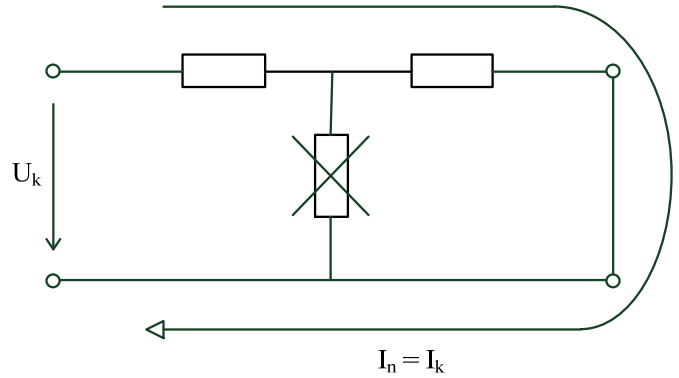
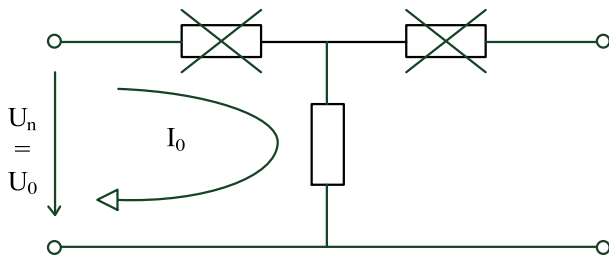


$$z = r + jx$$

$$\frac{1}{j\omega L} = -j \frac{1}{\omega L}$$

• Naprázdno:

• Nakrátko:



$$S_n, U_n, i_0, u_k, \Delta P_0, \Delta P_k$$

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n$$

$$Z_n = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n} = \frac{U_n}{\frac{\sqrt{3} S_n}{\sqrt{3} U_n}} = \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$R = \frac{U^2}{\Delta P} \rightarrow G = \frac{\Delta P_0}{U_n^2}$$

$$g = \frac{G}{Y_n} = \frac{\Delta P_0}{U_n^2 S_n} = \frac{\Delta P_0}{S_n}$$

$$Y_q = \frac{I}{U} = \frac{i_0 I_n}{\frac{u_0}{\sqrt{3}} U_n} = i_0 \frac{1}{Z_n} = i_0 \frac{S_n}{U_n^2}$$

$$y_q = Y_q Z_n = i_0$$

$$b = \sqrt{y_q^2 - g^2}$$

$$B = b Y_n$$

$$R = \frac{\Delta P}{I^2} = \frac{\Delta P_K / 3}{I_n^2} = \frac{\Delta P_K U_n^2}{S_n^2}$$

$$r = \frac{R}{Z_n} = \frac{\Delta P_K}{S_n}$$

$$Z_K = \frac{U}{I} = \frac{\frac{u_K U_n}{\sqrt{3}}}{\frac{i_K}{\sqrt{3}} I_n} = u_K Z_n = u_K \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$z_K = \frac{Z_K}{Z_n} = u_K$$

$$x_0 = \sqrt{z^2 - r^2}$$

$$X_0 = x_0 Z_n$$

$$z = \frac{Z}{Z_n} = \frac{R + jX}{Z_n} = \frac{R}{Z_n} + j \frac{X}{Z_n} = r + jx$$

$$\left. \begin{aligned} Z_{K22} &= z_K \frac{\widetilde{U}_n^2}{S_n} \\ Z_{K0,4} &= z_K \frac{\widetilde{U}_n^2}{S_n} \end{aligned} \right\} Z_{K0,4} = Z_{K22} \left( \frac{0,4}{22} \right)^2$$

**Příklad 1**

Určete parametry náhradního dvojbranu pro dvouvinuťový transformátor s těmito technickými údaji: jmenovitý výkon  $S_{nom} = 1600$  kVA; jmenovitá napětí 22 kV, 400/231 V; spojení vinutí fází D/yn1; napětí nakrátko  $u_{k\%} = 6$  %; proud naprázdno  $I_{0\%} = 0,7$  %; ztráty naprázdno  $\Delta P_0 = 2,41$  kW; ztráty nakrátko  $\Delta P_k = 16$  kW. Veličiny zjistěte v hodnotách poměrných, vztažených na jmenovitý výkon a jmenovité napětí a v hodnotách pojmenovaných, vztažených vždy na jedno jmenovité napětí.

**Řešení:**

- a) Výpočet v poměrných hodnotách vztažených na výkon  $S_{nom} = 1,6 \cdot 10^6$  VA, napětí do rovnic nevstupuje:

Poměrná příčná konduktance:

$$g_q = \frac{\Delta P_0}{S_{nom}} = \frac{2410}{1,6 \cdot 10^6} = 0,0015$$

Poměrná příčná admitance:

$$y_q = \frac{I_{0\%}}{100} = \frac{0,7}{100} = 0,007$$

Poměrná příčná susceptance:

$$b_q = \sqrt{y_q^2 - g_q^2} = \sqrt{0,007^2 - 0,0015^2} = 0,006836$$

Poměrná příčná admitance:

$$\hat{y}_q = g_q - j b_q = 0,0015 - j 0,006836 = 0,007 \cdot e^{-j1,354}$$

Poměrná rezistence obou vinutí:

$$r_k = \frac{\Delta P_k}{S_{nom}} = \frac{16000}{1,6 \cdot 10^6} = 0,01$$

Poměrná podélná impedance (nakrátko):

$$z_k = \frac{u_{k\%}}{100} = \frac{6}{100} = 0,06$$

Poměrná rozptylná reaktance obou vinutí:

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{0,06^2 - 0,01^2} = 0,05916$$

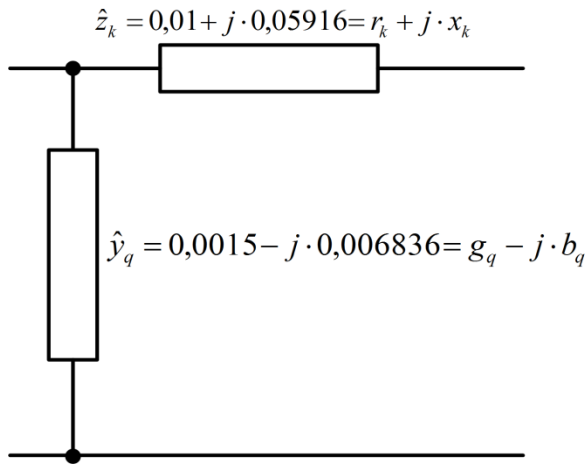
Podélná impedance (nakrátko):

$$\hat{z}_k = r_k + j x_k = 0,01 + j 0,05916 = 0,06 \cdot e^{j1,031}$$

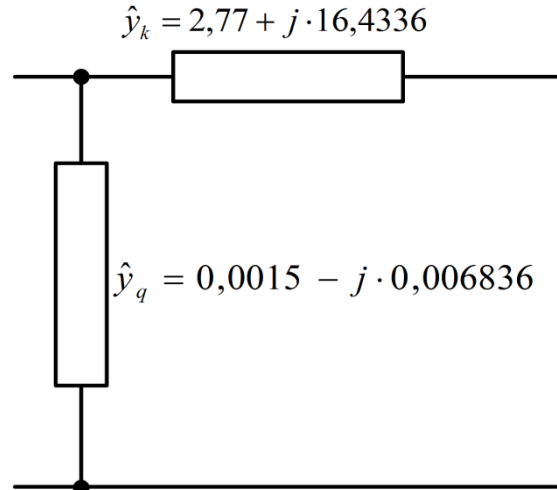
Tomu odpovídá poměrná podélná admitance:

$$\hat{y}_k = \hat{z}_k^{-1} = 0,06^{-1} \cdot e^{-j1,403} = 16,6 \cdot e^{-j1,403} = 2,77 - j 16,4336$$

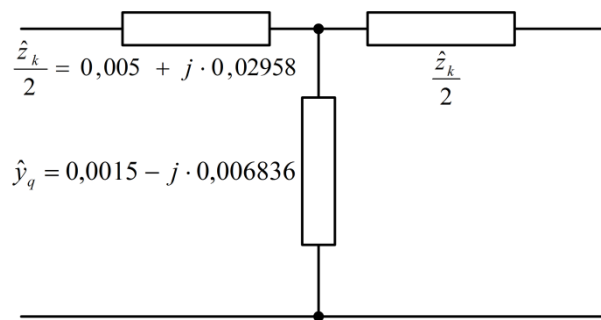
Náhradní dvojbran ve tvaru gama článku s podélnou impedancí je na obr. 1, s podélnou admitancí na obr. 2. Pro náhradní T článek se rozdělí podélná impedance stejným dílem na primár a sekundár, což neodpovídá přesně skutečným poměrům (obr. 3); pro náhradní  $\pi$  článek se naopak rozděljuje příčná admitance stejným dílem na oba konce a v podélné větvi je uvedena admitance podélná (obr. 4).



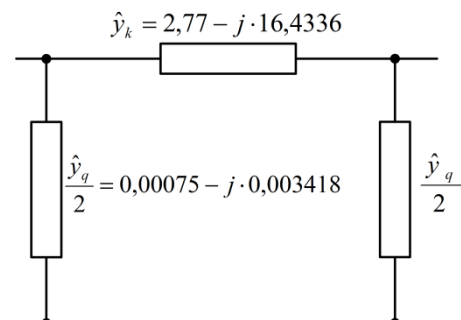
Obr. 1 - Náhradní dvojbran ve tvaru gama článku s podélnou impedancí



Obr. 2 - Náhradní dvojbran ve tvaru gama článku s podélnou admitancí



Obr. 3 – Náhradní T-článek



Obr. 4 – Náhradní  $\pi$ -článek

b) Výpočet v hodnotách pojmenovaných, vztažených na jmenovité napětí 22 kV

Příčná admitance:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_q &= \hat{y}_q \frac{S_{nom}}{U_{nom}^2} = (0,0015 - j0,006836) \cdot \frac{1,6 \cdot 10^6}{(22 \cdot 10^3)^2} = (4,9793 - j22,5984) \cdot 10^{-6} S \\ &= G_q - jB_q = (23,1405 \cdot 10^{-6}) \cdot e^{-j1354} S \end{aligned}$$

Podélná impedance (nakrátko):

$$\begin{aligned} \hat{Z}_k &= \hat{z}_k \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = (0,01 + j0,05916) \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1,6 \cdot 10^6} = 3,025 + j17,8961 = R_k + jX_k \\ &= 18,15 \cdot e^{j1,403} \Omega \end{aligned}$$

a k ní odpovídající podélná admitance:

$$\hat{Y}_k = \hat{Z}_k^{-1} = 0,0551 \cdot e^{-j1,403} S$$

S použitím těchto hodnot lze stanovit náhradní dvojbrany  $\gamma$ ,  $T$ ,  $\pi$  jako v předešlém případě s poměrnými hodnotami.

- c) Výpočet v hodnotách pojmenovaných, vztažených na jmenovité napětí 400 V. Analogicky jako ad b) bude:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_q &= \hat{y}_q \frac{S_{nom}}{U_{nom}^2} = (0,0015 - j0,006836) \cdot \frac{1,6 \cdot 10^6}{400^2} = (0,0151 - j0,06836) \\ &= 0,07 \cdot e^{-j1,354} S \end{aligned}$$

$$\hat{Z}_k = \hat{z}_k \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = (0,01 + j0,05916) \cdot \frac{400^2}{1,6 \cdot 10^6} = (0,001 + j0,005916) = 0,006 \cdot e^{j1,403} \Omega$$

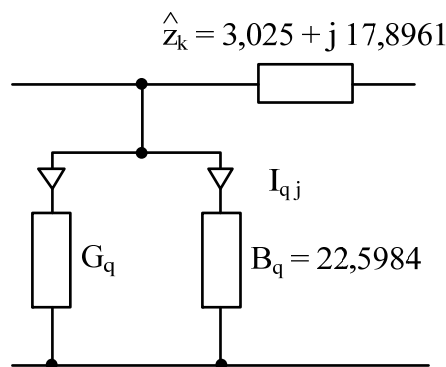
$$\hat{Y}_k = \hat{Z}_k^{-1} = 166,6 \cdot e^{-j1,403} S$$

## Příklad 2

Pro trojfázový transformátor z předešlého příkladu stanovte velikost jalového výkonu, odebíraného strojem naprázdno. Stroj je připojen na straně 22 kV.

### Řešení:

- a) vyjdeme z dvojbranu ve tvaru  $\gamma$  článku v hodnotách pojmenovaných a vztažených na jmenovité primární napětí 22 kV. (obr. 5)



Obr. 5

Jalový výkon naprázdno bude:

$$\begin{aligned} -j Q_{q0} &= 3 \hat{U}_f^* \hat{I}_{qj} = 3 \hat{U}_f^* \hat{U}_f (-j B_q) = -j B_q U^2 = -j (22 \cdot 10^3)^2 \cdot 22,5984 \cdot 10^{-6} \\ &= -j 10937,6 [VAr] = -j 10,9376 [kVAr] \end{aligned}$$

- b) je-li proud naprázdno  $I_o$ , bude velikost zdánlivého výkonu naprázdno:

$$S_{10} = 3 U_{f nom} I_o = 3 U_{f nom} I_{nom} \frac{I_o}{I_{nom}} \frac{100}{100} = S_{nom} \frac{I_{0\%}}{100} = 1600 \frac{0,7}{100} = 11,2 [kVA]$$

Neboť  $I_{0\%} = I_0 \cdot 100/I_{nom}$ . Poněvadž ztráty činného výkonu naprázdno jsou  $\Delta P = 2,41 \text{ kW}$ , bude jalový výkon naprázdno:

$$Q_{q0} = \sqrt{S_{10}^2 - \Delta P_0^2} = \sqrt{11,2^2 - 2,41^2} = 10,9376 \text{ [kVAr]}$$

Jak poznáme z dalšího příkladu, je toto nejmenší jalový výkon odebíraný strojem při provozu. Jen tento výkon lze kompenzovat individuálním kompenzačním prostředníkem (paralelním kondenzátorem), připojeným obvykle na straně s nižší jmenovitým napětím.

Oba předvedené způsoby výpočtu jsou rovnocenné. První způsob se použije, je-li zadán dvojbran pro příslušný transformátor; alternativa b) používá technické údaje stroje přímo. V praxi, jde-li o přibližnou hodnotu, stačí uvážit  $S_{10} \doteq Q_{q0}$ ; v našem případě se dopouštíme chyby asi 2,3 %. Jestliže by výpočet měl sloužit k stanovení výkonu kompenzačního kondenzátoru, pak musíme volit typový výkon nejbližší nižší a tím je 10 kVAr.