

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: 09.08.2002

(32) Datum podání prioritní přihlášky: 16.11.2001

(31) Číslo prioritní přihlášky: 2001/987913

(33) Země priority: US

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 13.08.2003
(Věstník č. 8/2003)

(21) Číslo dokumentu:

2002 - 2730

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl. ⁷:

G 01 B 21/16

G 01 B 15/00

(71) Přihlašovatel:

GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady, NY,
US;

(72) Původce:

Orenstein Robert M., Atlanta, GA, US;

(74) Zástupce:

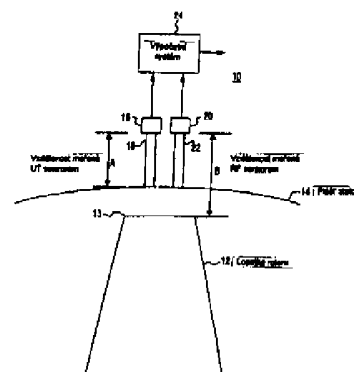
Čermák Karel Dr., Národní třída 32, Praha 1, 11000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Způsob a zařízení pro měření vůle lopatky
turbíny**

(57) Anotace:

Způsob určování vůle konce lopatky v plynové turbíně zahrnuje měření vzdálenosti (A) mezi ultrazvukovým senzorem (16) a povrchem (14) pláště statoru; dále měření vzdálenosti (B) mezi vysokofrekvenčním senzorem (20) a rotujícími konci (13) lopatek plynové turbíny; a dále odečítání vzdálenosti naměřené ultrazvukovým senzorem (16) od vzdálenosti naměřené vysokofrekvenčním senzorem (20). Zařízení zahrnuje ultrazvukový senzor pro měření vzdálenosti mezi povrchem (14) pláště statoru a ultrazvukovým senzorem (16), vysokofrekvenční senzor (20) pro měření vzdálenosti mezi rotujícími konci (13) lopatek plynové turbíny a vysokofrekvenčním senzorem (20); a výpočetní systém (24) pro přijímání a odečítání měření ultrazvukového senzoru (16) od měření vysokofrekvenčního senzoru (20).



ZPŮSOB A ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ VŮLE LOPATKY TURBÍNY

Oblast techniky

Předložený vynález se týká plynových turbín a konkrétně se týká hybridního senzoru pro měření vůle konce lopatek turbíny za využití vysokofrekvenčních a ultrazvukových snímačů.

Dosavadní stav techniky

V současné době se požaduje zvýšená účinnost plynových turbín. Měření vůle mezi pohybujícími se lopatkami rotoru a stacionárním pláštěm v kompresoru a sekci turbíny u plynových turbín se požaduje proto, že účinnost motorů s plynovou turbínou je závislá na, mezi jiným, vůli mezi konci jejich lopatek a skříní turbíny. Tudiž, zmenšení vůle sníží unikání plynu skrze konce profilu listu. Nicméně při určitých podmínkách motoru mohou profily listů a jejich příslušné disky vykazovat termický růst, čímž se zvyšuje riziko kontaktu s krytem.

Precizní měření vůle mezi konci rotujících lopatek a jejich příslušným krytem je nepostradatelné pro vývoj motorů s plynovou turbínou. Dosavadní přístup a systémy pro poskytnutí takového měření zahrnují sondu připevněnou na

kryt obklopující lopatky. Konec lopatky a sonda fungují jako dvě desky kondenzátoru, se sondou závislou na kapacitní změně vůle mezi lopatkou a krytem/sondou za účelem změření vůle konce lopatky.

Konkrétně kapacitní sonda vytváří část elektrického obvodu, ke kterému je poskytnut pomocí oscilátoru vysokofrekvenční elektrický signál. Vysokofrekvenční elektrický signál je amplituda modulovaná změnami elektrické kapacity při průchodu konců lopatek kolem sondy. Na základě změn v amplitudě signálu se spočte mezera mezi konci lopatek a sondou, aby bylo možné určit vůli konce lopatky. Bohužel kapacitní měření jsou nepříznivě ovlivňována přítomností sousedního elektrického nebo magnetického pole, stejně tak jako změnami objemu vody v plynech proudících mezi konci lopatek a sondou. Další nevýhodou tohoto přístupu je to, že sonda musí být umístěna blízko aktivní oblasti turbíny, což samozřejmě snižuje životnost sondy.

U jiného přístupu je pro změření vzdálenosti mezi elektrodou (sondou) a konci lopatky použito napětí elektrické jiskry. Zde jsou měření nepříznivě ovlivňována změnami tlaku a/nebo objemu vody v plynech proudících mezi konci lopatky a sondou. Elektrická jiskra může též způsobit poškození procházejících konců lopatek.

V ještě jiném přístupu jsou pozorované změny v síle magnetického pole v okamžiku, kdy konce lopatek míjí magnetickou sondu, které jsou úměrné mezeře mezi sondou a konci lopatek. Tento způsob není typicky používán v plynových turbínách kvůli malé frekvenční odezvě v porovnání s kapacitními technikami. Tento přístup je též podroben omezením vyjmenovaným v souvislosti s ostatními

přístupy, jež byly uváděny výše.

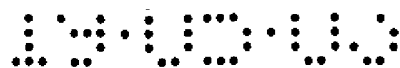
Optické techniky jsou též požity pro měření vůle konců lopatek turbíny. Ačkoliv optické techniky vykazují výhody, že mohou být použity v přítomnosti měnícího se elektrického nebo magnetického pole, zatímco dosahují rychlejšího reakčního času, tyto optické techniky jsou citlivé na nečistoty nebo olejové sedimenty na optickém systému, čímž se zhoršuje kvalita odrazu.

Cílem předloženého vynálezu je nezbytná potřeba překonat problémy spojené s dosavadními přístupy tak, aby bylo možné změřit vůli konce lopatky (tj. vzdálenosti mezi koncem lopatky a povrchem pláště statoru).

Podstata vynálezu

Předložený vynález se tudíž týká způsobu a zařízení pro určení vzdálenosti mezi rotujícími konci lopatek a povrchem pláště statoru za využití dvou různých zdrojů energie a přidruženou soustavou zpracování signálu.

Vysokofrekvenční energie (RF) a technologie zpracování radarového signálu jsou použity pro měření vzdálenosti ze statického snímače směrem k pohybující se kovové lopatce. Tato technika tudíž nabízí výhodu umístění senzoru a přidružené elektroniky dále od aktivní oblasti turbíny, čímž narůstá životnost senzoru. Keramický nebo jiný nevodivý materiál může být použit jako vlnovod pro nasměrování RF energie směrem k a od snímače. RF energie je odražena od procházejících lopatek a může být tudíž vypočtena vzdálenost



mezi koncem lopatky a RF snímačem. Nicméně, při použití výše uvedeného, není změřena vzdálenost mezi koncem lopatky a povrchem pláště statoru.

Konkrétně, vůle mezi pohybujícími se lopatkami rotoru a stacionárním pláštěm u kompresoru a turbínového prostoru plynové turbíny je dosaženo použitím zařízení hybridního senzoru. RF energie je použita pro změření vzdálenosti mezi koncem lopatky a RF snímačem, jak je popsáno výše, a ultrazvuková energie je použita pro měření vzdálenosti mezi pláštěm statoru a ultrazvukovým (UT) snímačem. RF snímač a UT snímač jsou vhodně umístěny ve stejné radiální vzdálenosti od osy turbíny. Vzdálenost mezi povrchem pláště statoru a UT snímačem se odečte od vzdálenosti mezi koncem lopatky a RF snímačem, to vše za účelem určení vůle konce lopatky. Odečtení se vhodně provede za použití elektronické soustavy.

V širším aspektu, předložený vynález poskytuje způsob pro určení vůle konce lopatky u plynové turbíny, kterýžto způsob obsahuje (a) měření vzdálenosti mezi ultrazvukovým senzorem a povrchem pláště statoru; (b) měření vzdálenosti mezi vysokofrekvenčním senzorem a rotujícími konci lopatek plynové turbíny; a (c) použití vzdálenosti naměřené v kroku (a) a vzdálenosti naměřené v kroku (b) pro určení vůle konce lopatky v plynové turbíně. Krok (a) dále obsahuje požití ultrazvukového snímače pro nasměrování ultrazvukové energie směrem k povrchu pláště statoru a pro přijmutí odražené ultrazvukové energie; a poskytnutí měření v reálném čase procesoru. Krok (b) dále obsahuje použití vysokofrekvenčního snímače pro nasměrování vysokofrekvenční energie směrem k rotujícím koncům lopatek plynové turbíny a pro přijmutí odražené vysokofrekvenční energie; a poskytnutí měření



v reálném čase procesoru.

Ultrazvukový vlnovod je vhodně použit pro nasměrování ultrazvukové energie mezi ultrazvukovým snímačem a povrchem pláště statoru. Vysokofrekvenční vlnovod je vhodně použit pro nasměrování vysokofrekvenční energie mezi vysokofrekvenčním snímačem a rotujícími konci lopatek plynové turbíny. Vysokofrekvenční vlnovod je vhodně vyroben z keramických materiálů. Jak ultrazvukový senzor, tak i vysokofrekvenční senzor, jsou vhodně umístěny ve stejné radiální vzdálenosti od vztažného bodu plynové turbíny, vztažným bodem bývá osa rotoru.

Podle dalšího aspektu předložený vynález poskytuje zařízení pro určení vůle konce lopatky v plynové turbíně, kteréžto zařízení obsahuje: ultrazvukový senzor pro měření vzdálenosti mezi povrchem pláště statoru a pozicí ultrazvukového senzoru a poskytnutí prvního signálního ukazatele; vysokofrekvenční senzor pro měření vzdálenosti mezi rotujícími konci lopatek a pozicí vysokofrekvenčního senzoru a poskytnutí druhého signálního ukazatele; a procesor pro přijmutí a zpracování prvního a druhého signálu za účelem určení vůle konce lopatek plynové turbíny. Zařízení dále zahrnuje ultrazvukový vlnovod pro směrování ultrazvukové energie mezi ultrazvukovým senzorem a povrchem pláště statoru, kde první konec ultrazvukového vlnovodu je připevněn k ultrazvukovému senzoru a protilehlý konec je vytvořen jako integrální část povrchu pláště. Zařízení dále zahrnuje vysokofrekvenční vlnovod pro směrování vysokofrekvenční energie mezi vysokofrekvenčním senzorem a rotujícími konci lopatek plynové turbíny.

Podle dalšího aspektu předloženého vynálezu způsob pro

určení vzdálenosti mezi koncem rotující lopatky a povrchem pláště statoru plynové turbíny obsahuje: (a) měření vzdálenosti mezi ultrazvukovým snímačem a povrchem pláště statoru; (b) měření vzdálenosti mezi vysokofrekvenčním snímačem a koncem rotující lopatky plynové turbíny; a (c) využití vzdálenosti naměřené v kroku (a) a vzdálenosti naměřené v kroku (b) pro určování vzdálenosti mezi koncem lopatky a povrchem pláště statoru.

Podle dalšího aspektu předložený vynález poskytuje plynovou turbínu vykazující stator, který vykazuje povrch pláště statoru; množství rotujících lopatek s příslušnými konci lopatek; první prostředek pro měření vzdálenosti mezi povrchem statoru a prvním prostředkem; druhý prostředek pro měření vzdálenosti mezi rotujícími konci lopatek a druhým prostředkem; prostředek pro přijímání a použití měření provedených prvním a druhým prostředkem za účelem určení vůle konce lopatky plynové turbíny. Zařízení dále obsahuje prostředek pro směrování ultrazvukové energie mezi prvním prostředkem a povrchem pláště statoru a prostředek pro směrování vysokofrekvenční energie mezi druhým prostředkem a rotujícími konci lopatek plynové turbíny. Vhodně jak první tak i druhý prostředek jsou umístěny ve stejné radiální vzdálenosti od referenčního bodu plynové turbíny, tímto referenčním bodem bývá osa rotou plynové turbíny.

Podle dalšího aspektu předloženého vynálezu hybridní senzor pro určení vůle mezi konci lopatek rotoru a pláštěm statoru plynové turbíny obsahuje: ultrazvukový senzor pro měření vzdálenosti mezi povrchem pláště statoru a ultrazvukovým senzorem; vysokofrekvenční senzor pro měření vzdálenosti mezi rotujícími konci lopatek a vysokofrekvenčním senzorem; a procesor pro přijímání a

využívání měření ultrazvukovým senzorem a měření vysokofrekvenčním senzorem pro určení vůle konce lopatky plynové turbíny.

Podle ještě dalšího aspektu předloženého vynálezu způsob činnosti plynové turbíny obsahuje kroky: a) použití ultrazvukového snímače pro generování prvního signálního ukazatele vzdálenosti mezi povrchem pláště statoru a pozicí ultrazvukového snímače; b) použití vysokofrekvenčního (RF) snímače pro generování druhého signálního ukazatele vzdálenosti mezi rotujícími konci lopatek a pozicí RF snímače, poloha ultrazvukového snímače a poloha RF snímače je v podstatě ve stejné radiální vzdálenosti od referenčního bodu plynové turbíny a c) použití prvního a druhého signálu pro určení vůle mezi konci lopatek a povrchem pláště statoru.

Podle ještě dalšího aspektu předloženého vynálezu způsob činnosti plynové turbíny obsahuje kroky: a) použití prvního senzoru pro generování prvního signálního ukazatele vzdálenosti mezi povrchem pláště statoru a polohou prvního senzoru; b) použití druhého senzoru pro generování druhého signálního ukazatele vzdálenosti mezi rotujícími konci lopatek a polohou druhého senzoru, poloha prvního senzoru a poloha druhého senzoru je v podstatě ve stejné radiální vzdálenosti od referenčního bodu plynové turbíny a c) použití prvního a druhého signálu pro určení vůle mezi konci lopatek a povrchem pláště statoru.

Podle jednoho provedení předloženého vynálezu se způsob a zařízení podle předloženého vynálezu použijí pro měření vůle konce lopatky v parní turbíně, podle různých aspektů předloženého vynálezu.

Podle dalšího provedení předloženého vynálezu se způsob a zařízení podle předloženého vynálezu použije pro měření vůle konce lopatky v kompresoru, podle různých aspektů předloženého vynálezu.

Podle dalšího aspektu předložený vynález poskytuje hybridní senzor pro určení vůle mezi pohybujícími se lopatkami rotoru a stacionárním pláštěm v kompresoru a turbínových sekcích plynové turbíny, ve shodě s různými aspekty předloženého vynálezu.

Přehled obrázků na výkresech

Předložený vynález bude blíže vysvětlen prostřednictvím podrobného popisu příkladů jeho konkrétních provedení ve spojení s připojenou výkresovou dokumentací, ve které představuje:

obr. 1 schématické znázornění zařízení pro měření vzdálenosti ve shodě s příkladným provedením předloženého vynálezu;

obr. 2 ilustraci systému pro určování vůle konce lopatky z měření provedeného za použití zařízení na obrázku 1; a

obr. 3 ilustraci vývojového diagramu pro určení vůle konce lopatky ve shodě s předloženým vynálezem jak je znázorněno obrázcích 1-2;

obr. 4 velmi schématickou ilustraci plynové turbíny zahrnující zařízení znázorněné na obrázku 1;

obr. 5 znázornění zařízení jak je představeno na obrázku 1 pro měření vůle konce lopatky v parní turbíně;

obr. 6 ilustraci zařízení jež je znázorněno na obrázku 1 pro měření vůle konce lopatky v kompresoru.

Příklady provedení vynálezu

Obrázek 1 představuje schématické znázornění zařízení 10 ve shodě s příkladným provedením předloženého vynálezu. Zařízení 10 zahrnuje ultrazvukový snímač (UT snímač) 16 umístěný sousedně povrchu 14 pláště statoru plynové turbíny. Tento UT snímač je také alternativně označován jako ultrazvukový senzor („UT senzor“). Dále je sousedně povrchu 14 pláště statoru poskytnut ultrazvukový vlnovod 18 (UT vlnovod) za účelem nasměrování ultrazvukové energie z uvedeného UT snímače 16 směrem k povrchu 14 pláště statoru a naopak. Jeden konec UT vlnovodu 18 je vhodně pevně připevněn k UT snímači 16, zatímco opačný konec je vyroben jako integrální část povrchu 14 pláště. UT vlnovod 18 je vyroben z materiálů, jako jsou například kov, keramika, polymer, za účelem nasměrování energie směrem k a směrem od snímače. Materiály použité pro výrobu vlnovodu musí vykazovat následující vlastnosti: (a) materiál nesmí ztlumit ultrazvukovou energii na požadovanou vzdálenost od UT senzoru k povrchu pláště; (b) materiál musí být odolný v prostředí kompresoru nebo turbíny (schopnost odolat teplotě, vibracím atd.) - tento požadavek by závisel na

konkrétním axiálním umístění v plynové turbíně, parní turbíně, nebo kompresoru, kde je senzor použit; (c) materiál musí být měkčí než je materiál lopatky, protože vlnovod musí být poddajný pro případ, že by se špička lopatky dostala do kontaktu s pláštěm. UT snímač 16 je použit pro určení vzdálenosti mezi povrchem 14 pláštěm statoru a polohou UT snímače 16, tato vzdálenost je obecně označena jako „A“.

Zařízení 10 dále zahrnuje vysokofrekvenční (RF) snímač 20 umístěný sousedně povrchu 14 pláště statoru. RF vlnovod 22 směřuje RF energii z RF snímače 20 směrem k rotujícím lopatkám 12 plynové turbíny 11 (obrázek 4) a naopak, aby byla změřena radiální vzdálenost ke konci rotujících lopatek 12. RF snímač je též alternativně označován jako RF senzor. Z důvodu jednoduchosti je na obrázku 1 znázorněna jedna samostatná lopatka 12. Mělo by být rozuměno, že turbína vhodně obsahuje množství takovýchto lopatek.

RF vlnovod 22 je vhodně umístěn tak, že jeden jeho konec je připevněn k RF snímači 20, zatímco opačný konec je vytvořen jako integrální část povrchu 14 pláště. Pro výrobu RF vlnovodu 22 je vhodně použit keramický nebo jiný nevodivý materiál. Poněvadž je RF vlnová délka relativně dlouhá, RF senzor může být umístěn dále od aktivní sekce turbíny, čímž narůstá životnost senzoru. RF a UT snímače jsou vhodně umístěny ve stejné radiální vzdálenosti od vztažného bodu plynové turbíny, tímto vztažným bodem typicky bývá osa rotoru plynové turbíny. RF snímač 20 je použit k určení vzdálenosti mezi konci rotujících lopatek plynové turbíny a pozicí RF snímače 20, tato vzdálenost je zde obecně označena jako „B“.

Výpočetní systém 24 (obrázek 2) vykazuje procesor 26 a

databázi 28. Výpočetní systém 24 přijímá signály z UT snímače 16 a RF snímače 20, aby určil vůli konce lopatky. Měření A a B jsou poskytnuta výpočetnímu systému 24 a jsou uložena v databázi 28. Procesor 26 může být naprogramovaný na odečítání vzdálenosti (A) (tj. vzdálenosti mezi povrchem pláště statoru a UT snímačem 16) od vzdálenosti (B) (tj. vzdálenosti mezi koncem lopatky a RF snímačem), tedy poskytuje měření vůle konce lopatky v reálném čase. Výstup výpočetního systému 24 poskytuje hodnotu označující vůli konce lopatky. Výpočetní systém 24 může také varovat operátora, pomocí vizuálního nebo audio signálu, v případě, že konec lopatky se dostane do kontaktu s pláštěm.

Obrázek 3 představuje vývojový diagram ilustrující různé kroky zahrnuté při určování vůle konce lopatky ve shodě s příkladným provedením předloženého vynálezu. Při činnosti je ultrazvuková energie z UT senzoru 16 směřována přes UT vlnovod 18 směrem k povrchu 14 pláště statoru, za účelem určení vzdálenosti (A) mezi UT snímačem a povrchem pláště statoru, jak je obecně vyznačeno v kroku 29. Podobně je RF energie z RF snímače 20 směřována přes RF vlnovod 22 směrem k rotujícím lopatkám 12 plynové turbíny, za účelem určení vzdálenosti (B) mezi RF snímačem a koncem rotujících lopatek, jak je vyznačeno v kroku 30. Signály představující vzdálenosti (A) a (B) jsou použity, jak je znázorněno v kroku 31, ve výpočetním systému 24 (obrázek 2) a jsou uloženy v databázi 28 a uložená data jsou dostupná procesoru 26, jak je znázorněno v kroku 32, za účelem určení vůle konce lopatky, tj. difference mezi rotující lopatkou 13 a povrchem 14 pláště statoru (obrázek 1).

Obrázek 4 znázorňuje jiné provedení předloženého vynálezu, kde velmi schématická plynová turbína 11 vykazuje

zařízení 10 pro měření vůle konce lopatky, jak je znázorněno na obrázku 1.

Obrázek 5 znázorňuje jiné provedení předloženého vynálezu, kde velmi schématická parní turbína 33 vykazuje zařízení 10 pro měření vůle konce lopatky, jak je znázorněno na obrázku 1. Obrázek 5 znázorňuje, z důvodu jednoduchosti, část parní turbíny. Zde jsou RF a UT snímače vhodně umístěny ve stejné radiální vzdálenosti od vztažného bodu parní turbíny, tímto vztažným bodem typicky bývá osa rotoru parní turbíny.

Obrázek 6 znázorňuje ještě jiné provedení předloženého vynálezu, kde velmi schématický kompresor 34 vykazuje zařízení 10 pro měření vůle konce lopatky, jak je znázorněno na obrázku 1. Zde jsou RF a UT snímače vhodně umístěny ve stejné radiální vzdálenosti od vztažného bodu kompresoru, tímto vztažným bodem typicky bývá osa rotoru kompresoru.

Zatímco předložený vynález byl popsán ve spojení s tím, co je v současnosti považováno za nejvíce použitelné a vhodné provedení, musí být rozuměno, že předložený vynález se nikterak neomezuje na popsané provedení, ale naopak je zamýšleno, že pokrývá různé modifikace a ekvivalentní uspořádání zahrnuté v duchu a podstatě připojených patentových nároků.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob pro určení vůle konce lopatky v plynové turbíně, kterýžto způsob obsahuje:
 - (a) měření vzdálenosti (A) mezi ultrazvukovým senzorem (16) a povrchem (14) pláště statoru;
 - (b) měření vzdálenosti (B) mezi vysokofrekvenčním senzorem (20) a rotujícími konci (13) lopatek plynové turbíny; a
 - (c) odečítání vzdálenosti (A) naměřené v kroku (a) od vzdálenosti naměřené v kroku (b).
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že krok (a) dále obsahuje:

směrování ultrazvukové energie směrem k povrchu (14) pláště statoru;

poskytnutí měření v reálném čase výpočetnímu systému (24).
3. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že krok (b) dále obsahuje:

směrování vysokofrekvenční energie směrem k rotujícím lopatkám (12) plynové turbíny; a

poskytnutí měření v reálném čase výpočetnímu systému (24).

4. Způsob podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že krok směřování ultrazvukové energie se provádí pomocí ultrazvukového vlnovodu (18).
5. Způsob podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že krok směřování vysokofrekvenční energie se provádí pomocí vysokofrekvenčního vlnovodu (22).
6. Způsob podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že vysokofrekvenční vlnovod (22) je vyroben z keramických materiálů.
7. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že jak ultrazvukový senzor (16), tak i vysokofrekvenční senzor (20) jsou umístěny ve stejné radiální vzdálenosti od osy plynové turbíny.
8. Zařízení (10) pro určování vůle konce lopatky plynové turbíny v reálném čase, kteréžto zařízení obsahuje:

ultrazvukový senzor (16) pro měření vzdálenosti (A) mezi povrchem (14) pláště statoru a ultrazvukovým senzorem (16); a

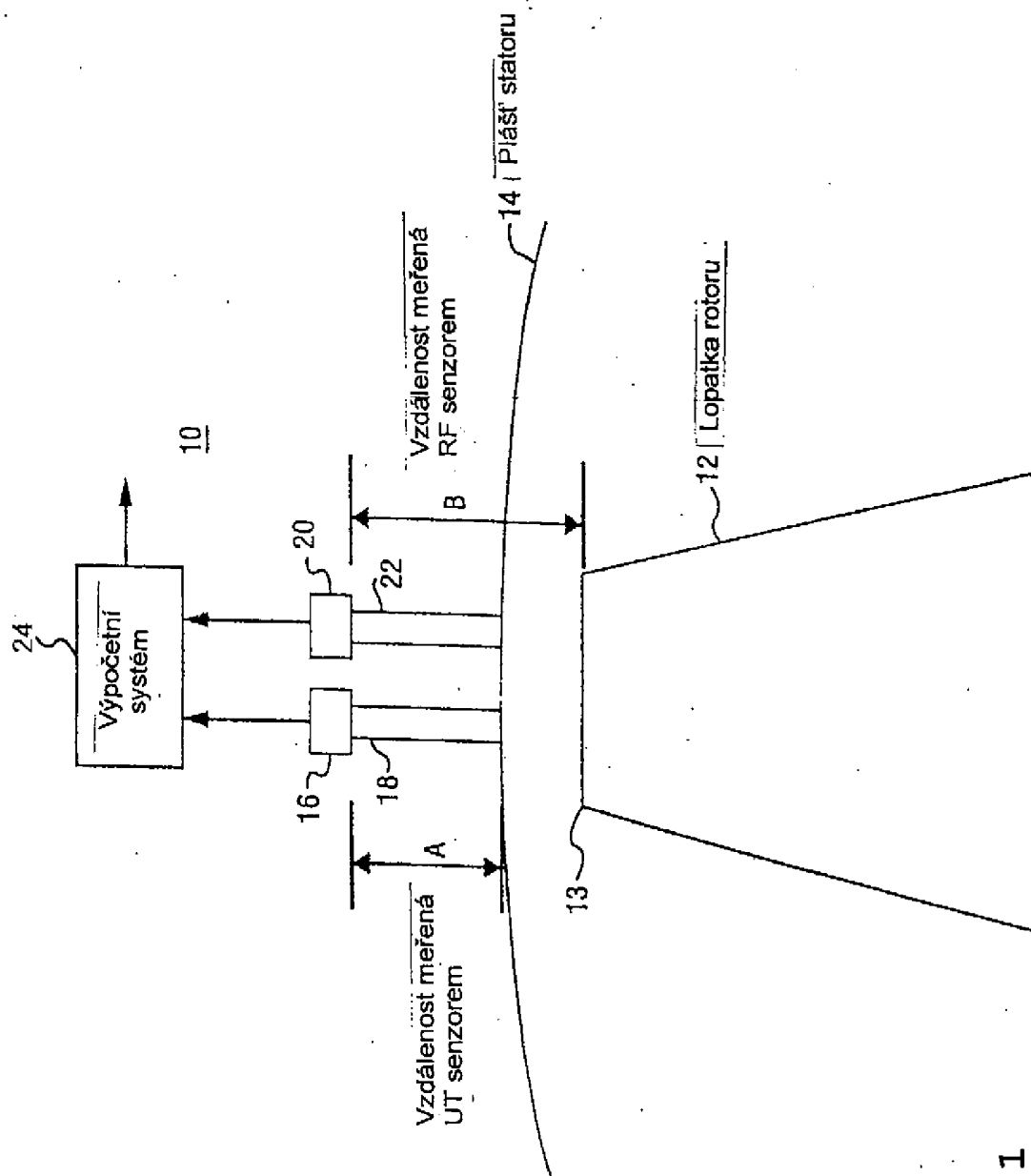
vysokofrekvenční senzor (20) pro měření vzdálenosti (B) mezi rotujícími konci (13) lopatek plynové turbíny a vysokofrekvenčním senzorem (20); a

výpočetní systém (24) pro přijímání a odečítání měření ultrazvukového senzoru od měření vysokofrekvenčního senzoru.

9. Zařízení podle nároku 8, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje:

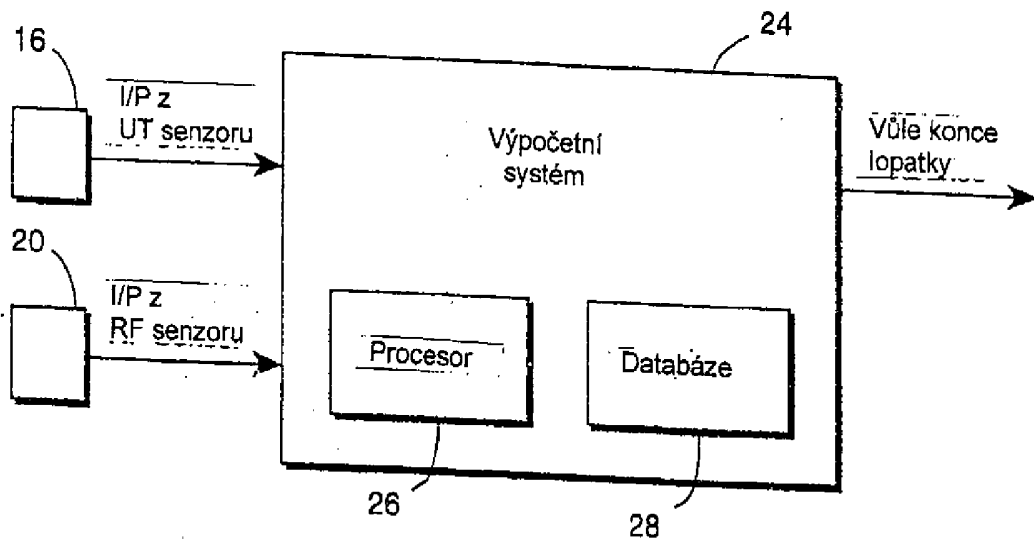
ultrazvukový vlnovod (18) pro směrování ultrazvukové energie z uvedeného ultrazvukového senzoru (16) směrem k povrchu (14) pláště statoru a naopak.

10. Zařízení podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že první konec ultrazvukového vlnovodu (18) je připevněn k ultrazvukovému senzoru (16) a opačný konec je vytvořen jako integrální část povrchu (14) pláště.

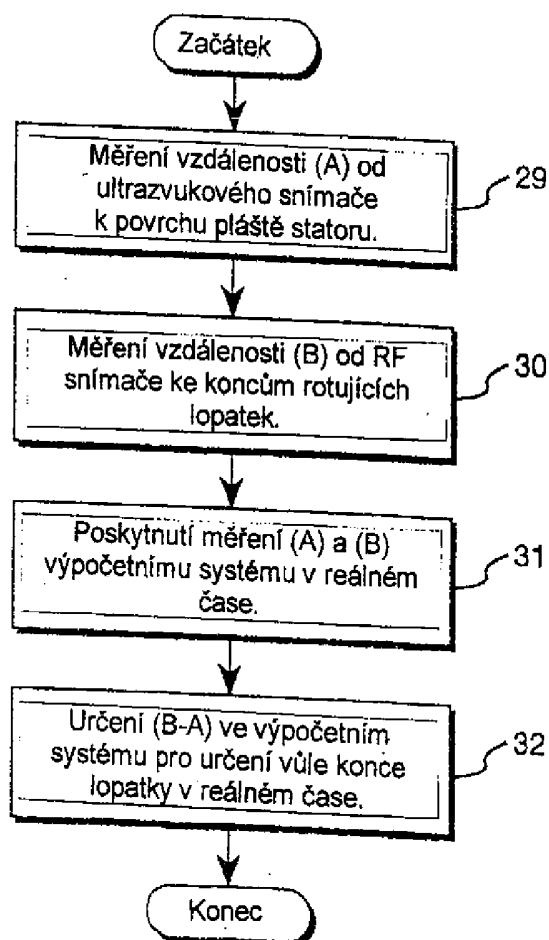


OBR. 1

2/5

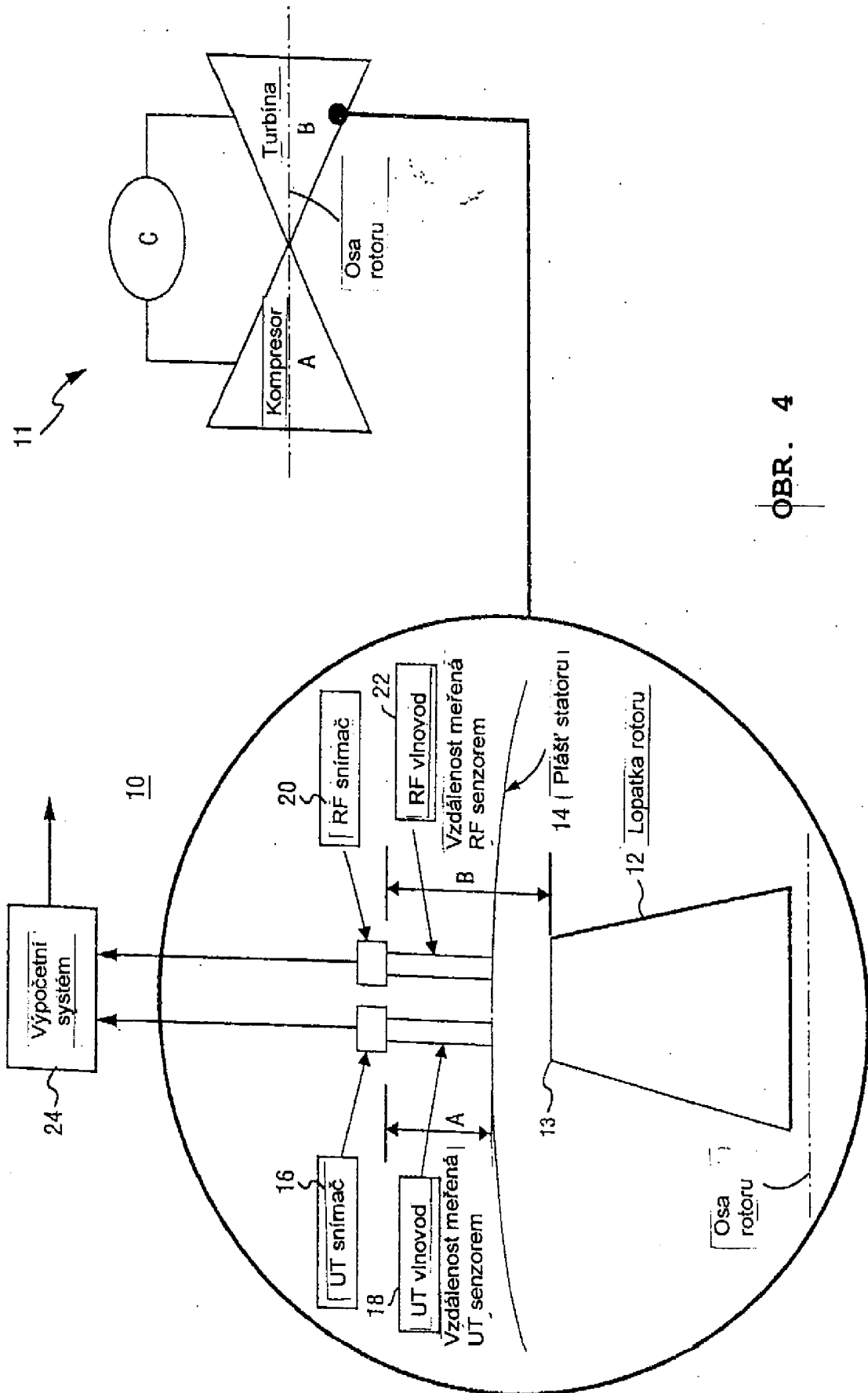


OBR. 2

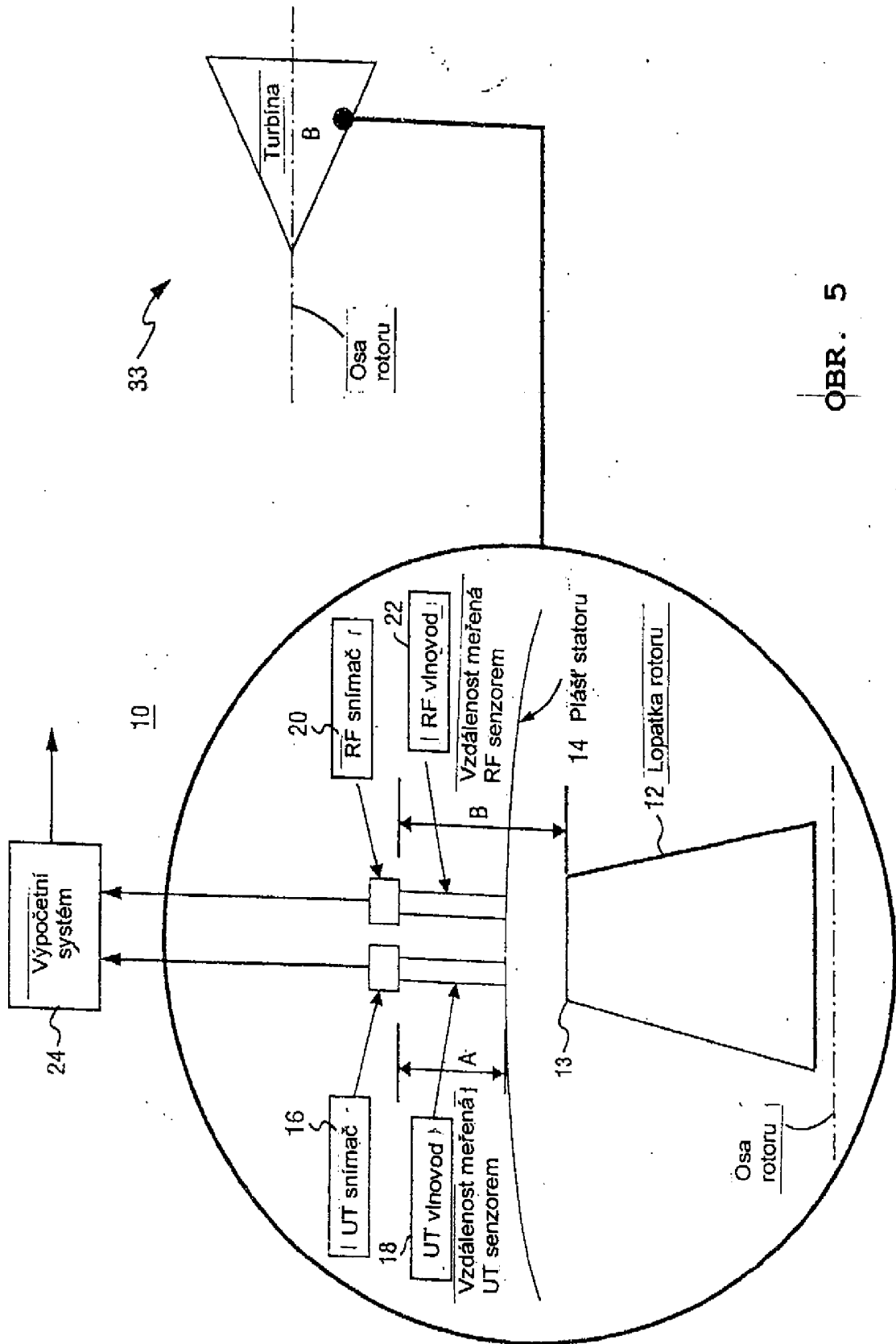


OBR. 3

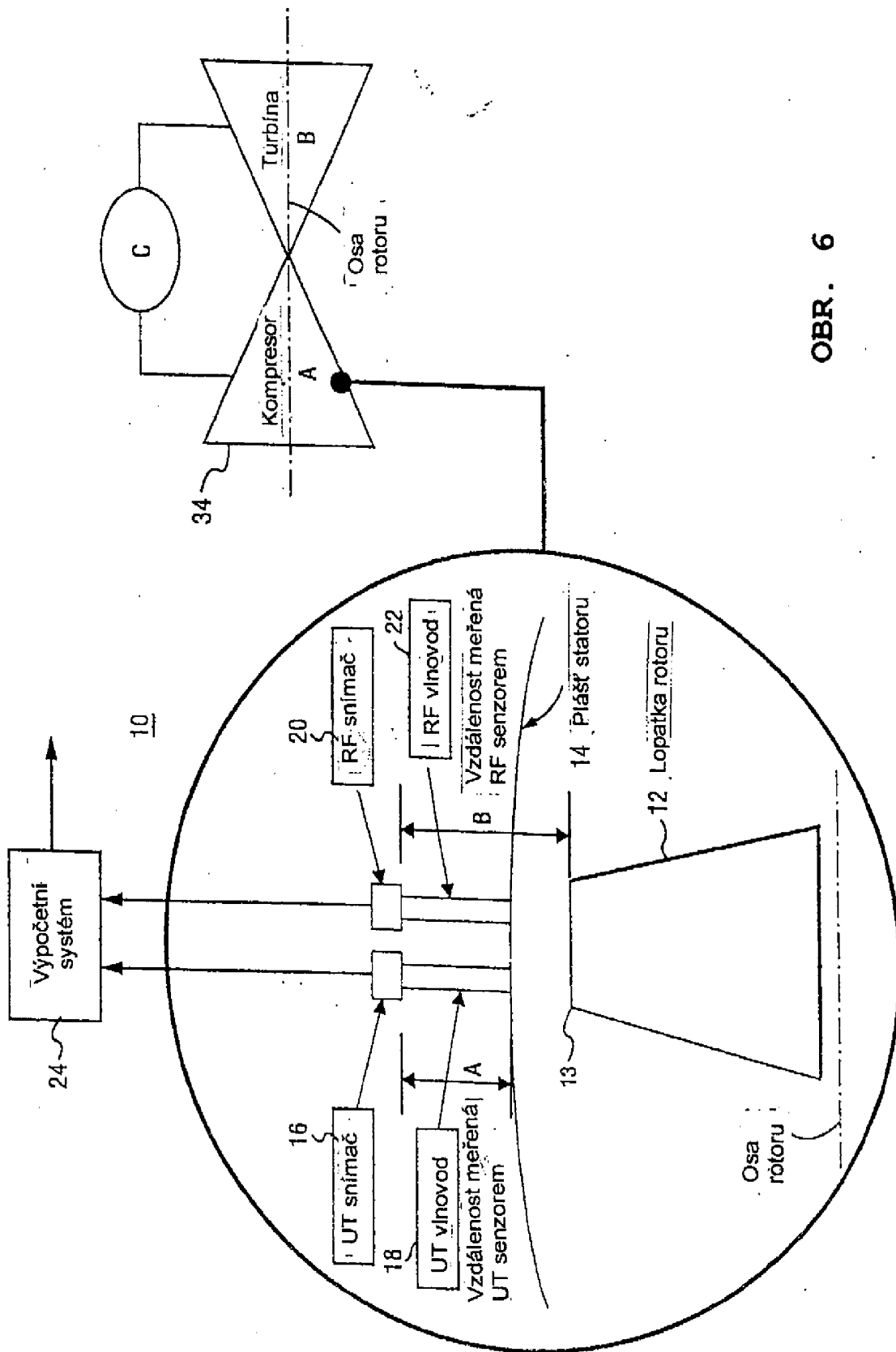
3/5



OBR. 4



OBR. 5



OBR. 6