

Vairāku patērētēju elektroenerģijas patēriņa monitoringa metode

Dokorants P.Apse-Apsītis, akadēmiķis L.Ribickis

Problēmas nostādne

Elektroenerģijas patērētāja telpās – dzīvokli, birojā, iestādē, ražotnē – tipiski ir daudzi patērētāji: apgaismojums, elektriskās plīvis, ledusskapji, kopētāji, printeri, datori u.c.

Elektroenerģijas patēriņa uzskaitē ir kopīga visiem patērētājiem, kas neļauj identificēt katra patērētāja elektroenerģijas patēriņu, nelietderīgu elektroenerģijas patēriņu un neļauj optimizēt patērētāja patēriņu kopumā, piemēram, datortehnikas patēriņš gaidīšanas režīmā.

Tradicionālie elektroenerģijas skaitītāji ir ar relatīvi lieliem gabarītiem un dārgi. Atbilstošs izmērs ir elektroniskajiem skaitītājiem, bet to cena ir pārlietu augsta, lai tos uzstādītu, piemēram, katrai rozetei vai gaismas ķermeņu grupai.

Nosacījumi

➤ Var uzskatīt, ka vidējā māsaimniecībā sadzīves vajadzībām ir līdz 8 – 10 regulāriem patērētājiem – 2 apgaismojuma grupas, TV, dators, ledusskapis, mikroviļņu krāsns vai tosteri, veļas mazgājamā mašīna, gludeklis u.c.

➤ Minimāla cena. Piemēram, pie rozetes pievienotā (vai iebūvētā) bloka cena nedrīkst pārsniegt 3,50 LVL (ieskaitot PVN) – 8 patērētāju pieslēgumvietu monitoringa bloku kopējā cena nepārsniegtu 28 LVL. Kopējā monitoringa/uzskaites bloka cena nedrīkstētu pārsniegt 15–20 LVL. Optimāla kopējā ir ~ 45 LVL, monitorējot 8 pieslēgumvietas. Šāda cena aptuveni atbilst ~530 kWh elektroenerģijas patēriņa izmaksām (1 kWh cena ir 0,085 LVL)¹ vai vidēji mēnesī ~8,8 kWh 5 gadu laikā.

➤ Minimāli gabarīti, lai rozetes bloku būtu iespējams saistīt ar rozetes konstrukciju, piemēram – stiprinājums rozetes kārbas aizmugurē vai gaismas ķermeņa patronā.

Apsvērumi:

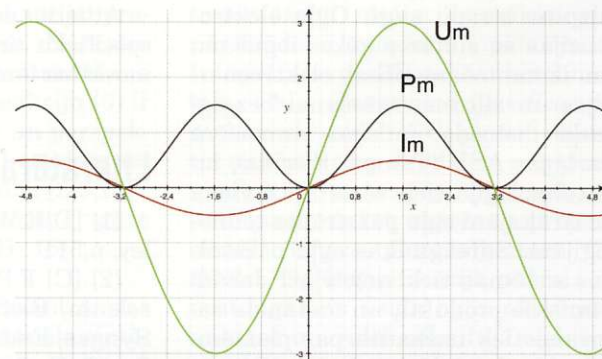
➤ elektroenerģijas pārvade notiek nelielos attālumos – <100m, tādēļ var pieņemt, ka sprieguma vērtība ir vienāda visiem moduļiem (patērētājiem) un kopējam monitoringa/uzskaites blokam – monitoringa moduļi nav nepieciešama sprieguma vērtības iegūšana;

➤ monitoringa uzdevums ir kopējās patērētās jaudas sadalījuma novērtēšana, kuru realizē, monitorējot patērētāju aktīvo strāvu vērtības;

➤ 2,5 – 5 % precizitāte ir pietiekama novērtējumam. 2,5% no 1 kWh laika ziņā atbilst 90 sek, 5% – attiecīgi 180 sek. – vēlamie nolasīšanas intervāli;

- monitorējamā patērētā jauda var mainīties no 10 W līdz 2250 W vienai pieslēgumvietai – rozetes maksimālā strāva ir 10 A;
- var uzskatīt, ka biroju un sadzīves patērētāji ir ar R vai RL slodzes raksturu;
- katram monitoringa punktam nepieciešams identifikators – adrese;
- ir vēlams monitoringa datus attēlot grafiski;
- monitoringa punkta realizācijai “tipveida” konfigurācijā, integrālo shēmu komplekta cena ir vismaz 12–25 USD (5,5–12 LVL), kas dažas reizes pārsniedz optimālo;
- piedāvātās enerģija mērīšanas integrālās shēmas ir gan dārgas (> 2,00 LVL), gan to izejas signāls bieži vien nav piemērots vairāku patērētāju patēriņa monitoringam².

Metodes teorija

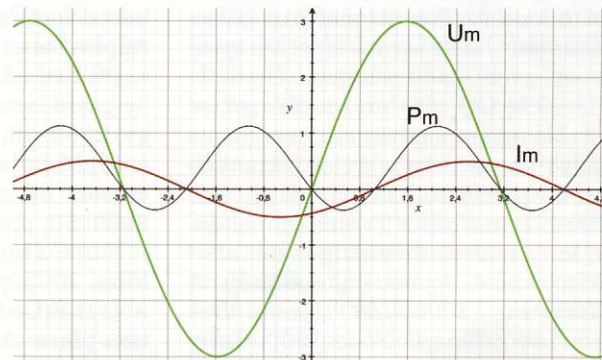


1. zīm. Sprieguma U, strāvas I un jaudas P grafiki aktīvas slodzes gadījumā

Momentānā patērētā jauda (1. zīm.), kad $\cos\varphi = 1$:

$$P_m = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) = (1/2) \cdot I_m \cdot U_m \cdot [1 - \cos(2 \omega \cdot t)]; \quad (1)$$

kur P_m – momentānā aktīvā jauda, I_m – momentānā strāvas efektīvā vērtība, U_m – momentānā sprieguma efektīvā vērtība, $\omega \cdot t$ – leņķiskā ātruma momentānā vērtība.



2. zīm. Sprieguma U, strāvas I un jaudas P grafiki jauktas slodzes gadījumā, $\cos\varphi = 0,6$

Momentānā jauda (2. zīm.), kad $\cos\varphi = 0,6$:

Līdzās tradicionālajiem patērētājiem, šodien plaši izmanto SMPS (*Switched-Mode Power Supply*), lai pārveidotu tīkla maiņspriegumu dažādu elektrisko elektronisko iekārtu³ darbībai nepieciešamā līdzspriegumā. SMPS bez jaudas koeficienta kompensācijas var uzskatīt par RL slodzi ar $\cos\varphi = 0,6$ (strāva atpaliek no sprieguma apm. par 53°)⁴. SMPS ar jaudas koeficienta korekciju palielina $\cos\varphi$ līdz $\cos\varphi = 1$.

Elektroenerģijas uzskaitē izmanto efektīvo patērēto aktīvo jaudu P:

$$P = I * U * \cos\varphi; (2)$$

kur I un U ir strāvas un sprieguma efektīvās vērtības
 φ – leņķis starp strāvu un spriegumu.

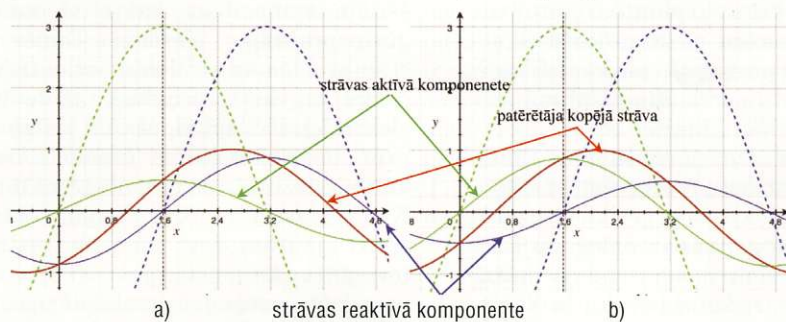
Pārveidojot izteiksmi (2):

$$P = I * U * \sin(90^\circ \pm \varphi); (3)$$

Strāvas vērtība, ja sprieguma leņķis ir $90^\circ \pm \varphi$ vai $270^\circ \pm \varphi$ atbilst aktīvās strāvas maksimālajai vērtībai (amplitūdai) (3. zīm.), bet strāvas vērtība ja sprieguma leņķis ir 0° vai 180° , atbilst reaktīvās strāvas maksimālajai amplitūdai.

Minētais ir vairāku patērētāju elektroenerģijas patēriņa monitoringa metodes pamatā. Iegūstot aktīvās strāvas vērtības, kad $U_m = U_{max}$ un reaktīvās strāvas vērtība, kad $U_m=0$, iespējams aprēķināt patērēto aktīvo, reaktīvo un pilno jaudu un patērēto elektroenerģiju laika vienībā.

Lai samazinātu moduļa komponentu skaitu un izmaksas, pietiktu noteikt patērētāja kopējās strāvas maksimālo vērtību un tās reaktīvās komponentes maksimālo vērtību (vērtību, kad spriegums ir 180°).

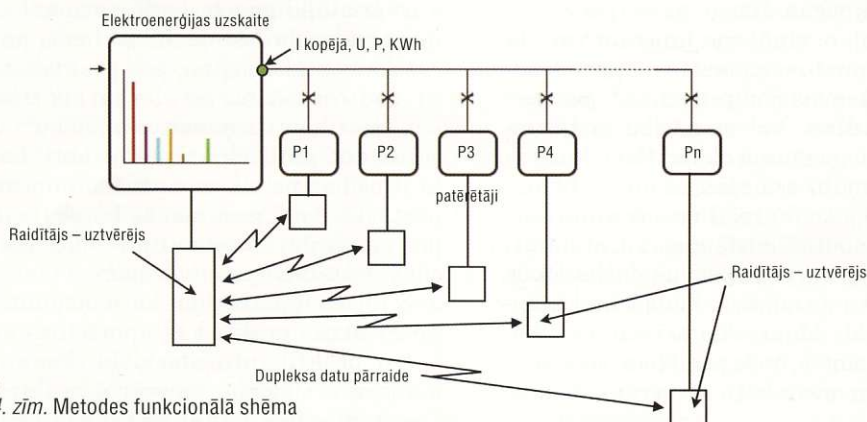


3. zīm. aktīvā, reaktīvā un kopējā strāva.
 a) $\cos\varphi=0,5; \varphi=60^\circ$; b) $\cos\varphi=0,866; \varphi=30^\circ$

Tehniskais risinājums:

Risinājuma funkcionālā shēma ir attēlota 4. zīm. Katra patērētāja aktīvās strāvas maksimālo vērtību nosūta centrālajam blokam ar duplexu radiosakaru starpniecību. Radiosakaru realizācijai izmanto 400 MHz frekvenci, kuras izmantošanai nav nepieciešama licence.

Pēc pieprasījuma signāla nosūtīšanas no centrālā bloka konkrētām monitoringa punktam,



4. zīm. Metodes funkcionālā shēma

punkts pārraida datus uz centrālo bloku digitālā formā.

Monitoringa sistēmas izšķiršanas spēja šajā risinājumā ir pieņemta kā 250 gradācijas pakāpes (0...249) strāvas aktīvajai komponentei un 125 gradācijas pakāpes (0...124) strāvas reaktīvajai komponentei. Aktīvās jaudas izšķirtspēja ir 9 W, ja maksimālā jauda ir 2250 W.

Iegūtās aktīvās strāvas vērtības asociē ar patērēto aktīvo jaudu un attēlo grafiski.

Reaktīvā komponente raksturo $\cos\varphi$ un tiek izmantota aktīvās komponentes precizēšanai. Aprēķinu veic centrālajā blokā.

Datu sinhronizācijai izmanto 50 Hz maiņstrāvas tīkla frekvences dubultoto vērtību 100 Hz ($T = 10$ m/sek). Maksimālais mērījuma laiks ir $T_m = 250 * 1/100 = 2,5$ sek (4) vai 2,8% no mērījumu intervāla 90 sek.

Izmantojot strāvas mērīšanai šuntu, ir jāievēro jaudas zudumi tajā (skat. tabulu).

Hola efekta strāvas devēju integrālās shēmas⁵, kurām ir daudzas priekšrocības (piem., elektriski atdalītas spēka un mērīšanas ķēdes), palielina cenu par 1,5–2,5 LVL.

Tabula. Šunta sakarības

P, W	I, A	I _{max} , A	Ršunta, Ω	Pšunta, W
10	0,045	0,065	0,0084	0,000017
15	0,068	0,097	0,0084	0,000039
20	0,091	0,129	0,0084	0,00007
30	0,136	0,194	0,0084	0,00016
40	0,182	0,258	0,0084	0,00028
50	0,227	0,323	0,0084	0,00043
100	0,455	0,645	0,0084	0,0017
200	0,909	1,291	0,0084	0,0069
400	1,818	2,582	0,0084	0,0278
500	2,273	3,227	0,0084	0,0434
600	2,727	3,873	0,0084	0,0625
800	3,636	5,164	0,0084	0,1111
1000	4,545	6,455	0,0084	0,1736
1200	5,455	7,745	0,0084	0,2499
1400	6,364	9,036	0,0084	0,3402
1600	7,273	10,327	0,0084	0,4443
1800	8,182	11,618	0,0084	0,5623
2000	9,091	12,909	0,0084	0,6942
2250	10,227	14,523	0,0084	0,8786

Secinājumi

Aprakstītās vairāku patērētāju elektroenerģijas patēriņa monitoringa metodes realizācijas izmaksas ir 3,20 – 3,30 LVL katram monitoringa blokam un 20,00 – 21,00 LVL (visur ietverts 22% PVN).

Kopējā 8 pieslēgumvietu monitoringa iekārtu cena nepārsniedz 47 LVL. **E&P**

¹ www.latvenergo.lv/portal/page?_pageid=73,57217&_dad=portal&_schema=PORTAL

² www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/energy-measurement/ade7755/products/product.html

³ datori, printeri, kopētāji, TV uztvērēji, LED apgaismojums, mobilo telefonu u.c. uzlāde, mikroviļņu krāsnis, ledusskapji u.c.

⁴ Wuidart L., Understanding power factor, STMicroelectronics, 1999 www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXyzxv.pdf

⁵ http://www.lem.com