

Problematika presnosti merania elektrickej energie v podmienkach neharmonického napájania (1)

Martin Murgaš, Milan Novák

Úvod

Vlastnosti v súčasnosti používaných spotrebičov v domácnostiach, ako aj v priemysle spôsobujú značné deformácie napätia a prúdu. V domácnostiach je hlavný problém používanie spínaných napájacích zdrojov, ktoré odoberajú zdeformovaný prúd. V priemysle ide o používanie veľkých polovodičových záťaží, ako sú rôzne meniče a výkonové riadiace obvody.

V súčasnosti sa do popredia dostáva aj meranie spotreby elektrickej energie na trakčných vozidlách, v ktorých sa v hojnej miere používajú tiež rôzne polovodičové regulácie. Problém vzniku harmonických zložiek a ich vplyvu na presnosť merania je hlavne pri vozidlách napájaných striedavým napätím 25 kV, resp. pri prevádzke dvojsystémových vozidiel na striedavej sústave. Všetky tieto záťaže spôsobujú deformácie prúdu a v závislosti od tvrdosti napájacej siete aj napätia.

Výkon harmonického a neharmonického prúdu

Výkon je definovaný ako súčin napätia na záťaži a prúdu prechádzajúceho záťažou. Okamžitá hodnota je definovaná ako,

$$p = u \cdot i \quad (1)$$

V prípade harmonického napájania je definovaný zdanlivý výkon

$$S = P + jQ = U \cdot I(\cos(\varphi) + j \sin(\varphi))$$

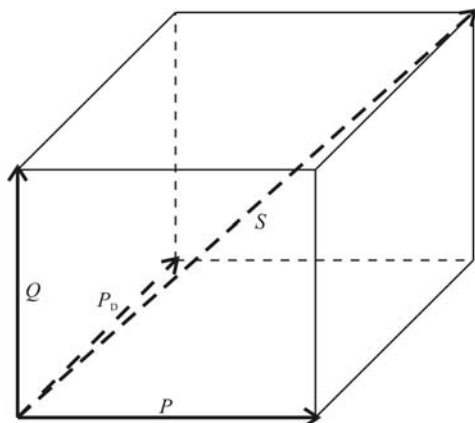
ktorý je zložený z činného výkonu $P = UI \cos \varphi$ a jalového výkonu $Q = UI \sin \varphi$. Vzťah medzi týmito výkonmi je takýto:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2)$$

Keď začneme uvažovať neharmonický odoberaný prúd, musíme uvažovať vplyv harmonických zložiek, ktorý spôsobí, že činný výkon tvoria harmonické zložky napätia a prúdu rovnakého rádu. Ďalej sa objavuje vplyv tzv. deformačného výkonu P_D . Tento výkon tvoria nerovnaké harmonické zložky napätia a prúdu. Vzájomný vzťah výkonov bude takýto:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + P_D^2 \quad (3)$$

Na obr. 1 sú graficky zobrazené spomenuté výkony.



Obr.1 Grafické znázornenie výkonov v priestore

Ak uvažujeme harmonické napätie, činný výkon tvorí len jedna zložka tvorená základnou harmonickou prúdu a napätia. Za predpokladu, že nastane aj deformácia napájacieho napätia, nastáva o niečo zložitejšia situácia. Za týchto podmienok je činný výkon zložený z viacerých zložiek. Každá zložka je tvorená harmonickými zložkami napätia a prúdu rovnakého rádu.

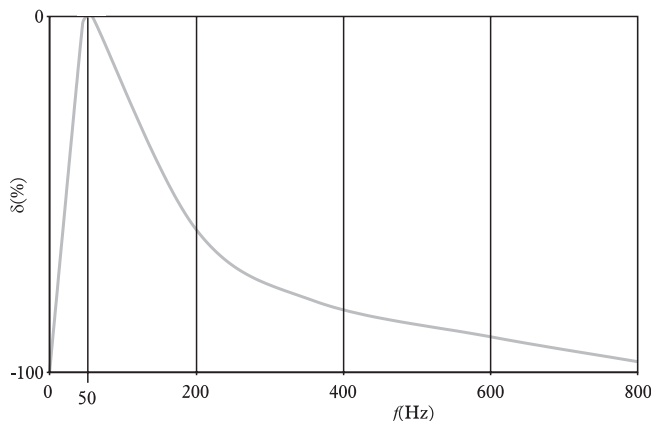
$$P_H = \sum_{h>2} U_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h \quad (4)$$

kde P_H je činný výkon harmonických zložiek,
 U_h – harmonická zložka napätia rádu n ,
 I_h – harmonická zložka prúdu rádu n .

Z uvedených faktov vyplýva, že pri použitých meracích systémoch treba klásť dôraz na frekvenčný rozsah, v ktorom sú schopné pracovať. Z tejto podmienky vyplýva nutnosť merať aj zdeformované priebehy napätia a prúdu.

Vplyv harmonických zložiek na indukčné elektromery

Pracovné podmienky indukčného elektromera sú definované v pomerne úzkom frekvenčnom pásme pre harmonické napätie a prúd. Tieto podmienky vyplývajú z frekvenčnej závislosti relatívnej chyby indukčného elektromera. Najčastejšie sa uvádza pre indukčné elektromery súčasnej konštrukcie frekvenčná závislosť chyby jednosystémového elektromera podľa obr. 2.



Obr.2 Frekvenčná závislosť relatívnej chyby indukčného elektromera

Uvedenú charakteristiku treba pre každý typ indukčného elektromera zmerať individuálne.

Výsledná krivka relatívnej chyby elektromera platí pri meraniach vždy na jednej frekvencii, ale v praxi sieťová frekvencia 50 Hz zostáva a spolu s ňou tvoria vyššie harmonické zložky celkové frekvenčné spektrum, ktoré sa nachádza v elektrickej sieti.

Bežne meria elektromer takmer vždy elektrickú energiu za podmienky, že v napätí aj prúde sa nachádza celé spektrum priebehov s rôznymi frekvenciami. Úbytky napätí na nenulovej impedancii

siete deformujú zákonite priebeh napätia na nelineárnom spotrebiči. V trojfázovej sústave k tomu pristupuje aj napäťová nesymetria a prúdová nevyváženosť. Elektromer v takýchto podmienkach má za úlohu v čase t integrovať činný elektrický výkon všetkých harmonických.

$$A_p = \int_0^t \sum_{h=1} U_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h \cdot dt \quad (5)$$

ako činnú energiu, resp. jalový výkon všetkých harmonických

$$A_Q = \int_0^t \sum_{h=1} U_h \cdot I_h \cdot \sin \varphi_h \cdot dt \quad (6)$$

ako jalovú energiu, pričom φ_k vyjadruje vzájomný fázový posun napätia a prúdu h -tej harmonickej.

Vplyv harmonických zložiek na statické elektromery

Prevažná väčšina statických elektromerov pracuje na princípe amplitúdovo šírčkovej modulácie. Pilotná frekvencia modulátora býva 2 až 10 kHz, v dôsledku čoho nie je meranie elektrickej energie takýmto elektromerom zaťažené ani pri vyšších harmonických v prúde a v obmedzenom rozsahu aj napätí prídavnou chybou.

Overenie presnosti vybraných elektromerov pri neharmonickom priebehu prúdu a napätia

Praktické meranie sa vykonalo na regulačnej stanici, ktorá slúži na kalibráciu elektromerov. Toto zariadenie sa využíva na regulovanie elektromerov pri sínusových priebehoch napätia a prúdu. Zariadenie však okrem zadávania veľkosti meracieho napätia, prúdu a účinníka základnej harmonickej umožňuje aj modelovanie ľubovoľného spektra napäťových a prúdových zložiek nezávisle od seba. Uvedené hodnoty možno zadávať zvlášť pre jednotlivé fázy a tiež zadávať ich vzájomný fázový posun. Tým možno na modelovať ľubovoľný skreslený priebeh napätia a prúdu.

Výsledky overovania presnosti elektromerov

Ďalej sú uvedené výsledky merania presnosti troch elektromerov. Elektromery používajú dva bežné meracie systémy. Ide o klasický indukčný trojsystémový elektromer a elektronický štvorkvadrantový elektromer.

Indukčný trojfázový elektromer – trojsystémový elektromer pracujúci na princípe elektrodynamického indukčného zákona.

Elektromer je určený na priame meranie elektrickej energie v štvorvodičových sieťach. Trieda presnosti 2.

Statický trojfázový elektromer – elektronický programovateľný štvorkvadrantový elektromer. Trieda presnosti 1.

Statický jednofázový elektromer – elektronický jednofázový elektromer, vybavený mechanickým počítadlom. Trieda presnosti 1.

Vstupný priebeh na overenie merania presnosti prvých dvoch elektromerov bol určený pomocou sieťového analyzátora, ktorým bola odmeraná sekundárna strana napájacej stanice 110/27 kV ŽSR. Tento priebeh bol potom simulovaný v regulačnej stanici.

V prípade jednofázového statického elektromeru sa vykonalo meranie na základe výsledkov simulácie zapojenia trakčných usmerňovačov bežne používaných v hnacích vozidlách. Simulácia bola uskutočnená v programe ORCAD. V tomto prípade je uvažovaný len skreslený priebeh prúdu, lebo skreslenie napätia závisí od konkrétnych podmienok v napájacej sústave.

Literatúra

- [1] SWENSON, S.: Power measurement techniques for non-sinusoidal conditions. Doctoral thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Electric Power Engineering Chalmers University Of Technology, Göteborg 1999.
- [2] RÁČEK, V., SOLÍK, I.: Výkonové polovodičové systémy II – III. Nadácia akademika Ladislava Cigánka, Bratislava, 1993.
- [3] ŠTEFÁNIK, V.: Vplyv harmonických na meranie elektrickej energie. Diplomová práca, KETE, 2002.

Pokračovanie v budúcom čísle.

Ing. Martin Murgaš
doc. Ing. Milan Novák, PhD.

Katedra výkonových elektrotechnických systémov
Elektrotechnická fakulta, ŽU
Univerzitná 1, 010 26 Žilina
e-mail: martin.murgas@kete.utc.sk
milan.novak@kete.utc.sk

11