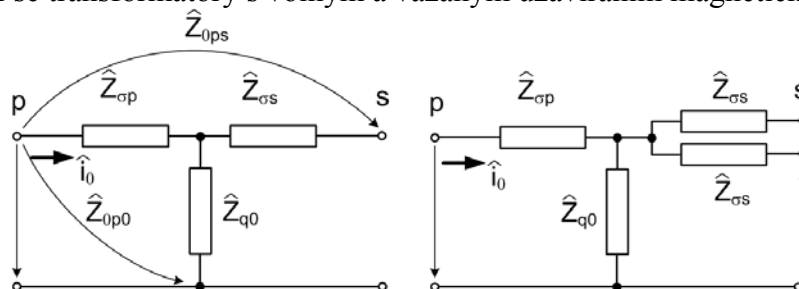


Impedance složkových soustav souměrných složek

Pro analýzu parametrů netočivé složkové soustavy vyjdeme z náhradního schématu dvouvinutového transformátoru viz. obr. 1a. a pro třívínutový transformátor viz. obr. 1b. Podélné prvky jsou stejné jako pro souslednou složkovou soustavu. Prvek v příčné větvi je popsán impedancí z_{q0} , která bude určena pro každý případ zapojení transformátoru zvlášť. Proudů netočivé složkové soustavy jsou ve všech třech fázích stejné velikosti a konfázní, totéž platí i pro napětí netočivé složkové soustavy. Při odvozování vyjdeme z následujících předpokladů:

1. napětí netočivé složkové soustavy je přivedeno na svorky primárního vinutí
2. při výpočtech pracujeme s poměrnými hodnotami, vztaženými na jmenovité napětí a jmenovitý výkon primáru
3. rozlišují se transformátory s volným a vázaným uzavíráním magnetických toků



Obr. 1: Náhradní schéma dvouvinutového a třívínutového transformátoru

U transformátorů s volným uzavíráním magnetických toků se magnetické toky sousledné, zpětné i netočivé složkové soustavy uzavírají po stejných cestách (čtyřjádrové, plášťové a tři jednofázové jednotky). Magnetický odpor je proměnný a jeho přesné určení není možné. Nádobu sama jednak zvětšuje vodivost, jednak jako závit nakrátko tlumí odejmutý magnetický tok.

A) transformátory dvouvinutové

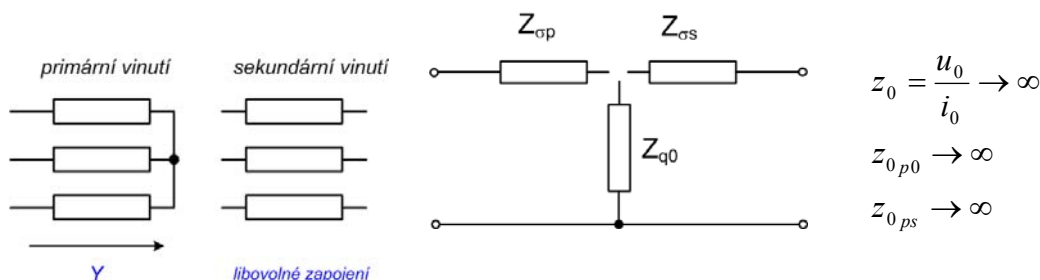
a) primární vinutí do hvězdy s izolovaným uzlem – sekundární vinutí libovolně zapojené

Pro proudy v uzlu primárního vinutí platí:

$$z_0 = \frac{u_0}{i_0} \rightarrow \infty$$

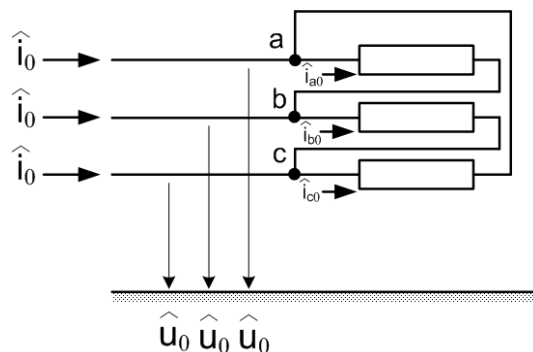
$$z_{0p0} \rightarrow \infty$$

$$z_{0ps} \rightarrow \infty$$



b) primární vinutí do trojúhelníka – sekundární vinutí libovolně zapojené

Pokud přiložíme na primární svorky vinutí transformátoru zapojeného do trojúhelníka napětí nulové složkové soustavy \hat{u}_0 podle obr. 2, kde \hat{z} je impedance jedné fáze, předpokládáme, že jednotlivými fázemi protékají neznámé proudy: $\hat{i}_a, \hat{i}_b, \hat{i}_c$.



Obr. 2: Toky nulových složek u transformátoru zapojeného do trojúhelníka

Kirchhoffův zákon pro smyčky poskytuje pro část mezi:

svorkami **a – b**: $\hat{u}_0 - \hat{u}_0 = \hat{z}_0 \cdot \hat{i}_{a0}$

svorkami **b – c**: $\hat{u}_0 - \hat{u}_0 = \hat{z}_0 \cdot \hat{i}_{b0}$

svorkami **a – c**: $\hat{u}_0 - \hat{u}_0 = \hat{z}_0 \cdot \hat{i}_{c0}$

Z předcházejících rovnic vyplývá: $\hat{i}_{a0} = \hat{i}_{b0} = \hat{i}_{c0} = 0$

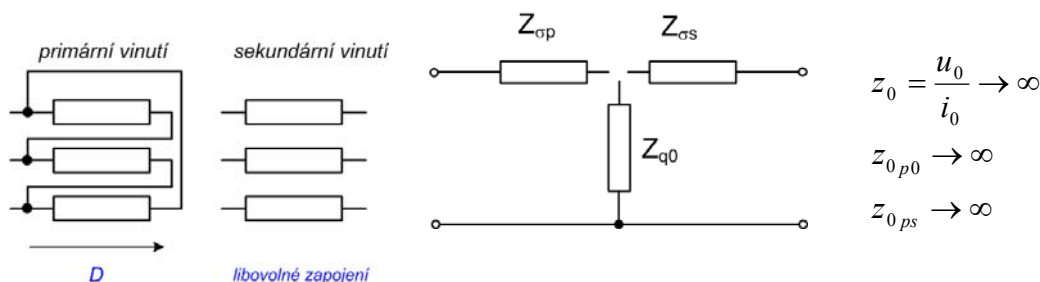
Součet všech proudů v uzlech a, b, c poskytuje $\hat{i}_0 = 0$.

Na základě tohoto výsledku můžeme psát:

$$z_0 = \frac{u_0}{i_0} \rightarrow \infty$$

$$z_{0p0} \rightarrow \infty$$

$$z_{0ps} \rightarrow \infty$$



c) primární vinutí do hvězdy s přímo uzemněným uzlem – sekundární vinutí do trojúhelníka

Proudy \hat{i}_0 v primárním vinutí vyvolávají v sekundárním vinutí proudy \hat{i}_0' , jimiž se dosáhne magnetické rovnováhy na každém sloupcu transformátoru. Z Kirchhoffova zákona o proudech v uzlech a, b, c sekundárního vinutí dostaneme, že proudy \hat{i}_0' se uzavírají v sekundárním vinutí nakrátko a nepronikne do dalšího obvodu. Z náhradního schématu dostaneme:

$$\hat{z}_{0p0} = \hat{z}_{\sigma p} + \hat{z}_{q0}$$

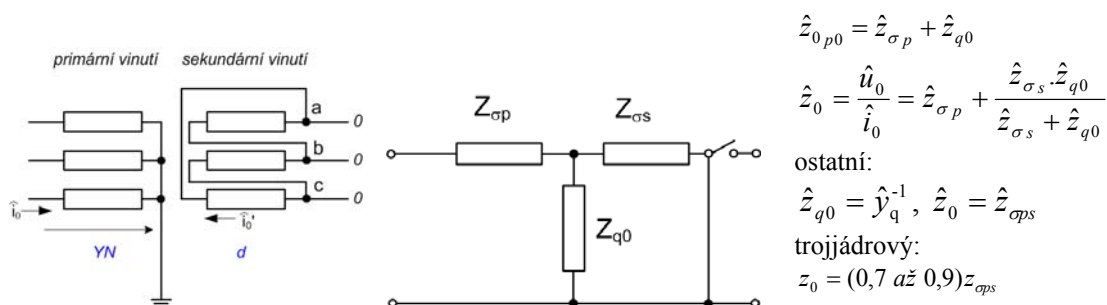
$$\hat{z}_0 = \frac{\hat{u}_0}{\hat{i}_0} = \hat{z}_{\sigma p} + \frac{\hat{z}_{\sigma s} \cdot \hat{z}_{q0}}{\hat{z}_{\sigma s} + \hat{z}_{q0}}$$

Impedance \hat{z}_{q0} závisí na typu transformátoru. Při volném uzavírání magnetických toků $\hat{z}_{q0} = \hat{y}_q^{-1} \gg \hat{z}_{\sigma s}$. Potom lze zjednodušeně psát $\hat{z}_0 \approx \hat{z}_{\sigma p}$. Při vázaném uzavírání $|\hat{z}_{q0}| < |\hat{y}_q^{-1}|$, neboť část magnetického toku se uzavírá přes nádobu transformátoru a nebo vzduchem, proto platí:

$$z_0 = (0,7 \text{ až } 0,9) z_{\sigma ps}$$

$$r_0 = (1,5 \text{ až } 2,5) r_{ps}$$

r_{ps}poměrná hodnota rezistence primárního a sekundárního vinutí



d) primární vinutí do hvězdy s přímo uzemněným uzlem – sekundární vinutí do hvězdy s izolovaným uzlem

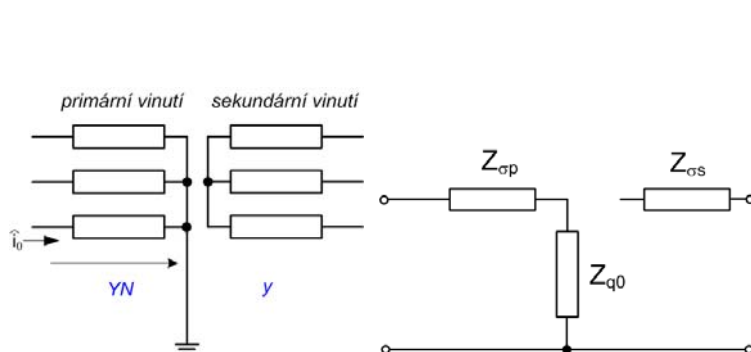
Sekundárním vinutím nemůže procházet žádný proud netočivé složkové soustavy (Kirchhoffův zákon o proudech v uzlu). Podle náhradního schématu je patrné, že proud \hat{i}_0 ve své jalové složce má charakter magnetizačního proudu. Obecně bude platit:

$$|\hat{z}_{0ps}| \rightarrow \infty$$

$$\hat{z}_0 = \hat{z}_{0p0} = \hat{z}_{\sigma p} + \hat{z}_{p0}$$

Transformátory s volným uzavíráním magnetických toků mají $\hat{z}_{q0} = \hat{y}_q^{-1}$, tedy s modulem velmi značné hodnoty (praxe často vystačí s přibližností $|\hat{z}_0| \rightarrow \infty$). U transformátorů s vázaným uzavíráním se musí \hat{z}_{q0} stanovit zkouškami a je závislé na \hat{i}_0 . Literatura uvádí

zhodnocení výsledků měření, která poskytují $\hat{z}_0 = (0,3 \text{ až } 1)$ úhel $\frac{\pi}{3} \text{ až } \frac{2}{5}\pi$ v poměrných hodnotách, vztažných na jmenovitý výkon a jmenovité napětí primáru.



$$|\hat{z}_{0ps}| \rightarrow \infty$$

$$\hat{z}_0 = \hat{z}_{0p0} = \hat{z}_{op} + \hat{z}_{p0}$$

trojjádrový:

$$\hat{z}_0 = (0,3 \text{ až } 1) \text{ úhel } \frac{\pi}{3} \text{ až } \frac{2}{5}\pi$$

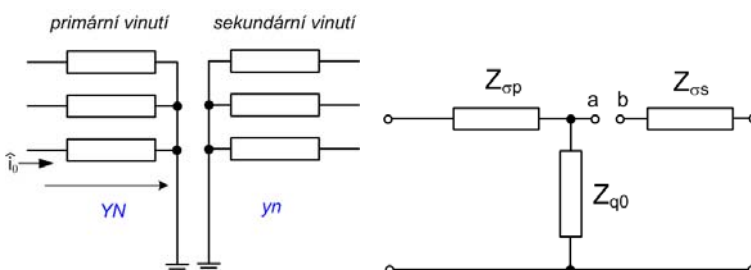
ostatní:

$$\hat{z}_{q0} = \hat{y}_q^{-1} \text{ teoreticky}$$

$$|\hat{z}_0| \rightarrow \infty \text{ prakticky}$$

e) primární vinutí do hvězdy s přímo uzemněným uzlem – sekundární vinutí zapojené stejně jako primární vinutí

Je-li za sekundárním vinutím prvek s vinutím do hvězdy nebo do lomené hvězdy s uzemněným uzlem, pak body a-b u vstupních parametrů pro náhradní schéma transformátoru jsou propojeny $\hat{z}_{q0} = \hat{y}_q^{-1}$. Není-li splněna předcházející podmínka, přechází uspořádání na předcházející případ tj. primární vinutí do hvězdy s přímo uzemněným uzlem – sekundární vinutí do hvězdy s izolovaným uzlem a body a-b jsou rozpojeny.



za sekundárním vinutím
následuje yn, zn: uzly **a b**
spojeny nakrátko

za sekundárním vinutím
následuje y, z, d: uzly **a b**
rozpojeny, takže přechází
na YN v

f) primární vinutí do lomené hvězdy s přímo uzemněným uzlem a sekundární vinutí libovolně zapojené

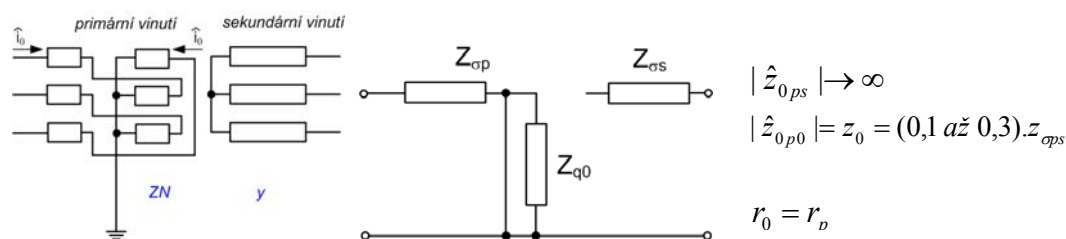
Proudy \hat{i}_0 si vytvoří magnetickou rovnováhu na každém sloupku samy a způsobí výsledně jen rozptylové magnetické toky mezi polovinami vinutí na sloupku. Tomu odpovídá rozptylová reaktance, která je menší než rozptylová reaktance pro souslednou složkovou soustavu. Výsledky měření poskytují závěry:

- $|\hat{z}_{0ps}| \rightarrow \infty$

- $|\hat{z}_{0p0}| = z_0 = (0,1 \text{ až } 0,3) \cdot z_{ops}, r_0 = r_p$

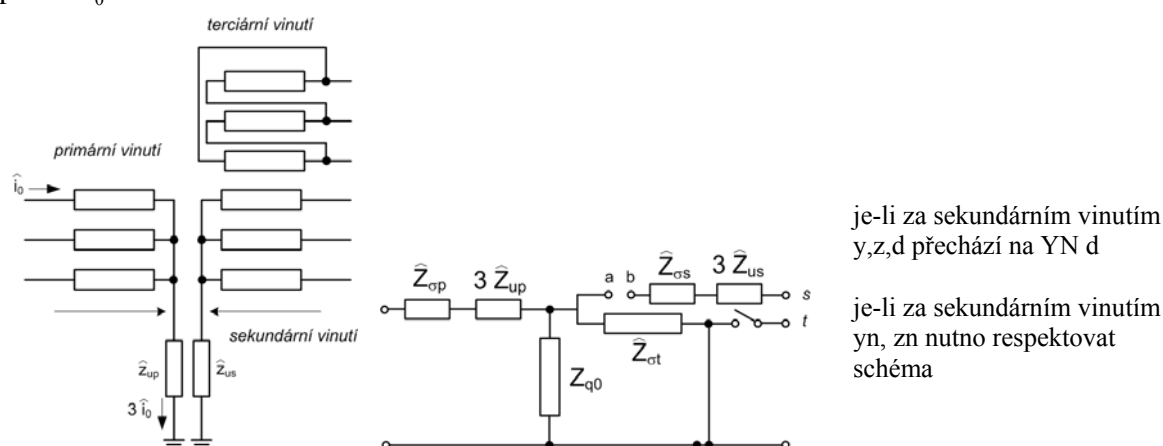
r_0rezistence netočivé složky (-)

r_prezistence primárního vinutí



g) impedance vložená mezi vinutí do hvězdy nebo lomené hvězdy a zem

Pro souslednou a zpětnou složkovou soustavu se s impedancí \hat{z}_u nepočítá, protože přes ní neteče žádný proud těchto složkových soustav. Součet proudů sousledné, případně zpětné složkové soustavy je v uzlu vinutí roven nule. Uzlovou impedancí protéká proud $3\hat{i}_0$, což je součet proudů netočivé složkové soustavy všech tří fází. Úbytky napětí je $3\hat{z}_u \cdot \hat{i}_0$. V souladu s fyzikální představou řadíme tuto impedanci v náhradním schématu do série s primárním vinutím. Musíme však ve schématu uvážit impedanci $3\hat{z}_u$, tj. trojnásobek skutečné impedance v souladu s tím, že jí protéká proud $3\hat{i}_0$, avšak fází v primárním vinutí jen proud \hat{i}_0 .

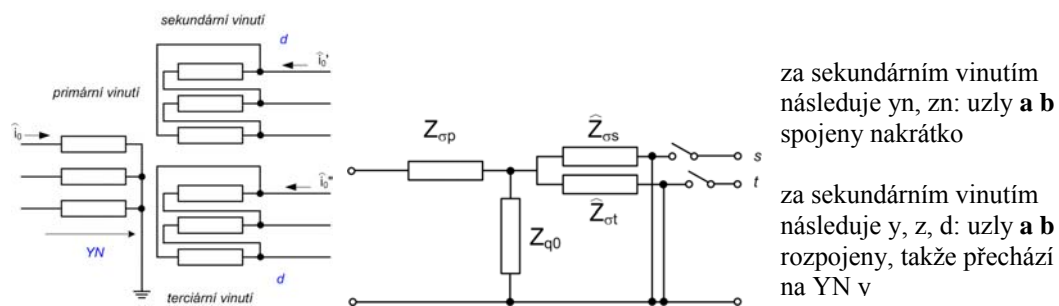


B) transformátory trojvinut'ové

Využijeme-li rozboru pro dvouvinut'ové transformátory. Uspořádání vinutí:

- primární vinutí zapojené do hvězdy s izolovaným uzlem nebo do trojúhelníka $z_{0p0} \rightarrow \infty, z_0 \rightarrow \infty$
- primární vinutí zapojené do hvězdy s přímo uzemněným uzlem, hvězda s izolovaným uzlem, trojúhelník YN y d vyplývá, že vinutím do hvězdy s izolovaným uzlem nemůže protékat proud netočivé složkové soustavy. Ve vinutí do trojúhelníka se proudy netočivé složkové soustavy uzavřou nakrátko. Pro netočivou složkovou soustavu odpovídá tento transformátor dvouvinut'ovému v uspořádání YN d.

Analogicky lze postupovat pro všechna další uspořádání.



Konečnou hodnotu impedance netočivé složkové soustavy \hat{z}_0 mají transformátory, které na straně, kde je připojeno napětí netočivé složkové soustavy \hat{u}_0 , mají vinutí do hvězdy nebo lomené hvězdy s uzemněným uzlem (primární vinutí). Impedance \hat{z}_0 může však nabýt značné velikosti.