Metódy na lokalizáciu porúch a trasovanie energetických káblov

Ing. Robert MADARÁSZ, Megger s.r.o., Bratislava

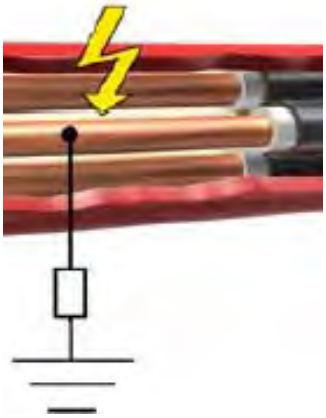
ÚVOD

Problematika lokalizácie porúch ná kábloch je pomerne komplexná vzhľadom na veľký počet rôznych typov káblov, ako aj rôznych druhov káblových porúch, ktoré vyžadujú špecifickú voľbu vhodných meracích metód a prístrojovej techniky. Je potrebné jasne rozlišovať medzi lokalizáciou porúch na telekomunikačných kábloch, nízkonapäťových kábloch a vysokonapäťových kábloch. Niektoré lokalizačné metódy (ako je reflektometrická metóda na predmeranie vzdialenosti miesta poruchy) sa používajú vo všetkých horeuvedených oblastiach, ale inak je metodika lokalizácie porúch v zavislosti od typu (konštrukcie) kábla a jeho napäťovej úrovne značne odlišná. Preto sa v tomto príspevku budeme ťažiskovo venovať lokalizácii porúch na NN-kábloch, ktorá sa dá pri dnešnom stave vývoja meracej techniky realizovať mobilnou, prenosnou technikou. Pre lokalizáciu porúch na VN-kabloch sú naproti tomu potrebné výkonnejšie metódy a zariadenia (tzv.rázové generátory), ktoré sa vzhľadom na ich rozmery a hmotnosť väčšinou pevne zabudovávajú do špecializovaných káblových meracích vozidiel. V ďalšom budeme zároveň vychádzať z predpokladu, že podiel káblov s papierovou izoláciou a oloveným tienením je dnes už v oblasti NN-sietí zanedbateľný a budeme sa preto sústrediť na meracie metódy aplikovateľné na NN-káble s plastovou izoláciou (typicky CYKY, AYKY 4-žilové káble bez tienenia).

1 TYPY KÁBLOVÝCH PORÚCH

Ak sa teda obmedzíme na oblasť 4-žilových NN-káblov bez tienenia, možeme sa stretnúť s nasledujúcimi typmi porúch, pričom väčšinou máme dočinenia s kombináciou niektorých týchto typov porúch:

1.1 Zemmné spojenie (zvod žila – zem)



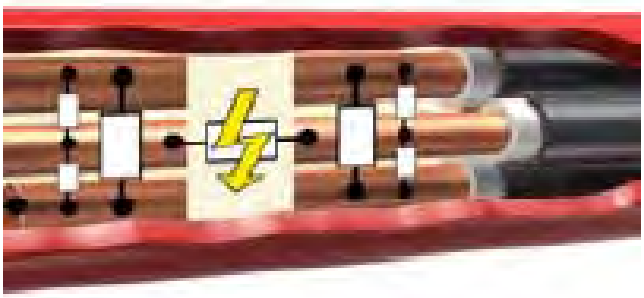
V mieste poruchy je poškodený vonkajší ochranný plášť, ako aj izolácia aspoň 1 žily a žila (alebo viaceré žily) majú voči zemi nevyhovujúci znížený izolačný stav. Prechodový odpor žily voči zemi sa môže pohybovať v širokom rozmedzí od jednotiek MΩ cez desiatky alebo jednotky kΩ až po stovky Ω. Prechodový odpor zemného spojenia je v konečnom dôsledku ovplyvnený aj odporom zeme, čiže rovnaká porucha môže pri suchom teréne

(napr. v lete) vykazovať relatívne vysoké prechodové odpory a pri vlhkom teréne (napr. po daždi) sa môže prechodový odpor zemného spojenia výrazne znížiť.

1.2 Zvod žila- žila

Štatisticky najčastejšou príčinou káblových porúch na NN-kábloch sú vonkajšie mechanické poškodenia prí výkopových a iných stavebných prácach. Vo väčšine prípadov teda v mieste poruchy dôjde ku zemnému spojeniu žily a často dôjde zároveň v rovnakom mieste aj ku zníženiu izolačného stavu medzi žilami. Prechodový odpor takéhoto medzižilového zvodu opäť môže vykazovať široký rozptyl hodnôt, od jednotiek MΩ, cez desiatky alebo jednotky kΩ, až po jednotky Ω, resp tvrdý skrat. Znížený izolačný stav (v extrémnom prípade skrat) medzi žilami, bez súčasného zemného spojenia v rovnakom mieste (teda vnútorná porucha v kábli bez vonkajšieho poškodenia plášťa a izolácie- ako je to znázornené na obr. k odseku 1.2.) je veľmi zriedkavo sa vyskytujúci typ poruchy. Ak k nemu dochádza, tak najčastejšie v káblových spojkách v dôsledku nekvalitnej montáže spojky.

1.3 Prerušenie žily



Podobne ako pri medzižilovom zvode, aj ku prerušeniu žily (alebo viacerých žíl) dochádza vo väčšine prípadov v dôsledku vonkajšieho mechanického poškodenia kábla pri výkopových prácach. Poškodenie kábla stavebnou mechanizáciou má väčšinou okrem prerušenia žily za dôsledok zároveň vznik medzižilového zvodu a zemného spojenia žily (alebo viacerých žíl) v mieste poruchy. Máme teda často dočinenia s kombináciou viacerých typov porúch, čo s výhodou využívame práve pri lokalizácii miesta poruchy. Prípady prerušenia žily bez súčasného poškodenia vonkajšieho plášťa a izolácie v mieste poruchy (ako je to znázornené na obr. k odseku 1.3.) sa vyskytujú veľmi zriedkavo..

1.4 Zatečenie kábla

Zatečenie kábla je špecifickým typom poruchy, pričom sa môže jednať o lokálne zatečenie (napr. mokrá spojka) alebo o celkové zatečenie celej káblovej dĺžky,

resp. celého čiastkového úseku. V posledných rokoch sa v dôsledku používania nekvalitných typov NN-káblov, ktoré od výroby nie sú pozdĺžne vodotesné (dutiny medzi žilami), hromadia prípady, kedy už po relatívne krátkom čase prevádzkovania kábla (napr. po 2 rokoch) tento začne vykazovať nevyhovujúce izolačné stavy medzi žilami (všetky kombinácie žíl medzi sebou majú typicky izolačné stavy v desiatkach alebo jednotách kΩ.) Kábel je schopný „natiahnuť" vlhkosť do seba aj na veľkú vzdialenosť a jediné protiopatrenie proti tomuto javu je zatesnenie káblových koncov ihneď po jeho montáži. Je potrebné si uvedomiť, že pri takomto celkovom zatečení kábla sa v skutočnosti už nejedná o lokálnu káblovú poruchu, ktorú je možné lokalizovať pomocou meracích metód popísaných v ďalšom a takýto stav je v skutočnosti nevratným znehodnotením izolačných vlastností kábla a jediným opatrením je jeho kompletná výmena. Pokiaľ sa jedná o lokálne zatečenie v dôsledku lokálneho poškodenia vonkajšieho plášťa (čiastkový úsek alebo mokrá spojka), lokalizácia takejto poruchy je síce značne zložitá, ale použitím vhodných metód je aj takáto porucha lokalizovateľná a lokálne odstrániteľná výmenou spojky alebo čiastkového káblového úseku.

2 METÓDY NA LOKALIZÁCIU KÁBLOVÝCH PORÚCH NA NN-KÁBLOCH

Jednotlivé metódy a meracie postupy sú v ďalšom uvedené v poradí, v akom sa v praxi aplikujú pri lokalizácii porúch na NN-kábloch. Dodržanie tejto postupnosti a metodiky zabezpečuje maximálnu efektivitu a spoľahlivosť lokalizácie.

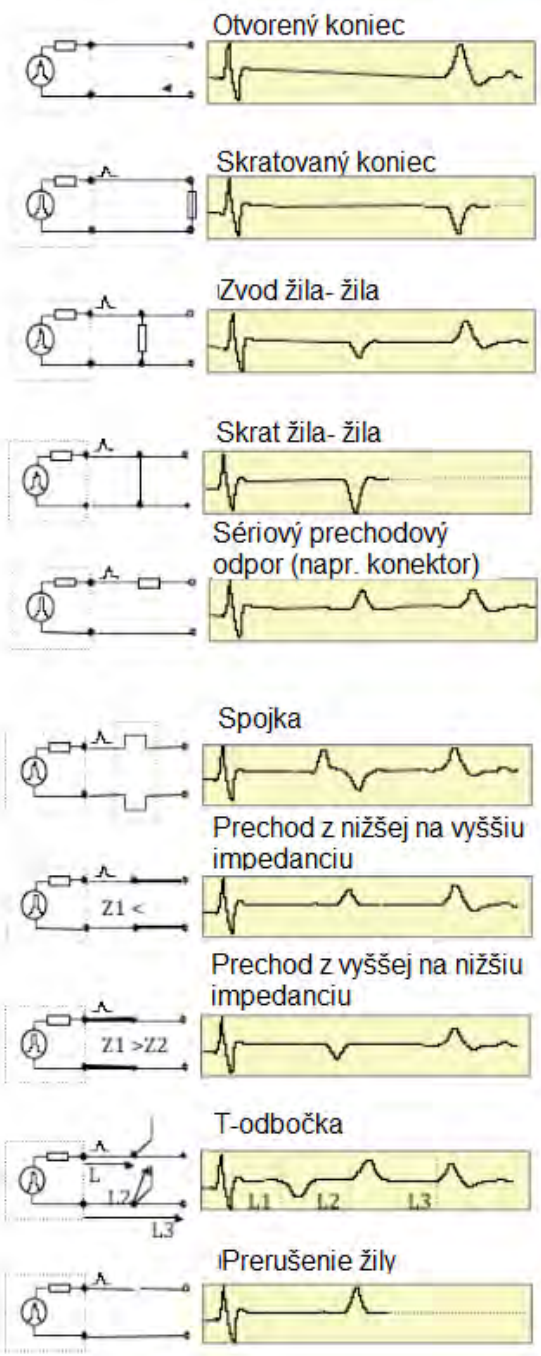
2.1 Meranie izolačného odporu

Prvým meraním po príchode na poruchový kábel by malo byť meranie izolačného stavu. K základnej výbave technika, ktorý vykonáva údržbu NN-káblových vedení patrí vhodný tester izolačného odporu, s meracím napätím 500V a s meracím rozsahom v MΩ, resp. GΩ a zároveň s meracím rozsahom v kΩ, resp. Ω na meranie nízkoohmových izolačných stavov. Veľmi často sa na meranie izolačného stavu kábla používajú nevhodné typy „Megmetov", ktoré nemajú kΩ rozsah a ktoré pri zníženom izolačnom stave napr. medzi žilami zobrazia hodnotu izolačného odporu ako „0 Ω" (teda totálny skrat) a v skutočnosti sa jedná o desiatky kΩ. Z hľadiska lokalizácie porúch a voľby vhodnej lokalizačnej metódy je kľúčové poznať skutočný prechodový odpor poruchy (teda či sa naozaj jedná o tvrdý skrat 0Ω alebo o znížený izolačný stav rádovo v kΩ).

Obrázok vľavo zobrazuje meranie izolačného odporu medzi žilami na kábli verejného osvetlenia.

Dôležité je najskôr odpojiť a odizolovať všetky žily vrátane nulového vodiča na oboch koncoch meraného kábla a následne premerať izolačné stavy všetkých žíl medzi sebou, ako aj žíl proti zemi a vytipovať kombináciu žíl s najhoršími izolačnými stavmi medzi sebou, resp. žilu s najhorším izolačným stavom proti zemi. Rozsah v jednotkách Ω je dôležitý na premeranie kontinuity žily, resp. na „prezvonenie“ kábla v záujme potvrdenia odpojenia správneho odľahlého konca kábla.

2.2 Reflektometrické meranie (TDR)



Reflektometrické meranie (alebo TDR = Time Domain Reflectometry) je kľúčovou metódou pri lokalizácii káblových porúch. Pre lokalizáciu na NN-kábloch je výhodné a pre väčšinu porúch postačujúce použiť kompaktné samostatné prenosné prístroje (vhodné napr. aj na lokalizáciu porúch na telekomunikačných párovaných alebo koaxiálnych kábloch). Pre lokalizáciu na VN-kábloch sú potrebné špeciálne typy reflektometrov, ktoré podporujú aj špeciálne meracie metódy na predmeranie vysokoohmových porúch v kombinácii s ďaľšími výkonovými zariadeniami, ako sú rázové generátory alebo skúšobné zdroje. Princíp reflektometra je analogický s princípom radaru- prístroj pripojený medzi 2 žily (alebo na tienených kábloch medzi žilu a tienenie) vyšle impulz do kábla. Tento impulz sa čiastočne alebo úplne (v závislosti od typu závady) odrazí od miesta impedančnej zmeny v kábli a na displeji sa zobrazí krivka (tzv. reflektogram). Zo zmeraného času od vyslania impulzu po prijatie reflexie je prístroj schopný vykalkulovať vzdialenosť miesta impedančnej zmeny (poruchy) na kábli, pričom užívateľ musí prístroju zadať tzv. polovičnú rýchlosť šírenia impulzu v kábli „v/2“. Rýchlosť šírenia je závislá od typu izolačného materiálu, pričom typická hodnota, s ktorou sa pracuje pri energetických kábloch je v/2 =80 m/µs. **Na obrázku vľavo sú znázornené typické vzorové reflektometrické krivky pre jednotlivé typy závad**, pričom paralelná porucha (zvod) sa prejavuje ako záporná reflexia a sériová porucha (zvýšený prechodový odpor alebo prerušenie žily, resp. koniec kábla) sa prejavuje ako kladná reflexia.

Z fyzikálneho princípu reflektometrickej metódy vyplýva, že zamerateľné sú len zvody medzi žilami (alebo medzi žilou a tienením), ktorých prechodový odpor je rádovo do 200Ω. Akonáhle je prechodový odpor zvodu nad touto hodnotou, činiteľ odrazu je príliš malý a čiastková reflexia z miesta poruchy nie je na krivke dostatočne rozpoznateľná. Čím je prechodový odpor paralelnej poruchy (zvodu) nižší, tým je amlitúda reflexie z miesta poruchy väčšia. V extrémnom prípade tvrdého skratu 0Ω nastáva totálny odraz (záporná reflexia) s vysokou amplitúdou z miesta skratu a za touto udalosťou už na krivke nie je viditeľný odraz z konca kábla alebo z prípadných ďaľších porúch.

Pri lokalizácii porúch na NN-kábloch využívame skutočnosť, že vo väčšine prípadov je v mieste poruchy kombinácia viacerých typov porúch- zvod medzi žilami využijeme na približné predmeranie vzdialenosti miesta poruchy reflektometrom a zemné spojenie (zvod žila – zem) využijeme na bodové upresnenie miesta poruchy metódou krokového napätia (viď odsek 2.5). Reflektometrické predmeranie vzdialenosti poruchy sa v praxi používa ako „prvé priblíženie“ pre zorientovanie sa z hľadiska približnej vzdialenosti poruchy, v záujme skrátenia času potrebného na následné bodové upresenie poruchy (odsek 2.5). Presnosť reflektometrického zamerania vzdialenosti poruchy, ale hlavne presnosť s akou sme schopní vyniesť zmeranú vzdialenosť do terénu, nie sú postačujúce na to, aby sa reflektometrické zameranie použilo ako jediná metóda a na základe nej sa zrealizoval výkop.

Ak nie je splnená podmienka hodnoty prechodové poruchu medzižilového zvodu do 200Ω, používajú sa v praxi tzv. prepaľovacie zdroje na zníženie prechodového odporu pod túto hranicu tak, aby bolo následne možné vzdialenosť zvodu predmerať reflektometrom. Zemné spojenie (zvod žila zem) nie je predmerateľné reflektometrickou metódou, keďže chýba spätná cesta pre odrazený impulz, ktorý je v takomto prípade odfiltrovaný zemou.

Aj na krátkych kábloch (napr. káble verejného osvetlenia) má predmeranie vzdialenosti miesta poruchy reflektometrom praktický význam a výrazne skracuje celkový čas potrebný na lokalizáciu poruchy. Práve na verejnom osvetlení sa napr. vyskytujú pomerne často prípady porúch, ktoré sú priamo pod stĺpom, čiže doslova meter od miesta merania. Vhodný reflektometer, ktorý má dostatočne úzke výstupné impulzy (ideálne 5ns a menej) a je tým pádom schopný merať aj na krátke vzdialenosti, nás na takúto blízku poruchu ihneď upozorní.

2.3 Prepaľovanie káblov

Praktické skúsenosti s lokalizáciou porúch na NN-kábloch ukazujú, že väčšina poruchových stavov vykazuje prechodové odpory medzižilových zvodov, ako aj zemných spojení v ohmickej oblasti desiatok, až stoviek kΩ. To znamená, že takéto medzižilové zvody nie sú predmerateľné reflektometrom. Preto sa používajú vhodné prenosné prepaľovacie zdroje (zdroje jednosmerného napätia, s výstupným napätím aspoň 5kV

a dostatočným výstupným prúdom), pomocou ktorých je možné znížiť prechodový odpor poruchy do oblasti pod 200Ω, v ktorej už je vzdialenosť miesta medzižilového zvodu predmerateľná reflektometrom. Je vhodné použiť prepaľovací zdroj, ktorý zároveň umožňuje aj impulzný (taktovaný) režim výstupného jednosmerného napätia. Tento režim sa s výhodou používa pri poslednej etape lokalizácie poruchy- pri bodovom upresnení pomocou metódy krokového napätia (viď odsek 2.5). Obrázok vľavo zobrazuje použitie prenosného prepaľovacieho zdroja na zníženie prechodového odporu medzižilového zvodu na kábli verejného osvetlenia.

2.4 Vytýčenie trasy káblového vedenia

Vytyčovanie trás podzemných káblových a potrubných vedení je samo o sebe každodennou činnosťou prevádzkovateľov inžinierskych sietí, ako aj servisných organizácií, vykonávajúcich údržbu týchto sietí. Presné vytýčenie podzemných vedení je základným opatrením na zabránenie ich poškodeniu pri výkopových prácach a iných stavebných činnostiach. V súvislosti s lokalizáciou porúch na kábloch je presná znalosť priebehu trasy nutnou pod-mienkou na presné lokalizovanie miesta poruchy. Napr. aj v oblasti verejného osvetlenia, kde by sme často predpokladali, že trasa kábla predstavuje rovnú spojnicu medzi dvoma stĺpmi verejného osvetlenia, prax je často celkom odlišná a káble bývajú často uložené v na prvý pohľad nelogických priebehoch trasy. Predmeranie vzdialenosti poruchy reflektometrom stráca význam, pokiaľ nepoznáme presný priebeh trasy a nie sme tým pádom schopní vyniesť zmeranú vzdialenosť správne do terénu. Na vytyčovanie podzemných vedení sa používajú lokátory pracujúce na princípe elektromagnetickej indukcie. Z generátora tónovej frekvencie (typicky frekvencie v rozsahu od niekoľkých stoviek Hz, do max. 100kHz, pričom najčastejšie sa používajú frekvencie okolo 8 až 10kHz a výkony do 10W) prive-dieme signál na kábel, ktorého trasu chceme určiť. Ak je kábel v beznapäťovom stave, pripájame sa generátorom priamo galvanicky na žilu proti zemi, pri vytyčovaní káblov za prevádzky sa alternatívne používajú tzv. vysielacie kliešte, ktorými sa obopne kábel v mieste napojenia a induktívne sa privedie trasovací signál na

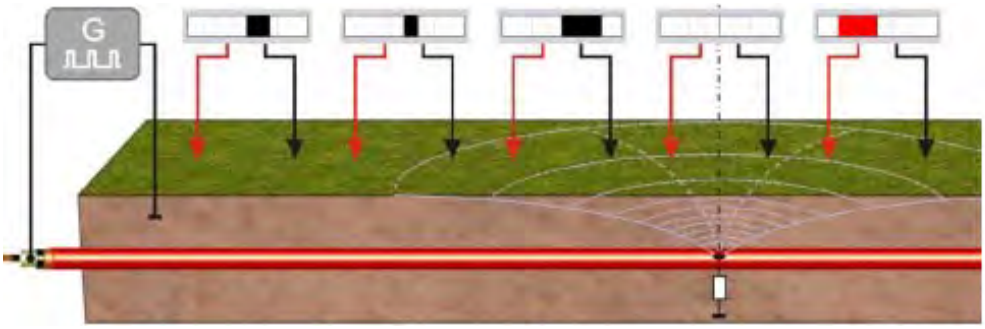
vyhľadávané vedenie (tento spôsob napojenia je znázornený na hornom obr. k odseku 2.4). Samotný lokátor (prijímač) prijíma magnetické pole okolo trasovaného vedenia a je schopný určiť polohu, ako aj hĺbku uloženia vedenia (dolný obrázok k odseku 2.4).

Káble pod napätím je možné alternatívne detekovať tzv. pasívnym vyhľadávanim, kedy do kábla nepúšťame trasovací signál z generátora, ale prijímač detekuje 50Hz pole v okolí živého kábla. Takáto pasívna lokalizácia má ovšem len indikatívny charakter a nemôže z hľadiska presnosti a spoľahlivosti nahradiť aktívne vytýčenie v kombinácii s generátorom.

2.5 Bodové upresnenie miesta poruchy metódou krokového napätia

Ako bolo uvedené v predchádzajúcich odstavcoch, štatisticky prevažná väčšina porúch na NN-kábloch je spôsobená vonkajším poškodením a teda v mieste poruchy dochádza ku zemnému spojeniu žily (alebo viacerých žíl) proti zemi. Najvýkonnejšou a najpresnejšou metódou na bodovú lokalizáciu zemných spojení je metóda krokového napätia. Do žily, ktorá má zemné spojenie, púšťame jednosmerné pulzné napätie proti zemi (ako zdroj sa používajú väčšinou prenosné prepaľovacie zdroje, ktoré sa zároveň používajú na zníženie prechodového odporu poruchy- viď odsek 2.3). V mieste poruchy vzniká tzv. napäťový lievik a pomocou špeciálneho prijímača krokového napätia so snímacími sondami je možné detekovať krokové napätie, pričom smer pravidelných výchyliek galvanomera prijímača nás navádza na miesto poruchy (viď obrázok na nasledujúcej strane).

Táto metóda má vysokú efektivitu aj pri poruchách, ktoré majú ešte relatívne vysoké prechodové odpory medzi žilou a zemou a umožňuje bodovo lokalizovať miesto poruchy v teréne s presnosťou na niekoľko centimetrov. Aj v prípade sťažených podmienok v podobe spevnených povrchov je vďaka vysokej citlivosti tejto metódy možné detekovať korokové napätie (detekcia sa môže vykonávať aj paralelne s trasou kábla, snímacie sondy nemusíme zapichávať presne nad trasou).



Na obrázku hore je znázornený princíp lokalizácie zemného spojenia metódou krokového napätia, pričom zapojenie jednosmerného pulzného zdroja znázorňuje pripojenie na tienenie VN-kábla proti zemi, čiže tu sa jedná o tzv. plášťovú poruchu VN-kábla (poškodenie vonkajšieho plášťa a zvod tienenia voči zemi), ktorá sa lokalizuje rovnakým spôsobom ako zemné spojenie žila- zem na NN-kábloch.

Za predpokladu, že v mieste poruchy bol okrem zemného spojenia aj medzižilový zvod a boli splnené podmienky na predmeranie vzdialenosti tohto zvodu reflektometrom (viď odsek 2.2), vynesieme po zameraní vzdialenosti po poruchu a vytýčení trasy (odsek 2.4) zmeranú vzdialenosť čo najpresnejšie do terénu. Tým pádom už máme stanovené približné miesto poruchy a nemusíme pri finálnom bodovom upresnení metódou krokového napätia prechádzať naslepo celú trasu, ale bodové upresnenie miesta poruchy vykonáme len v okolí vyneseného približného predmeraného miesta poruchy, čo výrazne skráti čas potrebný na lokalizáciu. Predmeranie reflektometrom má o to väčší význam, o čo väčšia je dĺžka kábla.

ZÁVER

Metodika a postupy uvedené v tomto príspevku vychádzajú z praktických skúseností v oblasti údržby NN-káblov a predstavujú najefektívnejší spôsob lokalizácie prevádzkových káblových porúch. Napriek tomu, že časť metód je univerzálne použiteľná na všetkých typoch káblov (napr. reflektometrická metóda), lokalizácia porúch na telekomunikačných párovaných kábloch, resp. vysokonapäťových kábloch má v porovnaní s popísanou metodikou svoje špecifiká a vyžaduje z veľkej miery použitie iných postupov, metód a meracej techniky.

Ing.Róbert Madarász
robert.madarasz@megger.com
+421 903 458 168

Literatúra

[1] Fault location on power cables, firemná literatúra Megger

[2] Time Domain Reflectometers- the physical basis, Peter Herpertz, Electrical Tester, apríl 2014