

Elektroměry pro měření spotřeby i analýzu kvality elektrické energie

Tabulka přehledu trhu elektroměrů uvedená na stranách 32 až 33 představuje základní parametry přístrojů od sedmi dodavatelů. Tento článek připomíná, jaké veličiny lze elektroměrem měřit a jak jsou naměřené hodnoty dále zpracovávány a analyzovány. Pozornost je také věnována nadstandardním funkcím současných elektroměrů, především analýze spotřeby energie.

Funkce a kategorie elektroměrů

Elektroměr je určen ke stanovení množství spotřebované nebo vyrobené elektrické energie. Na základě naměřených hodnot je vyúčtovávána elektrická energie mezi odběratelem nebo výrobcem a distributorem.

Elektroměry lze rozdělit podle několika kritérií. Podle principu měření existují elektroměry elektromechanické a elektro-



Obr. 1. Příklad statického elektroměru

nické (neboli statické). Podle počtu sledovaných fází se dělí na jednofázové a třífázové. Dalším kritériem je účel použití – podle něj jde o elektroměry fakturační a podružné. Fakturační elektroměr je stanoven měřidlo, které prošlo ověřením v Českém metrologickém institutu a je opatřeno úřední značkou. Dále se elektroměry dělí podle funkce na základní (měření samotné elektrické energie) a analytické (vyšší funkce, záznam dat atd.) a podle možností komunikace na elektroměry bez komunikačního rozhraní a na elektroměry s možností konfigurace a odečtů na dálku.

Základní veličiny měřené přístrojem

Základními veličinami měřenými elektroměrem jsou efektivní hodnota napětí, efektivní hodnota proudu, činný výkon a jalový výkon.

Efektivní hodnota napětí a proudu

Hodnota proudu, která na ohmické zátěži odevzdá takový výkon jako stejně velký stejnosměrný proud, se nazývá efektivní hodnota proudu:

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i_k^2} \quad (1)$$

kde

I je efektivní hodnota proudu,

i_k okamžitá hodnota proudu v čase kT_{vz} ,

N počet hodnot i_k v řadě,

T_{vz} perioda vzorkování časového průběhu.

Pro efektivní hodnotu napětí U platí:

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_k^2} \quad (2)$$

Činný výkon P

Vynásobením naměřených okamžitých hodnot napětí a proudu je vypočten okamžitý činný výkon. Činný výkon P je definován jako střední hodnota součinu okamžitých hodnot napětí a proudu zátěže

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_k i_k \quad (3)$$

Jednotka činného výkonu je watt (W). Integrací činného výkonu v čase je získána hodnota činné energie, která je uváděna v kilowatthodinách – kW·h.

Jalový neboli reaktivní výkon Q

Jalový výkon Q reprezentuje energii periodicky se přelévající mezi zdrojem a zátěží v souvislosti s existencí indukčních a kapacitních reaktancí vedení či zátěže. Nejčastěji je měření v praxi omezeno na jalový výkon první harmonické proudu i napětí.

$$Q = U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (4)$$

kde

Q je jalový výkon (var)

U_1 efektivní hodnota první harmonické napětí

I_1 efektivní hodnota první harmonické proudu

φ_1 fázový posuv mezi prvními harmonickými proudu a napětí

Jednotka jalového výkonu se nazývá volt-ampér reaktivní (var).

Zdánlivý výkon

Zdánlivý výkon S je nejvyšší možná hodnota činného výkonu při daném napětí a proudu, dosažitelná při sinusových průbězích napětí a proudu a jejich vzájemném fázovém posunu rovném nule.

$$S = U \cdot I \quad (5)$$

Jednotka zdánlivého výkonu je voltampér (VA).

Vliv harmonických složek na měření výkonů

Bez teoretického rozboru se lze omezit na konstatování, že přítomnost harmonických složek – zejména proudových, ale také napěťových – způsobuje situace, kdy pro celkové výkony počítané přes všechny harmonické neplatí tzv. trojúhelník výkonů – podíl činného výkonu P a zdánlivého výkonu S se tedy nerovná kosinu úhlu fázového posunu ($\cos \varphi$). Bližší informace jsou uvedeny v ČSN IEC 60050-131 *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Teorie obvodů*, kde se vedle jalového výkonu Q objevuje termín neaktivní výkon Q_{-} . Na téma měření výkonů, potažmo energií, za stavu, kdy napětí a proud mají nesinusový průběh, lze v odborné literatuře nalézt množství teorií, je zmiňován i tzv. deformační výkon. Vyjádření zdánlivého výkonu při použití neaktivního výkonu Q_{-} nebo při využití deformačního výkonu D uvádí následující vztahy.

$$\begin{aligned} S^2 &= P^2 + Q_{-}^2 \\ S^2 &= P^2 + Q^2 + D^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Jednotliví výrobci elektroměrů přistupují k řešení vlivu harmonických individuálně.

Vyhodnocení základního měření

Programové vybavení elektroměru obvykle řeší tyto úlohy:

- nastavování všech parametrů elektroměru, včetně profilů, konstant a časových funkcí,
- zpracování a zobrazení tabulek a grafickou interpretaci údajů,
- zpracování a zobrazení údajů z profilů průběhu veličin v čase,
- kontrola správnosti instalace a další.

Na obr. 2 je uveden příklad kontroly instalace elektroměru prostřednictvím dodávaného programového vybavení. Fázorový diagram i červeně zobrazené údaje v tomto případě upozorňují na chybu v instalaci nebo provozní poruchu.

Programové vybavení elektroměru může řešit různé uživatelské profily. V uživatelském profilu uvedeném na obr. 3 se zaznamenává proud – zde nelze zobrazit okamžité hodnoty, ale lze znázornit hodnoty agregované např. za agregační interval 10 min. Jsou nabízeny různé další uživatelské profily, kde jsou s nastaveným agregačním intervalem vyhodnocovány a ukládány jiné veličiny, jako je minimální nebo maximální efektivní hodnota napětí během agregačního intervalu, průměrná efektivní hodnota napětí nebo proudu, maximální efektivní hodnota proudu, celkové harmonické zkreslení (*Total Harmonic Distortion* – THD) napětí nebo proudu, úroveň blikání (*flicker*) a frekvence.

Analytické funkce elektroměrů

Elektroměry mohou být vybaveny softwarovými moduly, které doplňují měření základních veličin o hlubší analýzu měřeného prostoru elektrické sítě. Uživatel má takto možnost sledovat vlastnosti sítě, efektivnost využití elektřiny, specifikovat velikost navýšení technických ztrát oproti minimálně možným a také analyzovat strukturu ztrát (ztráty způsobené fázovým posunem, harmonickými, nesymetrií odběru). Softwarové moduly umožňují sledovat zejména tyto veličiny: zdánlivý fázový výkon, zdánlivý celkový výkon, deformační výkony, celkové harmonické zkreslení a koeficient zvýšení ztrát.

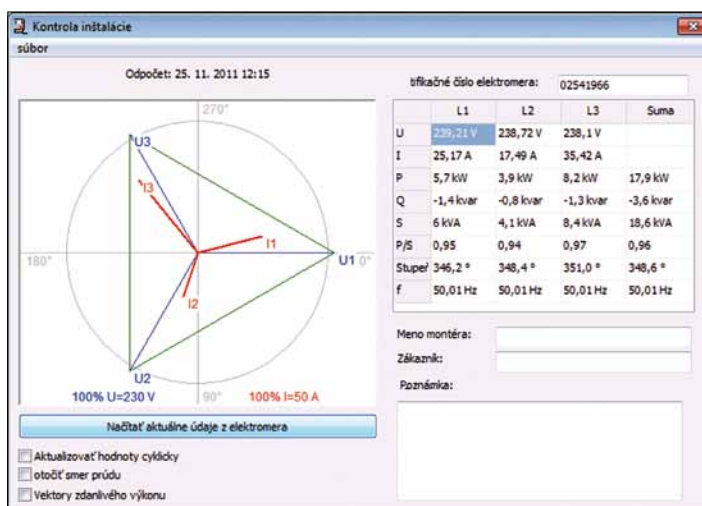
V praxi se používá pojem účinník $\cos \varphi$, který při sinusových podmínkách vyjadřuje podíl činného výkonu P a zdánlivého výkonu S (rovná se kosinu úhlu fázového posunu mezi proudem a napětím). Pro běžný stav sítě, kdy obvykle ani napětí, ani proud

nemají sinusový průběh, účinník $\cos \varphi$ vyjadřuje podíl činného výkonu P a zdánlivého výkonu S vypočítaných z prvních harmonických napětí a proudu. Pro neharmonické průběhy napětí a proudu dává lepší představu účinník λ (anglicky *Power Factor* – PF). Tento účinník má všeobecnou platnost a respektuje přítomnost harmonických složek napětí a proudu v síti.

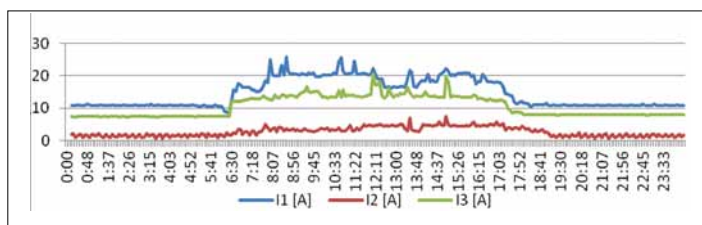
$$\lambda = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Převrácená hodnota λ^2 se nazývá koeficient zvýšení ztrát K_z . Používá se ke stanovení nárůstu ztrát v porovnání s minimálně možnými ztrátami při daném výkonu:

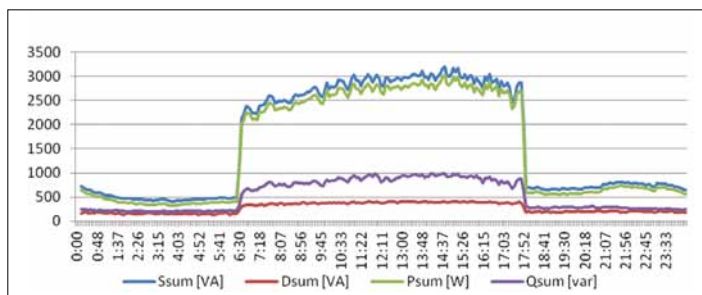
$$k_z = \frac{S^2}{P^2} \quad (8)$$



Obr. 2. Kontrola instalace elektroměru prostřednictvím dodávaného programového vybavení



Obr. 3. Časový průběh proudu – získáno z uživatelského profilu programového vybavení elektroměru (průběhy indikují nerovnoměrné zatížení fází)



Obr. 4. Příklad grafického výstupu analytického modulu programového vybavení elektroměru na lince 22 kV: uživatel má k dispozici záznam výkonů P, Q, D a S a jejich vzájemný poměr

V třífázové síti lze ze zaznamenaných veličin usuzovat na původ zvýšení ztrát, který může být způsoben fázovým posunem, harmonickými či nesymetrií proudů a napětí.

Na obr. 4 je příklad grafického výstupu analytického modulu programového vybavení elektroměru.

Nadstandardní funkce elektroměrů

Příkladem nadstandardní funkce elektroměru je analýza kvality elektřiny. Tuto funkci obvykle mají přístroje zcela vyhrazeny pro tuto činnost tzv. PQ analyzátorů, avšak již několik let se na trhu objevují elektroměry, které kromě základních funkcí elektroměru mají částečnou či plnou funkci analyzátoru kvality elektřiny.

Kvalita elektřiny je popsána tímto souborem veličin: napětí, flicker (úroveň blikání), frekvence, nesymetrie napětí, celkové harmonické zkreslení – THD, harmonické složky do řádu 25, úroveň signálů hromadného dálkového ovládní – HDO, události, jako jsou přepětí, podpětí a přerušování napětí. Všechny uvedené parametry musí být vyhodnocovány podle postupů určených v ČSN EN 61000-4-30. Norma definuje třídy analyzátorů kvality elektřiny A, S, B, přičemž požadavky na zpracování jsou odstupňovány v uvedeném pořadí – nejvyšší požadavky na zpracování přístrojem klade třída A. Údaje z analyzátorů třídy A je mož-

né použít ve smluvních vztazích. Veličiny získané modulem analyzátoru kvality elektřiny jsou následně statisticky zpracovávány podle ČSN EN 50160.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu OPPS číslo CZ.3.22/2.3.00/09.01525 s názvem Spolupráce mezi VŠB-TU Ostrava a Politechnikou Opolskou ve vzdělávání v oblasti automatizace, elektrotechniky a informatiky. V rámci tohoto projektu jsou na straně VŠB-TU Ostrava, FEI, testovány vlastnosti analyzátorů kvality elektřiny a jednotky pro vyhodnocení synchronních fázorů.

Ing. Igor Chrapčiak,
Schrack Technik s. r. o., Bratislava,
doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.,
FEI, VŠB Technická univerzita Ostrava