

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2018-518

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G05B 24/02 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **30.09.2018**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **06.05.2020**
(Věstník č. 19/2020)

(71) Přihlašovatel:
4dot Mechatronic Systems s.r.o., Brno, Medlánky,
CZ

(72) Původce:
Ing. Jan Otoupalík, Střelice, CZ
Ing. Josef Burian, Stanoviště, CZ

(74) Zástupce:
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno,
Černá Pole

(54) Název přihlášky vynálezu:
Diagnostický systém obráběcích strojů

(57) Anotace:
Předmětem vynálezu je způsob provádění technické diagnostiky obráběcích strojů pomocí diagnostického systému obráběcích strojů využívajícího alespoň dvou senzorů pro umístění na obráběcích strojích, přičemž alespoň jedním senzorem je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy, kdy naměřená data jsou vyhodnocována vyhodnocovacím procesem zahrnujícím krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok porovnání zpracovaných dat s modelovými stavy.

Diagnostický systém obráběcích strojů

Oblast techniky

Vynález se týká diagnostického systému obráběcích strojů sloužícího ke snížení rizika poškození stroje, zvýšení využití strojů, snížení rizika vzniku odchylek na obráběných výrobcích, zvýšení produktivity a monitoringu procesu.

Dosavadní stav techniky

Obráběcí stroje zpracovávají různé materiály procesem obrábění materiálu. Při obrábění dochází ke změně tvaru. Působením řezných sil dochází ke vzniku vibrací stroje. Tyto vibrace negativně ovlivňují možnost detekovat poruchový stav. Z tohoto důvodu je vhodné využít diagnostických systémů, které by umožňovaly filtraci vibrací způsobených procesem obrábění.

V současném stavu techniky jsou známy systémy využívající různé druhy senzorů jako ochranných prvků. Tyto senzory měří pouze překročení určité mezní hodnoty a neumožňují tak diagnostiku obráběcích strojů.

Dále jsou známy diagnostické systémy využívající různé druhy senzorů, přičemž jednotlivé druhy senzorů jsou využívány pro měření určitých jevů a z nich vyplývajících poruchových stavů. Toto řešení je však nevhodné, jelikož může docházet k chybnému rozpoznání poruchových stavů z důvodu rozpoznávání poruchových stavů pouze na základě dat naměřených jedním typem senzoru.

Dále jsou známy diagnostické systémy využívající senzory vibrací, přičemž tyto systémy jsou využívány pro monitorování valivých ložisek. Toto řešení je však nevhodné, jelikož detekuje pouze poškození valivých ložisek, na kterých je senzor umístěn, a tak není schopné detekovat poruchy vedení a výrobku, případně poruchy jiných strojních dílů mimo sledovaný díl.

Bylo by tedy vhodné poskytnout diagnostický systém, který by umožňoval použití na obráběcích strojích. Toto řešení by mělo umožňovat dostatečně přesné vyhodnocování různých poruchových stavů částí obráběcího stroje, nástroje obráběcího stroje nebo obrobku. Zároveň by řešení mělo umožňovat identifikaci různých fází procesu obrábění. Toto řešení by zároveň mělo umožňovat identifikaci nových, dříve neznámých, poruchových stavů a jejich ukládání do množiny modelových stavů.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky odstraňuje způsob provádění technické diagnostiky obráběcích strojů pomocí diagnostického systému obráběcích strojů zahrnujícího informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, jehož podstata spočívá v tom, že diagnostický systém obráběcích strojů dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na obráběcích strojích, přičemž alespoň jedním z těchto senzorů je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy, v paměti řídicí části je dále uložen modelový bezporuchový stav obsahující průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň dvou vybraných senzorů při bezporuchovém provozu, a dále je v paměti řídicí části uložen alespoň první modelový poruchový stav a druhý modelový poruchový stav, přičemž jak první modelový poruchový stav, tak druhý modelový poruchový stav obsahují průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň dvou vybraných senzorů při poruše během provozu, naměřená data ze senzorů jsou po naměření odeslána do řídicí části, následně jsou naměřená data z alespoň dvou vybraných senzorů v řídicí části zpracována vyhodnocovacím procesem obsahujícím krok

spárování naměřených dat tak, aby si data z jednotlivých senzorů časově odpovídala, a následně krok filtrace zpracovaných dat, kdy jsou data z alespoň jednoho senzoru použita pro nastavení parametrů filtru pro filtrace dat z alespoň jednoho jiného senzoru, přičemž tato zpracovaná data jsou následně v řídicí části porovnána s modelovými stavy a na základě tohoto porovnání vydá
 5 řídicí jednotka na informační rozhraní informaci, že se obráběcí stroj nachází v bezporuchovém stavu nebo v alespoň jednom z modelových poruchových stavů. Výše popsany způsob provádění technické diagnostiky obráběcích strojů prováděný pomocí diagnostického systému obráběcích strojů s alespoň dvěma senzory, jejichž naměřená data jsou dále zpracována vyhodnocovacím procesem zahrnujícím krok spárování naměřených dat a krok filtrace zpracovaných dat,
 10 umožňuje dosažení cíle dostatečně přesného vyhodnocování různých poruchových stavů, jelikož pomocí takto zpracovaných dat je možné určit poruchové stavy, které by nebylo možné určit s využitím dat naměřených pouze jedním senzorem, nebo s využitím dat naměřených více senzory, avšak bez kroku spárování takto naměřených dat a bez kroku filtrace zpracovaných dat, neboť při vyhodnocování se přihlíží k datům naměřeným všemi senzory.

15 Pokud zpracovaná data neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu a pokud zároveň neodpovídají žádnému modelovému poruchovému stavu, vydá řídicí část na informační rozhraní informaci, že se obráběcí stroj nachází v neznámém stavu. Vyhodnocení, že se jedná o neznámý stav, napomáhá dosažení cíle identifikace neznámých stavů, jelikož prostřednictvím
 20 informačního rozhraní může být tento stav uživatelem identifikován a uložen jako nový modelový stav.

Vyhodnocovací proces dále obsahuje krok úpravy dat pomocí přenosové funkce. Krok úpravy dat pomocí přenosové funkce umožňuje odstranění vlivu umístění jednotlivých senzorů v případě, že
 25 je umístění senzorů odlišné od toho umístění senzorů, pro které byly stanoveny průběhy modelových stavů.

Diagnostický systém dále zahrnuje alespoň jeden snímač teploty a vyhodnocovací proces dále obsahuje krok provedení teplotní kompenzace dat naměřených senzory, z nichž alespoň jeden je
 30 snímačem vibrací a alespoň jeden je snímačem polohy, přičemž teplotní kompenzace je provedena na základě dat naměřených snímačem teploty. Teplotní kompenzací dat naměřených jinými senzory, než je snímač teploty, je možné odstranit vliv změny teploty okolí senzorů, a tím zvýšit přesnost vyhodnocování různých poruchových stavů částí obráběcího stroje, nástroje nebo obrobku.

35 Diagnostický systém obráběcích strojů zahrnuje informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, a jehož podstata spočívá v tom, že diagnostický systém obráběcích strojů dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na obráběcích strojích, přičemž alespoň jedním z těchto senzorů je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy, v paměti
 40 řídicí části je dále uložen modelový bezporuchový stav obsahující průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň dvou vybraných senzorů při bezporuchovém provozu, a dále je v paměti řídicí části uložen alespoň první modelový poruchový stav a druhý modelový poruchový stav, přičemž jak první modelový poruchový stav, tak druhý modelový poruchový stav obsahují průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň
 45 dvou vybraných senzorů při poruše během provozu. Využití diagnostického systému obráběcích strojů umožňuje dosažení cíle dostatečně přesného vyhodnocování různých poruchových stavů, jelikož pomocí dvou senzorů je možné určit poruchové stavy, které by nebylo možné určit s využitím dat naměřených pouze jedním senzorem.

50 Modelovým bezporuchovým stavem je modelový bezporuchový stav alespoň jednoho prvku ze skupiny části obráběcího stroje, nástroje nebo obrobku.

Modelovým poruchovým stavem je kterýkoliv modelový poruchový stav ze skupiny modelového poruchového stavu části obráběcího stroje, modelového poruchového stavu nástroje nebo
 55 modelového poruchového stavu obrobku.

Řídící část zahrnuje monitorovací jednotku a vzdálený server, přičemž senzory jsou datově spojeny s monitorovací jednotkou a monitorovací jednotka je datově spojena se vzdáleným serverem.

5

Snímačem polohy je kterýkoliv ze skupiny lineárního enkodéru, rotačního enkodéru, kapacitního snímače vzdálenosti, enkodéru, laserového snímače polohy, konfokálního snímače vzdálenosti, optického dálkoměru, induktivního snímače, magneto-indukčního snímače nebo lankového snímače.

10

Alespoň jedním ze senzorů je snímač teploty, přičemž snímač teploty je umístěn v těsné blízkosti alespoň jednoho senzoru jiného typu. Využitím snímače teploty je možné provádět teplotní kompenzaci dat naměřených senzory jiného typu.

15

Objasnění výkresů

Podstata vynálezu je dále objasněna na příkladech jeho provedení, které jsou popsány s využitím připojených výkresů, kde:

20

znázorňuje blokové schéma znázorňující diagnostickou jednotku pro obráběcí stroje.

zobrazuje fyzikální model a zpřesněný fyzikální model pomocí reálného měření.

25

znázorňuje průběh změny citlivosti snímače vibrací, konkrétně piezoelektrického akcelerometru.

je schématem diagnostikované brusky.

30

zobrazuje modelový bezporuchový stav, modelový poruchový stav opotřebení části nástroje a modelový poruchový stav geometrie obrobku.

zobrazuje spárovaná data z piezoelektrického akcelerometru a prvního rotačního enkodéru a druhého rotačního enkodéru.

35

zobrazuje průběh zpracovaných dat $g_{429}(x)$.

zobrazuje průběh zpracovaných dat $g_{430}(x)$.

40

zobrazuje trendy zpracovaných dat $g_{420}(x)$, $g_{421}(x)$, $g_{430}(x)$ a $g_{431}(x)$.

zobrazuje porovnání průběhů zpracovaných dat a modelových stavů.

zobrazuje schéma diagnostikovaného karuselového soustruhu.

45

zobrazuje modelový bezporuchový stav, modelový poruchový stav lineárního vedení ve směru osy x a modelový poruchový stav obrobku.

zobrazuje spárovaná data z piezoelektrických akcelerometrů a senzorů polohy.

50

zobrazuje trendy zpracovaných dat $g_{474}(x)$, $g_{475}(x)$, $g_{476}(x)$ a $g_{477}(x)$.

zobrazuje porovnání průběhů zpracovaných dat a modelových stavů.

55

Příklady uskutečnění vynálezu

- Příkladem vynálezu je diagnostický systém obráběcích strojů. Obráběcí stroj obsahuje pohonnou část, vedení a obráběcí část. Obráběcí část zahrnuje nástroj, který se skládá z upínací části a břitu, který může být v některých provedeních vyměnitelný. Nástroj je částí obráběcího stroje přímo se podílející na procesu obrábění. Nástroj silově působí přímo na obrobek. Vedení obráběcího stroje zahrnuje všechny části stroje, které vytváří kinematiku stroje a zaručují přesnost pohybu, a tím i přesnost obrábění. Obráběcí stroj dále obsahuje rám obráběcího stroje. Obráběcí stroj dále obsahuje řídicí jednotku obráběcího stroje.
- Diagnostický systém obráběcích strojů zahrnuje alespoň dva senzory, přičemž alespoň jedním z těchto senzorů je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy. Snímačem vibrací je akcelerometr. V tomto příkladném provedení snímače vibrací je použitým snímačem vibrací piezoelektrický akcelerometr s integrovanou elektronikou. Ten má oproti ostatním druhům akcelerometrů vyšší odolnost v průmyslovém prostředí a větší rozsah měření. Piezoelektrický akcelerometr může měřit pouze změny ve zrychlení, tudíž nelze měřit stacionární gravitační pole země (zrychlení „g“) a slouží tedy ke snímání absolutního zrychlení dynamických procesů. V alternativním příkladném provedení snímače vibrací je snímačem vibrací jakýkoliv druh akcelerometru jiný než piezoelektrický akcelerometr. Snímačem polohy je kterýkoliv snímač ze skupiny lineárního enkodéru, rotačního enkodéru, kapacitního snímače vzdálenosti, enkodéru, laserového snímače polohy, konfokálního snímače vzdálenosti, optického dálkoměru, induktivního snímače, magneto-indukčního snímače nebo lankového snímače. V alternativním příkladném provedení snímače polohy je snímačem polohy jakýkoliv druh snímače polohy jiný než lineární enkodér, rotační enkodér, nebo kapacitní snímač vzdálenosti, enkodér, laserový snímač polohy, konfokální snímač vzdálenosti, optický dálkoměr, induktivní snímač, magneto-indukční snímač nebo lankový snímač. Snímače polohy jsou použity pro měření relativních dynamických a statických procesů. Senzory jsou umístěny na obráběcím stroji. Diagnostický systém obráběcích strojů dále obsahuje řídicí část. V jednom z příkladných provedení řídicí části zahrnuje řídicí část monitorovací jednotku a výpočetní zařízení. Senzory jsou datově spojeny s monitorovací jednotkou. Datové spojení senzorů s monitorovací jednotkou je drátové nebo bezdrátové. Spojení senzorů s monitorovací jednotkou je dále přímé nebo přes sběrnici nebo přes jinou výpočetní jednotku. Výpočetní jednotkou je myšlen například řídicí systém obráběcího stroje. Senzory jsou dále s monitorovací jednotkou spojeny analogově nebo digitálně. V případě analogového spojení je monitorovací jednotka vybavena analogově-digitálním převodníkem, kterým je převeden signál ze senzoru tak, aby byl dále digitálně zpracovatelný. V případě digitálního spojení je senzor vybaven analogově-digitálním převodníkem a do monitorovací jednotky diagnostického systému obráběcích strojů se posílá digitální signál. Monitorovací jednotka je umístěna v blízkosti monitorovaného obráběcího stroje. Monitorovací jednotka je datově spojena s výpočetním zařízením. Datové spojení monitorovací jednotky s výpočetním zařízením je drátové nebo bezdrátové. Výpočetním zařízením je vzdálený server. V alternativním provedení je výpočetním zařízením řídicí systém stroje nebo monitorovací jednotka nebo jakékoliv jiné relevantní výpočetní zařízení. Diagnostický systém obráběcích strojů dále obsahuje informační rozhraní datově spojené s řídicí částí. Informačním rozhraním je jakékoliv zařízení schopné předat informaci o tom, že se obráběcí stroj nachází v určitém stavu. V prvním příkladném provedení informačního rozhraní je informačním rozhraním osobní počítač. V alternativním příkladném provedení je informačním rozhraním jakékoliv elektronické zařízení s displejem nebo autonomní spolupracující systém mající vliv na provoz obráběcího stroje. Datové spojení informačního rozhraní s řídicí částí je drátové nebo bezdrátové. Informační rozhraní je v jednom z příkladných provedení součástí výpočetního zařízení.
- V jednom z příkladných provedení je monitorovací jednotka dále datově spojena s periferními zařízeními. Periferní zařízení je jakékoliv zařízení ze skupiny řídicí jednotky tvářecího stroje, systému plánování výroby, měniče motoru tvářecího stroje, externí databáze, dalších senzorů a firemních informačních systémů, systémů sledování kvality, různých dalších strojů majících vliv na tvářecí stroj, skladových systémů, bezpečnostních systémů, měřidel nebo jakéhokoliv jiného relevantního periferního zařízení.

V jednom z příkladných provedení dále diagnostický systém obráběcích strojů zahrnuje alespoň jeden další senzor ze skupiny snímače teploty, tenkostěnného snímače teploty, snímače síly, snímače tlaku, tenkostěnného snímače tlaku, snímače přetvoření, snímače rychlosti, gyroskopu, napětového měřiče, měřiče momentu nebo jakéhokoliv jiného senzoru, který zpřesní vyhodnocování stavu obráběcího stroje.

Příklad diagnostického systému obráběcích strojů je viditelný na obrázku 1, kde obráběcím strojem je obráběcí stroj 1, dvěma senzory jsou snímač vibrací 2 a snímač polohy 3, monitorovací jednotkou je monitorovací jednotka 4, výpočetním zařízením je výpočetní zařízení 5, řídicí částí je řídicí část 6, periferním zařízením je periferní zařízení 7 a informačním rozhraním je informační rozhraní 8.

Ve všech příkladných provedeních řídicí část dále obsahuje paměť. V paměti řídicí části jsou uloženy modelové stavy. Modelovými stavy jsou modelové poruchové stavy nebo modelový bezporuchový stav. Modelovými poruchovými stavy jsou kterékoliv modelové poruchové stavy ze skupiny modelových poruchových stavů části obráběcího stroje, modelových poruchových stavů nástroje nebo modelových poruchových stavů obrobku. Modelovým bezporuchovým stavem je modelový bezporuchový stav alespoň jednoho prvku ze skupiny části obráběcího stroje, nástroje nebo obrobku. V jednom z příkladných provedení modelového bezporuchového stavu v případě, že je diagnostikována část obráběcích strojů a obrobek, je modelovým bezporuchovým stavem modelový bezporuchový stav části obráběcího stroje a obrobku. V paměti řídicí části je uložen modelový bezporuchový stav a alespoň první modelový poruchový stav a alespoň druhý modelový poruchový stav. Žádný z modelových poruchových stavů není stejný jako jiný modelový poruchový stav. Všechny modelové stavy obsahují veličiny a průběhy, které se při procesu obrábění mění a odpovídají průběhům a veličinám měřeným při bezporuchovém provozu nebo při poruše během provozu. Fyzikálními parametry ovlivňujícími modelové stavy jsou parametry týkající se vlastností materiálu jednotlivých částí stroje, jejich vzájemného spojení, průběhů fyzikálních veličin, jako je průběh síly, geometrie stroje, průběh přetvoření, průběh napětí, dále dynamika a kinematika součástí, parametry přenosu tepla, akustické a elektromagnetické vlastnosti. V prvním příkladném provedení odvození průběhů modelových stavů jsou průběhy modelových stavů odvozeny na základě teoretického fyzikálního popisu chování obráběcího stroje během provozu. Takto odvozené průběhy modelových stavů umožňují použití na nových obráběcích strojích bez nutnosti předchozích měření. V alternativním provedení odvození průběhů modelových stavů jsou průběhy modelových stavů odvozeny na základě teoretického fyzikálního popisu chování obráběcího stroje během provozu upraveného na základě předcházejících měření reálného chování obráběcího stroje během provozu. Takto odvozené průběhy modelových stavů umožňují úpravy teoretického fyzikálního popisu chování obráběcího stroje na základě měření reálného chování obráběcího stroje během provozu a jedná se tedy o zpřesněný fyzikální popis. Příkladné provedení zpřesnění fyzikálního popisu na základě měření během reálného provozu je možné na vidět obrázku 2. V tomto příkladném provedení je popisováno chování vetknutého nosníku 15 se dvěma vruby. Tento vetknutý nosník 15 je součástí rámu obráběcího stroje a fyzikální popis chování popisuje přetvoření 13 nosníku s vrubem během provozu. Na základě měření vibrací prvním snímačem 11 vibrací na nosníku a druhým snímačem 12 vibrací na nosníku dojde k úpravě fyzikálního popisu chování vetknutého nosníku a to tak, že jeden z vrubů vetknutého nosníku je virtuálně zvětšen. Virtuálním zvětšením vrubu vetknutého nosníku a fyzikálním popisem chování je popisované přetvoření během procesu obrábění větší a odpovídá tak reálnému chování. Model byl zpřesněn a původní vrub 9 byl změněn na zvětšený vrub 10, který je větší než vrub 9. Na základě zpřesněného modelu je přetvoření 14 nosníku se zvětšeným vrubem od síly F větší a je blíže reálnému stroji. V dalším alternativním provedení odvození průběhů modelových stavů jsou průběhy modelových stavů odvozeny na základě matematického modelu vytvořeného strojově na základě naučených znalostí využívajících předcházejících měření reálného chování obráběcího stroje během provozu. Strojové vytváření matematického modelu na základě naučených znalostí je v tomto příkladném provedení realizováno prostřednictvím neuronové sítě. Takto odvozené průběhy modelových stavů

umožňují použití na obráběcích strojích bez výrobní dokumentace nebo obráběcích strojích, které jsou v provozu již delší dobu a různé části tak mají vůle, které nejsou zaneseny ve výrobní dokumentaci. V dalším alternativním provedení odvození průběhů modelových stavů jsou průběhy modelových stavů změřeny na základě předcházejících měření reálného chování obráběcího stroje během provozu. Takto odvozené průběhy modelových stavů umožňují použití bez nutnosti vytvářet jakékoliv matematické modely. Při odvozování různých modelových stavů lze využít více způsobů odvozování. Výše uvedená příkladná provedení odvozování průběhů modelových stavů je možné kombinovat a získávat tak různé modelové stavy různými způsoby. Poruchou části obráběcího stroje je porucha kterékoliv části pohonu nebo vedení, takovouto poruchou je například porucha motoru, hydraulického válce, brzdy, spojky, převodů, ložisek, vedení nebo rámu obráběcího stroje. Poruchou nástroje je porucha obráběcí části, takovouto poruchou je například prasklá obráběcí část, opotřebená obráběcí část, špatné usazení obráběcí části, poškození povrchu obráběcí části nebo poškození geometrie obráběcí části. Poruchou obrobku je porucha vstupního polotovaru nebo finálního výrobku obráběcího stroje, takovouto poruchou je například špatná geometrie, struktura materiálu, chemické vlastnosti materiálu nebo struktura povrchu. V jednom z příkladných provedeních důvodů vzniku poruchy části obráběcího stroje, poruchy nástroje nebo poruchy obrobku je porucha způsobená nevhodně nastavenými parametry procesu obrábění. Parametry procesu obrábění jsou například řezná rychlost, řezné síly, velikost úběru materiálu, nastavení nástrojových a pracovních úhlů, chlazení nebo jiné.

Ve všech příkladných provedeních jsou data ze senzorů po naměření odeslána do řídicí části. V řídicí části jsou naměřená data zpracována vyhodnocovacím procesem obsahujícím krok spárování naměřených dat. V kroku spárování naměřených dat jsou naměřená data alespoň ze dvou senzorů spárována tak, aby tato data měla stejnou časovou značku. Spárování dat tak, aby data měla stejnou časovou značku, znamená, že dochází ke vzájemnému posunu naměřených průběhů tak, že na časové ose naměřených průběhů začínají data vztahující se k totožnému momentu obráběcího procesu ve stejný okamžik. V alternativním provedení kroku spárování naměřených dat jsou naměřená data alespoň ze dvou senzorů spárována tak, že jsou řazena dle určitého opakujícího se vzorce za sebe.

Po vykonání kroku spárování naměřených dat se z naměřených dat stávají zpracovaná data, přičemž zpracovaná data mohou být dále zpracována jakýmkoliv dalšími kroky.

Takto zpracovaná data jsou v dalším kroku v řídicí části porovnána s modelovými stavy a na základě tohoto porovnání řídicí část vydá na informační rozhraní informaci, že se obráběcí stroj nachází v bezporuchovém stavu nebo v alespoň jednom z modelových poruchových stavů. Řídicí část vydá na informační rozhraní informaci, že se stroj nachází v určitém stavu, pokud jsou zpracovaná data podobná průběhům modelových stavů. Určování podobnosti je provedeno buď prostřednictvím informačního rozhraní, nebo strojově na základě vložených znalostí, nebo na základě naučených znalostí. Strojové určování podobnosti na základě vložených znalostí je v jednom z příkladných provedení určování podobnosti realizováno prostřednictvím stavového automatu nebo vícehodnotové logiky. U stavového automatu je nutné mít jasně definovaná kritéria, je tedy vhodný pro určování podobnosti jednoznačně definovaných průběhů. Vícehodnotová logika je naopak vhodná pro práci s neurčitými výstupy. Při určování podobnosti lze využít více metod zpracování. Řídicí část vydá informaci o tom, v jakém stavu se na nachází obráběcí stroj, do informačního rozhraní, které ji zobrazí.

V jednom z příkladných provedení určování podobnosti se v případě strojového určování podobnosti na základě vložených znalostí nejprve definuje operace určení podobnosti COM , která určuje, zda si jsou průběhy podobné. Operace určení podobnosti COM je v definována vzorcem

$$COM_{x \in \langle A, B \rangle} [F @ G^*] < E,$$

kde F je skupina modelových stavů, G^* jsou data, u kterých zjišťujeme podobnost na intervalu $\langle A, B \rangle$ s podmínkami E . Operace $@$ zde zastupuje operaci porovnání funkcí, jako je například rozdíl a podíl, případně rozdíl derivací, integrací a další. Operace COM zastupuje statistické vyhodnocení rozdílů například maximální hodnoty, průměrné hodnoty a dalších.

5

V jednom z příkladných provedení určování podobnosti se v případě strojového určování podobnosti na základě naučených znalostí vytvoří rozhodovací algoritmus na základě zpracovaných dat a označení příslušných stavů těchto dat. Určování podobnosti dle tohoto příkladného provedení zahrnuje krok přípravy dat pro učení, kdy jsou označeny příslušné stavy zpracovaných dat. Následně je proveden krok vytvoření rozhodovacího algoritmu. Rozhodovací algoritmus je v tomto příkladném provedení reprezentován neuronovou sítí a vytvoření rozhodovacího algoritmu tak zahrnuje nastavení vstupních a výstupních parametrů neuronové sítě. Následně je proveden krok učení rozhodovacího algoritmu, kdy jsou do rozhodovacího algoritmu zasílána zpracovaná data spolu s označením příslušných stavů zpracovaných dat do té doby, než je odstraněna chyba v určování stavu zpracovaných dat. Výsledkem tohoto kroku je vytvoření modelových stavů a rozhodovacího algoritmu. V dalším kroku je rozhodovací algoritmus využíván pro rozpoznání příslušných stavů obráběcího stroje. V tomto příkladném provedení určování podobnosti pomocí strojového určování podobnosti na základě naučených znalostí je spolu s výše uvedenými kroky s výhodou možné provést krok vylepšení rozhodovacího algoritmu, kdy jsou do stávajícího rozhodovacího algoritmu zasílána další zpracovaná data spolu s označením příslušných stavů zpracovaných dat, přičemž tedy dochází k opětnému učení rozhodovacího algoritmu. V tomto příkladném provedení určování podobnosti pomocí strojového určování podobnosti na základě naučených znalostí je spolu s výše uvedenými kroky s výhodou možné provést krok spárování naměřených dat, přičemž tento krok předchází kroku přípravy dat pro učení. Strojové určování podobnosti na základě naučených znalostí dle tohoto příkladného provedení je vhodné pro určování podobnosti složitých procesů s nepřesnými modely a s velkým množstvím naměřených dat k učení.

V dalším z příkladných provedení určování podobnosti se v případě strojového určování podobnosti na základě naučených znalostí vytvoří rozhodovací algoritmus na základě zpracovaných dat a modelových stavů, kde si fyzikální význam zpracovaných dat a modelových stavů navzájem odpovídají. Určování podobnosti dle tohoto příkladného provedení zahrnuje krok přípravy dat pro učení, kdy ke zpracovaným datům jsou přiřazovány odpovídající modelové stavy. Následně je proveden krok vytvoření rozhodovacího algoritmu. Rozhodovací algoritmus je v tomto příkladném provedení reprezentován neuronovou sítí a vytvoření rozhodovacího algoritmu tak zahrnuje nastavení vstupních a výstupních parametrů neuronové sítě. Následně je proveden krok učení rozhodovacího algoritmu, kdy jsou do rozhodovacího algoritmu zasílána zpracovaná data spolu s modelovými stavy do té doby, než je odstraněna chyba v určování stavu zpracovaných dat. Výsledkem tohoto kroku je vytvoření rozhodovacího algoritmu. V dalším kroku je rozhodovací algoritmus využíván pro rozpoznání příslušných stavů obráběcího stroje. V tomto příkladném provedení určování podobnosti pomocí strojového určování podobnosti na základě naučených znalostí je spolu s výše uvedenými kroky s výhodou možné provést krok vylepšení rozhodovacího algoritmu, kdy jsou do stávajícího rozhodovacího algoritmu zasílána další zpracovaná data spolu s odpovídajícími modelovými stavy, přičemž tedy dochází k opětnému učení rozhodovacího algoritmu. V tomto příkladném provedení určování podobnosti pomocí strojového určování podobnosti na základě naučených znalostí je spolu s výše uvedenými kroky s výhodou možné provést krok spárování naměřených dat, přičemž tento krok předchází kroku přípravy dat pro učení. Strojové určování podobnosti na základě naučených znalostí dle tohoto příkladného provedení je vhodné pro určování podobnosti bez nutnosti využití předchozích naměřených dat a je ho tak možné použít pro nové obráběcí stroje.

V jednom z příkladných provedení vyhodnocovacího procesu je v kroku porovnávání zpracovaných dat a modelových stavů v případě, že zpracovaná data neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu obráběcího stroje a zároveň ani neodpovídají žádnému modelovému poruchovému stavu, řídicí částí stanoveno, že se jedná o neznámý stav. Řídicí část vydá

55

informaci o tom, že se obráběcí stroj nachází v neznámém stavu, do informačního rozhraní, které ji zobrazí a zároveň uživateli umožní přiřadit zobrazený neznámý stav bezporuchovému nebo určitému poruchovému stavu obráběcího stroje. Po přiřazení zobrazeného neznámého stavu bezporuchovému nebo určitému poruchovému stavu části obráběcího stroje, nástroje nebo obrobku, se tato informace uloží do paměti řídicí části jako nový modelový bezporuchový nebo poruchový stav.

V jednom z příkladných provedení dále vyhodnocovací proces zahrnuje krok úpravy dat pomocí přenosové funkce. Průběhy modelových stavů jsou stanoveny pro určité rozmístění senzorů na obráběcím stroji. Přenosová funkce popisuje přenos signálu z oblasti vzniku do oblasti jeho snímání. V jednom z příkladných provedení využití přenosové funkce upraví přenosová funkce data tak, že odstraní vliv umístění jednotlivých senzorů v případě, že je umístění senzorů odlišné od toho umístění senzorů, pro které byly stanoveny průběhy modelových stavů. V dalším příkladném provedení využití přenosové funkce umožňuje přenosová funkce nahrazení měření na více místech pomocí více senzorů téhož druhu, a to měřením na jednom místě pomocí jednoho senzoru prostřednictvím toho, že data naměřená pomocí jednoho senzoru se upraví aplikováním několika různých přenosových funkcí, přičemž každá z těchto přenosových funkcí upraví data tak, že data budou srovnatelná s daty jinak naměřenými pomocí vícera senzorů umístěných na více místech. Umístění senzorů má vliv na amplitudu a na fázový posuv jednotlivých frekvencí dat, přičemž přenosová funkce je popsána v komplexním tvaru rovnicí:

$$G(j\omega) \frac{y(t)}{u(t)} = \frac{y_0 e^{j(\omega t + \varphi)}}{u_0 e^{j(\omega t)}} = \frac{y_0}{u_0} e^{j\varphi},$$

kde $\frac{y_0}{u_0}$ je poměr amplitud a φ je fázový posuv.

Přenosová funkce se získává analyticky ze znalosti mechanického chování obráběcího stroje a jeho analytických rovnic. V alternativních provedeních získání přenosové funkce se přenosová funkce získá za pomoci parametrického fyzikálního modelu nebo modelu vytvořeného umělou inteligencí nebo experimentálně pomocí impulsní odezvy.

V jednom z příkladných provedení kroku úpravy dat pomocí přenosové funkce jsou upravovanými daty naměřená data. V dalším z příkladných provedení kroku úpravy dat pomocí přenosové funkce jsou upravovanými daty zpracovaná data.

V jednom z příkladných provedení obsahuje vyhodnocovací proces proces normalizace zpracovaných dat. Pro určení stavu je potřeba, aby si analyzovaná data a modelový průběh navzájem odpovídaly. To je realizováno procesem výběru intervalu zpracovaných dat a jeho normalizováním na požadovaný definiční obor odpovídající definičnímu oboru hodnot modelového průběhu. Tento proces je nezbytný pro proces strojového porovnání dat. V jednom z příkladných provedení může existovat stav „F“, který je popsán funkcemi $f_1(x) - f_n(x)$ a měřená data „G“ popsána funkcemi $g_1(x) - g_n(x)$, kde n udává počet signálů popisujících stav. Při příkladném porovnání funkcí $f_1(x)$ a $g_1(x)$ s různými definičními obory se normalizuje funkce $g_1(x)$ na funkci $g_1^*(x)$ se stejným definičním oborem, jako má funkce $f_1(x)$ dle vztahu:

$$g_i^*(x) = \frac{g_i \left(\frac{x-a_i}{b_i-a_i} * (a_i - c_i) + c_i \right) - \gamma_i}{\delta_i - \gamma_i} * (\beta_i - \alpha_i) + \alpha_i, \quad x \in \langle a_i, b_i \rangle; i = 1.$$

V jednom z příkladných provedení dále vyhodnocovací proces zahrnuje krok filtrace zpracovaných dat. V kroku filtrace zpracovaných dat jsou data alespoň jednoho senzoru použita pro nastavení parametrů filtru pro filtraci dat z alespoň jednoho senzoru.

V prvním příkladném provedení filtrace zpracovaných dat je filtrace provedena tak, že parametrem filtru je časový interval stanovený na základě dat z jednoho senzoru. Takto

nastavený filtr se následně aplikuje na data z druhého senzoru a po filtraci tak z těchto dat zůstane pouze určitý časový interval. Ve druhém příkladném provedení filtrace zpracovaných dat je filtrace provedena tak, že parametrem filtru je časový průběh dat z jednoho senzoru, který pak určuje zesílení nebo útlum filtrovaných dat. Takto nastavený filtr se následně aplikuje na data z druhého senzoru a po filtraci jsou v datech potlačeny informace nenesoucí informaci o stavu. Příkladem informací nenesoucích informace o stavu jsou rázy, posloupnost rázů, signál z jiných dílů, signál z procesu, tření součástí, určité frekvence zachycené jedním senzorem. Ve třetím příkladném provedení filtrace zpracovaných dat je filtrace provedena tak, že parametrem filtru je samotný průběh dat z jednoho senzoru. Takto nastavený filtr se následně aplikuje na data z druhého senzoru a dojde tak k odečtení dat z prvního senzoru od dat z druhého senzoru. Ve čtvrtém příkladném provedení filtrace zpracovaných dat je filtrace provedena tak, že parametrem filtru je samotný průběh dat z jednoho senzoru, kterým je snímač polohy a kinematický model diagnostikovaného obráběcího stroje. Takto nastavený filtr se následně aplikuje na data z druhého senzoru, kde se tvoří aritmetický průměr ze všech měření v bodech nastavených filtrem. Tím se docílí eliminace šumu a dojde ke zvýraznění nosné informace. Měření je nutno provádět tak dlouho, dokud neobdržíme alespoň minimální počet hodnot měření v každém měřeném bodě. Ten se může měnit v závislosti na poměru šumu a nosné informace v datech.

V dalším příkladném provedení diagnostického systému obráběcích strojů a vyhodnocovacího procesu je na obráběcím stroji dále umístěn snímač teploty. Data naměřená snímačem teploty jsou odesílána do řídicí části. Snímač teploty je umístěn v těsné blízkosti alespoň jednoho senzoru jiného typu. Při provozu obráběcího stroje dochází k zahřívání okolí senzorů od obrobku, uvolňováním energie při procesu obrábění, třením ložisek při provozu nebo přenosem tepla z dalších částí obráběcího stroje. Zahřívání od zmiňovaných částí může způsobovat změny teploty v okolí senzorů, čímž dochází ke změnám citlivosti těchto senzorů. V tomto příkladném provedení vyhodnocovací proces tedy zahrnuje krok teplotní kompenzace. Řídicí část poté v kroku teplotní kompenzace, na základě dat ze snímače teploty, provede teplotní kompenzaci dat naměřených senzory, z nichž alespoň jeden je snímačem vibrací a alespoň jeden je snímačem polohy.

Na obrázku 3 je možné vidět průběh změny citlivosti snímače vibrací, konkrétně piezoelektrického akcelerometru. Příkladné provedení kroku teplotní kompenzace dat naměřených snímačem vibrací se provede tedy následujícím způsobem. Data naměřená snímačem vibrací jsou data týkající se dynamických procesů. Tyto procesy jsou měřeny změnou náboje v piezoelektriku. Tato změna náboje se poté převede na napětí, a to je následně přepočítáno na zrychlení. Teplotní kompenzace dat se poté provádí změnou náboje B_{qa} :

$$B_{qa} = \frac{q}{a}$$

V dalším příkladném provedení vyhodnocovacího procesu obsahuje vyhodnocovací proces krok úpravy dat. V kroku úpravy dat se provede oddělení relevantní informace od zbytku dat. Relevantní informace je taková informace, která popisuje fyzikální procesy vztahující se k danému stavu. Úpravou dat je myšleno provedení alespoň jedné operace ze skupiny operací odstranění šumu, převodu dat do jiného prostoru, integrace, derivace, modulace signálu, demodulace signálu, převzorkování, tvorby trendů nebo statistického zhodnocení. Příkladem operace odstranění šumu je filtrace filtrem typu horní, dolní nebo pásmová propust, obálková metoda a další. Převod do jiného prostoru umožňuje výhodnější zpracování a zobrazení některých poruchových stavů. Příkladem převodu do jiného prostoru je Fourierova transformace, kdy signál z časové oblasti je převeden na oblast frekvenční. Trendy jsou vytvářeny na základě výsledku určitých operací prováděných v jednotlivých časových okamžicích nad úsekem signálu. Příkladem takových operací je vyhodnocení efektivní hodnoty měřených veličin, velikosti amplitudy měřených veličin, počtu špičkových hodnot nebo délky vlny.

V jednom z příkladných provedení kroku úpravy dat jsou upravovanými daty naměřená data. V dalším z příkladných provedení kroku úpravy dat jsou upravovanými daty zpracovaná data

5 Vyhodnocovací proces vždy obsahuje minimálně kroky spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok porovnání zpracovaných dat s modelovými stavů.

10 V prvním příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok teplotní kompenzace, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat, krok úpravy dat, krok normalizace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

15 Ve druhém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok teplotní kompenzace, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

20 Ve třetím příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

25 Ve čtvrtém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok teplotní kompenzace, krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

30 V pátém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

35 V šestém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

40 V sedmém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok teplotní kompenzace, krok spárování naměřených dat, krok úpravy dat, krok filtrace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

45 V osmém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok spárování naměřených dat, krok filtrace zpracovaných dat, krok úpravy dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

50 V devátém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok spárování naměřených dat, krok úpravy dat, krok filtrace zpracovaných dat, krok úpravy dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů.

V desátém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok úpravy naměřených dat, krok teplotní kompenzace, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok spárování naměřených dat, krok filtrace

zpracovaných dat, krok úpravy dat, krok normalizace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stav.

5 V jedenáctém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok teplotní kompenzace, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok spárování naměřených dat, krok úpravy dat, krok filtrace zpracovaných dat, krok normalizace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stav.

10 Ve dvanáctém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok teplotní kompenzace, krok spárování naměřených dat, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok filtrace zpracovaných dat, krok úpravy dat, krok normalizace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stav.

15 Ve třináctém příkladném provedení sekvence kroků vyhodnocovacího procesu je sekvence kroků vyhodnocovacího procesu následující: krok teplotní kompenzace, krok spárování naměřených dat, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok úpravy dat, krok filtrace zpracovaných dat, krok úpravy dat, krok normalizace zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stav.

V prvním konkrétním příkladném provedení je diagnostikovaným strojem bruska 401 viditelná na obrázku 4. Použitými senzory jsou piezoelektrický akcelerometr 408 a dva rotační enkodéry 409, 410. Piezoelektrický akcelerometr 408 je umístěn na ložiskovém domku ložiska 406 brusného vřetene 407 brusky 401. První rotační enkodér 409 je umístěn na brusném vřeteni 407 brusky 401 a snímá polohu brusného vřetene 407, respektive polohu brusného nástroje 405. Druhý rotační enkodér 410 je umístěn na unášecím vřeteni 403 brusky 401 a snímá polohu unášecího vřetene 403, respektive polohu obrobku 404. Řídící část diagnostického systému obráběcích strojů se skládá z monitorovací jednotky a výpočetního zařízení, kterým je vzdálený server. Monitorovací jednotka je přímo datově spojena s piezoelektrickým akcelerometrem 408 a oběma rotačními enkodéry 409, 410. V tomto příkladném provedení jsou v paměti řídicí části uloženy tři modelové stavy: modelový bezporuchový stav, viditelný na obrázku 5 a popsáný křivkami $\{f_{411}, f_{412}\}$, modelový poruchový stav opotřebení části brusného nástroje 405, viditelný na obrázku 5 a popsáný křivkami $\{f_{421}, f_{422}\}$, a modelový poruchový stav geometrie obrobku 404, viditelný na obrázku 5 a popsáný křivkami $\{f_{431}, f_{432}\}$. Průběhy modelového bezporuchového stavu, modelového poruchového stavu opotřebení části brusného nástroje 405 a modelového poruchového stavu geometrie obrobku 404 jsou nasimulovány na základě teoretického fyzikálního popisu chování brusky 401 během provozu upraveného na základě předcházejících měření reálného chování brusky 401 během provozu a jsou zpracovány stejnými kroky, kterými jsou zpracována naměřená data dle tohoto příkladného provedení. Modelový poruchový stav geometrie obrobku 404 je v tomto příkladném provedení způsoben poruchou vzdáleného převodového ústrojí hydraulického agregátu brusky 401. U modelového poruchového stavu opotřebení brusného nástroje 405 se porucha projevuje změnou velikosti 418 amplitudy modelového průběhu křivky f_{417} v konkrétním úhlovém natočení 419 hřídele. U modelového poruchového stavu geometrie obrobku 404 se porucha projevuje na frekvenci 426 poruchy geometrie obrobku 404, která je vizualizovaná na modelovém průběhu křivky f_{423} , přičemž frekvence 426 poruchy geometrie obrobku 404 je určena největší amplitudou ve frekvenčním spektru křivky f_{423} určené křivkou f_{425} a velikostí 424 amplitudy průběhu modelové křivky f_{423} . Naměřená data z piezoelektrického akcelerometru 408 jsou označena $m_1(kT) = \{m_1(1T), \dots, m_1(nT)\}$, naměřená data z prvního rotačního enkodéru 409 jsou označena $m_2(kT) = \{m_2(1T), \dots, m_2(nT)\}$ a naměřená data z druhého rotačního enkodéru 410 jsou označena $m_3(kT) = \{m_3(1T), \dots, m_3(nT)\}$, přičemž n je počet naměřených hodnot a T je perioda měření. Tato naměřená data jsou vyhodnocena vyhodnocovacím procesem, kde prvním krokem je krok spárování naměřených dat. V kroku spárování naměřených dat je ke každé hodnotě $m_1(kT)$ přiřazena odpovídající hodnota $m_2(kT)$ a $m_3(kT)$. Takto spárovaná data již

nesou informaci o hodnotě vibrací v každé poloze hřídele 407, 403. Spárovaná data jsou znázorněna na obrázku 6. Druhým krokem je krok filtrace zpracovaných dat. V tomto kroku se data z piezoelektrického akcelerometru 408 sčítají v závislosti na poloze brusného vřetene 407 a unášecího vřetene 403 a kinematické diagnostikované soustavy. Tím vzniknou data, která odpovídají přesně jedné periodě diagnostikované části stroje. V tomto kroku je tedy provedena filtrace dat $m_1(kT)$ z piezoelektrického akcelerometru 408 filtrem daným daty $m_2(kT)$ z prvního rotačního enkodéru 409 umístěného na brusném vřeteni 407. Data $m_1(kT)$ se tedy sčítají přesně v každém měřeném bodě $T_{409} = t_n + 2\pi$ brusného vřetene 407, kde t_n je daným bodem měření. Zároveň je provedena filtrace dat $m_1(kT)$ z piezoelektrického akcelerometru 408 filtrem daným daty $m_3(kT)$ druhého rotačního enkodéru 410 umístěného na unášecím vřeteni 403. Data $m_1(kT)$ se tedy zároveň sčítají přesně v každém měřeném bodě $T_{410} = t_n + 2\pi$ unášecího vřetene 403, kde t_n je daným bodem měření. Pro každý měřený bod polohy p je dále určen aritmetický průměr zpracovaných dat dle vzorců:

$$m_{12}^{\&}(pT_2) = g_{429}(x) = \frac{1}{j} \sum_1^j m_1(jpT_2)$$

$$m_{13}^{\&}(pT_3) = g_{430}(x) = \frac{1}{j} \sum_1^j |m_1(jpT_3)|,$$

kde j je pořadí otáčky dané hřídele. U takto upravených dat dojde při sečtení dat z dostatečného množství otáček k potlačení šumu, který je u měřených dat na obráběcích strojích vysoký, a tím dojde ke zvýraznění nosné informace. Třetím krokem je krok úpravy dat, kdy jsou zpracovaná data filtrována filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100 Hz. Průběhy zpracovaných dat g_{429} a g_{430} jsou zobrazeny na obrázcích 7 a 8. Dále je v tomto kroku provedena úprava dat g_{429} , ze kterých se tvoří množiny trendů $\{g_{421}, g_{422}\}$ a úprava dat g_{430} , ze kterých se tvoří množiny trendů $\{g_{431}, g_{432}\}$. Zpracovaná data g_{430} jsou převedena rychlou Fourierovou transformací do frekvenční oblasti a je sledováno, zda je porucha na frekvenci poruchy modelového poruchového stavu brusného nástroje 405. Hodnota frekvence poruchy tvoří křivku g_{432} . Velikost amplitudy poruchy je analyzována metodou Min-Max, která spočívá v odečtení nejnížší hodnoty zpracovaných dat od té nejvyšší. Trend těchto amplitud tvoří křivku g_{431} . U zpracovaných dat g_{429} se sleduje, zda je porucha ve stejném úhlovém natočení brusného vřetene 407. Trend hodnot těchto úhlových natočení tvoří křivku g_{422} . Velikost amplitudy poruchy se analyzuje metodou Min-Max. Trend těchto amplitud tvoří křivku g_{421} , jež je vidět na obrázku 9. Čtvrtým krokem je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Vyhodnocení podobnosti je v tomto příkladném provedení prováděno pomocí informačního rozhraní, jímž je v tomto příkladném provedení osobní počítač. Jak je vidět na obrázku 10, zpracované množiny dat $\{g_{421}, g_{431}\}$ neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu popsanému křivkami $\{f_{411}, f_{412}\}$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 10, zpracované množiny dat $\{g_{421}, g_{431}\}$ neodpovídají modelovému poruchovému stavu opotřebení brusného nástroje 405 popsanému křivkami $\{f_{411}, f_{412}\}$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 10, zpracované množiny dat $\{g_{431}, g_{432}\}$ odpovídají modelovému poruchovému stavu geometrie obrobku 404 popsanému křivkami $\{f_{411}, f_{412}\}$, jelikož průběhy si jsou podobné.

Ve druhém konkrétním příkladném provedení je obráběcím strojem karuselový soustruh 445 zobrazený na obrázku 11. Použitými senzory jsou dva piezoelektrické akcelerometry 446, 447 s integrovanými snímači teploty. První piezoelektrický akcelerometr 446 je umístěn na vřetenu 448 lože. Druhý piezoelektrický akcelerometr 447 je umístěn na lineárním vedení 449 příčnickové podpory. Řídicí část diagnostického systému obráběcích strojů se skládá z monitorovací jednotky a výpočetního zařízení, kterým je vzdálený server. Monitorovací jednotka je přímo datově spojena s piezoelektrickým akcelerometry 446, 447 a dále je datově spojena s řídicím systémem karuselového soustruhu 445. Z řídicího systému karuselového soustruhu 445 jsou získávány informace o poloze příčnickové podpory na lineárním vedení 449 ve směru osy x , o úhlové poloze obrobku 452 vůči nástroji 453 a o poloze nástroje 453 vůči obrobku 452 v ose z . V tomto

příkladném provedení jsou v paměti řídicí části uloženy tři modelové stavy: modelový bezporuchový stav, viditelný na obrázku 12 a popsáný množinou křivek $F_1(x) = \{f_{467}(x), f_{468}(x)\}$, modelový poruchový stav lineárního vedení 449 v ose x, viditelný na obrázku 12 a popsáný množinou křivek $F_2(x) = \{f_{459}(x), f_{460}(x)\}$, a modelový poruchový stav obrobku 452, viditelný na obrázku 12 a popsáný křivkami $F_3(x) = \{f_{461}(x), f_{462}(x)\}$. Modelový poruchový stav lineárního vedení 449 v ose x je odvozen na základě teoretického fyzikálního popisu chování karuselového soustruhu 445 během provozu, kde se porucha projevuje změnou velikosti amplitudy 464 modelového průběhu křivky f_{463} v konkrétní poruchové poloze 465 lineárního vedení 449. Modelový poruchový stav obrobku 452 je odvozen na základě teoretického fyzikálního chování karuselového soustruhu 445 během provozu, konkrétně metodou konečných prvků. Naměřená data z prvního piezoelektrického akcelerometru 446 jsou označena $m_1(kT) = \{m_1(1T), \dots, m_1(nT)\}$, naměřená data z druhého piezoelektrického akcelerometru 447 jsou označena $m_2(kT) = \{m_2(1T), \dots, m_2(nT)\}$, naměřená data z prvního snímače teploty integrovaného na prvním piezoelektrickém akcelerometru 446 jsou označena $m_3(kT) = \{m_3(1T), \dots, m_3(nT)\}$, naměřená data z druhého snímače teploty integrovaného na druhém piezoelektrickém akcelerometru 447 jsou označena $m_4(kT) = \{m_4(1T), \dots, m_4(nT)\}$, data o úhlovém natočení obrobku 452 vůči nástroji 453 jsou označena $m_5(kT) = \{m_5(1T), \dots, m_5(nT)\}$, data o poloze nástroje 453 vůči obrobku 452 v ose z jsou označena $m_6(kT) = \{m_6(1T), \dots, m_6(nT)\}$ a data o poloze nástroje 452 vůči lineárnímu vedení 449 ve směru osy x jsou označena $m_7(kT) = \{m_7(1T), \dots, m_7(nT)\}$ přičemž n je počet naměřených hodnot a T je perioda měření. Prvním krokem je krok teplotní kompenzace, přičemž teplotně kompenzovanými daty jsou naměřená data $m_1(kT)$ a $m_2(kT)$ a jsou kompenzována pomocí naměřených dat $m_3(kT)$ a $m_4(kT)$. Změna teplotní citlivosti je popsána vztahem $C_\Delta(K)$, kde K je teplota. Pomocí teplotní kompenzace jsou získána data $m_1^{\%}(kT)$ a $m_2^{\%}(kT)$.

$$m_1^{\%}(kT) = m_1(kT) * C_\Delta(m_3(kT))$$

$$m_2^{\%}(kT) = m_2(kT)C_\Delta(m_4(kT)).$$

Druhým krokem je krok úpravy dat pomocí přenosové funkce. Vzhledem ke vzdálenému umístění pouze prvního piezoelektrického akcelerometru 446 od zdroje vibrací vzniklých během procesu obrábění, je přenosová funkce aplikována pouze na naměřená data prvního piezoelektrického akcelerometru 446. Přenosová funkce je získána experimentálně pomocí impulsní odezvy, kde impulsem je impuls od procesu obrábění. V alternativním příkladném provedení je možné impuls vytvořit i uměle a sledovat jeho šíření materiálem. Pro získání přenosové funkce jsou využita naměřená data $m_1^{\#}(kT) = \{m_1^{\#}(1T), \dots, m_1^{\#}(nT)\}$, kde n je počet naměřených hodnot a T je perioda měření. Snímání dat začíná před impulsem a končí s koncem jeho šíření materiálem. Diskrétní naměřená data jsou převáděna Z-transformací do komplexního oboru. Nejprve je použito přímé Z-transformace dle jejího předpisu:

$$M_i(z) = Z\{m_i(kT)\} = \sum_{k=0}^n m_i(kT)z^{-k} = m_i(0) + m_i(T)z^{-1} + m_i(2T)z^{-2} + \dots$$

Přímou Z-transformací je získána spojitá funkce komplexní proměnné $M_i(z)$ z funkce $m_i(kT)$. Dosazením $m_1^{\#}(kT)$ a $m_p^{\#}(kT)$ do vzorce pak získáme funkce $M_1^{\#}(z)$ a $M_p^{\#}(z)$. Data $M_p^{\#}(z)$ představují impuls. Měřená data ze snímače $M_1^{\#}(z)$, který je umístěn na uložení ložiska vřetene 448 lože, představují tentýž impuls, který je ovlivněn charakterem systému, tedy přenosovou funkcí. Přenosová funkce $TF_{1p}(z)$ se získá znalostí obou signálů a lze vyjádřit jako:

$$TF_{1p}(z) = \frac{M_p^{\#}(z)}{M_1^{\#}(z)}.$$

Aplikace přenosové funkce je provedena násobením $M_m^{\%}(z)$ a $TF_{1p}(z)$. Všechna data $m_m^{\%}(kT)$ je tedy nutné nejprve převést Z-transformací na $M_m^{\%}(z)$ a aplikaci pak lze vyjádřit rovnicí:

$$M_m^{\text{TF1p}}(z) = (M_m^{\%} z) \text{TF}_{1p}(z).$$

Z komplexního oboru se přejde do časového oboru pomocí zpětné Z-transformace dle předpisu:

5

$$m_m^{\text{TF1p}}(kT) = Z^{-1}\{M_m^{\text{TF1p}}(z)\} = \frac{1}{2\pi j} \oint_C M_m^{\text{TF1p}}(z) z^{k-1} dz.$$

Křivka C zahrnuje všechny póly výrazu $M_m^{\text{TF1p}}(z)z^{k-1}$. Třetím krokem je krok spárování naměřených dat. V kroku spárování naměřených dat je ke každé hodnotě $m_1^{\text{TF1p}}(kT)$ přiřazena odpovídající hodnota $m_5(kT)$ a $m_6(kT)$ a ke každé hodnotě $m_2(kT)$ je přiřazena odpovídající hodnota $m_7(kT)$. Takto spárovaná data již nesou informaci o hodnotě vibrací v každém měřeném bodě. Spárovaná data jsou znázorněna na obrázku 13. Čtvrtým krokem je krok filtrace zpracovaných dat, kde se zpracovaná data $m_1^{\text{TF1p}}(kT)$ průměrují ve stejných bodech prostoru určených zpracovanými daty polohy $m_5(kT)$ a $m_6(kT)$. Zpracovaná data $m_2(kT)$ jsou průměrována ve stejných bodech určených daty polohy $m_7(kT)$. U takto filtrovaných dat dojde při sečtení dat z dostatečného množství otáček k potlačení šumu, který je u měřených dat na obráběcích strojích vysoký. Pátým krokem je krok úpravy dat, kdy zpracovaná data jsou dále filtrována filtrem typu horní propusti s mezní frekvencí 20 kHz. Z takto zpracovaných dat se tvoří množina trendů hodnot G postupem shodujícím se s postupem tvorby modelových stavů. Množina G obsahuje množiny dat $\{g_{474}(x), g_{476}(x)\}$, $\{g_{474}(x), g_{475}(x)\}$, $\{g_{476}(x), g_{477}(x)\}$ zobrazené na obrázku 14. Šestým krokem je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Vyhodnocení podobnosti je v tomto příkladném provedení prováděno strojově na základě vložených znalostí, přičemž vstupy je množina modelových stavů F složená z modelových stavů $\{f_{459}(x), f_{460}(x)\}$, $\{f_{461}(x), f_{462}(x)\}$, $\{f_{467}(x), f_{468}(x)\}$ a množina upravených dat G složená z upravených dat $\{g_{474}(x), g_{476}(x)\}$, $\{g_{474}(x), g_{475}(x)\}$, $\{g_{476}(x), g_{477}(x)\}$. Krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy v tomto příkladném provedení zahrnuje krok normalizace zpracovaných dat, kdy množina G je transformována na množinu G^* , která má stejný definiční obor a funkční obor jako mají funkce F . Funkce F mají definiční obor $Df_i = \langle a_i, b_i \rangle$ a funkční obor $Hf_i = \langle \alpha_i, \beta_i \rangle$, kde $i = 1, 2, 3$. Příkladem transformace je transformace $g_{474}(t)$ na $g_{474}^*(t)$ dle rovnice:

$$g_{474}^* = \frac{g_{474} \left(\frac{t - a_{474}}{b_{474} - a_{474}} \right) (d_{474} - c_{474}) + c_{474} - \gamma_{474}}{\delta_{474} - \gamma_{474}} (\beta_{474} - \alpha_{474}) + \alpha_{474}; t \in \langle a, b \rangle.$$

Porovnání funkcí je realizováno prostřednictvím operace COM, která určuje podobnost funkcí:

35

$$\text{COM}_{x \in \langle A, B \rangle} [F @ G^*] < E,$$

kde E je množina podmínek $\{e_1, e_3, e_3\}$. Porovnání funkcí je viditelné na obrázku 15, přičemž v tomto příkladném provedení je funkcí COM vyhodnoceno, že se karuselový soustruh 445 nachází ve stavu poruchového stavu geometrie obrobku 452 a vydá tuto informaci na informační rozhraní.

40

PATENTOVÉ NÁROKY

45

1. Způsob provádění technické diagnostiky obráběcích strojů pomocí diagnostického systému obráběcích strojů zahrnujícího informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, **vyznačující se tím**, že diagnostický systém obráběcích strojů dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na obráběcích strojích, přičemž alespoň jedním z těchto senzorů je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy, v paměti řídicí části je dále uložen

50

modelový bezporuchový stav obsahující průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň dvou vybraných senzorů při bezporuchovém provozu, a dále je v paměti řídicí části uložen alespoň první modelový poruchový stav a druhý modelový poruchový stav, přičemž jak první modelový poruchový stav, tak druhý modelový poruchový stav obsahují průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň dvou vybraných senzorů při poruše během provozu, naměřená data ze senzorů jsou po naměření odeslána do řídicí části, následně jsou naměřená data z alespoň dvou vybraných senzorů v řídicí části zpracována vyhodnocovacím procesem obsahujícím krok spárování naměřených dat tak, aby si data z jednotlivých senzorů časově odpovídala, a následně krok filtrace zpracovaných dat, kdy jsou data z alespoň jednoho senzoru použita pro nastavení parametrů filtru pro filtraci dat z alespoň jednoho jiného senzoru, přičemž tato zpracovaná data jsou následně v řídicí části porovnána s modelovými stavy a na základě tohoto porovnání vydá řídicí jednotka na informační rozhraní informaci, že se obráběcí stroj nachází v bezporuchovém stavu nebo v alespoň jednom z modelových poruchových stavů.

2. Způsob provádění technické diagnostiky obráběcích strojů pomocí diagnostického systému obráběcích strojů podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že pokud zpracovaná data neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu a pokud zároveň neodpovídají žádnému modelovému poruchovému stavu, vydá řídicí část na informační rozhraní informaci, že se obráběcí stroj nachází v neznámém stavu.

3. Způsob provádění technické diagnostiky obráběcích strojů pomocí diagnostického systému obráběcích strojů podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací proces dále obsahuje krok úpravy dat pomocí přenosové funkce.

4. Způsob provádění technické diagnostiky obráběcích strojů pomocí diagnostického systému obráběcích strojů podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že diagnostický systém dále zahrnuje alespoň jeden snímač teploty a vyhodnocovací proces dále obsahuje krok provedení teplotní kompenzace dat naměřených senzory, z nichž alespoň jeden je snímačem vibrací a alespoň jeden je snímačem polohy, přičemž teplotní kompenzace je provedena na základě dat naměřených snímačem teploty.

5. Diagnostický systém obráběcích strojů zahrnuje informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, **vyznačující se tím**, že diagnostický systém obráběcích strojů dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na obráběcích strojích, přičemž alespoň jedním z těchto senzorů je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy, v paměti řídicí části je dále uložen modelový bezporuchový stav obsahující průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň dvou vybraných senzorů při bezporuchovém provozu, a dále je v paměti řídicí části uložen alespoň první modelový poruchový stav a druhý modelový poruchový stav, přičemž jak první modelový poruchový stav, tak druhý modelový poruchový stav obsahují průběhy odpovídající průběhům a veličinám měřeným pomocí alespoň dvou vybraných senzorů při poruše během provozu.

6. Diagnostický systém obráběcích strojů podle nároku 5, **vyznačující se tím**, modelovým bezporuchovým stavem je modelový bezporuchový stav alespoň jednoho prvku ze skupiny části obráběcího stroje, nástroje nebo obrobku.

7. Diagnostický systém obráběcích strojů podle nároku 5 nebo 6, **vyznačující se tím**, modelovým poruchovým stavem je kterýkoliv modelový poruchový stav ze skupiny modelového poruchového stavu části obráběcího stroje, modelového poruchového stavu nástroje nebo modelového poruchového stavu obrobku.

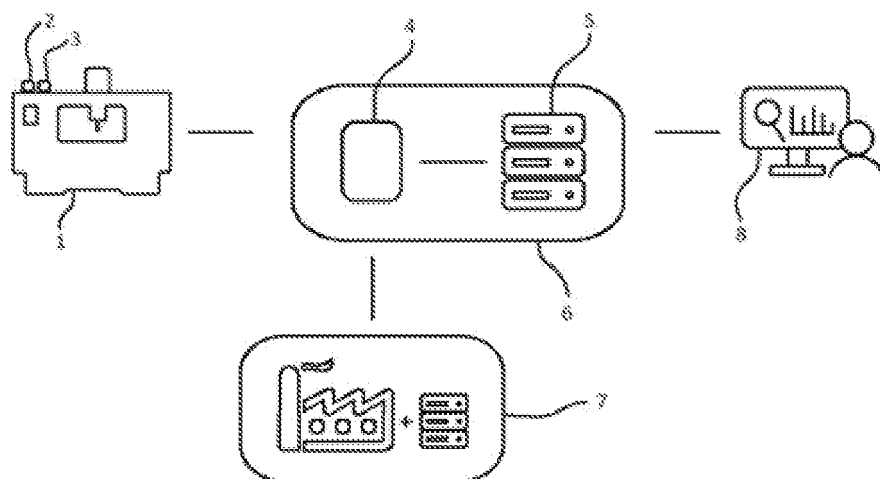
8. Diagnostický systém obráběcích strojů podle kteréhokoliv z nároků 5 až 7, **vyznačující se tím**, že řídicí část zahrnuje monitorovací jednotku a vzdálený server, přičemž senzory jsou datově spojeny s monitorovací jednotkou a monitorovací jednotka je datově spojena se vzdáleným serverem.
9. Diagnostický systém obráběcích strojů podle kteréhokoliv z nároků 5 až 8, **vyznačující se tím**, že snímačem polohy je kterýkoliv ze skupiny lineárního enkodéru, rotačního enkodéru, kapacitního snímače vzdálenosti, enkodéru, laserového snímače polohy, konfokálního snímače vzdálenosti, optického dálkoměru, induktivního snímače, magneto-indukčního snímače nebo lankového snímače.
10. Diagnostický systém obráběcích strojů podle kteréhokoliv z nároků 5 až 9, **vyznačující se tím**, že alespoň jedním ze senzorů je snímač teploty, přičemž snímač teploty je umístěn v těsné blízkosti alespoň jednoho senzoru jiného typu.

7 výkresů

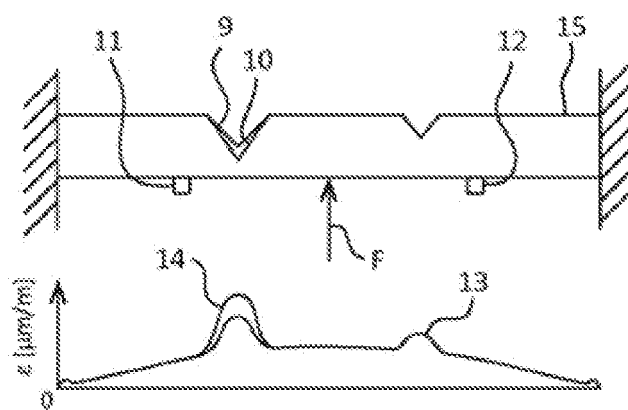
Seznam vztahových značek

- 1 - Obráběcí stroj
- 2 - Snímač vibrací
- 3 - Snímač polohy
- 4 - Monitorovací jednotka
- 5 - Výpočetní zařízení
- 6 - Řídicí část
- 7 - Periferní zařízení
- 8 - Informační rozhraní
- 9 - Vrub
- 10 - Zvětšený vrub
- 11 - První akcelerometr
- 12 - Druhý akcelerometr
- 13 - Průběh přetvoření
- 14 - Upravený průběh přetvoření na základě měření vibrací
- 15 - Vetknutý nosník
- 401 - Bruska
- 403 - Unášecí vřeteno
- 404 - Obrobek
- 405 - Brusný nástroj
- 406 - Ložisko brusného vřetene
- 407 - Brusné vřeteno
- 408 - Piezoelektrický akcelerometr
- 409 - První rotační enkodér
- 410 - Druhý rotační enkodér
- 418 - Velikost amplitudy modelového průběhu křivky f_{417}
- 419 - Úhlové natočení hřídele
- 424 - Velikost amplitudy průběhu modelové křivky f_{423}
- 426 - Frekvence poruchy geometrie obrobku
- 445 - Karuselový soustruh
- 446 - První piezoelektrický akcelerometr s integrovaným senzorem teploty
- 447 - Druhý piezoelektrický akcelerometr s integrovaným senzorem teploty
- 448 - Vřeteno lože
- 449 - Lineární vedení příčnickové podpory

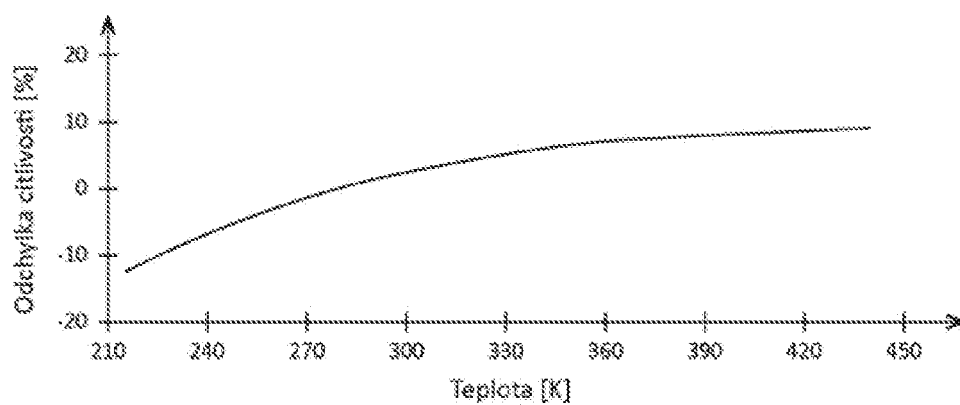
- 452 - Obrobek
- 453 - Nástroj
- 464 - Amplituda modelového průběhu křivky f463
- 465 - Poloha poruchy lineárního vedení



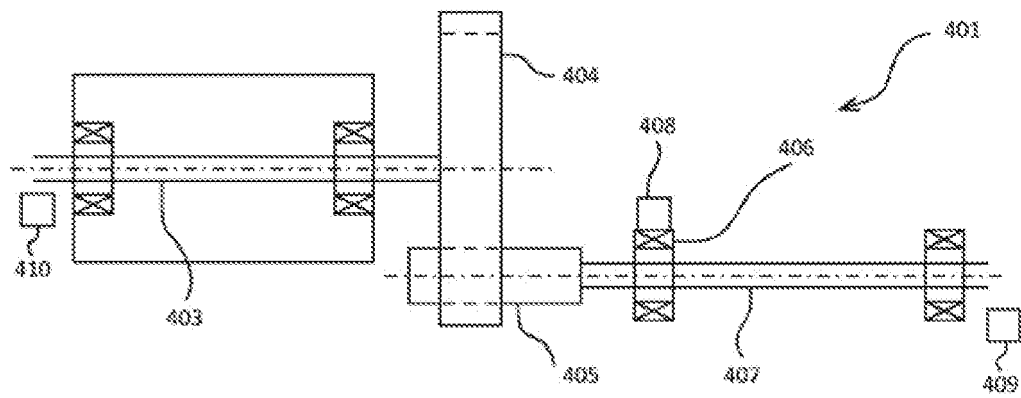
Obr.1



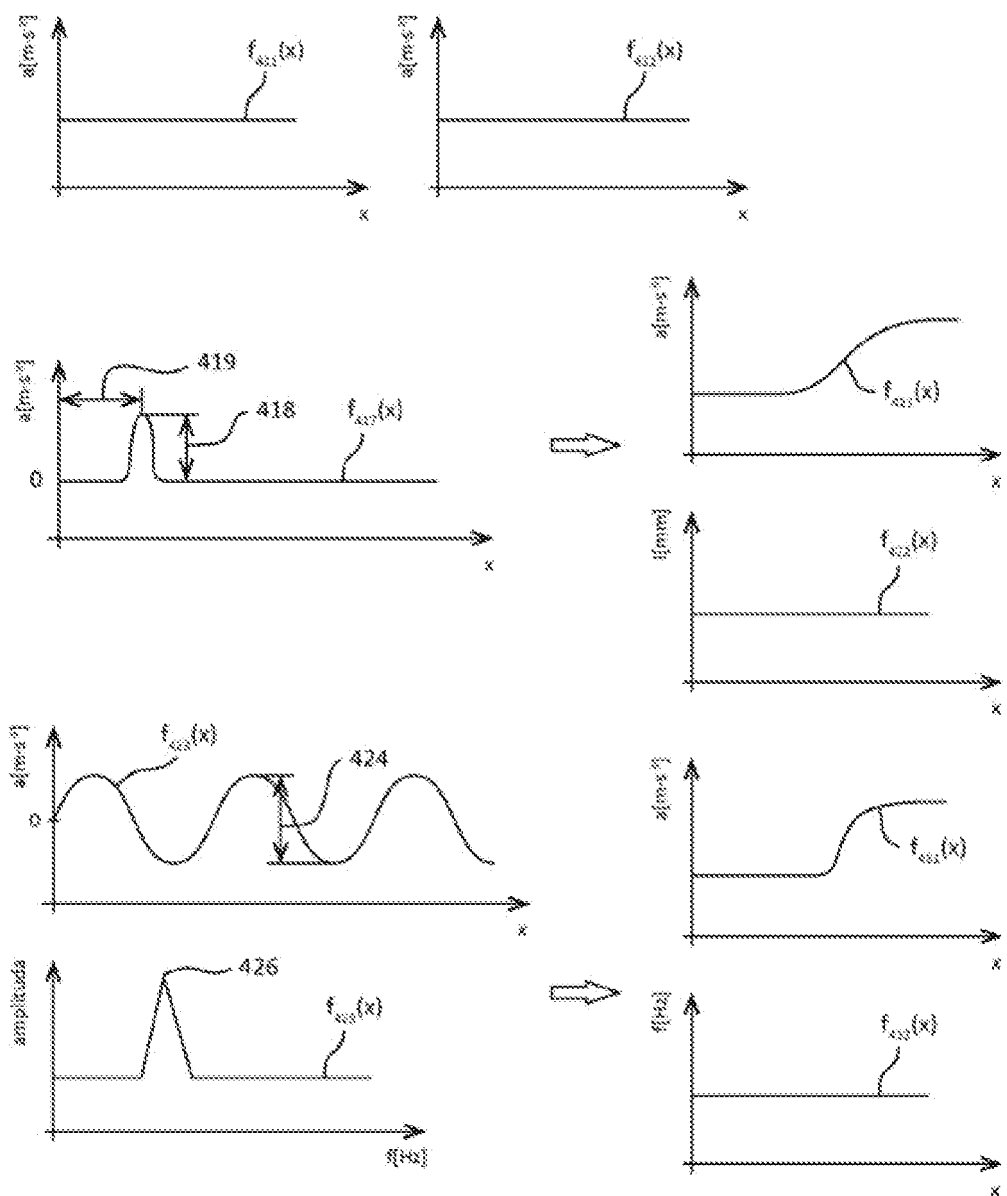
Obr. 2



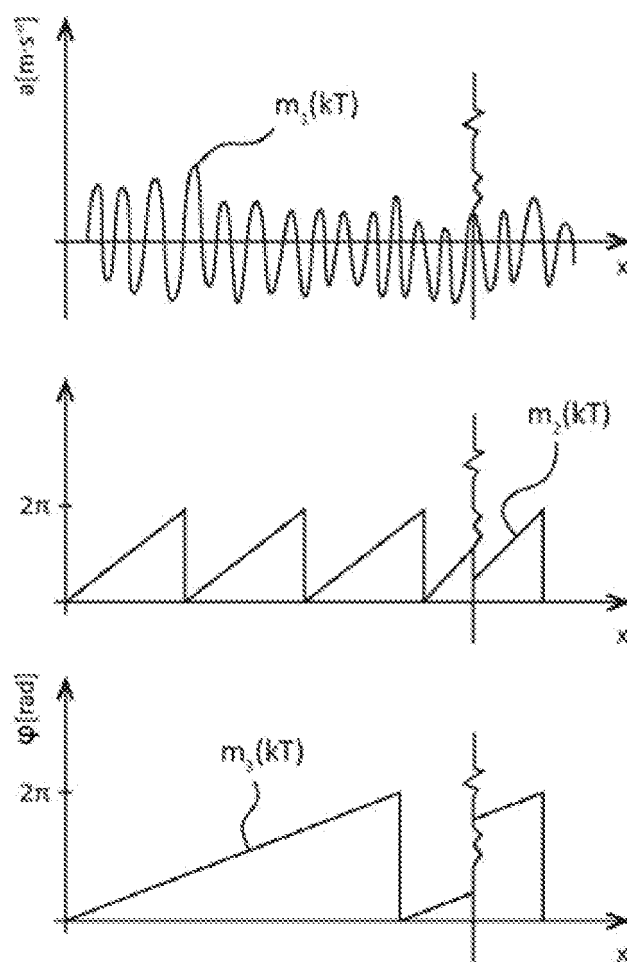
Obr. 3



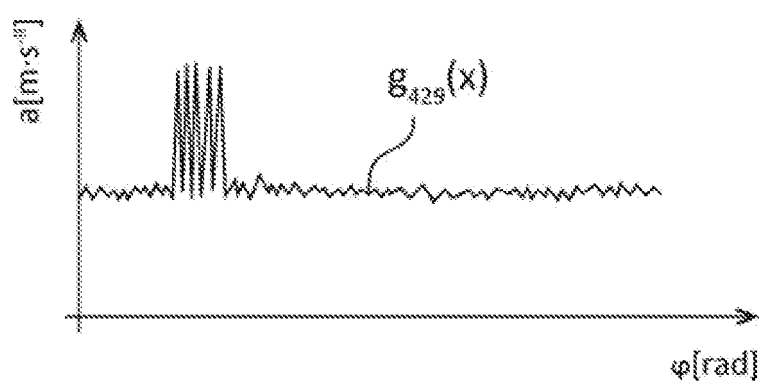
Obr. 4



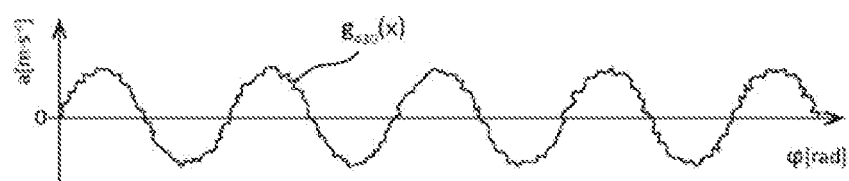
Obr. 5



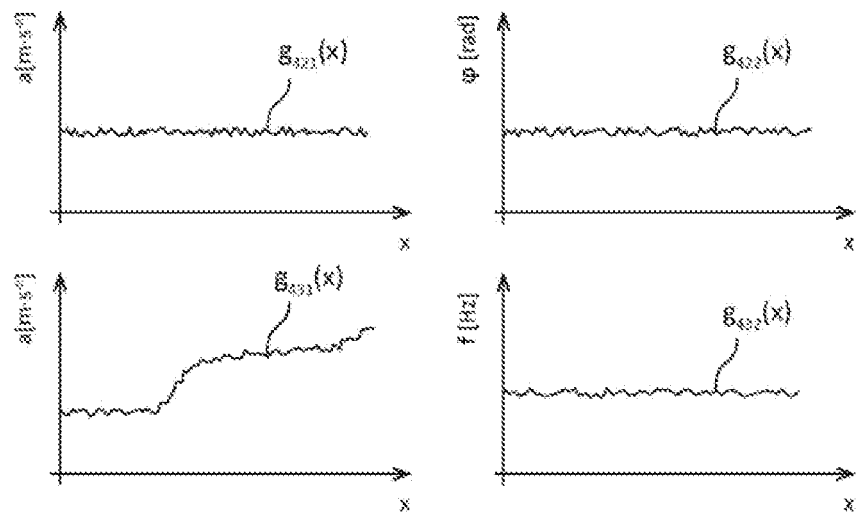
Obr. 6



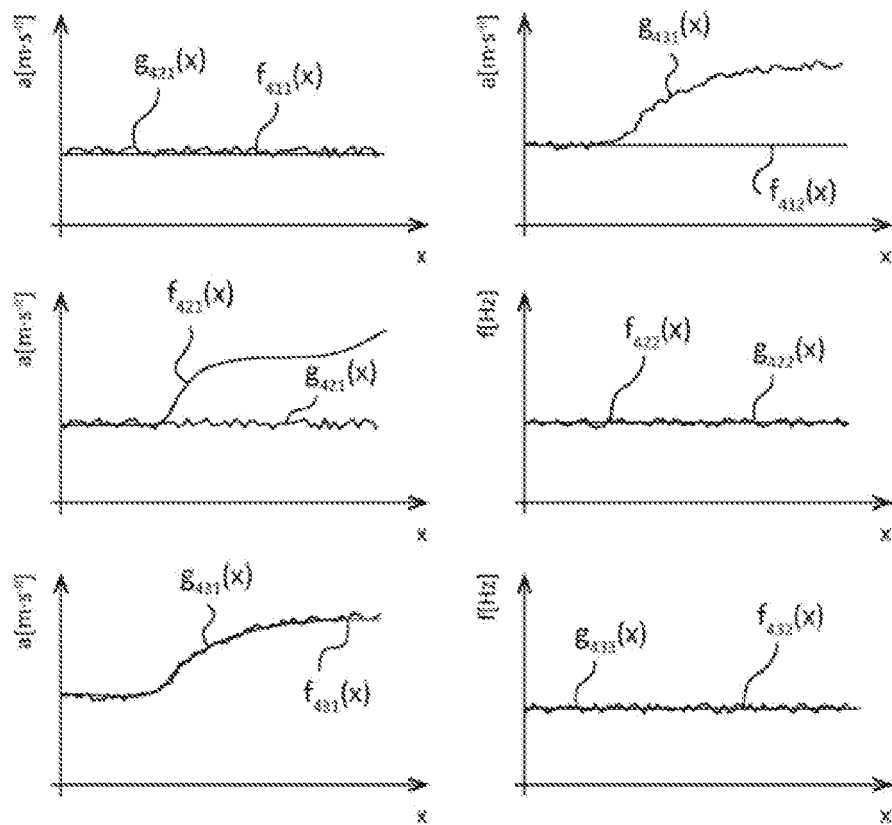
Obr. 7



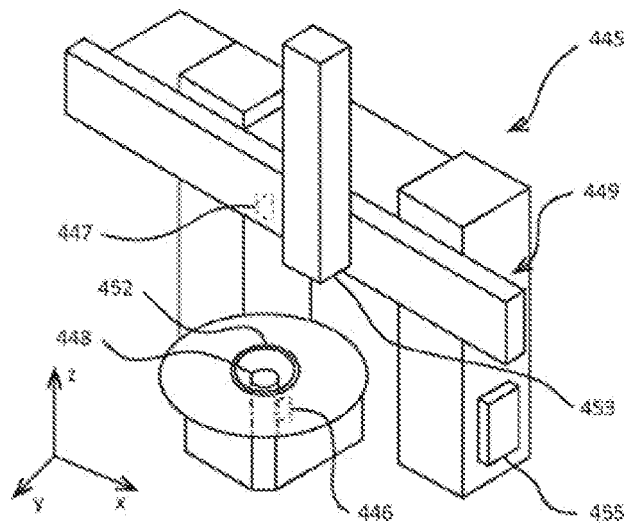
Obr. 8



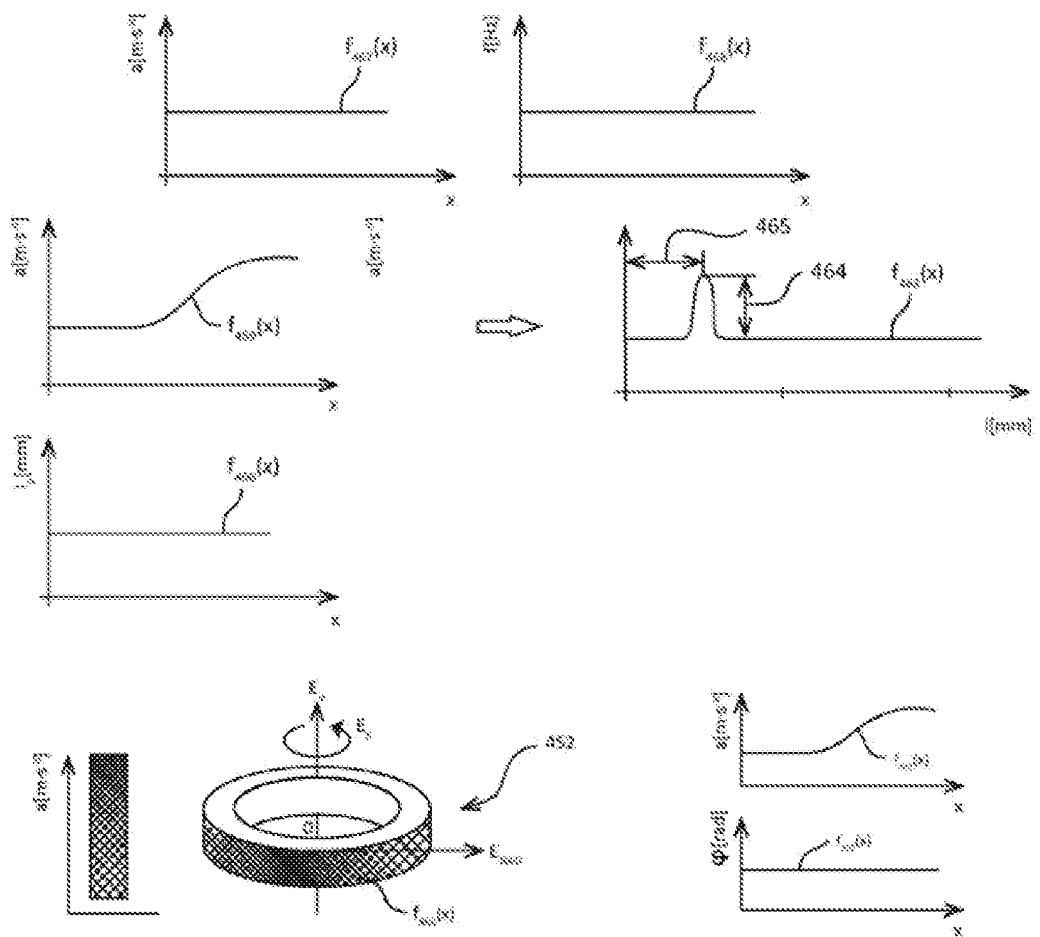
Obr. 9



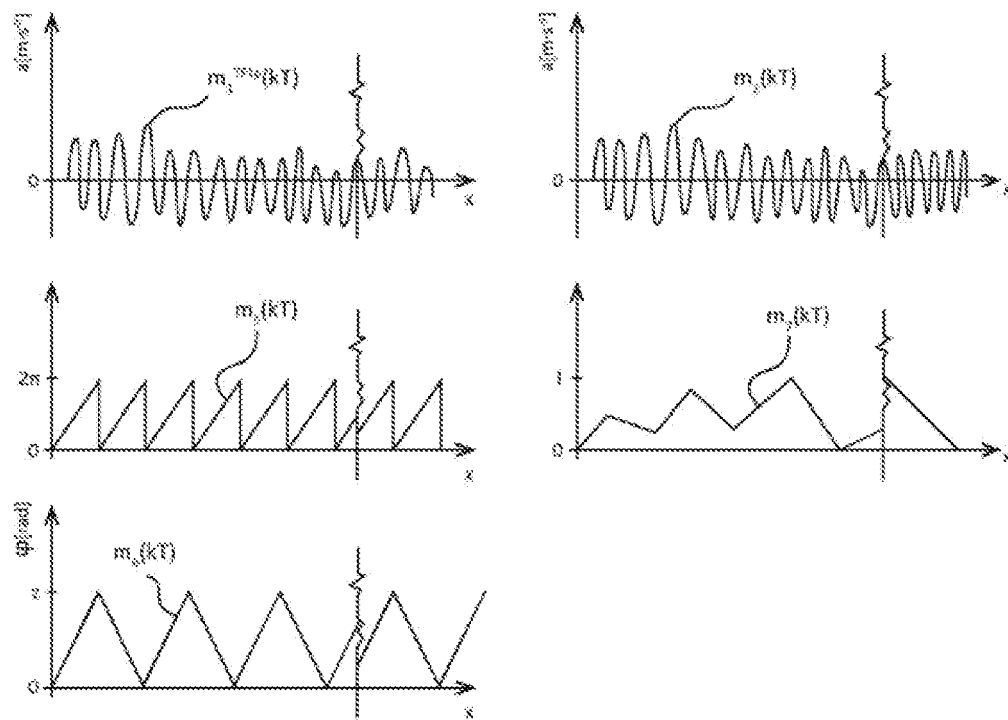
Obr. 10



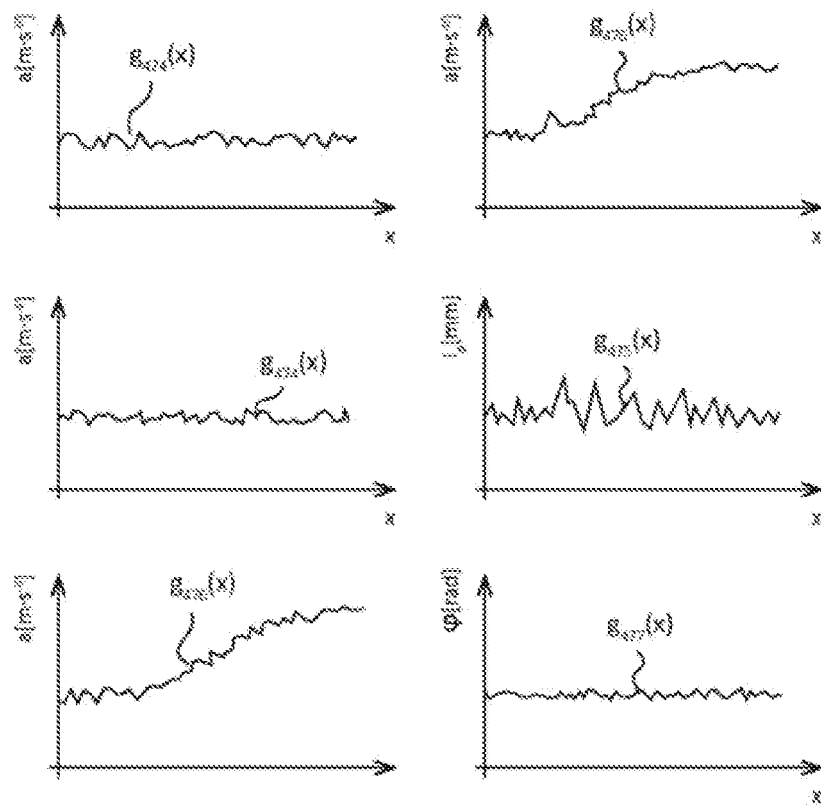
Obr. 11



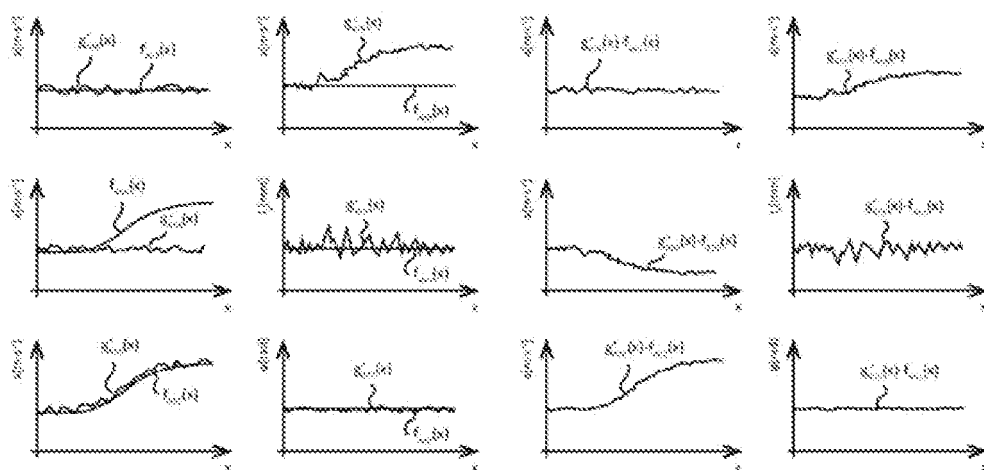
Obr. 12



Obr. 13



Obr. 14



Obr. 15