

7.

**MĚŘICÍ PŘÍSTROJE
PRO MĚŘENÍ
V ELEKTRICKÝCH
INSTALACÍCH**

Měřicí přístroje pro měření v elektrických instalacích

Lubomír Harwot

1. Úvod

Vzhledem k tomu, že měřicí technika používaná revizními a kontrolními technikami podléhá pravidelným kalibracím, je nutné věnovat výběru vhodného přístroje patřičnou pozornost, a to jak z hlediska splnění příslušné části normy, tak z hlediska dodržení technických parametrů a nejistot měření uváděných jednotlivými výrobci. Měřicí přístroje lze rozdělit na přístroje *sdrúžené a jednoučelové*. Každá skupina má své klady a zápory, které jsou určovány především technickou odsluhou přístroje.

Cílem příspěvku je seznámit čtenáře s vybranými novinkami v měřicí technice. Uvedeny jsou především přístroje vyhovující normám EN 61010 a EN 61557 (ČSN EN 61557). Upozorňuje se na některé aspekty EN 61557 ve vztahu k měřicím přístrojům, jsou naznačeny metody určení nejistoty přístroje a podány informace o komunikačním rozhraní RS-232 a rychlém přenosu dat po sběrnici USB. Článek neobsahuje komplexní výčet všech technických údajů přístrojů, jsou pouze naznačeny vybrané druhy parametrů. Pro bližší technické údaje jsou uvedeny odkazy.

2. Nejistota měření

Výrobci měřicích přístrojů udávají jejich přesnost měření, rozlišení, citlivosti apod. Ne vždy jsou tyto pojmy vykládány jednoznačně, především se to týká měřicích přístrojů s digitálním vyhodnocením naměřených hodnot. K tomu přistupují ještě pojmy nejistota měření, pracovní chyby apod., používané v současné době.

Pojem *nejistota měření* byl zaváděn v období 1981 až 1985 na zasedáních Mezinárodního výboru pro míry a váhy. V roce 1993 vydala Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) první příručku pro určování nejistot měření. Kromě teoretického obsahu a praktických ukázek výpočtu nejistot měření příručka nedoporučuje používat pojmy chyba měření nebo správná hodnota měřené veličiny.

V normě je uvedena měřená hodnota jako střední prvek souboru, který představuje měřenou veličinu a nejistotu měření jako parametr přiřazený k výsledku měření. Nejistota měření charakterizuje rozptýl hodnot, jež lze pokládat za hodnotu veličiny, která je předmětem měření. Parametrem (nejistotou měření) může být směrodatná odchylka nebo její násobek. Obecně představuje nejistota měření více složek. Některé složky mohou být získány ze statistického rozložení výsledku měření, jiné z předpokládaného pravděpodobnostního rozložení. Nejistoty měření vykazují všechny součásti měřícího řetězce: měřicí přístroje, měřicí metody, etalony, měřicí obvody apod.

Základní kvantitativní charakteristikou nejistoty měření je *standardní nejistota*. Je označena symbolem u (anglicky *uncertainty*). Podle způsobu vyhodnocení lze rozdělit standardní nejistotu na nejistotu typu A a nejistotu typu B. Dále lze rozdělit standardní nejistoty na nejistoty přímých měřicích metod a nejistoty nepřímých měřicích metod. Při měřeních v elektrických soustavách se lze převážně setkat s přímými měřicími metodami. Tehdy je výsledná hodnota zobrazena přímo na displeji nebo na stupnici jednoho použitého měřícího přístroje.

2.1 Standardní nejistota typu A

Standardní nejistota typu A je označována symbolem u_A . Je stanovena podle výsledků statistické analýzy více opakovaných měření, podobně jako u náhodných chyb. Příčiny těchto nejistot jsou považovány za neznámé a při daném souboru měření jejich hodnoty klesají s počtem měření. Pro vyhodnocení nejistoty typu A je vhodné mít k dispozici větší soubor naměřených hodnot. Obsahuje-li soubor měření např. pouze deset hodnot a méně, je standardní nejistota stanovena metodou A málo spolehlivá.

2.2 Standardní nejistota typu B

Standardní nejistota typu B s označením u_B je získána jiným způsobem než ze statistického vyhodnocení souboru měření.

Vyhodnocuje se pro jednotlivé zdroje nejistot a je obdobou systematických chyb. Systematickou chybu je možné vyjádřit jako složku chyby měření, která zůstává při opakovaných měřeních stálá nebo se mění předvídatelným způsobem. Mezi systematické chyby lze zařadit chybu metody, chybu měřicího přístroje, vliv oteplení, chybu nuly, zesílení apod. Systematická chyba je uživateli známa.

Standardní nejistota typu B se určuje podle údajů výrobců používané měřicí techniky, podle metodiky měření, zkušeností z předchozích měření, údajů získaných z kalibračních protokolů, nejistot referenčních údajů apod. Jestliže je výsledné měření ovlivňováno více prvky majícími vliv na celkový výsledek měření, je standardní nejistota typu B určena výrazem, jenž zahrnuje nejistoty jednotlivých prvků měřicího řetězce. Je-li např. měřicí přístroj použit v pracovních podmínkách, je nejistota typu B určena z parametrů udaných výrobcem měřicího přístroje. V tomto případě je to nepřesnost měřicího přístroje (třída přesnosti u analogového vyhodnocení nebo přesnost přístroje u digitálního vyhodnocení). Na základě získaných informací o přesnosti měřicího přístroje lze určit interval, ve kterém s velkou pravděpodobností leží měřená hodnota.

2.3 Nejistota kombinovaná

V mnoha měřeních v praxi nelze stanovit výsledek měření na základě nejistoty typu A nebo nejistoty typu B. Sloučením obou uvedených nejistot se získá *nejistota kombinovaná*, která je označena symbolem u_C .

2.4 Nejistota rozšířená

V praxi se při výpočtech lze setkat také s *rozšířenou nejistotou*, která je označována symbolem $U_{(k)}$. Je definována jako součin kombinované standardní nejistoty a činitele (koeficientu) rozšíření. U rozšířené nejistoty je nutné uvádět činitel rozšíření, např. $k = 2$ nebo $k = 3$ (je uváděn také např. v kalibračních listech). Pro normální (Gaussovo) rozložení odpovídá činiteli $k = 2$ pravděpodobnost, že daná hodnota leží v předpokládaném intervalu 95 %, pro $k = 3$ je tento interval 99,7 %.

3. Nejistoty přímých měření přístrojů s analogovým a digitálním vyhodnocením měřené veličiny

Každé měření je zatíženo určitou nejistotou, která zahrnuje nejistoty typu A i nejistoty typu B. Žádný měřicí přístroj ani měřicí metoda neumožňují zjistit skutečnou hodnotu měřené veličiny. Ke správné hodnotě se lze pouze přiblížit, a to tím více, čím přesnější metody měření a měřicí přístroje jsou použity.

3.1 Přístroje s analogovým vyhodnocením naměřené hodnoty

U přístrojů s analogovým zobrazením naměřené veličiny je stěžejním parametrem při výpočtu nejistoty *třída přesnosti*.

3.1.1 Příklad výpočtu nejistoty u přístroje s analogovým vyhodnocením měřené veličiny

Třída přesnosti měřicího přístroje (uvedená v technických podmínkách výrobce) $TP = 0,5$, napětí je měřeno na měřicím rozsahu 10 V. Přístroj je používán v referenčních podmínkách (neuvažujeme vliv teploty, elektromagnetických polí apod.). Během měření v provozních podmínkách je v některých případech nutné uvažovat vliv teploty nebo vliv silných magnetických polí rozváděče (od silových kabelů apod.). Měří se opakovaně a naměřená hodnota je stále stejná: $U = 5,05$ V.

Nejistota typu A

Protože je při opakovaném měření naměřená hodnota stále stejná ($U = 5,05$ V), neuplatňuje se nejistota typu A, která je určována ze statistických výpočtů a představuje nejistotu nesytematickou.

Nejistota typu B

Nejistota typu B je dána především třídou přesnosti přístroje. Nejistota typu B představuje hodnotu $u_B = 0,029$ V. Použije-li se činitel rozšíření $k = 2$, nabývá rozšířená nejistota hodnoty $u_C = 0,058$ V.

Výsledek měření je tedy vyjádřen ve tvaru $U = 5,05$ V s rozšířenou nejistotou

$$u_C = 58 \text{ mV.}$$

3.2 Přístroje s digitálním vyhodnocením měřené veličiny

U měřicích přístrojů s digitálním vyhodnocením naměřené veličiny výrobci uvádějí přesnost přístroje ve tvaru

$$\pm(\% \text{ čtení} + \% \text{ rozsahu})$$

což je shodné se vztahem

$$\pm(\% \text{ čtení} + \text{číslice}).$$

V dřívějších návodech k obsluze měřicích přístrojů udávali výrobci přesnost ve tvarech

$$\pm (\% \text{ rdg} + \text{digits})$$

$$\pm(\% \text{ rdg} + \text{count})$$

$$\pm (\% \text{ m.V.} + \text{digits})$$

kde značí

rdg – čtení,

digits – číslice (LSB),

count – čítání,

m.V. – měřená hodnota.

3.2.2 Příklad výpočtu nejistoty u přístroje s digitálním vyhodnocením měřené veličiny

Měřicí přístroj s čítáním 99 999 má uvedenou přesnost měření ve tvaru $\pm(0,01\% \text{ čtení} + 0,01\% \text{ rozsahu})$. Měří se na měřicím rozsahu 10 V.

Při měření voltmetrem byl naměřen soubor hodnot napětí (5,0009 V; 5,0005 V; 5,0011 V;).

Standardní nejistota typu A (určena na základě statistického výpočtu ze souboru výše uvedených měření, související s nejistotou nesystematickou) je dána hodnotou $u_A = 0,00022 \text{ V}$.

Standardní nejistota typu B je $u_B = 0,00087 \text{ V}$.

Kombinovaná standardní nejistota je $u_C = 0,00090 \text{ V}$.

Rozšířená nejistota ($k = 2$) je $U_C = 2 \times u_C = 0,0018 \text{ V}$.

Vzhledem k tomu, že má přístroj čítání max. 99 999, jsou nejistoty velmi malé.

V návaznosti na prezentace zabývající se chybami měřicích přístrojů je vhodné objasnit několik termínů.

3.2.3 Rozlišovací schopnost měřicího přístroje

Rozlišovací schopnost měřicího přístroje je závislá na počtu číslic displeje LCD. Vyjadřuje nejmenší změnu měřené veličiny indikovanou na LCD. Je to tedy změna hodnoty indikovaná o „jedničku“ na nejmenším čísle (LSB – *Least Significant Bit* – nejméně významný bit) a závisí na zvoleném měřicím rozsahu. Má-li displej měřicího přístroje $3\frac{1}{2}$ místa (max. čítání 1999), je rozlišení menší než u přístroje s $4\frac{1}{2}$ místným zobrazením (max. čítání 19999) nebo vyšším. Bohužel většina měřicích přístrojů určených k revizním měřením disponuje LCD „pouze“ $3\frac{1}{2}$ číslic, popř. čtyři číslice, a proto je někdy problematické vyhodnotit a zobrazit naměřené hodnoty tak, aby výsledek odpovídal požadované nejistotě (měření impedance smyčky, vyhodnocení měření proudových chráničů apod.).

3.2.4 Citlivost měřicího přístroje

Citlivost měřicího přístroje vyjadřuje nejmenší veličinu měřitelnou daným přístrojem. Při měření stejnosměrných napětí je rovna rozlišovací schopnosti na nejmenším měřicím rozsahu. U střídavých rozsahů, které se obvykle používají při revizních měřeních, je nižší, protože převodníky AC/DC pracují až od určité úrovně.

Rozlišení měřicího přístroje tedy v žádném případě není totožné s nejistotou měření, jak je v mnohých případech záměrně zaměňováno.

Vyjádření nejistoty měření ve tvaru $\pm(\% \text{ čtení} + \text{ číslice})$ přímo souvisí s počtem míst na displeji přístroje. Pod pojmem „čísllice“ je představována poslední platná číslice na displeji (LSB). Je-li např. u měřicího přístroje s čítáním 1999 (LCD 3½ číslice) uvedena nejistota ve tvaru $\pm(0,5 \% + 2)$, může být podobná nejistota u přístroje s čítáním 1999 (LCD 4½ číslice) uvedena ve tvaru $\pm(0,5 \% + 20)$. To může, avšak mylně, odrazovat od pořízení takového přístroje.

Při stanovení LSB je nutné respektovat zobrazení měřených hodnot na displeji přístroje. Je-li uvedena naměřená hodnota ve tvaru 0,01 V, představuje LSB (nejméně významná číslice) hodnotu 10 mV; to reprezentuje rozlišovací schopnost přístroje.

4. Měřicí přístroje podle EN 61557

Pro výrobce měřicí techniky určené k revizním elektrických instalacím jsou závazné normy z hlediska bezpečnosti (EN 61010) i ve vztahu k revizním měřením, tj. EN 61557 (ČSN EN 61557) část 1 a navazující příslušné části (např. pro měření izolačních odporů část 2, pro měření impedance smyčky část 3, pro měření spojitosti část 4 apod.).

V současné době již většina výrobců, ne-li všichni výrobci, měřicích přístrojů určených k revizním měřením splňuje příslušné části EN 61557. Výrobci z Evropské unie by měl být tento požadavek splněn vždy. V případě výrobců z jiných oblastí je vhodné ověřit, zda přístroje splňují požadované vlastnosti, zejména požadavky EN 61557, ve vztahu k základním a následně pracovní nejistotě.

4.1 Kalibrace měřicích přístrojů

V návodu k obsluze standardního měřicího přístroje jsou uvedeny nejistoty měření vztahující se k měřením v referenčních podmínkách. Na základě těchto podkladů je provedena prvotní kalibrace přístroje, popř. kalibrace opakovaná. Pokud přístroj vyhovuje technickým podmínkám, je vydán *kalibrační list* s naměřenými hodnotami a výsledkem měření. V případě, že některý rozsah nevyhovuje technickým požadavkům výrobce, mohou být v kalibračním listu zaznamenány naměřené hodnoty rozsahu s poznámkou, že nevyhovuje technickým požadavkům výrobce.

V normě EN 61557 je uvedena úprava naměřených hodnot u jednotlivých druhů měření, která se vztahuje k rozšířené nejistotě. Vždy je nutné uvádět méně příznivou hodnotu. Například při měření izolačního odporu s dovolenou nejistotou ($\pm 30 \%$) je zapsána výsledná hodnota (např. v revizní zprávě)

$$R_V = 0,7 R_N$$

kde

R_V je hodnota výsledného odporu izolace,

R_N naměřená hodnota izolačního odporu.

Při měření impedance smyčky a měření zemních odporů je uváděna hodnota nižší, tedy $R_V = 1,3 R_N$. Při testování proudových chráničů se samostatně vyhodnocuje dotykové napětí $U_V = 5 \text{ V} + U_N$ ($U_L = 25 \text{ V}$) nebo $U_V = 10 \text{ V} + U_N$ ($U_L = 25 \text{ V}$), pro vybavovací proud a čas je odchylka $\pm(10 \%)$; opět je uváděna méně příznivá hodnota.

5. Komunikace s prostředím

Moderní měřicí přístroje určené k obecnému použití i k revizním měřením umožňují přímý tisk naměřených hodnot na tiskárně nebo jejich zpracování v počítači. Tím je vyloučeno, do jisté míry, ovlivnění výsledků obsluhou přístroje. Přístroje komunikují s prostředím většinou přes sériové rozhraní RS-232 nebo opticky izolované rozhraní IR-RS-232. V poslední době jsou tato rozhraní nahrazována rychlou komunikací prostřednictvím sběrnice USB (1.1 nebo 2.0).



Obr. 1.
Digitální multimetr DM 531 (LCD s čítáním 3999)

5.1 Hardware – sériové rozhraní RS-232

Sériové rozhraní RS-232 bylo původně určeno k propojení koncového datového zařízení (DTE – *Data Terminal Equipment*) s komunikačním datovým zařízením (DCE – *Data Communication Equipment*). V měřicí technice se začalo toto rozhraní rozšiřovat zejména v souvislosti s vývojem počítačů třídy IBM PC, které byly a jsou standardně vybaveny právě tímto rozhraním.



Obr. 2. Multimetr Hexagon 720 (LCD s čítáním 50 000)

je použita signálová země a datové vodiče (TD, RD, GND). Programové řízení Xon/Xoff ovládá vysíláním speciálních znaků jednotky tak, aby nedošlo ke ztrátě informace (ASCII 19 a ASCII 17). Nevýhodou tohoto zapojení může být dlouhá doba čekání na povel možného vysílání zpráv.

Nedostatky softwarového řízení do jisté míry řeší zapojení pěti- a sedmivodičové, kde je přenos dat řízen hardwarově (*Hardware Handshaking*).

Situace se v současné době opakuje s rozhraním USB, protože počítače toto rozhraní standardně obsahují a potlačují komunikaci po RS-232. U moderních notebooků již není rozhraní RS-232 k dispozici přímo, ale pouze implementací z USB.

Rozhraní RS-232 je aplikováno především u měřicích přístrojů komunikujících přímo s počítačem (přístroj – počítač). Není v rozsáhlejších měřicích systémech. Tam se využívá paralelní sběrnice GPIB.

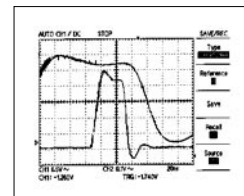
V normě je definováno dvacet řídicích signálů s pozicemi na konektoru s 25 vývody. Většinou jsou instalovány konektory Canon – D.

U měřicích přístrojů se zpravidla využívá devět signálů (TD, RD, RTS, CTS, DSR, GND, DCD, DTR, RI).

V případě přímého připojení (např. počítač a měřicí přístroj) jde většinou o připojení třívodičové, kde je tok dat řízen softwarově (*Software Handshaking*). U tohoto zapojení

Není-li k přístroji dodáváno standardní připojení se softwarem od výrobce, je nutné mít k dispozici komunikační protokol měřicího přístroje. Maximální přenosová rychlost je 20 kB/s a délka mezi propojenými jednotkami je omezena pouze kapacitou mezi vodiči.

U měřicích přístrojů určených k revizním měřením jsou většinou předávány naměřené hodnoty ve tvaru tabulky, není tedy využíváno grafické zobrazení. Přenosová rychlost rozhraní RS-232 je v tomto případě dostačující. Kdyby byly přenášeny celé obrazovky *HardCopy*, byla by komunikace pomalá.



Obr. 3. Přímý tisk naměřených hodnot z přístroje Hard Copy

5.2 Hardware – rozhraní USB

Nejmodernější měřicí přístroje umožňují komunikovat nejen prostřednictvím sériové linky RS-232, ale také přes rozhraní USB. Rozhraní USB (*Universal Serial Bus*) disponuje velkou přenosovou rychlostí, srovnatelnou se sběrnicí GPIB. Při přenosu větších objemů dat je tato sběrnice, v porovnání s rozhraním RS-232 dostatečně rychlá.

Mezi základní výhody rozhraní USB lze zařadit:

- připojení více periferních zařízení,
- levné řešení bez dalšího hardwarového vybavení počítače,
- rychlý přenos dat,
- přenos dat v reálném čase,
- možnost integrace koncových zařízení,
- snadné hardwarové připojení,
- standardní instalace,
- softwarové identifikace vadného koncového zařízení,
- softwarová indikace připojení či odpojení zařízení,
- připojení a odpojení během provozu.



Obr. 4. Rozhraní RS-232, USB a Centronix u osciloskopu EZ Digital DS 1150

5.3 Software

Vedle požadavků hardwaru na komunikaci s přístroji je vhodné věnovat pozornost také kompatibilitě softwaru s operačním systémem (OS) uživatele. Obecně je známo, že programové vybavení k měřicím přístrojům pracuje spolehlivě pod OS Windows 98. Protože se měřicích přístrojů neprodává takové množství jako např. skenerů, tiskáren atd., nevěnují mnozí výrobci aktualizaci softwaru patřičnou pozornost. V poslední době se stává standardem také kompatibilita programového vybavení s OS Windows XP. Toto programové vybavení je většinou distribuováno na CD-ROM. Protože mnozí distributoři

Test Instrument Model	Firmware Version	Test Number	Core Test Number	Test Date	Test Time (HH:MM)	Average Resistance (R)	Forward Resistance (R)	Reverse Resistance (R)	Upper Limit (R)	Lower Limit (R)	Selected Current (mA)	Current Mode(A)	Test Status	Pass/Fail
1		22.05.2004	10112	0,000001	0,0000025	10	10	10000	ALFRO	Automatic	PASS			
2		22.05.2004	10112	0,000002	0,0000024	10	10	10000	ALFRO	Automatic	PASS			
3		22.05.2004	10112	0,000004	0,0000029	0,0000019	10	10	10000	ALFRO	Automatic	PASS		
4		22.05.2004	10112	0,000005	0,0000086	0,0000026	10	10	10000	ALFRO	Automatic	PASS		
5		22.05.2004	10113	0,000005	0,000006	0	10	1000	1000	Automatic	PASS			
6		22.05.2004	10113	0,000002	0,000004	0	10	1000	1000	Automatic	PASS			
7		22.05.2004	10113	0,000002	0,000004	0,000001	10	10	1000	1000	Automatic	PASS		
8		22.05.2004	10113	0,000001	0,000006	0	10	1000	1000	Automatic	PASS			
9		22.05.2004	10113	0,000002	0,000003	0,000001	10	10	1000	1000	Automatic	PASS		
10		22.05.2004	10113	0,000001	0,000005	0,000001	10	10	1000	1000	Automatic	PASS		

Obr. 5. Výpis naměřených hodnot z mikroohmmetru DLRO 10X

měřicí techniky nemají u speciálních přístrojů vlastnoručně vyzkoušenou komunikaci mezi přístrojem a počítačem, je vhodné se před pořízením přístroje informovat na to, jaký operační systém software přístroje podporuje.

V blízké budoucnosti by měly speciální měřicí přístroje podporovat také OS Linux.

6. Měření izolačních odporů a pospojování

Standardní měřicí přístroje určené k měření izolačních odporů jsou konstruovány v souladu s EN 61557-2.

Mezi vybrané podmínky ve vztahu k normě pro výrobce měřicí techniky lze zařadit:

- maximální nejistota měření se pohybuje v rozmezí $\pm 30\%$,
- použité měřicí napětí je stejnosměrné,
- měřicí napětí nemá překročit hodnotu $1,5 U_N$ (U_N je jmenovité měřicí napětí),

- minimální hodnota měřicího proudu by měla být 1 mA (to je velikost proudu procházejícího měřeným odporem o číselné velikosti $U_N \times 1\,000$, kde napětí je ve voltech a odpor v ohmech)
- další specifikace jsou uvedeny v příslušné části normy.

Měřicí přístroje určené k měření izolačních odporů (izolační odpory mezi vodiči, elektrických spotřebičů a nářadí, strojních součástí, klasických a polovodičových podlah, zemních vodičů atd.) je možné rozdělit podle měřicích funkcí na:

- *sdrúžené revizní přístroje* (kromě měření impedance smyčky, proudových chráničů, zemních odporů, sledu fází, napětí, kmitočtu měří také izolační odpory),
- *jednoučelové přístroje* (měříce izolačních odporů).

Podle užitných vlastností jsou měřiče izolačních odporů rozděleny na:

- přístroje se *základními* funkcemi,
- přístroje s *rozšířenými* funkcemi.



Obr. 6. Měřič izolačních odporů C.A 6541

6.1 Měřicí přístroje se základními funkcemi

Měřiče izolačních odporů se základními funkcemi poskytují možnost na displeji (většinou 3 1/2 číslice) číst naměřený izolační odpor, popř. nastavené měřicí napětí. Modernější verze přístrojů (např. Chauvin Arnoux **C.A 6521-25**, **C.A 6531-33**) jsou vybaveny časovačem (*timer*), který dovoluje měřit po předem nastavenou dobu. Časovač zaručuje konstantní dobu testování pro více měření stejného druhu. Testovací napětí u zmíněných měřičů izolačních odporů je většinou limitováno hodnotou 1 kV, přičemž podle provedení mohou tyto přístroje měřit již od 50 V (např. měření sdělovacích kabelů apod.). Izolační odpory jsou převážně měřeny v mezích 100 kW až 2 GW. Mezi doplňující funkce lze zahrnout měření odporů, kapacit, testování přítomnosti napětí a měření propojení obvodu proudem 200 mA.

6.2 Měřicí přístroje s rozšířenými funkcemi

Přístroje s rozšířenými funkcemi jsou určeny k speciálním měřením izolačních odporů, přičemž mohou vyhodnocovat nestandardní stav měřeného zařízení. Kromě již uvedených vlastností zpracovávají také např. tyto hodnoty: polarizační index, dielektrický absorpční poměr, dielektrický vybíjecí index, uskutečňují zkoušku v předem nastavené posloupnosti napětí s vyhodnocením izolačního odporu v závislosti na čase (funkce $R = R(t)$) apod. Nejnovější měřiče izolačních odporů umožňují, na základě vložených empirických konstant, přepočítat naměřenou hodnotu izolačního odporu ve vztahu k jiné teplotě.

Rozšířené funkce měřičů izolačních odporů

K vyloučení změn ovlivňujících izolační odpor (např. vliv teploty, vlhkosti, stárnutí materiálů) je vhodné měřit izolační odpory v delším časovém intervalu. Z naměřených hodnot přístroje s rozšířenými funkcemi automaticky vypočítávají polarizační index (PI) a dielektrický absorpční poměr (DAR). Při měření vícevrstevných izolací a izolací z různých materiálů vyhodnocují přímo měřiče izolačních odporů s rozšířenými funkcemi také dielektrický vybíjecí index (DD). Během tohoto měření je po měření izolace (např. 500 V/30 min) zjišťována kapacita a následně (po 1 min) je měřen svodový proud. Z těchto hodnot je vypočítán dielektrický vybíjecí index DD.

Zmíněné koeficienty přístroje vypočítávají podle vztahů: polarizační index PI

$$PI = R_{10 \text{ min}} / R_{1 \text{ min}}$$

kde

$R_{10 \text{ min}}$ je izolační odpor v čase 10 min,
 $R_{1 \text{ min}}$ izolační odpor v čase 1 min,

dielektrický absorpční poměr DAR

$$DAR = R_{1 \text{ min}} / R_{30 \text{ s}}$$

kde

$R_{1 \text{ min}}$ je izolační odpor v čase 1 min,
 $R_{30 \text{ s}}$ izolační odpor v čase 30 s,

dielektrický vybíjecí index DD

$$DD = \frac{I_{1 \text{ min}}}{U_t C}$$

kde

$I_{1 \text{ min}}$ je proud měřený po 1 min (mA),
 U_t napětí během měření (V),
 C naměřená kapacita (F).

Hodnoty koeficientů ve vztahu k hodnocení izolace jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1. Koeficienty PI a DAR ve vztahu k hodnocení izolace

PI	DAR	Hodnocení izolace
<1	<1,25	velmi špatná
1 až 2	<1,25	horší
2 až 4	1,25 až 1,6	dobrá
>4	>1,6	velmi dobrá

Tab. 2. Koeficient DD ve vztahu k hodnocení izolace

DD	Hodnocení izolace
>4	velmi špatná
4 až 7	špatná
2 až 4	horší
<2	velmi dobrá

Mezi přístroje s rozšířenými funkcemi s testovacím napětím do 5 kV lze zařadit měřiče izolačních odporů Chauvin Arnoux řady **C.A 6545, 47 a 49**. Přístroje zobrazují naměřené hodnoty na velkém grafickém displeji. Stupněm krytí IP53, vybranými technickými vlastnostmi, napájením



Obr. 7. Měřič izolačního odporu C.A 6545

NiMH akumulátory a výpočty již uvedených koeficientů jsou předurčeny především k aplikacím v průmyslu. Testovací napětí lze nastavit v posloupnosti (500, 1 000, 2 500, 5 000 V) nebo v krocích (40 až 5 100 V/krok 10 nebo 100 V). Měřič C.A 6549 umožňuje zobrazit přímo na grafickém displeji průběh závislosti $R = R(t)$, přičemž může přepočítat naměřené hodnoty izolačního odporu na jinou teplotu. Přístroje měří izolační odpory od 10 kW do 10 TW; to není u přístrojů této cenové kategorie obvyklé (většinou měří izolační odpory od 100 kW). Měřiče uchovávají naměřené hodnoty ve vnitřní paměti s kapacitou 128 k, popř. je lze přenést přes rozhraní RS-232 do počítače.

6.3 Měření odporu pospojování a přechodových odporů

Měřiče izolačních odporů většinou poskytují možnost ověřit pospojování elektrických obvodů podle EN 61557-4.

Norma předepisuje:

- nejistotu měření $\pm 30 \%$,
- měřicí proud minimálně 200 mA,
- měřicí napětí AC/DC od 4 do 24 V,
- rozlišení $0,01 \Omega$ s možností kompenzace měřicích kabelů,
- měřicí rozsah 0,2 až 2Ω .

Další specifikace jsou uvedeny v příslušné části normy.

Obvody umožňujícími měření pospojování proudem 200 mA jsou vybaveny také moderními přístroji určené k testování proudových chráničů, měření impedance smyčky a rovněž většími sdruženými revizními přístroji (Eurotest 61557 St a EU, C.A 6115, Instaltest 61557, Telaris 0100 apod.).

Speciální měřicí přístroje k měřením podle EN 61557-4 měří proudem 10 až 100 A. Základní třídu tvoří přístroje Chauvin Arnoux **C.A 10** a Megger **DLRO10X**. Volba nejmenšího měřicího rozsahu dovoluje měřit s rozlišením 0,1 nebo 1 $\mu\Omega$ proudem 10 A (ve vztahu k normě EN 61557-4 jsou tyto hodnoty vícekrát překročeny). Větší rozsahy odporů jsou následně testovány proudem 1 A až 200 mA. U přístroje DLRO10X je zajímavá hmotnost 2 kg včetně napájecích akumulátorů, přístroj je vybaven vnitřní pamětí a rozhraním RS-232. Podstatnou část přístrojů měřicích pospojování elektrických obvodů velkými proudy tvoří měřicí kabely, jejichž připojení je pětisvorkové Kelvinovo. Měřicí hroty jsou většinou konstruovány jako zapichovací a následně šroubovací, aby byl zajištěn dokonalý kontakt s měřeným objektem.



Obr. 8. Měřič přechodových odporů DLRO 10X



Obr. 9. Měřicí kabely měřiče C.A 10 (zapichovací hroty)

Poznámka:

Testery, podobně jako měřicí přístroje určené k testování elektrických instalací podle EN 61557, jsou pravidelně kalibrovány. Jsou-li měřiče pospojování vybaveny nekvalitními měřicími kabely (hlavně zakončením u testovaného objektu), vycházejí naměřené hodnoty při měření proudem 10 A většinou mimo třídu přesnosti.

7. Testování proudových chráničů

Měřicí přístroje testující proudové chrániče jsou konstruovány v souladu s EN 61557-6.

- Mezi vybrané podmínky vztahující se k normě pro výrobce lze zařadit:
- zobrazení měřeného dotykového napětí s nejistotou 0 až +20 % (měření bez pomocné sondy nebo s pomocnou sondou) na displeji LCD,
 - měření vybavovacího času s indikací naměřené hodnoty,
 - při měření proudem $0,5 I_N$ je doba testu minimálně 0,2 s, během testu nemá proudový chránič vybavit,
 - proudový chránič s vybavovacím proudem 30 mA musí přístroj testovat také proudem $5 I_N$,
 - nejistota při měření doby vybavení a vybavovacího proudu je v toleranci ± 1 %.



Obr. 10. Měřič proudových chráničů Unitest Telaris FI/RCD Analyzátor

Další podmínky pro měřicí přístroje jsou uvedeny v příslušné normě EN 61557-6 a v IEC 61009.

Většina standardních měřicích přístrojů splňuje požadavky uvedené normy a umožňují testovat standardní a selektivní proudové chrániče i typy AC, A a B. Přístroje jsou vhodné také pro měření zemních odporů R_E , protože při vysoké impedanci se na příslušných částech zařízení může objevit nebezpečné dotykové napětí (měření s pomocnou sondou nebo bez sondy). Například přístrojem Eurotest 61557 lze měřit zemní odpory bez pomocné sondy nebo se sondou. Instaltest 61557 měří bez pomocné sondy.

Mezi standardní přístroje určené k testování proudových chráničů lze zařadit např. Unitest Telaris FI/RCD Analyzátor, který měří všechny hodnoty požadované normou EN 61557-6.

Přístroj může testovat chrániče typu AC, A a B jmenovitým proudem $0,5 I_N$, $1 I_N$, $2 I_N$, $5 I_N$, je v něm zabudována vnitřní paměť a rozhraní RS-232, dotykové napětí U_L měří v rozsahu 0,6 až 70 V s rozlišením 0,1 V atd. Ekonomickou variantou měřiče proudových chráničů je Unitest Telaris FI/RCD, který není vybaven vnitřní pamětí.

8. Měření zemních odporů a rezistivity půdy

Měřicí přístroje využívané k měření zemních odporů a rezistivity (tzv. měrného odporu) půdy jsou konstruovány podle EN 61557-5.

- Mezi vybrané podmínky vztahující se k normě pro výrobce lze zařadit:
- nejistota měření může být maximálně ± 30 % ve vztahu k podmínkám uvedeným v normě,
 - testovací napětí je střídavé,
 - napětí během měření by nemělo překročit efektivní hodnotu 50 V nebo testovací proud $I_{MAX} < 3,5$ mA, trvání testu by mělo být omezeno na 30 ms,
 - přístroje indikují mezní, popř. nastavené hodnoty.

Další specifikace jsou opět uvedeny v příslušné části normy.

Měření zemních odporů také souvisí s často používanými pojmy měření zemních odporů a testování uzemňovacích smyček.

Základní měřicí metoda používá vnitřní generátor (měřicí přístroj) a měřicí sondy (napětová a proudová). Měření je také uváděno pod označením „metoda 62“. Při použití této měřicí metody je důležité, aby byly měřicí sondy umístěny odděleně od kovových konstrukcí apod. Přesný postup výpočtu vzdáleností sond a celkové měření jsou opět popsány v EN 61557-5. Aplikovaná



Obr. 11. Měřič zemních odporů a specifického odporu půdy C.A 6462

metoda měření zemních odporů může využívat, podle okolností a možnosti použitého měřicího přístroje, klasické zemní měřicí sondy, proudové kleště, kombinaci zemních sond a kleští atd.



Obr. 12. Měřič uzemňovacíh smyček C.A 6415

Typickými představiteli přístrojů měřících zemní odpory jsou **Telaris Earth** a **C.A 6421**, **C.A 6423**. Přístroje používají k měření dvou- a třípólovou metodu (62 %).

Měřiče zemních odporů a rezistivity půdy **C.A 6460** a **C.A 6462** měří rezistivitu půdy čtyřvodičovou metodou (napěťové a proudové sondy), zemní odpory jsou měřeny klasickou metodou. Přístroje mají stupeň krytí IP53, jsou opatřeny velkým displejem LCD, mohou měřit i za přítomnosti parazitních napětí, telurických proudů a velkých přechodových odporů sond. Z produkce firmy Metrel jsou velmi oblíbené přístroje **Eurotest 61557** a **Earth Insulation Tester**, které umožňují měření zemních odporů za použití klasických sond i proudových kleští.

Vybrané hodnoty rezistivity půdy jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3. Rezistivita vybraných materiálů

Měřený materiál	Rezistivita ($\Omega\cdot\text{m}$)
slaná voda	0,4
sladká voda	15 až 95
vlhký štěrtek	220 až 380
písek	450 až 520
suchý štěrtek	1 100 až 1 900
kámen	120 až 2 900

Vedle měřicích přístrojů určených k měření zemních odporů se používají také přístroje k testování uzemňovacích smyček. Jejich typickými představiteli jsou přístroje Chauvin Arnoux **C.A 6410**, **6412**, **6415**. Lze jimi měřit pouze uzavřenou smyčku, protože obsahují budicí i snímací cívku v jedné klešti (při měření musí být uzavřen obvod). Jsou vhodné zejména k měření v místech, kde nelze použít klasické zemní sondy. Je-li to možné, je vhodné kombinovat měření zemních odporů klasickou metodou a měření uzemňovacích smyček proudovými kleštěmi.

9. Měření impedance smyčky

Konstrukce měřicích přístrojů určených k měření impedance smyčky musí z hlediska měření v elektrických instalacích splňovat požadavky EN 61557-3. Bezpečnostní hledisko podle EN 61010 je bráno jako samozřejmost, a tudíž není na tomto místě ani v předcházejících kapitolách diskutováno.

Mezi vybrané podmínky ve vztahu k normě pro výrobce lze zařadit tyto:

- nejistota měření může být maximálně $\pm 30\%$,
- přístroj musí umožnit kompenzaci měřicích kabelů,
- přístroj měří dotykové napětí.

Další požadavky vztahující se k odolnosti přístrojů jsou uvedeny v normě.

Standardní měřiče impedance smyčky měří dvoupólovou metodou s maximálním rozlišením 0,01 $\Omega/20$ až 42 kA. Reprezentanty mohou být přístroje firmy SONEL (řada MZC - 200 a MZC - 300), Unitest Telaris (LOOP), Metra Blansko (PU 191) apod.



Obr. 13. Měřič impedance smyčky SONEL MZC - 200



Obr. 14. Měřič impedance smyčky čtyřvodičovou metodou SONEL MIC - 310S

Speciální přístroje (např. SONEL MZC 310S) měří čtyřvodičovou metodou s rozlišením naměřené hodnoty 0,1 m Ω /280 kA. Při standardním měření, dvouvodičovou metodou mají maximální rozlišení 0,01 Ω /42 A. Přístroje lze měřit také napětí TrueRMS do 440 V, kmitočet, kompenzují délku měřících kabelů apod.

Protože jsou hodnoty naměřené impedance velmi malé, je v některých případech obtížné zobrazit na 3 $\frac{1}{2}$ místném LED naměřenou hodnotu s odpovídající nejistotou a rozlišením. Proto jsou součástí přístrojů s pokročilými funkcemi velké grafické displeje LCD, které umožňují zobrazit naměřenou hodnotu v odpovídajícím tvaru. S využitím většiny přístrojů lze rovněž testovat bez vybavení proudového chrániče ($I_N = 30$ mA a více), popř. jsou tyto měřiče vybaveny vnitřní pamětí a sériovým rozhraním RS-232.



Obr. 15. Měřič strojních zařízení C.A 6121

10. Měřiče strojních zařízení

Měřiče strojních zařízení jsou konstruovány v souladu s EN 61557 a EN 61204. Typickým představitelem je přístroj Chauvin Arnoux C.A 6121, který testuje napětím 1 až 1,5 kV, přičemž výkon transformátoru je 500 V \cdot A, měří izolační odpory při napětích 500 a 1 000 V a kontroluje pospojování maximálním proudem 10 A. Měřicím přístrojem zařízení Metrel MI 2094 je možné měřit testovacím napětím až 5 kV, pospojování lze měřit maximálním proudem 20 A.

Naměřené hodnoty mohou být uchovány ve vnitřní paměti a posléze přeneseny do počítače. Programové vybavení umožňuje vložit do výpisu jméno operátora a místo měření. V protokolu je automaticky uvedeno výrobní číslo měřiče s jeho označením. Měřiče strojních zařízení C.A 6121 jsou používány např. v ŽD Bohumín, závod Viadrus, TESLA Hloubětín (Rohde Schwarz) apod.

C.A 6121 MACHINE TESTER CHAUVIN-ARNOUX				
Operator:	Harvot			
Místo:	AMT Praha			
Vybíjecí čas [2-body, 1s]	dt=1.9s -Vystřaha: dt>tmax	1	1	20.04.04 10:55
Izolace [500V, 1M Ω h]	Riso=10.01M Ω h	2	1	18.06.04 12:12
R-10A Continuity [30m Ω h]	R=20m Ω h I=16.9A U=0.33V	1	2	22.06.04 17:59

Obr. 16. Výpis naměřených hodnot z vnitřní paměti měřiče C.A 6121

11. Analyzátoři elektrických jednofázových a třífázových sítí

Mezi speciální přístroje používané k měření a analýze elektrických instalací lze zahrnout analyzátoři umožňující měření hlavních parametrů sítí.

Typickým a velmi používaným analyzátořem v současné době je jednofázový a třífázový analyzátor elektrických sítí **C.A 8334**, který splňuje nejpřísnější kritéria pro měření parametrů sítí. Konstrukce přístroje je v souladu s EN 50160, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30 a IEC 61000-4-7.

Analyzátor je určen dodavatelům a odběratelům elektrické energie. Přístroj měří v jednofázových (L1, N), dvoufázových (L1, L2, A) i třífázových (tří- a čtyřvodičových) soustavách. Jeho příjemnou vlastností je barevný displej, na kterém lze pro každou fázi nastavit odlišnou barvu, použití v terénu umožňuje bateriové napájení a hmotnost 2 kg.

Analyzátor je vhodný pro:

- měření střídavých napětí (True RMS) do 480 V (N - L) a 830 V (L - L), vstupní impedance (L - N) je 340 k Ω , maximální napětí (L - L) je 1 360 V,
- měření střídavých proudů může být až do 3 kA (podle použitého převodníku),
- měření kmitočtu do 10 a do 70 Hz,
- výpočet proudu v nulovém vodiči (N),
- výpočet činitele výkyvu (k_v : 1,00 až 9,99) proudů a napětí,
- výpočet převodního poměru K proudových transformátorů,
- výpočet krátkodobé nestability napětí,
- výpočet fázové nesymetrie napětí a proudu,
- měření úhlu a poměru harmonických (základní nebo RMS) pro napětí, proud a výkon až do 50. harmonické, základní harmonická je v rozsahu 40 až 69 Hz,
- výpočet THD (celkového harmonického zkreslení),
- určení CF (činitele zkreslení),

- měření výkonu (činného, jalového a zdánlivého) v rozsahu 0 až 9 999 kW, kvar, kV·A,
- měření energie v rozsahu 0 až 9 999 MW·h, Mvar·h, MV·A·h,
- výpočet ztrátového činitele,
- určení energie od okamžiku nastavení operátorem,
- sledování střední hodnoty libovolného parametru pro zvolenou periodu,
- ukládání hodnot do paměti,
- sledování poruchy se záznamem význačných hodnot,
- záznam přechodných dějů.

Všechny naměřené hodnoty mohou být přenášeny po opticky izolovaném rozhraní IR-RS-232 do počítače. Přenosová rychlost může být až 115 kBd, software Qualistar View pracuje pod operačním systémem Windows. Novinkou je také software Data Viewer, který v reálném čase vyhodnocuje naměřené hodnoty podle EN 50160 a okamžitě upozorňuje obsluhu na anomálie v síti. Analyzátoři sítí C.A 6334 jsou používány ve výrobních podnicích jako např. Auto Škoda Mladá Boleslav a Kvasiny, Energo Hawker Praha, PRE Praha apod.



Obr. 17. Analyzátor Chauvin Arnoux C.A 8334

12. Testery napětí a sledu fází

Testery a zkoušečky napětí lze rozdělit na:

- *bezkontaktní*,
- *kontaktní*.

Typickým představitelem bezkontaktního testeru je **VT 10**, veřejnosti již známý a v praxi osvědčený, a dále nový typ **Volt Fix plus**.

Kontaktní testery (*Unitest 2000 ALPHA, BETA a GAMA*) doplňují nové modely francouzské firmy Chauvin Arnoux *C.A 704* a *C.A 760*, které podobně jako přístroje Unitest měří AC/DC napětí, určují sled fází, testují proudové chrániče (30 mA) apod. (www.amtcz.cz). Tester C.A 704 vyhodnocuje naměřené hodnoty s využitím diod LED, C.A 760 je standardně vybaven displejem LCD s čítáním 1999.



Obr. 18. Měřič napětí C.A 704

13. Speciální měření v elektrických instalacích

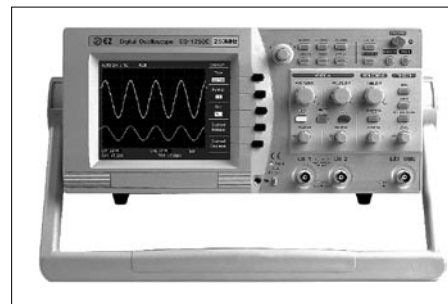
Pod pojem speciální měření lze zahrnout měření, která nespádají do oblasti revizních měření. Přístroje tedy nepodléhají normě EN 61557, a jsou konstruovány v souladu s EN 61010 a příslušnými částmi norem vztahujících se k druhu měření (např. EMI, EMC).

13.1 Analogové a digitální osciloskopy

V mnohých aplikacích je nutné zobrazit průběh napětí v časové, ale i frekvenční oblasti. K takovýmto měřením lze použít analogové a digitální osciloskopy s napětíovými nebo proudovými sondami. Digitální osciloskopy mohou mít galvanicky oddělené kanály, v případě bateriového napájení také oddělení od sítě. Vedle kmitočtového rozsahu horizontálního zesilovače osciloskopu a počtu kanálů hraje velkou úlohu udávaná rychlost vzorkování (počet vzorků/s). Ohledně udávaných technických parametrů je vhodné uvést, že rychlost vzorkování (MS/s nebo GS/s) neplatí pro celou časovou základnu, při určitých rozsazích časové základny (čas/dílek) osciloskop vzorkuje pouze rychlostí několika kilohertzů, ačkoliv v návodu je rychlost vzorkování uvedena v GS/s. Reálná rychlost vzorkování je totiž závislá

také na velikosti paměti. Ta bývá u základních typů osciloskopů 2 kB. Ve vztahu rychlosti vzorkování a paměti jsou zajímavé digitální osciloskopy EZ Digital, jejichž kapacita paměti je 32 kB, v porovnání s pamětí 2,5 kB osciloskopů jiných výrobců. Při výpočtu maximální rychlosti vzorkování je právě velikost paměti v čitateli zlomku.

Osciloskopy EZ Digital standardně obsahují rozhraní RS-232, USB a Centronix, včetně softwaru, který podporuje OS Windows 98 a XP.



Obr. 19. Digitální osciloskop EZ Digital DS 1250C

Zajímavostí je rovněž možnost současného zobrazení signálu v časové a frekvenční oblasti, spouštění 32 kB s možností prohlížení deseti obrazovek před spuštěním a 630 obrazovek po spuštění atd. Přístroje mají buď monochromatický, nebo barevný displej, využívají funkci rychlé Fourierovy transformace v reálném čase s pěti okny, funkci automatické kalibrace apod.

13.2 Vybrané typy přístrojů

Ostatní speciální měřicí přístroje určené k provozním měřením (např. kleštové multimetry, wattmetry, laboratorní zdroje, čítače a generátory) jsou uvedeny s technickými parametry v příslušných katalogích a na <http://www.amt.cz>.

Jsou používány při provozních a zejména servisních měřeních při odhalování závad technologických zařízení, opravách měřicích přístrojů apod.

14. Závěr

Cílem příspěvku bylo seznámit čtenáře s vybranými novinkami v měřicí technice, upozornit na některé aspekty normy EN 61557 ve vztahu k měřicím přístrojům, naznačit metody určení nejistoty přístroje, podat informace o komunikačním rozhraní RS-232 a rychlém přenosu dat po sběrnici USB. U přístrojů nebyly zmíněny všechny technické údaje, pouze naznačeny vybrané druhy parametrů. Bližší technické údaje jsou uvedeny na <http://www.amt.cz>

15. Literatura

- [1] AMT měřicí technika. Katalog měřicí techniky. AMT, Praha, 2004.
- [2] <http://www.amt.cz>
- [3] HARWOT, L.: Měřicí přístroje EZ Digital v nabídce AMT měřicí techniky. ELEKTRO, 2002, č. 9.
- [4] Metrel, Measurements on electric installations. Metrel, Slovinsko, 1999.
- [5] Chauvin Arnoux: General Catalogue, 2004.
- [6] Chauvin Arnoux: Experts in insulation analysis at 5 kV. Paris, 2004.
- [7] SONEL, S. A.: Electrical Test and Measurement Equipment. Swidnica, Poland, 2004.
- [8] Unitest, Beha: General Catalogue. Glottertal, Německo, 2004.
- [9] SEIBT, A.: Handbuch Oszilloskopetechnik. Elektor-Aerlag DmbH, Aachen, Německo, 2003.
- [10] HARWOT, L.: Analogový nebo digitální osciloskop. ELEKTRO, 2003, č. 12.
- [11] HAASZ, V. – SEDLÁČEK, M.: Elektrická měření. Přístroje a metody. Praha, ČVUT 2003.
- [12] VEDRAL, J. – FIŠER, J.: Elektronické obvody pro měřicí techniku. Praha, ČVUT 1999.
- [13] UHLÍŘ, J. – SOVKA, P.: Číslíkové zpracování signálů. Praha, ČVUT 2002.