

Provozování distribučních soustav

**Sítě vysokého napětí s odporníkem v
uzlu vn napájecího transformátoru**

Ivan Cimbolinec

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

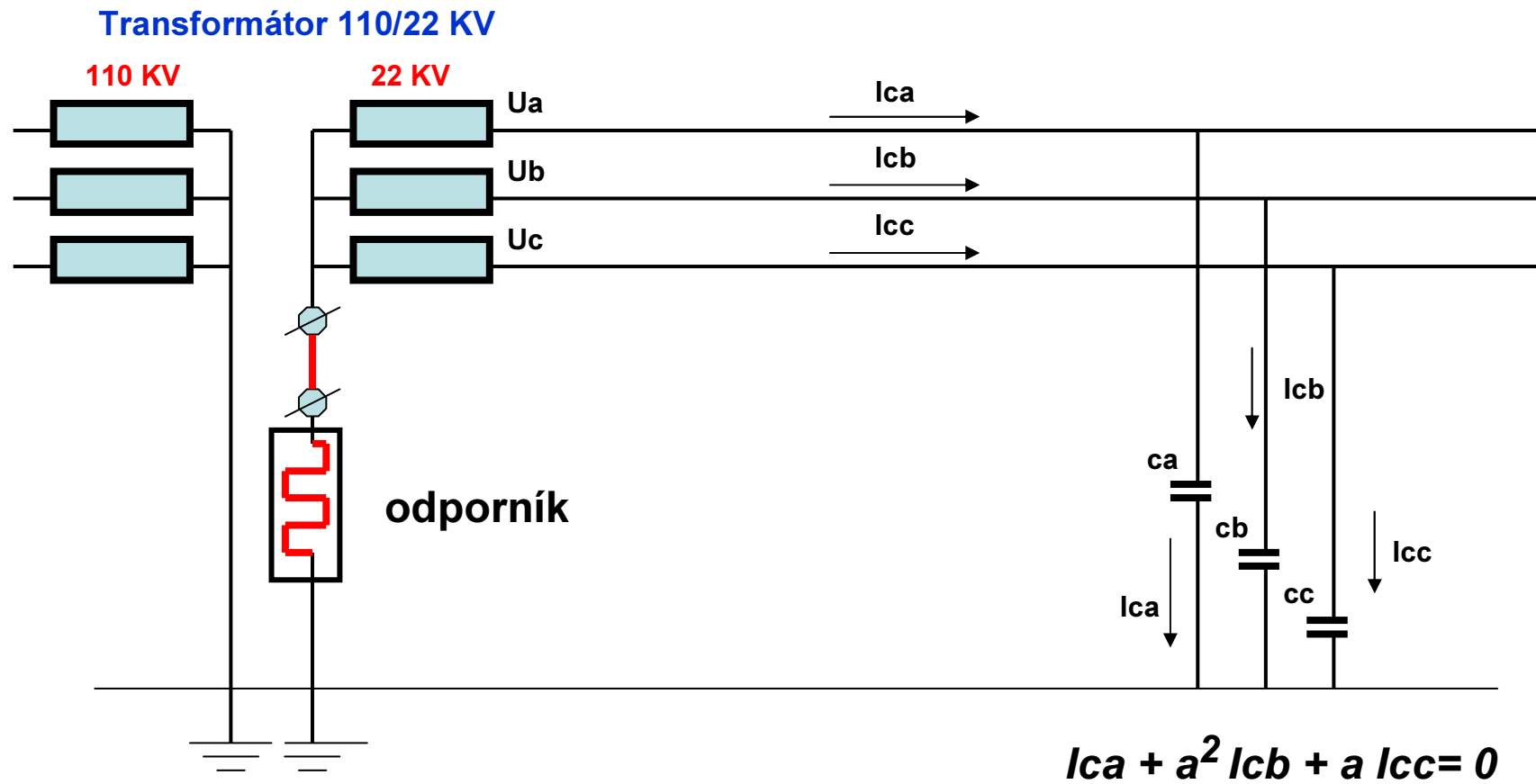
Úvodem:

Distribuční sítě vysokého napětí **10, 22 a 35 KV** se na území České republiky provozují v souladu s platnými technickými normami, zejména pak s normami **ČSN 33 2000-4-41, 33 2000-4-442, 33 3201, 33 3070** a dalšími, jako systém, který se standardně označuje zkratkou **IT**, resp. **ITr**. V případě **IT** není toto označení jednoznačné a pokud označíme systém jako **IT**, resp. **IT(r)**, znamená to, že můžeme sítě vysokého napětí provozovat těmito způsoby:

- **Sítě izolované (IT)**, kde celková velikost kapacitních proudů obvykle nepřesahuje hodnotu **10 A**. Uzel vinutí vn napájecího transformátoru je proti zemi izolován.
- **Sítě kompenzované (IT)**, kde se ke kompenzaci kapacitních proudů používá laditelná tlumivka, která je zapojená mezi uzel vinutí vn napájecího transformátoru a zem. Pokud kapacitní proudy dosahují hodnoty **větší než 15 A**, je nutné tyto proudy vždy kompenzovat.
(obrázek 8)
- **Sítě odporníkové (ITr)**, kde místo tlumivky je mezi uzel napájecího transformátoru a zem vřazen odporník. Odporník nekompensuje kapacitní proudy systému, pouze omezuje celkovou velikost poruchových zemních proudů na přijatelnou mez. (obrázek 1)

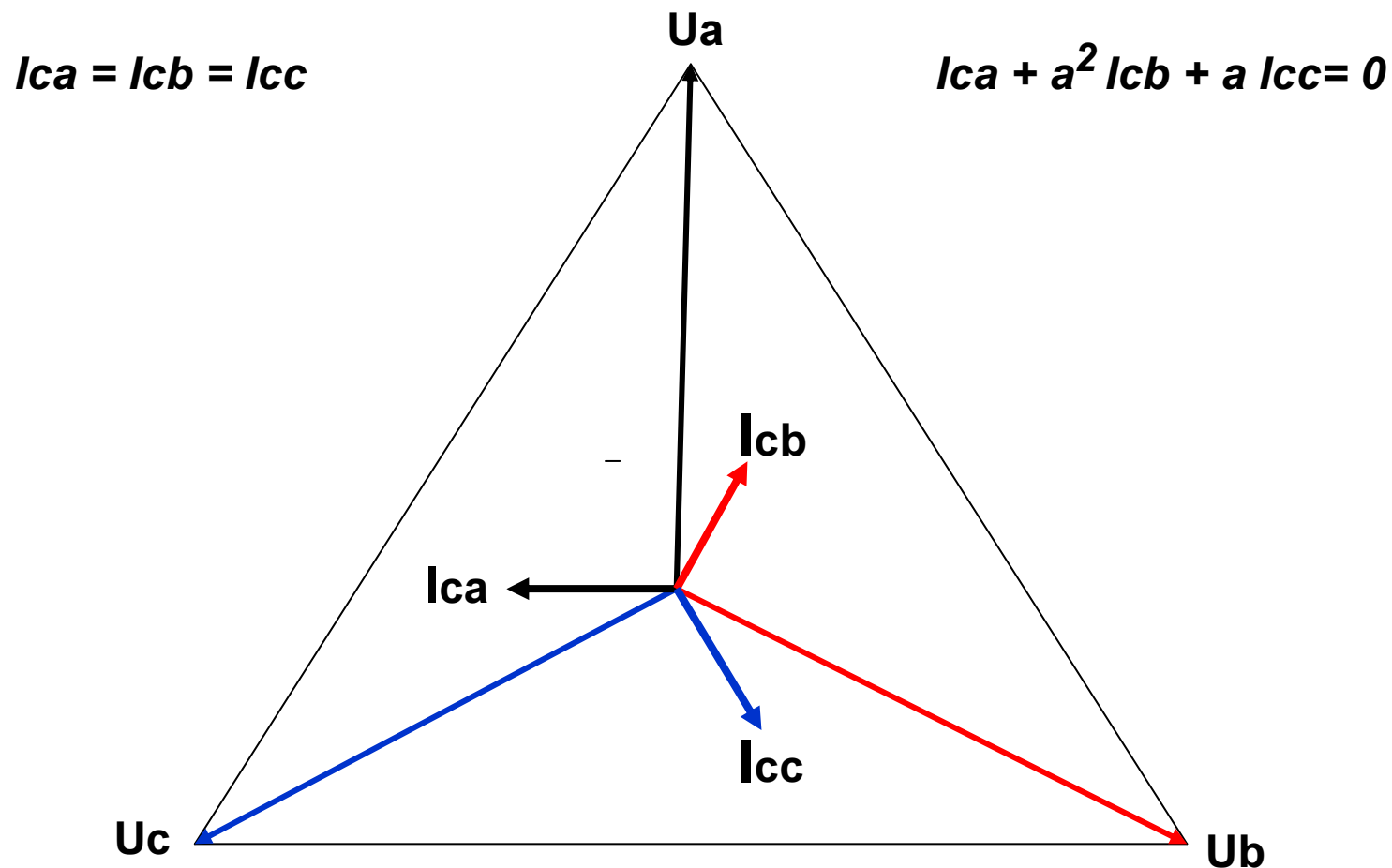
Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Kabelové a smíšené sítě s odporníkem



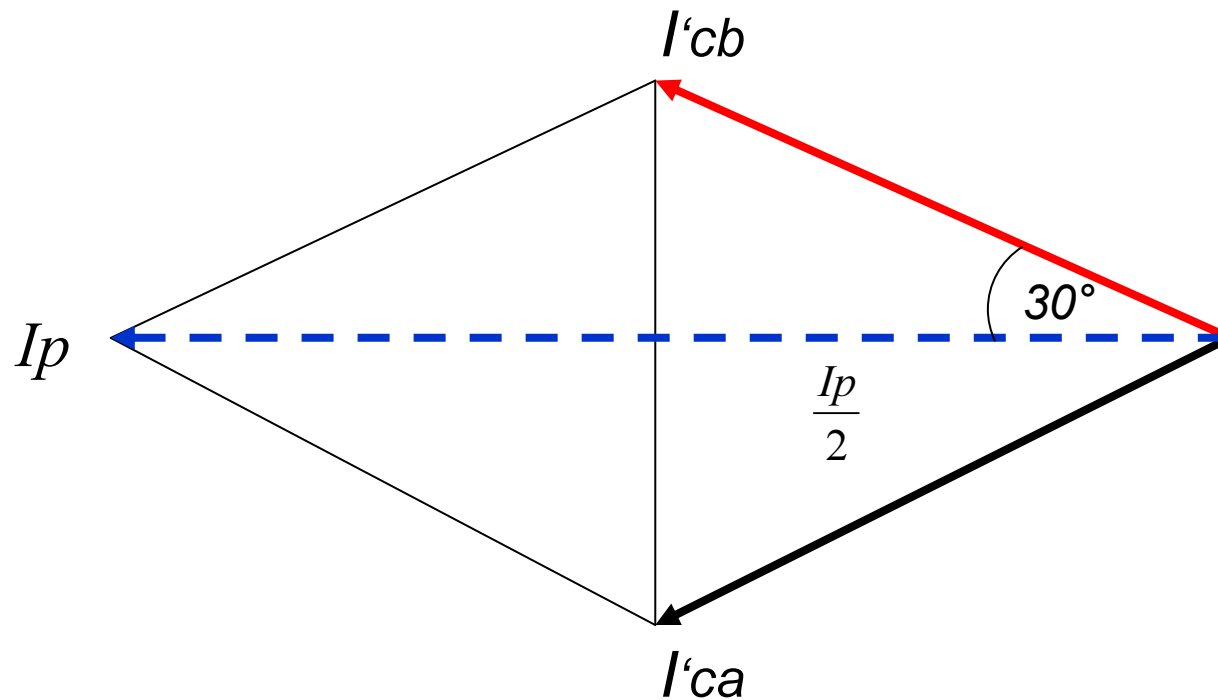
Obrázek 1: Symetrická síť vn bez izolační poruchy

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru



Obrázek 2: Fázorový diagram U, I_c v symetrické síti vn bez poruchy

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru



$$I_p = \sqrt{3} \cdot I'_c = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_c = 3I_c$$

Obrázek 3: Odvození velikosti poruchového kapacitního proudu I_p

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Před poruchou...

$$I_c = \frac{U_f}{X_c} = \frac{U_f}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = U_f \cdot \omega \cdot C \quad \text{kde} \quad C = C_k \cdot l \quad [F, F / km, km]$$

Při poruše...

$$I'c = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot \omega \cdot C = \sqrt{3} \cdot I_c$$

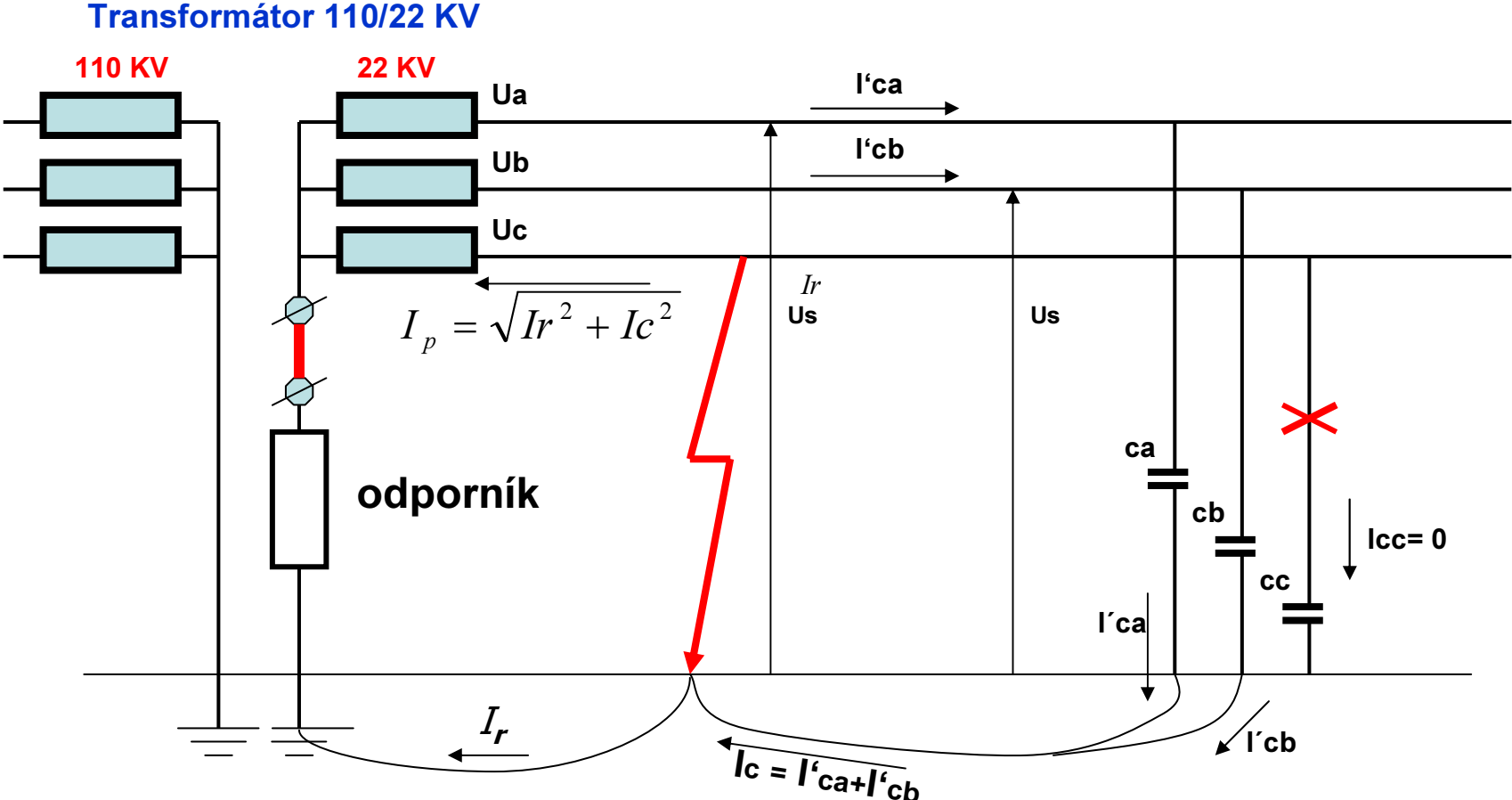
$$\frac{I_p}{2} = I'c \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I'c \Rightarrow I_p = \sqrt{3} \cdot I'c = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_c = 3 I_c$$

Kde: I_pporuchový proud místem zemního spojení

$I'c$zvýšený kapacitní proud, vyvolaný zvýšeným napětím U'

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Kabelové a smíšené sítě s odporníkem při izolační poruše



Obrázek 4: Zemní porucha ve fázi „c“ a toky poruchových proudů

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

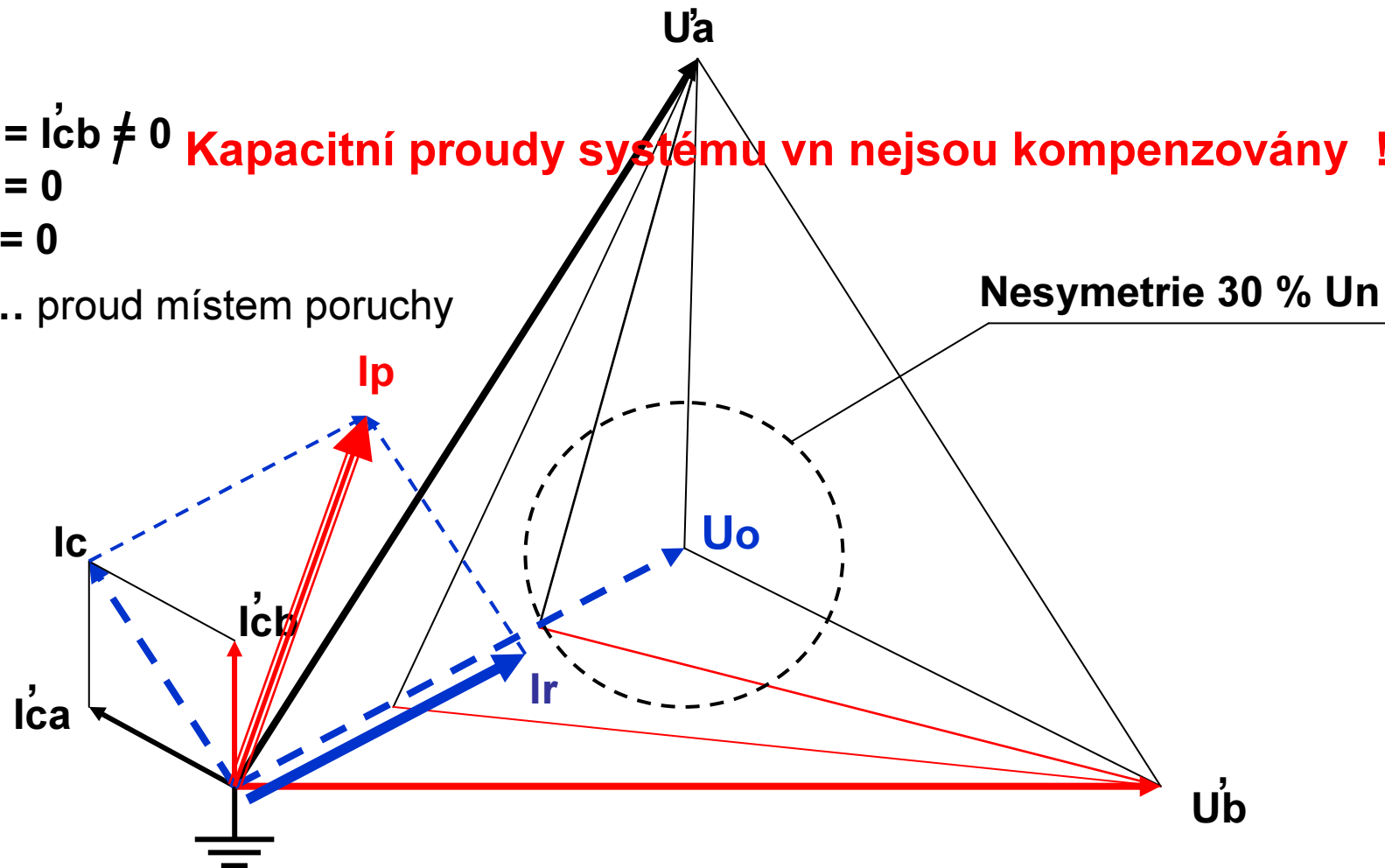
$$I'_{ca} = I'_{cb} \neq 0$$

$$I_{cc} = 0$$

$$U_c = 0$$

I_p ... proud místem poruchy

Kapacitní proudy systému vn nejsou kompenzovány !



Obrázek 6: Poruchový proud I_p je dán vektorovým součtem I'_c a I'_r

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Jednopolová izolační porucha:

Dojde-li v soustavě s uzlem transformátoru spojeným se zemí přes odporník k poruše izolace na jedné z fází systému vysokého napětí a tím k vodivému spojení této fáze se zemí, nemůže být celý systém, resp. postižený úsek vedení, dále provozován. K vypnutí postiženého vývodu dochází působením ochran v „krátkém čase“, tj. za 0,5 – 0,8 s. **Místem izolační poruchy pak prochází poměrně velký poruchový proud I_p , který je dán vektorovým součtem plného kapacitního proudu systému I_c a proudu I_r který je omezen velikostí rezistance odporníku a impedancí zkratové smyčky mezi místem poruchy a transformátorem.**

$$I_p = \sqrt{I_c^2 + I_r^2} \quad (1)$$

Uvedeným způsobem jsou provozovány především sítě kabelové, kde ani velký poruchový proud nezpůsobí díky kvalitnímu uzemnění propojených distribučních trafostanic nebezpečné navýšení dotykového a krokového napětí. Při použití odporníku ve smíšených sítích je vždy nutná kontrola a předběžné měření s výpočtovou korekcí na poruchový proud I_p .

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Pokud dojde k poruše v blízkosti napájecí transformovny, neuvažuje se ve výpočtech poruchových proudů v místě poruchy impedance poruchové smyčky a pro výpočet lze použít vztah (1). Se vzrůstající vzdáleností místa poruchy od napájecí transformovny klesá vlivem rostoucí impedance vedení i velikost poruchového proudu zkratové smyčky a místo I_r je třeba do (1) dosadit I_{p1} podle vztahu

$$I_{p1} = \frac{3U}{2Z_1 + Z_0 + 3R_p} \quad (2)$$

Kde $U...$ je fázové napětí

$Z_1...$ výsledná sousledná složka impedance

$Z_0...$ netočivá složka impedance

$R_p...$ přechodový odpor poruchy + uzlového odporníku

$I_{p1}...$ poruchový proud zkratové smyčky bez uvažování I_c

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Úpravou vztahu (2) a zohledněním přechodového odporu obloukových poruch na celkovou velikost poruchového proudu lze přejít k obvykle používanému vztahu (3), ve kterém je pokles velikosti poruchového proudu vlivem odporu oblouku zohledněn koeficientem $k = 0,7$ a omezení poruchového proudu vlastním odporníkem členem R_N .

$$I_{p1} = \frac{0,7 U_f}{\frac{2Z_1 + Z_0}{3} + R_N} \quad (3)$$

S ohledem na výše uvedené je zřejmé, že proud poruchy vývodu I_{p1} s rostoucí vzdáleností od transformovny klesá, zatímco kapacitní proud systému vn I_c je prakticky stálý. **Při výpočtech proudového nastavování jednotlivých ochran vývodů musíme tuto skutečnost respektovat a nastavovat ochrany individuálně pro každý vývod vn zvlášť.**

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Je třeba znovu připomenout, že pomocí uzlového odporníku pouze omezujeme jednopólový zkratový proud na přijatelnou mez, **příčemž kapacitní proud systému vn není nijak kompenzován**. Výsledný poruchový proud I_p je tedy dán vždy vztahem (1).

Vzorec (2) vychází z výpočtu nesymetrických zkratů pomocí souměrných složek. V případě impedancí vedení je složka sousledná Z_1 stejná jako zpětná Z_2 a proto je ve jmenovateli dosazeno $2Z_1$.

Problematická je zde velikost kapacitních proudů I_c systému vn, kdy kapacitní proudy městských kabelových sítí a smíšených sítí dosahují hodnot 300 A až 600 A. V pražských kabelových sítích dosahují kapacitní proudy vyšších hodnot. S ohledem na dříve uvedené může dojít k tepelnému poškození kabelů vn a proto musí být vývod vn po vzniku poruchy vypnut v „krátkém čase“ do 1 s, nejdéle do 5 s.

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru



Uzlový odporník 22 kV dodávaný firmou EGE České Budějovice

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

V některých případech je potřeba připojit ke kabelovému systému vn, chráněného uzlovým odporníkem, osamocenou část vrchního vedení vn s trafostanicí. **Je třeba si uvědomit, že hlavním problémem patrně bude společné uzemnění distribuční trafostanice a hodnota přechodového zemního odporu tohoto zemniče.** Podle PNE 330000-1 může být nejvyšší hodnota dotykového napětí na zemniči DTS $U_{tp} \leq 75 \text{ V}$, pro čas vypnutí poruchy $t > 5 \text{ s}$. Pro rychlé vypnutí poruchy ($t < 5 \text{ s}$) platí hodnoty podle tabulky C 3 s případnou interpolací.

Pokud by byl nastaven čas vypnutí vývodu vn v odporníkové síti na **$t = 0,72 \text{ s}$** , může dosáhnout U_{tp} hodnoty **125 V** . Bude-li mít DTS obvyklý přechodový odpor zemniče do **2Ω** , při proudu poruchy cca **450 A** , bude na zemniči DTS při poruše, tedy i na nulovacím vodiči, naměřena hodnota

$$U_{tp} = R_{zdts} \cdot I_p = 2 \cdot 450 = 900 \text{ V}$$

Pozor tedy na připojování vrchních vývodů vn na odporníkovou síť !!!

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru



Na obrázku je jednoduchý indikátor zkratových proudů od firmy MEGa, který je vhodný zejména pro indikaci dvojpólových a trojpólových zkratů.

Pro jednoznačnou indikaci jednopólových zkratů zde chybí odpovídající snímače.

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru



Speciální proudové PTP pro indikátory IZP

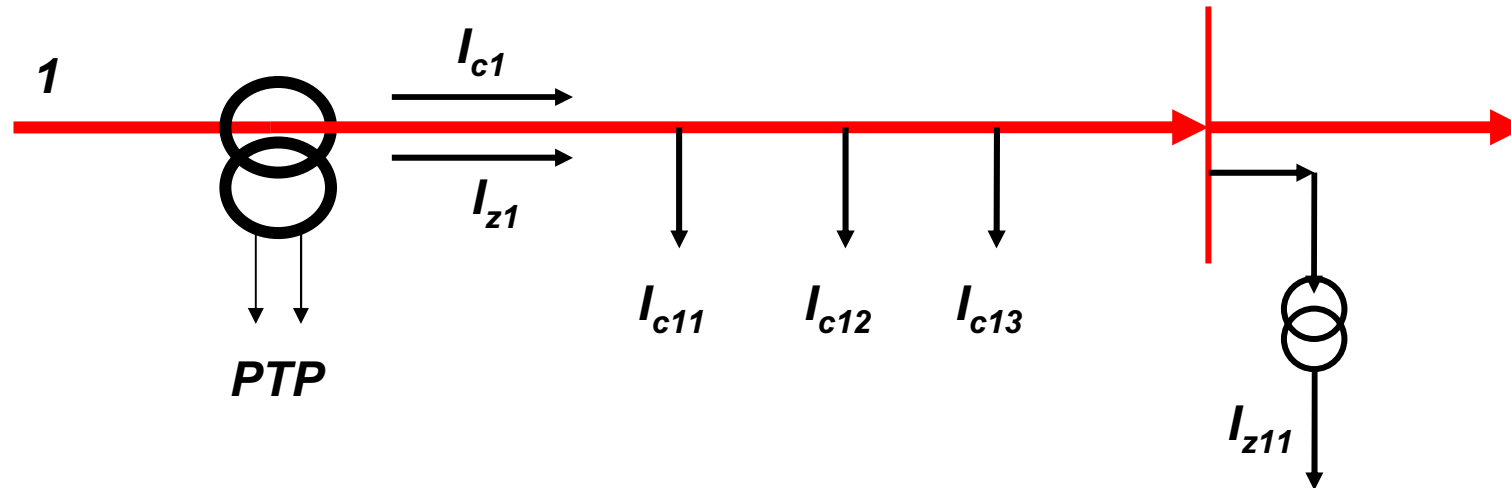
Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Na kabelových vývodech vedení vysokého napětí, které se provozují v základním provozním stavu jako paprskové, neumožňují ochrany vývodu v rozvodně vn lokalizovat místo poruchy na postiženém vývodu vn. Abychom tento stav zlepšili, umístíme do jednotlivých distribučních trafostanic (DTS) na žíly kabelových koncovek vn zmíněné snímače. Při průchodu zvýšeného poruchového proudu tuto skutečnost indikátor vyhodnotí a poruchová data jsou následně automaticky odeslána na dispečink, resp., jsou zobrazena na indikátoru do příchodu poruchové služby. Při správné funkci těchto indikátorů dokážeme ve velmi krátké době lokalizovat postižený úsek kabelu a zajistit náhradní napájení.

Indikace je však zatížena proměnlivým provozním proudem zátěže, nabíjecím a zpětným kapacitním proudem a v neposlední řadě také omezenými možnostmi jemného nastavení těchto indikátorů. Cestou ke zlepšení je ve využití jiného způsobu zapojení snímačů (součtové zapojení), popřípadě využití toroidních PTP.

Přes zmíněná omezení jsou indikátory jediným prostředkem, který dokáže v poměrně krátké době lokalizovat postižený úsek s jednopólovou izolační poruchou.

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru



Vodiči kabelu vývodu 1 protéká jednak proud zatěžovací I_{z1} a dále nabíjecí kapacitní proud tohoto kabelu I_{c1} . Oba proudy se s rostoucí vzdáleností od transformátoru zmenšují, přičemž kabel generuje na jednotku délky kabelu stejný kapacitní proud. Při jednopólové poruše se vrací postiženou fází poruchový proud I_p podle obr. 6.

Proměnlivá velikost proudu zátěže a částečné toky kapacitních proudů pláště okolních kabelů nám občas způsobí nejednoznačnou funkci jednoduchých indikátorů IZP, které umístíme v trase kabelu v DTS. Pomoci může například eliminace proudu zátěže a měření pouze netočivé složky poruchového proudu.

Sítě vysokého napětí s odporníkem v uzlu transformátoru

Indikátor pouze indikuje úsek postiženého kabelového úseku, vlastní vypnutí celého vývodu v krátkém čase zajišťuje ochrana vývodu v rozvodně vn prostřednictvím s výkonového vypínače. Pokud by došlo k selhání ochrany nebo vypínače, je s malým časovým zpožděním vypnut ze strany vn celý napájecí transformátor 110 kV/vn a "dojde tedy k vypnutí celé rozvodny vn.

Vlastní uzlový odporník je proudově dimenzován tak, aby vydržel průchod jmenovitého proudu **po dobu do 6 s.** Překročením této doby by došlo k jeho tepelné destrukci a vlastní síť vn by pak přešla z odporníkové sítě ITr na síť nekompensovanou IT. To je ale stav nepřijatelný, neboť bez kontroly vlastního odporníku lze při dálkovém ovládní znovu zapnout výkonový transformátor a ohrozit zařízení a osoby v blízkosti poruchy.

Z uvedeného důvodu se vlastní odporník nejistí proti proudovému přetížení nadproudovou ochranou a jedinou ochranou je jeho včasné odpojení, resp. jeho zapnutí do poruchy až po částečném ochlazení. Tuto funkci zajišťuje na základě snímání tepelného obrazu automatika odporníku. Odporník je navíc chráněn, stejně jako transformátor, kostrovou ochranou a druhým stupněm proudové spouště při odporových poruchách. Na malý poruchový proud nereaguje ochrana vývodu a po nastaveném čase do max. 18 s vypíná vypínač transformátoru!