Aktuálne trendy v meraní a analýze kvality elektrickej siete a ich využitie pri návrhu a nasadení aktívne riadených pasívnych filtrov na znižovanie harmonických zložiek napätia v elektrickej sieti

Ing. Peter GARDIAN, Power Grid, s.r.o, Považská Bystrica

Vo všeobecnosti sa kvalita elektrickej siete posudzuje podľa kvality elektrického napätia. V zmysle čo najefektívnejšieho využívania elektrickej energie je možné zhrnúť požiadavky na elektrické napätie do niekoľkých bodov:

- Konštantná frekvencia
- Sínusový priebeh
- Konštantná efektívna hodnota
- Symetria v troch fázach
- Žiadne výpadky
- Vysoká spoľahlivosť

Európska norma EN50160 popisuje vlastnosti elektrického napätia v sieťach nízkeho a vysokého napätia. Z vlastností platných pre nízke napätie môžeme vybrať najdôležitejšie:

- Frekvencia siete (priemerná hodnota meraná počas 10s):
  - ⇒ 50Hz +/-1% počas 95% jedného týždňa
  - ⇒ 50Hz + 4% / -6% počas 100% jedného týždňa
- Výška napätia v trojvodičovej sústave Un=400V medzi fázovými vodičmi, v štvorvodičovej sústave Un=230V medzi fázovými vodičmi a neutrálnym vodičom
- Pomalé zmeny napätia - počas 95% času 10 minútového intervalu U=Un +/- 10%
- Rýchle zmeny napätia – Δu od 5 do 10% niekoľkokrát krátkodobo počas dňa (ak je zmena viac ako -10%, jedná sa o "pokles napätia")
- Flicker počas 95% jedného týždňa Plt<1
- Poklesy napätia Δu >40% pre t<1s, 10- až 1000-krát cez rok, niekedy môžu byť aj dlhšie a častejšie
- Harmonické napätia v zmysle tejto normy sú chápané od druhej harmonickej (100 Hz) do päťdesiatej harmonickej (2500 Hz). Jednotlivé harmonické musia počas 95% času 10 minútového intervalu spĺňať limity pre každú jednotlivú

harmonickú uvedenú v norme. Rovnako celkové harmonické skreslenie napätia THDU musí byť počas tohoto intervalu < 8%

- Interharmonické napätia (neceločíselné násobky základnej harmnickej) nie sú v tejto norme špecifikované
- Krátkodobé prerušenia - 70% všetkých prerušení musí byť menej ako 1 s, pričom celkový počet prerušení je od 10 do 500 za rok a maximálna dĺžka prerušenia môže byť 3 minúty
- Ak je prerušenie dlhšie ako 3 minúty, jedná sa o dlhodobé prerušenie – toto sa môže vyskytovať 10- (štatisticky odsledovaná hodnota) až 50-krát za rok
- Prechodové javy musia byť menej ako 6kV s nárastom počas mikrosekúnd
- Krátkodobé prepätie základnej harmonickej musí byť menej ako 1.5kV

Normy, ktoré hovoria o kvalite elektrickej siete vo všeobecnosti, popisujú vlastnosti elektrickej siete, ktoré by mali zaručiť funkčnosť zariadení napájaných z tejto siete. Nehovorí sa v nich ale nič o tom, aké vlastnosti musí spĺňať zdroj elektrickej energie alebo spotrebič.

Problémy elektrickej siete sa dajú zjednodušene rozdeliť na 2 skupiny – na problémy, ktoré síce nespôsobujú problémy v prevádzke, ale sú penalizované zo strany dodávateľa – napr. jalová energia a na problémy, ktoré nie sú bežne penalizované, ale zákazníkovi spôsobujú rozsiahle škody, resp. znefunkčnenie zariadení.

Druhá skupina problémov sa javí ako vážnejšia, keďže ich neriešenie môže viesť až k nemožnosti prevádzkovať výrobné technológie.

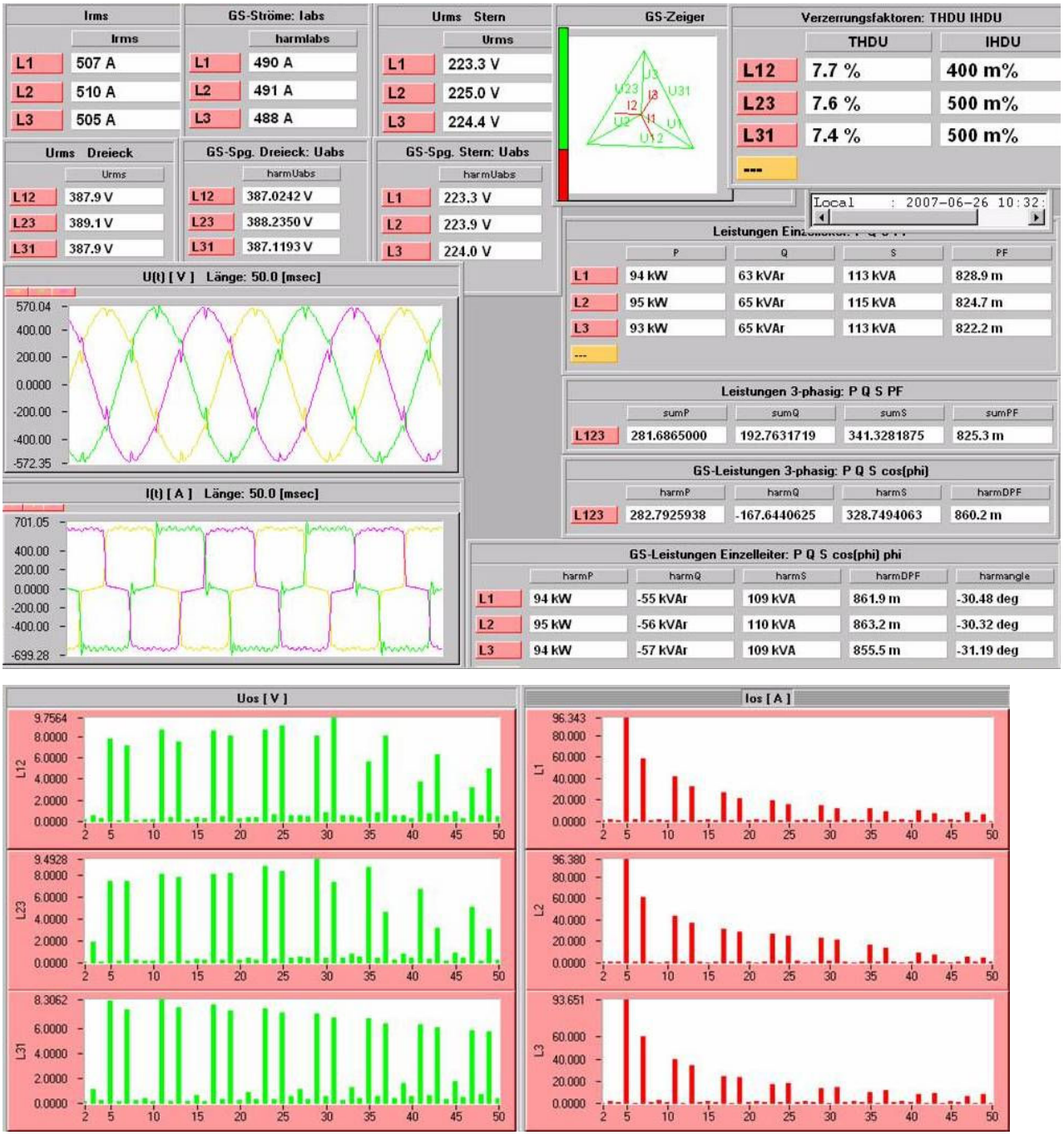
Medzi problémy takéhoto významu možno zaradiť napr.:

- Flicker efekt
- Komutačné prekmity na napätí (comutation notches)
- Vyskofrekvenčné riadiace signály v elektrickej sieti
- Rezonancie
- Vyššie harmonické napätia a prúdy
- Nesymetrická sieť

Treba však povedať, že všetky zmeny vlastností elektrickej siete zvyšujú, či už straty alebo spotrebu zariadení, a tým zvyšujú náklady na elektrickú energiu.

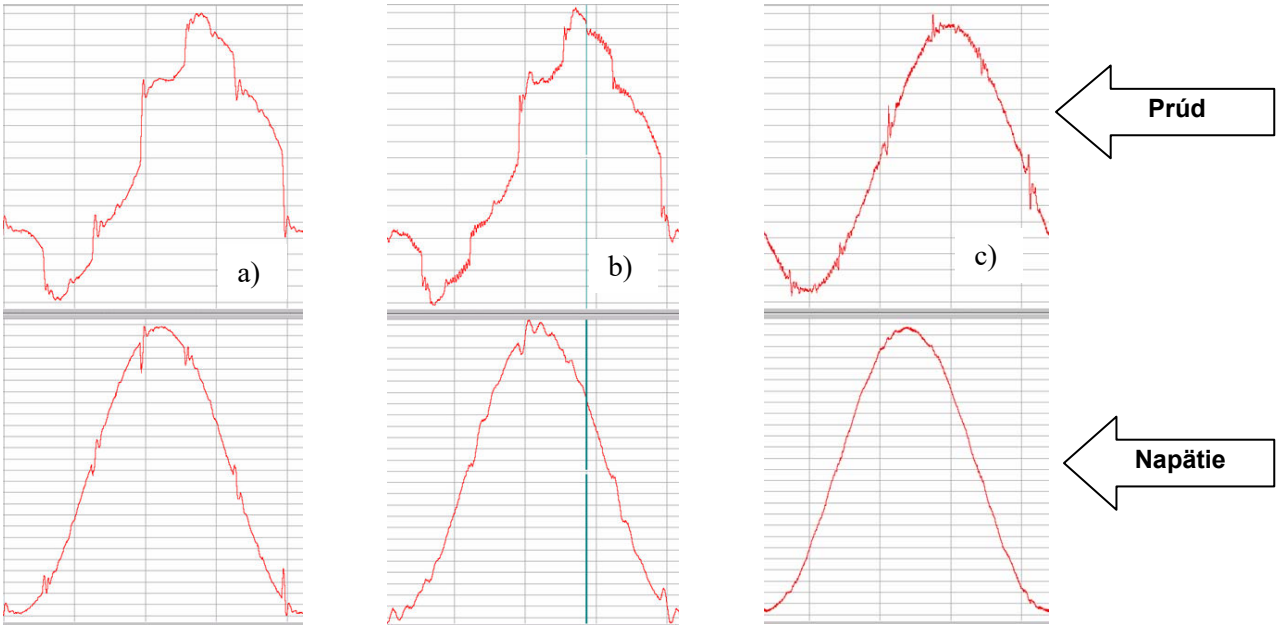
Ďalej treba problémy s elektrickou sieťou rozlišovať medzi tie, ktoré spôsobuje dodávateľ elektrickej energie a tie, ktoré si spôsobujú zákazníci. So skúseností však vyplýva, že problémy s kvalitou elektrickej siete (pokiaľ vylúčime výpadky resp. poklesy elektrického napätia) sú majoritne spôsobované so strany zákazníkov a nie dodávateľov.

Základom správnej identifikácie problému je analýza elektrickej siete. Analýza elektrickej siete dokáže okrem zmonitorovania všetkých výkonových charakteristík elektrickej siete (prúdy, napätia, výkony, účinník...) zmonitorovať aj prítomnosť harmonických napätí a prúdov, harmonické skreslenie napätia a prúdu a flicker. Moderné analyzátory elektrickej siete dokážu všetky merané veličiny zobrazovať, resp. ukladať do pamäte paralelne, čo je pri analýze dát veľmi podstatné, keďže aj zdanlivo nezaujímavé javy môžu významne ovplyvňovať riešenie problému. Na obrázku č. 1 je zobrazený jednoduchý príklad parametrov, ktoré je možné sledovať počas merania. Samozrejme, že pri spracovávaní výsledkov meraní sú k dispozícii všetky vlastnosti premietnuté v časovej osi.



Obrázok č. 1

Zariadenia s nelineárnou VA charakteristikou spôsobujú, že priebeh prúdu v elektrickej sieti nemá ideálny tvar „sínusovky“, ale priebeh ako napríklad na obrázku č. 2a. Pri analýze spektra harmonických by sme zistili, že takéto zariadenie spôsobuje, že prúd odoberaný zariadením nemá len zložku 1. harmonickej (50 Hz), ale aj celý súbor vyšších harmonických prúdov. Harmonické prúdy generujú pri prechode impedanciami harmonické napätia, čiže opäť pri analýze spektra harmonických napätí by sme zistili, že v sieti sa okrem 50 Hz nominálneho napätia vyskytujú aj rôzne hodnoty vyšších harmonických napätí.



Bez filtra
Ostré komutačné prekmity v napätí

S kompenzačnou jednotkou
Vysoké zaťaženie harmonickými prúdmi

S filtrom vyšších harmonických
Čisté napätie

Obrázok č. 2

Harmonické prúdy spôsobujú nárast špičkovej a rovnako efektívnej hodnoty prúdu. Tento nárast vzhľadom na nárast THDI je percentuálne vyjadrený v tabuľke 1.

THDI	0%	33%	39%	44%
Špičková hodnota prúdu	100%	133%	168%	204%
Efektívna hodnota prúdu RMS	100%	105%	108%	110%

Tabuľka č. 1

Keď hovoríme o meraní elektrickej siete nemyslíme tým meranie jedným analyzátorom na jednom mieste. Rozsiahlosť a komplikovanosť elektrických sietí vyžaduje použitie viacerých meracích prístrojov.

Na správne analyzovanie problému siete je bežne je potrebné vykonávať merania:

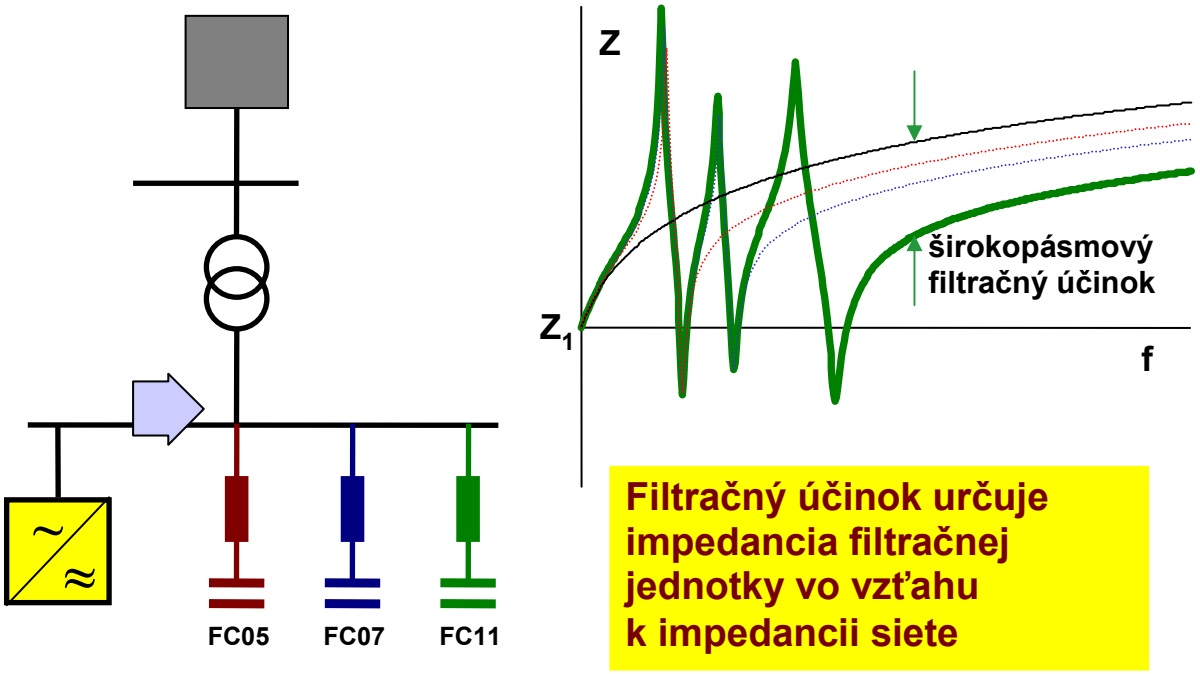
- V blízkosti spotrebiča
- Na kompenzačných / filtračných zariadeniach v sieti

- Na hlavnom ističi danej siete
- Na nadradenej sieti

Len podotknem že aj keď napätia na sieti napájanej z jedného miesta je rovnaké, inštalované meracie zariadenia majú zmysel kvôli sledovaniu prúdových priebehov, z ktorých sa dá identifikovať pôvodca problému, vplyv, resp. príspevok ostatných zariadení a teda navrhnúť vhodné riešenie.

Najčastejším problémom elektrických sieti ktoré si spôsobuje zákazník svojimi zariadeniami je zvýšená hodnota harmonických napätí v sieti. Riešením je filtrácia harmonických prúdov kde sa používajú 2 postupy – aplikácia aktívnych alebo pasívnych filtrov.

Pasívny filter pozostáva z jedného, alebo viacerých filtračných stupňov – kondenzátoru a filtračnej tlmivky, ktoré sú zapojené do série. Každý filtračný stupeň predstavuje pre konkrétnu frekvenciu minimálnu impedanciu, a tým zabezpečuje „odsávanie“ konkrétneho harmonického prúdu zo siete. Schematický náčrt 3-stupňového filtra je na obrázku č. 4.



Obrázok č. 4

Pasívny filter je vždy navrhnutý pre konkrétnu aplikáciu a konkrétnu elektrickú sieť s konkrétnymi spotrebičmi. Z princípu filtra je zrejmé, že ho je možné pomerne jednoducho preťažiť, či už inštaláciou dodatočného spotrebiča, alebo ak sa na sieti objaví neočakávaný harmonický prúd, napr. zo strany dodávateľa elektrickej energie.

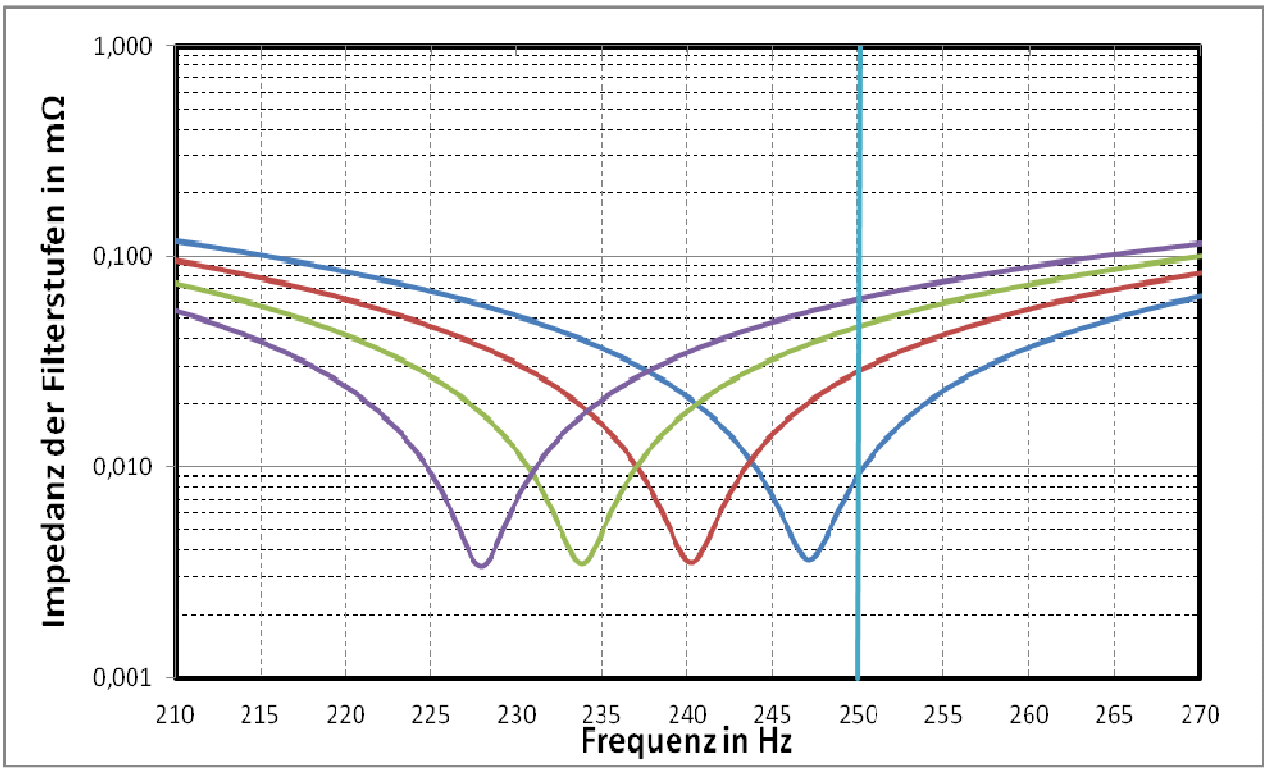
Pasívny filter má vždy inštalovaný aj určitý fixný kompenzačný výkon, čo treba uvážiť pri jeho aplikácii, aby nedošlo k prekompenzovaniu elektrickej siete. Pasívny filter neobsahuje štandardne žiadnu reguláciu ani žiadne meracie zariadenie.

Pasívne filtre majú niekoľko výhod ktoré sú zhrnuté v nasledovnej tabuľke č. 2:

	Aktívny filter (360A 5ta harmonická)	Pasívny filter (360A 5ta harmonická)
Činné straty	8 kW	2 kW
Rýchlosť reakcie	5 ms	Okamžite
Ročné servisné náklady	2.5 % z ceny zariadenia	Zanedbateľné (utiahnutie skrutiek, vyčistenie)
Cena	40.000 Eur	20.000 Eur

Tabuľka č. 2

Zjavná nevýhoda pasívneho riešenia je však jeho neuniverzálnosť – možnosť preťaženia v prípade zvýšenia úrovne harmonických prúdov pri zmene zaťaženia siete. Tento problém je možné odstrániť doplnením filtra o regulačný obvod ktorý v prípade nárastu harmonického prúdu na sieti obmedzí filtračný výkon na nominálny prúd filtra jeho jemným rozladením od nominálnej filtračnej frekvencie – napríklad zapojením dodatočnej kapacity do filtračného obvodu a tým zmenu rezonančnej frekvencie filtračného obvodu. Zmena rezonančnej frekvencie pasívneho filtra 5tej harmonickej (250 Hz) postupným pripájaním kondenzátorov do filtra je znázornená na obrázku č. 5.



Obrázok č. 5

Príklad riadeného pasívneho filtra je na obrázku č. 6. Hlavnými komponentami sú kondenzátory, filtračná tlmivka a riadenie.

Obrázok č. 6