

Ing. Leoš Koupý

MĚŘENÍ PŘI REVIZÍCH ELEKTRICKÝCH INSTALACÍ

IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY

ČSN 33 2000-6 ED.2, ČSN 33 2000-4-41



1 ÚVOD

Jedním z nejdůležitějších způsobů ochrany před nepříznivými účinky elektrického proudu je samočinné odpojení elektrického obvodu od zdroje v případě, kdy se vlivem poruchy izolace dostane nebezpečné napětí na neživé části obvodu. Tím dojde ke změně v síti, obvykle k průtoku poruchového proudu jinou cestou než pracovními vodiči, což uvede v činnost jistící prvek, který odpojí elektrický obvod od zdroje.

Velikost poruchového proudu je ovlivněna vlastnostmi obvodu, kterým proud proteče a vzhledem k tomu, že síťové napětí způsobující poruchový proud lze v rámci určité tolerance považovat za stále stejně velké, je zřejmé, že na velikost poruchového proudu má především vliv velikost odporu, který poruchový obvod klade protékajícímu proudu. Odpor poruchového obvodu neboli poruchové smyčky, lze tedy považovat za nejdůležitější vlastnost ovlivňující správnou funkci ochrany samočinným odpojením od zdroje.

1.1 IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY

Impedance poruchové smyčky je součtem impedancí a odporů jednotlivých částí obvodu, kterým v případě vzniku poruchy protéká poruchový proud od zdroje k místu poruchy.

V TN síti impedanci poruchové smyčky tvoří:

- Z_T (impedance sekundárního vinutí napájecího transformátoru)
- Z_L (impedance fázového vodiče od zdroje k místu poruchy)
- R_{PE} (odpor PE / PEN vodiče od místa poruchy ke zdroji)

V TT síti impedanci poruchové smyčky tvoří:

- Z_T (impedance sekundárního vinutí napájecího transformátoru)
- Z_L (impedance fázového vodiče od zdroje k místu poruchy)
- R_{PE} (odpor PE vodiče od místa poruchy po místo uzemnění a zemní odpor jeho uzemnění)
- Zemní odpor uzemnění zdroje (distribučního transformátoru)

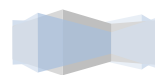
Odpor, který ochranný obvod klade průchodu poruchového proudu, je nazýván impedancí poruchové smyčky, neboť nemusí obsahovat pouze reálnou (odporovou) složku, ale i induktivní nebo výjimečně i kapacitní složku. Induktivní složka je tvořena především induktancí vinutí napájecího transformátoru. Činnou odporovou část impedance pak tvoří odpor vodičů (vodiče instalace, vodiče vinutí transformátoru) případně zemní odpor v TT síti.

Indukční složku impedance lze ve většině případů zanedbat, jestliže je impedance smyčky větší než 0,4 Ω . Pokud se ovšem měření provádí v blízkosti napájecího transformátoru (< 50 m) může mít indukční složka impedance (induktance) hodnoty srovnatelné s odporovou částí (rezistancí). Pokud měřicí přístroj měří pouze odpor poruchové smyčky, a nikoliv skutečnou impedanci, je v těchto případech naměřena nižší hodnota odporu poruchové smyčky, než je její skutečná impedance, a to může mít vliv na správnost rozhodnutí o správné funkci ochrany automatickým odpojením od zdroje.

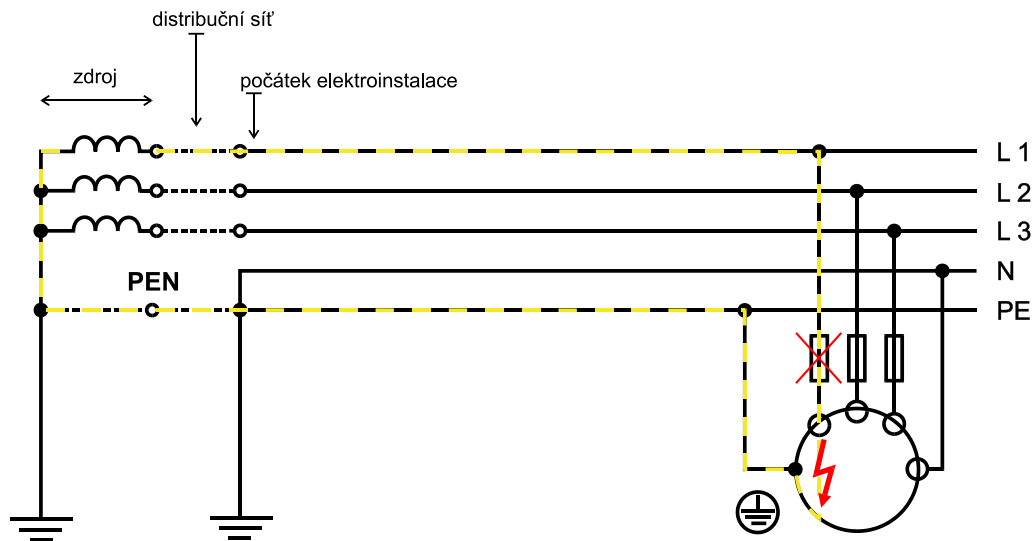
Pokud dochází u sítí TN nebo TT k průtoku poruchového proudu obvodem, jehož součástí je PE vodič nebo uzemnění, je nutno zajistit, aby odpor tohoto obvodu nebyl natolik velký, že způsobí omezení poruchového proudu na hodnotu, která již nedokáže vybavit jistící prvek (jistič nebo pojistku). Z toho důvodu je nutno při revizích elektrických instalací měřit odpor PE obvodu (TN) a zjistit, zda je dostatečně malý, aby poruchový proud jím protékající způsobil bezpečné vybavení jistícího prvku v předepsaném čase.

Na obr. 1 je naznačen průtok proudu obvodem poruchové smyčky při poruše izolace mezi živou a neživou částí elektrického zařízení. Je zřejmé, že v okamžiku vzniku poruchy se fázové napětí připojí na PE obvod a průtok poruchového proudu způsobí na všech částech s PE obvodem spojených vznik napětí. Pokud je toto takzvané dotykové napětí příliš velké, může způsobit úraz osob, které se v té chvíli dotýkají elektrických zařízení, například spotřebičů připojených k PE vodiči sítě.

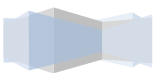
Poruchová smyčka tedy musí mít takové parametry, aby při poruše izolace mezi živou a neživou částí elektrického zařízení jistící prvky odpojily chráněnou část natolik rychle, aby nedošlo k jejímu dalšímu poškození, a aby na chráněných částech nevzniklo nebezpečné dotykové napětí. Toto je zajištěno tehdy, pokud



není poruchová smyčka přerušena a pokud je její impedance dostatečně malá (čím menší impedance, tím větší poruchový proud a tím rychlejší vybavení jistících prvků). Velikost dotykového napětí lze pak omezit dobrým uzemněním PE obvodu.



Obr. 1 – Obvod poruchové smyčky



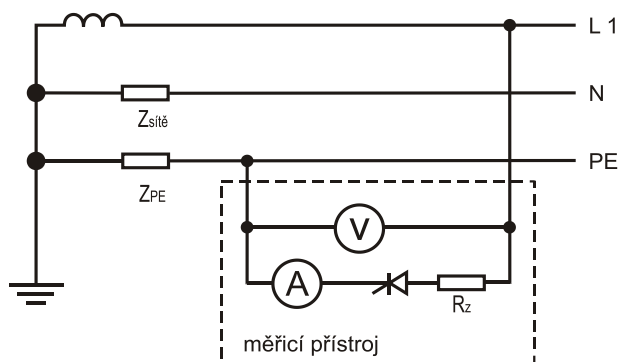
2 MĚŘENÍ IMPEDANCE SMYČKY

2.1 PRINCIP MĚŘENÍ

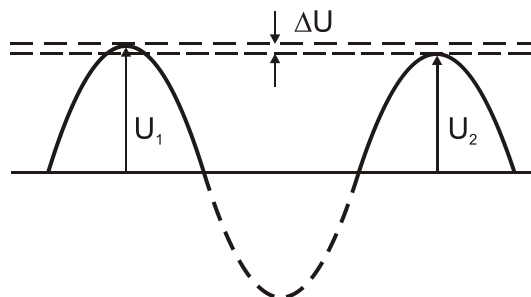
Princip měření impedance smyčky je ve všech měřicích přístrojích použit shodný (viz obr. 2). Přístroj simuluje vznik poruchy izolace mezi živou a neživou částí sítě a z průtoku simulovaného poruchového proudu vyhodnotí velikost impedance obvodu.

Měřič impedance je připojen mezi fázový vodič L a vodič PE (případně mezi L a N pokud se měří impedance sítě). Po zahájení měření přístroj změří napětí zdroje naprázdno U_1 . Potom do obvodu připojí zatěžovací odpor R_z , kterým proteče měřicí proud I a zároveň voltmetr změří napětí U_2 v obvodu při zatížení simulovaným poruchovým proudem. Rozdíl $U_1 - U_2$ je úbytek napětí na měřené impedanci Z při průtoku proudu I a přístroj vyhodnotí impedanci jako:

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I}$$



Obr. 2 - Princip měření impedance poruchové smyčky



Obr. 3 – Úbytek napětí na měřené impedanci

Měření úbytku napětí během dvou po sobě následujících půl period síťového napětí je zachycen na obr. 3. Pro lepší názornost je zobrazen jako rozdíl vrcholových hodnot, ovšem ve skutečnosti přístroj měří efektivní hodnoty těchto napětí. Je zřejmé, že čím menší je impedance smyčky, tím menší je úbytek napětí na ní, a tím menší je tedy rozdíl napětí při nezatížené a zatížené síti. Dále je třeba si uvědomit, že napětí U_1 a U_2 jsou napětí sítě, tzn. asi 230 V a rozdíl mezi nimi se pro impedance menší než 1 Ω pohybuje v závislosti na velikosti měřicího proudu v nejlepším případě řádově v jednotkách voltů. Na přesnost měření takto malých napěťových rozdílů mají samozřejmě vliv jakékoliv rušivé jevy v síti a velké nároky jsou také kladeny na elektronické měřicí obvody přístroje. Proto čím menší je měřená impedance, s tím větší nejistotou (chybou) je měření provedeno.

Na přesnost měření impedance mají především vliv:

- Přesnost měření napětí v přístroji
- Nestabilita síťového napětí
- Rušení v síti
- Zkreslení tvaru sinusového průběhu napětí

2.2 ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI A ZVÝŠENÍ PŘESNOSTI PŘI MĚŘENÍ

Nejstarší měřicí přístroje řešily problém eliminace rušivých jevů v síti tím, že měření probíhalo delší dobu, aby byl získán průměrný výsledek. Tento postup měl ale negativní vliv na zachování bezpečnosti při měření, neboť během měření je fázové napětí přivedeno na ochranný vodič, a pokud jeho impedance není dostatečně malá, objeví se na částech spojených s PE obvodem, například na neživých částech spotřebičů připojených k síti, nebezpečné napětí.

Moderní přístroje musí být proto konstruovány tak, aby buď neustále kontrolovaly během měření dotykové napětí na PE vodiči a automaticky přerušily měření, dosáhne-li nebezpečné hodnoty, nebo měření musí

probíhat jen po tak krátkou dobu, že i při výskytu nebezpečného dotykového napětí v PE obvodu nemůže dojít k úrazu elektrickým proudem. Tento druhý způsob je u současných měřicích přístrojů převládající.

Při měření velmi malých impedancí je výsledek nezanedbatelným způsobem ovlivněn také odporem měřicích vodičů, přechodovým odporem mezi konektory přístroje pro připojení vodičů a kontakty měřicích vodičů a především přechodovým odporem mezi měřicími hroty a měřeným objektem. S odporem měřicích vodičů, které výrobce k přístroji standardně dodává, je již obvykle počítáno při výrobním nastavení přístroje, a přestože se může měnit (např. s oteplením vodičů), je jeho vliv na výsledek měření u běžných přístrojů zanedbatelný. Přechodový odpor mezi měřicími hroty a měřeným objektem je ovšem ovlivněn celou řadou faktorů, jako je přitlačná síla hrotů k měřenému objektu, plocha styku měřicích hrotů nebo krokosvorek a měřeného objektu, koroze styčných povrchů apod.

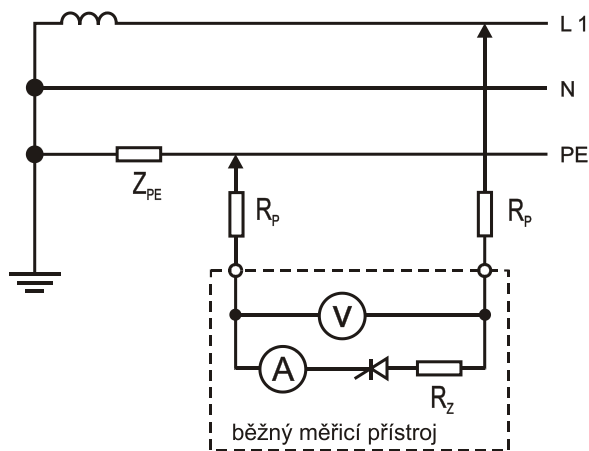
Pro zvýšení přesnosti měření a eliminaci rušivých jevů v síti se u přístrojů používají následující metody:

- Měření jednou polovinou periody síťového kmitočtu, kdy při první půlplně v síti je měřeno napětí bez zatížení zdroje a během následující půlplně shodné polarity dojde k připojení zatěžovacího odporu do obvodu a měření napětí a proudu při zatížení. Metoda vyžaduje zatížení obvodu vyšším měřicím proudem, neboť měření probíhá po krátkou dobu a výsledek měření nepříznivě ovlivňují krátkodobé výkyvy napětí.
- Přístroj provede několik těsně po sobě následujících měření a vyhodnotí průměrný výsledek. Nevýhodou je prodloužení doby měření a proud protékající zatěžovacím odporem produkuje vyšší množství tepla, což u rozměrově menších přístrojů vede k přehřívání přístroje při jeho intenzivním používání.
- Použití čtyřvodičové metody měření pro eliminaci vlivu odporu měřicích vodičů a přechodových odporů mezi měřidlem a měřeným objektem u přesných měřicích velmi malých impedancí.

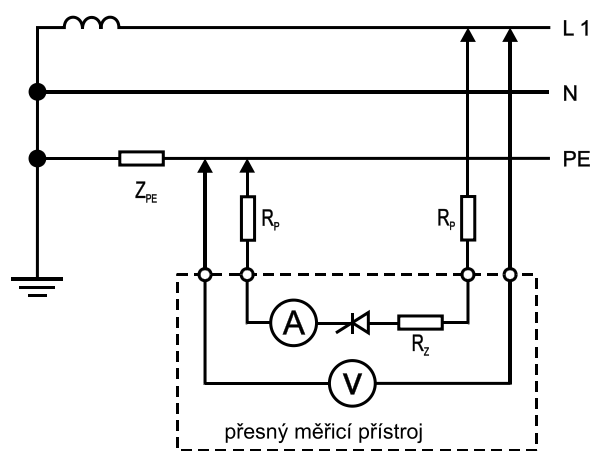
2.3 ČTYŘVODIČOVÁ METODA MĚŘENÍ ODPORU

Při měření velmi malých impedancí již není možno zanedbat odpor měřicích vodičů a vliv přechodových odporů na styku měřicích vodičů a měřeného objektu. Tyto odpory se u běžných, dvouvodičově připojovaných přístrojů přičítají k měřené impedanci, a jak bylo vysvětleno v předchozí kapitole, nelze jejich hodnotu předem zjistit a od naměřeného výsledku odečíst. Pro vyloučení vlivu těchto odporů se u velmi přesných měřicích impedance používá tzv. čtyřvodičové připojení k měřenému objektu.

U dvouvodičově připojovaných měřicích impedance (obr. 4) je úbytek napětí v obvodu, kterým prochází měřicí proud, snímán na připojovacích svorkách uvnitř přístroje a zahrnuje tedy i úbytky napětí na odporech měřicích vodičů a na přechodových odporech měřicích hrotů. Tím se do naměřeného výsledku promítnou i tyto odpory.

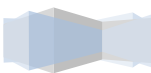


Obr. 4 – Dvouvodičové připojení měřicího přístroje



Obr. 5 – Čtyřvodičové připojení měřicího přístroje

Přístroj využívající čtyřvodičového připojení (obr. 5) má oddělené svorky pro proudový obvod a pro snímání napětí na měřeném objektu. Připojuje se tedy čtyřmi vodiči, z nichž dvěma prochází měřicí proud a dva snímají



napětí až za připojením proudových vodičů. Voltmetr tedy měří úbytek napětí pouze na měřené impedanci poruchové smyčky a odpory proudových vodičů a jejich přechodové odpory se do naměřeného výsledku nepromítanou. Při praktickém provedení měření je třeba dbát na to, aby napěťové svorky byly zapojeny vně proudového okruhu.

Je zřejmé, že po praktické stránce je čtyřvodičové připojení měřicího přístroje méně pohodové a v mnoha případech téměř nepoužitelné – například pro měření impedance v síťových zásuvkách. Využívá se tedy především při velmi přesném měření impedance u obvodů jištěných prvky s vysokým měřicím proudem, kde je na přívodech dostatek místa pro připojení vodičů pomocí krokosvorek.

2.4 PROBLEMATIKA MĚŘENÍ IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY

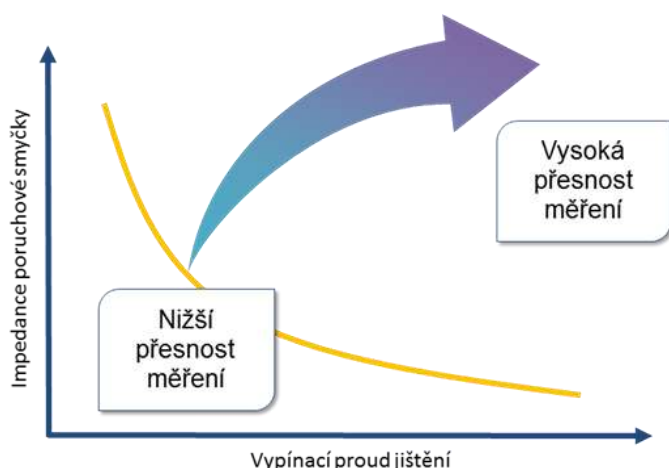
Z principu měření impedance poruchové smyčky a požadavků na toto měření kladených, vyplývají následující závěry:

1. Při měření je nutno dosáhnout dostatečné, pokud možno co nejvyšší přesnosti měření pro relativně malé hodnoty impedance. Zvyšování měřicího proudu naráží na omezení v měřicím přístroji (zvětšování rozměrů zatěžovacího odporu, odvod vznikajícího tepla apod.) i v síti (nadměrné zatěžování sítě a omezení daná jistíci prvky, tzn. dimenzování pojistek a jističů). Doba měření zase nelze prodlužovat z důvodu zajištění bezpečnosti při měření.
2. Jsou-li v elektrické instalaci použity proudové chrániče, potom měřicí proud, který je pro chrániče poruchovým proudem způsobí jeho vybavení a tím je měření znemožněno. Řešením, které se nabízí, je snížení měřicího proudu na takovou úroveň, kdy ještě nedojde k vybavení chrániče. To ovšem vede ke značnému zhoršení přesnosti měření.

Protichůdné požadavky na měřicí metodu v závislosti na jištění sítě názorně zobrazuje diagram na obr.6:

- Čím vyšší je vybavovací proud jistících prvků v síti, tím menší musí být impedance poruchové smyčky (znázorněno žlutou křivkou).
- Čím menší je impedance smyčky, tím přesnější přístroj je nutno k měření použít.

Závěr je tedy zřejmý. Pro měření v instalacích jištěných jistíci prvky s vyšším vybavovacím proudem je nutno použít přesnější měřicí přístroj. Vhodnost použití měřicího přístroje pro měření v dané síti je tedy předem třeba pečlivě zvážit již z toho důvodu, že požadavek na přesnost měřicího přístroje v závislosti na parametrech jištění vznáší i normy řady ČSN EN 61557. Jakým způsobem lze za využití technických parametrů přístroje vyhodnotit jeho vhodnost pro dané měření tak, aby měření proběhlo v souladu s požadavky norem, bude vysvětleno dále.



Obr. 6 – Požadavky na měřicí přístroj v závislosti na jištění sítě



3 POŽADAVKY NA PŘESNOST MĚŘENÍ IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY

Jak ví jistě každý, kdo má alespoň základní elektrotechnické znalosti, nejsou hodnoty naměřené měřicím přístrojem absolutně přesné. Skutečná hodnota měřené veličiny se této přístrojem zobrazené hodnotě více či méně blíží a nachází se v intervalu definovaném nejistotou měření měřicího přístroje. Dříve se tato nejistota měření nazývala chybou měření. Při vyhodnocení výsledků měření při revizích je třeba s nejistotou měření počítat a především tehdy, kdy naměřená hodnota se blíží mezní hodnotě veličiny povolené normou je třeba nejistotu měření spočítat a vyhodnotit, zda po jejím zohlednění je výsledek z hlediska ČSN ještě vyhovující.

3.1 TECHNICKÉ PARAMETRY MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE

Přesnost měření, tzn. definování nejistoty měření a další údaje důležité pro vyhodnocení měření lze nalézt v návodu k použití každého měřicího přístroje v kapitole označené obvykle jako „Technické parametry“. Které údaje důležité pro provoz měřicího přístroje by v jeho návodu k použití neměly chybět, definují normy ČSN EN 61557. Vysvětleme si nejdůležitější pojmy z technických parametrů nutné pro správné stanovení nejistoty měření.

Níže uvedené názvosloví je převzato z ČSN 01 0115 (Mezinárodní slovník termínů v metrologii) nebo je vžito pro označování příslušných technických parametrů u českých výrobců měřicí techniky. V návodech k zahraničním přístrojům se lze často setkat s odlišným názvoslovím vzniklým obvykle jako doslovný překlad cizojazyčných, většinou anglických výrazů do češtiny.

Základní nejistota měření – nejistota měřicího přístroje stanovená za referenčních podmínek.

Tento údaj je důležitý pro kalibrační laboratoř, která má provést kalibraci přístroje.

Pracovní nejistota měření – nejistota měřicího přístroje určená za pracovních podmínek. Nejistotu stanoví výrobce přístroje tak, že k základní nejistotě přičte veškerá možná zhoršení přesnosti, která mohou vzniknout okolními vlivy, jestliže přístroj není provozován za referenčních podmínek. Pracovní nejistota tedy nemůže být menší než základní nejistota měření.

Tento údaj je důležitý pro uživatele přístroje. Není-li v návodu k použití tato nejistota uvedena, nelze prakticky měřicí přístroj pro revize použít.

Vyjádření pracovní nejistoty bývá v technických parametrech návodů k použití vyjádřeno různým způsobem. Pro uživatele nejjednodušší je, pokud je v návodu k použití přístroje uvedena přímo pracovní nejistota ve tvaru popsáném v kap. 3.2. V některých návodech k přístrojům však bývá uvedena základní nejistota a pracovní nejistotu je třeba stanovit tak, že se k této základní nejistotě přičte určitý koeficient stanovený výrobcem. V návodech ke starším přístrojům Metry Blansko je například uvedeno, že k základní chybě se přičítají určité desetiny procenta z měřené hodnoty na každý °C, o který se okolní teplota liší od stanovené referenční teploty apod. Je zřejmé, že takovéto vyjádření pracovní nejistoty je pro uživatele velice komplikované a v praxi téměř nepoužitelné.

Pracovní podmínky – podmínky, za kterých lze přístroj provozovat a je při nich definována pracovní nejistota měření. Mezi pracovní podmínky může patřit například okolní teplota, relativní vlhkost vzduchu, napájecí napětí přístroje apod. Mimo tyto pracovní podmínky nelze přístroj provozovat, neboť měření proběhlo v oblasti, kde již není definována přesnost měření a nelze tedy zjistit, nakolik se od skutečné hodnoty liší. Navíc hrozí i poškození přístroje při jeho provozu, např. napěťový průraz izolací při vysoké vlhkosti ovzduší.

Tento údaj je důležitý pro uživatele přístroje.

Referenční podmínky – podmínky použití předepsané pro vzájemné porovnání výsledků měření například při kalibraci přístroje v kalibrační laboratoři. Jsou obdobné jako pracovní podmínky, ale jejich toleranční pásmo je značně menší. Při referenčních podmínkách je definována základní nejistota měření.

Tento údaj je důležitý pro kalibrační laboratoř, která má provést kalibraci přístroje.

Měřicí rozsah – rozsah hodnot, které je přístroj schopen měřit s definovanou přesností, jinak řečeno nalézá-li se hodnota měřené veličiny v tomto rozsahu, lze stanovit, s jakou absolutní chybou byla změřena.

Rozlišovací schopnost – nejmenší rozdíl mezi indikacemi zobrazovacího zařízení, který může být prokazatelně rozlišován. U digitálních přístrojů se jedná o nejmenší hodnotu, kterou je přístroj schopen zobrazit na displeji, např. jedno číslo na posledním místě zobrazeného údaje, které se pro účely definování nejistot měření nazývá digit.

Jmenovitý rozsah – pod tímto pojmem je v technických podmínkách míněn rozsah, ve kterém přístroj měří s relativní pracovní nejistotou menší nebo rovnou hodnotě požadované příslušnou normou.

Jak bude vysvětleno dále, je jmenovitý rozsah pro měřiče impedance jedním z nejdůležitějších údajů, které lze z technických podmínek vyčíst, neboť z něj vyplývá vhodnost použití přístroje pro konkrétní měření. Na základě tohoto údaje můžeme usoudit, zda pro měření obvodu s daným jištěním nám přístroj bude z hlediska přesnosti stačit, nebo zda budeme muset použít přesnější přístroj.



Obr. 7 – Příklad použití základní a pracovní nejistoty měření

Vysvětleme si ještě, co je to absolutní a relativní nejistota měření. S těmito pojmy se sice v technických údajích přístrojů nesetkáme, ale jsou důležité pro pochopení toho, co je míněno chybou měření uvedenou v návodu k použití a jaké požadavky na přesnost přístrojů kladou ČSN.

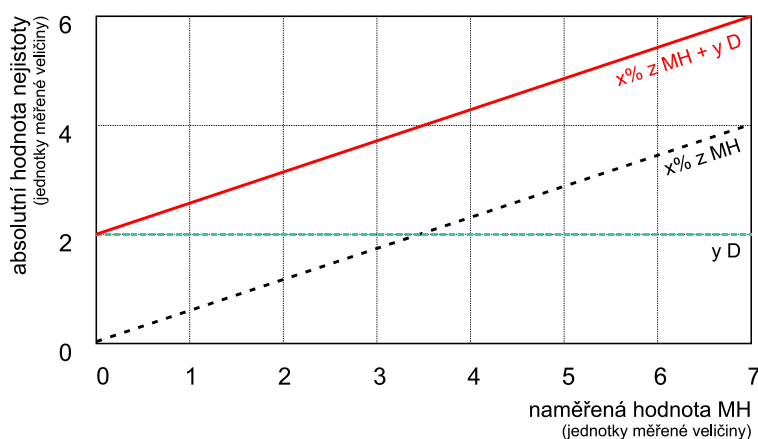
Absolutní nejistota měření – tento údaj bývá uváděn v technických parametrech přístroje jako základní nebo pracovní nejistota a lze z něj stanovit absolutní hodnotu (velikost) nejistoty, s jakou byla konkrétní hodnota naměřena přímo v jednotkách měřené veličiny. Je-li absolutní hodnota nejistoty přičtena a odečtena od naměřené hodnoty, definuje interval, ve kterém se nachází skutečná (pravá) hodnota měřené veličiny.

Relativní nejistota měření – pro účely posouzení použitelnosti přístroje z hlediska ČSN a stanovení jmenovitého pracovního rozsahu je touto nejistotou míněn procentuální podíl absolutní hodnoty nejistoty z naměřené hodnoty vztažený k jmenovité hodnotě.

Pokud příslušné normy (např. ČSN EN 61557) požadují, aby pracovní nejistota měření nepřesáhla ve vyznačeném rozsahu maximální odchylku 30 % od naměřené hodnoty, mají na mysli právě tuto relativní nejistotu, kterou nelze zaměňovat s absolutní nejistotou uváděnou v technických parametrech přístroje!

3.2 VYJÁDŘENÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ A VÝPOČET NEJISTOTY

V technických parametrech měřicího přístroje je přesnost měření vyjádřena absolutní nejistotou. Obvykle se nejistota měření skládá ze dvou částí. První část bývá proměnná a její absolutní hodnota závisí na velikosti naměřené hodnoty. Nazývá se nejistotou z měřené hodnoty. Druhá část je konstantní v celém měřicím rozsahu, na velikosti naměřené hodnoty nezávisí a nazývá se nejistotou z měřicího rozsahu. Součet obou částí je absolutní hodnotou nejistoty a jejím přičtením a odečtením od naměřené hodnoty lze stanovit interval, ve kterém se pohybuje skutečná (pravá) hodnota měřené veličiny. Grafické znázornění jednotlivých složek nejistoty měření je znázorněno na obr. 8.



Obr. 8 – Grafické znázornění nejistoty měření

V technických podmínkách se lze setkat s různými tvary vyjádření nejistot měření. Digitální přístroje, které na trhu převládají, mají nejistoty měření uváděny nejčastěji ve tvaru:

$$\pm (x \% z MH + y D)$$

x % z MH je proměnná část nejistoty a spočítá se jako příslušné procento z naměřené hodnoty, tzn. z údaje na displeji přístroje.

y D je neproměnná část nejistoty a značí počet digitů, tj. čísel udávaných v technických parametrech jako rozlišovací schopnost. Místo v digitech může být někdy tato část nejistoty uvedena přímo v příslušných jednotkách (např. u ohmmetru přímo v Ω).

Analogové (ručkové) nebo někdy i digitální přístroje mají tutéž chybu vyjádřenu ve tvaru:

$$\pm (x \% z MH + y \% z MR)$$

x % z MH je proměnná část nejistoty a spočítá se jako příslušné procento z naměřené hodnoty, tzn. z údaje na displeji přístroje.

y % z MR je neproměnná část nejistoty a vypočítá se jako příslušné procento z měřicího rozsahu, tzn. z nejvyšší hodnoty, kterou je přístroj v daném měřicím rozsahu schopen zobrazit.

Někteří výrobci, především u méně přesných přístrojů definují přesnost pouze neproměnnou částí chyby a vyjadřují ji v různých tvarech:

$$\pm y \% z MR, \quad \pm y D, \quad \pm y \Omega$$

y % z MR je neproměnná část nejistoty a vypočítá se jako příslušné procento z měřicího rozsahu, tzn. z nejvyšší hodnoty, kterou je přístroj v daném rozsahu schopen zobrazit.

y D – v tomto tvaru je již přímo uvedena absolutní hodnota nejistoty měření v digitech nebo příslušných jednotkách.

Pozn.: Zkratky MH (měřená hodnota), MR (měřicí rozsah), D (digit) mohou být v technických parametrech některých, především cizojazyčných návodů zahraničních přístrojů uvedeny jinak (např.: of r., rdg, dgt,...), a často je v této podobě převezmou i překladatelé návodů do češtiny.

PŘÍKLAD VÝPOČTU NEJISTOTY MĚŘENÍ

Postup výpočtu nejistoty měření a jejího vyhodnocení pro měřič impedance je vysvětlen na následujícím příkladu.

Bylo provedeno měření impedance poruchové smyčky přístrojem, u kterého lze v technických parametrech v návodu k použití vyčíst následující údaje a na displeji měřicího přístroje se zobrazil naměřený údaj 0,50 Ω.

Měřicí rozsah:	0,00 až 9,99 Ω
Rozlišovací schopnost:	0,01 Ω
Základní nejistota:	± (1 % z MH + 3 D)
Jmenovitý rozsah:	0,18 až 9,99 Ω
Pracovní nejistota:	± (2 % z MH + 5 D)



Absolutní hodnotu pracovní nejistoty měření lze vypočítat takto:

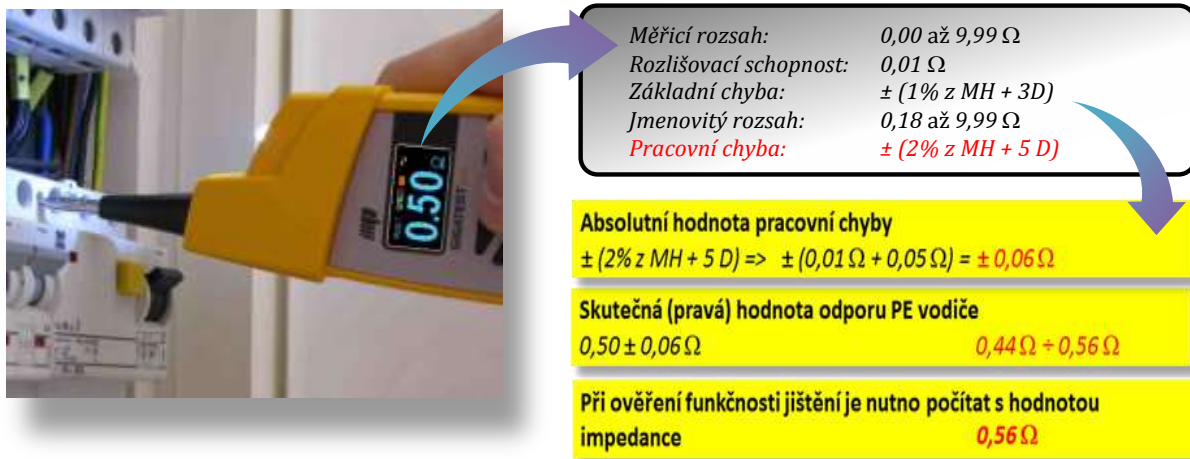
$$\pm (2 \% z MH + 5 D) \Rightarrow \pm (0,01 \Omega + 0,05 \Omega) = \pm 0,06 \Omega$$

Skutečná (pravá) hodnota odporu PE vodiče se tedy nachází v rozmezí:

$$0,50 \pm 0,06 \Omega, \text{ tj. } 0,44 \Omega \div 0,56 \Omega$$

Z hlediska vyhodnocení měření impedance poruchové smyčky je důležitá horní hranice vypočteného pásma nejistoty měření, tzn. při výpočtu, zda je impedance poruchové smyčky dostatečně malá, aby jištění instalace vypnulo v předepsaném čase, je nutno počítat s tím, že skutečná hodnota impedance může být až **0,56 Ω** a nikoliv naměřených **0,50 Ω**.





Obr. 9 – Postup při stanovení maximální možné impedance zjištěné měřením

3.3 JMENOVITÝ ROZSAH

Z tohoto údaje v technických parametrech přístroje lze vyčíst, v jakém rozsahu měření nepřesahuje procentuální podíl absolutní hodnoty pracovní nejistoty z naměřené hodnoty, vztažený ke skutečné hodnotě měřené veličiny velikost požadovanou ČSN EN 61557, tedy maximálně 30 %. Smysl stanovení maximální relativní pracovní nejistoty měření tkví v tom, aby k měření příslušných veličin při revizích byl použit přístroj s dostatečnou přesností.

Znamená to, že měřič impedance lze použít při revizi pro výpočet jištění tehdy, pokud velikost měřené impedance se nachází uvnitř jmenovitého rozsahu. Měřenou impedancí je v tomto případě míněna výpočtem zjištěná hodnota, která určuje, zda jištění instalace bude v případě poruchy pracovat správně.

Měřič impedance dokáže měřit hodnoty v celém měřicím rozsahu, tedy i mimo jmenovitý rozsah. Pokud by ovšem byl k měření nízké hodnoty impedance použit málo přesný měřicí přístroj, může nastat situace, kdy nelze rozhodnout, zda jištění bude v případě poruchy pracovat správně.

Padne-li tedy dotaz, zda je měřič impedance vhodný k měření při revizích, lze hledat odpověď právě v technických podmínkách v parametru – jmenovitý rozsah. Přístroj je z hlediska norem vhodný pro taková měření, kdy vypočtená impedance, do které jištění ještě pracuje správně, se nachází uvnitř jmenovitého rozsahu přístroje, kterým chceme provést kontrolní měření. Na příkladu bude výběr vhodného měřicího přístroje popsán v dalších kapitolách.

3.4 OVLIVNĚNÍ IMPEDANCE VNĚJŠÍMI VLIVY

Při revizi je třeba ověřit, že jištění obvodů instalace bude spolehlivě fungovat nejen tehdy, kdy je měření prováděno, ale především v okamžiku budoucího možného průchodu poruchového proudu, kdy se velikost impedance může změnit. V tabulce 1 jsou uvedeny vlivy, které ovlivňují velikost impedance v době vzniku skutečného poruchového proudu a v okamžiku měření, tedy v době průchodu poruchového proudu simulovaného měřicím přístrojem.

Je zřejmé, že impedance poruchové smyčky může být v době vzniku skutečné poruchy významně vyšší než ve chvíli, kdy je prováděno měření. Hlavním důvodem je především oteplení vodičů, jehož příčinou může být vyšší okolní teplota nebo vyšší proudové zatížení sítě, případně ohřátí vlivem průtoku vysokého poruchového proudu. Velikost zkratového proudu, která je rozhodující pro včasné vybavení jisticího prvku může být také ovlivněna nižším síťovým napětím způsobeným například úbytkem napětí na dlouhých vodičích instalace v jejich koncových bodech.



Tab. 1 – Impedance poruchové smyčky v době měření a v době vzniku poruchy

Impedance v době poruchy	Impedance v době měření
Jiná teplota vodičů než v době měření vlivem zatížení sítě nebo okolní teploty změní velikost odporu vodičů v době vzniku poruchy oproti měření.	
Nižší napětí v síti, než je jeho jmenovitá hodnota sníží velikost zkratového proudu proti jeho vypočtené a následně změřené hodnotě.	
Poruchový proud $10^1 \text{ A} \div 10^3 \text{ A}$	Měřicí proud $3 \text{ A} \div 20 \text{ A}$
Oteplení vodičů vlivem průchodu poruchového proudu zvyšuje velikost odporu vodičů	Přechodové děje vznikající při měření proudovými pulsy

Proto je v ČSN 33 2000-6 ed.2 v příloze D. 6.4.3.7.3 doporučeno, aby se změna impedance způsobená případným oteplením vodičů a vliv možného nižšího napětí sítě proti jeho jmenovité hodnotě zohlednily vynásobením naměřené impedance koeficientem 1,5. Při výpočtu jistění se pak pracuje s touto zvýšenou hodnotou.

Koeficient 1,5 však nezahrnuje vliv nepřesnosti měření způsobené měřicím přístrojem. Z toho důvodu je nutno naměřenou hodnotu zvýšit o možnou nejistotu měření a pro výpočet jistění použít hodnotu zvýšenou o absolutní nejistotu měření vynásobenou navíc koeficientem 1,5. Podmínku pro správnou funkci ochrany samočinným odpojením od zdroje lze pak vyjádřit vzorcem:

$$1,5 \times (Z_S(m) + \Delta Z_S(m)) \leq \frac{U_0}{I_a}$$

Nebo jinak zapsáno:

$$(Z_S(m) + \Delta Z_S(m)) \leq \frac{U_0}{I_a} \times \frac{2}{3}$$

I_a – proud zajišťující samočinné odpojení ochranného prvku v předepsané době

(ČSN 33 2000-4-41 kap. 411.4.)

U_0 – jmenovité střídavé napětí proti zemi (efektivní hodnota)

$2/3$ – koeficient zahrnující součinitel oteplení vedení, bezpečnostní součinitel a napěťový součinitel zatížené sítě

$Z_S(m)$ – naměřená hodnota impedance poruchové smyčky L – PE

$\Delta Z_S(m)$ – absolutní nejistota měření



4 OVĚŘENÍ JIŠTĚNÍ PROTI NADPROUDŮM

4.1 PŘEDPOKLADY PRO SPRÁVNOU FUNKCI JIŠTĚNÍ

Charakteristiky jisticích přístrojů a impedance PE obvodu musí být takové, aby v případě vzniku poruchy mezi fázovým vodičem L a obvodem PE došlo k automatickému odpojení napájení ve stanovené době. Impedance poruchové smyčky tedy musí odpovídat podmínce:

$$Z_S \leq \frac{U_O}{I_a}$$

I_a – proud který vyvolá vypnutí jističe v předepsané době

U_O – jmenovité AC napětí proti zemi (efektivní hodnota)

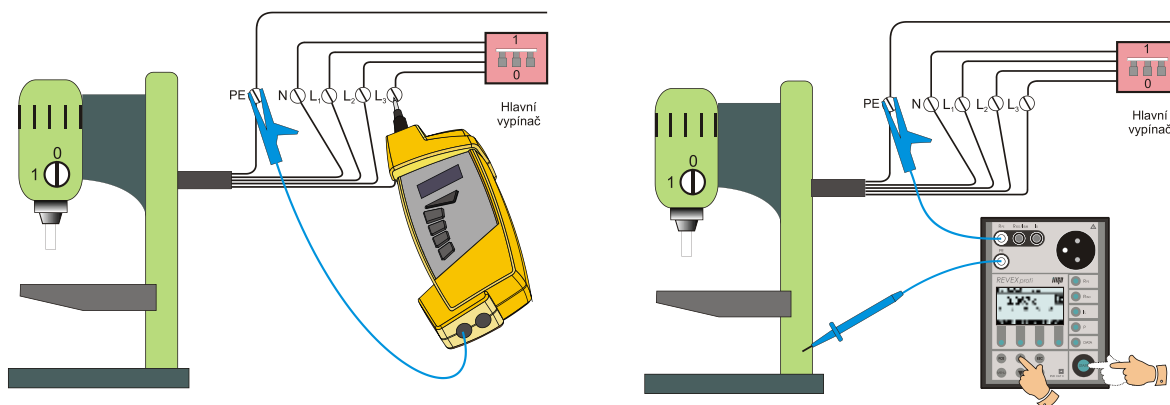
Z_S – impedance poruchové smyčky (od zdroje k místu uzemnění PE přes místo poruchy)

V reálných podmínkách se ovšem hodnota impedance poruchové smyčky mění v závislosti na okolních podmínkách. Z toho důvodu je třeba při ověřování předpokladů pro správnou funkci jističe změnou hodnotu impedance poruchové smyčky zvýšit vynásobením koeficientem 1,5 jak bylo popsáno v předcházející kapitole. V případě měření malých impedancí, kdy je třeba kalkulovat s nejistotou měření, se násobení provede až u hodnoty s přičtenou nejistotou měření tak, jak je popsáno v praktických příkladech v následující kapitole.

Při praktickém provedení ověření měřením pomocí měřiče impedance je třeba dbát na to, aby impedance byla měřena co nejbližší místu vzniku předpokládané poruchy. V elektrické instalaci je třeba měřit v koncových bodech instalace, tedy v zásuvkách, na svorkovnicích elektrických spotřebičů apod.

Při ověřování ochrany automatickým odpojením od zdroje u spotřebičů připojených k instalaci dlouhým vedením je třeba do změřené impedance zahrnout i odpor přívodního napájecího kabelu. To se týká především různých strojních a silových zařízení jističených ochrannými prvky s velkým vypínacím proudem, kdy odpor vodičů napájecího kabelu od místa připojení k instalaci až po výkonové prvky (motory, topidla apod.) je řádově srovnatelný s maximální požadovanou impedancí poruchové smyčky.

Pokud konstrukce zařízení, např. stroje neumožňuje provést měření impedance přímo na svorkách silových částí, je možné provést měření impedance v místě připojení k elektrické instalaci, odpor ochranného obvodu a fázového vodiče změřit vhodným ohmmetrem (s parametry podle ČSN EN 61557-4) a k výpočtu celkové impedance použít součtu naměřených hodnot (obr. 10).



Obr. 10 – Do impedance poruchové smyčky je nutno zahrnout i odpor vodičů napájecího vedení

Minimální doby odpojení pro elektrická zařízení mohou být stanoveny v normách platných pro dané zařízení nebo je stanovuje ČSN 33 2000-4-41 ed.2 v kapitolách 411.3.2.2. až 411.3.2.5. Přehledně jsou shrnuty v tab. 2.

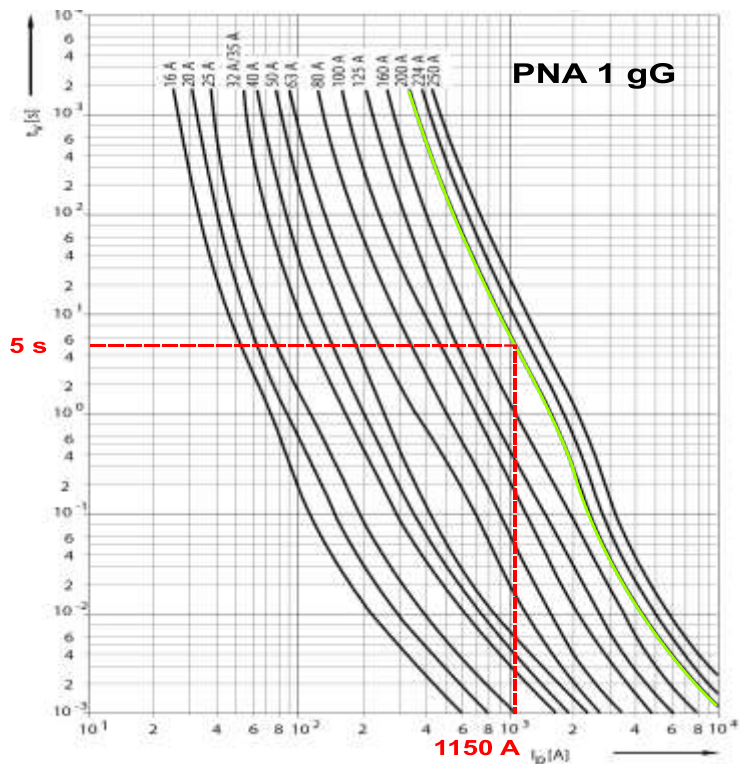
Tab. 2 – Maximální doby odpojení podle ČSN 33 2000-4-41 ed.2

Jmenovité napětí U_0 [V] fázového nebo krajního vodiče sítě vůči uzemněnému bodu sítě		Maximální doby odpojení t_0 [s]			
		V koncových obvodech jištěných do 32 A		V obvodech jištěných nad 32 A	
		TN	TT	TN	TT
$50V < U_0 \leq 120V$	AC	0,8	0,3	5	1
	DC	Z důvodu ochrany před úrazem se odpojení nevyžaduje.			
$120V < U_0 \leq 230V$	AC	0,4	0,2	5	1
	DC	5	0,4		
$230V < U_0 \leq 400V$	AC	0,2	0,07	5	1
	DC	0,4	0,2		

4.2 PŘÍKLAD OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI JIŠTĚNÍ PRVKEM S VELKÝM VYPÍNACÍM PROUDEM

Nyní si ukažme, jak v praxi postupovat při ověření jištění u konkrétního ochranného obvodu. Aby z příkladu vyplynula i úvaha o vhodnosti volby měřicího přístroje z hlediska přesnosti měření, byl zvolen případ ověření jištění u stroje, který je napájen ze sítě o napětí 400 V / 50 Hz, tedy 3 x 230 V proti zemi. Stroj je jištěn pojistkami o jmenovitém vypínacím proudu $I_n = 200$ A.

Předepsaná doba odpojení pro stroje je 5 s (ČSN EN 60204-1 ed.2 kap 18). Z charakteristik pojistek se zjistí proud I_a , který vyvolá vypnutí jištění v předepsané době (viz obr. 11).



Obr. 11 – Stanovení vybavovacího proudu jištění



Výpočtem podle příslušného vzorce zjistíme, jakou maximální hodnotu může mít impedance smyčky:

$$Z_s \leq \frac{230 \text{ V}}{1150 \text{ A}} = 0,20 \Omega$$

Vypočtenou hodnotu je třeba ověřit měřením pomocí vhodného měřiče impedance s dostatečnou přesností. Při výběru přístroje je vhodné vycházet z požadavku ČSN EN 61557-3, která stanovuje použití přístroj, který požadovanou hodnotu dokáže změřit s maximální relativní nejistotou do 30 % (viz kap. 3.3).

Srovnáme-li technické parametry tří různě přesných měřičů impedance, například přístroje ZEROLINE 60, EUROTTEST 61557 a ZEROTEST 46 (viz tabulka 3), zjistíme porovnáním spodních hranic jejich jmenovitých rozsahů, že pro měření stroje s popsáním jištěním jsou vhodné přístroje ZEROLINE 60 a EUROTTEST 61557. Přístrojem ZEROTEST 46 by bylo možno měření sice také provést, ale z hlediska požadavků ČSN EN 61557 je přístroj pro měření impedance poruchové smyčky v obvodech s takovým jištěním nevhodný, neboť požadovaná maximální hodnota 0,20 Ω, kterou máme měřením ověřit, je mimo jmenovitý rozsah přístroje.

Tab. 3 – Výběr měřicího přístroje podle jeho technických parametrů

Technické parametry	ZEROLINE 60	EUROTTEST 61557	ZEROTEST 46
Měřicí rozsah	0,000 ÷ 1,500 Ω	0,00 ÷ 19,99 Ω	0,00 ÷ 1,00 Ω
Rozlišení	0,001 Ω	0,01 Ω	0,01 Ω
Pracovní nejistota měření	± (3 % z MH + 10 D)	± (3 % z MH + 3 D)	± 9 D
Jmenovitý rozsah	0,038 ÷ 1,500 Ω	0,11 ÷ 1999 Ω	0,30 ÷ 22,9 Ω

Pro požadované měření dostatečně přesný

Pro požadované měření vyhovující, ale na hranici požadované přesnosti

Pro požadované měření nevyhovující – málo přesný

Provedeme tedy měření přístrojem EUROTTEST 61557 a naměříme u stroje hodnotu impedance poruchové smyčky **0,11 Ω** (obr. 12) Při vyhodnocení musíme ovšem kalkulovat s nejistotou měření a do výsledku zahrnout i bezpečnostní koeficient:

- Nejistota měření je $\pm (3 \% \text{ z MH} + 3 \text{ D}) = 3 \% \text{ z } 0,11 \Omega + 3 \text{ D} = 0,003 + 0,03 = \pm 0,033 \Omega$
- Skutečná hodnota impedance se nalézá někde v intervalu: $Z_s = 0,11 \Omega \pm 0,033 \Omega = \underline{\underline{0,077 \Omega \div 0,143 \Omega}}$
- Po zahrnutí bezpečnostního koeficientu získáme interval možné skutečné impedance v době vzniku poruchy: $Z_s = 0,11 \Omega \pm 0,033 \Omega = (0,077 \Omega \div 0,143 \Omega) \times 1,5 = \underline{\underline{0,12 \Omega \div 0,22 \Omega}}$
- Pro vyhodnocení funkčnosti jištění musíme uvažovat nejméně příznivý případ, tedy nejvyšší možnou impedanci **0,22 Ω**. To je více než vypočtená maximální impedance 0,20 Ω a impedanci poruchové smyčky stroje musíme prohlásit za nevyhovující.



Obr. 12 – Výsledek měření impedance přístrojem EUROTTEST 61667

Vzhledem k intervalu, ve kterém se může nacházet skutečná impedance smyčky ($0,12 \Omega \div 0,22 \Omega$) lze ovšem se značnou mírou pravděpodobnosti předpokládat, že impedance poruchové smyčky stroje může být menší než $0,20 \Omega$ a tedy vyhovující. Interval nejistoty měření lze zmenšit použitím přesnějšího měřicího přístroje. Provedeme měření přístrojem ZEROLINE 60 a naměříme stejný výsledek, tedy $0,110 \Omega$:

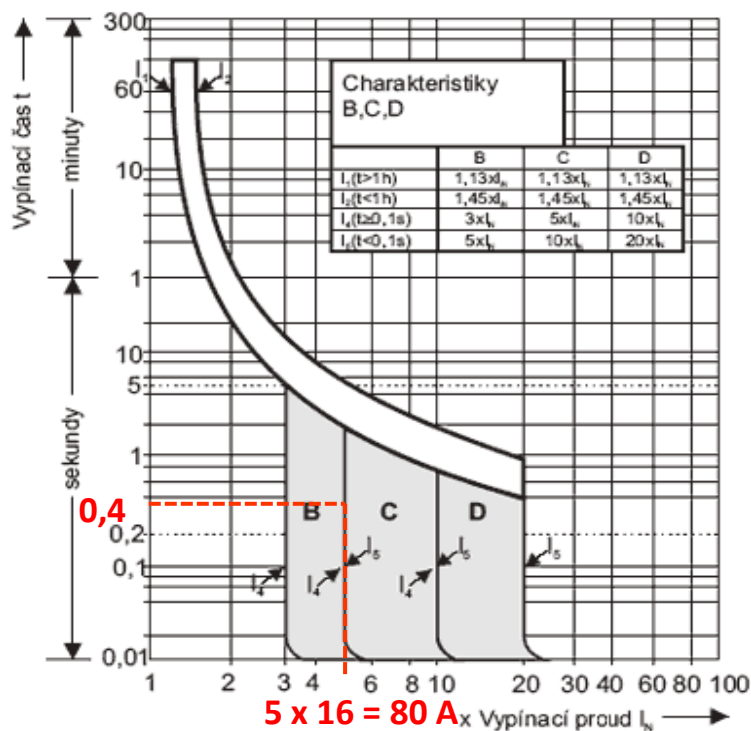
- Nejistota měření je $\pm (3 \% \text{ z MH} + 10 \text{ D}) = 3 \% \text{ z } 0,110 \Omega + 10 \text{ D} = 0,003 + 0,010 = \pm 0,013 \Omega$
- Skutečná hodnota impedance se nalézá někde v intervalu: $Z_s = 0,110 \Omega \pm 0,013 \Omega = \underline{0,097 \Omega \div 0,123 \Omega}$
- Po zahrnutí bezpečnostního koeficientu získáme interval možné skutečné impedance v době vzniku poruchy: $Z_s = 0,110 \Omega \pm 0,013 \Omega = (0,097 \Omega \div 0,123 \Omega) \times 1,5 = \underline{0,146 \Omega \div 0,185 \Omega}$
- Pro vyhodnocení funkčnosti jištění vezmeme v úvahu nejvyšší možnou impedanci $0,185 \Omega$. To je méně než vypočtená maximální hodnota $0,20 \Omega$ a impedance poruchové smyčky stroje je vyhovující.

Pro zvýšení přesnosti výpočtu impedance z naměřené hodnoty by bylo možné využít údaj o nejistotě měření z kalibračního listu přístroje, a pro výpočet nejistoty měření použít odchylku vyčtenou z kalibračního listu namísto nejistoty měření uvedené v technických parametrech přístroje. V tom případě je ovšem nutno vzít v úvahu možný vliv okolních podmínek na přesnost měření, a pokud se výrazně liší od referenčních podmínek, za kterých byla provedena kalibrace přístroje, nelze tuto možnost použít.

4.3 PŘÍKLAD OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI JIŠTĚNÍ PRVKEM S MALÝM VYPÍNAČÍM PROUDEM

Jednodušší situace při vyhodnocení funkčnosti jištění nastává v případě, kdy je elektrická instalace jištěna jističím prvkem s malým vypínacím proudem. Pro jeho vybavení stačí menší zkratový proud a impedance poruchové smyčky tedy může být větší. Přesnost měření potom nemá na výsledek rozhodnutí o funkčnosti jištění takový vliv.

Příkladem může být běžná domovní elektroinstalace jištěná jističem B 16 A. Doba odpojení pro elektrická zařízení do velikosti jištění 32 A v sítích TN je $0,4 \text{ s}$ (viz tab.2). Z vypínací charakteristik jističů odečteme minimální vybavovací proud, který je u jističů B pro požadovanou dobu odpojení pětinasobkem jmenovitého vypínacího proudu.



Obr. 13 – Stanovení vybavovacího proudu jištění



Výpočtem pak stanovíme maximální velikost impedance poruchové smyčky:

$$Z_s \leq \frac{230 \text{ V}}{80 \text{ A}} = 2,88 \Omega$$

Je zřejmé, že pro ověření takové hodnoty impedance stačí svojí přesností kterýkoliv z přístrojů uvedených v tab. 3 a pravděpodobně nebude ani třeba kalkulovat s nejistotou měření, neboť pokud naměříme impedanci hluboko pod vypočtenou mezní hodnotou, připočtení nejistoty měření nebude mít na výrok o funkčnosti jištění vliv.

Některé měřiče impedance již dokážou pomocí tabulky jištění uložené v paměti přístroje automaticky vyhodnotit, zda je naměřená impedance pro dané jištění dostatečně malá. Příkladem může být přístroj EUROTTEST XC. V menu přístroje lze vybrat požadované jištění a nastavit vypínací čas. Do vyhodnocení lze zahrnout i bezpečnostní koeficient. Přístroj ovšem počítá s násobkem zkratového proudu. Je třeba tedy v menu nastavit převrácenou hodnotu 1,5 násobku impedance, tedy koeficient $0,67 I_{SC}$.

Na obrázku 14 lze vidět dva výsledky měření impedance přístrojem EUROTTEST XC, z nichž je zřejmé, že naměřenou impedanci cca $0,90 \Omega$ přístroj pro jištění jističem B / 16A vyhodnotil jako vyhovující, kdežto pro jištění D / 16 A ($I_{PSC} \geq 320 \text{ A}$) je tato hodnota vyhodnocena již jako nevyhovující.



Obr. 14 – Automatické vyhodnocení měření impedance přístrojem EUROTTEST XC



5 MĚŘENÍ IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY V OBVODECH S PROUDOVÝMI CHRÁNIČI

5.1 POUŽITÍ RCD JAKO OCHRANNÉHO PRVKU

Pro vybavení jističů nebo pojistek je třeba, aby poruchový proud dosáhl dostatečné velikosti – desítek nebo i stovek ampérů. Zpravidla nestačí náhodné uzemnění živé části, např. dotykem člověka, ale je nutno, aby se poruchový proud uzavřel obvodem s daleko menším odporem přes PE obvod (TN), uzemnění (TT) nebo mezi pracovními vodiči.

Proudový chránič naproti tomu reaguje na podstatně menší proudy velikosti desítek nebo stovek miliampérů, které ovšem musí odtékat mimo živou část elektrického zařízení. Je určen především k ochraně osob, které se dostanou do styku s živou částí elektrického zařízení, ale nechrání před poškozením samotné zařízení nebo elektrickou instalaci, pokud by došlo k poruše v síťové části (zkrat mezi L a N) nebo před chráničem. Díky malému vybavovacímu proudu ovšem chránič na vznik poruchy zareaguje, i když impedance poruchové smyčky bude značná.

Pozn.: Impedance by v obvodech s chrániči mohla být teoreticky tak vysoká, aby při průchodu poruchového (unikajícího) proudu, který ještě nezpůsobí vybavení chrániče, nevzniklo na částech spojených s PE obvodem nebezpečné dotykové napětí. Pro instalaci v normálním prostoru, kde je stanoveno bezpečné napětí 50 V a je použit proudový chránič s reziduálním proudem 30 mA, by tedy impedance mohla dosahovat hodnoty až $Z = 50 \text{ V} / 0,03 \text{ A} = 1667 \text{ } \Omega$, aniž by v instalaci za chráničem vzniklo nebezpečí úrazu elektrickým proudem.

Proudový chránič může být v elektrické instalaci použit buď jako ochrana automatickým odpojením od zdroje v případě vzniku poruchy za chráničem, nebo jako doplňková ochrana pro ochranu osob před úrazem při jejich styku s nebezpečným napětím. Pro případ vzniku poruchy mezi pracovními vodiči musí být doplněn ještě nadproudovou ochranou, která se instaluje jako samostatný prvek nebo může být součástí proudového chrániče (RCD typu RCBO).

Pokud je použit jako ochrana automatickým odpojením od zdroje, potom norma stanovuje, že měření impedance smyčky sice není nutno provádět z důvodu ověření podmínky samočinného odpojení od zdroje chráničem, ovšem je nutno tímto měřením ověřit, zda k samočinnému odpojení dojde i při poruše před chráničem a zda je zajištěna spojitost vodičů obvodu. Zároveň norma doporučuje, aby se měřením impedance navíc ověřila i spojitost obvodu pracovních vodičů L-N (*ČSN 33 2000-6 ed.2, kap. 6.4.3.7.1 NP11*). Odhalí se tím například možné velké odpory uvolněných svorek a kontaktů v instalaci, které by při průchodu většího proudu svým zahříváním zvyšovaly riziko vzniku požáru. Dostatečně nízká impedance sítě (L-N) navíc zajistí odpojení elektrického zařízení při zkratu mezi L a N a zabrání tak poškození instalace v případě vzniku takovéto poruchy.

Je-li chránič použit jako ochrana doplňková, tedy jen jako dodatečná ochrana pro případ selhání základní ochrany nebo při neopatrnosti uživatele, potom se nepovažuje za výhradní ochranné opatření (*ČSN 33 2000-4-41 ed.2, kap. 415.1*). I v tomto případě je nutno měřením ověřit velikost impedance poruchové smyčky.

Jak vyplývá z principu měření impedance poruchové smyčky, je měřicí proud zároveň i proudem poruchovým, který při měření protéká ochranným obvodem instalace. Následkem zatížení PE obvodu měřícím zatěžovacím proudem tedy obvykle vybaví proudový chránič, pokud jej instalace obsahuje, a to znemožní změření impedance poruchové smyčky.

Jak bylo vysvětleno, je ovšem nutné měřit impedanci i v obvodech chráněných chrániči a tedy zajistit, aby chránič při měření nevybavil. Překlenutí chrániče vodičem nelze doporučit, neboť jde o zásah do instalace a měření neprobíhá za podmínek, při kterých je potom instalace provozována (na velikosti celkového odporu PE smyčky se podílí i chránič a jeho přípojné svorky).

Proto prakticky každý měřič impedance disponuje nějakou metodou měření impedance v obvodech jištěných proudovými chrániči. Jak si ovšem popíšeme v následujících kapitolách, nejedná se o problematiku jednoduchou. Některé metody jsou nespolehlivé, nepřesné a výsledky měření jsou někdy spíše informativní. Proto je při výběru měřícího přístroje důležité nespokojit se pouze s ujištěním, že přístroj umí měřit impedanci za chráničem, ale je vhodné se zajímat i o to, jakou metodou a s jakou přesností je toto měření prováděno.



Je třeba si ovšem uvědomit, že kterákoliv metoda měření impedance v obvodu za chráničem může z hlediska jeho nevybavení selhat například z důvodu průtoku vysokého svodového proudu v elektrické instalaci.

Při měření impedance smyčky za chráničem je třeba vždy počítat s tím, že RCD může během měření vybavit.

5.2 MĚŘENÍ IMPEDANCE POLOVINOU VYBAVOVACÍHO PROUDU

Univerzální měřicí přístroje, které spolu s měření impedance slouží i k ověřování proudových chráničů, mají vestavěno měření dotykového napětí proudem menším než polovina vybavovacího proudu chrániče. Toto měření probíhá obdobně, jako měření impedance poruchové smyčky. Dotykové napětí v PE obvodu vůči zemi je vyhodnoceno jako rozdíl napětí zdroje bez zatížení a po zatížení měřicím proudem, který ovšem v tomto případě nesmí překročit polovinu vybavovacího proudu chrániče. Toho je u přístrojů využito tak, že ze změřeného dotykového napětí (úbytku napětí $U_1 - U_2$) je současně vypočítána impedance poruchové smyčky.

Je zřejmé, že pokud měřicí proud dosahuje pro chránič 30 mA hodnoty maximálně 15 mA, je úbytek napětí na impedanci poruchové smyčky natolik malý, že chyba měření činí z naměřené hodnoty impedance pouze orientační údaj nevhodný pro další zpracování. Proto často výrobci v technické dokumentaci údaj o přesnosti tohoto měření ani neuvádějí.

5.3 VYUŽITÍ KONSTRUKČNÍCH VLASTNOSTÍ RCD PRO MĚŘENÍ IMPEDANCE

Pro měření impedance proudem větším, než je vybavovací proud chrániče lze využít některých konstrukčních vlastností chráničů. Vzhledem k tomu, že přesné vlastnosti chrániče nejsou obvykle známy, je tento postup měření založen spíše na pokusech, zda se měření zdaří, aniž by chránič vybavil.

Chrániče typu AC, zvláště starší typy, jsou citlivé pouze na jednu polaritu poruchového proudu. Pokud je tedy měření provedeno proudovým impulsem o opačné polaritě, chránič při měření nevybaví. Je ovšem třeba vyzkoušet, na kterou polaritu proudu chránič nereaguje a při prvním pokusu o měření existuje vysoká pravděpodobnost, že chránič vybaví. Některé moderní typy chráničů AC navíc reagují na obě polarity.

U chráničů typu A nebo AC, které jsou citlivé na obě polarity vybavovacího proudu, lze vyzkoušet další možnou vlastnost magnetického obvodu chrániče. Pokud přes chránič projde měřicí impuls určité polarity, chránič vybaví. Dojde-li k odpojení poruchového proudu v okamžiku jeho maximální hodnoty, zůstane magnetické jádro chrániče po určitou dobu zmagnetováno. Následující měřicí impuls opačné polarity je demagnetuje, ale nevybaví. Jde ovšem víceméně o náhodný jev, jehož vznik závisí na konstrukci chrániče, tedy především na materiálu magnetického jádra a na okamžiku odpojení měřicího poruchového proudu, což nelze při měření impedance ovlivnit.

U obvodů s chrániči typu G a S lze využít toho, že měřicí impuls u některých, zvláště konstrukčně starších měřicích přístrojů je krátký (obvykle 10 ms) a zpožděný chránič tak rychle nezareaguje.

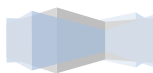
Je zřejmé, že výše popsanými způsoby lze měřit, jen pokud přístroj generuje do obvodu poruchové smyčky proud pouze po dobu jedné půlvlny síťového napětí. Pokud zatížení obvodu měřicím proudem trvá delší dobu (sada pulzů nebo měření oběma půlvlnami), měřicí proud chránič vždy spolehlivě vybaví.

5.4 BLOKOVÁNÍ CHRÁNIČE STEJNOSMĚRNÝM PROUDEM

Již starší, ale nejspolehlivější pomůckou při měření impedance poruchové smyčky v obvodech s chrániči je jejich zablokování pomocí stejnosměrného proudu.

Jak je známo, používají chrániče pro vyhodnocení rozdílového proudu v pracovních vodičích instalace měřicí transformátor s magnetickým jádrem. Teče-li pracovním vodičem přes proudový chránič dostatečně velký stejnosměrný proud, dojde k přesycení magnetického obvodu transformátoru a proudový chránič nedokáže vyhodnotit případný rozdílový proud v pracovních vodičích. Toho lze využít pro dočasné zablokování funkce chrániče při měření impedance.

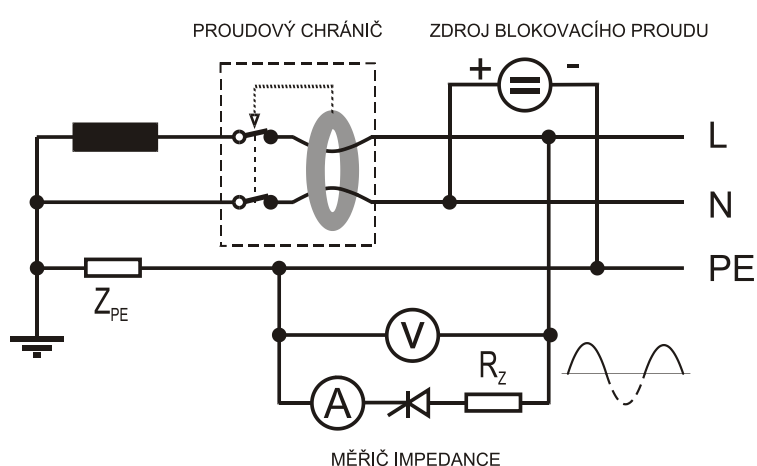
Přístroje pro blokování chráničů pracují tak, že generují stejnosměrný proud, který protéká některým z pracovních vodičů instalace a přesytí magnetické obvody všech chráničů, které jsou do instalace připojeny (viz



obr. 15). Blokovací proud musí po zahájení činnosti postupně narůstat, aby jeho náhlou skokovou změnou nedošlo k vybavení chrániče. Po dosažení provozní hodnoty se proud na krátkou dobu ustálí a je možno provést měření impedance poruchové smyčky, neboť všechny chrániče v instalaci jsou zablokovány. Potom stejnosměrný proud postupně klesá a chrániče jsou opět funkční.

Aby proces zablokování chráničů proběhl správně, je nutno splnit následující podmínky:

1. Stejnosměrný proud tekoucí pracovním vodičem instalace musí dosáhnout dostatečné velikosti, jinak nedojde k přesycení magnetického obvodu chráničů nebo je sycení nedostatečné a značně se zvýší pravděpodobnost vybavení chráničů při měření impedance. Podmínkou správné funkce tedy je dostatečně malý odpor obvodu, kterým teče blokovací proud, aby neomezoval jeho velikost.
2. Funkci blokovacího proudu může omezit nebo zcela zrušit také stejnosměrná proudová složka v síti pocházející z jiného zdroje, jejíž polarita je opačná, než polarita blokovacího proudu.
3. Měřicí zatěžovací proud měřiče impedance musí mít shodnou polaritu, jako stejnosměrný blokovací proud, jinak zruší jeho účinek na magnetický obvod a dojde k vybavení chrániče. Z této podmínky je zřejmé, že s přístroji pro blokování chráničů stejnosměrným proudem jsou schopny spolupracovat pouze takové měřiče impedance, které zatěžují PE obvod proudem jedné polarity (jednou nebo několika půlvlnami shodné polarity). Pokud měřič impedance využívá k měření zatěžovací proud obou polarit, je blokování chráničů stejnosměrným proudem neúčinné.
4. Aby mohl být RCD vyřazen z činnosti průtokem stejnosměrného proudu, musí obsahovat magnetický obvod. Nelze tedy tímto způsobem blokovat elektronické chrániče, které fungují na jiném principu, než je vyhodnocení rozdílového proudu v pracovních vodičích měřicím transformátorem.



Obr. 15 - Princip měření impedance při použití blokování chrániče, adaptér PMI 46 pro blokování chráničů

5.5 MĚŘENÍ KRÁTKÝM MĚŘICÍM PULZEM

Další metodou měření impedance poruchové smyčky v obvodech s RCD je měření natolik krátkým proudovým pulzem, aby chránič během měření nestačil zareagovat.

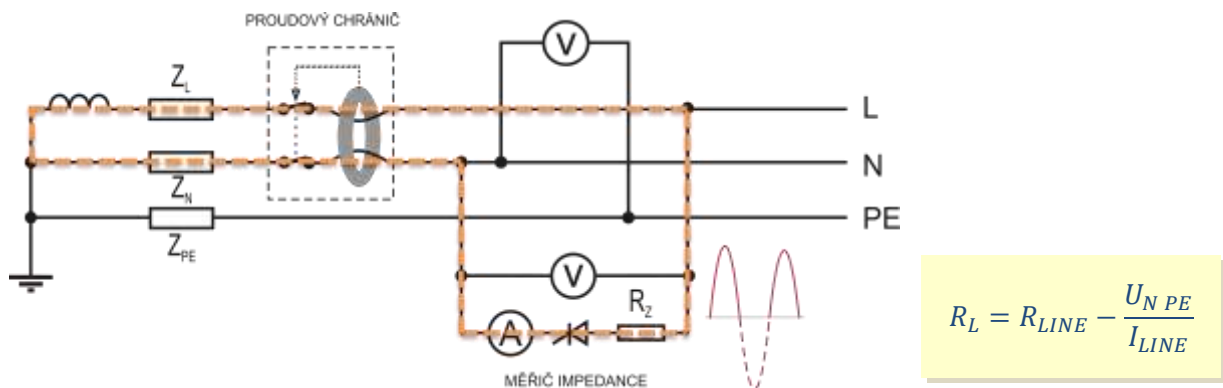
Spínací obvod měřicího přístroje připojí zatěžovací odpor do obvodu poruchové smyčky (L–PE) pouze po dobu několika desítek mikrosekund, čímž vznikne krátký proudový pulz. Aby se vyloučil vliv přechodového děje způsobeného proudovým pulzem v síti a možné zkreslení výsledku způsobené rušením v síti, je takto naměřená impedance korigována předchozím měřením provedeným standardním postupem, kdy vysoký měřicí proud prochází po delší dobu obvodem sestávajícím se z L a N vodiče.

Při tomto měření musí být tedy přístroj připojen k síti třemi vodiči (L, N, PE) nebo se musí provést dvě po sobě jdoucí měření mezi L a N a následně mezi L a PE, jako je tomu například u přístroje ZEROTESTpro. Některé, vůči rušení méně odolné typy RCD, však měřicí pulz dokáže vybit. Proto je tato metoda spolehlivá až pro RCD s vybavovacím proudem 100 mA a výše.

5.6 VÝPOČTEM Z R_{LINE} A R_{N-PE}

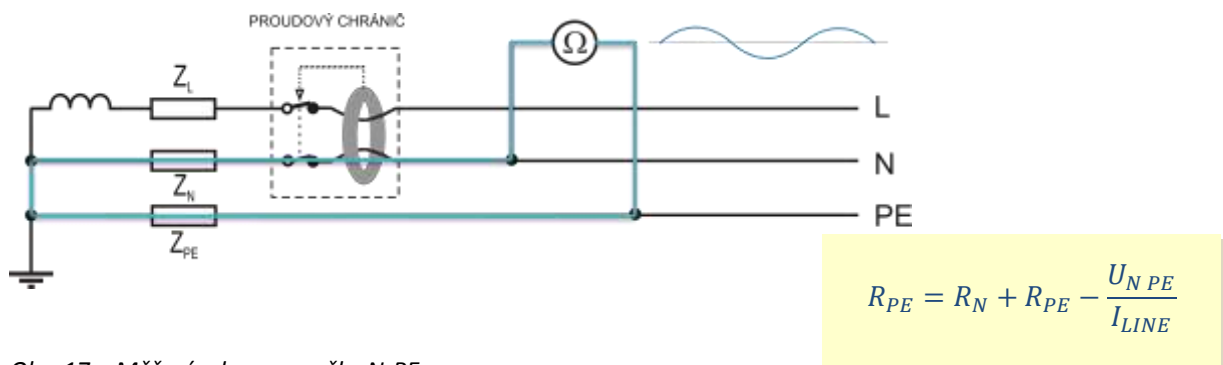
Relativně novou metodou měření odporu (impedance) poruchové smyčky v obvodech s proudovými chrániči je výpočet odporu poruchové smyčky složený ze dvou měření. Metoda je poměrně přesná a spolehlivá, co se nevybavení chrániče týká. Přístroj provede výpočet odporu (impedance) ve třech krocích:

1. Přístroj standardním způsobem, pomocí proudu tekoucího přes zatěžovací odpor připojený mezi L a N, změří odpor sítě - smyčky složené z L a N vodiče (R_{LINE}) a při průchodu měřicího proudu zároveň změří napětí na R_N (obr. 16). Z těchto měření pak vypočte odpor nulového vodiče R_N a fázového vodiče R_L .



Obr. 16 – Měření odporu smyčky L-N

2. Přístroj pomocí vnitřního zdroje proudu připojeného mezi N a PE změří odpor smyčky složené z R_N a R_{PE} . Od odporu této smyčky je odečten odpor R_N vypočítaný v předchozím kroku (obr. 17). Takto je zjištěn odpor R_{PE} .



Obr. 17 – Měření odporu smyčky N-PE

3. Součet R_L a R_{PE} tvoří odpor (rezistanci) poruchové smyčky a tento údaj je zobrazen na displeji přístroje jako naměřená impedance poruchové smyčky.

$$R_{LOOP} = R_L + R_{PE}$$



5.7 SROVNÁNÍ METOD MĚŘENÍ IMPEDANCE ZA CHRÁNIČEM

MALÝ MĚŘICÍ PROUD



- Vysoká spolehlivost – pokud není RCD vadný nebo z živé části sítě neodtéká velký svodový proud, nehrozí jeho náhodné vybavení.
- Obvodové řešení nekomplikuje konstrukci měřicího přístroje.
- Neklade dodatečné nároky na manipulaci s přístrojem při měření.



- Velmi nízká přesnost měření – výsledek měření je spíše orientační a nelze jej většinou použít k výpočtu funkčnosti předřazeného jištění.
- Pokud přístroj z důvodu zvýšení přesnosti měření prodlužuje dobu generování měřicího proudu, může být doba jednoho měření neúnosně dlouhá (40 s ÷ 60 s).

VYUŽITÍ KONSTRUKČNÍCH VLASTNOSTÍ RCD



- Vysoká spolehlivost – pokud jsou známy vlastnosti RCD.
- Obvodové řešení nekomplikuje konstrukci měřicího přístroje.
- Neklade dodatečné nároky na manipulaci s přístrojem při měření.



- Metodu lze využít jen u přístrojů generujících jednu polaritu měřicího proudu.
- Nutnost znát nebo předem vyzkoušet vlastnosti RCD.
- Nelze použít u RCD citlivých na obě polarity poruchového proudu.

BLOKOVÁNÍ CHRÁNIČE DC PROUDEM



- Měření proběhne velkým měřicím proudem, přesnost měření tedy závisí především na použitém měřicím přístroji.
- Stejnoseměrným proudem lze zablokovat i trojfázové chrániče. Pokud stejnosměrný proud protéká chráničem jednou z fází, lze měřit impedanci v kterékoli fázi, aniž chránič vybaví.



- Nelze blokovat RCD citlivé na stejnosměrný proud (typ B) a elektronické chrániče bez magnetického obvodu.
- Zablokování chrániče nemusí být vždy spolehlivé. Vnější vlivy, které nelze předem zjistit, mohou ovlivnit proces přesycení magnetického jádra chrániče a způsobit jeho následné vybavení při měření impedance.
- Měřicí zatěžovací proud musí mít shodnou polaritu, jako blokovací stejnosměrný proud. Proto nelze použít takové měřiče impedance, které k měření používají zatěžovací proud obou polarit.
- Stejnoseměrný blokovací proud musí být poměrně značný. Měřicí přístroj musí tedy obsahovat velký a těžký zdroj blokovacího proudu. Někdy se proto používá samostatný přístroj pro blokování chráničů, což při měření vede ke složitější manipulaci se dvěma přístroji.

MĚŘENÍ KRÁTKÝM MĚŘICÍM PULZEM



- Z hlediska uživatele snadná manipulace s přístrojem a relativně krátká doba měření (do 5 s).
- Poměrně slušná přesnost měření - pro instalace jištěné jističi do cca 30 A je výsledek použitelný i pro výpočet funkčnosti jištění.



- Malá spolehlivost nevybavení RCD pro chrániče nižších reziduálních proudů (10 ms a 30 ms).



MĚŘENÍ VÝPOČTEM Z R_{LINE} A R_{N-PE}



- Z hlediska uživatele snadná manipulace s přístrojem a relativně krátká doba měření (do 5 s).
- Poměrně slušná přesnost měření - pro instalace jištěné jističi do cca 30 A je výsledek použitelný i pro výpočet funkčnosti jištění.
- Vysoká spolehlivost nevybavení RCD



- Nutnost trojvodičového připojení přístroje k síti (L, N, PE).

5.8 MĚŘENÍ IMPEDANCE ZA JISTIČI S VELMI MALÝM VYPÍNACÍM PROUDEM

Podobný problém, tedy vybavení jisticího prvku při měření impedance může nastat i v obvodech jištěných jističi či pojistkami s velmi malým jmenovitým vypínacím proudem. Zvláště konstrukčně starší měřiče impedance, které pro dosažení vyšší přesnosti měření používají měřicí proudy nad 10 A (např. Eurotest 61557 generuje měřicí proud až 24 A), dokáží spolehlivě vybavit jisticí prvky s vypínacími proudy jednotek ampér. Ovšem i u obvodů jištěných jisticími prvky s takto malými vybavovacími proudy je třeba ověřit spojitost poruchové smyčky a její odpor, přestože jeho hodnota může být vzhledem k vybavovacímu poruchovému proudu poměrně vysoká.

Pro měření lze samozřejmě využít funkci přístroje pro měření impedance za proudovým chráničem, ovšem právě konstrukčně starší přístroje s vysokým měřicím proudem, u kterých problém s vybavováním jisticích prvků nastává, používají pro měření za RCD obvykle metodu měření malým proudem popsanou v kap. 5.2.

Pro zvýšení přesnosti měření lze doporučit použití nejvyššího možného měřicího proudu, tedy nastavit na přístroji měření za chráničem s nejvyšší proudem (u přístroje Eurotest 61557 je to 1000 mA). Přístroj potom provede měření polovinou tohoto proudu, což jisticí prvky s vypínacím proudem jednotek ampér snesou, a přestože naměřená hodnota z hlediska nejistoty měření není příliš přesná, je pro malé jisticí prvky dostačující.



6 OVĚŘENÍ ÚBYTKU NAPĚTÍ V ELEKTRICKÉ INSTALACI

6.1 ÚBYTEK NAPĚTÍ V ELEKTRICKÉ SÍTI

S měřením impedance obvodů v sítích nízkého napětí také souvisí ověření úbytku napětí v koncových místech elektrické instalace. Při průchodu proudu vodiči elektrické instalace vzniká na odporu vodičů úbytek napětí, o který se snižuje napětí zdroje sloužící pro napájení spotřebičů. Pokud je tedy impedance elektrického vedení velká, potom při zatížení obvodu procházejícím proudem může napětí v odběrném místě klesnout vlivem úbytku napětí natolik, že to může nepříznivě ovlivnit funkci napájeného zařízení. Proto je třeba při projektování elektroinstalace navrhnout takový průřez vodičů, aby při nejvyšším předpokládaném proudovém zatížení nepřesáhl úbytek napětí hodnotu povolenou normou

Velikost úbytku napětí je dána:

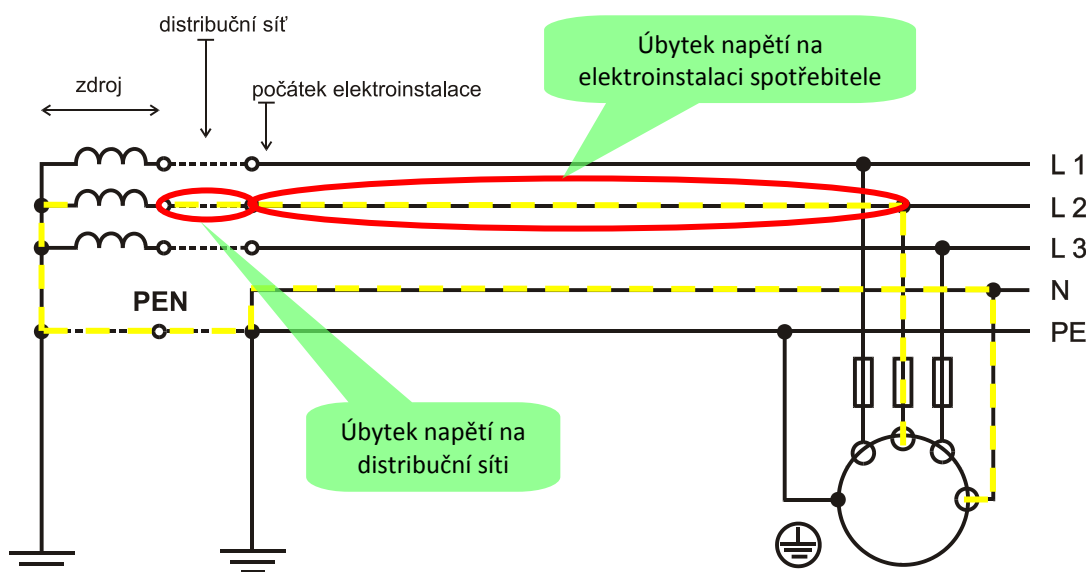
- procházejícím proudem (velikostí a účínkem)
- parametry vedení (činný odpor a indukční reaktance)

Úbytek napětí se zvyšuje:

- se zvyšujícím se odporem vodiče (menší průřez nebo větší délka)
- se zvyšujícím se proudem tekoucím vodičem

Úbytek napětí v síti se skládá z úbytků napětí na jednotlivých částech elektrické sítě, tedy z úbytku napětí na distribuční síti a z úbytku napětí na elektroinstalaci spotřebitele (viz obr. 21).

Úbytky napětí se vyjadřují v procentech a počítají se ze jmenovité hodnoty napětí sítě.



Obr. 21 – Úbytky napětí v elektrické síti

6.2 ÚBYTEK NAPĚTÍ PODLE ČSN

O ověřování úbytku napětí v elektrické síti hovoří ČSN 33 2000-6 v kap. 61.3.11. Odkazuje se zde na ČSN 33 2000-5-52 a ta se dále odkazuje na ČSN 33 2130 ed.2. Jednotlivé články norem a odkazy jsou shrnuty níže:

ČSN 33 2000–6 (kap. 61.3.11)

Při ověření shody s čl. 525 z ČSN 33 2000-5-52 se úbytek napětí určí měřením impedance obvodu nebo pomocí nomogramu z přílohy D.



ČSN 33 2000–5–52 ed. 2 (kap. 525)

Úbytky napětí mezi začátkem instalace uživatele a jejími koncovými body by neměly být větší, než je uvedeno v tabulce G. 52.1

Poznámka k normě: Podrobně je otázka úbytku napětí v bytových objektech a administrativních budovách řešena v ČSN 33 2130 ed.2



ČSN 33 2130 ed.2 (kap. 7.7.3)

Úbytky napětí v rozvodu bytových domů se rozdělí na úseky mezi přípojkovou skříní a rozvaděčem za elektroměrem a na instalaci za tímto rozvaděčem. V úsecích jsou stanoveny povolené úbytky napětí.

6.2.1 ČSN 33 2000–5–52 ED. 2, KAP. 525 (VÝBĚR A STAVBA ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ)

Pokud není třeba brát zřetel na další okolnosti, neměly by být úbytky napětí mezi začátkem instalace uživatele a jakýmkoliv odběrným místem větší, než je uvedeno v tabulce G. 52.1:

Tab. 3 – Povolené úbytky napětí podle ČSN 33 2000-5-52 tab. G.

Typ instalace	Osvětlení	Ostatní užití
Instalace nn napájené z veřejné distribuční sítě	3 %	5 %
Instalace nn napájené z vlastního zdroje nn	6 %	8 %

- Při větší délce vedení, než 100 m je možno připočíst 0,005 % na každý metr nad 100 m, maximálně však 0,5 %.
- Úbytek napětí se určuje z požadovaného odběru spotřebičů, které budou provozovány současně, nebo se určí z návrhových proudů obvodů.
- Větší úbytek napětí je povolen při průtoku rozběhových proudů motorů a u ostatních zařízení s velkým zapínacím proudem.

6.2.2 ČSN 33 2130 ED. 2, ČL. 7.7.3 (INSTALACE NN - VNITŘNÍ ELEKTRICKÉ ROZVODY)

Úbytky napětí v rozvodu bytových domů a jim podobných objektů se rozdělí na úseky mezi přípojkovou skříní a rozvaděčem za elektroměrem a na instalaci za tímto rozvaděčem. V jednotlivých úsecích jsou stanoveny maximální možné úbytky napětí.



Maximální úbytky napětí v rozvodu mezi přípojkovou skříní a rozvaděčem za elektroměrem:

- Světelný a smíšený rozvod 2 %
- Jiný než světelný rozvod 3 %

Maximální úbytky napětí v rozvodu od rozvaděče za elektroměrem ke koncovým místům instalace (ke spotřebičům):

- Světelný rozvod 2 %
- Rozvod pro tepelné spotřebiče 3 %

Pokud úbytek napětí v některé části instalace přesáhne povolenou mez, lze to připustit za předpokladu, že maximální povolené úbytky napětí od přípojkové skříně ke spotřebiči jsou:

- Světelný vývody 4 %
- Vývody pro tepelné spotřebiče 6 %

6.2.3 ČSN 33 0120 (NORMALIZOVANÁ NAPĚTÍ IEC – 8/2001)

V souvislosti s povolenými úbytky napětí v elektrických sítích je nutno ještě upozornit na **ČSN 33 0120 (Normalizovaná napětí IEC – 8/2001)**, která udává maximální povolené úbytky napětí v distribuční síti a v instalaci odběratele s ohledem na minimální napájecí napětí, se kterým bylo počítáno při konstrukci spotřebičů.

Při jmenovitém napětí sítě 230 V / 400 V je povolený úbytek napětí na distribuční síti, tedy v předávacím místě maximálně **10 %**. Za tímto místem nesmí dojít v instalacích odběratele k většímu úbytku napětí než **4 %**.

U napájeného elektrického zařízení může být maximální úbytek napětí proti jmenovité hodnotě napětí sítě 14 %.

Minimální napájecí napětí, se kterým se musí počítat při konstrukci elektrických spotřebičů, tedy může být: **198 V / 344 V**

Je zřejmé, že pokud elektrická instalace v odběrném místě splňuje požadavky na maximální povolené úbytky napětí uvedené v ČSN 33 2000-5-52 a ČSN 33 2130 ed.2, potom elektrická zařízení, která jsou konstruovaná s ohledem na minimální napájecí napětí stanovené v ČSN 33 0120, mohou v takovýchto sítích bez problémů pracovat.

6.3 MĚŘENÍ ÚBYTKU NAPĚTÍ

Jak uvádí ČSN 33 2000-6 v kapitole 61.3.11, lze pro ověření úbytku napětí použít buď nomogram z přílohy D normy, nebo jej lze vypočítat z impedancí sítě změřených pomocí měřiče impedance smyčky.

Obecný postup při ověření úbytku napětí měřením impedancí je následující:

1. Změří se impedance sítě v referenčním bodě (počátek elektroinstalace v přípojkové skříní, v rozvaděči apod.).
2. Změří se impedance sítě v koncovém odběrném místě (zásuvka, připojovací svorky spotřebiče apod.).

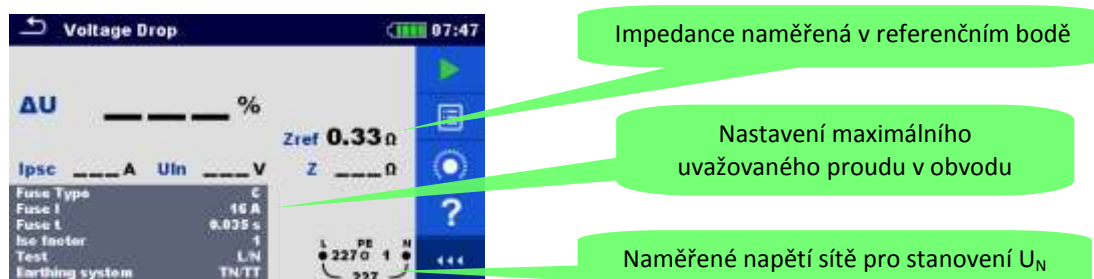


3. Z rozdílu změřených impedancí, jmenovitého napětí sítě a maximálního uvažovaného proudu, který může obvodem téci, se vypočítá úbytek napětí, který může při daném nejvyšším proudovém zatížení v odběrném místě vzniknout. Výsledek se vyjádří jako procentuální podíl jmenovitého napětí sítě.

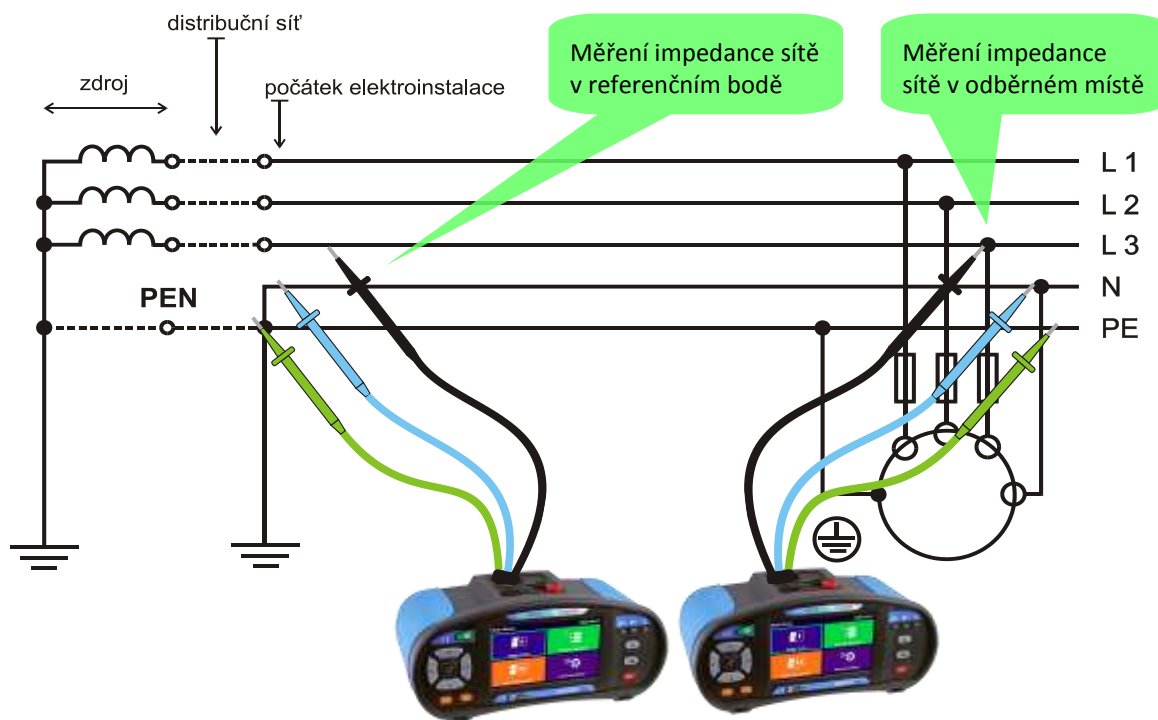
Přístroje EUROTEST firmy METREL již funkci měření úbytku napětí obsahují. Popišme si tedy postup a způsob měření úbytku napětí tak, jak jej provádí přístroj EUROTEST XC. Obdobným způsobem lze pak ověřit úbytek napětí v elektrické síti za použití jakéhokoliv jiného měřiče impedance.

MĚŘENÍ ÚBYTKU NAPĚTÍ V SÍTI PŘÍSTROJEM EUROTEST XC:

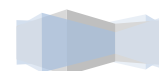
1. V menu přístroje se zvolí funkce měření úbytku napětí a nastaví se maximální uvažovaný proud podle typu jištění obvodu. Jmenovité napětí sítě si přístroj sám určí podle skutečného změřeného napětí v obvodu:
 - $(93 \text{ V} \leq U_{L-N} < 134 \text{ V}) = 110 \text{ V} (U_N)$
 - $(185 \text{ V} \leq U_{L-N} \leq 266 \text{ V}) = 230 \text{ V} (U_N)$
 - $(321 \text{ V} < U_{L-L} \leq 485 \text{ V}) = 400 \text{ V} (U_N)$
2. Změří se impedance sítě v referenčním bodě.



3. Změří se impedance sítě v koncovém odběrném místě (zásuvka, připojovací svorky spotřebiče apod.).



Obr. 22 – Měření úbytku napětí v síti přístrojem EUROTEST XC



4. Příklad z naměřených impedancí vyhodnotí úbytek napětí v obvodu podle vzorce:

$$\Delta U [\%] = \frac{(Z - Z_{ref}) \cdot I_n}{U_n} \cdot 100$$

ΔU [%] – úbytek napětí vypočtený v procentech jmenovitého napětí sítě

Z_{ref} – impedance sítě v referenčním bodu

Z – impedance sítě v odběrném místě

I_n – maximální uvažovaný proud stanovený podle jištění obvodu

U_n – jmenovité napětí sítě



Vypočtený úbytek napětí v měřeném obvodu instalace

Skutečná impedance naměřená v referenčním bodě

Skutečná impedance naměřená v odběrném místě



7 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY

7.1 UNIVERZÁLNÍ PŘÍSTROJE

Ověření funkčnosti předřazeného jištění je nedílnou součástí každé revize elektrické instalace. Proto je funkcí měření impedance vybaven každý univerzální měřicí přístroj, určený k revizím instalací. Porovnejme si parametry zástupců několika kategorií měřičů impedance, ze kterých vyplyne jejich určení pro použití v elektrických zařízeních.

Prvním přístrojem je EUROTTEST 61557 (výrobce METREL) určený k provádění revizí běžných elektrických zařízení, především instalací 230 V / 400 V, který je vybaven velmi dobrým měřičem impedance. Přístroj měří impedanci poměrně značným proudem (až 24 A), což umožňuje měřit s velkou přesností. Spodní hranice jmenovitého rozsahu je 0,11 Ω , zatím co u jiných podobných přístrojů začíná až od hodnoty 0,2 Ω nebo ještě výše. Přístroj měří skutečnou impedanci včetně indukční složky, nejen tedy pouze odpor jako značná část podobných přístrojů.

Určitou slabinou přístroje je pouze měření impedance v obvodech s proudovými chrániči. Použitá metoda měření polovinou vybavovacího proudu chrániče již z principu vede k velké nejistotě měření a v obvodech jištěných chrániči s malými reziduálními proudy je naměřená hodnota spíše orientační.

Vybrané technické parametry pro funkci měření impedance poruchové smyčky:

- Měřicí proud: cca 23 A
- Měřicí rozsah: 0,00 Ω ÷ 1999 Ω
- Nejvyšší rozlišovací schopnost: 0,01 Ω
- Jmenovitý rozsah: 0,11 Ω ÷ 1999 Ω
- Jmenovitý rozsah při měření bez vybavení RCD: 7,47 Ω ÷ 1999 Ω



Obr. 23 – MI2086 EUROTTEST 61557

Naproti tomu novější typ - přístroj EUROTTEST XC (obr. 24) má lépe řešeno měření impedance za chráničem metodou výpočtu ze změřeného odporu R_{LINE} a R_{N-PE} , ovšem standardní měření impedance je z důvodu použití nižšího měřicího proudu méně přesné. Přístroj je vybaven funkcí měření úbytku napětí v síti a vyhodnocením funkčnosti ochrany automatickým odpojením od zdroje v závislosti na zvolených parametrech jištění.

- Měřicí proud: cca 6,5 A
- Měřicí rozsah: 0,00 Ω ÷ 9,99 k Ω
- Nejvyšší rozlišovací schopnost: 0,01 Ω
- Jmenovitý rozsah: 0,25 Ω ÷ 9,99 k Ω
- Jmenovitý rozsah při měření bez vybavení RCD: 0,46 Ω ÷ 9,99 k Ω
- Měření a výpočet ΔU [%]





Obr. 24 – MI3102 EUROTEST XC

7.2 JEDNOÚČELOVÉ PŘÍSTROJE

Jednoúčelové měřiče impedance jsou oblíbené, především pokud mají tvar rozměrově nevelkého přístroje drženého v ruce. S výhodou se pak využívají jak pro měření impedance při revizích na obtížně přístupných místech tak i pro rychlé orientační měření a hledání závad. Velmi oblíbené je také jejich použití při měření zemních odporů za použití externího (síťového) zdroje proudu.



Jako zástupce jednoúčelových měřičů impedance si představme přístroj ZEROTESTpro (obr. 25). Přístroj je, kromě standardního měření impedance, vybaven i funkcí měření impedance v obvodech s proudovými chrániči pomocí metody krátkého proudového impulsu. Díky této metodě byla dosažena poměrně slušná přesnost měření, využitelná i pro měření v instalacích s běžnými jištěními a ocení ji především uživatelé, kteří přístrojem budou chtít měřit odpor uzemnění náhradní metodou za použití síťového napětí z chráničem jištěné instalace.

Další funkce:

- Okamžité vyhodnocení měření pomocí v paměti uložené tabulky charakteristik jisticích prvků.
- Zobrazení 1,5 násobku změřené hodnoty impedance.
- Zobrazení velikosti zkratového proudu odpovídajícího naměřené impedanci.
- Zobrazení naměřené hodnoty impedance zvýšené o chybu měření.

Vybrané technické parametry:

- Měřicí proud: cca 4,5 A
- Měřicí rozsah: $0,00 \Omega \div 200 \Omega$
- Nejvyšší rozlišovací schopnost: $0,01 \Omega$
- Jmenovitý rozsah: $0,27 \Omega \div 200 \Omega$

Obr. 25 – ZEROTESTpro

7.3 SPECIÁLNÍ MĚŘIČE VELMI MALÝCH IMPEDANCÍ

Pro obvody jištěné jisticími prvky s poměrně vysokými vybavovacími proudy nejsou běžné měřicí přístroje z hlediska přesnosti měření použitelné. Proto se v mnoha případech využívá pro ověření funkce jištění výpočet založený na údajích o parametrech ochranného obvodu získaných z projektové dokumentace. Nevýhody tohoto postupu při pravidelných revizích jsou zřejmé. Pokud je projektová dokumentace vůbec k dispozici, nemusí odpovídat skutečnému stavu a bez fyzického prověření ochranného obvodu, aby se vyloučily možné závady vzniklé během montáže, nebo provozu instalace, se stejně nelze obejít.

Pro účely měření impedance v obvodech jištěných prvky s vysokými vybavovacími proudy jsou určeny speciální přesné měřiče impedance. Jedním z nich je přístroj ZEROLINE 60 (obr. 26), který je určen pro běžná provozní

měření v instalacích jistěných přístroji s vybavovacími proudy do cca 400 A, ale vzhledem k volitelnému měřicímu proudu jej lze použít i k měření v běžných instalacích s méně proudově zatížitelnými jistícími prvky.

Přístroj měří skutečnou impedanci poruchové smyčky s rozlišením na 1 m Ω . Pro velmi přesné měření lze využít čtyřvodičovou metodu (viz kap. 2.3), která zajistí eliminaci přechodového odporu v místě připojení přístroje k měřenému obvodu.

Přístroj má zabudovány i funkce měření impedance v obvodech s proudovými chrániči. Použitá metoda blokování chráničů pomocí stejnosměrného proudu umožňuje dosažení poměrně vysoké přesnosti měření i při využití této funkce.

Přístroj je na rozdíl od jiných podobných přístrojů relativně malý – lze jej při měření nosit zavěšený na krku. Z důležitých technických parametrů lze uvést:

- Měřicí proud: volitelný 30 A, 20 A, 10 A
- Měřicí rozsah: 0,000 Ω ÷ 20,00 Ω
- Nejvyšší rozlišovací schopnost: 0,001 Ω
- Jmenovitý rozsah: 0,038 Ω ÷ 1,500 Ω pro měřicí proud 30 A



Obr. 26 – ZEROLINE 60

Speciálně pro měření velmi malých impedancí je určen přístroj A1143 Euro Z 290 A (obr. 27). Přístroj měří skutečnou impedanci značným měřicím proudem, což umožňuje dosažení vysoké přesnosti měření. Přístroj je určen jako doplněk k univerzálům Eurotest, ale lze jej používat i samostatně. Jeho připojení k některému z přístrojů Eurotest pouze umožní přenášet naměřená data do PC a tím i do revizních zpráv vytvářených v SW dodávaném k přístrojům Eurotest.

Vybrané technické parametry přístroje jsou:

- Měřicí proud: 154 A / 267 A (pro 230 V / 400 V)
- Měřicí rozsah: 0,0000 Ω ÷ 19,99 Ω
- Nejvyšší rozlišovací schopnost: 0,0001 Ω
- Jmenovitý rozsah: 0,0131 Ω ÷ 19,99 Ω





Obr. 27 – A1143 Euro Z 290 A

Pokud vezmeme v úvahu maximální možné hodnoty impedance poruchové smyčky pro různé jistící prvky, lze z nich určit, do jakých proudových hodnot jištění lze jednotlivé měřicí přístroje použít, aby byl splněn požadavek na přesnost přístroje pro dané měření. Přibližné meze použitelnosti měřicích přístrojů pro běžné typy jisticích prvků shrnuje tabulka 4.

Tab. 4 – Přibližné meze použitelnosti měřičů impedance pro vyhodnocení jištění

Jištění	Eurotest XC	Eurotest 61557	ZEROTESTpro	ZEROLINE 60	A 1143
Pojistky (0,4 s)	< 70 A	< 150 A	< 70 A	< 350 A	Všechny typy nad cca 150 A
Pojistky (5 s)	< 100 A	< 230 A	< 100 A	< 500 A	
Jistič B	< 100 A	< 100 A	< 100 A	všechny typy	
Jistič C	< 50 A	< 100 A	< 50 A	všechny typy	
Jistič D	< 25 A	< 63 A	< 25 A	všechny typy	



8 ZÁVĚR

Cílem článku bylo shrnout problematiku měření impedance poruchové smyčky především z hlediska použitelnosti měřicích přístrojů pro měření za konkrétních podmínek, které se mohou v elektrických instalacích vyskytovat. Jak bylo ukázáno, nelze v mnoha případech pro měření využít jakýkoliv měřič impedance, který je právě k dispozici, ale je nutno podle konkrétních podmínek zvážit, jaké parametry by měl pro dané měření přístroj mít.

Vlastnosti přístroje, především přesnost měření, je nutno zvažovat zvláště při měření velmi malých impedancí, kdy použití méně přesných přístrojů může ovlivnit výsledek revize. V obvodech jištěných prvky s vysokými vybavovacími proudy mohou při poruše téci značné zkratové proudy a chybné vyhodnocení funkčnosti předřazeného jištění může vést ke značným škodám na instalaci nebo v případě vzniku požáru i na objektu.



9 OBSAH

1	Úvod	1
1.1	Impedance poruchové smyčky	1
2	Měření impedance smyčky	3
2.1	Princip měření	3
2.2	Zajištění bezpečnosti a zvýšení přesnosti při měření	3
2.3	Čtyřvodičová metoda měření odporu	4
2.4	Problematika měření impedance poruchové smyčky	5
3	Požadavky na přesnost měření impedance poruchové smyčky	6
3.1	Technické parametry měřicího přístroje	6
3.2	Vyjádření přesnosti měření a výpočet nejistoty	8
3.3	Jmenovitý rozsah	10
3.4	Ovlivnění impedance vnějšími vlivy	10
4	Ověření jistění proti nadproudům	12
4.1	Předpoklady pro správnou funkci jistění	12
4.2	Příklad ověření funkčnosti jistění prvkem s velkým vypínacím proudem	13
4.3	Příklad ověření funkčnosti jistění prvkem s malým vypínacím proudem	15
5	Měření impedance poruchové smyčky v obvodech s proudovými chrániči	17
5.1	Použití RCD jako ochranného prvku	17
5.2	Měření impedance polovinou vybavovacího proudu	18
5.3	Využití konstrukčních vlastností RCD pro měření impedance	18
5.4	Blokování chrániče stejnosměrným proudem	18
5.5	Měření krátkým měřicím pulzem	19
5.6	Výpočtem z R_{LINE} a R_{N-PE}	20
5.7	Srovnání metod měření impedance za chráničem	21
5.8	Měření impedance za jističi s velmi malým vypínacím proudem	22
6	Ověření úbytku napětí v elektrické instalaci	23
6.1	Úbytek napětí v elektrické síti	23
6.2	Úbytek napětí podle ČSN	23
6.2.1	ČSN 33 2000–5–52 ed. 2, kap. 525 (Výběr a stavba elektrických zařízení)	24
6.2.2	ČSN 33 2130 ED. 2, ČL. 7.7.3 (Instalace nn - Vnitřní elektrické rozvody)	24
6.2.3	ČSN 33 0120 (normalizovaná napětí IEC – 8/2001)	25
6.3	Měření úbytku napětí	25
7	Měřicí přístroje pro měření impedance poruchové smyčky	28
7.1	Univerzální přístroje	28
7.2	Jednoúčelové přístroje	29
7.3	Speciální měřiče velmi malých impedancí	29
8	Závěr	32
9	Obsah	33

