

# Praktické zkušenosti s použitím měničů frekvence s nízkými emisemi harmonických

Ing. Naděžda Pavelková, ABB s. r. o.

Jedním ze současných trendů v oblasti moderních regulovaných pohonů je snižování spotřeby elektrické energie a zvyšování účinnosti. Téměř 60 % elektrické energie spotřebovávají elektrické motory pro pohon mechanických zařízení. Jsou-li pohony neregulované, značná část této energie je neefektivně zmařena. Významných úspor lze dosáhnout použitím pohonů regulovaných měniči frekvence, kdy se otáčky motoru přizpůsobí aktuálním požadavkům. Měniče frekvence však přinášejí také generování harmonických, což vede k přídavným ztrátám v transformátorech, kabelech i v motorech a způsobuje snižování kvality elektřiny v napájecích sítích. Snahou předních světových výrobců je potlačit emise harmonických přímo v jejich zdroji.

Generované proudové harmonické lze ovlivnit vhodnou konstrukcí měniče, kdy zejména pro větší výkony se volí vícepulzní zapojení vstupního usměrňovače, popř. měnič s aktivními prvky v usměrňovači. Dalším významným konstrukčním prvkem ovlivňujícím harmonické jsou tlumivky použité buď na střídavé straně (AC), nebo ve stejnosměrném meziobvodu (DC). Stejnosemřná tlumivka může být menší a bývá i levnější pro pohony menších výkonů. Střídavá tlumivka lépe potlačuje napěťové špičky ze sítě a bývá levnější pro pohony větších výkonů.

Výhodou tohoto uspořádání je, že na straně zdroje jsou některé harmonické v protifázi, a tudíž se vzájemně ruší. V tomto spojení se výrazněji uplatňuje pouze 11. a 13. harmonická. O variantě měniče s dvanáctipulzním usměrňovačem se obvykle uvažuje přibližně od výkonu nad 500 kW.

Paralelním spojením dvou dvanáctipulzních usměrňovačů, napájených ze dvou trans-

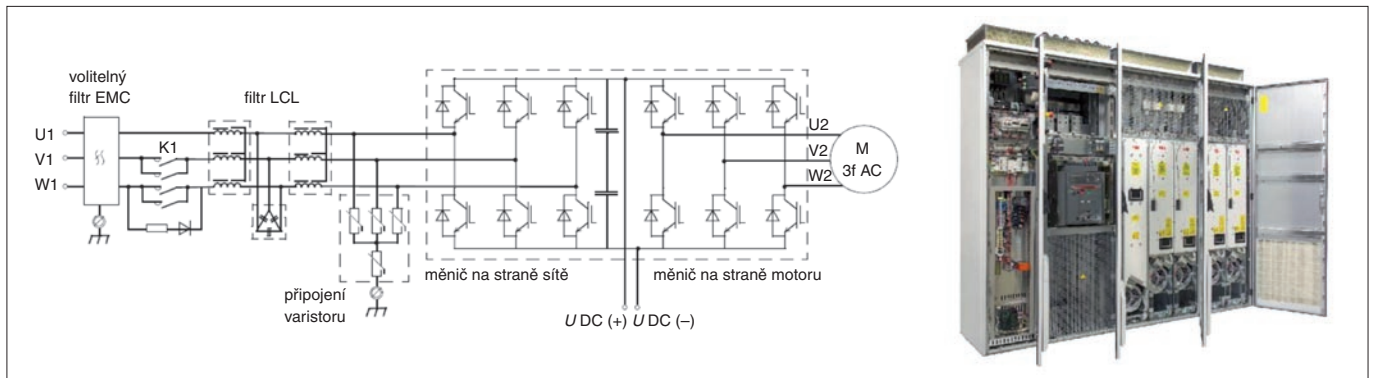
formátorů se třemi vinutími, se získá čtyřia dvacetipulzní usměrňovač. V tomto případě jsou nízké harmonické téměř eliminovány. Další varianty jsou pak zapojení osmnáctipulzní nebo šestatřicetipulzní.

## Usměrňovače s IGBT prvky

Řízení usměrňovače se spínacími prvky IGBT umožňuje rekuperaci, ale navíc dává i možnost regulovat jednak napětí ve stejnosměrném meziobvodu, jednak i účinnk. Napájecí proud je téměř sinusový.

## Měniče s nízkým obsahem harmonických

Zajímavou novinkou v nabídce měničů frekvence ABB jsou měniče s nízkými emisemi harmonických (LHD – Low Harmonic



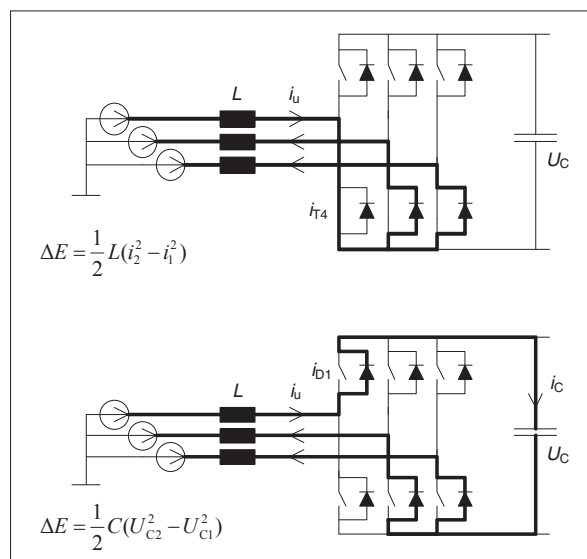
Obr. 1. Řešení LHD od ABB – úspěch na trhu

Drvive) – obr. 1. Představují variantu měničů rekuperačních s prvky IGBT v usměrňovači. Konstruktoři měničů frekvence došli na základě sledování trhu a potřeb zákazníků k velmi zajímavému závěru. Často se stávalo, že zákazníci kupovali rekuperační měniče frekvence čistě z důvodu nízkého obsahu harmonických, aniž by využívali jejich funkci rekuperovat energii zpět do sítě. Rozhodli se proto vytvořit měnič, který se bude vyznačovat nízkým obsahem harmonických, ale nebude mít schopnost rekuperace či brzdění. Oproti jiným řešením je výsledkem velmi kompak-

## Diodové usměrňovače

Nejrozšířenějším typem usměrňovače je šestipulzní diodový můstek ve spojení s kondenzátorem ve stejnosměrném meziobvodu a indukčností, která je buď na straně DC, nebo AC, popř. je zcela vynechána. Šestipulzní usměrňovač představuje jednoduché a levné řešení, je ale zdrojem velkého množství harmonických, zejména 5., 7. a 11.

Použije-li se usměrňovač dvanáctipulzní, tvořený dvěma šestipulzními usměrňovači zapojenými paralelně, bude mít napájecí transformátor tři vinutí, popř. lze použít dva transformátory se dvěma vinutími – v obou případech s hodinovým úhlem posunutým o 30°.



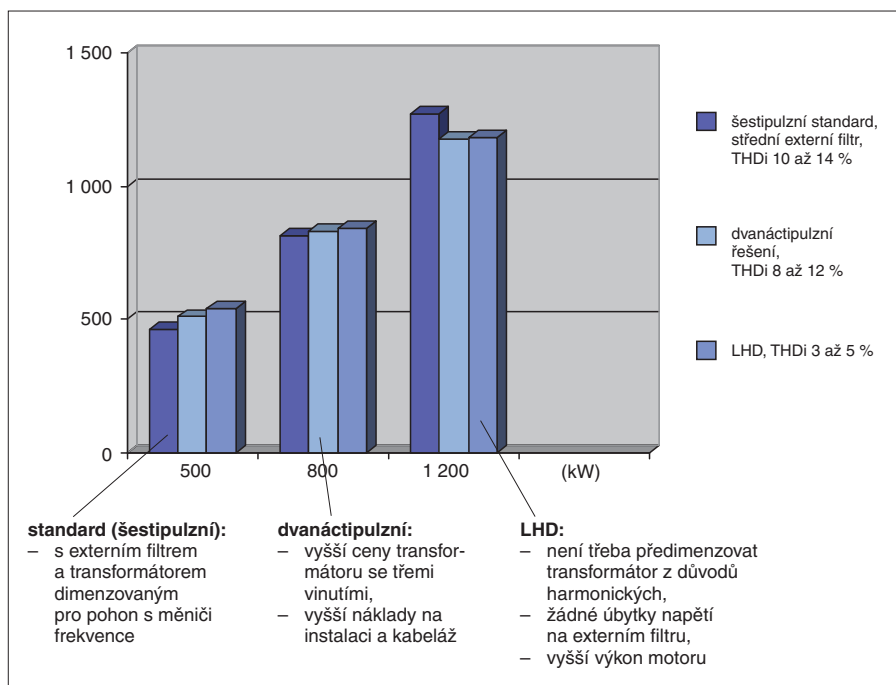
Obr. 2. Spínání pro zvyšování napětí ve stejnosměrném meziobvodu

Tab. 1. Vliv různých způsobů potlačení harmonických

Metoda	THDi (%)
šestipulzní diodový usměrňovač bez úprav	70 až 80
+ 5 % tlumivky	33 až 40
+ 5 % tlumivky + filtr 5. harmonické	12 až 14
dvanáctipulzní vstupní usměrňovač, $u_k$ transformátoru 5 %	10 až 12
předřazený pasivní filtr	5 až 10
osmnáctipulzní vstupní usměrňovač, $u_k$ transformátoru 5 %	5 až 8
LHD (měnič s nízkým obsahem harmonických)	3,5 až 4,5

Tab. 2. Porovnání pro  $3 \times 30$  kV·A (22 kW) pohony s měniči frekvence

Metoda	THDi (%)	Objem (p. j.)	Cena (p. j.)	Ztráty 100 % (kW)	Ztráty 75 % (kW)	Ztráty 50 % (kW)
šestipulzní s tlumivkami	40	100	100	1,80	0,55	0,50
dvanáctipulzní	malý výkon pro transformátor se třemi vinutími					
šestipulzní se společným předřazeným filtrem	8	250	200	2,45	1,30	1,10
šestipulzní s tlumivkami a aktiv. filtrem 50 A	4	250	240	3,10	1,60	1,50
LHD s aktivním vstupním usměrňovačem	4	110	185	2,90	1,10	0,75



Obr. 3. Porovnání řešení šestipulzního, dvanáctipulzního a LHD pro větší výkony

ní produkt, který nevyžaduje transformátor s více vinutími, filtry ani další prvky pro potlačení harmonických. Dochází také k významným úsporám v nutné kabeláži a zastavěném prostoru. Další dvě použitá řešení v konstrukci LHD jsou filtry LCL a přímé řízení momentu (DTC – Direct Torque Control). Tato řešení společně s ASU umožňují odstraňovat harmonické v celém rozsahu frekvencí, čímž se nový měnič ABB s nízkým obsahem harmonických výrazně liší od ostatních měničů frekvence na trhu. Filtry LCL odstraňují vyšší frekvence, DTC ve vstupním usměrňovači se uplatňuje při odstraňování frekvencí do 1 kHz. Princip řízení DTC se používá u střídačů ABB od roku 1994 a zaručuje plynulá a přesná řízení momentu v celém otáčkovém rozsahu. Pro měniče s nízkým obsahem harmonic-

kých bylo řešení DTC modifikováno i pro regulaci vstupního proudu, takže kompenzuje kolísání napětí, vyrovnává prudké poklesy a udržuje sinusový tvar proudu. Pro potlačení harmonických je velkou předností, že DTC díky svému principu nepoužívá pevnou spínací frekvenci, ale spíná pouze tehdy, vyžaduje-li to aktuální stav. Při tomto způsobu řízení nevznikají špičky na určitých frekvencích, což snižuje riziko oscilací sítě. Navíc je řízení tak rychlé, že tlumí vznik možných oscilací a zjednodušuje návrh filtrů.

Filtry LCL se skládají ze dvou třífázových tlumivek a kondenzátorů zapojených do trojúhelníku mezi těmito tlumivkami. Konstrukčně jsou integrovanou součástí síťového střídače, takže není třeba počítat s jejich dodatečnou instalací vně měniče.

LHD i rekuperační měniče frekvence s prvky IGBT v usměrňovači umožňují zvyšovat napětí ve stejnosměrném meziobvodu na základě spínání podle obr. 2, kdy dochází k přechodné akumulaci energie v tlumivce (vektor nulového napětí) a následnému vybití do kondenzátoru (aktivní vektor napětí). Pak lze použít např. měnič frekvence napájený ze sítě 400 V pro regulaci otáček motoru na jmenovité napětí 500 V. Je však třeba měnič patřičně dimenzovat, např. pro motor 250 kW vychází přepočtem měnič 315 kW.

LHD i rekuperační měniče frekvence s prvky IGBT v usměrňovači umožňují navíc kompenzovat jalový výkon, a to na základě pevného řízení kvar nebo pevného řízení  $\cos \varphi$  zadáním reference  $Q$  prostřednictvím analogového vstupu nebo fieldbusu. V obou případech je třeba věnovat zvláštní pozornost jejich dimenzování.

Zajímavé je porovnání obsahu harmonických, zastavěného objemu, poměrných cen a ztrát při plném a částečném zatížení pro různá řešení regulovaného pohonu, včetně různých prostředků pro odstraňování zpětných vlivů na napájecí síť (tab. 1 a tab. 2).

Je zřejmé, že vzhledem ke složitější konstrukci vychází LHD draž než klasický šestipulzní měnič frekvence. Vezmou-li se ale v úvahu další hlediska, může pořízení LHD přinést značné úspory.

Na obr. 3 je také porovnání pro větší výkony. Stěžejní roli zde hraje transformátor. Pro jeho dimenzování v kilovoltampérech obvykle vychází činitel 1,32  $\times$  výkon v kilowattech pro měniče se šesti- nebo dvanáctipulzním zapojením vstupního usměrňovače. Pro měniče LHD stačí násobit činitelem 1,16. Navíc odpadá potřeba tří vinutí. Přidáme-li i porovnání cen za instalaci a kabeláž a externí filtry včetně ztrát, jsou výsledky pro výkon např. 1 200 kW více než zajímavé.

Finský zákazník např. řešil problém s přehříváním transformátoru v letních měsících v konfiguraci s instalovaným regulovaným pohonem ventilátoru 1 250 kW. Navíc vznikl požadavek na zvýšení výkonu. Byly proto objednány nové motory 1 500 kW a byl použit nový měnič LHD od firmy ABB. Díky tomu mohl být zachován dosavadní transformátor, přičemž problémy s jeho přehříváním se tímto vyřešily.

Z výše uvedeného je zřejmé, že je vždy třeba zvážit všechny aspekty místní instalace a na základě požadovaných parametrů zvolit správné řešení regulovaného pohonu.

**Ukázky harmonických, reakce na podpětí a kompenzace jalové energie bude možné vidět v expozici společnosti ABB na veletrhu Amper 2009 v hale 2, v sektoru B, ve stánku 5.**

Další informace mohou zájemci získat na webových stránkách společnosti: <http://www.abb.cz>