

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

28 054

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01R 31/08 (2006.01)

G01R 31/00 (2006.01)

G01R 31/02 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2014-29459**

(22) Přihlášeno: **14.04.2014**

(47) Zapsáno: **09.04.2015**

(73) Majitel:
Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:
Ing. David Topolánek, Ph.D., Brno, CZ
doc. Ing. Petr Toman, Ph.D., Brno, CZ
doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D., Brno, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Tomáš Benda, Mendlovo nám. 1a, 603 00 Brno

(54) Název užitého vzoru:
**Monitorovací systém k určení
pravděpodobnosti místa výskytu
nesymetrických poruch v elektrických sítích**

CZ 28054 U1

Monitorovací systém k určení pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrických poruch v elektrických sítích

Oblast techniky

5 Technické řešení se týká monitorovacího systému k určení pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrických poruch v elektrických sítích.

Dosavadní stav techniky

10 S ohledem na bezpečnost provozu a zkrácení doby nedodávky elektrické energie při jednopólové poruše jsou nejvhodnějším a z tohoto důvodu také nejrozšířenějším typem distribučních sítí sítě kompenzované. Kompenzované soustavy kompenzují při jednopólové poruše, tj. zemním spoje-

15 ním, pomocí zhášecí tlumivky kapacitní proud soustavy, protékající místem poruchy. Úroveň poruchového, proudu je pak velmi malá a nezávislá na místě vzniku zemního spojení, což značně komplikuje rychlé nalezení místa poruchy pro následné odstranění její příčiny a obnovení do-

20 S ohledem na současný stav techniky lze rozlišit prostředky pro indikaci poruchou postiženého vývodu v napájecí rozvodně a prostředky schopné vymezit přímo místo poruchy uvnitř celé distri-

25 bučních soustav. Zatímco prostředky pro identifikaci postiženého vývodu jsou v současnosti poměrně spolehlivé, tak prostředky či metody pro nalezení konkrétního místa poruchy v rozsáhlých distribučních soustavách nemají dosud spolehlivé řešení a zhoršují tak ukazatele nepřetržitosti dodávky elektřiny. Popis současného stavu techniky bude proto zaměřen na prostředky či metody, které svým funkčním principem lze využít pro vyhledání konkrétního místa nejčastěji se vyskytující se jednopólové poruchy na postiženém vývodu nebo uvnitř monitorované části sou-

30 stavy. Jedním z nejdéle užívaných a nejefektivnějších prostředků, které se dodnes využívají pro vymezení postiženého úseku vedení je odpínání jednotlivých úseků vedení postiženého vývodu. Principem je postupné odpínání jednotlivých úseků či odboček postiženého vývodu do doby, než dojde k vypnutí/odpojení poruchy. Tímto postupem lze vymezit oblast s poruchou, kam je posléze povolána technická obsluha. Nevýhodou tohoto řešení je však provozní i časová náročnost a nutnost i několikanásobného přerušování dodávky elektrické energie, přičemž takto vymezený

35 postižený úsek dosahuje obvykle velkých délek, což vyžaduje další místní dohledání poruchy technickou obsluhou. Dále vlivem opakovaného spínání v postiženém vývodu, může v soustavě s poruchou docházet k přepětím a jejich příčinou i ke vzniku daleko závažnější poruchy.

40 Mezi jiné známé metody, které nevyžadují tolik provozních manipulací, patří spojování postiženého a nepostiženého vývodu téže přípojnice do kruhu, kdy se na základě následného přerozdělení netočivé složky proudu provede výpočet/odhad místa poruchy ve vymezeném kruhu. Propojení postiženého a nepostiženého vedení vycházejícího ze stejné přípojnice napájecí rozvodny do kruhu však není vždy možné. Dalším problémem, který brání širšímu využití této metody je nehomogenita parametrů vedení a velké množství odboček od kmenového vedení, kde díky velké členitosti úseků vedení s rozdílnými parametry a konfigurací je jen velmi obtížné a na odbočce

45 od kmenového vedení dokonce i nemožné přesné určení místa poruchy. Přesnou lokalizaci poruchy v členitých distribučních sítích dále výrazně ztěžuje i přesnost měření napěťových a proudových poměrů v napájecí rozvodně a nestálost uvažovaných parametrů jednotlivých prvků.

Další oblastí techniky určené pro lokalizaci místa poruchy jsou indikátory poruchových stavů. Tato zařízení umožňují na základě monitoringu napěťových a proudových poměrů na vedení indikovat směr poruchy. Pro tento účel je využívána spousta různých metod, které vedou k určení průchodu poruchového proudu místem měření či určení směru tohoto proudu. Tyto metody využívají pro vyhodnocení charakteristických změn signálů monitorovaných v místě instalace na hladině VN. Dle směrovosti těchto indikátorů a znalosti topologie sítě lze pak definovat postižený úsek. Místo poruchy se dohledává „stopováním“ indikátorů, které indikují směr průchodu poruchového proudu, až do místa poruchy. Pokud je indikátor vybaven dálkovou signalizací, lze vytipovat postižený úsek sítě předem a vyslat techniky přímo k tomuto místu. Pokud není indikátor vybaven dálkovou signalizací, ale pouze optickou je nutné, aby obsluha stopovala indikátory podél vedení až do místa poruchy což je poměrně časově náročné. Nutnou podmínkou pro funkci uvedeného systému je jednoúčelové rozmístění jednotlivých indikátorů do monitorované soustavy. Výsledkem tohoto způsobu lokalizace však není nalezení konkrétního místa poruchy, ale pouze užší vymezení části soustavy s poruchou. Velikost vymezené oblasti závisí přímo na množství instalovaných indikátorů a jejich rozmístění, což je jednou z nevýhod tohoto systému lokalizace poruchy. Mezi další nevýhody patří i nutnost konečného dohledání poruchy obsluhou ve vymezeném úseku a značná komplikace nalezení místa poruchy při případném selhání jednoho z instalovaných indikátorů.

Poslední skupina prostředků pro lokalizaci poruchy v distribučních soustavách je zaměřena na výpočet reaktance/impedance vedení mezi napájecí rozvodnou a místem poruchy. Na základě této reaktance se následně vyčíslí elektrická vzdálenost poruchy od napájecí rozvodny. Ve většině distribučních sítí však této elektrické vzdálenosti, respektive impedanci do místa poruchy, vyhovuje více reálných míst v distribuční síti. Proto pro nalezení skutečného místa poruchy je nutné využít ještě jiného principu lokalizace či fyzicky ověřit, zda k poruše nedošlo v některém touto metodou vybraném místě. Pokud se pro stanovení místa poruchy využívají pouze napěťové a proudové poměry zaznamenané na vývodu z napájecí rozvodny je celková chyba výpočtu délky závislá na nejistotě měření v tomto místě a na znalosti jednotlivých složkových impedancí sítě. Vzhledem k nepřesné znalosti zejména náhradních netočivých impedancí vedení soustavy a nejistotě měření fázových proudů a napětí na vývodu z rozvodny může dojít k výpočtu výsledné délky s poměrně výraznou chybou, která komplikuje následné dohledání poruchy.

Jak vyplývá z výše uvedeného, je pro zvýšení kvality dodávky nezbytné nalezení optimálního řešení, které by vedlo k rychlému a přesnému nalezení místa poruchy uvnitř distribučních sítí a to zejména u kompenzovaných distribučních sítí, u nichž je lokalizace poruchy nejnáročnější. Bohužel díky komplikacím, které přinášejí neúčinně uzemněné a izolované sítě, má každá z doposud navržených metod své nedostatky, které zabraňují jejich širšímu využití.

Cílem technického řešení je představit monitorovací systém k určení pravděpodobností místa výskytu nesymetrických poruch v elektrických sítích, který by odstranil výše uvedené nedostatky a umožnil rychlé a přesné určení místa vzniku poruchy. Představené řešení kvantifikuje pravděpodobnost výskytu zdroje nesymetrie v jednotlivých uzlech monitorované soustavy, přičemž zdrojem nesymetrie může být jak jakákoliv nesymetrická porucha, tak i jakékoliv zařízení připojené do sítě, které svou činností způsobuje výraznou proudovou/napěťovou nesymetrii v soustavě. Technické řešení proto lze využít i pro dohledání zdrojů výrazné nesymetrie zhoršujících kvalitu elektrické energie, které musí předcházet jejich odstranění či sjednání nápravných opatření. V současné době neexistuje metoda či zařízení, které by umožnilo bezprostřední nalezení místa zdroje nesymetrie bez časově náročných dílčích měření parametrů kvality elektřiny.

Podstata technického řešení

Výše zmíněné nedostatky odstraňuje do značné míry monitorovací systém pro lokalizaci nesymetrických poruch obsahující alespoň jednu monitorovací jednotku a vyhodnocovací jednotku, kde mezi vyhodnocovací jednotkou a monitorovací jednotkou je provedena obousměrná komunikace, a mezi vyhodnocovací jednotkou a ovládacím prvkem je provedena řídicí komunikace,

jehož podstata spočívá v tom, že monitorovací jednotku tvoří alespoň jedna monitorovací jednotka zpětné složky napětí a alespoň jedna monitorovací jednotka zpětné složky proudu, kde monitorovací jednotka zpětné složky napětí je určená k monitorování a zaznamenávání časově synchronních průběhů změny zpětné složky fázového napětí měřeného na sekundární straně distribučního transformátoru monitorovaného distribučního vedení; monitorovací jednotka zpětné složky proudu je určená k monitorování a zaznamenávání časově synchronních průběhů změny zpětné složky proudu odebíraného z napájecího transformátoru; vyhodnocovací jednotka je určena k vyhodnocení pravděpodobnosti místa výskytu zdroje nesymetrie v monitorované síti na základě změn zpětných složek napětí $\Delta U_{sr}^{(2)}$ zaznamenaných monitorovacími jednotkami pro daný

koordinací čas vzniku poruchy.

Ve výhodném provedení je monitorovací jednotka zpětné složky proudu dále opatřena ovládací komunikací ovládacího prvku.

V jiném výhodném provedení je vyhodnocovací jednotka rozdělena na sběrný prvek a vyhodnocovací prvek, přičemž sběrný a vyhodnocovací prvek jsou vzájemně datově propojeny.

V jiném výhodném provedení je monitorovací jednotka zpětné složky napětí umístěna uvnitř distribučních transformačních stanic na sekundárních stranách distribučních transformátorů.

V jiném výhodném provedení je monitorovací jednotka zpětné složky proudu umístěna na sekundární straně napájecího transformátoru nebo v přívodním nebo vývodovém poli napájecí rozvodny.

V jiném výhodném provedení obsahuje monitorovací jednotka zpětné složky proudu napět'ový vstup pro monitorování netočivé složky napětí přímým měřením na uzlu napájecího transformátoru.

V jiném výhodném provedení obsahuje monitorovací jednotka zpětné složky proudu napět'ový vstup pro monitorování netočivé složky napětí na základě výpočtu z měřených fázových napětí na vstupu nebo výstupu z napájecí rozvodny.

V jiném výhodném provedení je vyhodnocovací jednotka dále určená k shromažďování a/nebo spárování a/nebo konvertování časových záznamů změn zpětných složek proudů a napětí přijatých od monitorovací jednotky.

Objasnění výkresů

Technické řešení bude dále přiblíženo pomocí obrázků, kde:

- obr. 1 představuje kompenzovanou distribuční síť s možností připínání pomocného odporníku k výkonovému vinutí zhášecí tlumivky s instalovaným monitorovacím systémem podle technického řešení,
- obr. 2 představuje způsob zapojení monitorovací jednotky zpětné složky napětí na stranu nízkého napětí distribučního transformátoru,
- obr. 3 představuje možné způsoby zapojení monitorovací jednotky zpětné složky proudu do elektrické sítě,
- obr. 4 představuje monitorovací jednotku zpětné složky proudu doplněnou o napět'ový vstup monitorující netočivou složku napětí přímým měřením na uzlu napájecího transformátoru,
- obr. 5 představuje monitorovací jednotku zpětné složky proudu doplněnou o napět'ový vstup monitorující netočivou složku napětí měřením fázových napětí na vstupu nebo výstupu z rozvodny,
- obr. 6 představuje příkladný model zjednodušené distribuční soustavy se zobrazenými místy měření změny zpětných složek napětí a proudu,
- obr. 7 představuje zpětné schéma distribuční soustavy zobrazené na obr. 6 pro účely popisu vyhodnocovací metody,

- obr. 8 představuje distribuční soustavu pro účely popisu vyhodnocovací metody s vyznačeným místem poruchy,
- obr. 9 představuje jeden z průběhů zpětné složky napětí měřených v měřicích bodech příkladné sítě zobrazené na obr. 8,
- 5 obr. 10 představuje jeden z průběhů změny zpětné složky napětí měřených v měřicích bodech příkladné sítě zobrazené na obr. 8,
- obr. 11 představuje průběh součtu všech zaznamenaných změn zpětných složek napětí v příkladné sítě zobrazené na obr. 8,
- obr. 12 představuje proložené průběhy změn jednotlivých zaznamenaných zpětných složek napětí v příkladné sítě zobrazené na obr. 8,
- 10 obr. 13a představuje kompenzovanou síť s možností připojení pomocného odporníku k výkonovému vinutí zhášecí tlumivky, s instalovaným monitorovacím systémem podle technického řešení,
- obr. 13b představuje kompenzovanou síť s možností připojení pomocného odporníku paralelně ke zhášecí tlumivce, s instalovaným monitorovacím systémem podle technického řešení,
- 15 obr. 13c představuje kompenzovanou síť bez pomocného odporníku, s instalovaným monitorovacím systémem podle technického řešení,
- obr. 14a představuje izolovanou soustavu s připínáním pomocného odporníku k uzlu transformátoru, s instalovaným monitorovacím systémem podle technického řešení,
- 20 obr. 14b představuje izolovanou soustavu s monitorovacím systémem podle technického řešení,
- a
- obr. 14c představuje uzemněnou soustavu přes uzlový odporník s instalovaným monitorovacím systémem podle technického řešení.

25 Příklad uskutečnění technického řešení

Monitorovací systém podle technického řešení určený pro provádění vyhodnocovací metody určení pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrických poruch v elektrických sítích je představen na obr. 1, a obsahuje:

- 30 - monitorovací jednotku 1, 2 obsahující alespoň jednu monitorovací jednotku 1 zpětné složky napětí, zkráceně MZSN, a/nebo alespoň jednu monitorovací jednotku 2 zpětné složky proudu, zkráceně MZSP,
- vyhodnocovací jednotku 3,
- komunikace 4, 5 mezi vyhodnocovací jednotkou 3 a monitorovací jednotkou 1, 2,
- komunikaci 7 mezi vyhodnocovací jednotkou 3 a ovládacím prvkem 6.

35 MZSN 1

- je umístěna uvnitř distribučních transformačních stanic VN/NN na sekundárních stranách distribučních transformátorů VN/NN na monitorované větvi distribuční sítě, viz detail zobrazený na obr. 2,
- 40 - monitoruje změny zpětných složek napětí, zkráceně $\Delta U_{sr}^{(2)}$, způsobené nesymetrií/průchodem poruchového proudu monitorovanou větví distribuční sítě,
- ukládání záznamu průběhu zpětné složky napětí může být kontinuální nebo jednotlivé, tedy vyvolané překročením její dané nastavené meze, tj. popudové hodnoty, změny zpětné složky napětí,
- 45 - paměť pro ukládání naměřených hodnot může být vnitřní, tedy obsažená v MZSN 1, nebo vnější tedy mimo MZSN 1, například ve vyhodnocovací jednotce 3.

MZSP 2

- je umístěna na sekundární straně napájecího transformátoru VVN/VN monitorované distribuční sítě, respektive v přívodním nebo vývodovém poli rozvodny R-VN, viz detail na obr. 3,

- MZSP 2 může být doplněno o napěťové vstupy 2a monitorující netočivou složku napětí přímým měřením na uzlu napájecího transformátoru VVN/VN, viz obr. 4, nebo z výpočtu měřených fázových napětí na vstupu nebo výstupu z rozvodny R-VN, viz obr. 5,
- MZSP 2 monitoruje změny zpětné složky proudu, zkráceně $\Delta I_f^{(2)}$, získané výpočtem z proudů odebíraných monitorovanou částí distribuční soustavy,
- v případě zjištění poruchy, tedy překročení meze změny zpětné složky proudu, určuje MZSP 2 koordinační čas vzniku poruchy a pro tento čas uloží záznam změny zpětné složky proudu včetně předem definovaného pre-triggeru a post-triggeru do paměti, viz níže,
- ukládání informací o zpětné složce proudu může být kontinuální nebo jednotlivé, kdy popud pro uložení záznamu je realizován změnou zpětné složky proudu nad její stanovenou mez, případně při měření netočivé složky napětí může být spuštěn nárůstem netočivé složky napětí nad stanovenou mez,
- při zjištění poruchy MZSP 2 zašle záznam $\Delta I_f^{(2)}$, a koordinační čas vzniku poruchového záznamu vyhodnocovací jednotce 3,
- paměť pro ukládání naměřených hodnot může být vnitřní, tedy obsažená v MZSP 2, nebo vnější tedy mimo MZSP 2, například ve vyhodnocovací jednotce 3.

Vyhodnocovací jednotka 3

- na základě popudu z MZSP 2 o vzniklé poruše shromáždí vyhodnocovací jednotka 3 časové záznamy změn zpětných složek napětí $\Delta U_{Sr}^{(2)}$ zaznamenané jednotlivými MZSN 1 pro daný koordinační čas vzniku poruchy přijatý z MZSP 2,
- po stažení všech dostupných záznamů o změně zpětných složek napětí a proudů vyhodnocovací jednotka 3 provádí jejich spárování a konverzi do žádaného formátu,
- na základě maximálních zaznamenaných změn zpětných složek napětí $\Delta U_{Sr,M}^{(2)}$ a na základě maximálních zaznamenaných změn zpětných složek proudu $\Delta I_{f,M}^{(2)}$ zjištěných na základě analýzy shromážděných záznamů, vyhodnocuje místo poruchy v monitorované síti, přičemž využívá metody uzlových napětí aplikovanou na zpětné schéma monitorované distribuční soustavy.

Vyhodnocovací jednotka 3 může být výhodně rozdělena na dva prvky, tj. na sběrný prvek zajišťující např. sběr dat, jejich spárování a konverzi, a vyhodnocovací prvek pro následné určení pravděpodobnosti místa zdroje nesymetrie. Oba tyto prvky jsou vzájemně propojeny komunikací pro přenos dat.

Pro maximalizaci přesnosti procesu párování jsou jednotlivé jednotky 1, 2 a 3 vzájemně časově synchronizovány.

Příklad zpětného schématu pro jednoduchou distribuční soustavu zobrazenou na obr. 6 je představen na obr. 7. Jde o zjednodušený model příkladné monitorované soustavy pro účely popisu představené metody, kdy každý úsek distribuční sítě se pomocí pomocných uzlů PU rozdělí na jednotlivé elementy, přičemž obsahuje i měřicí uzly MU odpovídající místům umístění jednotek MZSN 1. Přesnost lokačního algoritmu se s menšími délkami jednotlivých elementů zvyšuje.

Mezi vyhodnocovací jednotkou 3 a MZSN 1, a MZSP 2 jsou provedeny obousměrné komunikace 4 a 5 určené pro předávání naměřených či již zaznamenaných dat, zasílání pokynů k jejich předání nebo pro jiné důvody. Monitorovací systém podle technického řešení může být výhodně doplněn o ovládací komunikaci 7 mezi vyhodnocovací jednotkou 3 a ovládacím prvkem 6 sítě, případně o komunikaci 8 mezi MZSP 2 a ovládacím prvkem 6 sítě, určenou ke spínání tohoto ovládacího prvku 6. Všechny v systému použité komunikační cesty mohou být kabelového nebo bezdrátového typu.

Princip vyhodnocovací metody pro určení pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrických poruch v elektrické síti, představené na obr. 6, je dále rozvinut pomocí obr. 8, zobrazující místo poruchy sítě a princip zapojení monitorovacího systému určeného k provádění této metody:

MZSN 1 monitorují změny zpětných složek napětí $\Delta U_{sr}^{(2)}$ na sekundárních stranách všech dostupných distribučních transformátorů VN/NN. V případě vzniku popudu, výskytu změny zpětných složek napětí $\Delta U_{sr}^{(2)}$ vyšší než je nastavená popudová hodnota na MZSN 1, dojde k uložení poruchového záznamu pro tento čas včetně nastaveného pre-triggeru a post-triggeru do paměti MZSN 1, kde hodnota pre-triggeru udává časové období, pro které dojde k uložení záznamu před vznikem popudu a hodnota post-triggeru udává časové období, pro které dojde k uložení záznamu po vzniku popudu. V případě jiného provedení lze průběh změny zpětné složky napětí $\Delta U_{sr}^{(2)}$ průběžně zapisovat do kruhové paměti až do doby, kdy dojde k vyžádání daného záznamu vyhodnocovací jednotkou 3 pro konkrétní koordinační čas poruchy rozšířený o pre-trigger a post-trigger.

MZSP 2 monitorují časově synchronní změny zpětné složky proudu $\Delta I_f^{(2)}$ odebíraného z napájecího transformátoru VVN/VN. V případě zjištění poruchy sítě, tedy zjištění překročení nastavené popudové hodnoty změny zpětné složky proudu $\Delta I_f^{(2)}$, dojde k záznamu průběhu této hodnoty dle zvoleného pre-triggeru a post-triggeru do paměti MZSP 2 a k následnému odeslání záznamu spolu s koordinačním časem do vyhodnocovací jednotky 3.

Jednotlivé kroky určení pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrické poruchy/zdroje nesymetrie vyhodnocovací jednotkou je následující:

Krok 1

Pomocí MZSN 1 se změří fázové napětí na jednotlivých fázích vedení z nichž se vypočítá zpětná složka napětí. Průběh takové zpětné složky napětí $U_{sr}^{(2)}$ je představen na obr. 9, kde čas t_0 odpovídá vzniku poruchy a období t_1 až t_2 době, kdy byl sepnut pomocný odporník Rp. K připínání pomocného odporníku Rp dochází z důvodu zvýšení hodnoty zpětné složky napětí, umožňující snadnější identifikaci a odečítání difference napětí na vedení. Na základě tohoto průběhu zpětné složky napětí jsou kontinuálně počítány střední hodnoty napětí ve dvou časových oknech F1 a F2, které jsou od sebe vzájemně posunuty o časový interval Δt . Velikost časových oken F1 a F2 je stejně jako časový interval Δt uživatelsky volitelná s ohledem na provozní podmínky monitorované soustavy a doby připnutí pomocného odporníku Rp. V představeném příkladě je velikost časových oken deset period základní harmonické a časový interval $\Delta t = 0,5$ s.

Následně je vypočten průběh změny zpětné složky napětí $\Delta I_f^{(2)}$ představený na obr. 10, daný průběžným rozdílem vypočtených středních hodnot napětí z obou časových oken F1 a F2. V případě překročení popudové hodnoty napětí PH, v představeném případě je jím čas t_0 , tedy okamžik vzniku poruchy, je tato změna zpětné složky napětí $\Delta I_f^{(2)}$ zaznamenána a uložena včetně požadovaného pre-triggeru a post-triggeru do paměti jednotky MZSN 1. Pokud je využíván záznam do kruhové paměti je zaslán vyhodnocovací jednotce záznam odpovídající koordinačnímu času vzniku poruchy včetně požadovaného pre-triggeru a post-triggeru.

Výpočet a záznam průběhu změny zpětné složky proudu je v představeném provedení prováděn přímo v jednotce MZSP 2 analogicky.

Na základě koordinačního času/času výskytu poruchy, stáhne vyhodnocovací jednotka 3 z paměti jednotlivých MZSN 1 dostupné záznamy změn zpětných složek napětí $\Delta U_{sr}^{(2)}$ pro daný čas výskytu poruchy.

Krok 2

Z obdržených poruchových záznamů $\Delta U_{sr}^{(2)}$ a $\Delta I_f^{(2)}$ zjistí vyhodnocovací jednotka čas maximální difference zpětných složek napětí a proudu odpovídající okamžiku, kdy je součet $\Sigma(\Delta U_{sr}^{(2)})$ všech zaznamenaných změn zpětných složek napětí $\Delta U_{sr}^{(2)}$ maximální, jak je představeno na obr. 11, a pro tento konkrétní čas maximální difference MD jsou následně vyčteny maximální hodnoty

změny zpětných složek napětí $\Delta U_{Sx_M}^{(2)}$ a proudu $\Delta I_{f_M}^{(2)}$ pro jednotlivá místa měření, jak je pro napětí graficky zobrazeno na obr. 12, kde času maximální diference MD odpovídají maximální změně zpětných složek napětí $\Delta U_{S1_M}^{(2)}$, $\Delta U_{S2_M}^{(2)}$, $\Delta U_{S3_M}^{(2)}$.

Krok 3

- 5 Hodnoty maximálních zaznamenaných změn zpětných složek napětí $\Delta U_{Sx_M}^{(2)}$ jsou přepočteny na primární stranu příslušného distribučního transformátoru VN/NN a spolu s maximálními zaznamenanými změnami zpětných složek proudu $\Delta I_{f_M}^{(2)}$ jsou použity jako vstupní hodnoty pro lokalizační algoritmus pro výpočet pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrické poruchy, tj. zdroje nesymetrie v soustavě.
- 10 Pokud je maximální změna zpětné složky proudu $\Delta I_{f_M}^{(2)}$ měřena na jednotlivých vývodech rozvodny R-VN nebo na více napájecích transformátorech VVN/VN lze maximální změnu zpětné složky proudu $\Delta I_{f_M}^{(2)}$ pro lokalizační algoritmus určit vzorcem:

$$\Delta I_{f_M}^{(2)} = \sum_{y=1}^k \Delta I_{f_M,y}^{(2)} \quad (1)$$

kde:

- 15 k je počet vývodů z napájecí vysokonapěťové rozvodny R-VN nebo napájecích transformátorů VVN/VN,
 $\Delta I_{f_M,y}^{(2)}$ je maximální změna zpětné složky proudu měřená na příslušném vývodu y nebo napájecím transformátoru VVN/VN.

Krok 4

- 20 Pro vyhodnocování je vytvořeno zpětné schéma monitorované soustavy, kdy jednotlivé úseky vedení jsou pomocnými uzly PU rozděleny na dílčí elementy o předem definované maximální délce. Délka těchto dílčích elementů vedení je uživatelsky volitelná a definuje přesnost nalezení místa poruchy lokalizačním algoritmem, přičemž platí, že přesnost lokalizačního algoritmu je vyšší pro menší délky dílčího elementu vedení. Schéma rovněž obsahuje měřicí uzly MU, tzn.
- 25 uzly pro které byly zjištěny hodnoty maximálních změn zpětných složek napětí $\Delta U_{Sx_M}^{(2)}$.

Krok 5

Lokalizační algoritmus postupně připojuje poruchový uzel ZS k jednotlivým uzlům 1 až n , kde n je počet všech uzlů PU, MU, a pro tyto stavy řeší soustavu rovnic:

$$\left[\Delta \bar{U}_n^{(2)} \right]^N = \left[\bar{Y}^{(2)} \right]^{-1} \cdot \left[-\Delta I_{f_M}^{(2)} \right]^N \quad (2)$$

- 30 kde:

N je číslo uzlu s předpokládanou poruchou, kdy $N = 1, 2, \dots, n$,

$\left[\Delta \bar{U}_n^{(2)} \right]^N$ je matice vypočtené změny zpětné složky napětí v jednotlivých uzlech v případě poruchy v uzlu s číslem N ,

$\left[\bar{Y}^{(2)} \right]$ je uzlová admitační matice zpětného schématu soustavy,

- 35 $\left[-\Delta I_{f_M}^{(2)} \right]$ je matice maximální změny zpětné složky proudu, která je vyvolána poruchou v uzlu N .

Pro matici $\left[\Delta\bar{U}_n^{(2)}\right]^N$ lze dále psát rovnici (3):

$$\left[\Delta\bar{U}_n^{(2)}\right]^N = \begin{bmatrix} \left[\Delta\bar{U}_{Sn}^{(2)}\right]^N \\ \left[\Delta\bar{U}_{UP}^{(2)}\right]^N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\Delta\bar{U}_{Sn1}^{(2)}\right]^N \\ \Delta\bar{U}_{Sn2}^{(2)} \\ M \\ \left[\Delta\bar{U}_{UP1}^{(2)}\right]^N \\ \Delta\bar{U}_{UP2}^{(2)} \\ M \\ \left[\Delta\bar{U}_{UPk}^{(2)}\right]^N \end{bmatrix} \quad (3)$$

kde:

N je číslo uzlu s předpokládanou poruchou, kdy $N = 1, 2, \dots, n$,

5 $\left[\Delta\bar{U}_{Sn}^{(2)}\right]^N$ je submatice vypočtené změny zpětné složky napětí v měřicích uzlech MU v případě poruchy v uzlu N ,

i je počet měřicích uzlů MU,

$\left[\Delta\bar{U}_{UP}^{(2)}\right]^N$ je submatice vypočtené změny zpětné složky napětí v pomocných uzlech PU v případě poruchy v uzlu N ,

10 k je počet pomocných uzlů PU.

Příklad rovnice (2) zapsané pro konkrétní případ uvažované poruchy v uzlu $N = 3$ je popsán rovnicí (4):

$$\left[\Delta\bar{U}_n^{(2)}\right]^3 = \left[\bar{Y}^{(2)}\right]^{-1} \cdot \left[-\Delta I_{fM}^{(2)}\right]^3$$

$$\begin{bmatrix} \left[\Delta\bar{U}_{n1}^{(2)}\right]^3 \\ \left[\Delta\bar{U}_{n2}^{(2)}\right]^3 \\ M \\ \left[\Delta\bar{U}_{n3}^{(2)}\right]^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\Delta\bar{U}_{Sn1}^{(2)}\right]^3 \\ \Delta\bar{U}_{Sn2}^{(2)} \\ M \\ \left[\Delta\bar{U}_{UP1}^{(2)}\right]^3 \\ \Delta\bar{U}_{UP2}^{(2)} \\ M \\ \left[\Delta\bar{U}_{UPk}^{(2)}\right]^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{i1}^{(2)} & \Lambda & \bar{Y}_{in}^{(2)} \\ M & O & M \\ \bar{Y}_{n1}^{(2)} & K & \bar{Y}_{nn}^{(2)} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\Delta I_{fM}^{(2)} \\ M \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Krok 6

15 V dalším kroku provede lokalizační algoritmus výpočet odchylky ε , která je dána rozdílem absolutních hodnot vypočtených změn zpětné složky napětí pro poruchy uvažované v uzlech 1 až n a zaznamenaných hodnot maximálních změn zpětné složky napětí (5).

$$[\varepsilon]^N = \left[\left[\Delta \bar{U}_{Sn}^{(2)} \right]^N - [\Delta U_{SxM}^{(2)}] \right] = \begin{bmatrix} \varepsilon_1^N \\ \varepsilon_2^N \\ \mathbf{M} \\ \varepsilon_i^N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\Delta \bar{U}_{Sn1}^{(2)} \right] - \Delta U_{S1M}^{(2)} \\ \left[\Delta \bar{U}_{Sn2}^{(2)} \right] - \Delta U_{S2M}^{(2)} \\ \mathbf{M} \\ \left[\Delta \bar{U}_{Sni}^{(2)} \right] - \Delta U_{SiM}^{(2)} \end{bmatrix}^N \quad (5)$$

kde:

N je číslo uzlu s předpokládanou poruchou, kdy $N = 1, 2, \dots, n$,

$[\varepsilon]^N$ je matice odchylek vypočtených změn zpětné složky napětí v měřicích uzlech MU a zaznamenaných hodnot maximálních změn zpětné složky napětí pro poruchu uvažovanou v uzlu N ,

i je počet měřicích uzlů MU,

$[\Delta U_{SxM}^{(2)}]$ je matice změřených maximálních změn zpětných složek napětí přepočtených na primární stranu distribučního transformátoru VN/NN pro uzly $x = 1, 2, \dots, i$.

10 Krok 7

Pro zpřesnění lokalizace poruchy v síti lze provést korekci globální chyby δ^N odchylek ε spočítající v odečtení globální chyby odchylek od všech prvků matice $[\varepsilon]^N$, přičemž δ^N je číselná hodnota, respektive chyba, společná pro všechny prvky matice $[\varepsilon]^N$.

Krok 8

15 V dalším kroku se vypočte matice celkových odchylek $[E]$ pro všechny uvažované poruchy v uzlech 1 až n . Hodnota celkových odchylek může být vypočtena aritmetickým průměrem, případně součtem absolutních hodnot odchylek ε ve všech měřicích uzlech, jak je pro příklad uvedeno ve vztahu (7), kde hodnota celkové odchylky při uvažování poruchy v uzlu N je dána vztahem (6).

$$E_N = \sum_{p=1}^i |\varepsilon_p^N| \quad (6)$$

20

kde:

N je číslo uzlu s předpokládanou poruchou, kdy $N = 1, 2, \dots, n$,

$$[E] = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \mathbf{M} \\ E_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{p=1}^i |\varepsilon_p^1| \\ \sum_{p=1}^i |\varepsilon_p^2| \\ \mathbf{M} \\ \sum_{p=1}^i |\varepsilon_p^n| \end{bmatrix} \quad (7)$$

kde:

25 i je počet měřicích uzlů MU.

V případě uvažování korekce dle kroku 7 lze pro výpočet celkové odchylky $[E]$ využít vzorce:

$$E_N = \left(\sum_{p=1}^i |\varepsilon_p^N| \right) - i \cdot \delta^N \quad (8)$$

kde:

N je číslo uzlu s předpokládanou poruchou, kdy $N = 1, 2, \dots n$.

Krok 9

- 5 Z matice celkových odchylek $[E]$ se následně vybere prvek s nejnižší hodnotou celkové odchylky E_{\min} a nejvyšší hodnotou celkové odchylky E_{\max} a vypočte se procentuální pravděpodobnost výskytu zdroje nesymetrie v uzlech 1 až n dle vzorce (9).

$$F_N = \frac{E_{\max} - E_N}{E_{\max} - E_{\min}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9)$$

kde:

N je číslo uzlu s předpokládanou poruchou, kdy $N = 1, 2, \dots n$ a F_N je procentuální hodnota pravděpodobnosti výskytu zdroje nesymetrie v uzlu N .

10 Krok 10

Následně je definováno místo poruchy či nesymetrie na základě pravděpodobnostního rozložení podle výsledků z matice (10) pro jednotlivé uzly 1 až n , kde element s hodnotou 100 % odpovídá uzlu s pravděpodobnou poruchou.

$$[F] = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ M \\ F_n \end{bmatrix} \quad [\%] \quad (10)$$

- 15 kde:

N je číslo uzlu s předpokládanou poruchou, kdy $N = 1, 2, \dots n$.

Tyto výsledky lokalizačního algoritmu využije vyhodnocovací jednotka pro vizualizaci místa poruchy, či umožní jejich předání dalšímu nadřazenému systému.

Příklady provedení představeného technického řešení

- 20 Jednotlivé obr. 13, 14 představují příklady rozmístění jednotlivých prvků systému podle technického řešení v různých uvažovaných energetických soustavách. Jak je z těchto obrázků patrné jsou MZSP 2 umístěné na sekundární straně napájecího transformátoru VVN/VN v přírodním poli rozvodny R-VN nebo na jednotlivých vývodech/ve vývodových polích z napájecí rozvodny R-VN. Jednotky MZSN 1 jsou umístěny na sekundárních stranách distribučních transformátorů VN/NN. Mezi MZSP 2, MZSN 1 a vyhodnocovací jednotkou 3 je provedena obousměrná komunikace 4 a 5. V případě použití vypínače 6 pro připojení pomocného odporu R_p je mezi tímto vypínačem 6 a vyhodnocovací jednotkou 3 a/nebo jednotkou MZSP 2 vytvořena řídicí komunikace 7 a/nebo 8.

- 30 V prvním provedení představeném na obr. 13a a 13b je systém podle technického řešení použit v kompenzované soustavě, kdy vyhodnocovací jednotka 3 na základě vyhodnocení poruchové situace může připínat přes spínač 6 pomocný odporník R_p buď k výkonovému vinutí zhášecí tlumivky ZT, viz obr. 13a, nebo paralelně ke zhášecí tlumivce ZT, viz obr. 13b. U provedení popsaných na obr. 13a a 13b je také možné spínat vypínač 6 i na základě povelu MZSP 2 zasláného přes ovládací komunikaci 8.

- 35 Podle druhého provedení představeného na obr. 13c je systém podle technického řešení použit v kompenzované soustavě bez pomocného odporníku R_p.

Podle třetího provedení představeného na obr. 14a je systém podle technického řešení použit v izolované soustavě, kdy vyhodnocovací jednotka 3 na základě vyhodnocení poruchové situace připíná přes spínač 6 tento pomocný odporník R_p k uzlu transformátoru VVN/VN. U popsaného

provedení je možné spínat vypínač 6 i na základě povelu MZSP 2 zasláného přes ovládací komunikaci 8.

Podle čtvrtého provedení představeného na obr. 14b je systém podle technického řešení použit v soustavě izolované.

- 5 Podle pátého provedení představeného na obr. 14c je systém podle technického řešení použit v soustavě uzemněné přes uzlový odporník R_u nebo v soustavě účinně uzemněné $R_u = 0 \Omega$.

10 Systém podle technického řešení a vyhodnocovací metoda jsou využitelné k lokalizaci nesymetrické poruchy uvnitř izolovaných sítí, kompenzovaných sítí, kompenzovaných sítí vybavených automatikou pro krátkodobé připnutí pomocného odporníku, tak i uvnitř sítí účinně uzemněných či neúčinně uzemněných přes uzlový odporník.

Systém podle technického řešení a vyhodnocovací metoda jsou také využitelné pro nalezení místa připojení zdroje výrazné nesymetrie v distribuční síti vysokého napětí.

15 Výjimečnost technického řešení spočívá zejména v možnosti přesného stanovení místa poruchy uvnitř rozsáhlých distribučních soustav, které jsou provozovány jako izolované, neúčinně či účinně uzemněné, přičemž pro lokalizaci místa poruchy využívá zaznamenaných průběhů změny zpětných složek napětí měřených na sekundárních stranách distribučních transformátorů V_N/NN , na jejichž základě dokáže určit pravděpodobnost místa výskytu nesymetrických poruch nebo místa výskytu zdroje výrazné proudové/napěťové nesymetrie uvnitř rozsáhlých distribučních soustav. Určení místa poruchy je díky představenému technickému řešení možné bez přerušení
20 dodávky elektřiny a bez nutnosti změny konfigurace soustavy ve všech typech provozovaných distribučních sítí a pro všechny typy nesymetrických poruch. Výjimečnost technického řešení spočívá i v možnosti několikanásobné lokalizace místa poruchy u soustav kompenzovaných či izolovaných pro případy, kdy nebylo možné provést lokalizaci poruchy na základě prvotně naměřených dat, či pro případ zpřesnění vypočtené pravděpodobnosti místa poruchy. Výhodou je rovněž využití zpětných složek impedancí pro určení místa nesymetrie/poruchy, které jsou v porovnání s běžně užívanými netočivými složkami daleko přesnější a dobře známé. Metoda, respektive monitorovací systém podle technického řešení, je výjimečný rovněž tím, že ke stanovení místa poruchy v síti není předem nutná detekce postiženého vývodu, přičemž přesnost lokalizace je dána zejména velikostí zvoleného dílčího elementu vedení soustavy a množstvím instalovaných
30 MZSN, přičemž využitím většího počtu měřicích míst ve větší blízkosti místa poruchy, kde je vliv poruchy na napěťové poměry nejvýraznější, se eliminuje riziko chybného výpočtu místa poruchy systému podle technického řešení. Výhodou je také možnost lokalizace poruchy i v případě výpadku některého/některých z monitorů změny zpětné složky napětí. Systém podle technického řešení dále nabízí možnost jeho využití při dohledání zdrojů výrazné nesymetrie v distribučních sítích vysokého napětí pro jeho následné odstranění, což přispěje ke zkvalitnění dodávky
35 elektrické energie.

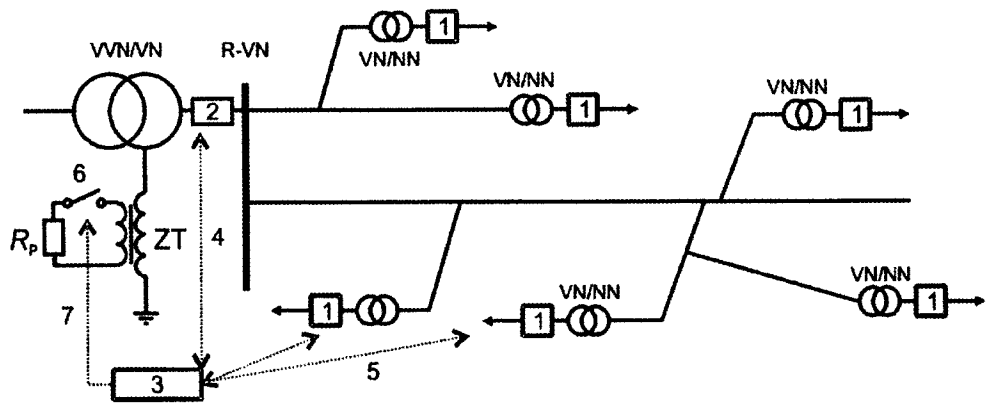
N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Monitorovací systém k určení pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrických poruch v elektrických sítích obsahující alespoň jednu monitorovací jednotku a vyhodnocovací jednotku,
40 kde mezi vyhodnocovací jednotkou a monitorovací jednotkou je provedena obousměrná komunikace, a mezi vyhodnocovací jednotkou a ovládacím prvkem je provedena řídicí komunikace, **v y z n a ě u j í c í s e t í m , ž e**

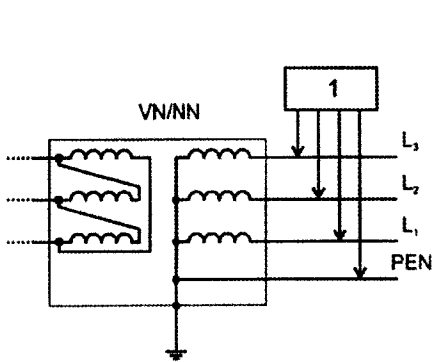
- monitorovací jednotku tvoří alespoň jedna monitorovací jednotka (1) zpětné složky napětí a alespoň jedna monitorovací jednotka (2) zpětné složky proudu, kde:

- monitorovací jednotka (1) zpětné složky napětí je určena k monitorování časově synchronních průběhů změny zpětné složky fázového napětí měřeného na sekundární straně distribučního transformátoru (VN/NN) monitorovaného distribučního vedení,
 - monitorovací jednotka (2) zpětné složky proudu je určena k monitorování a zaznamenávání časově synchronních průběhů změny zpětné složky proudu odebíraného z napájecího transformátoru (VVN/VN),
 - vyhodnocovací jednotka (3) je určena k vyhodnocení pravděpodobnosti místa výskytu zdroje nesymetrie v monitorované síti na základě změn zpětných složek napětí $\Delta U_{3\phi}^{(2)}$ zaznamenaných monitorovacími jednotkami pro daný koordinační čas vzniku poruchy.
2. Monitorovací systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že monitorovací jednotka (2) zpětné složky proudu je dále opatřena ovládací komunikací (8) ovládacího prvku (6).
3. Monitorovací systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací jednotka (3) je rozdělena na sběrný prvek a vyhodnocovací prvek, přičemž sběrný a vyhodnocovací prvek jsou vzájemně datově propojeny.
4. Monitorovací systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že monitorovací jednotka (1) zpětné složky napětí je umístěna uvnitř distribučních transformačních stanic (VN/NN) na sekundárních stranách distribučních transformátorů (VN/NN).
5. Monitorovací systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že monitorovací jednotka (2) zpětné složky proudu je umístěna na sekundární straně napájecího transformátoru (VVN/VN) nebo v přívodním nebo vývodovém poli napájecí rozvodny (R-VN).
6. Monitorovací systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že monitorovací jednotka (2) zpětné složky proudu obsahuje napěťový vstup (2a) pro monitorování netočivé složky napětí přímým měřením na uzlu napájecího transformátoru (VVN/VN).
7. Monitorovací systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že monitorovací jednotka (2) zpětné složky proudu obsahuje napěťový vstup (2a) pro monitorování netočivé složky napětí na základě výpočtu z měřených fázových napětí na vstupu nebo výstupu z napájecí rozvodny (R-VN).
8. Monitorovací systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací jednotka (3) je dále určena k shromažďování a/nebo spárování a/nebo konvertování časových záznamů změn zpětných složek proudů a napětí přijatých od monitorovací jednotky (1, 2).

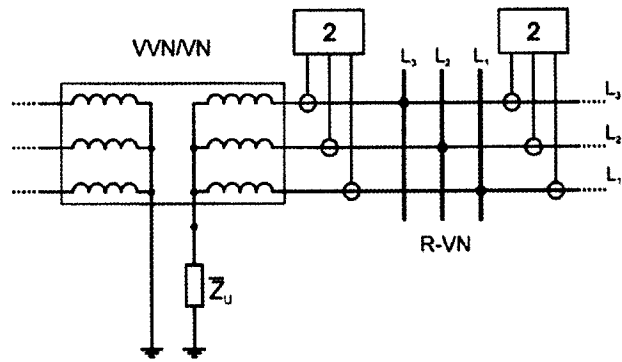
4 výkresy



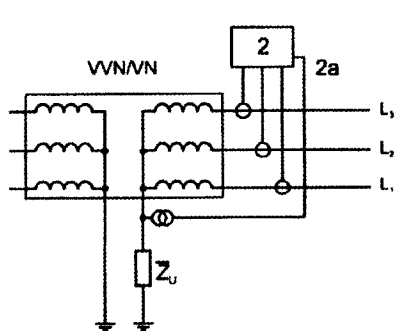
Obr. 1



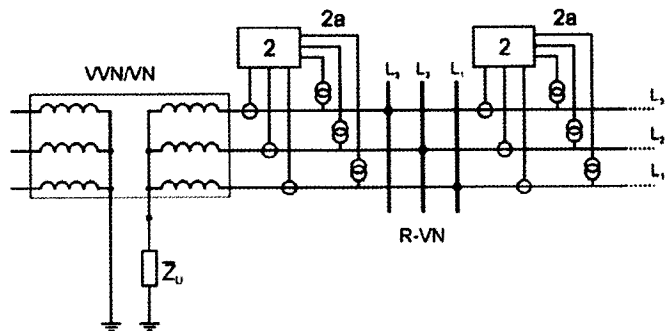
Obr. 2



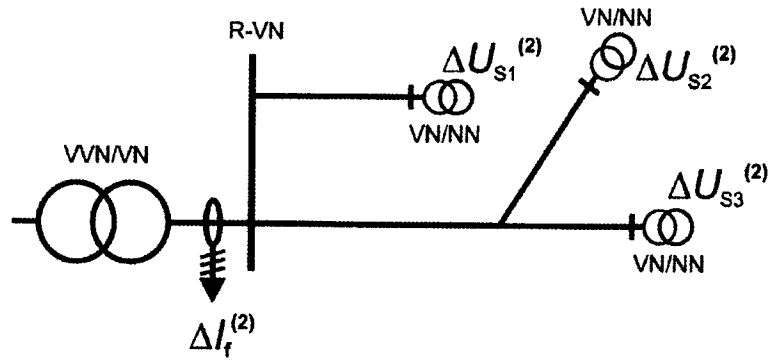
Obr. 3



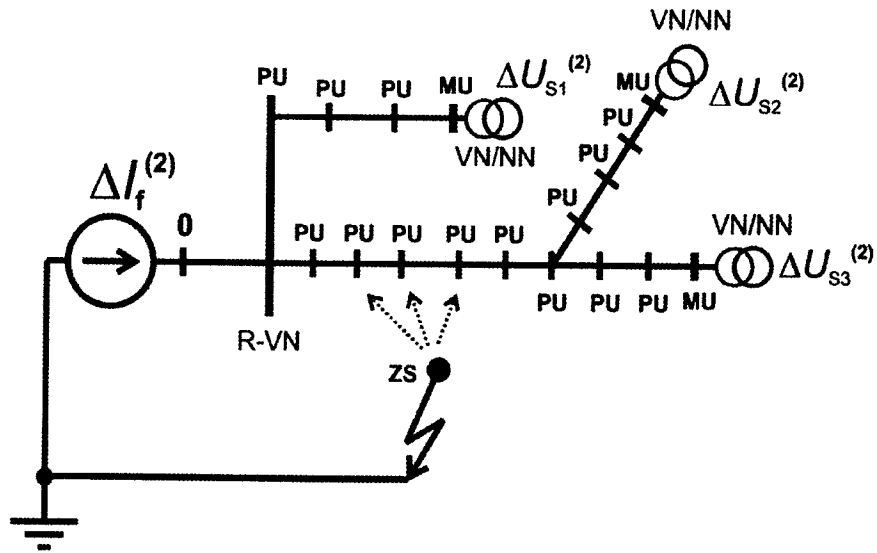
Obr. 4



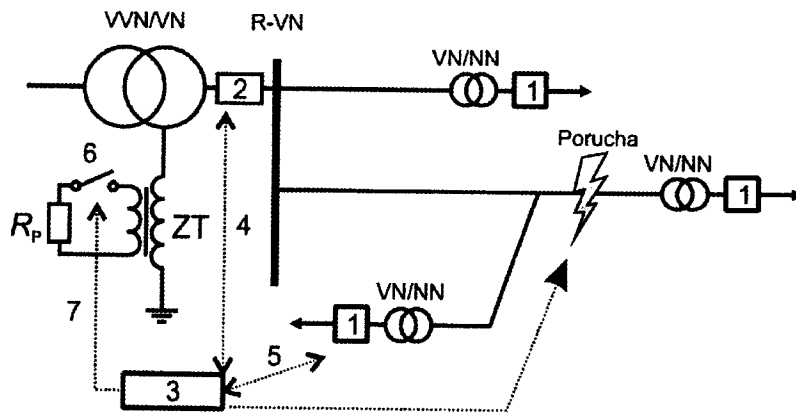
Obr. 5



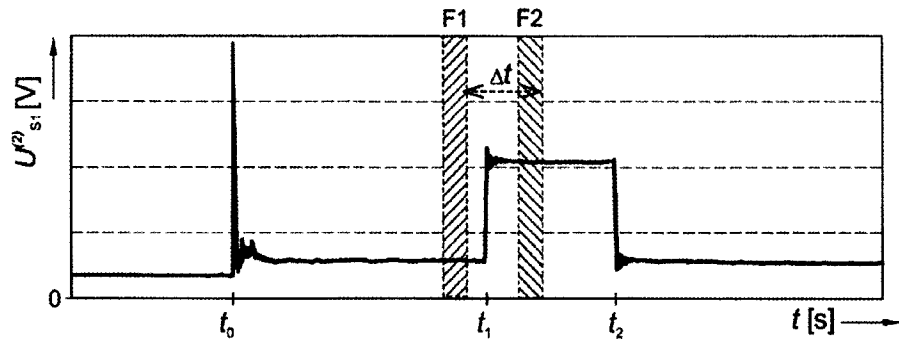
Obr. 6



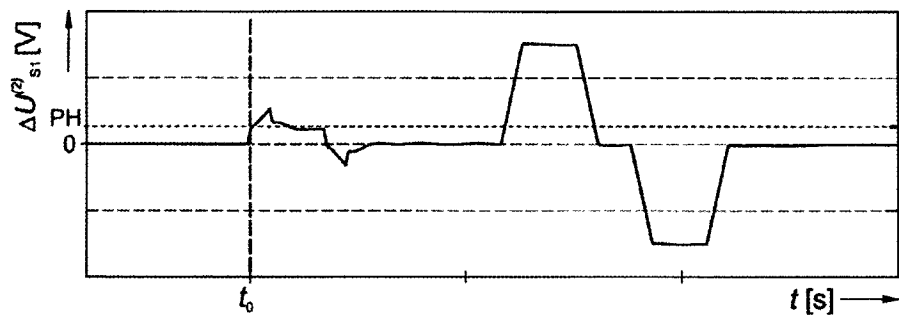
Obr. 7



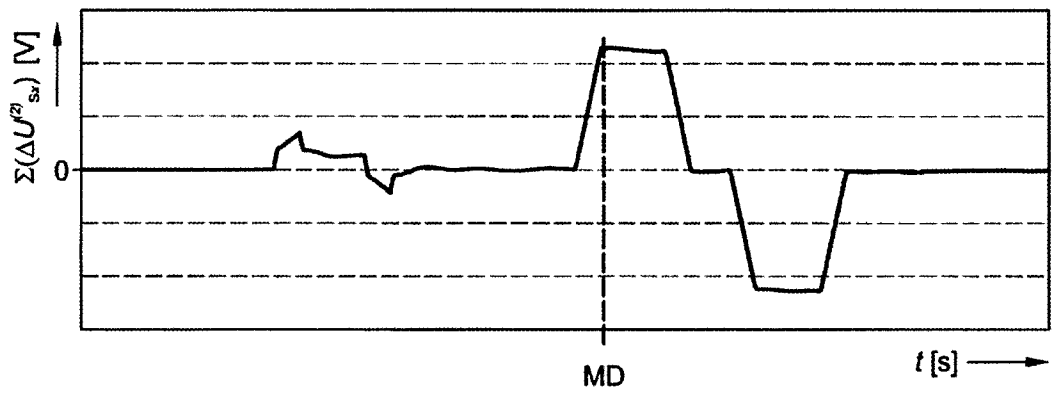
Obr. 8



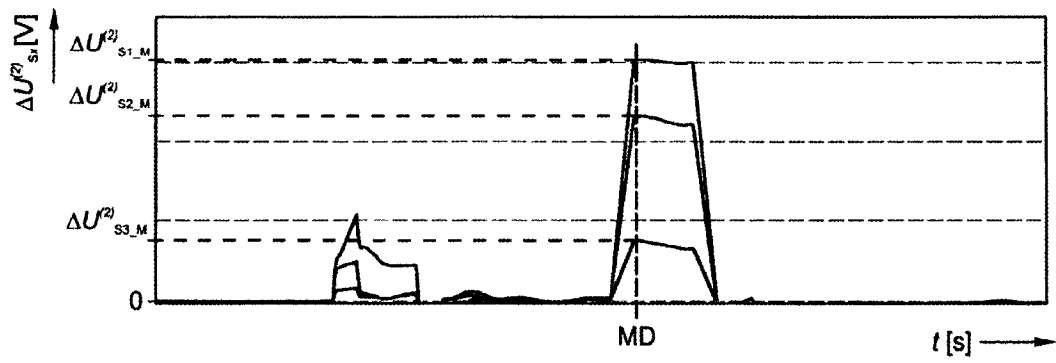
Obr. 9



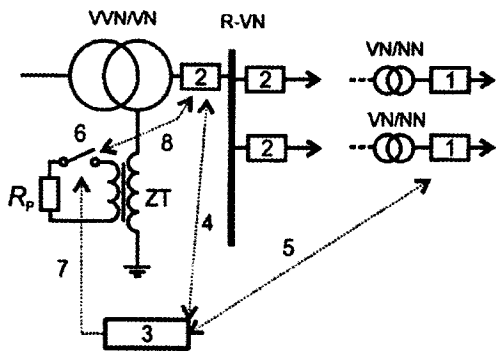
Obr. 10



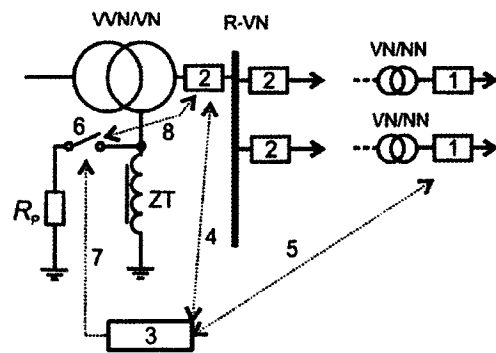
Obr. 11



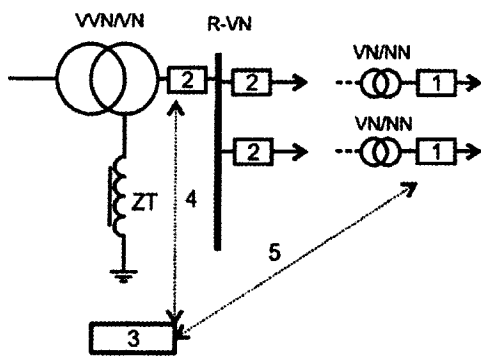
Obr. 12



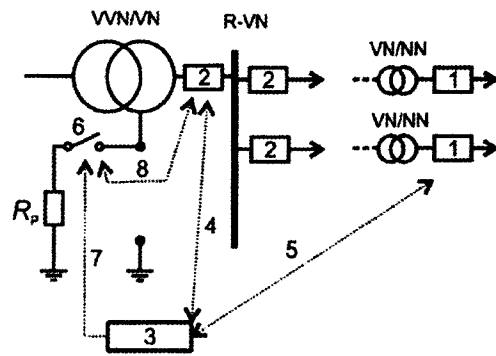
Obr. 13a



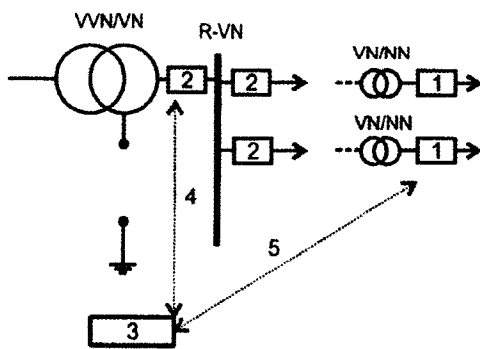
Obr. 13b



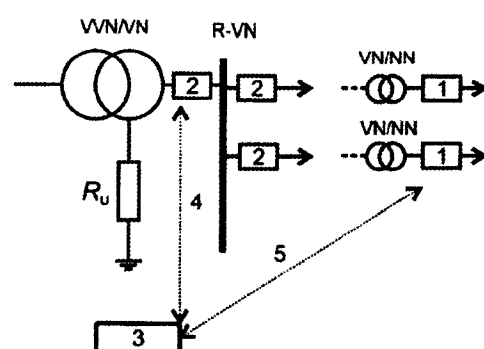
Obr. 13c



Obr. 14a



Obr. 14b



Obr. 14c

Konec dokumentu