

Harmonické střídavých regulovaných pohonů

Stanislav Kocman¹

¹Katedra obecné elektrotechniky, FEI, VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 17. listopadu 15,
708 33, Ostrava-Poruba
stanislav.kocman@vsb.cz

Abstrakt. Článek se zabývá problematikou kvality elektrické energie obvykle charakterizovanou nízkofrekvenčním vedeným elektromagnetickým rušením se zaměřením na harmonické generované do napájecí sítě střídavými regulovanými pohony, které významným způsobem ovlivňují právě kvalitu elektrické energie v rozvodných sítích. Jsou možná různá řešení pro snížení harmonických střídavých regulovaných pohonů. Jako přídatná zařízení byly analyzovány vstupní střídavé tlumivky a dvanáctipulsní usměrňovače z hlediska jejich účinku na harmonické proudy generované uvedenými pohony do napájecí sítě.

Klíčová slova: harmonické, celkové harmonické zkreslení, střídavý regulovaný pohon, vstupní střídavé tlumivky, dvanáctipulsní usměrňovač

1 Úvod

Měřítkem kvality elektrické energie je obvykle charakterizování nízkofrekvenčního vedeného elektromagnetického rušení, což jsou zejména:

- poklesy napájecího napětí a jeho přerušování
- harmonické a meziharmonické
- dočasná přepětí střídavého napětí o síťovém kmitočtu
- přechodná přepětí
- kolísání napětí
- napěťová nesymetrie

Nízkofrekvenčním rušením je tedy zejména míněno zhoršení kvality síťového napětí rušením šířícím se po vedení distribučních sítí, které je charakterizováno a definováno normou ČSN EN 50160 [1]. Významným činitelem negativně ovlivňujícím kvalitu elektrické energie v síti jsou harmonické generované zejména nelineárními zátěžemi k této síti připojené.

2 Harmonické

Mezi významné zdroje harmonických patří elektrické regulované pohony, z nichž střídavé regulované pohony jsou v současné době nejpoužívanějšími. Jako měniče se v těchto typech pohonů nejčastěji používají nepřímé měniče kmitočtu s napěťovým střídačem, které představují pro napájecí síť právě nelineární zátěž a chovají se tedy

jako zdroj harmonických generovaných do napájecí sítě. Proud odebíraný měničem ze sítě je sice přibližně periodický nebo alespoň v určitém intervalu, ale jeho průběh je neharmonický. Pro zjišťování harmonického spektra takovýchto neharmonických průběhů se používá harmonická analýza, která umožňuje rozložit všechny periodické funkce na součet sinových funkcí dle následujícího vztahu:

$$i(t) = I_0 + \sum_{h=1}^{\infty} I_h \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(2 \pi \cdot h \cdot f \cdot t + \varphi_h)$$

kde h je řád harmonických ($h > 1$)

Efektivní hodnota zkresleného proudu je dána vztahem:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_h^2}$$

kde I_1, I_2, \dots, I_h jsou efektivní hodnoty jednotlivých harmonických proudů.

Pro posouzení obsahu harmonických v celkovém harmonickém spektru odebíraného proudu se zavádí *celkové harmonické zkreslení proudu THD_i*, které tedy definuje jeho zkreslení:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_1} \cdot 100$$

3 Možná řešení pro snížení vlivu harmonických

Existují různé způsoby snížení vlivu harmonických jako jsou například síťové tlumivky, dvanáctipulsní usměrňovače, usměrňovače s PWM řízením, pasivní, aktivní a hybridní filtry pro odstranění harmonických generovaných rušícími zátěžemi, širokopásmové harmonické filtry, zvyšování zkratového výkonu sítě, oddělení rušících zátěží od citlivých zařízení, např. jejich napájením z oddělených zdrojů nebo z vyhrazených transformátorů. Z těchto možných způsobů jsou v článku analyzovány účinky střídavých vstupních tlumivek a dvanáctipulsního usměrňovače jakožto přídavných zařízení pro snižování vlivu harmonických generovaných do sítě střídavými regulovanými pohony.

3.1 Vstupní střídavé tlumivky

Jednou z možností pro snížení vlivu harmonických v síti jsou vstupní střídavé tlumivky zapojené mezi napájecí síť a zátěž generující harmonické, které patří mezi

jednoduché a ekonomické opravné prostředky. Střídavé vstupní tlumivky jsou běžně nabízeny jako doplňková výbava měničů kmitočtu používaných ve střídavých regulovaných pohonech až do výkonů kolem 500 kW. Z hlediska snížení harmonických je podstatná hodnota tzv. efektivní impedance v procentech (tj. poměrné napětí nakrátko), nikoli jmenovitá hodnota impedance tlumivky.

3.2 Dvanáctipulsní usměrňovače

Vzhledem ke skutečnosti, že v harmonickém spektru odebíraného proudu střídavými regulovanými pohony s trojfázovými nepřímými měniči kmitočtu s napětovým střídačem zaujímají dominantní postavení harmonické 5. a 7. řádu, je snahou tyto harmonické potlačit nebo alespoň výrazně omezit, což umožňují právě dvanáctipulsní usměrňovače. Tento typ usměrňovače vyžaduje napájení ze zvláštního transformátoru (popř. autotransformátoru), který je v zapojení Dd0y1 nebo Dd0y11. Ke každému sekundárnímu vinutí je zvlášť připojen trojfázový můstkový tj. šestipulsní usměrňovač, který může být jak řízený tak i neřízený. Výstupy obou usměrňovačů mohou být spojeny buď do série a nebo paralelně, v případě paralelního zapojení přes tzv. mezifázovou tlumivku, která by měla zajistit rovnoměrné rozložení proudu na oba usměrňovače, tj. jejich rovnoměrné zatížení.

4 Analýza harmonických

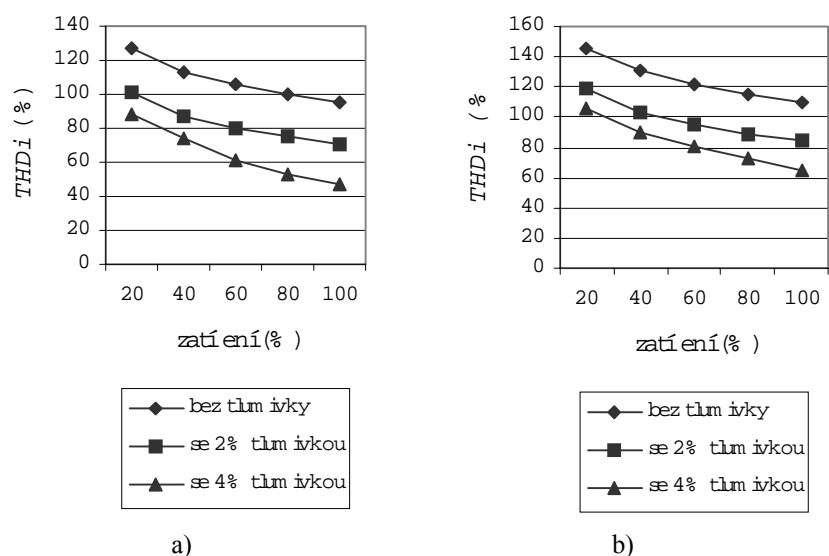
Analýza harmonických proudů generovaných do sítě je prováděna pro nepřímé měniče kmitočtu s napětovým střídačem jakožto součásti struktury střídavých regulovaných pohonů. Uvedený typ měniče se sestává z usměrňovače, stejnosměrného meziobvodu a střídače. Nejběžněji používaným usměrňovačem v těchto měničích je trojfázový neřízený (tj. diodový) můstkový usměrňovač a na místě střídače pak trojfázový můstkový střídač s IGBT tranzistory s širkovým pulsně modulovaným řízením (PWM). Model tohoto měniče byl použit právě pro analýzu harmonických proudů generovaných střídavými regulovanými pohony s uvedeným typem měniče.

Na průběh proudu odebíraného měničem z napájecí sítě, tj. na jeho harmonické spektrum má dominantní vliv usměrňovač společně se stejnosměrným meziobvodem měniče, kdežto vliv střídače je nízký. Z tohoto důvodu při analýze odebíraného proudu měničem lze obvod uvažovat jako usměrňovač pracující do RC zátěže.

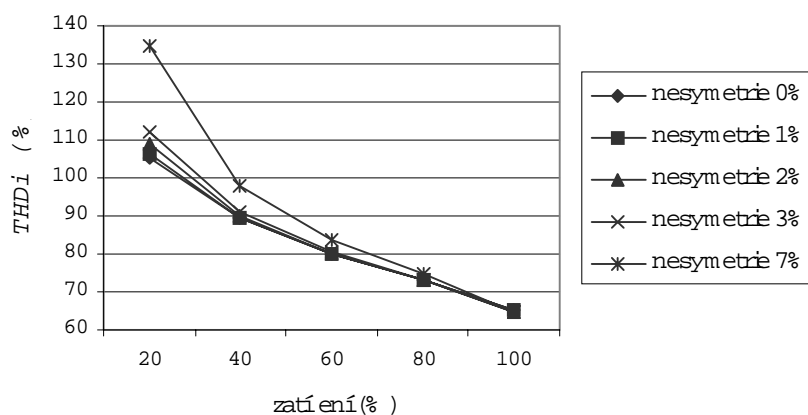
Kromě typu použitého vstupního usměrňovače má výrazný vliv na velikost generovaných harmonických proudů a strukturu harmonického spektra odebíraného proudu ze sítě také zatížení pohonu s měničem, míra zkreslení napájecího napětí v místě připojení pohonu k napájecí síti a taktéž nesymetrie napájecího napětí. Vliv těchto faktorů na harmonické generované nepřímým měničem kmitočtu s napětovým střídačem do napájecí sítě byl cílem prováděných analýz.

4.1 Analýza harmonických proudů se vstupními střídavými tlumivkami

Skutečnosti, které výrazně ovlivňují harmonické odebraného proudu měničem jsou míra zkreslení napájecího napětí v místě připojení měniče a jeho zatížení. Vliv zatížení měniče právě na velikost THD odebraného proudu je pro nezkruslené napájecí napětí na obr. 1a), pro zkreslené na obr. 1b). Parametrem je efektivní impedance vstupních střídavých tlumivek v procentech.

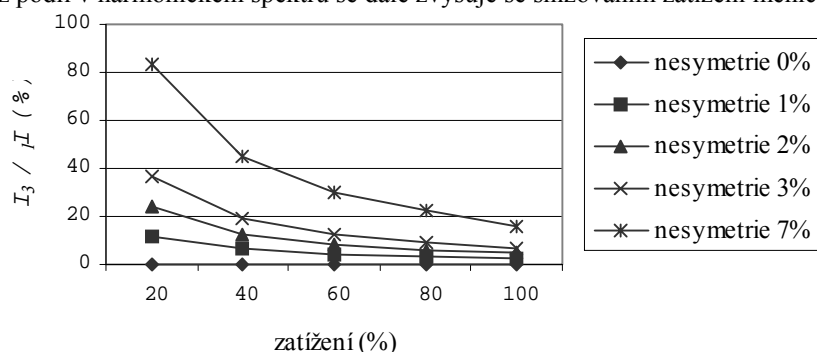


Obr. 1. Závislost THD proudu odebraného měničem na zatížení měniče pro a) nezkruslené napájecí napětí s $THD_u = 0\%$, b) pro zkreslené napájecí napětí s $THD_u = 4,4\%$.



Obr. 2. Závislost THD proudu odebraného měničem na zatížení měniče připojeného k napájecí síti přes 4% tlumivku se zkresleným napájecím napětím s $THD_u = 4,4\%$.

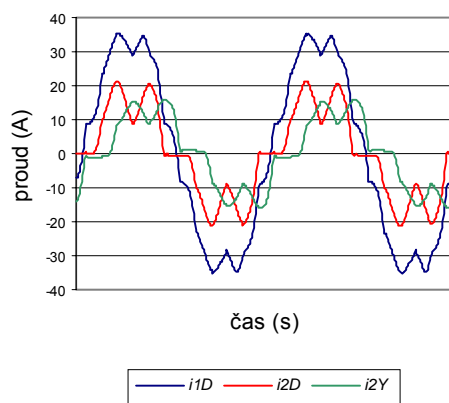
Vliv nesymetrie napájecího napětí na velikost THD odebíraného proudu měničem je na obrázku 2 pro zkreslené napájecí napětí s $THD_u = 4,4 \%$. Měnič je připojen k napájecí síti přes 4% vstupní střídavou tlumivku. S nesymetrií se výrazněji mění harmonické spektrum proudu, zejména pak třetí harmonická jak je zřejmé z obrázku 3 a jejíž podíl v harmonickém spektru se dále zvyšuje se snižováním zatížení měniče.



Obr. 3. Závislost třetí harmonické proudu odebíraného měničem na zatížení měniče připojeného k síti přes 4% tlumivku se zkresleným napájecím napětím s $THD_u = 4,4 \%$.

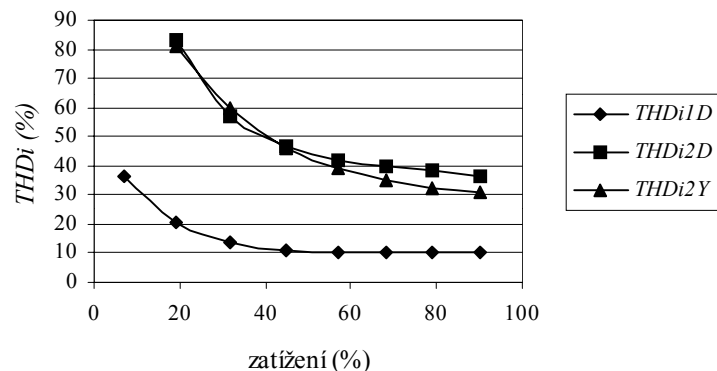
4.2 Analýza harmonických proudů se dvanáctipulsním usměrňovačem

Na obrázku 4 jsou průběhy proudů dvanáctipulsního usměrňovače měřené na transformátoru v zapojení Dd0y1 se zatížením 90%, napájecím dva šestipulsní usměrňovače spojené paralelně a připojeným k napětí se zkreslením $THD_u = 4,0 \%$.



Obr. 4. Průběhy proudů dvanáctipulsního usměrňovače: I_{1D} - vstupní proud transformátoru, I_{2D} - výstupní proud (sekundární vinutí spojeno do trojúhelníka), I_{2Y} - výstupní proud (sekundární vinutí spojeno do hvězdy). Zatížení transformátoru 90%, $THD_u = 4,0 \%$.

Dominantní harmonické 5. a 7. řádu jsou výrazně potlačeny, což vede na podstatně nižší THD proudu odebíraného dvanáctipulsním usměrňovačem ze sítě (viz obrázek 5) než v případě použití vstupních střídavých tlumivek.



Obr. 5. Závislost THD proudů dvanáctipulsního usměrňovače na zatížení: THD_{i1D} – pro vstupní proud transformátoru, THD_{i2D} – pro výstupní proud (sekundární vinutí spojeno do trojúhelníka), THD_{i2Y} – pro výstupní proud (sekundární vinutí spojeno do hvězdy).

Reference

1. ČSN EN 50160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Český normalizační institut, Praha, 2000.
2. Ferracci. *Power quality*. www.schneider-electric.com
3. Kocman, Vrána. *Power quality, harmonics and solutions for improving*. EDS '02. Brno, 2002. ISBN 80-214-218-0.
4. Kocman, Vrána. *Harmonické – faktor ovlivňující kvalitu elektrické energie*. SEKEL 2002. Trenčianské Teplice, 2002. ISBN 80-88914-73-6.
5. Kocman, Vrána. *Influence of Voltage Unbalance on Harmonics Generated by Frequency Converter into the Network*. EDS'03. Brno, 2003. ISBN 80-214-2452-4
6. Kocman, Vrána. *Analýza harmonických proudů nepřímého měniče kmitočtu se vstupními střídavými tlumivkami*. SEKEL 2003. Ráčkova dolina. ISBN 80-8069-225-4
7. Kůs. *Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu*. BEN, Praha 2002. ISBN 80-7300-062-8

Annotation:

Harmonics of AC Adjustable Speed Drives

The paper deals with power quality problems usually characterized by low frequency conducted electromagnetic disturbance with a view to harmonics generated into the network by AC adjustable speed drives, which affect the power quality significantly. Various solutions are possible for harmonics reducing. Some protective devices have been analysed such as AC input reactors and 12-pulse converter and their influence on harmonic currents generated by AC adjustable speed drives into the network.