

## 11. Výpočet poměrů při zkratech ve vlastní spotřebě elektrárny

Zkrat má v obvodech schématu smysl pouze v částech provozovaných s účinně uzemněným středem zdroje, čili mimo alternátor, vyvedení výkonu a přílehlá vinutí blokového transformátoru a transformátoru vlastní spotřeby.

Výpočet provádíme obvykle v poměrných veličinách:

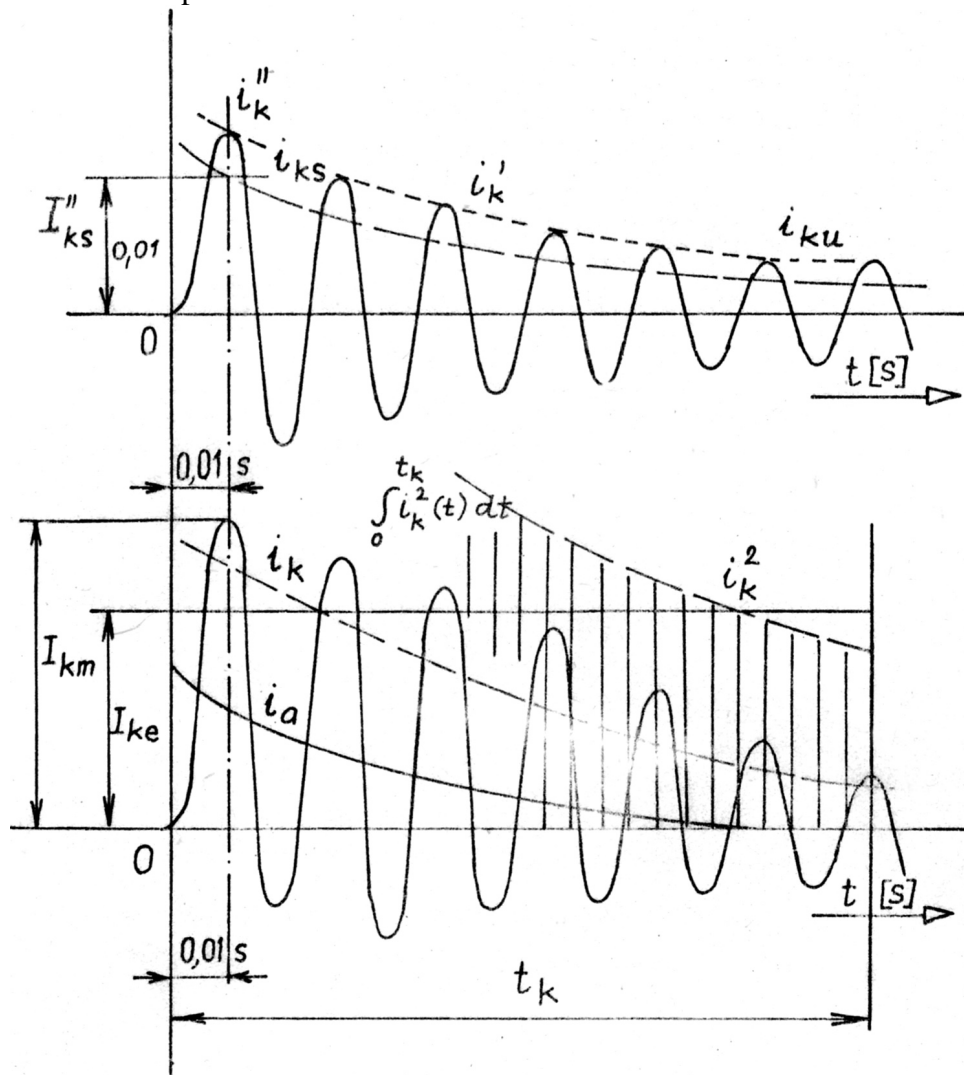
$$x_{\%} = \Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_N} 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot X \cdot I_N}{U_N} 100 = X \frac{S_N}{U_N^2} 100$$

Skutečné hodnoty zkratových parametrů v pojmenovaných veličinách pak jsou:

$$I_{KS} = c \frac{U_N}{\sqrt{3}X} = c \frac{\sqrt{3}U_N \cdot I_N}{\sqrt{3}U_N \cdot x_{\%}} 100 = c \frac{I_N}{x_{\%}} 100$$

$$S_{KS} = \sqrt{3}U_N \cdot I_{KS} = c \frac{\sqrt{3}U_N I_N}{x_{\%}} = c \frac{S_N}{x_{\%}} 100 \text{ kde } c \text{ uvažujeme nejčastěji } 1.1$$

Průběh zkratového proudu:



$$i_K(t) = \sqrt{2} \left[ \left( I_{K''} - I_{K'} \right) e^{-\frac{t}{T_D''}} \cos(\omega t + \pi) + \left( I_{K'} - I_{KU} \right) e^{-\frac{t}{T_D'}} \cos(\omega t + \pi) \right. \\ \left. I_{KU} \cos(\omega t + \pi) + I_{K''} e^{-\frac{t}{T_A}} \right]$$

Ekvivalentní proudy pro určení silových a tepelných účinků:

$$I_{KM} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{KS\ 0.01}''$$

$I_{KM}$  - ekvivalentní dynamický zkratový proud, tedy maximální okamžitá hodnota zkratového proudu během doby trvání zkratu

$K$  - normalizovaný koeficient závislý na poměru  $L$  a  $R$  ve smyčce, ve které se uzavírá zkratový proud, tabelizován je dle napěťové úrovně

vvn  $\Rightarrow R \ll L \Rightarrow$  časová konst.  $T_A$  je dlouhá  $\Rightarrow K > 2$

...

nn  $\Rightarrow R \geq L \Rightarrow$  časová konst.  $T_A$  je krátká  $\Rightarrow K > 1.3$

místo zkratu	bez asynchronních motorů	s asynchronními motory
za alternátory do 55 MW	1,95	2,7
v soustavě vvn, zvn	1,7	-
v soustavě vn	1,6	2,4
v soustavě nn	1,4	-
v kabelovém rozvodu nn	1,3	1,9
za transformátory		
vvn/vn nebo vn/nn	1,7	2,5
vn/nn do 250 kVA včetně	1,3	1,9
do 630 kVA včetně	1,5	2,1
do 1600 kVA včetně	1,6	2,3

$$I_{KE} = \sqrt{\frac{1}{t_K} \int_0^{t_K} i_K^2(t) dt} = K_E \cdot I_{KS\ 0.01}''$$

$I_{KE}$  - ekvivalentní oteplovací zkratový proud je velikost stejnosměrného (efektivní hodnota střídavého) proudu, který má stejné tepelné účinky jako skutečný zkratový proud během doby trvání zkratu.

$t_K$  - doba trvání zkratu

$K_E$  - normalizovaný koeficient závislý na poměru  $L$  a  $R$  ve smyčce a době trvání zkratu, tabelizován je dle napěťové úrovně a doby trvání zkratu

Místo zkratu	T <sub>a</sub> (s)	k <sub>c</sub> pro t <sub>k</sub> (s)								
		0,02	0,04	0,05	0,08	0,1	0,2	0,5	1	3
za alternátorem do 55 MW	0,16	1,65	1,6	1,58	1,54	1,5	1,46	1,23	1,08	1,03
v soustavě										
vvn a zvn	0,03	1,44	1,32	1,24	1,16	1,13	1,07	1,03	1,01	1,00
vn	0,02	1,35	1,24	1,17	1,11	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00
nn	0,01	1,24	1,15	1,10	1,07	1,05	1,03	1,01	1,00	1,00
v kabelovém rozvodu nn	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
za transformátory										
vvn/vn nebo vn/nn	0,036	1,49	1,37	1,29	1,20	1,17	1,09	1,04	1,02	1,01
vn/nn do 250 kVA včetně	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
do 630 kVA včetně	0,014	1,29	1,18	1,13	1,09	1,07	1,04	1,01	1,01	1,00
do 1600 kVA včetně	0,019	1,35	1,24	1,17	1,11	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00

Nutné zkoušky na zkratové poměry:

$$S \geq \frac{I_{KE} \sqrt{t_K}}{K_{\vartheta}} \quad K_{\vartheta} = \sqrt{\frac{(\vartheta_F + 20)c_{V0}}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta_F + \vartheta_K}{\vartheta_F + \vartheta_1}}$$

Veličina	Význam	Dosazovaná velikost
$\vartheta_F$	Fiktivní teplota vodiče - teplotní rozdíl potřebný s změně měrného odporu vodiče o jeden $\Omega$	Cu – 234,5 °C / $\Omega$ Al – 228,0 °C / $\Omega$ Fe – 222,0 °C / $\Omega$
$\vartheta_1$	Teplota vodiče bezprostředně před vznikem zkratu	Maximální TRVALE dovolená teplota izolace
$\vartheta_K$	Teplota vodiče v době vypnutí zkratu	Maximální KRÁTKODOBĚ dovolená teplota izolace

Materiál	$c_{V0} [J / cm^3 \cdot K]$ $[J / mm^2 \cdot m \cdot K]$	$\rho_{20} [\mu \cdot \Omega \cdot m]$ $[\Omega \cdot mm^2 / m]$
Cu	3.500	0.0179
Al	2.417	0.0294
Fe	3.770	0.1430

$$2 \cdot \sigma_{0,2} \geq \sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} \quad M_0 = \frac{F \cdot l}{k_3} \quad F = 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \frac{I_{KM}^2}{d} l \cdot 10^{-7}$$

$$W_0 = \frac{J}{b/2} = \frac{b^2 h}{6} \quad J = \int_S x^2 \cdot dS = 2 \int_0^{b/2} h \cdot x^2 dx = 2h \left[ \frac{x^3}{3} \right]_0^{b/2} = h \frac{b^3}{12}$$

- $\sigma_{0,2}$  - mez průtažnosti materiálu vodiče  $\sigma_{0,2} Al=44.1$   
 $W_0$  - modul průřezu v ohybu daný schopností bránit se ohybu  $\sigma_{0,2} Cu=88.0$   
 $M_0$  - ohybový moment působící na vodič [MPa]  
 $k_1$  - respektuje korekci tvaru průřezu vodičů  $k_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}$   
 $k_2$  - respektuje 3f soustavu a rovinné uspořádání vodičů

- $k_3$  - respektuje různou tuhost a pevnost uchycení vodičů (2 až 10)
- $l$  - délka volného vodiče mezi podpěrami
- $d$  - osová vzdálenost vodičů

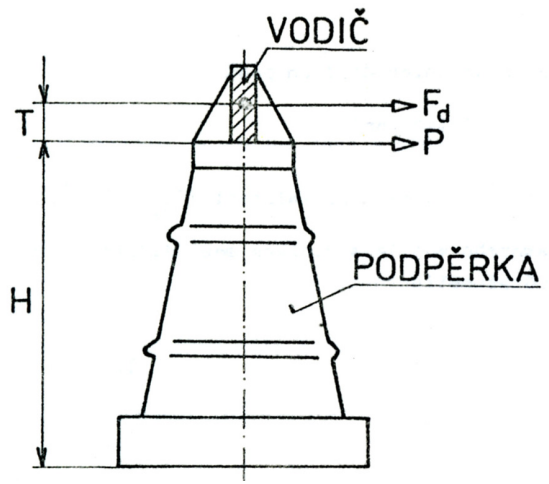
$$F_K = v_F \cdot F \leq F_D = 0.8P \frac{H}{H+T}$$

$$v_F = \frac{0.8\sigma_{0.2}}{\sigma_0} \text{ ale}$$

minimálně 1 a maximálně 5

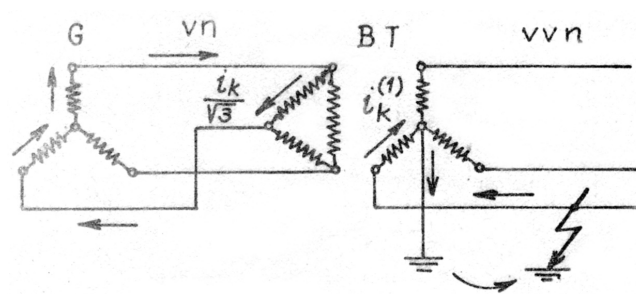
$v_F$  - koeficient respektující rezonanci

$P$  - mechanická pevnost podpěry

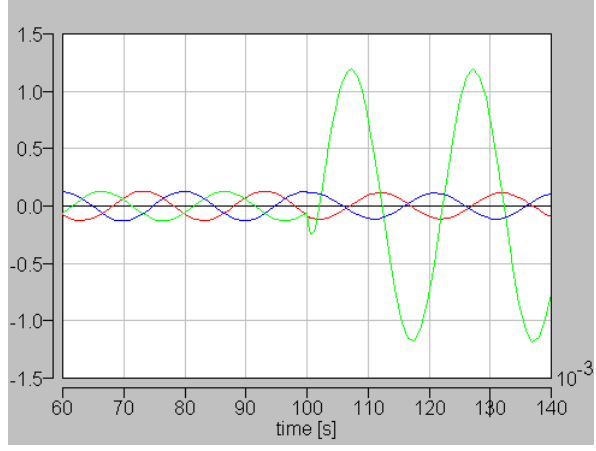


**Nesouměrné zkraty ve V.S.**

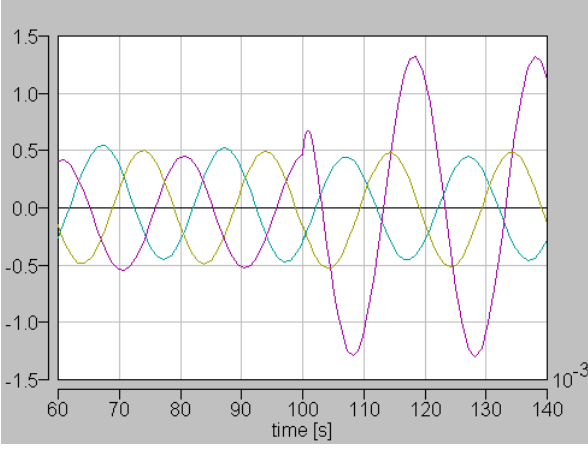
Jednofázový zkrat:  $i_{K1F} = \frac{3 \cdot e_V}{x_c^{(1)} + x_c^{(2)} + x_c^{(0)}} = \frac{3 \cdot 1.1}{x_c^{(1)} + x_c^{(2)} + x_c^{(0)}}$



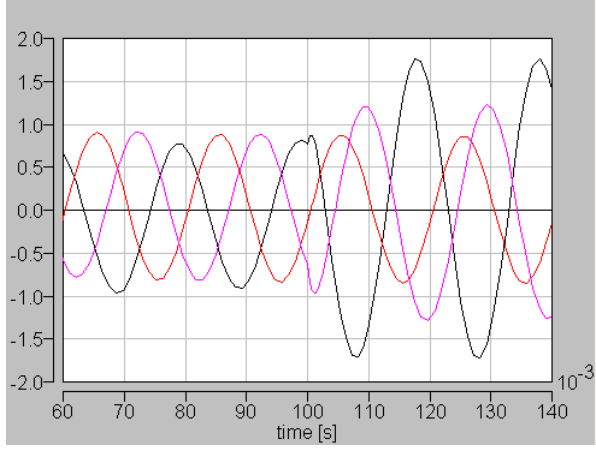
Proudy transformátoru na straně poruchy



Proudy transformátoru na straně alternátoru

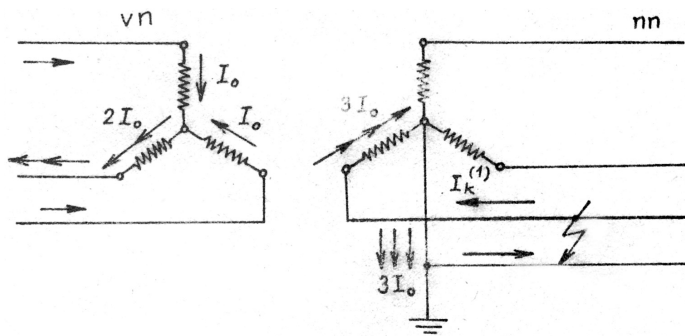


Proudy statoru alternátoru

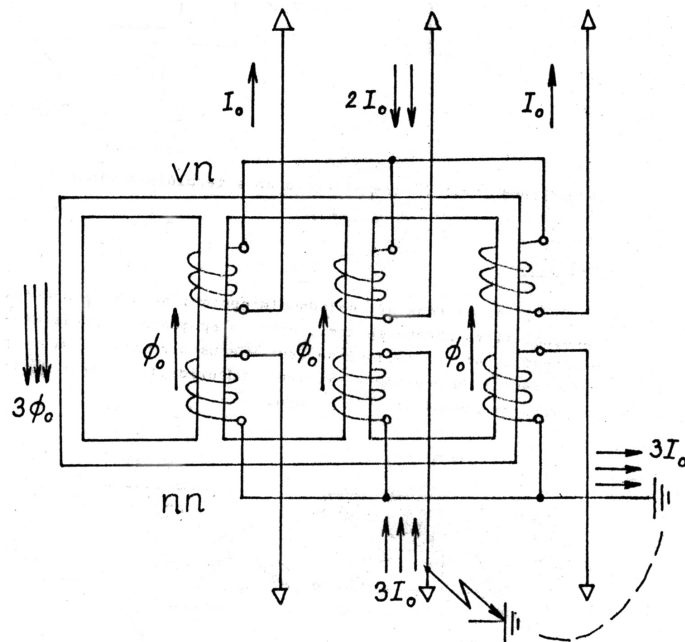
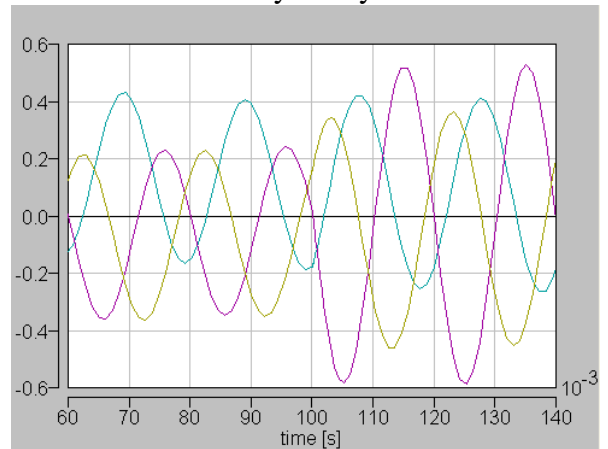


Projevuje se příznivý vliv zapojení transformátoru do trojúhelníka.

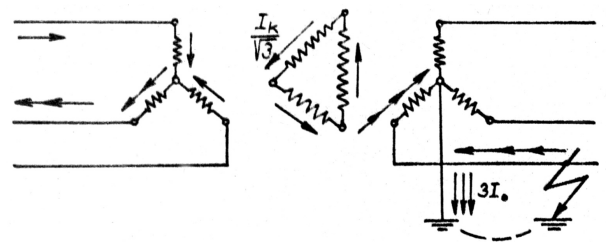
Při zkratech v soustavě nn když zapojení je Yyn:



Proudy strany vn



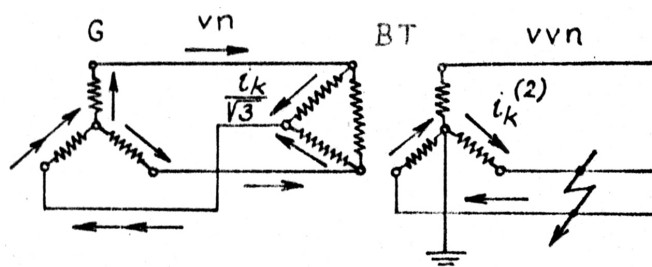
Rozložení proudů v případě terciálního vinutí do trojúhelníka



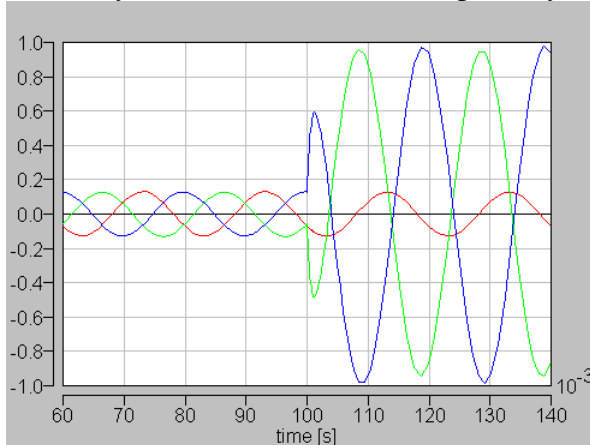
Výsledný tok  $\Phi_0$  je jednosměrný a uzavírá se přes plášť a nádobu transformátoru, tím se zvětšuje reaktance pro netočivou složkovou proudovou soustavu a omezí se tedy jednofázový zkratový proud.

$$\text{Dvoufázový zkrat: } i_{K2F} = \frac{\sqrt{3} \cdot e_V}{x_c^{(1)} + x_c^{(2)}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1.1}{x_c^{(1)} + x_c^{(2)}}$$

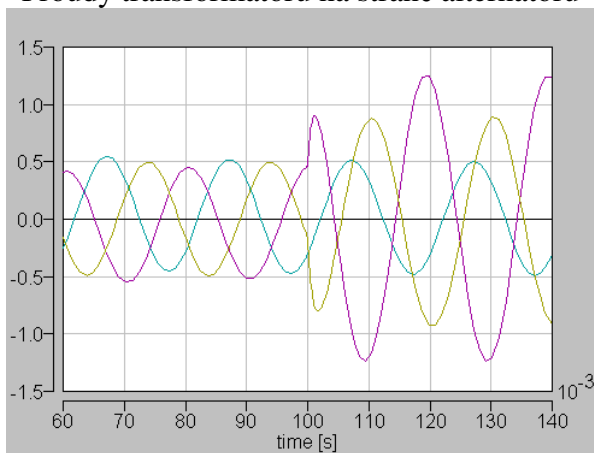
$$\text{Trojfázový zkrat: } i_{K3F} = \frac{e_V}{x_c^{(1)}} = \frac{1.1}{x_c^{(1)}}$$



Proudy transformátoru na straně poruchy



Proudy transformátoru na straně alternátoru



Proudy statoru alternátoru

