

7.

MĚŘICÍ TECHNIKA

Nové měřicí přístroje pro měření v silnoproudých zařízeních

Lubomír Harwot

1. Úvod

Článek se zabývá novou měřicí technikou určenou k základním a speciálním měřením v slaboproudých a silnoproudých zařízeních. Popisuje přístroje s ohledem na shodnost s evropskými normami (EN) a tím i s požadavky kladenými na přístroje používané v Evropské unii, které jsou v současné době k dispozici.

Měřicí technika používaná k základním měřením zahrnuje digitální ruční, stolní a klešťové multimetry, včetně převodníků AC/DC proudů, analogové, digitální a DPO osciloskopy, generátory a čítače, spektrální a logické analyzátoři, laboratorní zdroje a měřiče určené k měření neelektrických veličin (kontaktní a bezkontaktní teploměry, otáčkoměry, luxmetry, anemometry, měřiče relativní vlhkosti apod.).

Mezi přístroje určené ke speciálnímu měření byly zařazeny testery napětí, měřicí přístroje pro revizní techniky a analyzátoři sítí a odběru energie. Právě analyzátoři v současné době zaujímají význačné postavení při měření kvality sítě, na kterou jsou kladeny neustále větší požadavky.

Vzhledem k tomu, že stále více měřicích přístrojů komunikuje s prostředím po paralelním rozhraní IEEE 488 nebo sériové lince RS-232C a USB, je zde zařazena kapitola věnovaná této problematice. Z podobného důvodu byla začleněna i část zabývající se určením chyby měření měřicího přístroje s digitálním vyhodnocením naměřené hodnoty v praxi.

2. Komunikační rozhraní měřicích přístrojů

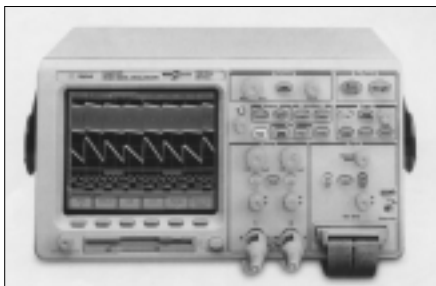
Měřicí přístroje s komunikačním rozhraním (sběrnici) mohou předávat naměřené hodnoty k dalšímu zpracování, archivaci, matematickému vyhodnocení v několika formách.

Komunikace přístroje s prostředím, a tím např. přímý tisk naměřených hodnot, zrychluje měření a zajišťuje jeho objektivnost, možnost porovnání výsledků měření apod.

2.1 Měřicí systémy se sběrnici IEEE 488

Rozhraní IEEE 488 patří mezi nejrozšířenější při laboratorních aplikacích. Bylo definováno firmou Hewlett Packard v šedesátých letech minulého století s označením HP-IB (Hewlett Packard Interface Bus). V roce 1975 byl stanoven americkou standardizační institucí (ANSI) standard IEEE 488, který byl dále modifikován a upraven na standard IEEE 488.1 a IEEE 488.2. V technické literatuře a návodech k obsluze měřících přístrojů je tato sběrnice označována také jako GP-IB (General Purpose Interantional Bus).

Přístroje se sběrnici IEEE 488 mohou být zapojeny paralelně v obvodu v maximálním počtu čtrnáct jednotek s délkou sběrnice 20 m a maximální vzdáleností mezi jednotkami 2 m (IEEE 488.1). Měřicí systém může obsahovat několik řídicích jednotek, řízení však je zahájeno pouze jednou jednotkou – systémovým kontrolérem. Komunikace probíhá mezi jednotkou vysílací a jednou nebo více jednotkami přijímacími. Každá jednotka (měřicí přístroj, měřicí ústředna, popř. počítač se speciální kartou) má vlastní adresu, která se nastavuje u starších přístrojů přepínačem, u přístrojů novější generace softwarově z čelního panelu přístroje. Adresa přístroje je určena v rozmezí 0 až 30 (pět bitů) a identifikuje jednotku v měřicím systému. Funkce paralelního hlášení umožňuje řídicí jednotce současně identifikovat maximálně osm přístrojů. Maximální přenosová rychlost paralelní sběrnice IEEE 488 je 1 Mb/s. Sběrnice je většinou používána k paralelnímu propojení několika laboratorních přístrojů. Je-li použit jako



*Obr. 1. Osciloskop
54622D s logickým
analyzátorem
a sběrnici GP IB*

řídící jednotka počítač, musí být vybaven odpovídající měřicí kartou, kompatibilní se standardem IEEE 488. Měřicí karta musí být podporována také používaným operačním systémem (W 95, W 98, NT, W 2000, XP).

Nevýhodou při použití sběrnice IEEE 488 je omezení přenosové rychlosti na 1 MB/s. Proto byl firmou National Instruments vyvinut algoritmus přenosu HS 488 (High Speed – vysoká rychlost), který dovoluje přenášet data rychlostí až 8 Mb/s. Hlavní myšlenkou nového algoritmu je přechod z asynchronního přenosu na přenos synchronní.

2.2 Měřicí přístroje s rozhraním RS-232 C

Sériové rozhraní RS-232 C bylo původně určeno k propojení koncového datového zařízení (DTE – data terminal equipment) s komunikačním datovým zařízením (DCE – data communication equipment). V měřicí technice začalo být toto rozhraní rozšířeno zejména s vývojem počítačů třídy IBM PC, které jsou standardně vybaveny sériovým rozhraním.

Rozhraní je aplikováno především u lacinějších měřicích přístrojů. Standard normy definuje celkem dvacet řídicích signálů s pozicemi na konektoru s 25 vývody. Většinou jsou využívány konektory Canon – D.

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

V případě přímého připojení (např. počítač a měřicí přístroj) je většinou užito připojení třívodičové, u kterého je tok dat řízen softwarově (software handshaking). U tohoto zapojení 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 pěti- a sedmivodičové zapojení, u kterého je řízen přenos dat hardwarově (hardware handshaking). 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 mezivodičovou kapacitou. Komunikace prostřednictvím rozhraní RS-232 nevyžaduje investici do měřicí karty, jak je tomu u sběrnice IEEE, a přístroje se připojí k sériovému rozhraní počítače COM1 nebo COM2.

2.3 Měřicí přístroje se sběrnici RS-485

Průmyslové sériové rozhraní RS-485 umožňuje připojit až 31 zařízení (jedno zařízení může být aktivní, ostatní jsou ve stavu vysoké impedance). Diferenční uspořádání dovoluje zvýšit rychlost přenosu na 10 Mb/s a dosáhnout vyšší odolnosti proti rušení.

Přenosové zařízení je dvouvodič, jehož zkroucení nebo stínění zvyšuje odolnost proti rušení.

2.4 Propojení přístrojů proudovou smyčkou (TTY)

Propojení a přenos dat proudovou smyčkou patří mezi nejstarší přenosová zařízení.

Výhodou uspořádání je vysoká odolnost proti rušení a velká vzdálenost mezi přenosovými zařízeními, která může být až 10 km. Vzhledem k velké vzdálenosti mezi jednot-



Obr. 2. Digitální multimetr Hexagon 720 s rozhraním IR-RS-232

kami a nenáročnému přenosovému zařízení je přenos dat proudovou smyčkou používán u speciálních měřicích systému v průmyslu a energetice.

2.5 Měřicí systémy s rozhraním USB

Rozhraní USB, kterým jsou standardně vybaveny moderní počítače, bylo původně vyvinuto k rychlému připojení koncových zařízení (skenery, kamery, tiskárny apod.). Parametry rozhraní USB (Universal Serial Bus), mezi které lze zařadit především vysokou přenosovou rychlost, srovnatelnou se sběrnici IEEE 488, a možnost připojení až 127 zařízení, umožňují použití rozhraní pro malé měřicí systémy. Na rozdíl od

sběrnice IEEE 488 nevyžaduje sběrnice USB speciální kartu do počítače a připojení je podobné jako u rozhraní RS-232 C – přímo k portu počítače. Programové vybavení odpovídá *plug & play* a je podporováno operačním systémem Windows.

Mezi základní výhody nového 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 nebo odpojení zařízení.

Připojení k počítači může být řešeno jako funkční jednotka (měřicí přístroj, tiskárna, myš, skener apod.) nebo jako rozdělovač, tzv. *hub – jednotka hvězdicové struktury*. Propojení rozdělovačů může být víceúrovňové.

Podle přenosové rychlosti lze rozhraní USB rozdělit na FS USB (full speed – plná rychlost) s přenosovou rychlostí 12 Mb/s a LS USB (low speed – nízká rychlost) s rychlostí max. 1,5 Mb/s. Maximální přenosové rychlosti lze dosáhnout při přenosu dat v reálném čase. Vzhledem k tomu, že jedno připojení většinou sdílí několik periférií, je výsledná přenosová rychlost rozhraní USB nižší. Použití rozhraní USB je částečně omezeno také u zařízení s vlastní pamětí a malou rychlostí vzorkování bez možného přenosu dat v reálném čase.

Propojovací kabel je u obou verzí rozhraní USB čtyřvodičový. Dva vodiče určují přenos dat (+D, -D), jeden vodič je napájecí (+5 V) a další vodič je signálovou zemí (GND). Při maximální přenosové rychlosti musí být kabel stíněný, datové vodiče zkrouceny a délka kabelu maximálně 5 m. Při přenosové rychlosti 1,5 Mb/s nemusí být kabel stíněný a vodiče není třeba zkroutit. Přenosová impedance kabelu je 90 Ω. Vysílače rozhraní US jsou zapojeny diferenčně s definovanými náběžnými a sestupnými hranami.

Některé moderní měřicí přístroje renomovaných výrobců jsou již také vybaveny sériovým rozhraním USB (např. digitální osciloskop EZ Digital DS 1150 (www.amtcz.cz)).

Obr. 3. Digitální osciloskop EZ Digital DS 1150 s rozhraním USB



V poslední době bylo navrženo rychlé sériové připojení IEEE 1394, umožňující připojit až 63 jednotek maximální přenosovou rychlostí 98, 196 a 393 kb/s. Rozhraní označované *Fire-wire* se používá především k přenosu obrazové informace a v měřicích systémech VXI. V budoucnu se u počítačů, podobně jako u rozhraní USB, očekává standardní zásuvka připojení IEEE 1394. Tím bude umožněno, bez dalších nákladů, rychlé připojení měřicího systému s možností přenosu velkého množství dat.

3. Celková chyba měřicího přístroje s digitálním vyhodnocením naměřené hodnoty

Každé měření je zatíženo chybou, která zahrnuje chyby systematické i chyby nesystematické, chyby měřicího přístroje, měřicí metody apod. Žádný měřicí přístroj ani měřicí metoda nedovolují zjistit skutečnou hodnotu měřené veličiny. Ke správné hodnotě se lze pouze přiblížit, a to tím blíže, čím přesnější metody měření a měřicí přístroje se používají.

3.1 Přístroje s analogovým vyhodnocením naměřené hodnoty

U přístrojů s analogovým zobrazením naměřené veličiny byla stěžejním parametrem při výpočtu poměrné chyby třída přesnosti. Poměrná chyba byla udávána v procentech nejvyššího rozsahu, v procentech délky stupnice nebo v procentech skutečné hodnoty. U těchto přístrojů bylo

nutné, z hlediska minimální chyby, nastavit měřicí rozsah tak, aby byl analogový ukazatel v poslední třetině měřicího rozsahu.

Příklad

Měření měřicím přístrojem s třídou přesnosti $T = 2,5$. Při měření v měřicím rozsahu 100 V byly naměřeny hodnoty 20 V a 90 V. V prvním případě byla poměrná chyba 12,5 %, v případě druhém 2,78 %. V druhém případě, kdy byl analogový ukazatel v poslední třetině měřicího rozsahu, byla poměrná chyba přístroje pouze 2,78 % v porovnání s nesprávným nastavením měřicího rozsahu při měření 20 V a poměrnou chybou přístroje 12,5 %. Je-li měřicí rozsah přepnut do polohy 20 V a naměříme velikost napětí 20 V, je poměrná chyba měřicího přístroje pouze 2,5 %. Tato hodnota je rovna třídě přesnosti.

3.2 Přístroje s digitálním vyhodnocením naměřené hodnoty

U měřicích přístrojů s digitálním vyhodnocením je udávána přesnost přístroje ve tvaru

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

což je shodné se vztahem

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

V anglických návodech k měřicím přístrojům udávají výrobci přesnost ve tvaru

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

kde rdg je zkratka za reading – čtení, digits – číslice.

Výraz udávající přesnost přístroje lze rozdělit na dvě části:

1. Údaj vztahující se k chybě čtení $\pm(\% \text{ čtení})$ je závislý na velikosti měřené veličiny. Měří-li se na rozsahu 10 V s chybou rozsahu 0,0015, je chyba čtení pro různé velikosti vstupní veličiny různá. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 1.

2. Údaj vztahující se k chybě rozsahu $\pm(\% \text{ rozsahu})$ je funkcí zvoleného měřicího rozsahu bez ohledu na velikost měřené veličiny. Vypočítané chyby rozsahu jsou uvedeny v tab. 2.

Poznámka: Jak bylo řečeno v předchozí části, jsou vztahy přesnosti rozsahu $\pm(\% \text{ rozsahu})$ a $\pm(\text{číslice})$ totožné.

Tab. 1. Vyjádření chyby čtení u měřicího rozsahu 10 V

Rozsah	Vstupní úroveň	Přesnost čtení	Chyba čtení
10 V	10 V	0,0015	150 μ V
10 V	1 V	0,0015	15 μ V
10 V	0,1 V	0,0015	1,5 μ V

Poznámka: Chyba čtení vyjadřuje nepřesnosti způsobené vztahem měřicího rozsahu a velikostí vstupní měřené hodnoty.

Tab. 3. Měření různých průběhů střídavých veličin

Rozsah	Vstupní úroveň	Přesnost čtení	Chyba čtení
10 V	10 V	0,0015	150 μ V
10 V	1 V	0,0015	15 μ V
10 V	0,1 V	0,0015	1,5 μ V

Příklad

Máme-li vyjádřenu chybu rozsahu ve tvaru $\pm(0,01 \%)$, je u voltmetru s maximálním čítáním 10 000 chyba $\pm 0,01 \%$ rozsahu vyjádřena změnou ± 1 poslední číslice (LSB = nejméně význačná číslice).

Vyjádření $\pm(0,01 \%$ rozsahu) a $\pm(1$ číslice) jsou tedy u tohoto multimetru totožná.

Celková chyba je dána součtem chyby rozsahu a chyby čtení a lze ji stanovit ve tvaru

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

Příklad

Měříme-li např. multimetrem HP 34 401A, u kterého je vyjádřena přesnost $\pm(0,0020 \%$ čtení + $0,0005 \%$ rozsahu), hodnotu 5 V na rozsahu 10 V, bude vyjádřena celková chyba ve tvaru

$$\pm(0,0020 \% \times 5 \text{ V} + 0,0005 \% \times 10 \text{ V}) = 100 \mu\text{V} + 50 \mu\text{V}$$

Celková chyba je tedy:

$$100 \mu\text{V} + 50 \mu\text{V} = 150 \mu\text{V}$$

a lze ji vyjádřit také ve tvaru:

$$\pm 150 \mu\text{V},$$

$$\pm 0,0030 \% \text{ z } 5 \text{ V z měřené hodnoty},$$

nebo v jiném záznamu

$$\pm 30 \text{ ppm z } 5 \text{ V měřené hodnoty}.$$

K celkové chybě měřicího přístroje je nutné v některých případech připočítat chybu teplotního koeficientu (měření při jiné teplotě, než pro kterou je definována přesnost přístroje), při měření stejnosměrných veličin chybu automatického vynulování, popř. při měření střídavých veličin chybu měření mimo frekvenční pásmo přístroje, chybu činitele tvaru (CF – crest factor) apod.



Obr. 4.
Digitální multimetr
EZ Digital DM 1500

3.2 Závěr pro praxi

U měřicích přístrojů s rozsahem čítání max. 1999 (3,5 číslice) je chyba rozsahu řádově větší než u přístrojů s čítáním 1 9999 (4,5 číslice). Při změně poslední platné číslice (LSB – nejméně význačný bit) u přístrojů s maximálním čítáním 3,5 číslice se mění třetí místo, kdežto u přístrojů s čítáním 4,5 číslice se mění číslo na čtvrté pozici. Například u multimetrů Hexagon řady 700, které mají max. čítání 500 000, je chyba rozsahu řádově menší než u přístrojů s čítáním 3 999. Dále je u multimetrů řady 700 menší chyba vztažena k frekvenčnímu pásmu, protože měří střídavé veličiny až do 100 kHz.

U přístrojů renomovaných výrobců je pro měření střídavých veličin udáváno také frekvenční pásmo, ve kterém přístroj měří. Základní mul-

timetry měří střídavé veličiny s frekvencí 50 Hz, multimetry měřící True RMS (skutečná efektivní hodnota) měří střídavé veličiny ve frekvenčním pásmu 40 Hz až 300 kHz.

Například ruční multimetr Hexagon 720 měří střídavé veličiny až do 100 kHz, stolní provedení multimetrů EZ Digital DM 1150 a Agilent Technologies 34 401A měří veličiny True RMS až do 300 kHz.

Při měření neharmonických průběhů ovlivňuje přesnost měření také činitel tvaru odlišný od činitele tvaru střídavého průběhu. Pro střídavé průběhy je definován činitel tvaru vztahem

$$k_t = U_{ef} / U_{stř}$$

kde

k_t je činitel tvaru,

U_{ef} efektivní hodnota střídavého průběhu,

$U_{stř}$ střední hodnota střídavého průběhu.

V případě harmonických průběhů je činitel tvaru roven hodnotě 1,11. U měřicích přístrojů jsou udávány přesnosti měřicího přístroje pro hodnoty činitele tvaru až do 6.

Chyba přístroje je často zaměňována s rozlišovací schopností. Má-li přístroj maximální čítání např. 3 999, je v technické dokumentaci udáváno rozlišení 1 mV na rozsahu 4 V. Chyba přístroje je však vyjádřena vztahem např. $\pm(0,5 \% \text{ čtení} + 5)$.

V některých návodech k používání je uváděna chyba přístroje ve tvaru $\pm(0,5 \% + \text{číslice})$. V tomto případě není jasné, zda je chyba vyjádřena v % čtení nebo % rozsahu.

4. Vyhodnocení souboru naměřených hodnot ručními multimetry

Většina ručních digitálních multimetrů je vybavena funkcemi umožňujícími zachytit inflexní (okrajové) body souboru měření. Speciální funkce, které jsou u multimetrů k dispozici, jsou diskutovány v dalším textu.

4.1 Funkce *MAX*, *MIN*, *MAX-MIN*

Mezi základní funkce patří možnost vyhodnocení maximálních a minimálních hodnot několika měření (funkce *MAX*, *MIN*, *MAX-MIN*). Touto funkcí je možné stanovit např. maximální měřenou hodnotu, která je čtena na displeji LCD. Při měření souboru měření např. $U_1 = 19\text{ V}$, $U_2 = 20\text{ V}$ a $U_3 = 70\text{ V}$ je vyhodnocena jako *MAX* hodnota $U_3 = 70\text{ V}$.

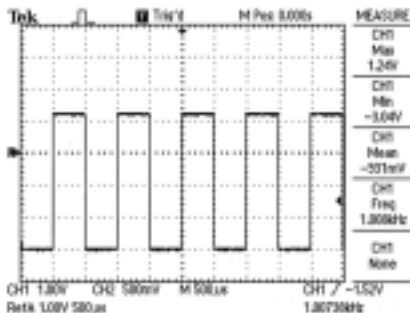
4.2 Funkce *Pmax*, *Pmin*

Funkce *Pmax* a *Pmin* umožňují zachycení vrcholových hodnot měřené ho průběhu. Touto vlastností jsou vybaveny např. digitální multimetry E. Digital řady DM 500 (obr. 5). V mnoha případech je tato vlastnost multimetru nesprávně zaměňována s funkcemi *MAX* a *MIN*. Funkce *Pmax* a *Pmin* znamená, jak bylo řečeno, vrcholové hodnoty a nelze je srovnávat ani funkcí *PEAK MAX* (zachycení špičekých hodnot). Po volbě *Pmax*, *Pmin* jsou na displeji LCD odečítány kladné a záporné vrcholové hodnoty měřené ho průběhu. Například u obdélníkového průběhu s nulovou stejnosměrnou složkou lze odečítat hodnotu *Pmax* : $+1,41\text{ V}$ a *Pmin* = $-1,41\text{ V}$, přičemž naměřená hodnota $U = 1\text{ V}$. Má-li průběh stejnosměrnou složku zápornou jsou udávány hodnoty *Pmax* = $+1,2\text{ V}$, *Pmin* = $-3,04\text{ V}$ a naměřená hodnota $U = -0,931\text{ V}$. U průběhu s kladnou stejnosměrnou složkou lze odečítat *Pmax* = $+2,80\text{ V}$, *Pmin* = $-0,316\text{ V}$ a hodnota True RMS $U = +1,17\text{ V}$. Naměřené hodnoty byly porovnány



Obr. 5. Digitální multimetr EZ Digital DM 531

Obr. 6. Měření vrcholových hodnot a záznam u osciloskopu Tektronix TDS 1002



nejdou u většiny multimetrů dostupné, umožňují měřit i nestandardní průběhy ve frekvenčním pásmu až do 1 kHz.

4.3 Měření True RMS (skutečná efektivní hodnota) střídavých hodnot

Digitální multimetry většinou měří střední hodnotu U_{stP} , která je přepočítána na hodnotu efektivní U_{ef} a ta je zobrazena na displeji LCD přístroje. Přepočet (k_t – činitel tvaru) lze určit přesně pouze u periodických sinusových průběhů. Je-li průběh nesinusový, neplatí koeficient přepočtu a naměřená hodnota je nesprávná.

Neharmonické průběhy lze vyjádřit ve frekvenční oblasti frekvenčním spektrem. Jestliže je spektrum signálu mimo možnost měření přístroje, jsou střídavé hodnoty měřeny se značnou chybou. Známe-li frekvenční spektrum měřeného průběhu, lze vypočítat chybu efektivní hodnoty při konečném počtu harmonických složek. K ověření správnosti měření True RMS střídavých veličin multimetrem EZ Digital DM 531T byly měřeny signály (sinusový, obdélníkový a trojúhelníkový) o kmitočtu 1 kHz. Naměřené hodnoty byly porovnány multimetry Hewlett Packard HP 3478A, Tesla BM 579. K měření byl použit multimetr EZ Digital DM 531T a výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

Z naměřených hodnot lze usoudit na správnost měření střídavých veličin různých průběhů digitálním multimetrem EZ Digital DM 531T.

Tab. 3. Měření střídavých veličin s různými průběhy

Průběh	Naměřené hodnoty		
	HP3478A	BM 579	DM 531T
sinusový	1,005 V	1,0 V	1,003 V
trojúhelníkový	0,823 V	0,8 V	0,821 V
obdélníkový	1,440 V	1,4 V	1,482 V

5. Analýza elektrických jednofázových a třífázových sítí

K analýze elektrických sítí jsou používány stále složitější přístroje, protože požadavky na distribuci elektrické energie a dodržení definovaných parametrů rostou a nestandardní situace v distribuci ohrožují energetická zařízení.

V poslední době vyvinula francouzská firma Chauvin Arnoux jednofázový a třífázový analyzátor elektrických sítí **C.A 8334** (obr. 7), který splňuje nejpřísnější kritéria pro měření a zá-



Obr. 7. Analyzátor Chauvin Arnoux C.A 8334

znam hodnot do vnitřní paměti nebo jeho přenos po sériovém rozhraní RS-232 do počítače.

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, pracovníkům zjišťujícím, obecně řečeno, anomálie v elektrické síti. Lze říci, že C.A 8334 je jediný analyzátor, který může vykonávat měření jak v jednofázových (L1, N), dvoufázových (L1, L2, N), tak i třífázových (tří- a čtyřvodičových) soustavách. Příjemnou vlastností je barevný displej, na kterém lze nastavit pro každou fázi odlišnou barvu, použití v terénu umožňuje bateriové napájení a minimální hmotnost 2 kg.

Analyzátor má umožňuje vykonávat dále uvedená měření a má tyto funkce:

- 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 1360 V;
- měření střídavých proudů až do 3 kA (podle použitého převodníku);
- měření frekvence do 10 Hz do 70 Hz;
- výpočet proudu v nulovacím 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., 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, var, V·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.

Analyzátor umožňuje volit několik základních měření:

- přechodné děje,
- harmonickou analýzu,
- sledování měřených průběhů (YT),
- překročení nastavených hodnot – ALARM,
- záznam měřených hodnot,
- měření výkonu a energie.

Přechodné děje

Funkce přechodných dějů umožňuje záznam nespojitostí v elektrické síti, zachycení špiček, přechodné děje při zapínání a vypínání apod. Přístroj vzorkuje rychlostí 12,5 kHz, v případě nespojitosti v průběhu znamená čas a délku poruchy. Naměřené hodnoty se uchovávají ve vnitřní paměti přístroje a lze je zpětně vyvolat.

Harmonická analýza

Analyzátor zaznamenává harmonické složky napětí, proudu, výkonu a napětí mezi fázemi. Hodnoty jsou měřeny pro každou fázi s možností vyhodnocení k základní harmonické, efektivní hodnotě (True RMS) a fázovému úhlu k základní harmonické. Pomocí kurzoru je možné vybrat složky až do 50. harmonické.

V režimu harmonického měření lze nastavit:

- analýzu napětí mezi fázemi nebo jednoho napětí v třífázové soustavě,
- analýzu proudu v třífázové soustavě (A),
- analýzu výkonu jedné fáze v třífázové soustavě (V·A),
- expertní režim (V), (A).

Sledování měřených průběhů

V režimu sledování jsou zobrazeny hodnoty sdružených a fázových napětí, proudů, proudu v N-vodiči a vybrané fáze L1, L2, L3. Měřené průběhy jsou zobrazeny v časové rovině (YT) s označením časových údajů.

V režimu sledování lze nastavit:

- měření efektivní hodnoty napětí v třífázové soustavě,
- měření efektivní hodnoty napětí mezi fázemi v třífázové soustavě,
- měření efektivní hodnoty proudu ve třech fázích v třífázové soustavě,

- měření celkového činitele harmonického zkreslení,
- měření extrémních a středních hodnot proudů,
- současné zobrazení proudových měření,
- zobrazení Fresnelova diagramu (vektorového diagramu).

Překročení nastavených hodnot – ALARM

Režim ALARM umožňuje zaznamenat překročení uživatelem nastavených hodnot, určení data poruchy a délky trvání poruchy. Záznam poplachových hlášení je spuštěn uživatelem, vnitřní paměť může zaznamenat až 4 096 těchto hlášení. Postupné naplnění paměti a naplnění úplné jsou zobrazovány v horní části displeje.

Režim záznamu hodnot

Hodnoty, které budou zaznamenány, jsou předem definovány uživatelem, kdy je též nastavena rychlost ukládání vzorků, datum spuštění a konec záznamu. Zaznamenané hodnoty mohou být zobrazeny rovněž v grafické podobě, kdy lze nastavit znázornění průměrného výkonu, popř. měření energie v předem stanoveném úseku.

Měření výkonu a energie

Režim měření výkonu a energie (W) umožňuje:

- měření činného dodávaného a odebíraného výkonu,
- měření kapacitního nebo indukčního jalového výkonu,
- měření zdánlivého výkonu,
- nastavení počátku sčítání energie, zastavení a vynulování,
- zobrazení množství vyrobené nebo spotřebované energie (činná, jalová, zdánlivá),
- zobrazení PF (Power Factor),
- zobrazení DPF (Displacement Power Factor – $\cos \varphi$),
- zobrazení $\text{tg } \varphi$,
- grafické zobrazení hodnot v komplexní rovině (čtyři kvadranty).

Komunikace s prostředím

Všechny naměřené hodnoty lze přenášet po opticky izolovaném rozhraní IR-RS-232 do počítače. Přenosová rychlost může být až 115 kB, software Qualistar View pracuje pod operačním systémem Windows a je

součástí dodávky přístroje. Programové vybavení umožňuje standardní přenos naměřených hodnot a zobrazení v rovině 2D i 3D, což není běžné.

Příslušenství

Analyzátor může být doplněn různými typy proudových kleští, které slouží k připojení pevnými čelistmi nebo pružnými převodníky Amp Flex. Maximální průměr měřeného vodiče kleštěmi PAC 93 může být 53 mm, délka pružných převodníků Amp Flex je 450 nebo 800 mm.

Závěrem lze říci, že analyzátor C. A 8334 byl testován na mnoha pracovištích distributorů elektrické energie i servisních pracovníků, splňoval technické parametry udávané výrobcem a osvědčil se k plné spokojenosti uživatelů. V poměru užitných vlastností k ceně nemá ve své třídě konkurenta.

6. Nové digitální osciloskopy

Nové digitální osciloskopy Tektronix, EZ Digital a Agilent Technologies určené k zobrazování nespojitostí (glitch) o délce 10 ns a menší se vyznačují šířkou pásma DC 500 MHz a rychlostí vzorkování až 2 GS/s

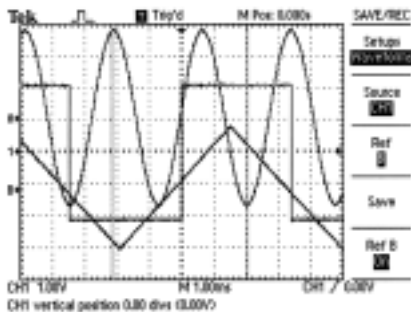


Obr. 8. Digitální osciloskop THS 720P

(gigasample za sekundu - REAL) a 25 GS/s (EKV). Jsou řešeny jako přenosné s napájením ze sítě nebo vestavěných akumulátorů. Řada digitálních osciloskopů Tektronix THS 700A představuje přístroje napájené z akumulátorů, s galvanicky oddělenými vstupy a vestavěným, galvanicky odděleným digitálním multimetrem. Při energetických měřeních nalezne uplatnění především osciloskop **THS 720P**, který může přímo vyhodnocovat měřený výkon, včetně harmonických složek. Osciloskop je vybaven kurzory, automatickým měřením parametrů na zobrazeném průběhu, vnitřní pamětí $2 \times 2,5$ kB, uchováním nastavení přístroje a rozhraním RS-232. Software je v českém prostředí.

Nové digitální osciloskopy Tektronix řady **TDS 1000/2000** mají již barevný displej, šířku pásma maximálně 200 MHz, rychlost vzorkování až 2 GS/s, mají možnost zachytit nespojitosti v průběhu o šířce 10 ns apod. Přístroje komunikují s prostředím po sběrnících GPIB, RS-232, popř. paralelní port umožňuje vytisknout zobrazení na obrazovce na běžné tiskárně (obr. 9).

Vlastnosti osciloskopů rozšiřuje vestavěná jednotka FFT (rychlá Fourierova transformace), spouštění na předem definovanou šířku impulsu, přímé měření na průbězích, popř. odečítání hodnot pomocí kurzorů. Pří-



Obr. 9. Přímý tisk obrazovky osciloskopu TDS 1002 na laserové tiskárně

stroje jsou řešeny jako přenosné (max. hmotnost 1,9 kg) se síťovým napájením.

Laboratorní digitální osciloskop EZ Digital **DS 1150** má dva kanály s šířkou pásma DC až 150 MHz, vzorkuje rychlostí až 25 GS/s (EKV) a 200 MS/s (REAL). Velikost vnitřní paměti může být až 32 k. Osciloskop



Obr. 10. Digitální osciloskopy řady TDS 1000

Obr. 11. Analogový osciloskop s vestavěným generátorem funkcí EZ Digital OS 5020G



má vestavěnou jednotku pro FFT analýzu, obvod pro přímá měření na průbězích apod. S prostředím komunikuje prostřednictvím rozhraní RS-232 a USB. K přímému tisku zobrazení na obrazovce se využívá paralelní port LPT. Další vývoj osciloskopů EZ Digital (AMT měřicí technika, spol. s r. o., je výhradním distributorem) směřuje k řadě 80 a 250 MHz. Osciloskopy jsou zajímavé jak technickými parametry, tak cenou.

Nové digitální osciloskopy Agilent Technologies (dříve Hewlett Packard) jsou řešeny jako dvou- nebo čtyřkanalové, popř. s vestavěným logickým analyzátozem s šestnácti kanály. Pokrývají kmitočtové pásmo

do 500 MHz s rychlostí vzorkování desítek GS/s (podle vnitřní konfigurace). Přístroje disponují speciální 32úrovňovou obrazovkou, umožňující zachytit nespojitosti v průběhu. S prostředím komunikují po sériovém rozhraní i pomocí paralelní sběrnice (bližší informace k analogovým a digitálním osciloskopům, včetně osciloskopů DPO, jsou uvedeny na <http://www.amtcz.cz>).

7. Testery napětí a sledu fází

Testery a zkoušečky napětí lze rozdělit na:

- bezkontaktní testery,
- kontaktní testery.

Typickými představiteli bezkontaktních testerů jsou VT 10 a Volt Fix. Tester napětí Volt Fix je vybaven možností ověřit vlastní funkčnost, podobně jako VT 10. Přítomnost střídavého napětí v rozsahu do 250 V indikují přístroje opticky i akusticky.

Hodnoty naměřené kontaktními testery jsou indikovány diodami LED nebo zobrazovány na třípalcovém číslicovém displeji LCD. Moderní řešení představují testery Unitest 2000 ALPHA, BETA a GAMA, jejichž stupeň krytí je IP65. Testují proudové chrániče (10 a 30 mA), určují sled fází a mají vestavěnou svítilnu. Měření napětí, propojení a přítomnost napětí jsou indikovány opticky i akusticky. Základní provedení ALPHA indikuje komparačně měřené napětí diodami LED, verze BETA je navíc doplněna displejem LCD a nejnovější provedení GAMA měří také odpory do 2 k Ω (<http://www.amtcz.cz>).



Obr. 12. Tester napětí Unitest 2000 BETA

**Obr. 13. Měřič izolačních odporů
C.A 6541**



8. Měřiče izolačních odporů s měřicím napětím až 5 kV a rozsahem měření do 4 TΩ

Nové měřiče izolačních odporů Chauvin Arnoux C.A 6541 a C.A 6543 s napětovými rozsahy 50 V, 100 V, 250 V, 500 V a 1 kV měří izolační odpory od 2 kW do 4 TW. Přístroje jsou standardně vybaveny funkcí měření malých odporů proudem 200 mA, testem přítomnosti napětí a programovatelným alarmem. Během měření izolačního odporu je zobrazována v čase naměřená hodnota $R(t)$, což umožňuje analyzovat měřený izolační odpor v čase (stálost naměřené hodnoty). Přístroje dále vypočítají DAR (dielektrický absorpční koeficient), PI (index polarity) a automaticky testují kapacitu měřeného objektu. Verze C.A 6543 dovolu-
je přenášet naměřené hodnoty po sériovém rozhraní RS-232 do počítače. Základní verze je vybavena vnitřní pamětí na dvacet měření, rozšířená verze disponuje pamětí 128 kB. Přístroje lze doplnit spouštěcí sondou s dálkovým ovládním (option).

Závěr

Znamé měřiče izolačního odporu s měřicím napětím ISOL 5000 jsou nahrazeny novými verzemi C.A 6545 a C.A 6547, které mají programově nastavitelné testovací napětí od 500 V do 5kV, přičemž izolační odpory měří od 30 kW do 10 TW. Přístroje, podobně jako předešlé typy, měří R(t), DAR, PI, mají vnitřní paměť, test přítomnosti napětí, nastavitelný alarm, funkci vyhlazení SMOOTH apod. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na displeji LCD, který je doplněn rychlou analogovou stupnicí bargraf. Mezi příslušenství patří sondy s dálkovým ovládním. K dispozici jsou také měřiče izolačních odporů s analogovým zobrazením ISOL 5002 a Unitest 8925. U těchto přístrojů je měřicí napětí v posloupnosti 500 V, 1 kV, 2,5 kV a 5 kV. Odlišnosti jsou v rozsahu měřeného izolačního odporu (viz <http://www.amtcz.cz>).

Cílem příspěvku bylo seznámit čtenáře Ročenky ELEKTRO s některými novinkami v měřicí technice. Byly popsány vybrané druhy komunikačního rozhraní, naznačeny metody určení chyby přístroje a uvedeny nové měřicí přístroje určené k základnímu a speciálnímu měření. U přístrojů nebyly popisovány všechny technické údaje, pouze naznačeny některé parametry. Bližší technické údaje jsou uvedeny na <http://www.amtcz.cz>, popř. v katalogu AMT – měřicí technika.

Literatura

- [1] KOCOUREK, P. a kol.: Číslicové měřicí systémy. Praha, ČVUT 1994.
- [2] KREIDL, M. a kol.: Diagnostické systémy. Praha, ČVUT 2001.
- [3] ĎADO, S. – SEDLÁČEK, M.: Měření aktivních elektrických veličin s neharmonickými průběhy. Praha, SNTL 1987.
- [4] VEDRAL, J. – FIŠER, J.: Elektronické obvody pro měřicí techniku. Praha, ČVUT 1999.
- [5] HARWOT, L.: Měřicí přístroje EZ Digital, Elektro, 2002, č. 9
- [6] JILES, D.: Introduction to magnetism and magnetic materials. NY 10001, USA, Chapman & Hall 1991.
- [7] HARWOT, L.: Digitální multimetry HEXAGON. Elektro, 2002, č. 5
- [8] HAASZ, V.: Číslicové měřicí systémy. Praha, ČVUT 2000.