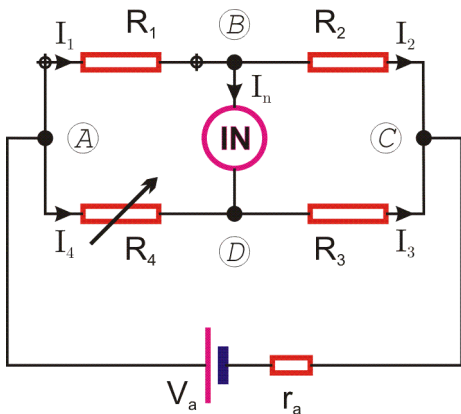


## Punți de măsurare

- metode de comparație: măsurandul este comparat cu o mărime etalon de aceeași natură;
- punte: rețea completă cu 4 noduri:
  - brațe: 4 impedanțe
  - diagonala de alimentare: sursă (tensiune, curent)
  - diagonala de măsurare: instrument
- regimuri de lucru:
  - echilibrat: măsurare → detector de zero
  - dezechilibrat: măsurare → instrument

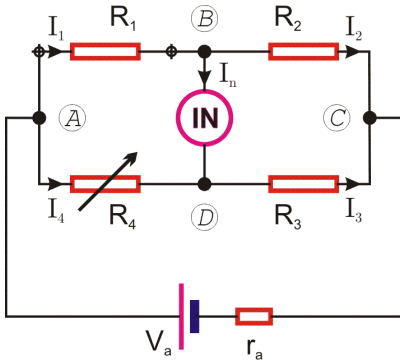
## Punți de c.c.: puntea simplă (Wheatstone)



Punte simplă de c.c. (Wheatstone)

- A,B,C,D – noduri
- $R_1, R_2, R_3, R_4$  – brațe
- $\overline{AC}$  - diagonală alimentare
- $V_a, r_a$  – sursă c.c.
- $\overline{BD}$  - diagonală măsurare
- (IN) – indicator de nul (detector de zero)

## Punți de c.c.: puntea simplă (Wheatstone)



Punte simplă de c.c. (Wheatstone)

- condiția de echilibru:

$$I_n = 0; \quad V_{BD} = 0$$

$$\begin{cases} V_{AB} = V_{AD} \\ V_{BC} = V_{DC} \end{cases} \begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_4 = I_3 \end{cases}$$

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}; \quad R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

$$R_1 = R_x = \frac{R_2}{R_3} \cdot R_4$$

$R_2, R_3$  – brațe de raport

$R_4$  – braț variabil (reostatic)

## Punți de c.c.: puntea simplă (Wheatstone)

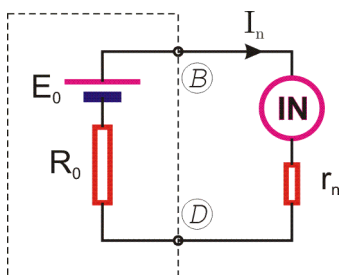


Diagrama echivalentă a punții simple de c.c. (teorema Thevenin)

- Sensibilitate relativă:

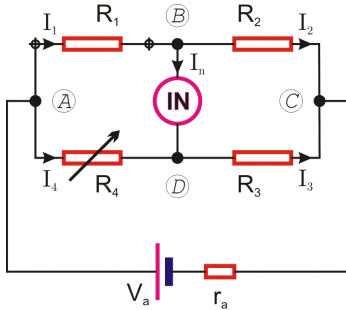
$$S_r = \frac{\Delta \alpha}{\Delta R_4 / R_4} \Big|_{\Delta R_4 \rightarrow 0} \cong R_4 \cdot \frac{d\alpha}{dR_4}$$

- Parametri Thevenin:

$$E_0 = V_a \cdot \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_4 + R_3} \right)$$

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_4 R_3}{R_4 + R_3}$$

## Punți de c.c.: puntea simplă (Wheatstone)



Punte simplă de c.c. (Wheatstone)

- Sensibilitate relativă:

$$S_r \cong R_4 \cdot \frac{d\alpha}{dR_4} = V_a \cdot S_{IN} \cdot \frac{R_2 \cdot R_4}{a \cdot R_4 + b}$$

- Parametri sensibilitate:

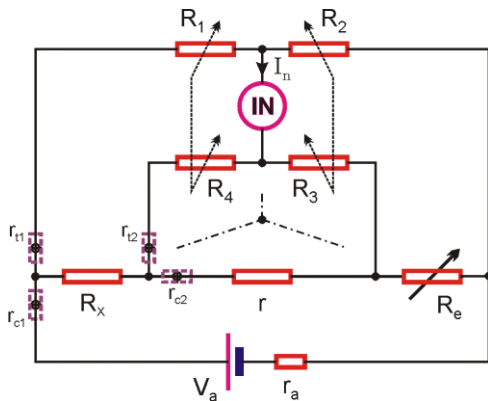
- $S_{IN}$  (detector)
- $R_1=R_2=R_3=R_4$

- domeniu:  $10^0 \dots 10^6 \Omega$

- erori:

- Rezistență conductoare și contacte (măsurare rezistențe mici)
- Sensibilitate scăzută, curenți mici prin brațe (măsurare rezistențe mari)

## Punți de c.c.: puntea dublă (Thomson)



Punte dublă de c.c. (Thomson)

- Condiția de echilibru:

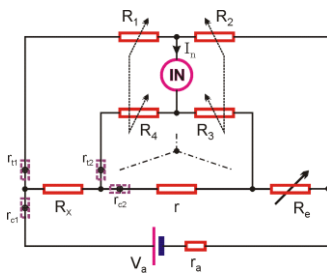
$$R_2 \cdot \left( R_x + \frac{r \cdot R_4}{r + R_3 + R_4} \right) =$$

$$R_1 \cdot \left( R_e + \frac{r \cdot R_3}{r + R_3 + R_4} \right)$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_e +$$

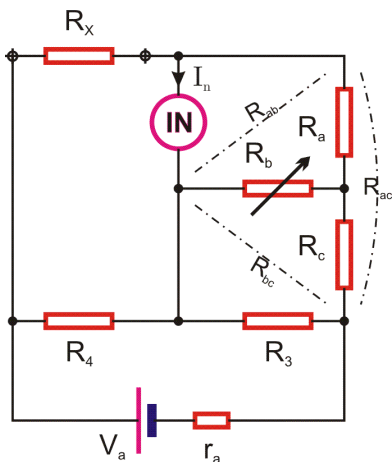
$$+ \frac{r(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{R_2(r + R_3 + R_4)}$$

## Punți de c.c.: puntea dublă (Thomson)



- sensibilitate  $\sim V_a, S_{IN}, R_i$
- condiții suplimentare:
  - $r \rightarrow 0$
  - $R_1 R_3 - R_2 R_4 = 0$
  - $R_1 = R_4; R_2 = R_3$
  - $R_1, R_2, R_3, R_4 > 100 \Omega$
- domeniu:  $10^{-6} \dots 10^0 \Omega$
- condiții alimentare:
  - $I_a = 4 \dots 5 \text{ A}$

## Punți de c.c.: rezistențe mari (megohm)



$$R_{ac} = R_a + R_c + \frac{R_a \cdot R_c}{R_b}$$

$$R_{bc} = R_b + R_c + \frac{R_b \cdot R_c}{R_a}$$

- exemplu:

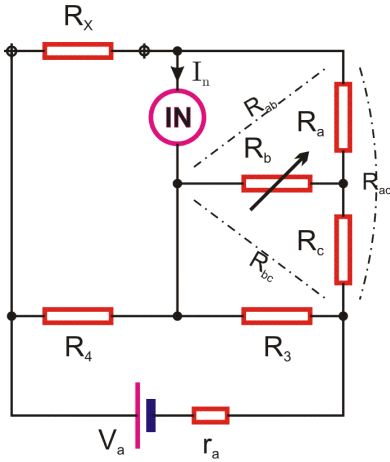
daca  $R_a = R_c = 10 \text{ M}\Omega$

$R_b = 10 \Omega \dots 1 \text{ M}\Omega$

atunci  $R_{ac} = 10^8 \dots 10^{13} \Omega$

*Punte pentru rezistențe mari (megohm)*

## Punți de c.c.: rezistențe mari (megohm)

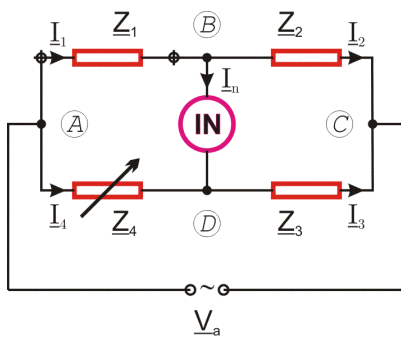


- Condiția de echilibru:

$$R_x = \frac{R_4}{R_3 \parallel R_{bc}} \cdot R_{ac}$$

- domeniu:  $10^6 \dots 10^{12} \Omega$
- sensibilitate:
  - $V_a \sim 100 \text{ V}$

## Punți de c.a.: punte simplă (Wheatstone)



Punte simplă de c.a. (Wheatstone)

A,B,C,D – noduri

$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – impedanțe

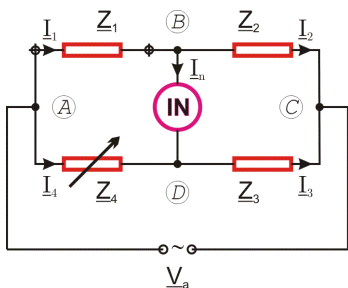
$\overline{AC}$  - diagonală alimentare

$V_a$  – sursă c.a.

$\overline{BD}$  - diagonală măsurare

(IN) – indicator de nul  
(voltmetru electronic)

## Punți de c.a.: puntea simplă (Wheatstone)



Punte simplă de c.a. (Wheatstone)

### Condiția de echilibru:

$$\underline{Z}_1 = Z_1 e^{j\varphi_1}; \quad \underline{Z}_2 = Z_2 e^{j\varphi_2};$$

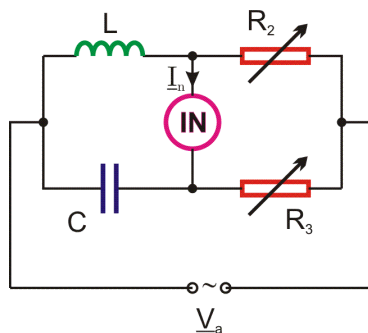
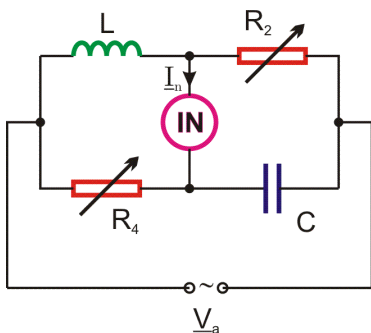
$$\underline{Z}_3 = Z_3 e^{j\varphi_3}; \quad \underline{Z}_4 = Z_4 e^{j\varphi_4}$$

$$I_n = 0; \quad V_{BD} = 0$$

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3 = \underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_4 \quad \text{sau} \quad \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_4} = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3}$$

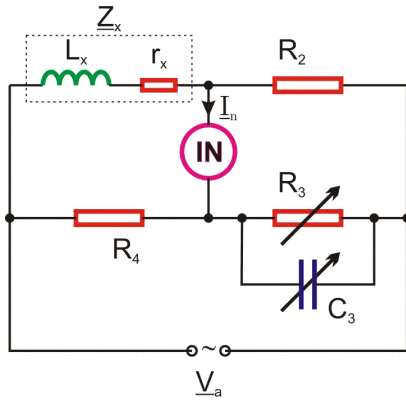
$$\begin{cases} Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \\ \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{Z_1}{Z_4} = \frac{Z_2}{Z_3} \\ \varphi_1 - \varphi_4 = \varphi_2 - \varphi_3 \end{cases}$$

## Punți de c.a.: puntea simplă (Wheatstone)



Punți simple de c.a., care pot fi, respectiv nu pot fi, echilibrate

## Punți de c.a.: puntea Maxwell



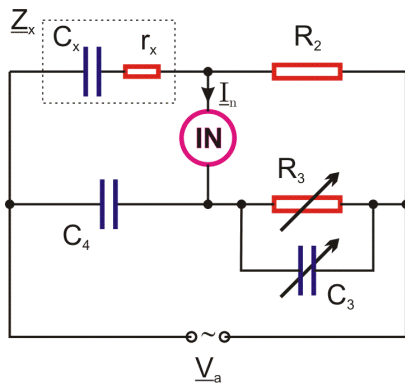
Punte Maxwell

- Condiția de echilibru:

$$(r_x + j\omega L_x) \frac{R_3 \cdot 1/j\omega C_3}{R_3 + 1/j\omega C_3} = R_2 R_4$$

$$\begin{cases} r_x = \frac{R_2 R_4}{R_3} \\ L_x = R_2 R_4 C_3 \end{cases}$$

## Punți de c.a.: puntea Schering



Punte Schering

- Condiția de echilibru:

$$\left( r_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) \frac{R_3 \cdot 1/j\omega C_3}{R_3 + 1/j\omega C_3} = R_2 \frac{1}{j\omega C_4}$$

$$\begin{cases} r_x = R_2 \frac{C_3}{C_4} \\ C_x = \frac{R_3}{R_2} C_4 \end{cases}$$