

Ing. Miroslav PETRÁK, Ph.D.
Güntner AG & Co. KG
organizační složka
Representative office CR

Plynulá regulace otáček ventilátorů vzduchem chlazených výměníků

Continuous Control of Fans at Air-Cooled Heat Exchangers

Recenzent
Ing. Marcel Kadlec

V příspěvku autor podrobně popisuje různé druhy plynulé regulace otáček ventilátorů vzduchem chlazených výměníků a uvádí výhody a nevýhody každého typu. Na základě výsledků měření jsou jednotlivé typy na závěr porovnány z hlediska spotřeby energie a dosaženého útlumu hluku. Z uvedených měření lze předpokládat, že základní korekce Nařízení vlády č. 148/2006 Sb. na snížení ekvivalentní hladiny akustického tlaku pro chráněný venkovní prostor staveb v noční době ($\Delta L = -10$ dB) je prakticky dosažena již při snížení otáček ventilátorů o cca 30 %. Hlukové chování motorů při tyristorové regulaci je ale velice individuální, takže tento předpoklad nemusí být splněn u každého motoru. Regulace výkonu chladičů ovšem neřeší pouze snižování hluku.

Tento článek navazuje na článek téhož autora "Energetické a hlukové aspekty provozu vzduchem chlazených výměníků při částečném zatížení", který byl uveřejněn ve VVI č. 2/2009, a doplňuje tak problematiku regulace výkonu vzduchem chlazených výměníků.

Klíčová slova: plynulá regulace, tyristorová regulace, frekvenční měnič, sinus regulátor, transformátor

Different methods of continuous control of fans at air-cooled heat exchangers are presented and advantages and disadvantages are discussed. Finally, a comparison of energy consumption and noise reduction based on measurement results is carried out. It can be presumed from presented measurements that the basic correction for reduction of sound pressure level of protected external building areas at night according to the Czech Regulation No. 148/2006 Sb. ($\Delta L = -10$ dB) is reached at speed reduction by approx. 30 %. However, the sound behavior is very individual at phase cut control, so this presumption needn't be fulfilled at each motor. And the capacity control has also other benefits then just a noise reduction.

This article is a free continuation of the article "Energy Consumption and Noise Level of Air-Cooled Heat Exchangers at Part Load" published in VVI No. 2/2009 by the same author and it completes the theme of capacity control of air cooled heat exchangers.

Keyword: continuous control, phase cut control, frequency converter, sine controller, transformer

1. ÚVOD

Pro plynulou regulaci otáček ventilátorů vzduchem chlazených výměníků je k dispozici několik typů: napěťová, frekvenční a speciální EC motorů. Ačkoliv to není příliš v podvědomí, nejsou jednotlivé typy vzájemně zastupitelné, tzn. pro napěťově regulovatelné motory není vhodná regulace běžným frekvenčním měničem a obráceně pro frekvenčně regulovatelné motory není v žádném případě možná napěťová regulace.

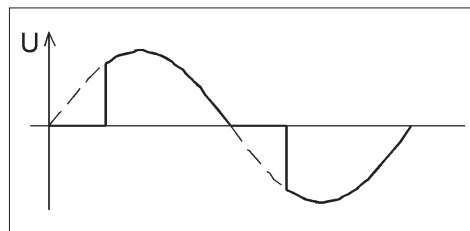
2. NAPĚŤOVÁ REGULACE

Napěťová regulace je regulace prostřednictvím skluzu. Problémem je zajištění přenosu výkonu ze statoru na rotor v celém rozsahu skluzu, zejména při nízkých otáčkách, tedy velkém skluzu. Rotor se proto konstrukčně liší od běžných motorů s kotvou nakrátko, a to nejen použitými materiály, ale i tvarově. To vysvětluje, proč běžné motory nesnesou trvalé přepnutí do hvězdy, ale jen po krátkou dobu při startu. Axiální ventilátory kondenzátorů a suchých chladičů řady výrobců (např. těch, kteří používají ventilátory německé firmy Ziehl-Abegg) jsou vybaveny právě napěťově regulovatelnými motory, a proto jsou také trvale přepínatelné hvězda/trojúhelník.

2.1. Tyristorová regulace

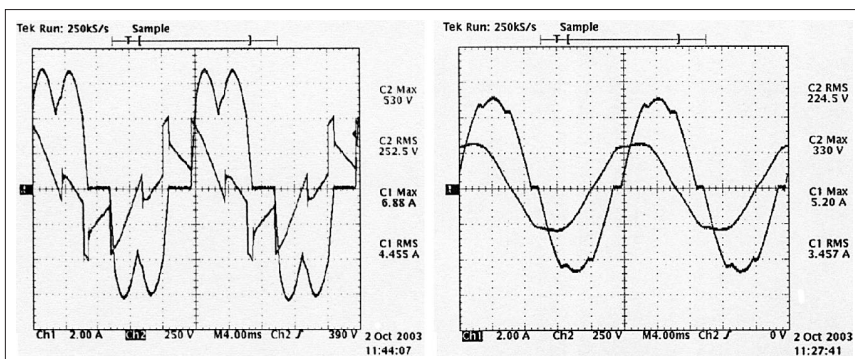
Tyristorová regulace je jeden ze způsobů napěťové regulace. Její princip je znázorněn na obr. 1. Základem jsou tyristory, které v uzavřeném stavu brání průchodu napětí. V určitém okamžiku se otevřou a propustí pouze koncovou část pulsusovky. Proto se tento způsob také nazývá regulací fázového posunu.

Plocha pod funkční částí sinusovky určuje efektivní napětí přiváděné do motorů. Čím později se tyristor otevře, tím menší je efektivní napětí a tím menší jsou otáčky motoru.



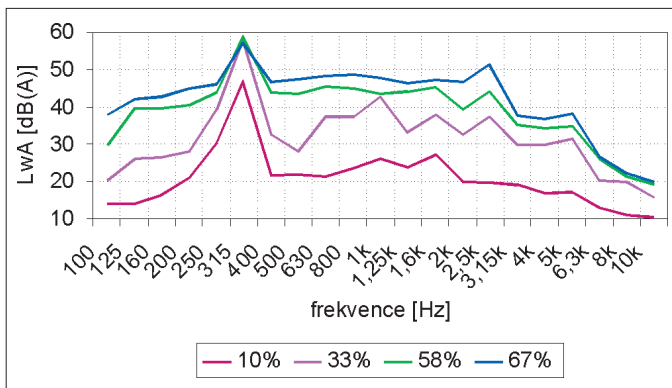
Obr. 1 Princip tyristorové regulace (čárkované napětí sítě, plně výstupní napětí z regulátoru)

Je zřejmé, že napětí již nemá sinusový průběh, ale čím později je tyristor otevřen, tím více se podobá spíše jednotlivým signálům. Dokonce už při regulaci na 70 % má složitý tvar jenom vzdáleně připomínající sinusovku (obr. 2a). Právě diskontinuita napětí a proudu s úseky nulové hodnoty může způsobit v motoru dodatečný, touto regulací podmíněný hluk. Proto-



Obr. 2 Průběh výstupního napětí a proudu u tyristorové regulace při otáčkách 70 %

a) bez hlukového filtru; b) s hlukovým filtrem



Obr. 3 Spektrum hluku (hladina akustického výkonu A) ventilátoru při tyristorové regulaci

že každý motor je konstrukčně odlišný, projevuje se tento hluk u každého motoru jinak.

Typickým projevem je tzv. „brumlání“, které je způsobeno výrazným maximum v oktávě okolo 300 Hz (obr. 3). Toto maximum je slyšitelné a velmi nepříjemné zejména při nízkých otáčkách. Zařazením tzv. hlukových filtrů, což je soustava kondenzátorů a cívek, mezi regulátor a motor se průběh napětí a proudu (obr. 2b) a hlukové expozice zlepšil, problémy se však nikdy zcela neodstraní.

Jsou i ventilátory, u nichž se regulační hluk v motoru neprojevuje nebo je ve srovnání s aerodynamickým hlukem obtékání lopatek zanedbatelný. Obecně se však u velmi tichých ventilátorů s minimálním aerodynamickým hlukem a/nebo při instalaci v hlukově citlivém prostředí (nemocnice apod.) tento způsob regulace nedoporučuje.

2.2. Transformátorová regulace

Transformátorová regulace pracuje na principu transformátoru s plynulým transformačním poměrem. Průběh napětí i proudu je sinusový o frekvenci sítě, pouze se mění amplituda. Tím se opět snižuje efektivní napětí a otáčky motoru. Díky sinusovému průběhu napětí nevzniká v motoru žádný regulační hluk. Regulace je proto vhodná i pro velmi tiché ventilátory. Vzhledem k vysoké ceně se ale nikdy příliš nepoužívala a v poslední době je zcela nahrazena frekvenční regulací, která je i se „sinus filtry“ levnější. Vyžadovala i drobnější údržbu, protože uhlíkové kartáče, které se pohybují pro vinutí transformátoru, se opotřebovávají a po určité době (cca 5 až 10 let) se musejí vyměnit.

3. FREKVENČNÍ REGULACE

Principem regulace je převod síťového napětí o frekvenci sítě soustavou polovodičů na stejnosměrné napětí a z něho dále na střídavé napětí požadované frekvence. Vedle všeobecně známé zpětné odezvy do sítě však nastávají problémy i na straně motoru. Výstupní napětí není hladké, ale skládá se z krátkých pulzů podle taktu polovodičů. Na čelní straně pulzů dochází k prudkému nárůstu napětí (řádově kV/μs), což přináší zvýšené namáhání izolace vinutí. Napěťově regulovatelné motory nejsou na taková zatížení běžně stavěny. Vedle problémů s izolací vinutí dochází k zapékání ložisek indukčními proudy, což oboje výrazně snižuje životnost. Pulzory mohou způsobit hlukové problémy, v tomto případě většinou ve vysokých frekvencích („pískání“).

Pro regulaci napěťově regulovatelných motorů tak musejí být frekvenční měniče vybaveny „sinus filtry“ na výstupu z měniče vyhlazujícími výstupní pulzy do sinusového průběhu nejen mezi fázemi navzájem, ale i vzhledem k zemi. Filtry jsou opět soustava kondenzátorů a cívek podobně jako hlukové filtry u tyristorové regulace, jejich konstrukce je ale náročnější. Výhodou jsou vestavěné „sinus filtry“, neboť jsou přímo přizpůsobeny konkrétnímu frekvenčnímu měniči a jsou tak účinné v celém regulačním rozsahu.

Špičku v této oblasti představují sinus regulátory firmy Güntner, kde shoda výstupního signálu s ideálním sinusovým průběhem je cca. 2 % (shoda do 5 % umožňuje nazývat výstupní signál jako sinusový, což dalo obchodní název této regulaci).

Ze zkušeností nelze tvrdit, že frekvenční regulace bez „sinus filtrů“ znamená vždy problémy. Jsou instalace bez „sinus filtrů“, které již několik let pracují bez problému, na druhou stranu jsou i instalace, u nichž se do půl roku poškodila polovina motorů. Výrobce jsou každopádně doporučeny vždy, a pokud nejsou použity, je to pouze na vlastní riziko provozovatele.

Z cenového hlediska je frekvenční regulátor se „sinus filtry“ přibližně dvojnásobně dražší než tyristorový, oproti tyristorovému s hlukovými filtry je cena již přibližně srovnatelná a oproti plynulému transformátoru je levnější. S kvalitními „sinus filtry“ lze frekvenční regulaci bez obav použít i u napěťově regulovatelných motorů. V tomto případě nevzniká žádný dodatečný motorový hluk, a regulace je tak vhodná i pro velmi tiché ventilátory a hlukově citlivé aplikace.

4. EC VENTILÁTORY

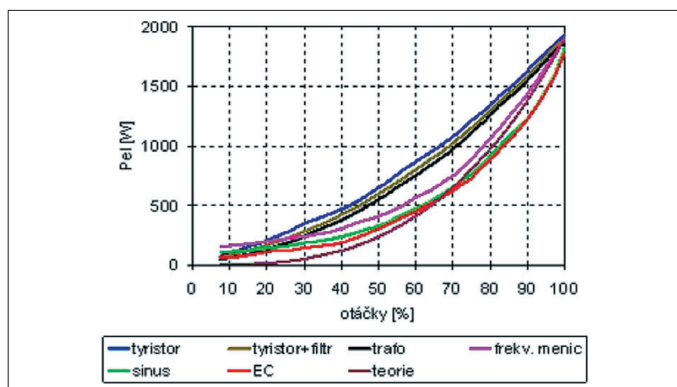
Elektronicky komutované (EC) ventilátory mají stejnosměrné elektromotory. Rotor je tvořen permanentním magnetem, čímž odpadají ztráty v rotoru přemagnetováním, a EC ventilátory tak dosahují vyšší účinnosti než obdobné ventilátory s asynchronními motory. Připojení na běžnou rozvodnou síť zajišťuje elektronika, která převádí střídavé napětí z rozvodné sítě na stejnosměrné. Z toho vyplývají pro výrobce výměníků dvě podstatné výhody: zaprvé otáčky ventilátorů tak již nejsou omezeny frekvencí sítě, což umožňuje zvětšit rozmanitost ventilátorů i výměníků a zadruhé ventilátor má stále stejné otáčky bez ohledu na frekvenci napájecí sítě a výměníky osazené těmito ventilátory tak mají stále stejné parametry (výkon a hlučnost) kdekoli na zeměkouli. Přínosem jsou i pro uživatele. Vedle zmíněné vyšší účinnosti umožňuje řídicí elektronika standardně plynulou regulaci otáček, do motoru stačí pouze přivést signál 0 až 10 V. Uživatel tak za jednu cenu získá nejen ventilátor, ale i regulátor otáček. Řídicí elektronika zpravidla zajišťuje i ochranu motoru (hlídá jeho přehřátí), takže rozvaděč se zužuje pouze na jištění přívodních kabelů k motorům. Přes nesporné výhody zatím většímu rozšíření EC ventilátorů bránila pořizovací cena.

5. SROVNÁNÍ RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ PLYNULÉ REGULACE

Jednotlivé druhy plynulé regulace budou srovnány na základě spotřeby energie a hlukového útlumu. Prezentované hodnoty jsou výsledkem měření jednoho asynchronního motorventilátoru a odpovídajícího EC ventilátoru.

Elektrické příkony jsou uvedeny na obr. 4. Jedná se o celkový příkon motoru a regulátoru. Napěťová regulace je z energetického hlediska nejhorší, neboť se jedná o regulaci prostřednictvím skluze. Nejvyšší příkony vykazuje samotná tyristorová regulace. Použitím hlukových filtrů se příkon trochu sníží, protože hlukové filtry (kondenzátor + cívka) kompenzují jalový proud motoru, čímž snižují celkový proud a zvyšují účinnost soustavy. Z napěťové regulace vykazuje nejmenší příkon transformátor, protože díky ideálnímu sinusovému průběhu jsou minimalizovány tepelné ztráty v motoru a je tak dosažena vyšší účinnost.

Lepší účinnosti a tím i menšího příkonu dosahuje frekvenční regulace, a to v převážné části regulačního rozsahu. Výjimkou je pouze oblast nízkých otáček, kde je tato regulace z energetického hlediska horší než napěťová. Příčinou jsou ztráty při magnetizaci. Dalšího zlepšení v celém regulačním rozsahu se dosáhne použitím kvalitních „sinus filtrů“ jako je tomu u sinus regulace firmy Güntner. Tím se získají parametry srovnatelné s EC ventilátory.



Obr. 4 Porovnání spotřeby energie ventilátoru při různých způsobech plynulé regulace otáček

Do obrázku je dále zakreslena teoretická křivka podle vztahu

$$P = \left(\frac{n}{n_N}\right)^3 \cdot P_N \quad (1)$$

kde n , resp. n_N jsou snížené, resp. jmenovité otáčky motoru a P , resp. P_N příkon motoru při těchto otáčkách.

Vlivem zhoršující se účinnosti elektromotoru při nižších otáčkách nevykazuje žádný způsob regulace pokles příkonu podle teoretických předpokladů. Největší pokles je dosažen u frekvenční regulace a EC ventilátorů (v horní části regulačního rozsahu podle exponentu cca. 2,5), od poloviny až dvou třetin regulačního rozsahu se ale již znatelně projevuje horší účinnost elektromotoru. U napěťové regulace je pokles příkonu přibližně podle exponentu cca. 1,7.

Hlukové měření proběhlo v hlukové komoře s pozadím 17 dB(A). Jeho výsledky jsou zobrazeny na obr. 5. Do grafu je dále zakreslen teoretický průběh podle vztahu [2]

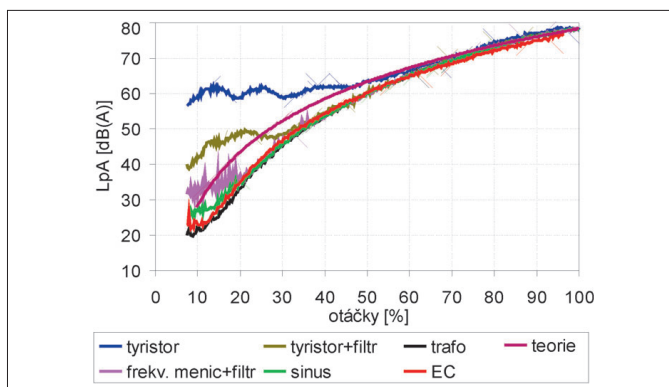
$$\Delta L \approx 50 \cdot \log \frac{n}{n_N} \quad (2)$$

V horní části regulačního rozsahu se hlukčnost měřeného ventilátoru snižuje u všech způsobů plynulé regulace zhruba podle teoretických předpokladů. Oproti nim se ale u tyristorové regulace vlivem dodatečného motorového hluku hlukčnost již dále nesnižuje, ale je víceméně konstantní. Je zapotřebí si uvědomit, že zdroj má tónovou složku a při vyhodnocování měření tak bude k naměřeným hodnotám (podle grafu) přičtena korekce. Pro splnění hygienických předpisů tak zdroj hluku s tónovou složkou musí dosáhnout podstatně vyššího útlumu než zdroj bez tónové složky. Dále je nutné mít na paměti, že hlukové chování motoru při tyristorové regulaci je velmi individuální a jsou i motory, které v celém regulačním rozsahu vykazují zanedbatelný hlukový útlum. Určitého zlepšení se dá u tohoto typu regulace dosáhnout použitím hlukových filtrů.

Naproti tomu nejlepší hlukové chování při regulaci vykazuje transformátrová regulace, jíž se velmi blíží EC ventilátory a sinus regulace firmy Güntner (frekvenční měnič se „sinus filtry“ a s téměř sinusovým výstupním napětím). Na stejné bázi postavená frekvenční regulace s horšími filtry (odchylka od sinusového průběhu je vyšší než 5 %) je jen o málo horší (zejména při velmi nízkých otáčkách).

ZÁVĚR

Nelze pouze hovořit o výhodách plynulé regulace otáček ventilátorů na vzduchem chlazených výměnících, aniž bychom věděli, o jakém typu mlu-



Obr. 5 Hlukové srovnání různých způsobů plynulé regulace otáček ventilátorů podle hladiny akustického tlaku A

víme. K dispozici je totiž celá řada funkčních principů s různými vlastnostmi. Obecně nelze upřednostnit žádný z nich, neboť každý má své klady a zápory. Z energetického a hlukového hlediska vykazují nejlepší vlastnosti EC ventilátory a sinus regulace následované frekvenčním měničem. Výhodou tyristorové regulace je nižší cena, tento typ ale může vykazovat hlukové problémy.

Je všeobecně zažitá nesprávná představa, že plynulá regulace vyřeší všechny regulační problémy. Cílem nemůže být plynulá regulace, ale správný typ plynulé regulace. Je proto nutné zvažovat, jaké požadavky a očekávání má regulace splňovat. A i zde platí, že komfort a splnění vysokých nároků něco stojí.

Příspěvek vychází z poznatků získaných při řešení projektu SP/3g3/148/07 s názvem „Energetické a environmentální hodnocení provozu chladicích zařízení a tepelných čerpadel“ podpořeného MŽP ČR.

Kontakt na autora: m.petrak@guentner.cz

Použité zdroje:

- [1] Podklady firmy Güntner AG & Co. KG, SRN
- [2] Nový, R. *Hluk a chvění*. Praha: ČVUT, 2000, 389 s., 2. vyd. ISBN 80-01-02246-3I

*** Švýcarský obor chlazení zaspává omezování R 22**

Na 1. švýcarském fóru chlazení v listopadu 2008 v Zürichu nebyl ústup od R 22 žádným tématem s odůvodněním, že to nikoho nezajímá. Že situace ve Švýcarsku bude brzy dramatická, vzhledem k tomu, že podle Montrealského protokolu se nesmí od 1. 1. 2010 žádné nové chladivo R 22 dovážet, prodávat ani vyměňovat, ukazuje skutečnost, že zde ještě v roce 2007 byla 110 tunami tohoto nového chladiva doplňována chladicí zařízení v rámci servisu.

Švýcarsko plánuje zavést „předběžný likvidační poplatek“ na chladivo R 22, aby mohlo být později řádně likvidováno. Obdobný poplatek je ve Švýcarsku uplatňován u baterií a akumulátorů.

Dnes stojí likvidace 1 kg R 22 cca 35 švýcarských franků. Tento poplatek povede k velké finanční zátěži uživatele, např. při likvidaci doslouženého zařízení s velkým obsahem chladiva, což povede k hledání jiných pochybných likvidačních cest.

V souvislosti s tímto poplatkem stoupne cena tohoto chladiva, což znamená, že bude jeho hodnota při likvidaci vyšší a tak se vyplatí jeho recyklace a sníží nebezpečí jeho vypouštění do atmosféry. A možná i tato okolnost povede švýcarské provozovatele, aby přešli na jiná chladiva.