

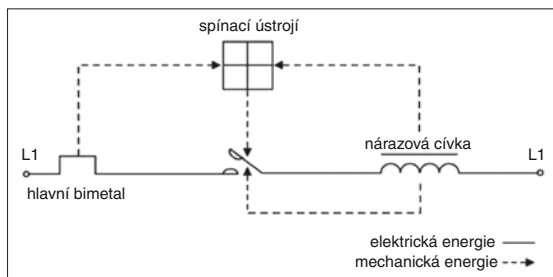
Chování rázových proudů u jističů vedení

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Berger a Dipl.-Ing. A. Marschall,
Technická univerzita Ilmenau, SRN,
Fakulta elektrotechniky a informační techniky

Jističe vedení jsou dimenzovány pro účely ochrany před proudovým přetížením a zkratovým proudem sítové frekvence a reagují citlivě na přechodné vyrovnávací proudy a namáhání, která mohou být vyvolána např. atmosférickými výboji. Protože je chování jističů vedení přibleskových, resp. impulzových proudech ještě poměrně značně neznámé, byla uskutečněna systematická šetřeníbleskových proudů s cílem zjistit jejich vliv na poškození, která se vyskytují u těchto elektrických spínacích přístrojů při tomto druhu namáhání. Při těchto šetřeních se zjišťují fyzikální jevy vyskytující se při impulzovém namáhání a jejich účinky na funkční komponenty jističů vedení. Obecně lze konstatovat, že tyto spínací přístroje reagují velmi rozdílně na různá impulzová namáhání.

1. Úvod

Nízkonapěťové (nn) spínací přístroje jsou neodmyslitelná zařízení používaná v moderních energetických rozvodných sítích a insta-

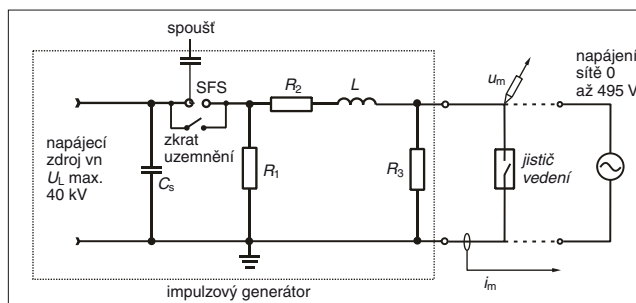


Obr. 1. Funkční struktura jističe vedení

lacích. Zajišťují nejen vysoký stupeň spolehlivosti, výkonnosti a flexibility, ale také bezpečné fungování provozovaných sítí. Zvláště spínací přístroje s nadproudovou ochrannou funkcí jsou schopny samočinně reagovat na zvýšené proudy v nízkonapěťové (nn) síti, bezpečně rozpoznávat

nedovolené chybové stavy a vyvolat rychlé a spolehlivé vypnutí [1]. Spínací přístroje nn jsou však vzhledem ke své funkční podmíněnosti citlivé na tranzientní vyrovnávací proudy a přechodné zátěžové stavy, které mohou nastat např. v souvislosti s přímo nebo blízko působícímibleskovými proudy, popř. při interakci se svodiči přepětí [2], [3]. Důležitým předpokladem pro splnění vysokých požadavků na dostupnost elektrického napájení, a z tohoto hlediska i dalšího vývoje spínacích přístrojů, je znalost účinků namáháníbleskovými proudy a chováníbleskových proudů u spínacích přístrojů nn. V dřív-

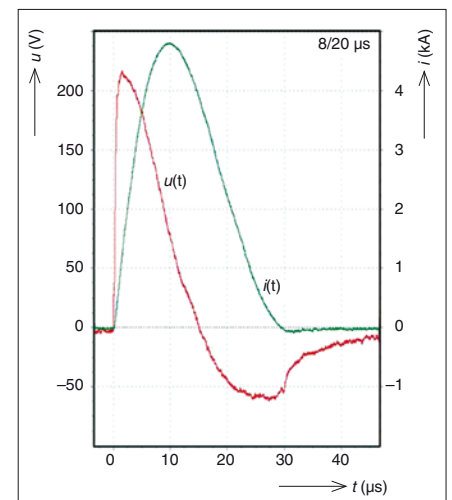
ějších studiích uskutečněných na Technické univerzitě Ilmenau [4], [5] bylo v rámci výzkumného projektu AiF (*Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschung*, Pracovní sdružení průmyslových výzkumných sdružení) [6] vyšetřováno chování rázových proudů u nízkonapěťových vysokovýkonných pojistek. Přitom bylo zjištěno, že tyto impulzy mohly v závislosti na četnosti a úrovni jejich výskytu vést ke zničení těchto pojistek. V tomto případě není možné docílit požadované ochrany zařízení před nechtěným vypnutím použitím svodičůbleskových proudů a přepětí. V dalším výzkumném projektu AiF [7], jehož základem byla bezpojistiková instala-



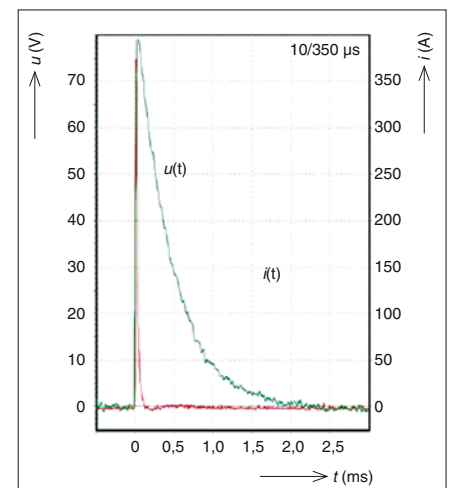
Obr. 2. Zkušební zapojení ke zjištění vybavovacích proudů

ce, bylo zkoumáno chování rázových proudů u jističů vedení s různými charakteristikami a jmenovitými proudy. Jističe vedení stejně jako pojistky nejsou schopny omezovat nebo vypínat rázové proudy, musí být ale schopny je vést [8]. Tyto spínací přístroje mají ve srovnání s pojistkami komplexní konstrukci (obr. 1). Sestávají ze dvou různých vypínacích systémů, a to ze zkratové spouště (nárazová cívka) a nadproudové spouště (hlavní bimetal), které fungují na různých fyzikálních principech. Kromě toho obsahují tyto přístroje elektromechanický systém rozpínacích a spínacích kontaktů. Cílem tohoto šetře-

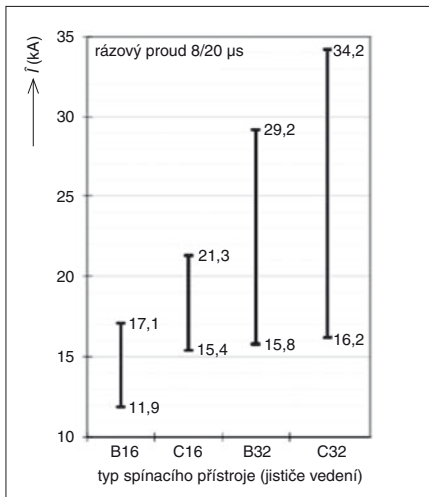
ní bylo zjistit chování jednotlivých funkčních komponent při namáhání rázovými proudy. Pro tuto analýzu byly zvoleny jističe vedení nejčastěji používané v podružných rozvodech, a to od různých výrobců s různými vypínacími charakteristikami (B, C) a s různými jmenovitými proudy (16 a 32 A). Testovány byly také dílčí selektivní jističe vedení s ohledem na jejich chování přibleskových proudech. Podle místa instalace zvolených jističů vedení byl pro zjištění chování rázových proudů převážně používán relativně energeticky chudý rázový proud s tvarem vlny 8/20 μ s. Tento proud vzniká galvanickou nebo indukční vazbou v důsledku vzdálených úderůblesku



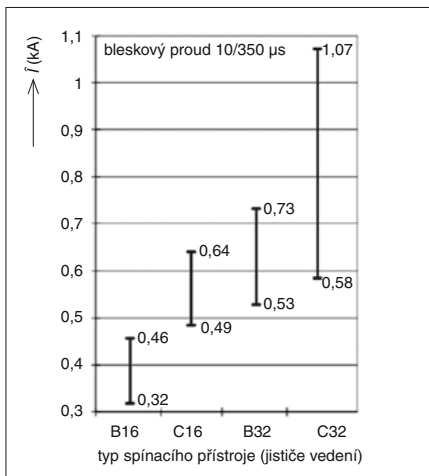
Obr. 3. Typický průběh napětí u rázového proudu



Obr. 4. Typický průběh proudu a napětí u bleskového proudu



Obr. 5. Vybavovací proudy vyšetřovaných jističů vedení při rázovém proudu



Obr. 6. Vybavovací proudy vyšetřovaných jističů vedení při bleskovém proudu

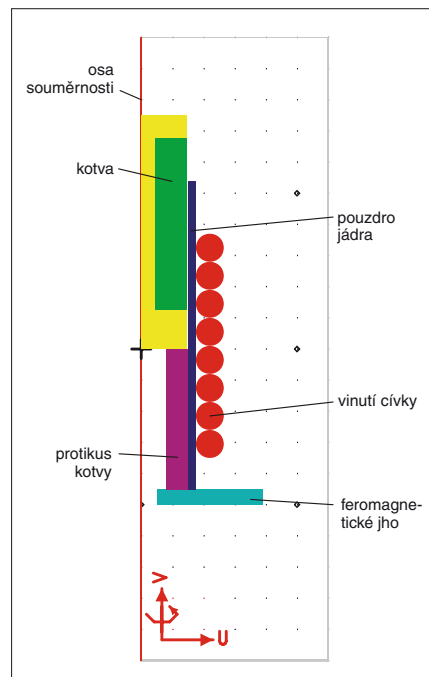
nebo při svodovém ději předřazených svodičů bleskových proudů v podružném rozvodu. Jističe vedení mohou být však také namáhány energeticky bohatými rázovými proudy v důsledku přímých účinků blesku. Prvotní bleskový rázový proud, resp. dílčí bleskový proud, který při tom vzniká, byl simulován tvarem vlny 10/350 μs .

2. Experimentální šetření

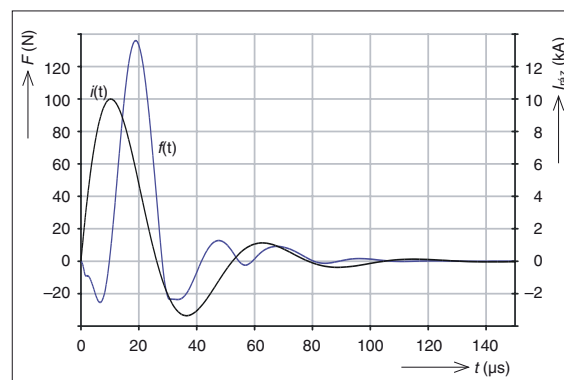
2.1 Zkušební zapojení

V prvním kroku bylo zjišťováno, při jakých proudech zmíněných tvarů vln rázového proudu vybaví jističe vedení, tj. zareaguje spoušť a rozpojí se kontaktní systém. Tyto proudy jsou v dalším textu označovány jako vybavovací proud, který je udáván jako vrcholová hodnota impulzního proudu. Pro generování impulzních proudů byly použity generátory rázových proudů, které jsou založeny na principu vybíjení kondenzátoru v nízkoindukčním obvodu RLC. Díky použití velkých nabíjecích napětí (>5 kV) nemělo napětí elektrického oblouku vytvářené ve

zkušebních vzorcích žádné zpětné účinky na impulzní proud. Zkušební zapojení je schematicky znázorněno na obr. 2. Za účelem určení vybavovacího proudu byly uskutečněny pokusy se zvyšováním proudu, přičemž byl vždy měřen průběh proudu a napětí nad spínacím přístrojem (jističem vedení). Typický průběh napětí u jističe vedení, který vzniká při rázových proudech s tvarem vlny 8/20 μs , je znázorněn na obr. 3, a typický průběh napětí u jističe vedení, který vzniká přiblesko-



Obr. 7. Simulační model zkratové spouště



Obr. 8. Výsledná magnetická síla působící na kotvu

vých proudech s tvarem vlny 10/350 μs , je znázorněn na obr. 4. Vybavení jističů vedení se však nedá z průběhu křivek s tvarem vlny 8/20 μs přesně zjistit, neboť tyto jističe rozepnou v důsledku své mechanické setrvačnosti teprve asi až za jednu nebo dvě milisekundy. Okamžik rozpojení kontaktů byl proto zjištěn pomocí jmenovitého

proudu se síťovou frekvencí, který byl přiváděn paralelně s rázovým proudem (obr. 2). Rozpojení kontaktů je určeno zapálením elektrického oblouku a principiálně ho lze zjistit v oscilogramech s delším časovým snímkem. Díky indukční podstatě zkratové spouště v podobě cívky s kotvou se nad tímto spínacím přístrojem objevuje napětí, které má až na nepatrný ohmický podíl indukční charakter. Indukční úbytek napětí z důvodu strmého čela impulzu a zvolna klesajícího týlu impulzu je patrný jen jako krátká špička.

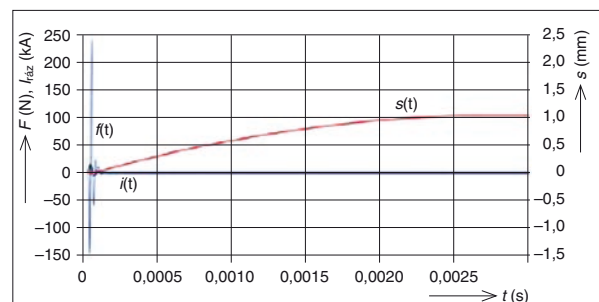
2.2 Výsledky

U vyšetřovaných jističů vedení byl zjištěn silný rozptyl vybavovacích proudů, který je podmíněn specifickou konstrukcí v závislosti na výrobci a normativně přípustným rozsahem kolísání vypínacích charakteristik. Na obr. 5 jsou znázorněny vybavovací proudy při rázovém proudu a na obr. 6 vybavovací proudy při bleskovém proudu.

Při porovnání vybavovacích proudů obou tvarů vln vyšlo najevo, že jističe vedení jsou necitlivé na rázové proudy s tvarem vlny 8/20 μs , ale vybavují již při velmi malých proudech s tvarem vlny 10/350 μs . Důvodem tohoto chování je (na rozdíl od tvaru vlny 8/20 μs) relativně dlouhý týl impulzu s tvarem vlny 10/350 μs . Magnetická síla působící na zkratovou spoušť je úměrná kvadrátu protékajícího proudu, vlastní účinný silový impulz je navíc závislý na době trvání průtoku tohoto proudu. U testovaných selektivních jističů vedení nebylo zjištěno žádné vybavení při rázových proudech s tvarem vlny

8/20 μs . Od vrcholové hodnoty proudu asi 36 kA docházelo ovšem k selhání izolačních drah a k vnitřním průrazům. Selektivní jističe vedení vybavují (na rozdíl od rázového proudu s tvarem vlny 8/20 μs) při bleskových proudech s tvarem vlny 10/350 μs od hodnoty 15 kA. Při těchto proudech jsou u těchto jističů již patrné stopy po namáhání a poškození funkčních komponent.

Při těchto experimentálních šetřeních mohly být na funkčních komponentách vyšetřova-



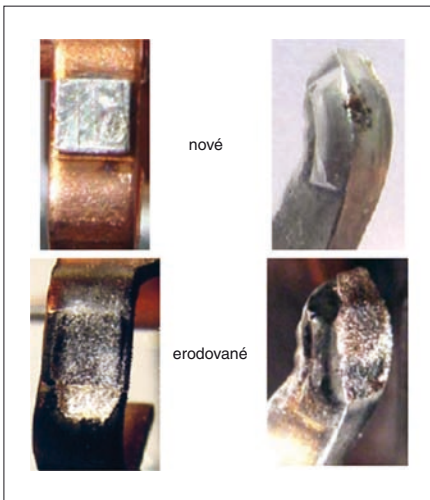
Obr. 9. Výsledná dráha kotvy

ných spínacích přístrojů pozorovány tyto fyzikální jevy a poškození:

- *zkratová spoušť* – magnetické a elektrodynamické silové účinky na:
 - nárazovou kotvu,
 - vinutí;
- *bimetal* – ohřev;
- *kontakty* – elektrodynamické zvedání:
 - ohřev,
 - tavení,
 - opal.

2.2.1 Zkratová spoušť

Zkratová spoušť sestává obecně z cívky s ponornou kotvou, která slouží k odblokování zámku vypínače. Často je také pro rychlejší rozepnutí kontaktů používán nárazový (úderný) kolíček, který působí přímo na pohyblivý kontakt. Rozhodující vliv na vybavení jističů vedení má magnetická síla vyvolaná procházejícím proudem, která působí na kotvu zkratové spouště. Významná je přítomnost nejen velikost tohoto proudu, ale také délka trvání jeho působení (viz porovnání vybavovacích proudů s tvarem vlny 8/20 a 10/350 μ s). U zkratové spouště dochází obzvláště u rázového proudu s tvarem vlny 8/20 μ s ke kvalitativním změnám, které narušují její řádnou



Obr. 10. Eroze kontaktů na kontaktním páru po patnácti rázových proudech ($I = 20 \text{ kA}$, $8/20 \mu\text{s}$)

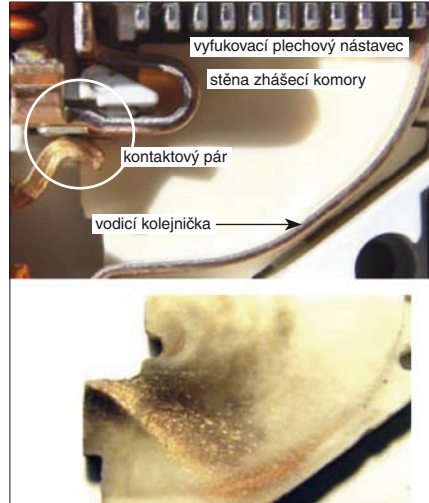
funkčnost a mohou vést až k jejímu zničení. V této souvislosti lze uvést především působení elektromotorických sil na vinutí cívky, jejichž účinky se projevují od rozšíření a zdeformování cívky (změna indukčnosti a vybavovací charakteristiky) až po odtržení konce cívky od jejího nosníku, což vede k úplnému selhání jističe vedení.

Pomocí programu FEM Maxwell byly uskutečněny simulační výpočty týkající se magnetické síly a s ní souvisejícího výsledného pohybu kotvy. Na obr. 7 je znázorněn použitý rotačně-symetrický model. Na obr. 8 je znázorněn vypočtený průběh síly pro rázový proud s tvarem vlny 8/20 μ s při proudu 10 kA.

Vzhledem k tomu, že magnetická síla je úměrná kvadrátu proudu podle (1), měla by tato síla být stále kladná.

$$f(x, t) = \frac{i^2(t)}{2} \frac{dL(x)}{dx} \quad (1)$$

Z výpočtu však vyplýval počáteční negativní průběh této síly. Důvodem tohoto jevu jsou vířivé proudy vznikající v kotvě. Tyto jsou orientovány opačně než proudy, které je vyvolaly,



Obr. 11. Usazování rozstříkaného kontaktního materiálu na stěně zhašecí komory

z čehož vzniká negativní komponenta síly. Výsledkem toho je také posunutí maxima proudu a síly, jak je to patrné z obr. 8. Dále je s tímto jevem spojeno zeslabení výsledné magnetické síly působící na kotvu. To má za následek rovněž zpoždění pohybu kotvy v kladném směru. Odpovídající dráha kotvy je znázorněna na obr. 9. Je zřejmé, že pohyb kotvy probíhá ve srovnání s průběhem proudového impulsu velmi pomalu. Délky dráhy kotvy, která je potřebná k odblokování zámku spínače, je dosaženo teprve po několika tisících mikrosekund. Toto vysvětluje, proč tyto jističe vypínají opožděně až po impulsu rázového proudu.

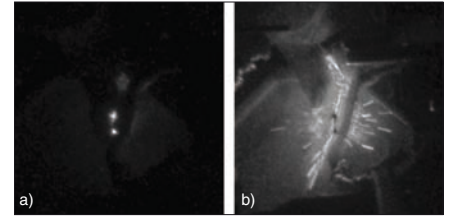
2.2.2 Účinky na bimetal

Nadproudová spoušť nemá žádný vliv na vybavení spínacích přístrojů při rázových proudech, protože přiváděná energie je příliš malá, než aby výrazně ohřála bimetal. Toto platí také pro většinu krátce po sobě následujících rázových proudů.

2.2.3 Kontaktní pár

Od vrcholových proudů asi 7 kA ($8/20 \mu$ s) vzniká z důvodu relativně malých stykových ploch kontaktů velmi velká proudová hustota, která způsobuje natavování kontaktního

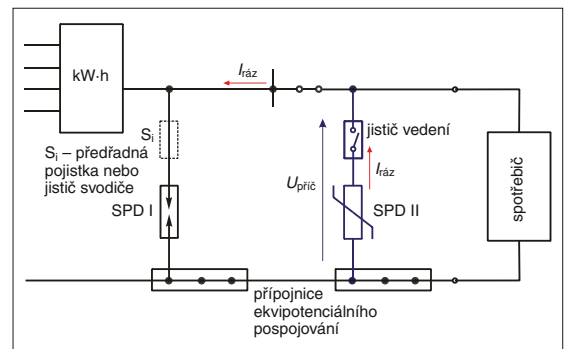
materiálu a tlakem, který při tom vzniká, jakož i elektrodynamickými silami dochází k rozstříkání tavného materiálu z kontaktních míst. S každým dalším namáháním rázovými proudy jsou kontakty stále více erodovány (obr. 10). Při tom se mění tvar kontaktní plochy tak, že pevný a pohyblivý kontakt do sebe zapadají jako klíč do zámku. Míra této eroze jako měřítko pro opotřebení kontaktního materiálu je závislá také na párování kontaktního materiálu.



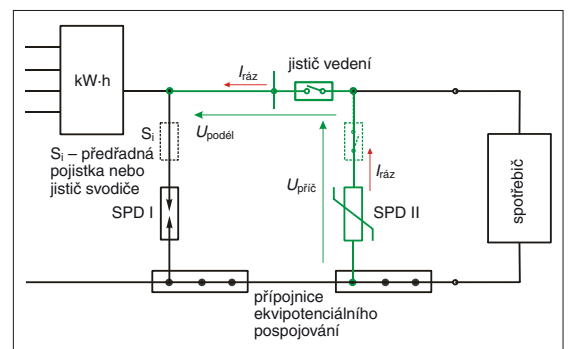
Obr. 12. Natavení povrchu kontaktů v důsledku působení rázového proudu ($I = 11,5 \text{ kA}$, $8/20 \mu\text{s}$)

Rozstřík horkého tavného kontaktního materiálu lze pozorovat vysokorychlostní kamerou. Rozstříkovaný materiál se ukládá na stěně zhašecí komory a na vodící kolejničky, která se nachází proti kontaktnímu páru (obr. 11).

Pro pořízení těchto snímků byla použita vysokorychlostní kamera HSFC Pro firmy PCO. Tato kamera sestává ze čtyř samostatných kamer stejné konstrukce, které zaznamenávají obrazy přes dělič paprsků. S touto kamerou je možné zachytit až osm obrazů s expoziční dobou minimálně 20 ns. Pomocí těchto snímků lze velmi dobře rozpoznat



Obr. 13. Úbytek napětí v příčné větvi



Obr. 14. Úbytek napětí v podélné a příčné větvi

velice dynamicky probíhající procesy během krátkého impulzu rázového proudu. Na obr. 12a je vidět natavení kontaktní plochy v průběhu prvních 8 μ s, z obr. 12b je patrný rozstřík kontaktového materiálu po 50 μ s (expozční doba 15 μ s).

3. Koordinace s ochranou před přepětím

Z hlediska ochrany před přepětím existují dva významné případy použití. Je to jednak ochrana následujícího spotřebiče, jednak odstupňování a koordinace různých svodičů blesku a přepětí pro zamezení přetěžování. Pro ochranu spotřebičů je rozhodující úbytek napětí ($U_{přic}$) v celé příčné větvi, přičemž se použitím jističe vedení v sérii se svodičem (SPD II) zvýší ochranná hladina svodiče (obr. 13). Pro koordinaci svodičů blesku a přepětí (SPD I a SPD II) je důležitý celkový úbytek napětí ($U_{přic} + U_{podél}$) přes příčnou a podélnou větev (obr. 14), neboť zatížením jističů rázovými proudy dochází k zatěžování, a tím k dodatečnému úbytku napětí. V obou případech musí tedy jistič vedení odolávat zatížením, která platí rovněž pro svodič (SPD II).

Šetřeními uskutečněnými podle normy EN 61643-11 (Ochrany před přepětím nízkého napětí – Část 11: Přepětivá ochranná zařízení zapojená v sítích nízkého napětí – Požadavky a zkoušky) byly na těchto jističích vedení zjišťovány vyskytující se projevy stárnutí a během těchto zkoušek měřeny

vznikající úbytky napětí. Pro zjištění projevů stárnutí byl brán v úvahu odstavec *Kondicionování* a pro měření úbytků napětí odstavce *Pracovní zkouška* zmíněné normy.

Z výsledků vyplývá, že ne všechny spínací přístroje dokážou odolávat rázovým proudům. U některých jističů se po zkouškách objevily značné kvalitativní změny u zkratových spouští, které vedly až k selhání funkčnosti jističů. Zjištěné úbytky napětí nad jističi dosahovaly u některých typů až 1 kV (při $I = 20$ kA; 8/20 μ s).

4. Závěr

Pro dosažení co nejlepší ochrany zařízení a pro bezpečný a nepřerušovaný provoz sítí nn je třeba znát chování bleskových proudů u spínacích přístrojů. Experimentálním šetřením byl získán první ucelenější přehled o chování jističů vedení při různých impulzních prouděch. Následným šetřením doprovodných fyzikálních jevů a zjištěním závislosti vybavení jističe na chování zkratové spouště při výskytu různých tvarů vln byl položen základ pro pochopení a možné zlepšení chování impulzních proudů u spínacích přístrojů.

Poděkování

Tento projekt (FV-Nr. 14209/BR) vznikl za laskavé podpory Pracovního společenství průmyslových výzkumných sdružení (AiF)

Otto von Guericke z prostředků Spolkového ministerstva hospodářství a práce (BMWA).

Literatura:

- [1] BIEGELMEIER, G. – KIEFER, G. – KREITER, K.-H.: *Schutz in elektrischen Anlagen*. Sv. 5: Schutzeinrichtungen, VDE-Verlag, 1999.
- [2] HASSE, P.: *Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen*. 4. vydání, TÜV Verlag, 1998.
- [3] SCHIMANSKI, J.: *Überspannungsschutz – Theorie und Praxis*. 2. vydání, Hüthig-Verlag, 2003.
- [4] NOACK, F. – SCHÖNAU, J. – BROCKE, R.: *Einfluss der Blitzstromtragfähigkeit von Überstrom-Schutzeinrichtungen auf den Blitzschutz in Niederspannungs-Netzen*. Sešit ETZ 3–4, 1998.
- [5] SCHÖNAU, J. – NOACK, F. – MÜTZEL, T.: *Blitzstromfestigkeit von Niederspannungs-Hochleistungs-Sicherungen*. 5. VDE/ABB-Blitzschutztagung, Neu-Ulm, VDE-Fachbericht 60, s. 295–302, listopad 2003.
- [6] AiF-Forschungsprojekt: *Stoßstromfestigkeit von Sicherungen – Koordination von Sicherungen und Überspannungsschutzeinrichtungen*. AiF-Vorhaben 12587BR.
- [7] AiF-Forschungsprojekt: *Blitzstromfeste Niederspannungsschaltgeräte*. AiF-Vorhaben 14209BR.
- [8] BERGER, F. – ROCK, M. – SCHÖNAU, J.: *Blitzschutz – Neue Anforderungen an Niederspannungsschaltgeräte*. In: II. Workshop Elektrische Sicherungen, TU Ilmenau, červen 2005, s. 60–67.

Odemykání domovních dveří bez klíče

z německého originálu časopisu *de*, 15–16/2007, vydavatelství Hüthig & Pflaum Verlag GmbH München, upravil Ing. Josef Košťál, redakce Elektro

V domech s více bytovými jednotkami vyžaduje většina domovních správ, aby obyvatelé domu z technicko-bezpečnostních důvodů na noc zamykali domovní dveře. Někteří nájemníci se tímto pokynem řídí a v noci dům zamykají, jiní však ne. Z tohoto důvodu často dochází mezi obyvateli těchto domů k neshodám. Firma Assa Abloy Sicherheitstechnik GmbH přišla na trh s řešením, které by mohlo uspokojit obě znesvářené strany.

Tímto řešením je Mediator, zařízení, které sdružuje samouzamykatelné únikové dveře a lineární otvírač dveří. Zaskočí-li mechanismus domovních dveří do zámku, dveře se samočinně uzamknou. Přitom je však současně možné otevřít (odemknout) domovní dveře přímo z bytu domovním otvíračem dveří, a vpustit tak např. návštěvu do domu. Kromě toho lze tyto dveře kdykoliv otevřít zevnitř klikou, a to i tehdy, jsou-li zamčené. To znamená, že v případě nebezpečí může každý, kdo se nachází uvnitř domu,

dům opustit i bez klíče od domu – tímto způsobem je zajištěna také bezpečná úniková cesta.

Popis funkce

Stejně jako u běžných domovních dveří uzamkne pružinová mechanika dveře při zaskočení mechanismu dveří do zámku. Použijeli nyní některý obyvatel domu domovní otvírač dveří, zapne se elektromotor a uvolní (otevře) uzamykací mechanismus, takže je možné domovní dveře otevřít (odtlačit) zvenčí. Zevnitř se dají tyto dveře kdykoliv mechanicky odemknout stisknutím kliky. Díky tomuto systému jsou tedy domovní dveře stále zamčeny, a přesto je lze kdykoliv odemknout bez klíče.

Možnost přestavby

Mediator je vhodný také pro přestavbu starších domovních dveří (dveře s trubkovým rámem nebo s plným křídlem).

Mediator sestává ze tří komponent:

- ze zámku únikových dveří,
- lineárního otvírače dveří,
- síťového zdroje.

Kabeláž dveří, která byla u dosavadních řešení s motorovými zámky nezbytná, není u systému Mediator nutná. Pro přenos řídicích signálů lze při přestavbě použít původní vedení otvírače dveří. Celkem jsou zapotřebí čtyři žíly: dvě pro řídicí vedení (5 až 48 V AC nebo DC) a dvě pro napětové napájení 12 V.

Podle oblasti použití Mediatoru jsou možné i další speciální funkce: Je-li např. v domě lékařská ordinace, lze naprogramovat otvírání dveří časovými spínacími hodinami na dobu ordinčních hodin. Jinou možností je napojení klíčového spínače pro autorizovanou osobu, např. správce domu, který může dočasně nechat dveře odemčeny.

Výrobce slibuje až o 50 % nižší náklady při použití systému Mediator oproti jiným dosud dostupným řešením zamykání a odmykání domovních dveří. ☒