

Doc. Ing. Jiří ŠTASTNÝ, CSc.  
Fakulta strojní  
Ústav přístrojové a řídicí techniky  
Odbor elektrotechniky

# Měření spotřeby energie při provozu elektrických zařízení

## Energy Consumption Measurement during the Electric Equipment Operation

Recenzent  
Ing. Jiří Frýba

*Pro optimalizaci provozu zařízení, která spotřebovávají elektrickou energii, což se týká prakticky všech provozních souborů technických zařízení budov, se často vyskytuje potřeba měřit spotřebu elektřiny – tedy energii dodávanou elektrickou sítí. Autor článku popisuje měření spotřeby elektrické energie jak mechanickými, tak elektronickými systémy.*

*Text příspěvku je velmi věcný, přehledný a přímo použitelný jak pro pracovníky, kteří jsou odpovědní za provoz technických zařízení budov, tak i pro konstruktéry a projektanty mimo elektrotechnické obory, tedy i pro odborníky stavebních profesí a architekty, kteří často potřebují odhadnout rozsah nasazených zařízení s ohledem na příklad možnosti kapacity příkonu elektrické energie.*

**Klíčová slova:** elektrický proud, výkon, práce, energie, elektroměr, měřicí transformátory proudu

*The need to measure the electric energy consumption (i.e. the energy supplied from the distributing network) is often required with respect to the optimizing the equipments operation consuming the electric energy, which practically relates to all operation devices of technical systems in buildings. The author of the article describes the measurement of the electric energy consumption both with mechanical and electrical systems.*

*The text of the contribution is very subject, transparent and directly usable both for employees responsible for the operation of the building technical systems and for engineers and designers with the exception of electro-technical specializations; i.e. it suits also for specialists of construction professions and architects, which often need to estimate the scope of used systems with respect to the example of the possible input capacity of the electric energy.*

**Key words:** output and work performed by the electric current, electric current energy, inductive electric supply meters, electronic supply meters – static electric supply meters, current measuring transformers

### VÝKON A PRÁCE ELEKTRICKÉHO PROUDU

$$P = U \cdot I \quad [W; V, A] \quad (4)$$

Je-li připojen ke zdroji o napětí  $u$  spotřebič, projde za čas  $dt$  spotřebičem náboj  $dq$  a vykoná práci

Je-li spotřebičem ohmický odpor platí podle Ohmova zákona

$$dW = udq$$

$$P = R \cdot I^2 \quad [W \Omega, A] \quad (5)$$

Okamžitý výkon elektrického proudu tedy je

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [W; V, \Omega] \quad (6)$$

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt}$$

(1) U spotřebičů rozeznáváme příkon  $P_p$  tj. výkon dodávaný zdrojem (elektrickou sítí) a výkon  $P$ , který spotřebič odevzdává. Např. motor bere ze sítě elektrický příkon a na hřídeli odevzdává mechanický výkon. Podíl odevzdaného výkonu  $P$  k přijatému příkonu  $P_p$ , vyjádřený obvykle v procentech, je účinnost

Protože

$$\frac{dq}{dt} = i$$

$$(2) \quad \eta = \frac{P}{P_p} 100 \quad [\%] \quad (7)$$

Platí

$$p = ui$$

(3) Jde-li spotřebičem, který je napájen napětím  $u$ , proud  $i$ , vykoná za dobu  $t$  práci:

Jednotkou výkonu je watt, tj. J/s, tedy výkon, kterým se každou sekundu vykoná práce 1 J. Větší jednotkou je kilowatt kW, megawatt MW a gigawatt GW.

$$W = \int_0^t p dt = \int_0^t uidt \quad [J; V, A, s] \quad (8)$$

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} \quad 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W} \quad 1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$$

Pro ustálený stejnosměrný proud platí:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

V elektronice se používá miliwatt

Energie stejnosměrného proudu se měří speciálními elektroměry.

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

V libovolném okamžiku se výkon elektrického proudu  $p$  [W] rovná součinu napětí  $u$  [V] a proudu  $i$  [A], což platí pro jakýkoliv časový průběh proudu a napětí.

### ELEKTROMĚRY PRO STEJNOSMĚRNÝ PROUD

Pro měření energie stejnosměrného proudu se používají integrační přístroje s elektrodynamickým měřicím ústrojím nazývané také watt hodinový elektroměr.

Jde-li o ustálený stejnosměrný proud, je

Proud odebíraný ze sítě protéká dvěma pevnými cívkami a vytváří budící magnetické pole, v němž se otáčí soustava otočných cívek propojených s komutátorem. Celé uspořádání připomíná principem stejnosměrný motor.

Elektrodynamické elektroměry se používaly k měření odběru energie hlavně ve starých stejnosměrných sítích. Dnes se již téměř nepoužívají, protože stejnosměrné rozvodné sítě již byly zrušeny. Ve střídavých obvodech se elektrodynamické elektroměry používají pouze výjimečně, a to tehdy, jde-li o proud se značným obsahem vyšších harmonických.

### VÝKON A ENERGIE JEDNOFÁZOVÉHO HARMONICKÉHO PROUDU

Pro výkon střídavého proudu platí stejné základní vztahy jako pro výkon ustáleného stejnosměrného proudu.

$$p = u \cdot i$$

U střídavého proudu je nutné rozlišovat hodnoty maximální např.  $U_m$ , hodnoty efektivní např.  $U$  a hodnoty okamžité např.  $u$ . Dále je nutné počítat s fázovým posuvem, tj. úhlem, který svírá fázor napětí s fázorem proudu.

Dohodou bylo zavedeno měření fázového posuvu od fázoru proudu k fázoru napětí. Dohodnutý kladný směr otáčení fázorů je proti pohybu hodinových ručiček. Při induktivním zatížení fázor napětí předbíhá fázor proudu a fázový posuv je tedy kladný ( $\varphi > 0$ ), při kapacitním zatížení je záporný ( $\varphi < 0$ ).

Okamžitá hodnota napětí a proudu střídavého harmonického průběhu se zátěží induktivního charakteru je:

$$u = U_m \sin \omega t \quad i = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (9)$$

Potom okamžitý výkon je:

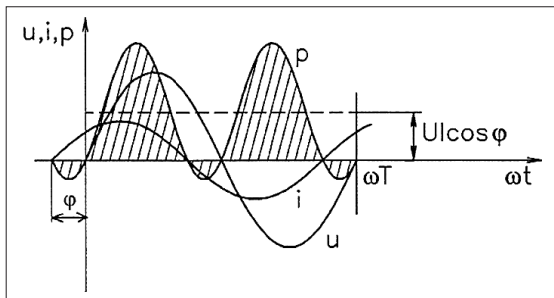
$$p = u \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (10)$$

$$\text{Dosazením efektivních hodnot kde } U_m = \sqrt{2} \cdot U \text{ a } I_m = \sqrt{2} \cdot I \text{ platí} \quad (11)$$

$$p = U \sqrt{2} \cdot I \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} [\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t - \varphi)]$$

$$p = U \cdot I \cdot \cos \varphi - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t - \varphi) \quad (12)$$

Okamžitý výkon má stálou složku  $U \cdot I \cdot \cos \varphi$  a kmitavou složku s dvojnásobným kmitočtem  $U \cdot I \cdot \cos(2\omega t - \varphi)$ . Průběh okamžitých hodnot  $u$ ,  $i$  a  $p$  je znázorněn na obr. 1.



Obr. 1 Průběh napětí, proudu a výkonu

Střední výkon za dobu jedné periody

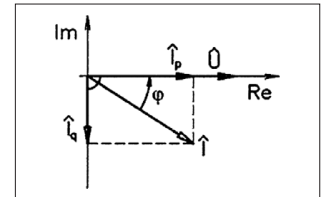
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [U \cdot I \cdot \cos \varphi - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t - \varphi)] \cdot dt = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W] \quad (13)$$

Střední hodnota energie za dobu jedné periody

$$W = \int_0^T [U \cdot I \cdot \cos \varphi - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t - \varphi)] \cdot dt = U \cdot I \cdot T \cdot \cos \varphi \quad [J] \quad (14)$$

Z uvedených vztahů vyplývá, že fyzikálně výkon  $P$  představuje energii za jednotku času, která se změní v jiný druh energie. Tento výkon nazýváme činný výkon.

Fázorový diagram napětí a proudu pro zátěž induktivního charakteru je na obr.2. Znázorňuje poměry mezi fázorem proudu, který můžeme rozložit na reálnou složku (průmět do fázoru napětí  $U$ ) a imaginární složku (průmět do přímky kolmé k fázoru napětí) a fázorem napětí  $U$ .



Obr. 2 Fázorový diagram

Z obrázku je zřejmé že

$$I_p = I \cdot \cos \varphi \text{ a } I_q = I \cdot \sin \varphi$$

$I_p$  je reálná složka proudu a  $I_q$  je jalová složka proudu

$$\text{Činný výkon je} \quad P = U \cdot I_p = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W; V, A] \quad (15)$$

$$\text{a jalový výkon} \quad Q = U \cdot I_q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [VAr; V, A] \quad (16)$$

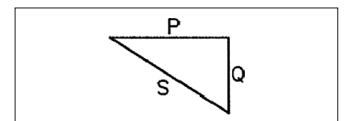
Jalový výkon se využívá k vytvoření magnetického pole v cívkce nebo elektrického pole v kondenzátoru. Jalový výkon je kladný  $Q > 0$ , je-li  $\varphi > 0$  (pro induktivní zátěž) a záporný, je-li (pro kapacitní zátěž).

$$\text{Zdánlivý výkon} \quad S = U \cdot I \quad [VA; V, A] \quad (17)$$

je celkový výkon dodávaný sítí do zátěže bez ohledu na její charakter. Na tento výkon musí být dimenzován rozvod el. energie a stroje. Z předchozího vyplývá, že

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (18)$$

Vynásobíme-li jednotlivé složky proudu napětím, dostáváme trojúhelník výkonů. obr. 3.



Obr. 3 Diagram výkonů

Pokud se jedná o harmonický průběh napětí a proudu platí:

$$\frac{P}{S} = \cos \varphi \quad [W, VA, -] \quad (19)$$

### VÝKON TROJFÁZOVÉHO HARMONICKÉHO PROUDU

Okamžitý výkon trojfázové soustavy je dán součtem výkonů v jednotlivých fázích

$$p = p_U + p_V + p_W = u_U \cdot i_U + u_V \cdot i_V + u_W \cdot i_W \quad (20)$$

Střední výkon trojfázové soustavy vypočteme

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (p_U + p_V + p_W) dt = U_U \cdot I_U \cdot \cos \varphi_U + U_V \cdot I_V \cdot \cos \varphi_V + U_W \cdot I_W \cdot \cos \varphi_W \quad (21)$$

kde  $U_U, U_V, U_W$  a  $I_U, I_V, I_W$  jsou hodnoty fázových napětí a proudů na spotřebiči.

Pro souměrnou síť a souměrnou zátěž kde  $U_U = U_V = U_W = U_f$ ,  
 $I_U = I_V = I_W = I_f$  a  $\cos \varphi_U = \cos \varphi_V = \cos \varphi_W = \cos \varphi$

$$\text{platí pro střední výkon: } P = \frac{1}{T} \int_0^T (p_U + p_V + p_W) dt =$$

$$= U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi + U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi + U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad (22)$$

Činný výkon  
 $P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad [W; V, A] \quad (23)$

Jalový výkon  
 $Q = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \sin \varphi \quad [VAR; V, A] \quad (24)$

Zdánlivý výkon  
 $S = 3 \cdot U_f \cdot I_f \quad [VA; V, A] \quad (25)$

kde  $U_f$  a  $I_f$  jsou napětí a proudy na jedné fázi spotřebiče.

Vztah mezi fázovým napětím  $U_f$  a sdruženým napětím  $U$  je:

$$U = \sqrt{3} U_f \quad (26)$$

Potom pro výše uvedené vztahy platí:

Činný výkon  
 $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W; V, A] \quad (27)$

Jalový výkon  
 $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [VAR; V, A] \quad (28)$

Zdánlivý výkon  
 $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad [VA; V, A] \quad (29)$

## MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE STŘÍDAVÉHO PROUDU

Elektrické energie je vlastně práce elektrického proudu a měříme jí elektroměrem. Podle velikosti elektrické energie rozdělujeme měření na přímé a nepřímé. Elektroměry pro přímé měření se osazují pouze do 80 A jmenovitého proudu hlavního jističe. V odůvodněných případech může dodavatel povolit osazení přímého měření do 120 A. Pro měření nad 80 A jmenovitého proudu hlavního jističe je nutné použít nepřímý elektroměr, tj. proudový obvod elektroměru je připojen přes měřicí transformátor proudu.

Velikost proudu pro volbu proudového rozsahu elektroměru se určí ze vztahu pro zdánlivý výkon, respektive ze vztahu pro činný výkon s tím, že se uvažuje účinník  $\cos \varphi = 1$

$$I = \frac{S}{U_f}, \quad I = \frac{P}{U_f \cos \varphi}, \quad I = \frac{S}{\sqrt{3} U}, \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} \quad (30)$$

Pro měření elektrické energie se používají integrační přístroje, tzv. elektroměry. Jsou to v podstatě wattmetry, které mají proudovou a napěťovou cívku, ale od běžných wattmetrů se odlišují tím, že jejich otočné ústrojí nemá direktivní moment a ústrojí pracuje na rovnováze impulzů pohybového a brzdicího momentu.

Elektroměry můžeme rozdělit podle druhu proudu, pro který jsou určeny na:

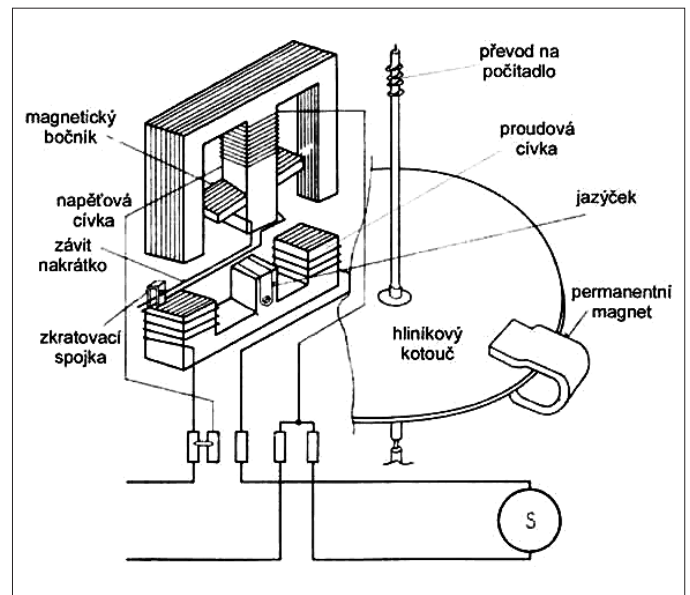
- elektroměry pro stejnosměrný proud,
- elektroměry pro střídavý proud.

Střídavé elektroměry můžeme podle počtu měřících ústrojí dále rozdělit na jedno a trojfázové a podle typu práce, jejíž spotřebu měří na:

- elektroměry pro měření činné energie,
- elektroměry pro měření jalové energie,
- elektroměry pro měření zdánlivé energie.

## ELEKTROMĚRY PRO MĚŘENÍ ČINNÉ ENERGIE

Velikost energie střídavého proudu se donedávna určovala výhradně indukčními elektroměry. Měřicí ústrojí indukčního elektroměru se skládá ze dvou elektromagnetů s jádry tvaru E (obr. 4). Horní napěťový elektromagnet nese napěťovou cívku tvořenou mnoha závitů tenkého drátu. Napěťová cívka je navinutá na středním sloupku jádra. Spodní elektromagnet nese cívku proudovou s malým počtem závitů vinutých silným vodičem. Proudová cívka je rozdělena na dvě poloviny, každá z nich je navinutá na jednom krajním sloupku. Ve vzduchové mezeře mezi oběma elektromagnety se otáčí hliníkový kotouč. Jeho otáčky se přenáší šnekovým kolem na počítací mechanismus. Hliníkový kotouč elektroměru slouží jak pro vyvozování pohybového momentu, tak i pro vyvozování brzdicího (tlumicího) momentu. Brzdicí moment je vytvářen permanentním magnetem, jehož mezerou kotouč také prochází.



Obr. 4 Princip indukčního elektroměru

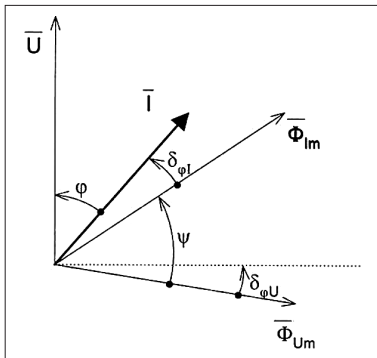
## PRINCIP INDUKČNÍHO ELEKTROMĚRU

I když proudový a napěťový elektromagnet mají jiné tvary, platí i v tomto případě, že střední hodnota pohybového momentu je úměrná součinu magnetických toků obou elektromagnetů a sinu jejich fázového posunu, tedy

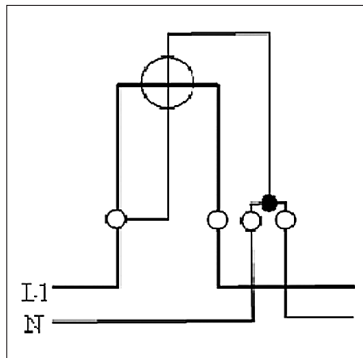
$$M_p = k' \omega \phi_{Um} \phi_{Im} \sin \psi \quad (31)$$

Aby byl pohybový moment úměrný činnému výkonu, musí být tok  $\Phi_{Um}$  úměrný napětí  $U$  a tok  $\Phi_{Im}$  úměrný proudu  $I$  zpožděn o úhel  $\psi$  roven účinníku  $\cos \varphi$ , musí tedy pro oba úhly platit  $\psi = 90^\circ - \varphi$

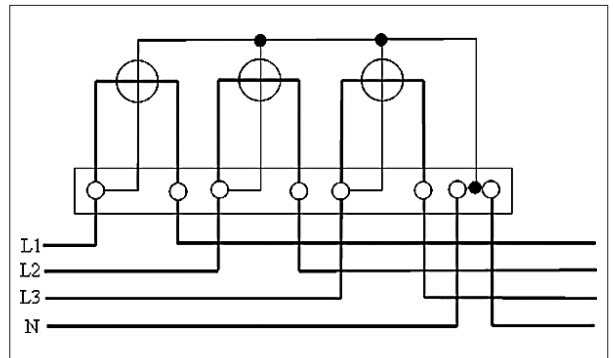
Na následující obrázku 5 je nakreslen zjednodušený fázorový diagram indukčního ústrojí. Proud zátěže má oproti napětí fázový posun  $\varphi$ . Následkem ztrát v jádře elektromagnetu je tok  $\Phi_{Im}$  oproti proudu  $I$  zpožděn o úhel  $\delta_{\varphi U}$ . Magnetický tok napěťového elektromagnetu  $\Phi_{Um}$  by měl být v ideálním případě zpožděn o  $90^\circ$  za napětím  $U$  (kdyby byla napěťová cívka ideální indukčností).



Obr. 5 Fázorový diagram indukčního elektroměru



Obr. 6 Zapojení jednofázového elektroměru



Obr. 7 Zapojení třífázového elektroměru

Ve skutečnosti je zpoždění toku za napětím větší a jeho celkový fázový posun oproti napětí tedy je  $90^\circ + \delta_{\varphi U}$ . Pro velikost úhlu  $\psi$  můžeme také psát

$$\psi = 90^\circ - \varphi + \delta_{\varphi U} - \delta_{\varphi I}$$

Pro splnění podmínky  $\psi = 90^\circ - \varphi$ , neboli  $\sin \psi = \cos \varphi$  je tedy třeba, aby platilo  $\delta_{\varphi U} = \delta_{\varphi I}$

Velkého posunu magnetického toku  $\Phi_{Um}$  proti napětí  $U$  dosáhneme navinutím napětového elektromagnetu velkým počtem závitů tenkého drátu, potom je činný odpor vůči indukční reaktanci cívky velmi malý a přesná hodnota fáze toku se nastaví závitem nakrátko, jehož odpor lze měnit posunem zkratovací spojky.

Zapojení proudových a napětových obvodů elektroměru je podobné jako zapojení wattmetrů (obr. 6). Aby byla možnost chybného zapojení a následného chybného měření omezena na minimum, mají svorkovnice všech elektroměrů stejné (normalizované) uspořádání.

Normální pracovní podmínky pro elektroměry jsou tyto:

- prostory prosté agresivních par a plynů, teplota od  $-5^\circ\text{C}$  do  $+40^\circ\text{C}$  relativní vlhkost do 85 %, svislá poloha,
- nadmořská výška do 1000 m,
- ochrana proti dešti a tepelnému záření,
- svorkovnice musí být zakryty samostatným krytem, které lze zaplombovat nezávisle na víku elektroměru.

Energii trojfázového proudu měříme trojfázovými elektroměry. Podle toho, zda se používají ve čtyřvodičové či trojvodičové síti se vyrábějí se třemi nebo dvěma měřicími ústroji.

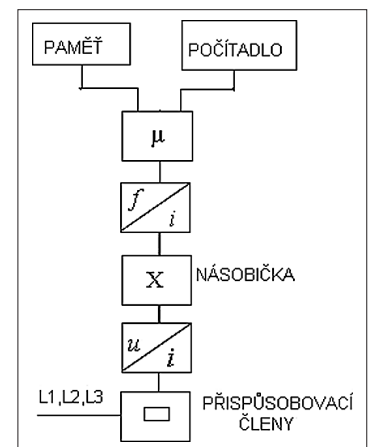
V naší síti má trojfázová rozvodná soustava nízkého napětí vždy vyveden střední vodič, takže elektrickou energii měříme elektroměry se třemi měřicími ústroji. Na společné hřídelce jsou umístěny dva kotouče, na dolní působí dvě měřicí ústroje a na horní jedno. Počítadlo potom udává součet elektrické energie změřené ústroji v jednotlivých fázích. Zapojení trojfázových elektroměrů je stejné jako zapojení elektroměrů jednofázových jednotné (dáno normou). Viz obr. 7. Proudové cívky elektroměrů bývají obvykle dimenzovány na proudy 5, 10 nebo 40 A, napětové na napětí 400 V nebo 230 V. Pokud musíme měřit elektrickou energii zařízení s většími proudy je třeba použít měřicích transformátorů proudu.

## ELEKTRONICKÉ – STATICKÉ ELEKTROMĚRY

S rozvojem elektroniky se zhruba před 20 lety začaly používat elektronické elektroměry na principu využití elektronických součástek. Tyto elektroměry nemají žádné pohyblivé součástky, proto se též nazývají statické a s ohledem na své vlastnosti se používaly především u odběrů vyžadujících

velkou přesnost měření, tj. u odběrů realizovaných z úrovně vysokého a velmi vysokého napětí při nepřímém měření.

Elektronické elektroměry se v principu skládají ze snímače proudu, snímače napětí, výpočtu elektrické energie, napájecího a zobrazovacího obvodu (obr. 8). Snímání proudu probíhá proudovými transformátory, nebo hallovými snímači, snímání napětí odporovými děliči. Mikroprocesor převádí analogové veličiny na digitální, násobí je a na výstupu jsou impulsy s frekvencí, která je úměrná elektrickému výkonu. Konstanta elektroměru bývá 1000 [imp/kWh]



Obr. 8 Principiální blokové schéma elektronického elektroměru

Přizpůsobovací členy zajišťují, aby síťové napětí a proudy byly transformovány na hodnoty vhodné k elektronickému zpracování. Převodník proudu na napětí vytváří napětový signál přímo úměrný proudu. Násobička vytváří proudový signál, úměrný součinu napětí a činné složky proudu. Převodník proudu na kmitočty generuje impulsní signály, jejichž kmitočty jsou úměrné činnému a jalovému výkonu. Údaj počítadla odebrané elektrické energie je úměrný počtu impulsů. Mikroprocesor realizuje výpočty spotřeby a řídí přepínání režimů elektroměru. EEPROM je paměť uchovávající naměřená data za stanovené období, která mohou být předána po vedení např. do počítače. S klesající cenou elektronických součástek a zvyšující se spolehlivostí se cena přibližuje cenám mechanických elektroměrů, a proto se elektronické elektroměry začínají využívat i u odběratelů odebírajících elektřinu z nízkého napětí, tj. u maloodběratelů.

Z porovnání vlastností, principů a parametrů indukčních a statických elektroměrů a ze současného trendu vývoje měřicí techniky vyplývá, že statické (elektronické) elektroměry jsou přístroje odpovídající současnému stavu elektroniky a trendu měřicí techniky. Ve srovnání s mechanickými indukčními elektroměry mají statické elektroměry následující výhody:

- Nabízejí měření podstatně většího množství měřených veličin; větší množství měřených veličin zvyšuje informovanost dodavatele o struktuře odběru.
- Mají menší vlastní spotřebu; při velkém množství nasazených elektroměrů se tím sníží technické ztráty, které hradí dodavatel energie.
- Mají menší náběhové proudy a měří s větší přesností při velmi malých proudcích;

- ❑ Umožňují správné měření elektrické energie i při zkraslených průběžích proudů a napětí; v současné době roste počet nelineárních spotřebičů (např. pulzně řízené zdroje PC) a roste počet tyristorově regulovaných výkonů. V těchto případech proud obsahuje vyšší harmonické složky a v důsledku úbytku napětí na vodičích rozvodné sítě se harmonické složky objevují i v napětí. V takových případech se příznivě projeví zmíněná vlastnost elektronických elektroměrů.
- ❑ Umožňují automatický odečet měřených veličin s využitím optického komunikačního rozhraní, bez možnosti chyb a ovlivnění výsledku měření odčítačem; optická odečítací hlavičky zneumožňují ovlivnění odečtu a umožňuje i časovou kontrolu činnosti odčítače.
- ❑ Umožňují tzv. parametrizaci elektroměru, čili softwarově nastavení parametrů měření podle požadavků vlastníka elektroměru; dodavatel energie má možnost předepsat parametry, které budou z elektroměru odečítány.
- ❑ Registrují neoprávněné zásahy do elektroměru.
- ❑ Umožňují dálkový odečet měřených veličin, a sice různými typy komunikačních rozhraní.
- ❑ Lze je vyrobit s větší přesností.
- ❑ Při použití LCD displeje umožňují zobrazovat více údajů než jenom stav „počítadla“ spotřebovaného množství elektřiny, jsou to např. právě měřený tarif, přibližný odebraný výkon.
- ❑ Zvláštní zkušební, optický, impulsní výstup umožňuje větší spolehlivost a citlivost při ověřování.
- ❑ Při přepnutí na jiný tarif nedochází u nich ke zvýšení vlastní spotřeby činné energie napěťového obvodu; při velkém množství nasazených dvoutarifních elektroměrů se tím sníží technické ztráty, které hradí dodavatel energie.
- ❑ Umožňují registrovat počet výpadků distribuční sítě; tím lze upozornit na možné neoprávněné zásahy do elektroměru.
- ❑ Umožňují měření při větším počtu tarifů.
- ❑ Zanedbatelnou záležitostí není rovněž menší váha i rozměry.

Za určitou nevýhodu statických elektroměrů, ve srovnání s indukčními elektroměry, je možno považovat poměrně krátkou dobu jejich používání ve větším měřítku, takže pro řadu těchto elektroměrů ještě neproběhla první perioda ověřování.

Třída přesnosti elektronických elektroměrů je obvykle 1 %.

## TYPICKÉ ZNAKY ELEKTRONICKÝCH ELEKTROMĚRŮ

### Jednofázové elektroměry

Jednoduchý základní elektroměr pro měření činné energie [kWh] s přímým měřením do 32A.

Konstrukce: Montáž na DIN lištu (1 DIN modul). Krytí předního panelu IP40.

Čelní panel: Zobrazení stavu na LCD displeji a indikace odběru červenou LED diodou.

Výstupy a komunikace: Pulzní výstup 1000 pulzů/kWh.

Příslušenství: Kryty svorkovnic pro zaplombování.

Napájení: Přímou z měřeného napětí.

Certifikace: Základní verze pro podružné měření nebo ověřený přístroj pro fakturaci.

Jiný typ elektroměru je elektronický elektroměr s funkcí analyzátoru sítě. Elektroměr registruje jak činnou, tak i jalovou složku energie (kWh, kVAh) a umožňuje zobrazit i parametry sítě [kW, kWdmd, kWdmd max, V, A, Hz, PF – cos φ, kVAh]. Vstupy jsou pro přímé měření do 32 A.

Konstrukce: Montáž na DIN lištu (1 DIN modul). Krytí předního panelu IP40.

Čelní panel: Zobrazení hodnot na LCD displeji a indikace odběru červenou LED diodou. Volba zobrazení se realizuje tlačítkem na panelu.

Výstupy a komunikace: Pulzní výstup 1000 pulzů/[kWh] nebo alarmový reléový výstup, který je možné nastavit na vybranou veličinu a prahovou hodnotu s volitelnou hysterezí.

Příslušenství: Kryty svorkovnic pro zaplombování.

Napájení: Přímou z měřeného napětí.

Certifikace: Základní verze pro podružné měření.

### Třífázové elektroměry

Základní kompaktní elektroměr pro měření činné a jalové energie (kWh, kVAh) a zobrazením okamžitých parametrů sítě [kW, kVAh, A, pořadí fází]. Vstupy jsou pro přímé měření v rozsahu do 65A.

Konstrukce: Montáž na DIN lištu (4 DIN moduly). Krytí předního panelu IP50.

Čelní panel: Zobrazení údajů na dvouřádkovém LCD displeji a indikace odběru červenou LED diodou. Třísměrný joystick pro přepínání měřených hodnot. Po přepnutí zobrazení se displej vrací automaticky po 60 s na zobrazení měření spotřeby.

Výstupy a komunikace: Pulzní výstup 100 pulzů/[kWh].

Příslušenství: Kryty svorkovnic pro zaplombování.

Napájení: Přímou z měřeného napětí.

Certifikace: Základní verze pro podružné měření nebo ověřený přístroj pro fakturaci.

Příklad dalšího elektroměru s mnoha funkcemi je čtyřkvadrantní elektroměr s měřením činné a jalové energie [kWh, kVAh] s měřením v obou směrech (odběr-dodávka) a zobrazením parametrů sítě [kW, kWsys dmd, kvar, kVA, kVAsys dmd, V, A, Admd max, PF-cos φ, hodiny, pořadí fází]. Elektroměr měří buď přímým měřením v rozsahu do 65 A, nebo s nepřímým měřením přes externí proudové transformátory.

## MĚŘICÍ TRANSFORMÁTORY PROUDU

Pokud je jmenovitý proud hlavního jističe větší než 80 A, používá se nepřímé měření elektrické energie tzn., že proudový obvod elektroměru je připojen přes měřicí transformátor proudu. Měřený proud  $I_1$  jde primárním vinutím transformátoru a k sekundárnímu vinutí je připojen proudový vstup elektroměru.

Měřicí transformátor proudu je navržen tak, aby stále přesně platilo

$$\frac{I_1}{I_2} = konst$$

To platí jen když je magnetický tok tak malý, že ho můžeme zanedbat. To nastává, když pracuje transformátor ve stavu nakrátko. Magnetomotorická síla  $N_1 I_1$  primárního vinutí se téměř ruší s magnetomotorickou silou  $N_2 I_2$  sekundárního vinutí.

Sekundární strana je zkratována proudovým měřicím obvodem elektroměru, který nesmí být při měření rozpojen, protože by nebezpečně stouplo napětí v sekundárním obvodu. Měřicí proudové transformátory jsou normalizovány pro elektroměry s proudovým rozsahem 5 [A], výjimečně s rozsahem 1 [A].

Charakteristické veličiny měřicích transformátorů proudu:

Jmenovitý převod

$$p_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$$

Chyba proudu

$$\varepsilon_I = 100 \frac{I_2 \cdot p_n - I_1}{I_1} \quad [\%; A]$$

Jmenovitý dynamický proud je největší amplituda primárního proudu, kterou měřicí transformátor se sekundárním vinutím spojeným nakrátko snese, aniž se poškodí mechanicky nebo elektricky dynamickými silami nebo přepětím.

Jmenovitý tepelný proud je efektivní hodnota primárního proudu, kterou po dobu jedné vteřiny snese měřicí transformátor proudu se sekundárním vinutím spojeným nakrátko, aniž se vzniklým teplem kterákoliv jeho část poškodí.

Zkratová třída je podíl jmenovitého tepelného proudu a jmenovitého primárního proudu.

Nadproudové číslo je násobek jmenovitého primárního proudu, při němž chyba proudu dosáhne 10 %.

Normalizované hodnoty jmenovitých primárních proudů jsou: 10 až 12,5 až 15 až 20 až 25 až 30 až 40 až 50 až 60 až 75 A a jejich dekadické násobky či zlomky.

Svorky transformátoru jsou značeny  $K, L$  pro primární obvod a  $k, l$  pro sekundární obvod. Jmenovitý výkon je hodnota výkonu (ve [VA] při daném účinníku), který transformátor přenáší do sekundárního obvodu při jmenovitém sekundárním proudu  $I_{SN}$  a připojené jmenovité zátěži  $Z_N$ .

$$S_N = I_{SN}^2 \cdot Z_N \quad [\text{VA}] \quad (32)$$

Normalizované hodnoty jmenovité zátěže do 30 [VA] jsou: 2,5 až 5 až 10 až 15 až 30 VA.

Třída přesnosti je označení přiřazené transformátoru proudu, jehož chyba proudu a chyba úhlu nepřekročí dovolené hodnoty v předepsaných provozních podmínkách.

Normalizované třídy přesnosti jsou 0,1 až 0,2 až 0,5 až 1 až 3 až 5

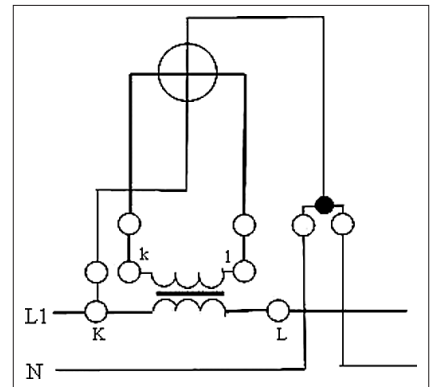
Konstrukčně se měřicí transformátory proudu rozdělují na: podpěrné, průchodové, průchozí. Podle primárního vinutí: jednozávitové, závitové, smyčkové, tyčové, násuvné, prstencové. Podle jiných hledisek: jednojádřové, vícejádřové, s rozebiratelným magnetickým obvodem.

Zapojení indukčního elektroměru pro nepřímé měření obr. 9.

Kontakt na autora: [jiri.stastny@fs.cvut.cz](mailto:jiri.stastny@fs.cvut.cz)

**Použité zdroje:**

- [1] Fetter, F., Obecná elektrotechnika pro strojní inženýry, SNTL 1967
- [2] Oravec, Bakalářská diplomová práce, 2010
- [3] Česká energetika 2/2001
- [4] Uhlíř, I., Elektrické obvody a elektronika, Vydavatelství ČVUT, 2002



Obr. 9 Zapojení jednofázového elektroměru pro nepřímé měření proudu

# Komponenty pro klimatizaci s nejvyššími nároky

- ▶ UV výbojky SterilAir
- ▶ DST Seibu Giken adsorbční odvlhčování
- ▶ Calorex bazénové odvlhčovače a klimajednotky
- ▶ ALP vzduchovody
- ▶ Condair / Defensor parní zvlhčování
- ▶ Adiabatické vlhčení do prostoru
- ▶ Emicon přesná klimatizace
- ▶ Teddington dveřní clony

