



Lokalizace poruch kabelů

v NN, SN a VN podzemních kabelových sítích

Praktické zkušenosti

Autor: Tobias Neier, Ing., MBA
Verze: 2.0, 01/2013

Obsah

1	Úvod	3
2	Typy kabelů a jejich charakteristiky	3
3	Poruchy kabelů	7
4	Postup lokalizace poruchy kabelu	7
4.1	Analýza kabelu a zkouška izolace	8
4.2	Typy poruch kabelů	9
4.3	Přípojky VN a SN kabelů	10
4.4	Kabelové přípojky v NN kabelových sítích	13
4.5	Podmínky uzemnění	14
4.5.1	Normální podmínky uzemnění	14
4.5.2	Podmínky uzemnění s vysokým zemnicím odporem	15
5	Předběžná lokalizace poruchy kabelu	16
5.1	Přehled	16
5.2	Impulsně-odrazová metoda (TDR- impulsní reflektometrie)	17
5.3	Metoda několikanásobného impulsu (SIM/MIM)	19
5.4	Rázová-proudová metoda (ICM)	25
5.5	Dokmitávací metoda	28
5.6	Diferenční rázová-proudová metoda / diferenční dokmitávací metoda	30
5.7	Můstková metoda	33
5.7.1	Princip Wheatstoneova obvodu	34
5.7.2	Měřicí obvod podle Murraye	34
5.7.3	Měřicí obvod podle Glasera	37
5.8	Propalovací metoda	39
5.9	Systémy k lokalizaci poruch kabelů	39
5.9.1	Systém k lokalizaci poruch nízkonapěťových sítí	39
5.9.2	Systém k lokalizaci poruch středněnapěťových sítí	40
5.9.3	Systémy k lokalizaci poruch středněnapěťových sítí	40
6	Zaměřování kabelové trasy	42
6.1	Připojení audiofrekvenčního signálu	42
6.2	Detekce signálu	43
6.3	Volba zvukové frekvence	45
7	Zaměření poruchy kabelu	46
7.1	Akustická lokalizace kabelu	46
7.1.1	Akustická lokalizace kabelu v přímo uložených kabelech	46
7.1.2	Přesné zaměření poruch kabelů uložených v trubkách	47
7.2	Zaměření nízkohmových závad kabelů	49
7.2.1	Metoda krokového napětí	50
7.2.2	Zkrutová metoda	51
8	Identifikace kabelu	53
9	Praktické příklady lokalizace poruch kabelů	56
9.1	Lokalizace poruch VN kabelů s křížovým pospojováním spojů	56
9.2	Zkušenosti s TDR při křížovém pospojování	58
9.3	Lokalizace poruch kabelů v systémech osvětlení letišť	61
9.4	Lokalizace poruch vysokonapěťových kabelů, např. 115 kV	64

Lokalizace poruch kabelů v NN, SN a VN podzemních kabelových sítích

1 Úvod

Napájecí sítě se neustále rozrůstají a jejich spolehlivost nabývá na důležitosti více než kdy dříve. Vzhledem ke své složitosti obsahuje síť množství komponent, jejichž selhání může způsobit přerušení dodávky energie pro koncového uživatele.

Po mnoho desetiletí byly ve většině nízkonapěťových a středněnapěťových rozvodných sítí v celém světě používány podzemní kabely. V posledních letech došlo také k rozvoji kabelových vysokonapěťových sítí. Aby se snížila citlivost rozvodných sítí vůči okolním podmínkám pod zemí, používají se stále více vysokonapěťové kabely. Na tyto kabely nemají vliv povětrnostní podmínky, hustý déšť, bouřky, sníh, námraza ani znečištění ovzduší. Ačkoli se technologie používané v podnicích na výrobu kabelů neustále zlepšují, může za určitých podmínek dojít za provozu nebo během zkoušky k poruše kabelů.

Kabely se používají více než 80 let. Počet různých provedení i množství typů kabelů a jejich příslušenství používaného v kabelových sítích je obrovské. Schopnost odhalit nejrůznější druhy poruch s velmi rozdílnými charakteristikami poruchy klade nároky na vhodné měřicí zařízení i na dovednosti pracovníků. Jejich správnou kombinací lze snížit na minimum nákladnou dobu prostoje při poruše kabelu.

2 Typy kabelů a jejich charakteristiky

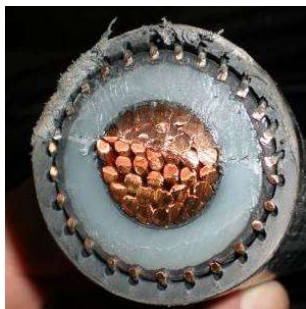
Podle typu lze kabely obecně rozdělit na nízko-, středně- a vysokonapěťové. Nejběžnější provedení středně- a vysokonapěťových kabelů jsou zobrazena níže. Podle druhu kabelu jsou kladeny různé požadavky na zkoušky kabelů, lokalizaci jejich poruch i strategii jejich údržby.

Pro nižší rozsahy napětí se používaly třívodičové kabely. V posledních letech se objevuje tendence k posunu směrem k jednožilovým soustavám, které jsou cenově příznivější, mají menší hmotnost i nižší náklady na opravy. Navíc se stále méně používají kabely napuštěné nebo naplněné olejem, jelikož nelze zaručit jejich stálou nezávadnost vůči životnímu prostředí. Zejména v průmyslových zemích byly tyto kabely nahrazeny a již se neinstalují. Tyto kabely mají navíc vysoké nároky na údržbu, protože nainstalované rozvody s olejovou izolací dosahují životnosti 50 let i více.

V současnosti se používají především kabely s XLPE izolací. Díky vylepšenému materiálu XLPE izolace i modernímu provedení kabelů je možné vyrábět kabely i pro zvlášť vysokou úroveň napětí.



Obr.. 2.1; Jednožilové, středněnapěťové kabely s izolací z XLPE, 6kV až 36kV



Obr. 2.2: 1žilový XLPE, 15kV



1žilový XLPE 115kV



3žilový XLPE 11kV

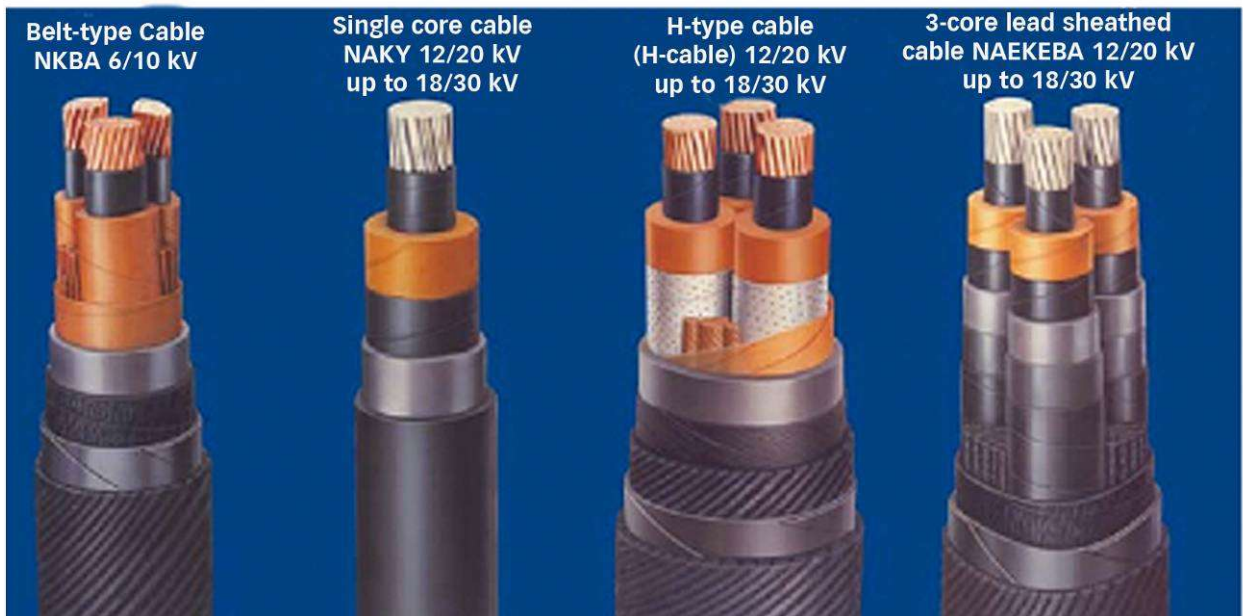
Vícežilové kabely z EPR pryže se používají u pružných instalací pro pohyblivé stroje.



Obr. 2.3: 3žilový EPR, včetně datové linky, radiální typ



3žilový EPR, plochý typ



Obr. 2.4: Středněnapěťové kabely s papírovou izolací a olověným stíněním od 6kV do 30kV



Obr. 2.5; Kabel na bubnu, 115kV, jednožilový

Všechny druhy nízko-, středně- a vysokonapěťových kabelů se dodávají a skladují na kabelových bubnech. Maximální dodávaná délka kabelu je dána zejména průměrem (jedno- nebo třížilového kabelu) a úrovní napětí kabelu.

Přehled rychlostí impulsu $v/2$ pro různé typy kabelů:

Typ kabelu	Poznámka	Průměrná rychlost šíření $v/2$ [m/μs]
PILC	Impregnovaný papír Suchý papír	75 - 85 108 – 132
XLPE		78 – 87
PE		Cca 100
PVC		76 – 87
EPR		68 – 83

Obr. 2.6. Rychlost šíření $v/2$ u různých typů kabelů

3 Poruchy kabelů

Poruchu kabelu lze definovat jako jakoukoli závadu, porušení, zeslabení nebo nehomogenitu, která má vliv na výkon kabelu. Jelikož je každá porucha podzemního kabelu jiná, závisí úspěšnost její lokalizace do značné míry na praktických aspektech a na zkušenosti pracovníka.

Aby toho bylo možné dosáhnout, je třeba mít k dispozici pracovníky zaškolené pro úspěšné zkoušení kabelů a pro omezování jejich poruchovosti. Vzhledem k vývoji propracovaných technologií v oblasti zkoušení a diagnostiky vysokého napětí je kromě nejrůznějších metod lokalizace poruch silových kabelů naprosto nezbytné zaměstnat kvalifikované a zkušené techniky a servisní pracovníky.

Zaškolení pracovníci musejí být navíc řádně obeznámeni se základy konstrukce, provozu i údržby silových kabelů.

Účelem tohoto dokumentu je tudíž poskytnout podporu jako doplněk k uživatelským příručkám nejrůznějších zařízení, týkající se všech hledisek lokalizace poruch, aby tak bylo možné vytvořit referenční základ, který by mohl být užitečný pro pracovníky obsluhy i servisní techniky. Použité technologie i sdílené zkušenosti vycházejí z odborných znalostí společnosti BAUR získaných během více než 60 let.

4 Postup lokalizace poruchy kabelu

Samotnou lokalizaci poruchy kabelu je třeba zvážit jako postup zahrnující následující kroky, nikoli pouze jako jediný krok.

- Indikace poruchy
- Odpojení a uzemnění
- Analýza poruchy a zkouška izolace
- Předběžná lokalizace poruchy kabelu
- Zaměření kabelové trasy
- Přesná lokalizace poruchy kabelu (zaměření)
- Identifikace kabelu
- Označení a oprava kabelu
- Zkouška a diagnostika kabelu
- Zapnutí napájení



Obr. 4.1; Uzemnění všech fází



Příslušnou fázi vadného kabelu je třeba odpojit a uzemnit v souladu s místními normami a bezpečnostními předpisy.

4.1 Analýza kabelu a zkouška izolace

Z obecného hlediska je velmi užitečné začít práci shromážděním všech dostupných údajů o kabelové síti i samotném kabelu. Charakteristiky ovlivňující postup lokalizace poruchy kabelu lze shrnout následovně:

- Typ kabelu ... jaký je druh pláště kabelu?
 - Žíly se samostatným opláštěním v 3žilovém kabelu
 - Je možný výskyt poruchy žíly?
- **Typ izolačního materiálu** ... PE, XLPE, EPR, PVC nebo PILC; rozdílná **impulsní rychlost v/2**
- **Délka zkoušeného kabelu** ... zkontrolujte, zda není ke vzdálenému konci připojen navazující kabelový úsek!
- Obsahuje síť spoje **T-odboček**? Znáte jejich umístění i jednotlivé délky?
- **Jakým způsobem je kabel uložen?** Zakopán přímo, uložen v trubkách s revizními otvory, uložen v uzavřených žlabech – jaká je konstrukce žlabů? Je kabel uložen v lávkách, takže nemusí být v přímém styku se zemí?

Všechny tyto otázky je třeba zodpovědět ještě před zahájením postupu lokalizace poruchy kabelu. Při vysvětlování jednotlivých aplikačních metod budou zmiňovány vlivy z těchto hledisek.

Analýza kabelu musí zahrnovat

- všechny hodnoty odporu (L1/N, L2/N, L3/N, L1/L2, L2/L3, L1/L3)
- všechny odpory vedení / prověření kontinuity

Jedná-li se o vysokohmovou nebo přerušovanou závadu, je třeba v příštím kroku aplikovat stejnosměrné napětí a určit, při jakém napětí se poruchový stav mění. U vysokohmových závad se například může při určité hodnotě napětí zvýšit vodivost, u přerušované závady se vyskytuje průrazné napětí, kdy dochází k průrazu ve zbývající izolační mezeře. Toto **průrazné napětí** je třeba zaznamenat, jelikož bude potřebné jako minimální hodnota napětí při následujícím postupu lokalizace poruchy, kdy bude použit rázový generátor, který vyvolá průraz v místě poruchy, a to jak pro předběžnou lokalizaci pomocí SIM/MIM, ICM, dokmitávání, nebo ke konečnému přesnému zaměření poruchy pomocí akustické metody.

Poruchy lze obecně rozdělit na nízkoohmové a vysokohmové. Jak je vidět níže, leží rozlišovací bod přibližně mezi 100 ad 200 Ohm. Podrobné vysvětlení příčiny lze najít v literatuře o reflektometrii. Přibližně na této hodnotě se negativní odraz mění na impedanční charakteristiku, která nevyvolává další odraz a TDR impuls prochází bez výrazného odrazu.

4.2 Typy poruch kabelů

1. Porucha mezi žilou a žilou nebo žilou a pláštěm:

- Nízkoohmové poruchy ($R < 100 - 200 \Omega$)
 - zkrat
- Vysokoohmové poruchy ($R > 100 - 200 \Omega$)
 - Přerušované poruchy (průraz nebo jiskra)
 - Přerušování (přetržení kabelu)

2. Poruchy vnějšího ochranného pláště (PVC, PE):

- Poruchy pláště kabelu

K většině poruch kabelů dochází mezi jejich žilou a pláštěm. Přerušování žíly může být navíc velmi často způsobeno rozpojením spoje nebo vypařením kabelových úseků. Ke stanovení, zda k takovéto poruše došlo, je třeba provést **zkoušku smyčkového odporu**. Spojitost lze obecně měřit pomocí jednoduchého multimetru. Nejjednodušším způsobem, jak tuto zkoušku provést, je nechat jistič na vzdáleném konci uzemněný. Odpor vedení může vzrůstat v důsledku koroze kabelového pláště. To je již často signalizováno případnými částečnými odrazy ve výsledcích TDR. Jako přibližné vodítko lze za normální stav považovat odpor vedení **0,7 Ohm/km**.

V závislosti na charakteristice poruchy musí pracovník zvolit vhodnou metodu předběžné lokalizace i přesného zaměření poruchy kabelu.

Příklad výpočtu: 3x 240/35 Al /Cu
 R_L ... smyčkový odpor ~ 0,7 Ohm/km

$$R_L = \frac{\rho_C * l}{A_C} + \frac{\rho_s * l}{A_s}$$

ρ_C ... měrný odpor žíly: Al ... 0,0178 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$
 ρ_s ... měrný odpor pláště: Cu ... 0,028 $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$
 A_C ... průřez vodiče: 240 mm^2
 A_s ... průřez pláště: 35 mm^2

Obr. 4.2; Výpočet smyčkového odporu

4.3 Přípojky VN a SN kabelů

Připojení ke koncovkám namontovaným na sloupech:

Při každém připojení ke koncovkám na sloupech vezměte do úvahy následující:

- koncovky musí být **očištěné**;
- provozní a ochranné uzemnění je nutno připojit ke **společnému uzemňovacímu bodu** na sloupu!



Obr. 4.3: Připojení ke kabelovým koncovkám na sloupech

Připojení k uzavřeným rozvodnám / skříňovým stanicím

Pro různé typy rozveden je třeba použít různé adaptéry. Dbejte na to, aby byly použité adaptéry v dobrém stavu a hodily se k daným přípojnicím / koncovkám.



Dbejte na to, aby byla všechna sousední vedení v bezpečné vzdálenosti a byly rozmístěny vhodné bezpečnostní zábrany a značky. Dodržujte místní bezpečnostní pokyny.



Obr. 4.4: Připojení k uzavřeným rozvodnám

Jednofázové připojení:



Během každé zkoušky je třeba uzemnit obě nepřipojené žíly.



Obr. 4.5: Jednofázové připojení, uzemnění nepoužitých fází

Třífázové připojení:



Při použití třífázového systému k lokalizaci poruch kabelů je třeba zapojit všechny tři žíly.



Obr. 4.6: Třífázové připojení, společný uzemňovací bod se svorkami ochranného a provozního uzemnění

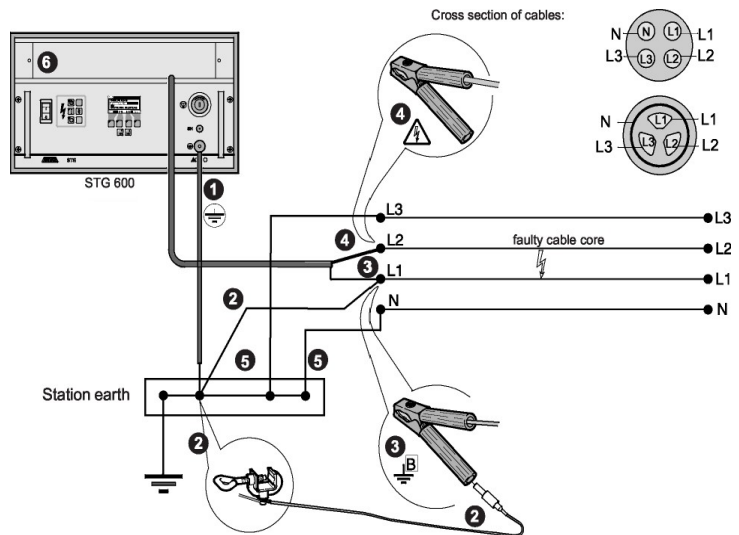
Připojení provozního a ochranného uzemnění:



Ochranné / bezpečnostní uzemnění (průhledné nebo žlutozelené) i provozní uzemnění (černé) **musí být připojena ke společné uzemňovací liště!** Tato uzemňovací lišta musí být vždy z **čistého kovu**. Před připojením svorek odstraňte veškeré nátěry a korozi!

4.4 Kabelové přípojky v NN kabelových sítích

V rozvedech nízkého napětí se zařízení k lokalizaci poruchy ve většině případů připojuje k poškozené žíle, u které se předpokládá průraz do zemního vedení. Přípojka k síťovému přívodu se naproti tomu provádí mezi jednou nepoškozenou žílou a uzemněním. V důsledku toho se může potenciál provozního uzemnění (OE) zvýšit na vyšší hodnotu, než je obvyklé. V závislosti na tomto zvýšení potenciálu se rovněž zvýší potenciál ochranného uzemnění (SE). V důsledku tohoto zvýšení potenciálu dojde k nárůstu rozdílu potenciálů, a tím i ke zvýšení napětí mezi nulovým vodičem (připojeným k OE) a fází, což může mít škodlivý účinek na napájecí přívod zařízení.

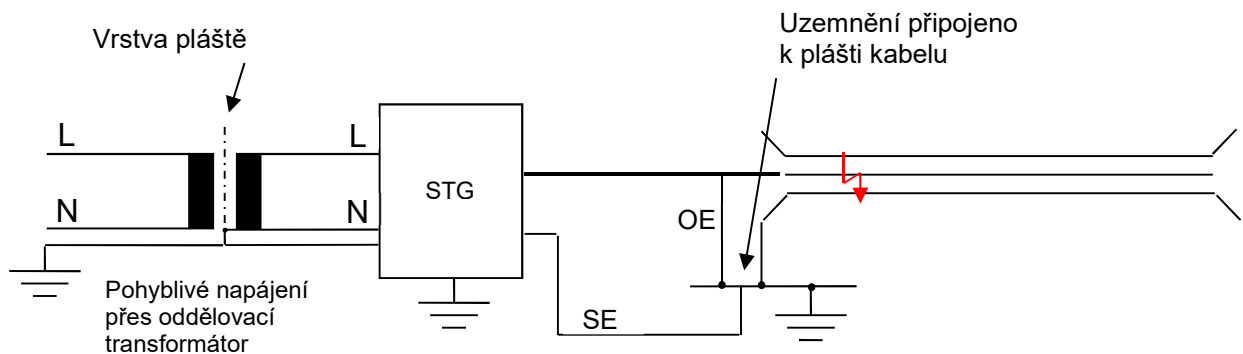


Obr. 4.7; Schéma zapojení NN sítě

Aby nedošlo k poškození zařízení, je třeba použít oddělovací transformátor.



Při použití oddělovacího transformátoru bude potenciál napájecího přívodu růst současně s potenciálem provozního uzemnění (OE). Lze jej považovat za pohyblivý napájecí přívod. Tím je zabráněno vzniku přepětí mezi zemnicím potenciálem a napájecím přívodem. Oddělovací transformátor je rovněž třeba použít ve stanicích se špatným stavem uzemnění. Během každého zvýšení potenciálu způsobeného špatným stavem uzemnění zůstane napájecí systém stabilní.



Obr. 4.8; Připojení síťového přívodu pomocí oddělovacího transformátoru

4.5 Podmínky uzemnění

4.5.1 Normální podmínky uzemnění

Všechny vysokonapěťové přístroje a systémy jsou navrženy tak, aby je bylo možné používat v terénu. Při zprovoznění vysokonapěťových přístrojů však hraje nejdůležitější roli uzemnění. Jako normální podmínka uzemnění je stanoven měrný zemní odpor do 3,3 Ohm. Za těchto podmínek nejsou vyžadována žádná dodatečná bezpečnostní opatření pro obsluhu a zařízení.

Pro zvýšení bezpečnosti a prevenci poškození zařízení jsou doporučeny následující dodatečné prvky.

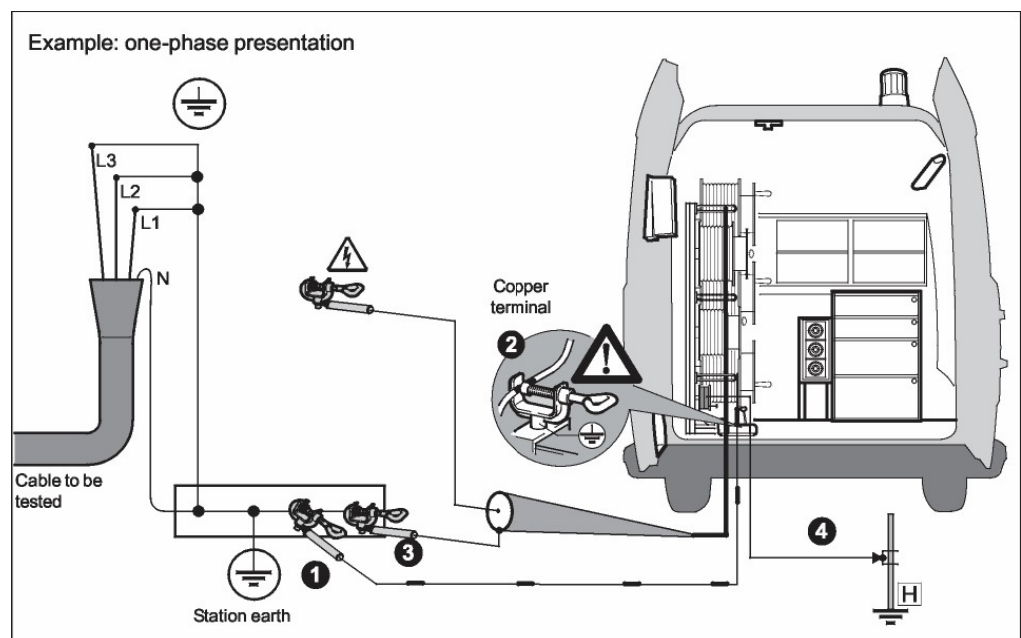
- **Oddělovací transformátor**

- **Kontrolní systém s uzemňovací smyčkou (používaný v měřicích kabelových vozech)**

Ovládací systém s uzemňovací smyčkou slouží ke kontrole spojení mezi ochranným a provozním uzemněním v rozvodně. Tím je zajištěno řádné připojení svorek ochranného a provozního uzemnění.

- **Pomocný kontrolní systém uzemnění (používaný v měřicích kabelových vozech)**

Pomocný systém k monitorování uzemnění slouží ke sledování rozdílu potenciálu mezi uzemněním ve zkušebním voze a potenciálu zemnicí přípojnice rozvodny. Kromě toho je monitorováno spojení vedení ochranného uzemnění a uzemnění stanice.

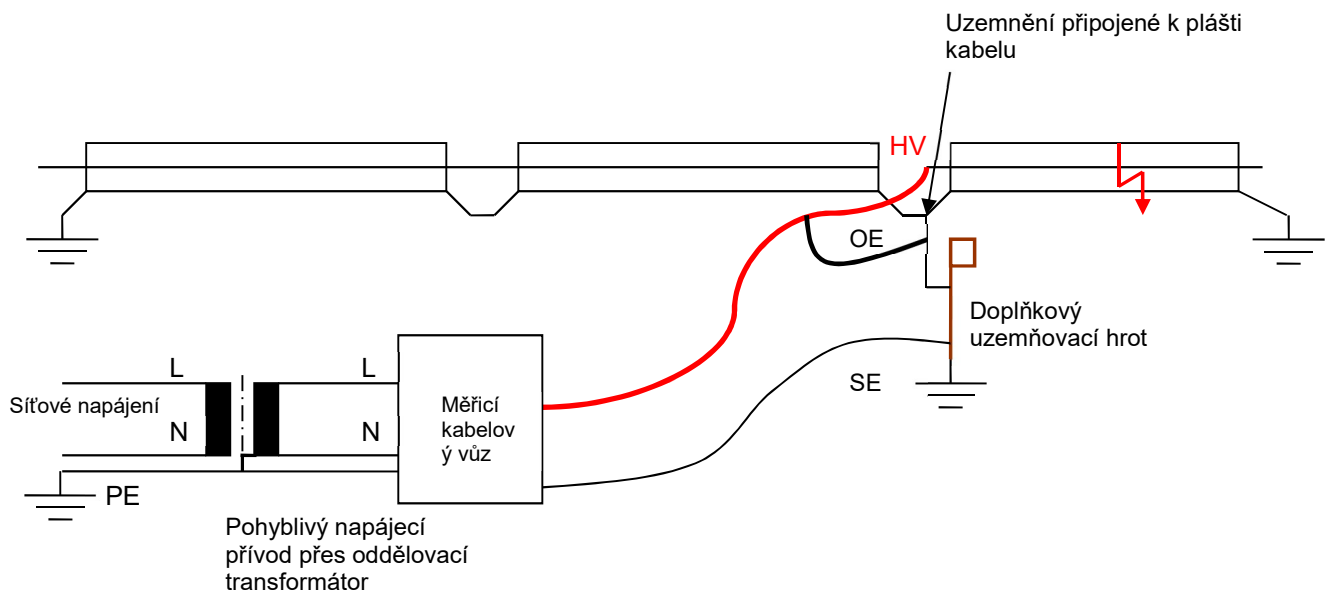


Obr. 4.9; Připojení systému k lokalizaci poruch kabelů, včetně kontroly pomocí uzemňovací smyčky a pomocného systému k monitorování kabelů

4.5.2 Podmínky uzemnění s vysokým zemnicím odporem

Občas může být potřebné připojit systém k lokalizaci poruch kabelů v terénu na místě, kde není k dispozici řádné uzemnění stanice. Za okolností, kdy je zemnicí odpor uzemňovacího systému vyšší než 4 Ohm, je velmi důležité připojit svorku ochranného uzemnění (SE) s provozním uzemněním (OE) k uzemňovacímu plášti zkoušeného kabelu. V blízkosti připojovacího místa je navíc třeba nainstalovat uzemňovací hrot. V podmínkách s velmi suchým pískem je nutno použít uzemňovací hrot dostatečné délky, aby bylo dosaženo vlhké půdy.

Použitím **oddělovacího transformátoru** lze vytvořit **pohyblivý napájecí systém**. Tím lze zabránit přepětí mezi potenciálem uzemnění a díly napájecího přívodu.



Obr. 4.10: Napájecí přívod pro systém k lokalizaci poruch kabelů s oddělovacím transformátorem; připojení v místech s vysokým zemním odporem

5 Předběžná lokalizace poruchy kabelu

5.1 Přehled

Nízkonapěťová metoda

- Impulsně-odrazová metoda TDR (impulsní reflektometrie) pro:

- nízkoohmové závady
- určení délky kabelu
- lokalizaci přerušení kabelu
- detekci spojů podél kabelu

Vysokonapěťové metody

- Několikanásobná impulsní metoda SIM/MIM
- Rázová-proudová metoda ICM
- Dokmitávací metoda
 - vysokoohmové poruchy
 - poruchy s průrazem / přerušením

Můstková metoda

- nízko- a vysokoohmové závady kabelů
- nízko- a vysokoohmové závady pláštěů kabelů
- závady mezi žilami nestíněných kabelů
- závady řídicích kabelů a signálních vedení
- závady uzemnění nestíněných žil

Metoda	Charakteristiky poruchy
Impulsně-odrazová metoda TDR	nízkoohmové závady; určení konce kabelu, přetržení kabelu, lokalizace spoje se změnou impedance
Několikanásobná impulsní metoda SIM/MIM (~ 80-90 % všech poruch)	Vysokoohmové závady, závady přerušení
Rázová-proudová metoda ICM (dlouhé kabely)	Vysokoohmové závady, závady přerušení
Dokmitávací metoda (průrazné napětí nad 32 kV)	Přerušované závady
Propalovací metody Modifikace charakteristik poruchy (např. vlivu vody ve spojích)	Vysokoohmové závady, závady přerušení
Můstkové měření	Vysokoohmové závady, nízkoohmové závady, poruchy pláštěů kabelů

V následující kapitole jsou podrobně vysvětleny jednotlivé metody k předběžné lokalizaci poruch kabelů.

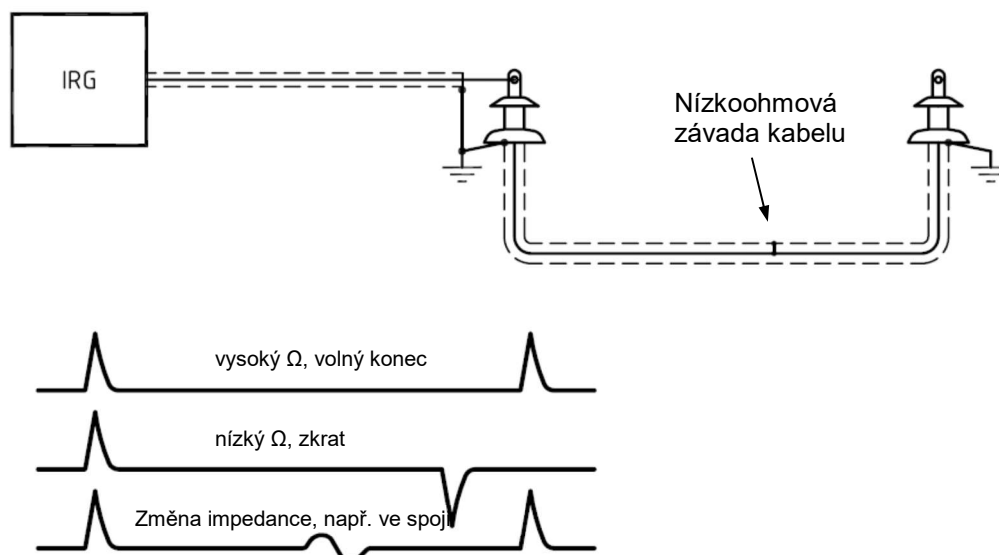
5.2 Impulsně-odrazová metoda (TDR- impulsní reflektometrie)

Metoda TDR je nejrozšířenější a nejvíce používaná měřicí metoda k určení:

- celkové délky kabelu
- lokalizaci nízkohmových závad kabelu
- lokalizaci přerušeni kabelu
- lokalizaci spojů podél kabelu

Impulsní reflektometr IRG (zkratka společnosti BAUR pro impulsně-odrazový generátor) vysílá do zkoušeného kabelu nízkonapěťový impuls. Tento nízkonapěťový impuls (max. 160 V) prochází kabelem a **dochází k jeho pozitivnímu odrazu na konci kabelu nebo při jakémkoli přerušeni (přetržení) kabelu.** V místě **zkratu** se tento nízkonapěťový impuls **odrazí negativně**. Impulsní reflektometr IRG měří **čas** mezi odesláním a návratem nízkonapěťového impulsu. Změna impedance kabelu, např. ve spoji, se zobrazí jako ležaté S. Příslušné vzdálenosti se zobrazí automatickým nastavením kurzoru na významná místa v grafu.

Blokové schéma:



Obr. 5.1; Schéma zapojení IRG, grafy odrazu TDR

Definice činitele odrazu [r]:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

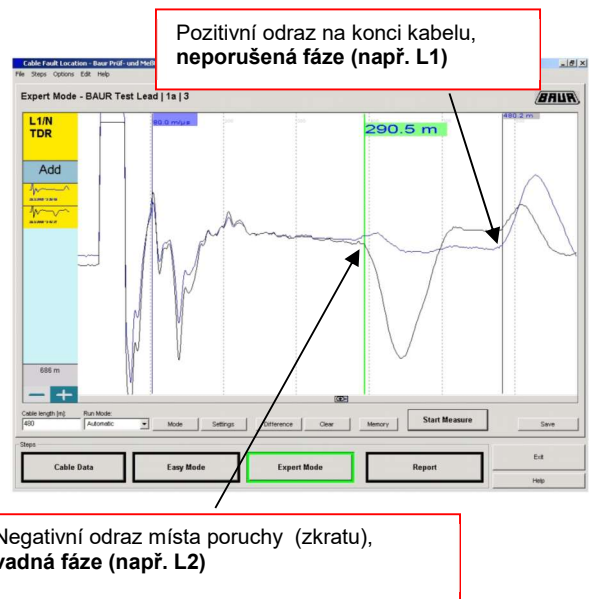
Z1... odpor kabelu k poruše
 Z2... odpor v místě poruchy
 Volný konec => Z2 >> Z1
 r = 1 ... pozitivní odraz **napětového impulsu**
 Zkrat => Z2 << Z1
 r = -1... negativní odraz **napětového impulsu**

Aby mohl jakýkoli impuls projít kabelem a mohl tak vzniknout odrazový graf, je potřeba mít **vedení dvou rovnoběžných vodičů**. Odraz impulsu je způsoben **změnou impedance mezi těmito dvěma vedeními**. Díky tomu je indikováno jakékoli přerušeni, změna impedance nebo konec. Jediná žíla bez odkazu na druhou žílu nebo na stínění tyto základní požadavky nespĺňuje a metodou TDR tudíž nelze získat žádný výsledek.

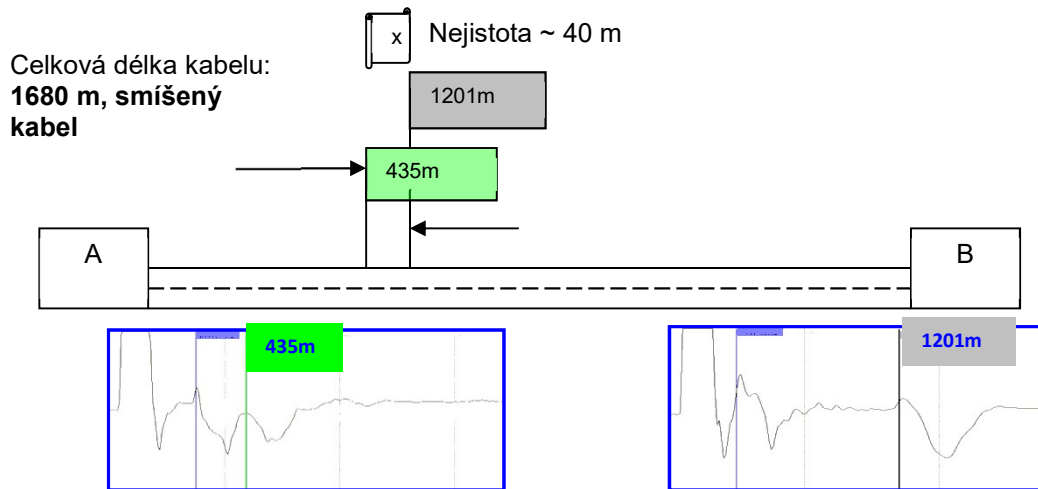
Příklad měření:

Při srovnání grafu TDR neporušené fáze (L1) a vadné fáze (L2) se zkratem nebo nízkohohmovou závadou se poloha poruchy zobrazí jako zřetelná závada v místě, kde se čáry od sebe odchýlí. Díky vysokému rozlišení impulsního reflektometru je možné nastavit kurzor přesně na místo, kde se grafy navzájem liší.

Praktické zkušenosti ukázaly, že celková délka kabelu není občas známa nebo se kabel skládá z kabelů různých typů. V takovémto smíšeném kabelu není impulsní rychlost v/2 jistá. Z jediného grafu TDR je proto obtížné předběžně lokalizovat přerušeni kabelu. V praxi se při lokalizaci poruch provádí předběžná lokalizace z **obou konců kabelu (A a B)**. Ideální situace při měření na obou koncích nastává, pokud je součet obou vzdáleností roven celkové délce kabelu. Může se však vyskytnout určitá odchylka způsobená **použitou impulsní rychlostí**. Nanesením obou vzdáleností poruchy na jediné vedení o celkové délce **vyznačíte dvě polohy**. Skutečná vzdálenost poruchy proto musí ležet mezi těmito polohami. V závislosti na uspořádání součástí kabelu s různými impulsními rychlostmi nemusí přesná poloha ležet přímo uprostřed mezi těmito dvěma polohami. Zaměření poruchy je proto nutné provádět v určité délce kabelu.



Obr. 5.2: Graf TDR, Srovnání neporušené a vadné fáze



Obr.. 5.3; Grafy TDR při měření na obou koncích kabelu, neznámá rychlost šíření $v/2$

5.3 Metoda několikanásobného impulsu (SIM/MIM)

Metoda několikanásobného impulsu je nejmodernější dostupnou metodou předběžné lokalizace poruchy kabelu.

Jakoukoli poruchu kabelu vyplývající z **vysokoohmové nebo přerušované závady** nelze metodou TDR zobrazit. Nízkonapěťový impuls vyslaný impulsním reflektometrem se v místě závady neodrazí, jelikož impedance v místě závady nebude výrazně nižší než impedance izolace neporušené části kabelu.

Na základě této skutečnosti se k podpoře metody několikanásobného impulsu používá **jednoduchý vysokonapěťový impuls** generovaný připojeným rázovým generátorem. Tímto způsobem lze **vysokoohmovou závadu** krátkodobě **změnit na zkrat** (průraz, dočasný nízkoohmový stav), díky čemuž ji lze **detekovat** druhým impulsem TDR (SIM) nebo **několikanásobnými sekundárními impulsy (MIM)**. Nízkonapěťový impuls TDR je připojen k vysokonapěťovému výstupu rázového generátoru přes vazební jednotku SA32.

Sekundárně impulsní metoda byla po mnoho let považována za nejpokročilejší metodu. Při nutnosti lokalizace poruch s obtížnými charakteristikami byly problémy dopočítávány. **Vlivy jako voda ve spoji, přetékání oleje v kabelech plněných olejem apod. buď zkracují dobu trvání průrazu, nebo opoždíjí dobu zapálení jiskry.** Kvůli všem těmto vlivům je velmi obtížné načasovat sepnutí a odeslání sekundárního impulsu tak, aby dosáhl poruchy přesně v krátkém časovém rozpětí hoření oblouku. Nastavení ručního zpoždění sepnutí je třeba měnit, což vyžaduje značné zkušenosti uživatele. Metoda „pokusu a omylu“ vyžaduje zatížení kabelu vysokonapěťovými impulsy vysílanými rázovým generátorem, protože je pro každé měření potřebný další průraz, a tudíž i VN impuls.

Metoda několikanásobného impulsu je v podstatě **dalším, mnohem pokročilejším stupněm vývoje** sekundárně-impulsní metody (SIM). Velkou výhodou, již bylo dosaženo pomocí metody MIM, je skutečnost, že lze „monitorováním“ v širším časovém rozpětí zobrazit výše popsaný poruchový stav **před výskytem poruchy, během ní i po jejím vymizení**. Není proto nadále třeba provádět **žádná ruční nastavení zpoždění doby sepnutí** metodou „pokusu a omylu“.

Pokročilá sekundárně-impulsní metoda (SIM-MIM)

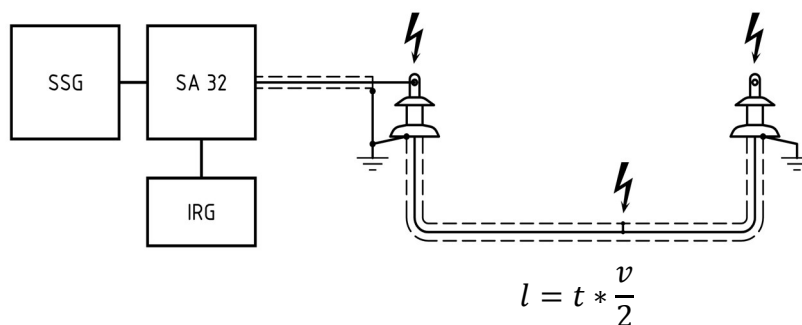
Při poruchách kabelů s vysokou impedancí nevykazují impulsy odeslané do kabelu z impulsního reflektometru žádný odraz.

Z tohoto důvodu je detekován pozitivní odraz od vzdáleného konce kabelu. Ve druhém kroku dojde k zapálení v místě poruchy pomocí jediného vysokonapěťového impulsu nebo stejnosměrným napětím rázového generátoru, načež se výboj zobrazí jako oblouk v místě závady. Přesně v době hoření oblouku (zkratového stavu) odešle impulsní reflektometr do kabelu druhý sled měřicích impulsů, které se odrazí od oblouku s negativní polaritou, jelikož je oblouk nízkoohmový.

Moderní impulsní reflektometry (IRG 2000 a IRG 3000) využívají 200MHz přechodný záznamník a odesílají **5 nízkonapěťových impulsů** považovaných za **několikanásobný impuls MIM** (ve srovnání s jedním jednoduchým sekundárním impulsem SIM), které se odrazí na místě poruchy a jsou **zaznamenány odděleně**. Výsledkem této metody několikanásobného impulsu je, že se v důsledku **jednoho jednoduchého vysokonapěťového impulsu zobrazí posloupnost 5 grafů závad**. Charakteristika poruchy je zachycena jako série snímků.

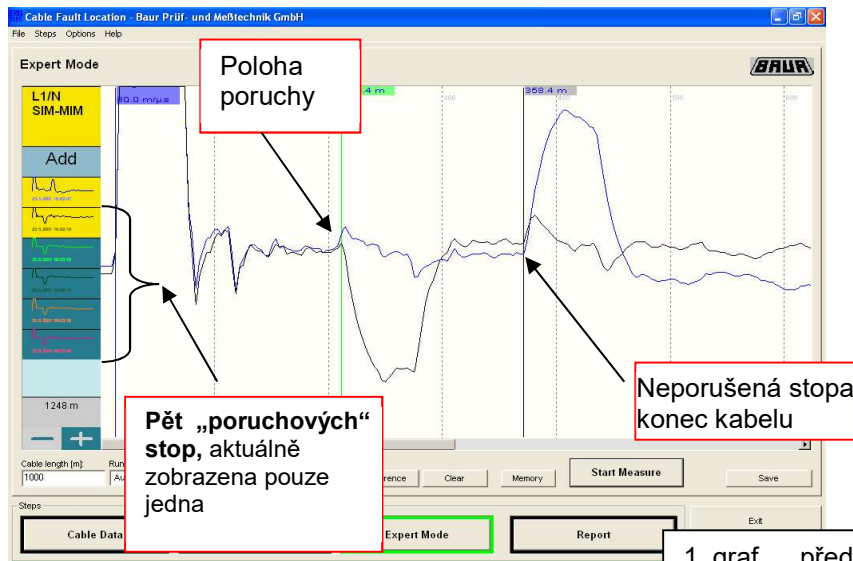
Simultánní zobrazení stavu před průrazem a stavu během jiskření vede k větší přesnosti při určování vzdálenosti poruchy.

Blokové schéma:



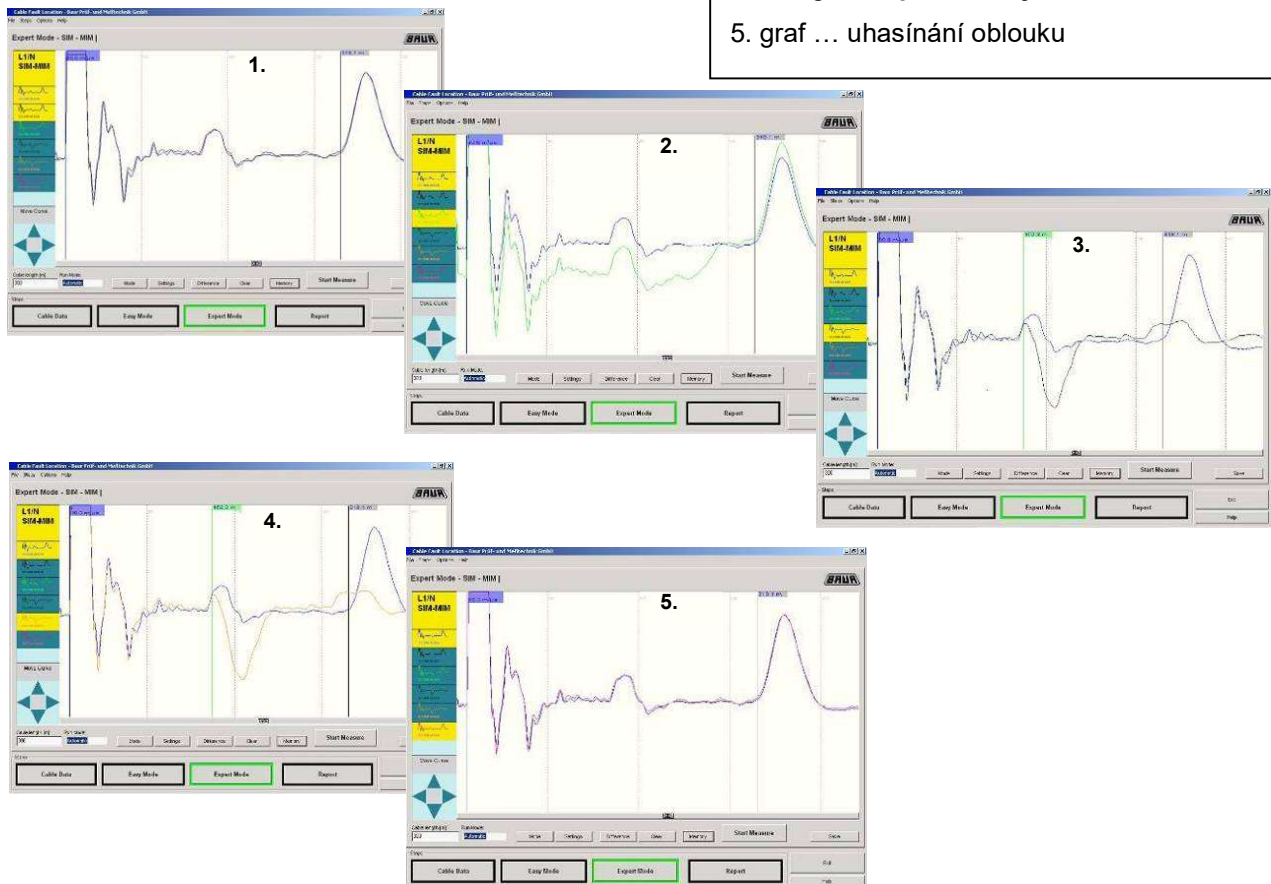
Obr. 5.4; Schéma zapojení SIM/MIM

Několikanásobná impulsní metoda SIM/MIM

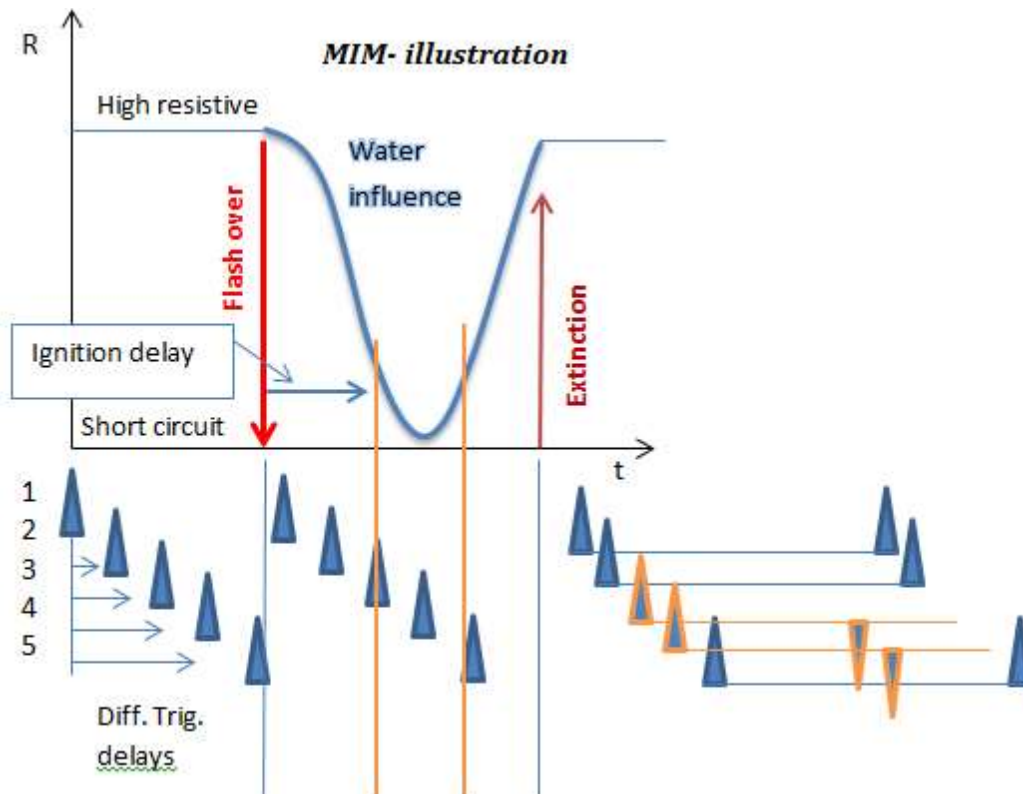


Obr. 5.5: Graf měření IRG 3000, SIM/MIM

1. graf ... před vznikem oblouku
2. graf ... před vznikem oblouku, stav odporu se již změnil
3. a 4. graf ... **poruchový oblouk**
5. graf ... uhasínání oblouku



Obr. 5.6.1; SIM/MIM graf posloupnosti IRG3000, zobrazení automaticky měřené několikanásobné posloupnosti



Obr. 5.6.2: SIM/MIM graf posloupnosti, odraz poruchy ovlivněné přítomností vody

Zobrazený graf posloupnosti je příkladem úspěšného výsledku MIM u kabelové poruchy ve spoji ovlivněném **přítomností vody**, která způsobí **zapálení oblouku s prodlevou** a jeho okamžité zhasnutí. Dostatečně široké časové rozmezí lze monitorovat pouze pomocí posloupnosti impulsů.

Intenzita průrazu, a tím i možnost dosáhnout výsledku závisí na **energii**, kterou lze uvolnit. Maximální stanovená **úroveň napětí**, které lze aplikovat na kabel, může omezit výstupní výkon rázového generátoru. V takovém případě, jedná-li se o závadu s jiskřením (to znamená, bez svodového proudu do jisté úrovně průrazného napětí – přerušovaná porucha), lze využít **kapacitu kabelu** k akumulaci energie a tím dosáhnout intenzivnějšího průrazu. Tohoto účinku se využívá při stejnosměrné aplikaci metody MIM.



Obr. 5.7; Nastavení napětí a volba rozsahu napětí rázového generátoru SSG

Praktická zkušenost:



Některé poruchy vykazují charakteristiku s vysokou vlhkostí. Do spojů pronikla voda, která ovlivňuje průraz. Tento účinek je v mnoha případech příčinou toho, že grafy předběžné lokalizace nemusí ukazovat zřetelné výsledky. Po odeslání impulsu rázovým generátorem není navíc zřetelně slyšet zvuk při průrazu. Zaměřování akustickou metodou je velmi obtížné.

Aby se voda / vlhkost ze spoje nebo kabelu **vypařila, je třeba používat rázový generátor po určitou dobu v rázovém režimu**. Pro uvolnění úplné impulsní energie se rázový generátor používá přímo (bez filtru SIM-MIM). Vysoká opakovaná pulzní frekvence a vysoká výstupní energie způsobí vysušení místa poruchy. Během vysoušení se **zvuk impulsů mění**. V některých situacích může být potřebné pokračovat s impulsy po dobu několika minut. **Během vysílání impulsů lze zahájit měření impulsního proudu**. Pouze při nepřetržité aplikaci VN impulsů bez přerušení lze velmi často změřit vzdálenost poruchy.

Jakmile bude zvuk při průrazu stabilní a kovový, je třeba systém rychle přepnout na SIM/MIM a je možné provést měření. Voda ve spoji může na vysušené místo ihned přitéct zpět. Přepnutí na měření SIM/MIM proto musí být v některých případech provedeno velmi rychle. Lokalizaci tohoto druhu poruch usnadňují zkušenosti a dovednosti pracovníků.

Kromě rázového generátoru se pro tyto **vysoušecí účely** používá zejména u olejových kabelů propalovací transformátor. Tato funkce je v současnosti jedinou zbývající aplikací propalovacího transformátoru.

Metoda několikanásobného impulsu DC, MIM DC (pokročilá SIM DC)

Metoda MIM DC probíhá jako metoda MIM založená na rázovém impulsu. K dosažení **vyšší rázové energie**, která určuje intenzitu průrazu, **se používá rázový generátor ve stejnosměrném režimu**. V tomto případě je kondenzátor rázového generátoru zapnut paralelně s kabelem. Kapacita rázového generátoru i **kapacita kabelu** jsou využity současně, čímž se výkon aplikovaného rázu zvýší.

Zejména u dlouhých kabelů závisí kapacita kabelu do značné míry na průrazném napětí a může být velmi vysoká, což může přinést očekávané výsledky.

Nastavení rozsahu rázového generátoru

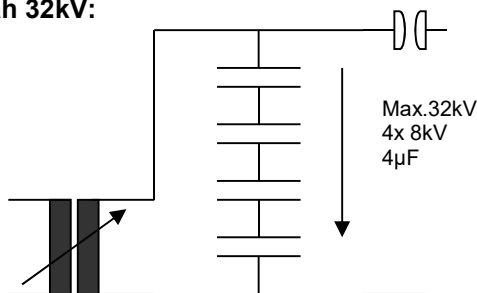
Výstupní energie, kterou může rázový generátor vyslat, závisí v zásadě na kapacitě C integrované baterie kondenzátorů. Energie akumulovaná v kondenzátoru je určena nabíjecím napětím. V souladu s následujícím vzorcem a přiloženou tabulkou je výstupní energie zobrazena v závislosti na různých dostupných napěťových rozsazích. Energie vysokonapěťového impulsu určuje intenzitu průrazu v místě poruchy. Tato hodnota je velmi důležitá pro dosažení stability průrazu použitého pro **SIM/MIM nebo metodu impulsního proudu** během předběžné lokalizace i **zaměření pomocí akustické metody**. Čím vyšší je energie výboje, tím hlučnější je průraz.

Příklad dostupné rázové energie při různých napěťových rozsazích a aplikovaných nabíjecích napětích:

Rázový generátor 32kV, SSG2100

- 2048 Joule
- rozsah napětí 0-8kV, 0-16kV a 0-32kV
- složen ze čtyř kondenzátorů zapojených do série, nebo paralelně

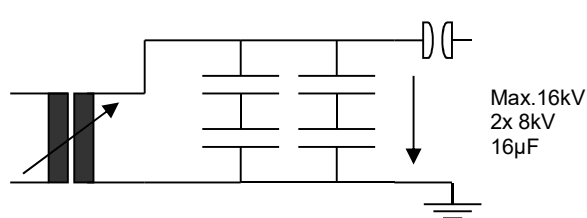
Rozsah 32kV:



$$E = CxU^2 / 2$$

Nabíjecí napětí	Rozsah 32kV	Rozsah 16kV	Rozsah 8kV
32kV	2048J	-	-
16kV	512J	2048J	-
8kV	128J	512J	2048J

Rozsah 16kV:

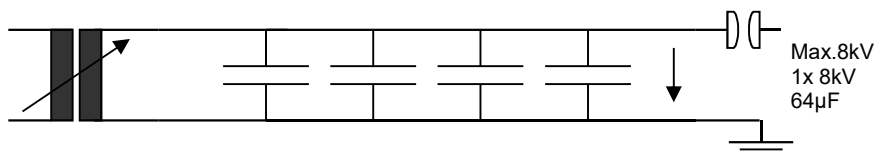


Rozsah 16kV:

$$C = \frac{2 \cdot E}{U^2} \quad C = \frac{2 \cdot 2048J}{16.000V^2}$$

$$C = 16\mu F$$

Rozsah 8kV:



Obr. 5.8: Vnitřní uspořádání kondenzátorů při různých volitelných napěťových rozsazích rázového generátoru SSG (8kV, 16kV a 32kV)

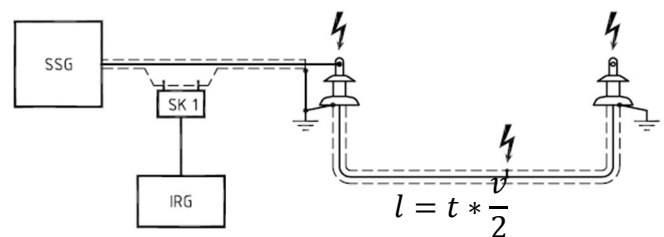
5.4 Rázová-proudová metoda (ICM)

Výše uvedené metody předběžné lokalizace poruch kabelů založené na impulsu TDR jsou obecně ovlivněny tlumením signálu ve velmi dlouhých kabelech nebo částečnými odrazy ve spojích podél kabelu. Tyto neobvyklé tlumicí účinky mohou být způsobeny korozí **kabelového pláště** nebo jakýmkoli jiným vlivem ve spoji, který má vliv na **délkový odpor**. Přirozené tlumení u velmi dlouhých kabelů může způsobit úplné utlumení impulsu TDR před jeho návratem do impulsního reflektometru, kvůli čemuž nelze metodu úspěšně aplikovat.

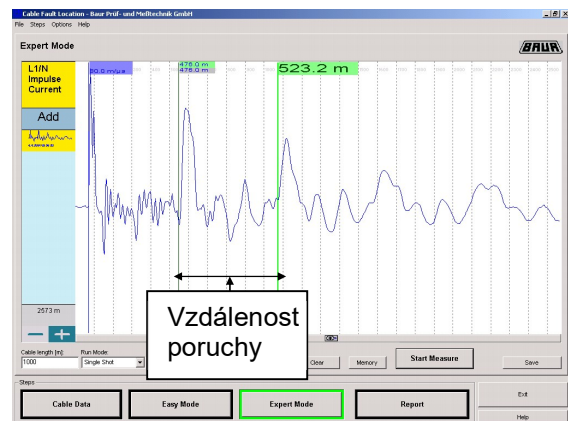
Aby bylo možné za těchto podmínek předběžnou lokalizaci poruchy kabelu provést, lze použít metodu impulsního proudu (ICM). Rázový generátor v zásadě generuje VN impuls, který způsobí průraz v místě poruchy. Tento výboj způsobí průchod přechodné proudové vlny pláštěm kabelu mezi rázovým generátorem a místem průrazu. Interval opakování impulsu je dán vzdáleností poruchy. Jako vazební zařízení je k plášti výstupního kabelu SSG připojen indukční vazební člen (SK1D). Impulsní reflektometr IRG 2000 nebo IRG 3000 je ovládán automatickým nastavením všech parametrů a přináší náležité výsledky.

Jelikož má přechodný proudový impuls velmi velkou šířku, je **přesnost metody ICM v dlouhých kabelech velmi vysoká**. V krátkých kabelech se přechodné impulsy navzájem ovlivňují.

Blokové schéma:



Obr. 5.9; Schéma zapojení pro ICM



Obr. 5.10; Graf měření IRG 3000, ICM

Rázová proudová metoda slouží k detekci proudového rázu procházejícího pláštěm kabelu během průrazu. Posloupnost proudového rázu se měří pomocí indukčního vazebního zařízení SK 1D. Každý impuls se odrazí na konci kabelu nebo v místě poruchy, přičemž činitel odrazu závisí na odporu v tomto místě směrem k zemi.

Každá změna směru **proudu** odraženého impulsu je detekována indukčním vazebním zařízením SK1D. Jak je vidět níže, má na odraz prvního impulsu vliv **doba prodlevy zapálení** v místě průrazu poruchy. Při určování vzdálenosti je třeba vzít do úvahy vzdálenosti mezi **2. a 3.** nebo **3. a 4.** impulsem. Pomocí známé rychlosti impulsu $v/2$ jednotlivého zkoušeného kabelu a **periodické doby** odražené vlny, vypočte IRG vzdálenost poruchy.

Vzdálenost k místu poruchy lze měřit nastavením kurzorů podle pravidelnosti kladných vrcholů vln na obrázku. Při praktických měřeních se napětí zvýší, aby byl vytvořen průraz. Vybíjecí impuls poté prochází mezi místem oblouku a rázovým generátorem, dokud není odveden do země.

Posloupnost odrazu (ICM):

Polarita zaznamenaných impulsů závisí na směru vazební cívky.

V zobrazené posloupnosti impulsů jsou již vyznačeny obrácené kladné impulsy.

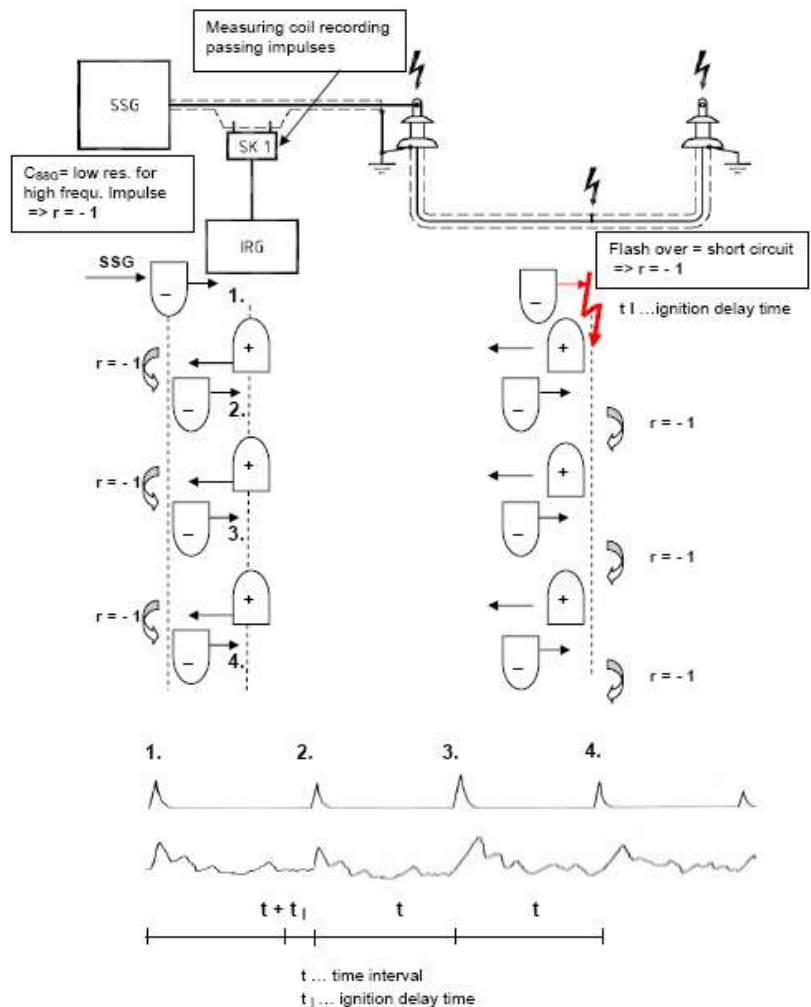
Započtením činitele odrazu ($r = -1$, VN zdroj SSG a $r = -1$, porucha kabelu) získáme následující posloupnost impulsů.

1. Impuls je odeslán rázovým generátorem SSG. Odeslaný impuls je negativní. (1, zaznamenaný impuls). Od místa poruchy se vrátí jako pozitivní impuls.

2. Přijatý impuls je v SSG odražen zpět jako negativní impuls (2. zaznamenaný impuls). Tento impuls se znovu odrazí v místě poruchy a vrátí jako pozitivní.

3. V SSG je přijatý impuls znovu odražen a odeslán jako další negativní impuls.

Tento proces pokračuje, dokud nedojde k utlumení impulsu.



Obr.5.11: Rázová posloupnost přechodného impulsu, ICM

Z1... odpor kabelu k místu poruchy
 Z2... odpor v místě poruchy
 Volný konec => $Z2 \gg Z1$
 $r = +1$... pozitivní odraz **napětového impulsu**
 Zkrat => $Z2 \ll Z1$
 $r = -1$... negativní odraz **napětového impulsu**

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Důvodem této posloupnosti odrazu je skutečnost, že jsou v tomto případě oba konce nízkohmovými body odrazu.

Jelikož jsou oba body odrazu (místo poruchy i SSG) negativními body odrazu, impuls se teoreticky pokaždé zdvojnásobí. Vzhledem k přirozeným tlumicím účinkům v každém kabelu se impuls utlumí a užitečná odrazová frekvence je omezena na 4 až 5 časových intervalů. Aby bylo možné zobrazit několik dob odrazu, je důležité nastavit rozsah zobrazení na 2 až 3násobek celkové délky kabelu.

5.5 Dokmitávací metoda

Výše vysvětlené metody SIM/MIM a ICM jsou založeny na rázovém generátoru SSG. Lze úspěšně provádět předběžnou lokalizaci poruch kabelů s průrazným napětím max. 32 kV.



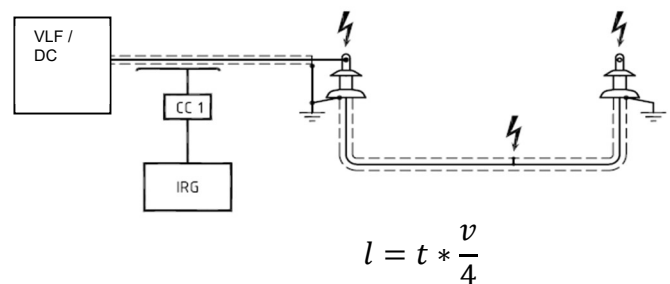
Dokonce i při použití lokalizace poruch u vysokonapěťových kabelů, např. 66 kV, 115 kV, 132 kV, 220 kV apod. lze obecně rovněž dosáhnout poruchového průrazného napětí nižšího než 32 kV. Jak ukazují zkušenosti, jsou tyto kabely v provozu při poměrně vysokých zatíženích a průrazná energie v případě poruchy kabelu je tak vysoká, že dochází ke značnému spálení vadného kabelu. Tento účinek je patrný zejména u kabelů XLPE. Většinu poruch kabelů dokonce i u vysokonapěťových kabelů XLPE lze tudíž lokalizovat pomocí systému k lokalizaci závad kabelů na 32kV bázi.

Za určitých okolností může porucha zůstat přerušovanou závadou s průrazným napětím vyšším než jmenovité napětí rázového generátoru. U takových závad kabelů lze použít dokmitávací metodu. Jako základní nástroj k dosažení průrazného napětí se používá DC nebo VLF zdroj.

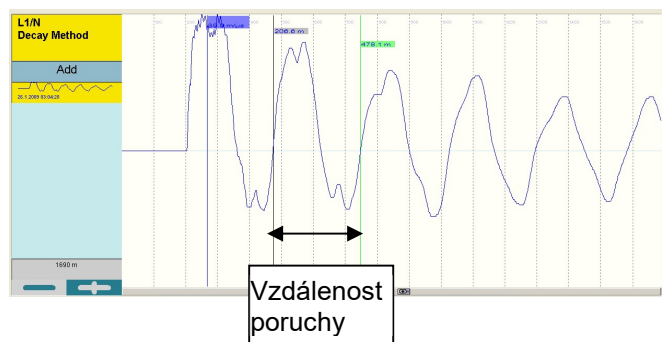
Dokmitávací metoda je založena na rozdělení napětí pomocí kapacitního děliče napětí. Vadný kabel je nabit aplikací VLF / DC napětí až na úroveň průrazu. Jelikož je kabel kondenzátorem, může se v něm akumulovat velká energie. Po dosažení průrazného napětí se při průrazu generuje přechodná vlna procházející mezi místem poruchy a zdrojem DC. Tato přechodná vlna je zaznamenána impulsním reflektometrem IRG přes kapacitní dělič napětí CC1. Zaznamenaná doba kmitání je úměrná vzdálenosti poruchy.

Na rozdíl od metody ICM je dokmitávací metoda založena na přechodné napěťové vlně, která je nepřetržitě zaznamenávána kapacitním vazebním členem.

Blokové schéma:



Obr. 5.12: Schéma zapojení, dokmitávací metoda



Obr. 5.13: Graf měření IRG3000, dokmitávací metoda

Posloupnost odrazu (dokmitávací metoda)

Po započtení činitelů odrazu ($r = +1$, VN zdroj a $r = -1$, porucha kabelu) je posloupnost impulsů definována následovně:

Kabel je nabit negativním napětím.

1. Průraz vyvolá pozitivní průtokovou přechodnou vlnu (1.1), která prochází k bližšímu konci.

2. U VN zdroje se impuls odrazí bez změny polarity (1.2).

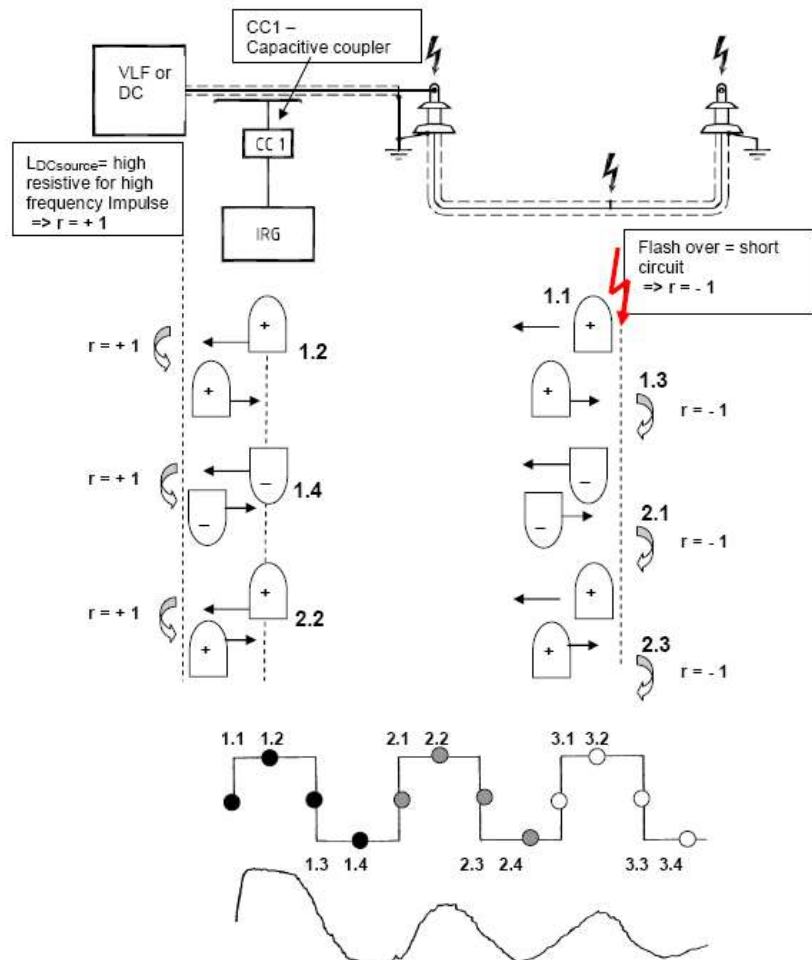
3. Po opětovném návratu do místa průrazu (1.3) se přechodný impuls odrazí a jeho polarita se změní. Impuls je negativní.

4. Po příchodu do VN zdroje se impuls znovu odrazí (1.4) beze změny polarity.

5. V místě průrazu se impuls opět odrazí se změnou polarity (2.1) a posloupnost se znovu opakuje.

Tento proces pokračuje, dokud nedojde k utlumení impulsu.

- 1.1 – 1.4 ... první posloupnost
- 2.1 – 2.4 ... druhá posloupnost
- 3.1 – 3.4 ... třetí posloupnost



Obr. 5.14: Posloupnost impulsů přechodné vlny, dokmitávací metoda

Z1...	odpor kabelu k místu poruchy
Z2...	odpor v místě poruchy
Volný konec	$r = +1$... pozitivní odraz přechodného impulsu
Zkrat	$r = -1$... negativní odraz přechodného impulsu

Jeden zaznamenaný impulsní cyklus (např. od pozitivního vrcholu k pozitivnímu vrcholu, nebo od hrany k hraně) představuje čtyřnásobek vzdálenosti průchodu impulsu. U dokmitávací metody proto výpočet vzdálenosti automaticky vychází ze vzorce $l = t * \frac{v}{4}$.

Aby bylo možné zobrazit několik dob odrazu, je důležité nastavit rozsah zobrazení na 2 až 3násobek celkové délky kabelu.

Z důvodu tlumení může být graf získaný z ICM nebo dokmitávací metodou za určitých okolností obtížné vyhodnotit. Vlivem tlumení a částečného odrazu impulsů se v záznamu přechodného signálu mohou objevovat dodatečné vrcholy nebo výrazně zploštělá charakteristika.

V případě potíží jsou užitečné níže popsané diferenční metody, kterými se lze těmto vlivům vyhnout.

5.6 Diferenční rázová-proudová metoda / diferenční dokmitávací metoda

Pro tyto metody je v zásadě **potřebná jedna neporušená pomocná žíla**. Pro obě metody, diferenční rázovou-proudovou metodu i diferenční dokmitávací metodu, se používá jako vazební člen 3fázová rázová cívka SK3D. Jelikož je třeba aplikovat VN do **dvou žil současně**, používají se tyto metody pouze v kombinaci s **3fázovými měřicími kabelovými vozy**. Vazební cívka je nainstalována tak, aby se všechny tři žíly, L1, L2 a L3, dotýkaly 3fázového trojúhelníkového vazebního členu, každý jedné hrany. Bez ohledu na to, které dvě fáze jsou zvoleny, je zbývající zaznamenaný signál sdruženým **diferenčním signálem**.

V prvním kroku je VN impuls odeslán současně do neporušené i vadné žíly. Zaznamenaný signál vytvoří první diferenční obrazec.

Ve druhém kroku se obě žíly navzájem spojí na konci kabelu. Účinná délka neporušené žíly se tím prodlouží o délku od vzdáleného konce až po místo poruchy na vadné žíle. Protože je nyní charakteristika odrazu odlišná než u volného konce v prvním kroku, odrazí se impuls odlišně, zatímco odraz v poškozené žíle zůstane beze změny.

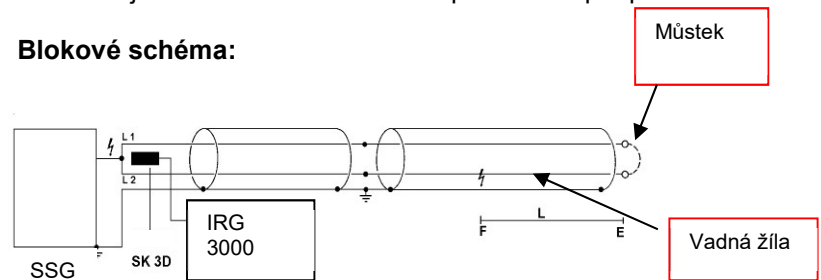
Vzhledem k fyzickému prodloužení neporušené žíly v druhém kroku vypadá také výsledný diferenční obrazec odlišně. Položíme-li oba obrazce přes sebe, je vzdálenost místa poruchy od vzdáleného konce určena bodem odchytky, který je ovlivněn prodloužením neporušené žíly.

Polohu poruchy lze velmi zřetelně zobrazit pomocí určitých nastavení se softwarovou podporou. Grafy získané pomocí obou metod, diferenční rázové-proudové i diferenční dokmitávací, nejsou závislé na účincích tlumení. Jelikož tato metoda využívá charakteristik měření diferenční hodnoty, nespojitosti v kabelu s následnými vrcholy se navzájem doplňují a jsou tak eliminovány.

Diferenční rázová-proudová metoda se aplikuje stejně jako ICM na přerušované a vysokoohmové poruchy s průrazným napětím do 32 kV. Zdrojem vysokého napětí je **rázový generátor**.

Diferenční dokmitávací metoda funguje obdobně jako dokmitávací metoda a používá se pro přerušované poruchy s průrazným napětím nad 32kV. Jako napěťový zdroj se používá kterýkoli **zkušební přístroj VLF nebo DC**.

Blokové schéma:



Obr. 5.15: Schéma zapojení pro difer...

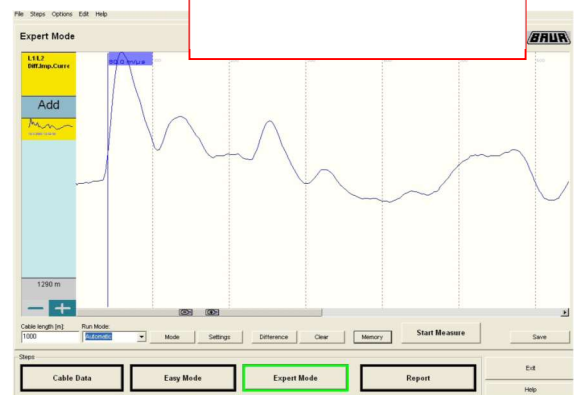
Diferenční rázová-proudová metoda i diferenční dokmitávací metoda jsou založeny na zachycení proudového impulsu přes indukční vazební zařízení. U diferenční dokmitávací metody je do vadného kabelu aplikováno DC nebo VLF napětí až na úroveň průrazu, zatímco u diferenční rázové-proudové metody se používá energetický ráz. Tento průraz vyvolá přechodnou vlnu, která prochází mezi místem poruchy a systémem. Tato přechodná vlna je zaznamenána impulsním reflektometrem IRG 3000 přes indukční vazební zařízení.

Diferenční rázová-proudová metoda a diferenční dokmitávací metoda pracují se dvěma **samostatnými měřeními** (jedním bez můstku a druhým s můstkem na vzdáleném konci).

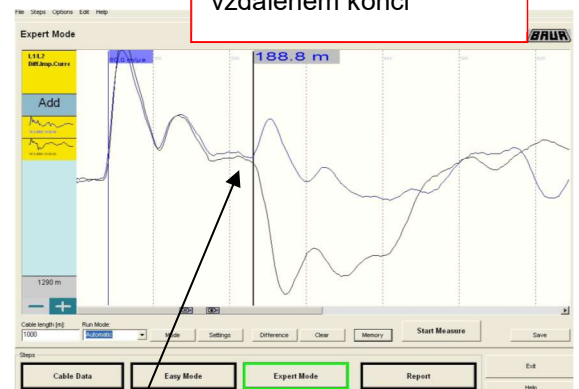
V dělicím bodě těchto dvou měření je vyznačena poloha poruchy.

Informací o vzdálenosti místa poruchy je **vzdálenost poruchy vzhledem ke vzdálenému konci!**

První měření bez můstku na vzdáleném konci



Druhé měření s můstkem na vzdáleném konci



Poloha poruchy, dělicí bod vedení

Obr. 5.16: Grafy měření IRG3000, diferenční metoda ICM; 1. a 2. měření, indikace vzdálenosti poruchy od vzdáleného konce



Jedinečné charakteristiky IRG 3000 – IRG 2000:

Vzorkovací frekvence v reálném čase: 200MHz

Automatické nastavení parametrů

Automatické nastavení kurzoru

CFL – metody předběžné lokalizace: TDR, SIM/MIM, ICM, dokmitávání

Rozdíly mezi IRG 3000 – IRG 2000:

IRG 3000

3fázový Echometer

Volitelně: MOhm-Meter s počítačovým řízením -

Měřicí rozsah > 200 km

Max. impulsní napětí 160V

Velký 15,1" LCD TFT displej

Paměť > 100 000 souborů

IRG 2000

1fázový Echometer

65 km

65 V

6" LCD displej

100 souborů

5.7 Můstková metoda

U všech poruch, k nimž dochází mezi dvěma určenými žílami, lze předběžně lokalizovat dva rovnoběžné vodiče pomocí kterékoli z výše uvedených metod předběžné lokalizace poruchy kabelu založené na impulsní reflektometrii.

U některých konstrukcí kabelů může docházet k poruchám kabelu od žíly směrem ven, tj. do půdy. Zejména u nestíněných kabelů, kterými mohou být vysokonapěťové DC kabely používané v napájení železnic, nízkonapěťové kabely, nebo také signální kabely či tzv. kontrolní kabely, se poruchy vyskytují především mezi žílou a okolní zeminou.

Jelikož v tomto případě není příslušné médium přístupné jako uzemněný kabelový plášť, teorie reflektometrie nadále nefunguje. **Impuls může procházet pouze tehdy, jsou-li k dispozici dvě paralelní vodivé dráhy.**

Poruchy kabelových plášťů, tedy závady vnější ochranné izolace z PVC, vykazují stejný elektrický obrazec jako výše uvedené poruchy. Poruchy kabelových plášťů nemají přímý vliv na elektrický výkon stíněného kabelu, mají však negativní vedlejší účinek na provoz kabelu ze střednědobého hlediska. **Je-li poškozen vnější plášť, může do kabelu pronikat voda** z okolní půdy. Koroze pláště kabelu stejně jako rozvoj vodních stromečků povede dříve či později k selhání.

Podle IEC 60229, je proto třeba zkoušet ochranné pláště a opravovat závady, aby byl zajištěn dlouhodobý výkon kabelů. Tento druh poruch kabelů lze předběžně zaměřit pouze pomocí měřicího můstku.

Můstkové metody se obvykle používají k předběžné lokalizaci nízkoohmových závad. Pomocí vysokonapěťového zdroje integrovaného v můstkových přístrojích nejnovější generace je možné předběžně lokalizovat i **vysokoohmové závady**.

Všechny můstkové měřicí metody, které při lokalizaci poruch kabelů pracují se stejnosměrným proudem (Glaser a Murray), jsou založeny na principu modifikovaných Wheatstoneových obvodů.

5.7.1 Princip Wheatstoneova obvodu

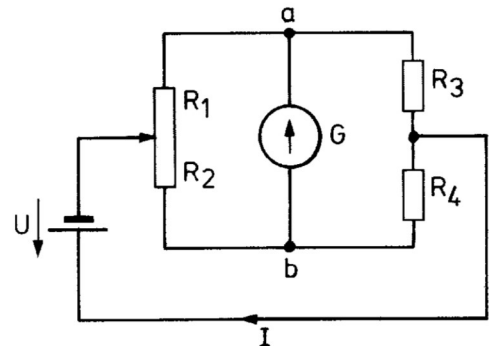
Můstek je vyvážený, je-li v bodech (a) a (b) stejný potenciál. V této situaci ukazuje galvanometr nulu.

V bodech (a) a (b) je stejný potenciál, pokud je splněna následující podmínka:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \text{ resp. } R_4 = \frac{R_2}{R_1} \times R_3$$

Je-li R_4 hledaným odporem R_x , lze R_x definovat jako:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

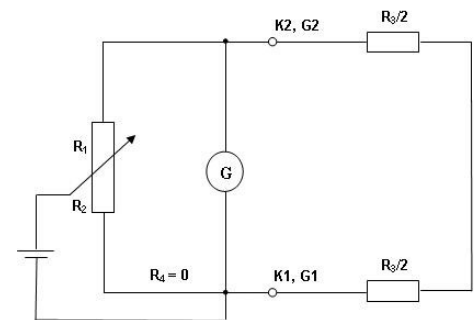


Obr. 5.18: Wheatstoneův obvod

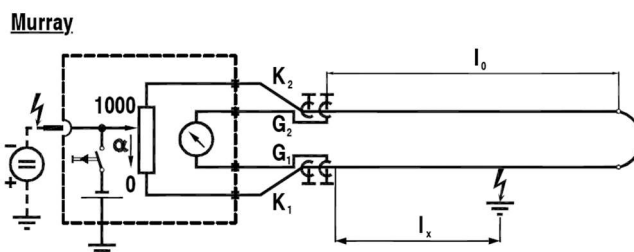
5.7.2 Měřicí obvod podle Murraye

Měřicí můstkový obvod podle Murraye se používá v soustavách, kde je kromě vadné žíly k dispozici **jedna neporušená žíla stejného průměru** i stejného materiálu vodiče.

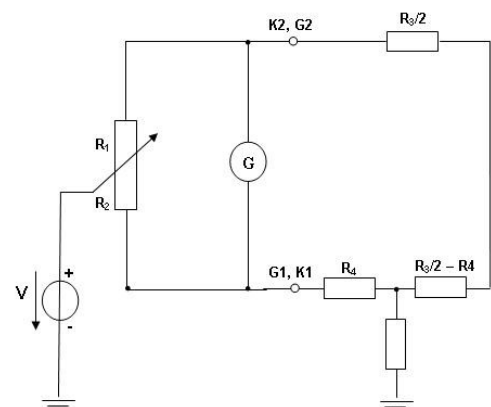
Tento obvod s externí smyčkou obsahuje zadní i přední vodič i odpor vytvořený spojením můstku na konci. **Spojovací můstek mezi žilami** je proto základní součástí obvodu a jeho odpor se musí blížit nule Ohmů.



Obr. 5.19; Murray - vyrovnávací obvod



Obr. 5.21: Měřicí obvod podle Murraye



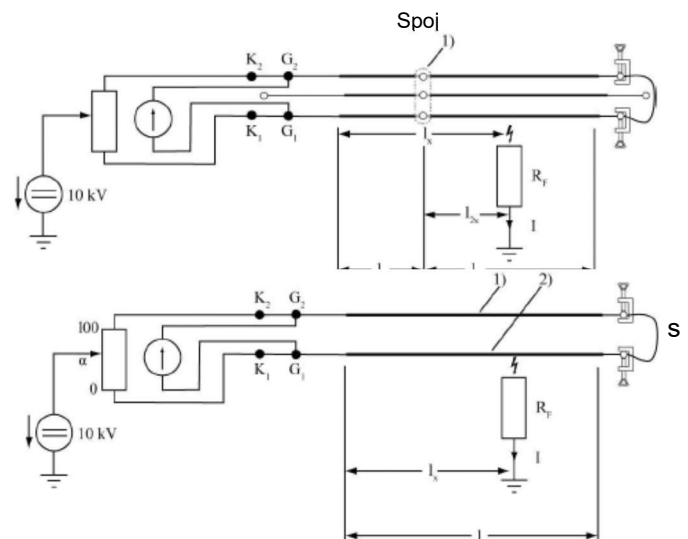
Obr. 5.20: Murray – měřicí obvod

Stupeň přesnosti můstku závisí na následujících faktorech:

- Proud můstku
- Smyčkový odpor kabelové smyčky
- Přizpůsobení přenášeného výkonu vnitřní impedance galvanometru můstkovému odporu
- Citlivost galvanometru
- Linearita měřicího potenciometru

Lze realizovat následující metody podle Murraye:

- V případě **nespojivosti průměru kabelu** zobrazí galvanometr průměrnou hodnotu odporu celého vedení externí smyčky. Jelikož je výsledek vypočten pomocí indikovaných % galvanometru, není vyznačená vzdálenost správná, protože odpory úseků vedení jsou v různém vzájemném poměru. U těchto soustav umožňuje **shirla** **definovat** podél obvodu **rozdílné úseky** a vzít do úvahy jejich individuální materiály, průřezy a délky.
- U dvou vedení a nestejného průřezu vedení nebo rozdílného měrného odporu nebo rozdílného měrného odporu materiálu vedení.
- S jedním pomocným vedením a konstantním průřezem vedení



Obr. 5.23: Murray, konstantní průřezy

Vzdálenost poruchy se v zásadě vypočítá podle následujícího vzorce:

$$l_x = \frac{\alpha}{100} \times 2l$$

kde α je hodnota odvozená od 100 % potenciometru.

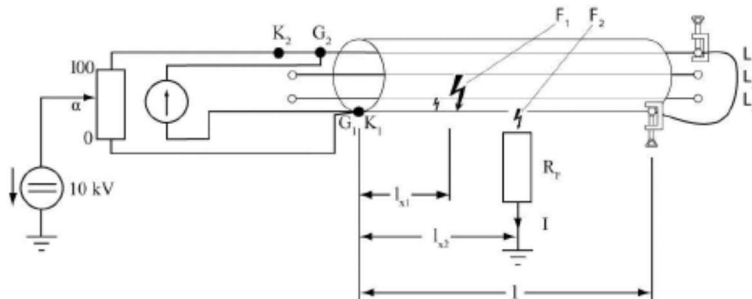


Obr..5.24: Připojení G1, K1 a G2, K2 ve stanici



Obr. 5.25: Připojení můstku k dostupným plášťům ve spojovací skříni

- S jedním pomocným vedením a různými průřezy vedení



Fault Location REPORT

MAX. Test Voltage: 10.00 kV
MAX. Testing Current: 5mA
Selected Method: GLASER

Cable Sections:
Section 1: 1200m 125mm² AL
Section 2: 300m 150mm² AL

applied Test voltage: 2.50 kv
measuring Current: 2 mA

Fault Distance: 500m (31%)

Obr. 5.26: Aplikace podle Murrye u vadného 3žilového kabelu, k dispozici pouze jedna neporušená žíla; aplikace dle Murrye s různými průřezy

Poruchu F₁ lze lokalizovat pomocí impulsního reflektometru nebo můstkovým procesem. Vedení L₁ slouží jako pomocné. Mají-li kabelový plášť a pomocné vedení L₁ různé průřezy, je třeba provést převod odporu na fiktivní délky.

$$R_L = \frac{\rho_C * l}{A_C} = \frac{\rho_S * l'}{A_S} \rightarrow l' = \frac{\rho_C * A_S}{\rho_S * A_C} * l$$

ρ_C : Měrný odpor vodiče pomocného vedení

A_C : Průřez pomocného vedení

ρ_S : Měrný odpor pláště kabelu

A_S : Průřez pláště kabelu

Fiktivní délka smyčky (převod na základě průřezu a materiálu pláště kabelu):

$$l'_{ges} = l + l' = \left(1 + \frac{\rho_L * A_S}{\rho_S * A_L}\right) * l$$

Vzdálenost poruchy lze odečíst přímo v metrech nebo jako procento celkové délky kabelu.



Díky funkci **více průřezů, kterou nabízí shirla**, lze vzít do úvahy více parametrů úseků. Oba příklady jsou vysvětleny výše:

- s konstantním průřezem
- s různými průřezy vedení



Obr. 5.27: Shirla – systém k lokalizaci poruch kabelů připojený k izolované rozvodně SF6, 66 kV

5.7.3 Měřicí obvod podle Glasera

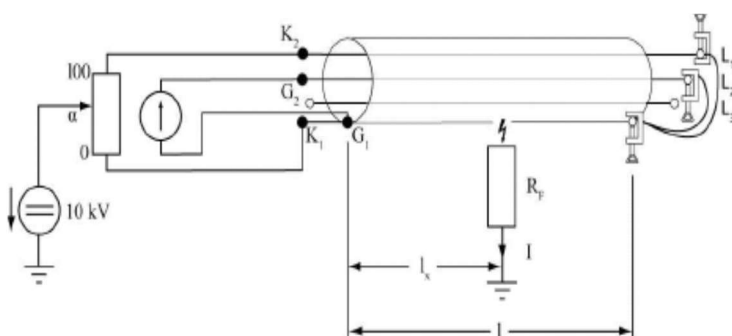
Můstkové měření podle Glasera lze použít k lokalizaci poruch pláště kabelu u vadných plastových kabelových plášťů a v **nestíněných plastových nízkonapětových kabelech**. Realizace této metody vyžaduje **dvě pomocná vedení** stejného průřezu a materiálu.

Rozdíl oproti Murrayho metodě spočívá v tom, že je při této metodě kompenzována dopředná trasa určená dvěma pomocnými vedeními. Zbývající účinný externí obvod je pouze plášť. Jelikož má plášť vzhledem k žíle vždy odlišný průměr, je tato kompenzace užitečná. Dvě pomocné žíly není nutné realizovat pomocí dvou žil jediného 3žilového kabelu – lze rovněž použít 2 žíly jednožilových kabelů. Tímto způsobem lze lokalizovat poruchy pláště.

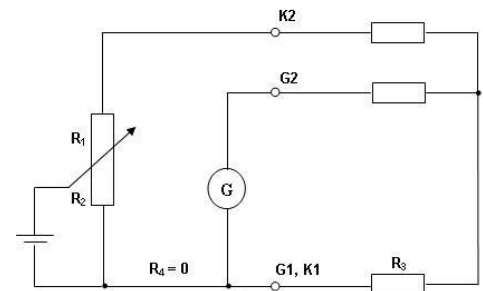
Vzdálenost místa poruchy lze určit ve vztahu k celkové délce kabelu.

Zapojení podle Glasera

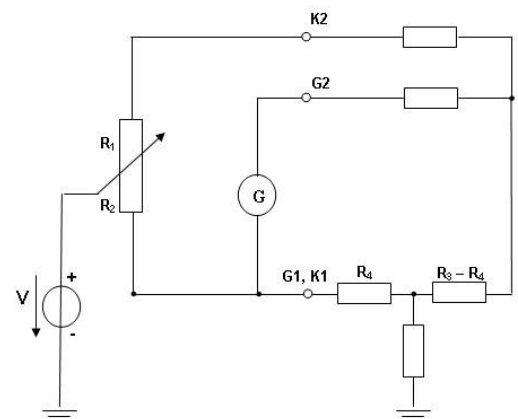
se dvěma pomocnými vedeními a konstantním průřezem vedení



Obr. 5.30: Glaser, konstantní průřez pláště kabelu, dvě žíly použité jako pomocná vedení



Obr. 5.28: Glaser – vyrovnávací obvod, izolovaný zdroj napětí k vyvážení



Obr. 5.29: Glaser – měřicí obvod, uzemněný zdroj napětí

Vzdálenost mezi koncem kabelu a poruchou je:

kde α je hodnota odvozená od 100 % potenciometru.

Posloupnost měření: Murrayova a Glaserova metoda

U obou měřicích obvodů se měření provádí ve dvou krocích:

1. krok: Vyvážení můstku:

Měřicí obvod se vyvažuje pomocí integrovaného nízkonapětového DC zdroje $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$ (neuzemněného). Vnitřní potenciometr je proto nastaven tak, aby byla splněna rovnice.

Galvanometr je nastaven na nulu ($\alpha = 0$). R4 je ve vyrovnávacím kroku na nule, jelikož použitý zdroj napětí není uzemněn a porucha nezpůsobí vznik žádného svodového proudu.

2. krok: Měření:

Při měření se používá uzemněný zdroj stejnosměrného napětí a interní baterie používaná k vyvažování je odpojena. Proud se proto nyní musí vracet k zemničím potenciálům napájecího zdroje. V tomto okamžiku se projevuje ohmová závada a mění se můstkový obvod. V závislosti na umístění poruchy se nyní vyvážená část obvodu R3 dělí na R3' a R4. Galvanometr přestává být vyvážený a vykazuje určitou hodnotu, která nakonec odpovídá R4 a tím vzdálenosti poruchy.

Rozdíl mezi Murrayho a Glaserovou metodou spočívá pouze ve způsobu zapojení a v odlišném vzorci používaném k výpočtu vzdálenosti. Vnitřní můstkový obvod přístroje se vůbec nemění.

Přesnost měření závisí zejména na **měřicím proudu**, který může obvodem protékat. U vysokoohmových závad je možné dosáhnout požadovaného měřicího proudu (5 mA = přesnost 0,1 %) pouze použitím **vysokonapětového zdroje**. Nový systém **Shirla** ke zkoušení kabelových plášťů a lokalizaci poruch používá integrovaný **zdroj 10 kV DC**. Díky tomu lze přesně lokalizovat **dokonce i vysokoohmové závady**.

shirla – Vše v jednom, vše co potřebujete

Zkoušení kabelových plášťů

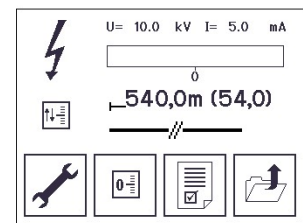
- do 10 kV

Předběžná lokalizace poruchy přes integrovaný měřicí můstek

- do 10kV

Přesné zaměření poruch plášťů metodou krokového napětí

- do 10kV



Obr. 5.31: Shirla – zobrazení vzdálenosti poruchy vyznačené v [m] a ([%]), jazyk ovládání nabídek; automatický měřicí postup



Obr. 5.32; Shirla (**plášť**, zkouška izolace a analyzátor odporu a místa poruchy)

5.8 Propalovací metoda

Vysokoohmové poruchy kabelů se projevují velmi malými či téměř nulovými změnami impedance v místě poruchy. Z tohoto důvodu není impulsně-odrazová metoda TDR k lokalizaci tohoto typu poruch vhodná. Výkonná propalovací zařízení byla po mnoho let úspěšně používána k ošetření vysokoohmových závad kabelů s papírovou impregnovanou izolací (PILC).

Vysokonapěťové propalovací zařízení vyhledává poruchu generováním velkého proudu a zuhelnatěním izolačního materiálu. Díky tomuto uhlíkovému spojení se porucha mění na nízkoohmovou a lze ji tudíž předběžně lokalizovat pomocí impulsního reflektometru IRG impulsně-odrazovou metodou TDR.



Obr. 5.33: Propalovací transformátor ATG 6000

V současnosti se propalování míst poruchy používá hlavně u kabelů s papírovou izolací impregnovanou olejem.

V závislosti na materiálu izolace kabelu může být propalovací procedura narušena přeměnou (roztavením) nebo samozhášením plastových materiálů. Propalovací metodu může ovlivnit také voda ve spoji. Propalováním se mění stav poruchy na nízkoohmový, a proto může být použití **akustické metody zaměřování velmi obtížné, či dokonce nemožné.**

V současnosti je propalovací metoda nahrazována několikanásobnou impulsní metodou a rázovou-proudovou metodou.

5.9 Systémy k lokalizaci poruch kabelů

5.9.1 Systém k lokalizaci poruch nízkonapěťových sítí - STG 600 / 1000

Zkoušení kabelu, předběžná lokalizace a zaměření

Zkušební napětí do 5 kV

Rázové napětí do 4 kV

Energie do 1000 J

Metody předběžné lokalizace:

- TDR 1fázová
- SIM/MIM



Obr. 5.34: STG 600
v kombinaci s IRG 2000

5.9.2 Systém k lokalizaci poruch středněnapěťových sítí - Syscompact 2000M

Zkoušení kabelů, předběžná lokalizace a zaměřování

Rozsah napětí: **8/16 kV**, nastavitelné v krocích po 0,1 kV

Energie: 1000J

Hmotnost: ~85 kg

Metody předběžné lokalizace:

- TDR 1fázový
- SIM/MIM
- ICM



Obr. 5.35; Syscompact 2000 M

5.9.3 Systémy k lokalizaci poruch středněnapěťových sítí - Syscompact 2000 / 32 kV - Syscompact 3000 / 32kV

Zkoušení kabelů, předběžná lokalizace a zaměřování

Rozsah napětí: **8/16/32 kV**

Plynulé nastavení

Energie: do 3000 J

Metody předběžné lokalizace: IRG 2000

- TDR 1fázový
- SIM/MIM



Obr. 5.36; Syscompact 2000/32:
přenosná verze a verze montovaná na vozidlo

- ICM
- Přenosná verze
- Verze s kabelem 25/50 m

Metody předběžné lokalizace:

IRG 3000

- Měření odporu
- TDR 3fázový
- SIM/MIM
- ICM
- Dokmitávání v kombinaci s PGK nebo VLF
- Kombinace se zkoušením VLF a diagnostikou TD/PD



Obr. 5.37; Syscompact 3000, Kombinace lokalizace poruchy kabelu, VLF zkoušení a diagnostiky TD PD, namontováno v 3t vozidle

6 Zaměřování kabelové trasy

Zaměřování trasy kabelu se používá k **přesnému určení trasy** podzemního kabelu. V závislosti na dostupnosti map uložení kabelů je určení trasy velmi důležitým prvním krokem přesného zaměření kabelu.

Zaměření trasy lze provádět **aktivně nebo pasivně**. U kabelů pod napětím jsou harmonické kmity síťové frekvence slyšitelné jako „hučení sítě“. Toto „hučení sítě“ se však objevuje i u všech uzemněných vodičů, vodních potrubí a paralelně vedených kabelů připojených k rozvodu 50 Hz. Aby nedošlo k omylu, doporučuje se vodič odpojit a do kabelu zavést **zvukovou frekvenci** k provedení **aktivního zaměření trasy kabelu**.

6.1 Připojení audiofrekvenčního signálu

Galvanické připojení

Pokud lze tuto metodu použít, je galvanická vazba vždy tou nejlepší metodou zaměření trasy kabelu. Přímým galvanickým zapojením lze získat ideální hodnoty signálu.

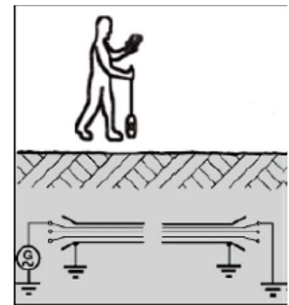
Příliš vysoký signální proud může způsobit, indukci signálu také v okolních vedeních.

Za určitých okolností může být detekce plně vráceného signálu obtížná. Pokud se vstupní signál procházející kabelem vrací pláštěm stejného kabelu, klesne výsledný signál téměř na nulu. V takovém případě lze zapojení provést tak, že se zpětný proud vrátí do generátoru zvukových frekvencí uměle přes kteroukoli jinou zemní trasu.

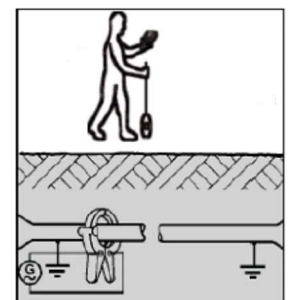
Indukční připojení přes proudový svorkový přístroj (AZ 10)



Obr. 6.1: Galvanické připojení generátoru zvukových frekvencí TG 20/50



Obr. 6.2: Galvanické připojení



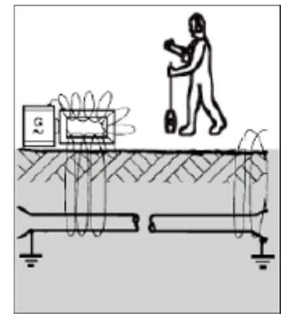
Obr. 6.3; Indukční připojení přes CT svorku AZ 10

Svorkový přístroj lze použít na kabely bez napětí, pokud není koncovka přístupná (domovní přípojka, voda, telefon, plyn), i na kabely pod napětím k zaměřování trasy.

Indukční připojení s rámovou anténou (RA 10)

Rámová anténa RA 10 je navržena k zavádění indukčního audiofrekvenčního signálu do kovových trubek a vedení, které nejsou přístupné. Smyčková anténa RA 10 se používá spolu s audiofrekvencím transformátorem TG 20/50 a je umístěna nad kabelem.

Tento způsob vazby signálu lze rovněž použít k trasování, zaměřování kabelů a průzkum terénu, včetně lokalizace vodovodních potrubí s pryžovými spoji.



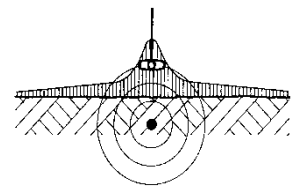
Obr. 6.4; Indukční připojení přes rámovou anténu RA10

6.2 Detekce signálu

Nad zemí lze elektromagnetický signál přenášený přes audiofrekvenční generátor měřit podél kabelové trasy. V závislosti na směru snímací cívky je možné signál připojit odlišně.

Maximální metoda

Detekční cívka je rovnoběžná s trasou vedení. Maximální zvukový signál je přímo nad vedením. Maximální metoda se používá k zaměřování tras kabelů a pro průzkum terénu.



Obr.6.5: Maximální metoda

Minimální metoda

Detekční cívka je kolmá k trase vedení. Minimální zvukový frekvenční signál je přímo nad vedením. Minimální metoda se používá k měření s určováním hloubky i k trasování a přesnému zaměřování kabelů.

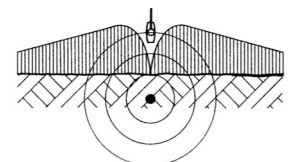
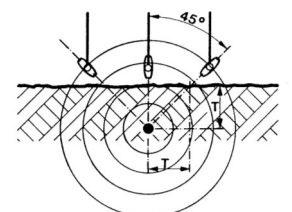
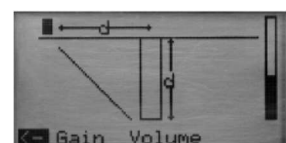


Fig.6.x Maximum method

Měření hloubky pomocí minimální metody

Určování hloubky pomocí jediné rázové cívky má charakteristiku rovnoramenného trojúhelníku.

- Nejprve se určí přesná poloha kabelu.
- Poté je třeba otočit cívku o 45° .
- Minimální zvukový frekvenční signál je slyšitelný v hloubce „d“ a v odpovídající vzdálenosti od kabelové trasy.



Obr. 6.7: Určení hloubky



Přístroje určené specificky k trasování integrovanými anténami, které plní funkce metody i určování hloubky.

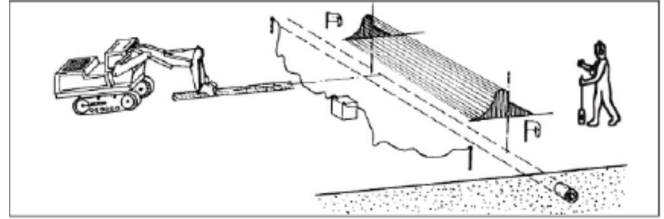


Obr. 6.8: Kabelový lokátor CL20

fungují se dvěma minimální i maximální

Průzkum terénu

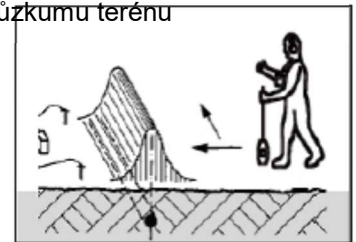
Další aplikací, kde lze kabelovou lokalizační sadu použít, je takzvaný průzkum terénu. Signál se zavede do země pomocí dvou zemnicích hrotů. Pokud se v zemi nachází jakýkoli kovový vodič, vrátí se podél vodiče. Elektromagnetický signál lze na vodiči detekovat a tím vodič najít.



Obr. 6.9: Připojení při průzkumu terénu

Při průzkumu přítomnosti kabelových/potrubičních systémů v konkrétní oblasti se doporučuje následující postup:

- rozdělit oblast na čtverce přibližně 25 x 25 m;
- audiofrekvencí generátor je třeba postavit do středu kabelové trasy;
- zemnicí tyče je třeba zasunout do země napravo a nalevo od generátoru, přibližně ve vzdálenosti 12 až 15 m;
- výstupní výkon generátoru udržovat nízký.



Obr. 6.10: Tvar signálu, průzkum terénu

Nachází-li se ve vymezené oblasti kovový vodič, generuje se v jeho blízkosti magnetické pole. Toto magnetické pole má ve většině případů tvar jednostranného maxima; např. se strmou hranou tvaru audiofrekvenční vlny.

6.3 Volba zvukové frekvence

Každý audiofrekvencí generátor nabízí možnost volby různých výstupních frekvencí signálu.

Rozdílná charakteristika frekvencí má indukční účinek. Signál indukovaný ve vedlejším kovovém vodiči roste s frekvencí.

- Čím je frekvence vyšší, tím je větší účinek indukční vazby.

Frekvenci je třeba v zásadě volit následovně:

Nízký frekvence, např. 2 kHz:

- pro galvanickou vazbu signálu
- indukci signálu v jiných kabelech a trubkách lze minimalizovat

Vysoká frekvence, např. 10 kHz:

- pro indukční vazbu signálu s proudovou svorkou nebo rámovou anténou
- pro vazbu signálu na kabel je potřebný vysoký indukční účinek vazby

7 Zaměření poruchy kabelu

7.1 Akustická lokalizace kabelu

7.1.1 Akustická lokalizace kabelu v přímo uložených kabelech

K zaměřování vysokohmových a přerušovaných poruch v kabelech uložených pod zemí se používá akustická metoda k **přesné lokalizaci poruchy**.

Jako zdroj signálu se používá rázový generátor v režimu opakovaných impulsů.

Vysokoenergetické impulsy generované rázovým generátorem (SSG) způsobí průchod napěťového impulsu podél kabelu. V místě poruchy dojde k průrazu. To

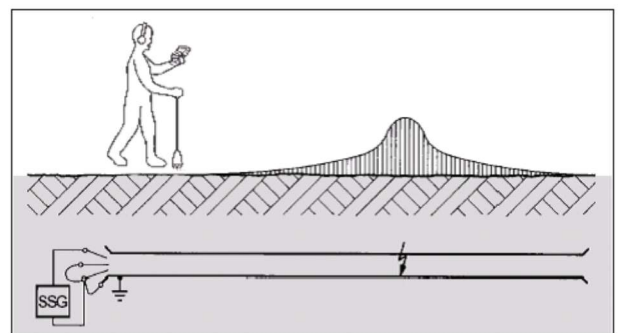
vyvolá vysoký akustický signál, který je **na místě slyšitelný**. **Intenzita akustického signálu** se liší v závislosti na **energii impulsu**.

Tyto zvuky jsou na povrchu země detekovány pomocí půdního mikrofону, přijímače a sluchátek.

Čím menší je vzdálenost poruchy od mikrofону, tím vyšší amplitudu má zvuk průrazu. Nejvyšší úroveň zvuku lze zachytit v místě poruchy.



Obr. 7.1: Sada ke snímání signálu UL30 / BM30



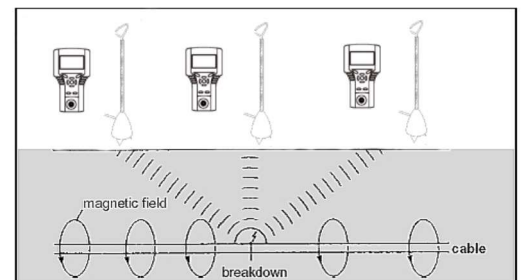
Obr. 7.2: Schéma zapojení a tvar akustického signálu – akustická lokalizace poruchy

Měření doby průchodu

Sada k akustické lokalizaci poruch, tvořená přijímačem UL30 a půdním mikrofonom BM 30, nabízí speciální charakteristiku digitálního měření doby průchodu - vzdálenosti.

Půdní mikrofon nejprve měří **elektromagnetický signál**, který lze zaznamenat po celé délce kabelu, kterým prochází VN impuls, než nakonec dojde k průrazu v místě poruchy. Jelikož je tento signál dostupný **po celé délce kabelové trasy** směrem k poruše, lze jej dále využít ke zjištění, zda je „**kabelová trasa**“ nadále sledována. Maximální signál se nachází přímo nad kabelem.

Následně půdní mikrofon zachytí **zvuk průrazu** na povrchu půdy v blízkosti poruchy, jakmile bude dosaženo oblasti v bezprostřední blízkosti poruchy.



Obr. 7.3: Magnetický signál po celé délce kabelu, akustický signál v místě průrazu



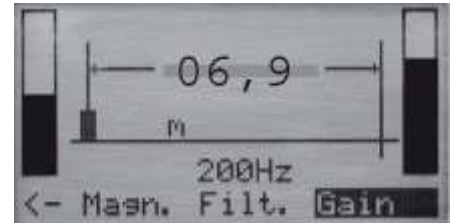
Obr. 7.4: Porucha kabelu, 1žilový kabel 11kV XLPE

Každým průrazem se tudíž **aktivují** dvě spínací situace.

– **magnetické sepnutí a akustické sepnutí.**

Tyto dva signály mají různou rychlost šíření. Vzdálenost poruchy má dále vliv na rozdíl v aktivaci akustického sepnutí ve srovnání se sepnutím elektromagnetického signálu.

Jakmile magnetické sepnutí zareaguje na obtékající VN impuls ve spodním kabelu, spustí se časovač. Měřicí cyklus se zastaví, jakmile opožděný akustický signál dorazí do půdního mikrofonu.



Obr. 7.5: Displej UL30, indikace magnetického a akustického signálu, indikace vzdálenosti poruchy

Přijímač UL pomocí digitálního indikátoru automaticky indikuje naměřenou časovou **vzdálenost** (dobu přechodu signálu) k poruše. Podle údaje na měřidle lze určit polohu poruchy s nejnižší indikovanou vzdáleností.

Pomocí slyšitelného akustického signálu lze nakonec určit přesnou polohu poruchy kabelu. Díky této speciální charakteristice se výkon ve srovnání s běžnými akustickými snímacími sadami zvyšuje, jelikož magnetická indikace nabízí **integrovanou funkci zaměřování.**

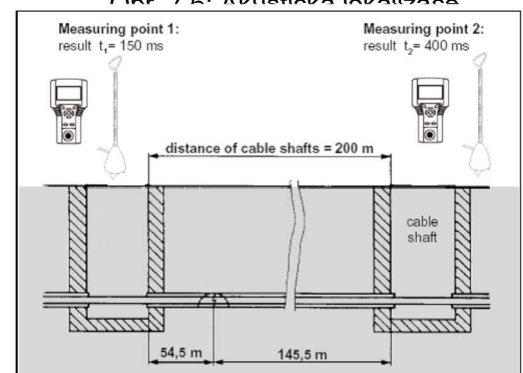


Obr. 7.6: Akustická lokalizace

7.1.2 Přesné zaměření poruch kabelů uložených v trubkách

Jsou-li kabely uloženy v trubkách, nelze akustický signál slyšet přímo nad poruchou kabelu. V tomto případě se akustický signál šíří vzduchem v trubce, a je tudíž slyšitelný **pouze na obou koncích trubky nebo na vících kabelových šacht.** Pomocí výše popsané předběžné lokalizace poruchy kabelu lze určit daný úsek potrubí. Až do dnešního dne byl konečný krok při určování přesné polohy poruchy v trubce velmi obtížný, u mnoha snímacích sad nemožný.

Nejnovější model snímací sady UL/BM proto využívá speciální charakteristiku k určování **přesné polohy také v soustavách s kabelovými šachtami.**



Obr. 7.7: Uspořádání kabelových šacht, kabel uložen v PVC potrubí, akustický signál slyšitelný pouze na víku kabelové šachty

Akustická lokalizace poruch v kabelových šachtách

Tato metoda nevyžaduje žádný další přístroj. Režim k přesnému zaměřování v kabelových šachtách nabízí každý moderní UL přijímač.

V prvním kroku se půdní mikrofon položí na první víko kabelové šachty, kde se naměří určitá hodnota průchodu akustického a magnetického signálu. Po potvrzení signálu se tato hodnota uloží v přijímači.

Ve druhém kroku se půdní mikrofon umístí na víko druhé kabelové šachty. Také na tomto místě může půdní mikrofon zachytit akustický a magnetický signál s druhou hodnotou doby průchodu.

Zadáním vzdálenosti mezi kabelovými šachtami lze pomocí poměru dob průchodu a vzdálenosti zobrazit **přímou vzdálenost k poruše v potrubí.**



Obr. 7.8: displej UL30, režim kabelových šachet, zobrazení dvou hodnot času průchodu sloužících k výpočtu vzdálenosti

7.2 Zaměření nízkohmových závad kabelů

U poruch kabelů, které se projevují v podmínkách **přímého uzemnění**, není možné generovat průraz v místě poruchy pomocí rázového generátoru. Z tohoto důvodu také není slyšet žádný akustický signál a přesné zaměření poruchy kabelu akustickou lokalizací není možné. Tento stav je převážně důsledkem **poruchy kabelu s úplným spálením**, která je navíc **nízkohmová vzhledem k okolní půdě**. Poruchy kabelů tohoto druhu lze zaměřit pomocí níže vysvětlené metody krokového napětí.

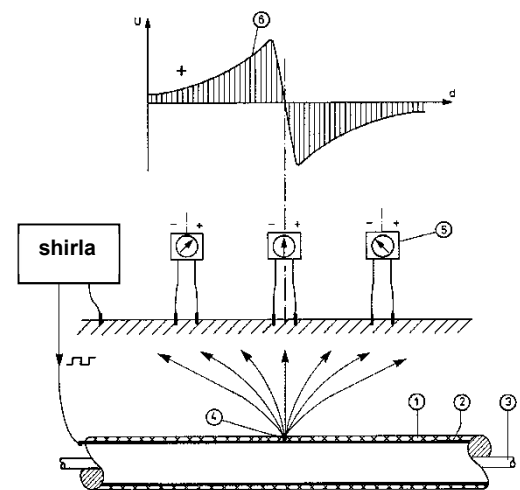
Poruchy nízkonapěťových kabelů i kontrolních kabelů (signálních vedení) jsou často obtížně zaměřitelné, protože **maximální napětí**, které lze na tyto kabely aplikovat, **neumožňuje generovat dostatečnou rázovou energii** k vyvolání silného průrazu, který by bylo možné zaměřit akustickou metodou. Jelikož jsou tyto kabely převážně nestíněné, projevuje se porucha mnohdy také v okolní půdě. Také zde je vhodnou zaměřovací metodou **metoda krokového napětí**.

Dalším obtížně zaměřitelným poruchovým stavem v nízkonapěťových kabelech je porucha, která není spojena se zemí a projevuje se proto pouze **mezi dvěma žilami**. Za těchto podmínek lze poruchu úspěšně zaměřit **zkrutovou metodou**.

Třetím typem poruchy, který vykazuje podobné podmínky, je **porucha pláště kabelu**. Závadu ve vnějším ochranné izolaci z PVC u XLPE kabelu není možné lokalizovat akustickou metodou, protože není **dán žádný potenciální bod**, kde by mohlo dojít k průrazu. Také zde umožňuje lokalizaci metoda krokového napětí. Touto metodou je rovněž možné lokalizovat **polohu několika poruch pláště** podél kabelu.



Obr. 7.9: Metoda krokového napětí, dvě zemní sondy připojené k vodičům kabelu.



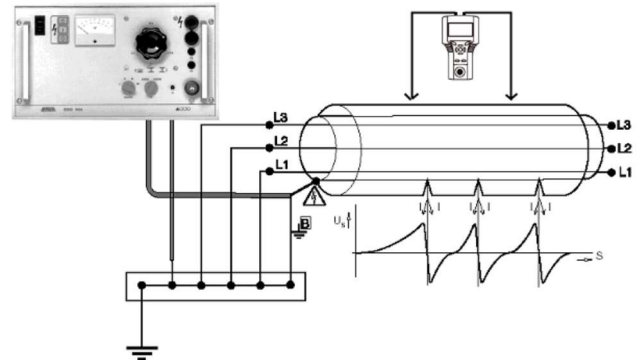
Obr. 7.10: Vyslání VN impulsu; pokles napětí ve tvaru gradientu, nulová poloha nad poruchou, krokové napětí lze měřit na povrchu

7.2.1 Metoda krokového napětí

Přesné zaměření:

- jakýchkoli nízkoohmových závad ve styku se zemí
- poruch kabelových pláštů

Jako zdroj signálu se do zkoušeného kabelu odešle posloupnost vysokonapěťových impulsů nebo posloupnost bloků impulsů. VN impuls se vybije **přes odporovou poruchu do okolní půdy bez průrazu**. Pokles napětí únikem do půdy v místě poruchy má za následek **napěťový gradient**, který lze měřit **metodou krokového napětí**. Pomocí dvou zemních sond lze zobrazit distribuční pole napětí. Multifunkční přijímač UL indikuje pozitivní či negativní napětí (vlevo nebo vpravo od místa poruchy), a to sloupcovým grafem a akustickým signálem. Jakmile jsou **nad místo poruchy umístěny symetricky** zemní hroty, je výsledné napětí nulové a **poloha poruchy je určena**.



Obr. 7.11: Jedinou posloupností lze určit několik poruch pláště, je vyznačeno několik nulových bodů

Vhodné zdroje VN signálu:

- Rázové generátory SSG / STG
- Shirla – systém k lokalizaci poruch kabelů a kabelových pláštů
- Jakýkoli VLF generátor BAUR s funkcí poruchy pláště kabelu

Vhodné přijímače:

- UL nejnovější verze v kombinaci s příslušenstvím k lokalizaci poruch kabelových pláštů
- KMF 1 v kombinaci s příslušenstvím k lokalizaci poruch kabelových pláštů

V případě několikanásobných poruch pláště, např. 3 poruch, lze všechny tyto poruchy lokalizovat jediným průchodem nad kabelovou trasou, jak je popsáno výše. To vyžaduje odpovídající praxi; je třeba vzít do úvahy, že **krokové napětí vykazuje několik bodů se změnou polarity**, které mohou být matoucí (5 poloh se změnou polarity).

7.2.2 Zkrutová metoda

Zkrutovou metodu lze použít k **zaměřování nízkoohmových závad u kroucených kabelů**. U této metody se využívá efektu podélného zkrucování žil. Základním použitým signálem je **vysokofrekvenční zvukový signál**, který vyvolá ekvivalentní signály, jaké se používají u zaměřování kabelové trasy. Na rozdíl od zaměřování trasy, kdy je signál vysílán do neporušené žíly, je při této metodě **signál odeslán přes poruchu**. Aplikace proto závisí na odporu poruchy. Poruchy s vyšším odporem vyžadují **vysoce výkonný audiofrekvencí generátor**. Audiofrekvencí signál prochází stejným kabelem zpět a dopředu až k místu poruchy, kde se obrací. Díky kroucení, tedy pravidelné změně geometrické polohy žil v kabelu, lze na povrchu sledovat maxima a minima výsledného signálu. Délka kroucení v kabelu závisí na jeho typu, přibližně však činí 1 metr. Vzhledem k tomu **lze bod, kde signál končí, považovat za místo poruchy kabelu**.



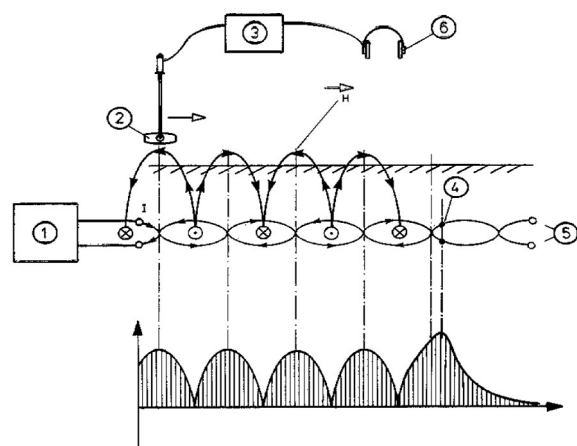
Obr. 7.12: Detekce signálu zkrutového pole

Do vadného páru žil se zavádí audiofrekvencí signál (2 kHz) s velkým proudem (10 až 30 A). Navzdory opačnému směru proudu lze výsledné magnetické pole měřit nad povrchem země.

Pro úspěšné použití v praktických aplikacích jsou potřebné výkonné audiofrekvencí generátory (**600 VA**) se zabudovanou kompenzací jalového proudu.

Vzhledem ke kroucené konstrukci vícežilového kabelu se amplituda pole trvale mění podle polohy žíly.

Při pohybu měřicí cívky podél kabelové trasy je detekováno typické zkrutové pole. Amplituda pole kolísá mezi vysokým a nízkým signálem. Zkrutovou metodu lze rovněž použít k **detekci kabelových spojů** v místě přerušení zkrutového pole v souladu s délkou spoje.



Obr. 7.13: Posloupnost signálu zkrutové metody

1. audiofrekvencí generátor
2. rázová cívka
3. přijímač
4. nízkoohmová závada
5. volný konec kabelu
6. sluchátka

Zkrutová metoda nabízí hlavní **výhodu v sítích s T-odbočkami**, protože je zkrutový signál vždy ve směru poruchy. Všechny neporušené kabelové odbočky dávají nepřetržitý nízký signál. Při průchodu nad poruchou zkrutový signál okamžitě zmizí.

Zkrutová metoda je nejúspěšnější v případě nízkoohmové závady mezi dvěma žilami ($< 2 \Omega$).

Je-li porucha vodivá směrem do kovového stínění kabelu, je její nalezení komplikovanější.

Je-li poté kovové stínění odděleno od země, lze zkrutovou metodu rovněž aplikovat.

Souprava lokátoru:

založená na multifunkčním přijímači UL – univerzální soupravu pro lokalizaci poruch a kabelů lze použít pro:

- **zaměření kabelové trasy**
- **zkrutovou metodu** v kombinaci s audiofrekvencím generátorem 600VA
- **metodu krokového napětí** s příslušenstvím k lokalizaci poruch plášťů
- **akustickou lokalizaci poruch** v kombinaci s půdním mikrofonom BM



Obr. 7.14: Souprava lokátoru a půdního mikrofonom BM

8 Identifikace kabelu

Identifikace kabelů je klíčovým postupem v rámci celé procedury lokalizace poruchy kabelu s **dopadem na bezpečnost**. Správnou identifikaci kabelu ze svazku kabelů, z nichž většina může být v provozu, je třeba provádět nejen pozorně, nýbrž také pomocí přístroje, který **do značné míry eliminuje možnost lidské chyby nebo nesprávného pochopení**.

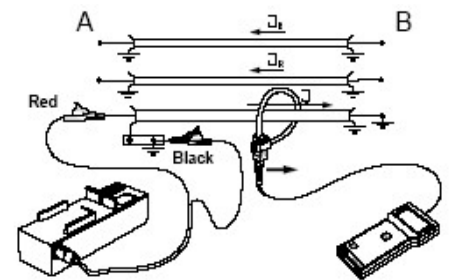
Kromě toho je důrazně doporučeno používat kabelové nůžky dle EN 50340 nebo zařízení k dělení kabelů. Vždy je nutno dodržovat místní předpisy o bezpečnosti a prevenci nehod. **Systém KSG 100 společnosti BAUR k identifikaci kabelů je navržen tak, aby tyto nejdůležitější bezpečnostní hlediska splnil.**



Obr. 8.1: KSG 100

Princip práce KSG 100

Součástí vysílače KSG je kondenzátor, který se nabíjí a poté vybíjí do cílového kabelu. Během tohoto procesu musí být zkušební vzorek připojen tak, aby jím mohl protékat proud. K připojení proudového impulsu na cílový kabel slouží pružná spojka. **Směr průtoku proudového impulsu** a jeho **amplituda** jsou indikovány na displeji přijímače.



Obr. 8.2; Průtokové schéma impulsního signálu

Amplituda proudového impulsu závisí na odporu smyčky. Aby bylo možné jasně určit směr průtoku proudu, je kladný výstup označen červenou barvou a pružná spojka je označena šipkou.

Proudový rozdíl, který je **kalibrováný**, lze měřit velmi přesně. Jelikož zde neexistují žádné výrazné ztráty, zobrazený proud je téměř ekvivalentní s kalibračním signálem.



Obr. 8.3: Identifikace kabelu v terénní aplikaci

Signální smyčka se mění v závislosti na uspořádání kabelu. Identifikaci kabelu lze provést **při jakémkoli uspořádání kabelu**.

Před zahájením samotného procesu identifikace kabelu provádí přístroj **vlastní kalibraci**, při níž je analyzován cílový kabel. Během tohoto postupu analyzuje přijímač rušení zkušební vzorku a amplitudu impulsu. Jelikož amplituda signálu závisí na odporu smyčky, přijímač **automaticky** nastaví vnitřní zesilovač na 100% výstupní amplitudu. Tímto způsobem je zaručeno, aby byl k vyhodnocení použit nejen **směr** proudění, nýbrž i **amplituda** proudového impulsu.

V posledním kalibračním kroku je vysílač synchronizován s přijímačem pomocí definovaného **času cyklu**. Tato synchronizace se provádí, protože během následující identifikace kabelu bude přijímač vyhodnocovat pouze impulsy během intervalu 100 ms (fáze. Tento impuls není vyvolán žádným magnetickým polem, jelikož se používá vysokoproudový impuls.

Nakonec je na místě pouze jediná žíla, která splňuje všechny kalibrační hodnoty v pozitivním směru, bez ohledu na to, kolik kabelů se nachází ve žlabu kabelové šachty.

Tyto související charakteristiky signálu zmíněné výše lze stručně shrnout jako

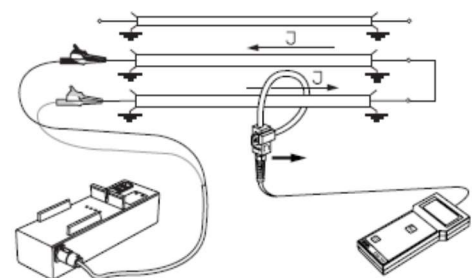
ATP – zachycení signálu:

- A ... amplituda a směr signálu;
- T ... časový interval odeslaných signálů synchronizovaných s vysílačem;
- P ... fáze: stejný směr signálu ve správném kabelu, všechny sousední kabely slouží jako zpětné vodiče nebo nepřenášejí žádný signál.

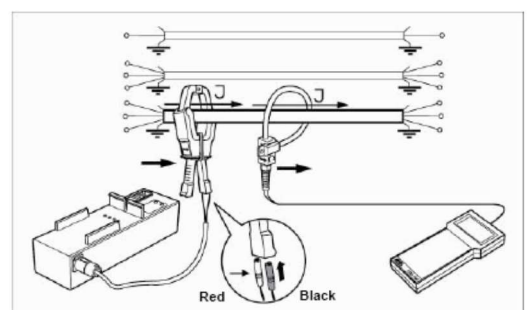
BAUR KSG 100 je jediný dostupný přístroj, který nabízí tak vysokou úroveň bezpečnosti. Plně automatické nastavení parametrů a kalibrace minimalizuje riziko chyby obsluhy.

Signál lze připojit jak na kabely bez napětí, tak na kabely pod napětím:

U kabelů bez napětí lze provést přímé připojení k žíle kabelu. V tomto uspořádání, kdy je žíla použita jako vodič, nejsou žádná omezení týkající se jmenovitého napětí nebo průměru kabelu. Pomocí pružné Rogowského cívky lze vytvořit smyčku průměru 200 mm, a lze ji proto použít i na vysokonapěťové kabely..



Obr. 8.4: Galvanické připojení jednožilových kabelů, připojení mimo vedení



Obr. 8.5: Indukční připojení kabelu pod napětím přes CT svorku AZ10

Při použití na kabely pod napětím nezáleží na tom, je-li jmenovité zatížení vysoké, či nízké, nebo jedná-li se o nízko- či dokonce vysokonapěťové vedení. Jelikož je v tomto případě provedena vazba přes proudovou svorku, je jediným omezením průměr této svorky.

KSG 100 Režim Expert

Při určitém uspořádání rozvodny v kombinaci s 3žilovými kabely není možný přístup k celému průměru kabelu v rozvodně. Výše popsanou kalibraci nelze provést. Rogowského cívku je nutno ovinout kolem žíly bez pláště. Naměřený kalibrační signál proto není roven signálu naměřenému na místě na celém průměru kabelu. Pro tato uspořádání je KSG 100 vybaven **režimem Expert**, díky němuž je možné **nastavit zesílení přijatého signálu**. **Indikovaný směr i synchronizace fází** nadále odpovídají kalibraci prováděné v rozvodně. Díky tomu lze provádět bezpečnou identifikaci kabelu i u velmi složitých uspořádání. Použití identifikace kabelu u PLC kabelů může být ovlivněno skutečností, že je vnější ochranná vrstva vodivá, a plášť kabelu je tudíž rovněž vodivý vzhledem k půdě. Má-li zpětná dráha signálu procházet kabelovým pláštěm, může část signálu unikat a procházet sousedními vodiči. Tyto takzvané bludné proudy již není možné nasměrovat na určenou dráhu. Tento účinek je důvodem, proč nemusí být u těchto uspořádání na místě k dispozici plná hodnota signálu. Použitím KSG 100 v režimu Expert lze zohlednit také účinek bludných proudů. Pokud je to možné, je třeba definovat dopřednou a zpětnou dráhu signálu přes kabelové žíly. Tímto způsobem lze účinky bludných proudů v PILC kabelech eliminovat.



Obr. 8.6: Přístupná kabelová koncovka, kalibrace na plném průměru kabelu



Obr. 8.7: Displej přijímače KSG 100 ukazující směr, hodnotu, vodivost vedení



Obr. 8.8: Celý kabel není dostupný, použití režimu Expert umožňuje bezpečnou identifikaci kabelu

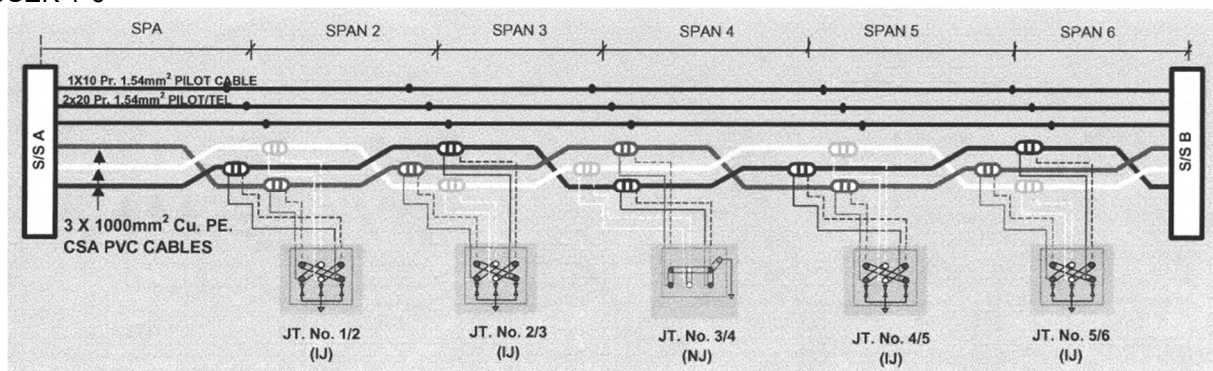
9 Praktické příklady lokalizace poruch kabelů

9.1 Lokalizace poruch VN kabelů s crossbonding (křížovým pospojováním spojů)

Jednožilové vysokonapěťové kabelové sítě jsou obvykle navrženy s křížem pospojovanými spoji. Výměnou kabelového pláště v místě spoje lze snížit ztráty v kabelu vysokého napětí.

Při aplikaci metod lokalizace poruch kabelů i při diagnostice částečných výbojů je třeba vzít vliv křížem pospojovaných spojů do úvahy. V kabelech 66-69kV, 115-132kV nebo 220kV je velmi často kabelový **plášť uzemněn** nebo **zařízení přepětové ochrany** připojena k plášti kabelu v takzvaných spojovacích skříních v místě spojů. Tyto spojovací skříně jsou obvykle navrženy tak, aby byly přístupné pro údržbu.

ÚSEK 1-6

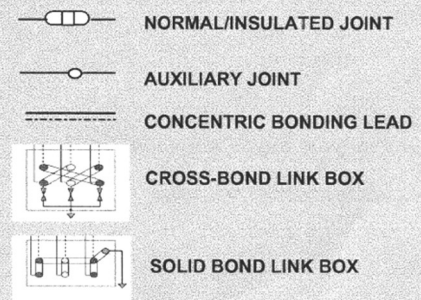


Obr. 9.1: Schéma systému křížového pospojování

LEGENDA:

NORMÁLNÍ/IZOLOVANÝ SPOJ
 POMOCNÝ SPOJ
 SOUOSÝ SPOJOVACÍ VODIČ
 SPOJOVACÍ SKŘÍŇ KŘÍŽOVÉHO SPOJENÍ
 SPOJOVACÍ SKŘÍŇ PŘÍMÉHO SPOJENÍ

LEGEND



Výše uvedené schéma systému křížového pospojování je příkladem, kdy se celkový kabel skládá ze 6 úseků. Po dvou spojovacích skříních s křížovým spojením následuje skřín se spojením přímým. Ve spojovací skříně s přímým zapojením jsou všechny tři pláště uzemněny.

Vlivy na předběžnou lokalizaci poruchy kabelu:

Metody předběžné lokalizace poruch kabelů založené na technikách procházejícího impulsu jsou ovlivněny spoji s křížovými vazbami. **Každá křížová vazba způsobuje výraznou změnu impedance vedení** (impedance mezi žílou a pláštěm). Impuls každého přístroje TDR se od spojů výrazně **odráží**. U impulsu z TDR vykazuje tato změna impedance podobné charakteristiky jako konec kabelu. Z tohoto důvodu dochází u takovýchto uspořádání k **výraznému ovlivnění** metod předběžné lokalizace poruch kabelů, jako jsou **TDR, SIM/MIM, rázově-proudová metoda nebo dokmitávací metoda**.

Aby byl eliminován účinek velkých změn impedance, je třeba všechny křížem pospojované spoje přemostit pomocí přímo připojených zkratovacích vodičů se svorkami nebo očky, které lze přímo upevnit.

Spojovací skříně s přímým připojením není třeba brát do úvahy, jelikož pouze navzájem spojují všechny pláště se zemí. Uzemnění nemá vliv na celkový postup lokalizace poruchy kabelu.

Jedinou metodou předběžné lokalizace, která není ovlivněna křížovým pospojováním, je můstková metoda. Protože metody podle Glasera nebo Murraye nejsou založeny na průchodu impulsů, nejsou vůbec ovlivněny. Kdykoli vykazuje porucha kabelu odporovou charakteristiku, lze použít vysokonapěťový měřicí můstek k přímé předběžné lokalizaci poruchy.

Vlivy na zaměrování trasy a přesné zaměrování poruchy:

Pro zaměření trasy je třeba přednostně použít **kabelový vodič**. Indukční vazba může způsobit problémy při úniku signálu do země v místě spojovacích skříní s přímým připojením.

Pro přesné zaměření poruchy je třeba použít metodu akustického zaměrování. Zvuk průrazu stejně jako VN impuls postupující směrem k poruše není ovlivněn, jelikož prochází žílou kabelu.

Identifikace kabelu:

U identifikace kabelu je důležité znát, zda síť zahrnuje křížem pospojované spoje. Pro vazbu identifikačního signálu kabelu je velmi důležité používat jako dopřednou i zpětnou trasu **pouze vodiče**. Tímto způsobem lze ošetřit vliv proměnlivých tras v plášti.

Příslušenství potřebné pro lokalizaci poruch kabelu:

s můstkovým křížovým pospojováním:

- Předběžná lokalizace poruchy kabelu pomocí metod TDR, SIM/MIM, ICM, dokmitávání
- Rázový generátor a půdní mikrofon pro akustickou lokalizaci poruchy

obvod ovlivněný křížovým pospojováním:

- Předběžná lokalizace poruchy kabelu pomocí měřicího můstku Shirla podle Murraye nebo Glasera

Požadavek: nízko- nebo vysokoohmová charakteristika poruchy, bez přerušení

Jedná-li se o přerušovanou poruchu, lze ji změnit na odporovou pomocí silného rázového generátoru.

- Rázový generátor a půdní mikrofon pro akustickou lokalizaci poruchy



Obr. 9.2: Přístupné spojovací skříně, s připojenými přemostovacími vodiči u můstkových metod

Zkoušky pláště a lokalizace poruchy pláště:

U zkoušek kabelových plášťů je třeba spojovací skříně s přímými spoji otevřít a odpojit uzemnění. Pokud je ke kterékoli spojovací skříně připojeno dodatečné zařízení přepětové ochrany, je nutno je rovněž odpojit.

V případě poruchy pláště lze tuto poruchu předběžně lokalizovat pomocí měřicího můstku. Výsledek vede do příslušného úseku. Jelikož může být výsledek předběžné lokalizace ovlivněn několikanásobnou poruchou podél celé trasy, je třeba úsek kabelu, v němž se porucha nachází, v dalším kroku odpojit. Polohu lze definitivně potvrdit opakováním předběžné lokalizace s měřicím můstkem v příslušné spojovací skříně.

Pomocí přístroje Shirla v DC-pulzním režimu lze provést přímo přesné zaměření poruchy metodou krokového napětí.

9.2 Zkušenosti s TDR při crosbonding (křížovém pospojování)

Podmínky: Kabel 66 kV XLPE
 Jedna žíla
 Celková délka kabelu: 14930 m
 Počet spojovacích skříní: 42
 Uspořádání: 2x IJ... spoj s křížovým spojením
 1x NJ ... spoj s přímým připojením
 (viz Obr. 9.1)

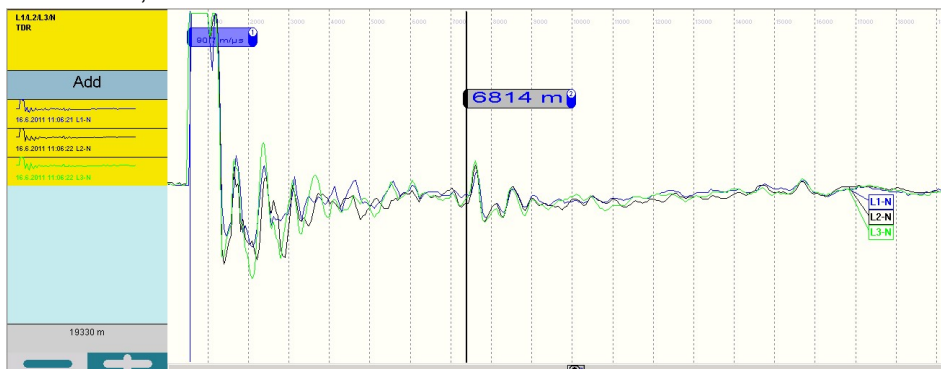
Měřicí můstek nelze použít vzhledem k indukovanému napětí.
 Alternativní řešení bylo odzkoušeno pomocí IRG 3000 (dielektrická pevnost 400 V).



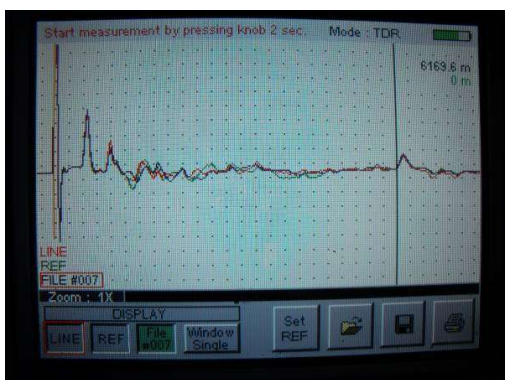
Obr. 9.3: Koncovka: Ang M. K. 6 6kV rozvodna, SF 6



Obr. 9.4: IRG 3000 / Syscompact 3000



Obr. 9.5: Výsledek měření TDR pomocí IRG3000, pozitivní odraz v 6814 m



Obr. 9.6: Měření TDR pomocí IRG 2000, viditelný pozitivní odraz



Obr. 9.7: Spojovací skříň s otevřenými konektory v 6814 m

TDR je obecně ovlivněn křížem zapojenými spoji.

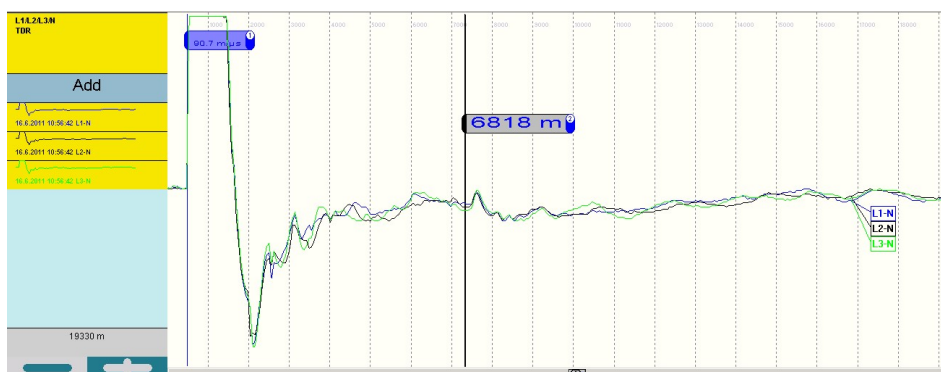
Impedance v každém spoji se mění a způsobuje odraz impulsu TDR. Všeobecně je známo, že po 2-3 křížem zapojených spojích dochází k silnému odrazu impulsu TDR, který může obtížně postupovat dál kabelem.

IRG 3000 a IRG 2000 lze použít s automatickým nastavením parametrů. Po volbě velkého rozsahu zobrazení, aby bylo možné zobrazit na obrazovce celou délku kabelu, se zvolí impuls TDR s velkou šířkou. Díky tomu je energie impulsu vyšší a dá se předpokládat, že se dostane do větší vzdálenosti.

U uspořádání s křížovým zapojením bylo zjištěno, že impuls s větší šířkou podléhá většímu odrazu v křížových spojích než impulsy s malou šířkou.

V tomto konkrétním případě bylo zjištěno, že při nastavení ideální šířky impulsu bylo měření TDR možné, a bylo zobrazeno přerušení kabelu ve vzdálenosti 6814 m.

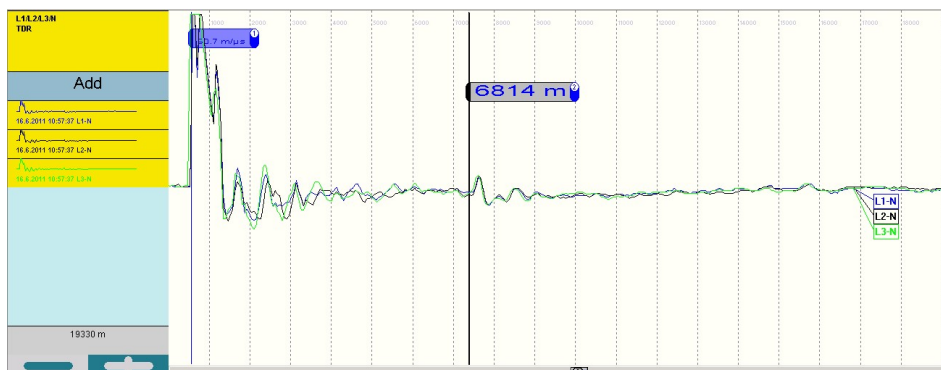
Účinek rozdílné šířky impulsu:



Obr. 9.8: Napětí: 40 V, šířka impulsu: 10000 ns

Příliš velká šířka impulsu

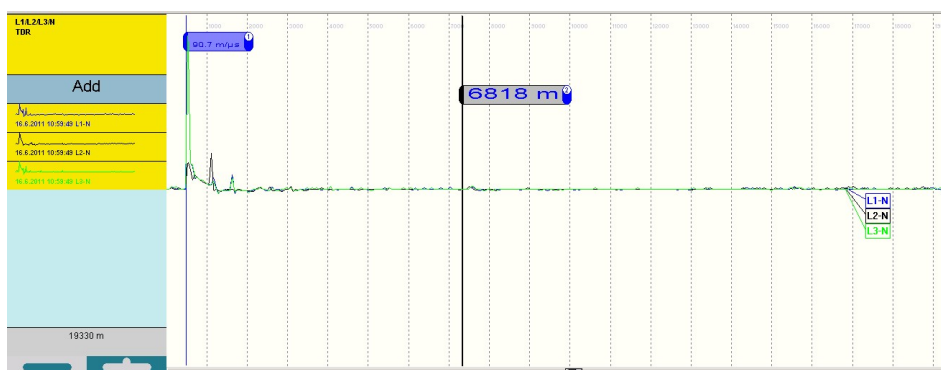
- Silný odraz v prvních křížových spojích
- Odrazy za 2-3 spoji již nejsou zřetelné



Obr. 9.9: Napětí: 40 V, šířka impulsu: 2000 ns / ideální šířka impulsu

Ideální šířka impulsu

- Mírný odraz v křížových spojích
- Impuls může procházet křížovými spoji

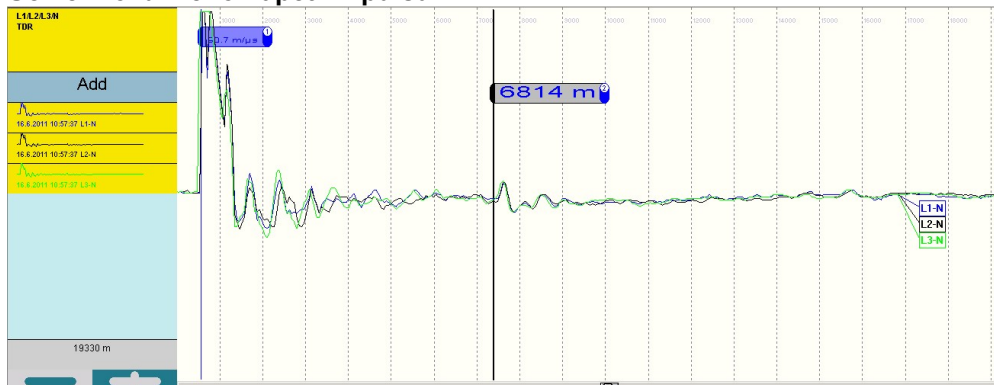


Obr. 9.10: Napětí: 40 V, šířka impulsu: 100 ns

Příliš malá šířka impulsu

- Energie impulsu je příliš malá, odraží se pouze první úsek kabelu.
- Impuls je utlučen.

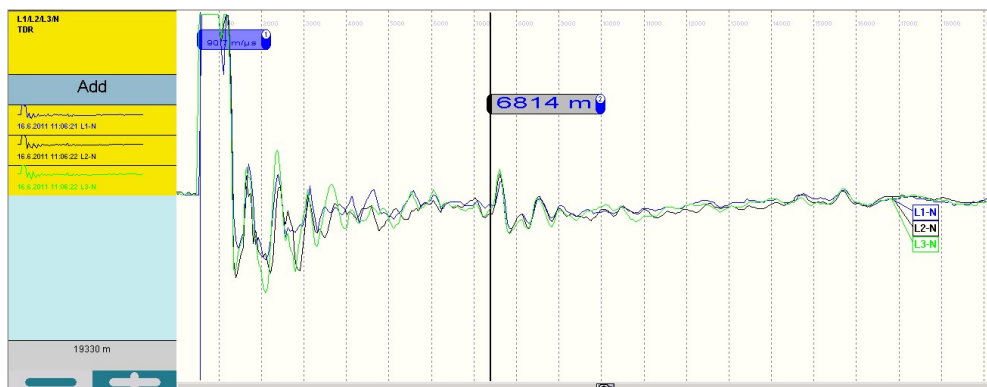
Účinek rozdílného napětí impulsu:



Nízké napětí impulsu

- Odraz blízkého kabelového úseku je velmi zřetelný

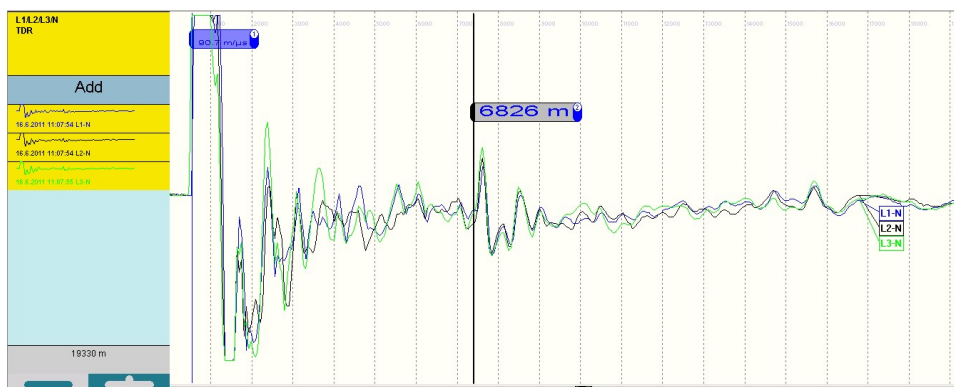
Obr. 9.11: Napětí: **40 V**, šířka impulsu: **2000 ns**



Střední napětí impulsu

- Odraz kabelového úseku ve střední vzdálenosti je velmi zřetelný

Obr. 9.12: Napětí: **80 V**, šířka impulsu: **2000 ns**



Vysoké napětí impulsu

- Odraz kabelového úseku ve velké vzdálenosti je velmi zřetelný

Obr. 9.13: Napětí: **160 V**, šířka impulsu: **2000 ns**

Aplikace vyššího napětí impulsu má za následek výraznější změnu impedance a umožňuje zobrazení změn impedance na větší vzdálenosti. Volba správného nastavení závisí na zaměřeném bodu. Nachází-li se porucha daleko od místa připojení, je potřebné vyšší napětí impulsu. Je-li porucha blízko bodu připojení, zobrazí se bližší úsek kabelu zřetelněji, je-li zvolené napětí impulsu nižší.

Úspěšnost použití TDR v uspořádáních s křížovým zapojením závisí na uspořádání křížového spoje a provedení soustavy spoj – spojovací skříň. Vzdálenost mezi spojem (např. pod silnicí) a spojovací skříň (např. vedle silnice) je důležitá a má vliv na změnu impedance.

Metoda TDR umožňuje identifikaci:

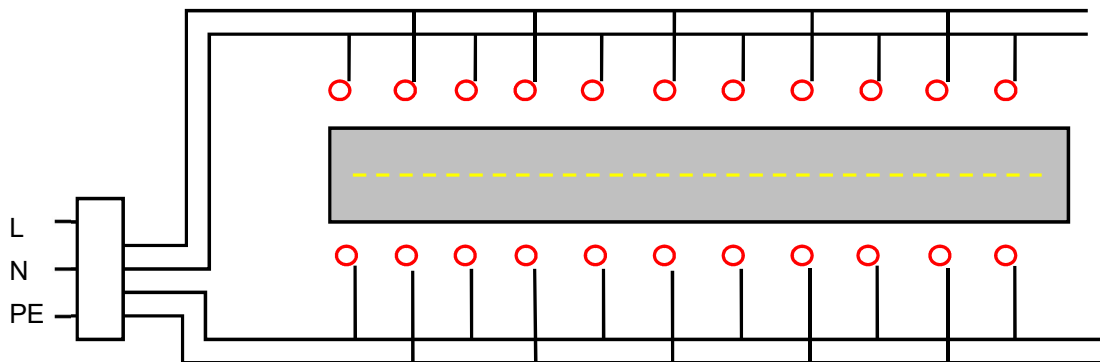
- přerušení v plášti, např. otevřeného konektoru v kterékoli spojovací skříni
- nízkohmových závad (mezi žílou a pláštěm)
- otevřeného obvodu, obvyklá charakteristika po selhání spoje, vypaření částí Al-vodiče

9.3 Lokalizace poruch kabelů v systémech osvětlení letišť

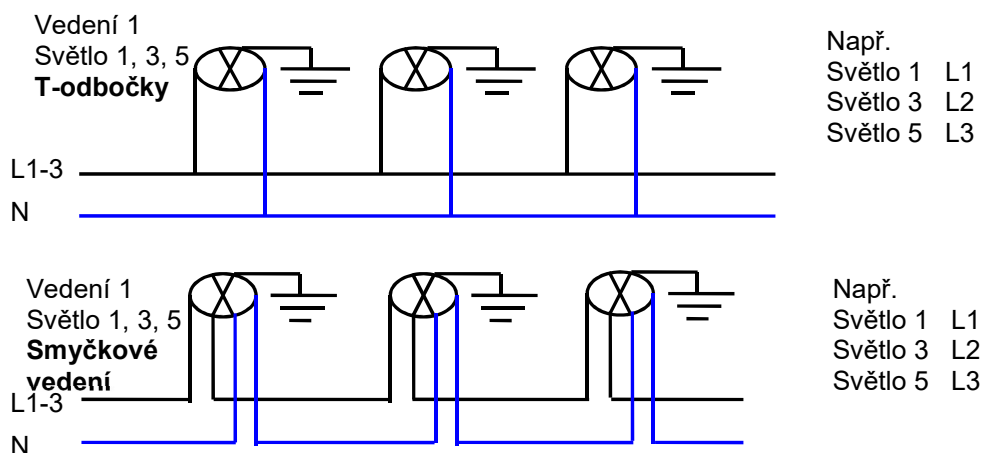
Soustavy osvětlení letištních ploch jsou napájeny silovými kabely, které je třeba posoudit z hlediska lokalizace poruch kabelů. V závislosti na provedení je třeba vzít do úvahy různé způsoby provedení lokalizace poruch kabelů. V zásadě se obvykle instalují dvě různá provedení těchto sítí.

Paralelní uspořádání světel

Všechna světla jsou zapojena paralelně, takže napájecí napětí je přivedeno ke každému světlu. Aby bylo možné dodat nízké napětí (230/400 V) také na konec trasy, je nutno použít vodiče velkých průměrů. U těchto systémů je možné používat standardní systémy lokalizace poruch kabelů. Všechna světla je nutno odpojit od napájecího kabelu, a k tomu slouží běžná síť nízkého napětí. Normální odpojení světel vyžaduje pouze demontáž pojistek. U některých soustav jsou světla ve smyčce, a nemají proto spoje. Zde je možno v rámci předběžné lokalizace realizovat metody TDR a SIM/MIM i můstkové měření.



Obr. 9.14: Schematické znázornění paralelního zapojení světel



Obr. 9.15: Schematické znázornění paralelního zapojení světel, připojení s T-odbočkami a smyčkovým vedením

Některá jiná uspořádání se provádějí pomocí T-odboček pro každé světlo. V takových případech jsou metody TDR a SIM/MIM ovlivněny odrazy v těchto T-odbočkách. K předběžné lokalizaci poruchy jsou pak vhodné pouze můstkové metody.

Požadované příslušenství proto zahrnuje následující přístroje:

V sítích s T-odbočkami

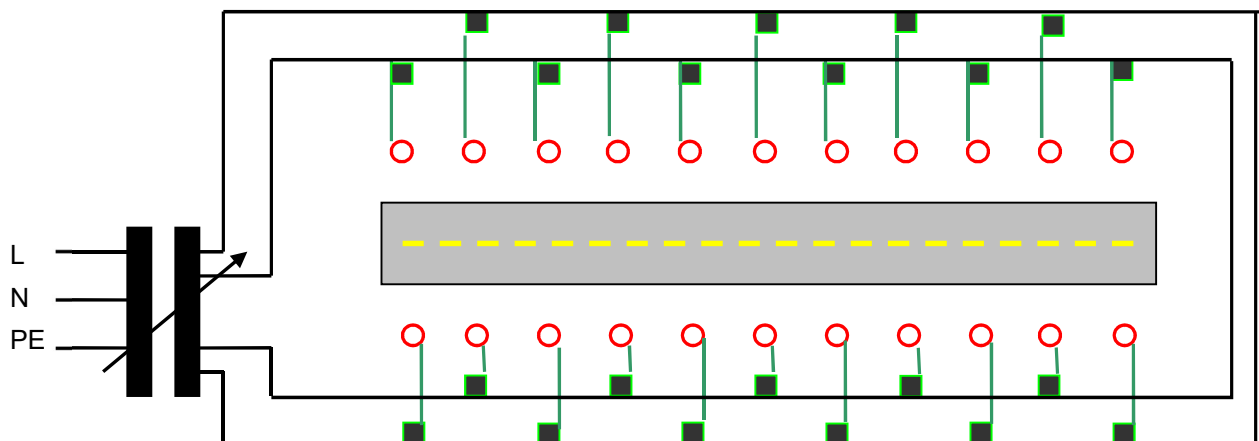
- Systém k lokalizaci poruch nízkonapěťových kabelů STG600 + IRG 2000
 - o k předběžné lokalizaci nízko- a vysokohmových závad i přerušovaných závad podle TDR a SIM/MIM
- Rázový generátor STG 600 v rázovém režimu
 - o k přesnému zaměření poruch metodou akustické lokalizace v kombinaci s půdním mikrofonom UL / BM

V sítích s T-odbočkami

- Vysokonapěťový měřicí můstek Shirla
 - o k předběžné lokalizaci nízko- a vysokohmových závad můstkovými metodami podle Murraye nebo Glasera
- Rázový geenrátor SSG 500
 - o k přesnému zaměření poruch metodou akustické lokalizace v kombinaci s půdním mikrofonom UL / BM

Sériové uspořádání světel s transformátory

Provedení sítě používaná v dřívějších instalacích osvětlení letišť zahrnovala vysokonapěťový kabelový okruh. Každé světlo je připojeno ke kabelu vysokého napětí přes transformátor. Primární strany transformátorů jsou navzájem spojeny do série. V závislosti na počtu transformátorů se nastavuje napájecí napětí pomocí stavitelného vysokonapěťového transformátoru.



Obr. 9.16: Schematické znázornění sériového uspořádání světel s transformátory

Také zde jsou světla rozdělena do několika obvodů uspořádaných dle schematického znázornění. U tohoto typu sítě nejsou potřebné vodiče velkých průměrů, jelikož je v síti vysoké napětí. Navíc je tento systém pružnější a je možné jej dále rozšiřovat. Každé světlo je vybaveno oddělovacím transformátorem, takže každý transformátor způsobí pokles napětí daný jeho primárním vinutím. Pro každé světlo lze dosáhnout stejného poklesu napětí i stejného napětí. Všechna světla jsou navržena tak, aby je bylo možné u transformátoru snadno odpojit.

Primární strany všech transformátorů jsou zapojeny do série. Při měření odporu zahrnuje hodnota tohoto měření všechny odpory na primárních stranách všech transformátorů zapojených do série. Aby bylo možné provést měření v rámci předběžné lokalizace, je třeba všechna světla odpojit, aby nedošlo k poškození.

Při předběžné lokalizaci poruch kabelů lze úspěšně použít pouze můstkovou metodu. Kabelový obvod lze považovat za obvod sériově zapojených odporů jednotlivých kabelových úseků a odporů vinutí na

primárních stranách transformátorů. Dřívější měřicí technologie založená na jednoduchém měřicím můstku vyžadovala práci s komplikovanými výpočty, aby bylo možné uvést odpory do souladu s aktuálními polohami. Podle tohoto výpočtu bylo možné převést naměřený údaj galvanometru na pole.

Moderní vysokonapěťový měřicí můstek **shirla** byl navržen s ohledem na tyto aplikace. Díky tomuto přístroji lze stanovit charakteristiky vedení **podle úseků**. Odpor prvního úseku až k prvnímu transformátoru je určen průměrem, materiálem a délkou kabelového úseku. Odpor primárního vinutí každého transformátoru lze změřit a přepočítat

ze substitučního vztahu $R_P = \frac{\rho_C * l}{A_V}$,

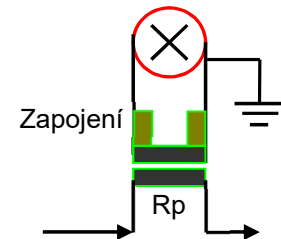
s těmito parametry:

R_p ... odpor primárního vinutí,

ρ_C ... měď (volitelná),

l ... cca 0,2 m,

A_V ... virtuální průřez získaný výpočtem $A_V = \frac{\rho_C * l}{R_p}$.



Obr. 9.17: Letištní světlo připojené přes oddělovací transformátor

Provozní nabídka přístroje shirla umožňuje odpovídajícím způsobem **zadávat jednotlivé úseky** (kabel, transformátor, kabel...). Naměřený výsledek je poté automaticky vypočten na základě zadaných úseků s jejich individuálními parametry. Příslušný úsek lze určit již po prvním měření.

Při přesném zaměřování poruch je možné příslušný úsek kabelu na obou koncích odpojit. S využitím rázového generátoru lze provést přesné zaměření poruchy kabelu pomocí akustické metody.

Požadované příslušenství proto zahrnuje následující přístroje:

- Vysokonapěťový měřicí můstek Shirla
 - o k předběžné lokalizaci nízko- a vysokoohmových závad můstkovými metodami podle Murraye nebo Glasera
- Rázový generátor SSG 500
 - o k přesnému zaměření poruch metodou akustické lokalizace v kombinaci s půdním mikrofonom UL / BM



Obr. 9.18: Shirla (přístroj k analýze plášťů, zkoušení izolace, odporu a místa poruchy)

9.4 Lokalizace poruch vysokonapětových kabelů, např. 115 kV

Vysokonapětové kabely, např. 115kV, 230kV apod., jsou většinou v provozu při vysokém zatížení. Dojde-li k poruše kabelu, je **energie průrazu velmi vysoká**.

XLPE kabely:

U XLPE kabelů obvykle dojde k velké explozi a spálení dílů v okolí poruchy nebo jejich úplnému vypaření.

Kromě toho jsou velmi často poškozeny také ostatní žíly i okolní kabely. Z tohoto důvodu lze provádět lokalizaci poruchy kabelu snadno pomocí **základního vybavení pro lokalizaci poruch kabelů** určeného pro středněnapětové kabely. K předběžné lokalizaci těchto poruch kabelů obvykle plně postačuje lokalizační systém založený na rázovém generátoru do 32 kV.



Obr. 9.19: Vypařená žíla po poruše kabelu, 132 kV XLPE

V podmínkách nízkoohmových závad lze na základě srovnání TDR grafů nepoškozené žíly a vadné fáze sestavit přesné grafy předběžné lokalizace poruchy kabelu.

V závislosti na proudovém zatížení kabelu v okamžiku průrazu, mohou zůstat podmínky rovněž vysokoohmové nebo přerušované. Tyto poruchové stavy může obecně pokrýt rázový generátor 32 kV v kombinaci s metodou SIM/MIM nebo ICM.

Vyazuje-li poruchový stav podmínky **přímého uzemnění**, přesné zaměření pomocí akustické lokalizační metody možná nebude možné provést, protože při zkratové poruše nemůže dojít k průrazu. V takovém případě je jedinou metodou, jak provést přesné zaměření poruch **1žilových kabelů metoda krokového napětí**.



Obr. 9.20: Spoj 132 kV po explozi při poruše kabelu, 132 kV XLPE, při explozi došlo k vyzvednutí zeminy nad místem poruchy

U **3žilových kabelů**, které se používají zřídka, lze k přesnému zaměření použít i **zkrutovou metodu**.

Kabely PILC:

Vysokonapětové PILC kabely jsou odolnější vůči průrazu. U těchto kabelů může být zbývajícím poruchovým stavem přerušovaná závada s určitým průrazným napětím, které může být vyšší než 32 kV.

K předběžné lokalizaci těchto poruch je potřebná dokmitávací metoda s použitím HV DC nebo VLF přístroje pokrývajícího průrazné napětí. Všechny tyto dostupné VN přístroje lze v zásadě použít v propalovacím režimu. Většinu poruchových stavů lze změnit použitím propalovacího režimu po určité době. Během tohoto **propalování poruchy** dochází k uhelnatění papírové izolace a **průrazné napětí poruchy lze snížit**.

Ke konečnému přesnému zaměření lze použít **rázový generátor** s maximálním výstupním napětím **32 kV**.

Pouze velmi ojediněle je potřeba použít rázový generátor s vyšším výstupním napětím.



Obr. 9.21: Porucha u kabelu 132 kV PILC