

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **23.10.2009**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **04.05.2011**
(Věstník č. 18/2011)

(21) Číslo dokumentu:

2009-694

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01M 13/02

(2006.01)

(71) Přihlašovatel:

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava,
Ostrava-Poruba, CZ

(72) Původce:

Tůma Jiří prof. Ing. CSc., Štramberk, CZ
Dejl Zdeněk prof. Ing. CSc., Ostrava - Poruba, CZ
Moravec Vladimír prof. Ing. CSc., Kopřivnice, CZ
Smutný Lubomír prof. Dr. RNDr., Ostrava-Poruba, CZ

(54) Název přihlášky vynálezu:

Způsob měření chyby ozubeného převodu

(57) Anotace:

Vynález se týká způsobu měření chyby ozubeného převodu, kde v průběhu otáčení ozubeným soukolím se současně snímají a zaznamenávají jak signál prvního inkrementálního úhlového snímače, spojeného s hnací hřídelí, tak signál druhého inkrementálního úhlového snímače, spojeného s hnanou hřídelí. Signály obou inkrementálních snímačů se následně převádějí na posloupnosti vzorků signálů, čímž se digitalizují. Dále se posloupnosti vzorků obou signálů převádějí pásmovou filtrací na fázově modulované harmonické signály, které se fázově demodulují s rozbalením fáze a s přepočtem na úhel otočení každého ozubeného kola. Úhel otočení každého ozubeného kola následně přepočítává na délku kruhového oblouku dotykové kružnice každého ozubeného kola. Rozdíl mezi délkami kruhových oblouků dotykových kružnic představuje časový průběh chyby převodu, ze kterého se následně hřebenovou filtrací odstraňují vyšší než třetí harmonické záběrové frekvence ozubení a ostatní chybové složky, které nepřísluší harmonickým frekvencím záběrové frekvence soukolí ozubených kol.

Způsob měření chyby ozubeného převodu

Oblast techniky

Vynález se týká převodových skříní obsahujících soukolí ozubených kol a řeší měření chyby ozubeného převodu při ustálených otáčkách, případně zjišťování závislosti této chyby na zatížení, a to zejména za účelem dosažení co nejnižších vibrací převodové skříně a tím i co nejnižší hlučnosti při jejím provozu. Způsob měření podle vynálezu je použitelný jak pro měření prototypů při navrhování nové převodovky, tak při zjišťování míry opotřebení nebo kvality soukolí ozubených kol.

Dosavadní stav techniky

Je známo, že tuhost ozubených kol v záběru není konstantní. Mění se počet párů zubů v záběru a bod dotyku na boku zubu. Proměnlivá tuhost vyvolává samobuzené vibrace, které jsou hlavním zdrojem hluku převodovek. Při převodu rotačního pohybu z hnací hřídele na hnanou hřídel dochází u reálných převodů vlivem proměnlivé tuhosti ke vzniku chyby převodu. Chyba převodu se projevuje tím, že v průběhu pootočení o jeden zub se reálný úhel natočení výstupní hřídele liší od nominální hodnoty úhlu natočení odpovídajícímu absolutní tuhosti spoluzabírajících párů zubů. Průběh této odchylky závisí nejen na počtu zubů v záběru a na tvaru zubů, ale též na přesnosti, s jakou bylo ozubené soukolí vyrobeno. Úhlové kmity spoluzabírajících ozubených kol se přenášejí prostřednictvím ložisek na převodovou skříň a jsou příčinou zvýšené hlučnosti celého stroje.

Jsou známy optické metody zjišťování chyby převodu, při kterých se pořizuje a následně vyhodnocuje filmový záznam pohybu společně se otáčejících hřídelí nebo součástí s nimi spojených. Nevýhodou této metody je, že získané záznamy nelze přímo zpracovávat za pomoci výpočetní techniky. Další optickou metodou je metoda, při které světelný paprsek, prochází nejprve jedním z obdélníkových světlo propustných otvorů v prvním vzorkovacím kotouči, který se otáčí synchronně se vstupní hřídelí a následně prochází jedním z obdélníkových otvorů ve druhém vzorkovacím kotouči, který se synchronně otáčí společně s výstupní hřídelí, aby následně dopadl na čidlo světelné intenzity. Poměr počtu obdélníkových otvorů v obou vzorkovacích kotoučích odpovídá poměru počtu zubů použitého ozubeného kola. Na délku obvodu ozubeného kola odpovídající pootočení o jeden zub však

připadá několik obdélníkových otvorů. Pokud by měl ozubený převod konstantní tuhost, oba vzorkovací kotouče by se otáčely synchronně a intenzita světelného pulsu odpovídající průchodu otvorem by se neměnila. Díky chybě převodu ale dochází ke změnám v překrytí obrazů obou obdélníkových tvarů a tím ke kolísání intenzity po sobě následujících světelných impulsů zachycených čidlem světelné intenzity v průběhu otáčení hřídelem. Nevýhodou tohoto řešení je složitá mechanická konstrukce, závislost počtu otvorů na počtu zubů příslušného ozubeného kola a nemožnost měření v provozních podmínkách. Dále je známa metoda založená na měření délky časového intervalu mezi jednotlivými pulsy, vysílanými inkrementálními úhlovými snímači, které se otáčejí stejnou rychlostí, jako jednotlivá ozubená kola v záběru. Nevýhodou této metody jsou vysoké nároky na zařízení pro měření času.

Podstata vynálezu

Uvedené nevýhody řeší způsob měření chyby ozubeného převodu podle vynálezu, jehož podstatou je, že se v průběhu otáčení ozubeným soukolím současně snímají a zaznamenávají jak signál prvního inkrementálního úhlového snímače, spojeného s hnací hřídelí, tak signál druhého inkrementálního úhlového snímače, spojeného s hnanou hřídelí. Signály obou inkrementálních snímačů se následně převádějí na posloupnosti vzorků signálů, čímž se digitalizují. Následně se posloupnosti vzorků obou signálů převádějí pásmovou filtrací na fázově modulované harmonické signály, které se dále fázově demodulují s rozbalením fáze a s přepočtem na úhel otočení každého ozubeného kola. Poté se úhel otočení každého ozubeného kola přepočítává na délku kruhového oblouku dotykové kružnice každého ozubeného kola. Rozdíl v délkách kruhových oblouků dotykových kružnic představuje časový průběh chyby převodu, ze kterého se následně hřebenovou filtrací odstraňují vyšší než třetí harmonické záběrové frekvence ozubení a ostatní chybové složky, které nepřísluší harmonickým frekvencím záběrové frekvence soukolí ozubených kol.

Výhodou způsobu podle vynálezu je, že měření lze provést pomocí snadno dostupného zařízení na všech soukolích na jejichž hřídele lze instalovat inkrementální snímače, tedy ve většině případů in situ, protože není potřebné speciální uložení hřídelí ozubených kol. Výhodou je také, že si potřebné zařízení neklade nároky na manipulační prostor v blízkosti hřídelí a že je univerzální, neboť jej není nutno individuálně přizpůsobovat počtům zubů v soukolí.

Přehled obrázků na výkresech

Obrázek 1 představuje část časového průběhu impulsů obou inkrementálních snímačů za dobu 4 ms. Obrázek 2 představuje část časového průběhu o délce 4 ms fázově modulovaných signálů, po provedení pásmové filtrace. Obrázek 3 představuje časový průběh o délce 1 sekunda fáze analytického signálu po rozbalení. V obrázcích 1 až 3 odpovídá tenká čára kolu s 21 zuby a tlustá čára odpovídá kolu s 39 zuby. Obrázek 4 představuje rozdíl délek kruhových oblouků na dotykových kružnicích obou ozubených kol o délce jedné sekundy, které vznikly přepočtem fází analytických signálů po rozbalení. Obrázek 5 představuje časový průběh chyby převodu po filtraci hřebenovým filtrem až na omezený počet vzorků ze začátku a konce záznamu, který odpovídá řádu filtru.

Příklad provedení vynálezu

Způsob měření chyby převodu ozubeného soukolí se příkladně provádí u převodové skříně obsahující ozubené soukolí. Ozubené soukolí tvoří hnací hřídel spojenou s pohonem, která je opatřena prvním ozubeným kolem s 21 zuby, které jsou v záběru s 39 zuby druhého ozubeného kola, které je spojeno s hnanou hřídelí. Hnací hřídel je spojena s prvním inkrementálním úhlovým snímačem, zatímco hnaná hřídel je spojena se druhým inkrementálním úhlovým snímačem. Při otáčení hřídelí vysílá příslušný inkrementální úhlový snímač impulsy, přičemž každý konkrétní impuls je vyslán v okamžiku, ve kterém je otáčející se hřídel otočen o určitý úhel. Počet pulsů vyslaných každým z inkrementálních úhlových snímačů při otočení o 360° by měl být nejméně 10x větší než počet zubů každého ozubeného kola, takže na pootočení hřídele o úhel odpovídající jednomu zubu by mělo připadat více než 10 impulsů. Dle tohoto příkladu jsou použity shodné inkrementální snímače, vysílající 500 impulsů na 1 otáčku. Intervaly mezi impulsy jsou při rovnoměrné úhlové rychlosti stejně dlouhé, takže úhly pootočení hřídele mezi polohami odpovídajícími jednotlivým pulsům jsou rovněž stejné.

Při vlastním měření se otáčí hnací hřídelí, což následně způsobí otáčení hnané hřídele. Signály každého z inkrementálních úhlových snímačů se současně zaznamenávají a digitalizují na posloupnost vzorků. Oba vzorkované signály se pásmovou filtrací se střední frekvencí, odpovídající základní frekvenci impulsů a šířkou pásma zvolenou tak, aby propustné pásmo obsahovalo alespoň 5 harmonických postranních složek k nosné frekvenci, převedou na fázově modulované harmonické signály. Celková šířka propustného pásma se příkladně

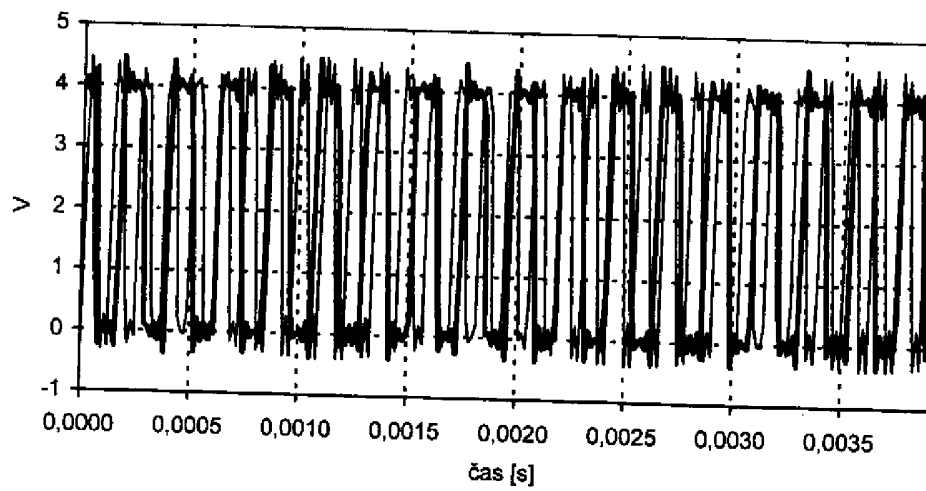
odvodí jako desetinásobek záběrové frekvence ozubených kol. Oba fázově modulované harmonické signály se dále fázově demodulují za použití výpočtu komplexního analytického signálu, jehož reálnou částí je daný fázově modulovaný signál, přičemž imaginární část je Hilbertovou transformací této reálné části užitím buď rychlé Fourierovy transformace nebo užitím číslicového filtru, čímž se získá časový průběh fáze analytického signálu. Protože fáze je omezena na interval od $-\pi$ radiánů do $+\pi$ radiánů, je další operací rozbalení této fáze, čímž se získá časový průběh pětistého násobku okamžitého úhlu otočení každého ozubeného kola. Oba okamžité úhly otočení, které odpovídají jedné pětisetině určených fází, se přepočtou na délky kruhových oblouků příslušných ozubených kol. Rozdíl délek obou kruhových oblouků je mírou chyby převodu, přičemž chybové složky rozdílů délek kruhových oblouků se odstraňují hřebenovým filtrem naladěným na záběrovou frekvenci a její harmonické frekvence až do páté harmonické frekvence.

PATENTOVÉ NÁROKY

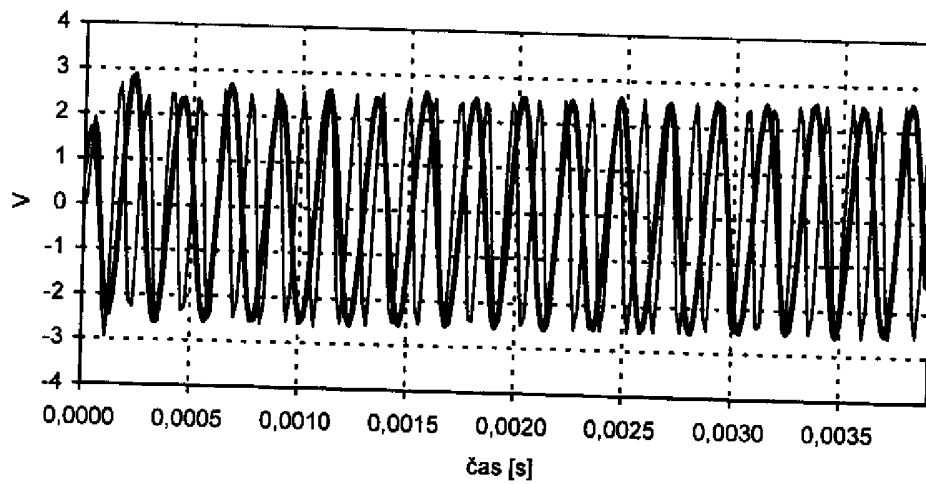
Způsob měření chyby ozubeného převodu, **vyznačující se tím, že** se v průběhu otáčení ozubeným soukolím současně snímají a zaznamenávají jak signál prvního inkrementálního úhlového snímače, spojeného s hnací hřídelí, tak signál druhého inkrementálního úhlového snímače, spojeného s hnanou hřídelí, přičemž signály obou inkrementálních snímačů se následně převádějí na posloupnosti vzorků signálů, čímž se digitalizují a dále se následně posloupnosti vzorků obou signálů převádějí pásmovou filtrací na fázově modulované harmonické signály, které se dále fázově demodulují s rozbalením fáze a s přepočtem na úhel otočení každého ozubeného kola a poté se úhel otočení každého ozubeného kola přepočítává na délku kruhového oblouku dotykové kružnice každého ozubeného kola, jejichž rozdíl představuje časový průběh chyby převodu, ze kterého se následně hřebenovou filtrací odstraňují vyšší než třetí harmonické záběrové frekvence ozubení a ostatní chybové složky, nepříslušející harmonickým frekvencím záběrové frekvence soukolí ozubených kol.

$1/2$

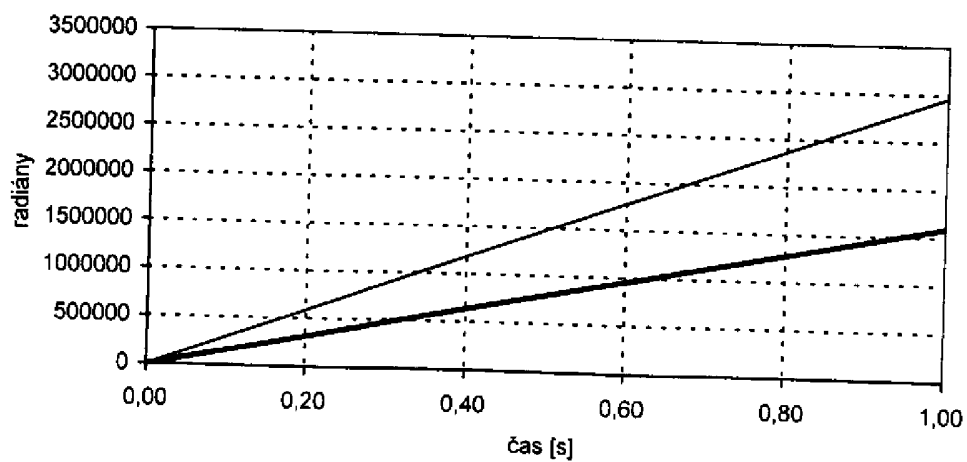
22.10.09
TV 1004-644



Obr. 1



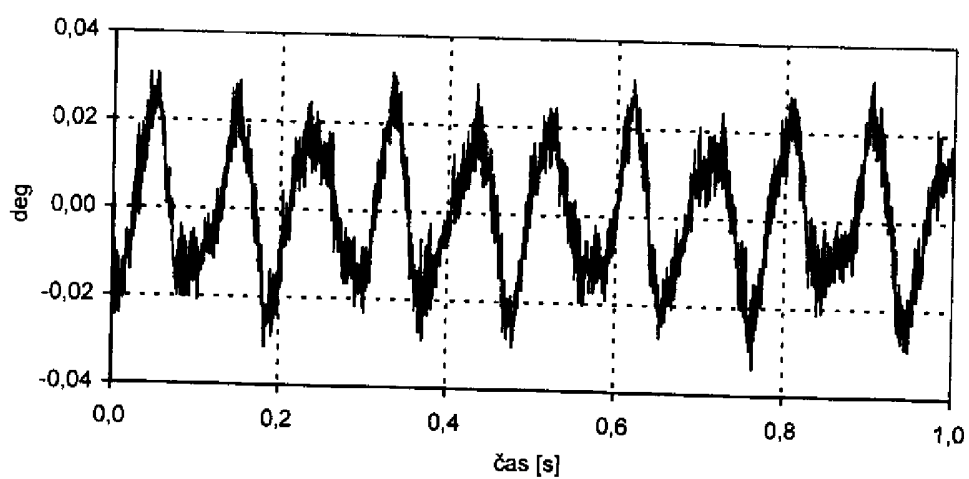
Obr. 2



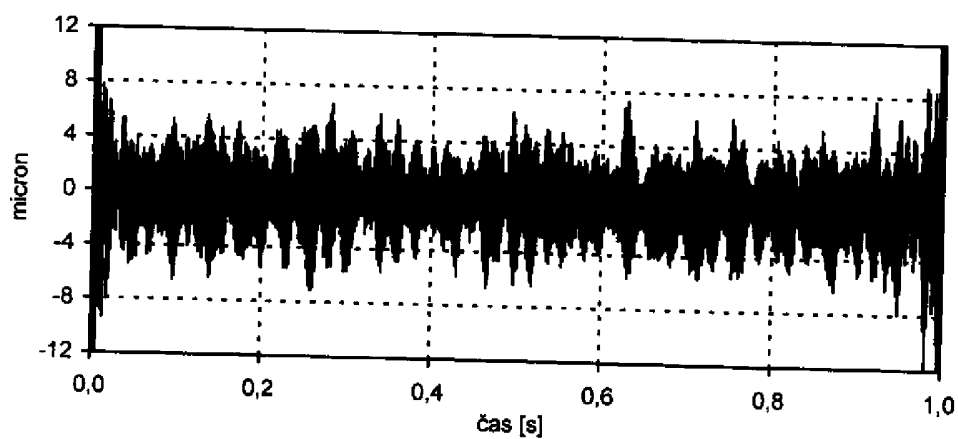
Obr. 3

$\frac{2}{2}$

20.10.00



Obr. 4



Obr. 5