Výpočet veľkosti skratových prúdov na NN a VN napäťovej hladine

Ing. Peter SZATHMÁRY, PhD., Power System Management, s.r.o., Košice

ANOTÁCIA:

Výpočet veľkosti skratových pomerov patrí medzi základné úlohy odborníkov pracujúcich v oblasti elektroenergetiky. V súčasnej dobe je k dispozícii množstvo softvérových nástrojov, ktoré ponúkajú uvedené výpočty. Niektoré sú značne robustné a disponujú nástrojmi, ktoré výrazne uľahčujú prácu skúseným projektantom, iné naopak sú triviálne a práca s nimi je značne jednoduchá. Ambíciou autora článku nie je porovnávať jednotlivé softvérové nástroja a ani vysvetľovať korektné spôsoby výpočtu skratových pomerov, ale predovšetkým objasniť fyzikálnu podstatu jednotlivých pojmov používaných v tejto oblasti, poukázať a popísať úlohy, pri ktorých poznanie veľkosti skratových pomerov je nevyhnutné a uviesť praktické skúsenosti pri riešení výpočtov skratových pomerov.

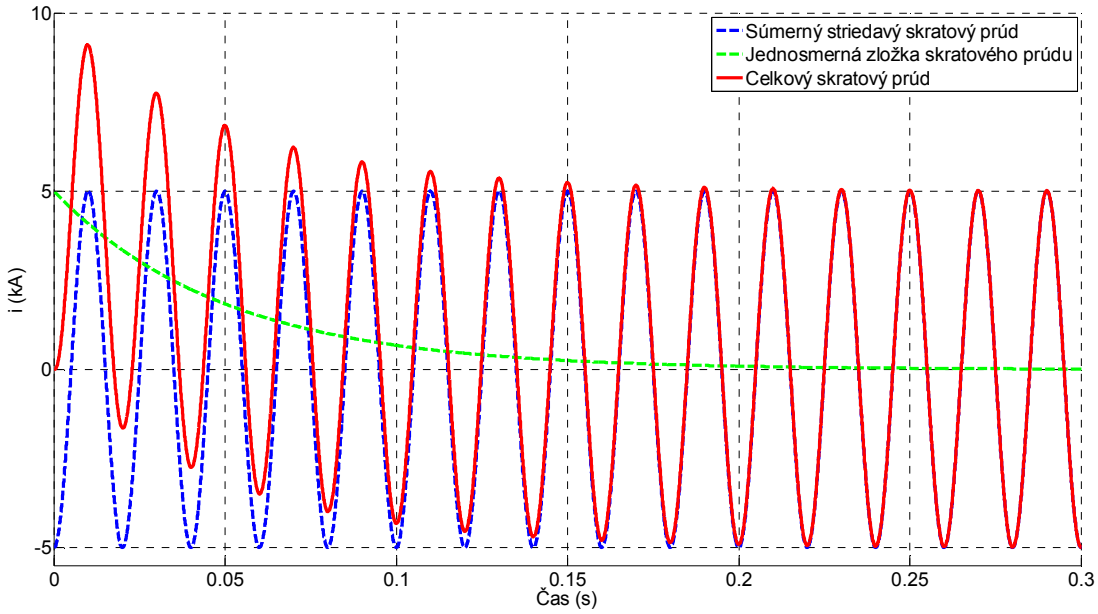
1. OBJASNENIE FYZIKÁLNEJ PODSTATY ČASOVÉHO PRIEBEHU SKRATOVÝCH PRÚDOV

Priebeh skratového prúdu je značne komplikovaný priebeh, ktorý závisí od množstva okolností ako napríklad od okamihu vzniku skratu, pomeru veľkosti rezistancie ku reaktancii výsledného obvodu, fázového posunu medzi napätím a prúdom pred vznikom skratu, atď.

Možný priebeh skratového prúdu v závislosti na čase je uvedený na obr. 1–1. Z priebehu je evidentné, že celkový výsledný priebeh skratového prúdu pozostáva z dvoch zložiek:

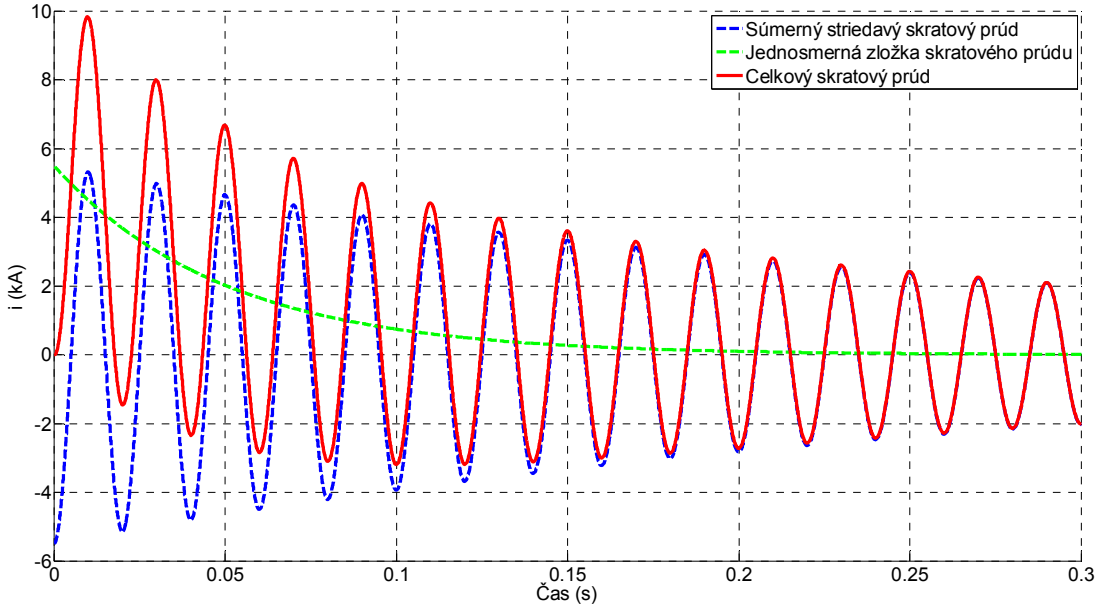
- súmerného striedavého skratového prúdu, ktorého amplitúda zostáva počas existencie skratu konštantná (modrý priebeh),
- jednosmernej zložky skratového prúdu, ktorej amplitúda exponenciálne klesá v čase (zelená krivka).

Súčtom týchto dvoch prúdov získame nesymetrický priebeh skratového prúdu.
Ako bolo uvedené, veľkosť jednosmernej zložky skratového prúdu je závislá napríklad od okamihu vzniku skratu. Z uvedeného dôvodu môže nastať situácia, kedy priebeh výsledného skratového prúdu bude pozostávať iba z priebehu súmerného striedavého skratového prúdu bez existencie jej jednosmernej zložky.
Avšak priebeh skratových prúdov môže byť, a zvyčajne aj je, ešte komplikovanejší ako je priebeh skratového prúdu uvedený na obr. 1–1. Táto situácia nastáva v prípade, kedy je potrebné riešiť skratové pomery v elektrickej „blízkosti“ prevádzky točivých strojov ako sú synchrónne generátory, synchrónne motory, asynchrónne motory a pod. V takomto prípade priebeh súmerného striedavého skratového prúdu nemá konštantnú veľkosť, ale sa mení v čase.



obr. 1–1 Priebeh skratového prúdu v čase – jedna fáza

Ovplyvnenie priebehu súmerného striedavého skratového prúdu nenastáva automaticky pri každom točivom stroji. Uvedená situácia nastáva, ak daný točivý stroj disponuje napríklad amortizérom (tlmiace vinutie), resp. budiacim vinutím. V takomto prípade je reaktancia točivého stroja v čase vzniku skratu znížená na tzv. rázovú reaktanciu.



obr. 1–2 Priebeh skratového prúdu v čase s klesajúcou striedajúcou zložkou – jedna fáza

Uvedené zníženie reaktancie trvá síce krátku dobu, avšak značne ovplyvňuje výsledný priebeh skratového prúdu. Možný priebeh skratového prúdu v závislosti na čase v elektrickej „blízkosti“ prevádzky synchrónneho generátora je uvedený na obr. 1–2

Nakoľko výpočty priebehov skratových prúdov v čase sú značne komplikované, boli definované veličiny, ktorých výpočet je značne zjednodušený voči výpočtu priebehov skratových prúdov. Ich definície sú uvedené v nasledujúcej kapitole.

2. DEFINÍCIE POJMOV ZÁKLADNÝCH SKRATOVÝCH VELIČÍN

Počiatočný súmerný rázový skratový prúd I_k''

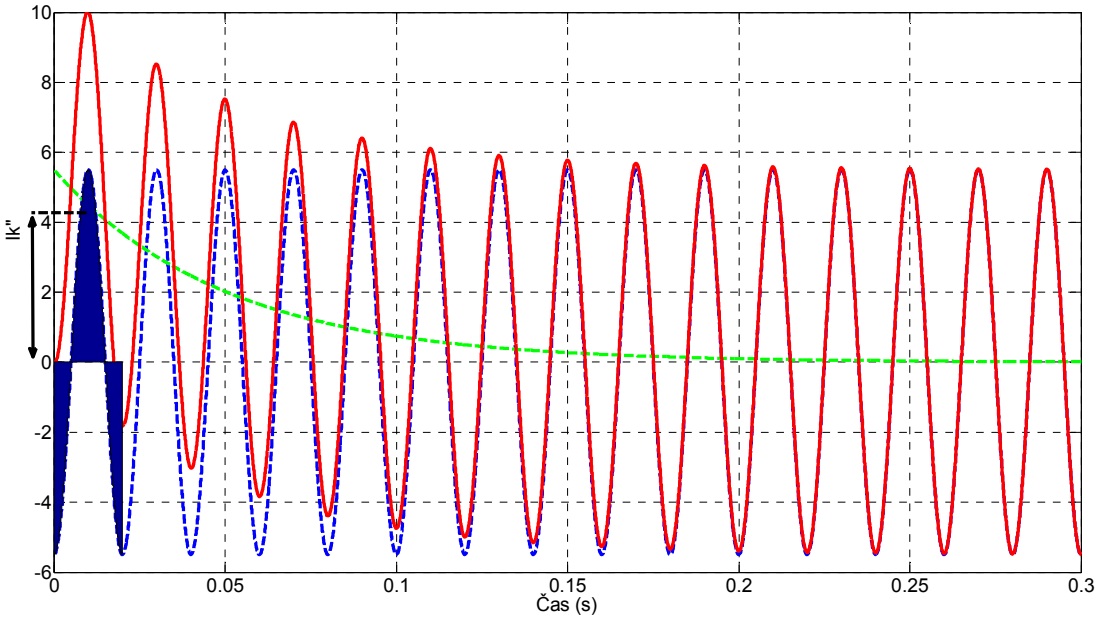
Základnou veličinou charakterizujúcou veľkosť skratového prúdu je tzv. **počiatočný súmerný rázový skratový prúd** I_k''. Tento prúd predstavuje efektívnu hodnotu striedavej súmernej zložky skratového prúdu v okamihu vzniku skratu. Na obr. 2–1 je modrou farbou zvýraznená prvá perióda striedavého súmerného skratového prúdu, z ktorého sa podľa nasledovného vzťahu určí efektívna hodnota počiatočného súmerného rázového skratového prúdu (jej veľkosť je na obr. 2–1 znázornená čiernou šípkou):

$$I_k'' = \sqrt[2]{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\cdot dt}$$

kde:

T – perióda,

i – súmerný rázový skratový prúd.



obr. 2–1 Znázornenie veľkosti počiatočného súmerného rázového skratového prúdu I_k'' – jedna fáza

Z uvedeného vyplýva, že počiatočný súmerný rázový skratový prúd I_k'' je hodnota jednosmerného skratového prúdu, ktorý vytvorí na rovnakej odporovej záťaži rovnaké teplo ako súmerný striedavý rázový skratový prúd počas prvej periódy od vzniku skratu. Takýmto spôsobom sme okamžité hodnoty priebehu skratového prúdu nahradili veličinou s jednou hodnotou I_k''. Súčasne je potrebné zdôrazniť, že výpočet počiatočného súmerného

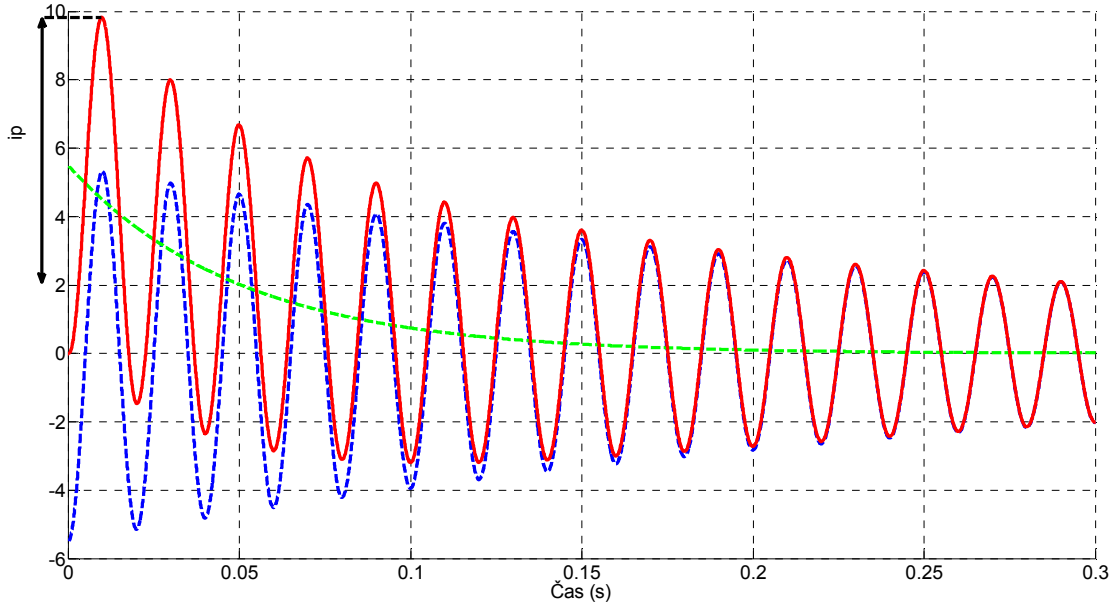
rázového skratového prúdu I_k'' je výrazne jednoduchší ako výpočet priebehu okamžitých hodnôt skratových prúdov.

Samotný význam tohto prúdu I_k'' nie je tak podstatný ako význam veličín, ktoré sa odvádzajú/vypočítajú z tejto veličiny.

Nárazový skratový prúd i_p''

Prvou dôležitou veličinou, ktorá sa počíta z počiatočného súmerného rázového skratového prúdu I_k'' je tzv. **nárazový skratový prúd** i_p (v minulosti nazývaný a označovaný ako dynamický skratový prúd I_{km}), ktorý predstavuje najväčšiu možnú vrcholovú hodnotu skratového prúdu – pozri obr. 2–2.

Je potrebné zdôrazniť, že veľkosť nárazového skratového prúdu ovplyvňujú obidve zložky skratového prúdu – striedavá ako aj jednosmerná zložka skratového prúdu.



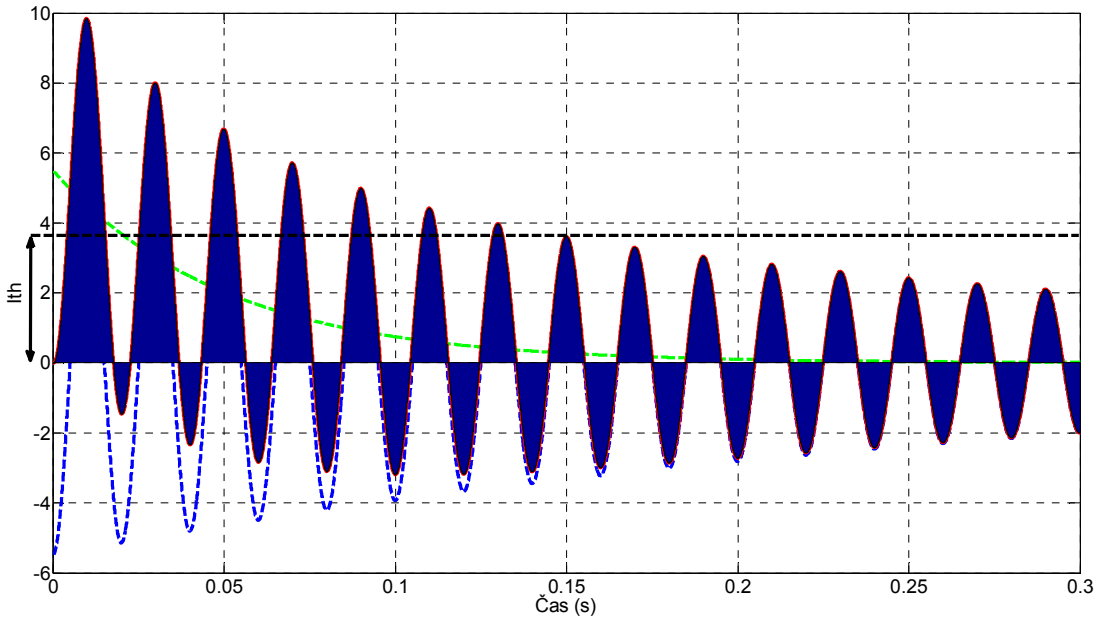
obr. 2–2 Znázornenie veľkosti nárazového skratového prúdu i_p

Význam nárazového skratového prúdu spočíva predovšetkým v tom, že na základe tohto prúdu sa stanovujú maximálne mechanické namáhania zariadení, cez ktorý skratový prúd preteká.

Ekvivalentný otepľovací skratový prúd I_{th}

Ďalšou dôležitou veličinou, ktorá sa počíta z počiatočného súmerného rázového skratového prúdu I_k'' je tzv. ekvivalentný otepľovací skratový prúd I_{th} (v minulosti označovaný ako I_{ke}), ktorý predstavuje tepelné namáhanie zariadení, cez ktorý skratový prúd preteká.

Je potrebné zdôrazniť, že veľkosť ekvivalentného otepľovacieho skratového prúdu ovplyvňujú obidve zložky skratového prúdu – striedavá ako aj jednosmerná zložka skratového prúdu. Navyše výrazný vplyv na veľkosť tohto prúdu má aj uvažovaný čas trvania skratu.



obr. 2–3 Znázornenie veľkosti ekvivalentného otepľovacieho skratového prúdu I_{th}

Význam ekvivalentného otepľovacieho skratového prúdu spočíva predovšetkým v tom, že na základe tohto prúdu sa stanovujú tepelné namáhania zariadení, cez ktorý skratový prúd preteká.

Samozrejme, okrem uvedených troch základných veličín, ktoré popisujú skratové pomery, existujú aj iné veličiny charakterizujúce skratové prúdy ako napríklad sú počiatočný súmerný rázový skratový výkon, vypínací nesymetrický skratový prúd, ustálený skratový prúd atď.

3. POTREBA POZNANIA VEĽKOSTI SKRATOVÝCH POMEROV

Jednotlivé popísané veličiny charakterizujúce skratové prúdy majú svoje využitie pri riešení rôznych úloh. Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, **nárazový skratový prúd** i_p ako aj **ekvivalentný otepľovací skratový prúd** I_{th} sa využívajú predovšetkým v prípade **dimenzovania zariadení** z pohľadu mechanického a tepelného namáhania, čo predurčuje, že potrebujeme vypočítať maximálne hodnoty týchto prúdov. Aplikujú sa v napríklad pri dimenzovaní rozvodní, transformátorov, káblov, uzemňovacích sústav a pod. Na tomto mieste je potrebné zdôrazniť, že v prípade **výpočtu maximálnych skratových pomerov je nevyhnutné uvažovať aj príspevky skratových prúdov od synchrónnych a asynchrónnych motorov** prevádzkovaných predovšetkým na vn a nn napäťovej hladine.

Priebehy **okamžitých hodnôt skratových prúdov** je potrebné poznať napr. v prípade **dimenzovania generátorového vypínača**, pretože v takomto prípade elektrická „blízkosť“ generátora môže spôsobiť, že veľkosť jednosmernej zložky skratového prúdu je väčšia ako súmerný skratový vypínací prúd. To spôsobí, že okamžité hodnoty skratového prúdu

v začiatočných okamihoch od vzniku skratu nepretínajú nulovú os a preto je nevyhnutné čas vypnutia generátorového vypínača oddialiť, nakoľko vypnutie striedavého prúdu nastáva v okamihu jeho prechodu nulou.

Okrem poznania maximálnych skratových pomerov **je potrebné poznať aj minimálne hodnoty skratových pomerov** napríklad pri riešení nasledovných úloh:

- návrh nastavenia ochrán,
- kontrola rozbehu rôznych typov pohonov,
- určenie úrovne kvalitatívnych ukazovateľov ako sú napríklad napäťová a prúdová nesymetria, úroveň vyšších harmonických, fliker a pod.

4. ZÁVER

Predkladaný príspevok sa venuje fyzikálnemu vysvetleniu základných pojmov v oblasti výpočtov skratových pomerov, popisuje základné veličiny, ktoré charakterizujú skratové prúdy ako sú počiatočný súmerný rázový skratový prúd, nárazový skratový prúd a ekvivalentný otepľovací skratový prúd.

Súčasne uvádza úlohy, pri riešení ktorých je nevyhnutné poznať veľkosti maximálnych a minimálnych skratových prúdov ako aj priebehov týchto prúdov.

LITERATÚRA

[1.] Slovenská technická norma STN EN 60909-0: 2003 – Skratové prúdy v trojfázových striedavých sústavách, časť 0: Výpočet prúdov,

[2.] Ing. Marián Mešter, PhD. – Výpočet skratových prúdov, redakčná úprava PRO, s.r.o., 1. vydanie, ISBN 80-89057-10-1,

[3.] Doc. Ing. Miroslav Gutten, PhD. – Analýza účinkov skratových pomerov na elektrických zariadeniach, EDIS 2011, ISBN 978-80-554-0433-2.