Vybrané metody diagnostiky větrné elektrárny

Problematice diagnostiky větrných elektráren (VE) je v posledních letech právem věnována zvýšená pozornost. Velký počet elektráren je v trvalém provozu déle než 10 let, s tím je spojené vysoké riziko destrukce systému v důsledku únavy materiálu nebo lomu kritických částí. Z ekonomického hlediska je závažnost havárií VE významná. K důležitým počinům v této oblasti patří např. vydání normy VDI 3834 určující přípustné hodnoty vibrací klíčových částí a snahy norem ISO 61400 upřesnit postupy a metody sběru klíčových provozních a diagnostických dat.

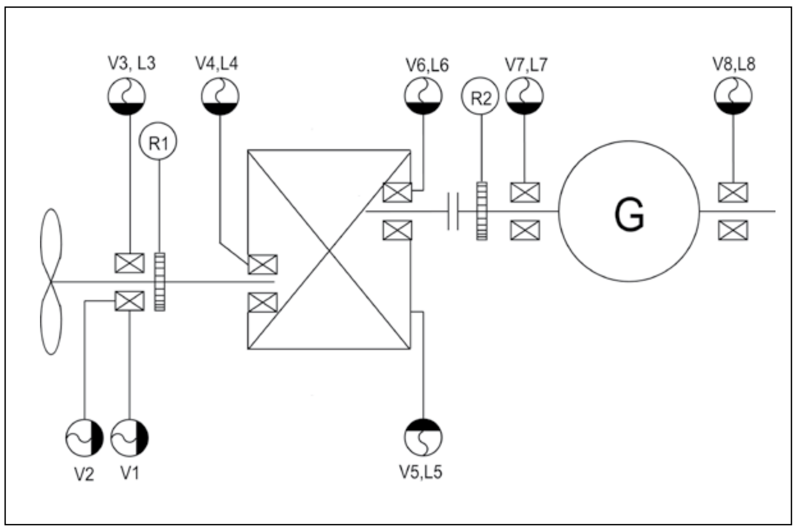
Výzkumný projekt „Diagnostický systém sledování spolehlivosti základních funkcí větrných elektráren – DSVE“ jsme řešili v rámci programu MPO pro podporu výzkumu Impuls. V průběhu řešení projektu jsme navrhli a ověřili metody diagnostiky, které nejsou úplně běžné v diagnostice ostatních průmyslových zařízení. Důvodem jsou zejména provozní specifika větrné elektrárny s enormním silovým namáháním, proměnným časovým průběhem zátěže, nízkou otáčkovou frekvencí rotačních částí a celkově extrémními pracovními podmínkami.

Diagnostika základních funkcí větrné elektrárny má za úkol trvale monitorovat stav strojních částí, oznamovat zhoršování provozního stavu a především zabránit závažným poškozením technologie automatickým omezením nebo zastavením činnosti. Prostřednictvím diagnostického systému (DSVE) lze včas rozpoznat změny stavu součástí větrné elektrárny, které představují odchylky od normálního provozního chování a mohou vést k předčasnému výpadku.

DSVE se zaměřuje na měření vibrací a akustické emise v pevném materiálu prvků hnacího ústrojí - v hlavním ložisku turbíny, v převodovém soukolí a ložisku převodovky i na ložiscích generátoru. Dále měří otáčky turbíny, nízkofrekvenční vibrace i náklon stožáru a speciální metodou umožňuje identifikovat rozvážení rotoru turbíny během jediné otáčky. Systém je možné rozšířit o další běžná měření veličin, jako je snímání teplot oleje a ložisek i dalších diagnostických parametrů, které mají pro danou strojní součást nějaký význam.

DSVE nenahrazuje stanovené metody pravidelné údržby a inspekce zařízení větrné elektrárny. Přípravu údržby, její rozsah i náklady je však možné ovlivnit informacemi, které DSVE poskytuje. DSVE v souladu s požadavky ISO 61400-1 funguje zcela odděleně od řídicího a provozního systému VE. Oba systémy jsou propojeny pouze komunikaci pro výměnu důležitých provozních nebo diagnostických dat. Důležitým výsledkem úplné autonomnosti systému je možnost dodatečného zabudování do již provozovaných VE.

Na **obrázku** je schéma základního řešení systému pro nejběžnější typové uspořádání - VE s rychloběžným generátorem a převodovkou.



U diagnostikovaných částí soustrojí jsou vyznačeny měřené veličiny. V1 a V2 jsou nízkofrekvenční vibrace hlavního ložiska a stožáru v horizontální rovině, měřené lineárními akcelerometry. Veličiny V3 až V8 jsou běžné středofrekvenční vibrace ložisek, L3 až L8 jsou vysokofrekvenční vibrace – akustická emise. Akustická emise i běžné vibrace jsou v každém místě snímány jediným snímačem, ze kterého jsou vibrace V a emise L odděleny elektronickým zpracováním v DSVE. R1 a R2 jsou otáčky pomaloběžné a rychloběžné části. V rozšířené variantě DSVE mohou být diagnostikovány další veličiny – zejména teploty ložisek, teploty vinutí generátoru atp.

V další části jsou uvedeny některé diagnostické metody, kterými se DSVE odlišuje od běžných diagnostických systémů rotačních strojů.

NÁKLON STOŽÁRU

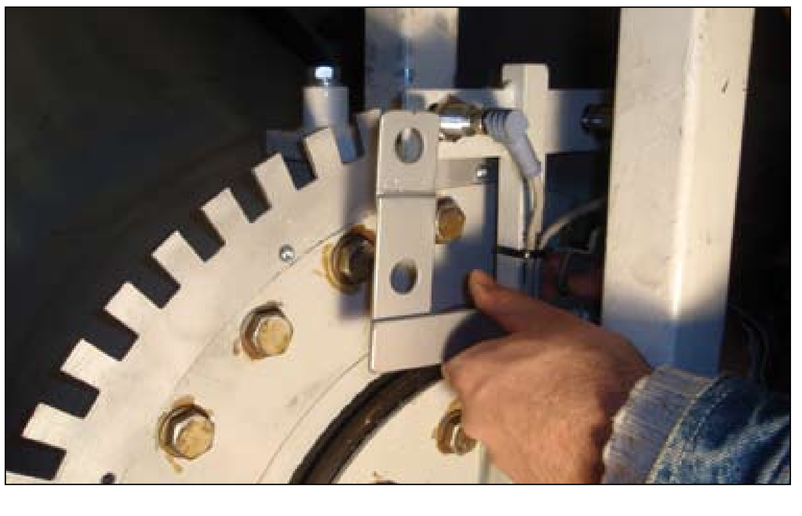
Pro měření naklonění VE se používá dvouosý lineární akcelerometr (inklinometr) s rozsahem ±10°, na **obrázku** se jedná o veličinu V1 a V2. Inklinometr je umístěn v gondole v horizontální rovině a je pevně spojen se statorem hlavního ložiska elektrárny. Osa X je totožná s osou rotoru, osa Y je na tuto osu v horizontální rovině kolmá. Výchylky X a Y jsou nakalibrovány a udávány v úhlových stupních náklonu od svislé osy větrné elektrárny. Tento úhel náklonu věže bývá dle konstrukce větrné elektrárny max. 1°. Měřicí rozsah inklinometru je však volen větší než možný úhel náklonu. To je proto, že inklinometry jsou současně i akcelerometry a zrychlení působené gravitační silou nejde na čidle jednouše odlišit od zrychlení způsobených jinými silami.

Pro účely měření náklonu jsou signály z inklinometrů elektricky filtrovány, a to filtry s horní frekvencí nižší než jsou běžné provozní otáčky vrtule. Výstupem metody jsou hodnoty okamžitého náklonu v souřadném systému spojeném s gondolou, udávané buď jako náklon věže v osách X, Y horizontální roviny (systém kartézských souřadnic), anebo přepočteny jako celková velikost náklonu D od svislé osy, přičemž orientace náklonu vůči ose rotoru je dána v horizontální rovině úhlem α (systém polárních souřadnic). Pro vyhodnocení havarijního stavu náklonu jsou naměřené hodnoty porovnávány s nastaveným mezním úhlem náklonu, který nesmí být za běžného provozu překročen.

Uvedený způsob měření hodnotí náklon věže vůči gondole, která má ovšem zároveň schopnost natáčení do směru větru. Při měření náklonu věže vůči zemi musí diagnostický systém zohlednit aktuální polohu gondoly (získanou z řídicího systému elektrárny), která se dá dohromady se směrem náklonu, a tím získá údaje o směru náklonu věže vůči zemi. Diagnostický systém je schopný evidovat významná naklonění stožáru v určitém směru, sledovat statistiku jejich výskytu a doby trvání a upozornit při určitém překročení počtu výkyvů na nutnost prohlídky věže. Aplikace metody evidence únavového namáhání stožáru je jedním z nejdůležitějších prvků prevence těžkých havárií systémů VE.

DIAGNOSTIKA NEVÝVAHY ROTORU

Jde o speciální metodu vyvinutou pro rychlou indikaci rozvážení rotujících



částí turbíny větrné elektrárny. Vlastní metoda je založena na předpokladu, že nevývaha turbíny vyvolá odstředivou sílu, která způsobí kmitavý pohyb gondoly a sloupu. Tento pohyb bude mít výraznou amplitudu na frekvenci rovné otáčkové frekvenci rotoru v horizontální rovině. Kmitavý pohyb je zjišťován stejným inklinometrem, kterým se měří náklon stožáru. K vyhodnocení je v tomto případě využit signál z osy Y inklinometru (kolmé na osu otáčení), ze kterého se detekuje amplituda výchylky pohybu věže na otáčkové frekvenci turbíny, a to metodou vyhodnocení tzv. synchronních vibrací. Signál z inklinometru

je vzorkován synchronně s pohybem rotoru v okamžicích příchodu impulsu od zubového kola. Zubové kolo se otáčí na hřídeli turbíny a používá se primárně v řídicím systému elektrárny pro měření otáček turbíny, v našem případě je využito jako informace o úhlové poloze lopatkového systému VE.

Výpočetním mechanismem, kdy se synchronní vzorky signálu váhově přenásobí sinusovým a kosinusovým průběhem a sečtou se, dostaneme sinovou a kosinovou složku 1. harmonické frekvence otáčení, ze které se nechá vypočítat jak celková velikost nevývahy (ekvivalentní hmotnost), tak i její poloha vzhledem k souřadnému systému vrtule. Určuje se tak konkrétní list vrtule, který nevývahu vyvolal.

Uvedená metoda má, na rozdíl od metod využívajících analýzu kmitočtového spektra vibrací, výhodu v tom, že je schopná poznat nevývahu již po jedné otáčce lopatek, okamžitě vyhodnotit havarijní stav a zastavit turbínu včas - dříve než dojde k její totální destrukci. Nevývaha turbíny, ať již vzniklá např. námrazou, kondenzací vody uvnitř listu, únavovým nebo jiným poškozením listu, je vážným nebezpečím nejen pro stroj samotný, ale i pro jeho okolí. Proto je rychlá reakce velmi důležitá a je součástí automatického zabezpečení VE.

DIAGNOSTIKA AKUSTICKÉ EMISE Z LOŽISKA

Hlavní metodou sledování ložiska je metoda měření ultrazvukové emise v kmitočtovém pásmu okolo 30 kHz. K měření se používá stejný akcelerometr, jako v případě měření vibrací. Stav ložiska za provozu se zjišťuje vývojem hodnoty charakterizující zrychlení chvění v místě majícím akustickou vazbu s ložiskem, a to širokopásmově na frekvencích vyšších než 10 kHz. Ze signálu se získává speciální matematickou metodou tzv. konjugované zrychlení a vyhodnocuje se v logaritmické stupnici v dB, tím lze pokrýt celý dynamický rozsah možných aplikací bez nutnosti přepínání měřicích rozsahů.

Základní vyhodnocení probíhá tak, že za standardních provozních podmínek a za empiricky určeného bezvadného stavu ložiska je stanovena předem zjištěná hodnota. S touto hodnotou se pak porovnává hodnota konjugovaného zrychlení. Při zvýšení konjugovaného zrychlení o +10 dB je indikován zhoršený stav a při zvýšení konjugovaného zrychlení o +20 dB dochází k vyhodnocení havarijního stavu.

Metoda diagnostiky akustické emise ložisek je vhodná pro zjištění stavu oběžných ploch, stavu povrchu valivých elementů, mazání ložiska apod. Je patentově chráněna a úspěšně ověřována v provozním nasazení na točivých strojích více než 15 let.

VÝSLEDKY ZVOLENÉHO PŘÍSTUPU

Popsané metody jsou ukázkou specifického přístupu k řešení problematiky diagnostiky větrných elektráren, pro které nelze mechanicky přejímat metody diagnostiky běžných rotačních strojů. Vhodně zvolené metody však umožňují řešit přiměřenými technickými prostředky důležité diagnostické úlohy, mající dopad nejen na životnost, ale i na bezpečnost provozu větrné elektrárny.

Praktickým výsledkem zvoleného přístupu je snížení celkových nákladů na diagnostický systém, omezení požadavků na jeho montáž a zvýšená spolehlivost reakce na vznik skutečných provozních poruch. Popsané vlastnosti otevírají možnost i pro dodatečné nasazení systému DSVE do oblasti větrných elektráren o výkonech 500 kW – 1,5 MW, které vzhledem k počtu instalací a délce provozního nasazení, představují provozně nejvíce rizikovou skupinu. ●

ING. PETR VESELÝ

AURA a.s. Milevsko

Společnost AURA a.s. působí na trhu průmyslových řídících a diagnostických systémů již 15 let

Oslavte naše výročí s námi na veletrhu AMPER 2010 (ve dnech 13. - 16. 4. 2010).

Najdete nás ve 3. hale na stánku 3A4.

Těšíme se na setkání, kolektiv AURA a.s.

www.auranet.cz