

G01R 31/08 (2020.01)
H02H 7/26 (2006.01)
H02J 13/00 (2006.01)
G01R 31/52 (2020.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2022-317
(22) Přihlášeno: 24.07.2022
(40) Zveřejněno: 31.01.2024
(Věstník č. 5/2024)
(47) Uděleno: 21.12.2023
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 31.01.2024
(Věstník č. 5/2024)

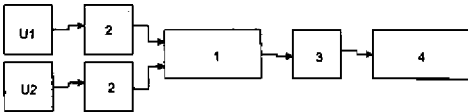
(56) Relevantní dokumenty:
CN 107677933 A; DE 3028518 A1; CN 201673233 U; CN 107247217 A; CN 209231449 U; CN 110907855 B.

(73) Majitel patentu:
Vysoká škola báňská - Technická univerzita
Ostrava, Ostrava, Poruba, CZ

(72) Původce:
Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D., Velké Heraltice, CZ
prof. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D., Olomouc, CZ
Ing. Lukáš Šoustek, Karviná, Ráj, CZ

(54) Název vynálezu:
Způsob online lokalizace jednopólové
poruchy vedení distribuční sítě zemním
spojením a systém k provádění tohoto
způsobu

(57) Anotace:
Způsob online lokalizace jednopólové poruchy vedení distribuční sítě spočívá v tom, že se na nejméně třech měřicích bodech (MB) rozmístěných na vedeních sítě měří napětí na každé fázi dvojicí senzorů vzdálených od sebe jednotky metrů a při vzniku poruchy se každým senzorem sejme pulz napětí vyvolaný poruchou kdekoli v síti. Rozdíl napětí změřených dvojicí senzorů se po zesílení a korekci analogového signálu digitálně zpracuje a s časovým razítkem, GPS souřadnicí a informací, o kterou se jedná fázi, odešle do výpočetního centra (VC), kde na základě těchto dat z nejméně tří měřicích bodů (MB) a při zadání následujících okrajových podmínek: rychlost šíření vzruchu po vedení - vypočtená na základě známé topologie sítě a dodaných časových razítek, a topologie sítě včetně rozmístění měřicích bodů (MB) a délky (l) vedení mezi nimi, se vypočítá vzdálenost místa poruchy od dvou nejbližše ležících měřicích bodů (MB).



Způsob online lokalizace jednopólové poruchy vedení distribuční sítě zemním spojením a systém k provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu určení pravděpodobného místa výskytu jednopólové poruchy v elektrické síti vysokého napětí a monitorovacího systému sloužícího k provádění tohoto způsobu.

10

Dosavadní stav techniky

Jsou známy způsoby, jak v kompenzovaných sítích vysokého napětí, dále „vn“, uzemněných přes
15 uzlový odporník, i izolovaných, určit úsek vedení postiženého poruchou. Známé způsoby se opírají o zkratové ochrany s vypínači jednotlivých vedení vn. Vedení vn jsou členěna na jednotlivé úseky, které lze buď pomoci manuálně nebo dálkově ovládaného úsečníku rozpojit. Při vzniku poruchy je celé vedení vn od napájecího trojfázového transformátoru velmi vysokého
20 napětí odpojeno automaticky působící zkratovou ochranou s vypínačem. Pomocí úsečníku je následně odpojena vzdálenější část vedení vn a bližší část vedení vn se poté připojí k napájecímu trojfázovému transformátoru vvn/vn. Jestliže nadproudová ochrana vypne napájenou bližší část vedení vn, je porucha v této části. Jestliže v bližší napájené části vedení vn porucha není, pak je porucha ve vzdálenější části vedení vn, která se dále např. půlí. Popsaný postup způsobuje
25 proudů a zbytečná namáhání distribučních zařízení sítě vn účinky opakovaných zkratových vypínání napájecího napětí.

Předpokládá se, že běžná síť vn vybavená řídicím střediskem je tvořena řadou vedení vn
30 napájených transformátorem vvn/vn. Na začátku jednotlivých vedení vn jsou instalovány zkratové ochrany s vypínačem, které přes místní přenos dat komunikují s řídicím střediskem, a mezi úseky vedení vn jsou instalovány úsečníky k rozpojení vedení vn ovládané z řídicího střediska. Na určitých místech sítě, např. na stožárech, jsou zapojena měřicí zařízení opatřená základním měřicím a komunikačním hardwarem, která v intervalech v řádu milisekund měří/vzorkují okamžité hodnoty na každé ze tří fází trojfázového nízkého napětí a případně i
35 hodnoty odebíraných proudů, z nichž vyhodnocují elektrické veličiny, a přes dálkový přenos dat komunikují s řídicím střediskem.

Typickou poruchou na síti vn je zemní spojení některé ze tří fází vn. Pokud dojde ke zkratu
40 v některém úseku vn vedení sítě, projeví se to na všech měřicích zařízeních sítě skokovým poklesem napětí. Ve vedeních sítě vn, které nejsou poruchou postiženy, se hodnota napětí, poté co ochrana s vypínačem automaticky odpojí vedení vn se zkratem, vrátí přibližně na původní hodnotu.

Vedení vysokého napětí, které je poruchou postiženo, je zkratovou ochranou s vypínačem
45 odpojeno a napětí po této prodlevě o trvání zpravidla do 1,5 s poklesne k nule. Je známo, že hloubka skokového poklesu v okamžiku zkratu není na měřicích zařízeních napadeného vedení vn stejná, ale roste směrem od začátku vedení vn, tj. od zkratové ochrany k místu zkratu, resp. k úseku vedení vn se zkratem. Přitom na dalších měřicích zařízeních, která následují za místem zkratu, je tento (maximální) pokles již v podstatě shodný.

50

Tohoto jevu využívá způsob určení místa zkratu v síti vn podle CZ 2021-178 A1, který spočívá v tom, že se v měřicích zařízeních sítě změní hloubka poklesu napětí na těchto měřicích zařízeních a přenesou se do řídicího centra sítě s časem výskytu poklesu. Řídicí centrum na základě sdílených dat vyhodnotí pravděpodobný úsek sítě se zkratem. Nevýhodou tohoto

způsobu je, že umožní stanovit jen úsek sítě vn s poruchou, a to pouze přibližně, nikoli však místo poruchy v daném úseku.

5 Způsob určení pravděpodobnosti místa výskytu nesymetrických poruch je popsán v CZ 305209 B6. Spočívá v tom, že se vytvoří zpětné schéma monitorované distribuční soustavy, na základě
překročení meze změny zpětné složky proudu se vyhodnotí koordinační čas vzniku poruchy, na
sekundárních stranách distribučních, resp. napájecích transformátorů se shromáždí záznamy
změny zpětné složky napětí, resp. proudů a z těchto dat se vyčíslí pravděpodobnost výskytu
10 nesymetrie v jednotlivých místech monitorované soustavy. Monitorovací systém k provádění
tohoto způsobu je tvořen monitorovacími jednotkami zpětné složky napětí, resp. proudu a
vyhodnocovací jednotkou.

Jsou známy systémy, které k výpočtu místa poruchy použijí rozdíl mezi časy, v nichž je
poruchový signál zaznamenán na měřicích zařízeních nacházejících se na obou stranách místa
15 poruchy. V ideálním případě se napětí na síti vn šíří rychlostí světla. Ve skutečnosti činí tato
rychlost přibližně 1/3 této hodnoty, reálně 10^8 m/s. Znamená to, že prostřednictvím
měření/vzorkování v řádu 100 ns může být porucha v měřicím zařízení identifikována a v řídicím
centru vypočtena s přesností cca 10 m.

20 WO 2016157429 uvádí systém k lokalizaci poruch v síti vn, v níž jsou instalována dvojice
měřicích zařízení, každé s detektorem proudu, ke kterému je připojen detektor k identifikaci
rázové vlny způsobené poruchou v síti. Místo poruch je lokalizováno výpočtem z prodlevy mezi
okamžiky detekce poruchy oběma detektory. Každý z rázových detektorů je opatřen přijímačem
GPS k tomu, aby přijatá data opatřil přesným časovým údajem, dále je opatřen pulzním obvodem
25 k zesílení rázového proudu pro jeho výstup a konečně časovacím obvodem s počítadlem, které se
každou sekundu resetuje. Toto řešení umožňuje lokalizovat poruchu, avšak nedává informaci, o
jaký druh poruchy se jedná.

Vynález si klade za úkol navrhnout způsob lokalizace jedнопólové poruchy zemním spojením
30 v třífázovém vedení distribuční soustavy a vytvořit síť monitorovacích jednotek a jejich mapu, ve
které jsou dány vzdálenosti mezi monitorovacími jednotkami a další fyzikální parametry
soustavy, které mohou vést ke zpřesnění lokalizace místa poruchy.

35 Podstata vynálezu

Uvedený úkol splní způsob online lokalizace jedнопólové poruchy vedení distribuční sítě, jehož
podstata spočívá v tom, že se na nejméně třech měřicích bodech rozmístěných na vedeních sítě
40 měří napětí na každé fázi dvojicí senzorů vzdálených od sebe jednotky metrů a při vzniku
poruchy se každým senzorem sejme pulz napětí vyvolaný poruchou kdekoli v síti, rozdíl napětí
změřených dvojicí senzorů se po zesílení a korekci analogového signálu digitálně zpracuje a
s časovým razítkem, GPS souřadnicí a informací, o kterou se jedná fázi, odešle do výpočetního
centra, kde na základě těchto dat z nejméně tří měřicích míst a při zadání následujících
okrajových podmínek:

- 45 – rychlosti šíření vzruchu po vedení, které se vypočítají na základě známé topologie sítě a
dodaných časových razítek;
- topologie sítě včetně rozmístění měřicích bodů a délky vedení mezi nimi se vypočítá
50 vzdálenost místa poruchy od dvou nejbližších ležících měřicích bodů.

K provádění uvedeného způsobu online lokalizace poruchy vedení distribuční sítě slouží systém,
jehož podstata spočívá v tom, že je tvořen alespoň třemi měřicími body rozmístěnými na
vedeních v síti a s nimi propojeným výpočetním centrem, přičemž měřicí bod je tvořen dvojicí
55 senzorů napětí na každé ze tří fází, z nichž každá dvojice je přes filtr derivace propojena

s rozdílovým zesilovačem napojeným na blok digitálního zpracování dat opatřený GPS modulem a komunikační jednotkou pro komunikaci s výpočetním centrem, přičemž rozestup senzorů v každé dvojici činí 1 až 10 m a přičemž výpočetní centrum je opatřeno hardwarem se softwarem k digitálnímu zpracování dat přijatých z měřicích bodů.

Měřicí body mohou být s výhodou umístěny na stožárech elektrického vedení.

Senzory napětí mohou být kapacitní snímače.

Objasnění výkresů

Vynález bude dále objasněn pomocí výkresů, na nichž jsou schematicky vyobrazeny prvky systému k provádění online lokalizace poruchy vedení distribuční sítě a bloková schémata, na která odkazuje popis způsobu provozování systému. Obr. 1 je obecný měřicí řetězec použitý v systému, obr. 2a až 2c jsou příklady topologického rozložení měřicích bodů v síti, obr. 3 je pohled shora na připojení kapacitních snímačů jednoho měřicího bodu na vedení vysokého napětí, obr. 4 graf reakce elektrické sítě na zemní spojení, respektive vzhled rozdílového signálu mezi snímači na měřicích bodech, obr. 5 měřicí řetězec analogové části měřicího bodu, obr. 6 rozdíl mezi synchronizovaným a nesynchronizovaným měřením, obr. 7 modelová síť a obr. 8 lokalizace poruchového místa.

Příklady uskutečnění vynálezu

Systém určený pro provádění způsobu online vyhodnocování pravděpodobnosti místa výskytu zemních spojení na elektrickém vedení zahrnuje:

1. minimálně tři měřicí body MB1 až MB4 na jednom úseku vedení
2. minimálně jedno výpočetní centrum VC
3. drátovou či bezdrátovou komunikaci určenou k předávání výsledných měřených dat, respektive reportů.

Měřicí bod MB1 až MB4 je umístěn na vedení vn takovým způsobem, optimálně na vybraných stožárech SE elektrického vedení, aby byla známa reálná vzdálenost l mezi měřicími místy. Měřicí bod MB1 až MB4 má za úkol snímat, např. kapacitními snímači U1 až W2, elektrické napětí na všech fázích ve dvou bodech každé měřené fáze. Tato měření jsou rozdílovým zesilovačem 1 zesílena a následně digitálně zpracována. V případě neočekávaného průběhu či změně měřené veličiny je tato změna opatřena přesným časovým razítkem z GPS a odeslána do výpočetního centra VC.

Způsob odeslání je závislý na dostupném komunikačním prostředku, přičemž jeho výběr není pro realizaci podstaty vynálezu důležitý. V měřicích bodech MB1 až MB4, v nichž je dostupná drátová síť (ethernet), ji lze s výhodou využít, osamělá místa, např. mimo obydlené oblasti, se mohou spolehnout na moderní bezdrátové prostředky jako GPRS, 4G, 5G síť či Lora. Vzhledem k podstatě měřicího bodu MB1 až MB4 není nutné řešit požadavky na zajištění napájení s bateriovou zálohou apod.

Výpočetní centrum VC sbírá reporty s časovým razítkem a dává je do souvislosti s geometrickým uspořádáním elektrické sítě. V rámci úseků vedení pak vybírá záznamy s nejbližšími časovými razítky na stejných fázích a pomocí matematického aparátu vypočítá přibližné místo vzniku poruchy.

Příklady topologie měření detekce zemního spojení

Měřicí řetězec je patrný z obr. 1. Cílem je případné reporty z měřicích bodů MB1 až MB4 dostat přenosovými linkami L do výpočetního centra VC v reálném čase (ideálně v rámci minut od poruchy).

Měřicí body MB1 až MB4 jsou rozmístěny po úsecích vedení tak, aby bylo možno v rámci vedení matematicky vypočítat místo vzniku poruchy, což je podstatou vynálezu. K tomuto účelu je potřeba minimálně tři měřicích bodů vhodně rozmístěných po vedení. Příklady topologie rozložení jsou na obr. 2a až 2c. Ve všech případech je nutno znát délku vedení l mezi měřicími body MB1 až MB4.

První topologie, viz obr. 2a, je jednorozměrný prostor, např. jeden úsek vedení, kdy jsou na vedení připojeny tři měřicí body MB1, MB2 a MB3. V případě poruchy mezi MB1 a MB2 je bod MB3 referenční, stejně tak v případě poruchy mezi MB2 a MB3 je referenčním bodem MB1.

Druhá topologie, viz obr. 2b, ukazuje část vedení, ze kterého vybíhají další úseky. Důvodem realizace čtyř měřicích bodů MB1 až MB4 je nutnost detekovat poruchu zemního spojení na všech částech vedení, kdy je potřeba mít opět jeden referenční bod, přičemž ten následující může mít vliv na celkovou přesnost odhadu místa poruchy. Poslední obr. 2c uvádí jinou konfiguraci, např. paprskovou topologii, kdy jsou opět k dispozici dva body, mezi kterými může vzniknout porucha, přičemž třetí bod je referenční.

Instalace více bodů na monitorovaném úseku vedení umožňuje upřesnit výpočet poruchou postiženého míst tím, že se při aplikaci matematického aparátu uplatní více referenčních míst. To bude osvětleno v souvislosti s popisem poslední části měřicího řetězce, výpočetního centra VC a jeho funkce.

Z výše popsaných topologií lze usuzovat, že vlastní řešení lze aplikovat i na jednorozměrný prostor, což výrazně snižuje požadavky na výpočetní aparát.

Měřicí body MB1 až MB4 a jejich složení

Měřicí jednotka, která je součástí měřicích bodů MB1 až MB4 je sestavena z několika částí, kde je signál nejprve snímán, poté v analogové formě upravován a nakonec digitalizován. Digitální signál je podroben analýze poruchového stavu a v případě nalezení diagnostikované poruchy je vytvořen report, který v sobě nese informaci o konkrétním měřicím bodu MB, typu poruchy a přesné časové razítko zjištění poruchy.

Snímací část je realizována kapacitními snímači U1 až W2, kterými lze úpravou dělicího poměru zajistit adekvátní úroveň výstupního signálu tak, že nedojde k poškození elektroniky měřicího bodu. Každá ze tří fází vn označených U, V, W, se měří na dvou místech v oblasti měřicích bodů MB1 až MB4, optimálně půjde o symetrickou instalaci kapacitních snímačů U1, U2, V1, V2, W1, W2, jako senzorů napětí viz obr. 3. Zde jsou vyobrazeny nainstalované snímače z pohledu shora na sloupu elektrického vedení.

Dále bude popsáno blokové řešení elektroniky měřicího bodu, viz obr.5. První částí je rozdílový zesilovač 1. Jeho vstupní napětí musí být přizpůsobeno výstupnímu napětí kapacitních snímačů U1 až U2. Potřeba využití rozdílového zesilovače 1 vyplývá z obr. 4, který je výsledkem simulace poruchového stavu na elektrickém vedení při topologii měřicího bodu MB odpovídající obr. 3. Je zde patrné, že v případě normálního stavu je rozdílem napětí mezi snímanými body na jedné fázi harmonický signál 50 Hz, jehož amplituda je dána úbytkem napětí mezi snímanými body a jeho impedancí. Výsledná hodnota bude velmi nízká, proto je realizován rozdílový zesilovač 1, který rozdíl napětí zesílí na hodnotu měřitelnou dostupnými technickými prostředky, např. A/D převodníkem. Dále je z obr. 4 patrné, že jakmile dojde k zemnímu spojení, vznikne na

fázi s poruchou odezva, kdy rozdíl napětíového signálu již nemá harmonický průběh, ale vytvoří se poruchový signál, jehož amplituda může několikrát přesáhnout maximální hodnotu původního harmonického průběhu. Díky této vlastnosti poruchového signálu je možno následně přikročit k detekci času poruchy.

5

Měřicí řetězec analogové části měřících bodů MB1 až MB4, respektive jedné měřené fáze, je popsán schématem na obr. 5. Zde vstupu do rozdílového zesilovače 1 předchází analogový filtr 2, případně po jeho výstupu následuje analogový filtr 3. Předpokládaný kapacitní charakter kapacitního snímače U1 až U2 bude typicky ořezávat pulzy, které na síti vznikají. Cílem filtru 2 je tedy eliminovat tuto negativní vlastnost, např. pomocí derivačního členu, který kompenzuje zmíněný kapacitní charakter. Dále je možno realizovat filtr 3 s horní propustí, který by k následujícímu zpracování propustil jen vyšší frekvence vznikající při poruše a původní harmonickou složku by eliminoval.

Jak již bylo zmíněno, rozdílový signál nabývá velmi malých hodnot, a proto je nutno jej zesílit. Rozdílový zesilovač 1 obě zmíněné funkce (detekci rozdílu a zesílení) umožňuje ze své podstaty. Konvenční A/D převodníky mají rozsah typicky ± 10 V, takže celkové zesílení může být 100 až 1000násobek rozdílu. Ze simulace, kdy napětí dosahovalo 20 mV lze tak dosáhnout rozpětí okolo ± 2 V, přičemž poruchový signál může být několikanásobně větší, což pro princip metody není relevantní, protože podstatná není absolutní hodnota velikosti poruchy, nýbrž čas, ve kterém k poruše dochází.

Po nezbytných úpravách analogového signálu již dochází k jeho digitálnímu zpracování v bloku 4. To je možné řešit alternativně pomocí dvou základních metod:

25

a) A/D převodníkem – tato alternativa se opírá o využití velmi rychlých A/D převodníků, které převádějí měřenou veličinu na digitální hodnoty pro následné zpracování mikro kontrolérem či hradlovým polem.

30

b) Komparátorem napětí – tato alternativa se opírá o využití standardních komparátorů pro detekci porušení harmonického průběhu rozdílového napětí měřené fáze. Komparátor má dva vstupy, první je přiveden z rozdílového zesilovače 1, druhý musí být generován v měřícím bodu MB1 až MB4 tak, že jeho fáze, frekvence a amplituda odpovídají reálnému měřenému rozdílovému signálu.

35

Přestože se jeví alternativní řešení s komparátorem jednodušší, vyžaduje realizaci více podpůrných analogových obvodů, a proto je v tomto příkladu pro další digitální zpracování dána přednost A/D alternativě. V potaz bude brán pouze standardní A/D převodník bez dalších funkcí, jako trigrování, které by se dalo rovněž využít. A/D převodník tedy pracuje tak, že pouze převádí analogové hodnoty do digitálních. Důležitým parametrem je v tomto případě jeho rychlost. Vzhledem k parametrům měření se předpokládá rychlost vzorkování minimálně v jednotkách MHz. Tento parametr bude rovněž zmíněn v části týkající se zpracování reportu ve výpočetním centru VC. Za A/D převodníkem následuje číslicová jednotka, která umožňuje rychlé výpočty, ideálně kombinace hradlového pole s mikrokontrolérem (např. CompactRIO od National Instruments). Hradlové pole umožňuje při stejné frekvenci snímání, např. 1 MHz, okamžitou práci s měřenými daty. Využití mikrokontroléru je taktéž možné, nicméně na vyšších frekvencích se bude jednat o dávkové zpracování dat pomocí dostatečně velkých bufferů pro měřená dat. V obou případech může být výsledek stejný, neboť jediná operace, kterou výpočetní centrum VC provádí je hledání měřených hodnot mimo předpokládaný rozsah harmonické složky rozdílového napětí, např. z výše zmíněných ± 2 V. Jakmile dojde ke zjištění, že naměřená hodnota neodpovídá předpokládané, je tato událost zaznamenána.

V této chvíli hraje nejdůležitější roli GPS jednotka a způsob pohledu na celý decentralizovaný měřicí řetězec, popsany na obr. 1. Navrhovaná metoda předpokládá, že GPS jednotka bude synchronizována tak, že její standardní časové razítko bude velmi přesné, a tudíž všechny měřicí

55

body MB1 až MB4 budou synchronizovány tak, že začátek každé sekundy bude začínat na všech měřicích bodech MB1 až MB4 ve stejný okamžik. K tomu slouží nejen časové razítko, které lze vyčíst z GPS, ale také speciální výstup GPS, který právě slouží k synchronizaci hodin digitálních obvodů, aby všechny začaly tikat stejně. Moderní stanice pak umožňují výstup synchronizačního signálu s periodou 1 s a také 100 ns. Tyto synchronizační pulzy umožní synchronizovat všechny měřicí body MB1 až MB4, respektive jejich digitální obvody tak, že budou kmitat ve fázi. Tato podmínka je nezbytná pro správnou realizaci matematického aparátu ve výpočetním centru VC. K tomu obr. 6, na kterém je patrná v levé části situace pro tři měřicí body MB1 až MB3 bez synchronizace GPS jednotkou a v pravé části situace, kdy GPS jednotka synchronizuje digitální zpracování dat.

V případě, že dojde k porušení dat mimo očekávanou harmonickou složku, je k časovému razítku ve formátu H:M:S, které dodává GPS, dodán čas od startu sekundy, který je měřen procesorem či hradlovým polem. Tento čas může být obecně v desetinách mikrosekund, výhodně počítán ze 100 ns pulzů synchronizačního výstupu GPS jednotky. Tato informace je zahrnuta do reportu, který tudíž obsahuje následující položky:

- Přesný čas detekce anomálie v měřených datech ve formátu H:M:S, kde číslo je počet nanosekund od začátku měřené sekundy.
- Fáze, na které k detekci došlo.
- Identifikační údaje měřicího bodu MB – jeho číslo, případně GPS souřadnice.

Tento report je pak odeslán do výpočetního centra VC ze všech měřicích bodů MB1 až MB4, které adekvátně zareagují na vzniklou anomálii, tj. poruchu na postižené fázi. K tomuto účelu je využita komunikační část mikrokontroléru či hradlového pole, která je schopna přes standardní rozhraní směřovat report do výpočetního centra VC. Zároveň může být tato událost uchována pro pozdější využití, typicky při výpadku komunikační sítě, k pozdějšímu přímému přístupu zaměstnanců k uloženým datům apod.

Přenos dat a jeho význam

Přenos dat je významný pouze z důvodu jejich dostupnosti pro zpracování. Účelem přenosu je využít drátovou či bezdrátovou komunikaci k tomu, aby byl report bez chyb doručen do výpočetního centra VC. Zvláště u bezdrátových technologií může dojít k určitému zpoždění; tato vlastnost ale nemá vliv na výpočet či jeho chybu. Pro správnou funkci stačí data doručit v nějakém přiměřeném čase (předpokládají se maximálně minuty).

Výpočetní centrum VC a jeho význam

Výpočetní centrum VC je pracoviště, kde dochází ke sběru dat z měřicích míst a aplikaci určité vybrané matematické metody, která slouží k odhadu/výpočtu místa, kde porucha mohla nastat. Těchto metod je obecně mnoho a nejznámější je metoda trilaterace či multilaterace využívaná pro šíření zmíněného signálu GPS, případně pro lokalizaci zařízení v prostoru. Je důležité zmínit, že se nepředpokládají trojdimenziální výpočty, neboť jednotlivé úseky netvoří prostorový problém, ale jednodimenzionální. Proto bude matematický aparát využitý k řešení popsán jednoduchou soustavou dvou rovnic a jejich aplikací pro nalezení poruchou postiženého místa.

Nejprve je potřeba popsat několik vstupních podmínek, které jsou pro tento výpočet potřeba:

1. Rychlost šíření vzruchu, který vzniká zemním spojením po vedení – zde se předpokládá, že rychlost šíření signálu je konstantní.

2. Pro realizaci výpočtů je třeba znát topologii rozmístění měřicích bodů MB a délku l vedení mezi nimi.
3. Pro realizaci výpočtu je třeba znát reporty alespoň od tří měřicích bodů MB.
4. Pro realizaci výpočtu se předpokládá, že rychlost šíření vzruchu je typicky rovna $1/3$ rychlosti světla.

Výpočetní centrum VC přijímá reporty z jednotlivých měřicích bodů MB. Měřicí body MB1 až MB4, ale mohou zasílat informace do více takových zařízení, a proto i výsledky výpočtů lze komparovat a potvrzovat jejich správnost. Vzhledem k předpokladu šíření signálu je možno v případě anomálií, jako jsou poruchy na elektrické síti získat sadu reportů z modelové sítě dle obr. 7. Tyto reporty mohou vypadat následovně:

- MB3, fáze U, čas H:M:S,250085
- MB12, fáze U, čas H:M:S,251087
- MB1, fáze U, čas H:M:S,250015
- MB13, fáze U, čas H:M:S,251027
- MB14, fáze U, čas H:M:S,251067
- MB2, fáze U, čas H:M:S,250035

Reporty přicházejí do výpočetního centra VC v pořadí, v jakém byly přijaty z komunikační sítě, což ale na výsledný výpočet nemá vliv.

Tato modelová síť byla rovněž simulována v aplikaci ATP Draw pro modelování elektrické sítě a na základě těchto modelů byl připraven daný matematický aparát.

Tato síť ukazuje dvě větve elektrického vedení, přičemž v horní větvi dochází k zemnímu spojení s impedancí 2000 R. Měřicí body MB mají vzdálenost kapacitních snímačů cca 5 m. Obr. 8 pak ukazuje tento model jako soustavu vedení a měřicích bodů MB1 až MB3.

Jak již bylo uvedeno, je známa topologie a délka vedení mezi měřicími body MB1 až MB3. Prvním důležitým úkolem je vyřazení nerelevantních reportů. Zkoumaná síť se skládá pouze ze tří jednotek MB1 až MB3, proto se reporty vyfiltrují a vznikne tedy:

- MB3, fáze U, čas H:M:S,250085
- MB1, fáze U, čas H:M:S,250015
- MB2, fáze U, čas H:M:S,250035

Následně se seřadí reporty dle absolutního času od doby, kdy se předpokládá vznik poruchy:

- MB1, fáze U, čas H:M:S,250015
- MB2, fáze U, čas H:M:S,250035
- MB3, fáze U, čas H:M:S,250085

Pak lze na výsledky z reportů aplikovat následující matematický aparát:

Pro výpočet se vychází z rovnic rychlosti

$$x_1 = v \cdot t_1$$

$$x_2 = v \cdot t_2$$

Kde x_1 a x_2 jsou vzdálenosti místa poruchy od měřicích bodů MB1 a MB2. Důvodem je nejmenší časové razítko zachycené právě těmito měřicími body MB1, MB2. Z těchto veličin jsou v tomto případě všechny neznámé, neboť uvedené časy t_1 a t_2 jsou časy relativní, přitom rychlost v může být různá, dle parametrů vedení. Jediným známým parametrem jsou délky l vedení mezi měřicími body MB1, MB2, takže se označí délka úseku mezi MB1 a MB2 jako S a aplikují se výše uvedené vzorce:

$$S = v \cdot t_1 + v \cdot t_2$$

Z absolutních časových razítek lze odvodit druhá rovnice

$$T_1 = T_0 + t_1$$

$$T_2 = T_0 + t_2$$

Kde T_0 je absolutní čas vzniku poruchy, T_1 a T_2 jsou známá časová razítka z měřicích bodů a t_1 a t_2 neznámé relativní časy. Z dvou výše uvedených rovnic lze vytvořit porovnáním jedinou

$$T_0 = t_1 - T_1$$

$$T_0 = t_2 - T_2$$

a to:

$$t_1 - T_1 = t_2 - T_2$$

Vznikne tedy dvojice rovnic

$$t_1 - T_1 = t_2 - T_2$$

$$S = v \cdot t_1 + v \cdot t_2$$

Respektive

$$t_1 - t_2 = T_1 - T_2$$

$$v \cdot t_1 + v \cdot t_2 = S$$

V tomto případě již jsou k dispozici tři neznámé a to t_1 , t_2 a v .

Neznámou rychlost ale lze efektivně získat díky třetímu měřicímu bodu MB3. Pokud se předpokládá konstantní rychlost šíření, pak čas průchodu mezi měřicími body MB2 a MB3 je dán jednoduchým rozdílem naměřených hodnot. Při znalosti délky vedení mezi MB2 a MB3 lze pak odvodit rychlost:

$$v = \frac{s_{MB2MB3}}{\Delta t}$$

$$v = \frac{s_{MB2MB3}}{T_3 - T_2}$$

Následně odtud vyplynou dvě rovnice o dvou neznámých, na které lze obecně aplikovat údaje z měřicích bodů, a dosazením nalezených relativních časů do původních vzorců nalézt přesně

místo, kde pravděpodobně došlo k zemnímu spojení. Obecné řešení lze tedy odvodit z obecných rovnic

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots = b_2$$

5

které je možno zapsat v maticovém tvaru

$$A \cdot x = b$$

10

a nalézt řešení

$$x = A^{-1} \cdot b$$

15

V tomto případě bude matice A vypadat následovně

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

a matice b

$$B = \begin{bmatrix} T_1 - T_2 \\ S/v \end{bmatrix}$$

20

Z toho matice časů

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix}$$

25

a prostou matematickou operací

$$x_1 = v \cdot t_1$$

$$x_2 = v \cdot t_2$$

30

vyplynou vzdálenosti místa poruchy od měřicích bodů MB1 a MB2 dle obr. 8.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob online lokalizace jednopólové poruchy vedení distribuční sítě, **vyznačující se tím**, že se na nejméně třech měřicích bodech (MB) rozmístěných na vedeních sítě měří napětí na každé fázi dvojicí senzorů vzdálených od sebe jednotky metrů a při vzniku poruchy se každým senzorem sejme pulz napětí vyvolaný poruchou kdekoli v síti, rozdíl napětí změřených dvojicí senzorů se po zesílení a korekci analogového signálu digitálně zpracuje a s časovým razítkem, GPS souřadnicí a informací, o kterou se jedná fázi, odešle do výpočetního centra (VC), kde na základě těchto dat z nejméně tří měřicích bodů (MB) a při zadání následujících okrajových podmínek:

- rychlosti šíření vzruchu po vedení, které se vypočítá na základě známé topologie sítě a dodaných časových razítek,
- topologie sítě včetně rozmístění měřicích bodů (MB) a délky (l) vedení mezi nimi se vypočítá vzdálenost místa poruchy od dvou nejbližších ležících měřicích bodů (MB).

2. Systém k provádění způsobu online lokalizace jednopólové poruchy vedení distribuční sítě podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že je tvořen alespoň třemi měřicími body (MB1, MB2, MB3) rozmístěnými na vedeních v síti a s nimi propojeným výpočetním centrem (VC), přičemž měřicí bod (MB) je tvořen dvojicí senzorů napětí na každé ze tří fází, z nichž každá dvojice je přes derivační článek (2) propojena s rozdílovým zesilovačem (1) napojeným na blok (4) digitálního zpracování dat opatřený GPS modulem a komunikační jednotkou pro komunikaci s výpočetním centrem (VC), přičemž rozestup senzorů v každé dvojici činí 1 až 10 m a přičemž výpočetní centrum (VC) je opatřeno výpočetním hardwarem se softwarem k digitálnímu zpracování dat přijatých z měřicích bodů (MB).

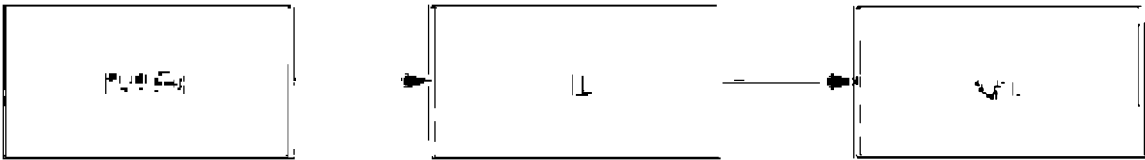
3. Systém podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že měřicí body (MB) jsou umístěny na stožárech (SE) elektrického vedení.

4. Systém podle nároku 2 nebo 3, **vyznačující se tím**, že senzory napětí jsou kapacitní snímače (U1, U2, V1, V2, W1, W2).

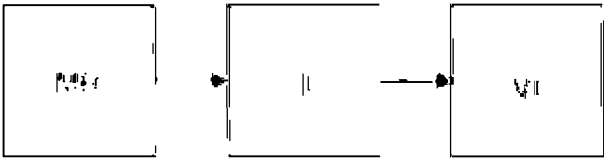
3 výkresy

Seznam vztahových značek:

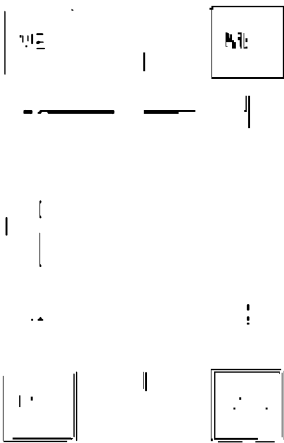
MB	měřicí bod
MB1 až MB4	měřicí body
L	přenosové linky
VC	výpočetní centrum
U1, U2, V1, V2, W1, W2	kapacitní snímače
l	vzdálenost sousedních měřicích bodů
x ₁ , x ₂	vzdálenosti místa poruchy od měřicích bodů



Obr. 1



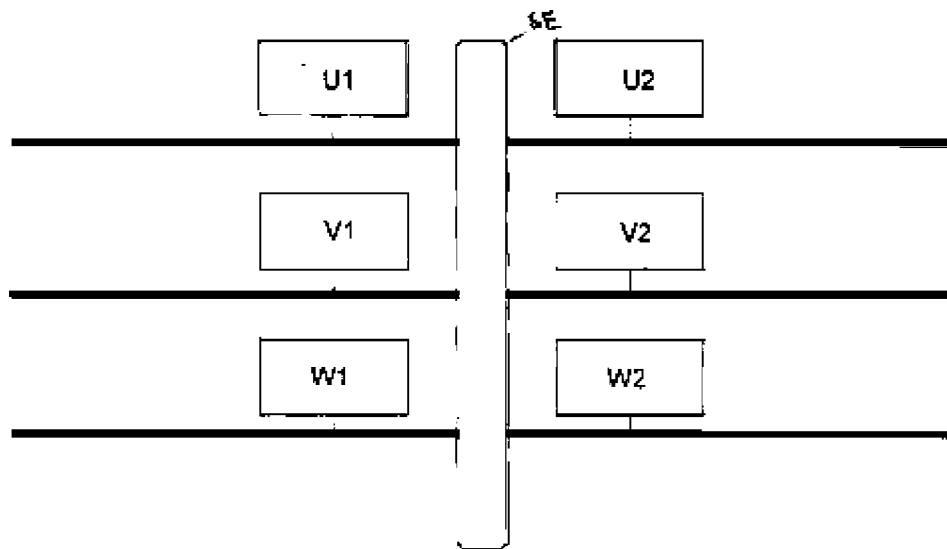
Obr. 2a



Obr. 2b



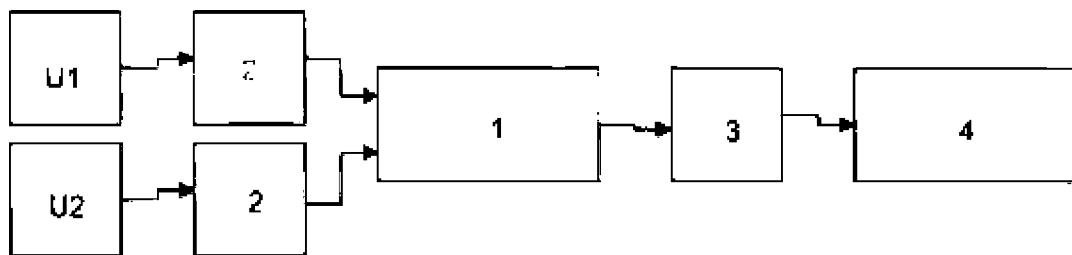
Obr. 2c



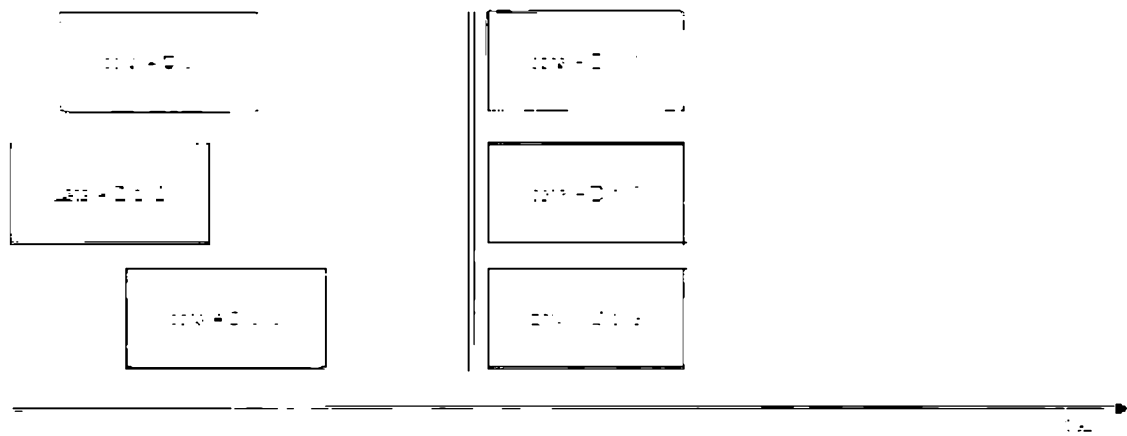
Obr. 3



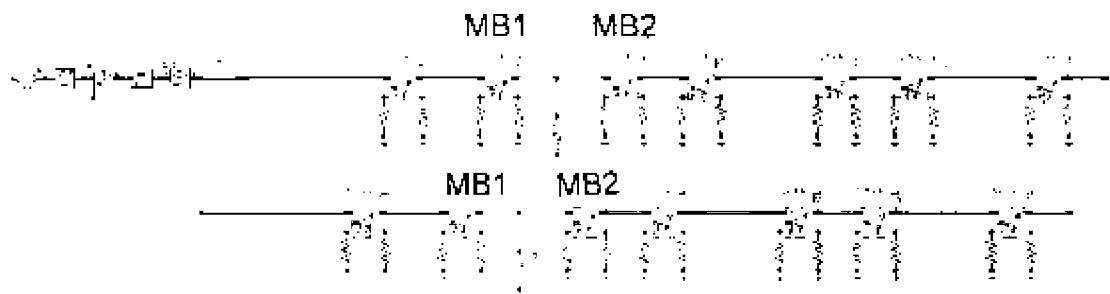
Obr. 4



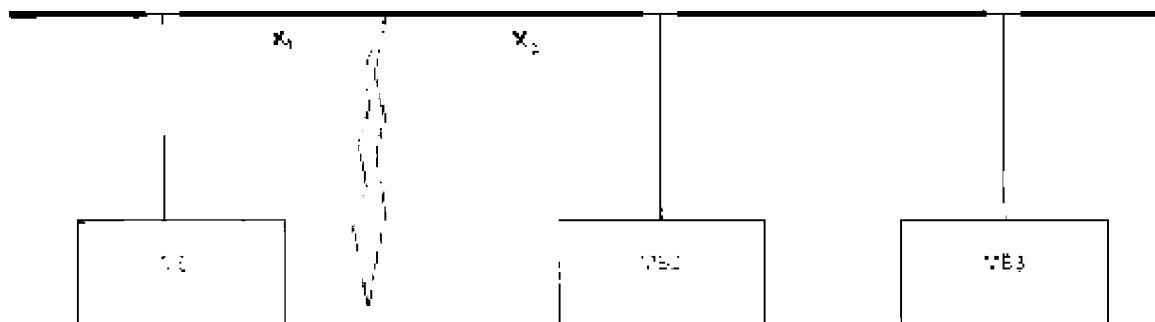
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8