

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2018-517

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G05B 13/04 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **30.09.2018**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **08.04.2020**
(Věstník č. 15/2020)

(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 strojů

(57) Anotace:
Předmětem vynálezu je způsob provádění technické diagnostiky strojů pomocí diagnostického systému strojů využívajícího alespoň dvou senzorů pro umístění na strojích vybraných ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače polohy a snímače vzdálenosti, kdy naměřená data jsou vyhodnocována vyhodnocovacím procesem zahrnujícím krok spárování naměřených dat a krok porovnání zpracovaných dat s modelovými stavy.

Diagnostický systém strojů

Oblast techniky

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

Dosavadní stav techniky

Během provozu strojů dochází k působení různých sil, které mohou způsobovat vznik značných deformací částí stroje. Během provozu může také docházet ke vzniku vysokých vibrací způsobených různými procesy během provozu. Z tohoto důvodu je vhodné využít diagnostických systémů, které by umožňovaly měření fyzikálních veličin působících v různých částech strojů.

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 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.

Bylo by tedy vhodné poskytnout diagnostický systém, který by umožňoval dostatečně přesné vyhodnocování různých poruchových stavů částí strojů, případně nástroje strojů nebo výrobku. Zároveň by řešení mělo umožňovat identifikaci různých fází provozu stroje. 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 strojů pomocí diagnostického systému strojů zahrnujícího informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, jehož podstata spočívá v tom, že diagnostický systém stroje dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na stroji vybrané ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače polohy a snímače vzdálenosti, 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, přičemž tato zpracovaná data jsou následně v řídicí části porovnána s modelovými stavy a na základě tohoto porovnání vydá řídicí část na informační rozhraní informaci, že se stroj nachází v bezporuchovém stavu nebo v alespoň jednom z modelových poruchových stavů. Výše popsany způsob provádění technické diagnostiky strojů prováděný pomocí diagnostického systému strojů s alespoň dvěma senzory, jejichž naměřená data jsou dále zpracována vyhodnocovacím procesem zahrnujícím krok spárování naměřených dat, 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, neboť při vyhodnocování se přihlíží k datům naměřeným všemi senzory.

Pokud zpracovaná data neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu a pokud zároveň neodpovídají žádnému modelovému poruchovému stavu, vydá řídicí část na informační rozhraní informaci, že se stroj nachází v neznámém stavu. Vyhodnocení, že se jedná o neznámý stav, napomáhá dosažení cíle identifikace neznámých stavů, jelikož prostřednictvím 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 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 vybranými ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření a snímače vzdálenosti a snímače 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 stroje, nástroje nebo tvářeného výrobku.

Vyhodnocovací proces dále obsahuje krok filtrace zpracovaných dat, kdy data z alespoň jednoho senzoru jsou použita pro nastavení parametrů filtru pro filtraci dat z alespoň jednoho senzoru. Využití dat z jednoho senzoru pro nastavení parametrů filtru pro filtraci dat z alespoň jednoho senzoru umožňuje přesnější identifikaci relevantní části dat.

Diagnostický systém strojů zahrnuje informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, a jehož podstata spočívá v tom, že diagnostický systém strojů dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na stroji vybrané ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače polohy a snímače vzdálenosti, 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. Využití diagnostického systému 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.

Strojem může být výrobní stroj.

Strojem může být dopravní prostředek.

Modelovým bezporuchovým stavem v případě, že strojem je výrobní stroj, je modelový bezporuchový stav alespoň jednoho prvku ze skupiny části stroje, nástroje nebo výrobku.

Modelovým poruchovým stavem v případě, že strojem je výrobní stroj, je kterýkoliv modelový poruchový stav ze skupiny modelového poruchového stavu části stroje, modelového poruchového stavu nástroje nebo modelového poruchového stavu výrobku.

Modelovým bezporuchovým stavem v případě, že strojem je dopravní prostředek, je modelový bezporuchový stav části stroje.

5 Modelovým poruchovým stavem v případě, že strojem je dopravní prostředek, je modelový poruchový stav části stroje. 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.

10 V jednom případě je alespoň jedním ze senzorů snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy.

V jednom případě je alespoň jedním ze senzorů snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač přetvoření.

15 V jednom případě jsou alespoň dvěma senzory snímače vibrací.

V jednom případě jsou senzory tenkovrstvé senzory.

20 Snímačem polohy je lineární enkodér nebo rotační enkodér.

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.

25

Objasnění výkresů

Podstata vynálezu je dále objasněna na příkladech jeho provedení, které jsou popsány s využitím

30

Obr. 1 znázorňuje diagnostický systém na stroji.

Obr. 2 znázorňuje vetknutý nosník se dvěma vruby.

35 Obr. 3 znázorňuje časový okamžik tváření 1.

Obr. 4 znázorňuje časový okamžik tváření 5.

Obr. 5 znázorňuje časový okamžik tváření 7.

40

Obr. 6 znázorňuje časový okamžik tváření 10.

Obr. 7 znázorňuje časový okamžik tváření 15.

45 Obr. 8 znázorňuje časový okamžik tváření 20.

Obr. 9 znázorňuje časový okamžik tváření 25.

Obr. 10 znázorňuje časový okamžik tváření 30.

50

Obr. 11 znázorňuje časový okamžik tváření 35.

Obr. 12 znázorňuje časový okamžik tváření 40.

55 Obr. 13 znázorňuje časový okamžik tváření 43.

- Obr. 14 znázorňuje časový okamžik tváření 45.
- Obr. 15 znázorňuje časový okamžik tváření 50.
- 5 Obr. 16 znázorňuje průběh přetvoření spodní zápustky při procesu tváření.
- Obr. 17 znázorňuje průběh vibrací spodní zápustky při procesu tváření.
- 10 Obr. 18 znázorňuje průběh kovací síly při procesu tváření.
- Obr. 19 znázorňuje průběh polohy beranu při procesu tváření.
- Obr. 20 znázorňuje průběh zrychlení horního upínače ve směru pohybu beranu při procesu
15 tváření.
- Obr. 21 znázorňuje průběh zrychlení spodní zápustky kolmo ke směru pohybu beranu při
procesu tváření.
- 20 Obr. 22 znázorňuje měřený průběh přetvoření a měřený průběh přetvoření po teplotní
kompenzaci.
- Obr. 23 znázorňuje změnu citlivosti piezoelektrického akcelerometru v závislosti na teplotě.
- 25 Obr. 24 znázorňuje horizontální klikový lis.
- Obr. 25 znázorňuje modelový bezporuchový stav.
- Obr. 26 znázorňuje modelový poruchový stav vyššího tvárného odporu přetvářeného
30 polotovaru.
- Obr. 27 znázorňuje modelový poruchový stav trhliny v upínači.
- Obr. 28 znázorňuje modelový poruchový stav trhliny v rámu.
- 35 Obr. 29 znázorňuje porovnání zpracovaných dat prvního konkrétního příkladného provedení a
modelového poruchového stavu vyššího tvárného odporu přetvářeného polotovaru.
- Obr. 30 znázorňuje průběhy vibrací při porovnání zpracovaných dat prvního konkrétního
40 příkladného provedení a modelového bezporuchového stavu.
- Obr. 31 znázorňuje průběhy přetvoření při porovnání zpracovaných dat prvního konkrétního
příkladného provedení a modelového bezporuchového stavu.
- 45 Obr. 32 zpracovaná data druhého konkrétního příkladného provedení.
- Obr. 33 znázorňuje průběhy vibrací při porovnání zpracovaných dat druhého konkrétního
příkladného provedení a modelového bezporuchového stavu.
- 50 Obr. 34 znázorňuje průběhy přetvoření při porovnání zpracovaných dat druhého konkrétního
příkladného provedení a modelového bezporuchového stavu.
- Obr. 35 znázorňuje porovnání zpracovaných dat druhého konkrétního příkladného provedení a
modelového bezporuchového stavu.
- 55

- Obr. 36 znázorňuje porovnání zpracovaných dat druhého konkrétního příkladného provedení a modelového poruchového stavu trhliny v rámu.
- Obr. 37 znázorňuje zpracovaná data třetího konkrétního příkladného provedení.
- 5 Obr. 38 znázorňuje průběhy vibrací při porovnání zpracovaných dat třetího konkrétního příkladného provedení a modelového bezporuchového stavu.
- Obr. 39 znázorňuje průběhy přetvoření při porovnání zpracovaných dat třetího konkrétního příkladného provedení a modelového bezporuchového stavu.
- 10 Obr. 40 znázorňuje zpracovaná data prvního konkrétního příkladného provedení.
- Obr. 41 znázorňuje porovnání zpracovaných dat prvního konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem.
- 15 Obr. 42 znázorňuje podmnožinu F_{120} modelového poruchového stavu trhliny v upínači.
- Obr. 43 znázorňuje podmnožinu G_{130} zpracovaných dat třetího konkrétního příkladného provedení.
- 20 Obr. 44 znázorňuje porovnání podmnožin F_{120} a G_{130} .
- Obr. 45 znázorňuje absolutní hodnotu rozdílu funkcí podmnožin F_{120} a G_{130} .
- 25 Obr. 46 znázorňuje průběhy vzdálenosti při porovnání zpracovaných dat čtvrtého konkrétního příkladného provedení a modelového bezporuchového stavu.
- Obr. 47 znázorňuje průběhy vibrací při porovnání zpracovaných dat čtvrtého konkrétního příkladného provedení a modelového poruchového stavu trhliny v upínači.
- 30 Obr. 48 znázorňuje průběhy vzdálenosti při porovnání zpracovaných dat čtvrtého konkrétního příkladného provedení a modelového poruchového stavu trhliny v upínači.
- Obr. 49 znázorňuje modelový poruchový stav vůle vedení.
- 35 Obr. 50 znázorňuje modelový poruchový stav vůle zápusťky.
- Obr. 51 znázorňuje modelový poruchový stav vůle upínače.
- 40 Obr. 52 znázorňuje modelový poruchový stav vnitřního kroužku ložiska ve frekvenční oblasti.
- Obr. 53 znázorňuje modelový poruchový stav vnitřního kroužku ložiska v časové oblasti.
- Obr. 54 znázorňuje naměřená data prvním akcelerometrem v časové oblasti.
- 45 Obr. 55 znázorňuje naměřená data třetím akcelerometrem v časové oblasti.
- Obr. 56 znázorňuje naměřená data prvním akcelerometrem ve frekvenční oblasti.
- 50 Obr. 57 znázorňuje zpracovaná data ve frekvenční oblasti.
- Obr. 58 znázorňuje zpracovaná data v časové oblasti.

- Obr. 59 znázorňuje porovnání zpracovaných dat a modelového poruchového stavu vnitřního kroužku ložiska ve frekvenční oblasti.
- 5 Obr. 60 znázorňuje porovnání zpracovaných dat a modelového poruchového stavu vnitřního kroužku ložiska v časové oblasti.
- Obr. 61 znázorňuje modelový bezporuchový stav.
- Obr. 62 znázorňuje zpracovaná data pátého konkrétního příkladného provedení.
- 10 Obr. 63 znázorňuje porovnání zpracovaných dat pátého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem.
- Obr. 64 znázorňuje modelový bezporuchový stav ve frekvenční oblasti.
- 15 Obr. 65 znázorňuje zpracovaná data pátého konkrétního příkladného provedení ve frekvenční oblasti.
- Obr. 66 znázorňuje porovnání zpracovaných dat pátého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem ve frekvenční oblasti.
- 20 Obr. 67 znázorňuje válcovačku se dvěma nástroji.
- Obr. 68 znázorňuje válcovačku se dvěma nástroji v řezu.
- 25 Obr. 69 znázorňuje modelový bezporuchový stav válcovačky.
- Obr. 70 znázorňuje modelový bezporuchový stav válcovačky.
- Obr. 71 znázorňuje modelový poruchový stav poškození zubu nástroje.
- 30 Obr. 72 znázorňuje modelový poruchový stav trhliny v polotovaru.
- Obr. 73 znázorňuje zpracování nasimulovaných dat při poruchovém stavu poškození zubu nástroje.
- 35 Obr. 74 znázorňuje zpracování nasimulovaných dat při poruchovém stavu trhliny v polotovaru.
- Obr. 75 znázorňuje zpracovaná data sedmého konkrétního příkladného provedení.
- 40 Obr. 76 znázorňuje zpracovaná data sedmého konkrétního příkladného provedení.
- Obr. 77 znázorňuje porovnání zpracovaných dat sedmého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem válcovačky.
- 45 Obr. 78 znázorňuje porovnání zpracovaných dat sedmého konkrétního příkladného provedení s modelovým poruchovým stavem poškození zubu nástroje.
- Obr. 79 znázorňuje porovnání zpracovaných dat sedmého konkrétního příkladného provedení s modelovým poruchovým stavem trhliny v polotovaru.
- 50 Obr. 80 znázorňuje porovnání zpracovaných dat sedmého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem válcovačky.
- 55 Obr. 81 znázorňuje zpracovaná data osmého konkrétního příkladného provedení.

- Obr. 82 znázorňuje zpracovaná data osmého konkrétního příkladného provedení.
- 5 Obr. 83 znázorňuje porovnání zpracovaných dat osmého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem.
- Obr. 84 znázorňuje porovnání zpracovaných dat osmého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem.
- 10 Obr. 85 znázorňuje porovnání zpracovaných dat osmého konkrétního příkladného provedení s modelovým poruchovým stavem poškození zubu nástroje.
- Obr. 86 znázorňuje porovnání zpracovaných dat osmého konkrétního příkladného provedení s modelovým poruchovým stavem trhliny v polotovaru.
- 15 Obr. 87 znázorňuje zpracovaná data devátého konkrétního příkladného provedení.
- Obr. 88 znázorňuje zpracovaná data devátého konkrétního příkladného provedení.
- 20 Obr. 89 znázorňuje porovnání zpracovaných dat devátého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem válcovačky.
- Obr. 90 znázorňuje porovnání zpracovaných dat devátého konkrétního příkladného provedení s modelovým bezporuchovým stavem válcovačky.
- 25 Obr. 91 znázorňuje porovnání zpracovaných dat devátého konkrétního příkladného provedení s modelovým poruchovým stavem poškození zubu nástroje.
- Obr. 92 znázorňuje porovnání zpracovaných dat devátého konkrétního příkladného provedení s modelovým poruchovým stavem trhliny v polotovaru.
- 30 Obr. 93 je vidět schéma diagnostikované brusky.
- Obr. 94 zobrazuje modelový bezporuchový stav, modelový poruchový stav opotřebení částí nástroje a modelový poruchový stav geometrie obrobku.
- 35 Obr. 95 zobrazuje spárovaná data z piezoelektrického akcelerometru a prvního rotačního enkodéru a druhého rotačního enkodéru.
- 40 Obr. 96 zobrazuje průběh zpracovaných dat $g_{429}(x)$.
- Obr. 97 zobrazuje průběh zpracovaných dat $g_{430}(x)$.
- Obr. 98 zobrazuje trendy zpracovaných dat $g_{420}(x)$, $g_{421}(x)$, $g_{430}(x)$ a $g_{431}(x)$.
- 45 Obr. 99 zobrazuje porovnání průběhů zpracovaných dat a modelových stavů.
- Obr. 100 je schéma diagnostikovaného karuselového soustruhu.
- 50 Obr. 101 zobrazuje modelový bezporuchový stav, modelový poruchový stav lineárního vedení ve směru osy x a modelový poruchový stav obrobku.
- Obr. 102 zobrazuje spárovaná data z piezoelektrických akcelerometrů a snímačů polohy.
- 55 Obr. 103 zobrazuje trendy zpracovaných dat $g_{474}(x)$, $g_{475}(x)$, $g_{476}(x)$ a $g_{477}(x)$.

- Obr. 104 zobrazuje porovnání průběhů zpracovaných dat a modelových stavů.
- Obr. 105 zobrazuje dvoustopý dopravní prostředek.
- 5 Obr. 106 zobrazuje modelový bezporuchový stav dopravního prostředku.
- Obr. 107 zobrazuje modelový poruchový stav ložiska první nápravy.
- 10 Obr. 108 zobrazuje modelový poruchový stav ložiska třetí nápravy.
- Obr. 109 zobrazuje modelový poruchový stav brzdy třetí nápravy.
- Obr. 110 zobrazuje modelový poruchový stav ozubeného převodu.
- 15 Obr. 111 zobrazuje zpracovaná data jedenáctého příkladného provedení.
- Obr. 112 zobrazuje porovnání zpracovaných dat jedenáctého příkladného provedení a bezporuchového stavu dopravního prostředku.
- 20 Obr. 113 zobrazuje porovnání zpracovaných dat jedenáctého příkladného provedení a poruchového stavu ložiska třetí nápravy.
- Obr. 114 je schéma letadla s umístěním senzorů.
- 25 Obr. 115 zobrazuje modelový bezporuchový stav a modelový poruchový stav trhliny v patě křídla.
- Obr. 116 jsou zobrazena spárovaná data.
- 30 Obr. 117 jsou zobrazena filtrovaná zpracovaná data

Příklad uskutečnění vynálezu

35 Příkladem vynálezu je diagnostický systém strojů. Stroji jsou buď výrobní stroje, nebo dopravní prostředky. Výrobním strojem je kterýkoliv výrobní stroj ze skupiny tvářecích strojů, obráběcích strojů nebo jakýchkoliv jiných výrobních strojů. Dopravním prostředkem je kterýkoliv dopravní prostředek ze skupiny pozemních dopravních prostředků, leteckých dopravních prostředků,

40 vodních dopravních prostředků, železničních dopravních prostředků.

Diagnostický systém strojů zahrnuje alespoň dva senzory umístěné na stroji. Senzory jsou vybrány ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače vzdálenosti a snímače polohy. Snímačem vibrací je akcelerometr. V tomto příkladném provedení snímače vibrací je použitým

45 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

50 vibrací jakýkoliv druh akcelerometru jiný než piezoelektrický akcelerometr. Snímačem přetvoření je tenzometr. Tenzometrem je kterýkoliv snímač přetvoření ze skupiny foliového, polovodičového, piezorezistivního, MEMS, optického tenzometru, či tenkostěnného tenzometru. V příkladném provedení je použit polovodičový tenzometr, který je nejvýhodnějším typem pro použití v průmyslovém prostředí díky vysoké citlivosti a odolnosti proti vlivům prostředí.

55 Snímače přetvoření jsou zde použity pro měření relativních dynamických a statických procesů.

Snímačem polohy je kterýkoliv snímač ze skupiny lineárního enkodéru a rotačního enkodéru. Snímačem vzdálenosti je kterýkoliv snímač ze skupiny kapacitního snímače vzdálenosti, laserového snímače polohy, konfokálního snímače vzdálenosti, optického dálkoměru, induktivního snímače, magneto-indukčního snímače nebo lankového snímače. Snímače vzdálenosti jsou použity pro měření relativních dynamických a statických procesů. Senzory jsou umístěny na stroji. Diagnostický systém strojů dále obsahuje řídicí část. V jednom z příkladných provedeních 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 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 se posílá digitální signál. Monitorovací jednotka je umístěna v blízkosti monitorovaného 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 strojů dále obsahuje informační rozhraní datově spojené s řídicí částí. Informačním rozhraním je jakékoliv zařízení schopné předat informaci o tom, že se 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 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 provedeních je monitorovací jednotka dále datově spojena s periferními zařízeními. Periferní zařízení je jakékoliv zařízení ze skupiny řídicí jednotky stroje, systému plánování výroby, měniče motoru stroje, externí databáze, dalších senzorů a firemních informačních systémů, systémů sledování kvality, různých dalších strojů majících vliv na diagnostikovaný stroj, skladových systémů, bezpečnostních systémů, měřidel nebo jakéhokoliv jiného relevantního periferního zařízení.

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

Příklad diagnostického systému strojů je viditelný na obrázku 1, kde strojem je stroj 1, dvěma senzory jsou první senzor 2 a druhý senzor 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 stroje, modelových poruchových stavů nástroje stroje nebo modelových poruchových stavů výrobku. Modelovým bezporuchovým stavem je modelový bezporuchový stav alespoň jednoho prvku ze skupiny části stroje, nástroje stroje nebo výrobku. V jednom z příkladných provedení modelového bezporuchového stavu v případě, že je diagnostikována část strojů a výrobek, je modelovým bezporuchovým stavem modelový bezporuchový stav části stroje a výrobku. 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 provozu 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 stroje během provozu stroje. Takto odvozené průběhy modelových stavů umožňují použití na nových strojích bez nutnosti předchozích měření. V alternativním provedení odvození průběhů modelových stavů jsou průběhy modelových stavů odvozeny na základě teoretického fyzikálního popisu chování stroje během provozu stroje upraveného na základě předcházejících měření reálného chování stroje během provozu stroje. Takto odvozené průběhy modelových stavů umožňují úpravy teoretického fyzikálního popisu chování stroje na základě měření reálného chování stroje během provozu stroje 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 je součástí rámu stroje, kterým je v tomto příkladném provedení tvářecí stroj a fyzikální popis chování popisuje přetvoření 13 nosníku s vrubem během provozu stroje. 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 provozu stroje 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 stroje během provozu. Strojově vytváření matematického modelu na základě naučených znalostí je v tomto příkladném provedení realizováno prostřednictvím neuronové sítě. Takto odvozené průběhy modelových stavů umožňují použití na strojích bez výrobní dokumentace nebo strojích, které jsou v provozu již delší dobu a různé části tak mají vřuly, 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 stroje během provozu stroje. 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 stroje je porucha kterékoliv části stroje, takovouto poruchou je například porucha motoru, hydraulického válce, brzdy, spojky, převodů, ložisek, vedení nebo rámu stroje. Poruchou nástroje stroje je například prasklý nástroj, opotřebení nástroje, vřula v nástroji, poškození povrchu nástroje nebo poškození geometrie nástroje. Poruchou výrobku je porucha vstupního polotovaru nebo finálního výrobku stroje, takovouto poruchou je například špatná geometrie, struktura materiálu, chemické vlastnosti materiálu nebo struktura povrchu.

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 měla data stejnou časovou značku, znamená, že dochází ke vzájemnému posunu naměřených průběhů tak, že na časové ose naměřených průběhů začínají data vztahující se k totožnému podnětu naměřenému senzory 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 dále být zpracována jakýmkoliv dalšími kroky.

- 5 Takto zpracovaná data jsou v dalším kroku v řídicí části porovnávána s modelovými stavy a na základě tohoto porovnání řídicí část vydá na informační rozhraní informaci, že se 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. 15 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 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:

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

- 25 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.

- 30 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 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 opětovnému 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. 45 50 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
 5 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
 10 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 stroje. V tomto příkladném provedení určování podobnosti pomocí strojového určování podobnosti na základě naučených znalostí je spolu výše uvedenými kroky s výhodou možné provést krok vylepšení
 15 rozhodovacího algoritmu, kdy jsou do stávajícího rozhodovacího algoritmu zasílána další zpracovaná data spolu s odpovídajícími modelovými stavy, přičemž tedy dochází k opětovnému 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
 20 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 stroje.

V jednom z příkladných provedení vyhodnocovacího procesu je v kroku porovnávání
 25 zpracovaných dat a modelových stavů v případě, že zpracovaná data neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu stroje a zároveň ani neodpovídají žádnému modelovému poruchovému stavu, řídicí částí stanoveno, že se jedná o neznámý stav. Řídicí část vydá informaci o tom, že se stroj nachází v neznámém stavu, do informačního rozhraní, které ji zobrazí a zároveň uživateli umožní přiřadit zobrazený neznámý stav bezporuchovému nebo určitému poruchovému stavu
 30 stroje. Po přiřazení zobrazeného neznámého stavu bezporuchovému nebo určitému poruchovému stavu části stroje, nástroje stroje nebo výrobku, 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
 35 přenosové funkce. Průběhy modelových stavů jsou stanoveny pro určité rozmístění senzorů na 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
 40 provedení využití přenosové funkce umožňuje přenosová funkce nahrazení měření na více místech pomocí více senzorů téhož druhu, a to měření 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 na více místech.
 45 Umístění senzorů má vliv na amplitudu a na fázový posuv jednotlivých frekvencí dat, přičemž přenosová funkce je popsána v komplexním tvaru rovnicí:

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

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

Přenosová funkce se získává analyticky ze znalosti mechanického chování 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.

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

- 10 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 $f_1(x)$ až $f_n(x)$ a měřená data „G“ popsána funkcemi $g_1(x)$ až $g_n(x)$, kde n udává počet signálu popisujících stav.
- 15 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:

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

- 20 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.

- 25 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
- 30 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
- 35 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 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
- 40 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.

- 45 V dalším příkladném provedení diagnostického systému strojů a vyhodnocovacího procesu je na stroji dále umístěn snímač teploty. Data naměřená snímačem teploty jsou odesílána do řídicí částí. Snímač teploty je umístěn v těsné blízkosti alespoň jednoho senzoru jiného typu. Při provozu stroje dochází k zahřívání okolí senzorů od výrobku, uvolňováním energie při provozu stroje, třením ložisek při provozu nebo přenosem tepla z dalších částí stroje. Zahřívání od zmiňovaných částí může způsobovat změny teploty v okolí senzorů, čímž dochází ke změnám
- 50 citlivosti těchto senzorů. Pokud je snímač přetvoření vyroben z materiálu s odlišnou teplotní roztažností, než jakou má v daném místě materiál stroje, je tedy nutné provádět teplotní kompenzaci naměřených dat. Na obrázku 22 je tedy možné vidět rozdíl mezi stejnými naměřenými daty, přičemž průběh 26 představuje naměřená data bez provedené teplotní

kompenzace a průběh 25 představuje stejná naměřená data s provedenou teplotní kompenzací. 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 vybranými ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače vzdálenosti a snímače polohy.

Příkladné provedení kroku teplotní kompenzace dat naměřených snímačem přetvoření se provede následujícím způsobem. Data naměřená snímačem přetvoření jsou data týkající se silového namáhání. Silové namáhání je pomocí snímače přetvoření změřeno měřením změny napětí vůči budicímu napětí, přičemž ke změně napětí dojde vlivem změny odporu v závislosti na deformaci. Změna napětí vůči budicímu napětí se převede na změnu délky vyjádřenou poměrným prodloužením ε pomocí vzorce:

$$\varepsilon = \frac{4}{K} * \frac{\Delta U}{U},$$

kde $\Delta U/U$ reprezentuje změnu napětí vůči budicímu napětí a K reprezentuje převodní konstantu. Teplotní kompenzace dat se poté provádí změnou převodní konstanty K v závislosti na teplotě.

Na obrázku 23 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. Daty naměřenými 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 zhodnocení statistického. Příkladem operace odstranění šumu je filtrace filtrem typu horní, dolní nebo pásmové propusti, 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.

Vyhodnocovací proces vždy obsahuje minimálně kroky spárování naměřených dat a krok porovnání zpracovaných dat s modelovými stavu.

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 stavu.

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 a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy.

5

Ve třetím 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 stavy.

10

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

15

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

20

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

25

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

30

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 úpravy dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy.

35

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 stavy.

40

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 stavy.

45

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 stavy.

50

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 stavy.

55

V prvním konkrétním příkladném provedení je strojem tvářecí stroj, konkrétně klikový kovací lis 54 zahrnující pohon, tvářecí část a rám 37. Tvářecí část zahrnuje upínač 39 sloužící k upínání nástroje zahrnujícího spodní a horní zápustku. Použitými senzory dle tohoto příkladného provedení jsou první piezoelektrický akcelerometr 27, polovodičový tenzometr 31, první snímač 43 teploty a snímač 50 síly. Všechny senzory kromě snímače 50 síly jsou umístěny na tvářecí části klikového kovacího lisu 54, konkrétně ve spodní zápustce 41. Řídící část v tomto příkladném provedení zahrnuje monitorovací jednotku. Monitorovací jednotka je přímo datově spojena s prvním piezoelektrickým akcelerometrem 27, polovodičovým tenzometrem 31 a snímačem 43 teploty. Dále je datově spojena přes řídicí systém stroje se snímačem 50 síly umístěným na rámu 37. Snímač 50 síly umístěný na rámu 37 umožňuje získávání dat o velikosti tvářecí síly. Řídící část diagnostického systému se skládá z monitorovací jednotky a výpočetního zařízení, kterým je vzdálený server. Dále jsou v tomto příkladném provedení v paměti řídicí části uloženy čtyři modelové stavy: modelový bezporuchový stav, který zahrnuje množinu funkcí $\{f_{101}(x), \dots, f_{108}(x)\}$, jehož průběh je viditelný na obrázku 25, 30 a 31, modelový poruchový stav vyššího tvárného odporu přetvářeného polotovaru, který zahrnuje množinu funkcí $\{f_{111}(x), \dots, f_{118}(x)\}$, jehož příkladný průběh je viditelný na obrázku 26, modelový poruchový stav trhliny v rámu, který zahrnuje množinu funkcí $\{f_{121}(x), \dots, f_{128}(x)\}$, jehož příkladný průběh je viditelný na obrázku 28 a modelový poruchový stav trhliny na upínači, který zahrnuje množinu funkcí $\{f_{131}(x), \dots, f_{138}(x)\}$, jehož příkladný průběh je viditelný na obrázku 27. Modelový bezporuchový stav a modelový poruchový stav vyššího tvárného odporu přetvářeného polotovaru je vytvořen na základě předcházejících měření reálného chování stroje během provozu. Modelový poruchový stav trhliny v rámu a modelový poruchový stav trhliny na upínači je vytvořen na základě teoretického fyzikálního popisu chování stroje během provozu. Průběhy modelových stavů jsou vytvořeny pomocí stejného postupu zpracování, jak jsou zpracována aktuálně naměřená data v popisu níže. Senzory naměřená data jsou naměřena při procesu tváření. V upínači je při procesu tváření vysoká teplotní dilatace a je tedy nejprve nutné provést krok teplotní kompenzace. Krok teplotní kompenzace polovodičového tenzometru 31 spočívá v měření teploty snímačem 43 teploty v místě měření polovodičovým tenzometrem 31 a následném využití těchto dat k přepočtu součinitele deformační citlivosti polovodičového tenzometru 31. Přepočtený součinitel deformační citlivosti polovodičového tenzometru 31 dle okamžité teploty v místě měření se následně využívá k přepočtu hodnot naměřených polovodičovým tenzometrem 31 na hodnoty reálného přetvoření. Závislost odporu polovodičového tenzometru 31 na deformaci a teplotě není lineární a je vyjádřena vztahem:

$$R_{\varepsilon,t} = R_{0,t} + R_{0,25} \left[C_1(\varepsilon + (\alpha_{mat} - \alpha_{Si})(t - 25)) + C_2(\varepsilon + (\alpha_{mat} - \alpha_{Si})(t - 25))^2 \right].$$

Odpor dále vstupuje do vztahu (platí pro 25 °C):

$$K_{\varepsilon,25} = C_1 + 2C_2\varepsilon = \frac{\Delta R}{\Delta \varepsilon}.$$

Finální rovnice vyjadřující závislost součinitele deformační citlivosti na teplotě a deformaci je následující:

$$K_{\varepsilon,t} = K_{\varepsilon,25} \left(1 + \frac{B}{100}(t - 25) \right)$$

Konstanty C_1, C_2, B jsou udávány výrobcem a jejich přesný výpočet se provádí empiricky. Pomocí výše uvedených rovnic je provedena teplotní kompenzace dat naměřených polovodičovým tenzometrem 31. Druhým krokem je spárování naměřených dat. Třetím krokem je krok úpravy dat, jejichž časové průběhy $g_{117}(x)$, $g_{118}(x)$ jsou na obrázcích 30, 31. Data z polovodičového tenzometru 31 jsou filtrována filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100 Hz, výsledná data tedy nesou informaci o přetvoření upínače v průběhu procesu tváření. Data z piezoelektrického akcelerometru 27 jsou použita pro dva nezávislé druhy úpravy. První druh

úpravy dat z piezoelektrického akcelerometru 27 je filtrace filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100 Hz, výsledná data tedy nesou informace o absolutním zrychlení upínače 39. Druhý druh úpravy dat z piezoelektrického akcelerometru 27 je filtrace filtrem typu horní propusti s mezní frekvencí 20 kHz, výsledná data tedy nesou informaci o rázech, kontaktu tvářecí části a výrobku a struktuře výrobku. Čtvrtým krokem je krok filtrace zpracovaných dat, kdy data naměřená piezoelektrickým akcelerometrem 27 a zároveň polovodičovým tenzometrem 31 jsou použita jako parametr filtru, kterým jsou vyfiltrována data naměřená polovodičovým tenzometrem 31. V průběhu vibrací je možné vidět v časovém okamžiku 20 impuls, který je způsoben vymezením vůle mezi rámem stroje a tvářecí částí. V průběhu přetvoření je možné vidět v časovém okamžiku 35 maximální hodnotu přetvoření. Jako parametr filtru je tedy zvolen časový interval mezi časovými okamžiky 20 a 35. Výsledkem filtrace je tedy plné utlumení průběhu přetvoření ve všech časových okamžicích mimo interval mezi časovými okamžiky 20 až 35. Pro další zpracování je použit i původní průběh přetvoření mezi okamžiky 0 až 50. Pátým krokem je krok úpravy dat. V pátém kroku jsou zpracovaná data dále statisticky vyhodnocena, přičemž data z polovodičového tenzometru 31 jsou vyhodnocena rozdílem minimální a maximální amplitudy, data z piezoelektrického akcelerometru 27 upravená filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100 Hz jsou vyhodnocena rozdílem minimální a maximální amplitudy a data z piezoelektrického akcelerometru 27 upravená filtrem typu horní propusti s mezní frekvencí 20 kHz jsou vyhodnocena pomocí výpočtu efektivní hodnoty signálu (RMS). Z takto upravených dat je následně vytvořena množina trendů $\{g_{111}(x), \dots, g_{116}(x)\}$, které jsou viditelné na obrázku 40. Šestým krokem je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat $\{g_{111}(x), \dots, g_{118}(x)\}$ s množinou modelových stavů $\{f_{111}(x), \dots, f_{118}(x)\}$. Vyhodnocení podobnosti je v tomto příkladném provedení prováděno pomocí informačního rozhraní, jímž je v tomto příkladném provedení rozhraní tvářecího stroje 54 zahrnující obrazovku a uživatelský vstup. Jak je vidět na obrázcích 30, 31 a 41 zpracovaná data $\{g_{111}(x), \dots, g_{118}(x)\}$ neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu určeného množinou $\{f_{101}(x), \dots, f_{108}(x)\}$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 29 zpracovaná data $\{g_{111}(x), \dots, g_{118}(x)\}$ a modelový poruchový stav vyššího tvárného odporu přetvářeného polotovaru, určeného množinou $\{f_{111}(x), \dots, f_{118}(x)\}$, si jsou podobné. Vyšší tvárný odpor přetvářeného polotovaru je způsoben špatným nastavením parametru procesu tváření, konkrétně teploty tváření.

Druhé konkrétní příkladné provedení se kromě naměřených dat a šestého kroku shoduje s prvním konkrétním příkladným provedením. Šestým krokem je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavů. Vyhodnocení podobnosti je v tomto příkladném provedení prováděno pomocí informačního rozhraní, jímž je v tomto příkladném provedení osobní počítač. Jak je vidět na obrázku 33, 34, 35, zpracovaná data $\{g_{121}(x), \dots, g_{128}(x)\}$ zobrazená na obrázku 32 neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu určeného množinou $\{f_{101}(x), \dots, f_{108}(x)\}$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 36, zpracovaná data $\{g_{131}(x), \dots, g_{136}(x)\}$ a modelový poruchový stav trhliny v rámu $\{f_{131}(x), \dots, f_{136}(x)\}$, si odpovídají, jelikož průběhy si jsou podobné. Trhlina v rámu 37 je v tomto modelovém poruchovém stavu v místě rámu 37 přibližně pod tvářecí částí.

Třetí konkrétní příkladné provedení se kromě naměřených dat a pátého kroku shoduje s prvním konkrétním příkladným provedením. Pátým krokem je krok normalizace zpracovaných dat. Vstupy normalizace jsou průběhy zpracovaných dat G_{130} a množina funkcí F_{120} . Množina funkcí $F_{120} = \{f_{121}(x), f_{124}(x), f_{125}(x)\}$ zobrazená na obrázku 42 je podmnožinou množiny $\{f_{121}(x), \dots, f_{126}(x)\}$, přičemž tyto funkce reprezentují průběhy modelového poruchového stavu trhliny na upínači 39. Průběhy zpracovaných dat $G_{130} = \{g_{131}(x), g_{134}(x), g_{135}(x)\}$ na obrázku 43 jsou podmnožinou množiny $\{g_{131}(x), \dots, g_{138}(x)\}$, zobrazené na obrázku 37, 38 a 39. Funkce $g_{131}(x)$ reprezentuje zpracovaná data naměřená polovodičovým tenzometrem 31 mezi časovými okamžiky 20 až 35 a upravená filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100 Hz. Funkce $g_{134}(x)$ reprezentuje zpracovaná data naměřená polovodičovým tenzometrem 31 mezi časovými okamžiky 0 až 50 a upravená filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100 Hz. Funkce $g_{135}(x)$ reprezentuje zpracovaná data naměřená pomocí piezoelektrického akcelerometru 27 mezi časovými okamžiky 0 až 50 a upravená filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100

Hz. Průběhy zpracovaných dat G_{130} jsou transformovány na průběhy dat G_{130}^* , které mají stejný definiční obor a obor hodnot, jako mají funkce z množiny funkcí F_{120} . Funkce z množiny funkcí F_{120} mají definiční obor $D(f)_i = \langle a_i, b_i \rangle$ a obor hodnot $H(f)_i = \langle \alpha_i, \beta_i \rangle$, kde $i \in \langle 1, n \rangle$. Příkladem pro transformaci $g_{134}(x)$ na $g_{134}^*(x)$ je rovnice:

5

$$g_{134}^* = \frac{g_{134} \left(\frac{x - a_{134}}{b_{134} - a_{134}} * (d_{134} - c_{134}) + c_{134} \right) - \gamma_{134}}{\delta_{134} - \gamma_{134}} (\beta_{134} - \alpha_{134}) + \alpha_{134}; x \in \langle a, b \rangle.$$

Šestým krokem je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Vyhodnocení podobnosti je v tomto příkladném provedení prováděno strojově na základě vložených znalostí, konkrétně pomocí funkce COM. Vstupy funkce COM jsou v tomto příkladném provedení průběhy zpracovaných dat G_{130}^* a množina funkcí F_{120} . Funkce z množiny funkcí F_{120} reprezentují průběhy modelových poruchových stavů části tvářecího stroje. Funkce průběhů zpracovaných dat G_{130}^* reprezentují zpracovaná data se stejným definičním oborem a oborem hodnot, jako mají funkce z množiny funkcí F_{120} , jak je zobrazeno na obrázku 44. Funkce COM je pro toto příkladné provedení definována rovnicemi:

15

$$\begin{matrix} COM \\ x \in \langle A, B \rangle \end{matrix} [F_{120} @ G_{130}^*] < E$$

20

$$\begin{matrix} COM \\ x \in \langle a_1, b_1 \rangle \end{matrix} [f_{121}(x) @ g_{131}^*(x)] < e_1 \text{ AND } \begin{matrix} COM \\ x \in \langle a_2, b_2 \rangle \end{matrix} [f_{124}(x) @ g_{134}^*(x)] < e_2 \text{ AND}$$

$$\text{AND } \begin{matrix} COM \\ x \in \langle a_3, b_3 \rangle \end{matrix} [f_{125}(x) @ g_{135}^*(x)] < e_3$$

25

Na základě vložených znalostí si musí být podobné všechny funkce z množiny funkcí F_{120} a funkce průběhů zpracovaných dat G_{130}^* , a to tak, že funkční obor absolutní hodnoty rozdílů funkcí, zobrazený na obrázku 45, omezený kvantilem 95 % všech nejnižších hodnot na definičním oboru rozdílů funkcí je menší než 5 % definičního oboru. Na základě tohoto lze upravit rovnice funkce COM:

30

$$\begin{matrix} \max 0.95 \\ x \in \langle a_1, b_1 \rangle \end{matrix} |f_{121}(x) - g_{131}^*(x)| < e_1 \text{ AND } \begin{matrix} \max 0.95 \\ x \in \langle a_2, b_2 \rangle \end{matrix} |f_{124}(x) - g_{134}^*(x)| < e_2 \text{ AND}$$

$$\text{AND } \begin{matrix} \max 0.95 \\ x \in \langle a_3, b_3 \rangle \end{matrix} |f_{125}(x) - g_{135}^*(x)| < e_3 = 1 \text{ AND } 1 \text{ AND } 1$$

35

Porovnání funkcí je viditelné na obrázku 36, zpracovaná data $\{g_{131}(x), \dots, g_{136}(x)\}$ a modelový poruchový stav trhliny v upínači 39 $\{f_{131}(x), \dots, f_{136}(x)\}$ si odpovídají, jelikož průběhy si jsou podobné. Na základě výsledku vyhodnocení je do informačního rozhraní zaslána informace o tom, že poruchou je trhlina na upínači 39.

40

45

Čtvrté konkrétní příkladné provedení se shoduje se třetím konkrétním příkladným provedením s tím rozdílem, že polovodičový tenzometr 31 je nahrazen snímačem 51 vzdálenosti, v tomto konkrétním příkladném provedení indukčním, který je umístěn ve spodním upínači 39 a měří vzdálenost mezi spodním upínačem 39 a rámem 37. Modelový bezporuchový stav je v tomto příkladném provedení rozšířen o průběh $f_{109}(x)$, modelový poruchový stav vyššího tvárného odporu přetvářeného polotovaru byl rozšířen o průběh $f_{119}(x)$, modelový poruchový stav trhliny na upínači 39 byl rozšířen o průběh $f_{129}(x)$, modelový poruchový stav trhliny v rámu 37 byl rozšířen o průběh $f_{139}(x)$. Doplněné průběhy popisují změnu ve vzdálenosti mezi upínačem 39 a rámem 37 během procesu tváření. Modelový bezporuchový stav je tvořen množinou dat $f_{107}(x)$, $f_{109}(x)$. Modelový poruchový stav vyššího tvárného odporu přetvářeného polotovaru je tvořen množinou dat $f_{117}(x)$, $f_{119}(x)$. Modelový poruchový stav trhliny na upínači 39 je tvořen množinou dat $f_{127}(x)$, $f_{129}(x)$. Modelový poruchový stav trhliny v rámu 37 je tvořen množinou

dat $f_{137}(x)$, $f_{139}(x)$. Zpracovanými daty využívanými v kroku vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy jsou v tomto příkladném provedení zpracovaná data $g_{137}(x)$ a $g_{139}(x)$. Vyhodnocení podobnosti je v tomto příkladném provedení prováděno pomocí informačního rozhraní, jímž je v tomto příkladném provedení osobní počítač. Jak je vidět na obrázku 38, 46, zpracovaná data neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 47 a 48, zpracovaná data a modelový poruchový stav trhliny na upínači 39 si odpovídají, jelikož průběhy si jsou podobné.

V pátém konkrétním příkladném provedení je strojem tvářecí stroj, konkrétně klikový kovací lis 54 zahrnující pohon, tvářecí část, vedení 32 a rám. Pohon zahrnuje beran 36 a převodové ústrojí. Tvářecí část zahrnuje upínač sloužící k upínání nástroje zahrnujícího spodní zápustku 41 a horní zápustku 40. Použitými senzory dle tohoto příkladného provedení je pět akcelerometrů, v tomto konkrétním příkladném provedení piezoelektrických, a dva snímače teploty. První akcelerometr 27 je umístěn ve spodní zápustce 41 a snímá vibrace ve směru osy y , která je shodná s osou pohybu beranu 36. Druhý akcelerometr 28 je umístěn v horním upínači 42 nástroje a snímá vibrace ve směru osy y . Třetí akcelerometr 29 je umístěn na uložení 38 valivého ložiska, přičemž valivým ložiskem je valivé ložisko převodového ústrojí, a snímá vibrace ve směru osy y . Čtvrtý akcelerometr 30 je umístěn v horním upínači 42 a snímá vibrace kolmo ke směru osy pohybu beranu 36, tedy ve směru osy x . Pátý akcelerometr 53 je umístěn ve spodní zápustce 41 a snímá vibrace ve směru osy x . První snímač 43 teploty je umístěn ve spodní zápustce 41 a druhý snímač 44 teploty je umístěn na uložení 38 valivého ložiska. Řídící část zahrnuje monitorovací jednotku a výpočetní zařízení, kterým je v tomto příkladném provedení řídicí systém stroje. Monitorovací jednotka je přímo datově spojena s piezoelektrickými akcelerometry a snímači teploty. Dále je v tomto příkladném provedení v paměti řídicí části uloženo pět modelových stavů: modelový bezporuchový stav, jehož průběh je viditelný na obrázku 61, 20 a 21, modelový poruchový stav vůle vedení 32, jehož průběh je viditelný na obrázku 49, modelový poruchový stav vůle upínače 39, jehož průběh je viditelný na obrázku 51, modelový poruchový stav vnitřního kroužku ložiska, jehož průběh je viditelný na obrázku 52, 53, a modelový poruchový stav vůle spodní zápustky 41, jehož průběh je viditelný na obrázku 50. Modelový bezporuchový stav je vytvořen strojově na základě naučených znalostí, přičemž data k tomu použítá jsou získána měřením při bezporuchovém provozu. Strojové vytvoření modelového bezporuchového stavu na základě naučených znalostí je realizováno prostřednictvím neuronové sítě. Prostřednictvím neuronové sítě jsou v tomto příkladném provedení tedy realizovány krok spárování naměřených dat, krok úpravy zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Modelový poruchový stav vůle vedení 32, modelový poruchový stav vůle upínače 39 a modelový poruchový stav vůle spodní zápustky 41 jsou vytvořeny stejným postupem popsáním níže. Modelový poruchový stav vůle vedení 32, modelový poruchový stav vůle upínače 39 a modelový poruchový stav vůle spodní zápustky 39 jsou odvozeny základě teoretického fyzikálního popisu chování tvářecího stroje 54 během provozu upraveného na základě předcházejících měření reálného chování tvářecího stroje 54 během provozu. Odvození probíhá vnesením vůle beranu 36 nebo vůle upínače 39 nebo vůle spodní zápustky 41 do zpřesněného fyzikálního popisu chování tvářecího stroje 54 a následnou simulací jednotlivých poruchových stavů metodou konečných prvků. Nasimulované průběhy poruchových stavů jsou následně dále zpracovány obdobně, jako jsou zpracovávána naměřená data, zpracování tedy zahrnuje krok spárování naměřených dat, krok úpravy zpracovaných dat, krok filtrace zpracovaných dat. V kroku úpravy zpracovaných dat jsou průběhy vibrací použity pro dva nezávislé druhy úprav. První druh úpravy průběhů vibrací je filtrace filtrem typu dolní propusti s mezní frekvencí 100 Hz. Druhý druh úpravy průběhů vibrací je filtrace filtrem typu horní propusti s mezní frekvencí 20 kHz. Z průběhů vibrací upravených prvním druhem úpravy jsou vytvořeny trendy z rozdílů minimálních a maximálních hodnot amplitudy. Z průběhů vibrací upravených druhým druhem úpravy jsou vytvořeny trendy výpočtem efektivních hodnot signálů (RMS). Takto upravená data jsou následně filtrována krokem filtrace dat. Průběh vibrací odpovídající průběhu měřenému pátým akcelerometrem 54 je použit ke dvěma nezávislým filtracím. První filtrací jsou odfiltrována veškerá data mimo časové okamžiky 10 až 35. Druhou filtrací jsou odfiltrována veškerá data mimo časové okamžiky 7 až 43. Dále z průběhu vibrací odpovídajícímu průběhu měřeným čtvrtým akcelerometrem 30 jsou

odfiltrována veškerá data mimo časové okamžiky 1 až 7. Takto nasimulované a zpracované průběhy jsou následně uloženy jako modelový poruchový stav vůle vedení 32, modelový poruchový stav vůle upínače 39 a modelový poruchový stav vůle spodní zápusťky 41. Modelový poruchový stav vnitřního kroužku ložiska je odvozen na základě teoretického fyzikálního popisu chování tvářecího stroje 54 během provozu, přičemž tento fyzikální popis je v tomto příkladném provedení reprezentován analytickým vztahem pro chybové frekvence ložisek. Chybové frekvence zohledňují geometrii ložiska a rychlost otáčení jednotlivých kroužků. K výpočtům chybových frekvencí slouží níže uvedené rovnice:

$$f_i = \frac{n_i}{60},$$

$$f_e = \frac{n_e}{60},$$

$$f_{ip} = \left| \frac{z}{2} \left[1 + \frac{D_w}{P} \cos \alpha \right] (f_i - f_e) \right|,$$

kde n_i [RPM] označuje otáčky vnitřního kroužku, n_e [RPM] označuje otáčky vnějšího kroužku, f_{ip} [Hz] označuje poruchovou frekvenci vnitřního kroužku, P [mm] označuje rozteč tělísek, D_w [mm] označuje průměr valivého tělíska, z [-] označuje počet valivých tělísek v řadě, α [°] označuje stykové úhly valivého tělíska, f_i [Hz] označuje frekvence otáčení vnitřního kroužku, f_e [Hz] označuje frekvence otáčení vnějšího kroužku. Za účelem zjištění aktuálních otáček vnitřního kroužku nebo vnějšího kroužku ložiska je monitorovací jednotka dále spojena s měničem motoru. Naměřená data pomocí akcelerometrů 27, 29 a snímačů 43, 44 teploty jsou vyhodnocena vyhodnocovacím procesem zahrnujícím krok teplotní kompenzace, krok spárování naměřených dat, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok filtrace zpracovaných dat, krok úpravy dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy je v tomto příkladném provedení realizován strojově na základě naučených znalostí prostřednictvím neuronové sítě. Rozhodovací algoritmus neuronové sítě je vytvořen na základě zpracovaných dat a modelových stavů, kde si fyzikální význam zpracovaných dat a modelových stavů navzájem odpovídají. Jak je vidět na obrázku 63 a 66, v tomto příkladném provedení jsou naměřená data $\{g_{201}(x), \dots, g_{207}(x)\}$ zobrazená na obrázku 62 a 65 podobná modelovému bezporuchovému stavu $\{f_{201}(x), \dots, f_{207}(x)\}$, který je zobrazen na obrázku 61 a 64. Neuronová síť tak na informační rozhraní vydá informaci o tom, že se tvářecí stroj 54 nachází v bezporuchovém stavu.

Šesté konkrétní příkladné provedení se kromě průběhů naměřených dat a vyhodnocovacího procesu shoduje s pátým konkrétním příkladným provedení. Data naměřená prvním akcelerometrem 27 jsou ve tvaru $m_{201}(kT) = \{m_{201}(1T), \dots, m_{201}(nT)\}$, viditelná na obrázku 54, a po Fourierově transformaci jsou tatáž data $m_{201}(k_f F) = \{m_{201}(1F), \dots, m_{201}(mF)\}$, viditelná na obrázku 56, data naměřená třetím akcelerometrem 29 jsou ve tvaru $m_{203}(kT) = \{m_{203}(1T), \dots, m_{203}(nT)\}$, viditelná na obrázku 55 a ve tvaru $m_{203}(k_f F) = \{m_{203}(1F), \dots, m_{203}(mF)\}$, data naměřená prvním snímačem 43 teploty jsou ve tvaru $m_{218}(kT) = \{m_{218}(1T), \dots, m_{218}(nT)\}$, data naměřená druhým snímačem 44 teploty jsou ve tvaru $m_{219}(kT) = \{m_{219}(1T), \dots, m_{219}(nT)\}$, přičemž n je počet naměřených hodnot, T je perioda měření, m je počet diskretních frekvencí a F je perioda mezi jednotlivými frekvencemi. Naměřená data pomocí akcelerometrů 29, 17 a snímačů 44, 43 teploty jsou vyhodnocena vyhodnocovacím procesem zahrnujícím postupně krok teplotní kompenzace, krok spárování naměřených dat, krok úpravy dat pomocí přenosové funkce, krok filtrace zpracovaných dat, krok úpravy zpracovaných dat a krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Pro úpravu dat pomocí přenosové funkce je nutné nejprve přenosovou funkci získat. Přenosová funkce $TF_{13}(z)$ se v tomto příkladném provedení získává experimentálně konkrétně pomocí impulsní odezvy, přičemž impulsem je v tomto příkladném provedení ráz způsobený nárazem beranu 36 skrz polotovar do rámu 37. Alternativně může být ráz vytvořen uměle. Pro určení přenosové funkce jsou užita zpracovaná data $m_{201}^{\#}(kT) = \{m_{201}^{\#}(1T), \dots, m_{201}^{\#}(nT)\}$, kde n je

počet naměřených hodnot a T je perioda měření, přičemž tato perioda měření odpovídá periodě měření pomocí prvního akcelerometru 27. Pro určení přenosové funkce jsou dále užita data $m_{203}^{\#}(kT) = \{m_{203}^{\#}(1T), \dots, m_{203}^{\#}(nT)\}$, kde n je počet naměřených hodnot a T je perioda měření, přičemž tato perioda měření odpovídá periodě měření pomocí třetího akcelerometru 29.

- 5 Měření dat $m_{201}^{\#}(kT)$ a $m_{203}^{\#}(kT)$ začíná před impulsem a končí s koncem jeho šíření materiálem. Měření probíhá v bezporuchovém stavu tvářecího stroje 54. Diskrétní naměřené signály jsou převáděny Z-transformací do komplexního oboru. Nejprve je použito přímé Z-transformace dle předpisu:

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

10

Přímou Z-transformací je získána spojitá funkce komplexní proměnné $M_i(z)$ z funkce $m_i(kT)$, a tím je získána funkce $M_{201}^{\#}(z)$ a $M_{203}^{\#}(z)$. Pro odvození přenosové funkce $TF_{13}(z)$ popisující přenos signálu tvářecím strojem 54 mezi prvním akcelerometrem 27, a třetím akcelerometrem 29 je využito naměřených diskretních dat z obou akcelerometrů. Měřená data z prvního akcelerometru 27 $M_{201}^{\#}(z)$ představují impuls. Měřená data z druhého akcelerometru 29 $M_{203}^{\#}(z)$, který je umístěn na uložení 38 valivého ložiska, představují tentýž impuls ovlivněný průchodem tvářecím strojem 54. Přenosová funkce $TF_{13}(z)$ se získá ze znalosti obou diskretních signálů a lze vyjádřit jako

20

$$TF_{13}(z) = \frac{M_{203}^{\#}(z)}{M_{201}^{\#}(z)},$$

- kde $M_{201}^{\#}(z)$ je vstupní signál, $M_{203}^{\#}(z)$ výstupní signál a $TF_{13}(z)$ je přenosová funkce v oblasti Z-transformace. Prvním krokem vyhodnocovacího procesu je krok teplotní kompenzace dat naměřených prvním akcelerometrem 27 $m_{201}(kT)$ a třetím akcelerometrem 29 $m_{203}(kT)$ pomocí dat naměřených prvním snímačem 43 teploty $m_{218}(kT)$ a druhým snímačem 44 teploty $m_{219}(kT)$. Změna teplotní citlivosti je popsána vztahem $C_{\Delta}(K)$, kde K je teplota. Pomocí teplotní kompenzace jsou získána data $m_{201}^{\%}(kT)$ a $m_{203}^{\%}(kT)$. Teplotní kompenzaci lze popsat rovnicemi:

30

$$m_{201}^{\%}(kT) = m_{201}(kT)C_{\Delta}(m_{218}(kT)),$$

$$m_{203}^{\%}(kT) = m_{203}(kT)C_{\Delta}(m_{219}(kT)).$$

- 35 Druhým krokem vyhodnocovacího procesu je krok spárování naměřených dat $m_{201}^{\%}(kT)$ a $m_{203}^{\%}(kT)$, kde ke každé hodnotě $m_{201}^{\%}(kT)$ je přiřazena odpovídající hodnota $m_{203}^{\%}(kT)$. Zpracovaná data $m_{201}^{\%}(kT)$ jsou pomocí přenosové funkce transformována na data $M_{201}^{TF13}(z)$. Transformace je provedena násobením $M_{201}^{\%}(z)$ a $TF_{13}(z)$, transformace lze tedy vyjádřit rovnicí:

40

$$M_{201}^{TF13}(z) = (M_{201}^{\%}(z))TF_{13}(z).$$

Transformovaná data $M_{201}^{TF13}(z)$ v komplexním oboru lze do časového oboru převést pomocí zpětné Z-transformace dle rovnice:

45

$$m_{201}^{TF13}(kT) = Z^{-1}\{M_{201}^{TF13}(z)\} = \frac{1}{2\pi j} \oint_C M_{201}^{TF13}(z)z^{k-1}dz.$$

Křivka C zahrnuje všechny póly výrazu $M_{201}^{TF13}(z)z^{k-1}$. Třetím krokem je krok filtrace zpracovaných dat, kde jsou od sebe odečtena data $m_{201}^{\%}(kT)$ a $m_{201}^{TF13}(kT)$, výsledkem jsou zpracovaná data $m_{203}^{\&}(kT)$ na obrázku 58. Krok filtrace zpracovaných dat lze tedy vyjádřit rovnicí:

5

$$m_{203}^{\&}(kT) = m_{201}^{\%}(kT) - m_{201}^{TF13}(kT).$$

Čtvrtým krokem je krok úpravy zpracovaných dat, kdy ve zpracovaných datech $m_{203}^{\&}(kT)$ jsou pomocí filtrace potlačeny jiné frekvence, než je poruchová frekvence vnitřního kroužku f_{ip} .
 10 Pátým krokem je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. V rámci pátého kroku je provedena Fourierova transformace a data $m_{203}^{\&}(k_f F)$ na obrázku 57 jsou porovnávána ve frekvenční oblasti, přičemž porovnání je strojové na základě vložených znalostí. Chybová frekvence vnitřního kroužku ložiska se projeví až při jeho poruše. Jak je vidět na obrázku 59 a 60, v tomto příkladném provedení jsou zpracovaná data a modelový poruchový stav
 15 vnitřního kroužku ložiska si podobná a neuronová síť tak na informační rozhraní vydá informaci o tom, že se tvářecí stroj 54 nachází v modelovém poruchovém stavu vnitřního kroužku ložiska.

V sedmém konkrétním příkladném provedení je strojem tvářecí stroj, konkrétně válcovačka se dvěma nástroji viditelná na obrázku 67 a zahrnující tvářecí část. Použitými senzory dle tohoto
 20 příkladného provedení jsou dva piezoelektrické akcelerometry 18, 19 a dva rotační enkodéry 24, 47. První piezoelektrický akcelerometr 18 je umístěn na prvním valivém ložisku 20 prvního nástroje 21 a snímá tak vibrace prvního nástroje 21, druhý piezoelektrický akcelerometr 19 je umístěn na druhém valivém ložisku 22 druhého nástroje 23 a snímá tak vibrace druhého nástroje 23, první rotační enkodér 24 je umístěn na prvním nástroji 21 a snímá polohu prvního nástroje
 25 21, druhý rotační enkodér 47 je umístěn na druhém nástroji 23 a snímá polohu druhého nástroje 23. Řídicí část zahrnuje monitorovací jednotku a výpočetní zařízení. Výpočetním zařízením je v tomto příkladném provedení vzdálený server. Monitorovací jednotka je přímo datově spojena s piezoelektrickými akcelerometry 18, 19 a přes řídicí systém stroje je datově spojena s rotačními enkodéry 24, 47. Přímé datové spojení monitorovací jednotky s piezoelektrickými akcelerometry
 30 18, 19 je v tomto příkladném provedení realizováno drátově. Pohyb nástrojů 21, 23 se při procesu tváření v tomto příkladném provedení skládá z pohybu rotačního a z pohybu translačního. Rotační pohyb nástrojů 21, 23 je rotačním pohybem kolem vlastní osy. Translační pohyb nástrojů 21, 23 je translačním pohybem směrem vůči sobě. Kombinací rotačního a translačního pohybu nástrojů 21, 23 dochází ke vtlačování jednotlivých zubů 48 nástroje do polotovaru 16, viditelném
 35 na obrázku 68. Při vtlačování každého zubu 48 dochází ke vzniku vibrací v bodě 49 kontaktu nástroje a tvářeného výrobku. Dále jsou v tomto příkladném provedení v paměti řídicí části uloženy tři modelové stavy: modelový bezporuchový stav zahrnující $\{f_{333}(x), f_{334}(x), f_{335}(x), f_{336}(x)\}$, jehož průběh je viditelný na obrázku 69, 70, modelový poruchový stav poškození zubu nástroje zahrnující $\{f_{331}(x), f_{332}(x)\}$, jehož průběh je viditelný
 40 na obrázku 71, modelový poruchový stav trhliny v polotovaru zahrnující $\{f_{337}(x), f_{338}(x)\}$, jehož průběh je viditelný na obrázku 72. Modelový poruchový stav poškození zubu nástroje je odvozen pomocí teoretického fyzikálního popisu chování tvářecího stroje během provozu, přičemž nasimulovaný průběh $m_{301}(kT)$, kde k je krok měření a T je perioda měření a který je viditelný na obrázku 73, odpovídá průběhům naměřeným prvním piezoelektrickým
 45 akcelerometrem 18 a nasimulovaný průběh $m_{333}(kT)$, kde k je krok měření a T je perioda měření a který je viditelný na obrázku 73, odpovídá průběhům naměřeným prvním rotačním enkodérem 24. Takto nasimulované průběhy jsou dále zpracovány kroky, které jsou totožné s kroky vyhodnocovacího procesu. Nasimulované průběhy jsou nejprve upraveny krokem úpravy dat. V tomto kroku je nasimulovaný průběh $m_{331}(kT)$ vyfiltrován filtrem typu horní propusti
 50 s mezní frekvencí 20 kHz, přičemž výsledkem této filtrace je funkce $m_{331}^{\circ}(kT)$. Druhým krokem je krok spárování naměřených dat, kde je ke každé hodnotě nasimulovaného průběhu $m_{333}(kT)$ přiřazena odpovídající hodnota funkce $m_{331}^{\circ}(kT)$. Třetím krokem je krok filtrace zpracovaných dat, přičemž parametry filtru určuje zpracovaný nasimulovaný průběh $m_{333}(kT)$ a filtrovanými daty je zpracovaná funkce $m_{331}^{\circ}(kT)$. Filtrace je provedena tak, že do časové proměnné kT

zpracované funkce $m_{331}^{\circ}(kT)$ je dosazena časová proměnná kT ze zpracovaného nasimulovaného průběhu $m_{333}(kT)$, čímž je získána funkce $m_{331}^{\circ}(jpT_e)$, kde j je pořadí otáčky nástroje, p je krok polohy a T_e je perioda měření polohy. Poté je pro každé p určen aritmetický průměr absolutní hodnoty v daném bodě a je získána funkce $m_{331}^{\&}(pT_e)$, kde p je krok polohy a T_e je perioda měření polohy, což lze vyjádřit rovnicí:

$$m_{331}^{\&}(pT_e) = \frac{1}{j} \sum_1^j |m_{331}(jpT_e)|.$$

Získaná funkce $m_{331}^{\&}(pT_e)$ má potlačený šum a je v ní zvýrazněna informace o stavu. Čtvrtým krokem je krok úpravy dat. V rámci tohoto kroku je provedena demodulace funkce $m_{331}^{\&}(pT_e)$ za pomoci filtrace pásmovou propustí obsahující frekvenci odpovídající počtu zubů z na nástroji 21, výsledkem tohoto kroku je zpracovaná funkce $m_{331}^{\&\circ}(pT_e)$. Frekvenci odpovídající počtu zubu z_t na nástroji 21 je myšlena v časové oblasti převrácená hodnota počtu zubů nástroje 21, které se dotknou výrobku 16 za jednu sekundu. Zpracovaná funkce $m_{331}^{\&\circ}(pT_e)$ je v rámci pátého kroku úpravy dat dále statisticky vyhodnocena tak, že je určeno minimum funkce φ , poté se z daného bodu minima φ funkce rozdělí na z stejných intervalů o velikost $\frac{2\pi}{z_t}$. Na každém intervalu z_i se určí lokální maximum. Výsledkem je množina lokálních maxim. Tato množina je dále statisticky vyhodnocena a je určeno minimum a směrodatná odchylka. Z těchto hodnot jsou poté sestaveny trendy, reprezentované funkcemi minim z maxim $f_{331}(x)$ a směrodatných odchylek maxim $f_{332}(x)$. Tyto trendy tvoří modelový poruchový stav poškození zubu nástroje. Bezporuchový modelový stav je vytvořen obdobným postupem a je tedy reprezentován množinou dvou funkcí, přičemž první funkcí je funkce nejmenších maxim $f_{333}(x)$ a druhou funkcí je funkce směrodatných odchylek maxim $f_{334}(x)$. Modelový poruchový stav trhliny v polotovaru je odvozen pomocí teoretického fyzikálního popisu chování tvářecího stroje během provozu, přičemž nasimulovaný průběh $m_{336}(kT)$, kde k je krok měření a T je perioda měření a který je viditelný na obrázku 74, odpovídá průběhům naměřeným prvním piezoelektrickým akcelerometrem 18, nasimulovaný průběh $m_{332}(kT)$, kde k je krok měření a T je perioda měření a který je viditelný na obrázku 74, odpovídá průběhům naměřeným druhým piezoelektrickým akcelerometrem 19, nasimulovaný průběh $m_{338}(kT)$, kde k je krok měření a T je perioda měření a který je viditelný na obrázku 74, odpovídá průběhům naměřeným prvním rotačním enkodérem 24 a nasimulovaný průběh $m_{334}(kT)$, kde k je krok měření a T je perioda měření a který je viditelný na obrázku 74, odpovídá průběhům naměřeným druhým rotačním enkodérem 47. Takto nasimulované průběhy jsou dále zpracovány kroky, které jsou totožné s kroky vyhodnocovacího procesu. Nasimulované průběhy jsou v prvním kroku upraveny krokem úpravy dat pomocí přenosové funkce. Na nasimulovaný průběh $m_{334}(kT)$ je aplikována přenosová funkce $TF_{334,337}$, která se získá na základě teoretického fyzikálního popisu chování tvářecího stroje během provozu. Tento krok je možné vyjádřit rovnicí:

$$m_{334}^{TF334,337}(kT) = m_{334}(kT) TF_{334,337}$$

Druhým krokem je krok úpravy dat, kdy nasimulovaný průběh $m_{332}(kT)$ je upraven pomocí filtru typu horní propusti s mezní frekvencí 20 kHz a výsledkem je funkce $m_{332}^{\circ}(kT)$. Třetím krokem je krok spárování naměřených dat, kde ke každé hodnotě funkce $m_{332}^{\circ}(kT)$ je přiřazena odpovídající hodnota funkce $m_{334}^{TF334,337}(kT)$. Čtvrtým krokem je krok filtrace zpracovaných dat, přičemž parametry filtru určuje zpracovaná funkce $m_{334}^{TF334,337}(kT)$ a filtrovanými daty je zpracovaná funkce $m_{332}^{\circ}(kT)$. Filtrace je provedena tak, že do časové proměnné kT zpracované funkce $m_{332}^{\circ}(kT)$ je dosazena časová proměnná kT ze zpracované funkce $m_{334}^{TF334,337}$, čímž je získána funkce $m_{332}^{\circ}(jpT_e)$, kde j je pořadí otáčky nástroje 47, p je krok polohy a T_e je perioda měření polohy. Poté je pro každé p určen aritmetický průměr absolutní hodnoty v daném bodě a je získána funkce $m_{332}^{\&}(pT_e)$, kde p je krok polohy a T_e je perioda měření polohy, což lze vyjádřit rovnicí:

$$m_{332}^{\&}(pT_e) = \frac{1}{j} \sum_1^j |m_{332}(jpT_e)|$$

5 Získaná funkce $m_{332}^{\&}(pT_e)$ má potlačený šum a je v ní zvýrazněna informace o stavu. Pátým
 krokem je krok úpravy dat. V rámci tohoto kroku je provedena demodulace funkce $m_{332}^{\&}(pT_e)$ za
 pomoci filtrace pásmovou propustí obsahující frekvenci odpovídající počtu zubů z_s výrobku,
 výsledkem tohoto kroku je funkce $m_{332}^{\circ}(pT_e)$. Frekvenci odpovídající počtu zubu z_s výrobku je
 myšlena v časové oblasti převrácená hodnota počtu zubů nástroje 23, které se dotknou výrobku
 za jednu sekundu. Dále je první až pátý krok opakován pro nasimulované průběhy $m_{336}(kT)$ a
 10 $m_{338}(kT)$, přičemž výsledkem pátého kroku je funkce $m_{336}^{\circ}(pT_e)$. Šestáým krokem je krok
 filtrace zpracovaných dat, přičemž parametry filtru určuje zpracovaná funkce $m_{332}^{\circ}(pT_e)$ a
 filtrovanými daty je zpracovaná funkce $m_{336}^{\circ}(pT_e)$. Přičemž filtrace je provedena tak, že
 zpracované funkce $m_{332}^{\circ}(pT_e)$ a $m_{336}^{\circ}(pT_e)$ jsou od sebe odečteny a výsledkem je zpracovaná
 funkce $m_{332}^{\&\circ}(pT_e)$, což lze vyjádřit rovnicí:

15

$$m_{332}^{\&\circ}(pT_e) = m_{332}^{\circ}(pT_e) - m_{336}^{\circ}(pT_e)$$

Zpracovaná funkce $m_{332}^{\&\circ}(pT_e)$ je v rámci kroku úpravy dat dále statisticky vyhodnocena tak, že
 je určeno minimum funkce a maximum a je sledována úhlová vzdálenost mezi maximem a
 20 minimem a rozdíl maxima a minima zpracované funkce $m_{332}^{\&\circ}(pT_e)$ a z těchto hodnot jsou
 následně vytvořeny trendy, kde úhlová vzdálenost mezi minimem a maximem je reprezentována
 funkcí $f_{337}(x)$ a velikost rozdílu maxima a minima je reprezentována funkcí $f_{338}(x)$. Tyto
 trendy tvoří modelový poruchový stav trhliny v polotovaru. Naměřená data jsou pro určení
 poškození zubu nástroje v tomto příkladném provedení zpracována stejnými kroky, jakými jsou
 25 zpracovány nasimulované průběhy $m_{331}(kT)$ a $m_{333}(kT)$ pro odvození modelového
 poruchového stavu poškození zubu nástroje. Zpracovaným průběhům poté odpovídají funkce
 $g_{333}(x)$ a $g_{334}(x)$ na obrázku 75. Naměřená data jsou pro určení trhliny v polotovaru v tomto
 příkladném provedení zpracována stejnými kroky, jakými jsou zpracovány nasimulované
 průběhy $m_{332}(kT)$, $m_{334}(kT)$, $m_{336}(kT)$ a $m_{338}(kT)$ pro odvození modelového poruchového
 30 stavu trhliny v polotovaru. Zpracovaným průběhům poté odpovídají funkce $g_{335}(x)$ a $g_{336}(x)$ na
 obrázku 76. Krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy je v tomto
 příkladném provedení realizován prostřednictvím informačního rozhraní, konkrétně
 prostřednictvím dotykového displeje řídicího systému stroje. Jak je vidět na obrázku 77 a 80,
 zpracovaná data $g_{333}(x)$ a $g_{334}(x)$, $g_{335}(x)$ a $g_{336}(x)$, modelový bezporuchový stav $f_{333}(x)$ a
 35 $f_{334}(x)$, $f_{335}(x)$ a $f_{336}(x)$ si odpovídají, jelikož průběhy si jsou podobné. Jak je vidět na obrázku
 78, zpracovaná data $g_{333}(x)$, $g_{334}(x)$ neodpovídají modelovému poruchovému stavu poškození
 zubu nástroje $f_{331}(x)$, $f_{332}(x)$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 79,
 zpracovaná data $g_{335}(x)$, $g_{336}(x)$ neodpovídají modelovému poruchovému stavu trhliny v
 polotovaru $f_{337}(x)$, $f_{338}(x)$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Na základě výsledků porovnání
 40 je na informační rozhraní vydána informace, že se válcovačka nachází v bezporuchovém stavu.

Osmé konkrétní příkladné provedení se kromě průběhů naměřených dat a výsledku kroku
 vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy shoduje se sedmým konkrétním
 příkladným provedení. Naměřená data jsou pro určení poškození zubu nástroje v tomto
 45 příkladném provedení zpracována stejnými kroky, jakými jsou zpracovány nasimulované
 průběhy $m_{331}(kT)$ a $m_{333}(kT)$ pro odvození modelového poruchového stavu poškození zubu
 nástroje v sedmém konkrétním příkladném provedení. Zpracovaným průběhům poté odpovídají
 funkce $g_{331}(x)$ a $g_{332}(x)$ na obrázku 81. Naměřená data jsou pro určení trhliny v polotovaru
 v tomto příkladném provedení zpracována stejnými kroky, jakými jsou zpracovány nasimulované
 50 průběhy $m_{332}(kT)$, $m_{334}(kT)$, $m_{336}(kT)$ a $m_{338}(kT)$ pro odvození modelového poruchového
 stavu trhliny v polotovaru. Zpracovaným průběhům poté odpovídají funkce $g_{337}(x)$ a $g_{338}(x)$ na

obrázku 82. Krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy je v tomto příkladném provedení realizován prostřednictvím informačního rozhraní, konkrétně prostřednictvím dotykového displeje řídicího systému stroje. Jak je vidět na obrázku 83, 84, zpracovaná data $g_{331}(x)$ a $g_{332}(x)$, $g_{337}(x)$ a $g_{338}(x)$, modelový bezporuchový stav $f_{333}(x)$ a $f_{334}(x)$, $f_{335}(x)$ a $f_{336}(x)$ si neodpovídají, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 85, zpracovaná data $g_{331}(x)$, $g_{332}(x)$ odpovídají modelovému poruchovému stavu poškození zubu nástroje $f_{331}(x)$, $f_{332}(x)$, jelikož průběhy si jsou podobné. Jak je vidět na obrázku 86, zpracovaná data $g_{337}(x)$, $g_{338}(x)$ neodpovídají modelovému poruchovému stavu trhliny v polotovaru $f_{337}(x)$, $f_{338}(x)$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Na základě výsledků porovnání je na informační rozhraní vydána informace, že se válcovačka nachází v poruchovém stavu poškození zubu nástroje, kde je porucha zubu 17.

Deváté konkrétní příkladné provedení se kromě průběhů naměřených dat a výsledku kroku vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy shoduje se sedmým konkrétním příkladným provedení. Naměřená data jsou pro určení poškození zubu nástroje v tomto příkladném provedení zpracována stejnými kroky, jakými jsou zpracovány nasimulované průběhy $m_{331}(kT)$ a $m_{333}(kT)$ pro odvození modelového poruchového stavu poškození zubu nástroje v sedmém konkrétním příkladném provedení. Zpracovaným průběhům poté odpovídají funkce $g_{339}(x)$ a $g_{340}(x)$ na obrázku 87. Naměřená data jsou pro určení trhliny v polotovaru v tomto příkladném provedení zpracována stejnými kroky, jakými jsou zpracovány nasimulované průběhy $m_{332}(kT)$, $m_{334}(kT)$, $m_{336}(kT)$ a $m_{338}(kT)$ pro odvození modelového poruchového stavu trhliny v polotovaru. Zpracovaným průběhům poté odpovídají funkce $g_{341}(x)$ a $g_{342}(x)$ na obrázku 88. Krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy je v tomto příkladném provedení realizován prostřednictvím informačního rozhraní, konkrétně prostřednictvím dotykového displeje řídicího systému stroje. Jak je vidět na obrázku 89, 90, zpracovaná data $g_{339}(x)$ a $g_{340}(x)$, $g_{341}(x)$ a $g_{342}(x)$ a modelový bezporuchový stav $f_{333}(x)$ a $f_{334}(x)$, $f_{335}(x)$ a $f_{336}(x)$ si neodpovídají, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 91, zpracovaná data $g_{339}(x)$, $g_{340}(x)$ neodpovídají modelovému poruchovému stavu poškození zubu nástroje $f_{331}(x)$, $f_{332}(x)$, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 92, zpracovaná data $g_{341}(x)$, $g_{342}(x)$ odpovídají modelovému poruchovému stavu trhliny v polotovaru $f_{337}(x)$, $f_{338}(x)$, jelikož průběhy si jsou podobné. Na základě výsledků porovnání je na informační rozhraní vydána informace, že se válcovačka nachází v poruchovém stavu trhliny v polotovaru.

V desátém konkrétním příkladném provedení je strojem výrobní stroj, konkrétně bruska 401, viditelná na obrázku 93. 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. Řídicí část diagnostického systému 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 94 a popsáný křivkami $\{f_{411}(x), f_{412}(x)\}$, modelový poruchový stav opotřebení části brusného nástroje 405, viditelný na obrázku 5 a popsáný křivkami $\{f_{421}(x), f_{422}(x)\}$ a modelový poruchový stav geometrie obrobku 404, viditelný na obrázku 94 a popsáný křivkami $\{f_{431}(x), f_{432}(x)\}$. Průběhy modelového bezporuchového stavu, modelového poruchového stavu opotřebení částí 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 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 95. 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 96 a 97. 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 nejnižší 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 98. 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 99, zpracované skupiny 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 99 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 99 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.

- 5 V jedenáctém konkrétním příkladném provedení je strojem výrobní stroj, konkrétně karuselový soustruh 445 zobrazený na obrázku 100. 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. 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 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 101 a popsaný množinou křivek $F_1(x) = \{f_{467}(x), f_{468}(x)\}$, modelový poruchový stav lineárního vedení 449 v ose x, viditelný na obrázku 101 a popsaný množinou křivek $F_2(x) = \{f_{459}(x), f_{460}(x)\}$ a modelový poruchový stav obrobku 452, viditelný na obrázku 101 a popsaný 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 ze 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 kompenzaci 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 včetně 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:

$$M_m^{TF1p}(z) = (M_m^\%(z)TF_{1p}(z))$$

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

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

Křivka C zahrnuje všechny póly výrazu $M_m^{TF1p}(z)z^{k-1}$. Třetím krokem je krok spárování naměřených dat. V kroku spárování naměřených dat je ke každé hodnotě $m_1^{TF1p}(kT)$ je 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 102. Čtvrtým krokem je krok filtrace zpracovaných dat, kde se zpracovaná data $m_1^{TF1p}(kT)$ 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 103. 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:

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

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

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

kde E je množina podmínek $\{e_1, e_3, e_3\}$. Porovnání funkcí je viditelné na obrázku 104, 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.

Ve dvanáctém konkrétním příkladném provedení je strojem dvoustopý pozemní dopravní prostředek 508, konkrétně dvoustopý dopravní prostředek se samonosnou karoserií a třemi nápravami 504, 505 a 506. Každá z náprav 504, 505 a 506 obsahuje ložisko a mechanickou brzdu, viditelné na obrázku 105. Dvoustopý dopravní prostředek 508 je poháněn pohonnou jednotkou 507 s převodovým ústrojím 509. Použitými senzory dle tohoto příkladného provedení jsou tři piezoelektrické akcelerometry 501, 502, 503. První piezoelektrický akcelerometr 501 je umístěn na první nápravě 504, přičemž první náprava 504 obsahuje první ložisko, druhý piezoelektrický akcelerometr 502 je umístěn na druhé nápravě 505, přičemž druhá náprava 505 obsahuje druhé ložisko, a třetí piezoelektrický akcelerometr 503 je umístěn na třetí nápravě 506, přičemž třetí náprava 506 obsahuje třetí ložisko. Řídící část zahrnuje monitorovací jednotku 510 a výpočetní zařízení, kterým je v tomto příkladném provedení vzdálený server. Monitorovací jednotka 510 je přímo datově spojena s piezoelektrickými akcelerometry 501, 502, 503 a dále je datově spojena s řídící jednotkou dvoustopého dopravního prostředku 508. Dále je v tomto příkladném provedení v paměti řídící části uloženo pět modelových stavů: modelový bezporuchový stav reprezentovaný funkcemi $f_{501}(x)$, $f_{502}(x)$ a $f_{503}(x)$, jehož průběh je viditelný na obrázku 106, modelový poruchový stav prvního ložiska reprezentovaný funkcemi $f_{511}(x)$, $f_{512}(x)$, $f_{513}(x)$ a kde zpoždění signálu Δ_1 je menší než zpoždění signálu Δ_2 , jehož průběh je viditelný na obrázku 107, modelový poruchový stav druhého ložiska reprezentovaný funkcemi $f_{521}(x)$, $f_{522}(x)$, $f_{523}(x)$ a kde zpoždění signálu Δ_3 je menší než zpoždění signálu Δ_4 , jehož průběh je viditelný na obrázku 108, modelový poruchový stav brzdy třetí nápravy 506 reprezentovaný funkcemi $f_{531}(x)$, $f_{532}(x)$, $f_{533}(x)$ a kde zpoždění signálu Δ_5 je menší než zpoždění signálu Δ_6 , jehož průběh je viditelný na obrázku 109, a modelový poruchový stav převodového ústrojí 509 reprezentovaný funkcemi $f_{541}(x)$, $f_{542}(x)$, $f_{543}(x)$ a kde zpoždění signálu Δ_7 je menší než zpoždění signálu Δ_8 , jehož průběh je viditelný na obrázku 110. Všechny modelové stavy byly vytvořeny na základě teoretického fyzikálního popisu chování stroje 508 během provozu stroje upraveného na základě předcházejících měření reálného chování dvoustopého dopravního prostředku 508 během provozu dvoustopého dopravního prostředku 508. Naměřená data jsou zpracována vyhodnocovacím procesem obsahujícím krok spárování naměřených dat a krok úpravy dat. Zpracovaná data jsou reprezentována funkcemi $g_{101}(x)$, $g_{102}(x)$, $g_{103}(x)$ viditelnými na obrázku 111, přičemž zpracování odpovídá zpracování průběhů modelových stavů. Dalším krokem vyhodnocovacího procesu je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy je v tomto příkladném provedení realizován pomocí stroje s vloženými znalostmi. Jak je vidět na obrázku 112, zpracovaná data neodpovídají modelovému bezporuchovému stavu, jelikož průběhy si nejsou podobné. Jak je vidět na obrázku 113, zpracovaná data odpovídají modelovému poruchovému stavu třetího ložiska, jelikož průběhy si jsou podobné. Na základě výsledků porovnání je na informační rozhraní vydána informace, že se dvoustopý dopravní prostředek nachází v poruchovém stavu druhého ložiska.

Ve třináctém příkladném provedení je strojem letecký dopravní prostředek, konkrétně letadlo 601, viditelné na obrázku 114. Použitými senzory dle tohoto příkladného provedení jsou tenkovrstvý snímač 603 přetvoření, piezoelektrický akcelerometr 604 a snímač 605 teploty. Tenkovrstvý snímač 603 přetvoření je umístěn na nosném profilu 606 křídla 602 v patě křídla 602, piezoelektrický akcelerometr 604 je umístěn na nosném profilu 606 křídla 602 ve středu křídla 602 a snímač 605 teploty je umístěn v těsné blízkosti tenkovrstvého snímače 603 přetvoření. Řídící část zahrnuje monitorovací jednotku a výpočetní zařízení, kterým je v tomto

příkladném provedení řídicí systém letadla 601. Monitorovací jednotka je přímo datově spojena se senzory. Dále jsou v tomto příkladném provedení v paměti řídicí části uloženy tři modelové stavy: modelový bezporuchový stav, modelový poruchový stav trhliny v patě křídla 602 a modelový poruchový stav trhliny ve středu křídla 602. Modelový bezporuchový stav, modelový poruchový stav trhliny v patě křídla 602 a modelový poruchový stav trhliny středu křídla 602 jsou odvozeny na základě simulace teoretického fyzikálního popisu chování stroje 601 během provozu, konkrétně metodou konečných prvků, kde jako proměnné vstupují předpětí křídla 602 a velikost změn síly vyvozovaných na křídlo 602, velikost trhliny v patě křídla 602 a velikost trhliny ve středu křídla 602. Výstupem této simulace je tuhost křídla 602 reprezentovaná odezvou systému měřenou piezoelektrickým akcelerometrem 604 a popsaná funkcí $f_n = f(F, \Delta F, t_1, t_2)$. Funkce f_n je dále rozdělena na množiny jednotlivých křivek modelových poruchových stavů $\{f_{601}(F_1, \Delta F_1, t_{11}, t_{21}), \dots, f_{6nn}(F_n, \Delta F_n, t_{1n}, t_{2n})\}$. Na obrázku 115 je znázorněn modelový bezporuchový stav pro hodnotu síly předpětí F_{02} a změnu síly působící na křídlo 602 ΔF_2 . Na obrázku 115 je dále znázorněn modelový poruchový stav trhliny v patě křídla 602 pro hodnotu síly předpětí F_{01} , změnu síly působící na křídlo ΔF_1 a velikost trhliny t_{11} . Naměřená data z tenkovrstvého snímače 603 přetvoření jsou označena $m_1(kT) = \{m_1(1T), \dots, m_1(nT)\}$, naměřená data z piezoelektrického akcelerometru 604 jsou označena $m_2(kT) = \{m_2(1T), \dots, m_2(nT)\}$ a naměřená data ze snímače 605 teploty jsou označena $m_3(kT) = \{m_3(1T), \dots, m_3(nT)\}$, kde n je počet naměřených hodnot a T je perioda měření. Naměřená data jsou vyhodnocena vyhodnocovacím procesem, kde prvním krokem je krok teplotní kompenzace, druhým krokem je krok spárování naměřených dat a třetím krokem je krok úpravy dat. Krokem spárování naměřených dat jsou zpracována data viditelná na obrázku 116. Ve třetím kroku jsou ve zpracovaných datech z tenkovrstvého snímače 603 přetvoření vyhledány úseky dat g_{6nn} délky dx . Úseky dat g_{6nn} zachycují změnu přetvoření o velikosti alespoň ΔF_{min} původní hodnoty a hodnoty předcházející této změně, která má setrvalý stav, který je charakteristický jeho maximální směrodatnou odchylkou od průměru $\Delta F_{min}/10$ alespoň po dobu $dx/2$ a který je charakteristický jeho maximální směrodatnou odchylkou od průměru $\Delta F_{min}/10$ po dobu $dx/2$, jak je vidět na obrázku 117. K úsekům dat g_{6nn} jsou následně přiřazena zpracovaná data z piezoelektrického akcelerometru 604, jak je vidět na obrázku 117. Čtvrtým krokem je krok vyhodnocení podobnosti zpracovaných dat s modelovými stavy. Vyhodnocení podobnosti je realizováno strojově na základě s vložených znalostí. Během vyhodnocení podobnosti je porovnávána množina zpracovaných dat $\{g_{601}(F_1, \Delta F_1), \dots, g_{6nn}(F_n, \Delta F_n)\}$ s množinou dat popisující modelový bezporuchový stav, modelový poruchový stav trhliny v patě křídla a modelový poruchový stav trhliny středu křídla $\{f_{601}(F_1, \Delta F_1, t_{11}, t_{21}), \dots, f_{6nn}(F_n, \Delta F_n, t_{1n}, t_{2n})\}$. Na základě výsledku vyhodnocení podobnosti vydá řídicí část na informační rozhraní informaci o tom, zda se stroj nachází v bezporuchovém stavu, v poruchovém stavu trhliny v patě křídla 602, v poruchovém stavu trhliny ve středu křídla 602 nebo v neznámém stavu.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob provádění technické diagnostiky strojů pomocí diagnostického systému strojů zahrnujícího informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, **vyznačující se tím**, že diagnostický systém strojů dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na stroji vybrané ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače polohy a snímače vzdálenosti, 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, přičemž tato zpracovaná data jsou následně

v řídicí části porovnává s modelovými stavy a na základě tohoto porovnání vydá řídicí část na informační rozhraní informaci, že se stroj nachází v bezporuchovém stavu nebo v alespoň jednom z modelových poruchových stavů.

- 5 2. Způsob provádění technické diagnostiky strojů pomocí diagnostického systému 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 stroj nachází v neznámém stavu
- 10 3. Způsob provádění technické diagnostiky strojů pomocí diagnostického systému strojů podle kteréhokoliv z předchozích nároků **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací proces dále obsahuje krok úpravy dat pomocí přenosové funkce.
- 15 4. Způsob provádění technické diagnostiky strojů pomocí diagnostického systému 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 vybranými ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače vzdálenosti a snímače polohy, přičemž teplotní kompenzace je provedena na základě dat naměřených snímačem teploty.
- 20 5. Způsob provádění technické diagnostiky strojů pomocí diagnostického systému strojů podle kteréhokoliv z předchozích nároků **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací proces dále obsahuje krok filtrace zpracovaných dat, kdy data z alespoň jednoho senzoru jsou použita pro nastavení parametrů filtru pro filtraci dat z alespoň jednoho senzoru.
- 25 6. Diagnostický systém strojů zahrnuje informační rozhraní a řídicí část, přičemž řídicí část obsahuje paměť, **vyznačující se tím**, že diagnostický systém strojů dále zahrnuje alespoň dva senzory pro umístění na stroji vybrané ze skupiny snímače vibrací, snímače přetvoření, snímače polohy a snímače vzdálenosti, 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.
- 30 7. Diagnostický systém strojů podle nároku 6 **vyznačující se tím**, že strojem je výrobní stroj.
- 35 8. Diagnostický systém strojů podle nároku 6 **vyznačující se tím**, že strojem je dopravní prostředek.
- 40 9. Diagnostický systém strojů podle nároku 6 nebo 7 **vyznačující se tím**, že modelovým bezporuchovým stavem je modelový bezporuchový stav alespoň jednoho prvku ze skupiny části stroje, nástroje nebo výrobku.
- 45 10. Diagnostický systém strojů podle kteréhokoliv z nároků 6, 7 a 9 **vyznačující se tím**, že modelovým poruchovým stavem je kterýkoliv modelový poruchový stav ze skupiny modelového poruchového stavu části stroje, modelového poruchového stavu nástroje nebo modelového poruchového stavu výrobku.
- 50 11. Diagnostický systém strojů podle nároku 6 nebo 8 **vyznačující se tím**, že modelovým bezporuchovým stavem je modelový bezporuchový stav části stroje.
- 55 12. Diagnostický systém strojů podle kteréhokoliv z nároků 6, 8 a 11 **vyznačující se tím**, že modelovým poruchovým stavem je modelový poruchový stav části stroje.

13. Diagnostický systém strojů podle kteréhokoliv z nároků 6 až 12 **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.
- 5 14. Diagnostický systém stroje podle kteréhokoliv z nároků 6 až 13 **vyznačující se tím**, že alespoň jedním ze senzorů je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač polohy.
- 10 15. Diagnostický systém stroje podle kteréhokoliv z nároků 6 až 13 **vyznačující se tím**, že alespoň jedním ze senzorů je snímač vibrací a alespoň jedním dalším senzorem je snímač přetvoření.
16. Diagnostický systém stroje podle kteréhokoliv z nároků 6 až 13 **vyznačující se tím**, že alespoň dvěma senzory jsou snímače vibrací.
- 15 17. Diagnostický systém stroje podle kteréhokoliv z nároků 6 až 16 **vyznačující se tím**, že senzory jsou tenkovrstvé senzory.
18. Diagnostický systém strojů podle kteréhokoliv z nároků 6 až 17 **vyznačující se tím**, že snímačem polohy je lineární enkodér nebo rotační enkodér.
- 20 19. Diagnostický systém strojů podle kteréhokoliv z nároků 6 až 18 **vyznačující se tím**, že alespoň jedním ze senzorů je snímač teploty, přičemž snímač teploty je umístěn v těsné blízkosti alespoň jednoho senzoru jiného typu.

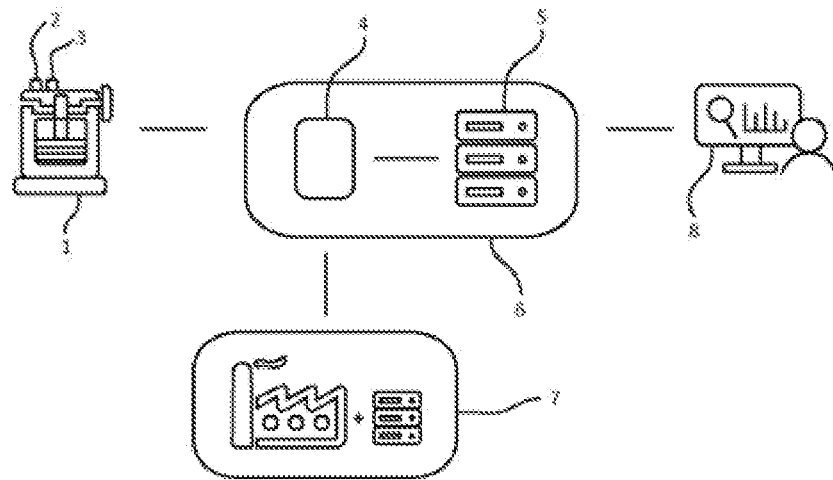
37 výkresů

Seznam vztahových značek

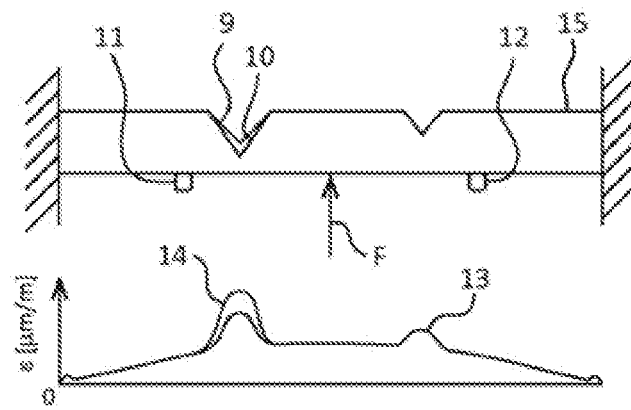
- 1 - Stroj
- 2 - První senzor
- 3 - Druhý senzor
- 4 - Monitorovací jednotka
- 5 - Výpočetní zařízení
- 6 - Řídicí část
- 7 - Periferní zařízení
- 8 - Informační rozhraní
- 9 - Původní vrub
- 10 - Zvětšený vrub
- 11 - První snímač vibrací
- 12 - Druhý snímač vibrací
- 13 - Průběh přetvoření s vrubem
- 14 - Průběh přetvoření se zvětšeným vrubem
- 15 - Vetknutý nosník
- 16 - Polotovar
- 17 - Porucha zubu
- 18 - První piezoelektrický akcelerometr
- 19 - Druhý piezoelektrický akcelerometr
- 20 - První valivé ložisko
- 21 - První nástroj
- 22 - Druhé valivé ložisko
- 23 - Druhý nástroj
- 24 - První rotační enkodér
- 25 - Průběh naměřených dat s teplotní kompenzací
- 26 - Průběh naměřených dat bez teplotní kompenzace

- 27 - První akcelerometr
- 28 - Druhý akcelerometr
- 29 - Třetí akcelerometr
- 30 - Čtvrtý akcelerometr
- 31 - Snímač přetvoření
- 32 - Stykový bod beranu a rámu při pohybu dolů
- 33 - Bod nejmenší vzdálenosti beranu a rámu
- 34 - Stykový bod beranu a rámu při pohybu nahoru
- 35 - Bod nejmenší vzdálenosti zápustek
- 36 - Beran
- 37 - Rám
- 38 - Uložení valivého ložiska
- 39 - Spodní upínač
- 40 - Horní zápustka
- 41 - Spodní zápustka
- 42 - Horní upínač
- 43 - První snímač teploty
- 44 - Druhý snímač teploty
- 45 - Kliková hřídel
- 46 - Vedení beranu na rámu
- 48 - Druhý rotační enkodér
- 49 - Zub
- 50 - Bod kontaktu nástroje a výrobku
- 51 - Snímač síly
- 52 - Snímač vzdálenosti
- 53 - Vedení beranu na beranu
- 54 - Pátý akcelerometr
- 55 - Klikový kovací lis
- 401 - Bruska
- 403 - Unášecí vřeteno
- 404 - Obrobek
- 405 - 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 snímačem teploty
- 447 - Druhý piezoelektrický akcelerometr s integrovaným snímačem teploty
- 448 - Vřeteno lože
- 449 - Lineární vedení příčnickové podpory
- 452 - Obrobek
- 453 - Brusný nástroj
- 464 - Amplituda modelového průběhu křivky f_{463}
- 465 - Poloha poruchy lineárního vedení
- 501 - První akcelerometr na první nápravě dvoustopého dopravního prostředku
- 502 - Druhý akcelerometr na druhé nápravě dvoustopého dopravního prostředku
- 503 - Třetí akcelerometr na třetí nápravě dvoustopého dopravního prostředku
- 504 - První náprava dvoustopého dopravního prostředku
- 505 - Druhá náprava dvoustopého dopravního prostředku

- 506 - Třetí náprava dvoustopého dopravního prostředku
- 507 - Pohonná jednotka dvoustopého dopravního prostředku
- 508 - Dvoustopý dopravní prostředek
- 509 - Převodové ústrojí dvoustopého dopravního prostředku
- 510 - Monitorovací jednotka
- 601 - Letadlo
- 602 - Křídlo letadla
- 603 - Tenkovrstvý snímač přetvoření
- 604 - Piezoelektrický akcelerometr
- 605 - Snímač teploty
- 606 - Nosný profil křídla letadla

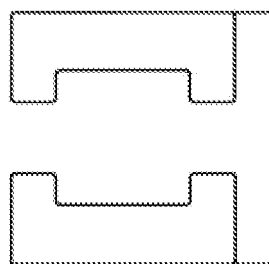


Obr. 1



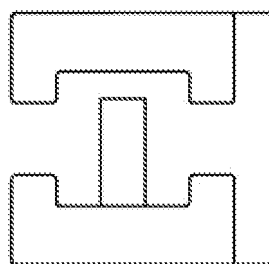
Obr. 2

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 1



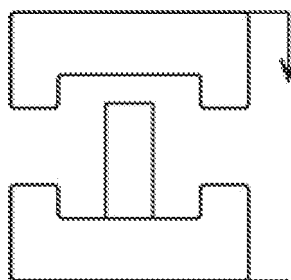
Obr. 3

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 5



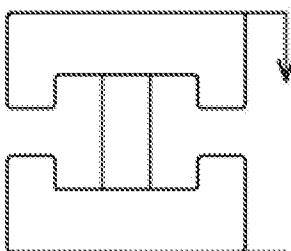
Obr. 4

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 7



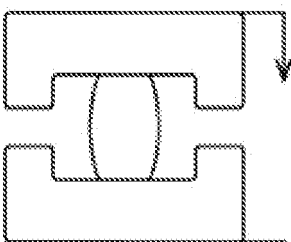
Obr. 5

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 10



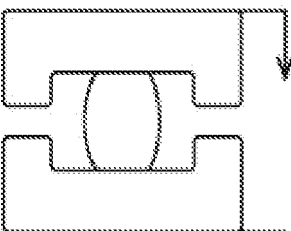
Obr. 6

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 15



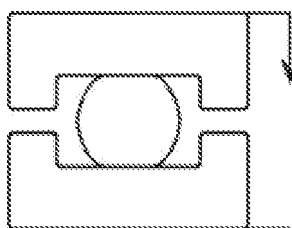
Obr. 7

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 20



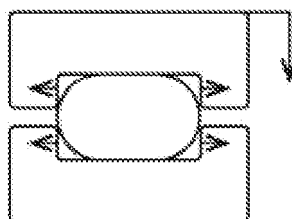
Obr. 8

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 25



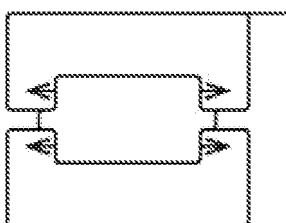
Obr. 9

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 30



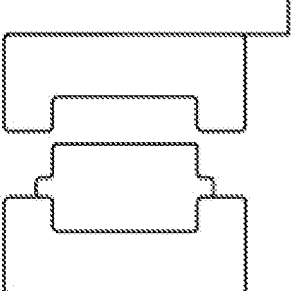
Obr. 10

ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 35

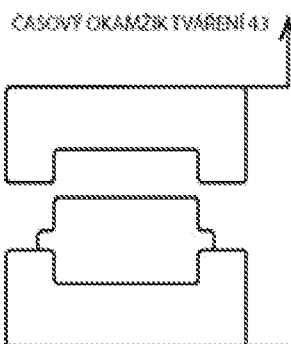


Obr. 11

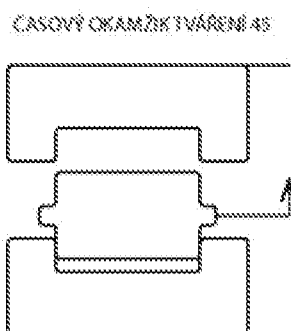
ČASOVÝ OKAMŽIK TVÁŘENÍ 40



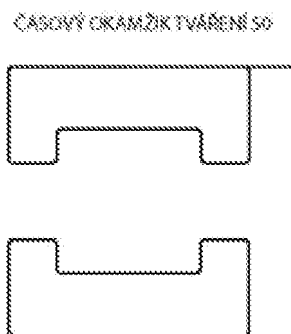
Obr. 12



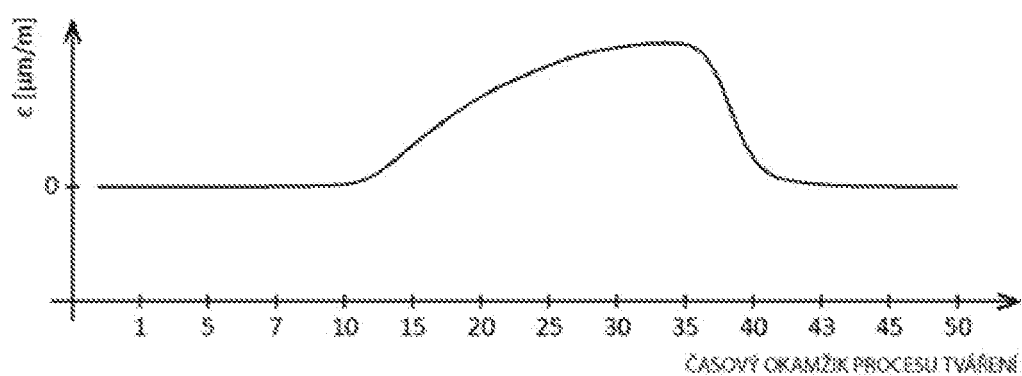
Obr. 13



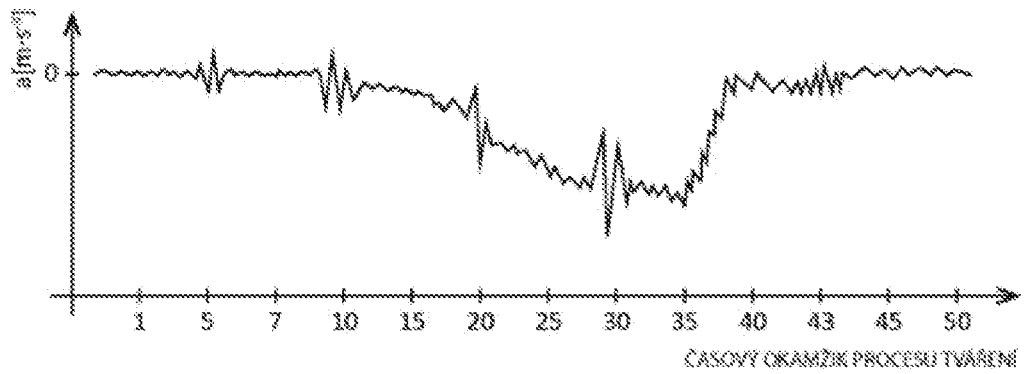
Obr. 14



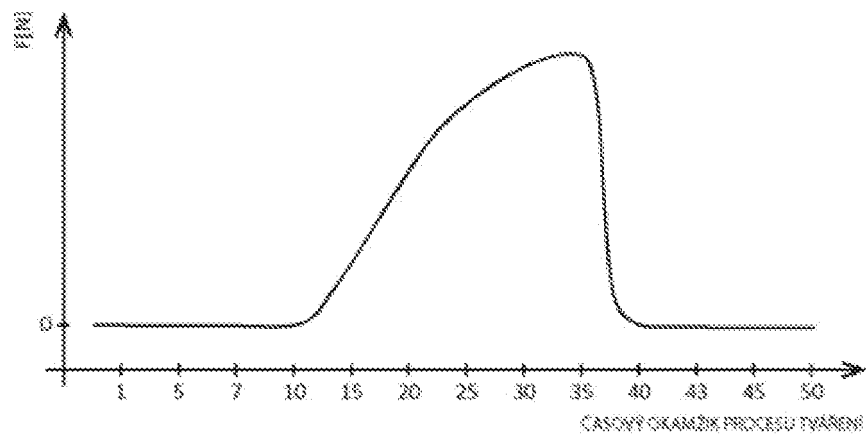
Obr. 15



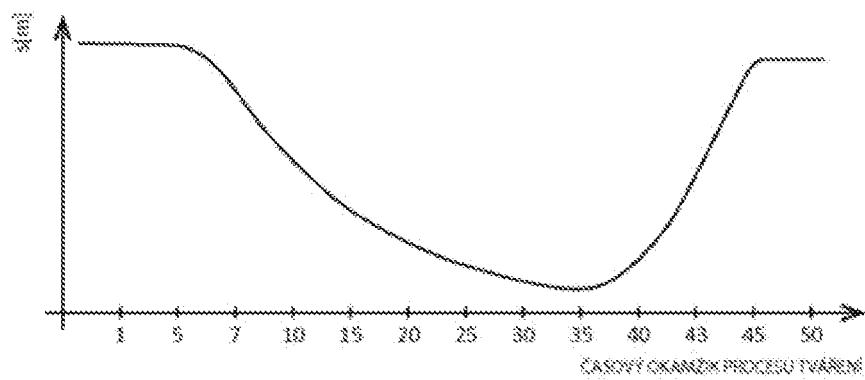
Obr. 16



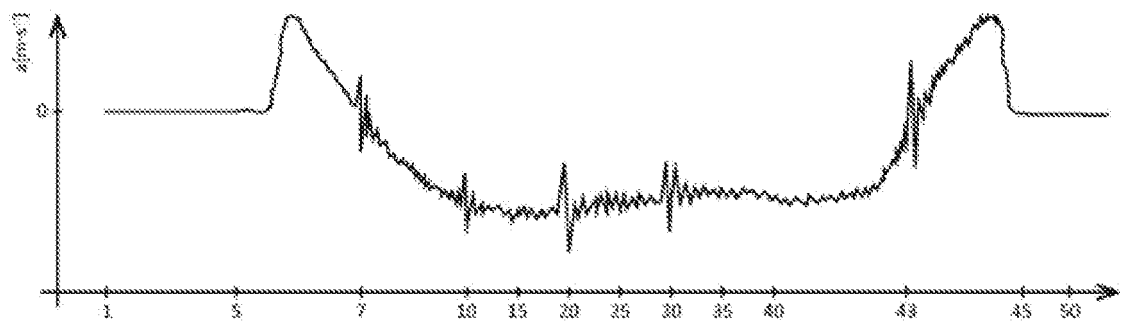
Obr. 17



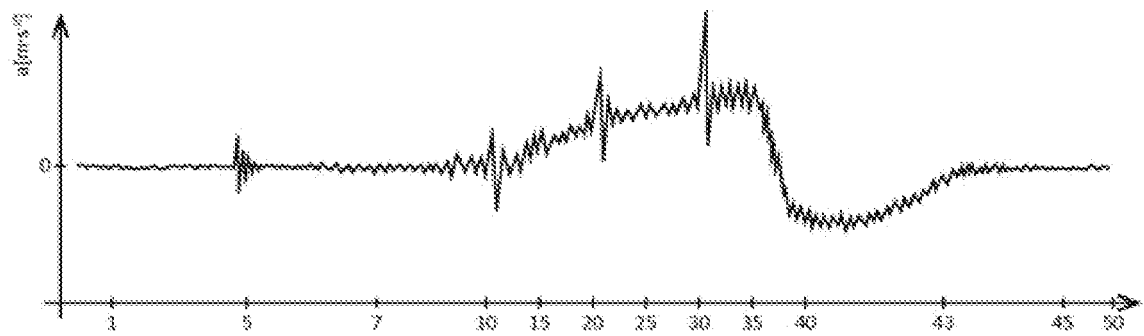
Obr. 18



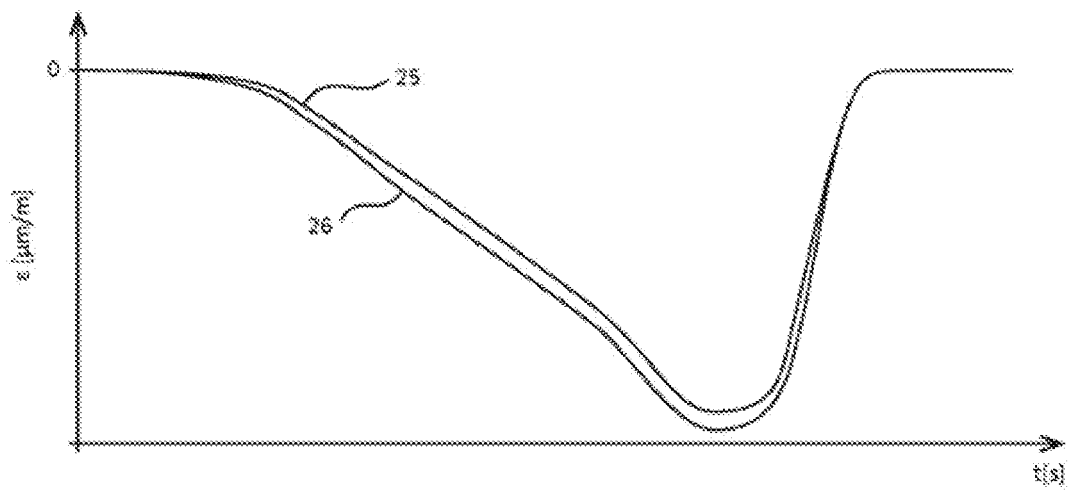
Obr. 19



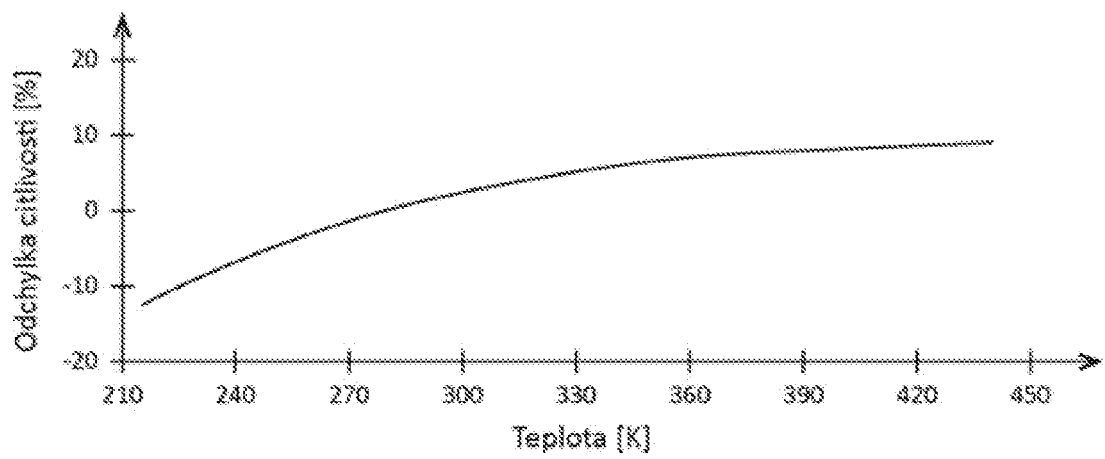
Obr. 20



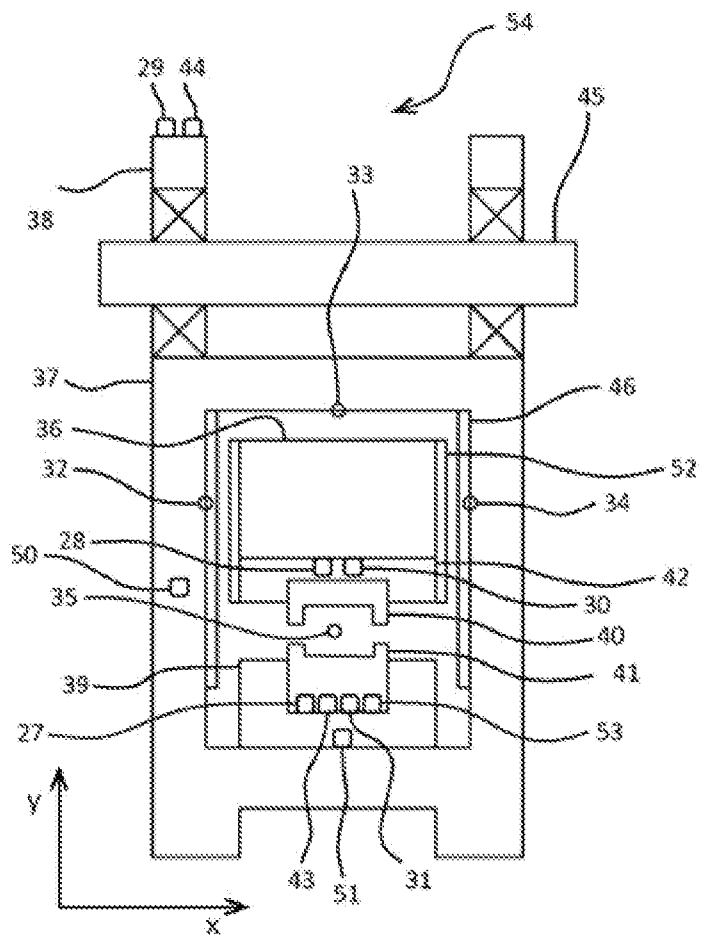
Obr. 21



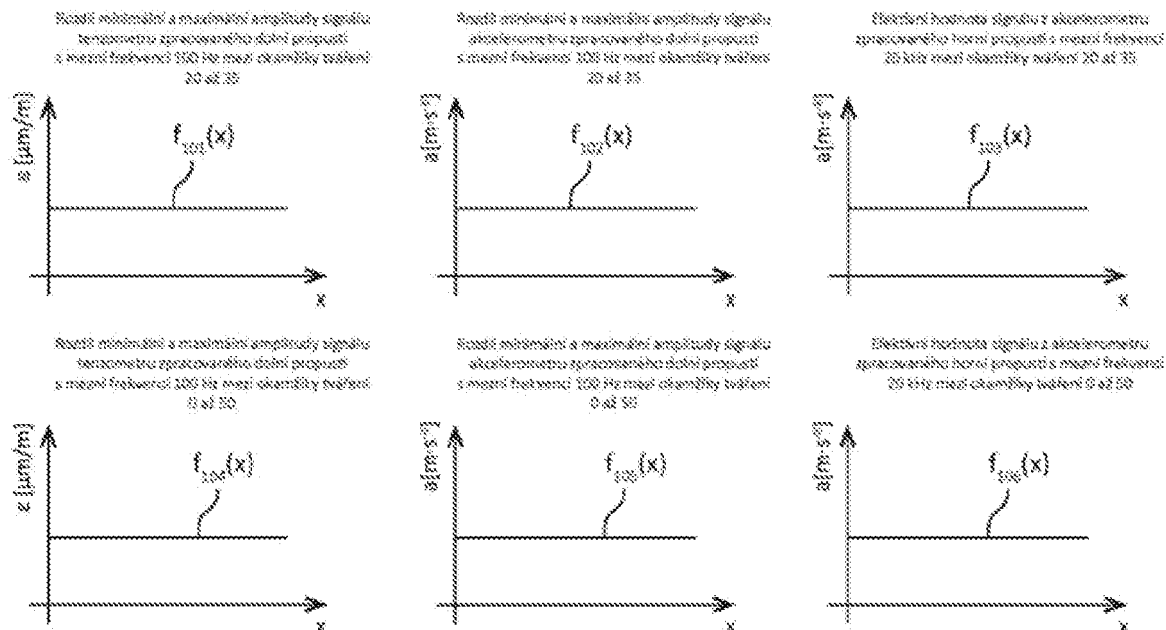
Obr. 22



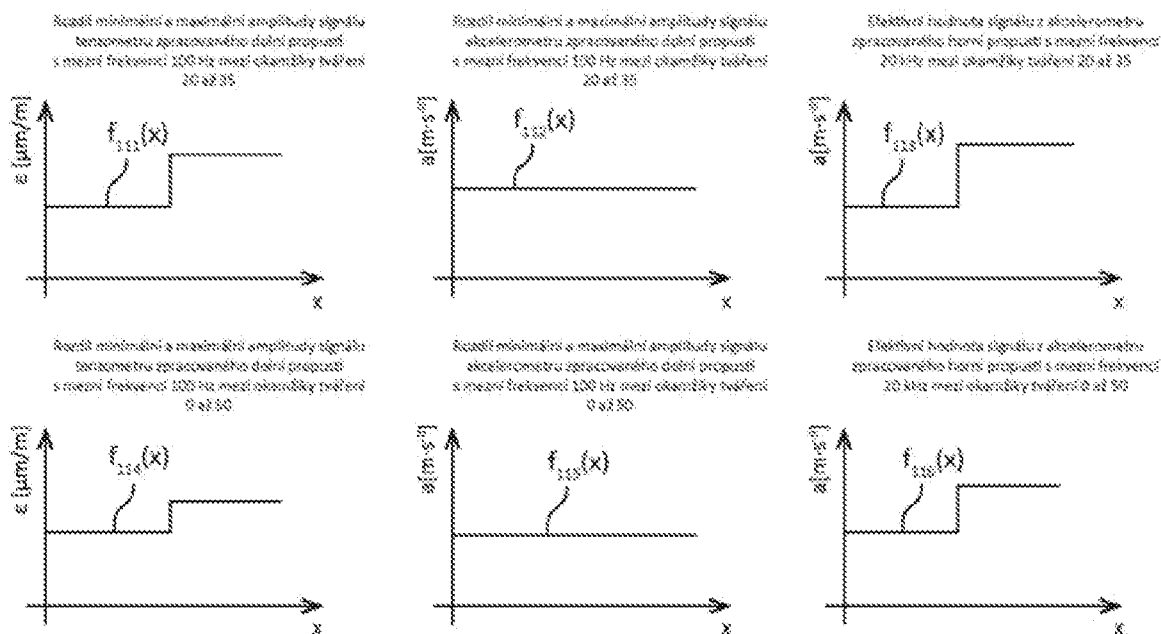
Obr. 23



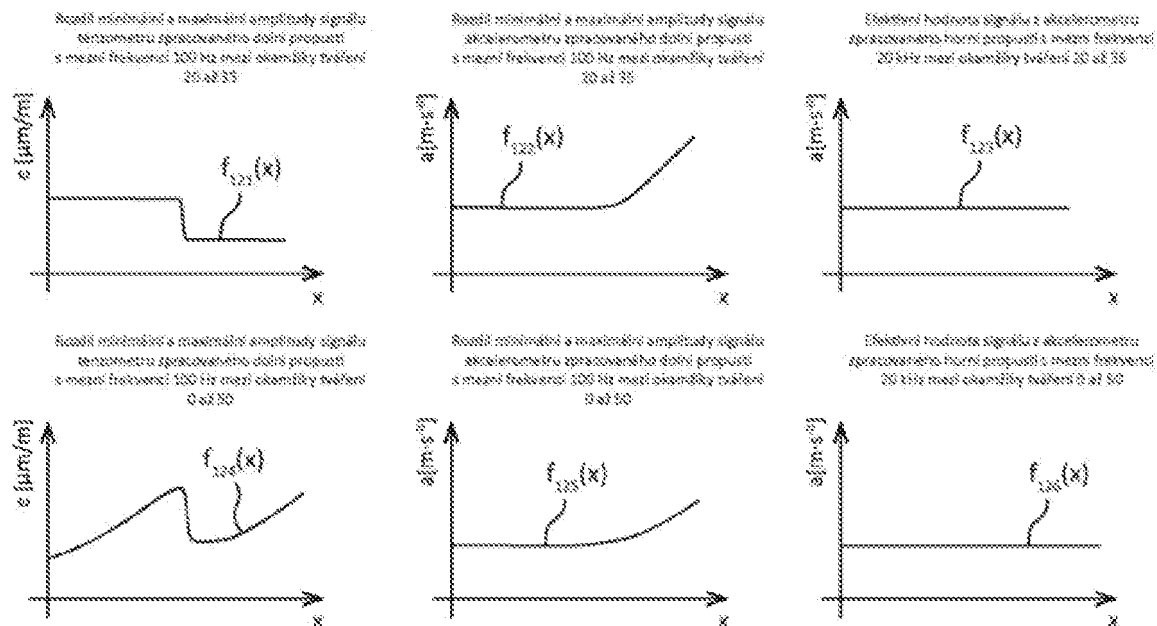
Obr. 24



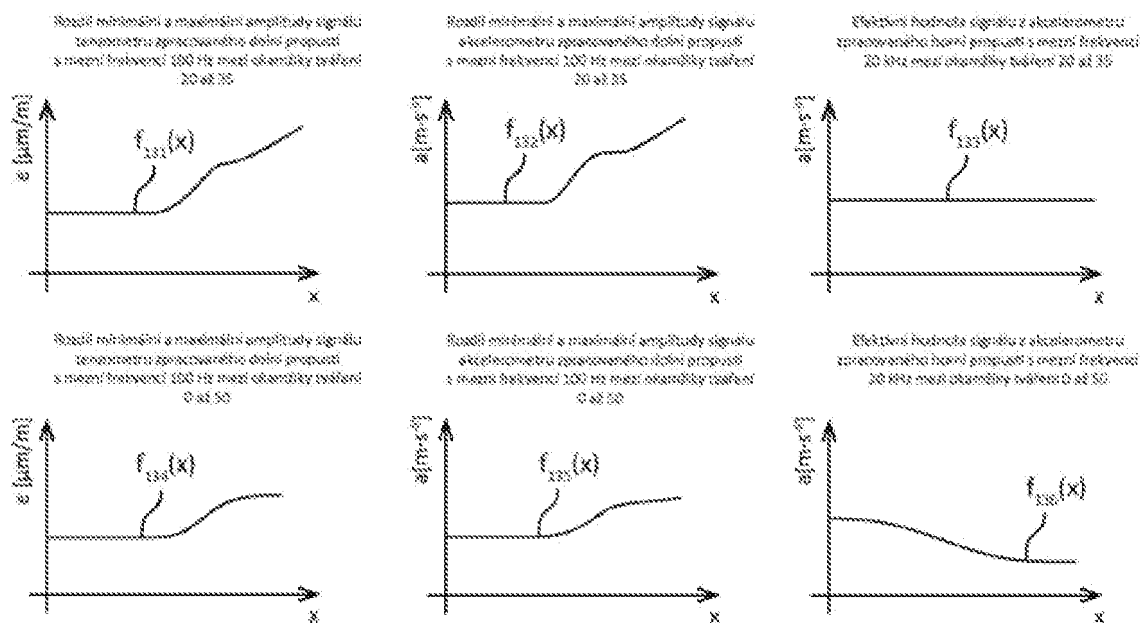
Obr. 25



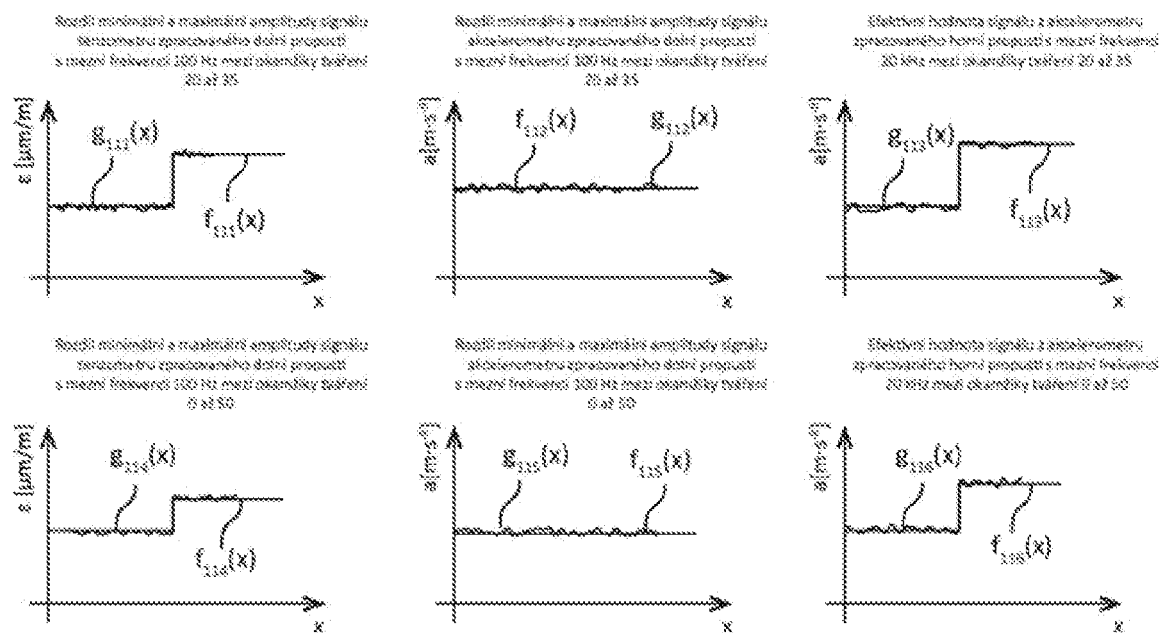
Obr. 26



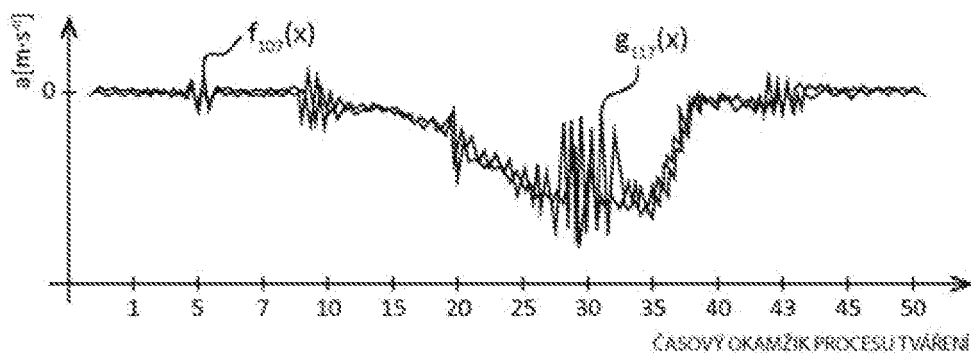
Obr. 27



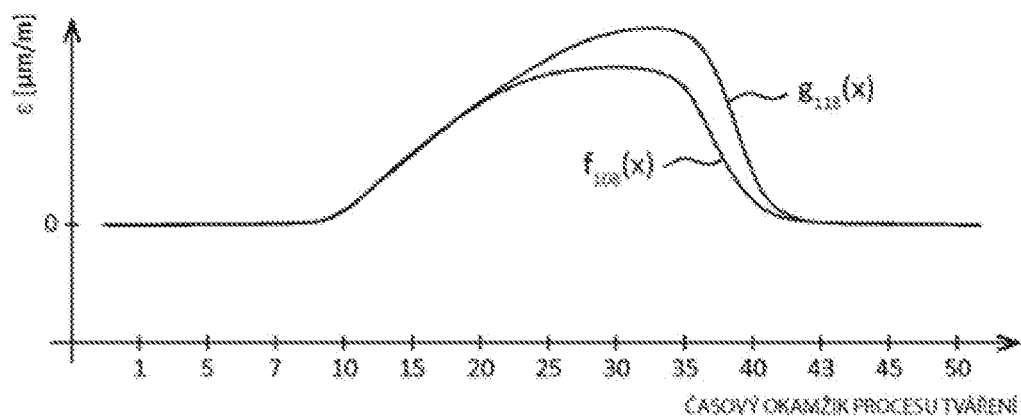
Obr. 28



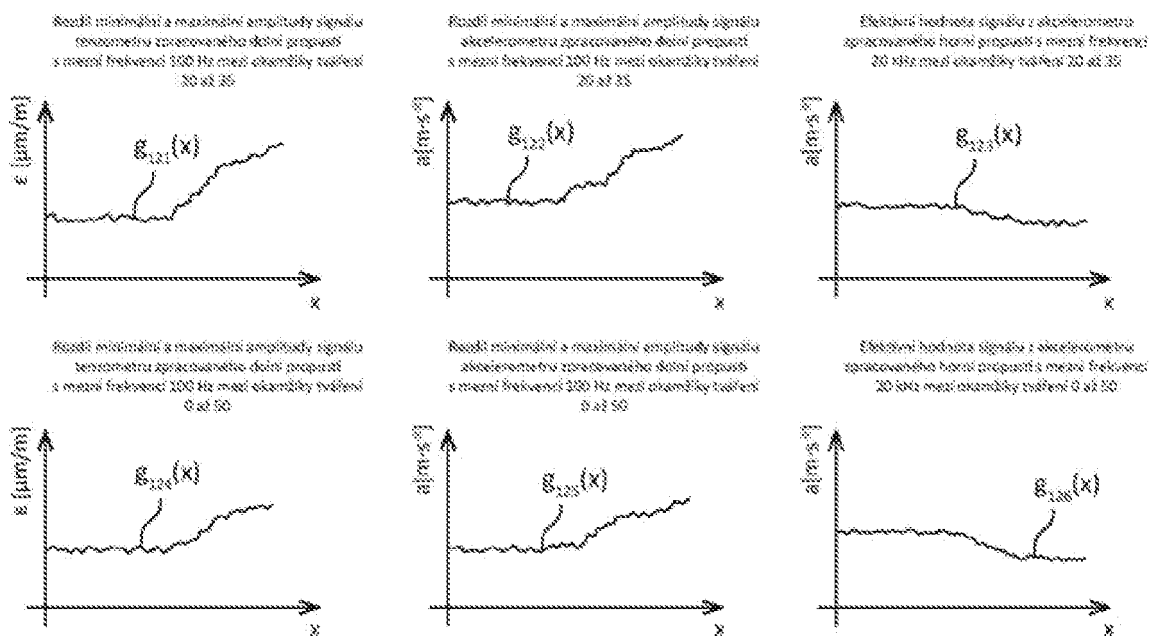
Obr. 29



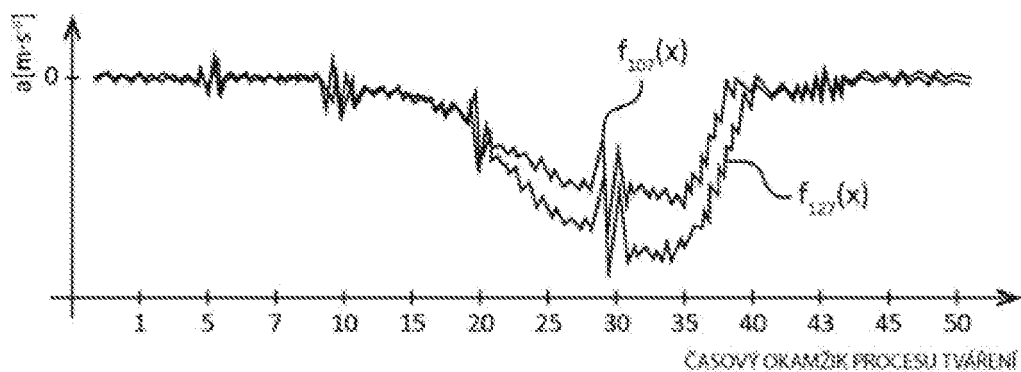
Obr. 30



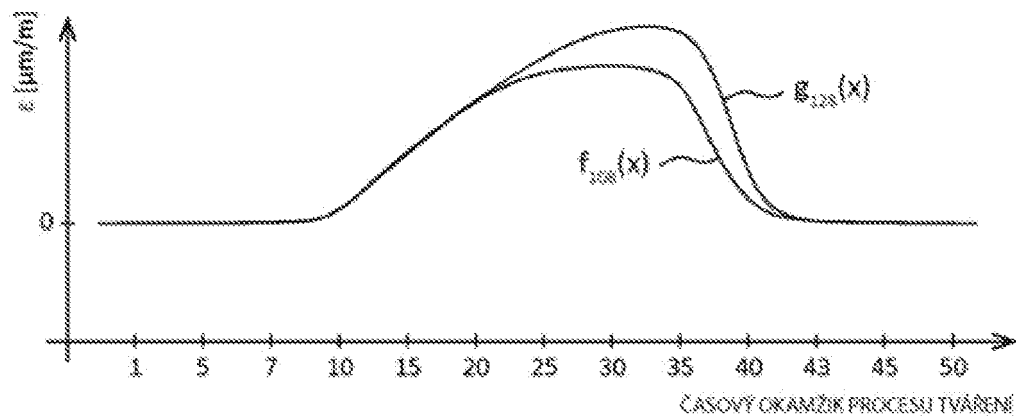
Obr. 31



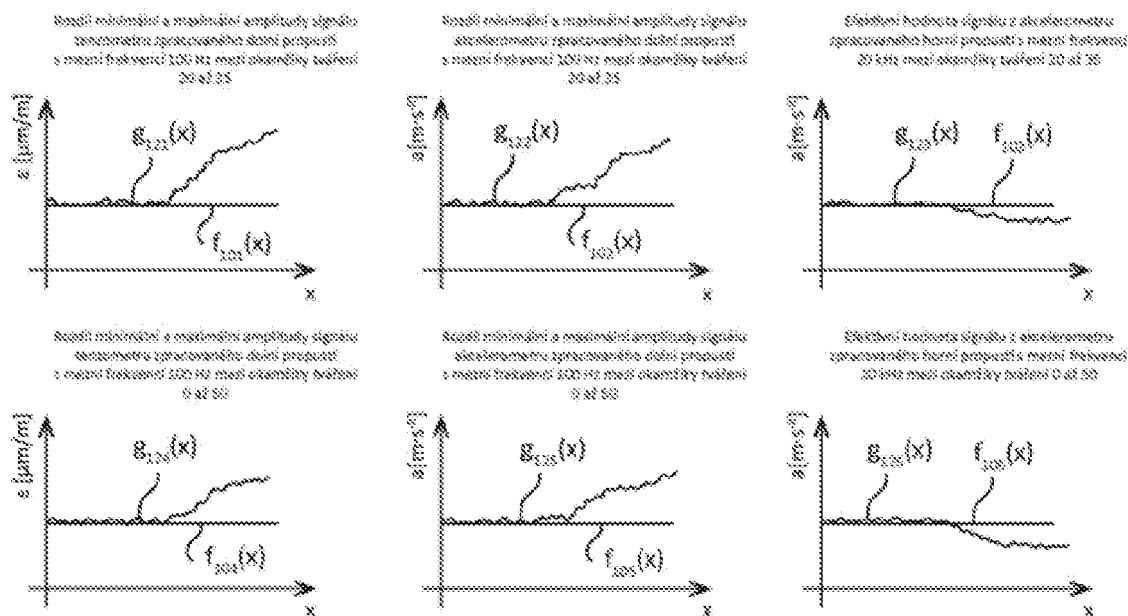
Obr. 32



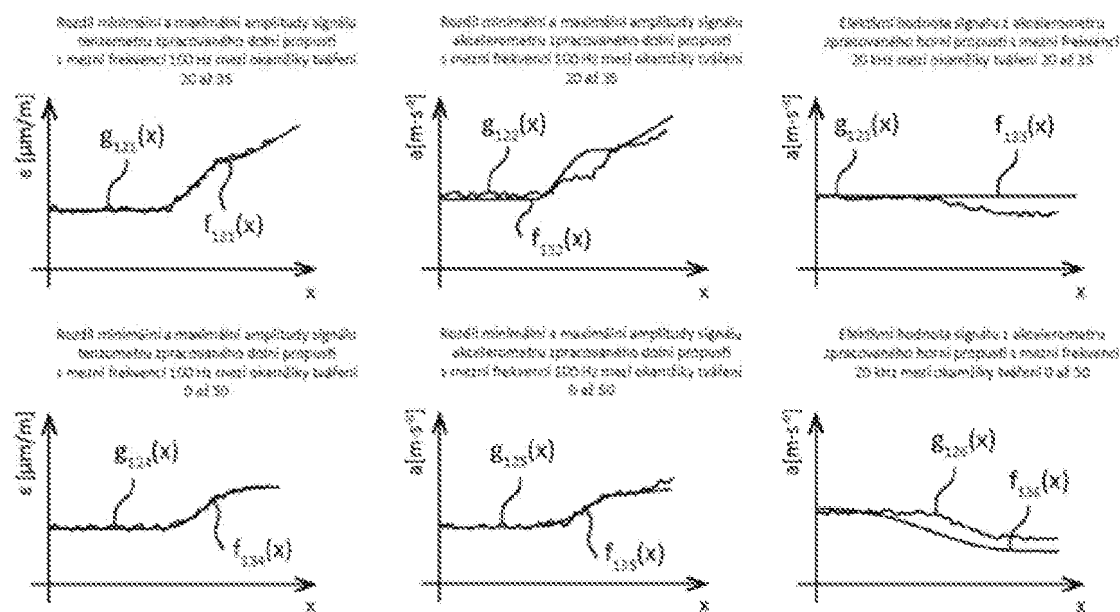
Obr. 33



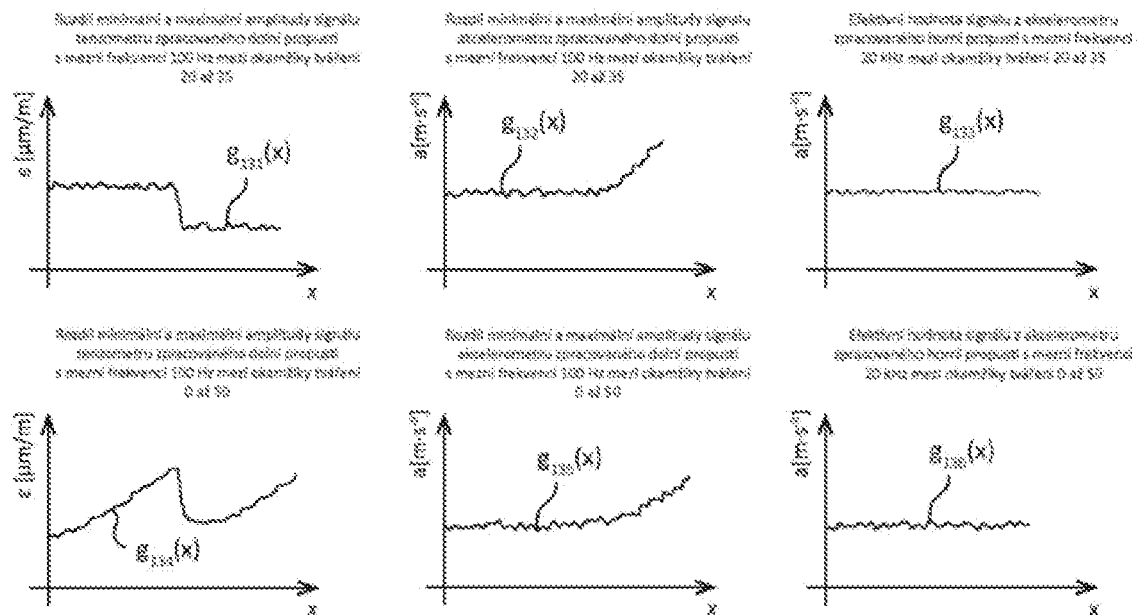
Obr. 34



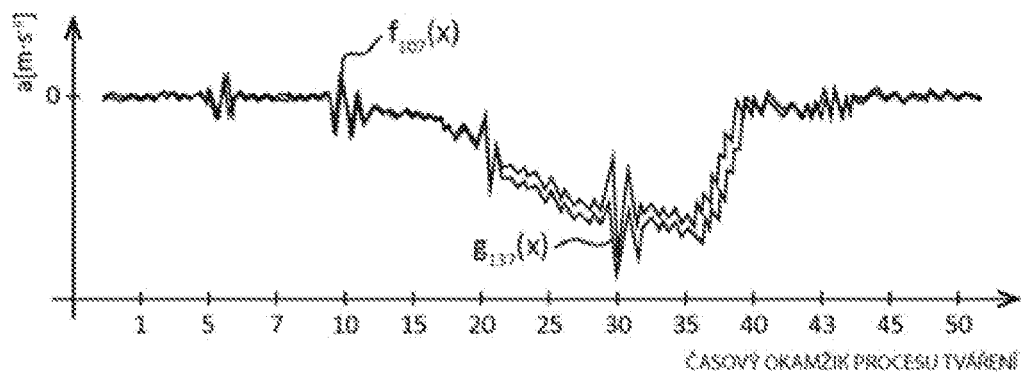
Obr. 35



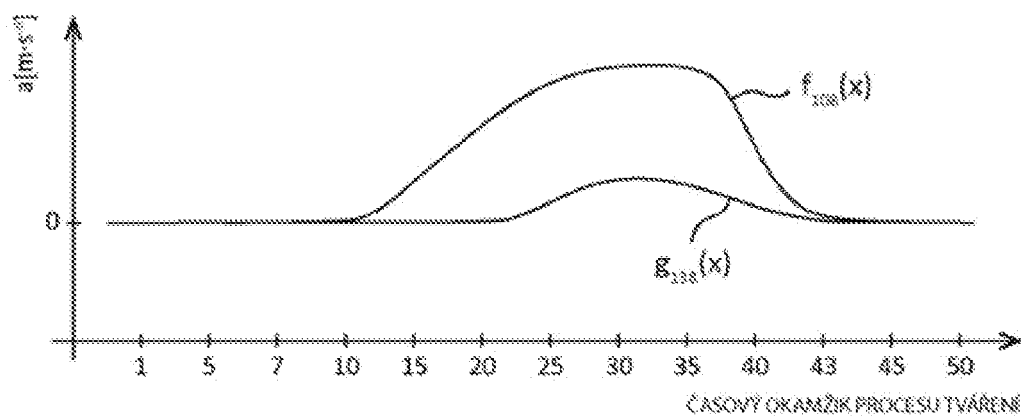
Obr. 36



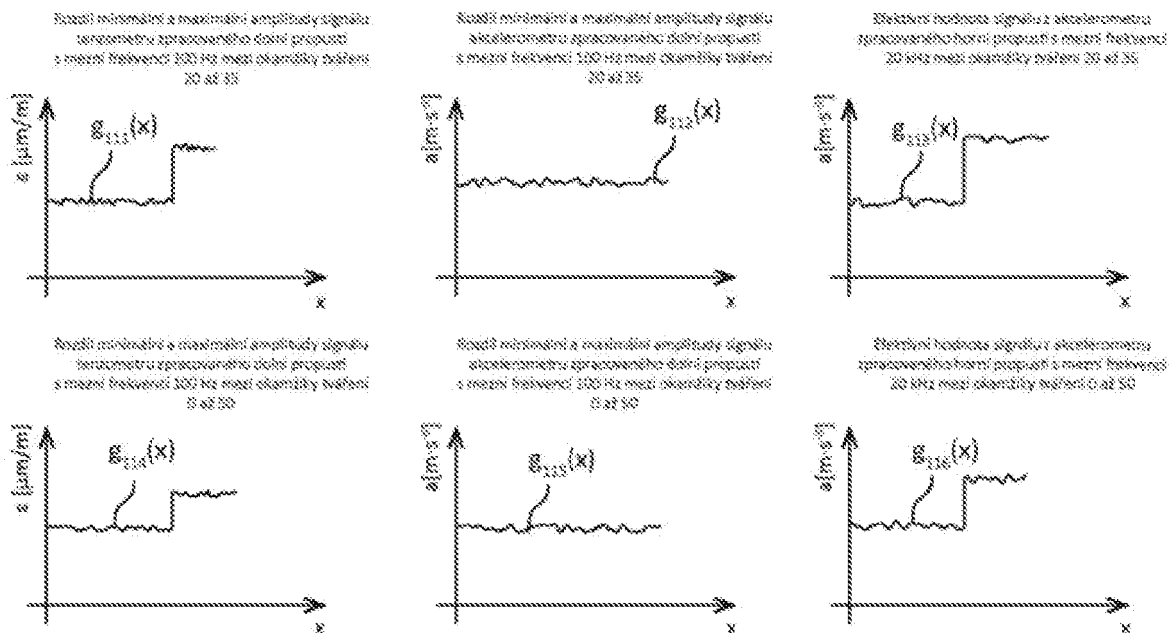
Obr. 37



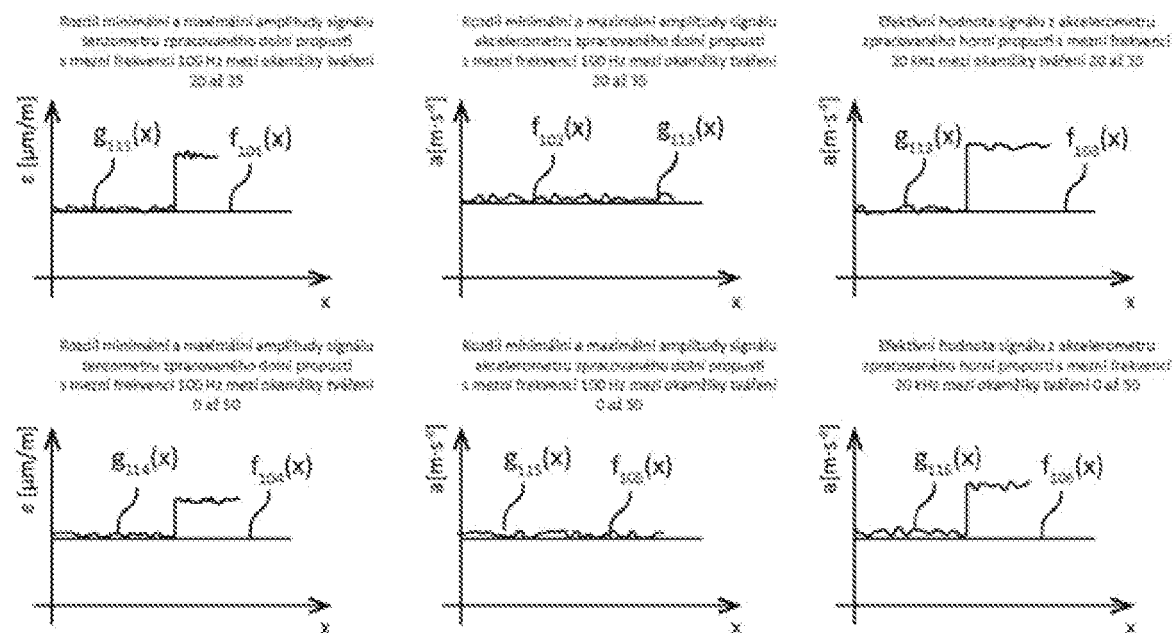
Obr. 38



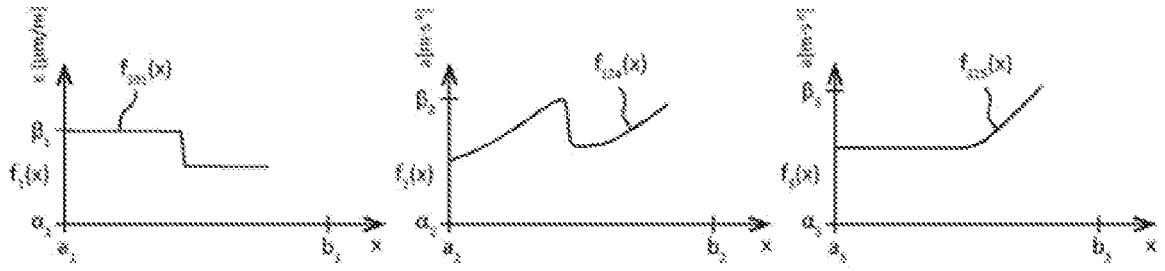
Obr. 39



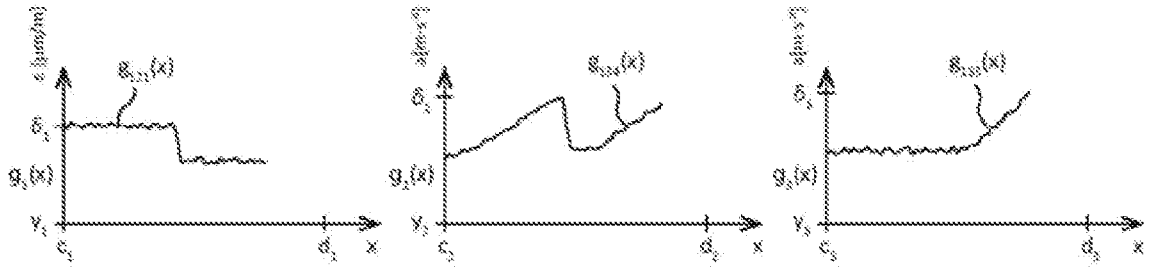
Obr. 40



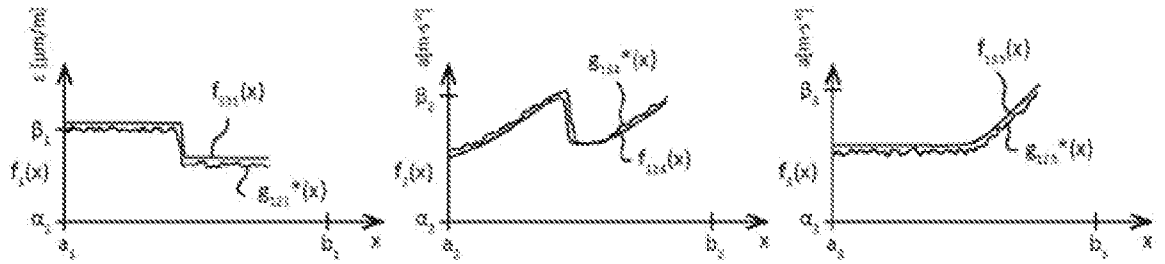
Obr. 41



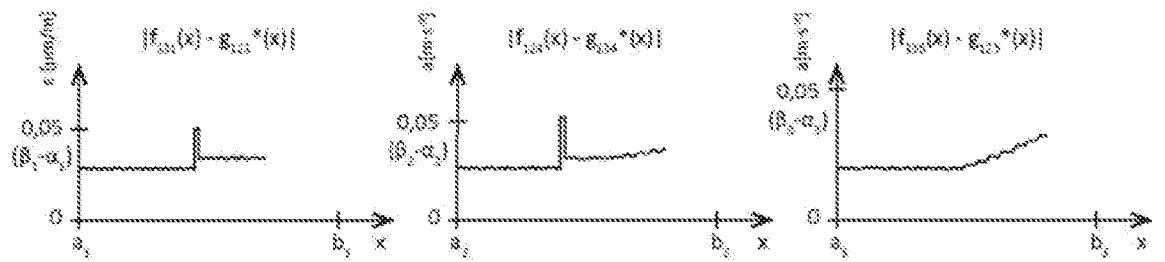
Obr. 42



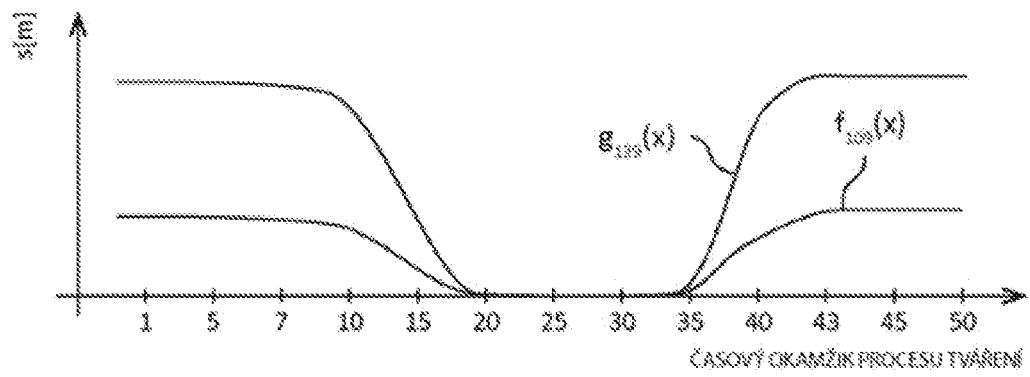
Obr. 43



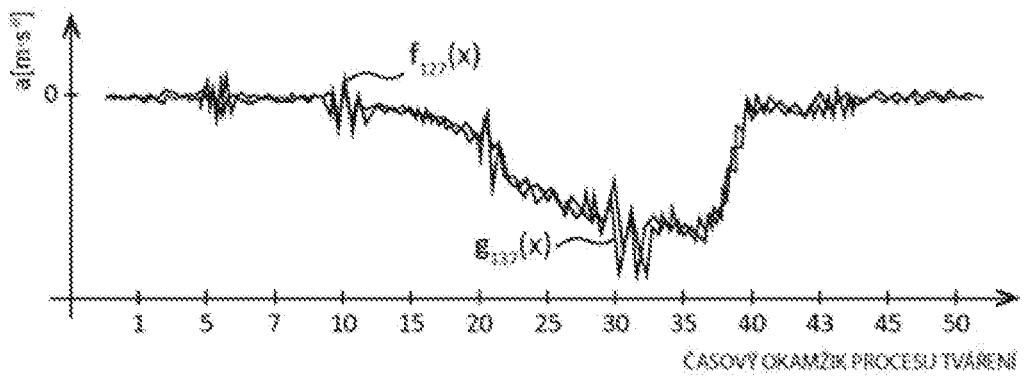
Obr. 44



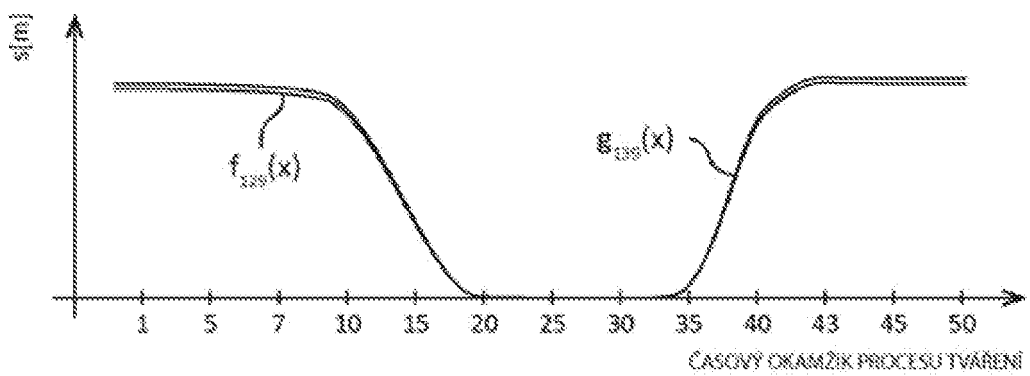
Obr. 45



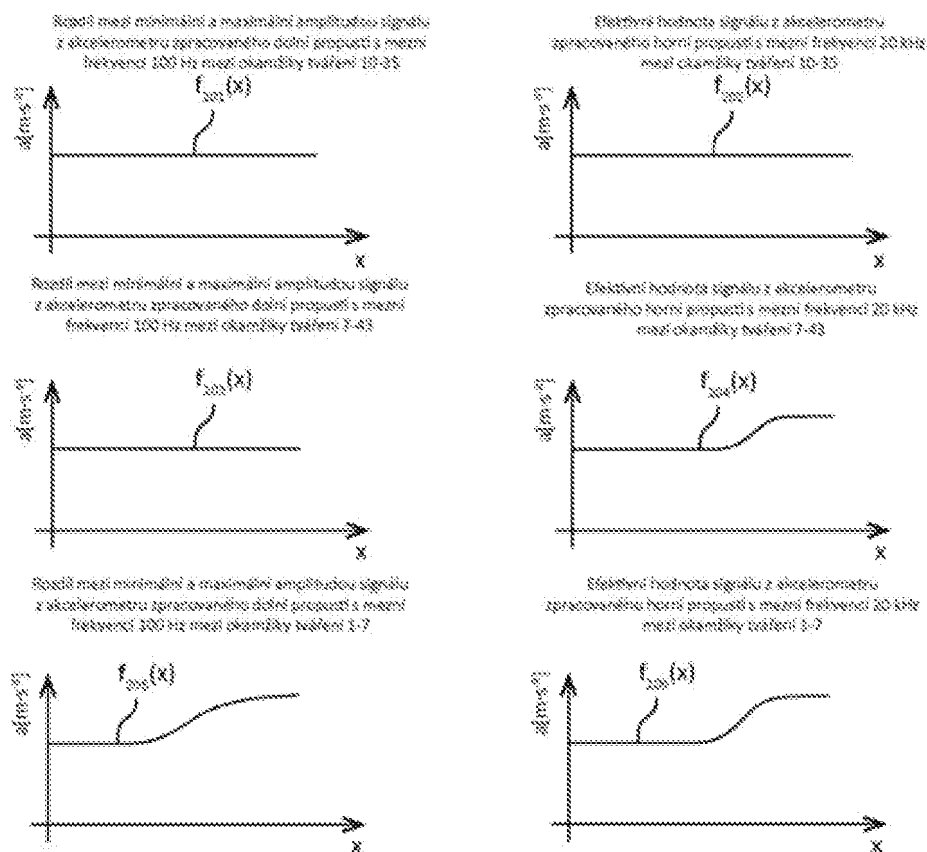
Obr. 46



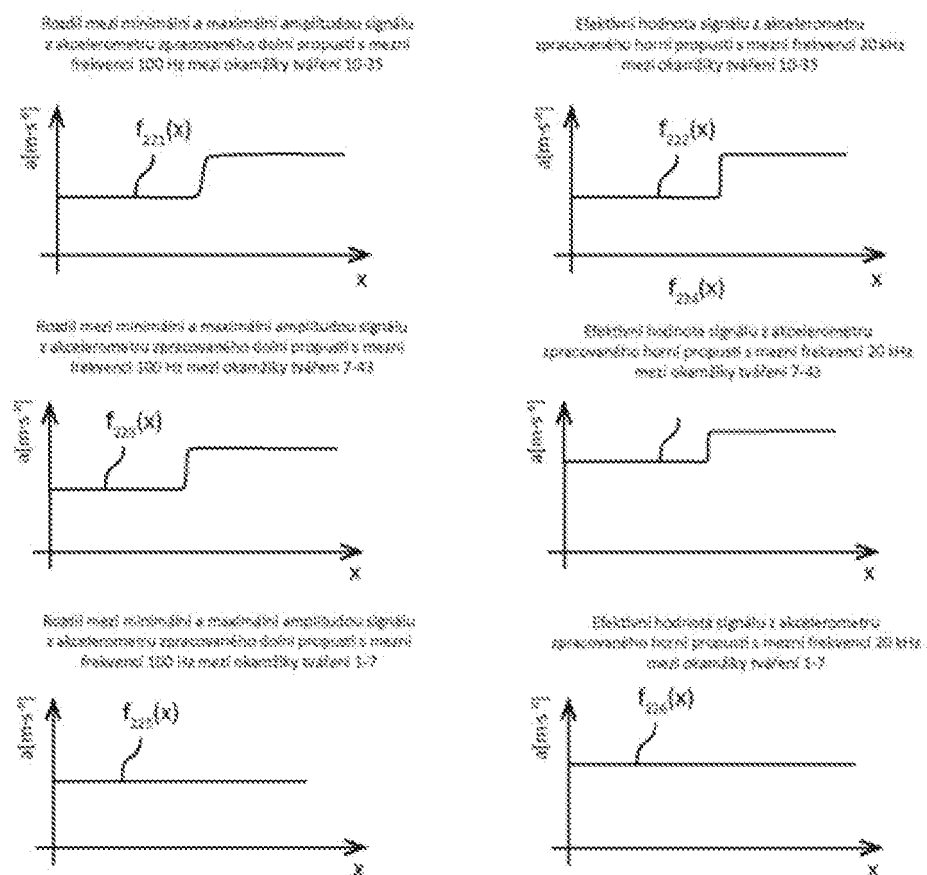
Obr. 47



Obr. 48

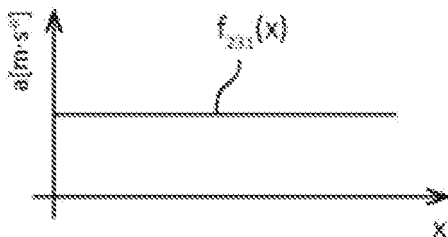


Obr. 49

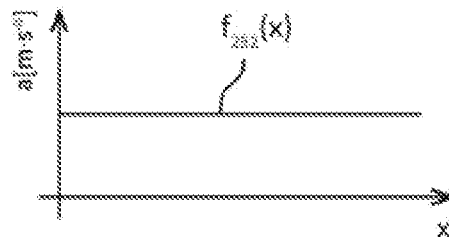


Obr. 50

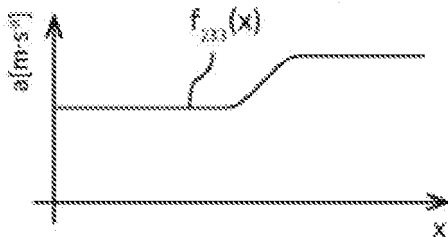
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 10-35



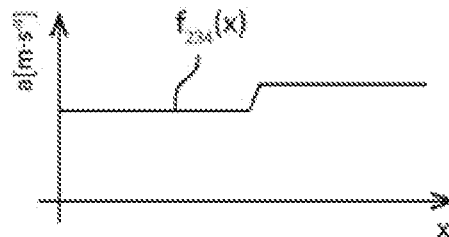
Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 10-35



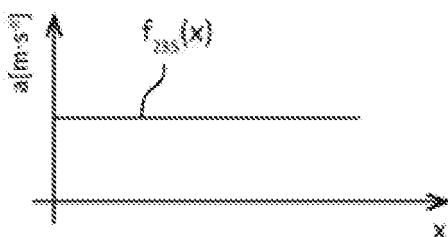
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 7-43



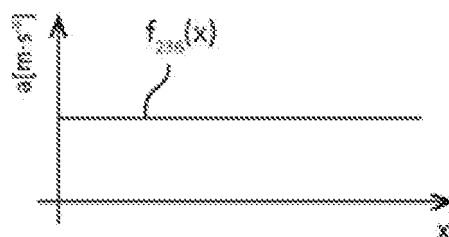
Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 7-43



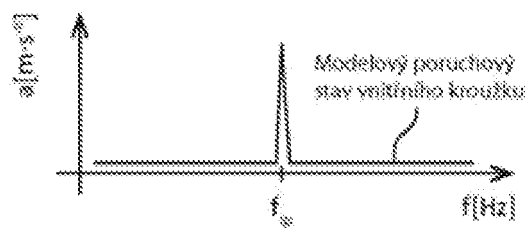
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 1-7



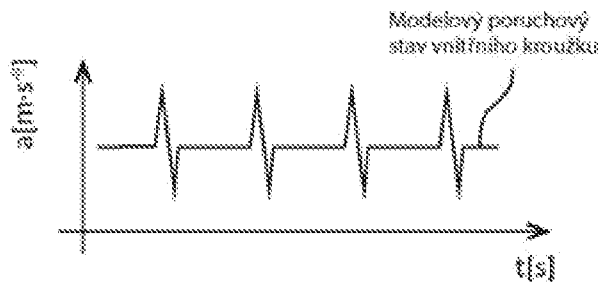
Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 1-7



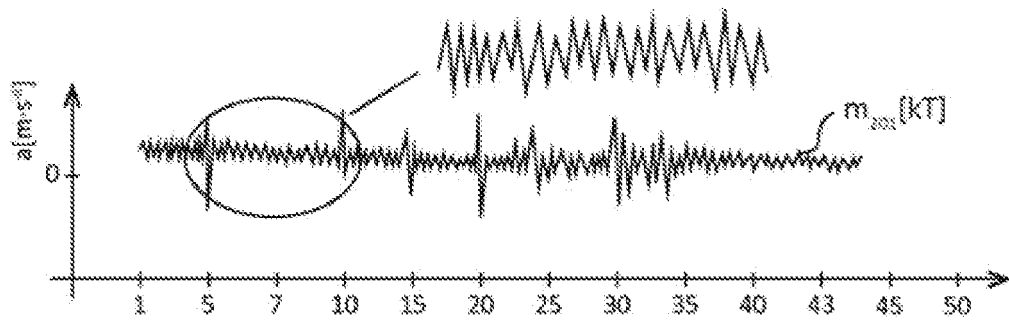
Obr. 51



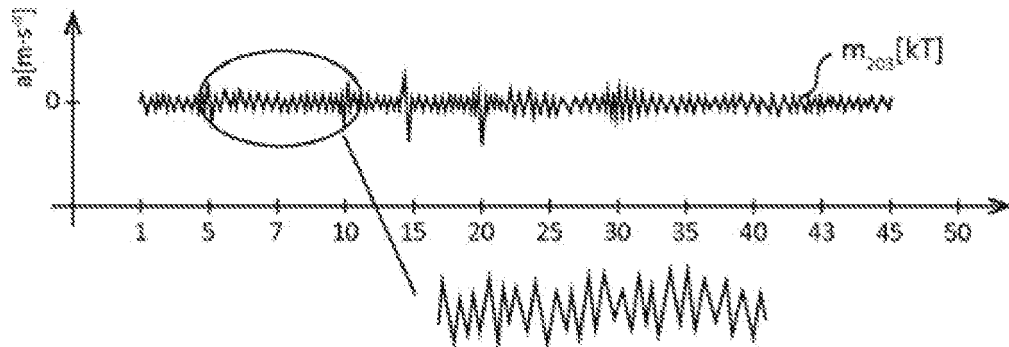
Obr. 52



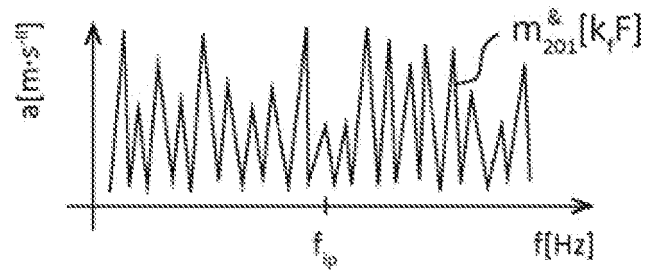
Obr. 53



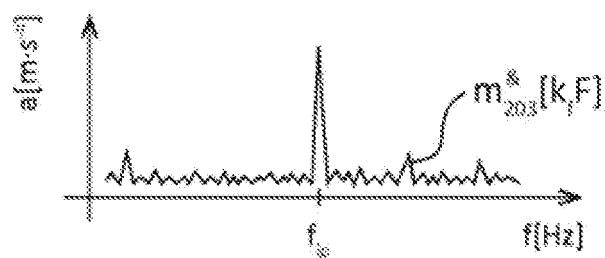
Obr. 54



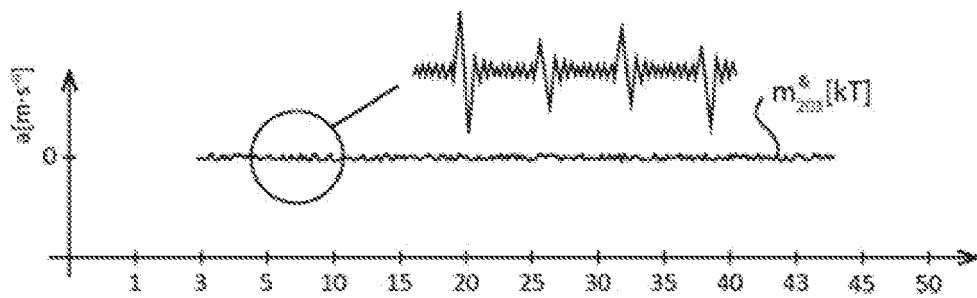
Obr. 55



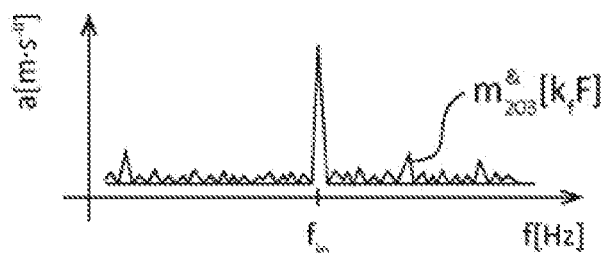
Obr. 56



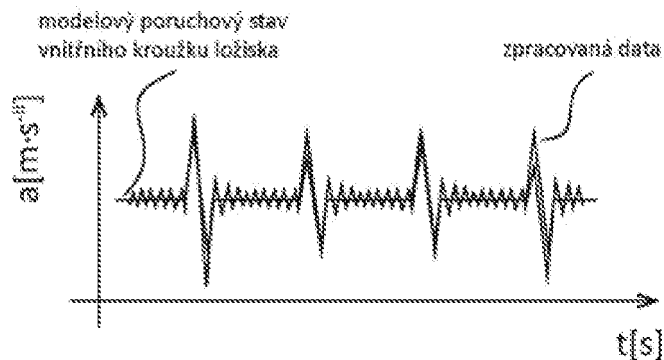
Obr. 57



Obr. 58

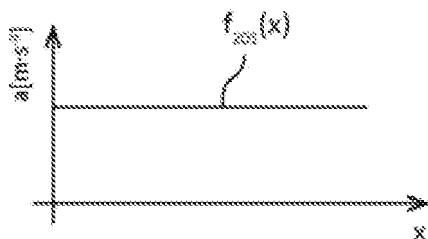


Obr. 59

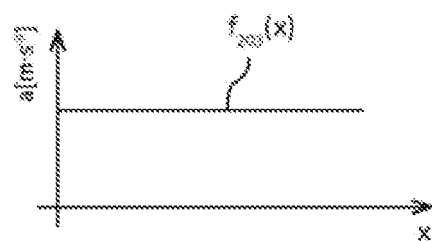


Obr. 60

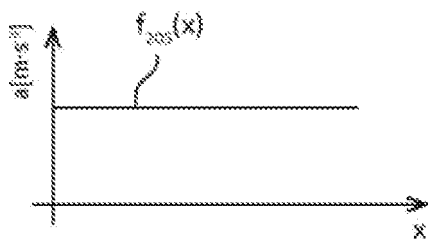
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 10-35



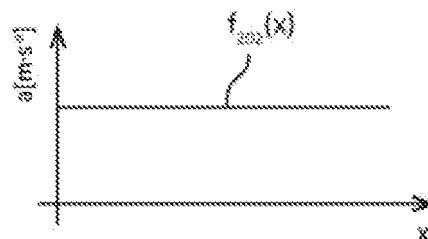
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 7-43



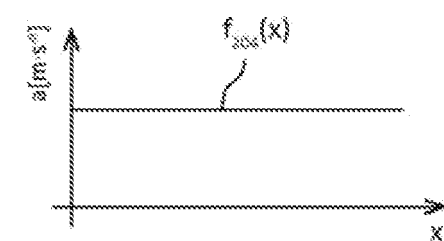
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 1-7



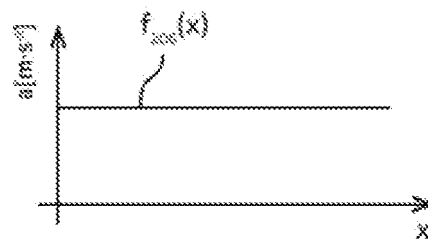
Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 10-35



Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 7-43

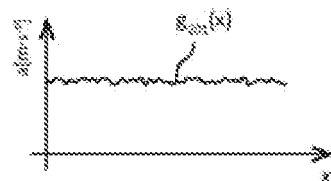


Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 1-7

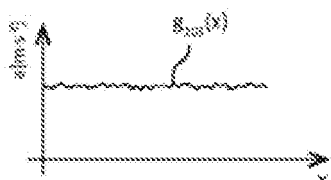


Obr. 61

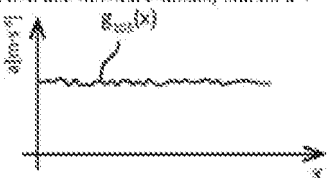
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 10-35



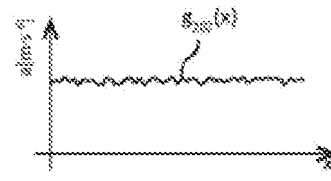
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 7-43



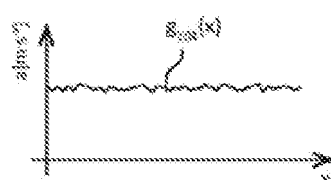
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 1-7



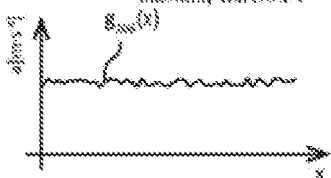
Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 10-35



Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 7-43

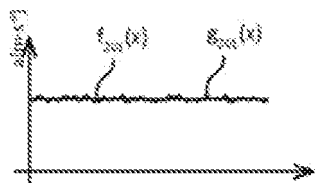


Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 1-7

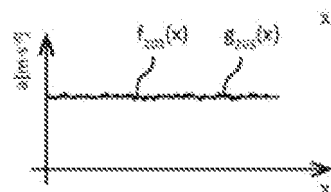


Obr. 62

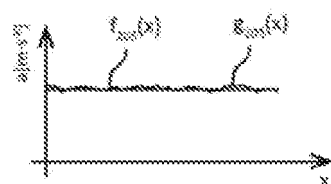
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 10-35



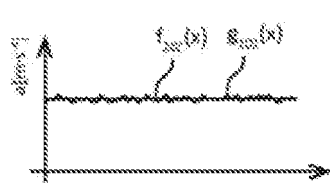
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 7-43



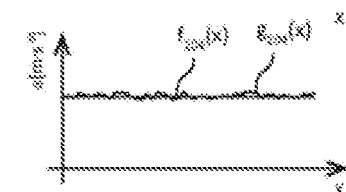
Rozdíl mezi minimální a maximální amplitudou signálu z akcelerometru zpracovaného dolní propustí s mezní frekvencí 100 Hz mezi okamžiky tváření 1-7



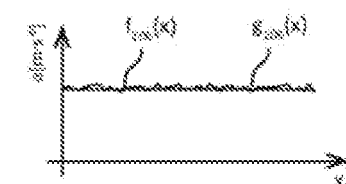
Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 10-35



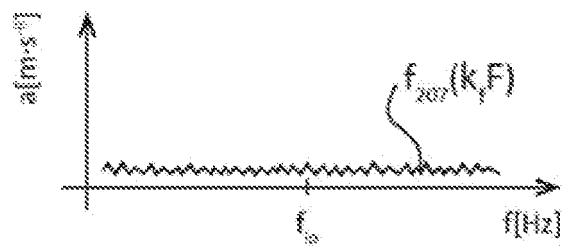
Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 7-43



Efektivní hodnota signálu z akcelerometru zpracovaného horní propustí s mezní frekvencí 20 kHz mezi okamžiky tváření 1-7



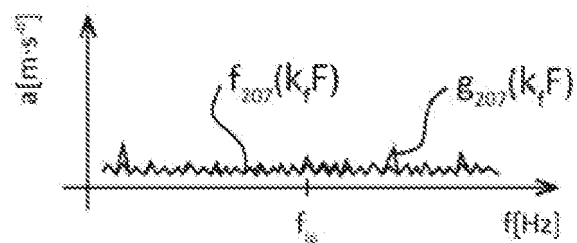
Obr. 63



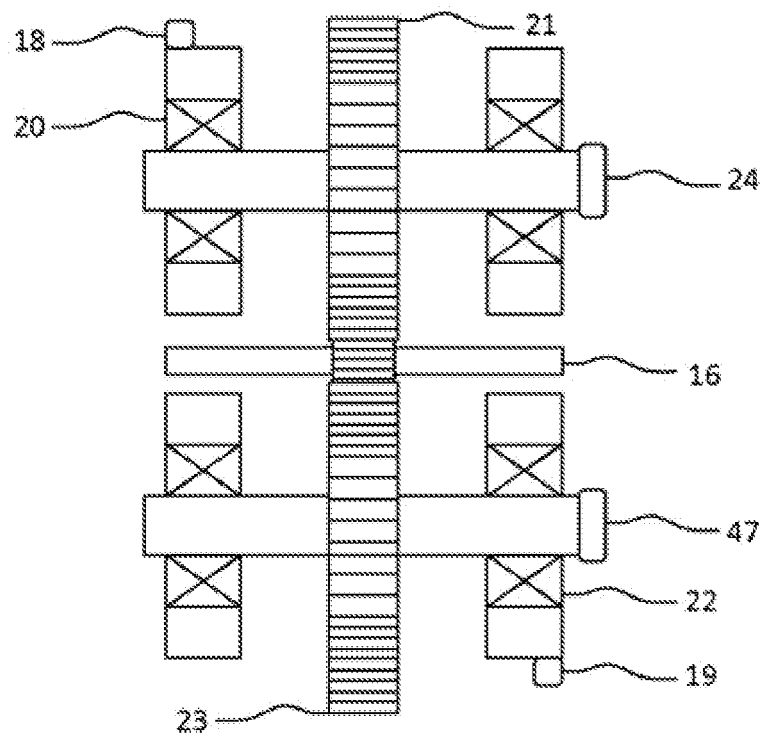
Obr. 64



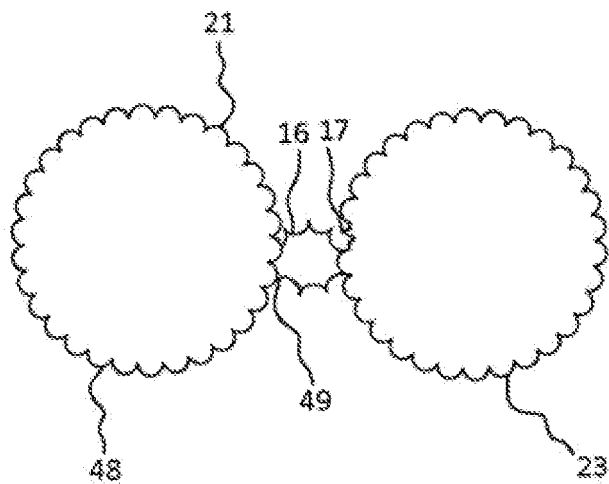
Obr. 65



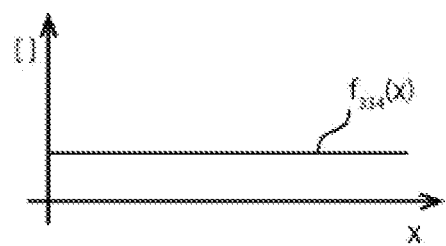
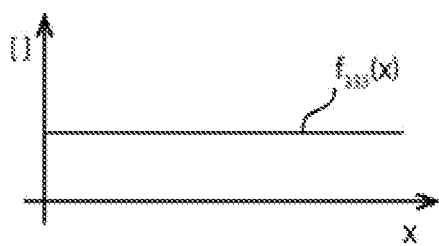
Obr. 66



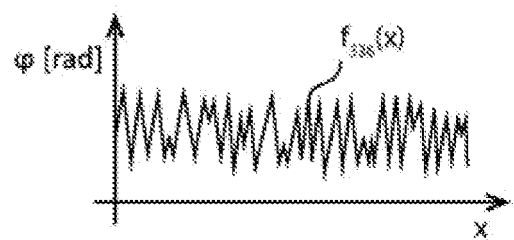
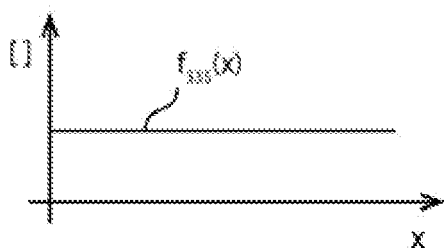
Obr. 67



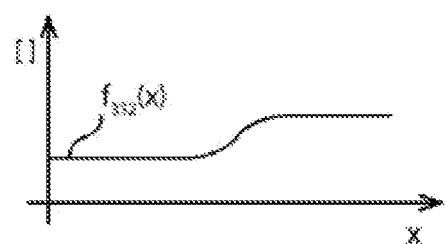
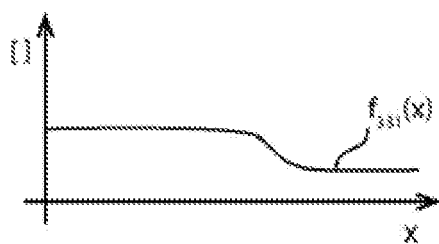
Obr. 68



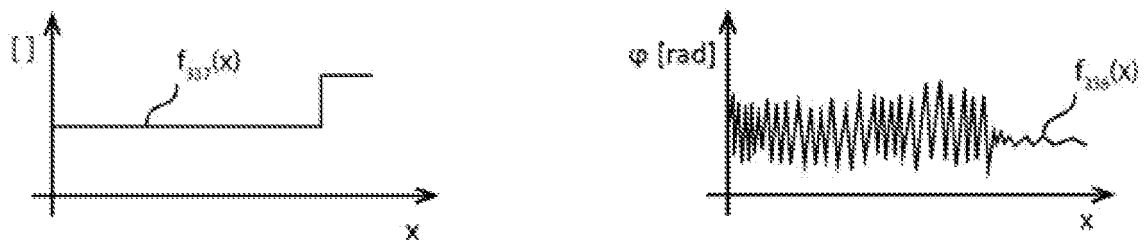
Obr. 69



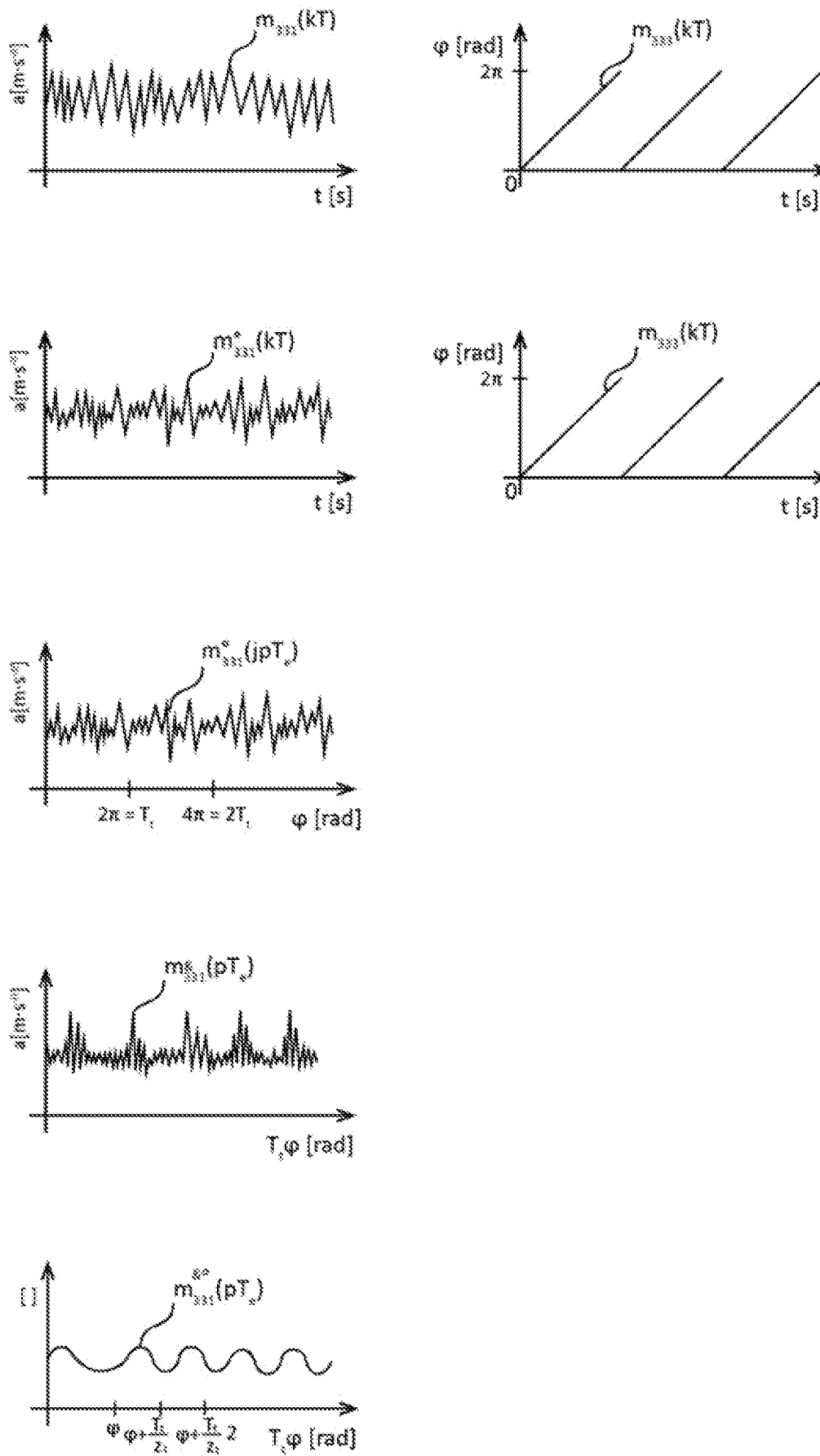
Obr. 70



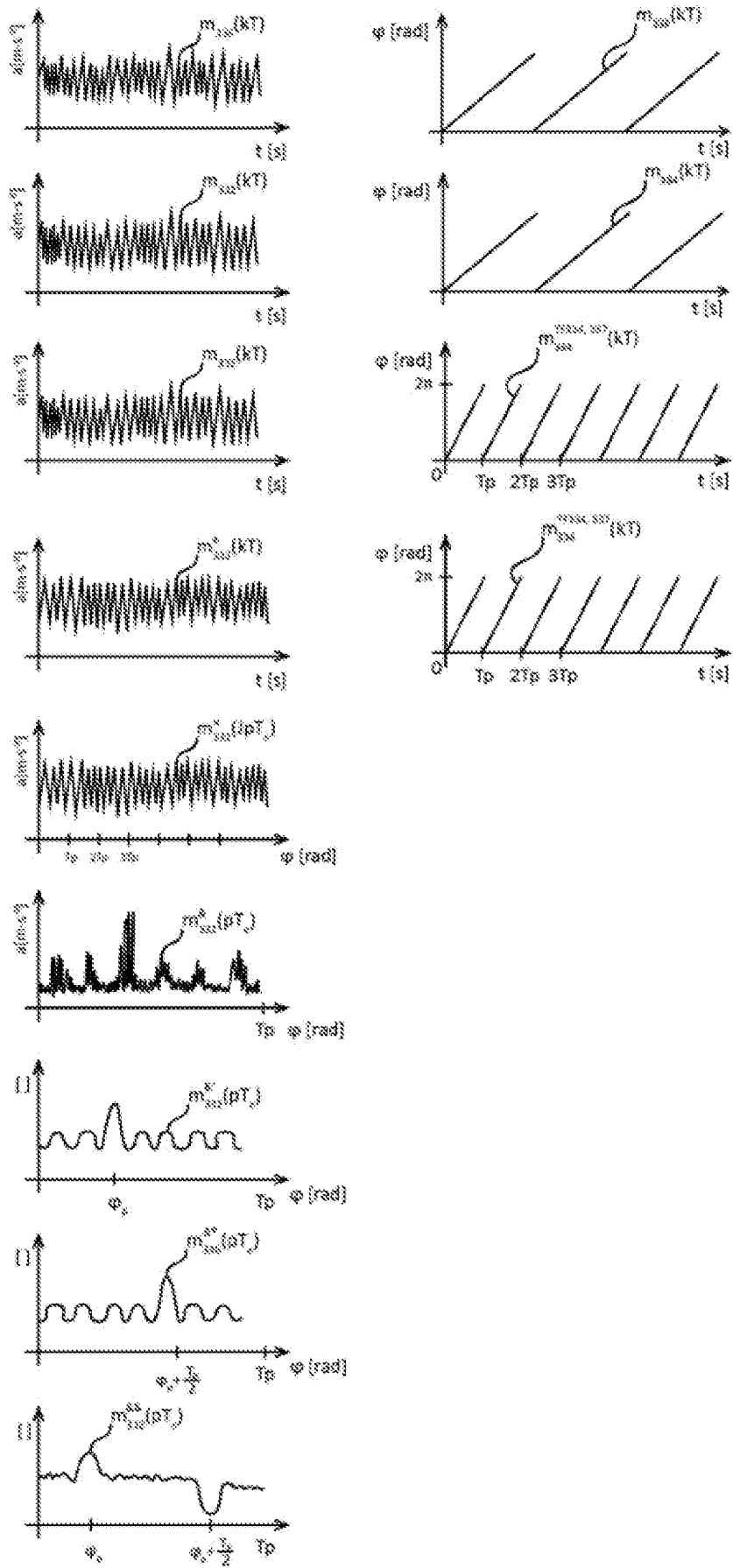
Obr. 71



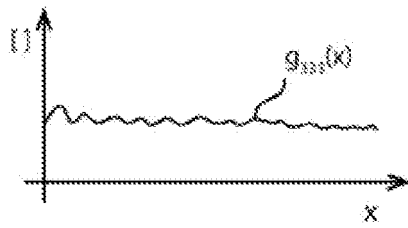
Obr. 72



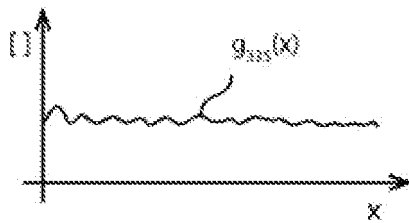
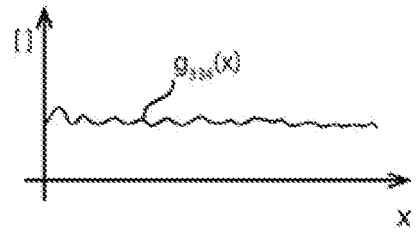
Obr. 73



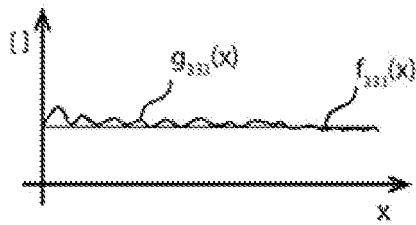
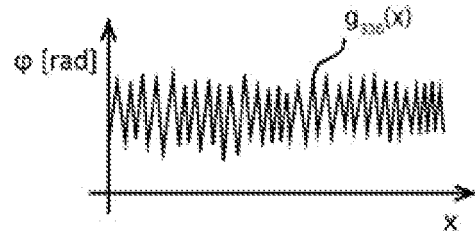
Obr. 74



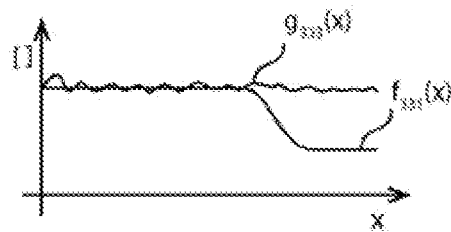
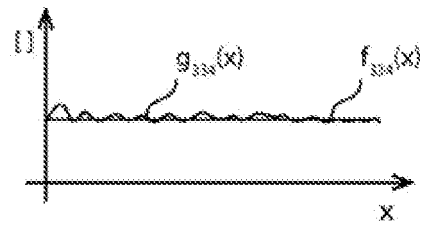
Obr. 75



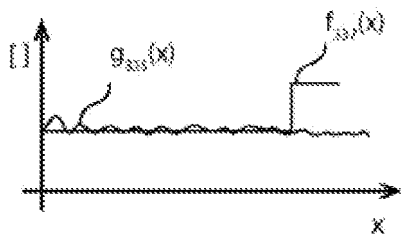
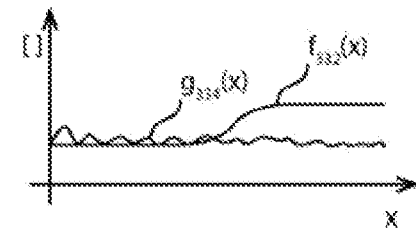
Obr. 76



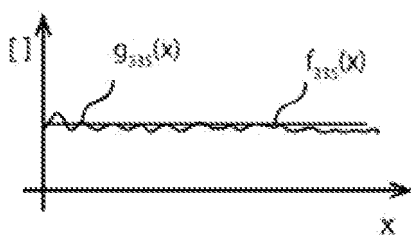
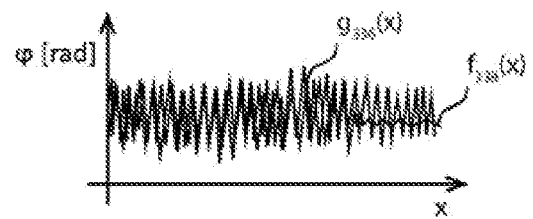
Obr. 77



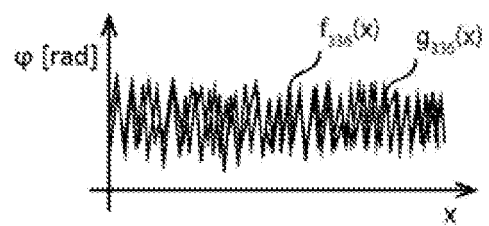
Obr. 78

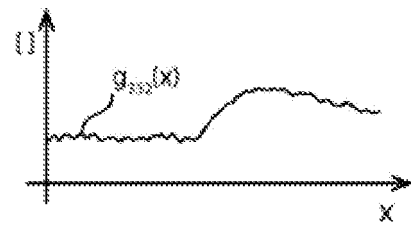
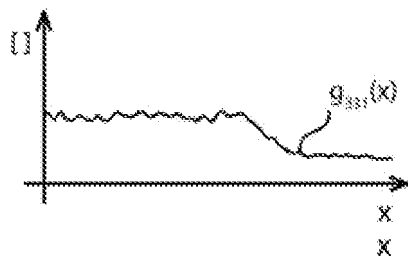


Obr. 79

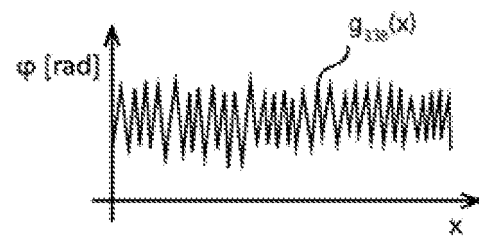
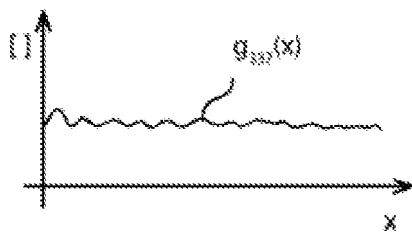


Obr. 80

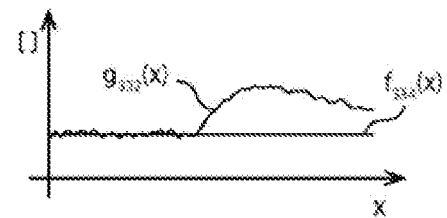
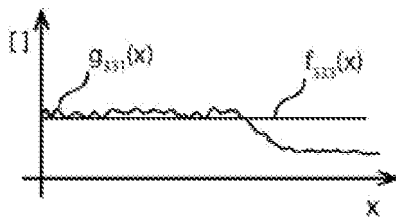




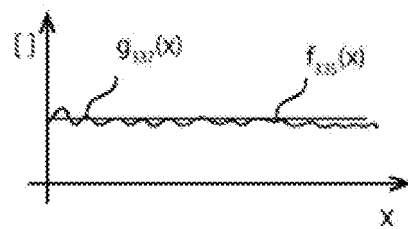
Obr. 81



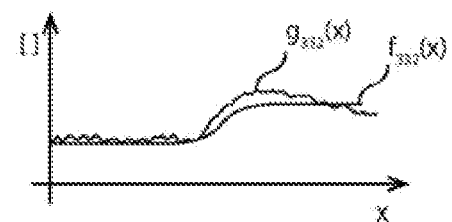
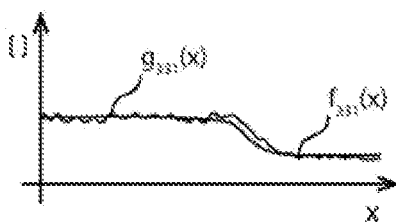
Obr. 82



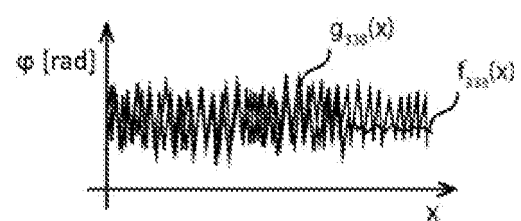
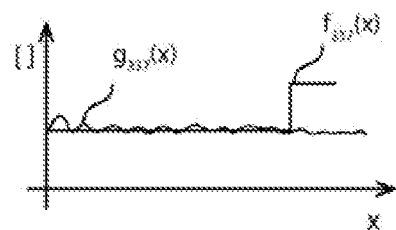
Obr. 83



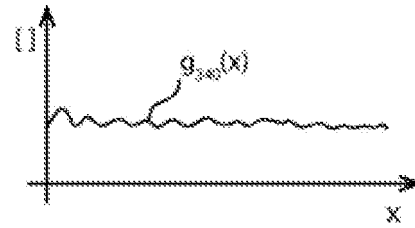
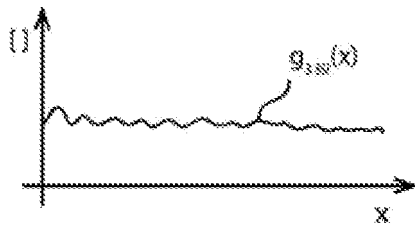
Obr. 84



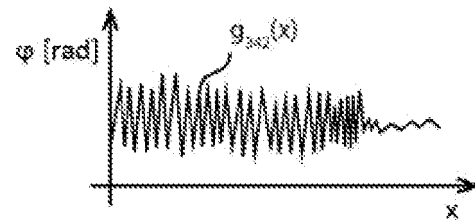
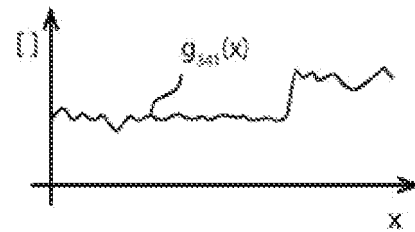
Obr. 85



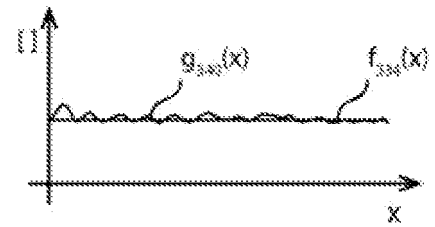
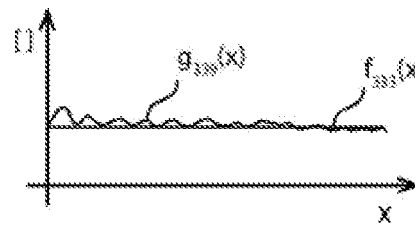
Obr. 86



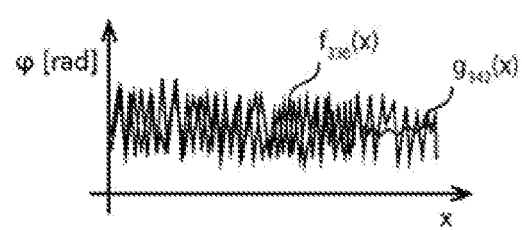
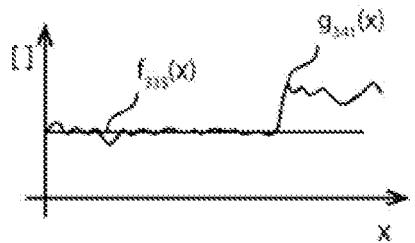
Obr. 87



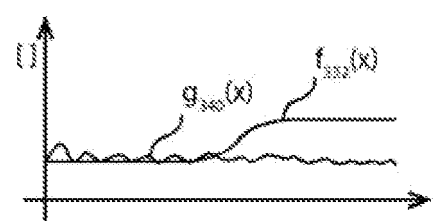
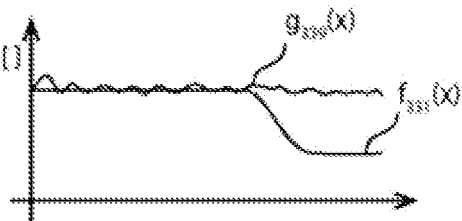
Obr. 88



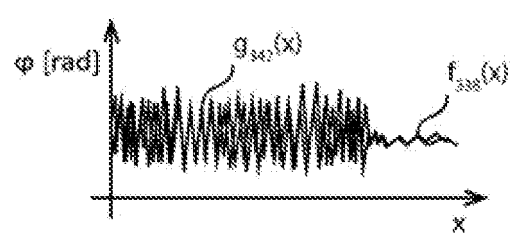
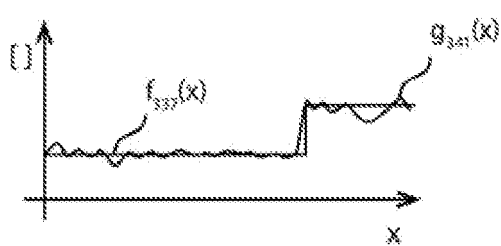
Obr. 89



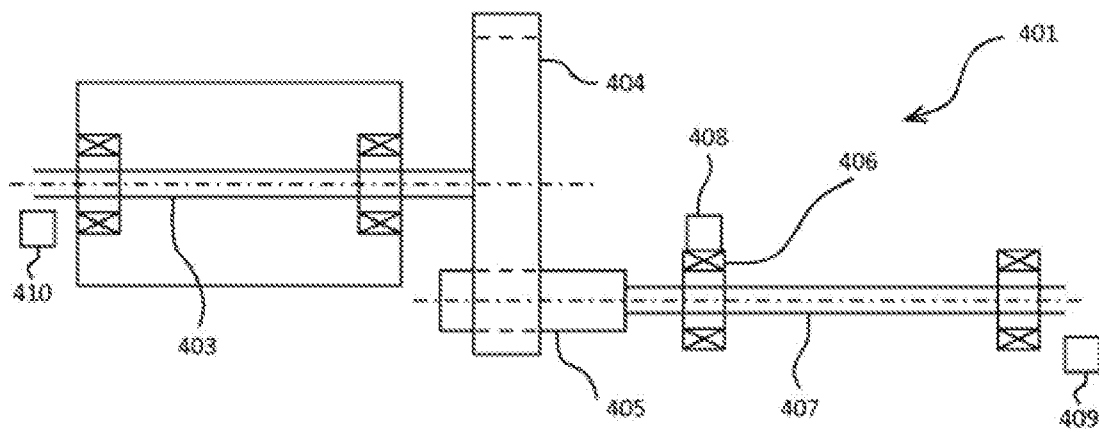
Obr. 90



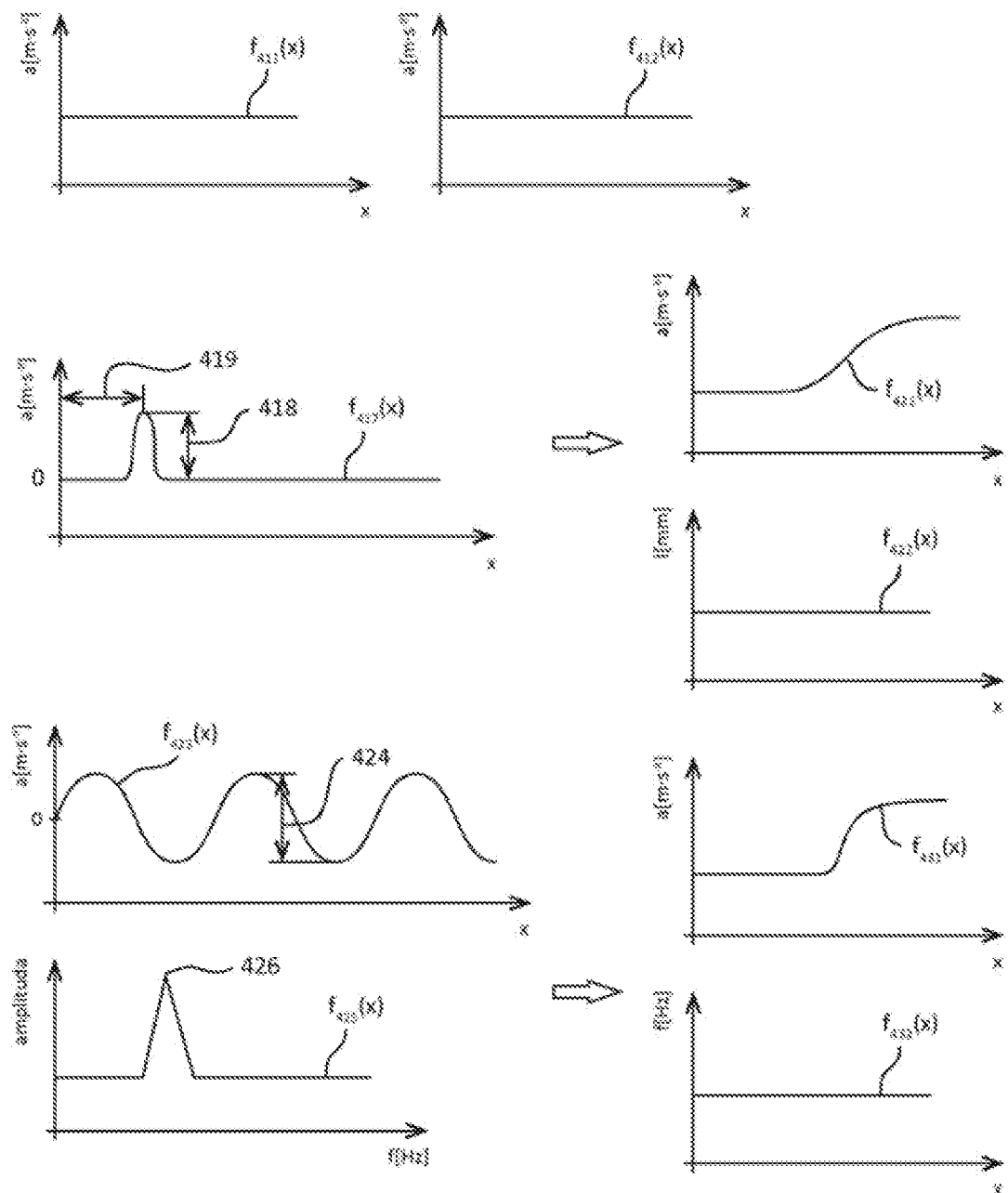
Obr. 91



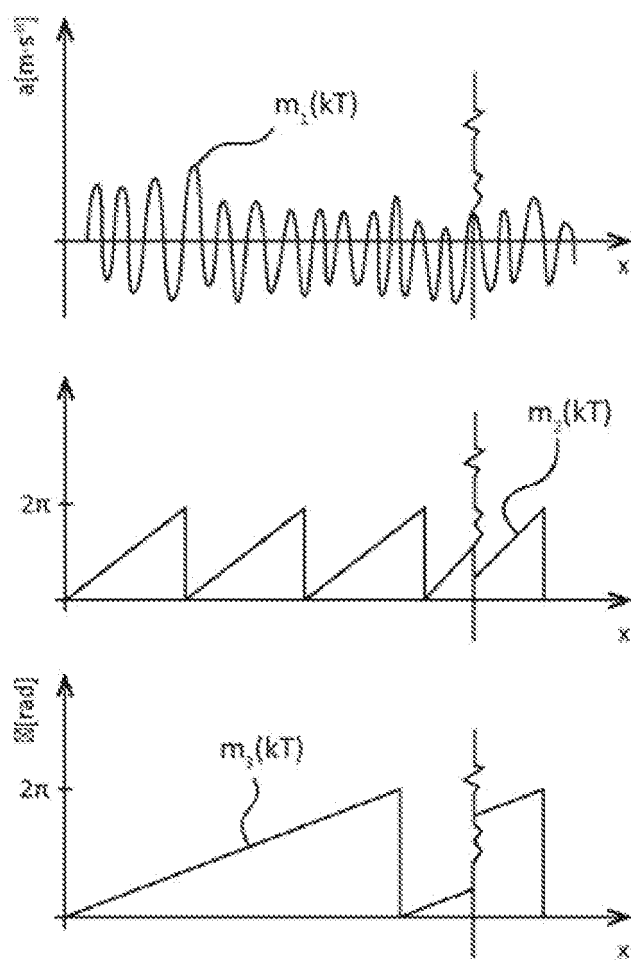
Obr. 92



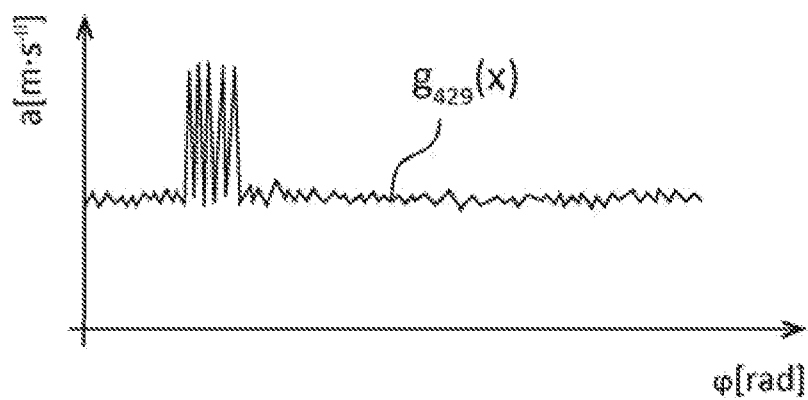
Obr. 93



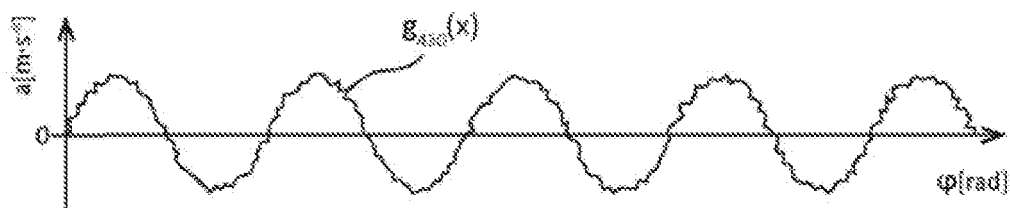
Obr. 94



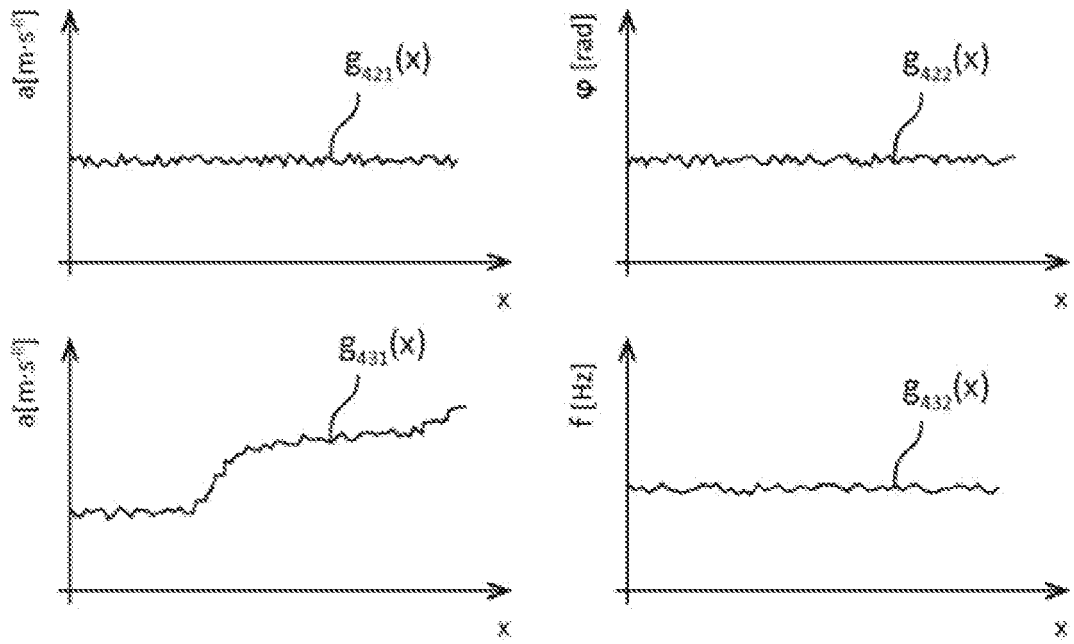
Obr. 95



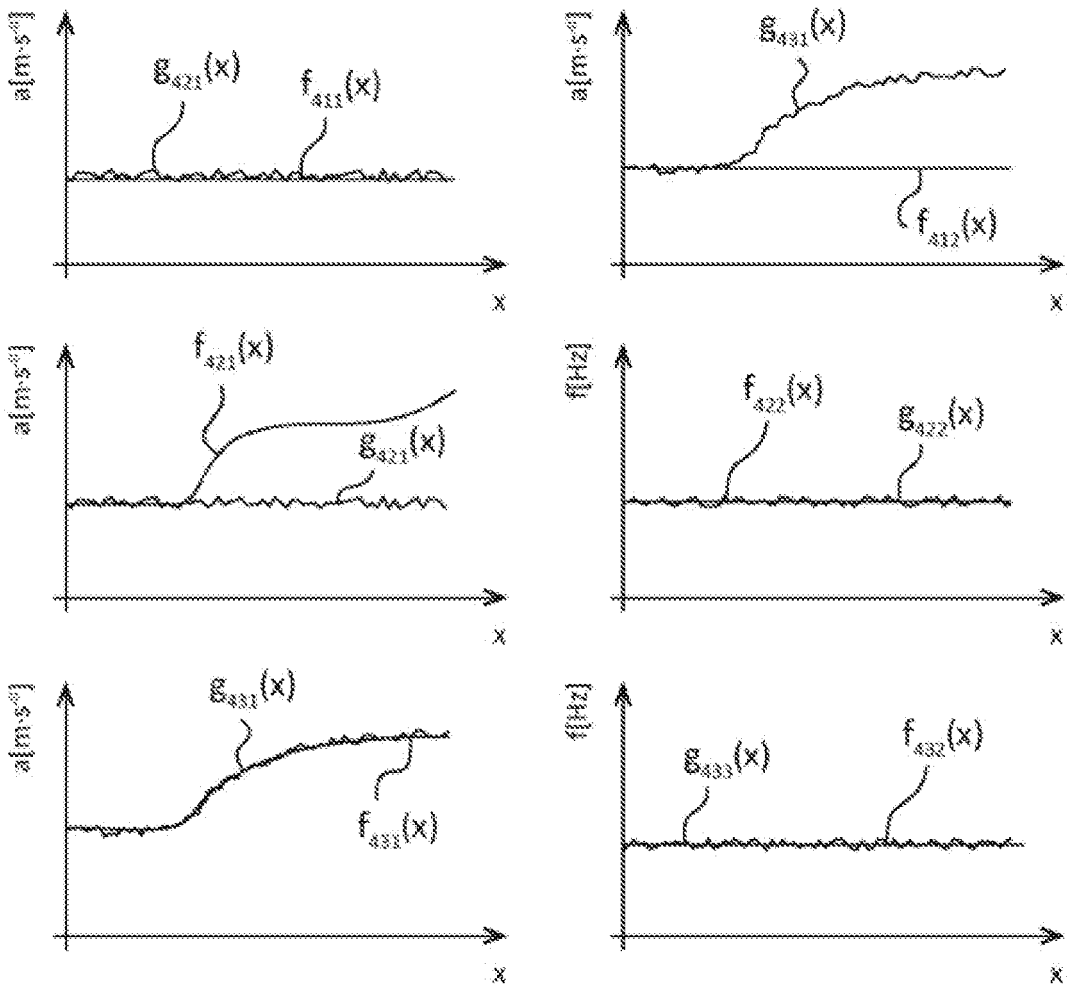
Obr. 96



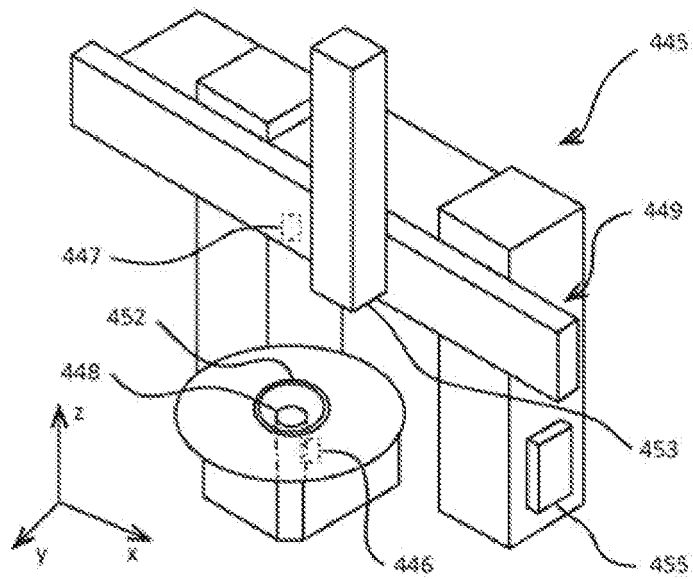
Obr. 97



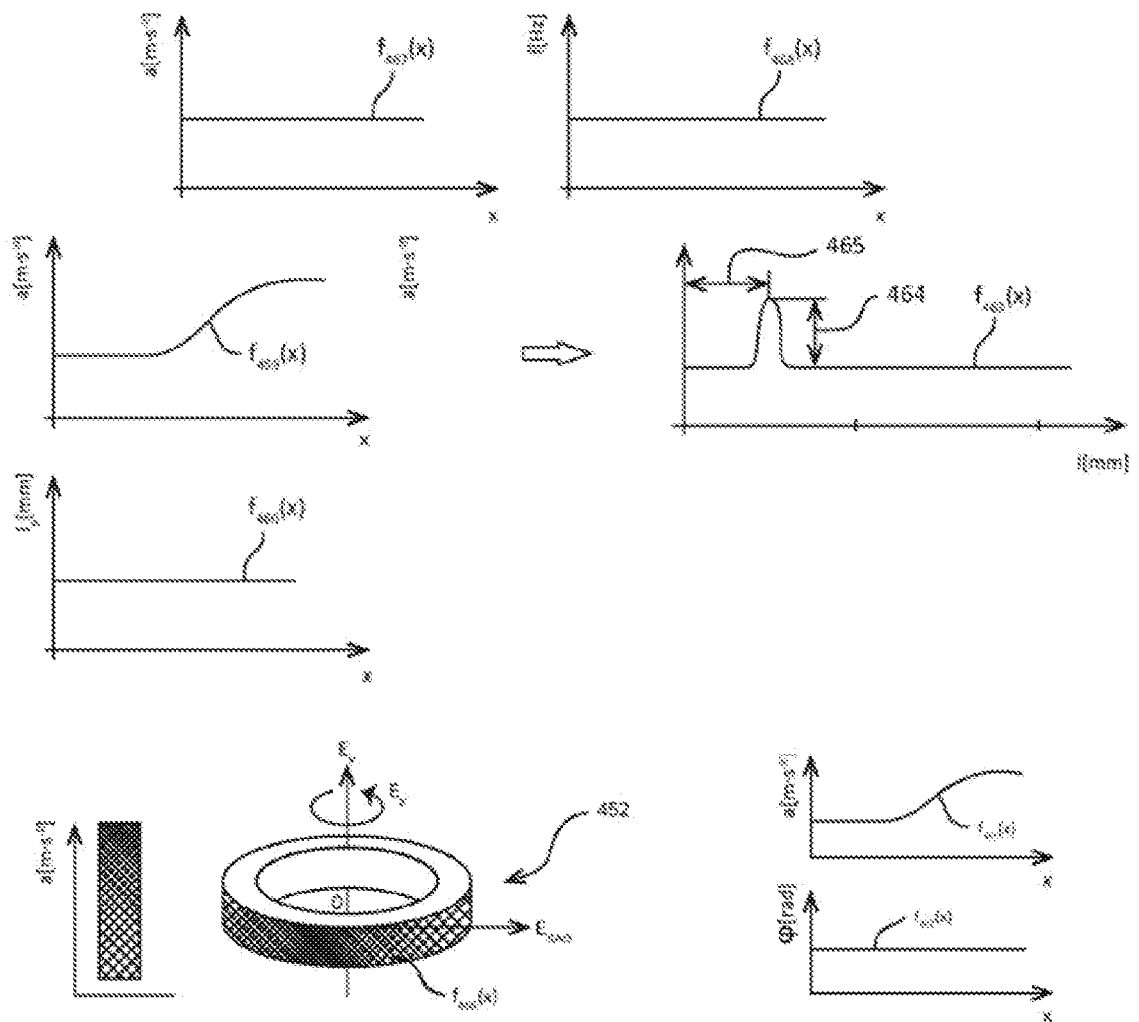
Obr. 98



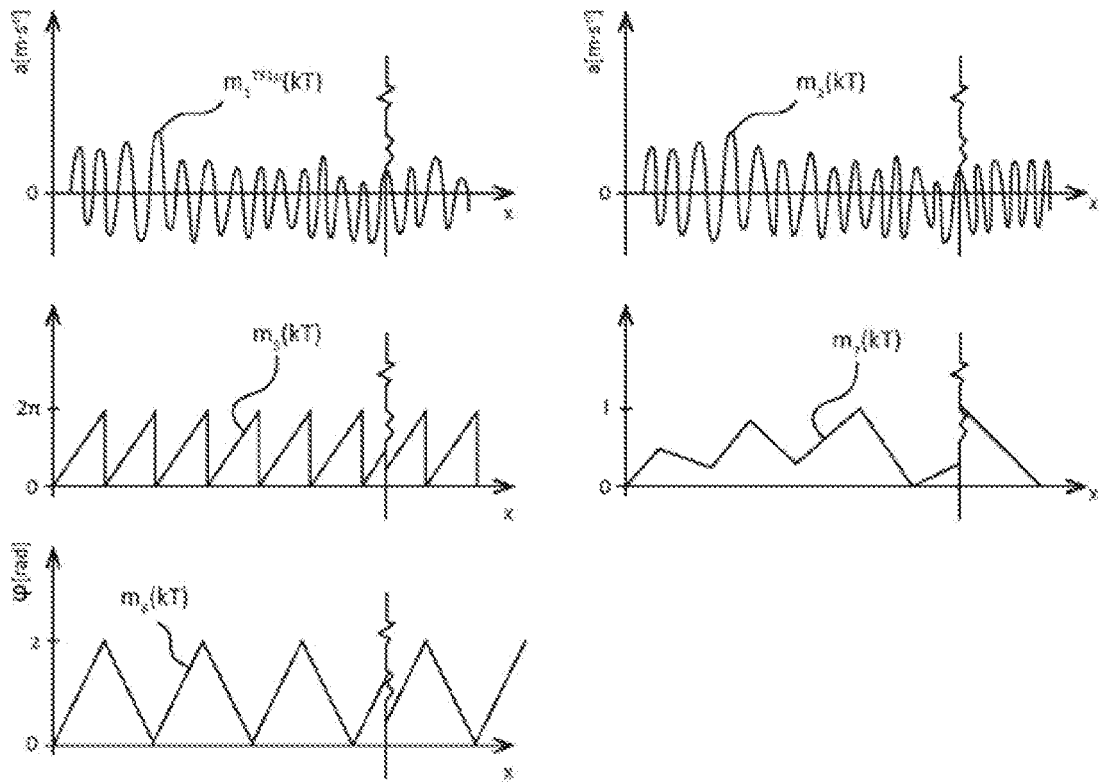
Obr. 99



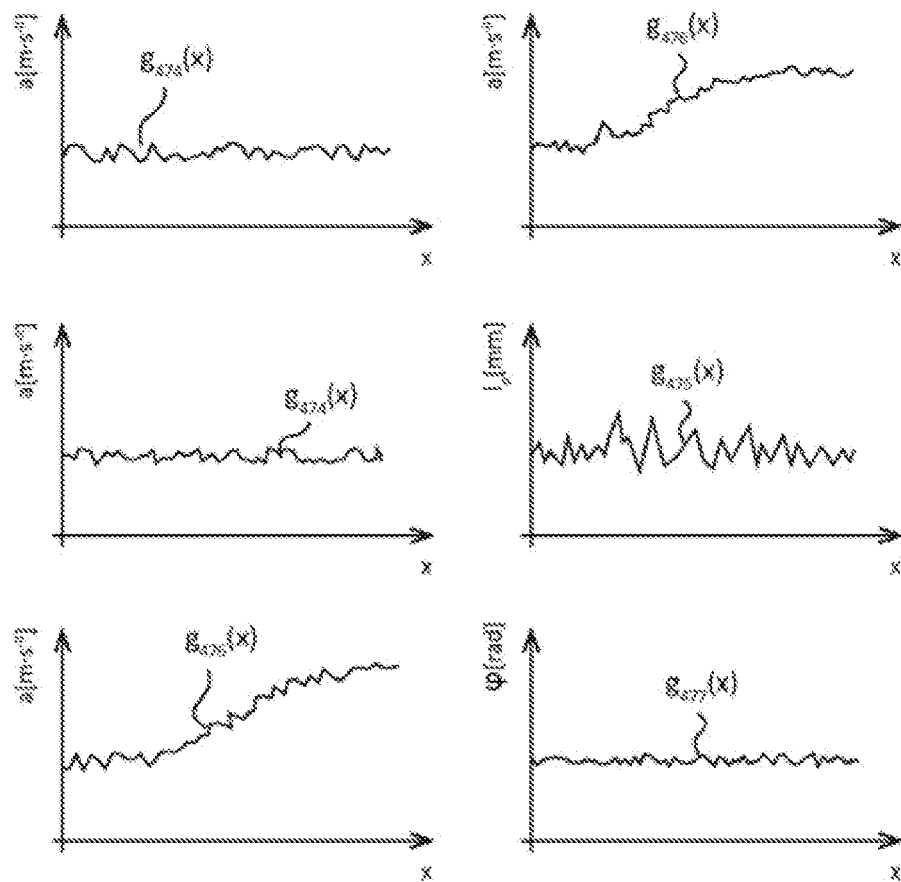
Obr. 100



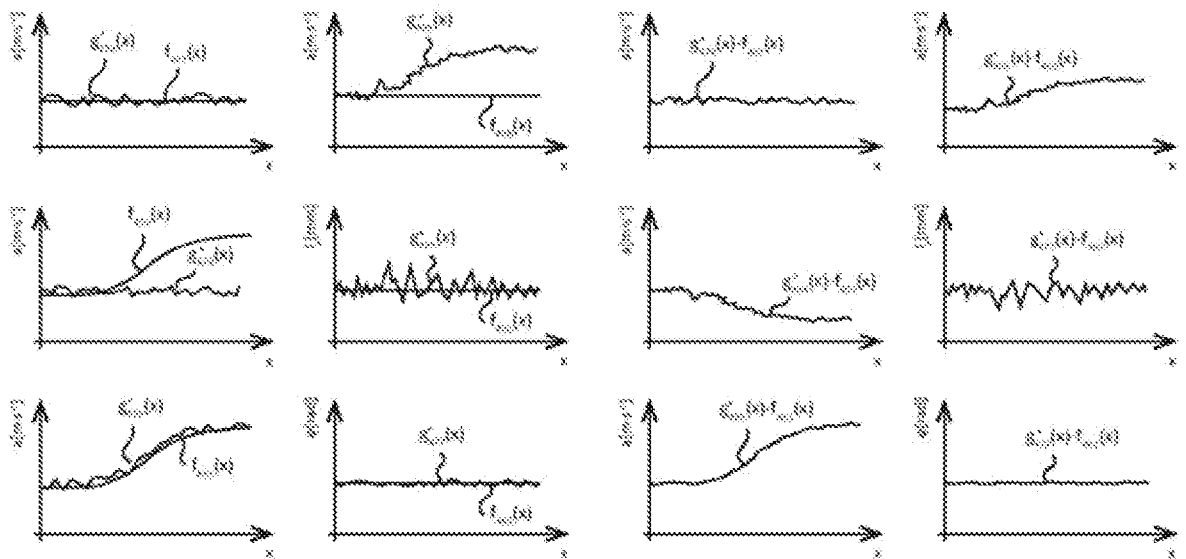
Obr. 101



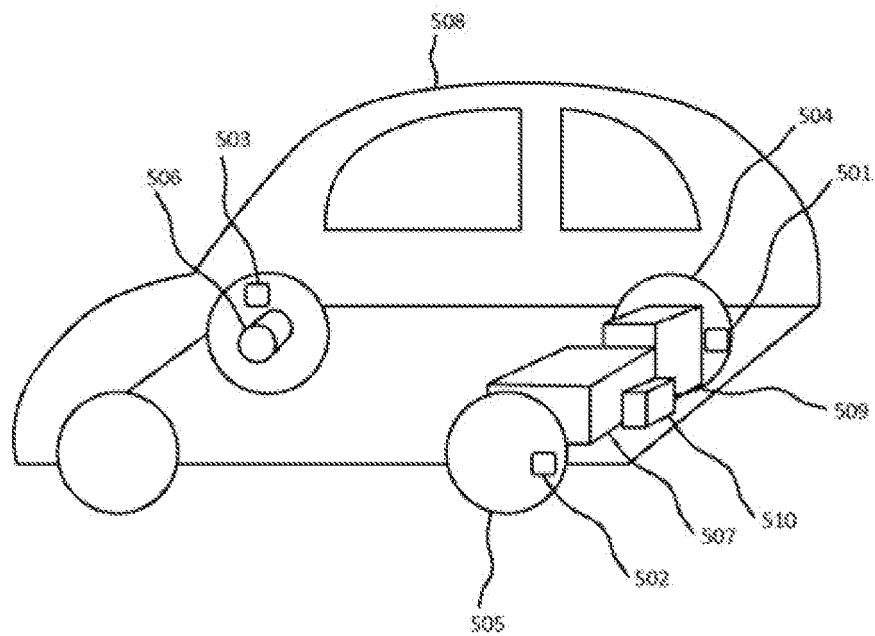
Obr. 102



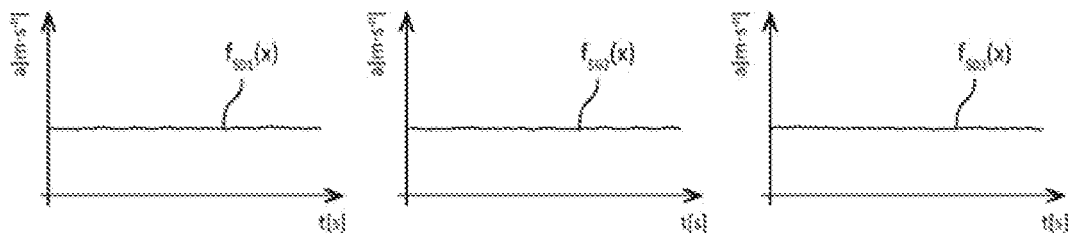
Obr. 103



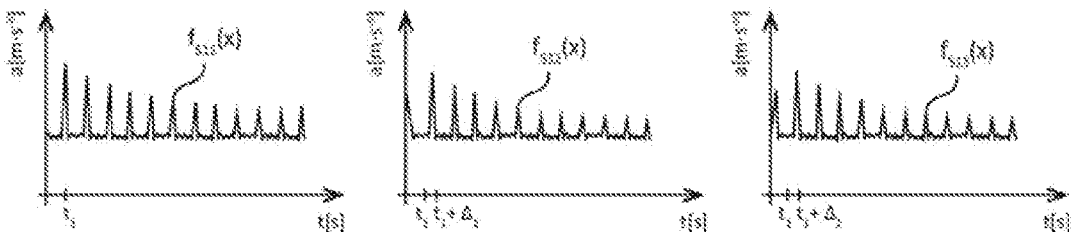
Obr. 104



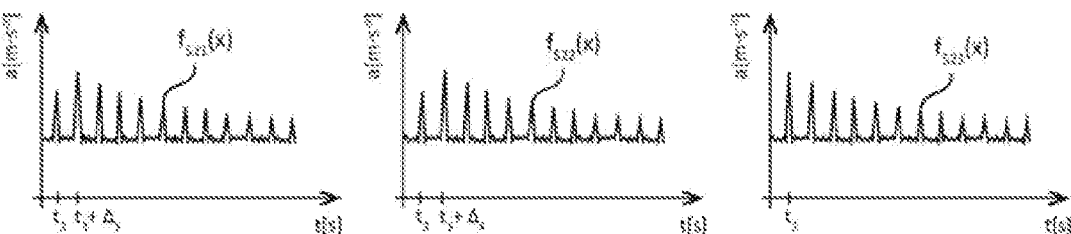
Obr. 105



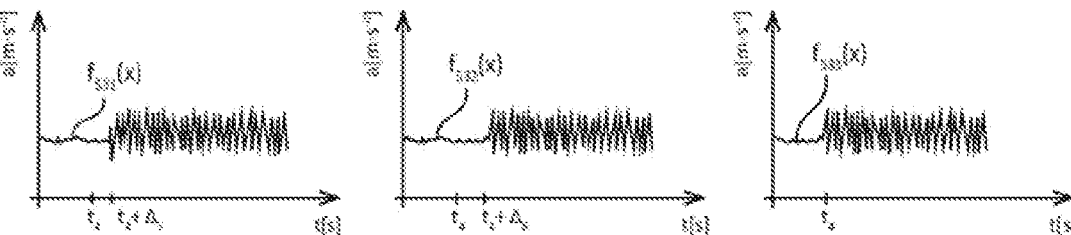
Obr. 106



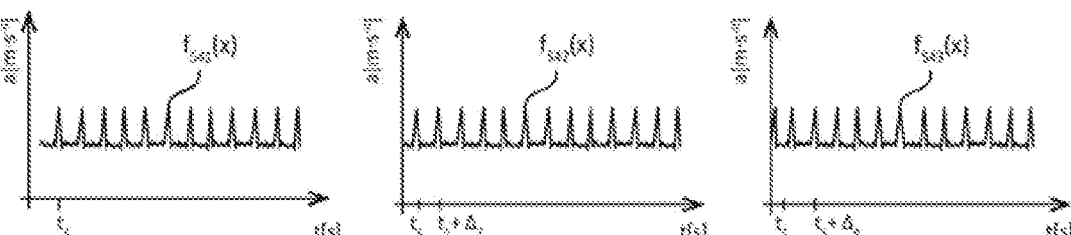
Obr. 107



Obr. 108



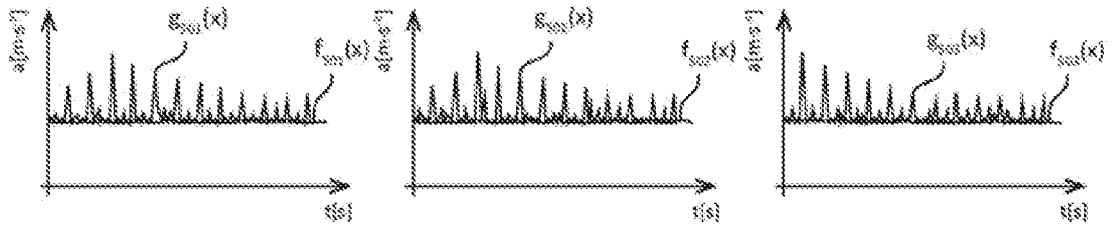
Obr. 109



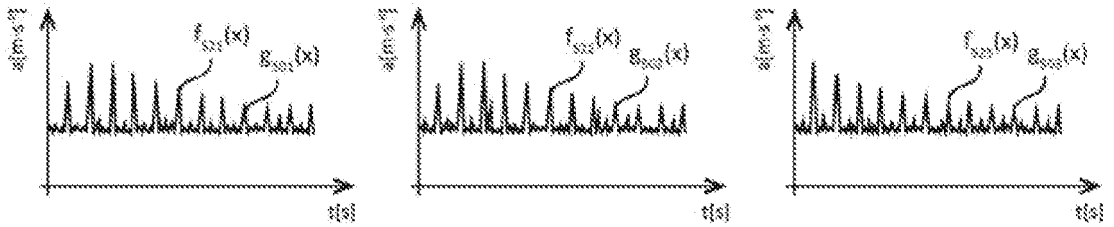
Obr. 110



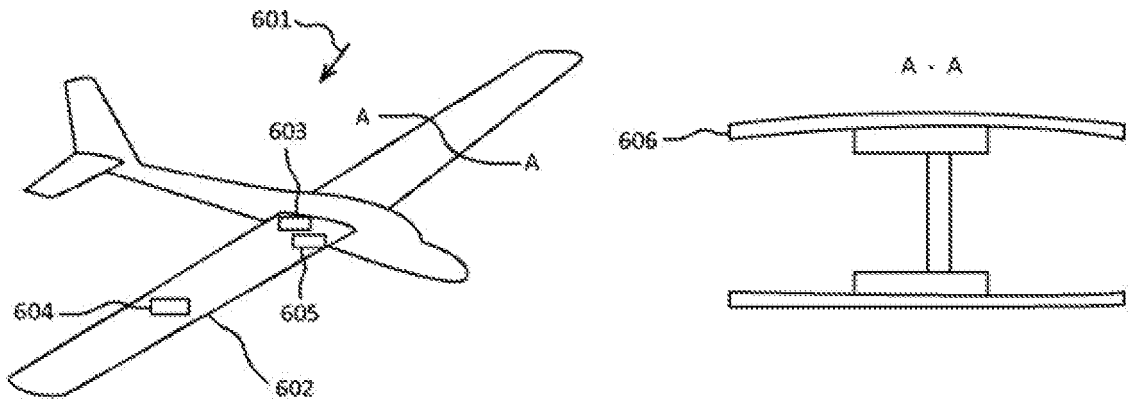
Obr. 111



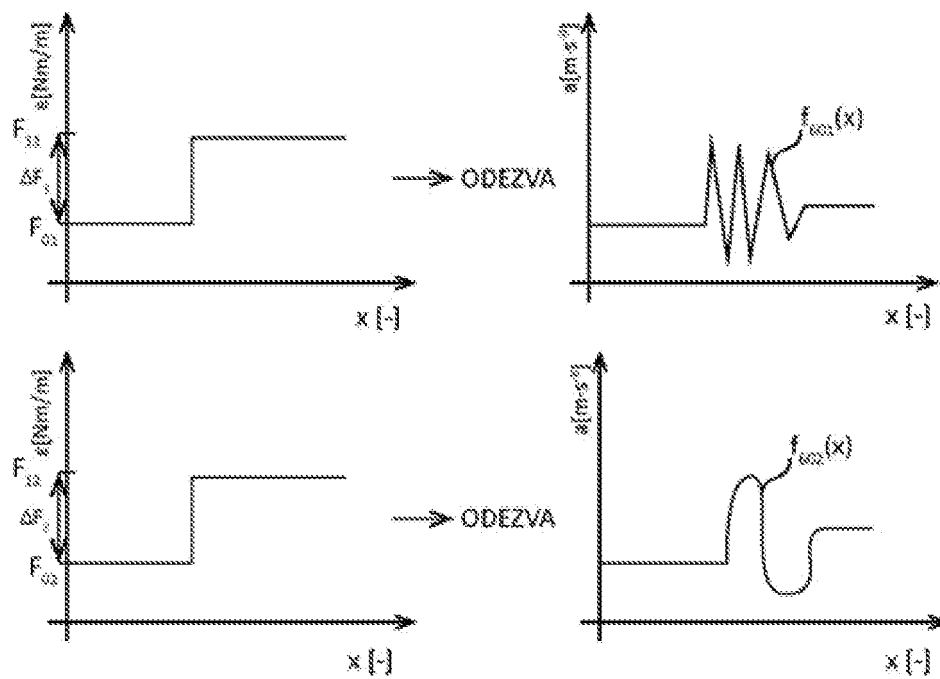
Obr. 112



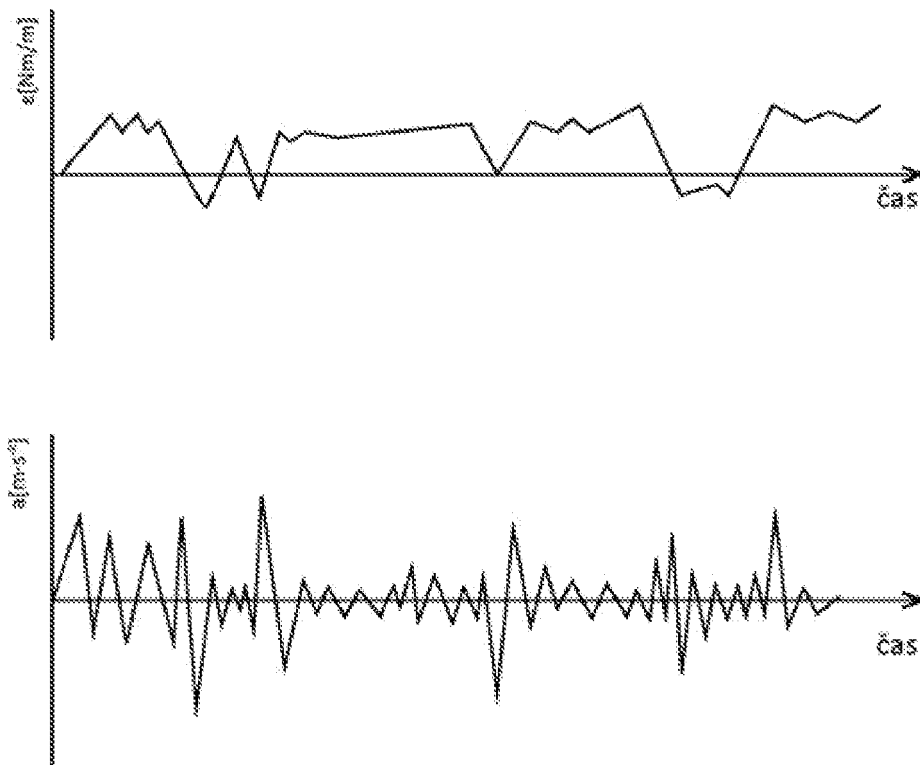
Obr. 113



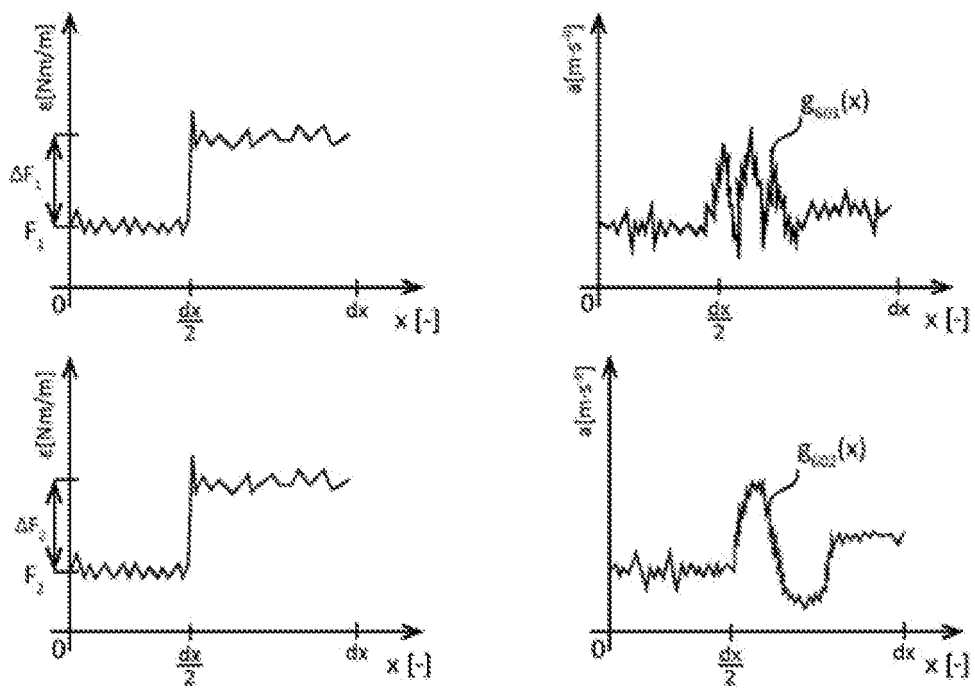
Obr. 114



Obr. 115



Obr. 116



Obr. 117