

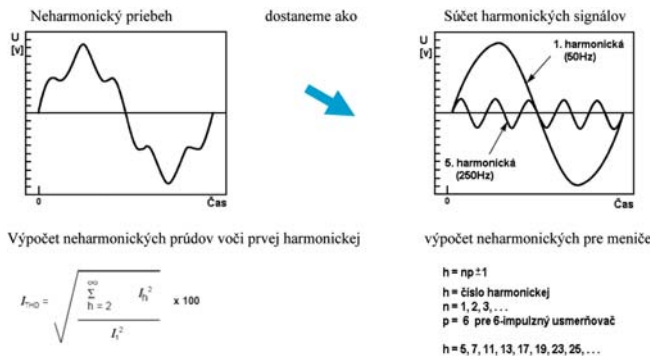


# Využitie aktívnych filtrov v riešeniach VONSCH

**V tomto článku sú predstavené riešenia spoločnosti VONSCH, zamerané na elimináciu negatívnych vplyvov vyšších harmonických prúdov vznikajúcich pri regulácii motorov pomocou meničov frekvencie.**

Vyššie harmonické vznikajú v elektrických sieťach s nelineárnymi prvkami. Ich voltampérová charakteristika spôsobuje, že po pripojení sínusového napätia k tomuto obvodu sa vplyvom nelineárnej charakteristiky zdeformuje pretekajúci prúd. Keďže takýchto nelineárnych spotrebičov sa vyskytuje v sieťach značné množstvo, treba stanoviť nejaké limity deformácie siete vyššími harmonickými. Je to dosť dôležité, lebo vyššie harmonické so sebou prinášajú aj rad problémov prejavujúcich sa na technickom stave zariadení.

Obr. 1 znázorňuje neharmonický signál, ktorý sa dá rozložiť na dva harmonické priebehy.



Obr.1

Pomer súčtu všetkých neharmonických signálov voči prvej harmonickej dáva obraz o tom, ako sa neharmonické signály podieľajú na celkovom neharmonickom skreslení. Zároveň nám čitateľ tohto vzorca dáva informáciu o tom, ako sa zvýši podiel oteplenia (nad prvú harmonickej) od záťaží zapojených v danom elektrickom okruhu. Zaviedol sa tzv. činiteľ harmonického skreslenia THD. Ten môže byť počítaný pre vyššie harmonické prúdov, ale i napätí. Udáva sa v percentách a značí sa pre prúdy ako THD(I) a pre napätia ako THD(U).

Normotvorný proces v EÚ je momentálne nastavený tak, že stanovuje dovolené hodnoty harmonických napätí a prúdov s ohľadom na typ prevádzky, prostredie, v ktorom sa elektrické zariadenia nachádzajú, a dokonca pre určité spotrebiče stanovuje priamo veľkosť jednotlivých harmonických prúdov, ktoré môžu vytvárať.

**Najdôležitejšie normy týkajúce sa vŕ rušenia zariadení a rušenia vyššími harmonickými:**

- a) **VF rušenia do napájacej siete:** Toto rušenie vytvárajú všetky zariadenia pripojené k elektrickej sieti, ktoré obsahujú regulačný alebo radiaci prvok. V našom prípade pre meniče frekvencie ide o tranzistory IGBT, pomocné spínané zdroje napájané z DC obvodu atď. Normy zaoberajúce sa týmto rušením v technike meničov sú: STN EN 61 800-3 (táto norma vychádza z platnej medzinárodnej normy IEC 1000-2, čl. 1 až 6).
- b) **Vyššie harmonické:** Tie sa vytvárajú najmä na nelinearitách pripojených spotrebičov. Normy pre vyššie harmonické sú rozdelené na normy pre vyššie harmonické zariadení, ktoré ich vytvárajú, a na vyššie harmonické distribučných sietí, kde treba dodržiavať ich limity.

- ba) Vyššie harmonické zariadení – meniče frekvencie STN EN 61000-3-12 (pre prúdy meničov do 75 A). V niektorých krajinách (USA, Švajčiarsko a pod.) sú limity prúdov vyšších harmonických nad 75 A definované národnou normou. STN EN 61000-3-4 (pre prúdy meničov nad 75 A)
- bb) Vyššie harmonické distribučných (rozvodných) sietí STN EN 61000-2-4 medze rušivých napätí vychádza z IEC 1000-2-4. EN50160 opisuje, aké musia byť vlastnosti elektrického napätia v sieťach nízkeho a vysokého napätia.

Z vlastností platných pre nízke napätie môžeme vybrať najzaujímavejšie:

- Frekvencia siete (priemerná hodnota meraná počas 10 s): 50 Hz ± 1 % počas 95 % jedného týždňa, 50 Hz + 4 %/- 6 % počas 100 % jedného týždňa.
- Výška napätia v trojvodičovej sústave Un = 400 V medzi fázovými vodičmi, v štvorvodičovej sústave Un = 230 V medzi fázovými vodičmi a neutrálnym vodičom.
- Rýchle zmeny napätia - Δu od 5 do 10 % niekoľkokrát krátkodobou počas dňa (ak je zmena viac ako -10 %, ide o „pokles napätia“).
- Poklesy napätia Δu > 40 % pre t < 1 s, 10- až 1 000-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 (2 500 Hz). Jednotlivé harmonické musia počas 95 % času 10-minútového intervalu spĺňať limity pre každú jednotlivú harmonickej uvedenú v norme. Rovnako celkové harmonické skreslenie napätia THD(U) musí byť počas tohto intervalu < 8 %.

**Následky existencie vyšších harmonických**

**Zvýšenie tepelných strát**

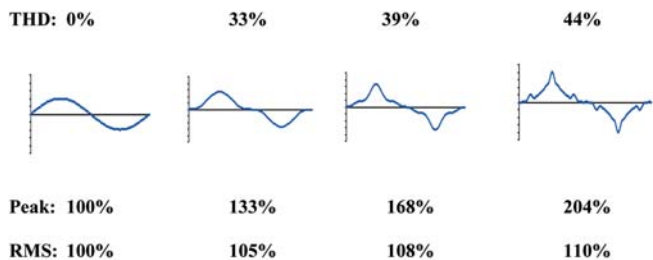
Činný tepelný výkon je daný ako súčin odporu elektrického obvodu so štvorcem pretekajúceho prúdu:

$$P_s = R \times I^2$$

Ak do tohto vzorca dosadíme skutočný prúd vrátane vyšších harmonických, dostaneme:

$$P_{sc} = R \times (I_1^2 + \sum I_h^2)$$

Z tohto vzorca vidieť, že k celkovým tepelným stratám P<sub>sc</sub> sa okrem príspevku od prvej harmonickej pripočítajú aj príspevky od jednotlivých



- Zvýšenie špičkovej hodnoty
- Zvýšenie RMS (efektívnej) hodnoty

Obr.2

vyšších harmonických. Aby sme si názorne ukázali, čo to znamená, použijeme grafické zobrazenie, ktoré ilustruje obr. 2.

### Existencia SKIN efektu

Táto fyzikálna vlastnosť vodičov hovorí o tom, že prúd, ktorý prechádza vodičom, je v celom jeho priereze „dopravovaný“ len pri jednosmernom prúde. Ak vodičom preteká striedavý prúd, situácia sa mení, a to tak, že elektróny (nosiče prúdu) sú vytláčané k povrchu vodiča, a to tým intenzívnejšie, čím je vyššia frekvencia pretekajúceho prúdu. Z uvedeného vyplýva skutočnosť, že v prípade výskytu veľkého množstva vyšších harmonických, najmä vyššieho rádu, bude vodič oveľa viac namáhaný len na okraji svojho prierezu, čo samozrejme pri nepriaznivých ochladzovacích podmienkach môže viesť k jeho deštrukcii, prípadne k rýchlejšiemu starnutiu izolácie.

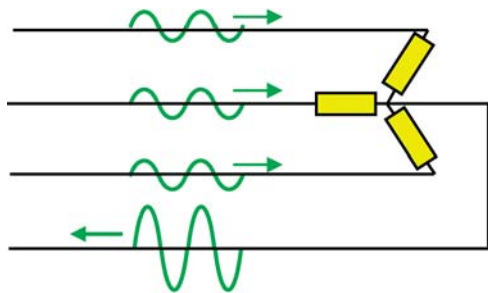
### Problémy s motormi

Pri motoroch môže nastať už spomínaný tepelný efekt, čo sa v konečnom dôsledku prejaví jeho deštrukciou, starnutím vinutia, ale môžu nastať aj problémy s chvením rotorov, vzhľadom na to, že vyššie harmonické preniknú do statorového vinutia. Je paradoxom, že práve motory umiestnené ďalej od zdroja vyšších harmonických budú trpieť viac ako motor napájaný z nejakého riadeného usmerňovača či meniča.

### Nárast prúdu nulovým vodičom

#### – najmä násobky tretej harmonickej

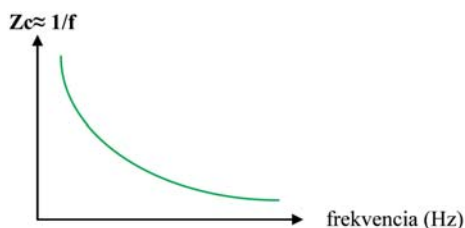
Z obr. 3 vidieť, že súčtom okamžitých hodnôt „vzniknutej“ tretej harmonickej v sústave dostaneme vysoký prúd tejto tretej harmonickej nulovým vodičom pri spotrebičoch, ktoré ho používajú.



Obr.3

### Rezonancie obvodov a preťaženie kompenzačných jednotiek, pasívne filtre

Tento problém nastáva pri nevhodnej aplikácii ochrán pred vyššími harmonickými a je podmienený viacerými faktormi, medzi ktoré patrí napr. skratová odolnosť zdrojov, zložitosť napájacej sústavy a jej prepájanie na VN strane a pod. Náchylnosť na vznik rezonancií podporujú samotné filtre vyšších harmonických, kompenzačné jednotky s nevhodným dimenzovaním a nesprávnym umiestnením či pripájanie ďalších zariadení do sústavy bez potrebných prepočtov siete a znalostí. Pri kompenzačných jednotkách najmä staršieho typu môže nastať problém ich preťaženia až po deštrukciu. Je to spôsobené najmä tým, že impedancia kondenzátora s frekvenciou klesá a pri výskyte harmonických vyššieho rádu kondenzátor pre tieto frekvencie predstavuje „skrat“. Ochrana kompenzačného kondenzátora sa realizuje pomocou tlmivky s vhodným komutačným napätím.



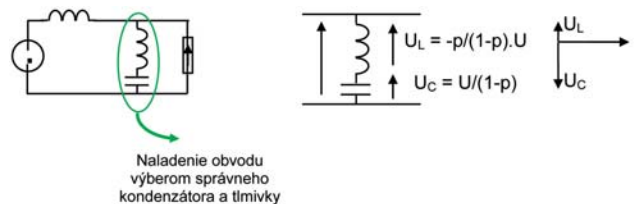
Obr.4

Hodnota tlmivky (p) vyjadrená v %

$$Z_{L(50Hz)} = p \times Z_{C(50Hz)}$$

Pri výpočte treba zväžiť aj fázorové natočenie napätí – kontrolovať napr. kondenzátor  $U_c$ .

Napr. pre 5 harmonickú je tlmivka naladená pod 250 Hz na 189 Hz kvôli ochrane vlastného kondenzátora.



Obr.5

Treba si uvedomiť, že kompenzačné jednotky neslúžia na filtráciu vyšších harmonických, aj keď ich, samozrejme, znižujú. Na filtráciu vyšších harmonických pasívnym spôsobom slúžia napríklad TRAP filtre ostro naladené na danú harmonickú alebo kombinácia sériových indukčností zaradených priamo do cesty zariadeniu, ktoré vyššie harmonické generuje, prípadne dolnopriepustné alebo širokopásmové tzv. Matrix filtre. Obmedzením ich použitia je rozmer a dokonalá znalosť aplikácie, kde budú použité.

### Aktívne filtre

Medzi prostriedky slúžiace na zníženie vplyvu vyšších harmonických patria:

- výroba zariadení s už priamo zabudovanými filtermi,
- dodatočná montáž filterov.

### Výroba zariadení s už priamo zabudovanými filtermi

Jednou z možností je výroba zariadení, ktoré už majú zabudované filtre a produkujú len dovolené veľkosti vyšších harmonických. Väčší dôraz treba klásť na problematiku výpočtov pri aplikácii takýchto filterov pre menšie frekvencie vyšších výkonov. Tu treba pre správny návrh filterov poznať skratovú odolnosť siete na mieste pripojenia, zväžiť vplyvy ostatných zariadení pripájaných k tomuto miestu, poznať stav kompenzačných jednotiek a ich spínací algoritmus (rezonancie) a pod. Spoločnosť VONSCH k uvedenej problematike pristupuje zodpovedne a seriózne sa snaží informovať zákazníkov, že problém vyšších harmonických je na „svete“ a treba ho riešiť. V rámci tejto činnosti realizuje tím odborníkov VONSCH u zákazníkov komplexné merania siete pred vlastnou dodávkou meničov. Potom sa dá rozhodnúť, akým smerom postupovať, či už kúpou meničov so zabudovanými filtermi (aktívne, pasívne, s riadeným usmerňovačom a pod) alebo riešením „zvonku“ dodávkou aktívnych filterov pre nové alebo existujúce zariadenia. Veľmi elegantným riešením, ktoré uvedeným problémom predchádza, je použitie meniča frekvencie s riadeným usmerňovačom, ktorý z princípu nevytvára vyššie harmonické a odoberá zo siete len 1. harmonickú prúd. Zároveň aj  $\cos \varphi$  možno udržiavať na hodnote 1 a zo svojho princípu umožňuje prácu vo všetkých 4. kvadrantoch. Naša spoločnosť disponuje uvedeným typom meniča pod označením QUATROFREM.

### Dodatočná montáž filterov

Dodávka a montáž zariadení, ktoré znížia, resp. maximálne eliminujú existujúce vyššie harmonické v sústavách. Tieto zariadenia môžu byť dodané ako pasívne filtre so všetkými výhodami (cena) a nevýhodami (problematické vyladenie, rozmery) alebo ako aktívne filtre.

### Aktívne filtre

Aktívne filtre sú moderné prístroje s využitím najnovšej výpočtovej techniky, ktorá umožňuje reguláciu on-line s automatickým nastavovaním kompenzačného pomeru pre jednotlivé harmonické. Zapájajú sa paralelne k zdroju rušenia vyššími harmonickými a ich činnosť je založená na meraní skutočného prúdu a napätia voči nulovému vodiču do sústavy s následným vytvorením takého prúdového priebehu, ktorý by odfiltroval vznikajúce harmonické. Na trhu sa vyskytujú aj aktívne filtre s manuálnym nastavením harmonických, čo v prevádzkach s vysokou dynamikou zmien záťaží môže viesť k nesprávnemu kompenzovaniu.

V spoločnosti VONSCH sa za spolupráce s vysokou školou a zahraničnými firmami zaoberajúcimi sa touto problematikou podarilo vyvinúť filter on-line s automatickým nastavovaním kompenzácie harmonických do 50 rádu.

Hlavné výhody aktívneho filtra sú:

- filtruje až do rádu 50. harmonickej,
- filtruje harmonické s nulovou zložkou (zero-sequence; 3., 9., ...) v neutrálnom vodiči,
- možnosť individuálneho riadenia a nastavovania pre každú harmonickú,
- možná kompenzácia jalového výkonu v širokom rozsahu  $-\cos \varphi$  (induktívneho aj kapacitného charakteru),
- funkcia vyváženia záťaže,
- nevyžaduje podrobnú analýzu siete,
- nedá sa preťažiť,
- necitlivý na zmenu sieťových parametrov (napr. paralelný chod transformátorov, prevádzku generátorov).

Problematika vyšších harmonických je v súčasnosti populárna pre celosvetovú snahu znižovať negatívne rušenie, ktorá sa prejavuje v stále prísnejších normách. Inžinieringová a výrobná spoločnosť VONSCH tiež prispieva k zníženiu negatívnych vplyvov vyšších harmonických svojimi technickými riešeniami. Kvalifikovaný prístup k eliminácii vyšších harmonických jednotlivých zariadení a sietí by mal zohľadňovať všetky výhody i možné úskalía jednotlivých metód eliminácie vyšších harmonických. Jedným z najprofesionálnejších riešení je použitie aktívnych filtrov, vďaka ktorým získavajú zákazníci okrem splnenia noriem v oblasti vyšších harmonických aj ďalšie výhody, napr. kompenzáciu jalového výkonu, resp.  $\cos \phi$ , kompenzáciu nulovej zložky aktívnych filtrov a pod. Hlavnou výhodou aktívnych paralelných filtrov je možnosť ich paralelného radenia v prípade zvýšenia elektrickej záťaže siete ďalšími novými prístrojmi – spotrebičmi.



**VONSCH, s. r. o.**

**Ing. Pavol Šperka**  
**Budovateľská 13, 977 03 Brezno**  
**Tel.: 048/671 30 21 – 26**  
**Fax: 048/671 30 20**  
**e-mail: [vonsch@vonsch.sk](mailto:vonsch@vonsch.sk)**  
**<http://www.vonsch.sk>**

11