

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

307 599

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01M 13/00 (2006.01)
G01M 1/00 (2006.01)
G01R 19/25 (2006.01)
G01H 1/00 (2006.01)
G01P 3/66 (2006.01)
F01D 5/00 (2006.01)
G06F 17/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

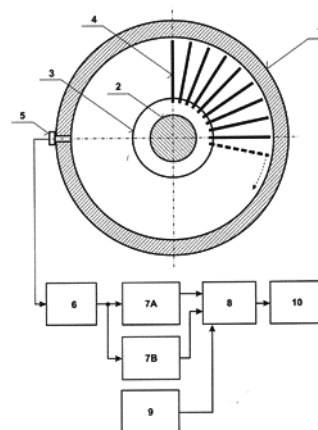
(21) Číslo přihlášky: **2017-665**
(22) Přihlášeno: **18.10.2017**
(40) Zveřejněno: **02.01.2019**
(Věstník č. 1/2019)
(47) Uděleno: **21.11.2018**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **02.01.2019**
(Věstník č. 1/2019)

(56) Relevantní dokumenty:
(Vibrodiagnostika lopatek parních turbín; Pavel Procházka; Výzkum pro energetiku: vybraná témata; <http://www.academia.cz/uploads/media/preview/0001/04/6fcb1663b489dc123694c5b629f58cb16e0ff7ef.pdf>) 20.09.2017; (Contactless Diagnostics of Turbine Blade Vibration and Damage; P. Procházka, F.Vaněk; Journal of Physics: Conference Series (2011) Vol. 305, 012116 (11 pp.), ISSN: 1742-6596) 01.06.2015.
RU 2593652 C1; US 2014007591 A1; DE 102012216160 A1; CZ 22502 U1; CZ 20423 U1; US 5015949 A.

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

(54) Název vynálezu:
**Způsob identifikace feromagnetických
lopatek stroje za rotace**

(57) Anotace:
Způsob identifikace feromagnetických lopatek stroje za rotace, využívající zařízení bezkontaktního vibrodiagnostického systému s elektromagnetickým senzorem (5) průchodu rotujících lopatek stroje. Rotující lopatky (4) stroje se nejprve odmagnetují, tak aby při průchodu lopatek (4) hodnota napětí na výstupu zesilovače (6) vibrodiagnostického systému nepřekročila zvolenou maximální hodnotu $U_{i\max}$, načež se jedna z lopatek (4) zmagnetuje tak, že hodnota napětí na výstupu zesilovače (6) vibrodiagnostického systému při průchodu této lopatky (4) je minimálně 1,2násobkem maximální hodnoty $U_{i\max}$. Napětí z výstupu zesilovače (6) se přivede na jeden vstup referenčního komparátoru (7B), o který se rozšíří vibrodiagnostický systém, a na jeho druhý vstup se připojí referenční napětí U_r , které se neliší o více než 10 % od 1,1násobku maximální hodnoty $U_{i\max}$. Zpracování signálu z výstupu referenčního komparátoru (7B), čítače (8) a ve vyhodnocovací jednotce (10) vibrodiagnostického systému má za výsledek jednoznačné přiřazení pořadového čísla rotující lopatky (4) stroje ke každé za sebou jdoucí rotující lopatce (4) stroje.



CZ 307599 B6

Způsob identifikace feromagnetických lopatek stroje za rotace

Oblast techniky

5

Vynález se týká zařízení pro identifikaci rotujících feromagnetických 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 $v_0 = \Omega R$, kde Ω je úhlová rychlost rotace kola a R poloměr špiček lopatek. Obvodová rychlost v_0 může dosahovat hodnot více než 700 m/s. Požadavky na rozlišovací schopnost měření jsou značné; obvykle je potřeba rozlišit amplitudy vibrací od 10 μm . 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 vynálezu

Uvedené nedostatky odstraňuje způsob pro identifikaci lopatek stroje za rotace, podle tohoto vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že není použit referenční senzor ani referenční značky na hřídeli nebo disku stroje, ale identifikace lopatek stroje je provedena s využitím prvků vibrodiagnostického systému rotujících lopatek. Vibrodiagnostický systém nemusí být pro tento účel vybaven zvláštním senzorem, ale pro identifikaci lopatek je využit jeden z měřicích elektromagnetických bezkontaktních senzorů vibrodiagnostického systému na statoru i napětový zesilovač tohoto senzoru. Princip senzoru může být magnetorezistivní nebo indukční. Všechny feromagnetické lopatky stroje se nejprve odmagnetují známým způsobem, tak aby absolutní hodnota zbytkové remanence B_{ri} všech lopatek $i = 1, \dots, n$, měřená na špičce lopatek byla nižší nebo rovna než požadovaná mez B_{0rmax}

50

$$| B_{ri} | \leq B_{0rmax}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Hodnota meze $B_{0r\max}$ může být zvolena např. v rozsahu 5 až 10 Gauss. Jedna z lopatek se zvolí jako výchozí a přiřadí se jí číslo 1. Následující lopatka za lopatkou číslo 1 bude mít číslo 2, za ní budou pod senzorem procházet lopatky číslo 3, 4, ... n , kde n je celkový počet lopatek daného kola stroje.

Amplituda napěťového impulsu na výstupu bezkontaktního elektromagnetického senzoru průchodu lopatek je funkcí intenzity (magnetorezistivní senzor), resp. indukce (indukční senzor) magnetického pole. Tyto veličiny jsou ovlivněny hodnotou remanentní indukce procházející lopatky a můžeme obecně napsat, že amplituda výstupního napětí U_i senzoru při je rostoucí funkcí f remanentní indukce B_{ri} procházející i -té lopatky

$$U_i = f(B_{ri}), \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Hodnoty U_i nejsou přesně identické, ale leží v uzavřeném intervalu $\langle U_{i\min}; U_{i\max} \rangle$. Lopatka číslo 1 se před měřením na špičce zmagnetuje, např. přiložením a oddálením silného permanentního magnetu, na hodnotu zbytkové remanence B_{r1} , která musí být větší než hodnota $B_{0r\max}$, tak aby amplituda signálu zmagnetované lopatky U_1 byla alespoň o 20 % větší než amplituda ostatních napěťových impulsů na výstupu senzoru U_i , $i = 2, \dots, n$, tedy

$$U_1 = f(B_{1r}) \geq 1,2 U_{i\max}, \quad (3)$$

kde $U_{i\max}$ je maximální hodnota amplitudy signálu odmagnetovaných lopatek.

Výstupní napětí z elektromagnetického senzoru na statoru se zesílí a přivede na jeden vstup referenčního komparátoru, na jehož druhý vstup se přivede stejnosměrné referenční napětí U_r o hodnotě blízké 1,1 násobku napětí $U_{i\max}$, přičemž hodnota U_r by se od 1,1 násobku napětí $U_{i\max}$ neměla lišit o více než 10 %. To můžeme vyjádřit matematicky podmínkou

$$|U_r - 1,1 U_{i\max}| \leq 0,1 U_{i\max}. \quad (4)$$

Při splnění těchto podmínek změní referenční komparátor svůj stav vždy při příchodu lopatky č. 1, kdy napětí na výstupu zesilovače signálu překročí referenční úroveň U_r , a do klidového stavu se vrátí po jejím odchodu, kdy napětí na výstupu zesilovače signálu poklesne pod referenční úroveň U_r . Po zbytek otáčky, až do opětovného příchodu lopatky č. 1, setrvává referenční komparátor v klidovém stavu. Na výstupu referenčního komparátoru je tedy generován jeden referenční impuls za otáčku, a to při průchodu lopatky č. 1. Tento impuls je dále přiveden na jeden vstup čítače a jeho čas je dále zpracován v řídicí jednotce vibrodiagnostického systému. Tento impuls tedy může sloužit ke spolehlivé identifikaci lopatek za rotace, aniž by vibrodiagnostický systém bylo nutno vybavit speciální fázovou značkou na hřídeli a senzorem průchodu této fázové značky.

Objasnění výkresů

Vynález bude blíže objasněn pomocí výkresu, kde je na obr. 1 schematicky znázorněn vibrodiagnostický systém s jedním statorovým senzorem využitým pro identifikaci feromagnetických lopatek stroje za rotace podle tohoto vynálezu a na obr. 2 jsou uvedeny časové průběhy na výstupu zesilovače signálu senzoru, komparátoru signálu a referenčního komparátoru.

Příklad uskutečnění vynálezu

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 3. Rozváděcí lopatky a další pomocné části turbíny, které nejsou podstatné pro objasnění funkce vynálezu, nejsou na obr. 1 uvedeny. Vibrodiagnostický systém je tvořen bezkontaktním senzorem 5 průchodu lopatek, zesilovačem 6 signálu, napětovým komparátorem 7A, čítačem 8, generátorem 9 hodinové frekvence a vyhodnocovací jednotkou 10. Při průchodu rotujících lopatek 4 stroje kolem bezkontaktního senzoru 5 lopatek jsou na výstupu tohoto senzoru generovány napětové impulzy, které jsou následně zesíleny v zesilovači 6 signálu, na jehož vstup jsou napětové impulzy z výstupu bezkontaktního senzoru 5 průchodu lopatek 4 přivedeny. Výstup zesilovače 6 signálu je propojen se vstupem napětového komparátoru 7A, v němž probíhá digitalizace signálu, tedy převod analogového průběhu na obdélníkový. Při průchodu lopatek 4 jsou generovány lopatkové impulzy 17 na výstupu napětového komparátoru 7A. Nástupná, resp. sestupná hrana výstupního signálu napětového komparátoru 7A definuje přesný okamžik průchodu každé lopatky. Výstup napětového komparátoru 7A 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 impulzu. Při příchodu impulzu 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, resp. binárně - dekadické číslo. Vyhodnocovací jednotka 10 pracuje podle předem naprogramovaného algoritmu, v němž jsou stanoveny časové difference rotujících lopatek 4 stroje, z nichž jsou pak vypočteny požadované charakteristiky vibrační jednotlivých lopatek.

Pro identifikaci feromagnetických lopatek 4 stroje za rotace podle tohoto vynálezu je použit způsob, při němž se všechny lopatky 4 stroje nejprve odmagnetují, tak aby při průchodu lopatek 4 hodnota napětí 14 na výstupu zesilovače 6 signálu nepřekročila maximální hodnotu amplitudy $U_{i\max}$ 13 signálu odmagnetovaných lopatek. Následně se jedna z lopatek 4 zvolí jako výchozí a zmagnetuje se tak, aby hodnota časového průběhu 14 napětí této lopatky na výstupu zesilovače 6 signálu měla amplitudu $1,1 U_i$ signálu zmagnetované lopatky, která by při průchodu této lopatky byla minimálně 1,2násobkem maximální hodnoty $1,3 U_{i\max}$ amplitudy signálu odmagnetovaných lopatek. Výstup zesilovače 6 signálu se přivede současně na jeden vstup referenčního komparátoru 7B, na jehož druhý vstup se připojí referenční napětí 12 U_r , které se neliší o více než 10 % od hodnoty 1,1násobku maximální hodnoty $1,3 U_{i\max}$ amplitudy signálu odmagnetovaných lopatek. Na výstupu referenčního komparátoru 7B jsou referenční impulzy 16, a to vždy jeden referenční impulz 16 za otáčku, které jsou přivedeny do čítače 8 a zpracovány ve vyhodnocovací jednotce 10 vibrodiagnostického systému analogicky jako lopatkové impulzy 17 z výstupu napětového komparátoru 7A.

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 měřicích 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.

55

PATENTOVÉ NÁROKY

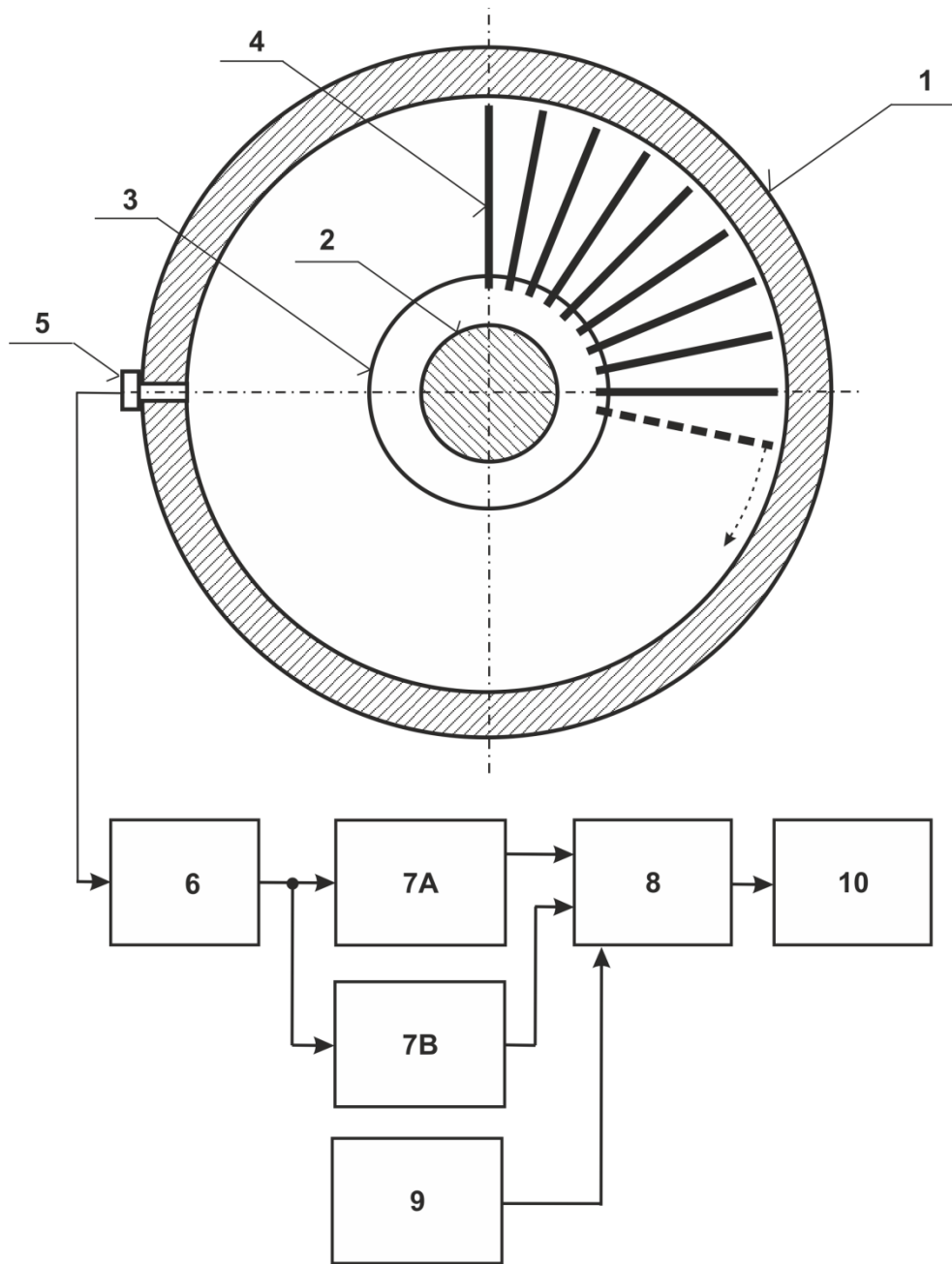
1. Způsob identifikace feromagnetických lopatek stroje za rotace, využívající zařízení bezkontaktního vibrodiagnostického systému s elektromagnetickým senzorem (5) průchodu rotujících lopatek (4) stroje, zesilovačem (6) signálu, napěťovým komparátorem (7A), čítačem (8), generátorem (9) hodinové frekvence a vyhodnocovací jednotkou (10), **vyznačující se tím**, že rotující lopatky (4) stroje se nejprve odmagnetují, tak aby při průchodu lopatek (4) hodnota napětí (14) na výstupu zesilovače (6) vibrodiagnostického systému nepřekročila zvolenou maximální hodnotu (13) $U_{i\max}$ amplitudy signálu odmagnetovaných lopatek, načež se jedna z lopatek (4) zmagnetuje tak, že amplituda (11) U_l signálu zmagnetované lopatky na výstupu zesilovače (6) vibrodiagnostického systému při průchodu této lopatky (4) má hodnotu, která je minimálně 1,2násobkem maximální hodnoty (13) $U_{i\max}$ amplitudy signálu odmagnetovaných lopatek, přičemž tento signál se přivede na jeden vstup referenčního komparátoru (7B), o který se rozšíří vibrodiagnostický systém, a na jeho druhý vstup se připojí referenční napětí (12) U_r , které se neliší o více než 10 % od 1,1násobku maximální hodnoty (13) $U_{i\max}$ amplitudy signálu odmagnetovaných lopatek, přičemž zpracování signálu z výstupu referenčního komparátoru (7B), čítače (8) a ve vyhodnocovací jednotce (10) vibrodiagnostického systému má za výsledek jednoznačné přiřazení pořadového čísla rotující lopatky (4) stroje ke každé za sebou jdoucí rotující lopatce (4) stroje.

20

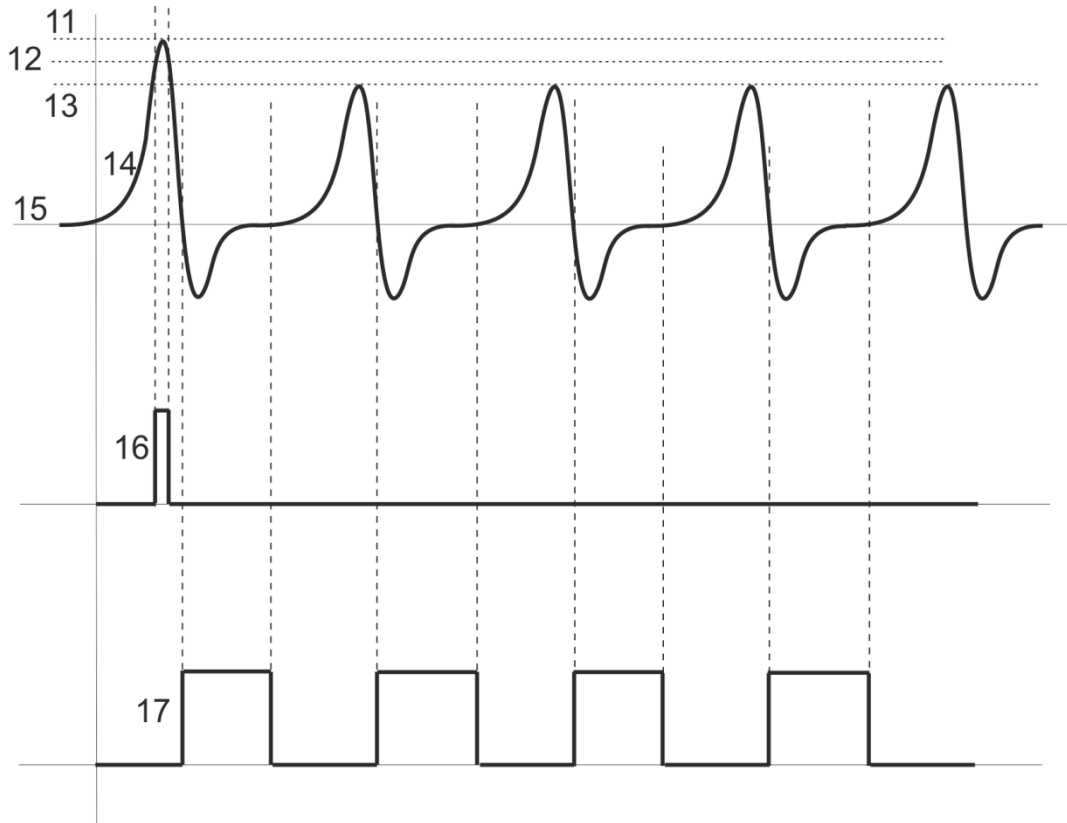
2 výkresy

Seznam vztahových značek:

- 1 Stator
- 2 Hřídel
- 3 Disk
- 4 Rotující lopatky stroje
- 5 Elektromagnetický senzor průchodu rotujících lopatek stroje
- 6 Zesilovač signálu
- 7A Napěťový komparátor
- 7B Referenční komparátor
- 8 Čítač
- 9 Generátor hodinové frekvence
- 10 Vyhodnocovací jednotka
- 11 Amplituda U_l signálu zmagnetované lopatky
- 12 Referenční napětí U_r na druhém vstupu referenčního komparátoru
- 13 Maximální hodnota $U_{i\max}$ amplitudy signálu odmagnetovaných lopatek
- 14 Časový průběh napětí na výstupu zesilovače signálu
- 15 Nulové napětí
- 16 Referenční impulz na výstupu referenčního komparátoru
- 17 Lopatkové impulzy na výstupu napěťového komparátoru



Obr. 1.



Obr. 2.