

Vyvažování vertikálně se pohybujících hmot pomocí rotačního hydromotoru

Counterballancing of Vertical moving Masses with use of Rotation Hydromotor

Doktorand: Ing. Štěpán Fiala

Fakulta strojní

Ústav výrobních strojů a zařízení

ČVUT Praha

Disertační práce se zabývá metodami a přístupy snižování nároků kladených na pohony vertikálních pohybových os obráběcích strojů.

Uvedené téma lze považovat za aktuální vzhledem k velmi často řešeným obdobným problémům v technické praxi, při rozhodování použitého typu vyvažování pro dané zařízení, jeho výhody či nevýhody, složitost implementace a v neposlední řadě i hledisko ceny.

Práce obsahuje 89 stránek, které jsou členěné do 9 kapitol na sebe vzájemně logicky navazujících. Úvodní kapitola je věnována přehledu a metodám snížení tíhové síly vertikálních pohybových os, následuje velmi přehledný pohled na současné řešení problematiky vyvažování os jak mechanicky, tekutinově i elektricky. Velmi vhodně je tato kapitola doplněná tabulkou hodnocení užitečných vlastností vyvažovacích mechanismů, která poslouží mnohým návrhářům při jejich rozhodování o správnosti implementace použitého typu vyvažovacího mechanismu. V následující kapitole práce jsou jasně definované teoretické i praktické cíle a zejména oceňují jeden z cílů, tj. ověření teoretických předpokladů na stavbě věrného modelového zařízení s vertikální pohybovou osou. Práce je dále rozdělena na dvě části. První část práce se věnuje kompletní problematice vyvažování os za použití hydromotoru s konstantním geometrickým objemem. Je popsána metoda vyvažování pomocí radiálního pístového hydromotoru s pastorkem zapadajícím do ozubeného hřebenu a následně i systém koaxiálního připojení vyvažovacího mechanismu. Teoretická část práce obsahuje vždy rozvahu a následně i schémata zapojení prvků v obvodech, doplněná o náročné a promyšlené experimenty. Výsledky měření jsou uvedené přehledně v práci v podobě schémat a grafů.

Druhá část práce popisuje experimentální a softwarové vyhodnocení regulačního axiálního pístového hydromotoru/hydrogenerátoru pro vyvažování a vliv statických a dynamických parametrů na celkové chování soustavy. Zde se doktorand věnoval vytvoření a popisu experimentálního zařízení s regulačním hydromotorem, zabýval se detailně úpravou hydromotoru na elektronickou regulaci a vhodně řešil problematiku řízení a regulace momentu na hřídeli hydromotoru.

Vhodným doplněním disertační práce je ověření experimentu pomocí simulace v programu LabVIEW, kde student nahradil regulovanou soustavu přenosem 2. řádu. V závěrech jsou úzce specifikovány i teoretické a praktické přínosy pro praxi.

Aktuálnost tématu

Tematické zaměření disertační práce je velmi aktuální a nabízí se možnost aplikace v řadě průmyslových odvětví. Předmětem zájmu je podrobný rozbor chování rotačního radiálního a axiálního regulačního pístového hydromotoru pro vyvažování vertikálně pohybujících se hmot. Velmi aktuální je zkoumání vlivu regulace úhlu naklonění desky v hydromotoru na dynamické chování pohonu. Hydraulický systém vyvažování pracuje na principu sekundární regulace, což je značným přínosem zejména v oblasti řízení a regulace hydrostatických převodníků s proměnným geometrickým objemem. Komplexnost uvedených výsledků podává přesné informace, které poslouží v technické oblasti ke snazšímu pochopení a následnému správnému řešení problematiky vyvažování vertikálně se pohybujících hmot na strojních zařízeních.

Splnění sledovaných cílů práce

Cíle práce jsou rozdělené do několika oblastí. Úvodní část práce se zabývá různými způsoby řešení vyvažování vertikálních hmot na strojních zařízeních. Následuje experimentální část, kde je řešena velmi podrobně problematika vyvažování pomocí hydromotoru s konstantním geometrickým objemem. Student se zabýval problematikou jak samostatného vyvažovacího mechanismu tak i variantou koaxiálního připojení mechanismu pro vyvažování vertikální hmoty. Výstupy experimentů jsou časové závislosti jednotlivých veličin tlaku, proudu, otáček a dráhy pohybu. Druhá část práce popisuje problematiku vyvažování pomocí regulačního hydromotoru a tzv. momentové regulace. V práci jsou řešené významné uzly, jako je např. úprava hydrogenerátoru na elektronickou regulaci, implementace servoventilu

pro řízení změny geometrického objemu, optimalizace řídicích veličin a nastavení parametrů obvodu s cílem dosažení nejlepších výsledků. Následně jsou sestavené mnohé varianty hydraulických obvodů elektronicky řízených pro regulaci momentu na hřídeli hydromotoru, doplněné o simulační model v programu LabVIEW. Výsledné charakteristiky ze simulačního modelu dávají jasný přehled o chování požadovaných veličin.

Teoretické závěry stanovených cílů jsou ověřené na mnohých sofistikovaných experimentech a tímto jsou uvedené cíle v daném rozsahu splněny.

Vhodnost použitých metod řešení

Disertační práce zahrnuje v sobě moderní matematické i experimentální metody řešení zkoumané problematiky. Experimentální metoda byla daná klasickými postupy za současného využití speciálních měřících i vyhodnocovacích zařízení. Realizace náročných experimentálních částí práce a využití poměrně málo užívané sekundární regulace dokazuje velmi dobrou prakticko-technickou zdatnost doktoranda. Metoda numerická využila v první části práce modely hydraulických převodníků simulované pomocí software LabVIEW. V druhé části práce byly vytvořeny nové modely pohonu s vyvažováním se zpětnou vazbou odvozenou od proudu servomotoru. Uvedená metodika jak v oblasti teoretické, tak i praktické, umožnila splnit stanovené cíle.

Nové poznatky, které přináší práce

Disertační práce přináší ucelený pohled na problematiku vyvažování vertikálních pohybových os. V oblasti matematického modelování, přispěl student ve své práci ke zvýšení stavu poznání svým komplexním vědeckým přístupem a podařilo se mu teoreticky zdůvodnit předpoklady praktického uplatnění. Velmi důležitým přínosem práce je rozsáhlá experimentální část, která v úvodu definuje vhodné prvky pro obvod vyvažování, následně v druhé části práce porovnává mezi sebou různá technická řešení systému momentové regulace hydromotoru ve vztahu na rovnoměrnost pohybu a polohování osy. Nově je využito v oblasti experimentálního řešení tzv. sekundární regulace hydromotoru.

Teoretický a praktický přínos pro rozvoj vědy a techniky

Přínosem disertační práce je možnost aplikace uvedeného řešení vyvažování vertikálních hmot na obráběcích strojích pomocí rotačních regulačních hydromotorů

řízených pomocí sekundární regulace. Velmi podrobně a logicky zpracovaný postup stanovení jednotlivých parametrů zkoumaných veličin přináší výrazné zjednodušení v oblasti zkoumání a řešení obdobné problematiky vyvažování. Uvedené výsledky budou aplikovány v oblasti vyvažování os u obráběcích strojů, ale je zřejmé, že uplatnění najdou i v mnoha jiných průmyslových aplikacích vzhledem k tomu, že u prezentovaného řešení je možnost uplatnění konstantní nebo řízené vyvažovací síly nezávislé na zdvihu pohybové osy. Uvedené výsledky poslouží jako alternativní řešení ke standardně používaným systémům vyvažování.

Práci je možno považovat za kvalitní materiál poskytující komplexní informace o systému vyvažování vertikálních pohybových os na obráběcích strojích pomocí rotačního regulačního axiálního pístového hydromotoru.

Práce je napsána velmi přehledně, grafické zpracování je na vysoké úrovni. Po formální stránce se vyskytují drobné nepřesnosti v popisu a chyby zejména v technické terminologii, které ovšem nijak nesnižují úroveň práce. Dále nemám žádné připomínky.

Připomínky a dotazy na doktoranda:

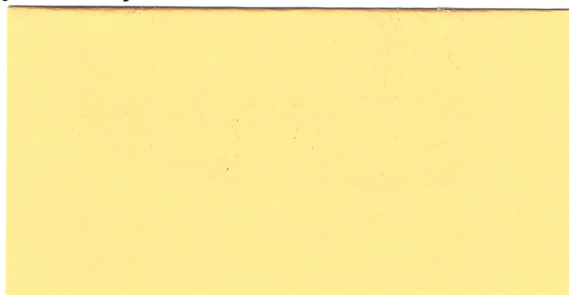
- Doktorand používá v práci rozdílnou terminologii pro jeden a tentýž prvek – čerpadlo/hydrogenerátor, terminologii je potřeba sjednotit.
- Str. 18 – v prvním odstavci se píše, že v případě využití elektromotorického vyvažování, kdy systém dosáhne požadované pozice, rychlost klesne na nulu, nicméně elektromotorem prochází neustálé proud, který vytváří reakční moment. Takto se transformuje el. energie na teplo, tepelná energie se musí odvádět, což znamená další energii na odvod tepla. Není potřeba u těchto systémů externího chlazení? Případně jaký typ chlazení by bylo vhodné zvolit?
- Str. 32 – kap. 4.1.1 je popsán experiment s rotačním hydromotorem, není zde zcela jasné, o jakém typu implementovaného hydromotoru se hovoří. Z kontextu je patrné, že je asi implementován radiální pístový hydromotor, nicméně jakého konstrukčního provedení, případně výrobce? Chybí bližší informace o typu hydromotoru.
- Str. 35 – ve druhém odstavci v poslední větě je uvedeno, že na obr. 31 je zobrazen model hydromotoru a jeho rozvodná deska, ovšem popis obr. 31 uvádí, že se jedná o regulační ax. pístové čerpadlo, co je tedy správně?

- Str. 37 – v kapitole 4.2.1 je popisován návrh experimentu, jaký typ radiálního pístového hydromotoru je zde použitý? Definujte, za jakých podmínek může pracovat v generátorovém režimu radiální pístový hydromotor s křivkovou oběžnou dráhou?
- Str. 40 – obr. 36, v hydraulickém schéma (i experimentu) je použito nepřímo řízených pojistných ventilů, co vedlo doktoranda k jejich použití? Nebylo vhodnější např. použít pojistné ventily přímo řízené?
- Str. 62 – obr. 57 pro řízení úhlu naklopení desky v hydrostatickém převodníku je použit servoventil, chybí jeho označení. Byl zkoumán vliv dynamických vlastností servoventilu na kvalitu regulace?
- Str. 65 - obr. 61 Hydraulické schéma řízení hydromotoru v momentové vazbě. Jako zdroj tlakové energie je použitý regulační ax. pístový hydrogenerátor. Ze schéma je patrné, že v obvodu je řešena ochrana proti přetlaku regulátorem na hydrogenerátoru. Je tato ochrana dostatečná? Není nutno implementace pojistného ventilu do větve za hydrogenerátor?

Výsledky výzkumné činnosti doktoranda byly publikovány na konferencích a časopisech.

Disertační práce dokazuje, že doktorand splnil v úvodu jasně vytyčené cíle, které jsou na vysoké teoretické i aplikační úrovni. Doktorand prokázal svým teoreticko-praktickým přístupem velmi dobrou znalost zkoumané problematiky.

Disertační práci doporučuji k obhajobě.



Ostrava, 13/08/2020

Ing. Erik Stonawski, Ph.D.

Bosch Rexroth, spol. s r.o., Těžební 1238/2

62700 Brno

VŠB-TU Ostrava, fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení