



ERU 2024

Kalibrácia analyzátorov kvality elektrickej energie

Ing. Dušan Šmigura PhD.

Slovenská legálna metrológia n.o.

smigura@slm.sk

www.slm.sk

Cieľ príspevku

- Základný návod na nastavenie systému zabezpečenia nadväznosti analyzátorov kvality elektrickej energie v praxi
- Poskytnúť používateľom argumenty pre adekvátnu kalibráciu
- Odporúčania pre správnu metrologickú prax s dôrazom na nadväznosť
- Oboznámenie s normami a legislatívou v oblasti

Úvod

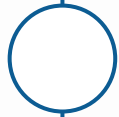
- Zariadenie na efektívne a praktické meranie a záznam parametrov podľa EN 50160
- Meria **časový** priebeh **napätí** v sieti
- Pomocou matematických modelov vypočítava parametre
- Môže merať aj priebeh prúdu v čase, výkony, energie...

Úvod

- Nahrádza viacero vzorkovacích multimetrov, napájacie káble, komunikačné káble, dodatočné vybavenie na softvérovú analýzu...všetko by bolo manuálne náročné a nepraktické na meranie v „poli“
- Ide teda zjavne o komplikovanejší prístroj ako bežný multimeter a metódy na kalibrácie bežných multimetrov **nie sú** priamo vhodné na kalibráciu analyzátoru kvality elektrickej energie

Normy

- EN 50160 definuje charakteristiky napätia elektrickej energie dodávanej z verejnej elektrickej siete
- EN 61000-4-30 popisuje metódy merania kvality elektrickej energie a požiadavky na prístroje
- EN 62586-2 popisuje funkčné skúšky na meradlách
- EN 62586-1 popisuje meradlá na meranie kvality elektrickej energie



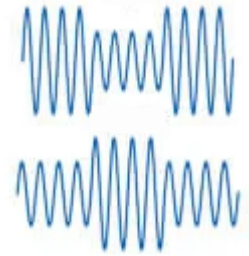
Frekvencia

- Rozsah kalibrácie min. (47 až 52) Hz (EN 50160)
- Požiadavka na najväčšiu dovolenú chybu $\pm 0,01$ Hz (A) a $\pm 0,05$ Hz (S)

Odchýlky napätia

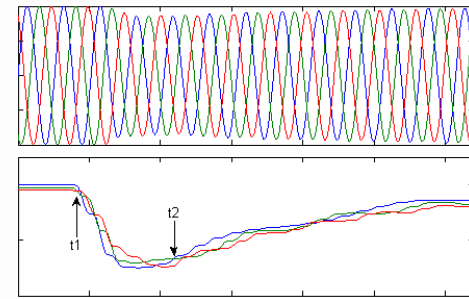
- Rozsah kalibrácie min. $U_n + 10\%$ až $U_n - 15\%$
- Požiadavka na najväčšiu dovolenú chybu $\pm 0,1\%$ z U_n (A) a $\pm 0,5\%$ z U_n (S). Pre 230 V (fázové napätie) to je 0,23 V (A) a 1,15 V (S)
- Ak sa používajú aj napäťové prevodníky je potrebné vykonať kalibráciu spolu s nimi resp. na napäťových úrovniach ekvivalentným výstupom prevodníkov a prevodníky kalibrovať samostatne

Poklesy/Zvýšenia



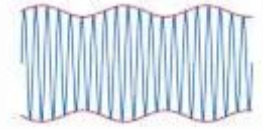
- Dips/Swells
- Požiadavka na najväčšiu dovolenú chybu $\pm 0,2\%$ z U_n (A) a $\pm 1\%$ z U_n (S). Pre 230 V (fázové napätie) to je 0,46 V (A) a 2,3 V (S)
- Poklesy a zvýšenia sa klasifikujú pre časy 10 ms až 60 s
- Ide o funkciu ktorá analyzuje časový priebeh meranej hodnoty napätia,
- Rozsah kalibrácie: pri 5 % až 90 U_n a 110 % až 120 % U_n

Rýchle zmeny napätia



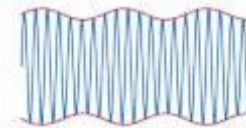
- Rapid voltage changes
- Priemerná hodnota za sledované obdobie neprekročí hranicu na pokles alebo zvýšenie. Sledované obdobie je 100 polcyklov (1s). Vyhodnocuje sa rozdiel medzi dvomi ustálenými priemernými hodnotami napätia
- Ide o funkciu ktorá analyzuje časový priebeh meranej hodnoty napätia, kalibrácia napätia v rozsahu 0,9 až 1,1 Un pokrýva aj túto funkciu.

Miera vnemu blikania



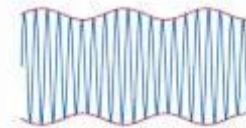
- Flicker
- Popisuje mieru vnemu blikania zdrojov svetla v závislosti od zmien napätia
- Pst (10 min), Plt (2 hodiny) (min. do 1 počas 95 % z týždňa podľa EN 50160)
- Presnosť merania flickru, môže byť závislá od počtu udalostí za minútu CPM, druhu modulácie a fázových rozdieloch medzi sieťovým napätím a moduláciou

Miera vnemu blikania



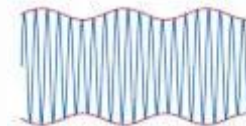
- Kalibrácia sa obvykle vykonáva pri viacerých hodnotách CPM a obdĺžnikovej modulácii pri hodnote $P_{st}=1$.
- Najväčšia dovolená chyba pre P_{st} je 0,05 do $P_{st}=1$ alebo 5 % pre vyššie hodnoty P_{st} (obdĺžniková modulácia)
- Kalibrácia sa vykonáva pre P_{st} alebo P_{lt} ,

Miera vnemu blikania

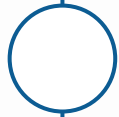


- Metrologické vlastnosti Flickru môžu byť teoreticky ovplyvnené len zmenou linearít merania napätia a meraním času, ale je problematické stanoviť vzťah medzi týmito veličinami vzhľadom k použitému matematickému modelom. Preto je pre poskytnutie dôkazu o plnení požiadaviek praktickejšia kalibrácia priamo v Pst.

Miera vnemu blikania



- Celý rozsah flickru v napätí je rádovo do $\pm 3\%$ od U_n , z čoho vyplýva, že pre meradlá používajú vyššie rozlíšenie napätia do výpočtov flickru ako zobrazujú pri meraní napätia.
- Aby boli kalibrácie porovnateľné musia byť splnené viaceré podmienky (modulácia frekvencia a tvar, synchronizácia medzi signálom a moduláciou)



Prerušenia



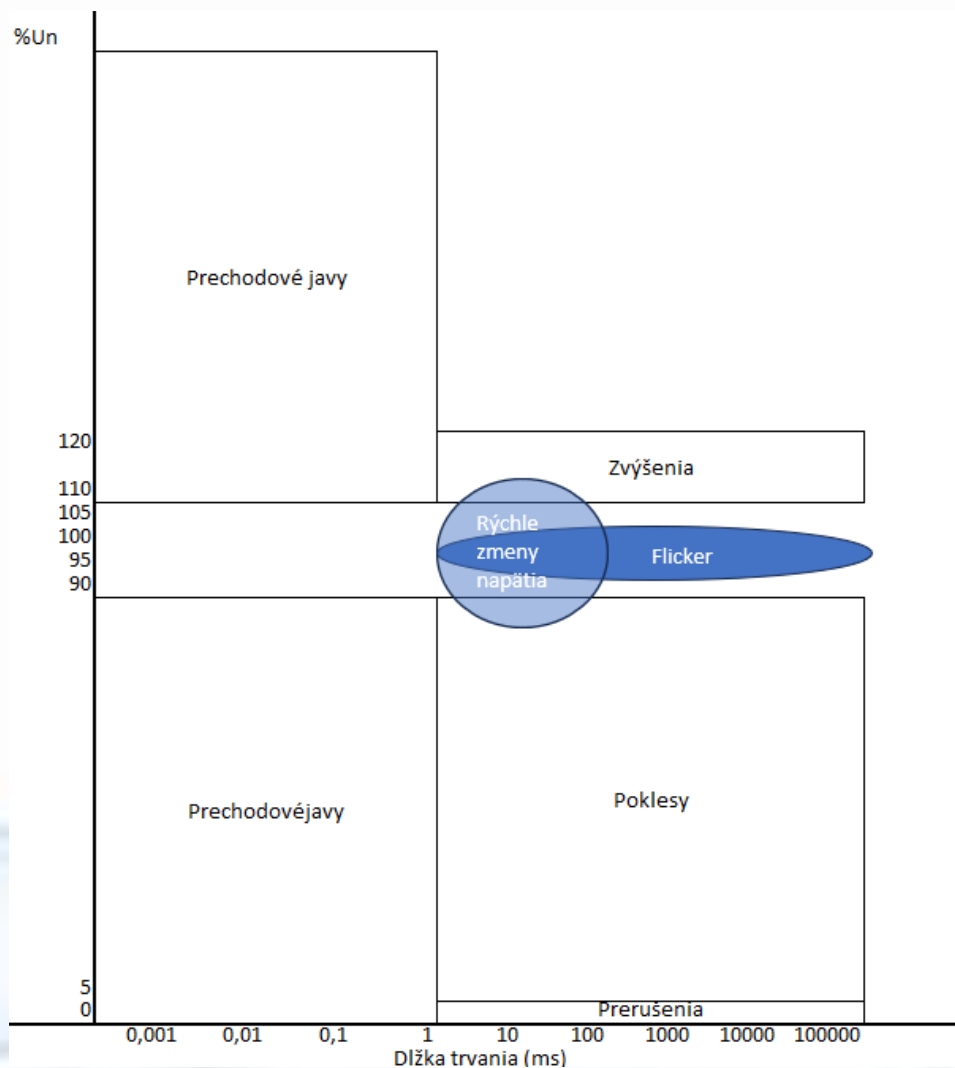
- Zníženie napätia pod 5 % U_n počas min. 10 ms
- Ide o funkciu ktorá analyzuje časový priebeh meranej hodnoty napätia, kalibrácia napätia pri 5 % U_n pokrýva aj túto funkciu.

Prechodové napätia

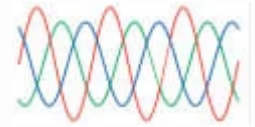


- Trvanie rádovo mikrosekundy až milisekundy
- Ide o výnimočný stav, kalibrácia tejto funkcie nemá praktický význam
- Norma pokladá túto funkciu za užitočnú ale nie povinnú. Kalibrácia preto nie je nutná
- Prístroje častokrát využívajú iné nastavenie meracieho systému aby umožnili zobrazenie niekoľko násobnej impulznej hodnoty ako je rozsah meradla v napätí.

Zmeny napätia (prehľad)

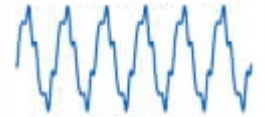


Nesymetria napätia

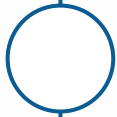


- Metóda symetrických zložiek, definícia zahŕňa spätnú a súslednú zložku, teda nielen rozdiely napätí ale aj fázové rozdiely u_-/u_+ (u_2/u_1)
- Rozsah kalibrácie min. do 2% súslednej zložky
- Najväčšia dovolená chyba 0,15 % pre u_+ a u_0
- Existujú aj iné aproximačné definície
- Nesúmernosť u_0/u_+ (u_0/u_1)

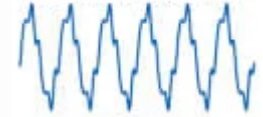
Harmonické napätie



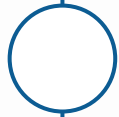
- Rozsah kalibrácie min. do 6 % z amplitúdy 1 harmonickej v závislosti od harmonickej.
- Najväčšie dovolené chyby do 5 % z hodnoty (z hodnoty amplitúdy harmonickej zložky) ak amplitúda harmonického rušenia je väčšia alebo rovná ako $0,01U_n$ a 0,05 % U_n ak amplitúda harmonického rušenia je nižšia ako $0,01U_n$
- Kalibrácia min. do 25tej harmonickej



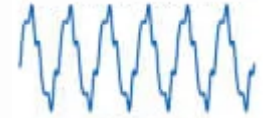
THD



- Total harmonic distortion – Celkové harmonické rušenie
- Rozsah kalibrácie min. do 8 %
- Vyhodnocuje sa zo všetkých harmonických zložiek do 40
- Existuje aj
 - TD – Total distortion
 - THD+N – Total harmonic distortion + Noise

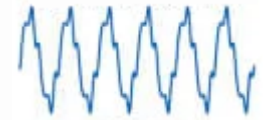


Medziharmonické

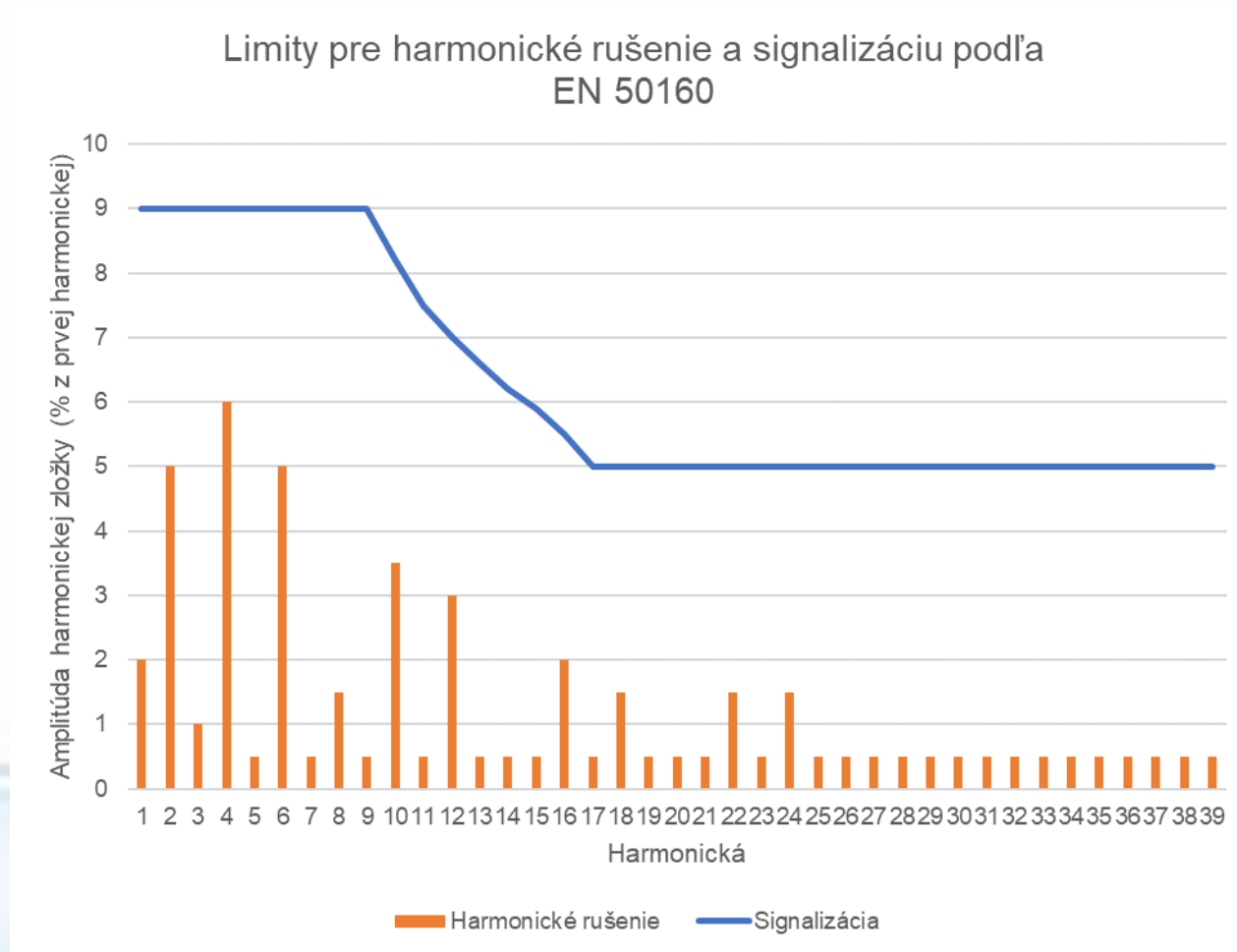
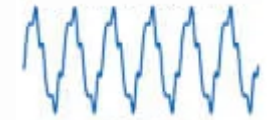
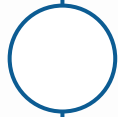


- Rozsah kalibrácie min. do 9 % v závislosti od frekvencie
- Požiadavky na presnosť nie sú stanovené

Signálne napätia v sieti



- Špeciálny prípad medziharmonického „rušenia“
- Najväčšia dovolená chyba
 - Od 1 do 3 % U_n - 0,15 % z U_n
 - Nad 3 % - 5% z meranej hodnoty
- Harmonické riešime len do 2000 Hz. Signálne napätia môžu byť v niektorých prípadoch aj vyššej frekvencie
- Kalibráciu vykonať min. v signalizačných frekvenciách používaných v sieti



Prúd, výkon, energia

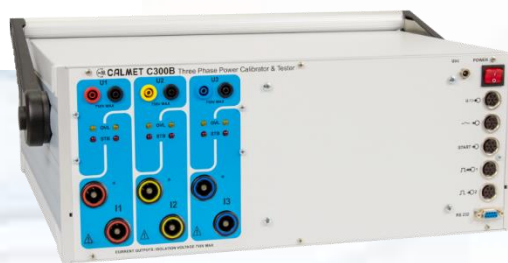
- Hodnoty parametrov kvality sa menia v závislosti od prenášanej energie
- Pri prúde je nutné kalibrovať všetky prevodníky (prúdové transformátory, klieštové sondy, rogowského cievky...)
- Pri kalibrácii výkonu a energie treba zväžiť v akom rozsahu účinníkov sa vykonajú merania (obvykle 0,5L až 0,8C)
- Kalibrácia len prúdu a napätia nenahrádza kalibráciu výkonu resp. energie

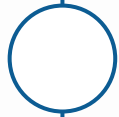
Prúdové vlastnosti

- Hodnoty všetkých parametrov sa dajú určiť aj pre prúd, treba rozlišovať
- Norma definuje hlavne vlastnosti napätia
- Málokteré laboratórium vie poskytnúť nadväznosť pre prúdové vlastnosti

Vybavenie na kalibráciu

- Kalibrátory napätia, prúdu a výkonu a etalóny na meranie elektrickej energie
- Priame meranie výstupu kalibrátora alebo priame porovnanie





Vybavenie na kalibráciu

- Odporúča sa nadväznosť priamo v parametroch kvality
- Je dostupná aj akreditovaná činnosť pre tieto služby
- Kalibrácia len v výkone, prúde a napätí je nedostatočná pre kvalitu

Správna metrologická prax

- Kalibrácia len v meraní napätia pri 50 Hz nie je dostatočná, neposkytuje dostatočné dôkazy o splnení požiadaviek na dovolenú chybu pri niektorých funkciách
- Niektoré parametre sú závislé od fázového uhlu, frekvenčných vlastností signálu, časového trvania, vzorkovania...
- Kalibrácia by mala byť vykonaná hlavne v rozsahu do hranice požadovanej v EN 50160, kalibrácia vyšších hodnôt parametrov kvality obvykle nemá veľkú pridanú hodnotu

Správna metrologická prax

- V niektorých prípadoch môže byť problém model merania – ako merať nesymetriu (nutné definovať)
- Kalibrácia sa obvykle vykonáva s vypnutými agregáciami, ak je to možné
- Kalibrácia je možná po jednotlivých veličinách (obvyklá metóda periodickej kalibrácie)
- Alebo aplikáciou signálu s viacerými veličinami naraz (obvykle len pri typových skúškach)

Správna metrologická prax

- Ak sa používajú prevodníky prúdu alebo napätia je potrebné používať kalibrované prevodníky. Prevodník by mal byť kalibrovaný nielen v hodnote amplitúdy ale aj v fázovom posune. Prevodník by mal mať stanovenú frekvenčnú charakteristiku do min. 2000 Hz.
- harmonické, medziharmonické, THD a flicker sú prakticky relatívne veličiny a prevodník na nich obvykle má minimálny vplyv
- ale v prípade napäťovej nesymetrie je vplyv zásadný aj vo fáze aj v amplitúde.

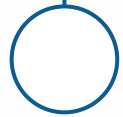
Legislatíva v oblasti

- V SR ak je analyzátor kvality používaný distribučnými spoločnosťami môže byť povinne kalibrovaným meradlom v zmysle Zákona o metrológii a Zákona o energetike.
- Vyžaduje sa akreditovaná kalibrácia pokiaľ ÚNMS nestanoví inak
- Interval kalibrácie si stanovuje samotný používateľ

Slovenská legálna metrológia n.o.

- Overovanie a kalibrácia
- Meranie
- Certifikácia meradiel (NAWI, MID, OIML-CS)
- Metrologické expertízy
- Výskum vývoj v oblasti kalibrácie a merania
- Organizácia porovnávacích meraní

m	Length
L m ³ h ⁻¹	Volume and Flow
kg	Mass
Pa	Pressure
N Nm	Force and Moment of force
°C J	Temperature and Heat
A Hz s	Electric quantities, Frequency and Time
A Hz s	Physical-chemistry quantities
Hp	Official measurement and Dosimetry



Ďakujem za pozornosť