

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

Návrh řízení CNC pohybu mechanismu

Bakalářská práce

Lenka Jakešová

Školitel: Ing. Martin Nečas, MSc. PhD.

České Budějovice 2018

Jakešová, L., 2018: Návrh řízení CNC pohybu mechanismu. [Control synthesis of a CNC motion mechanism. Bc. Thesis, in Czech.] – 40 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá CNC obráběcími stroji a jejich vztahem k mechatronice. Obsahuje simulační model lineární osy s DC motorem propojeným pružnou spojkou k zátěži.

Abstract:

This bachelor thesis deals with CNC machine tools and their relationship to mechatronics. It contains a simulation model of a linear axis with DC motor flexibly coupled to the load.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

České Budějovice, 17. 11. 2018

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Martinovi Nečasovi, MSc. PhD., za cenné a věcné rady, při vedení mé bakalářské práce. Rovněž děkuji svým blízkým za podporu.

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 3 |
| 1. O CNC strojích | 4 |
| 1.1. Vymezení pojmu CNC obráběcí stroj | 4 |
| 1.2. Historie CNC obráběcích strojů | 5 |
| 1.3. Požadavky kladené na CNC obráběcí stroje | 6 |
| 1.4. Vymezení pojmu obráběcí centrum | 7 |
| 1.5. Rozdělení CNC obráběcích strojů | 8 |
| 2. Inteligentní CNC obráběcí stroje a jejich konstrukce | 10 |
| 2.1. Inteligence obráběcích strojů | 10 |
| 2.2. Heidenhain | 10 |
| 2.3. Kovosvit MAS | 11 |
| 2.4. Mazak | 12 |
| 2.5. Okuma | 12 |
| 2.6. Toyoda | 13 |
| 3. Mechatronika v konstrukci CNC obráběcích strojů | 14 |
| 3.1. Mechatronika a adaptronika | 14 |
| 3.2. Systémové úrovně (hierarchické) výrobního stroje | 15 |
| 3.3. Simulační modelování a analýza | 15 |
| 4. Elektrické servopohony v mechatronice | 16 |
| 4.1. Systémy řízení servopohonů | 16 |
| 4.2. Servopohon jako polohový servomechanismus | 17 |
| 4.3. Způsob odměřování a řízení polohy | 17 |
| 4.4. Vlastnosti polohové smyčky | 19 |
| 4.5. Rychlostní regulace | 20 |
| 4.6. Stejnsměrný motor | 21 |
| 5. Simulace pohybu lineární CNC osy s pružnou spojkou | 23 |
| 5.1. Simulační model DC motoru | 24 |
| 5.2. Simulační model pružné spojky | 26 |
| 5.3. Simulační model lineární osy Monocarrier MCM05050 | 28 |
| 5.4. Simulační model sestavy motor-spojka-Monocarrier | 30 |
| 6. Simulační model s PID regulátorem polohy | 32 |
| 7. Simulační výsledky | 33 |

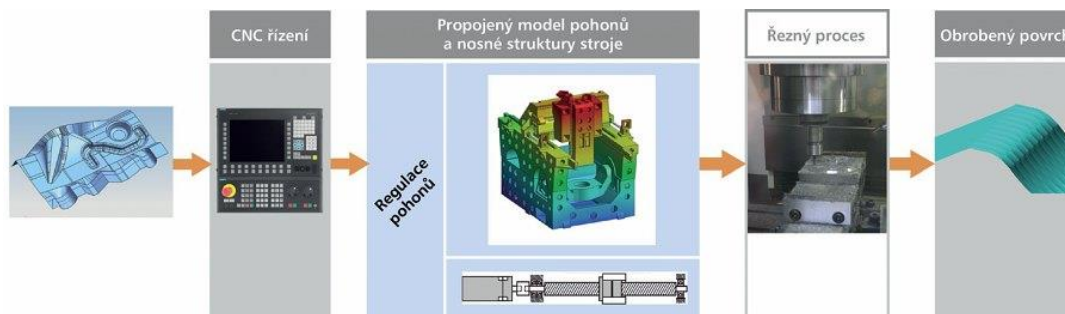
| | |
|-------------------------|----|
| 8. Závěr..... | 35 |
| Literatura | 36 |
| 9. Seznam obrázků:..... | 36 |

Úvod

Tato práce se člení na dva celky – teoretická část a praktická část. Počátkem práce je teoretická část. Teoretická část se zabývá v kapitole 1. CNC stroji a jejich vývojem. Pro orientaci v soudobém průmyslu se dále bakalářská práce zabývá jednou kapitolou inteligentními CNC obráběcími stroji (2. kapitola). Návazná 3. kapitola krátce popisuje úlohu mechatroniky ve vývoji CNC obráběcích strojů. 4. kapitola se zaměřuje na servomotory, konkrétně na stejnosměrný pohon a jeho řízení. Následuje praktická část (kapitola 5-7) s cílem simulovat pohyb CNC mechanismu. Simulace je provedena na lineární posuvové soustavě. Soustavu tvoří DC motor připojený pružnou spojkou k zátěži. Tento mechanismus je popsán, odsimulován, a poté regulován. Soustava je vymodelována v 3D CAD softwaru Solidworks. Simulace je provedena v programu Matlab Simulink.

1. O CNC strojích

Moderní CNC stroj představuje typický mechatronický systém s vazbami mezi CNC řízením, řízením pohonů, mechanickou stavbou pohonů, nosnou strukturou a vlastním řezným procesem. Na obr. 1 je možné vidět proces přípravy a realizace obrábění. [1]



Obrázek 1 Schéma virtuálního obráběcího stroje [1]

Řízení pohonů a jejich interakce s mechanickou stavbou stroje a řezným procesem je jedním z faktorů, které se podílejí na kvalitě obráběcího procesu a výsledné kvalitě obrobku. Pro optimalizaci výrobního procesu je důležité zahrnout skutečné chování CNC řídicího systému do CAM simulace a zároveň je potřebná znalost skutečné dynamiky soustavy stroj-nástroj-obrodek. Dalším faktorem ovlivňujícím kvalitu je řízení pohonů, dobrým tlumením soustavy je ovlivněna nejen kvalita povrchu obrobku, ale zároveň celkový čas obrábění. Pomocí virtuálních modelů je možné řešit optimalizační úlohy zvýšení kvality. [1]

1.1. Vymezení pojmu CNC obráběcí stroj

Pod pojmem CNC obráběcí stroj rozumíme číslicově řízený obráběcí stroj. Číslicové řízení (často označovaným anglickou zkratkou CNC – Computer Numerical Control) je řízení např. pohybu nástroje pomocí číslicového počítače na základě číselných údajů a příkazů. Vestavěný počítač zpracovává informace (rozměry, posuv) a má v paměti funkce systému ve formě softwarových bloků. Číslicově řízený obráběcí stroj umí automatickou výměnu nástrojů, pracuje v automatickém cyklu a většinou má šest hlavních pracovních celků:

- polohování nástroje (obrobku);
- vřeteno s vřeteníkem;
- zásobník a výměník nástrojů;
- zásobník (výměník) obrobků;
- přívody média;

- ochranné kryty. [2]

V minulosti používaný NC řídicí systém využíval k realizaci číslicového řízení obráběcího stroje často jednoúčelové automaty, kde software a výkonné obvody jsou tvořeny pevným zapojením a nosičem dat byla např. děrná páska. [2]

Oproti tomu dnešní CNC řídicí systém používá k realizaci číslicového řízení počítač.

Jak plyne z uvedeného, je nutné rozlišovat pojmy číslicové řízení a CNC (NC) řídicí systém. [2]

1.2. Historie CNC obráběcích strojů

Zrod NC je obecně přisuzován Johnu T. Parsonsovi, mechanikovi a obchodníkovi firmy Parsons Corp., která se zabývala obráběním. Parsons začal přemýšlet o možnostech použití lisovaných kovových vazníků místo dřeva, jejichž výroba by byla mnohem snazší a které by také byly pevnější. Parsons navštívil společnost Wright Field, aby se tam setkal s Frankem Stulenem, který byl vedoucím oboru rotačních kroužků v laboratoři vrtulí. Stulen začal 1. dubna 1946 pracovat pro Parsonse. Stulenův bratr, který pracoval u firmy Curtis Wright Propeller, se zmínil, že používají pro technické výpočty kalkulačky s děrnými štítky. Stulen se rozhodl převzít tuto myšlenku pro provádění výpočtu pevnosti pro rotory, což byly první podrobné automatizované výpočty pro rotory helikoptéry. Když Parsons viděl, co Stulen dělá pomocí zařízení s děrnými štítky, zeptal se ho, zda by to bylo možné použít pro vytváření obrysu s 200 body místo se sedmnácti body, které jim byly poskytnuty, a posunout každý bod o poloměr řezného nástroje na frézce. Pokud by se řezalo v každém z těchto bodů, vytvořilo by to relativně přesný výřez vazníku dokonce i z tvrdé ocele a snadno by se to dalo opilovat na hladký tvar. Výsledný nástroj by byl užitečný jako šablona pro ražení kovových vazníků. Pro Stulena to nebyl žádný problém a využil body k tomu, aby vytvořil velké tabulky čísel, které byly předány do dílny. Jeden z operátorů zde předčítal z těchto karet dvěma jiným operátorům, z nichž každý pracoval na jedné z os X a Y. Tito operátoři posouvali řeznou hlavici do uvedeného bodu a provedli řez. Tento proces se nazýval „metoda podle čísel“. [2]

V té době se Parsons začal zabývat myšlenkou plně automatizovaného nástroje, to vyžadovalo určitý druh systému zpětné vazby. S úkolem sestavit takový systém se Parsons obrátil roku 1949 na Laboratoř servomechanismů MIT. Když se ukázalo, že MIT záměrně převzal jeho projekt, Parsons podal dne 5. května 1952 žádost o patent na „motoricky ovládané zařízení pro polohování obráběcího stroje“. To podnítilo MIT k tomu, aby podal žádost na patent na „numericky řízený

servosystém”. Parsens obdržel dne 14. ledna 1958 patent USA 2,820,187. Společnost MIT prodala výhradní licenci společnostem Bendix, IBM, Fujitsu a General Electric. [2]

1.3. Požadavky kladené na CNC obráběcí stroje

Požadavky kladené na CNC obráběcí stroje můžeme posuzovat ze dvou pohledů. Prvním je pohled výrobce, kterého zajímá především ekonomický průběh jeho tvorby. Druhým je potom pohled zákazníka, kterého zajímají zejména užité vlastnosti, efektivní provoz a konstrukční provedení stroje. [2]

Z uvedeného je patrné, že požadavky kladené na jednotlivé konstrukční uzly stroje jsou náročné. Konstrukce NC strojů se vyznačuje vysokou tuhostí a přesností provedení, navrženými tak, aby předcházelo k minimálnímu oteplování uzlů stroje (tzv. stabilizace teploty). Z důvodu hospodárného režného režimu se užívají pohony s velkým regulačním rozsahem, nazývané servopohony viz obr 2. [2]



Obrázek 2 Servopohon

V současné době se využívají střídavé servopohony, tzv. AC servopohony, a to jak pro pohon vřeten (rychlostí, popř. rychlostně polohové servopohony), tak pro pohon posuvů (rychlostně polohové servopohony). K dalšímu zhospodárnění a ke zvýšení výrobnosti se může používat inteligence vestavěná do řídicího systému a vlastní konstrukce stroje. [2]

U číslicově řízených strojů je třeba velkou pozornost věnovat otázkám opotřebení. Vysoké odolnosti vůči opotřebení se dosáhne užitím valivých prvků ve vedení, případně obložením kluzného vedení umělou hmotou (tzv. turcitem) nebo hydrostatickým vedením. [2]

1.4. Vymezení pojmu obráběcí centrum

V průmyslové praxi, která používá pro svoji činnost obráběcí stroje, se vyskytují dvě základní operace třískového obrábění, a sice soustružení a frézování. Tomu také odpovídá množství konvenčních (ručně řízených) obráběcích strojů nutných k tomu, aby byly obrobny různé tvary obrobků. [2]

Pokud má však stroj možnost provádět navíc různé druhy operací a automatickou výměnu nástrojů a obrobků, hovoříme o obráběcím centru. Obráběcím centrem rozumíme takový číslicově řízený stroj, který:

- může provádět různé druhy třískových operací;
- pracuje v automatickém cyklu;
- je vybaven automatickou výměnou nástrojů;
- je vybaven automatickou výměnou obrobků;
- může pracovat v bezobslužném provozu;
- je vybaven prvky diagnostiky a měření;
- je vybaven prvky inteligence[2]

Pro obráběcí centra (viz obr. 3) je charakteristické, že jedna ze dvou základních operací třískového obrábění je dominantní. Tedy např. soustružení je dominantní a frézování doplňkové anebo naopak. [2]

V současné době jsou vyráběny CNC obráběcí stroje, které jejich výrobci označují jako multifunkční obráběcí centra. Ty mají přidanou hodnotu spočívající v tom, že různé druhy třískového obrábění mají oproti obráběcímu centru vyrovnané velikosti výkonů (případně krouticího momentu). Na jedno upnutí je umožněno v co největší míře obrábět různé tvary obrobků (např. soustružení smýkadel). [2]



Obrázek 3 OPTIMUM Premium 5-osé univerzální obráběcí centrum [6]

1.5. Rozdělení CNC obráběcích strojů

CNC obráběcí stroje rozdělujeme podle následujících hledisek:

- kinematika: sériová, paralelní, smíšená;
- jednoprofesní: soustružnické, frézovací, vrtací, brousicí, vyvrtávací;
- obráběcí centra: rotační obrobky, nerotační obrobky;
- multifunkční centra: rotační obrobky, nerotační obrobky. [2]

Kromě naznačeného členění mohou nastat kombinace, jako např. jednoprofesní CNC frézka se sériovou kinematikou pro vysokorychlostní obrábění. [2]

Podle stupně vývoje dělíme číslicové stroje následovně:

Stroje první vývojové generace: NC stroje, které byly odvozeny od běžných konvenčních strojů a přizpůsobeny pro NC řídicí systémy. [2]

Stroje druhé vývojové generace: Tyto stroje již byly konstruovány speciálně pro číslicové řízení. Byly vybavovány systémem automatické výměny nástrojů, kdy výměna opotřebovaných nástrojů v zásobníku je ruční. [2]

Stroje třetí vývojové generace: Tyto stroje vyznačují použitím systému automatické výměny obrobků. Zásobníky nástrojů mají větší kapacitu s ruční výměnou opotřebovaných nástrojů. [2]

Stroje čtvrté vývojové generace: Tuto vývojovou generaci lze prohlásit za zcela automatickou jak v oblasti výměny nástrojů a obrobků a manipulace s třískami, tak i v návaznosti na všechny druhy mezioperační dopravy. Jde tedy o plně automatizovaná technologická pracoviště s vysokým stupněm automatizace a s možností pracovat ve třísměnném provozu. [2]

Stroje páté vývojové generace: Po téměř uspokojivém vyřešení úplné automatizace základních funkcí CNC obráběcích strojů v předcházejících generacích se začaly uplatňovat v konstrukcích mechatronické prvky. Znamená to zejména elektronickou kompenzaci chyb polohování, měření rozměru obrobků během obrábění (inprocesní kontrola) měřicími sondami a korekce programu pro dodržení výkresových rozměrů a úchylek přesnosti. Dále se objevuje laserové odměřování polohy a optimalizace řezných podmínek. [2]

Stroje šesté vývojové generace: Tyto stroje mají konstrukci založenou na zkušenostech z předcházejících generací s těmito charakteristickými znaky:

- snižování času výměny nástroje a obrobků na minimum;
- koncepce „šitá zákazníkovi na míru“;
- vysokorychlostní a suché obrábění;
- dálková diagnostika hlavních skupin strojů;
- vysoce přesné obrábění (desetiny mikrometrů). [2]

Stroje sedmé vývojové generace: Tyto stroje mají konstrukci založenou na zkušenostech z šesté generace s tím, že do jejího řídicího systému a vlastní konstrukce stroje jsou implementovány prvky inteligence. [2]

2. Inteligentní CNC obráběcí stroje a jejich konstrukce

2.1. Intelligence obráběcích strojů

Vývoj v oblasti CNC obráběcích strojů představují inteligentní CNC obráběcí stroje, které nezávisí na lidském faktoru během procesu obrábění.

Obráběcí stroj se chová podle algoritmu inteligence, který byl do něj vložen výrobcem. Adaptace obráběcího stroje může probíhat např. takto:

- porovnání výstupů ze senzorů s uloženými modely;
- zpracování těchto signálů a vyvození akce;
- přizpůsobování se měnícím se podmínkám (tj. schopnost adaptability). [2]

Následuje přehled výrobců, kteří vyvíjí inteligentní CNC stroje:

2.2. Heidenhain

Firma Heidenhain představila dvě skupiny softwarových funkcí, které směřují k optimalizaci procesu obrábění na výkon i kvalitu výsledných obrobků. Jde o volitelné funkce řídicích systémů řady TNC, určených pro frézovací stroje nebo multifunkční obráběcí centra s možností soustružení a frézování. [2]

- Dynamic efficiency: tři softwarové funkce, které napomáhají ke zvýšení rezného výkonu a zkrácení doby obrábění
 - trochoidální frézování – funkce pro hrubování drážek a kapes;
 - AFC – adaptivně reguluje posuv v závislosti na situaci obrábění;
 - ACC – snižuje tendenci ke kmitání. [2]
- Dynamic Precision: volitelné funkce, které účinně potlačují dynamické chyby obráběcích strojů
 - CTC – kompenzace polohových odchylek závislých na zrychlení ve středu nástroje;
 - AVD – aktivní potlačení vibrací pro lepší povrch;
 - PAC – polohově závislé přizpůsobení regulačních parametrů;
 - LAC – přizpůsobení regulačních parametrů v závislosti na zatížení, a tím i vyšší přesnost nezávisle na stárnutí a zatížení;
 - MAC – pohybově závislé přizpůsobení regulačních parametrů. [2]

2.3. Kovosvit MAS

Řešení minimalizace teplotních deformací jsou většinou poměrně nákladná, např. klimatizovaná hala. Softwarové teplotní kompenzace obráběcích strojů oproti tomu představují levný způsob, jak minimalizovat teplotní deformace strojů. [2]

V současné době je nejběžnější používaný typ softwarové teplotní kompenzace získán na základě lineární regresní analýzy (tzv. MLR z angl. Multiple Linear Regression). Jedná se o jednoduchý matematický popis a běžné řídicí systémy strojů (např. Siemens, Heidenhain) standardně tuto funkci nabízejí. V rámci spolupráce s ČVUT v Praze a tradičního výrobce obráběcích strojů Kovosvit MAS byly tyto pokročilé softwarové teplotní kompenzace aplikovány na portálové obráběcí centrum MMC 1500 zobrazeném na obrázku 2.1. Kompenzační algoritmus využívá šest teplotních čidel umístěných v blízkosti jednotlivých dominantních teplotních zdrojů a aktuální otáčky vřetena pro popis teplotních deformací os X, Y, Z, které vznikly díky rotaci vřetena, pohybu v osách X a Z a vlivu okolního prostředí. [2]



Obrázek 4 MAS portálové obráběcí centrum MMC 1500 [7]

2.4. Mazak

Firma Mazak vyvinula několik inteligentních funkcí pro zvýšení produktivity a přesnosti, ale i pro podporu obsluhy.

- Intelligent Thermal Shield (ITS): řízení úchylek způsobených teplotním zatížením. Díky kombinaci kompenzací přemístění vřetena a provedení vlastní konstrukce stroje je dosahováno požadované přesnosti.
- Active Vibration Control (AVC): redukuje vibrace pro docílení vysoké přesnosti polohování a redukce času obrábění.
- Intelligent Safety Shield (ISS) usnadňuje obsluhu stroje pomocí 3D modelu na obrazovce stroje odhalit případné kolize.
- Intelligent Maintenance Support (IMS): dává obsluze prostřednictvím displeje řídicího systému informace o preventivní údržbě.
- Mazak Voice Adviser (MVA): slovně informuje, která tlačítka má operátor při ručním řízení ovládat.
- Intelligent Performance Spindle (IPS): monitoruje frézovací vřeteno tak, aby byla provedena jeho preventivní údržba. [2]

2.5. Okuma

Firma Okuma nasazuje ve svých obráběcích strojích inteligentní technologii určenou pro stroj (Thermo-Friendly Concept), operace (Collision Avoidance System) a obrábění (Machining Navi). [2]

Thermo-Friendly Concept (TFC) s růstem teploty nebojuje, ale naopak pracuje. Kombinuje řízení a konstrukce vlastního stroje tak, aby bylo teplo minimalizováno, a teplo, které nemůže být odstraněno, je vzato v úvahu pro další činnost. [2]

TFC má tyto atributy:

- nepotřebuje temperování stroje před zahájením obrábění;
- eliminuje ruční nastavování obsluhou stroje;
- šetří čas;
- šetří peníze a snižuje spotřebu energie;
- umožňuje stroji obrábění v submikronové oblasti;
- zvyšuje trvanlivost. [2]

Protikolizní systém Collision Avoidance System (CAS) umožňuje u stále složitějších konstrukcí víceosých strojů s automatickou výměnou nástrojů zabránit vzniku kolize při reálném obrábění. CAS integruje 3D modelování strojů. Pracovní prostor, nástroje a řídicí systém za účelem vytvoření virtuálního stroje. Pokud tato simulace proběhne těsně před vlastním řezem, může být problém brzy objeven a stroj je zastaven před vlastní srážkou. [2]

Machining Navi si vybere optimální řezné podmínky, kdy je možné se vyhnout samobuzenému kmitání, a tím je šetřen čas obrábění a maximalizuje se produktivita. Pro soustružení je použito Machining Navi L-g, kdy jsou měněny v průběhu řezu otáčky k dosažení ideálního obrobení. Pro frézování vysokými rychlostmi užívá Machining Navi M-g mikrofon k analyzování kmitů. [2]

Machining Navi M-i je inteligentní optimalizace otáček při frézování, kdy je použit vestavěný senzor dávající pokyn k automatické změně otáček. Při obrábění Navi M-i stroj používá senzory k detekci aktuálních podmínek, ty analyzuje a poté vypočítá nové podmínky obrábění, které ihned automaticky změni otáčky vřetena pro optimální obrábění. Výhody používání funkce Navi spočívají ve zvýšení produktivity, prodloužení životnosti nástrojů či snížení počtu vad. [2]

Při pětiosém obrábění ovlivňují obrábění geometrické chyby stroje. Je to několik možných druhů geometrických chyb na pětiosých strojích včetně posunutí rotačních os, naklopení a deformace teplem. Tyto chyby vedou k chybám při obrábění. Vyvinutý 5 Axis Auto Tuning System (ATS) řídí a kompenzuje geometrické změny a při použití TFC jsou zároveň stabilizovány teplotní deformace. Výhodou ATS je, že umí detekovat jedenáct chyb. Tím je pětiosé obrábění značně zpřesněno. [2]

2.6. Toyota

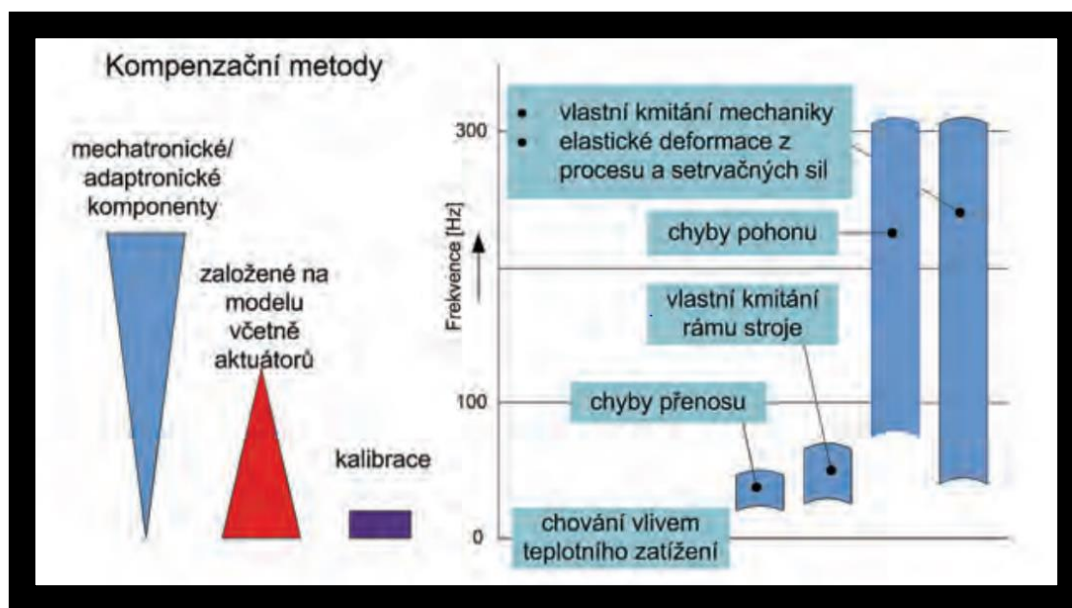
Ke stabilizaci přesnosti polohování umístila firma na konec kuličkového šroubu senzor, který měří jeho prodloužení. Signál je přenášen do řídicího systému a odsud je zanášena kompenzace do servomotoru. Senzor je vestavěn i do vřetena na jeho čelo a tím je přesně kompenzováno přemístění vřetena kvůli tepelné zátěži. [2]

3. Mechatronika v konstrukci CNC obráběcích strojů

Předchozí kapitola se zabírala inteligentními CNC obráběcími stroji. K vyvinutí inteligentního CNC obráběcího stroje je nezbytná vědní disciplína nesoucí název mechatronika. Mechatronika je synergistická interakce strojů s elektronikou a inteligentním počítačovým řízením při návrhu a výrobě výrobků a procesů.

Prínosy mechatroniky přesahují pouhý aditivní efekt. Řešení rozporu mezi požadavky na výrobní přesnost ve velkých pracovních prostorech strojů a pružnou a spolehlivou výrobu vyžaduje konstruovat výrobní stroje s univerzální systémovou architekturou a s typickými vlastnostmi mechatronického systému – schopností rychlého přestavení (rekonfigurovatelnosti) a odolností vůči poruchám (autooptimalizací). [2]

Mechatronika se velkou částí podílí na kompenzaci chyb obráběcího stroje, jak je patrné z obr. 5.



Obrázek 5 Šířka pásma chyb obráběcího stroje a možnosti jejich korekce [2]

3.1. Mechatronika a adaptronika

Termín adaptronika zastřešuje výzkum v materiálových vědách a inženýrství, které byly inspirovány bionickými konstrukčními principy, jako je struktura lidského svalu. Tyto práce byly zaměřeny na vytvoření výkonných a lehkých konstrukcí pro letectví a kosmonautiku přímou integrací materiálů používaných v senzorech a aktuátorech do vlastní konstrukční struktury výrobku. Tyto materiály přímo přeměňují energii z jedné formy na druhou, a proto se mohou

chovat jako senzory a aktuátory. Jedná se zejména o piezoelektrické materiály, slitiny s tvarovou pamětí, magnetostrikční materiály, elektricky a elektromagneticky aktivované tekutiny a polymery. Spojením kompozitních prvků, chovajících se jako senzory a aktuátory, a použitím vhodného adaptivního řízení jsou přímo ovlivňovány dynamické vlastnosti základní mechanické struktury. [2]

3.2. Systémové úrovně (hierarchické) výrobního stroje

Základními mechatronickými moduly jsou hlavní osy stroje (vřeteno/otočný stůl a posuvy/výložník). Tyto moduly spolu s integrací v rámci IT vymezují schopnosti aktuátory (pohonu) a šířku pásma řešení na úrovni celého stroje. [2]

Pomocné mechatronické komponenty, integrované do základních modulů, slouží pro potlačení nesprávné funkce stroje autonomními komponentami. Návrh je tak optimálně přizpůsoben lokálnímu problému a dochází k odstranění omezení šířky pásma chyb, které mají být kompenzovány. [2]

Přibližnou realitu stavu procesu mechatronického systému výrobního stroje zobrazují senzory komponent spolu s pomocnými senzory. Vlastní pohony výrobních strojů jsou s podporou modelů řízeny tak, aby korigovaly chyby procesu. Vhodnou aplikací je zejména kalibrace strojů nebo eliminace kvazistatických zdrojů chyb, např. tepelných dilatací. [2]

Optimálního výsledku proto může být dosaženo pouze prostřednictvím konceptu integrace systému, který bere v úvahu jak mechanickou podstatu, tak i signálové a energetické toky celé architektury. [2]

3.3. Simulační modelování a analýza

Cílem návrhu systému založeného na modelu je ucelená prognóza a optimalizace chování, zahrnující všechny různorodé obory. Protože chyby návrhu nemohou být potlačeny v pozdějších detailních fázích vývoje, jsou modelování a simulační analýza potřebné už v raných fázích vývoje, dokud je databáze málo naplněna a může být postupně rozlišována podle získávání detailnější znalosti o systému. [2]

4. Elektrické servopohony v mechatronice

Díky vysokým požadavkům na CNC obráběcí stroje je nutná odpovídající regulace pohonných jednotek. Důvodem používání výhradně elektrických servopohonů v CNC obráběcích strojích je, že splňují nároky automatizace na spolehlivost.

Elektrický servopohon viz obr. 6 je regulační pohon, sestávající z jednoho, nebo více elektrických motorů, napájecích výkonových měničů a řídicích a regulačních obvodů. Zatímco běžný elektrický pohon může pracovat v řadě případů i v otevřené regulační smyčce, tj. bez zpětné vazby, servopohon je zapojen vždy v uzavřené regulační smyčce, se zpětnou vazbou rychlostní a většinou i polohovou. Dominantními požadavky na servopohony jsou jejich regulační parametry, tj. přesnost a rychlost regulace. [3]



Obrázek 6 Servopohony pro CNC obráběcí stroje [8]

4.1. Systémy řízení servopohonů

Nejjednodušší autonomní servopohony individuálně využívaných pracovních strojů mohou být ovládány pouze ručně z ovládacího panelu stroje. Častější je však případ, kdy servopohony jsou součástí rozsáhlejšího systému řízení, nejčastěji uspořádány hierarchicky:

Na nejnižší úrovni (což znamená nejbližší technologickému procesu) jsou servopohony – autonomní rychlosti nebo polohové servomechanizmy. Tato úroveň řízení zajišťuje dynamiku pohybu a zpětná diagnostická hlášení. Střední úroveň řízení je nejčastěji řídicí počítač (numerický řídicí systém), který řídí v reálném čase technologický proces; v případě servopohonů zadává polohu a rychlost pohybu, případně krouticí moment. Řídicí počítače jednotlivých pracovních

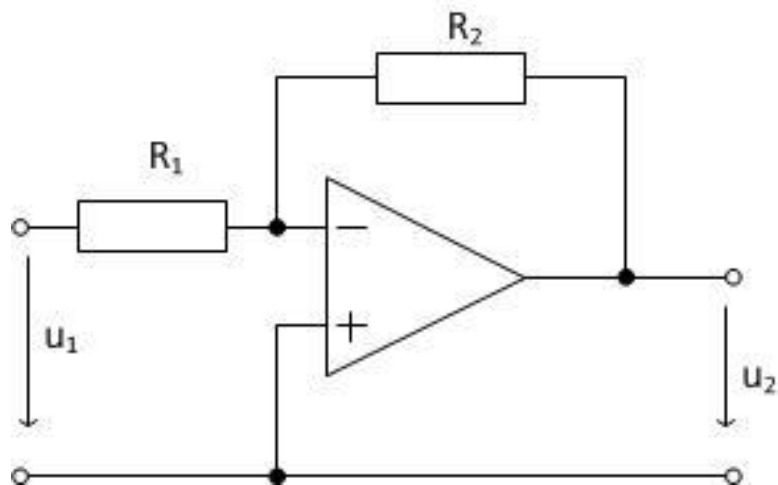
strojů, řazených do technologických linek, jsou zapojeny do lokální počítačové sítě a řízeny z nadřazeného počítače, kterým je řízen celý technologický cyklus včetně obslužných funkcí, jako je doprava materiálu a polotovarů, kontrola a testování. [3]

4.2. Servopohon jako polohový servomechanismus

Rychlostní (otáčkový) servopohon má pouze otáčkovou zpětnou vazbu a umožňuje rychlé a přesné sledování zadávané rychlosti, při čemž zadávaná rychlost může být výstupem nadřazeného regulátoru, kterým může být např. regulátor polohy nebo technologický regulátor. [3]

Polohový servopohon je servomechanismus pro řízení polohy – buď úhlu natočení, nebo prostřednictvím převodu posuvné dráhy. [3]

Přesné řízení polohy vyžaduje uzavřenou polohovou vazbu, jejíž princip spočívá v porovnávání zadávané polohy se skutečnou polohou, získanou odměřováním. Pro sledovací servomechanismy se nejčastěji používá proporcionálních regulátorů polohy viz obr. 7, jejichž výstupem je žádaná hodnota rychlosti. Pohon tedy sleduje zadávanou polohu s určitou polohovou odchylkou, přímo úměrnou rychlosti sledování. [3]



Obrázek 7 Schéma zapojení proporcionálního regulátoru [9]

4.3. Způsob odměřování a řízení polohy

K odměřování skutečné polohy slouží snímače polohy. Podle použitého principu odměřování to jsou snímače absolutní, inkrementální a cyklicky absolutní. [3]

Absolutní snímače udávají absolutní hodnotu polohy v celém rozsahu odměřování, tj. každé poloze je přiřazena jednoznačně hodnota signálu snímače a naopak. Předností absolutního odměřování je existence informace o skutečné poloze hned po zapnutí zařízení. [3]

Inkrementální snímače (viz obr 8) mají vysokou přesnost i rozlišitelnost, avšak informaci o absolutní poloze lze získat pouze tak, že po zapnutí servomechanismus najede na tzv. referenční bod nulovou polohu v dané ose, skutečná absolutní poloha je pak dána obsahem čítače odměřovacích impulsů. [3]



Obrázek 8 Optoelektronické inkrementální rotační snímače [10]

Podle umístění snímače polohy rozlišujeme tzv. přímé a nepřímé odměřování. Při nepřímém odměřování je rotační snímač polohy umístěn na hřídeli motoru. Výhoda nepřímého odměřování spočívá v tom, že nelinearity mechanických převodů jsou vně uzavřené polohové smyčky, což má příznivý vliv na její kvalitu a usnadňuje její nastavování. Na druhé straně tyto nelinearity mechanického převodu způsobují dodatečnou chybu řízení polohy, kterou již nelze regulačně ovlivnit. [3]

Protože poloha i rychlost jsou jednoznačně matematicky svázány, není nutný polohový regulátor typu PI, nýbrž pouze typu P. [4]

Zesílení proporcionálního regulátoru polohy je poměr rychlosti v k polohové odchylce (x_1-x) .

$$K_V = \frac{v}{x_1-x} \quad (4.1)$$

Zesílení K_V se nazývá rychlostní konstantou polohové smyčky a číselně udává rychlost sledování při jednotkové odchylce skutečné polohy od polohy zadávané. Čím vyšší je K_V , tím menší je tedy chyba sledování polohy při dané rychlosti sledování. [3]

Vstupním signálem pro polohový regulátor je okamžitá odchylka žádané a skutečné polohy. Výstupem polohového regulátoru je tedy žádaná rychlost. [4]

4.4. Vlastnosti polohové smyčky

Standardní struktura regulace polohového servomechanismu je tvořena polohovou smyčkou s podřízenou otáčkovou smyčkou. Jako další podřízená smyčka otáčkové smyčky může být smyčka proudová nebo momentová. [3]

Smyčka nejnižší úrovně – momentová (proudová) – slouží k rychlé regulaci proudu, ochraně motoru před přetížením a k omezení maximálního momentu, kterým může působit motor na mechanickou soustavu. [3]

Hlavním testem činnosti otáčkové smyčky je měření odezvy na skok rychlosti a příslušné regulační odchylky polohy Δ , jejíž časový průběh by měl být bez překmitu s minimálním obsahem kmitavých složek. [4]

Polohová smyčka je nadřazena otáčkové smyčce a výstup polohového regulátoru je žádanou hodnotou otáček. Charakteristickým znakem uzavřené polohové smyčky je její integrační charakter (poloha je integrálem rychlosti). Teoreticky je tedy polohová odchylka při nulové rychlosti rovněž nulová. Prakticky je citlivost pohonu na inkrementální odchylku polohy, danou rozlišovací schopností polohového snímače, závislá na citlivosti a rychlosti integrace otáčkového regulátoru. Parametrem, určujícím kvalitu polohové smyčky, je polohové zesílení (rychlostní konstanta K_V). [3]

Pohon je nutno dimenzovat nejen na statický zatěžovací moment, ale i na momenty dynamické a kontrolovat na přípustné ztráty, aby nebylo překročeno dovolené oteplení vinutí motoru. [3]

4.5. Rychlostní regulace

Po vyčíslení vztahu

$$\frac{\partial v}{\partial M_Z} = -\frac{R}{K_M K_E} \quad (4.2)$$

v [rad/s]... rychlost

M_Z [Nm]... vnější brzdový moment

K_E [Vs/rad]... napěťová konstanta

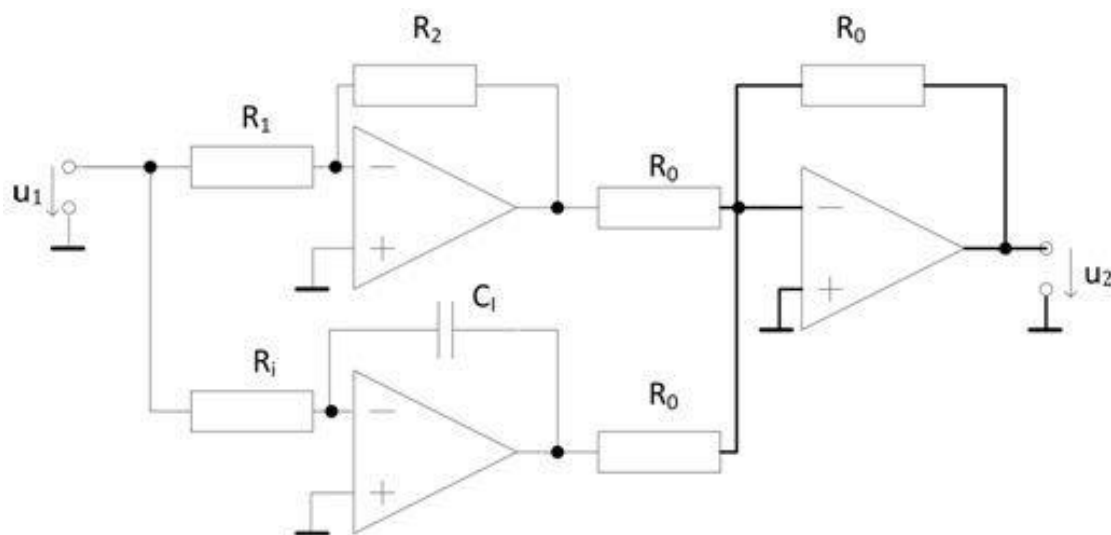
K_M [Nm/A]... momentová konstanta

pro rychlostní poddajnost u konkrétních typů motorů vychází neúnosně velká závislost rychlosti na zatížení. Náprava je možná pomocí rychlostní zpětné vazby s regulátorem typu PI (viz obr. 9), jehož přenos je stejného typu jako u regulace proudu. [4]

$$K_P \frac{1+T_N s}{T_N s} \quad (4.3)$$

K_P [A/m/s]... proporcionalní zesílení

T_N [s]... integrační časová konstanta



Obrázek 9 Schéma zapojení PI regulátoru [9]

Rozdíl žádané a skutečné rychlosti je rychlostním regulátorem převeden na požadovaný proud, který je zaveden na vstup regulátorů proudu. I u motorů AC postačuje jediný rychlostní regulátor, neboť jeho signál představuje v rovnicích pouze amplitudu I_0 . Údaje o úhlu φ jsou od

komutačního snímače a rozeslány na jednotlivé proudové regulátory. Ze schématu rychlostní smyčky je možno určit velikost celkového zesílení K_R , které rozhoduje o její stabilitě:

$$K_R = \frac{K_P K_{MCELK}}{J_{CRED} T_N} \quad (4.4)$$

K_R [1/s²]...celkové zesílení rychlostní smyčky

K_{MCELK} [Nm/A]...momentová konstanta od cívek

J_{CRED} [kgm²]...redukovaný moment setrvačnosti motoru a zátěže

Se zvyšováním hmotnosti je možno bez újmy na stabilitě zvyšovat proporcionální zesílení rychlostního regulátoru. [4]

Přenosová funkce mezi vnější silou a rychlostí pohonu (tzv. poddajnost rychlostní smyčky) je v ustáleném stavu nulová, takže rychlost nezávisí na velikosti statické vnější síly. [4]

Správné naladění rychlostní smyčky je rozhodujícím předpokladem pro dobrou činnost regulace polohy. Největší informační obsah při seřizování má frekvenční charakteristika rychlostní smyčky a z ní zjištěné propustné pásmo, které by mělo být co nejvyšší. Omezujícím faktorem však zde bývají různé rezonanční špičky, způsobené vlivem mechanické stavby celé posuvové soustavy. Ve skutečnosti se totiž nikdy nejedná o pouhý jednohmotový systém, jak je zde předpokládáno. Úpravy frekvenční charakteristiky jsou možné zaváděním přídatných přenosových funkcí (tzv. proudových filtrů) za výstup rychlostního regulátoru. [4]

Dalším testem funkce rychlostní smyčky je odezva na skok rychlosti (přechodová funkce), která by měla být co nejrychlejší s překmitem 12 až max. 25% a rychlým útlumem. [4]

4.6. Stejnoseměrný motor

Stejnoseměrný motor patří k nejstarším elektrickým strojům, kdy první elektrické rozvody byly stejnoseměrné a prvními generátory byla stejnoseměrná dynama poháněná parními stroji. [3]

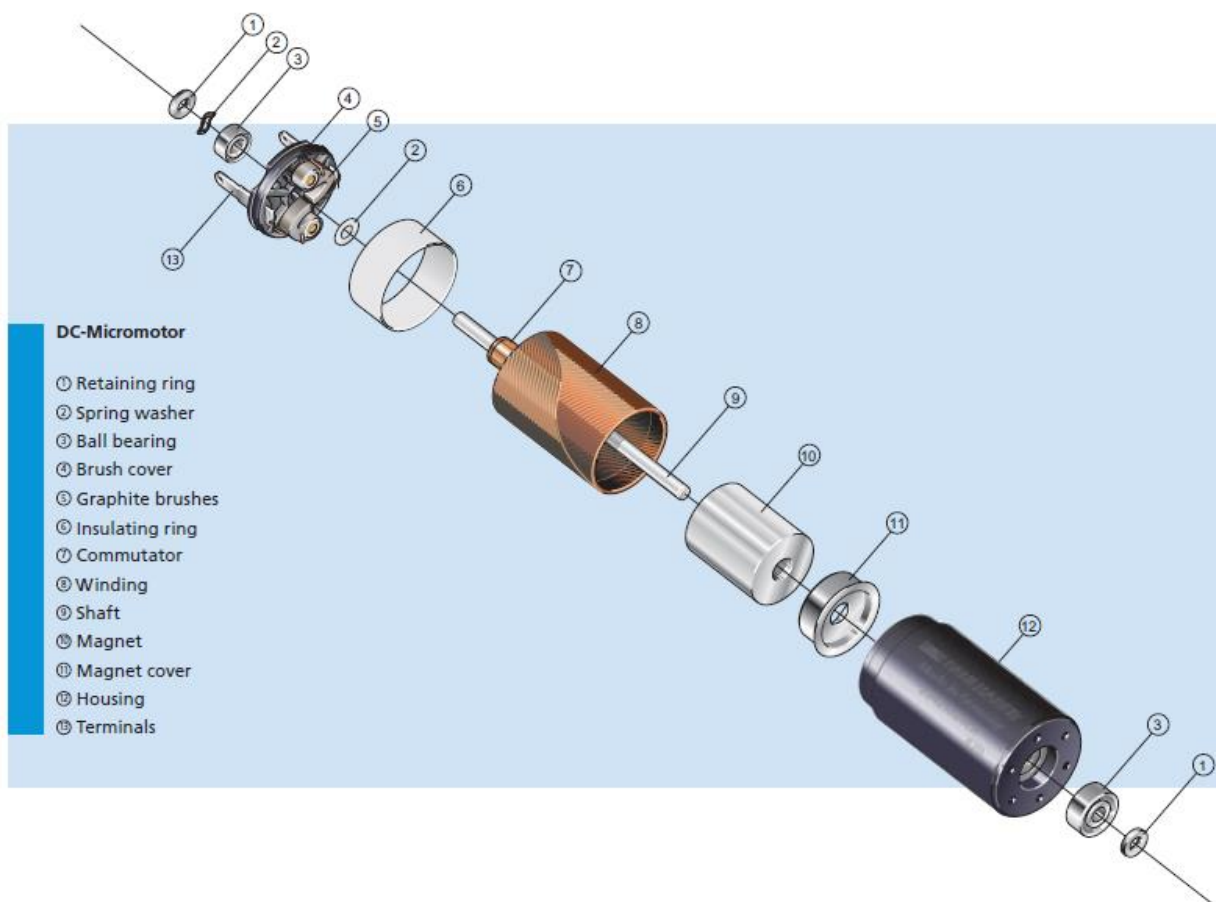
Stejnoseměrný motor je ideálním regulačním motorem – jeho otáčky lze plynule měnit změnou přiváděného napětí. [3]

Pro servopohony se používá zejména stejnoseměrných motorů s buzením permanentními magnety ve statoru. Pro magnety se používá magneticky tvrdých materiálů, zejména feritů a spěkaných materiálů ze vzácných zemin, např. samarium-kobalt nebo sloučeniny neodymu, železa a bóru. Aktivními částmi stejnoseměrného motoru jsou stator se jhem, permanentními magnety a pólovými nástavci z měkkého železa pro koncentraci magnetického toku do vzduchové mezery, rotor

(kotva) s vinutím, tvořeným jednotlivými cívkami, uloženými v drážkách a vyvedenými na komutátor, který spolu s uhlíkovými kartáči a kartáčovými držáky tvoří tzv. sběrací ústrojí. [3] Nejvyšší stupeň integrace pohonu a mechanické stavby stroje představují tzv. přímé lineární pohony. Jde o vysoce dynamické synchronní motory bez vložených převodů, kde síla vodiče v magnetickém poli je přímo využita k pohybu suportu. Tím vzniká posuvový systém s velkou dosažitelnou rychlostí a minimem mechanicky opotřebitelných částí. Lineární motory jsou schopny vyvinout rychlosti 200m/min při zrychlení v násobcích g a silách v řádu 10^3N , maximálně 10^4N . Jejich výkonové zdroje a regulátory jsou principálně stejné jako u rotačních motorů. [4]

Vzhledem k přímému působení vnějších sil na vlastní motor bez vložených převodů je nutná rychlá regulace proudu spolu s vysokou hodnotou zesílení K_V v polohové zpětné vazbě. [4]

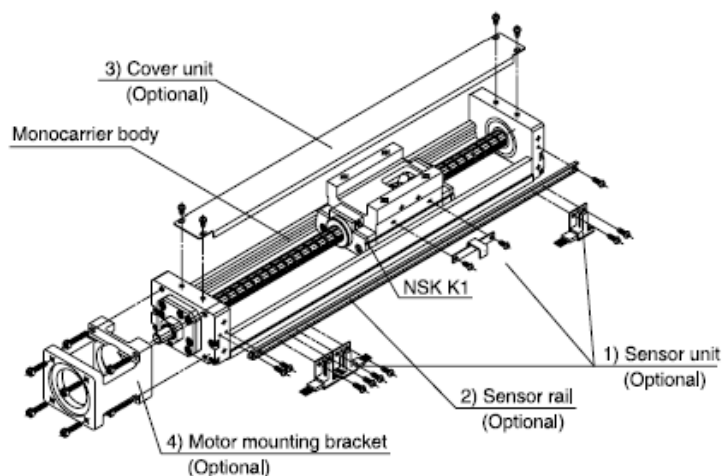
Součásti stejnosměrného DC motoru jsou vyobrazeny na obr. 10: 1. Pojistný kroužek, 2. Pružinová podložka, 3. Kuličkové ložisko, 4. Zadní víko, 5. Grafitové kartáče, 6. Izolační kroužek, 7. Komutátor, 8. Vinutí, 9. Hřídel, 10. Magnet, 11. Přední víko, 12. Pouzdro, 13. Svorky.



Obrázek 10 Díly rotačního servomotoru [11]

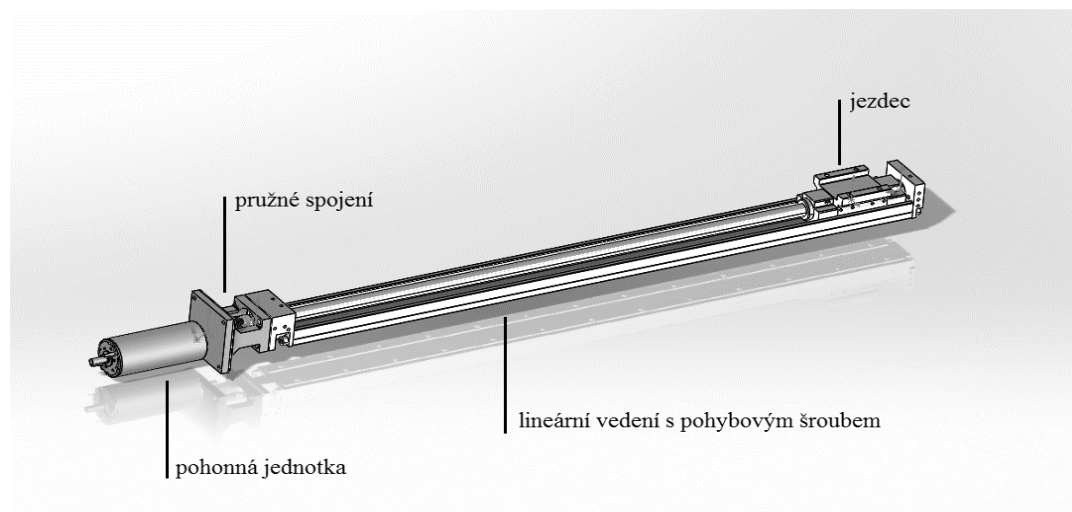
5. Simulace pohybu lineární CNC osy s pružnou spojkou

Na obr. 6.1 je zobrazena lineární CNC osa Monocarrier MCM od firmy NSK. V této ose je integrováno lineární vedení, pohybový šroub a jezdec. Jezdec se pohybuje po kuličkovém lineárním vedení ukotveném v integrované základně viz obr. 11.



Obrázek 11 Monocarrier MCM05050 [12]

Následně byl tento model vybaven pohonnou jednotkou 3890H048CR od německého výrobce Faulhaber. Výsledného spojení těchto komponent bylo dosaženo za pomoci pružné spojky. K vymodelování sestavy byl použit strojírenský 3D CAD software Solidworks. Kompletní 3D model sestavy lineární CNC osy se nachází na obr. 12.



Obrázek 12 Lineární CNC osa propojena s pohonnou jednotkou

V následujících subkapitolách budou postupně vytvořeny simulační modely jednotlivých prvků lineární osy, které budou následně sestaveny do celkového globálního simulačního modelu.

5.1. Simulační model DC motoru

Silovým prvkem, který uvádí mechanismu do pohybu, je DC mikromotor od renomovaného výrobce malých DC motorů firmy Faulhaber. Na obrázku 13 je zobrazen konkrétní Faulhaber mikromotor 3890H048CR.



Obrázek 13 DC Mikromotor 3890H048CR (výrobce: Faulhaber) [11]

Jedná se o stejnosměrný rotační motor s grafitovými kartáči a komutátorem. Motor dále obsahuje permanentní magnet na statoru a kotvu s vinutím uloženou v ložiscích. Rozložení napětí na kotvě lze popsat následující rovnicí:

$$U_N = U_E + Ri + L \frac{di}{dt} \quad (5.1)$$

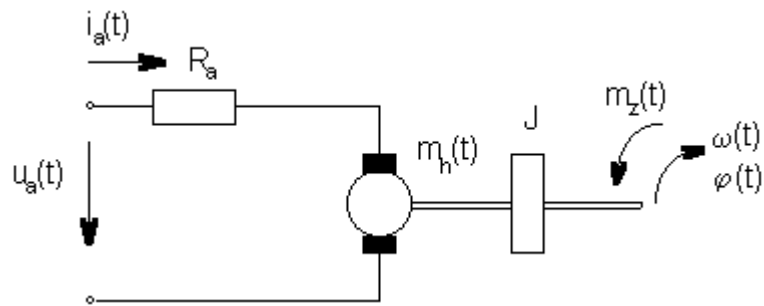
U_E [V]...zpětné indukované napětí

$$U_E = -K_E \omega \quad (5.2)$$

K_E [Vs/rad]...napěťová konstanta

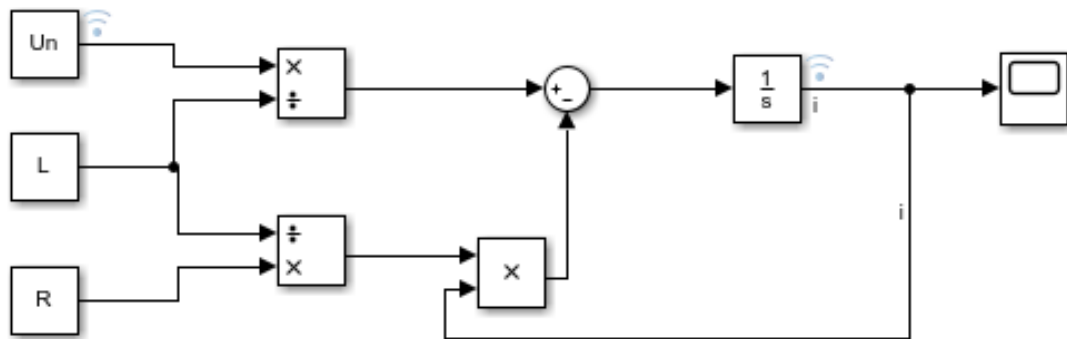
ω [rad/s]...úhlová rychlost kotvy

Tato rovnice představuje elektrickou část náhradního matematického schématu DC motoru.



Obrázek 14 Náhradní schéma DC motoru s vlastním buzením [13]

Simulace elektrické části náhradního schématu byla provedena v programu Matlab – Simulink viz obr. 15.



Obrázek 15 Blokové schéma DC mikromotoru - elektrika

Mechanická část náhradního schématu DC motoru je vyjádřena prostřednictvím rovnice momentové rovnováhy na kotvě:

$$M_K - M_Z = J_M \frac{d\omega}{dt} = J_M \alpha \quad (5.3)$$

$$M_K = K_M I \quad (5.4)$$

J_M [kgm²]...celkový redukováný moment setrvačnosti

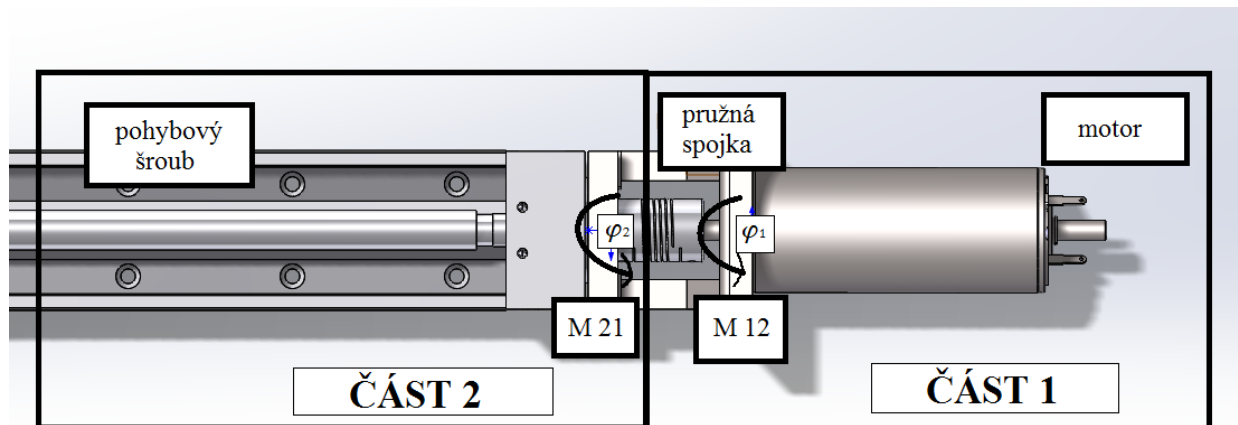
M_K [Nm]...moment kotvy

M_Z [Nm]...vnější zátěžný moment

K_M [Nm/A]...momentová konstanta motoru

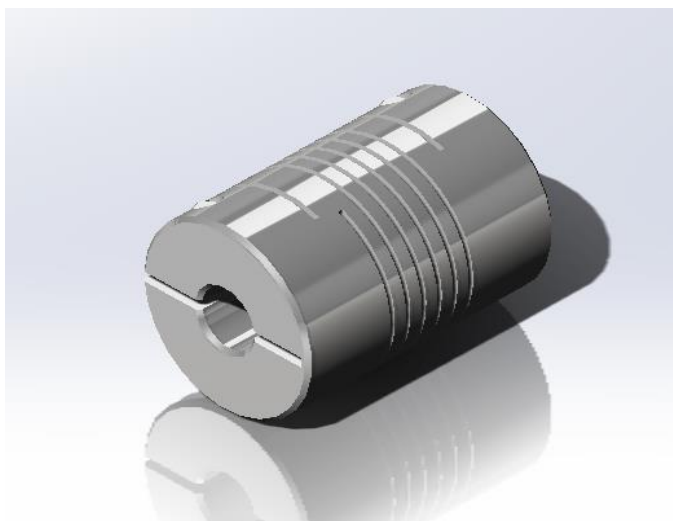
5.2. Simulační model pružné spojky

Mechanický systém 1 je se systémem 2 propojen prostřednictvím pružné spojky jak je vidět na obr. 16.



Obrázek 16 Pružné spojení hřídele DC motoru a pohybového šroubu

Pružná spojka v tomto případě uvažována jako spirálová spojka se svěrným nábojem z hliníku typ WKAK viz obrázek 17.



Obrázek 17 Spirálová spojka WKAK19200506

Tato spojka propojuje hřídel DC mikromotoru s lineární jednotkou Monocarrier MCH. Přenáší moment hnacího hřídele na pohybový šroub.

Vzhledem k principu akce a reakce je mechanická soustava 1 (motor) a 2 (Monocarrier) v silové rovnováze:

$$M_{12} = -M_{21} \quad (5.5)$$

M_{21} [Nm]...moment přenášený ze soustavy 2 na soustavu 1

M_{12} [Nm]...moment přenášený ze soustavy 1 na soustavu 2

Poddajnost v pružné spojce lze v prvním přiblížení modelovat jako torní pružinu:

$$M_{21} = k_{spoj}(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (5.6)$$

k_{spoj} [Nm/rad]...tuhost spojky

φ_1 [rad]...úhlové natočení hřídele

φ_2 [rad]...úhlové natočení šroubu

Je-li úhlové natočení hřídele větší než úhlové natočení šroubu je moment šroubu kladný.

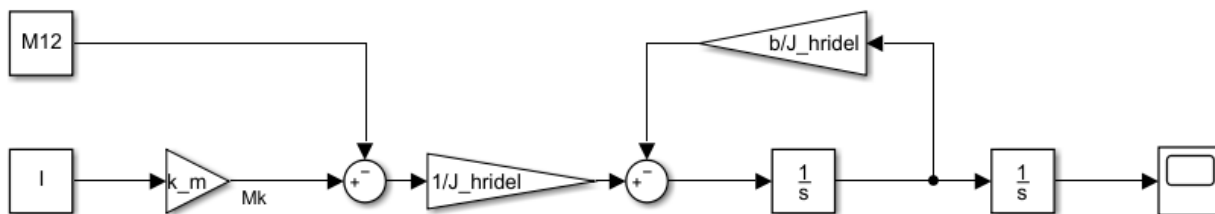
Momentová rovnováha na hřídeli motoru s uvažováním přenosu síly prostřednictvím pružné spojky spojující systém 1 se systémem 2:

$$M_{21} + M_K = J_h \alpha + b \omega \quad (5.7)$$

J_h [kgm²]...moment setrvačnosti hřídele

α [rad/s²]...úhlové zrychlení

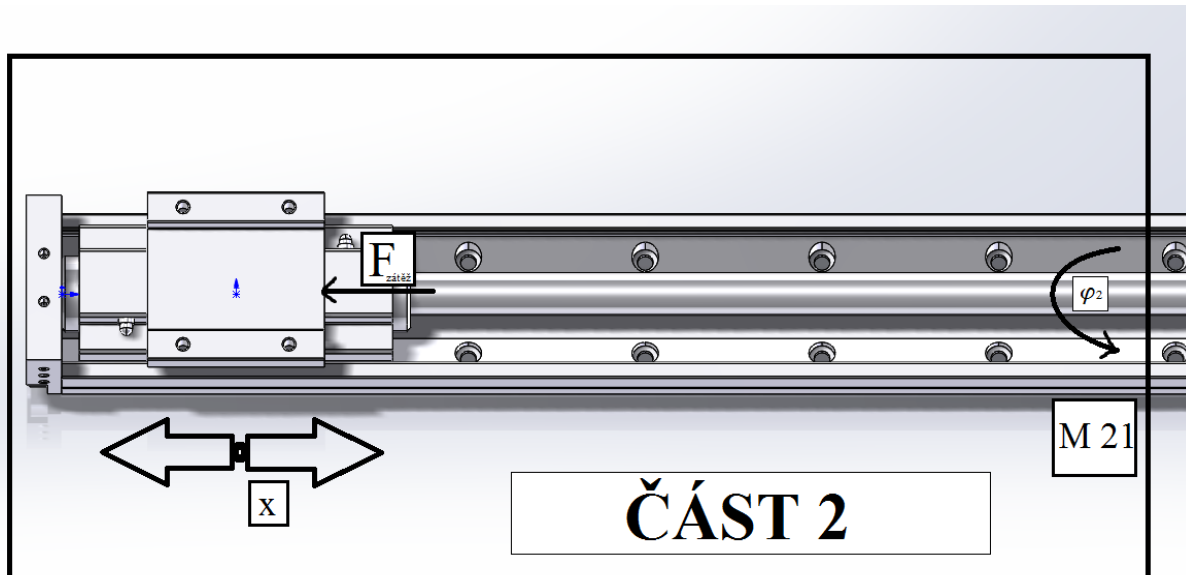
Schéma na obrázku 18 reprezentuje mechanickou část náhradního schématu DC motoru.



Obrázek 18 Blokové schéma DC mikromotoru - mechanika

5.3. Simulační model lineární osy Monocarrier MCM05050

Na DC motor je pružně napojen prostřednictvím spojky WKAK19200506 kuličkový šroub jednotky Monocarrier MCM05050. Jedná se o lineární polohovací jednotku, která pojí v celek několik komponent, což je z hlediska uživatele vítané.



Obrázek 19 Kuličkový šroub s jezdce (Monocarrier MCM05050)

Jezdec se pohybuje na bázi kuličkového vedení. Odvaluje se pomocí určitého počtu kuliček po profilu kolejniček, a stejně tak se odvaluje matka po kuličkovém šroubu. Na obrázku 19 je vyobrazen mechanický systém 2 skládající se z posuvného kuličkového šroubu a jezdce. Jezdec je navíc zatížen silou $F_{zátěž}$ reprezentující zatížení hmotou.

Poloha jezdce je určena vzorcem:

$$x = p\varphi_2 \quad (5.8)$$

x ...poloha jezdce

p ...převod kuličkového šroubu

Z polohy je možné pomocí derivace odvodit vzorec pro výpočet rychlosti posuvu:

$$v = p\omega \quad (5.9)$$

v [m/s]...posuvná rychlost

Za účelem vytvoření simulace mechanického systému 2 popíšeme posuvovou jednotku pomocí fyzikálních rovnic. K výpočtu dynamických vlastností soustavy slouží Lagrangeova rovnice 2. druhu. V tomto případě se zvolenou nezávislou souřadnicí [$\mathbf{q}\varphi=\mathbf{xg}$].

Rovnice kinetické energie pohybujících se hmot:

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J_s\omega^2 = \frac{1}{2}m(p\omega)^2 + \frac{1}{2}J_s\omega^2 = \frac{1}{2}\omega^2(mp^2 + J_s) \quad (5.10)$$

m [kg]...hmotnost lineární posuvné osy

J_s [kgm²]...moment setrvačnosti lineární posuvné osy

Lagrangeova rovnice 2. druhu

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_K}{\partial g\dot{q}} \right) - \frac{\partial E_K}{\partial q} = Q_j \quad (5.11)$$

Q_j [N]...obecná síla

Po derivaci kinetické energie podle úhlového natočení vyšlo, že druhý člen Lagrangeovy rovnice je nulový:

$$\frac{\partial E_K}{\partial q} = 0 \quad (5.12)$$

$$Q = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_K}{\partial g\dot{q}} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_K}{\partial \omega} \right) = \frac{d}{dt} (\omega(mp^2 + J_s)) = \alpha(mp^2 + J_s) \quad (5.13)$$

Výsledná síla je tedy:

$$Q = \alpha(mp^2 + J_s) \quad (5.14)$$

Z principu virtuálních prací plyne:

$$\delta W = Q_j \delta \varphi_j = M_{21} \delta \varphi_2 + F_{zátěž} \delta x \quad (5.15)$$

$$\delta x = p \delta \varphi_2 \quad (5.16)$$

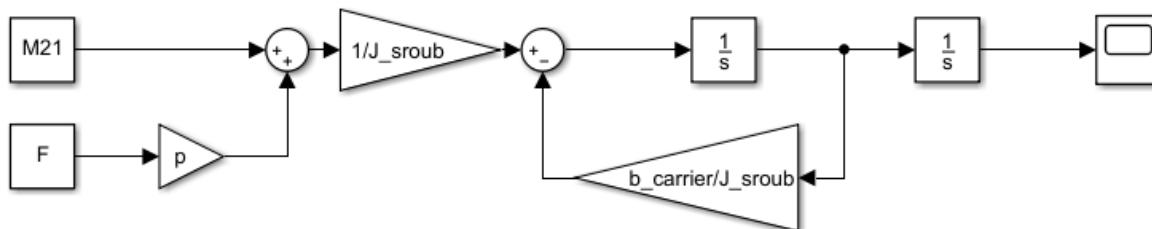
$$Q \delta \varphi_2 = M_{21} \delta \varphi_2 + F_{zátěž} p \delta \varphi_2 \quad (5.17)$$

Po úpravě platí pro lineární osu:

$$\alpha(mp^2 + J_s) = M_{21} + F_{zátěž} p \quad (5.18)$$

Pro vyjádření reálného stavu je třeba zahrnout do simulace tlumení lineární jednotky.

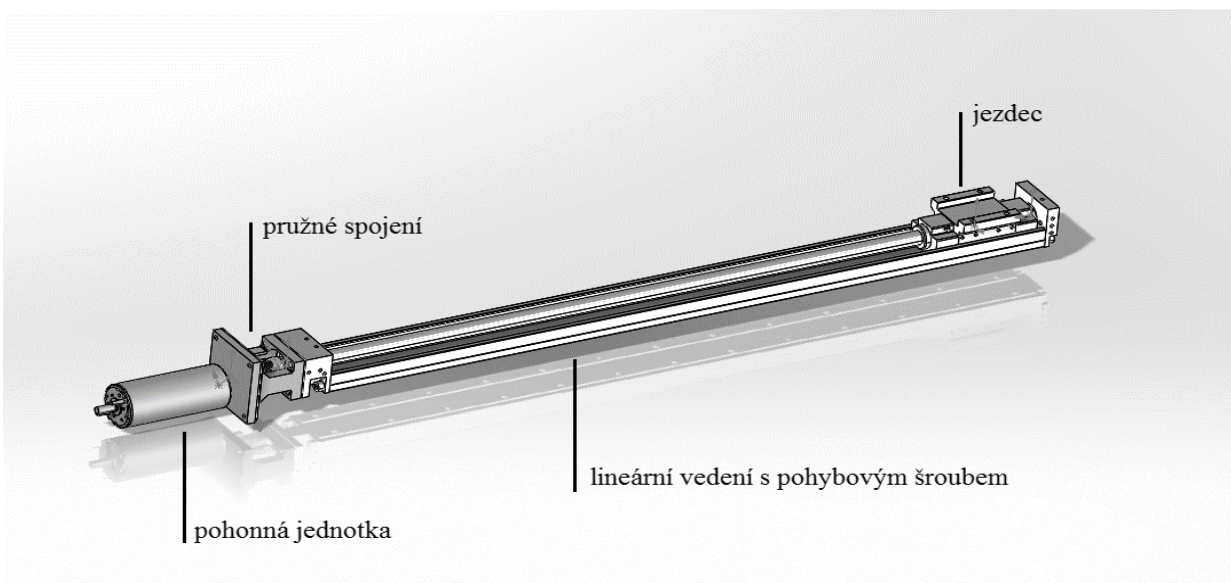
Blokové simulační schéma posuvové osy Monocarrier MCM05050 je zobrazeno na obrázku 20.



Obrázek 20 Blokové schéma mechanického systému 2

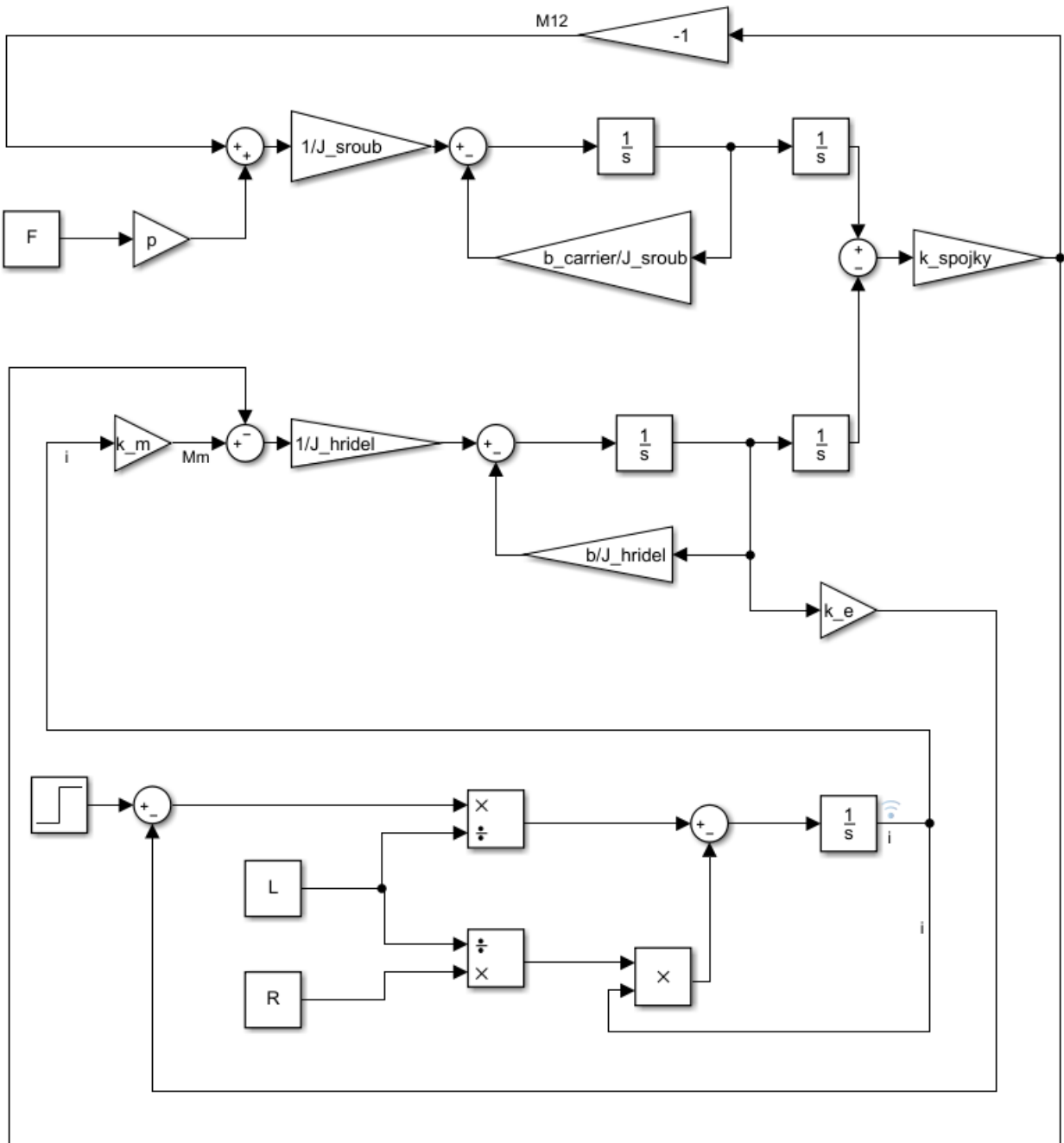
5.4. Simulační model sestavy motor-spojka-Monocarrier

Nyní už jsou popsány všechny části soustavy a lze je zahrnout do jednoho celku. Pro lepší orientaci znovu uvádím již pospojovaný model viz obr. 21.



Obrázek 21 Sestava motor-spojka-Monocarrier

Za účasti všech složek vzniká tedy celá sestava motor-spojka-Monocarrier. Simulace této sestavy, provedené v programu Matlab Simulink, je zobrazena na obrázku 22.

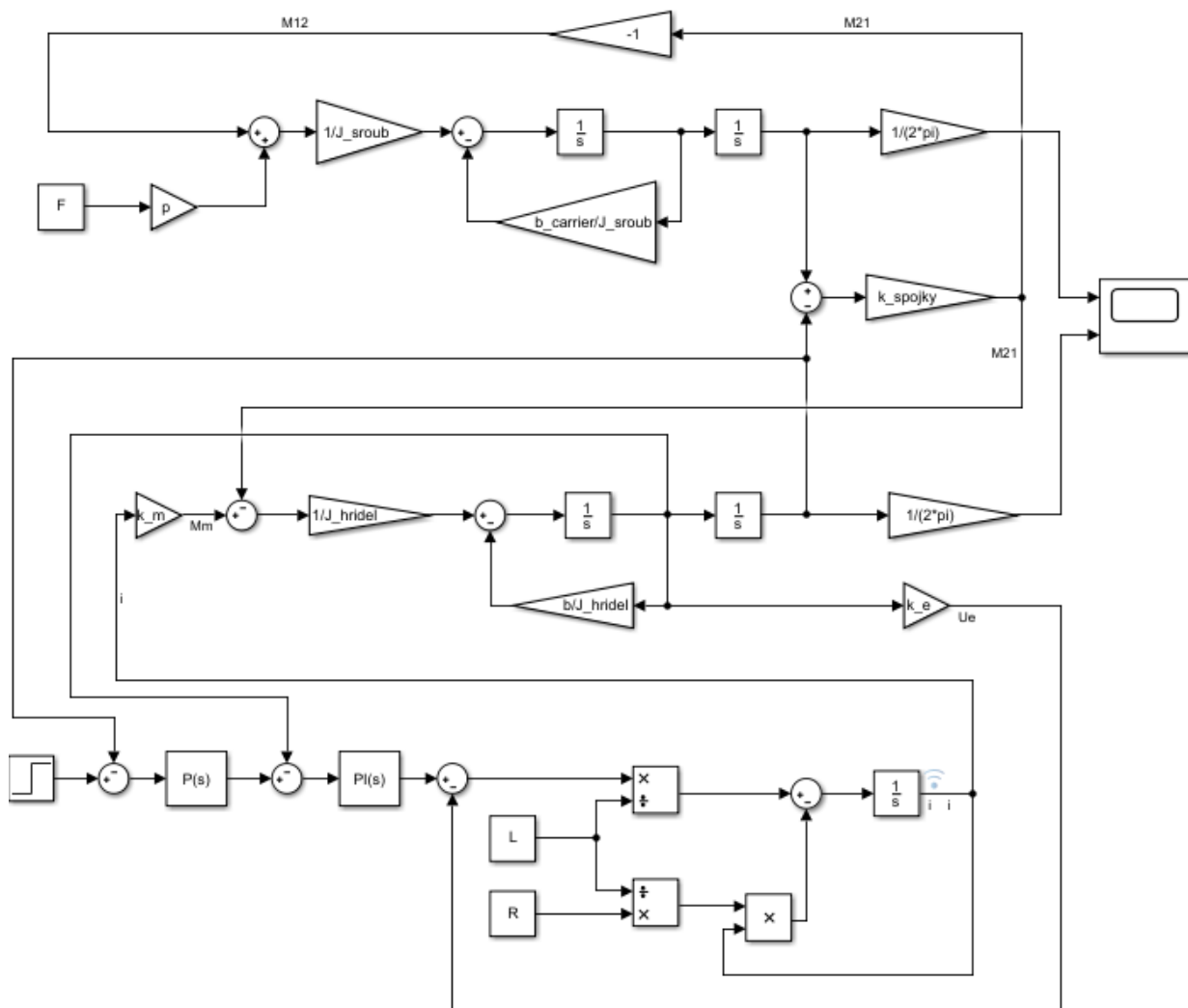


Obrázek 22 Blokové schéma lineární CNC osy

Ve spodní polovině blokového schématu je simulace motoru. Mechanická část motoru je přes K_M spojená s elektrickou napájecí částí. Nahoře schématu je lineární osa Monocarrier MCM05050. Napravo u horního okraje schématu jsou díly následně spojeny pružnou spojkou.

6. Simulační model s PID regulátorem polohy

Na následujícím blokovém schématu (obr. 23) je model regulován. O servopohonech platí, že potřebují uzavřenou regulační smyčku. Lineární CNC osa je tedy uzavřena v regulační smyčce se zpětnou rychlostní a také polohovou vazbou.

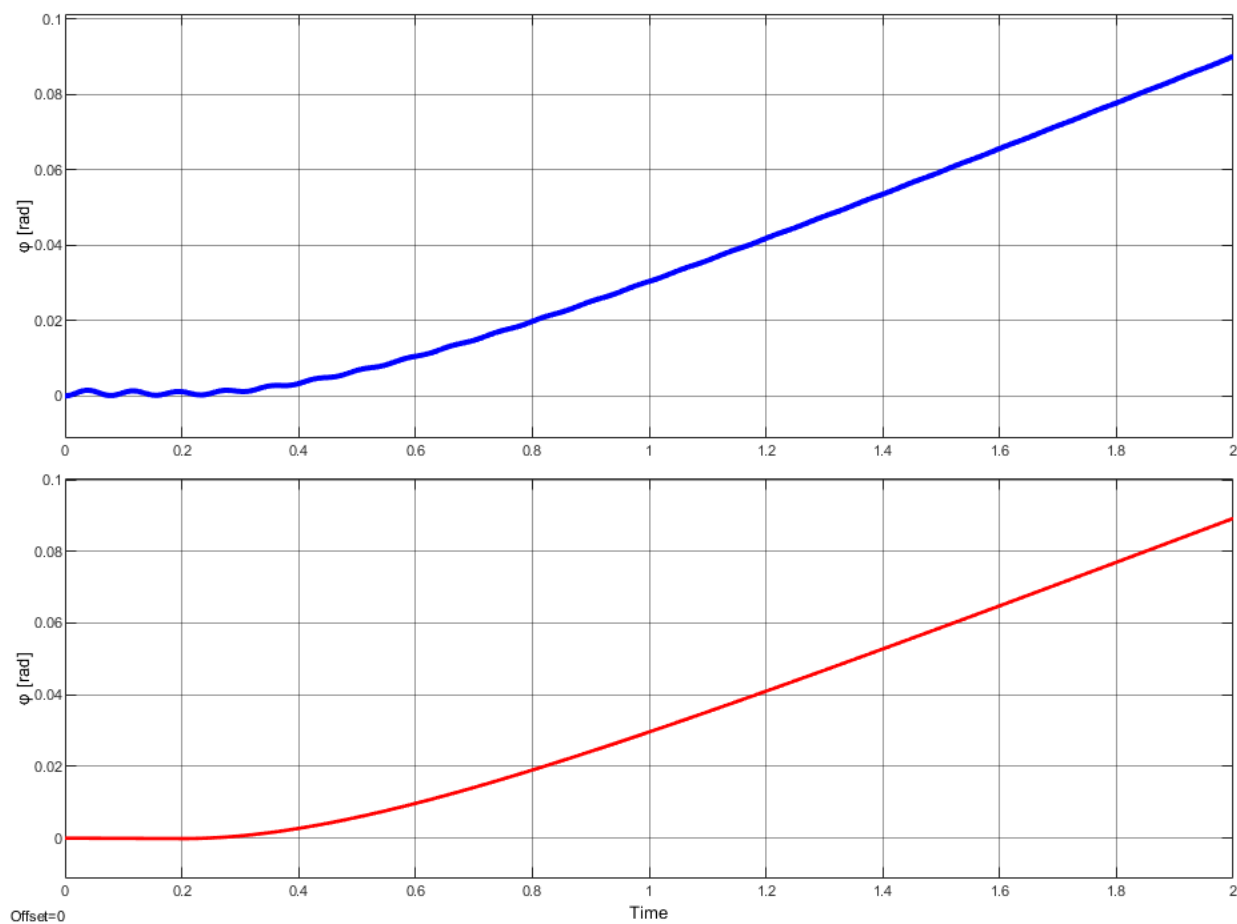


Obrázek 23 Blokové schéma s regulací

Pro regulaci rychlosti bylo použito PI regulátoru, který je ve vnitřní smyčce s výstupem proudu. Na vnějším obvodu je proporcionální regulátor polohy, jehož výstupem je právě požadovaná rychlost vstupující do rychlostního PI regulátoru. Hodnoty regulátorů byly vypočteny díky funkci Tune v Matlab Simulink.

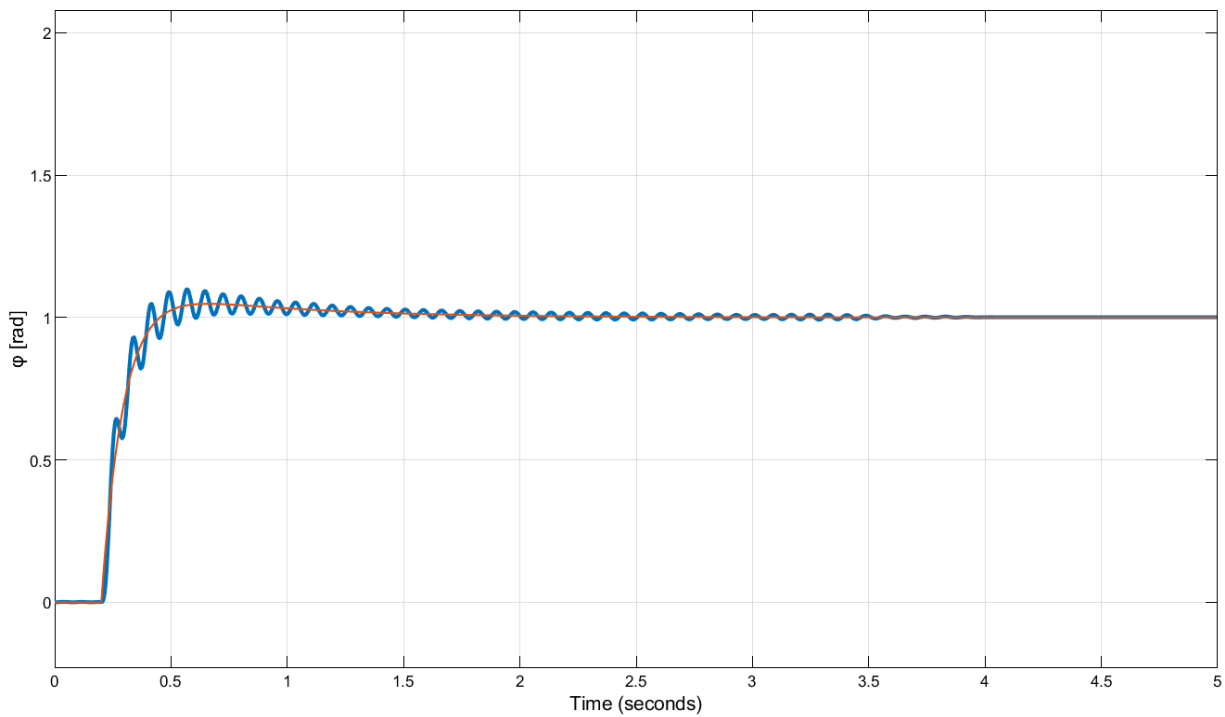
7. Simulační výsledky

Na obrázku 24 je názorná ukázka reakce systému bez regulace. Úhlové natočení pohybového šroubu jednotky Monocarrier při rozběhu skokovým napětím na svorkách DC motoru je vyobrazeno v horním grafu modrou barvou. Červeně je úhlové natočení DC motoru. Z grafů je dobře patrný vliv pružné spojky mezi hřídelem DC motoru a pohybového šroubu jednotky Monocarrier, který se vyznačuje zákmity pohybového šroubu v reakci na skokovou změnu napájecího napětí DC motoru.



Obrázek 24 Odezva systému před regulací na skokovou změnu řídicího napětí

Na obrázku 25 je vidět odezva regulované soustavy při reakci na skokovou změnu žádané polohy. Křivka bez zákmitů ilustruje přechodový jev DC motoru a křivka se zákmity pak natočení pružně připojeného pohybového šroubu jednotky Monocarrier. Z grafů je dobře patrný vliv I složky PI regulátoru, které se v delším časovém horizontu projevuje nulovou regulační odchylkou.



Obrázek 25 Odezva regulovaného systému

8. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout řízení pohybu CNC mechanismu. Zvolen byl reálný lineární posuvový mechanismus s pružnou spojkou. Tento mechanismus byl úspěšně odsimulován v programu Matlab - Simulink. Následně byl obohacen o regulaci, a to o rychlostní a polohovou regulační smyčku. Regulací bylo dosaženo servořízení sledující žádanou vstupní veličinu na úrovni úhlového natočení DC motoru. Návrh řízení pohybu mechanismu byl úspěšně doveden do formy realistického simulačního výstupu a to je důvodem, proč považuji cíl práce za víc než uspokojivý.

Díky této bakalářské práci jsem o krok blíže v porozumění řízení elektrických servomotorů.

Jsem zároveň vděčná za lepší orientaci v prostředí Matlab - Simulink, bez kterého bych nemohla tuto simulaci provést. Zároveň nesmím opomenout software Solidworks, kterému vděčím za model celé sestavy. Mechatronický návrh se neobejde bez simulací, proto hodnotím tuto práci jako přínos pro mé další působení i z hlediska zaměstnání.

Do budoucna bych se ráda i nadále zabývala problematikou řízení servopohonů. Servomotory i sama za sebe považuji jako základ mechatronických systémů a tedy inteligentních strojů.

Literatura

[1] SULITKA, Matěj. *Pokročilé simulace CNC virtuálního obrábění pro zvyšování produktivity*. Technický týdeník. Praha: Business Media CZ s.r.o. Dostupné na https://www.technickytydenik.cz/rubriky/plasty/pokrocile-simulace-cnc-virtualniho-obrabeni-pro-zvysovani-produktivity_43912.html. Staženo dne 1. 12. 2018.

[2] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 9788026067801.

[3] SKALICKÝ, Jiří. *Elektrické servopohony*. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-214-1978-4.

[4] SOUČEK, Pavel. *Servomechanismy ve výrobních strojích*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 8001029026.

9. Seznam obrázků:

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Schéma virtuálního obráběcího stroje [1]..... | 4 |
| Obrázek 2 Servopohon | 6 |
| Obrázek 3 OPTIMUM Premium 5-osé univerzální obráběcí centrum [6]..... | 8 |
| Obrázek 4 MAS portálové obráběcí centrum MMC 1500 [7] | 11 |
| Obrázek 5 Šířka pásma chyb obráběcího stroje a možnosti jejich korekce [2]..... | 14 |
| Obrázek 6 Servopohony pro CNC obráběcí stroje [8] | 16 |
| Obrázek 7 Schéma zapojení proporcionálního regulátoru [9] | 17 |
| Obrázek 8 Optoelektronické inkrementální rotační snímače [10] | 18 |
| Obrázek 9 Schéma zapojení PI regulátoru [9] | 20 |
| Obrázek 10 Díly rotačního servomotoru [11] | 22 |
| Obrázek 11 Monocarrier MCM05050 [12]..... | 23 |
| Obrázek 12 Lineární CNC osa propojena s pohonnou jednotkou..... | 23 |
| Obrázek 13 DC Mikromotor 3890H048CR (výrobce: Faulhaber) [11]..... | 24 |
| Obrázek 14 Náhradní schéma DC motoru s vlastním buzením [13] | 25 |
| Obrázek 15 Blokové schéma DC mikromotoru - elektrika..... | 25 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 16 Pružné spojení hřídele DC motoru a pohybového šroubu | 26 |
| Obrázek 17 Spirálová spojka WKAK19200506 | 26 |
| Obrázek 18 Blokové schéma DC mikromotoru - mechanika | 27 |
| Obrázek 19 Kuličkový šroub s jezdcem (Monocarrier MCM05050) | 28 |
| Obrázek 20 Blokové schéma mechanického systému 2..... | 30 |
| Obrázek 21 Sestava motor-spojka-Monocarrier | 30 |
| Obrázek 22 Blokové schéma lineární CNC osy..... | 31 |
| Obrázek 23 Blokové schéma s regulací | 32 |
| Obrázek 24 Odezva systému před regulací na skokovou změnu řídicího napětí..... | 33 |
| Obrázek 25 Odezva regulovaného systému | 34 |

Zdroje obrázků:

[5] www.schneider-electric.cz

[6] www.dittmar-werkzeuge.de

[7] www.kovosvit.cz

[8] www.accs.cz

[9] Zárybnický T. a kol. (2015): Automatizace. Dostupné na eluc.kr-olomoucky.cz. Staženo dne 1. 12. 2018.

[10] www.larm.cz

[11] www.faulhaber.com

[12] www.nsk.com

[13] upraveno z books.fs.vsb.cz