

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 32 016

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**G01M 13/00** (2006.01)  
**F01D 5/00** (2006.01)  
**G01R 19/25** (2006.01)  
**G01P 3/64** (2006.01)  
**G06F 17/00** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2018-35075**  
(22) Přihlášeno: **05.10.2017**  
(47) Zapsáno: **28.08.2018**

- (73) Majitel:  
Ústav Termomechaniky AV ČR, v.v.i., Praha 8,  
Libeň, CZ
- (72) Původce:  
Ing. Pavel Procházka, CSc., Praha 8, Kobylisy, CZ
- (74) Zástupce:  
NEOLEGAL - advokátní a patentová kancelář, Ing.  
Jaroslav Novotný, Římská 2135/45, 120 00 Praha 2,  
Vinohrady

- (54) Název užitného vzoru:  
**Zařízení pro identifikaci lopatek stroje za  
rotace**

CZ 32016 U1

## Zařízení pro identifikaci lopatek stroje za rotace

### Oblast techniky

5

Technické řešení se týká zařízení pro identifikaci rotujících lopatek lopatkového stroje, např. turbíny, kompresoru nebo ventilátoru velkého výkonu za provozu. Identifikací lopatek se rozumí jednoznačné přiřazení pořadového čísla lopatky ke každé za sebou jdoucí lopatce. Identifikace lopatek za provozu je nutná pro synchronizaci a správnou funkci bezkontaktních vibrodiagnostických zařízení, které pro každou lopatku stroje stanoví charakteristiky vibrací, především amplitudy, frekvence a tvary kmitů lopatky.

10

### Dosavadní stav techniky

15

Současné bezdotykové systémy pro měření statických a dynamických parametrů vibrací rotujících lopatek strojů, např. parních turbín, jsou nejčastěji založeny na metodě časových diferencí. Ve statoru stroje je v daném příkladě instalováno několik, zpravidla tři až pět, bezdotykových senzorů průchodu lopatek. Při průchodu každé lopatky generují tyto senzory napětový impuls, jehož čas je ve vyhodnocovací části systému měřen. Lopatky se pohybují kolem senzorů vysokou obvodovou rychlostí  $v_o = \Omega R$ , kde  $\Omega$  je úhlová rychlost rotace kola a  $R$  poloměr špiček lopatek. Obvodová rychlost  $v_o$  může dosahovat hodnot více než 700 m/s. Požadavky na rozlišovací schopnost měření jsou značné; obvykle je potřeba rozlišit amplitudy vibrací od 10  $\mu\text{m}$ . Tomu odpovídá i požadavek na rozlišení měření v časové oblasti 10 ns.

25

Mimo statorové senzory jsou pro identifikaci a správnou funkci vibrodiagnostických zařízení systémy vybaveny referenčními senzory. Radiální referenční senzory snímají průchod magnetické nebo optické referenční fázové značky umístěné na hřídeli. Axiální referenční senzory snímají zpravidla průchod lopatek v jejich patě, kde jsou vibrace lopatek zanedbatelně malé, nebo průchod referenční fázové značky umístěné na disku kola. Nevýhodou je technicky a ekonomicky náročná instalace referenčních značek a referenčních senzorů vzhledem k obtížné přístupnosti vhodných míst pro jejich umístění. U parních turbín musejí být magnetické značky z důvodu odolnosti bodovány na hřídel, což zpravidla vyžaduje vyjmutí rotoru z turbíny. Bodování na rotor je samo o sobě dosti problematické, protože následkem lokálního ohřevu může dojít k poškození rotoru a iniciaci trhliny. Rotory točivých strojů jsou často namáhány ohybovými a torzními kmity, které způsobují únavové poruchy v jejich materiálu. Z tohoto pohledu je inicializace trhliny velice nebezpečná okolnost, která může vést k havárii stroje s fatálními následky.

40

### Podstata technického řešení

Uvedené nedostatky odstraňuje zařízení pro identifikaci lopatek stroje za rotace, podle tohoto technického řešení, jehož podstata spočívá v tom, že není použit referenční senzor ani referenční značky na hřídeli nebo disku stroje, ale identifikace lopatek stroje je provedena na základě měření časových diferencí průchodu lopatek okolo senzoru umístěného na statoru stroje. Vibrodiagnostický systém navíc nemusí být pro tento účel vybaven zvláštním senzorem, ale pro identifikaci lopatek může být využit jeden z měřících bezkontaktních senzorů vibrodiagnostického systému na statoru. V důsledku výrobních tolerancí a nepřesností se obvodové pozice lopatek vůči výpočtové poloze liší až o několik desetin nebo i jednotek milimetrů. Posloupnost číselných hodnot obvodových vzdáleností mezi jednotlivými lopatkami je jednoznačně definována a může tak být využita k jednoznačné identifikaci lopatek za rotace. Jedna z lopatek se zvolí jako výchozí a přiřadí se jí číslo 1. Následující lopatka bude mít číslo 2, za ní budou pod senzorem procházet lopatky číslo 3, 4, ...  $n$ , kde  $n$  je celkový počet lopatek daného kola stroje. První lopatka prochází pod statorovým senzorem v čase  $t_1$ , druhá lopatka

55

v čase  $t_2$  atd. Vzdálenost mezi 1. a 2. lopatkou se označí jako  $d_1$ , vzdálenost mezi 2. a 3. lopatkou se označí jako  $d_2$  a analogicky další vzdálenosti  $d_3, \dots, d_n$ . Z časových diferencí  $t_{i+1}, t_i$  a okamžité hodnoty obvodové rychlosti kola  $v_0$  se vypočtou mezilopatkové vzdálenosti

$$d_i = v_0 (t_{i+1} - t_i). \quad (1)$$

Při jmenovitých otáčkách a konstantní obvodové rychlosti kola  $v_0 = \text{konst.}$  se provede referenční měření na úseku  $m$  otáček (např.  $m = 1000$ ), z něhož se získají střední hodnoty jednotlivých mezilopatkových vzdáleností

$$d_{i0} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m d_{ij}. \quad (2)$$

Nicméně obvodová rychlost  $v_0$  může během úseku  $m$  otáček kolísat (např. při otáčkách 3000 ot/min se jedná o časový interval 20 s). Proto do rovnice (1) se dosazuje pro každou otáčku hodnota okamžité rychlosti  $v_{0k}$  pro každou otáčku  $k, k = 1, \dots, m$ , vypočtenou z poloměru kola  $R$  a periody dané otáčky, která se získá sumací všech časových diferencí  $t_{kj}$  v dané otáčce.

$$v_{0k} = \frac{2\pi R}{\sum_{j=1}^m t_{kj}}, \quad (k = 1, \dots, m). \quad (3)$$

Tímto referenčním měřením je tedy získána matrice mezilopatkových vzdáleností, která je dána numerickou posloupností  $\{d_{i0}\}$ .

Identifikace lopatek při každém následném měření pak probíhá tak, že se provede měření na úseku  $m'$  otáček (postačí nižší hodnota, např.  $m' = 100$ ), z něhož se získají střední hodnoty jednotlivých mezilopatkových vzdáleností

$$d'_{i0} = \frac{1}{m'} \sum_{j=1}^{m'} d_{ij}, \quad (4)$$

kteří tvoří numerickou posloupnost  $\{d'_{i0}\}$ . Úloha identifikace lopatek se redukuje na nalezení takového posunutí  $P$   $\{d'_{i0}\}$  posloupnosti  $\{d'_{i0}\}$ , aby difference mezi všemi prvky matrice  $\{d_{i0}\}$  a posloupnosti  $P$   $\{d'_{i0}\}$  byly minimální. Jako vhodné kritérium je možno použít např. minimum součtu rozdílů prvků nebo minimum součtu čtverců rozdílů prvků. Metoda je velice citlivá a přesná, neboť rozlišení při měření mezilopatkových vzdáleností se pohybuje v řádu 10  $\mu\text{m}$ .

### 35 Objasnění výkresů

Technické řešení bude blíže objasněno pomocí výkresu, kde na obr. 1 je blokové schéma zařízení pro identifikaci lopatek stroje za rotace.

40

### Příklad uskutečnění technického řešení

Na obr. 1 je schematicky znázorněn průřez rotačním lopatkovým strojem, např. parní turbínou, na kterém je instalováno zařízení pro identifikaci lopatek stroje za rotace. Turbína na obr. 1 má následující části: stator 1, hřídel 2, disk 3 a rotující lopatky 4 stroje, které jsou zavěšeny na disku

45

3. Rozváděcí lopatky a další pomocné části turbíny, které nejsou podstatné pro objasnění funkce vynálezu, nejsou na obr. 1 uvedeny. Zařízení pro identifikaci lopatek stroje za rotace je tvořeno bezkontaktním senzorem 5 průchodu lopatek, zesilovačem 6 signálu, napěťovým komparátorem 7, čítačem 8 a vyhodnocovací jednotkou 10. Při průchodu rotujících lopatek 4 stroje kolem bezkontaktního senzoru 5 lopatek jsou na výstupu tohoto senzoru generovány napěťové impulsy, které jsou následně zesíleny v zesilovači 6 signálu, na jehož vstup jsou napěťové impulsy z výstupu bezkontaktního senzoru 5 průchodu lopatek přivedeny. Výstup zesilovače 6 signálu je propojen se vstupem napěťového komparátoru 7, v němž probíhá digitalizace signálu, tedy převod analogového průběhu na obdélníkový. Nástupná, resp. sestupná hrana výstupního signálu napěťového komparátoru 7 definuje přesný okamžik průchodu každé lopatky. Výstup napěťového komparátoru 7 je přiveden na řídicí vstup čítače 8, na jehož hodinový vstup je přiveden hodinový signál o vysokém kmitočtu, např. 100 MHz, který je generován v generátoru 9 hodinového kmitočtu. Čítač 8 zvýší svůj stav o jedna při každém příchodu hodinového impulsu. Při příchodu impulsu na řídicí vstup čítače 8 je okamžitý stav čítače 8 vyslán do vyhodnocovací jednotky 10. Čítač 8 tedy převádí čas průchodu každé rotující lopatky 4 stroje na binární nebo resp. binárně – dekadické číslo. Vyhodnocovací jednotka 10 pracuje podle předem naprogramovaného algoritmu, v němž jsou stanoveny časové difference rotujících lopatek 4 stroje, okamžitá hodnota periody otáčení pro danou otáčku a následně i mezilopatkové vzdálenosti rotujících lopatek 4 stroje.

Při jmenovitých otáčkách a konstantní obvodové rychlosti kola  $v_0 = \text{konst.}$  je provedeno referenční měření na úseku  $m$  otáček (např.  $m = 1000$ ), z něhož jsou získány střední hodnoty jednotlivých mezilopatkových vzdáleností rotujících lopatek 4 stroje. Identifikace rotujících lopatek 4 stroje při každém následném měření je založena na měření na úseku  $m'$  otáček (např.  $m' = 100$ ), z něhož jsou získány střední hodnoty jednotlivých mezilopatkových vzdáleností rotujících lopatek 4 stroje. Identifikace rotujících lopatek 4 stroje je založena na nalezení takového posunutí posloupností mezilopatkových vzdáleností rotujících lopatek 4 stroje, aby se překrývala s referenční posloupností hodnot mezilopatkových vzdáleností rotujících lopatek 4 stroje, resp. aby rozdíly mezi oběma posloupnostmi byly minimální. Jako vhodné kritérium minima rozdílu posloupností je možno použít např. minimum součtu rozdílů prvků nebo minimum součtu čtverců rozdílů prvků.

### Průmyslová využitelnost

Zařízení pro identifikaci lopatek stroje za rotace lze s výhodou využít u velkých lopatkových strojů, např. parních a plynových turbín, kompresorů a ventilátorů pro jednodušší a ekonomicky výhodnou instalaci bezkontaktních vibrodiagnostických systémů rotujících lopatek. Vibrodiagnostický systém nemusí být pro tento účel vybaven zvláštním senzorem, ale pro identifikaci lopatek může být využit jeden z měřících bezkontaktních senzorů na statoru. Systém pro identifikaci lopatek stroje za rotace odstraňuje technicky a ekonomicky náročnou instalaci referenčních značek a referenčních senzorů a oproti dříve užívaným systémům nemá negativní vliv na bezpečnost sledovaných lopatkových strojů.

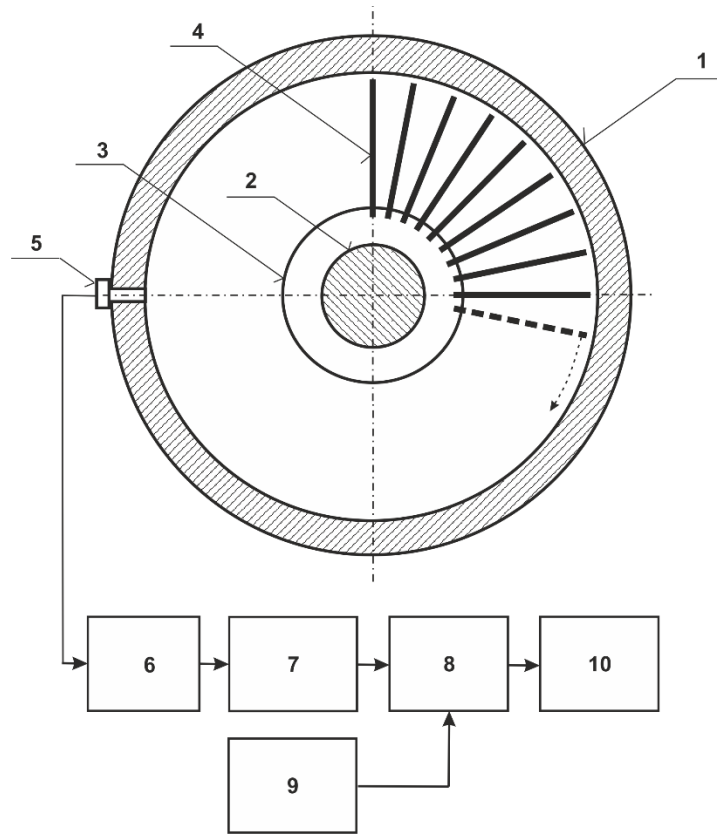
## NÁROKY NA OCHRANU

- 5
1. Zařízení pro identifikaci lopatek stroje za rotace, **vyznačující se tím**, že výstup bezkontaktního senzoru (5) průchodu rotujících lopatek (4) stroje je přiveden na vstup zesilovače (6) signálu, jehož výstup je propojen se vstupem napěťového komparátoru (7), jehož výstup je propojen s řídicím vstupem čítače (8), na jehož hodinový vstup je přiveden výstupní signál z generátoru (9) hodinového kmitočtu, přičemž výstup čítače (8) je přiveden na vstup vyhodnocovací jednotky (10).
- 10

1 výkres

Seznam vztahových značek:

- 1 Stator
- 2 Hřídel
- 3 Disk
- 4 Rotující lopatky stroje
- 5 Bezkontaktní senzor průchodu rotujících lopatek stroje
- 6 Zesilovač signálu
- 7 Napěťový komparátor
- 8 Čítač
- 9 Generátor hodinové frekvence
- 10 Vyhodnocovací jednotka.



Obr. 1