hogy: $R_1 \cdot R_x = R_2 \cdot R_N$, ebből $R_x = R_N \cdot \frac{R_2}{R_1}$

4. ábra Wheatstone-hídas készülékek (az utóbbi beépített galvanométerrel)

A képlet $F_0 = \frac{R_2}{R_1}$ hányadosrésze nevezetes érték, mely az úgynevezett hídáttétel. Ennek értéke a 4. ábra, galvanométeres műszere esetén: 0,1; 1; 10; 100; 1000; 10000. Az $R_x = R_N \cdot \frac{R_2}{R_1}$ képletből kiderül, hogy amennyiben R_1 és R_2 ellenállások azonos értékűek, akkor az R_N normálellenállás közvetlenül az R_x mérendő ellenállás értékére skálázható. Ekkor: $R_x = R_N \cdot F_0 = R_N \cdot \frac{R_2}{R_1} = R_N \cdot 1 = R_N$

Ha a hídáttétel értéke nem 1, akkor a leolvasott értéket a hídáttétellel kell szorozni. $R_x = R_N \cdot F_0 = R_N \cdot \frac{R_2}{R_1}$

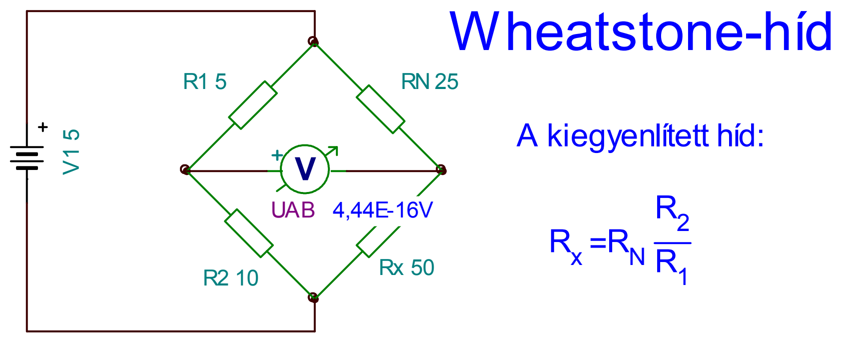
Feladat: Állítsa össze a TINA-TI szoftver segítségével az 5. ábrán látható mérőkört! Számítsa ki az R_N normálellenállás értékét, majd igazolja méréssel a híd kiegyenlítettségét!



5. ábra szimulációs mérés a TINA-TI áramkörszimulátorral

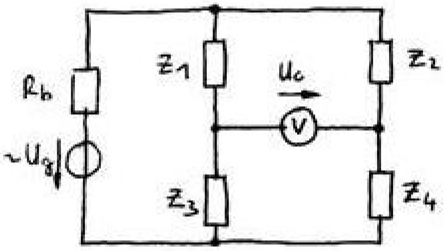
Megoldás:

A kiegyenlített állapotban: $R_1 \cdot R_x = R_2 \cdot R_N$, ebből $R_N = R_x \cdot \frac{R_1}{R_2} = 50\,\Omega \cdot \frac{5\,\Omega}{10\,\Omega} = 25\,\Omega$



6. ábra szimulációs mérés eredménye (lássuk meg, hogy a mért érték lényegileg nulla)

Impedanciamérés Wheatstone-híddal



kiegyenlítés: $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$

ekkor $U_0 = 0$

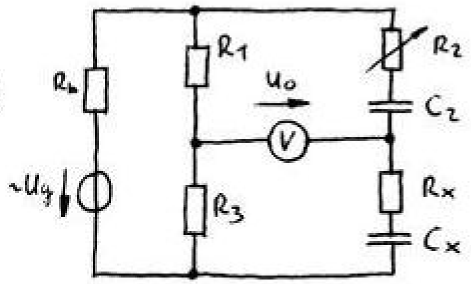
az abszolút értékre és fázisra történő kiegyenlítés

$$\boxed{\begin{gathered} |Z_1| \cdot |Z_4| = |Z_2| \cdot |Z_3| \\ \text{és} \\ \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \end{gathered}}$$

amplitúdó és fázisfeltétel

ekkor: $|Z_1|\, e^{j\varphi_1} \cdot Z_4 \cdot e^{j\varphi_4} = |Z_2| \cdot e^{j\varphi_2} \cdot |Z_3| \cdot e^{j\varphi_3}$

Wien-híd



$$\boxed{R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}}$$

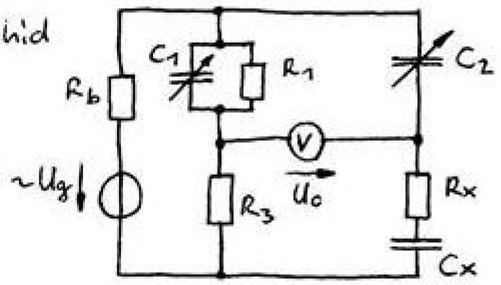
$$\boxed{C_x = \frac{C_2 \cdot R_1}{R_3}}$$

$$\boxed{\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega R_2 C_2}}$$

kapacitív impedanciák mérésére

frekvencia-érzékeny

Schering-híd



$$\boxed{R_x = \frac{R_3 \cdot C_1}{C_2}}$$

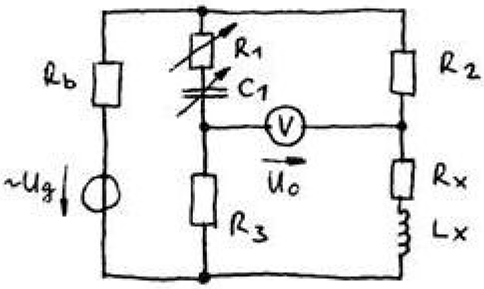
$$\boxed{C_x = \frac{R_1 \cdot C_2}{R_3}}$$

$$\boxed{\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega C_1 R_1}}$$

kapacitív impedanciák mérésére

frekvencia-érzékeny

Maxwell-híd



$$\boxed{R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}}$$

$$\boxed{L_x = R_2 \cdot R_3 \cdot C_1}$$

$$\boxed{\operatorname{tg} \varphi = \omega R_1 C_1}$$

kis Q-jú induktív impedanciák mérésére

frekvencia, hullámalak érzéketlen