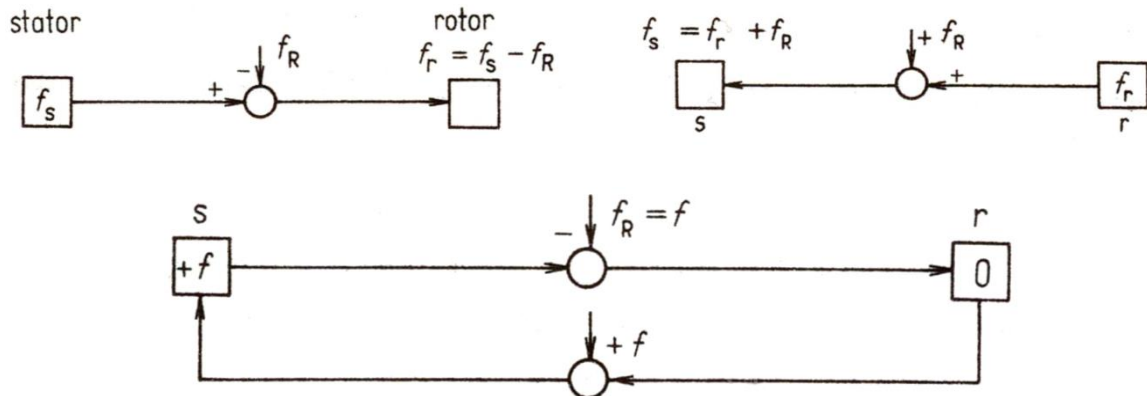


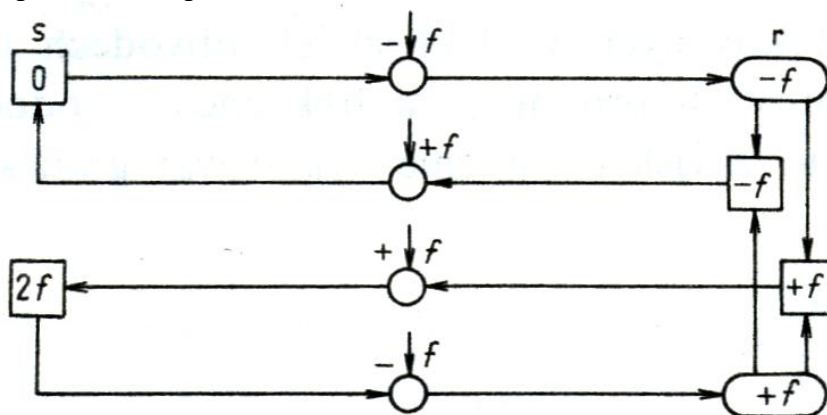
PJS – Přednáška číslo 4

Nesymetrie v ES

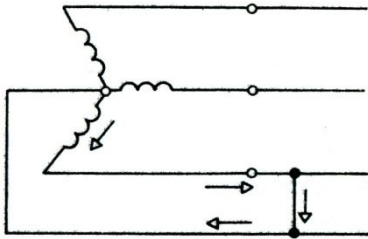
Řešení nesymetrií je problematické zejména u alternátorů, protože díky nesymetriím produkují kompletní spektrum vyšších harmonických a veličiny v souřadném systému d, q, 0, které přestaly být harmonicky proměnné opět proměnné jsou a výhoda transformace se ztrácí. Nesymetrie způsobují statoru vznik proudů lichých harmonických a v rotoru sudých harmonických základní frekvence. Opačné harmonické vznikají jako důsledek statorového volného stejnosměrného proudu při přechodných dějích.



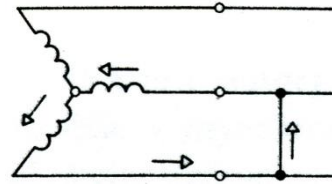
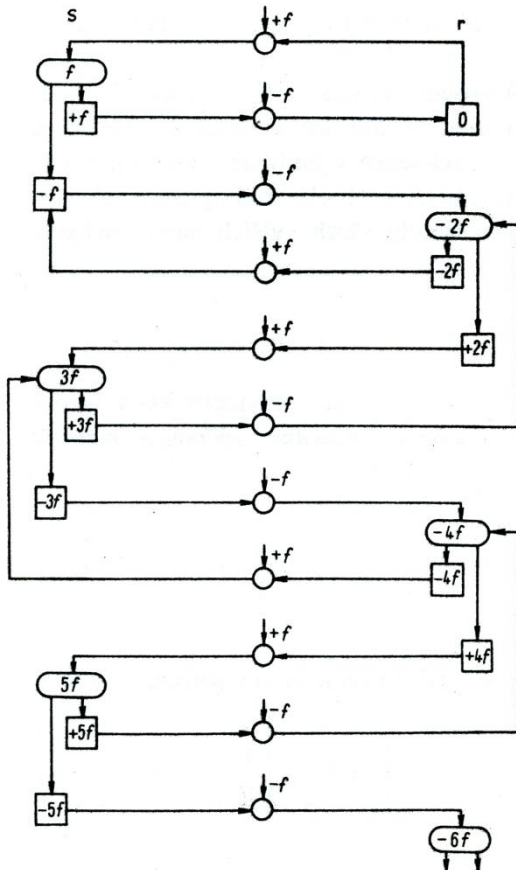
Volné proudy statoru (například jako stejnosměrná složka zkratového proudu) vyvolají pulsující pole v rotoru, které rozložíme dle Leblancova teorému na dvě pole točivá protisměrná s poloviční amplitudou.



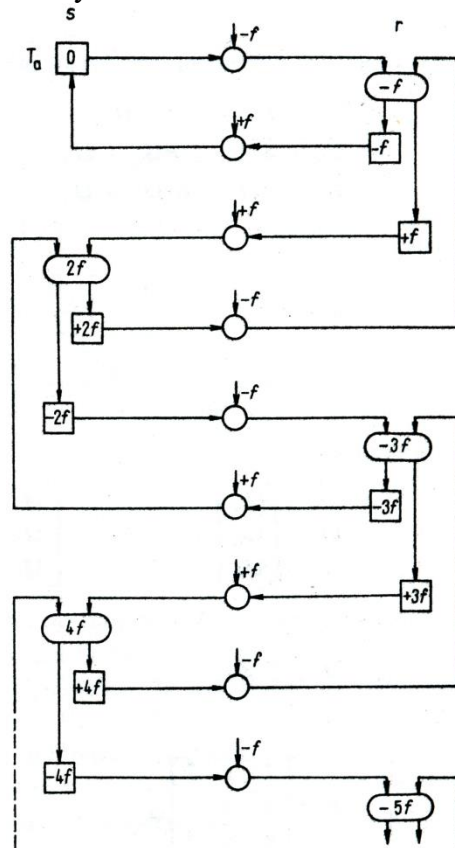
Jinak je tomu u proudů nesymetrických. Tehdy v ustáleném stavu protékají státorem poruchové proudy vytvářející pole pulsující jednoosé, které zapříčiní vývin sudých násobků frekvence proudů v rotoru a následně lichých ve statoru. Naopak přechodná volná složka poruchových proudů ve statoru, mající stejnosměrný charakter, způsobí vznik lichých násobků frekvencí v rotoru a sudých ve statoru.



Důsledky ustáleného nesymetrického zatížení statoru:



Důsledky přechodného stejnosměrného nesymetrického zatížení statoru:



Princip výpočtů nesymetrií s využitím metody souměrných složkových soustav

Převedení trojfázového nesymetrického problému na superpozici tří symetrických aktivních složkových soustav a pasivní náhrady nesymetrie rovněž převedené do těchto symetrických soustav. Nutným předpokladem je lineární prostředí.

$$U_A = U_A^{(1)} + U_A^{(2)} + U_A^{(0)}$$

$$U_B = U_B^{(1)} + U_B^{(2)} + U_B^{(0)}$$

$$U_C = U_C^{(1)} + U_C^{(2)} + U_C^{(0)}$$

$$a = -\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{i\frac{2\pi}{3}}$$

$$U_A = U_A^{(1)} + U_A^{(2)} + U_A^{(0)}$$

$$U_B = a^2 U_A^{(1)} + a U_A^{(2)} + U_A^{(0)}$$

$$U_C = a U_A^{(1)} + a^2 U_A^{(2)} + U_A^{(0)}$$

$$[\mathbf{F}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{F}^{-1}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_A^{(1)} \\ U_A^{(2)} \\ U_A^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_A^{(1)} \\ U_A^{(2)} \\ U_A^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{F}^{-1}] \cdot \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix}$$

$$U^{(1)} = \frac{1}{3} (U_A + aU_B + a^2U_C)$$

$$U^{(2)} = \frac{1}{3} (U_A + a^2U_B + aU_C)$$

$$U^{(0)} = \frac{1}{3} (U_A + U_B + U_C)$$

Podélné články:

$$\begin{bmatrix} \Delta U_A \\ \Delta U_B \\ \Delta U_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z & Z_M & Z_M \\ Z_M & Z & Z_M \\ Z_M & Z_M & Z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}] \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} \Delta U^{(1)} \\ \Delta U^{(2)} \\ \Delta U^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta U^{(1)} \\ \Delta U^{(2)} \\ \Delta U^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{F}^{-1}] [\mathbf{Z}] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}^{(S)}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{Z}^{(S)}] = [\mathbf{F}^{-1}] [\mathbf{Z}] \cdot [\mathbf{F}] = \begin{bmatrix} Z - Z_M & 0 & 0 \\ 0 & Z - Z_M & 0 \\ 0 & 0 & Z + 2Z_M \end{bmatrix}$$

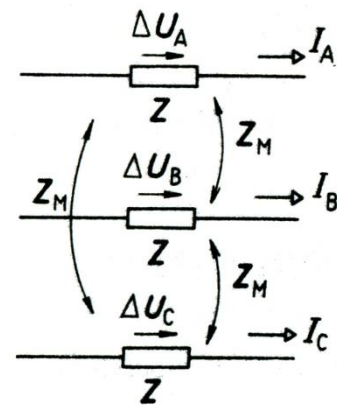
$$\Delta U^{(1)} = (Z - Z_M) I^{(1)} = Z^{(1)} I^{(1)}$$

$$\Delta U^{(2)} = (Z - Z_M) I^{(2)} = Z^{(2)} I^{(2)}$$

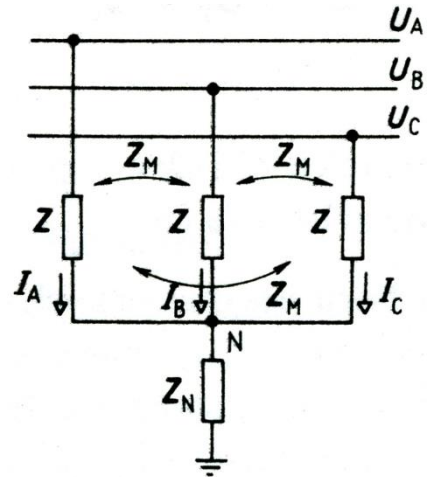
$$\Delta U^{(0)} = (Z + 2Z_M) I^{(0)} = Z^{(0)} I^{(0)}$$

Příčné články:

$$\begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z & Z_M & Z_M \\ Z_M & Z & Z_M \\ Z_M & Z_M & Z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_N & Z_N & Z_N \\ Z_N & Z_N & Z_N \\ Z_N & Z_N & Z_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$$



$$[\mathbf{Z}_N] = \begin{bmatrix} Z_N & Z_N & Z_N \\ Z_N & Z_N & Z_N \\ Z_N & Z_N & Z_N \end{bmatrix}$$



$$[\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} U^{(1)} \\ U^{(2)} \\ U^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix} + [\mathbf{Z}_N] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U^{(1)} \\ U^{(2)} \\ U^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{F}^{-1}] [\mathbf{Z}] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix} + [\mathbf{F}^{-1}] [\mathbf{Z}_N] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}^{(P)}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix}$$

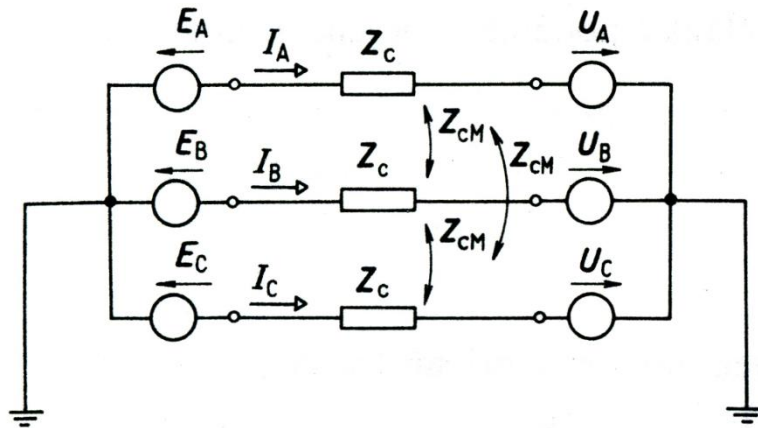
$$[\mathbf{Z}^{(P)}] = \begin{bmatrix} Z - Z_M & 0 & 0 \\ 0 & Z - Z_M & 0 \\ 0 & 0 & Z + 2Z_M + 3Z_N \end{bmatrix}$$

$$U^{(1)} = (Z - Z_M) I^{(1)} = Z^{(1)} I^{(1)}$$

$$U^{(2)} = (Z - Z_M) I^{(2)} = Z^{(2)} I^{(2)}$$

$$U^{(0)} = (Z + 2Z_M + 3Z_N) I^{(0)} = Z^{(0)} I^{(0)}$$

Napět'ové rovnice:



$$\begin{bmatrix} E_A \\ E_B \\ E_C \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}_C] \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} \quad [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} E^{(1)} \\ E^{(2)} \\ E^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}_C] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix} + [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} U^{(1)} \\ U^{(2)} \\ U^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} E^{(1)} \\ E^{(2)} \\ E^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{F}^{-1}] \cdot [\mathbf{Z}_C] \cdot [\mathbf{F}] \cdot \begin{bmatrix} I^{(1)} \\ I^{(2)} \\ I^{(0)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U^{(1)} \\ U^{(2)} \\ U^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{F}^{-1}][\mathbf{Z}_C] \cdot [\mathbf{F}] = \begin{bmatrix} Z_C^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & Z_C^{(2)} & 0 \\ 0 & 0 & Z_C^{(0)} \end{bmatrix}$$

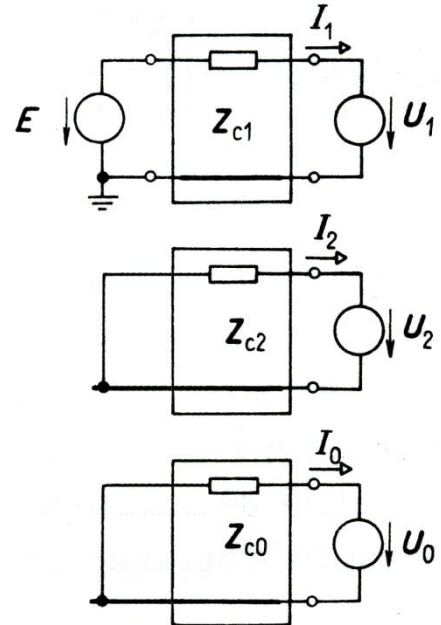
$$\begin{bmatrix} E^{(1)} \\ E^{(2)} \\ E^{(0)} \end{bmatrix} = [\mathbf{F}^{-1}] \cdot \begin{bmatrix} E_A \\ E_B \\ E_C \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} E^{(1)} \\ E^{(2)} \\ E^{(0)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_A \\ a^2 E_A \\ a E_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_A \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E^{(1)} = Z_C^{(1)} I^{(1)} + U^{(1)}$$

$$0 = Z_C^{(2)} I^{(2)} + U^{(2)}$$

$$0 = Z_C^{(0)} I^{(0)} + U^{(0)}$$



Parametry prvků elektrizační soustavy pro aplikaci metody souměrných složkových soustav

Existují tři typy prvků:

- Statické prvky bez vazeb mezi fázemi
- Statické prvky s vazbami mezi fázemi
- Dynamické prvky (s vazbami mezi fázemi) (točivé stroje)

Statické prvky bez vazeb mezi fázemi

$$R^{(1)} = R^{(2)} = R^{(0)} \quad X^{(1)} = X^{(2)} = X^{(0)}, \text{ tedy } Z^{(1)} = Z^{(2)} = Z^{(0)}$$

Statické prvky s magnetickými vazbami mezi fázemi

$$R^{(1)} = R^{(2)} \quad X^{(1)} = X^{(2)}, \text{ tedy } Z^{(1)} = Z^{(2)}$$

$Z^{(0)}$ u těchto zařízení je závislé na konkrétním zařízení a uspořádání.

Transformátory

Impedance netočivé složky určena především elektrickým zapojením vinutí:

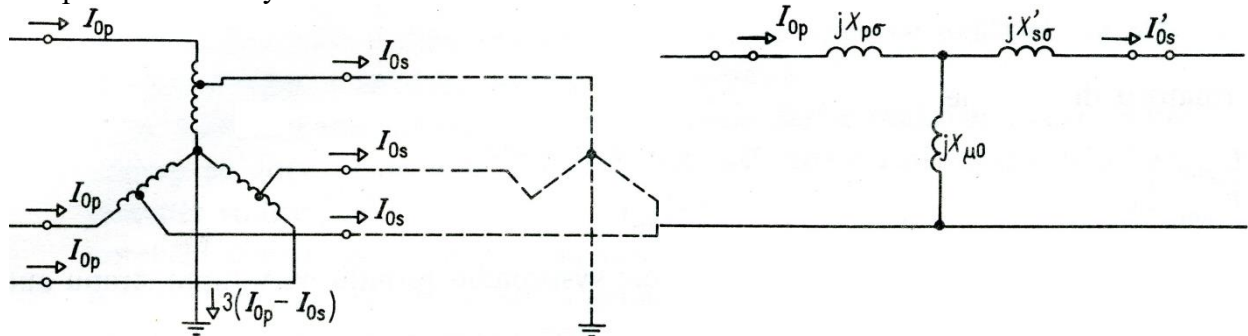
- Ze strany vinutí zapojeného do trojúhelníku „D“ či izolované hvězdy „Y“ je příslušná reaktance $X^{(0)} \rightarrow \infty$.
- Ze strany vinutí zapojeného do hvězdy s přímým uzemněním uzlu „Yn“ (nebo „Y0“) je příslušná reaktance $X^{(0)} \approx X^{(1)}$.
- Proudů netočivé složky jiného vinutí se mohou uzavírat vinutím zapojeným do trojúhelníka přes zanedbatelnou impedanci.
- Reaktance $X_{\mu}^{(0)}$ je určena konstrukcí magnetického obvodu:
 - Pokud se mohou magnetické toky volně uzavírat, potom $X_{\mu}^{(0)} \rightarrow \infty$ (skupina tří jednofázových transformátorů, nebo transformátor plášťový).
 - Pokud se musí magnetické toky uzavírat mimo magnetický obvod, potom $X_{\mu}^{(0)} = 30 \div 100 \%$ (transformátor jádrový).

Zapojení	Náhradní schéma	$X^{(0)}$
Y_0 / y_0		$X^{(0)} \approx X_{01} + X_{02} = X^{(1)}$ $Z^{(0)} \approx X_{01} + X_{02} + 3Z_2$
Y_0 / y		$X^{(0)}_{12} = X_{01} + X_{0m} \rightarrow \infty$ $X^{(0)}_{21} \rightarrow \infty$
Y_0 / d		$X^{(0)} = X_{01} + \frac{X_{02} X_{0m}}{X_{02} + X_{0m}} \approx X^{(1)}$
$Y_0 / d / y_0$		$X^{(0)} = X_{01} + \frac{1}{\frac{1}{X_{03}} + \frac{1}{X_{02} + X_{VN}}}$
$Y_0 / d / y$		$X^{(0)} = X_{01} + \frac{X_{03} X_{0m}}{X_{03} + X_{0m}} \approx X^{(1)}$
$Y_0 / d / d$		$X^{(0)} = X_{01} + \frac{X_{02} X_{03}}{X_{02} + X_{03}}$

Autotransfátory

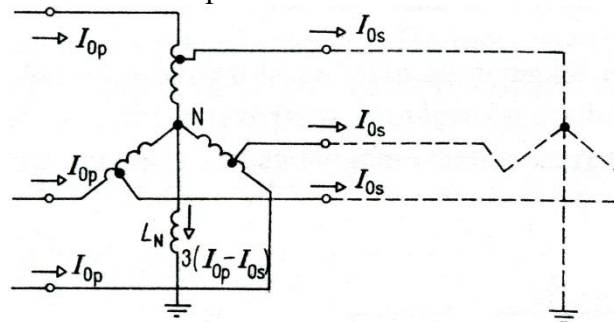
Obvody vázány nejen magneticky, ale i elektricky.

Pro přímo uzemněný uzel autotransfátory:



Úbytek napětí na autotransfátory pro netočivou složku je: $jI^{(0)}X^{(0)} = U_P - U_S'$.

Při uzemnění uzlu autotransfátory přes tlumivku:



$$\begin{aligned}
 jI^{(0)}X_N^{(0)} &= jI_P^{(0)}X_N^{(0)} = U_P + U_N - (U_S + U_N)p = \\
 &= U_P - U_S' + U_N(1-p) \quad U_N = j3X_N(I_P^{(0)} - I_S^{(0)}) \\
 I_S^{(0)'} &= I_S^{(0)} \frac{1}{p} = I_P^{(0)} \quad U_N = j3X_N I_P^{(0)}(1-p)
 \end{aligned}$$

Dosazením a porovnáním s předchozí variantou:

$$\begin{aligned}
 jI_P^{(0)}X_N^{(0)} &= U_P - U_S' + j3X_N I_P^{(0)}(1-p)(1-p) \\
 X_N^{(0)} &= X^{(0)} + 3X_N(1-p)^2
 \end{aligned}$$

Venkovní vedení

Vyšetřujeme poměry ve smyčkách vodič-fiktivní vodič vedoucí zpětný proud v zemi:

$$Z_V = R_V + R_G + jX_V$$

$$Z_M = R_G + jX_M$$

Kde jsou parametry vztaženy na 1 km a R_V je rezistence vodiče, R_G je rezistence země, X_V je reaktance vlastní a X_M reaktance vzájemná.

$$X_V = 0.145 \log \frac{D_G}{\xi r} \quad X_M = 0.145 \log \frac{D_G}{d_S}$$

ξ je korekční činitel provedení vodiče 0.5 až 0.85, D_G je hloubka fiktivního vodiče

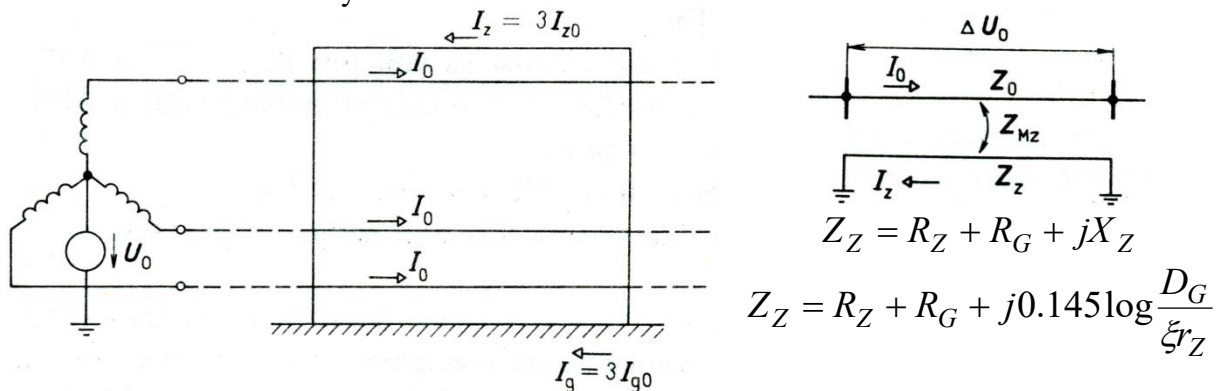
$$Z^{(1)} = Z_V \cdot 1 + Z_M a^2 + Z_M a = Z_V - Z_M = R_V + j0.145 \log \frac{d_S}{\xi r}$$

$$Z^{(2)} = Z_V \cdot 1 + Z_M a + Z_M a^2 = Z_V - Z_M = Z^{(1)}$$

$$Z^{(0)} = Z_V \cdot 1 + Z_M \cdot 1 + Z_M \cdot 1 = R_V + 3R_G + j(X_V + 2X_M) =$$

$$Z^{(0)} = R_V + 3R_G + j0.145 \log \frac{D_G^3}{\xi r d_S^2}$$

Venkovní vedení se zemními lany nemá rozdíl v impedancích sousledné a zpětné složkové soustavy (výsledné naindukované proudy do zemního lana jsou velmi malé). Jinak je tomu u netočivé složkové soustavy:



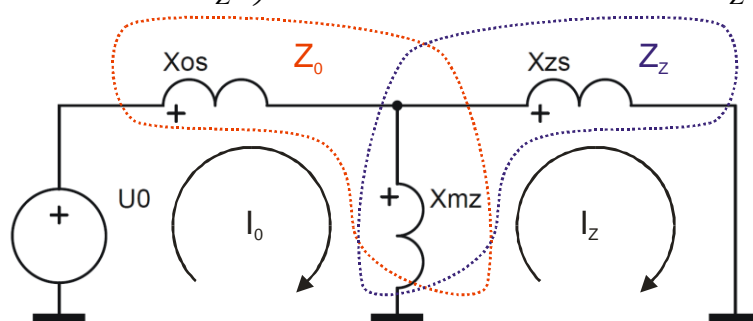
$$X_{MZ} = 0.145 \log \frac{D_G}{d_{ZS}}$$

$$Z_{MZ} = R_G + jX_{MZ}$$

Pro smyčky na schématu:

$$\Delta U^{(0)} = I^{(0)} Z^{(0)} - I_Z Z_{MZ} \quad 0 = I_Z Z_Z - 3I^{(0)} Z_{MZ} \quad \text{a dosazením:}$$

$$\Delta U^{(0)} = I^{(0)} \left(Z^{(0)} - 3Z_{MZ} \frac{Z_{MZ}}{Z_Z} \right) \quad Z_Z^{(0)} = Z^{(0)} - 3 \frac{Z_{MZ}^2}{Z_Z}$$



Pro různá uspořádání:

Jednoduché vedení	$Z_0 = R_v + 3R_g + j0,145 \log \frac{D_g^3}{\xi r d_s^2}$
Dvojité vedení	$Z_0^{(D)} = R_v + 6R_g + j0,145 \log \frac{D_g^6}{\xi r d_s^2 d_D^3}$
Jednoduché vedení se zemnicím lanem	$Z_0^{(z)} = Z_0 - 3 \frac{Z_{Mz}^2}{Z_z}$
Jednoduché vedení se dvěma zemnicími lany	$Z_0^{(2z)} = Z_0 - 3 \frac{Z_{M,2z}^2}{Z_{2z}}$
Dvojité vedení se zemnicím lanem	$Z_0^{(D,z)} = Z_0^{(D)} - 6 \frac{Z_{Mz}^2}{Z_z}$
Dvojité vedení se dvěma zemnicími lany	$Z_0^{(D,2z)} = Z_0^{(D)} - 6 \frac{Z_{M,2z}^2}{Z_{2z}}$

Kde je:

$$d_D = \sqrt[9]{d_{AA} d_{AB} \dots d_{CC}}$$

$$Z_{M,2z} = R_g + jX_{M,2z}$$

$$X_{M,2z} = 0,145 \log \frac{D_g}{d_{2z}}$$

$$d_{2z} = \sqrt[9]{d_{Az1} d_{Az2} \dots d_{Cz2}}$$

$$Z_{2z} = \frac{R_z}{2} + R_g + j0,145 \log \frac{D_g}{\sqrt{r_z d_{2z}}}$$

d_{zz} – vzdálenost zemnicích lan

Přibližné hodnoty:

	Jednoduché vedení		Dvojité vedení	
	AlFe, Cu	Fe	AlFe, Cu	Fe
Jeden fázový vodič	$X_0=1.9X_P$	$X_0=2.7X_P$	$X_0=3.0X_P$	$X_0=4.8X_P$
Svazkový vodič	$X_0=2.4X_P$	$X_0=3.5X_P$	$X_0=3.5X_P$	$X_0=5.5X_P$

Netočivá reaktance X_0 pro vedení	jednoduché	dvojité
bez zemnicích lan	$3,5X_1$	$5,5X_1$
se zemnicími lany Fe	$3X_1$	$4,7X_1$
se zemnicími lany AlFe	$2X_1$	$3,3X_1$

Kabelová vedení

Rezistence určena stejně jako u venkovních vedení, reaktance dle katalogových změřených údajů, protože přesné rozměry jsou nedostupné. Problémem je že $Z^{(0)}$ ovlivňuje analogicky jako zemní lano plášť kabelu, ale také podmínky uložení. Je tedy nejlépe parametry měřit.

Přibližně platí:

$$R^{(0)} \approx 10 \cdot R^{(1)}$$

$$X^{(0)} \approx (3.5 \div 4.5) \cdot X^{(1)}$$

Točivé elektrické stroje

Synchronní stroje

Většinou nutno vycházet z dokumentace:

Turboalternátory:

P_N [MW]	1000	500	220	200	110	50
S_N [MVA]	1111.0	588.0	259.0	235.0	137.0	62.5
$\cos(\varphi)$ [-]	0.90	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80
U_N [kV]	24.00	20.00	15.75	15.75	13.80	10.50
I_N [A]	26726	17000	9500	8615	5753	3437
U_{FN} [V]	505	465	332	310	320	290
I_{FN} [A]	7120	3620	2400	2230	1200	625
U_{F0} [V]	109	110	102	102	85	80
I_{F0} [A]	2000	1090	900	900	400	225
U_{FN} / U_{F0} [V]	4.63	4.23	3.25	3.04	3.76	3.63
I_{FN} / I_{F0} [V]	3.56	3.32	2.67	2.48	3.00	2.78

x_d [%]	280.00	266.00	191.00	173.00	218.00	196.00
x_q [%]	257.60	256.00	182.00	165.00	206.00	184.00
x_d' [%]	38.0	35.2	26.7	24.2	24.7	24.7
x_d'' [%]	26.0	25.8	19.9	18.1	15.3	15.3
x_q'' [%]	26.4	27.0	20.4	18.5	15.6	15.5
R [Ω]	0.00110	0.00120	0.00144	0.00144	0.00236	0.00346
Z_N [Ω]	0.51845	0.68027	0.95777	1.05559	1.39007	1.76400
r [%]	0.212	0.176	0.150	0.136	0.170	0.196
x_d / r [-]	1320	1508	1270	1268	1284	999
x_d'' / r [-]	123	146	132	133	90	78
x_2 [%]	26.2	26.5	20.9	19.0	16.6	16.2
R_F [Ω]	0.05618	0.0996	0.112	0.112	0.21	0.35
R_D [Ω]		0.0207	0.0198	0.0198	0.0312	0.0409

T_{d0}' [s]	9.208	7.9	7.7	7.7	7.4	7.9
T_{d0}'' [s]	0.0477	0.037	0.040	0.040	0.060	0.033
T_d' [s]	1.20	0.85	0.84	0.84	0.70	0.85
T_d'' [s]	0.033	0.027	0.030	0.030	0.025	0.020
T_{q0}' [s]		2.7	2.3	2.3	2.6	2.7
T_{q0}'' [s]		0.034	0.037	0.037	0.033	0.027
T_q' [s]		0.43	0.42	0.42	0.35	0.42
T_q'' [s]		0.019	0.020	0.020	0.015	0.013
T_a [s]	0.339	0.40	0.37	0.37	0.30	0.18
T_m [s]	8.265	5.85	9.89	6.56	7.05	7.70

Hydroalternátory:

	Dalešice	Černý Váh	Orlík	Lipno 1	Lipt. Mara	Slapy
P_N [MW]	115.0	111.6	91.0	60.0	50.0	48.0
S_N [MVA]	128.8	124.0	100.0	68.0	58.8	60.0
$\cos(\varphi)$ [-]	0.89	0.90	0.91	0.88	0.85	0.80
U_N [kV]	13.80	15.75	15.00	15.00	10.50	10.50
I_N [A]	5350	4545	3850	2620	3230	3300
U_{FN} [V]	270	202	240	250	212	250
I_{FN} [A]	1520	910	830	670	840	1100
U_{F0} [V]	104	80	110	100	87	100
I_{F0} [A]	810	435	480	353	415	579
U_{FN} / U_{F0} [V]	2.60	2.53	2.18	2.50	2.44	2.50
I_{FN} / I_{F0} [V]	1.88	2.09	1.73	1.90	2.02	1.90

x_d [%]	116.00	136.00	102.00	132.00	111.00	131.00
x_q [%]	77.00	86.00	58.00	73.00	70.00	71.00
x_d' [%]	48.0	35.0	27.5	26.0	35.0	29.2
x_d'' [%]	29.0	19.6	20.0	17.2	18.0	21.5
x_q'' [%]	31.0	20.0	22.0		20.0	
R [Ω]	0.004940	0.004370	0.006167	0.022300	0.007600	0.009830
Z_N [Ω]	1.47857	2.00050	2.25000	3.30882	1.87500	1.83750
r [%]	0.334	0.218	0.274	0.674	0.405	0.535
x_d / r [-]	347	623	372	196	274	245
x_d'' / r [-]	87	90	73	26	44	40
x_2 [%]	30.0	19.8	21.5	19.8	19.0	24.7
R_F [Ω]	0.129	0.18	0.24		0.205	0.24
R_D [Ω]	0.062	0.012	0.175		0.013	

T_{d0}' [s]	7.1	11.1	8.46	10.1	7.7	8.1
T_{d0}'' [s]	2.033	0.077	0.052		0.117	
T_d' [s]	2.30	2.80	2.21		2.10	
T_d'' [s]	0.0200	0.0430	0.0038		0.0600	
T_{q0}' [s]						
T_{q0}'' [s]	0.0373	0.258	0.014		0.049	
T_q' [s]						
T_q'' [s]	0.0150	0.0600	0.0053		0.0140	
T_a [s]	0.280	0.220	0.205		0.140	
T_m [s]	5.94	5.42	9.33	8.90	5.86	6.07

Pro orientační výpočty platí přibližně:

Parametr	Turboalternátory		Hydroalternátory	
	přibližný rozsah	typový	přibližný rozsah	typový
x_d''	0,09 až 0,22	0,154	0,15 až 0,35	0,19
x_q''	0,1 až 0,22	0,154	0,15 až 0,7	0,20
x_d'	0,15 až 0,29	0,206	0,2 až 0,4	0,40
x_d	1,2 až 2,7	1,74	0,7 až 1,4	1,25
x_q	1,1 až 2,2	1,64	0,45 až 0,9	0,75
x_2	0,09 až 0,21	0,162	0,12 až 0,4	0,20
x_0	0,02 až 0,15	0,09	0,03 až 0,15	0,09
T_d'' [s]	0,03 až 0,08	0,03	0,04 až 0,1	0,06
T_d' [s]	0,6 až 1,5	1,08	0,8 až 2,5	2
T_{do}' [s]	2 až 10	7,75	3 až 10	8
T_a [s]	0,05 až 0,5	0,37	0,1 až 0,4	0,3

Rezistenci alternátoru je pro řešení přechodných dějů vhodné volit: $r = k \cdot x_d''$, kde:

Stroje nn	Stroje do 100 MVA	Stroje nad 100 MVA
$k \approx 0.15$	$k \approx 0.07$	$k \approx 0.05$

Díky nesymetrii vznikají ve stroji vyšší harmonické s intenzitou závislou na typu a velikosti poruchy. Zpětná reaktance tedy není striktně závislá pouze na vlastnostech stroje. Uvedené vzorce jsou tedy jen přibližné:

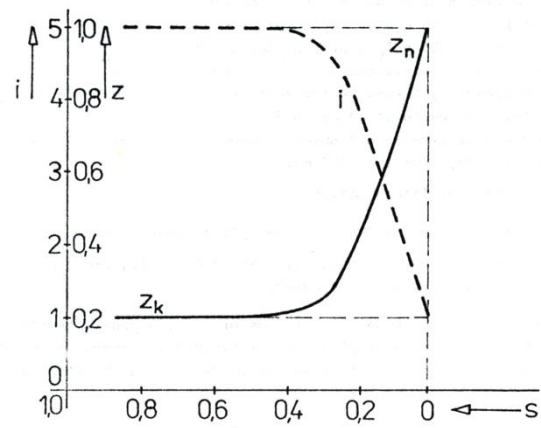
Stroj bez tlumiče	$x_2 = \sqrt{x_d' x_q}$ nebo $x_2 = \frac{2x_d' x_q}{x_d' + x_q}$ přibližně $x_2 = \frac{x_d' + x_q}{2}$
Stroj s tlumičem	$x_2 = \sqrt{x_d'' x_q''}$ nebo $x_2 = \frac{2x_d'' x_q''}{x_d'' + x_q''}$ přibližně $x_2 = x_d''$

Reaktance pro netočivou složkovou soustavu se volí přibližně $x_0 = (0.15 \div 0.6)x_d''$.

Parametr	Turboalternátory		Hydroalternátory	
	přibližný rozsah	typový	přibližný rozsah	typový
x_d''	0,09 až 0,22	0,154	0,15 až 0,35	0,19
x_0	0,02 až 0,15	0,09	0,03 až 0,15	0,09

Asynchronní stroje

Stroje mají reaktanci závislou na otáčkách, ale od skluzu blízkého jedné výše se příliš nemění. Zpětná reaktance odpovídá skluzu ($s = 2$), volíme tedy zpětnou reaktanci x_2 odpovídající chodu nakrátko (pro $s = 1$):



Netočivá reaktance závisí na konstrukci a je nutno vycházet z dokumentace.