

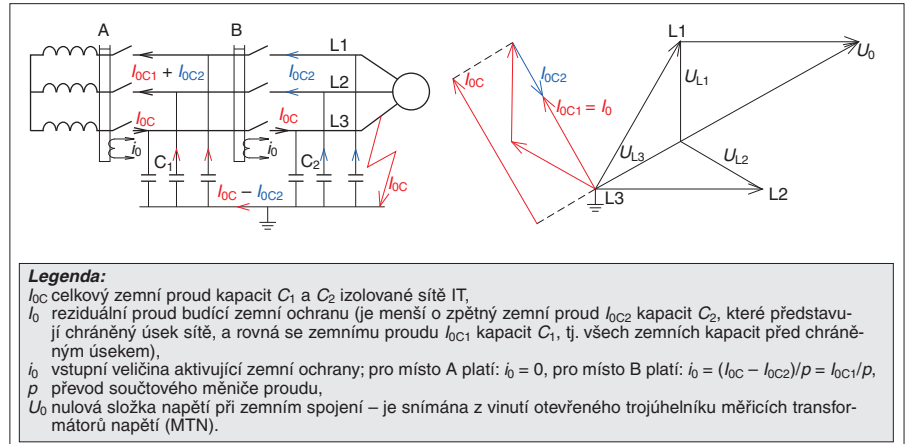
Ochrany vedení v sítích IT

Ing. Bernard Lukáš,
specialista silnoproudé elektrotechniky

1. Ochrana vedení v sítích IT proti účinkům zemních proudů

1.1 Popis problému

V izolovaných rozvodných soustavách – systém IT, kde nejsou fáze ani střed (uzel) výkonového zdroje uzemněny přímo ani přes nízkou impedanci, nenastává při poruchových stavech, tj. při spojení jedné fáze se zemí, zkrat, ale vzniká zemní proud, který může být příčinou vzniku nebezpečných stavů. Zemní proud způsobuje v síti přepětí, elektrické výboje a jiskření, je příčinou opalování vodičů a jejich izolace. Není-li rychle vypnut, může být zdrojem požárů a v sítích vn i následných zkratů. Mají-li zemniče ochranné zemniče soustavy elektrického zařízení v takto provozované poruchové síti vn vyšší zemní odpor, může být ohrožena i bezpečnost ochrany proti úrazu elektrickým proudem. Místo zemního spojení může být i potenciálním zdrojem iniciace výbušné směsi v nebezpečných prostorech (např. v dolech s výskytem plynů), zejména vznikne-li toto spojení v místě, které nelze



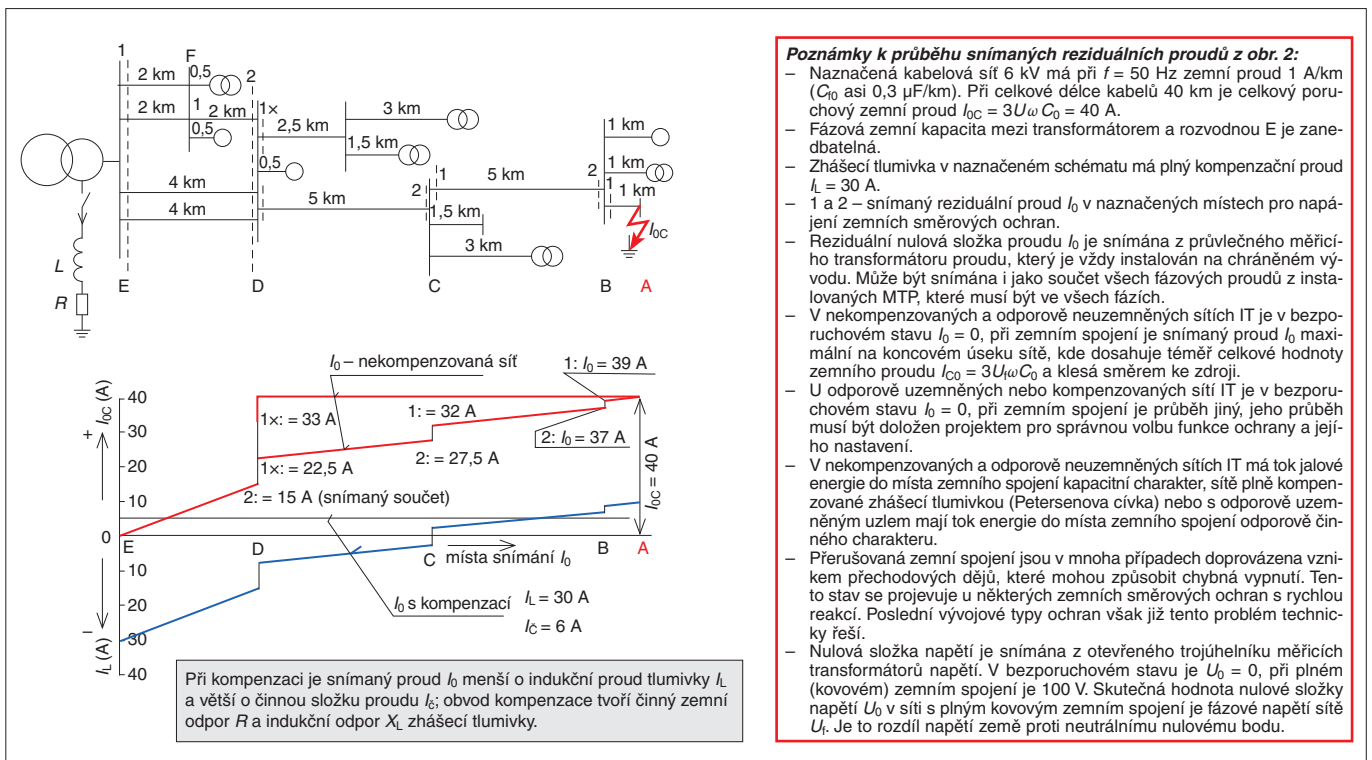
Obr. 1. Vektorový diagram nulové složky proudu a napětí při kovovém zemním spojení fáze L3 v izolovaných nekompenzovaných sítích IT

chránit nevybušným závěrem, tedy na kabelovém vedení.

Hodnota zemního poruchového proudu je dána především napětím sítě a příčnou admitancí, kterou tvoří kapacita fázových vodičů proti zemi a v zanedbatelné míře (u kabelových sítí)

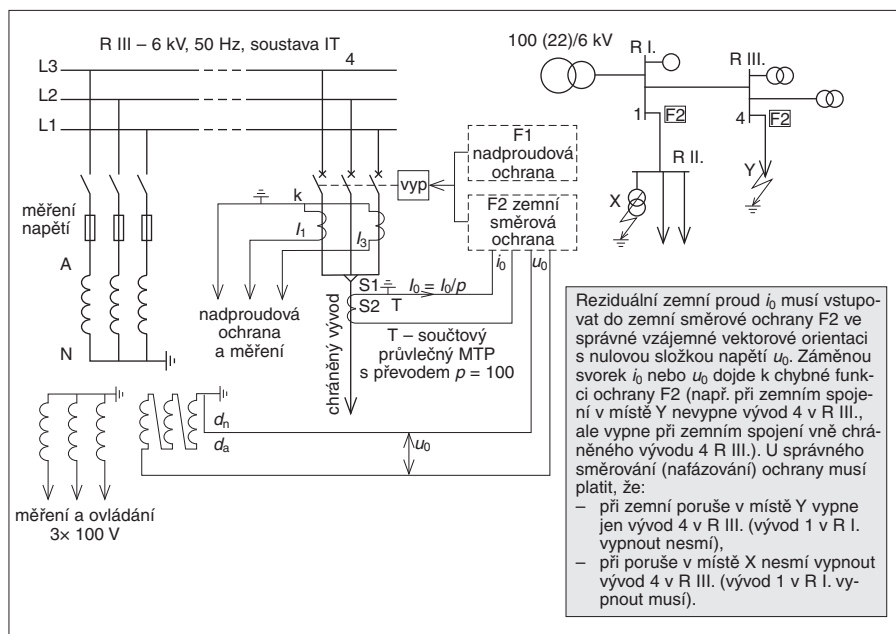
i svodový odpor. Mezifázovou kapacitu C_S , činný odpor vedení a indukčnost (zejména u kabelů) lze zanedbat, protože mají na velikost zemních poruchových proudů minimální vliv.

Je nutné podotknout, že zemní poruchový proud protékající poškozenou fází do



Obr. 2. Průběh snímaných zemních proudů pro napájení zemních směrových ochran nekompenzované a kompenzované kabelové sítě IT 6 kV

¹⁾ Výrobci kabelů uvádějí provozní kapacitu C_p , která se skládá z mezifázové kapacity C_S a zemní kapacity C_0 . Nabíjecí proud fáze neporušené sítě je $I_{PC} = U_f \omega(3C_S + C_0)$, poruchový zemní proud $I_{0c} = 3U_0\omega C_0$. Informativně je $C_0 = (0,45 \text{ až } 0,6)C_p$.



Obr. 3. Příklad ochrany vývodů sítí vn systému IT při jednofázovém zemním spojení v prostorech s nebezpečím výbuchu nebo v rozsáhlých sítích s požadavkem na rychlé vypnutí vadného úseku sítě

místa poruchy (spojení se zemí), není stejný jako nabíjecí proud vyvolaný mezifázovými a fázovými kapacitami nepoškozeného vedení¹⁾.

Informativní přehled zemních poruchových proudů, fázových zemních kapacit a kapacitních odporů proti zemi u kabelových nekompenzovaných sítí IT je v tab. 1.

Fázová zemní kapacita kabelů je závislá na konstrukci, izolaci a průřezu příslušného kabelu. Celkový poruchový (ustálený) zemní proud I_{0C} celé sítě IT (obr. 1) napájené ze samostatného zdroje (transformátoru) je dán pro: dvoufázovou síť IT:

$$I_{0C} = 2U_f \omega C = 2U_f \cdot 314 \cdot C = U_s \cdot 314 \cdot C \quad (A; V, F),$$

třířázovou síť IT:

$$I_{0C} = 3U_f \omega C = 3U_f \cdot 314 \cdot C = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot 314 \cdot C \quad (A; V, F)$$

kde

U_f je fázové napětí,

U_s sdružené napětí,

C celková fázová zemní kapacita provozované sítě ve faradech (je-li použita jednotka mikrofard, výrazy se vynásobí číslem 10^{-6}),

ω kruhová frekvence $2\pi f$

(pro $f = 50$ Hz je $\omega = 314$).

Je zřejmé, že ohmický svod sítě, který představuje její izolační stav, je v porovnání se svodovými odpory zemních kapacit téměř zanedbatelný (hodnota X_C v tab. 1), lze ho proto pro stanovení velikosti zemního proudu v kabelových sítích zanedbat.

1.2 Vliv kompenzace sítí IT zhášecí tlumivkou

Bezpečnostní riziko z poruchového zemního proudu I_{0C} lze snížit zejména u volných vedení kompenzováním sítě IT zhášecí tlumivkou (Petersonovou cívku). Ta při správném vyladění může výrazně snížit hodnotu proudu I_{0C} , a tím omezit jeho destruktivní účinky. Například při vzniku obloukového výboje na izolátoru poklesne v takto kompenzované síti IT zemní proud na hodnotu, která je pro hoření obloukového výboje již nedostatečná – oblouk zanikne, a tím i poruchový stav sítě.

U kabelových sítí IT, zejména v prostorech s nebezpečím výbuchu nebo požáru, je situace složitější. Kompenzováním sice lze snížit např. riziko požáru, avšak vlivem průrazu izolace kabelu ani při zmenšení zemního proudu na minimum samočinně nezanikne porucha – izolace zůstane i nadále vadná a nebezpečné jiskření s propa-

Tab. 1. Informativní hodnoty parametrů izolovaných sítí IT

Konstrukce kabelu	Napětí sítě (V)	Zemní proud I_0 (A/km)	Fázová zemní kapacita ($\mu F/km$)	Příčná reaktance fáze proti zemi X_C ($k\Omega/km$)
třířilový	6 000	0,60 až 1,50	0,18 až 0,45	17,70 až 6,90
čtyřřilový	500	0,07 až 0,18	0,26 až 0,66	12,20 až 4,82
stíněné žíly	6 000	1,50 až 2,50	0,46 až 0,77	6,90 až 4,10
stínění a vodič PE	500	0,15 až 0,25	0,55 až 0,92	5,80 až 3,46

Ing. Bernard Lukáš, narozen 1937 v Ludgeřovicích ve Slezsku (Hlučínsko). Absolvent VPŠE ve Frenštátě p. Radhoštěm (1956) a dálkového studia oboru silnoproudá elektrotechnika na VUT Brno (1971). Pracoval pět let jako elektrikář údržby a montáží elektrických



strojí a rozveden, osm let vykonával práci revizního technika nn, vn (z toho jeden rok na ochranách vn), 21 let zastával funkci vedoucího řízení provozu a montáží zařízení nn, vn. Praxi získal také v plynajících dolech OKD na zařízeních nn, vn. Po ukončení těžby v ostravských dolech v roce 1992 pracoval dva roky v nově vzniklém elektrotechnickém cechu elektroprovozů a elektrofirm ostravského regionu. Od roku 1994 do roku 2000 byl starostou obce. Následně příležitostně spolupracuje s firmami elektro při řešení provozních problémů zejména v oblasti jištění elektrických sítí a kompenzace jalové energie. Přednášel na odborných aktivech revizních techniků v Ostravě a v Olomouci a na mezinárodní konferenci VŠB-TU Ostrava o bezpečnosti důlních sítí vn. Zpracoval mj. technickou příručku pro elektrotechniky místních firem. Je vlastním osvědčením o zápisu užitného vzoru, které se týká ověřování funkce ochrany, a příležitostným autorem článků v časopise Elektro.

lováním izolace bude pokračovat. Nebudeli v krátké době vypnut vadný úsek sítě, může v snadno zápalném nebo výbušném prostředí nastat havarijný stav nebo může vzniknout následný mezifázový zkrat. Při kompenzování sítě má procházející proud zhášecí tlumivky I_L totiž opačný smysl než zemní proud I_{0C} . Samočinné vypínání vývodů (zejména koncových) chráněných zemní ochranou v úseku, kde vznikla zemní porucha, je zmenšením zemního poruchového proudu I_{0C} , tj. i budícího snímaného reziduálního proudu I_0 (i_0) pro ochranu, značně ztiženo. Snímaný reziduální (zbytkový) proud i_0 , který je vstupní aktivitační veličinou ochrany, má kompenzaci sítě v koncových vývodech malou hodnotu a směrem k napájecímu zdroji mění i smysl (obr. 2). Fungování a spolehlivost ochrany, zejména zemních směrových ochrany, jsou tím omezeny a je pravděpodobné, že budou chybně reagovat.

Pro stanovení velikosti hodnot reziduálního zemního proudu i_0 a nulové složky napětí u_0 , které jsou vstupními vypínacími parametry zemních ochrany, je nutné se blíže seznámit s větvením proudových cest celkového zemního proudu I_{0C} . Při ochraně požadovaných kabelových vývodů zemní ochranou (u sítí nn např. proudovým chráničem) je třeba si uvědomit, že snímaný zemní proud i_0 , který vyhod-

nocuje zemní ochrana nebo proudový chránič, je proud reziduální (zbytkový). Jeho hodnota je jiná, většinou menší než celkový zemní proud I_{OC} , a závisí na místě jeho snímání v síti.

Platí zásada, že reziduální zemní poruchový proud i_0 pro zemní ochrany (i proudové chrániče) je největší (přibližně stejný jako celkový zemní proud I_{OC}), je-li snímán na koncovém vývodu s poruchou zemního spojení, a klesá směrem k napájecímu zdroji²⁾ (obr. 1 a obr. 2; v obr. 2 je červeně označený průběh pro nekompenzované síť).

1.3 Požadavek na připojování zemních směrových ochran

U směrových zemních ochran (netýká se proudových chráničů) je další podmínkou bezchybné funkce ochrany správná vektorová orientace reziduální složky zemního proudu i_0 a nulové složky napětí u_0 (obr. 3) snímáné z otevřeného trojúhelníku měřicího transformátoru napětí (MTN).

Nerespektování uvedené podmínky má za následek chybnou funkci zemních ochran, popř. nežádoucí vypínání vývodů, u kterých zemní spojení nenastalo.

Způsob ověřování správného připojení nulové složky napětí U_0 a reziduální složky zemního proudu I_0 (i_0) k zemní i směrové ochraně je uveden v části 2 tohoto příspěvku.

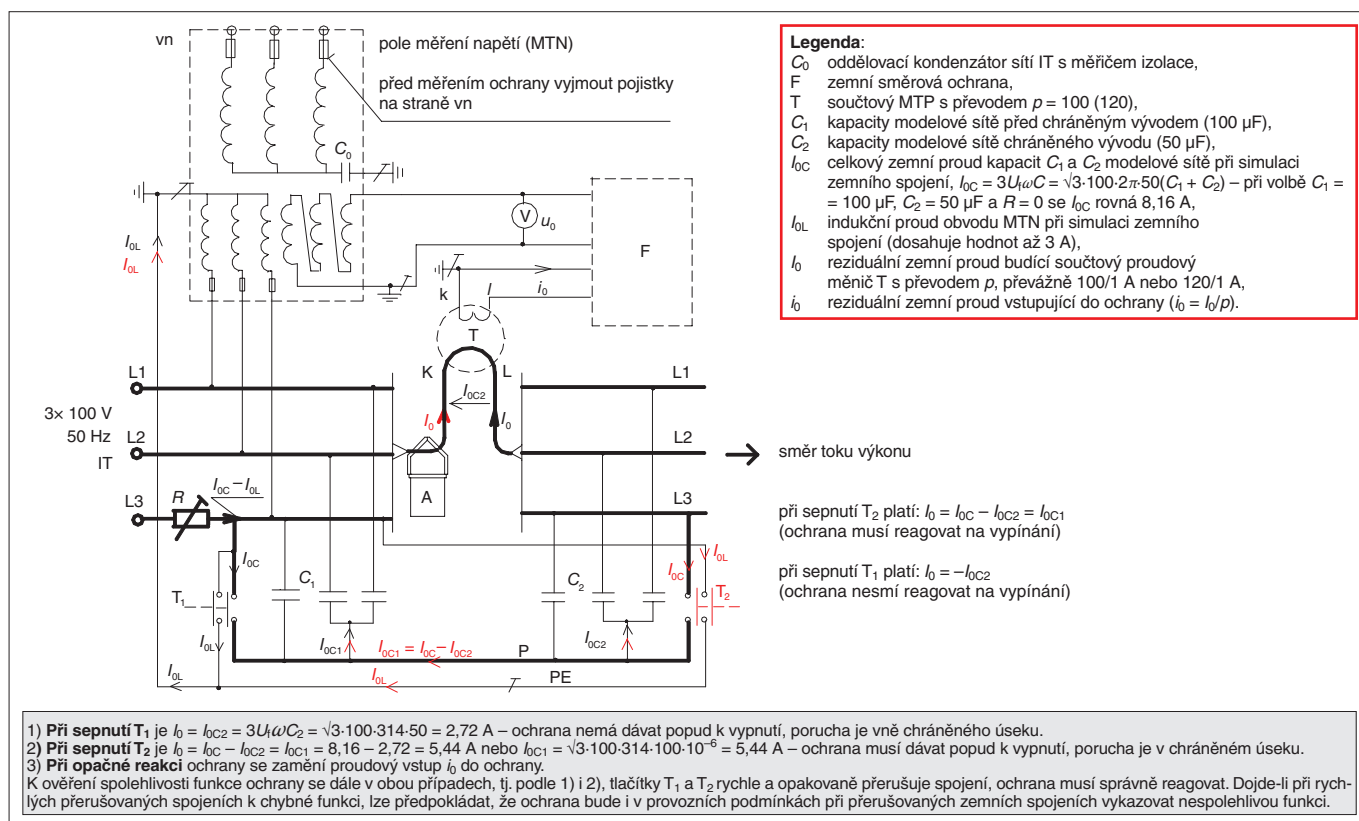
2. Ověřování a směřování (fázování) zemních směrových ochran

2.1 Popis problému instalace směrových zemních ochran v izolovaných sítích IT

Při instalaci zemních směrových ochran a následném ověřování jejich činnosti se jeví jako největší problém spolehlivé určení správného smyslu připojení nulové složky napětí U_0 a reziduální nulové složky proudu I_0 . Aby zemní směrová ochrana mohla správně vyhodnocovat a vypínat vadný úsek hlídané sítě, musí poruchové veličiny U_0 a I_0 vstupovat do ochrany ve správné vzájemné vektorové orientaci – jinak dochází k její chybné funkci. V rozvodnách vn se při instalaci těchto ochran spoléhá na vyloučení omylu nebo se správná činnost ověřuje rizikovými zemními spojeními v hlídané síti, popř. se analyzuje až po nastalém zemním spojení – což bývá velmi problematické. Z důvodu nežádoucího chybného vypínání je problém v provozních podmínkách řešen v mnoha případech zablokováním funkce ochrany, protože jakékoliv další prodloužení přerušení dodávky elektrické energie, které souvisí se zjištěním příčin chybného vypnutí, si nemůže provozní elektrotechnik dovolit. Nastává tak paradox, kdy poměrně drahá, technicky velmi důmyslná a spoleh-

livá ochrana je využívána pouze jako levná, technicky zastaralá nadproudová ochrana z šedesátých až osmdesátých let minulého století.

Směrové zemní ochrany (dále ochrany) instalované ve vývodních polích rozvodů vn, popř. nn u izolovaných sítí IT, mají chránit, tj. vypínat nebo spustit varovný signál, pouze na vývodu, na kterém vznikla porucha zemního spojení. Ostatní neporušené vývody musí zůstat v provozu, nesmí být ochrany vypnuty. Funkce směrových zemních ochran je založena na wattmetrickém principu snímání velikosti a směru toku jalové nebo i činné energie do místa zemního spojení. Je proto nutné po instalaci ověřovat jejich reakci s ohledem na místo vzniku zemního spojení. Jejich správná směrová funkce je závislá na bezchybném připojení vstupních veličin nulové složky napětí U_0 a reziduální nulové složky zemního proudu I_0 . Záměna smyslu vzájemné vektorové orientace poruchových parametrů U_0 a I_0 vstupujících do ochrany způsobuje nežádoucí chybná vypínání chráněného vývodu. Ověření správného připojení (nafázování) ochrany zemním spojením na zapnutém (ověřovaném) vývodu je u sítí vn velmi rizikové. Nepřímé ověření, které spočívá v důkladném proměření elektrických obvodů podle projektu, nevylučuje riziko omylu a nepotvrdí, zda bude



Obr. 4. Ověřování zemních směrových ochran v nekompenzovaných sítích IT podle metody 1a

²⁾ Proudové cesty a velikost snímáných reziduálních zemních proudů viz Lukáš, B.: Sborník přednášek semináře na téma zemní spojení v sítích vn v soustavách IT. Albrechtice u Č. Těšína, 30. dubna 2003, str. 25.

ochrana skutečně vypínat chráněný vývod s poruchou. Použitím poměrně drahé přístrojové techniky lze vygenerovat nulovou složku napětí U_0 a nulovou složku reziduálního zemního proudu I_0 s nastavitelným fázovým úhlem. Nevýhodou uvedeného způsobu však je, že takto lze ověřit pouze funkci samotné ochrany, nikoliv však správné napojení vstupních veličiny U_0 z otevřeného trojúhelníku nainstalovaných MTN a reziduální složky snímaného zemního proudu I_0 z průvlečného součtového měřicího transformátoru (MTP).

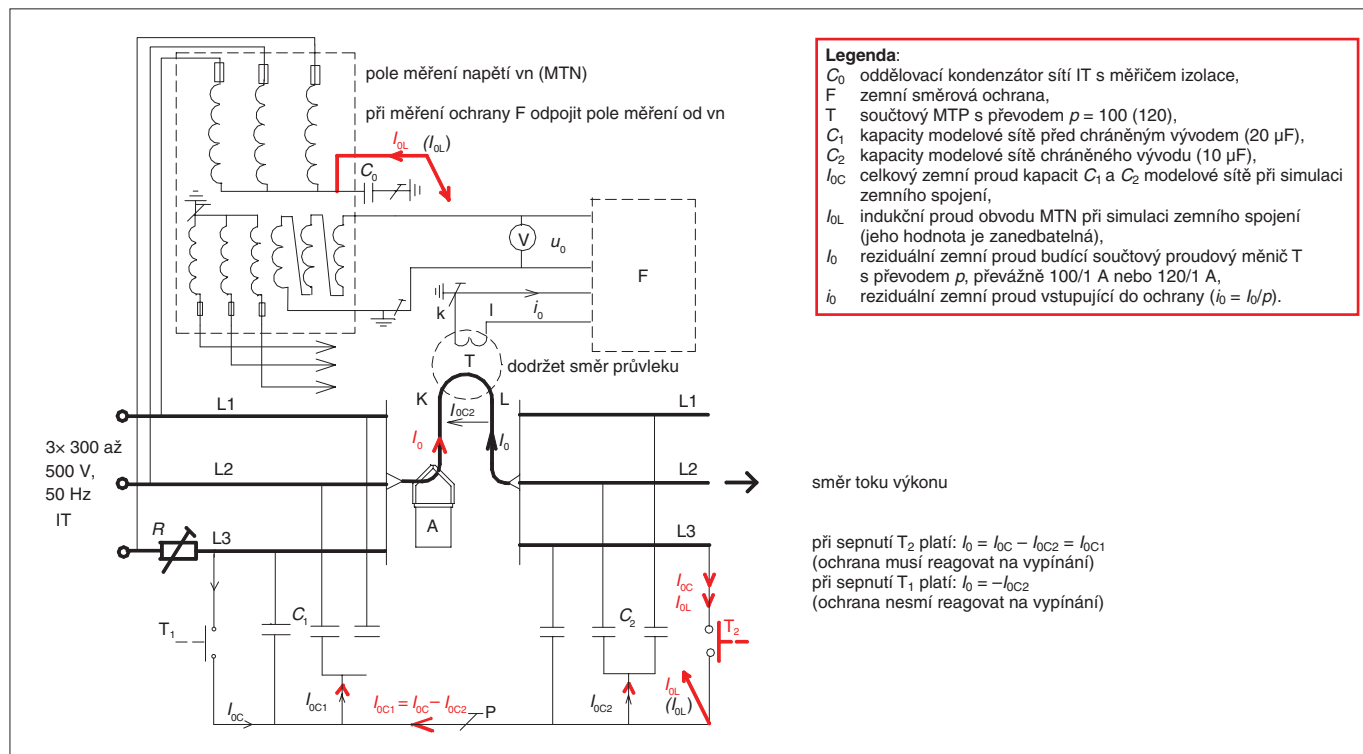
2.2 Vlastní postup fázování a ověřování funkce podle užitého vzoru

2.2.1 Izolované nekompenzované sítě nn a vn do 22 kV s převážujícím kapacitním charakterem příčné admittance

Jsou to většinou kombinované izolované sítě volných vedení a kabelů 3×500 , $3 \times 1\,000$, $3 \times 3\,000$, $3 \times 6\,000$ V a 3×22 kV nekompenzované zhášecí tlumivkou. Příčinou admittance vedení zde tvoří fázové zemní kapacitní vodivosti (susceptance) $B_C = 1/X_C = \omega C_0$ a fázové svodové zemní vodivos-

ni straně napěťového měniče objeví transformované životu nebezpečné vysoké napětí. Není proto přípustné při ověřování funkce ochrany do vypnutého pole měření ze strany vn vstupovat nebo se přiblížit do jeho ochranného prostoru.

Správné připojení vstupních veličin u_0 , i_0 se ověřuje zmíněnou modelovou sítí napájenou třífázovou napěťovou soustavou IT 3×100 V o výkonu asi 1 kV·A. Ochrana F zůstane ve stavu, v jakém byla instalována, vstupní veličiny U_0 , i_0 se z ochrany neodpojují. Otvorem součtového proudového měniče



Obr. 5. Ověřování zemních směrových ochrany v nekompenzovaných sítích IT podle metody 1b

Tento postup, který je pro praxi nevhodný, lze řešit metodou, která vychází z užitého vzoru č. 14108 z 10. března 2004 (platnost byla ukončena v květnu 2007). Tato metoda vyžaduje zanedbatelné náklady na pořízení ověřovacího zařízení k vykonání zkoušky na ochraně, a to jak z hlediska správného nafázování, tj. ověření správného připojení vstupních veličin U_0 a I_0 , tak i samotné funkce zemní směrové ochrany.

Dále popsané ověřování podle užitého vzoru již některé firmy v praxi využívají; v mnoha případech však bylo zjištěno nesprávné nafázování ochrany a jejich funkční zablokování provozovatelem (zamezení chybných vypínání). Po odstranění závady (přepojení i_0 nebo u_0) byla funkčnost ochrany obnovena a nežádoucí chybná vypínání omezena na minimum. Pro úplnost je nutné podotknout, že stoprocentní vyloučení chybných vypínání při přerušovaných zemních spojeních nelze, zejména u kompenzovaných sítí, zaručit.

ti (konduktance) $G = 1/R_1$ (R_1 je izolační odpor fází proti zemi), přičemž kapacitní susceptance $B_C \gg G$.

Metoda 1a

Poznámka:

Posuvný rezistor R nahrazuje odporový charakter hoření oblouku při zemním spojení. Pro směrové fázování není nutný. V naznačené modelové sítí (obr. 4) při $C_1 = 100 \mu\text{F}$, $C_2 = 50 \mu\text{F}$ je R přibližně 0 až 5Ω (50 W). Hodnoty kapacit modelové sítě mají informativní charakter a lze je podle potřeby změnit (zvětšit).

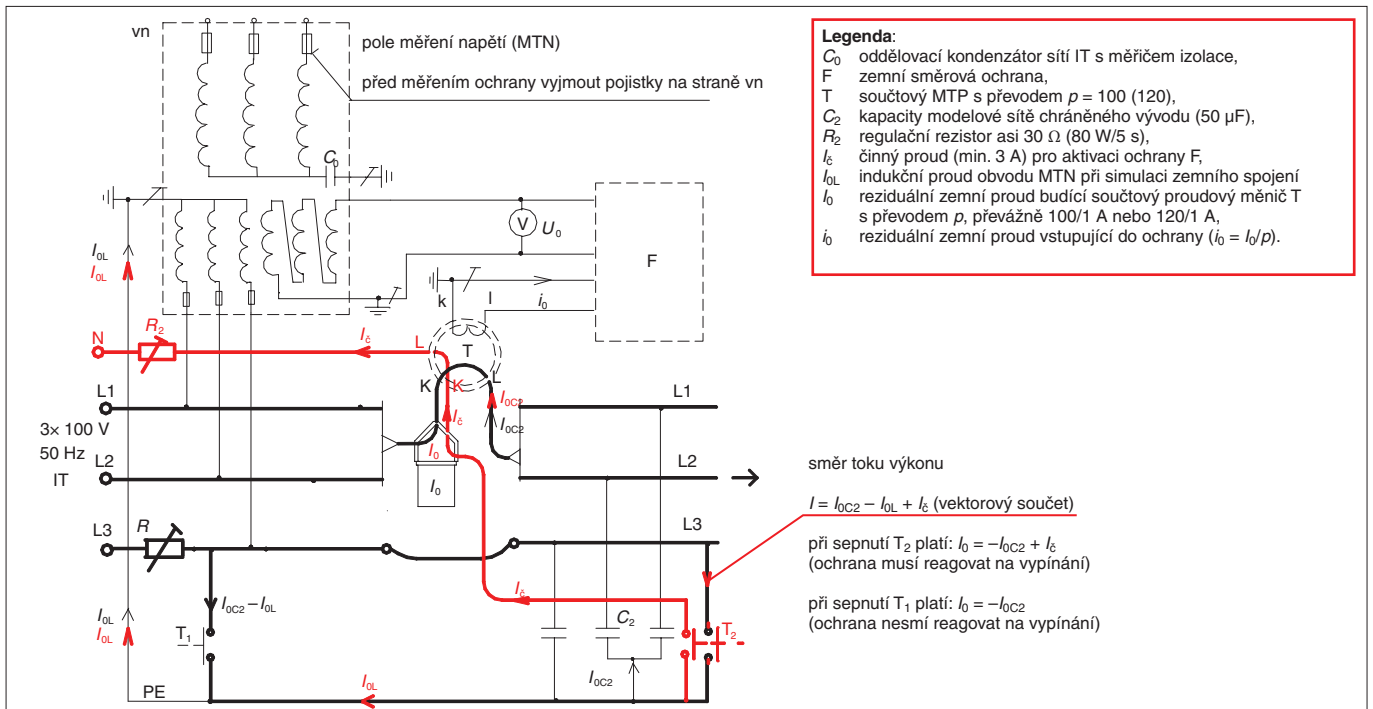
Postup podle metody 1a

Pole měření napětí, ze kterého je snímána nulová složka napětí U_0 (ze sekundárního vinutí 100/3 V otevřeného trojúhelníku), se ze strany vn odpojí od napětí.

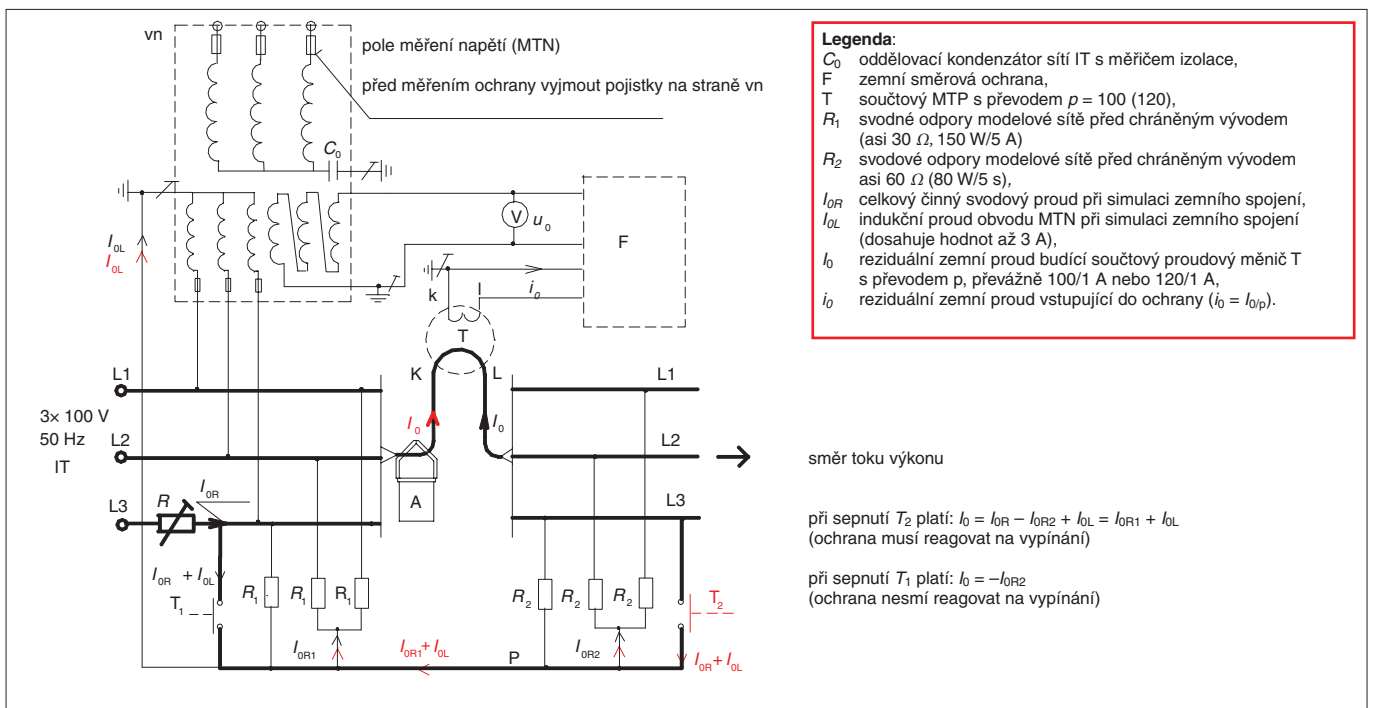
Upozornění:

Při napájení napěťových měničů ze sekundární strany modelové sítě 3×100 V se na vstup-

T se protáhnou souběžně s instalovaným silovým kabelem (kabel není podmínkou) fázové vodiče L_1 , L_2 a L_3 druhé části modelové sítě, představované zemní fázovou kapacitou C_2 , a to v naznačeném směru toku výkonu. Rezistorem R se nastaví požadované hodnoty a fázový posun zemních kapacitních proudů I_{0C} , I_{0C1} , I_{0C2} . Vodiče P a PE nahrazují v modelové sítí zem, kondenzátory C_1 fázovou zemní kapacitu sítě před chráněným úsekem (vývodem) a C_2 fázovou zemní kapacitu chráněného úseku (vývodu). Tlačítkem T_1 se simuluje zemní spojení sítě mimo (vně) chráněný úsek (vývod), tlačítkem T_2 zemní spojení v chráněném úseku (vývodu). Aby nebyl ovlivňován (zmenšován) budící reziduální proud i_0 při simulaci zemního spojení přes tlačítko T_2 proudem I_{0L} , který při zemním spojení ze sekundární strany 100 V dosahuje u měřicích transformátorů $6\,000/\sqrt{3}$, $100/\sqrt{3}$, $100/3$ V až 3,2 A (100 V·A), mají tlačítka T_1 a T_2 zdvojené kontakty. Jednou kontaktní dvojicí se realizuje (podobně jako je tomu ve skutečné sítí IT)



Obr. 6. Ověřování zemních směrových ochran v kompenzovaných sítích IT podle metody 2a



Obr. 7. Ověřování zemních směrových ochran v kompenzovaných sítích IT podle metody 2b

zkrat na fázové kapacitě, tj. fáze L3, vodič P, druhou dvojicí se přemostí vinutí napětového měniče postižené fáze, tj. fáze L3, vodič PE. Jsou-li použity měřicí transformátory menších výkonů, kde proud $I_{OL} < 0,5$ A, není oddělování nutné a vodiče P a PE se vzájemně spojí.

Nutnou podmínkou k ověřování a fázování zemních směrových ochran pomocí zmíněné modelové sítě je dostatečná aktivací vstupní citlivost ochran nulové složky proudu i_0 . Musí být větší než $I_0/p = 2,7/120 = 20$ mA

(u standardních ochran bývá 10 mA). Je-li aktivací citlivost menší, je nutné volit větší kapacity C_1 a C_2 .

Metoda 1b

Poznámka:

Posuvný rezistor R nahrazuje odporový charakter hoření oblouku při zemním spojení. Pro směrové fázování není nutný. V naznačené modelové síti (obr. 5) při $C_1 = 20 \mu$ F, $C_2 = 10 \mu$ F je R přibližně 0 až 5 Ω (100 W).

Uvedené hodnoty modelové sítě mají informativní charakter a lze je podle potřeby měnit.

Postup podle metody 1b

Je-li v rozvodně či provozovně, kde se ověřuje správnost připojení zemní směrové ochrany, k dispozici zdroj napětí izolované sítě IT 3 \times 500 V nebo neizolované sítě TN 3 \times 400 V o výkonu alespoň 3 kV \cdot A (50 Hz), uskuteční se měření podle obr. 5. Napětí modelové sítě se přivede přímo na primární stra-

nu napětových měničů, čímž se současně ověřují jejich bezchybná funkce. Často je příčina špatného fungování ochrany v přerušném obvodu primárního vinutí v pojistkové komoře napětových měničů s vestavěnými pojistkami. Jako modelové síť lze použít i síť soustavy TN nebo síť soustavy IT 500 V, která je vypínána hlídačem izolace. V tomto případě se pomocný vodič P nepřipojuje k vodiči PE (neuzemňuje se). Vodič P se připojí přímo k uzlu primárního vinutí (viz červené šipky v obr. 5) a uzel primárního vinutí napětových měničů se oddělí kondenzátorem C_0 o kapacitě asi 4 μF (není-li již toto řešeno zejména u sítí IT 6 kV s hlídačem izolace, kde bývá $C_0 = 4 \mu\text{F}/6 \text{ kV}$).

Kapacity C_1 , C_2 modelové sítě se volí menší (např. $C_1 = 20 \mu\text{F}$, $C_2 = 10 \mu\text{F}$) než u postupu (viz obr. 4) podle metody 1a. Výpočet hodnot proudů $I_0 = I_{0C}$, I_{0C1} , I_{0C2} je stejný jako u postupu podle metody 1a. Hodnota proudu I_{0L} je při uvedeném napájení napětových měničů z primární strany zcela zanedbatelná. Tlačítka T_1 a T_2 se vykoná ověřování jako v u metody 1a.

Uvedený postup je spolehlivější než u metody 1a, protože se jím ověřuje bezchybnost celého pole měření. Lze ho však použít pouze u procesorových ochranných sítí vn do 10 kV, kde je možné nastavit nízkou hodnotu nulové složky napětí $u_0 = U_0/p$, tj. u sítí 10 kV ($p = 100$) alespoň 3 V, u sítí 6 kV ($p = 60$) alespoň 5 V. Napětí u_0 z otevřeného trojúhelníku je možné zvýšit pomocným autotransfornátorem, musí se však zachovat jeho správná vektorová orientace, jinak bude funkce ochrany chybná. Co se týče proudové citlivosti ochrany i_0 , platí stejná podmínka jako u metody 1a.

2.2.2 Izolované kompenzované síť nn a vn do 22 kV s převládajícím kapacitním charakterem příčné admittance

Jsou to většinou kombinované izolované síť volných vedení a kabelů 3×500 , 3×1000 , 3×3000 , 3×6000 V a 3×22 kV kompenzované zhášecí tlumivkou, kde příčnou admittance vedení tvoří fázové zemní kapacitní vodivosti (susceptance) $B_C = 1/X_C = \omega C_0$ a fázové svodové zemní vodivosti (konduktance) $G = 1/R_i$ (R_i je izolační odpor fází proti zemi). Kapacitní susceptance $B_C \gg G$ (kapacitní svod proti zemi bývá více než desetkrát větší než svodový odpor). V důsledku kompenzace kapacitního proudu při zemním spojení zhášecí tlumivkou (Petersonova cívka) se však výrazně mění budící – reziduální proud ochrany (obr. 2).

Znovu je však nutné upozornit, že kompenzovaný jalový zemní proud I_L procházející zemí a poruchovou fází má opačný smysl než poruchový jalový kapacitní zemní proud I_{0C} . V místě snímání je reziduální proud pro buzení ochrany I_0 , (i_0) menší o kompenzovaný proud I_L . Může mít proto v některých místech síť nulovou hodnotu a směrem ke zdroji mění i smysl toku. Proto se do obvodu zhášecí cívky připojuje činný odpor, aby i po vy-

kompenzování zůstala dostatečně velká činná složka proudu k aktivaci zemní směrové ochrany. Toto je nutné respektovat při nastavování fázového úhlu působení ochrany k ověřování správného směřování a hodnoty nastavení ochrany. U plně kompenzovaných sítí ($I_{0C} = I_L$) je proto vhodné nastavovat fázový úhel působení v oblasti okolo 00, přičemž střed oblasti působení by měl být v indukční části. Ochrana totiž musí reagovat na činnou složku proudu, která protéká postiženou fází do místa zemního spojení a zemí zpět přes zhášecí tlumivku do uzlu napájecího transformátoru sítě. Je zřejmé, že aktivující činný snímaný reziduální proud i_Σ ze součtového MTP do ochrany je v kompenzovaných sítích podstatně menší než aktivující převládající kapacitní složka proudu nekompenzovaných sítí, zejména u koncových vývodů sítě (obr. 2). Směrové zemní ochrany proto musí být v kompenzovaných sítích citlivější a nastaveny na malé vypínací hodnoty činné složky proudu. Z uvedeného důvodu musí být součástí projektu instalace ochrany i rozbor, jehož výsledky udávají hodnoty a charakter snímaných zemních proudů (indukční, kapacitní, činný) v konkrétních místech sítě, kde mají být zemní směrové ochrany instalovány. Je to podmínka nutná, v opačném případě může být ochrana nefunkční nebo může chybně reagovat a způsobovat nežádoucí vypínání.

Při ověřování funkce a správného směřování (nafázování) zemní směrové ochrany v kompenzovaných sítích lze použít některý z dále uvedených postupů.

Metoda 2a

Poznámka:

Naznačené hodnoty parametrů modelové sítě jsou jen informativní a lze je podle potřeby změnit.

V součtovém MTP se neměří fáze (neprotahuje se vodič fáze), na které se zkušebními tlačítka T_1 a T_2 simuluje v modelové síti zemní spojení a spolu s vodiči neporušených dvou fází se měří činná složka proudu. Součtovým MTP se protáhne vodič pomocného proudového obvodu, který tvoří činný odporník R_2 (obr. 6) připojený přes zdvojené tlačítko T_2 na fázové napětí té fáze, na které je simulováno zemní spojení. Hodnota činného proudu se reguluje podle potřeby. Tento způsob vyžaduje vyvedený uzel z napájecího zdroje modelové sítě. Funkce tlačítek T_1 a T_2 je stejná jako u nekompenzovaných sítí. Při simulaci zemního spojení se vykonávají i přerušovaná spojení a s ohledem na oteplování rezistoru R_2 se tlačítka zapnou (stisknou) na dobu max. 5 s. Proudová citlivost ochrany i_0 musí být stejná jako u metody 1a (odst. 2.2.1).

Metoda 2b

Poznámka:

Naznačené hodnoty parametrů modelové sítě jsou jen informativní a lze je podle potřeby změnit.

V modelové síti (obr. 7) se zamění kapacity činnými odpory s přibližně stejnou hodnotou vodivosti. Funkce tlačítek T_1 a T_2 je stejná jako u nekompenzovaných sítí, tj. sepnutím tlačítka T_1 nesmí ochrana dát popud k vypnutí chráněného vývodu, sepnutím T_2 musí reagovat a v nastaveném čase dát popud k vypnutí. Podmínka proudové citlivosti i_0 zemní směrové ochrany je stejná jako u metody 1a (odst. 2.2.1).

Metoda 2c

Poznámka:

Naznačené hodnoty parametrů modelové sítě jsou jen informativní a lze je podle potřeby změnit.

Ověřování podle naznačené metody 2c (obr. 8) je obdobné jako v případě 2a. Metoda 2c je vhodnější, protože se současně ověřuje funkčnost primárního vinutí MTN. Je však nutné si uvědomit, že při simulaci zemního spojení bude nulová složka napětí u_0 vstupující do ochrany poměrně malá. Například při převodu MTN $p = 60$ (u sítě 6 kV) a napájecím napětím modelové sítě např. 300 V bude při simulaci zemního spojení $u_0 = 300/60 = 5$ V, při 400 V to bude $u_0 = 400/60 = 6,6$ V a při 500 V $u_0 = 8,3$ V. Rozsah působení, tj. citlivost ochrany, musí tomuto napětí vyhovovat, v opačném případě je třeba pomocným autotransfornátorem zvýšit u_0 z otevřeného trojúhelníku MTN před vstupem do ochrany. Při použití zvyšovacího autotransfornátoru se nesmí zaměnit vektorová orientace fáze u_0 . Podmínka proudové citlivosti i_0 zemní směrové ochrany je stejná jako u metody 1a (odst. 2.2.1).

Metoda 2d

Napájecí zdroj modelové sítě 1a nebo 1b se doplní kompenzační tlumivkou zapojenou mezi uzel napájecího zdroje a pomocný vodič P. Hodnota činné složky proudu se postupně mění posuvným rezistorem R (obr. 4 a obr. 5).

Proud kompenzační tlumivky musí vyhovovat vztahu:

$$I_L = U_f/X_L = U_f/\omega L = 3U_f\omega(C_1 + C_2)$$

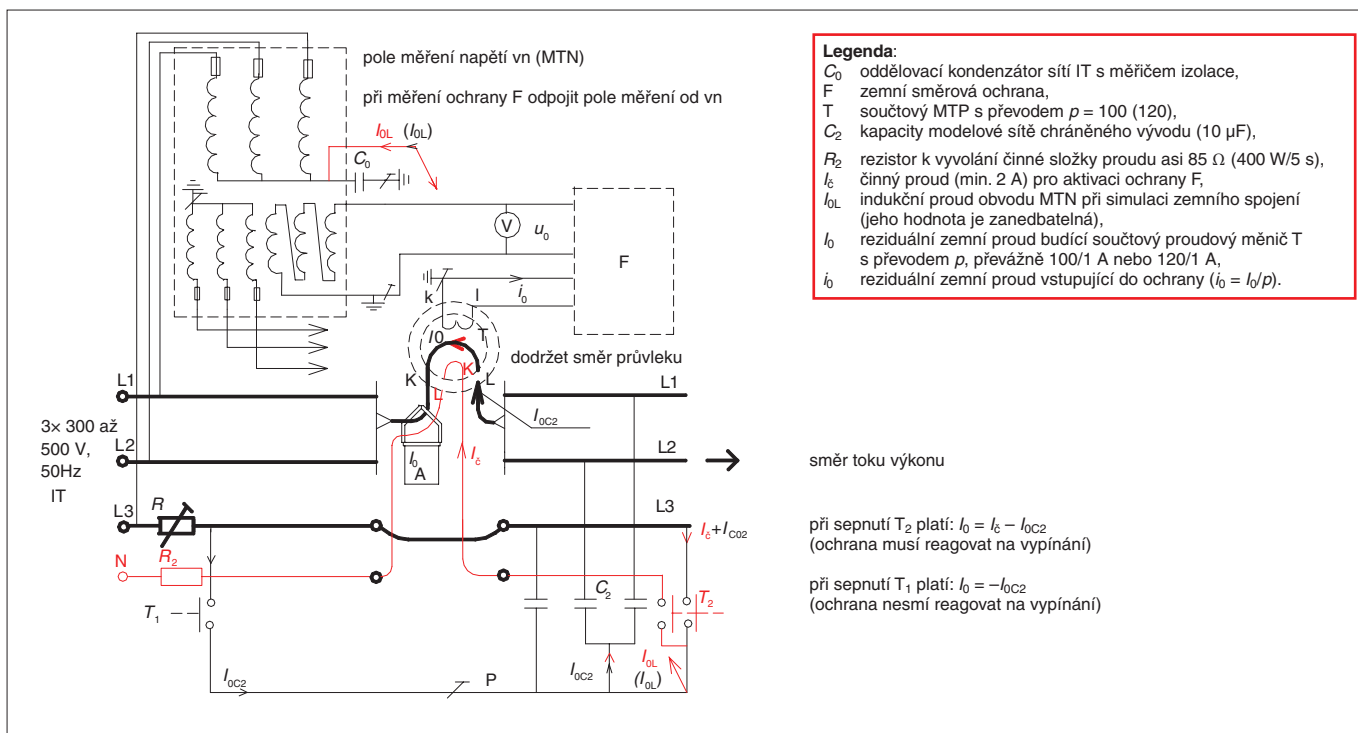
kde U_f je fázové napětí zdroje modelové sítě ve voltech, hodnoty kapacit C_1 a C_2 jsou ve faradech a zdroj má sinusový průběh s frekvencí 50 Hz.

Vinutí tlumivky musí být dimenzováno alespoň na trvalý 50% proud I_{0C} tvořený kapacitami C_1 a C_2 (u zemního spojení se simuluje pouze krátkodobě max. 20 s). Funkce tlačítek T_1 a T_2 je stejná jako u nekompenzovaných sítí.

3. Závěrečná doporučení

3.1 Nelinearita

Z důvodu nelinearity (např. i malé přesycení) se na výstupu sekundárního vinutí otevřeného trojúhelníku MTN někdy objevuje



Obr. 8. Ověřování zemních směrových ochran v kompenzovaných sítích IT podle metody 2c

měkké indukované napětí u_0 vyšších harmonických (zejména 3. a 5.), aniž se v síti vyskytuje porucha zemního spojení nebo výrazný fázový asymetrický svod izolace. Uvedený jev lze snadno potlačit připojením odporové zátěže (např. žárovky 230 V, 15 W) na výstupní sekundární vinutí otevřeného trojúhelníku MTN. (Někteří výrobci tento problém řeší přímo ve výrobě MTN připojením odporové zátěže s velkou ohmovou hodnotou do každé fáze sekundárního vinutí 100/3 V.)

3.2 Digitální ochranné systémy

Současné moderní digitální ochranné systémy jsou poměrně drahé. Jejich výhodou je však ve velkém výběru funkčnosti a ve vysoké spolehlivosti bez potřeby údržby a pravidelného ověřování. Jejich seřizování, ověřování a směřování při uvádění do provozu,

zejména v kompenzovaných sítích vn, vyžaduje projekt průběhu reziduálních zemních proudů (obr. 2) a potřebnou profesní odbornost a zkušenost. Nejsou-li tyto podmínky splněny, nelze ani při použití drahých ochran s vysokou technickou úrovní očekávat potřebnou provozní spolehlivost a bezpečnost energetických sítí vn.

4. Přehled výhod popsané metody fázování směrových zemních ochran

- Zkušební zařízení je přenosné a snadno zhotovitelné, vyžaduje pouze napájecí třífázovou síť 500 V nebo 400/230 V, 3× 230 V nebo 3× 100 V, 50 Hz nebo pomocný transformátor, který bude modelovou sítí napájet.
- Při ověřování funkce a správného připojení (směřování – nafázování) ochrany se žád-

ný vstupní ani výstupní obvod na ochraně neodpojuje. Ověřování se vykonává v beznapěťovém stavu chráněného vývodu a při vypnutých MTN, ze kterých je snímána nulová složka napětí U_0 . Funkce je takto kompletně ověřena, včetně vypnutí příslušného vypínače ověřovaného vývodu.

- Zkušebními zařízeními lze ověřit i reakci zemní směrové ochrany při přerušovaném zemním spojení.
- Zkušebními zařízeními je možné ověřit bezchybné zapojení celého obvodu měření napětí, včetně případné závady každého ze tří MTN, ze kterých je snímána nulová složka napětí U_0 , rovněž průvlečného MTP (T) a bezchybného zapojení výstupní veličiny i_0 .
- Pro měření vstupních veličin do ochrany (U_0, I_0) při ověřování správného nafázování vyhoví běžné provozní přístroje.

☒

Otevřené dveře ke zvyšování kvalifikace

Pro méně zasvěcené může být překvapivím, že pražské Výzkumné centrum Rockwell Automation s téměř padesáti inženýry je největší výzkumnou a vývojovou laboratoří této společnosti, která řeší zadání z různých zemí světa. Jeho činnost byla oficiálně zahájena na jaře 1993, po dvou letech velmi úspěšné spolupráce firmy s pražským ČVUT. Během čtrnácti let se počet výzkumníků zvýšil ze dvou na současných 47. Hlavní těžiště činnosti spočívá ve vývoji softwaru a firmwaru klíčového produktu firmy – programovatelného řídicího automatu řady Logix, dále ve vývoji a testování softwaru, systémů vysoce distribuovaně-

ho řízení s využitím autonomních regulátorů, tzv. agentů, diagnostiky bez použití senzorů a inteligentního řízení procesů.

Den otevřených dveří zde byl určen studentům posledních ročníků pražského ČVUT a plzeňské ZČU. Jeho hlavním cílem bylo představit možnosti dalšího profesního rozvoje s podporou společnosti Rockwell Automation a pracovní příležitosti ve firmě. Studenti měli ojedinělou příležitost navštívit některá pracoviště a hovořit se svými staršími kolegy, kteří zde našli uplatnění. Stranou pozornosti nezůstaly ani technicko-obchodní pozice, které jsou zaměřeny na komunikaci

se zákazníky, podporu činnosti obchodníků a technickou podporu zákazníků.

Největší americkou vývojovou a obchodní skupinu Rockwell Automation představil Scot Tutkovics, ředitel vývoje produktů Logix. Poté následovala exkurze do výzkumných laboratoří věnujících se vývoji agentů, inteligentního řízení a řídicích systémů, kde studenti získali informace o vývojovém prostředí automatizovaných linek, inteligentních agentech, fuzzy řízení, projektu automatizovaného zavlažování farmy, o optimalizaci distribuce pitné vody v Los Angeles a dozvěděli se mnoho dalších zajímavostí.

[Tiskové materiály Rockwell Automation.]