

# Závady v jištění výkonových transformátorů

Ing. Bernard Lukáš, specialista silnoproudé elektrotechniky

V tomto příspěvku se chci zaměřit na vady v jištění výkonových transformátorů, jejichž důsledkem jsou chybná, pro transformátor škodlivá vypínání nebo nežádoucí časově zpožděná vypínání s přerušením dodávky elektrické energie většího technologického celku. Důvodem uvedeného problému jsou většinou nesprávně nastavené vypínací parametry ochrany na primární straně vn a jističů na sekundární straně nn. Tento příspěvek se netýká jištění tavnými pojistkami a ochrany transformátorů velkých výkonů vybavených navíc ochranami ke chránění vnitřních poruch vinutí – např. rozdílovými ochranami.

## 1. Zásady jištění primární strany transformátoru proti nadproudům

Ačkoliv způsob jištění a nastavení vypínacích parametrů ochrany má být stanoven projektem, je častým jevem chybné nastavení jejich vypínacích hodnot. K posouzení a volbě správného jištění není postačující znalost technických norem, ale je i nutno znát fyzikální princip funkce transformátoru, význam jeho štítkových parametrů, zejména jmenovitých napětí a proudů (primárních i sekundárních), napětí nakrátko a přípustnou dobu trvání největšího zkratového proudu (kovový třífázový zkrat na sekundární straně), který – není-li výrobcem uvedeno jinak – je stanoven technickou normou na 2 s. Dále je nutná znalost maximálních neporučových provozních proudů a nárazového (zapínacího) prou-

du, jehož průběh tvoří časově rychle klesající exponenciála, avšak s vrcholovou hodnotou proudu dosahující až čtrnáctinásobku jmenovitého proudu  $I_N$ . Tento zapínací proud je přechodový, doba zániku na velmi malý proud naprázdno (asi 1,5 %  $I_N$ ) je závislá na konstrukci a výkonu transformátoru a pohybuje se u transformátorů do 2,5 MV·A v rozmezí 0,2 až 0,3 s. Hodnota nárazového zapínacího proudu je závislá i na hodnotě napětí v okamžiku zapnutí. Největší hodnota rázového proudu nastává při zapnutí transformátoru v čase, kdy napětí je blízké nule a naopak. Při návrhu nebo posouzení jištění primární strany transformátoru je vhodné postupovat, jak je popsáno dále.

### 1.1 Provozní proudy nepřesahují jmenovitý proud transformátoru

Nepřesahují-li dosavadní a výhledově předpokládané provozní proudy (i krátkodobého trvání např. po dobu rozběhu výkonově největších asynchronních nebo synchronních elektrických motorů nakrátko) jmenovitý proud  $I_N$  transformátoru, je vhodné nastavit vypínací parametr proudu  $I_a$  ochrany na 125 %  $I_N$  transformátoru. Parametr časového zpoždění vypnutí  $t_a$  se volí s ohledem na selektivitu jištění, tj. tak, aby byl při poruše vypnut pouze vlastní poruchový vývod transformátoru. Zbýlá neporučová část elektrorozvodné soustavy má zůstat zapnuta. S ohledem na rázový zapínací proud se nastaví u transformátorů vn/nn do 2,5 MV·A vypínací čas  $t_a$  na 0,3 s a větší, ne však delší, než je výrobcem stanovena maximální doba trvání zkratu, která bývá do 2 s.

Obecně platí doporučené vztahy:

$$I_p < I_a \leq 1,25 I_N \\ 0,3 \text{ s} \leq t_a < 2 \text{ s}$$

kde

$I_p$  je největší provozní proud, včetně krátkodobých špiček při spouštění velkých elektromotorů,

$I_a$  vypínací hodnota parametru proudu ochrany,

$t_a$  vypínací hodnota času ochrany.

### 1.2 Provozní proudy přesahují jmenovitý proud transformátoru

Jsou-li provozní proudy v krátkodobých intervalech větší než jmenovitý proud transformátoru, nastavuje se vypínací parametr proudu  $I_a$  na hodnotu, která je asi o 30 % větší

než maximální provozní proud (maximálním provozním proudem se rozumí běžný zatěžovací provozní proud zvětšený o nárůst krátkodobých rozběhových proudů elektromotorů nakrátko největších současně spouštěných výkonů). Není-li transformátor trvale proudově vytižen (alespoň na 80 % jmenovité hodnoty), nepůsobí ani až trojnásobné překročení jmenovitého proudu po dobu spouštění (max. 50 s) jeho přehřátí. Kromě toho musí být transformátor chráněn proti trvalému přetěžování proudovou časově závislou ochranou s inverzní charakteristikou (převážně na straně nn ochrana jističem) nebo je vinutí chráněno vestavěnými tepelnými čidly. Následně se vykoná kontrola, zda primární proud na straně vn při vzniku dvoufázového zkratu  $I_{2K}$  na sekundární straně transformátoru je alespoň o 25 % větší než nastavená vypínací hodnota proudu  $I_a$ .

Platí tedy vztahy:

$$I_a \geq 1,3 I_p \\ 1,25 I_a \leq I_{2K} \\ 0,3 \text{ s} \leq t_a < 2 \text{ s}$$

kde

$I_p$  je největší provozní proud, včetně krátkodobých špiček při spouštění velkých elektromotorů,

$I_a$  vypínací hodnota parametru proudu ochrany,

$t_a$  vypínací hodnota času ochrany,

$I_{2K}$  hodnota primárního proudu při dvoufázovém zkratu na nn straně transformátoru.

S vyhovující mírou přesnosti jsou hodnoty tří- a dvoufázových zkratových proudů na primární straně vn dány vztahy:

$$I_{3K} = k \cdot 100 I_N / u_K$$

$$I_{2K} = \frac{k \cdot 100 I_N \cdot \sqrt{3}}{2 u_K} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{k \cdot 100 I_N}{u_K} = 0,866 I_{3K}$$

kde

$I_N$  je jmenovitý primární proud (na straně vn) transformátoru,

$I_{3K}$  proud na primární straně (vn) při třífázovém zkratu na svorkách sekundární strany transformátoru,

$I_{2K}$  proud na primární straně (vn) při dvoufázovém zkratu na svorkách sekundární strany transformátoru,

$u_K$  napětí nakrátko transformátoru v %, k

konstanta útlumu napájecího vedení k transformátoru a napájecí sítě (volí se 0,8 až 0,9).

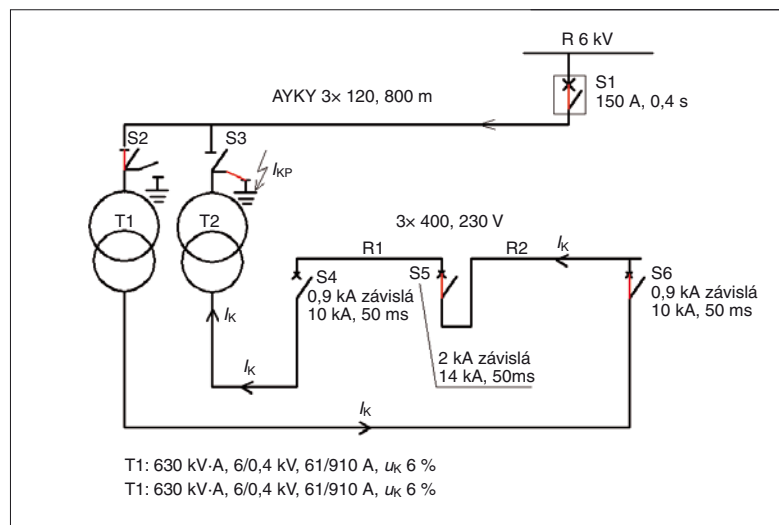


Obr. 1. Ilustrační foto

V případě, že útlum napájecí sítě a napájecího vedení k transformátoru již není zanedbatelný (např. zkratový výkon napájecí sítě nedosahuje alespoň čtyřnásobku výkonu transformátoru nebo je napájecí vedení k transformátoru dlouhé), převede se  $u_K$  na skutečné hodnoty v ohmech nebo se složky impedance vedení převedou na poměrné procentní hodnoty, sečtou se a vykoná se upřesňující výpočet<sup>\*)</sup>.

Výpočet je snadný, měl by ho zvládnout každý revizní technik pomocí kapesní kalkulačky, ví-li, že:

$$u_K = 100 I_N \cdot Z_K / U_f = 100 \cdot Z_K / Z_N = 100 \cdot I_N / I_{3K}$$



Obr. 2. Blokové schéma jističů technologického zařízení objektu

kde  $u_K$  je poměrná hodnota napětí nakrátko v %,  $Z_K$  skutečná hodnota impedance nakrátko transformátoru nebo skutečná impedance vedení, popř. nadřazené soustavy v ohmech,  $Z_N = U_f / I_N$  jmenovitá impedance transformátoru v ohmech nebo zvoleného vztažného výkonu, z něhož se vypočte,  $I_{3K}$  proud třífázového zkratu transformátoru nebo rozvodné soustavy se zvoleným vztažným výkonem,  $I_N$  jmenovitý proud transformátoru nebo rozvodné soustavy se zvoleným vztažným výkonem,  $U_f$  fázové napětí soustavy, ve které se výpočet vykonává.

## 2. Zásady jističů transformátoru strany nn (sekundární) proti nadproudům

Transformátory vn/nn mají, kromě speciálních transformátorů (např. pro usměrňovače), na sekundární straně převážně jistič, který je vybaven proudově závislou ochra-

nou (s inverzní charakteristikou) proti přehřátí transformátoru nadproudem a zkratově nezávislou ochranou reagující mžikově v čase asi 50 ms. Jističe současně i předcházející generace mají široké rozmezí nastavení parametrů vypínacích hodnot proudů, což při jejich správném nastavení umožňuje dosáhnout dobré selektivity působení, tj. zajistit vypnutí transformátoru pouze v případě poruchy příslušného chráněného úseku.

Hodnoty proudově závislých článků jističů (proti přetížení) bývají nastaveny správně. Naproti tomu proudově nezávislé zkratové články jsou v mnoha případech nastavovány na příliš velké hodnoty, které ne-

jsou ničím odůvodněny. V případě zkratu za jističem v jeho chráněném úseku je pak skutečný zkratový proud  $I_{3K}$  nebo dvofázový zkratový proud  $I_{2K}$  menší než nastavená vypínací hodnota proudu  $I_a$  a vzniklý zkrat je vypínán v delším čase záložní ochranou nebo výkonovými pojistkami na primární straně. Příklad nesprávného nastavení zkratových článků jističů na sekundární straně nn, který způsobil v technologickém objektu vážné problémy, je uveden v dalším textu.

### 2.1 Popis události

Technologické zařízení objektu (viz obr. 2) bylo napájeno z transformoven R1 a R2. Vypínač S1 a odpojovač S2 na straně 6 kV, jakož i jističe S5, S6 na straně 400/230 V byly v zapnutém stavu (naznačeno červeně). Odpojovač S3 transformátoru T2 byl vypnut, zkratován a uzemněn. Parametry nadproudových ochranných byly nastaveny na hodnoty uvedené v popisu obr. 2. Chybnou manipulací byl sepnut jistič S4, přičemž došlo k toku vyrovnávacího zkrato-

## Seřiditelná hlava klíče s ráčnovou funkcí



Snadné nastavení ozubeným kroužkem pro odpovídající šroub



Metrická stupnice



Může být použito na obě strany



Pohyblivá čelist se nemůže uvolnit



Boční dorovnávací systém

Průmyslová kvalita

## Zakladní program

vyžádejte si náš úplný katalog:  
[info@haupa.com](mailto:info@haupa.com)

Germany

**HAUPA GmbH & Co. KG**

Königstraße 165-169

D-42853 Remscheid

Phone: +49 (0)2191 84 18-0

Fax: +49 (0)2191 84 18 840

[www.haupa.cz](http://www.haupa.cz)

Veškeré zboží lze koupit přes  
velkoobchod s elektro.

+420 493 524 391

**haupa**®

<sup>\*)</sup>Pozn. redakce: Jeden z příkladů upřesňujícího postupu bude uveden v článku Ing. Bernarda Lukáše s názvem *Posouzení jističů transformátoru proti nadproudům*, který bude publikován v časopise Elektro 12/2008.

vého proudu  $I_K$  přes zkratovanou a uzemněnou primární stranu transformátoru T2. Na zkratový proud nereagovaly jističe S4, S5, S6. Došlo k vypnutí vypínače S1 na straně 6 kV působením ochrany nastavené na vypínací hodnotu 150 A v čase 0,4 s. Vzhledem k tomu, že majitel technického objektu měl ve své správě jen transformovny R1 a R2 400/230 V a protože v transformovně R 6 kV, která patří jinému majiteli, není stálá obsluha, došlo k více než hodinovému přerušení dodávky elektrické energie se všemi z toho vyplývajícími provozními a bezpečnostními problémy.

Důvodem nevypnutí zkratu v čase do 50 ms jističi S4, S5, S6 byly velké hodnoty proudového nastavení jejich zkratových ochran.

Z informativního výpočtu je zřejmé, že hodnota zkratového proudu na straně 400 V byla v naznačeném případě menší než nastavené vypínací hodnoty proudu. V uvedeném případě byl zkratový proud  $I_K$ :

$$I_K = k \cdot 100 I_N / 2 U_K = 0,9 \times 100 \times 910 / (2 \times 6) = 6\,825 \text{ A}$$

kde

$k$  je konstanta útlumu na straně 6 kV (volí se podle délky napájení a zkratového výkonu primární napájecí soustavy, přesnější postup viz odst. 1.2).

Zkratový proud na straně 6 kV:

$$I_{KP} = 6\,825 \times 0,4/6 = 455 \text{ A}$$

Nadproudová ochrana byla u vypínače S1 na straně 6 kV nastavena správně, časově zpoždění 0,4 s je nutné z důvodu nárazového zapínacího proudu, který je při zapínání větší než 150 A (v čase po 0,3 s je již přechodový zapínací proud pod hodnotou 120 A – viz odst. 1 a 1.1).

## 2.2 Volba správného nastavení parametrů nadproudových ochran jističů na sekundární straně transformátorů

### 2.2.1 Proudové nastavení parametru závislé nadproudové ochrany

Proudové nastavení parametru závislé nadproudové ochrany  $I_{at}$  (proti trvalému přetěžování) se upraví na jmenovitou proudovou hodnotu transformátoru  $I_N$ , tj. v tomto případě na 0,9 kA. Obecně platí:

$$I_{at} \leq I_N$$

kde

$I_{at}$  je hodnota proudového parametru ochrany proti trvalému přetížení (proti přehřátí),  $I_N$  jmenovitý proud transformátoru.

Vypínací čas vyplývá z inverzní charakteristiky výrobce jističe. Protože jde o ochranu závislou, je vypínací čas nepřímo úměrný nadproudu.

### 2.2.2 Volba nastavení parametru zkratové spouště jističe

Volba nastavení parametru zkratové spouště jističe je stejná jako na straně primární podle odstavce 1.2 s tím, že hodnoty proudů jsou sekundární, tj. hodnoty primární strany násobené převodem transformátoru  $p = U_1/U_2$ . Je-li to technicky a provozně možné, volí se vypínací hodnota zkratové spouště  $I_a$  (na sekundární straně) s ohledem na selektivitu jistění přibližně o 25 až 30 % menší, než je přepočtená hodnota  $I_a$  na primární straně. Není to však nutné, protože jistič na sekundární straně vypne zkrat za svým chráněným úsekem v podstatně v kratším čase než ochrana na straně primární.

V tomto případě měl podle výkonové skladby technologie maximální provozní proud (včetně spouštěcích proudů elektromotorů nakrátko a potřebné rezervy) na straně 400 V hodnotu 1 000 A.

Podle vztahů odst. 1.2 platí:

$$I_a \geq 1,3 I_p \geq 1,3 \times 1\,000 \geq 1\,300 \text{ A}$$

$$1,25 I_a \leq I_{2K} \leq 0,866 \times 6\,825 \leq 5\,910 \text{ A}$$

a z toho pak:

$$I_a \leq 4\,728 \text{ A}$$

Byly proto sníženy vypínací hodnoty zkratových článků jističů S4, S5, S6 na hodnotu 2 kA, což vyhovuje všem uvedeným podmínkám i požadavku rychlého vypnutí zkratů vzniklých v chráněném úseku za jističi, v tomto případě i na primární straně vypnutí transformátoru.

## 3. Závěr

Přestože uvedený příspěvek neobjevuje nic nového, zpracoval jsem ho k úvaze především pro revizní techniky. Popsaná poruchová událost se stala měsíc po vykonané výchozí revizi. V neformální diskusi s revizními techniky o zmíněné události jsem byl jejich reakcí zaskočen. Převažoval názor, že nastavení ochrany je věcí projektu, a není-li v projektu, tak se jich problém netýká, neboť v ČSN způsob ochrany transformátorů proti zkratu není konkretizován. Podotýkám, že profese *revizní technik elektrických zařízení* díky platné, ale v současné době již archaické vyhlášce 50/78 Sb. je v našem bezpečnostním systému elektrického zařízení (mimo Slovensko) téměř světovou výjimkou, a nepředpokládám, že tento systém bude v blízké době měněn. Doporučuji jim proto, aby pečlivěji přistupovali k posuzování a ověřování těch prvků a částí elektrické instalace, které mají na bezpečnost rozhodující vliv, a nezapomínali se malichernostmi, jak tomu v častých případech je.

Myslím si, že jejich profesní odbornost nepožívá jen v tom, být „právníkem“ ČSN, ale i elektrotechnickým odborníkem.

☒




generální partner veletrhu

**19. - 20. 11. 2008**  
**DK Repra**  
**MOST**

ST 9 - 17 HOD., ČT 9 - 15 HOD.

VELETRH ELEKTROTECHNIKY ELEKTRONIKY ENERGETIKY

omnis **Omnis Olomouc, a.s., Kosmonautů 8, 772 11 Olomouc, tel./fax: 585 232 097, mobil: 608 711 422, e-mail: nasadil@omnis.cz, www.omnis.cz**

ELEKTRO

články aktuálních i minulých čísel časopisu ELEKTRO najdete na

[www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz)