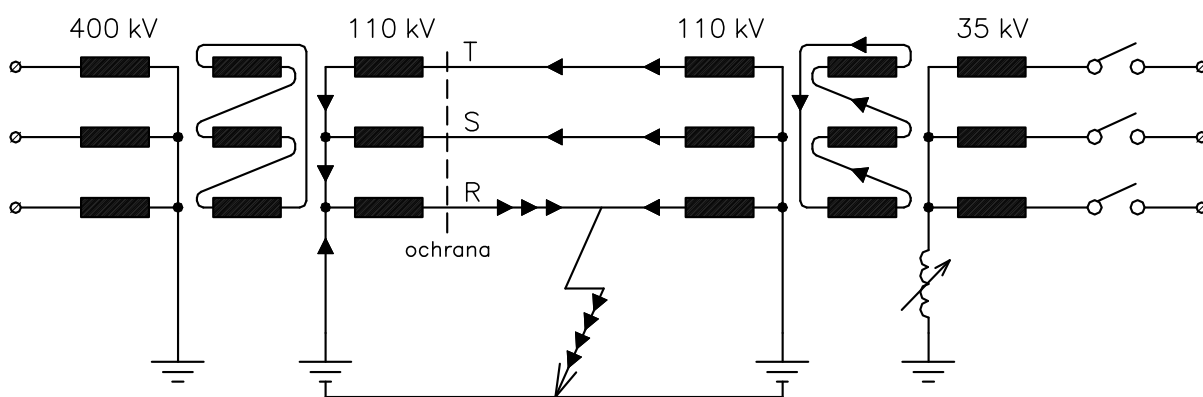


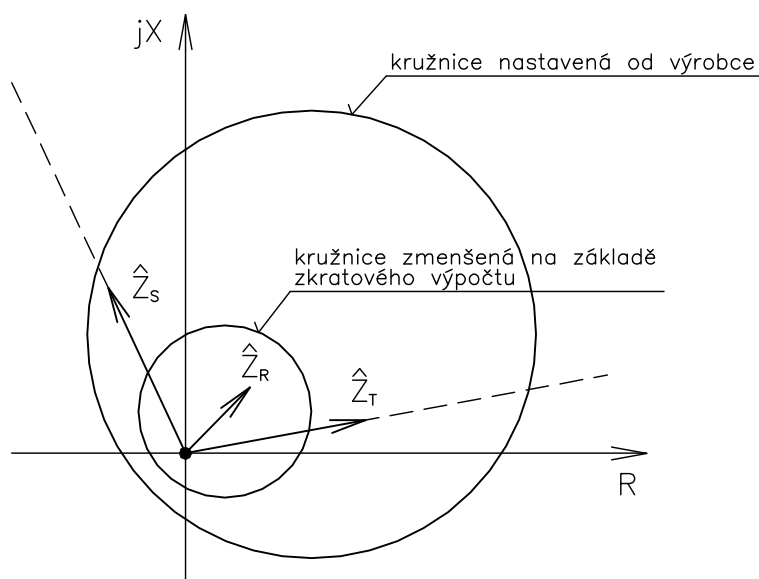
## Bauchův paradox

Správný výběr proudu a napětí popudovými články je u ochran s volbou zejména ztěžován tzv. Bauchovým jevem. Tento jev se vyskytuje především v sítích 110 kV, které mají účinně uzemněnou neutralu a instalují se zde transformátory Y/d, resp. Y/y/d. Přes trojúhelníková vinutí těchto transformátorů se při zemních zkratech uzavírá nulová složka proudu, která pak teče i nepostiženými fázemi (obr.1.1). Tím nejsou impedance nepostižených fází nekonečné, ale nabývají konečných hodnot, vždy větších než impedance postižených fází, ale v měřítku popudových charakteristik přesto srovnatelných. Proto je nutné z důvodu správného výběru zkratové smyčky pro měřicí a směrový člen eliminovat náběh popudových členů nepostižených fází zmenšením popudové charakteristiky tak, aby konce fázorů těchto „parazitních“ impedancí ležely vně této charakteristiky.



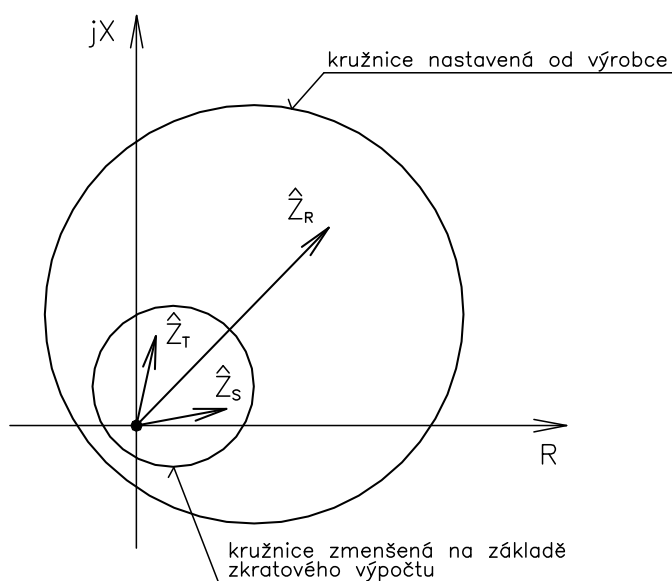
Obr.1.1. Názorné schéma jednofázového zkratu se vznikem Bauchova paradoxu.

Poměry při jednofázovém zemním zkratu RN jsou znázorněny na obr.1.2.



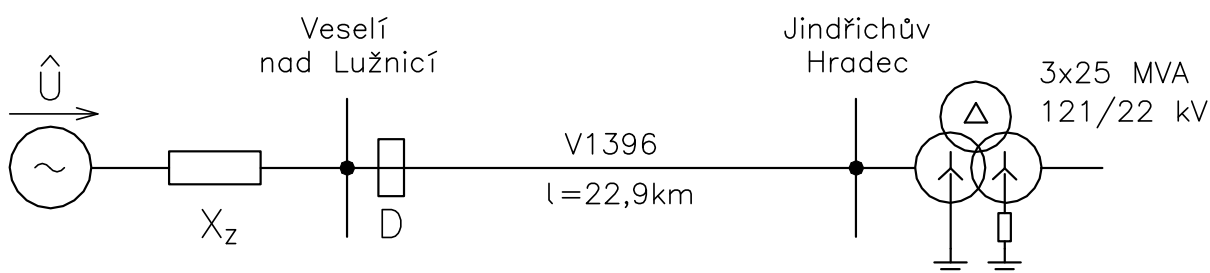
Kdyby bylo teoreticky trojúhelníkové vinutí rozpojeno, mělo by nekonečnou reaktanci, byly by i vektory impedancí  $\mathbf{Z}_T$  a  $\mathbf{Z}_S$  nekonečné. Čím větší je však ve skutečnosti vodivost trojúhelníka, tím větší je i nulová složka proudu (při uvážení dostatečně malých složek nulové impedance zkratové cesty) a tím rychleji se zmenšují zmíněné parazitní impedance  $\mathbf{Z}_T$  a  $\mathbf{Z}_S$ , až jejich hodnoty překročí nastavenou rozběhovou impedanci. Je proto nutné spočítat impedance všech tří fází a zmenšit poloměr popudové charakteristiky tak, aby s dostatečnou rezervou eliminovala vliv nesprávných impedancí.

Poměry při dvoufázovém zemním zkratu ST jsou na obrázku 1.3.



### Příklad výpočtu nastavení

Nastavení popudových článků pro ochranu D114, která je umístěna v rozvodně Veselí nad Lužnicí a chrání linku V1396 jdoucí do Jindřichova Hradce.



Zadané hodnoty :

*Soustava :*  $U = 115 \text{ kV}$   
 $S_k^{(3)} = 837,6 \text{ MVA}$  zkratové údaje dle ČEZU  
 $U_0 = 29,763 \text{ kV}$   
 $3I_0 = 2,790 \text{ kA}$

*Transformátor :* 3x transformátor 121/22 kV, 25 MVA

$$u_{k(p-t)} = 17 \%$$

Vedení :

$$l = 22,9 \text{ km}$$

$$r_1 = 0,157 \ \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

$$x_1 = 0,410 \ \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

$$r_0 = 0,362 \ \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

$$x_0 = 1,434 \ \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

Výpočet :

Soustava :

$$\hat{U}_f = \frac{\hat{U}}{\sqrt{3}} = 66,4 \text{ kV}$$

$$X_{1Z} = X_{2Z} = \frac{U^2}{S_k^{(3)}} = 15,79 \ \Omega$$

$$X_{0Z} = \frac{U_0}{3 \cdot I_0} \cdot 3 = 32,00 \ \Omega$$

Transformátor :

$$X_{0T}' = u_{k(p-t)} \cdot \frac{U^2}{S_T} = 99,56 \ \Omega$$

$$X_{0T} = \frac{X_{0T}'}{3} = 33,19 \ \Omega$$

Vedení :

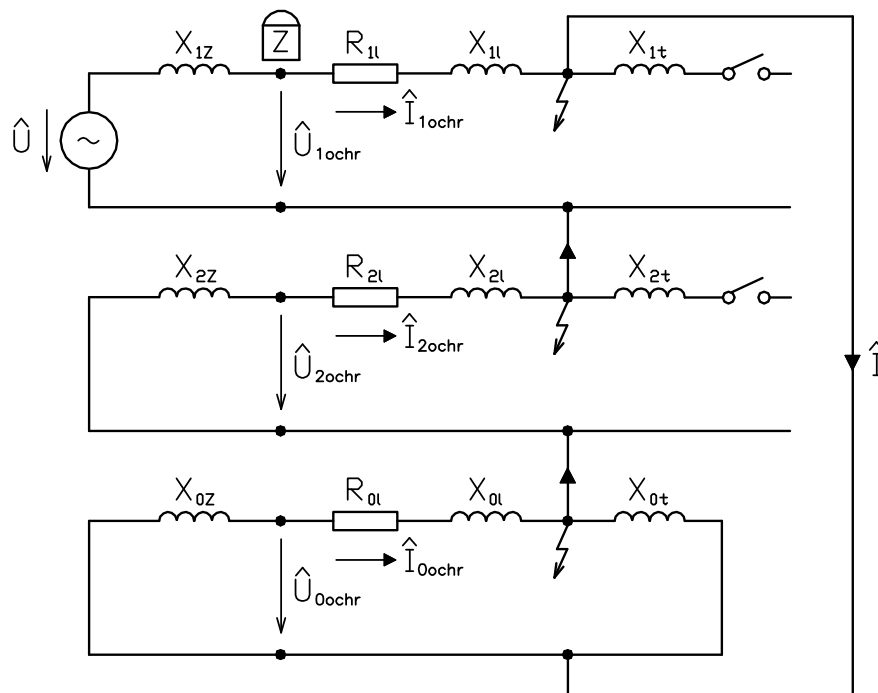
$$R_{1l} = R_{2l} = l \cdot r_1 = 3,60 \ \Omega$$

$$X_{1l} = X_{2l} = l \cdot x_1 = 9,39 \ \Omega$$

$$R_{0l} = l \cdot r_0 = 8,29 \ \Omega$$

$$X_{0l} = l \cdot x_0 = 32,84 \ \Omega$$

Náhradní schéma složkových soustav:



$$\begin{aligned}\hat{Z}_1 &= R_{1l} + j \cdot X_{1l} + j \cdot X_{1z} = (3,60 + 25,18 j) \Omega \\ \hat{Z}_2 &= R_{2l} + j \cdot X_{2l} + j \cdot X_{2z} = (3,60 + 25,18 j) \Omega \\ \hat{Z}_{0I} &= R_{0l} + j \cdot X_{0l} + j \cdot X_{0z} = (8,29 + 64,84 j) \Omega \\ \hat{Z}_{0II} &= j \cdot X_{0T} = 33,19 j \Omega\end{aligned}$$

$$\hat{Z}_0 = \frac{\hat{Z}_{0I} \cdot \hat{Z}_{0II}}{\hat{Z}_{0I} + \hat{Z}_{0II}} = (0,94 + 22,03 j) \Omega$$

$$\hat{Z}_C = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 + \hat{Z}_0 = (8,13 + 72,39 j) \Omega$$

$$\hat{I} = \hat{I}_1 = \hat{I}_2 = \hat{I}_0 = \frac{\hat{U}_f}{\hat{Z}_C} = (0,102 - 0,906 j) \text{ kA} = \hat{I}_{1ochr} = \hat{I}_{2ochr}$$

$$\hat{I}_{0ochr} = \hat{I} \cdot \frac{\hat{Z}_{0II}}{\hat{Z}_{0I} + \hat{Z}_{0II}} = (0,060 - 0,302 j) \text{ kA}$$

$$\hat{U}_{1ochr} = \hat{U}_f - j \cdot X_{1z} \cdot \hat{I}_{1ochr} = (52,09 - 1,61 j) \text{ kV}$$

$$\hat{U}_{2ochr} = 0 - j \cdot X_{2z} \cdot \hat{I}_{2ochr} = (-14,30 - 1,61 j) \text{ kV}$$

$$\hat{U}_{0ochr} = 0 - j \cdot X_{0z} \cdot \hat{I}_{0ochr} = (-9,65 - 1,92 j) \text{ kV}$$

$$\hat{U}_{Rochr} = \hat{U}_{1ochr} + \hat{U}_{2ochr} + \hat{U}_{0ochr} = (28,14 - 5,13 j) \text{ kV}$$

$$\hat{U}_{Sochr} = \hat{a}^2 \cdot \hat{U}_{1ochr} + \hat{a} \cdot \hat{U}_{2ochr} + \hat{U}_{0ochr} = (-28,55 - 57,81 j) \text{ kV}$$

$$\hat{U}_{Tochr} = \hat{a} \cdot \hat{U}_{1ochr} + \hat{a}^2 \cdot \hat{U}_{2ochr} + \hat{U}_{0ochr} = (-28,55 + 57,19 j) \text{ kV}$$

$$\hat{I}_{Rochr} = \hat{I}_{1ochr} + \hat{I}_{2ochr} + \hat{I}_{0ochr} = (0,264 - 2,113 j) \text{ kA}$$

$$\hat{I}_{Sochr} = \hat{a}^2 \cdot \hat{I}_{1ochr} + \hat{a} \cdot \hat{I}_{2ochr} + \hat{I}_{0ochr} = (-0,042 + 0,604 j) \text{ kA}$$

$$\hat{I}_{Tochr} = \hat{a} \cdot \hat{I}_{1ochr} + \hat{a}^2 \cdot \hat{I}_{2ochr} + \hat{I}_{0ochr} = (-0,042 + 0,604 j) \text{ kA}$$

$$\hat{Z}_{Rochr} = \frac{\hat{U}_{Rochr}}{\hat{I}_{Rochr}} = 4,03 + 12,82 j = \underline{13,43 \cdot e^{72,5^\circ j}}$$

$$\hat{Z}_{Sochr} = \frac{\hat{U}_{Sochr}}{\hat{I}_{Sochr}} = -91,97 + 53,61 j = \underline{106,46 \cdot e^{149,8^\circ j}}$$

$$\hat{Z}_{Tochr} = \frac{\hat{U}_{Tochr}}{\hat{I}_{Tochr}} = 97,45 + 40,50 j = \underline{105,53 \cdot e^{22,6^\circ j}}$$

Charakteristiku nastavíme tak, aby popudy obsáhly i impedanci trojúhelníku transformátorů v rozvodně Jindřichův Hradec a ochrana byla tudíž schopná vyhovět požadavku záložního chránění. Zároveň impedance nepostižených fází mi alespoň s 20 % rezervou nesmí vstoupit do charakteristiky. Dalším kritériem je přizpůsobení charakteristiky s ohledem na minimální provozní impedanci.

Ilustrativní vyobrazení je na obr.1.2.

Uvedený popis platí obecně. Další postup je specifický dle typu ochrany a řídí se zpravidla pokyny výrobce.