



Zkratové proudy II.

Listopad 2010

Ing. René Vápeník



Postup výpočtu zkratového proudu třífázového zkratu

- Nejprve vypočítáme velikost počátečního rázového zkratového proudu

dle vztahu:

$$I_k'' = k_1 \cdot \frac{c \cdot U_V}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|}$$

kde k_1 je součinitel uvedený pro různé typy zkratu (pro třífázový zkrat $k_1=1$)

U_V je sdružené vztažené napětí (obvykle napětí místa zkratu)

Z_k je celková výpočtová impedance

c je napěťový součinitel, pro zdroje při chodu naprázdno $c=1,0$ a pro chod při zatížení $c=1,1$



Postup výpočtu zkratového proudu třífázového zkratu

- Poté dopočítáme velikost dynamického zkratového proudu I_{km}

dle vztahu:
$$I_{km} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

kde K je součinitel nárazového proudu udaný normou

- A velikost ekvivalentního oteplovacího proudu I_{ke}

dle vztahu:
$$I_{ke} = k_e \cdot I_k''$$

kde k_e je součinitel daný normou pro různé místa zkratu a různou dobu trvání zkratu.



Výpočtová impedance

- Ideální zdroj napětí při zkratu na svorkách zdroje je schopen dodat nekonečně velký proud
- Ideální zdroj neexistuje.
- Reálný zdroj napětí má vždy vnitřní impedanci, která omezuje velikost zkratového proudu na svorkách zdroje
- Pro orientační výpočty můžeme zanedbat impedanci elektrizační soustavy a výpočet můžeme začít počítat až od výkonového transformátoru (skutečný zkratový proud bude menší – zanedbáváme impedanci elektrizační soustavy)
- Transformátor nám tedy představuje zdroj napětí, velikost napětí nakrátko u_k reprezentuje impedanci zdroje.



Stanovení náhradní impedance výkonového transformátoru

Napětí nakrátko u_k – udává se v % z primárního napětí transformátoru.

Napětí nakrátko je napětí, které když přivedeme na primární stranu vinutí, tak sekundárním vinutím spojením nakrátko (či-li do zkratu) teče jmenovitý proud sekundárního vinutí.

Pokud jmenovitý proud sekundárního vinutí $I_s=1000$ A a napětí nakrátko $u_k=10\%$, tak pokud při napájení jmenovitým napětím ($U=100$ %) dojde ke zkratu na sekundárním vinutí, poteče vinutím zkratový proud $I_k=10\ 000$ A

Náhradní impedanci určíme dle vztahu
$$Z_{tr} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_V^2}{S_{tr}} \quad [\Omega; \%, V, VA]$$



Stanovení náhradní impedance výkonového transformátoru

Pro vedení nízkého napětí stačí uvažovat činný odpor dle všeobecně známého vztahu:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}, \text{mm}^2]$$

$$\rho_{Cu} = 0,01786 \quad \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\rho_{Al} = 0,02941 \quad \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\rho_{Fe} = 0,147 \quad \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$$

U vedení vysokého napětí stačí uvažovat indukční reaktanci X

- pro venkovní vedení: $X_v = 0,4 \quad \Omega/\text{km}$
- pro kabelové vedení: $X_k = 0,3 \quad \Omega/\text{km}$



Hodnoty součinitele nárazového proudu K

Místo zkratu	bez asynchr. motorů	s asynchr. motory ⁴⁾
za alternátory do 55 MW ¹⁾	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 ²⁾	1,3	1,9
za transformátory ³⁾		
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

POZNÁMKA 1 – Pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem;

POZNÁMKA 2 – Pro zkrat vzdálený od napájecího transformátoru i alternátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10 % ze sousledné impedance zkratového obvodu);

POZNÁMKA 3 – Pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10 % sousledné impedance zkratového obvodu);

POZNÁMKA 4 – Hodnoty součinitele K ve sloupci II slouží k orientačnímu stanovení nárazového zkratového proudu v el. rozvodu s asynchronními motory. Ve vztahu (41) se přitom použije hodnota počátečního nárazového zkratového proudu stanovená bez příspěvku asynchronních motorů.



Hodnoty součinitele k_e pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu

Místo zkratu	T_z (s)	k_c pro t_k (s)								
		0,02	0,035	0,05	0,08	0,1	0,2	0,5	1,0	3,0
za alternátorem do 55 MW ¹⁾	0,161	1,65	1,60	1,58	1,54	1,50	1,46	1,23	1,08	1,03
v soustavě ²⁾										
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 ²⁾	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
za transformátory ³⁾										
vvn/vn nebo vn/vn	0,036	1,49	1,37	1,29	1,20	1,17	1,09	1,04	1,02	1,01
vn/nn do 250 MVA včetně	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
do 630 MVA včetně	0,014	1,29	1,18	1,13	1,09	1,07	1,04	1,01	1,01	1,00
do 1600 MVA včetně	0,019	1,35	1,24	1,17	1,11	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00

POZNÁMKY k tabulce 8A:

- 1 – Pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem;
- 2 – Pro zkrat vzdálený od napájecího transformátoru i alternátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10 % ze sousledné impedance zkratového obvodu);
- 3 – Pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10 % sousledné impedance zkratového obvodu).



Příklad č.1

Máme transformátor 630 kVA, 22/0,4 kV, $u_k=6\%$. Jaký bude rázový zkratový proud, dynamický zkratový proud a ekvivalentní oteplovací proud v čase 2 s při třífázovém zkratu na sekundární straně transformátoru ?



Příklad č.2

Máme dva transformátory 630 kVA, 22/0,4 kV, $u_k=6\%$. Jaký bude rázový zkratový proud, dynamický zkratový proud a ekvivalentní oteplovací proud v čase 2 s při třífázovém zkratu na sekundární straně při paralelním provozu transformátorů ?



Příklad č.3

Máme transformátor 40 MVA, 110/22 kV, $u_k=10\%$. Jaký bude rázový zkratový proud, dynamický zkratový proud a ekvivalentní oteplovací proud v čase 0,2 s při třífázovém zkratu na venkovním vedení vn ve vzdálenosti 3 km od transformovny ? Jak se tyto hodnoty změní, dojde-li ke zkratu ve vzdálenosti 15 km od transformovny?



Literatura

ČSN IEC 50 (448) Mezinárodní elektrotechnický slovník, Kapitola 448: Ochrany elektrizační soustavy

ČSN EN 60909-0 Zkratové proudy v trojfázových soustavách – Část 0: Výpočet zkratových proudů

ČSN 33 3015 (1983) – Zásady dimenzování podle elektrodynamické a tepelné odolnosti při zkratech

ČSN 38 1754 (1974) – Dimenzování elektrického zařízení podle účinků zkratových proudů

Blažek V, Paar M, . Přenosové sítě, Brno 2007, elektronická skripta FEKT VUT

Orságová J, Rozvodná zařízení, Brno, elektronická skripta FEKT VUT



DĚKUJI ZA POZORNOST