

## OPONENTNÍ POSUDEK DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Jméno a příjmení diplomanta: Bc. Radek Vinkler**

**Název práce: Rozbor možností kompenzace kvadrantových chyb u CNC  
obráběcích strojů**

Cílem práce bylo provedení popisu problematiky vzniku kvadrantových chyb při kruhové interpolaci u CNC obráběcích strojů v důsledku existence pasivních odporů ve vedení příslušných posuvových os stroje, vytvoření počítačového virtuálního modelu interpolujících os frézovacího centra a na tomto simulačním modelu ověřit vhodné algoritmy pro kompenzaci kvadrantových chyb.

Textová část práce obsahuje 67 stran textu včetně přehledu použitých symbolů a zkratk, 39 obrázků, 4 tabulek, 6 grafů a seznamu použité literatury.. K práci je připojen i CD disk, obsahující kompletní diplomovou práci.

Vlastní textová část práce je rozdělena do 5 kapitol

V první úvodní kapitole je stručně popsána problematika vzniku tzv. kvadrantových chyb při kruhové interpolaci na CNC obráběcích strojích, je definován cíl práce a způsob řešení v předložené práci.

Druhá kapitola je věnována popisům principů a důvodů pro vznik kvadrantových chyb, je proveden poměrně detailní výtah z teorie klasického kluzného tření a jsou uvedeny principiální možnosti kompenzace kvadrantových chyb počínaje konstrukčními úpravami, vedoucími ke snížení pasivních odporů a konče různými přídatnými kompenzačními signály, zaváděnými do regulačních obvodů pohonů posuvů.

Třetí, rozsahem největší kapitola je pak věnována vytvoření matematického simulačního modelu pohonů os X a Y (křížového stolu) vertikálního obráběcího centra MCFV 5050 LN z produkce firmy Tajmac-ZPS Zlín. Simulační model byl autorem práce vytvořen pomocí programu Matlab/SIMULINK a má dále sloužit pro ověření efektu různých navržených kompenzačních metod pro potlačení velikosti kvadrantových chyb při kruhové interpolaci simulovaných os X a Y. Celý matematický model je rozdělen do několika propojených subsystémů, jejichž funkce jsou formou blokových schémat a potřebných matematických závislostí detailně popsány. Matematický popis –model- na stroji použitých lineárních synchronních motorů vychází z analogického matematického popisu motorů rotačních stejného typu. S velkou péčí jsou popsány jednotlivé regulační smyčky řídicí části pohonů-proudové, rychlostní a polohové, včetně nastavení jejich hlavních parametrů a konstant (zesílení, integračních konstant, frekvenčních pásem propustnosti, atd). Simulační model pohonů os X a Y obsahuje samozřejmě i subsystémy-bloky rychlostních a proudových feedforwardů a modul-subsystém pro simulaci pasivních odporů, přičemž při simulaci autor použil 3 modely pasivních odporů, definující závislost třecí síly na rychlosti pohybu (klasický, popsáný v kapitole 2, lineární a parabolický). K tomuto vytvořenému simulačnímu modelu byly připojeny kompenzační subsystémy, umožňující generovat různé průběhy signálů rychlostní a proudové kompenzace, jež mají potlačit vliv pasivních odporů na vznik a velikost kvadrantových chyb.

Čtvrtá kapitola pak obsahuje vyhodnocení provedených simulací pro 3 kompenzační metody (rychlostní, proudová -klasická a proudová-upravená) a 3 třecí modely (klasický, lineární a parabolický). Výsledky jsou názorně uvedeny na záznamech časových průběhů a grafech závislostí kvadrantových odchylek na rychlosti kruhové interpolace (obvodové rychlosti opísované kružnice).

V páté kapitole je uveden stručně souhrn dosažených výsledků a naznačen směr dalšího postupu při zpřesňování simulačních modelů s cílem co nejlepší shody s výsledků simulace se skutečně naměřenými odchylkami na stroji.

#### **K předložené práci mám následující připomínky:**

- Str. 9-11 - Seznam použitých symbolů- některé symboly, např.  $R$ ,  $\omega$ , jsou použity pro více významů a různé jednotky. Doporučuji odlišit alespoň velikostí písma (velké, malé) či indexy, pokud není z nějakého „zvykového“ důvodu možno zvolit jiné písmeno.
- Str. 17 - 1.odstavec: kvadrantová chyba spadá do první skupiny chyb-systematických. Dá se opravit, zmenšit korekcí a vzniká pravidelně-nikoliv náhodně.
- Str. 18 - Dle mého soudu pojem kluzné tření zahrnuje jak „klouzáni“ po rovinném či zakřiveném (kruhovém) povrchu- viz kluzná ložiska pro uložení rotujících hřídelů. Pojem točivé tření nic neříká. Rovněž se mi nelíbí pojem valivé tření- známý je pojem valivý odpor- pokud by při odvalování válečku např. po rovinném povrchu nedocházelo ke kontaktním deformacím válečku a podložky, byl by valivý odpor roven nule (viz např. Hertzovy vztahy) .
- Str.19-23- Vyčerpávajícím způsobem je probrána teorie klasického tření-OK. Modelovaný křížový stůl stroje MCFV 5050LN je uložen na valivých lineárních vedeních . Při obhajobě by diplomant měl uvést základní závislosti pasivních odporů na rychlosti pohybu a normální zátěžné síle pro valivé vedení a provést porovnání s klasickým kluzným vedením.
- Str.32 - Odstavec 3.3.1 Pohon, 4.řádek: místo pojem spodní stůl doporučuji používat pojem saně stolu.Saně stolu se pohybují po loži ve směru osy  $Y$ , nesou vodící plochy pro uložení stolu pro jeho pohyb ve směru osy  $X$  a na tento stůl se upíná obrobek.
- Str.46 - Do modelů pasivních odporů by bylo vhodné zařadit i model valivých pasivních odporů, event. uvést, který v práci uvažovaný model pasivních odporů se nejvíce blíží modelu valivých odporů.

#### **Celkové zhodnocení :**

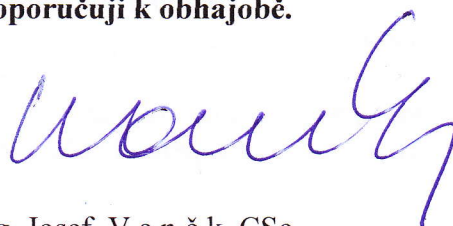
Předložená diplomová práce řeší aktuální problémy z oblasti zvyšování přesnosti CNC obráběcích strojů a její výsledky jsou aplikovatelné v praxi.

Vlastní práce svým rozsahem překračuje standardní požadavky na rozsah diplomových prací, autor prokázal velmi dobré a široké teoretické a praktické znalosti a dokázal je ve své práci správně využít. Při řešení práce postupoval systematicky a logicky, vlastní výsledky dokázal správně porovnat a začlenit do doposud známých poznatků v oblasti zvyšování přesnosti CNC strojů (kompensace kvadrantových chyb při kruhové interpolaci)

Grafické a formální zpracování diplomové práce je na velmi dobré úrovni.

Uvedené připomínky nesnižují úroveň práce a jsou předmětem pro event. upřesnění či vysvětlení při ústní obhajobě práce.

**Předložená diplomová práce splňuje plně její zadání a všechny požadavky, kladené na závěrečné diplomové práce a proto ji doporučuji k obhajobě.**



V Praze 10.6.2011

Ing. Josef V a n ě k, CSc  
oponent

**Návrh klasifikace diplomové práce pana Bc.Radka Vinklera  
s názvem „Rozbor možností kompenzace kvadrantových chyb u CNC  
obráběcích strojů“ :**

**Předloženo diplomovou práci navrhuji klasifikovat známkou :  
výborně (-)**

**V Praze, 10.6.2011**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Vaněk' with a stylized flourish at the end.

**Ing. Josef V a n ě k, CSc  
oponent**