

Kompenzácia vyšších harmonických

Ing. Ľudovít Ukropec, DTW Bratislava, zastúpenie MGE UPS SYSTEMS

O fenomén posledných dekád – problematika prúdov vyšších harmonických v elektrických inštaláciách stále rastie záujem. Spoločnosť sa musí prispôbiť existencii zložiek vyšších harmonických v elektrickom napájaní, spôsobených obrovským rozvojom výkonovej elektroniky. Len v počítačovom a telekomunikačnom sektore je nárast v projekcii viac ako 10% ročne. Tieto sektory produkujú a využívajú elektronické zariadenia, ktorých obvody vyžadujú jednosmerné napätie. Toto vysvetľuje, prečo napájacie zdroje inštalované v týchto zariadeniach pozostávajú z usmerňovača na vstupe, ktorý generuje rušenie na vstupe, nazývané prúdy vyšších harmonických.

V tomto vstupe uvádzame základný, krátky a dobre ilustrovaný pohľad na vyššie harmonické, za účelom ich pochopenia a komplexné problémy, ktoré spôsobujú v elektrických inštaláciách.

bližšie aspekty prúdov vyšších harmonických

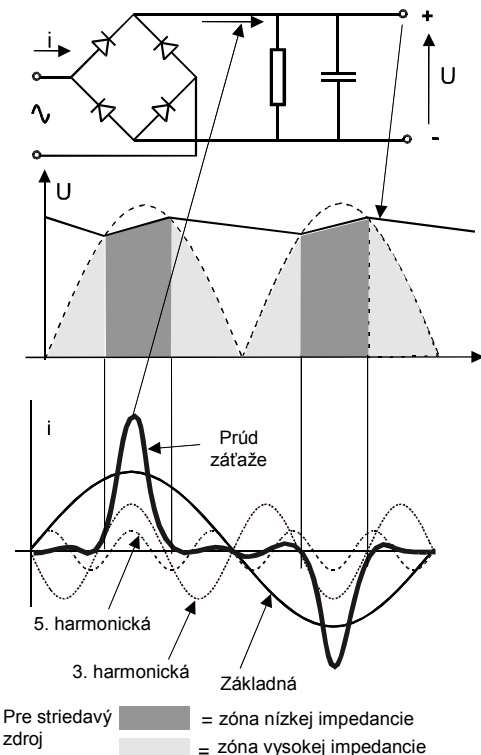
Zát'aže spôsobujúce harmonické prúdy sú zoskupené pod názvom "nelineárne zát'aže" pretože ich impedancia sa mení s napätím na jej svorkách. Niekedy sú aj označované ako deformujúce alebo rušia zát'aže.

Prúdy vyšších harmonických sú výsledkom nelineárnych zát'aží. Príkladom je zát'až RCD (Rezistor, Kondenzátor, dióda - obr. 1) ktoré nájdete v obvodoch výkonového napájania použitých pre elektronické zariadenia.

V tomto prípade sa kondenzátor v ustálených podmienkach nabíja len keď okamžitá hodnota napätia siete je vyššia ako napätie na jeho svorkách. Od tohto bodu je impedancia zát'aže nízka (zapnutá dióda) predtým bola nízka (dióda vypnutá).

Impedancia nelineárnej zát'aže sa teda mení podľa napätia na jej svorkách.

Ohmov zákon, definujúci lineárnu funkciu medzi sínusovým napätím a prúdom už neplatí, pretože impedancia nie je konštantná a napätie a prúd už nie sú sínusové. Tvar prúdu je viac komplexný a môže byť vyjadrený pridaním prúdu s rovnakou frekvenciou f ako napätie, nazývanou základnou a ostatné prúdy s frekvenciami nf (n je celé číslo > 1) nazývanými vyššími harmonickými (Fourierov teorém).



Obr. 1 : Zát'aže RCD spôsobujú vyššie harmonické.

Obrázok 1 uvádza všeobecnú ideu prúdu zát'aže RCD s uvedením len harmonických dvoch rádov, IH3 a IH5.

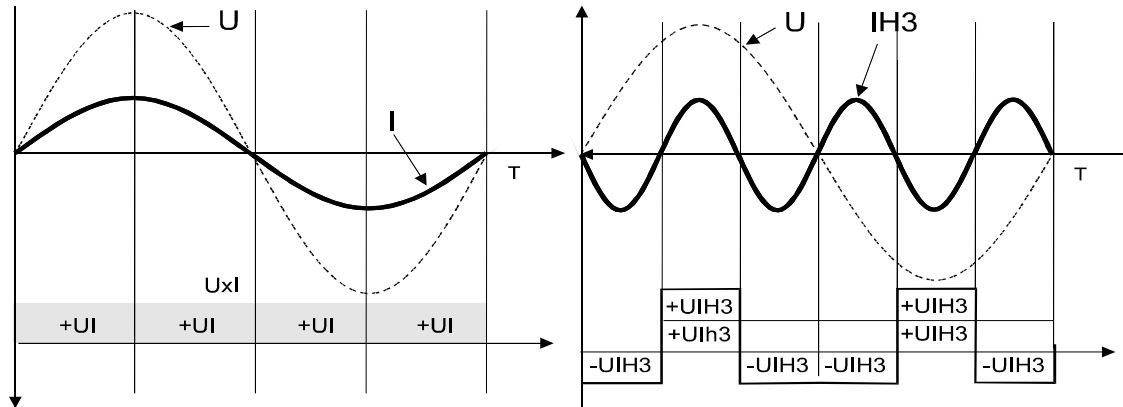
Impedancia nelineárnej záťaže sa teda mení podľa napätia na jej svorkách.

Ohmov zákon, definujúci lineárnu funkciu medzi sínusovým napätím a prúdom už neplatí, pretože impedancia nie je konštantná a napätie a prúd už nie sú sínusové.

Tvar prúdu je viac komplexný a môže byť vyjadrený pridaním prúdu s rovnakou frekvenciou f ako napätie, nazývanou základnou a ostatné prúdy s frekvenciami nf (n je celé číslo > 1) nazývanými vyššími harmonickými (Fourierov teorém).

Obrázok 1 uvádza všeobecnú ideu prúdu záťaže RCD s uvedením len harmonických dvoch rádov, I_{H3} a I_{H5} .

Nulová hodnota činného a jalového výkonu



Obr. 2 : $U \times I$ produktov pre základné (hore) a pre základné s vyššími

Obrázok 2 uvádza, že výkon napätia základnej harmonickej bez harmonických vynásobený prúdom tretej harmonickej je na konci periódy nulový. Následky sú jasné.

V rotačných strojoch je výsledkom točivého momentu hodnota rovná nule. Existujú len parazitné impulzné momenty, ktoré spôsobujú vibrácie. Len činný výkon predstavuje úbytok napätia spôsobený prúdom vyšších harmonických (I_{Hn}) vo vodiči s odporom r ($r I_{Hn}^2$).

vplyvy harmonických

- zvýšenie teploty káblov
- samo rušené záťaže
- riziko poškodenia kondenzátorov
- odľahčenie transformátorov
- riziko rušenia generátorov
- straty v asynchrónnych motoroch
- vplyvy na ostatné zariadenia

záver

Vyššie harmonické môžu mať deštruktívne vplyvy na elektrické inštalácie a kvalitu prevádzky.

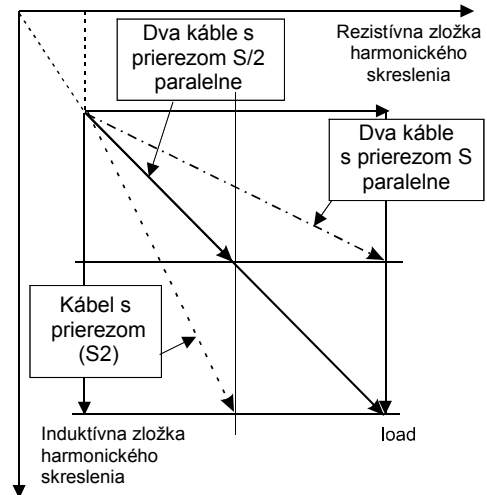
Preto medzinárodné štandardy stanovujú úroveň vyššej kompatibility pre zariadenia a ustanovujú obmedzenia pre obsah vyšších harmonických vo verejných distribučných systémoch. Na nasledovných stránkach je prezentácia rôznych stratégií vzťahujúcich sa k vyšším harmonickým a užitočnosť aktívnych kompenzátorov vyšších harmonických, ako je SineWaveTM.

Život s harmonickými

Nakoľko negatívne vplyvy prúdov vyšších harmonických sa zhoršujú s kumulujúcou impedanciou káblov a zdrojov, bežným riešením je obmedzenie celkovej impedancie, aby sa znížilo skreslenie napätia a rast teploty.

Obrázok 3 uvádza výsledky pri zdvojnásobení prierezu káblov.

Na základe závislosti THDU primárne od indukčnej zložky a teda od dĺžky káblov je jasné, že toto riešenie nie je veľmi efektívne a jednoducho obmedzuje nárast teploty.



Obr. 3 : Zväčšenie prierezu kábla na obmedzenie skreslenia a strát.

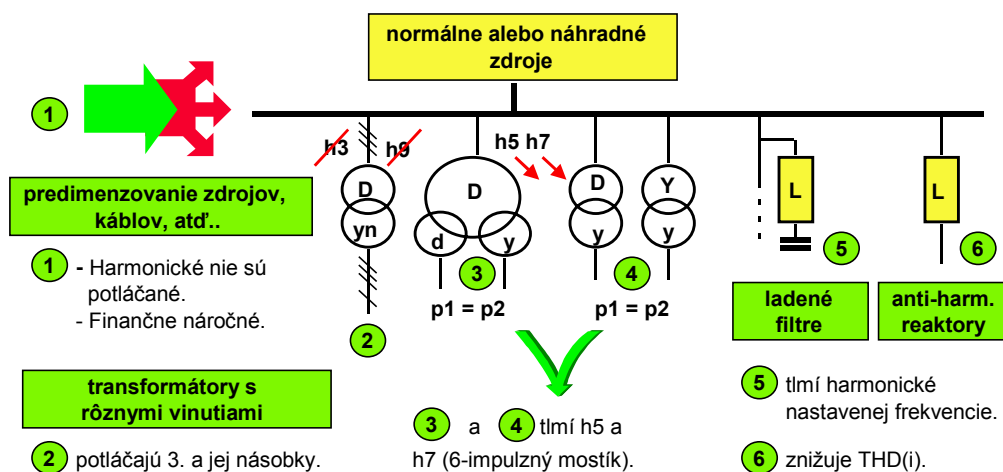
kompenzácia vyšších harmonických

Iná stratégia zahrňuje potlačenie vyšších harmonických. Existujú dva hlavné druhy riešení.

pasívne filtre

Pasívne LC filtre sú nastavené na frekvenciu vyžadujúcu potlačenie alebo naladené na rozsah frekvencií. Systémy rekombinácie vyšších harmonických (zdvojené mostíky, posuv fáz) môžu byť taktiež zoskupené do tejto kategórie. Pasívne filtre majú dve hlavné nevýhody:

- potlačenie harmonických je efektívne len pre špecifickú inštaláciu, t.j. pridanie alebo odstránenie záťaže môže narušiť filtrovací systém;
- obyčajne je zložité implementovať ich do existujúcej inštalácie.

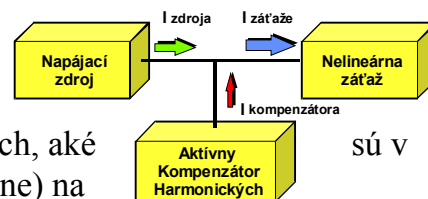


Obr. 4: Všeobecne používané riešenia na potlačenie vyšších

aktívne kompenzátory

Aktívne filtre, nazývané aj ako kompenzátory vyšších harmonických, ako je SineWave™, rušia harmonické injektovaním presne rovnakých prúdov vyšších harmonických, aké sú v inštalácii. Tento typ filtrov reaguje v reálnom čase (t.j. aktívne) na existujúce harmonické, aby ich potlačili. Efektívnejšie a prispôsobivejšie ako pasívne filtre, zabraňujú nevýhodám pasívnych filtrov. V porovnaní s pasívnymi filtermi, ponúkajú riešenie ako:

- ponúka vyššej výkonnosti (celkové potlačenie všetkých harmonických je možné, až do rádu 25tej harmonickej);
- flexibilita, prispôsobivosť (ich činnosť môže byť konfigurovaná) a zmena použitia.



Princíp činnosti

Aktívny kompenzátor vyšších harmonických generuje harmonické prúdy požadované nelineárnymi záťažami. Tieto prúdy sú opačnej fázy ako prúdy dodávané napájacím zdrojom. A.K.H je dimenzovaný len na prúdy vyšších harmonických.

režimy kompenzácie

úplna (alebo centralizovaná) kompenzácia

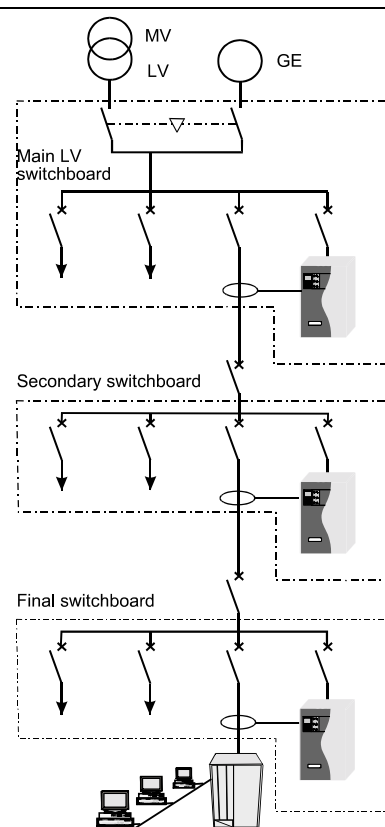
Aktívny kompenzátor je pripojený hneď za zdrojmi, všeobecne na úrovni hlavného nn rozvádzača.

čiasočná (miestna) kompenzácia

Aktívny kompenzátor je inštalovaný na úrovni hlavného alebo sekundárneho rozvádzača a kompenzuje časť záťaží.

miestna (individuálna) kompenzácia

Aktívny kompenzátor je inštalovaný priamo na vstupe záťaže, ktorá sa má kompenzovať.



Obr.5: Tri možnosti inštaláčnych bodov SineWave™, závislých od požiadaviek užívateľa.

Porovnanie možností inštalácie

typ kompenzácie	výhody	nevýhody	aplikácie
úplna kompenzácia (úroveň hlavného rozvádzača)	Ekonomická. Relieves generátory (transformátory, generátory)	Harmonické zostávajú v dolnej časti inštalácie. Káble musia byť predimenzované.	Zhoda s požiadavkami energetiky. Zabránenie generovaniu harmonických do vyššej inštalácie.
čiasočná kompenzácia (úroveň sekundárneho rozvádzača)	Znižuje požiadavky na dimenzovanie káblov medzi hlavným a sekundárnym rozvádzačom. Rekombinácia určitých harmonických môže znížiť požiadavky na výkon kompenzátora.	Harmonické zostávajú medzi podružným rozvádzačom a nelineárnou záťažou. Výstupný kábel musí byť predimenzovaný.	Veľké budovy. Pravidelne rozmiestnená kompenzácia na každom poschodí alebo časti poschodia. Niekoľko obvodov napájajúcich nelineárne záťaže..

miestna kompenzácia (úroveň záťaže)	Potláča harmonické v mieste ich pôvodu. Znižuje straty vo všetkých kábloch, až ku zdroju.	Finančne náročné, ak je potrebný veľký počet kompenzátorov.	Pre inštalácie s malým počtom nelineárnych záťaží ale s veľkým príkonom v porovnaní s ostatnými záťažami. Príklad: veľké frekvenčné meniče, UPS vysokých výkonov
---	--	---	---

tabuľka zhrňujúca možné stratégie boja proti harmonickým

stratégia	Výhody	nevýhody
život s vyššími harmonickými		
Zvýšenie výkonov zdrojov a/alebo prierezov káblov.	Zníženie THDU zredukovaním impedancie zdroja. Zníženie Joulových strát.	Zložité v existujúcich inštaláciách. Drahé riešenie obmedzené na zníženie rezistívnej zložky pre malé prierezy (induktancia zostáva konštantná). Vyžaduje paralelné káble pre veľkých prierezov. Nezabraňuje rušeniu v nadradenej inštalácii. Nevyhovuje štandardom.
Zvláštne zdroje pre nelineárne záťaže.	Potláča rušenie susedných záťaží.	Rovnako ako vyššie.
čiastočné potlačenie vyšších harmonických		
Nastavené pasívne filtre.	Jednoduché riešenie	Len pre jeden alebo dva rády vyšších harmonických. Širokopásmové filtre nie sú veľmi účinné. Možnosť rezonancie. Návrh filtra je finančne náročný.
Induktory na prívode nelineárnych záťaží.	Potlačenie prúdov vyšších harmonických. Potláčajú vplyv prechodných prepätí.	Zvýšenie THDU na svorkách záťaže. Potlačenie jednosmernej zložky napätia a zníženie výkonu.
Zvláštne transformátory.		Potlačenie len niektorých rádoov vyšších harmonických. Neštandardná konštrukcia.
úplne potlačenie vyšších harmonických		
Aktívne kompenzátory vyšších harmonických.		Celkové potlačenie všetkých harmonických je možné až po rád 25, flexibilita, prispôbitelnosť (akcia môže byť konfigurovaná) a nové použitie.

Záver

Všetky časti elektrickej inštalácie cez ktoré tečú neharmonické prúdy, vykazujú zvýšené straty energie. Množstvo zariadení spôsobuje rušenie a zároveň je príčinou oboch, okamžitých aj dlhotrvajúcich vplyvov vyšších harmonických, vrátane :

- Zvýšenia odberu celkovej hodnoty efektívneho prúdu.
- Nežiadúceho vybavovania istiacich prvkov.
- Poškodenia kondenzátorov a riziko rezonancie.
- Prídavné prehrievanie káblov, transformátorov, motorov a reaktorov.
- Nesprávna prevádzka citlivých zariadení.
- Rušenie vzdialeného ovládania a telekomunikačných systémov.
- Vibrácie a hluk (točivé stroje, transformátory, nn rozvádzače, ...).

Aktívne kompenzátory vďaka svojim možnostiam otvárajú priestor pre inštalácie budúcnosti. Investícia vložená do kompenzátora je návratná do dvoch rokov. Z dlhodobého hľadiska, vplyv na spoľahlivé napájanie a prevádzku zariadení pripojených do elektrickej siete, ako aj predĺženie životnosti inštalácie sú jednoznačne dôvodom na štandardné vybavenie objektov a aktívnymi kompenzátormi budúcnosti.