

# Harmonické napätie v sieti? Nežiaduce!

## Zníženie spätného pôsobenia do siete

**Aby sa udržala kvalita napätia verejnej elektrickej siete aj v ďalších rokoch na doteraz vysokej úrovni, sú potrebné určité zásahy. Kvalita výrobku „elektrický prúd“ pritom, ako pri iných produktoch, nezávisí iba od kvality jeho výroby, ale do značnej miery aj od samotného zákazníka.**

Ak prv boli prístroje dimenzované veľkorysejšie a počítalo sa s dodatočným zabezpečením a rezervami, dnes stojí v popredí schopnosť ponúknuť spotrebiteľovi čo najmenšie, najľahšie a najmä čo najlacnejšie prístroje. To možno dosiahnuť s využitím moderných súčiastok. Možno sa však tiež zamerať na medzné hodnoty povolené normami, príp. nekompromisne využiť aj „medzery“ v normách.

Rastúce zaťaženie rozvodných sietí harmonickými je dôsledkom rozširujúceho sa používania elektronických prístrojov. V oblasti malých výkonov môžu byť príčinou tohto javu počítače, monitory, televízory, úsporné žiarivky alebo sieťové adaptéry, v oblasti vyšších výkonov súčasti riadenia motorov – meniče frekvencie a zdroje neprerušiteľného napájania (UPS). Domácnosti v Českej republike sú dnes väčšinou vybavené televízormi, rádioprijímačmi i počítačmi (podľa ČSU bolo v roku 2004 inštalovaných 125 televízorov a 36 počítačov na 100 obyvateľov), aj používanie úsporných žiariviek je bežné. Uvedené čísla nezahŕňajú kancelárie, správne úrady ani firmy. Čo sa tý-

ka vyšších výkonov, ide o zdroje rušivého signálu najmä v technológiách budov, kde sa na dosiahnutie komfortu a úsporu energie pri vykurovaní, vetraní a klimatizácii stále častejšie používajú meniče frekvencie. V priemysle musia byť na zabezpečenie vysokých požiadaviek na kvalitu a optimálne vyťaženie strojov a zariadení všetky výrobné procesy plynulo regulovateľné, dnes najčastejšie opäť meničmi frekvencie.

### Nežiaduce vedľajšie účinky

Nežiaducim vedľajším produktom všetkých uvedených prístrojov sú tzv. harmonické. V 50 Hz sieťach využívaných v ČR pritom obvykle vznikajú kmitočty 150, 250 a 350 Hz, v menšej miere ešte vyššie; tie sa v odbornom žargóne označujú ako 3., 5. alebo 7. harmonická. Pri použití jedného prístroja nie sú účinky na napätie v sieti veľké. Citelné zaťaženie, ktoré prostredníctvom impedancie siete ovplyvňuje napätie, je až výsledkom rozširujúceho sa používania spomenutých prístrojov. Tento stav bude v dohľadnom čase pretrvávať,

a preto sa dodržiavanie obhájtiteľných zaťažení snažia zabezpečiť normy, napr. EN 50160, EN 61000-2-2, EN 61000-2-4, EN 61000-3-2, EN 61000-3-12. Spätné pôsobenie do siete generované meničmi frekvencie má rôzny charakter v závislosti od použitého zapojenia na vstupe. Na strane siete možno očakávať tento celkový obsah harmonických, presnejšie povedané činiteľ THD (Total Harmonic Distortion, celkové harmonické skreslenie):

- jednofázové (dvojjmpulzné) usmerňovače B2 80 až 120 %,
- trojfázové (šesťimpulzné) usmerňovače B6 80 až 100 %,
- trojfázové (dvanásťimpulzné) usmerňovače B12 10 až 15 %.

Odoberaný prúd usmerňovacieho obvodu B2 s vyhladzovaním kapacitným filtrom, ktorý sa väčšinou používa pri jednofázových prístrojoch na striedavý prúd s výkonomi asi do 2 kW, obsahuje jalový prúd v hodnote nutného činného prúdu a všetky nepárne harmonické. Takéto prístroje odoberajú zdanlivý prúd dvojnásobnej veľkosti, ako možno podľa činného výkonu predpokladať. Usmerňovací obvod B6 s vyhladzovaním kapacitným filtrom, ktorý sa väčšinou používa pri prístrojoch na trojfázový prúd a meniče frekvencie s jednoduchou konštrukciou s výkonomi od 1 kW vyššie, produkuje ešte ďalší harmonický prúd, ktorého veľkosť sa navyše blíži činnému prúdu.

### Zníženie spätného pôsobenia do siete

Aby sa príliš nezhoršovala kvalita napätia v sieti, možno na zmenšenie, zamedzenie alebo kompenzáciu harmonických prúdov produkovaných prístrojmi a zariadeniami použiť rôzne metódy. Tieto metódy možno individuálne využívať pri jednotlivých prístrojoch alebo pri zariadení ako celku. Jednoznačne dať prednosť jednému z riešení možno iba s ohľadom na konkrétny prípad použitia a podmienky daného zariadenia. Potlačenie harmonických prúdov na primárnej strane možno dosiahnuť rôznymi zapojeniami transformátorov. Projektovanie a realizácia potrebnej metódy sú vecou používateľa. Už zapojenie distribučného transformátora DYN 5 potláča všetky harmonické deliteľné tromi v primárnom vinutí. Trojvinutový transformátor so sekundárnym



**Obr.1** Meniče frekvencie Danfoss VLT vybavené indukčnosťou v medziobvode na efektívne potlačenie harmonických prúdov



zapojením D a Y navyše potláča 5., 7., 17., 19. atď. harmonickú. To funguje aj pri paralelnom zapojení sieťových transformátorov s rôznymi zapojeniami. Potlačenie harmonických v inštalácii využitím súčtu harmonických jednotlivých prístrojov možno doceliť zmiešanou prevádzkou rôznych zdrojov harmonických. To je napr. prípad súčasného použitia usmerňovacích obvodov B2 a B6. Pri kombinácii harmonických s rovnakou veľkosťou, ale opačnými fázami alebo ak sa súčet ich priebehov blíži sínusoide, bude celkový súčet harmonických nižší a súčasne sa zlepšia hodnoty faktora nazývaného true power factor, tzv. skutočného účinníka  $\lambda$ . Výsledok závisí od rovnomerného rozdelenia výkonov oboch skupín.

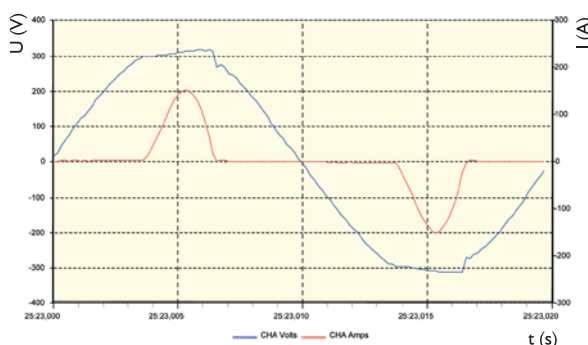
V oblasti vyšších výkonov sa často používajú viacimpulzné usmerňovače, pretože v závislosti od počtu impulzov (12, 18 alebo 24) produkujú menej harmonických. Činiteľ celkového harmonického skreslenia vstupného prúdu THD v dvanásťimpulznom usmerňovači je v závislosti od prevádzkového stavu asi 8 až 15 %, v osemnásťimpulznom usmerňovači približne 4 až 10 %. Spomenuté riešenia sa v minulosti často používali, pretože táto konštrukcia je technicky dosť jednoduchá a pretože nimi možno v prípade, že usmerňovače nie sú rôzne vyregulované, dosiahnuť veľmi značné zníženie harmonických. Nevýhodou týchto riešení je prácnosť, nákladnosť a potreba miesta na jeden alebo viac špeciálnych sieťových transformátorov, ďalšia kabeláž a náročnejšie zapojenie na vstupe meniča frekvencie.

Impedancia siete ovplyvňuje napätové skreslenie v PCC (Point of Common Coupling, spoločný napájací bod). Čím nižšia je impedancia, teda čím stabilnejšia (tvrdšia) je sieť, o to menší vplyv budú mať harmonické prúdy na napätie. V praxi možno zmenou výkonu transformátora a voľbou vedenia výrazne ovplyvniť zaťaženie harmonickými v PCC. Napríklad použitím transformátora s dvojnásobným výkonom možno THD napätie v PCC znížiť takmer o polovicu.

Veľmi jednoducho možno harmonické prúdy znížiť indukčnosťou. Možno ich totiž vložiť ako trojfázovú striedavú tlmivku pred menič frekvencie alebo ako jednosmernú tlmivku do jednosmerného medziobvodu. Jednosmerná tlmivka dosahuje pri rovnakých indukčných hodnotách vyššiu účinnosť a je menšia a ľahšia, nemožno ju však dodatočne osadiť ako striedavú tlmivku. Prostredníctvom indukčnosti možno dosiahnuť tieto činitele harmonického skreslenia prúdu THDI:

- bez indukčnosti 80 %
- pri 4 % AC indukčnosti 37 %
- pri 4 % DC indukčnosti 31 %

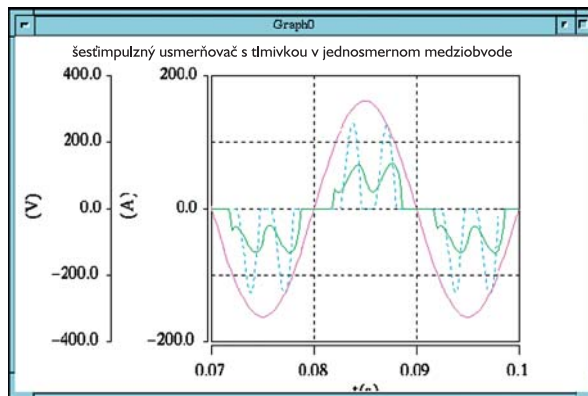
Alternatívou je použitie pasívnych filtrov, ktoré sa nedávno objavili na trhu a zaradili sa medzi „nulové opatrenia“ a technické riešenia „high end“. Ich účinnosť je výrazne vyššia, než aká sa dosahuje len so samotnou indukčnosťou, navyše umožňujú veľké zníženie harmo-



Obr.2 Typický odber prúdu usmerňovača B2

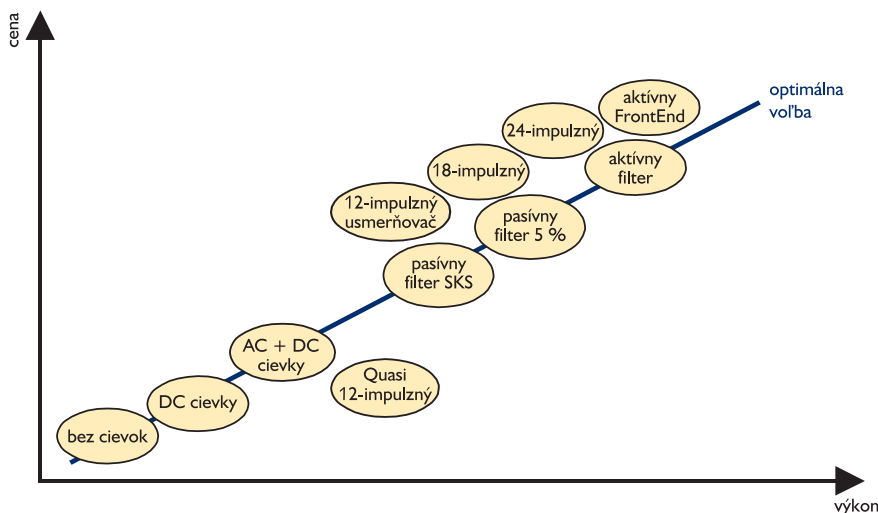
základný prúd	38,6 A
THD	102 %
efektívny prúd	55,8 A
5. harmonická	30,4 A
7. harmonická	22,6 A
11. harmonická	10,0 A
13. harmonická	5,1 A

s tlmivkou v DC medziobvode	
základný prúd	36,2 A
THD	42,5 %
efektívny prúd	39,4 A
5. harmonická	12,9 A
7. harmonická	7,0 A
11. harmonická	3,0 A
13. harmonická	2,1 A



Obr.3 Odber prúdu usmerňovača B6

základný prúd	36,5 A
THD	114 %
efektívny prúd	41,8 A
3. harmonická	30,5 A
5. harmonická	23,0 A
7. harmonická	14,2 A
9. harmonická	6,1 A
11. harmonická	2,4 A
13. harmonická	2,1 A



Obr.4 Pomer ceny a výkonu jednotlivých riešení na zníženie harmonických prúdov

nických pri relatívne nízkych nákladoch. Tieto filtre možno použiť individuálne pre jednotlivé prístroje alebo priradiť zariadeniu ako celku. Možno nimi získať činitele celkového harmonického skreslenia THD v rozsahu 5 až 10 %, pri zlomku nákladov teda dosahujú hodnoty ako dvanásť- alebo osemnásťimpulzné usmerňovače. Bezproblémové je aj neskoršie dodatočné vybavenie týmito filtermi (aj pre niekoľko meničov frekvencie na jednom filteri).

Filtre – frekvenčné priepustky, ktoré pri stanovenej frekvencii predstavujú veľmi nízky vnútorný odpor a tým pre túto frekvenciu takmer skrat, v podstate akoby „odsávajú“ harmonické s danou frekvenciou zo siete; ich zaradenie je bežnou možnosťou, ako premeniť obsiahnutú energiu na tepelný výkon.

Keďže ich použitie vyžaduje veľmi presné znalosti pomerov v sieti, nejde o jednoduché všeobecné riešenie, a treba ho vyhradiť len na špeciálne prípady. Slabším variantom frekvenčného priepustu môže byť chránená kompenzačná stanica (kompenzátor jalového prúdu doplnený tlmivkou), ktorá ako vedľajší efekt regulácie  $\cos \varphi$  umožňuje v malej miere aj redukciu vopred naladených harmonických.

Dnes sa ako riešenia ponúkajú aktívne usmerňovače meničov, pretože súčasné výkonové polovodiče (napr. IGBT) umožňujú konštruovať elektronické vstupné obvody s rýchlym spínaním, ktoré nahrádzajú tradičnú diódovú usmerňovač. Tieto obvody vynucujú odber prúdu s veľmi nízkymi harmonickými prúdmi v dolnom rozsahu frekvencií. Na to sa použi-



va sieťový striedač, ktorý pracuje s vysokou taktovacou frekvenciou (systém PWM ako v striedači). Nevýhodou spomenutých riešení sú vysoké náklady v oblasti vyšších výkonov, nemožnosť dodatočného vybavenia, taktovanie vo vyššom rozsahu frekvencií a tým vznikajúce zaťaženie sieťového napätia v rozsahu 4 až 10 kHz. Tu sa vedome využíva norma, keďže pre oblasť od 2 kHz vyššie v normách doteraz neboli stanovené žiadne limitné hodnoty. Vplyvy na zaťaženie napätia v sieti sa tu prejavujú v budúcnosti.

Aktívne filtre pracujú s elektronickým meničom na vstupe. Merajú súčasné spektrum harmonických prúdov a nadväzne emitujú do siete to isté spektrum prúdov s pootočením fázy o 180°. Tým vzniká efekt potlačenia harmonických. Pri správnom dimenzovaní filtra možno dosiahnuť činiteľ celkového harmonického skreslenia < 2 %. Keďže sú tieto filtre drahé, často sa používajú ako centrálny filter pre niekoľko spotrebičov. Tu treba mať na zreteli vyššiu taktovaciu frekvenciu, ktorá zaťažuje sieť (nemožno zabudnúť na filtráciu takýchto zariadení na rádiových frekvenciách – nevyhnutnosť nasadiť filter RFI na filter!).

### Výhľad

Znížiť spätné pôsobenie meničov frekvencie do siete bude v budúcnosti možné s využitím viac alebo menej náročných či nákladných riešení. Keďže ich účinnosť väčšinou rastie úmerne s potrebou materiálu a miesta, s hmotnosťou a nákladmi, treba hľadať čo najrozumnejšie riešenie. Realizovať ho možno u dodávateľa energie, prevádzkovateľa zariadenia alebo u výrobcu prístroja. Zodpovednosť za to, že napätie v sieti nebude príliš zaťažované harmonickými, je vecou projektantov zariadenia, projektových kancelárií, elektrorozvodných závodov a elektrotechnických odborníkov. Táto úloha je spojená so znalosťou príslušných noriem aj so zodpovednosťou za ich dodržiavanie. Aby bolo možné túto úlohu zodpovedne plniť, treba, aby výrobcovia prístrojov poskytovali alebo uverejňovali informácie o ich spätnom pôsobení do siete alebo ponúkali možnosti riešenia. Navyše je potrebná značná dávka odborných vedomostí.

[Materiály firmy Danfoss]

**Danfoss, s. r. o.**

Továrenská 49  
953 36 Zlaté Moravce  
Tel.: 037/640 62 86  
Fax: 037/640 62 90  
<http://www.danfoss.sk>

