



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti

MECHATRONIKA POHONŮ
PRACOVNÍCH ČLENŮ MECHANISMŮ

Autoreferát habilitační práce

Ing. Petr Jirásko, Ph.D.

Liberec 2017

Obsah

PŘEDMLUVA	2
ÚVOD	3
KLASICKÉ POHONY	7
Mechanismy s konstantním převodem	7
Mechanismy s nekonstantním převodem	8
Problematika mechanismů s nekonstantním převodem	8
Metody analytické mechaniky	15
Dynamika vačkových mechanismů	16
SW prostředky řešení klasických mechanismů	18
ELEKTRONICKÉ POHONY	18
Elektronické vačkové mechanismy	18
Metodika aplikací elektronických vaček	19
Modelování a dynamika mechanismů s elektronickou vačkou	21
Realizace zdvihových závislostí v řídicím systému elektronické vačky Yaskawa	23
Aplikace elektronických vaček v řídicích systémech jednoúčelových strojů	26
SW prostředky řešení mechanismů s elektronickou vačkou	27
KOMBINOVANÉ MECHANISMY	28
Paralelní konfigurace kinematického řetězce	28
Literatura použitá v textu autoreferátu	30
ZÁVĚR - Využití výsledků habilitační práce	31
Stručný strukturovaný profesní životopis	32
Další publikace a výsledky aplikovaného výzkumu	35

PŘEDMLUVA

Autoreferát k monografii “*Mechatronika pohonů pracovních členů mechanismů*” oddělení *Mechatronika VÚTS, a.s.* má následující strukturu. Je uveden obal s titulní stránkou a seznam kapitol napsaných autorem autoreferátu s procentuálním podílem autorství. V dalším textu je pak krátká charakteristika vybraných a autorem napsaných partií monografie, které objasňují vývojové etapy problematiky mechatroniky, jak je autorem vnímána. Již z obalu monografie (viz obrázek) je zřejmé, že jde o základní oblasti *klasických, elektronických a kombinovaných* vačkových mechanismů.



ÚVOD

Vývoj textilních strojů ve VÚTS, a.s. (dříve Výzkumný ústav textilních strojů Liberec, a.s.) a tlak na stále se zvyšující produktivitu zajistil vysokou úroveň aplikačního výzkumu v oblasti *technické mechaniky*, především v oblasti aplikačního výzkumu *vačkových* a *vačko-kloubových* mechanismů. V devadesátých letech minulého století se současně s vytvořením teoretického základu pro výpočty a vývoj vlastních výpočetních systémů vytvořila výrobní základna pro radiální a axiální vačky technologiemi frézování, broušení a elektroerozivního obrábění. V oblasti výroby a výpočtů vačkových mechanismů dosáhl VÚTS, a.s. vysoké úrovně srovnatelné s okolním světem. Uvedená výzkumná a výrobní základna se v minulosti stala základem pro vznik *matematicko-fyzikálního* odboru a NC střediska pro výrobu vaček. Tento odbor se brzy stal v měřítku republiky unikátním pracovištěm. V nejzákladnější formě se dá oblast činnosti v počátcích zobecnit na problematiku *pohonů* pracovních členů mechanismů výrobních strojů. Výrobními stroji již nejsou pouze stroje textilní, ale všechny výrobní stroje zpracovatelského průmyslu (stroje balicí, sklářské, tvářecí, polygrafické apod.). V této fázi jsou jako možné pohony různé kombinace *vačko-kloubových mechanismů* poháněných klasickými asynchronními motory. Současně s unikátní konstrukcí těchto mechanismů pro dané technologie vznikla řada unifikovaných mechanismů (převodovek) katalogizovaných podle výkonu. Jsou to např. krokové převodovky s radiálními vačkami. V této fázi jsem se jako programátor podílel na vzniku výpočetních systémů složených vačkových mechanismů a jejich propojení s CNC výrobou vaček technologiemi frézování, broušení a elektroerozivního obrábění. Vytvořil jsem rovněž standardizovanou řadu krokových mechanismů KP s radiálními vačkami, které se vyznačují speciálními profily kontur vaček a důmyslnou konstrukcí zajišťující přenos vysokých výkonů.

S prudkým rozvojem výpočetní techniky v posledních dvaceti letech došlo v technických oborech *strojírenství*, *elektrotechniky*, *elektroniky* a *softwarového inženýrství* k nebývalým úspěchům. Jmenované obory se ovšem při své teoretické náročnosti od sebe vzájemně vzdalují. Technická praxe ale stále klade zvyšující se nároky na produktivitu, kvalitu, variabilitu a pružnou automatizaci výroby. To ve svém důsledku přináší požadavky na zvýšené *výkony* pracovních strojů (pracovní periody, resp. otáčky), dokonalé *respektování polohových funkcí* pracovních členů (dynamika mechanismů s poddajnými členy), *víceúčelovost* při malosériové výrobě (možnost ekonomicky výhodné změny pohybových funkcí) a *konstrukční modularitu* strojů (pružná automatizace). Náročné požadavky výroby mohou splnit poznatky výše uvedených oborů ve vzájemné součinnosti s výsledným *synergickým* účinkem. Vzniká tak nový obor, nazývaný *mechatronika*.

Protože se jedná o velmi rozsáhlý obor, je třeba stručně vysvětlit náplň pojmu *mechatronika* v podmínkách VÚTS, a.s., kterou jsem od roku 2004 začal ve firmě rozvíjet. Mechatronika je z pohledu mnou řešené problematiky *pohonů pracovních členů mechanismů* a v širším obecném pojetí průnikem oborů *technické mechaniky*, *elektroniky*, *elektrotechniky*, *softwarového inženýrství* a *technické kybernetiky*.

Jednou z možností při řešení konkrétních problémů *pohonů pracovních členů mechanismů* s *definovanou technologickou pohybovou funkcí* je realizace pracovních pohybů vačkovými, resp. vačko-kloubovými mechanismy s *klasickými* nebo *elektronickými* vačkami. Zatímco aplikace klasických vaček v mechanismech strojů jsou již obecně známé, elektronické vačky se v různé formě začínají prosazovat až v posledních deseti letech. Je to dáno teoretickou náročností výše uvedených oborů a s tím spojené různorodé kvalifikace pracovníků vývojových týmů.

Oblasti problematiky řízených elektronických *pohonů* a jejich aplikacemi jsem se začal zabývat v souvislosti s projekty EUREKA (*Mechatronické systémy pro realizaci pracovních pohybů strojů, IP04 OE 168, řešeno v 2004-6*), jehož hlavním záměrem byl výzkum a možnosti aplikací zdvihových závislostí elektronických vaček. V navazujícím projektu TANDEM (*Výzkum, simulace, modelování a aplikace elektronických vaček v řídicích systémech výrobních strojů, FT-TA5/129, řešeno v 2008-10*) byla problematika zdvihových závislostí rozšířena o aplikace samotných elektronických vaček a s tím souvisejících vlastních řídicích systémů včetně řídicích systémů celých strojů. V dalším programu TIP (*Výzkum sofistikovaných metod návrhu a vývoje jednorúčelových strojů, komponent a periférií výrobních strojů, FR-TI1/594, řešeno v 2009-13*) byly práce završeny aplikacemi elektronických vaček se svými

řídícími systémy ve vývoji jednoúčelových strojů. Ve všech zásadních projektech jsem byl tvůrcem obsahu a hlavním řešitelem. V průběhu řešení projektů se problematika etablovala a tento nový obor si vynutil v roce 2008 ve VÚTS, a.s. založení nového výzkumně vývojového oddělení *Mechatronika*, jehož jsem vedoucím, a které se zabývá výzkumem a aplikacemi klasických a elektronických vaček se všemi důležitými souvislostmi.

Ve výzkumu v oblasti klasických vačkových mechanismů jsem pokračoval pracemi na zvyšování dynamiky a životnosti (činná plocha vačky, rolna). Problematika byla řešena v projektu TIP (*Vysokootáčkové vačkové mechanismy s radiálními vačkami, FR-TI4/801, řešeno v 2012-15*).

Moje dlouhodobá činnost v problematice „vaček“ má za důsledek sjednocující pohled na tuto oblast, v které se v hlavních rysech neodlišují klasické a elektronické vačkové systémy ve svých aplikacích, protože oba slouží jednomu účelu, a to pohonu pracovních členů mechanismů výrobních a manipulačních strojů. Z uvedeného důvodu nelze klasické a elektronické vačky od sebe oddělit, ale naopak je spojit do jedné odborné mechatronické oblasti, která je ovšem velmi rozsáhlá a komplikovaná. Takto schematicky definovaná *mechatronika pohonů* pracovních členů mechanismů má v aplikacích VÚTS, a.s. za úkol řešit např.:

- koncepce pohonů výrobních mechanismů včetně řídicích systémů nových strojů, koncepce komunikace a sběru dat
- modernizace strojů a mechanismů, včetně systémové integrace elektronických vaček do nadřazených systémů strojů
- koncepce strojů pro hromadnou a malosériovou výrobu, elementy pevné a pružné automatizace
- dynamiku zdvihových závislostí a mechanismů s poddajnými členy, potlačování parazitního (reziduálního) kmitání
- samotný vývoj řídicích systémů
- virtuální modelování mechanických a mechatronických systémů (kinematika, kinetostatika, dynamika)

Výzkumné práce tak vyústily v nový *mechatronický* pohled na koncepci stroje na počátku jeho návrhu. Jde o řešení samostatných problematik a jejich průniků v oblastech, které jsou předmětem jednotlivých kapitol monografie. Novým pohledem je myšleno především to, že chce-li se firma zabývat vývojem výrobního stroje, který je na dnešním stupni technického poznání a uspět na trhu s novými produkty, musí být prvotní koncepcí právě tento mechatronický systém stroje. Na počátku se řeší všechny oblasti a jejich průniky na jedné úrovni a výsledkem je ideový model výrobního stroje se zajištěním a jasnou představou realizace včetně nákladů, tzn. s představou konstrukce, výroby, koncepce řídicího systému s pohony, kooperace, organizace dodavatelů elektronických komponent a s představou principiálního řešení otázek duševního vlastnictví (patenty a vlastnictví SW).

Předložená monografie je průřezem prací VÚTS, a.s. a oddělení *Mechatronika* za posledních dvacet let ve výše popsané problematice pohonů pracovních členů výrobních a manipulačních mechanismů. Jednotlivé kapitoly naznačují okruhy problematik, které při návrhu stroje musí být posuzovány s vyhodnocením míry vlivu na požadované technologické funkce stroje.

KLASICKÉ POHONY	1
MECHANISMY S KONSTANTNÍM PŘEVODEM	3
1. Mechanismy s konstantním převodem v mechatronických aplikacích (100%)	5
2. Mechanismy s konstantním převodem v aplikacích elektronických váček (100%)	13
3. Analýza planetových převodovek pro použití s elektronickou váčkou v režimu přímého a nepřímého odměřování (90%)	21
MECHANISMY S NEKONSTANTNÍM PŘEVODEM	39
1. Základní členění váčkových mechanismů (100%)	41
PROBLEMATIKA MECHANISMŮ S NEKONSTANTNÍM PŘEVODEM	49
1. Základní a složené váčkové mechanismy s periodickými zdvihovými závislostmi (100%)	51
2. Základní váčkové mechanismy s neperiodickými zdvihovými závislostmi (100%)	61
3. Metodika návrhu krokových převodovek s radiálními váčkami (100%)	69
5. Zdvihové závislosti pracovních členů mechanismů (100%)	85
6. Váčkové systémy pro realizaci pracovních pohybů strojů (100%)	91
7. Řešení složených váčkových mechanismů - kinematická analýza a syntéza (100%)	97
8. Řešení základních váčkových mechanismů - kinematická analýza a syntéza (100%)	103
9. Kinetostatické řešení základních váčkových mechanismů s konstantním převodem (100%)	111
10. Kinetostatické řešení kloubových mechanismů s 1° volnosti - čtyřkloubový mechanismus RRRR (100%)	117
11. Kinetostatické řešení kloubových mechanismů s 1° volnosti - klikový mechanismus RRRP (100%)	123
13. Konstrukční problematika klasických váčkových mechanismů (90%)	139
18. Výrobní problematika klasických váčkových mechanismů (90%)	181
19. Bruska radiálních váček BRV-300 CNC (100%)	189
METODY ANALYTICKÉ MECHANIKY	217
1. Metody analytické mechaniky v problematice váčkových mechanismů (80%)	219
DYNAMIKA VÁČKOVÝCH MECHANISMŮ	231
1. Dynamika váčkových mechanismů s tuhými členy (100%)	233
2. Diskrétní dynamické modely váčkových mechanismů s poddajnými členy, model váčkového mechanismu $I-II-I$ (100%)	241
3. Diskrétní dynamické modely váčkových mechanismů s poddajnými členy $0-II-I$ a $I-II-0$ (100%)	249
SW PROSTŘEDKY ŘEŠENÍ KLASICKÝCH MECHANISMŮ	283
1. Program KINZ2 – Zdvihové závislosti (50%)	285
2. Program KIN (100%)	291
3. Program APROX (100%)	297
4. Program KINY2 (50%)	303

ELEKTRONICKÉ POHONY	319
ELEKTRONICKÉ VAČKOVÉ MECHANISMY	401
2. Elektronické vačky Yaskawa (90%)	413
METODIKA APLIKACÍ ELEKTRONICKÝCH VAČEK	433
1. Zdvihové závislosti mechanismů s elektronickou vačkou (100%)	435
2. Polohová přesnost pohybových funkcí elektronických vaček a metodika minimalizace polohových chyb (90%)	443
3. Využití superpozice polohových dat k minimalizaci polohových chyb (100%)	449
4. Kinetostatické řešení mechanismu s elektronickou vačkou a konstantním převodem (100%)	455
MODELOVÁNÍ A DYNAMIKA MECHANISMŮ S ELEKTRONICKOU VAČKOU	467
1. Diskrétní dynamický model elektronické vačky (100%)	469
2. Reziiduální spektra mechanismů s elektronickou vačkou (100%)	477
4. Aproximace periodické zdvihové závislosti Fourierovou řadou v aplikacích mechanismů s elektronickou vačkou (100%)	495
5. Aproximace neperiodické zdvihové závislosti Fourierovou řadou v aplikacích mechanismů s elektronickou vačkou (100%)	503
REALIZACE ZDVIHOVÝCH ZÁVISLOSTÍ V ŘÍDICÍM SYSTÉMU ELEKTRONICKÉ VAČKY YASKAWA	575
1. Uživatelské funkce PLC realizující systém stavového stroje (100%)	577
2. Uživatelská funkce PLC realizující zdvihovou závislost pracovního členu mechanismu (100%)	585
3. Monitorování kinematických veličin pohybových funkcí (100%)	595
APLIKACE ELEKTRONICKÝCH VAČEK V ŘÍDICÍCH SYSTÉMECH JEDNOÚČELOVÝCH STROJŮ	677
1. Koncepce řídicího systému brusky radiálních vaček (100%)	679
2. Metodika zpracování naměřených dat kontury radiální vačky v řídicím systému stroje (100%)	687
SW PROSTŘEDKY ŘEŠENÍ MECHANISMŮ S ELEKTRONICKOU VAČKOU	707
1. Kinetostatická analýza elektronických vaček (100%)	709
2. Program dimenzování pohonů NC os jednoúčelových obráběcích strojů (100%)	719
4. Prostředí MS Excel (100%)	735
KOMBINOVANÉ MECHATRONICKÉ POHONY	773
PARALELNÍ KONFIGURACE KINEMATICKÉHO ŘETĚZCE	775
1. Mechatronický diferenciální pohon - kinetostatické řešení (100%)	777
2. Mechatronický diferenciální pohon - aplikace (100%)	785
3. Mechatronický diferenciální pohon v kombinaci s převodovými mechanismy (100%)	791

Mechatronika v pojetí autora autoreferátu je problematika pohonů pracovních členů mechanismů klasickými *vačko-kloubovými* mechanismy a *elektronickými* vačkami včetně jejich *vzájemných kombinací*. Historie vzniku problematiky a její časová osa je nastíněna v předmluvě. V následujícím textu jsou stručnými anotacemi s obrázky přiblíženy hlavní oblasti aplikačního výzkumu autora v takto definované problematice.

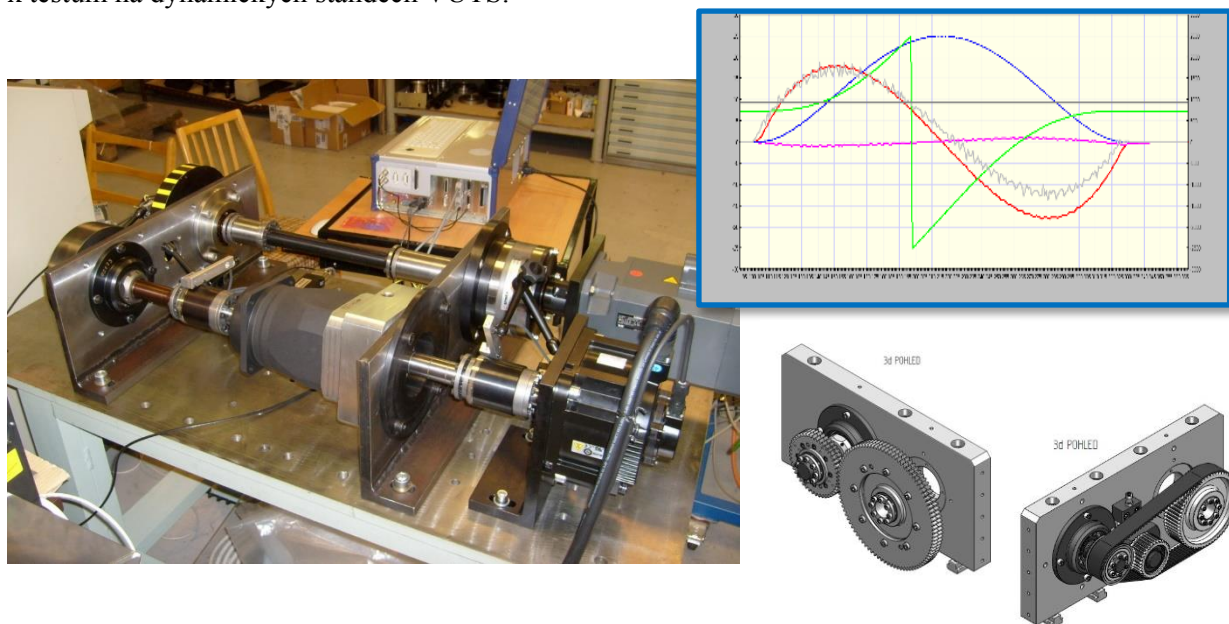
KLASICKÉ POHONY

MECHANISMY S KONSTANTNÍM PŘEVODEM

1. Mechanismy s konstantním převodem v mechatronických aplikacích

Konstantní převody jsou nezbytnou součástí kinematických řetězců pohonů pracovních členů mechanismů výrobních strojů. Je popsáno použití klasických rotačních servomotorů s vysokými maximálními otáčkami (cca 6000 ot/min), které mají v rozsahu otáček relativně konstantní krouticí moment. Pro dosažení optimální využitelnosti výkonu je nutno vysoké otáčky redukovat mechanismy s *konstantním převodem* do pomala.

Konstantní převody lze použít v *sériových* nebo *paralelních* kombinacích kinematických řetězců. Jsou uvedeny základní možnosti konstantních převodů s jejich konstrukčními alternativami vhodnými k testům na dynamických standech VÚTS.



Stand mechanismu s planetovou převodovkou a realizovaná polynomičká zdvihová závislost, moduly standu s konstantním převodem ozubenými koly a řemenovým převodem

2. Mechanismy s konstantním převodem v aplikacích elektronických vaček

Kapitola se zabývá problematikou konstantních převodů v kinematickém řetězci elektronické vačky s ohledem na vliv pasivních odporů. Jde o analýzu *účinnosti* a *ztrátových momentů* planetových převodovek a ložiskových reduktorů, kdy konstantní převod snižuje, resp. redukuje otáčky servomotoru elektronické vačky. Kapitola se nezabývá konstrukčními typy konstantních převodů, ale teoretickým modelem zahrnujícím ztráty vyjádřené účinností a ztrátovým krouticím momentem. Na dynamickém standu elektronické vačky je pak výpočetní model ověřen. V závěru je definována komplexní účinnost pohonu s elektronickou vačkou a konstantním převodem.

3. Analýza planetových převodovek pro použití s elektronickou vačkou v režimu přímého a nepřímého odměřování

Oddělení *Mechatronika VÚTS, a.s.* se řadu let zabývá aplikacemi elektronických vaček japonské firmy *Yaskawa*. Elektronické vačky na výstupním hřídeli servomotoru realizují kinematické buzení mechanického systému s požadovanou *zdvihovou závislostí* svého konečného pracovního členu. Podle charakteru aplikace se zabýváme dvojím nasazením elektronických vaček. Jedním je již zmíněné kinematické buzení pohybovou funkcí, druhé je aplikace elektronických vaček v provedení otočných stolů, resp. interpolačních NC os v procesu obrábění technologiemi frézování a broušení. Otáčky servomotorů jsou redukovány standardními planetovými převodovkami. Na základě předpokládaných aplikací jsou sledovány vlivy zubových vůlí, rovnoměrnost chodu při požadavku dodávky konstantních otáček a dále souvislosti s použitím *přímého* a *nepřímého* odměřování.

MECHANISMY S NEKONSTANTNÍM PŘEVODEM

1. Základní členění vačkových mechanismů

Jedná se o problematiku pohonu pracovních členů mechanismů na základě výrobních technologických požadavků, které jsou realizovány *pohybovými funkcemi*. Ty jsou závislé na *čase* a odvíjejí se od *zdvihových závislostí*, které jsou realizovány obecně mechanismy s nekonstantním převodem, z nichž nejdůležitější jsou vačkové systémy a různé typy kloubových rovinných a prostorových převodových mechanismů.

Jednou z možností při řešení konkrétních problémů pohonů pracovních členů mechanismů s definovanou technologickou pohybovou funkcí je realizace pracovního pohybu vačkovým mechanismem s *klasickou* nebo *elektronickou* vačkou.

PROBLEMATIKA MECHANISMŮ S NEKONSTANTNÍM PŘEVODEM

1. Základní a složené vačkové mechanismy s periodickými zdvihovými závislostmi

Příspěvek se zabývá klasickými vačkovými mechanismy ve své základní konfiguraci (základní vačkové mechanismy) a dále možnou kinematickou strukturou, kde se mezi pracovní člen a *základní* vačkový mechanismus vloží *převodový* mechanismus s jedním stupněm volnosti (složené vačkové mechanismy). Tyto mechanismy realizují periodické zdvihové závislosti.

Jako *vačkový* označíme *mechanismus* s jedním stupněm volnosti obsahující alespoň jednu vačku spojenou s ostatními členy minimálně jednou obecnou kinematickou dvojicí. *Vačkou* nazýváme člen mechanismu, který pohybem své činné plochy vyvozuje prostřednictvím obecné kinematické dvojice pohyb hnaného členu a vačka je pak obvykle hnacím členem mechanismu. Základní typy vaček jsou *radiální*, *axiální* a *globoidní*.



Radiální, axiální a globoidní vačky (ZZ-Antriebe GmbH, VÚTS, a.s.)

2. Základní vačkové mechanismy s neperiodickými zdvihovými závislostmi

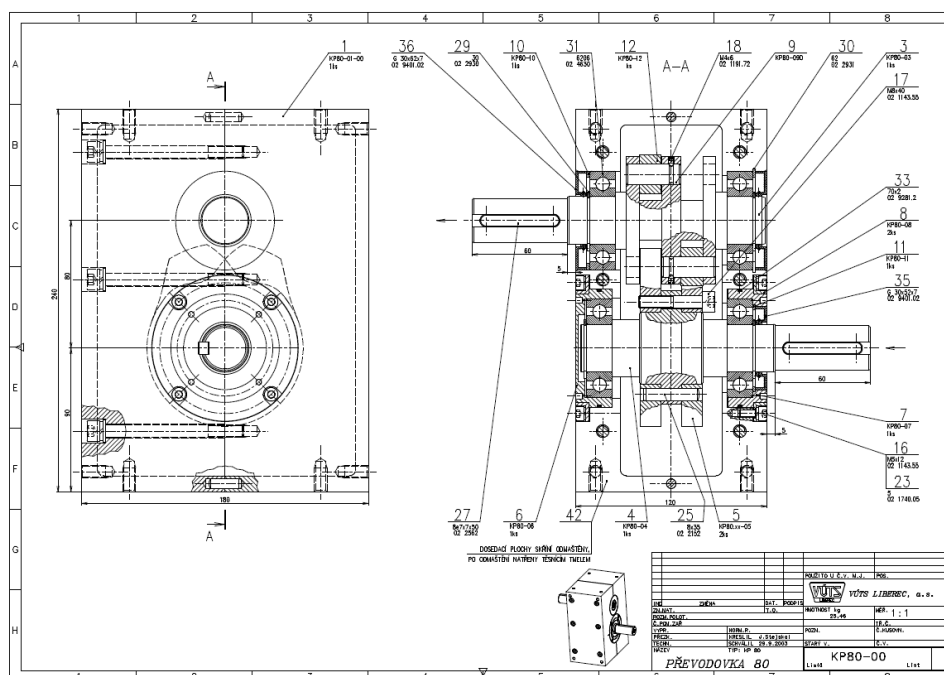
Kapitola se zabývá klasickými vačkovými mechanizmy ve své základní konfiguraci s rotačním vahadlem a kladkou (základní vačkové mechanizmy). Ve speciálních případech tyto mechanizmy realizují *neperiodické zdvihové závislosti*, často nazývané jako *krokové*.

Krokové pohyby pracovních členů se realizují rozličnými mechanismy. Existuje celá řada velmi důmyslných mechanismů, ale zaměříme se hlavně na alternativy mechanické. Jsou rovněž zmíněny alternativy elektronické a mechatronické (elektromechanické kombinace), které v dnešní době nabývají stále většího významu, jako představitel pružné automatizace.



Základní vačkové mechanismy realizující neperiodické zdvihové závislosti (Miksch GmbH)

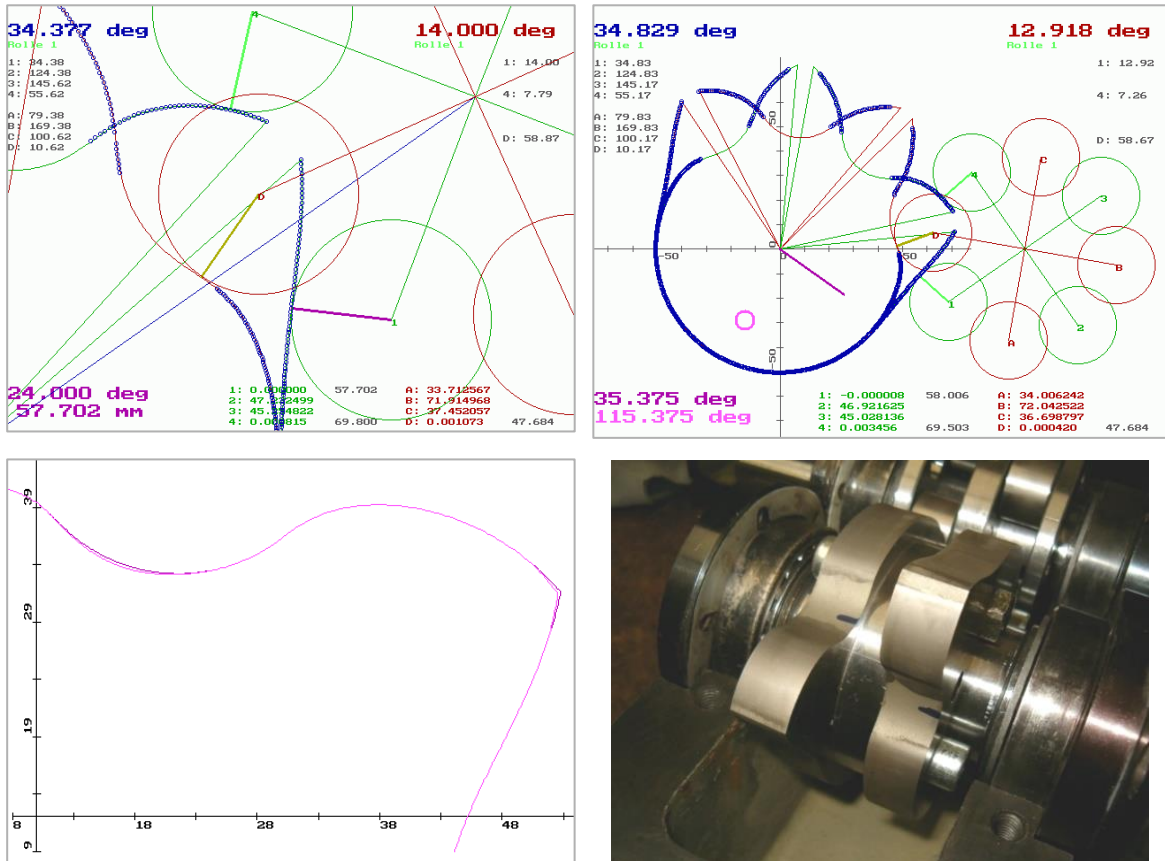
VÚTS, a.s. v rámci výzkumného projektu Tandem (MPO) vyvinul ucelenou rozměrovou řadu tohoto typu převodovky. Na obrázku je sestava převodovky KP80. Radiální krokové vačky jsou výrobitelné běžnými technologiemi frézování a broušení. S výhodou se pak používá elektroerozivní obrábění. Vstupní a výstupní hřídele jsou rovnoběžné.



Kroková převodovka KP80 s radiálními vačkami (VÚTS)

3. Metodika návrhu krokových převodovek s radiálními vačkami

Metodikou je myšlen pracovní postup, který vede ke konečným výrobním datovým souborům kontur radiálních krokových dvojvaček. V tomto příspěvku je postup výpočtu předložen na základě popisu algoritmu programu KINY, který je generačně nejstarší a na jehož základě vznikly nové varianty výpočetních systémů těchto typů vaček ve VÚTS, a.s.. Výpočetní systém je unikátní ve výpočtu kontur vaček s odlehčenými částmi podle obrázku.



Odlehčené úseky kontury radiální dvojvačky vačky (sw KINY)

5. Zdvihové závislosti pracovních členů mechanismů

Zdvihové závislosti patří k základním kategoriím kinematiky a dynamiky vačkových mechanismů s klasickými vačkami. Touto problematikou se zabývá každá publikace pojednávající o řešení vačkových mechanismů. Systematicky je problematika zdvihových závislostí popsána v literatuře [1] a [2]. Práce [1] vznikla ve VÚTS, a.s. a položila základ všem dalším vývojovým programům, které řeší problematiku klasických vaček. V dalších kapitolách monografie je ukázáno, že problematika zdvihových závislostí je platná i pro elektronické vačkové systémy.

Zdvihové závislosti vaček je tedy jedna z nejdůležitějších kapitol v problematice kinematiky (kinematická analýza a syntéza) a dynamiky vačkových mechanismů. Zdvihovou závislost předepisujeme pracovnímu členu mechanismu a na tento pohyb jsou kladeny rozličné kinematické a dynamické požadavky. Je nutné si uvědomit, že pohybová funkce pracovního členu kinematicky budí dynamický systém mechanismu stroje. Volba zdvihové závislosti pracovního členu musí odpovídat požadované technologické funkci. Požadavky na zdvihové závislosti jsou tak rozmanité, že hlubší rozbor by přesáhl rámec příspěvku. Je popsáno základní rozdělení a použití zdvihových závislostí pro účely libovolných technických aplikací. Jakou formou jsou zdvihové závislosti zpracovány výpočetním systémem, je v tomto příspěvku dále popsáno.

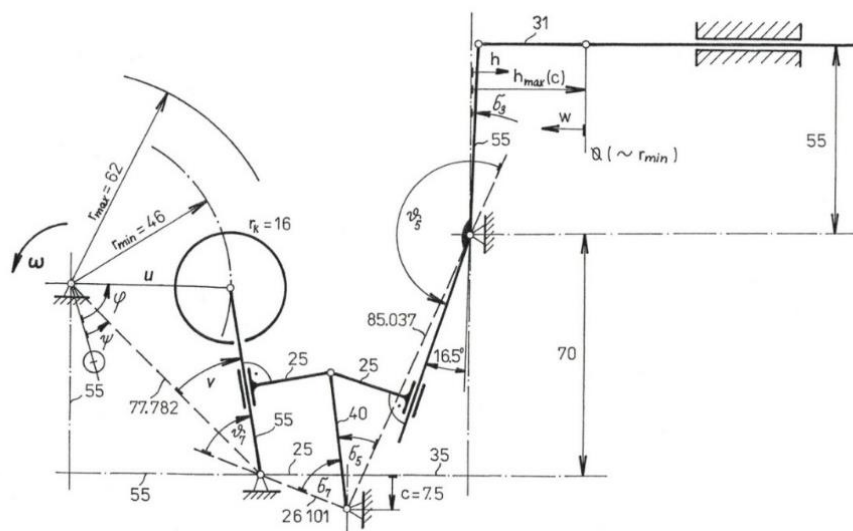
6. Vačkové systémy pro realizaci pracovních pohybů strojů

V kapitole se zabýváme aktuálními výsledky výzkumu a možnostmi aplikací *zdvihových závislostí elektronických* a *klasických* vačkových systémů s ohledem na dlouhodobé zkušenosti s návrhy zdvihových závislostí pracovních členů klasických vačkových mechanismů. Dále je dokumentována metodika pohledu na problematiku zdvihových závislostí u obou typů vaček. Cílem je nalézt charakteristické vlastnosti a definovat oblasti použitelnosti v dnes aktuální problematice automatizace výrobních procesů.

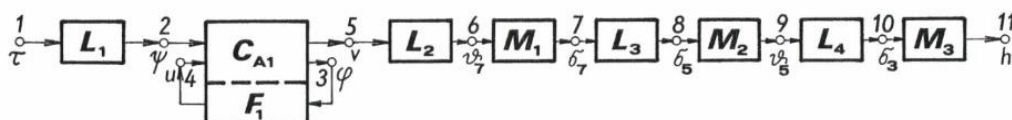
7. Řešení složených vačkových mechanismů - kinematická analýza a syntéza

Metodika přístupu k řešení základních a složených vačkových mechanismů a její rozdělení na úlohy *analýzy* a *syntézy* je základním pohledem na oblast, jejímž výsledkem jsou kinematické veličiny hlavních členů mechanismů a stanovení dat potřebných pro výrobu a návrh vaček jak klasických, tak i vačkových systémů elektronických.

Metody, resp. logika a principy kinematické *analýzy* a *syntézy* budicího vstupního pohybu reprezentovaného obecným základním vačkovým mechanismem na základě znalostí *teoretického profilu* vačky nebo *zdvihové závislosti* pracovního členu jsou společné oběma vačkovým systémům s *klasickými* a *elektronickými* vačkami. Obě *metody* jsou dále definovány a popsány na konkrétním případě klasického vačkového mechanismu tkacího stroje podle obrázku.

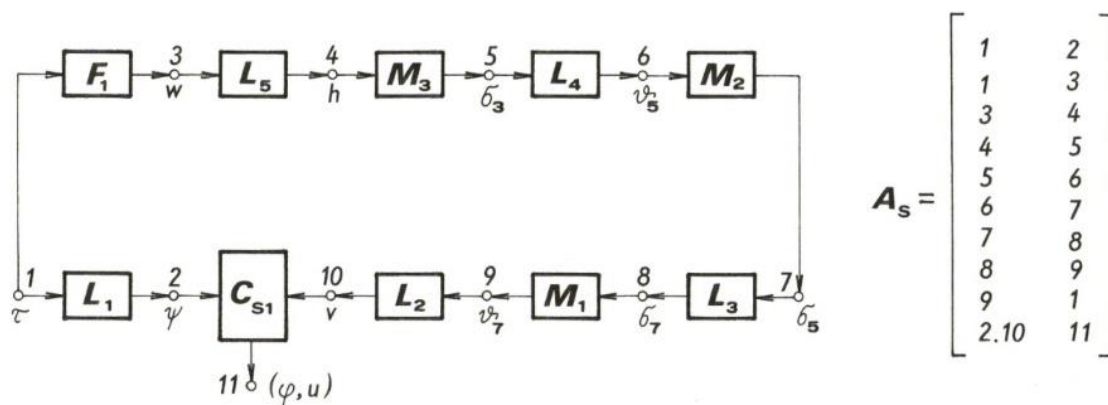


Mechanismus vodního prohozu útku(kinematické schéma)



$$A_A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2.04 & 5.03 \\ 5 & 6 \\ 6 & 7 \\ 7 & 8 \\ 8 & 9 \\ 9 & 10 \\ 10 & 11 \end{bmatrix}$$

Blokové schéma úlohy kinematické analýzy



Blokové schéma úlohy kinematické syntézy

8. Řešení základních vačkových mechanismů – kinematická analýza a syntéza

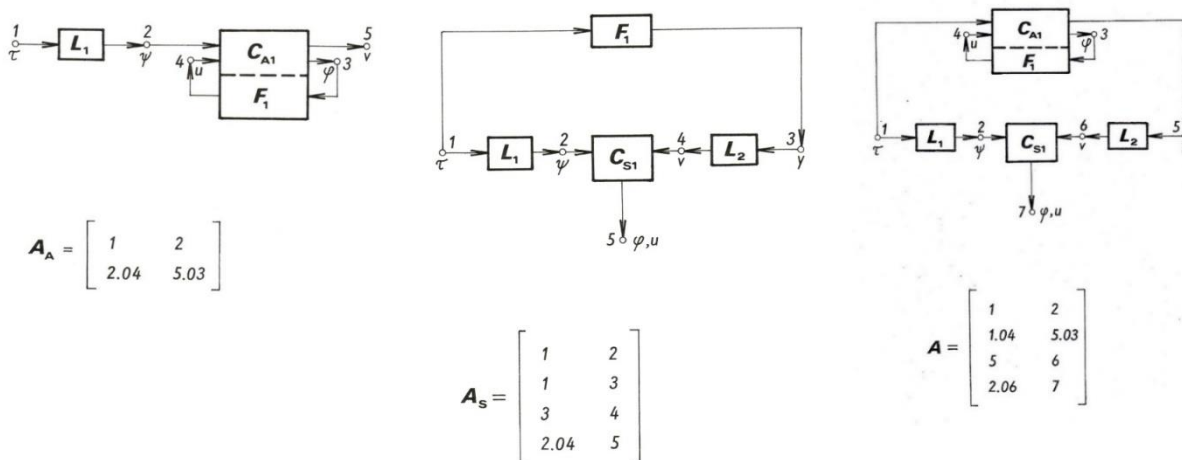
Kinematická analýza a syntéza základních vačkových mechanismů jsou dvě specifické oddělené úlohy. Existuje jeden technicky důležitý problém, kterým je výroba náhradních dílů (vaček), kde tyto dvě úlohy spolu úzce souvisí. Je to především výroba radiálních dvojvaček, u kterých není k dispozici výrobní dokumentace.

Problematika výroby radiálních dvojvaček s chybějící výrobní dokumentací (výkres a data kontury vačky) se vyskytuje v následujících případech.

Jde o náhradu, resp. výměnu opotřebovaných vaček v rámci generálních oprav strojů nebo v případě prostého opotřebení činných ploch vaček. Jedná se často o stroje zahraničních výrobců, u kterých je výrobní dokumentace vaček nedostupná, protože se obecně tato dokumentace s výrobními stroji nedodává. Výroba vaček je obvykle z oblasti firemního *know-how*. Rovněž se setkáváme s případy, že stroje jsou od výrobců již zaniklých firem. Čistě mechanické výrobní stroje s dobrou konstrukcí a kvalitně vyrobené mívají vysokou životnost (často desítky let).

Druhým případem je získání informací o dobře fungujícím a spolehlivém dvojvačkovém mechanismu konkurence s cílem vyrobit kopii stejné kvality jako originál. Od původního výrobce nelze z pochopitelných důvodů informace získat.

VÚTS, a.s. vyvinul metodiku a s tím související programové vybavení k řešení uvedených případů. Je to systém dvou komunikujících sw prostředků (programy APROX a KIN).



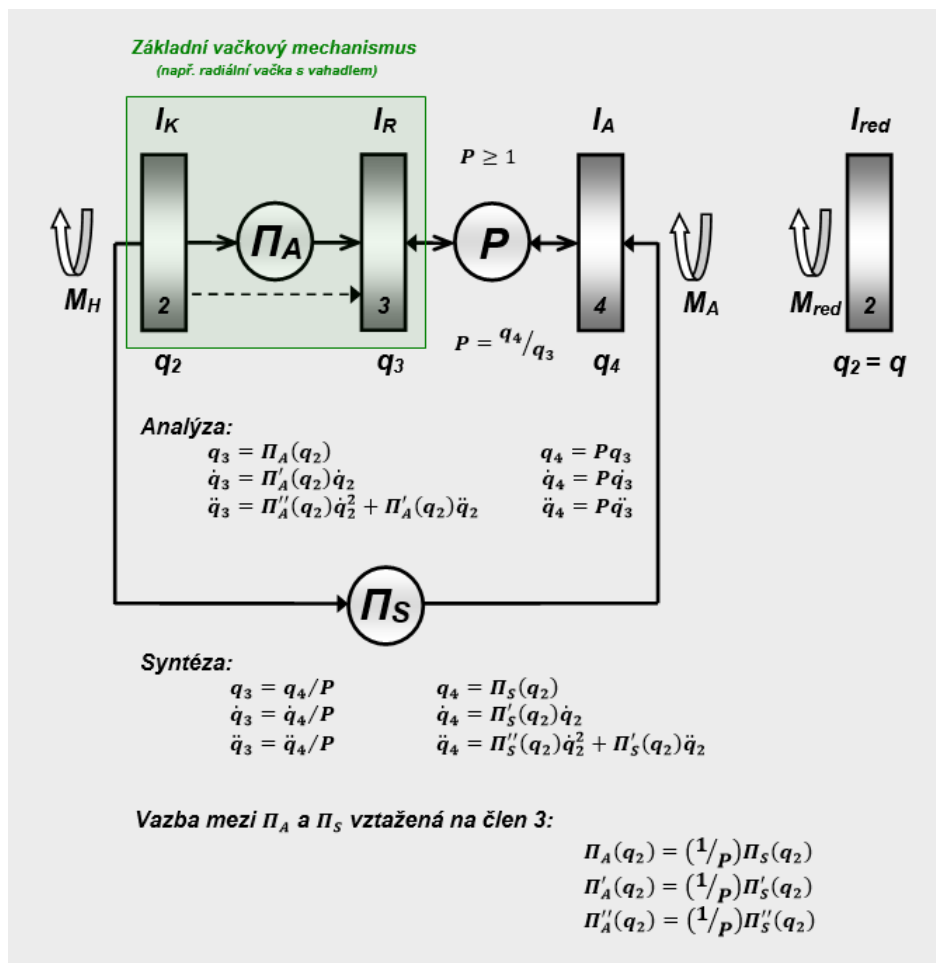
Blokové schéma kinematické analýzy, syntézy a analýzy/syntézy základních vačkových mechanismů

9. Kinetostatické řešení základních vačkových mechanismů s konstantním převodem

Klasické *základní* vačkové mechanismy jsou kinetostaticky řešeny ve své základní konfiguraci s konstantním převodem. V úloze *analýzy* je pak popsán význam optimálního převodu.

Základní vačkové mechanismy jsou s výhodou použitelné v řadě technických řešeních bez vložených převodů. Z mnoho důvodů (technologických, rozměrových, kinematických atd.) se vkládá mezi výstupní člen *základního vačkového mechanismu*, který uvažujeme s rotačním pohybem (vahadlo) *konstantní převod do rychla*. Příkladné použití převodu do rychla je v aplikacích *krokových převodovek*, kde výstupní krok z převodovky s radiálními vačkami není libovolný.

Na základě charakteru úlohy (aplikace) je řešení *analýzou* nebo *syntézou* zdvihové závislosti klasické vačky. Na obrázku jsou schematicky nakresleny obě varianty řešení.



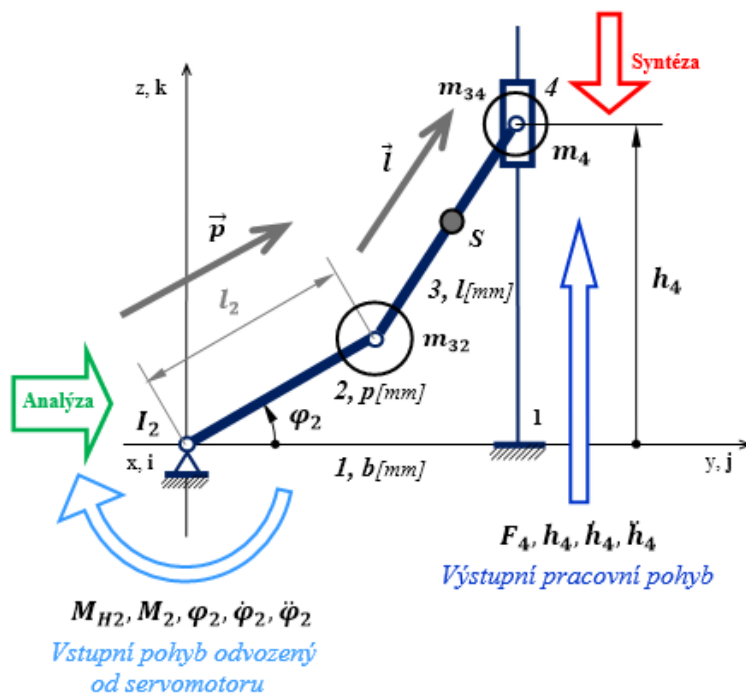
Schematický tok dat úloh analýzy a syntézy a redukce na vstupním členu 2

10. Kinetostatické řešení kloubových mechanismů s 1° volnosti – mechanismus RRRR

11. Kinetostatické řešení kloubových mechanismů s 1° volnosti – mechanismus RRRP

V kapitole je uvedeno úplné kinetostatické řešení čtyřkloubového mechanismu RRRR a klikového mechanismu RRRP (R je rotační a P je posuvná kinematická dvojice) ve své rovinné konfiguraci. Tyto typy mechanismů jsou jedny z nejpoužívanějších převodových mechanismů s nekonstantním převodem. Vycházíme z obecného pohledu na řešení *složených* vačkových mechanismů *analýzou* nebo *syntézou* a tedy na umístění bloku mechanismu v kinematickém řetězci, resp. ve směru *vstup-výstup*, kde vstupní člen a výstupní člen se svými pohybovými funkcemi jsou ve vzájemné vazbě, která je daná geometrií mechanismu, tedy 1. a 2. převodovou funkcí (μ, ν), jak je v literatuře často uváděno [3], [4]. Převodové funkce jsou první a druhou derivací zdvihové závislosti hlavních členů mechanismu (členy 2 a 4) ve

smyslu „směru výpočtu“ analýzy a syntézy, který je naznačen na obrázku (viz obrázek RRRP) mechanismu barevnými šipkami (zelená a červená).



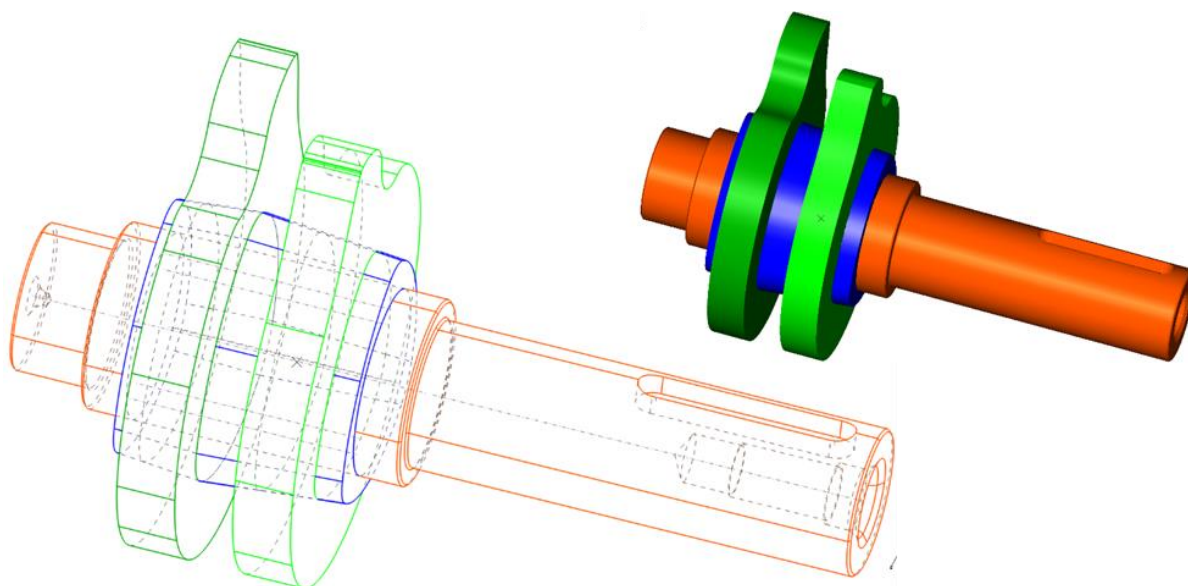
Klikový mechanismus RRRP

13. Konstrukční problematika klasických vačkových mechanismů

18. Výrobní problematika klasických vačkových mechanismů

Téma těchto důležitých kapitol jsou výsledky a dlouholeté zkušenosti VÚTS, a.s. s konstrukcí a výrobou vačkových mechanismů. Materiálová problematika vaček je v současnosti řešena v rámci probíhajících projektů MPO.

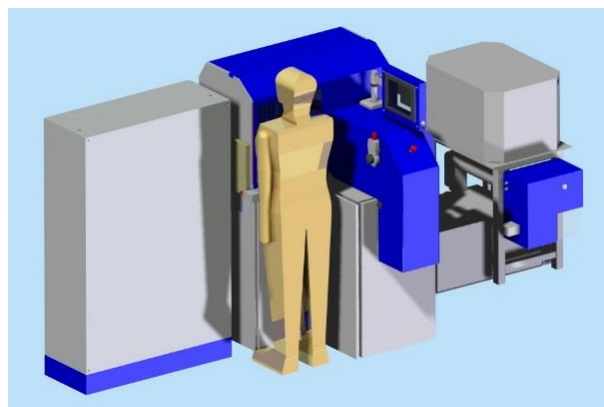
Na obrázku je ukázka vyvinutého polygonového spojení (v patentovém řízení) vaček s vačkovou hřídelí u krokových převodove VÚTS, a.s., typ KP.



Polygonové spojení krokových vaček s vačkovou hřídelí

19. Bruska radiálních vaček BRV-300 CNC

Jde o obráběcí stroj pro frézování a broušení kontur radiálních vaček, viz obrázky. Koncepce stroje umožňuje odebrání nutného přídavku na broušení frézováním a tak dosáhnout vysoké produktivity broušení, protože konečná rozměrová operace broušením se odehrává na přídavku několika setin milimetru. Bruska je postavena na základě modulových celků renomovaných výrobců. Jde především o pohony, lineární osy, včetně a řídicí kontroler. Řídicí systém vznikl ve VÚTS, a.s. na základě dlouholetého výzkumu aplikací elektronických vaček *Yaskawa*, které jsou integrovány v systému a umožňují efektivní řízení výrobních NC os. Přímé odměřování interpolačních os (s možnou rozměrovou analýzou excentricity uložení vačky a kontury vačky bez nutnosti vyjmutí obrobku ze stroje) přináší vysokou rozměrovou přesnost kontur broušených vaček.



METODY ANALYTICKÉ MECHANIKY

1. Metody analytické mechaniky v problematice vačkových mechanismů

Metody analytické mechaniky jsou základem při řešení problematiky dynamiky vačkových mechanismů s poddajnými nebo tuhými členy. V případě mechanismů s poddajnými členy bude uvažován základní vačkový mechanismus s kombinacemi poddajného vstupu a výstupu, resp. poddajného výstupu při aplikaci elektronického vačkového mechanismu. V případě tuhých členů bude uvažován kinematický řetězec mechanismů s jedním stupněm volnosti, který obsahuje jeden klasický *základní* nebo *elektronický* vačkový mechanismus.

V dynamice vačkových mechanismů s klasickou nebo elektronickou vačkou rozlišujeme dvě základní úlohy [1]. *Prvou* úlohu nazýváme *kinetostatickou analýzou* a jde o řešení silových účinků potřebných k vyvození předepsaného pohybu, resp. stanovení hnacího zrychlujícího momentu na vstupu složeného vačkového mechanismu v závislosti na požadovaném pohybu pracovního (koncového výstupního) členu. Ve *druhé* úloze je řešen pohyb členů vačkového mechanismu za působení daných silových účinků. Předmětem řešení vačkových mechanismů, v kterých jde výhradně o *kinematické buzení* zdvihovou závislostí teoretického profilu vačky, resp. zdvihovou závislostí hřídele servomotoru elektronické vačky, je prvá úloha.

DYNAMIKA VAČKOVÝCH MECHANISMŮ

1. Dynamika vačkových mechanismů s tuhými členy

Tato kapitola popisuje společné kinetostatické řešení mechanismů s *klasickou* nebo *elektronickou* vačkou ve své základní konfiguraci. Bude ukázaná souvislost mezi oběma systémy. Z pohledu členění monografie patří tato kapitola současně do oblasti klasických i elektronických mechanismů.

Kinetostatickým řešením je popsána ta skutečnost, kdy kinematický řetězec mechanismu od vstupu po výstupní pracovní člen *neobsahuje* žádnou poddajnost a řetězec má *jeden* stupeň volnosti. Dále je předpokládáno zjednodušení klasického nebo elektronického mechanismu na jeden *nekonstantní* převod, resp. zdvihovou závislost. U kinematického řetězce s *klasickou vačkou* je nekonstantní převod jeden ze *základních vačkových mechanismů*, jak jej definuje literatura [1], kde jde o vazbu mezi vstupní rotací vačky a výstupním rotačním pohybem vahadla vačky. U kinematického řetězce s *elektronickou vačkou* je nekonstantní převod vazba mezi virtuální osou a rotačním pohybem hřídele servomotoru.

Východiskem v této kapitole je znalost *zdvihové závislosti*, která je definována úlohou *analýzy* nebo *syntézy* a velikostí momentu M_A . *Kinetostatickým řešením* u obou vačkových systémů je myšleno stanovení určujících parametrů potřebných pro konstrukci, jako jsou rozměrové dispozice a zástavba, výběr materiálů, stanovení elektrických a elektronických elementů apod. Tyto parametry jsou rovněž východiskem pro cenovou kalkulaci. Z pohledu obou vačkových systémů je nutno kinetostatickým řešením stanovit následující:

- **Mechanismus s klasickou vačkou**

Na základě teoretického profilu vačky nebo definované pohybové funkce výstupního pracovního členu mechanismu se určí:

- maximální hnací moment
- efektivní hnací moment (pro pohon vačky s konstantní rotací)
- kontaktní namáhání činné plochy vačky
 - Hertzův tlak
 - redukované napětí v povrchové vrstvě
 - napětí na hranici tvrzené vrstvy a jádra vačky
- životnost činné plochy vačky a rolny

- **Mechanismus s elektronickou vačkou**

Na základě pohybové funkce rotoru servomotoru elektronické vačky nebo pracovního výstupního členu mechanismu se určí:

- maximální hnací moment
- efektivní hnací moment (proudová zátěž)
- maximální okamžité otáčky

U obou vačkových systémů se současně s řešením hledá optimální a technicky realizovatelný konstantní převod mezi výstupem základního vačkového mechanismu a pracovním členem nebo mezi hřídelí servomotoru elektronické vačky a pracovním členem. Toto téma je řešeno v dalších kapitolách monografie.

U klasické vačky je výběr typu základního vačkového mechanismu značně variabilní a závisí na mnoha faktorech uvedených v [1]. Při *kinetostatickém* řešení se omezíme na stanovení hnacího a zrychlujícího momentu, který je hlavní veličinou dávající konstrukční představu o řešení mechanismu s klasickou vačkou.

U elektronické vačky se stručně mluví o *kinetostatickém dimenzování* servomotoru a pro správnou funkci je toto řešení zásadní. *Zatímco důsledky poddimenzovaného mechanismu s klasickou vačkou se projeví sníženou životností jeho prvků, špatně dimenzovaný mechanismus s elektronickou vačkou nepracuje.*

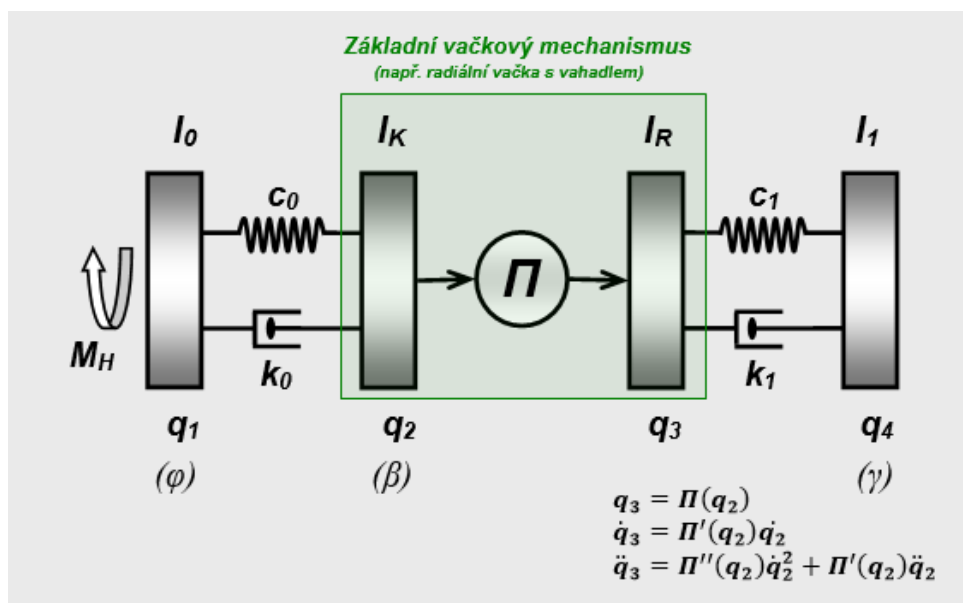
2. Diskrétní dynamické modely vačkových mechanismů s poddajnými členy, model vačkového mechanismu 1-II-1

Vačkové mechanismy s klasickými vačkami jsou schopny dosahovat vysokých výkonů, resp. vysokých otáček. Činná plocha vačky (kontura) je zdrojem kinematického buzení. V případě existence libovolných poddajností v kinematickém řetězci mechanismu je odezvou na kinematické buzení členů mechanismu kmitání různých a často velmi složitých tvarů, které je obvykle nežádoucí.

Reálné mechanismy, používané při stavbě strojů a strojních zařízení, představují poměrně složité mechanické systémy. Výchozím bodem pro konkrétní dynamické řešení je stanovení vhodného výpočtového modelu. Do třídy výpočtových *diskrétních* modelů mechanismů s poddajnými členy zahrneme modely mechanismů, u nichž příslušné poddajné členy jsou uvažovány jako nehmotné s lineárním (viskózním) tlumením. V literatuře [1] se rovněž uvádí, že jde o *lineární soustavy se soustředěnými parametry*, které se vyznačují těmito jednoduchými (diskrétními) prvky:

- hmotnými body nebo tuhými hmotnými tělesy, jež jsou nositeli *kinetické energie*
- nehmotnými pružinami, jež jsou nositelkami *potenciální energie*
- nehmotnými tlumiči, jež *disipují* energii, tj. mění mechanickou energii v teplo

Kombinací uvedených diskrétních prvků jsou vytvářeny výpočtové modely, přičemž se požaduje, aby jejich dynamické vlastnosti co nejvěrněji vystihovaly dynamické vlastnosti modelovaného mechanismu. Výpočtové modely se vytvářejí diskretizací různými metodami na základě skutečnosti. Soustředěním hmotností podle reálného mechanismu do vhodně zvolených míst vznikají *výpočtové modely*, které jsou schematicky zobrazeny jako *soustavy hmotných bodů nebo tuhých těles propojených nehmotnými pružinami a tlumiči*.



Diskrétní model klasického vačkového mechanismu 1-II-1

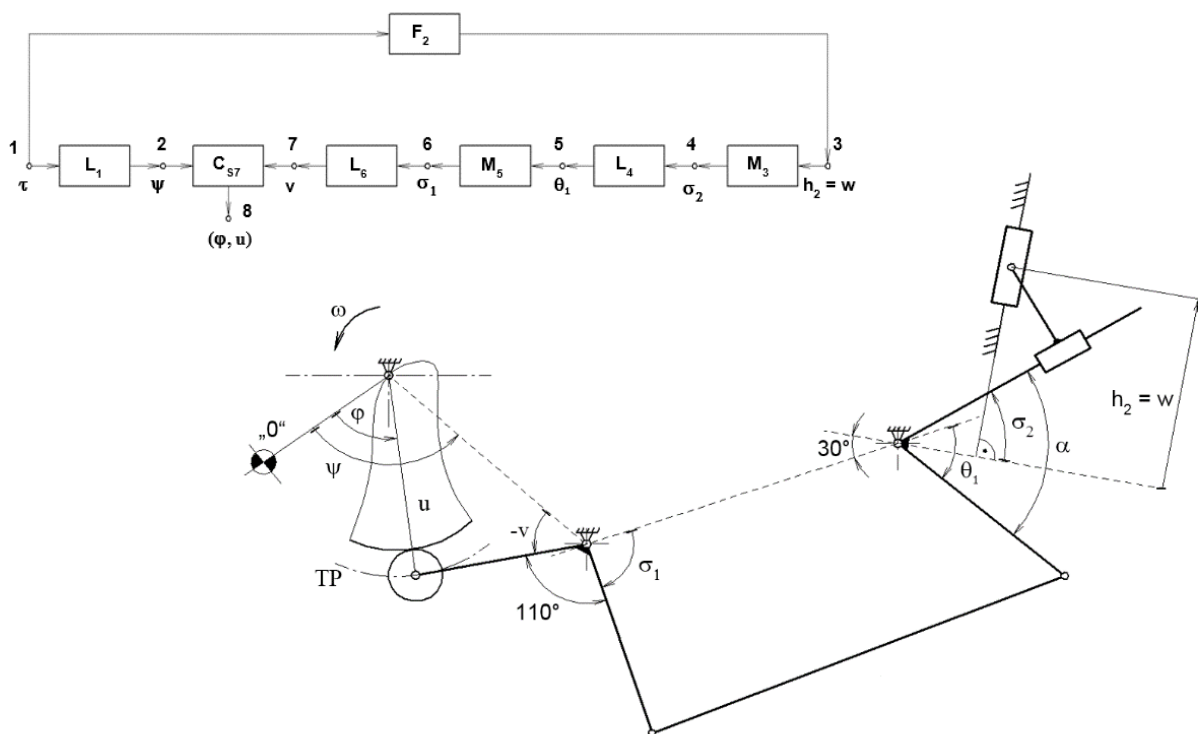
3. Diskrétní dynamické modely vačkových mechanismů s poddajnými členy, modely vačkového mechanismu 0-II-1 a 1-II-0

Kapitola popisuje takové modely, ve kterých je pouze poddajný výstup, nebo poddajný vstup, což jsou obvyklé varianty.

SW PROSTŘEDKY ŘEŠENÍ KLASICKÝCH MECHANISMŮ

1. Program KINZ2
2. Program KIN
3. Program APROX
4. Program KINY2

Jde o výpočetní SW vyvinutý ve VÚTS, a.s. a ověřený obrovským množstvím vyřešených úloh. Základní úlohou je kinematická *analýza* a *syntéza* složených vačkových mechanismů.



Složený vačkový mechanismus a blokové schéma kinematické syntézy

ELEKTRONICKÉ POHONY

Elektronickými pohony a jejich aplikačním výzkumem se VÚTS, a.s. zabývá od roku 2006 v rámci několika projektů VaV (Eureka, Tandem, TIP). Nejrozsáhlejší práce byly a jsou prováděny s HW a SW japonské firmy Yaskawa.

ELEKTRONICKÉ VAČKOVÉ MECHANISMY

2. Elektronické vačky Yaskawa

Jednou z možností při řešení konkrétních problémů pohonů pracovních členů mechanismů s definovanou technologickou pohybovou funkcí je realizace pracovního pohybu vačkovým mechanismem s *klasickou* nebo *elektronickou* vačkou. Zatímco aplikace klasických vaček v mechanismech strojů jsou všeobecně známy, elektronické vačky se v různé formě začínají prosazovat až v posledních letech. Je to dáno teoretickou náročností oborů strojírenství, elektrotechniky a elektroniky a s tím spojené různorodé kvalifikace pracovníků vývojových týmů. Kapitola se zabývá vlastní definicí termínu *elektronická vačka* a její SW realizace ve vývojovém prostředí MPE720 firmy Yaskawa.

METODIKA APLIKACÍ ELEKTRONICKÝCH VAČEK

1. Zdvižové závislosti mechanismů s elektronickou vačkou

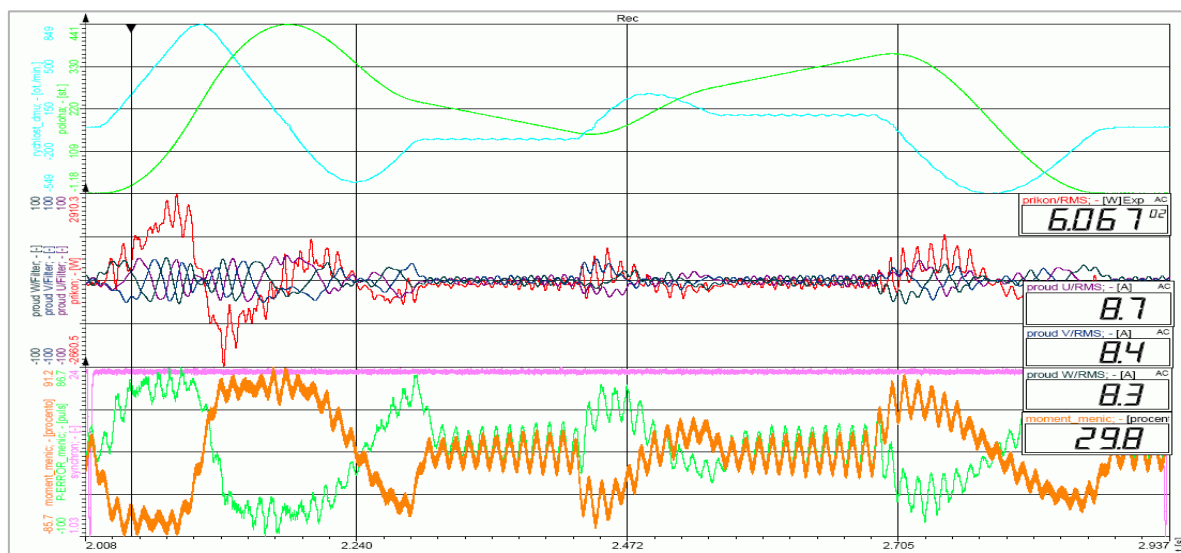
Pro zdvižové závislosti (z.z.) *elektronických vaček* platí vše, co se vztahuje ke z.z. pracovních členů mechanismů s klasickou vačkou. U elektronických mechanismů se však do popředí dostávají vlastnosti, které lze využít díky pružné změně z.z. jako je např. ladění parametrů z.z. při sledování a vyhodnocování odezvy poddajného systému na kinematické buzení zdvižovými závislostmi elektronické vačky. Některé speciální konstrukce z.z. jsou v textu uvedeny.

Zdvižové závislosti vaček je jedna z nejdůležitějších kapitol v problematice kinematiky (kinematická syntéza a analýza) a dynamiky vačkových mechanismů s klasickými a elektronickými vačkami. *Pohybová funkce* (realizace z.z.) pracovního členu kinematicky budí dynamický systém mechanismu stroje a volba zdvižové závislosti pracovního členu musí odpovídat požadované technologické funkci. Je popsáno základní rozdělení a použití *zdvižových závislostí* pro účely aplikací elektronických vaček.

2. Polohová přesnost pohybových funkcí elektronických vaček a metodika minimalizace polohových chyb

Zatímco u klasických vačkových mechanismů lze konstrukcí (tuhost členů mechanismu) a výrobou (výrobní tolerance a geometrická přesnost činných ploch vaček) ovlivňovat cíleně polohovou přesnost pracovních členů, je situace u elektronických vaček odlišná. Elektromagnetická vazba *stator-rotor* servomotoru elektronické vačky je principiálně poddajná a je základní příčinou různé velikosti polohových chyb v závislosti na režimu, resp. dynamice pohybu pracovního členu. Tuto polohovou chybu (*PERR*) je možno ovlivňovat různými způsoby

PERR pohybových funkcí elektronických vaček je veličina závislá na mnoha parametrech a bude vždy záležet na konkrétní aplikaci, na technologicko-výrobních požadavcích a na skutečném nastavení parametrů regulačních struktur. Předvídat tuto hodnotu bez možnosti konečného měření je problematické.

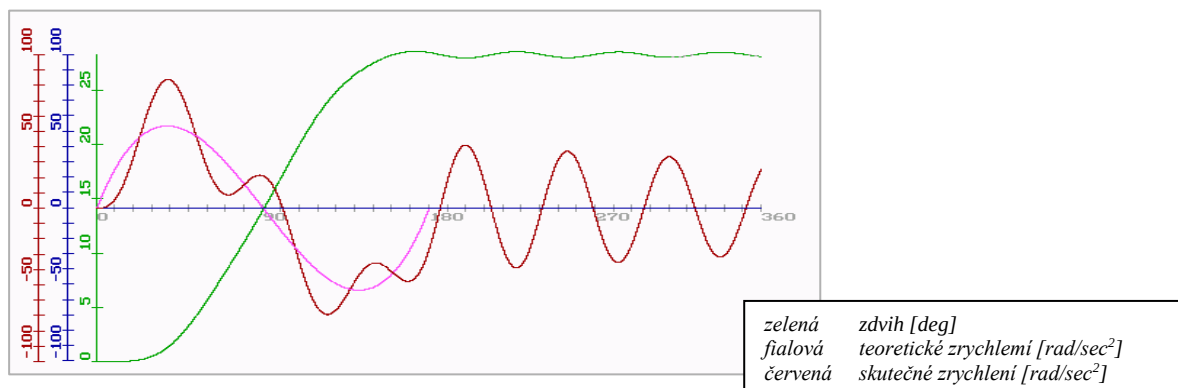


Vyhodnocení polohové funkce VDI měřicím analyzátozem v Phase Control

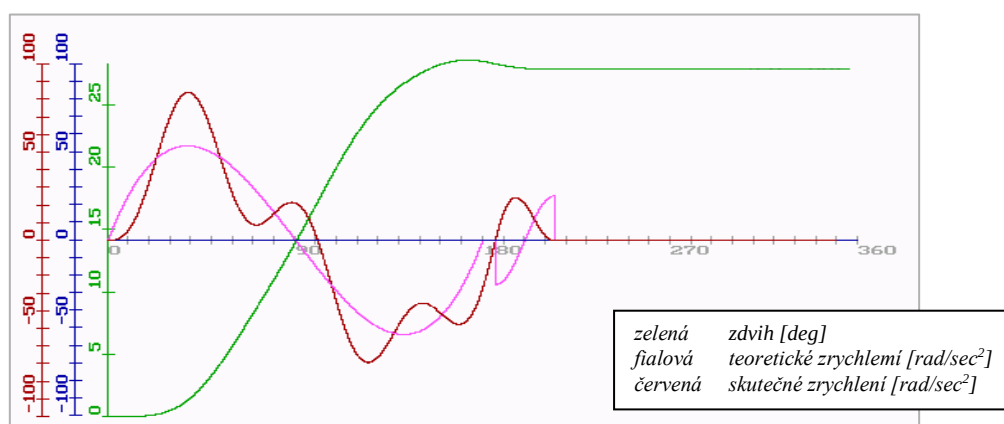
3. Využití superposice polohových dat k minimalizaci polohových chyb

Při eliminaci polohových chyb (*PERR*) periodických funkcí bylo s výhodou využito skutečnosti, že polohová chyba měla charakter, resp. funkční průběh stejný, nebo zrcadlený k průběhu 2. derivace zdvižové závislosti. Protože data 2. derivace jsou k dispozici v paměti kontroleru pro potřebu dopředné momentové vazby, jsou tato data měřítkována a sloučena se základní zdvižovou závislostí. Tuto metody

je analogicky využito k minimalizaci polohových chyb v klidových intervalech neperiodických (krokových) pohybových funkcí poddajných hnaných částí mechanismů s elektronickou vačkou. Náplní této kapitoly je metoda eliminace *reziduálních* kmitů používající superpozice *korekční funkce* s budící *zdvihovou závislostí*. Tato korekční funkce využívá skutečnosti, že *poddajnost* výstupní hřídele (poddajná hnaná část vačkového mechanismu) svými *vlastními harmonickými kmity* o dané vlastní frekvenci je složena s nosnou zdvihovou závislostí. Základní myšlenkou je tedy vytvoření takové korekční harmonické funkce, která se zrcadlově (v ose Y) složí se zvoleným harmonickým kmitem na *konci zdvihu* nebo na *začátku klidového intervalu*.



Reziduální kmit (buzeno cykloidální zdvihovou závislostí)



Kompenzace harmonickou funkcí

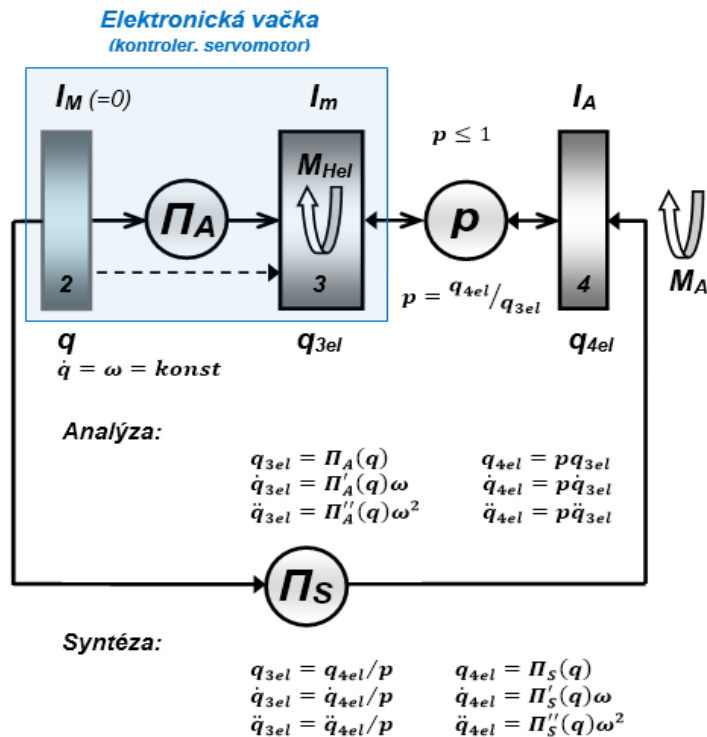
4. Kinetostatické řešení mechanismu s elektronickou vačkou a konstantním převodem

Kinetostatickým řešením je popsána ta skutečnost, kdy kinematický řetězec mechanismu od vstupu po výstupní pracovní člen neobsahuje žádnou poddajnost a řetězec má jeden stupeň volnosti. Dále je předpokládáno zjednodušení mechanismu na jeden nekonstantní převod (zdvihová závislost) a jeden konstantní převod.

U kinematického řetězce s *elektronickou vačkou* je nekonstantní převod vazba mezi *virtuální osou* a rotačním pohybem *hřídele* servomotoru. Konstantní převod je pak mezi hřídelí a pracovním členem a je obvykle menší než 1 (převod do pomala). Servomotor má v širokém rozsahu otáček konstantní krouticí moment, proto je snaha využít co nejvyšších otáček pro odběr maximálního výkonu.

Dle charakteru úlohy (aplikace) je její řešení *analýzou* nebo *syntézou* zdvihové závislosti elektronické vačky. Na obrázku jsou schematicky nakresleny obě varianty řešení. Na rozdíl od mechanismu s klasickou vačkou budeme předpokládat konstantní úhlovou rychlost virtuální osy (*Master*).

Schématický tok dat
úloh analýzy a syntézy
elektronické vačky



Vazba mezi Π_A a Π_S vztažená na člen 3:

$$\Pi_A(q) = (1/p) \Pi_S(q)$$

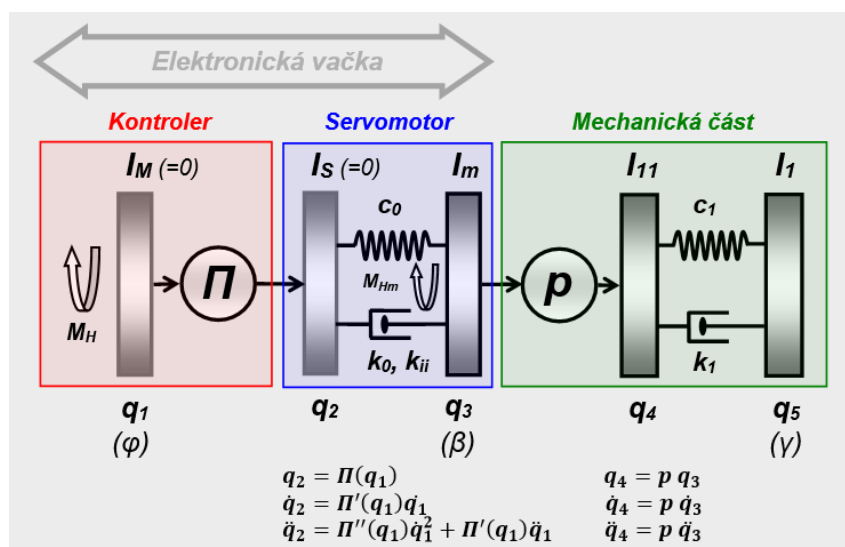
$$\Pi'_A(q) = (1/p) \Pi'_S(q)$$

$$\Pi''_A(q) = (1/p) \Pi''_S(q)$$

MODELOVÁNÍ A DYNAMIKA MECHANISMŮ S ELEKTRONICKOU VAČKOU

1. Diskrétní dynamický model elektronické vačky

Diskrétní dynamický model elektronické vačky si klade za cíl analogickým postupem jako v případech klasických vačkových mechanismů s poddajnými členy sestavit pohybové rovnice, které s verifikovanými parametry umožní virtuálně analyzovat mechanické vlastnosti mechanismu v různých dynamických režimech.



Diskrétní dynamický model elektronické vačky 0-Π-1.1

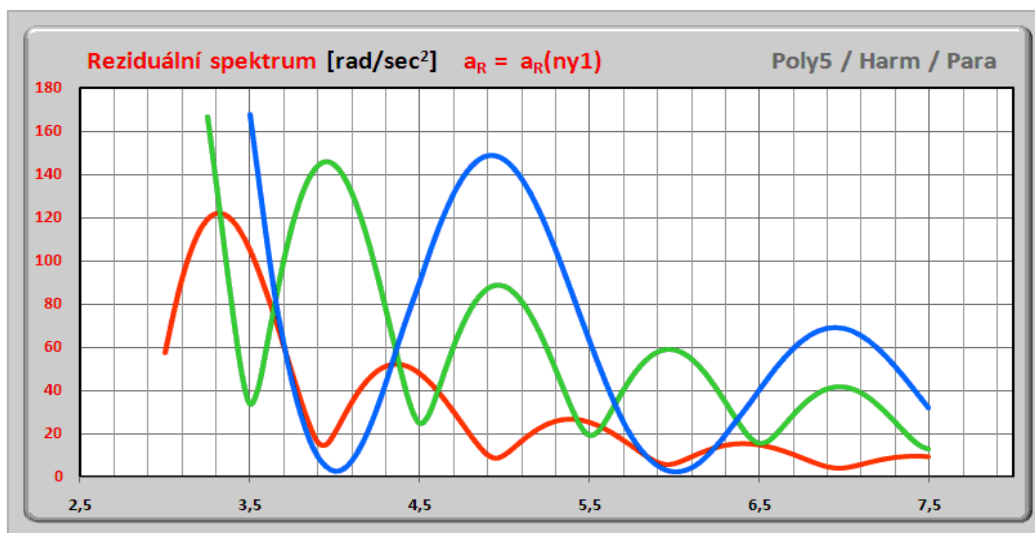
2. Reziduální spektra mechanismů s elektronickou vačkou

Reziduální spektra jsou charakteristická pro jednotlivé konkrétní *zdvihové závislosti*. Dávají nám představu o rušivém *reziduálním* (zbytkovém) kmitání v pohybových funkcích s klidovými intervaly. Kapitola se zabývá problematikou reziduálních kmitů v aplikacích *elektronických* vaček, kde existuje řada možných metod k minimalizaci tohoto rušivého dynamického jevu.

Skutečné mechanismy klasické i elektronické jsou poddajné. Kapitola se zabývá dále pouze (z důvodu rozsahu) mechanismem s elektronickou vačkou a jeho poddajnou *hnanou* částí. Aplikace, kde se problém rušivého reziduálního kmitání nejčastěji vyskytuje, jsou různé typy mechanismů s neperiodickými, resp. *krokovými* funkcemi. Problém je závažný s ohledem na skutečnost, že v klidové části *krokového* pohybu dochází k technologické funkci stroje a tlak na zvyšující se produktivitu výroby vede ke zvyšování taktů (kroků) ve vazbě na prodlužování úseku klidu na úkor úseku kroku.

Neperiodické zdvihové závislosti, resp. *krokové* jsou technicky významné pohyby, které se hojně uplatňují v řadě pracovních a manipulačních pohybů. Tyto pracovní pohyby jsou často realizovány unifikovanými konstrukčními uzly v podobě *krokových převodovek* a *otočných stolů* s klasickými vačkami (*radiální, axiální a globoidní*) a *elektronickými* vačkami. V této kapitole jsou demonstrovány tři charakteristické neperiodické *zdvihové závislosti* (*polynomická, harmonická a parabolická*) a jejich realizace mechanismem popsaným modelem 0-II-1.1 (diskrétní model elektronické vačky).

Na základě reziduálních spekter *zdvihových závislostí*, které jsou výsledkem numerického řešení modelu 0-II-1.1 je možné stanovit *otáčky, úhel zdvihu* nebo *moment setrvačnosti* tak, aby reziduální kmitání v oblasti klidu pohybových funkcí bylo minimální, *bez jakýchkoliv jiných systémových a regulačních zásahů do systému řízení*. Tyto závěry byly na dynamickém standu VÚTS ověřeny.



Reziduální spektra zdvihových závislostí
Polynomická (5.stupně) ... červená
Harmonická ... zelená
Parabolická ... modrá

4. Aproximace periodické zdvihové závislosti Fourierovou řadou v aplikacích mechanismů s elektronickou vačkou

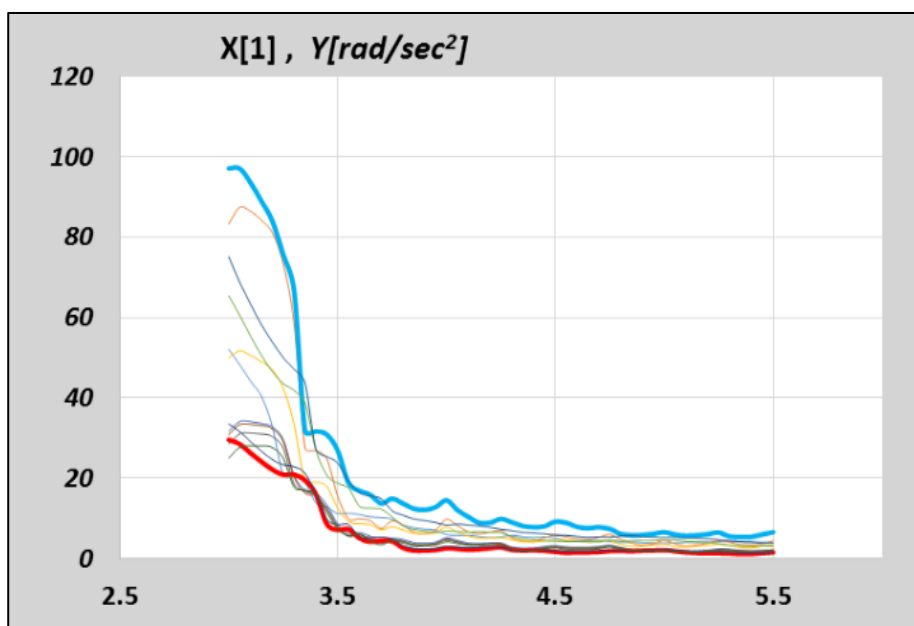
Při řešení pohybů pracovních členů mechanismů výrobních a manipulačních strojů se často setkáváme se závažným problémem dodržení polohové přesnosti ve vazbě k dané výrobní technologii. Konstrukce pracovního mechanismu se snaží o minimalizaci setrvačných sil, resp. snižování hmotností členů mechanismů. Důsledkem je pak snížení tuhostí s výraznými odchylkami od předepsané trajektorie. Odchyłky jsou způsobeny vlastními kmity členů kinematického řetězce pracovního mechanismu. Příspěvek nastiňuje metodiku návrhu *zdvihové závislosti* pro periodické pracovní pohyby

elektronických vaček. Jako příkladná zdvihová závislost je použita norma VDI 2143 *Praktische Anwendung* [5].

Uvedená metoda, kdy nahrazení *původní* zdvihové závislosti *novou* aproximovanou funkcí se záměrnou „polohovou chybou“ dosáhneme menších polohových odchylek pracovního členu, je efektivní a zvláště v mechanismu s *elektronickou vačkou* je snadno proveditelná a modifikovatelná na základě různého počtu harmonických složek. Na základě virtuální simulace, jejíž shoda se skutečností je výborná, lze studovat různé charakteristické vlivy mechanismů s elektronickou vačkou (např. vliv převodových poměrů, vlastnosti regulace, resp. poddajnosti a tlumení elektromagnetické vazby stator-rotor atd.) s vysoce poddajnými hnanými výstupními členy pracovních mechanismů.

5. Aproximace neperiodické zdvihové závislosti Fourierovou řadou v aplikacích mechanismů s elektronickou vačkou

Požadavky na stále vyšší produktivitu výroby přináší v aplikacích krokových mechanismů závažný problém. Tím jsou rušivé reziduální kmity v oblasti klidu zdvihových krokových závislostí. V oblasti klidu totiž probíhá technologická funkce stroje. Reálné mechanismy jsou ve své hnané části často velmi poddajné díky, z mnoha důvodů opodstatněné, konstrukci mechanismu nebo z důvodu použitého přípravku. V příspěvku se zabýváme problematikou pohonu poddajných soustav s jednou hlavní vlastní frekvencí v realizacích *neperiodických*, resp. *krokových zdvihových závislostí*, které jsou realizovány elektronickými vačkami. Jednou z metod minimalizace reziduálních kmitů se příspěvek zabývá. Elektronické vačky mají své přednosti v pružné změně zdvihových závislostí (pružná automatizace), a proto je pro aplikaci popsaná metoda vhodná.



Reziduální spektra různých aproximovaných zdvihových závislostí deseti harmonickými složkami
(osa X: ν , osa Y: max. amplituda úhlového zrychlení v klidové části)

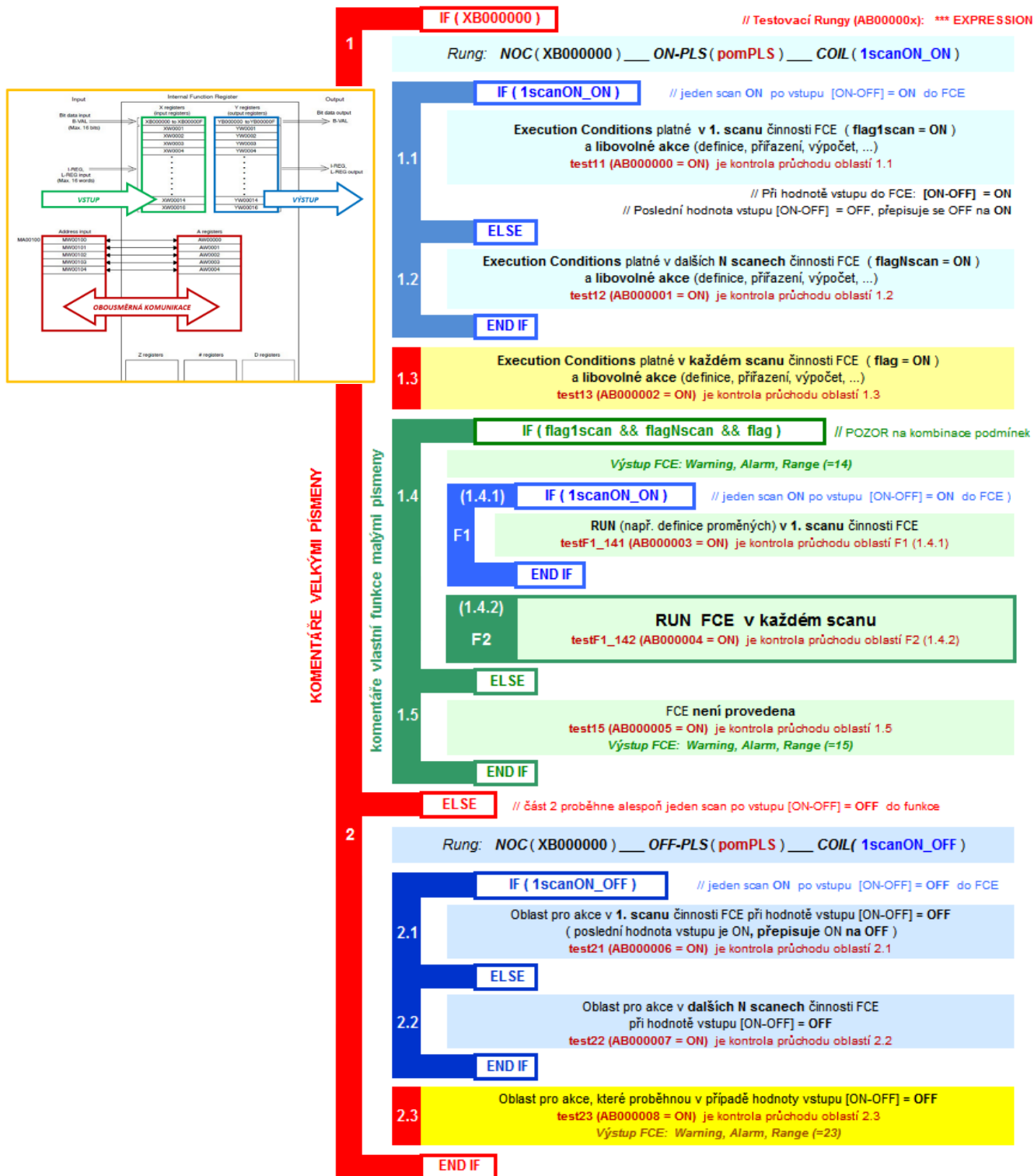
REALIZACE ZDVIHOVÝCH ZÁVISLOSTÍ V ŘÍDICÍM SYSTÉMU ELEKTRONICKÉ VAČKY YASKAWA

1. Uživatelské funkce PLC realizující systém stavového stroje

VÚTS, a.s. vyvíjí řadu jednoúčelových strojů. Jednou z možností, na kterou se soustředil v případě složitých řídicích systémů, jsou SW a HW komponenty japonské firmy Yaskawa. Řídicí systém je

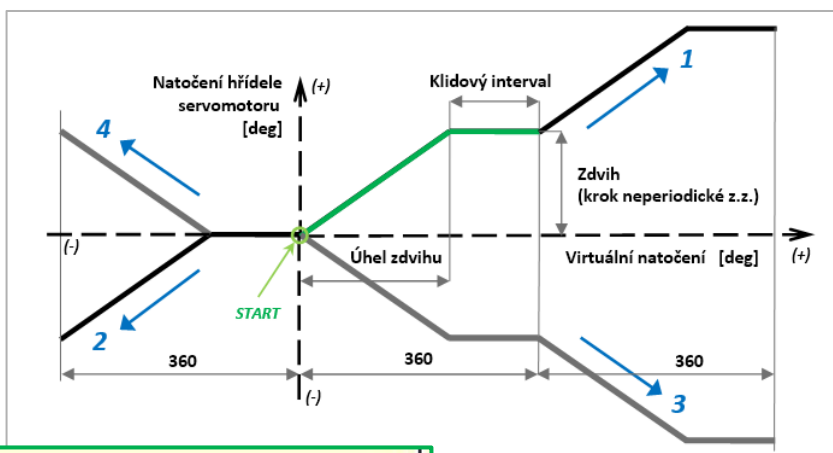
programován ve vývojovém prostředí MPE720 s kontrolerem řady MP2000. Kapitola se zabývá zcela novou koncepcí řídicího systému jednoúčelového stoje postavenou variantně na programové oblasti řízených souvislých pohybů a na oblasti PLC. Dále jsou deklarovány specifické vlastnosti systému a možnosti jeho dalších variant a průmyslových aplikací.

Jsou vyvinuty unifikované struktury uživatelských funkcí PLC.



2. Uživatelská funkce PLC realizující zdvihovou závislost pracovního členu mechanismu

Odpověď na otázku „Jak zrealizovat?“ pohyb hřídele servomotoru elektronické vačky podle požadavků na pohyb pracovního členu mechanismu, poskytne tato kapitola. Jakým způsobem a v jaké formě se získají informace o požadovaném pohybu, resp. *zdvihové závislosti* hřídele servomotoru bylo předmětem předchozích kapitol monografie. Vycházíme z předpokladu, že k dispozici jsou data 0., 1. a 2. *derivace zdvihové* v závislosti na pootočení virtuálního hřídele elektronické vačky. Realizace zdvihové závislosti je popsána ve vývojovém prostředí MPE720 systému elektronické vačky Yaskawa s dostatečnou obecností, která umožňuje přenos metodiky do systémy jiných výrobců, budou-li tyto mít vlastnosti, které uvedenou metodiku umožní uskutečnit.



Var1			
FUNC CAM_V1			
[B]On/Off	VAR_Start	[L]WARNING	VAR_Warning
[B]STOPpos	VAR_Stop	[L]ALARM	VAR_Alarm
[A]work50W	VAR_VVcamV1	[W]RANGE	VAR_Range
		[B]StopPos	VAR_StopPos

EXPRESSON

VAR_VVcamV1.Scale0DerKorekce = C_CAMV1.Scale0DerKorekce;
 // Rated Speed serva [ot/min]
 VAR_VVcamV1.ServoRatedSpeed = C_CAMV1.ServoRatedSpeed;
 // Mom. setrv. rotoru serva [kgm2]
 VAR_VVcamV1.ServoIm = C_CAMV1.ServoIm;
 // Rated Torque serva Mk [Nm]
 VAR_VVcamV1.ServoRatedTorque = C_CAMV1.ServoRatedTorque;
 // Mom. setrv. zateze Iz [kgm2]
 VAR_VVcamV1.Iz = C_CAMV1.Iz;
 // Fazove otacky v režimu PHASE Control [1/min]
 VAR_VVcamV1.0MinPHASE = C_CAMV1.0MinPHASE;
 // Korekce polohy pomocí PERR (DLK16)
 VAR_VVcamV1.ScalePERR = C_CAMV1.ScalePERR;
 // Smysl rotace SLAVE (+/- 1)
 VAR_VVcamV1.SmyslSLAVE = C_CAMV1.SmyslSLAVE;
 zpoždění startu vačky (nutnost definic v části 2)

Var1

Name	FUNC	CAM_V1	
[B]On/Off	VAR_Start	[L]WARNING	VAR_Warning
[B]STOPpos	VAR_Stop	[L]ALARM	VAR_Alarm
[A]work50W	VAR_VVcamV1	[W]RANGE	VAR_Range
		[B]StopPos	VAR_StopPos

Local Variable

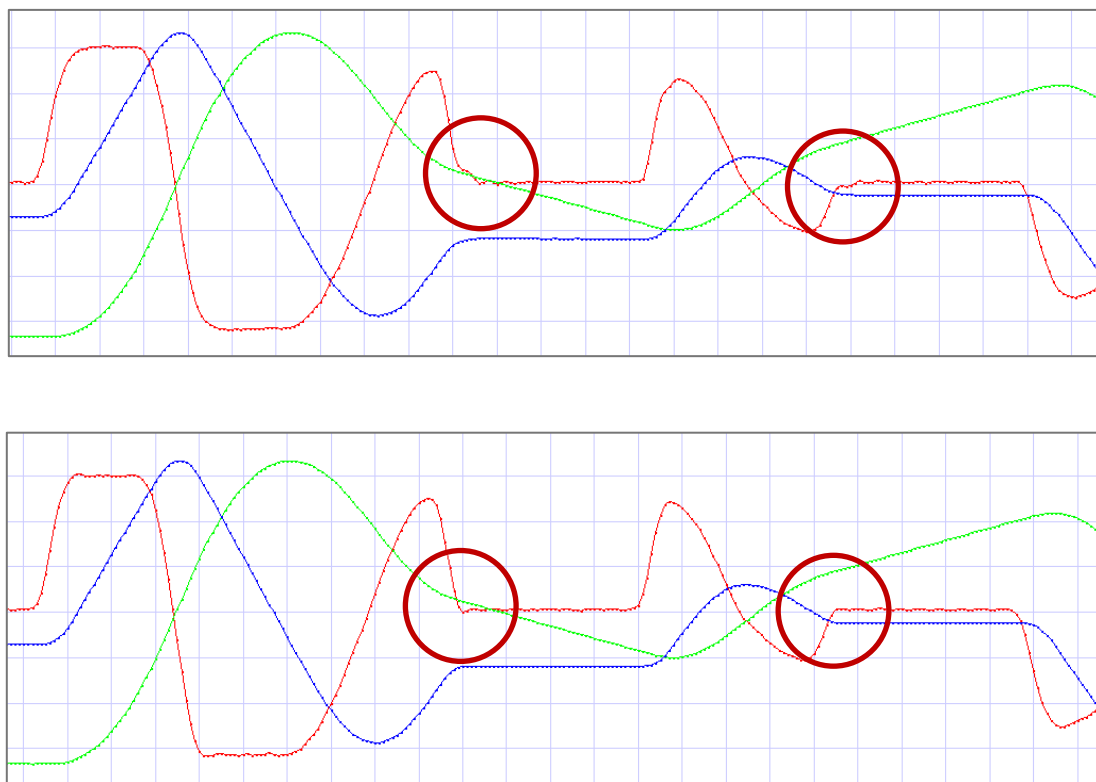
- [B] VAR_NoCam(D8000000) : no cam present
- [B] VAR_OFF(D8000008) :
- [B] VAR_Run(D8000011) : Z follows virtual axis
- [B] VAR_StartManual(D8000007) : CAM v Manual...
- [B] VAR_Stop(D8000006) : cam stop
- [B] VAR_StopPos(D8000003) :
- [B] VAR_TransOK(D8000004) : Možnost přechodu...
- [W] VAR_Counter(DW00003) :
- [W] VAR_Counter(LD000011) :
- [W] VAR_Range(DW00008) :
- [L] VAR_Long
- [L] VAR_Alarm(DL00006) :
- [L] VAR_IncrA1(DL00001) : increment A1
- [L] VAR_IncZ(DL00012) :
- [F] Float
- [F] Address
- [B] VAR_VVcamV1(fccCAM_V1)(DA00100) : Vstup...
- [B] SuperposicOnOff(D8001000) : Superposic...
- [F] 0Min(DF00102) : Otacky [1/min]
- [W] OWx08(DW00104) : OWx08 je 4 nebo 25
- [F] Scale0Der(DF00106) : Scale 0.der.
- [F] ScaleFFv(DF00108) : Scale FFv
- [F] ScaleFFv(DL00110) : Fazove posunutí FFv
- [F] ScaleFFm2Der(DF00112) : Scale FFm 2.der.
- [F] ScaleFFmMoment(DF00114) : Scale FFm vn...
- [F] ScaleFFm(DL00116) : Fazove posunutí FFm
- [L] VmPerioda(DL00118) : Perioda nez.prom. X...
- [L] Encoder(DL00120) : Encoder serva
- [F] Scale0DerKorekce(DF00122) : Scale 0.der...
- [W] ServoRatedSpeed(DW00124) : Rated spee...
- [F] ScaleFFv(DF00126) : Im serva [kgm2]
- [F] ServoRatedTorque(DF00128) : Rated Torq...
- [F] Im...
- [F] 0MinPHASE(DF00132) : Fazove otacky [1/...
- [F] ScaleFFv(DF00134) : Scale FFv posunutí podl...
- [W] SmyslSLAVE(DW00136) : Smysl rotace (+/- 1)
- [B] OnNaZacahuZz(D800100F) :

Uživatelská funkce CAM_V1 se vstupy, výstupy a komunikační adresou

3. Monitorování kinetostatických veličin pohybových funkcí

Jde o monitorovací funkce kinematických a dynamických, resp. kinetostatických veličin *pohybových funkcí* elektronických vaček. Během řešení aplikací a vývoje systému elektronické vačky Yaskawa vznikla řada variant těchto uživatelských funkcí s rozdílnými vstupy a výstupy. Kapitola popisuje konečnou variantu funkce *DH99-04B: Diagnostika serva*.

Monitorování kinematických veličin *pohybových funkcí* (*zdvih, rychlost a zrychlení*) je důležité z mnoha důvodů. Průběhy funkcí vypovídají např. o mechanické poddajnosti systému nebo o vlastnostech elektromagnetické vazby stator-rotor (vlastnosti a parametry regulátorů). Není však vždy možné měřit kinematické veličiny pohybových funkcí na hřídeli servomotoru nezávislými snímači a metodami. K monitorování *skutečné budící pohybové funkce* na hřídeli rotoru lze využít *encoderu* servomotoru a systémem nabízené (vyvinuté ve VÚTS, a.s.) *monitorovací funkce* a proměnné (registry).

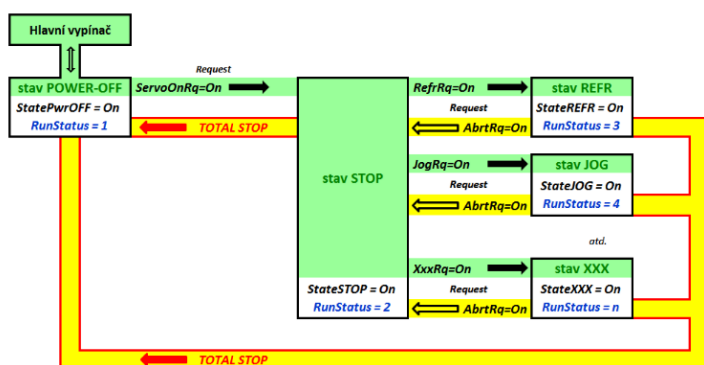


Monitorované kinematické veličiny pohybové funkce podle VDI 2143

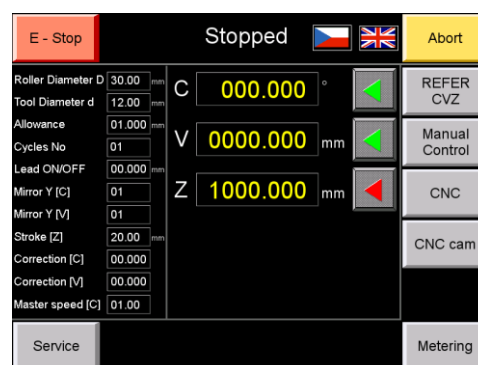
APLIKACE ELEKTRONICKÝCH VAČEK V ŘÍDICÍCH SYSTÉMECH JEDNOÚČELOVÝCH STROJŮ

1. Koncepce řídicího systému brusky radiálních vaček

Bruska radiálních vaček vznikla na základě více jak třicetiletých zkušeností s výrobou radiálních a axiálních vaček ve VÚTS, a.s. Bruska radiálních vaček *BRV-300 CNC* byla vystavována na *MSV Brno 2012* a byla oceněna čestným uznáním, viz obrázek předchozím textu. Byly broušeny testovací vačky s výsledkem odpovídajícím vysoké úrovni stroje. Text kapitoly je zaměřen na logiku řídicího systému v *ručním* a *automatickém* režimu. V automatickém režimu je aplikována logika programování v *Motion* oblasti a v oblasti *PLC* pro aplikaci elektronické vačky.



Struktura systému stavového stroje

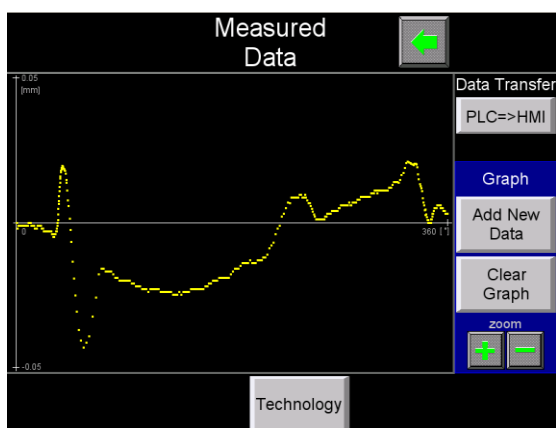


Stav STOP

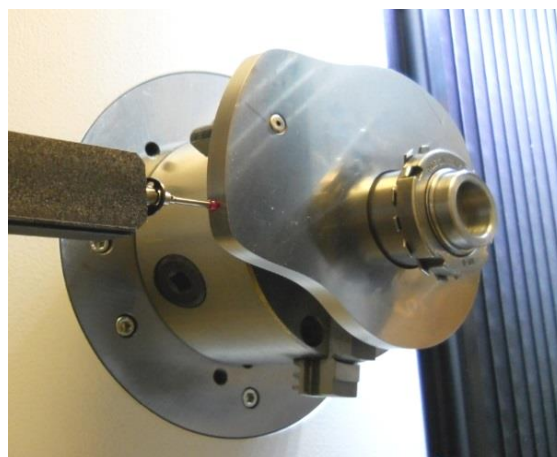
Řídicí systém je kompletním vývojem VÚTS, a.s. na HW platformě kontrolerů Yaskawa MP2200/2310 s komunikací HMI Weintek (dotyková obrazovka). Tento systém umožňuje klasické řízení v ručním (JOG, STEP, POSI, HW-Hand Wheel apod.) a automatickém režimu (CNC). Režimem CNC je myšleno automatické řízení pracovního pohybu na základě výrobních dat ve dvou interpolačních osách C (rotační) a V (posuvná). Realizace interpolačního pohybu je programována v klasické oblasti Motion, v které je pohyb mezi dvěma polohami definován souřadnicemi s daným posuvem. Unikátností systému brusky radiálních vaček nové koncepce VÚTS je však založena na tom, že druhým způsobem řízení pohybů výrobních os je použití funkce (uživatelská funkce PLC) dvou elektronických vaček vzájemně svázaných.

2. Metodika zpracování naměřených dat kontury vačky v řídicím systému stroje

Kapitola se zabývá metodikou zpracování naměřených dat kontury radiální vačky v procesu obrábění do parametrů posunutí a natočení souřadného systému obrobku vůči souřadnému systému stroje. Je sledován konečný cíl, kterým je snímání polohové přesnosti libovolným inspekčním systémem přímo na obráběcím stroji bez vyjmutí obrobku vačky ze stroje a zpracování naměřených dat do výše jmenovaných korekcí.



Odchylka od požadovaného profilu vačky



Měření kontury vačky dotykovou sondou

SW PROSTŘEDKY ŘEŠENÍ MECHANISMŮ S ELEKTRONICKOU VAČKOU

1. Kinetostatická analýza elektronických vaček

Ověření metodiky optimálního návrhu a dimenzování elektronické vačky bylo jednou z důležitějších částí projektu TANDEM II (FT-TA5/129). Během projektu vznikl autorizovaný software v prostředí

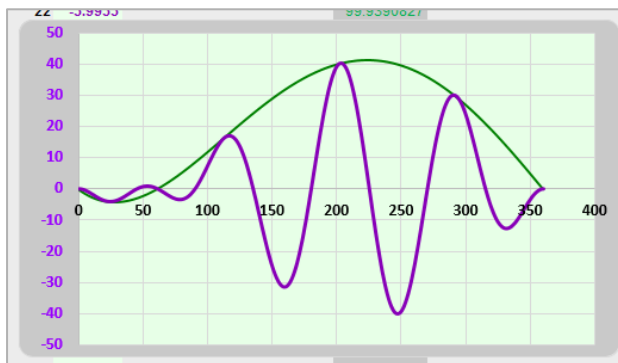
MS Excel, který se stále vyvíjí a jehož prostřednictvím byly navrženy a dimenzovány všechny řešené elektronické vačky v projektu a v dnešních aplikacích VÚTS, a.s.. Popis samotného systému by přesáhl rámec této kapitoly. Program je dostatečně představen v literatuře [6]. V dalším textu jsou proto předloženy pouze některé výsledky týkající se základního kinetostatického dimenzování servomotoru elektronické vačky.

2. Program dimenzování pohonů NC os jednoúčelových obráběcích strojů

Program řeší dimenzování pohonů a optimalizaci parametrů konstrukčních uzlů brusky radiálních vaček řízené tříosým řídicím systémem. Systém NC os je založen na dvou osách s posuvným pohybem (V, Z) a jedné ose s rotačním pohybem (C). Interpolující osy jsou rotační C a posuvná V, přičemž osa C je unášena osou V. Polohovací osa Z má definovanou zdvihovou závislost, která je nezávislá na kontuře obráběné vačky, je dána technologií broušení. Výchozí informací pro dimenzování pohonů je kontura radiální vačky a celá řada konstrukčních a technologických parametrů, jako je maximální kroutilý moment včetně, průměr brousicího nástroje, posuv po povrchu vačky atd. Koncepčně je uvažováno s mechanismy s konstantním převodem mezi pracovním pohybem NC os a servomotorem. Jde o převodovky a lineární kuličkové šrouby. Výsledkem jsou pak požadované výkonové parametry servomotorů jednotlivých NC os a optimalizované parametry jejich konstrukčních uzlů. Jsou to *hnací momenty* (maximální, efektivní) a *otáčky* (maximální), *konstantní převodové poměry*, *stoupání* a *průměry* kuličkových šroubů apod. Je rovněž posouzena *polohová odchylka* způsobená poddajnostmi převodových mechanismů.

4. Prostředí MS Excel

Software MS Excel je vynikající a mnohostranně využitelné prostředí pro práci s rozumně omezeným množstvím dat. Kapitola se zabývá tvorbou polohových dat zdvihových závislostí z oblasti aplikací elektronických vaček v *kinetických plastikách*.



Výsledná zdvihová závislost a realizace plastiky Supernova firmy LASVIT (Miláno Euroluce 2015)

KOMBINOVANÉ MECHATRONICKÉ POHONY

PARALELNÍ KONFIGURACE KINEMATICKÉHO ŘETĚZCE

1. Mechatronický diferenciální pohon – kinetostatické řešení

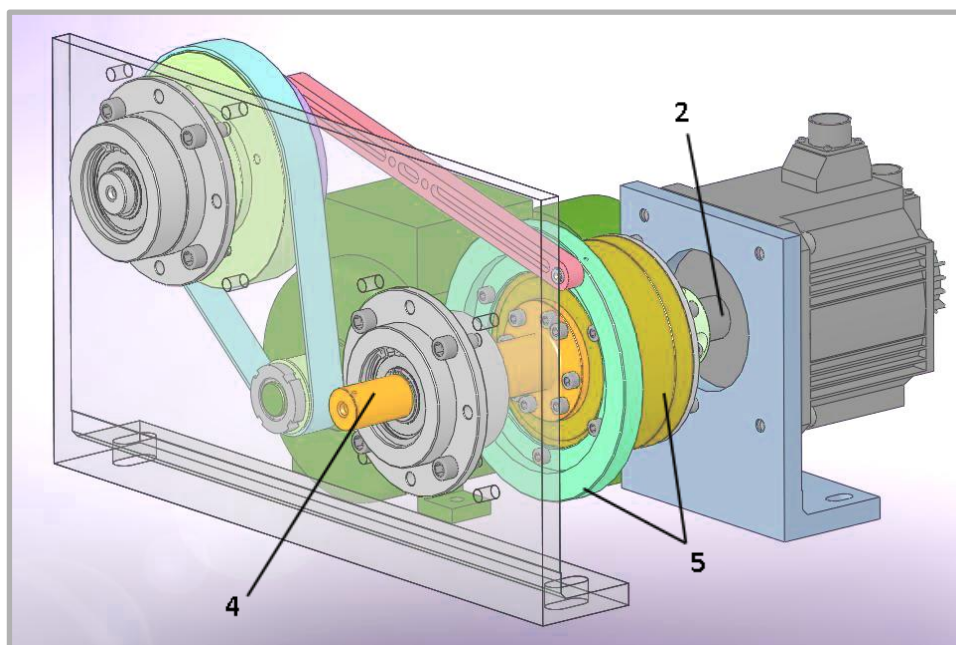
Kapitola se zabývá *paralelní* konfigurací rovinných kinematických řetězců mechanismů s *konstantním* a *nekonstantním* převodem, které transformují budící kinematickou funkci elektronické vačky na zdvihovou závislost pracovního členu. Kritériem je dosažení co nejvyšší dynamiky pohybu, resp. co nejvyššího počtu pracovních cyklů v daném čase.

Při použití převodovek nebo reduktorů dochází k vyšším nárokům na dynamiku pohybu rotoru servomotoru. Servomotor je *značně zatěžován* svým *vlastním momentem setrvačnosti rotoru*, což snižuje oblast použitelnosti elektronických vaček.

Uvedený nedostatek ve velké míře odstraňuje *způsob* pohonu pracovních členů mechanismů pomocí *mechatronického diferenciálního pohonného systému* [7]. Systém se skládá ze dvou vstupních definovaných funkcí pohybu, které svojí *superpozicí* dávají výsledný požadovaný pracovní pohyb *výstupního členu* mechanismu.

Paralelní konfigurace kinematického řetězce s použitím planetové převodovky jako diferenciálu se dvěma vstupy je na obrázku. Na pracovní rotační pohyb členu 4 je redukována pracovní hmota s definovanou *zdvihovou závislostí* a *vnější momentovou zátěží*. Silový pohyb členu 5 je odvozen od vahadla čtyřkloubového mechanismu (RRRR) nebo jiného mechanismu (např. dvojvačky) a tento pohyb je určen svými charakteristickými geometrickými rozměry. Konstantní rotace kliky mechanismu RRRR je zajištěna klasickým motorem a jeho otáčky jsou snímány externím *encoderem*, který je *masterem* (nezávisle proměnnou vstupující do PLC systému *kontroleru*) pro vstupní pohyb 2 elektronické vačky (hřídele servomotoru). Pracovní *zdvihová závislost* členu 4 je tedy *výstupem* diferenciálu, jehož *jeden vstup je silový periodický pohyb členu 5* a *druhý vstup je rotace hřídele servomotoru 2 elektronické vačky*. Protože nezávisle proměnná pohybové funkce elektronické vačky je snímána rotace (*master*) kliky mechanismu RRRR, nemůže dojít k rozfázování vstupních pohybů při změně otáček, např. regulací otáček frekvenčním měničem. Tato varianta byla dotažena do funkčního modelu podle obrázku.

V roce 2008 byl postaven ve VÚTS a.s. funkční model *diferenciálního pohonného systému* na základě principu zobrazeného na obrázku. Na tomto funkčním modelu byla ověřena metodika výpočtu pro tři pracovní pohyby členu 4 (*kroková funkce* s klidovou výdrží, *periodický pohyb* s úseky konstantní úhlové rychlosti a ukázková *konstantní rotace*). *Elektronická vačka* je realizována elektroskříní (*kontroler MP2300*, servoměnič, atd.) a servomotorem Yaskawa SGMGH-30D. Funkční model byl vystaven na MSV Brno 2008 a exponát byl oceněn prestižní zlatou medailí. Rovněž byl *mechatronickému diferenciálu* udělen český a evropský patent [7].



*Diferenciální pohonný systém
(silový pohon odvozen od čtyřkloubového mechanismu)*

2. Mechatronický diferenciální pohon – aplikace

V kapitole je uvedena aplikace, která je názorným příkladem možnosti použití mechatronického diferenciálního pohonu díky svým vysokým požadavkům na dynamiku setrvačných sil.

3. Mechatronický diferenciální pohon v kombinaci s převodovými mechanismy

Pracovní členy výrobních strojů vykonávají nejrůznější pohyby, které jsou většinou určeny konkrétní výrobní technologií. Na pohyby těchto pracovních členů jsou kladeny rozličné požadavky. Jde například o polohovou přesnost nebo o co nejvyšší dynamiku pohybu, resp. o co nejvyšší počet pracovních cyklů v daném čase. Kapitola prezentuje využitelnost mechatronického diferenciálního pohonu v kombinaci s převodovými mechanismy za účelem zvýšení dynamiky pracovního pohybu.

Literatura (odkazy použité pouze v tomto textu autoreferátu)

- [1] Koloc, Z. - Václavík, M.: Vačkové mechanismy, SNTL 1988.
- [2] Volmer, J. und Autorenkollektiv: Getriebetechnik-Kurvengetriebe, VEB Verlag Technik Berlin 1989
- [3] Juliš, K. - Brepta, R. a kol.: TP 65 1.díl - Statika a kinematika, SNTL 1986.
- [4] Brát, V. - Rosenberg, J. - Jáč, V.: Kinematika, SNTL 1987.
- [5] Bewegungsgesetze für Kurvengetriebe (Praktische Anwendung), VDI 2143, Jan.1987.
- [6] Jirásko P.: Metodika aplikací elektronických vaček v pohonech pracovních členů mechanismů výrobních strojů, Disertační práce 2010, TU Liberec, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových inženýrských studií
- [7] Jirásko, P.: Způsob a zařízení k pohonu členů strojních mechanismů, patenty CZ301095 a EP2078882.

ZÁVĚR – Využití výsledků habilitační práce

Výsledky habilitační práce jsou již využity při výuce předmětu *Řízené mechanické systémy* (viz obrázek níže) v pětiletém inženýrském oboru *Aplikovaná mechanika* na Fakultě strojní – Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti. Monografie byla v tištěné formě vydána v omezeném množství v roce 2015. Volně je ke stažení v elektronické podobě na stránkách firmy VÚTS, a.s. (www.vuts.cz).

D – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Řízené mechanické systémy			
Typ předmětu	Předmět oboru/zaměření		doporučený ročník / semestr	5/9
Rozsah studijního předmětu	56	hod. za týden	4	kreditů
Jiný způsob vyjádření rozsahu				
Způsob zakončení	zkouška		Forma výuky	přednáška
Další požadavky na studenta	Zápočet – účast na cvičeních, úspěšné napsání testů			
Vyučující	Ing. Petr Jirásko, Ph.D. (garant a přednášející)			
Stručná anotace předmětu	1. Metody analytické mechaniky (1. část – soustavy s tuhými a poddajnými členy, modely, pohybové rovnice) 2. Metody analytické mechaniky (2. část – numerická řešení pohybových rovnic, výpočetní software) 3. Problematiky pohonů pracovních členů mechanismů (klasické a elektronické mechanismy) 4. Zdvihové závislosti a úvod do řešení vačkových mechanismů, dynamické vlastnosti zdvihových závislosti 5. Kinematická analýza a syntéza klasických složených vačkových mechanismů 6. Kinetostatické řešení mechanismů s klasickou a elektronickou vačkou 7. Diskrétní dynamické modely klasických vačkových mechanismů s poddajnými členy 8. Diskrétní dynamické modely elektronických vačkových mechanismů s poddajnými členy 9. Problematika rušivého reziduálního kmitání klasických a elektronických vačkových mechanismů 10. Mechatronická řešení pohonů pracovních členů mechanismů (mechatronický diferenciál) 11. Realizace zdvihových závislostí v řídicím systému elektronické vačky 12. PLC systému elektronické vačky a metodika aplikací elektronických vaček, charakteristické aplikace 13. Vybrané konstrukční prvky mechanismů s elektronickou vačkou 14. Konstrukce a výroba klasických vačkových mechanismů			
Informace ke kombinované nebo distanční formě				
Rozsah konzultací (soustředění)		hodin za týden		
Rozsah a obsahové zaměření individuálních prací studentů a způsob kontroly				
Studijní literatura a studijní pomůcky				
[1] Juliš K., Brepta R.: Mechanika II. díl. Dynamika. Technický průvodce 66. SNTL 1987. [2] Souček P.: Servomechanismy ve výrobních strojích. Vydavatelství ČVUT, Praha 2004 [3] Koloc Z., Václavík M.: Vačkové mechanismy. SNTL 1988 [4] Nekvinda, M. a kol.: Úvod do numerické matematiky, SNTL 1976. [5] Bewegungsgesetze für Kurvengetriebe, VDI 2143, Okt.1980. [6] Jirásko P. a kol.: Mechatronika pohonů pracovních členů mechanismů. Monografie VÚTS, a.s., ISBN: 978-80-87184-63-9				

Stručný strukturovaný profesní životopis

Osobní informace:

Jméno a příjmení: Petr Jirásko
Datum narození: 14. 11. 1955
Místo narození: Jablonec nad Nisou
Stav: ženatý
Bydliště: Liberec
Pracoviště: VÚTS, a.s.

Vzdělání:

1980 - Ing. Fakulta strojní VŠST v Liberci
2010 - Ph.D. Obor Technická kybernetika na Fakultě mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií TU Liberec

Průběh zaměstnání:

1980... Ukončení studia s vyznamenáním na *VŠST Liberec*, FS, obor konstrukce textilních strojů a obor aplikovaná mechanika formou individuálního studia ve 4. ročníku
od 1980... *KVÚ Elitex Liberec*, výzkumný pracovník matematicko-fyzikálního odboru (MAF), programátor CNC, programátor v jazyce C, výpočet vaček
od 1991... *KVÚ Elitex Liberec*, vedoucí odboru MAF, vývoj výpočetních systémů vaček
od 1994... Jednatel *VUSIT, s.r.o.*, CNC výroba dílců a vaček, výpočty vaček, školení CNC
od 2000... *ZZ-Antriebe, GmbH*, Karlsruhe, SRN, programátor výpočetních systémů vaček a hlavní výpočtář vačkových mechanismů
od 2003... *VÚTS Liberec, a.s.*, programátor, výpočty vaček a mechanismů
od 2007... *VÚTS, a.s.*, vedoucí nově založeného oddělení *Mechatronika*, vývoj metod aplikací elektronických vaček v pohonech výrobních mechanismů strojů, vývoj řídicích systémů jednoúčelových strojů s aplikacemi elektronických vaček

Přehled vědecko-výzkumných a inovačních aktivit:

- Tvorba výpočetního systému pro analýzu a syntézu složených vačkových mechanismů, vývoj software a metod programování CNC technologiemi frézování a broušení vaček
- *VUSIT, s.r.o.*, vybudování centra pro CNC obrábění, školení systémů CNC
- *ZZ-Antriebe, GmbH*, vývoj výpočetního systému pro syntézu krokových mechanismů s radiálními a globoidními vačkami, automatizace programů CNC pro broušení vaček
- Deklarování nového výzkumného oboru a vybudování oddělení *Mechatronika* ve *VÚTS, a.s.* na základě aplikací elektronických vaček v pohonech pracovních členů mechanismů výrobních strojů

Projekty VaV

- *VUSIT, s.r.o.*, příprava a hlavní řešitel projektu 1762 IVM-VTM programu EUREKA: „*Inovace výpočetních metod a výrobních technologií vaček*“, řešeno 1997-99, hodnoceno oponentní komisí V – vynikající výsledky
- *VÚTS Liberec, a.s.*, příprava a hlavní řešitel projektu programu EUREKA (1P04 OE 168): „*Mechatronické systémy pro realizaci pracovních pohybů strojů*“, řešeno 2004-06,

hodnoceno oponentní komisí V – *vynikající výsledky*

- VÚTS Liberec, a.s., příprava a hlavní řešitel projektu programu TANDEM II (FT-TA5/129): **„Výzkum, simulace, modelování a aplikace elektronických vaček v řídicích systémech výrobních strojů“**, řešeno 2008-10, hodnoceno oponentní komisí V – *vynikající výsledky*
- VÚTS Liberec, a.s., příprava a hlavní řešitel projektu programu TIP (FR-TI1/594): **„Výzkum sofistikovaných metod návrhu a vývoje jednoúčelových strojů, komponent a periférií výrobních strojů“**, řešeno 2009-13, hodnoceno oponentní komisí V – *vynikající výsledky*
- VÚTS Liberec, a.s., příprava a hlavní řešitel projektu programu TIP (FR-TI4 801): **„Vysokootáčkové vačkové mechanismy s radiálními vačkami“**, řešeno 2012-04/16, hodnoceno oponentní komisí V – *vynikající výsledky*
- Projekt programu Prosperita (FR – TI1 / 039, Tajmac-ZPS/VÚTS): **„Vysoce výkonný obráběcí stroj pro komplexní obrábění“**, řešeno 2008-2011
- VÚTS Liberec, a.s., spoluřešitel projektu programu ALFA (TA02010247): **„Pokročilý systém řízení pohybu pro mechatronické a robotické aplikace“**, hlavní řešitel ZČU – Fakulta aplikovaných věd, řešeno 2012-15, hodnoceno (bez oponentury): uspěl podle zadání
- Centrum kompetence CIDAM (TE02000103, ZČU/VÚTS): **„Centrum inteligentních pohonů a pokročilého řízení strojů“** probíhající projekt ve spolupráci s ZČU Plzeň, řešení v letech 2014-19

Probíhající činnost:

- Vývoj řídicích víceosých CNC systémů jednoúčelových strojů na HW platformě Yaskawa
- Výzkum dynamiky elektronických vaček Yaskawa a vývoj metodiky aplikací elektronických vaček Yaskawa v pohonech pracovních členů mechanismů (aplikováno v připravovaných projektech MPO - TRIO)
- Vedení a provádění TPV klasických vaček, výpočtů vaček včetně návrhů složených vačkových mechanismů (jediné pracoviště s takto komplexní činností v oblasti vačkových mechanismů v ČR)

Členství v organizacích a pedagogická praxe:

- Člen komise pro udělování zlatých medailí MSV Brno v roce 2010
- TUL: Školitel v doktorském studiu na Fakultě mechatroniky, informatiky a mezioborových studií a člen zkušební komise SDZ
- TUL: Konzultant doktorandů (3x) na Fakultě mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
- Člen zkušební komise pro státní závěrečné zkoušky na FS TUL, studijní obor Aplikovaná mechanika
- Zavedení a výuka nového předmětu na FS TUL, studijní obor Aplikovaná mechanika: Řízené mechanické systémy (RMS)

Nejvýznamnější ocenění a patenty:

- Český patent (EU, USA, Japonsko, atd.):
Původce: Petr Jirásko (Z. Volanský, J. Dvořák, Z. Koloc)
Způsob zanášení útkové niti do prošlupu na vzduchovém tryskovém tkacím stroji a zařízení k provádění způsobu (PV 1992-2777 / 281555, patent udělen 1996)
- Nominace na cenu EUREKA Lynx Award 2006 (Brussels, Belgium – 30 June 2006) za projekt E! 1762 IVM-VTM
- Zlatá medaile MSV 2008 Brno za exponát VÚTS, a.s.: „*Mechatronický diferenciální pohonný systém*“ (PV 2008-10, patent udělen 2009, „*Způsob a zařízení k pohonu členů strojních mechanismů*“)
- Český a evropský patent:
Původce: Petr Jirásko
Způsob a zařízení k pohonu členů strojních mechanismů (uděleno 2009, CZ301095)
Method and device for driving of members of machine mechanisms (uděleno 2011, EP2078882)
- Čestné uznání MSV 2012 Brno za exponát VÚTS, a.s.:
„*Bruska radiálních vaček BRV-300 CNC*“
- Cena Inženýrské akademie 2014 za technický projekt:
„*Bruska radiálních vaček BRV-300 CNC*“

Další publikace a výsledky aplikovaného výzkumu

Konference

- [1] DOSTRAŠIL, Pavel a Petr JIRÁSKO. Productive design and calculation of intermittent mechanisms with radial parallel cams. In: World Academy of science, engineering and technology [online]. 59. vyd., 2011, s. 1909-1913. ISSN 2010-376X. Dostupné z: <http://www.waset.org/journals/waset/v59/v59-360.pdf>
- [2] DOSTRAŠIL, Pavel a Petr JIRÁSKO. Tools for automated design of intermittent mechanisms with radial parallel cams. In: JIANG, Xiaolan. Mechanical engineering, robotics and aerospace. Singapore: IACSIT Press, 2011, s. 99-103. ISBN 9789810704209.
- [3] DOSTRAŠIL, Pavel, Filip HARTIG, Miroslav VÁCLAVÍK a Petr JIRÁSKO. High-Speed Parallel Shaft Indexing Drive. In: Mechanisms and machine science: Proceedings of TMM 2012. Netherlands: Springer, 2012, s. 105-111. Volume 8. ISBN 978-94-007-5124-8. ISSN 2211-0984. DOI: 10.1007/978-94-007-5125-5_14. Dostupné z: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-5125-5_14
- [4] DOSTRAŠIL, Pavel, Petr JIRÁSKO a Martin BUŠEK. An Analysis of Planetary Gearboxes for Their Use With Electronic Cam. In: Advances in Mechanisms Design: Proceedings of TMM 2012. Netherlands: Springer, 2012, s. 501-507. Volume 8. ISBN 978-94-007-5124-8. ISSN 2211-0984. DOI: 10.1007/978-94-007-5125-5_66. Dostupné z: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-5125-5_66
- [5] VÁCLAVÍK, Miroslav, Pavel DOSTRAŠIL a Petr JIRÁSKO. A methodology to suppress the residual vibrations of excited compliant systems. In: Proceedings of the 11th International Conference on Vibration Problems (ICOVP-2013). Lisbon, Portugal: APMTAC, 2013. ISBN 978-989-96264-4-7.
- [6] VÁCLAVÍK, Miroslav, Pavel DOSTRAŠIL a Petr JIRÁSKO. The Issues of Spurious Residual Oscillations in the Displacement Laws of Cam Systems. In: New Advances in Mechanisms, Transmissions and Applications: Proceedings of the Second Conference MeTrApp 2013. Springer Netherlands, 2013, s. 99-106. ISBN 978-94-007-7485-8 ISSN 2211-0984. DOI: 10.1007/978-94-007-7485-8_13. Dostupné z: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-7485-8_13
- [7] VÁCLAVÍK, Miroslav, Petr JIRÁSKO a Pavel DOSTRAŠIL. The Issues of the Dynamics of Cam Mechanisms. In: New Trends in Mechanism and Machine Science: Theory and Applications in Engineering. Netherlands: Springer, 2013, s. 289-297. Volume 7. ISBN 978-94-007-4901-6. ISSN 2211-0984. DOI: 10.1007/978-94-007-4902-3_31. Dostupné z: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-4902-3_31
- [8] CRHÁK, Vladislav, JIRÁSKO Petr. The Problematic of the Production Accuracy of Radial Cams, ECMS 2011, Liberec
- [9] CRHÁK, Vladislav, JIRÁSKO Petr. The control system of a cam grinding machine in connection with Yaskawa's electronic cams, Mechatronics 2011, Varšava

- [10] JIRÁSKO Petr, CRHÁK, Vladislav, BUREŠ Pavel. The conception of the control system of radial cam grinder, IFToMM Liberec 2012
- [11] CRHÁK, Vladislav, JIRÁSKO Petr, VÁCLAVÍK Miroslav. Dimensioning the NC – axes of a radial cam grinding machine, EUCOMES 2014, Portugalsko
- [12] BUREŠ Pavel, JIRÁSKO Petr. The Problematic of the Production of 3D Copy Rotary Templates and 3D Work Pieces, ECMS 2011, Liberec
- [13] VÁCLAVÍK Miroslav, JIRÁSKO Petr. Aplikace elektronických vaček v pohonech pracovních členů mechanismů, 8. Kolloquium Getriebetechnik – Aachen 2009
- [14] VÁCLAVÍK Miroslav, JIRÁSKO Petr. Anwendung von elektronischen Kurven in Einzweckmaschinen, VDI/VDE Mechatronik 2013, Aachen
- [15] JIRÁSKO Petr, DOSTRAŠIL Pavel, VÁCLAVÍK Miroslav. Approximation of periodic displacement law with Fourier series in the applications of mechanisms with electronic car. 2015 MeTrApp IGM, Aachen
- [16] Aleš BÍLKOVSKÝ, Ondřej MAREK, Petr JIRÁSKO. SERVOMOTOR SELECTION TO DRIVE THE MECHANISM USING ELECTRONIC CAM. Applied Mechanics 2013, Ostrava
- [17] Ondřej MAREK, Aleš BÍLKOVSKÝ, Petr JIRÁSKO. SIMULATION MODEL OF THE WEAVING MACHINE “CAMEL” FOR DRIVING MOTOR SELECTION. Applied Mechanics 2013, Ostrava
- [18] VÁCLAVÍK Miroslav, JIRÁSKO Petr. Residual vibrations in the drives of working links of electronic cam mechanisms. ICoVP 2011, Praha
- [19] VÁCLAVÍK Miroslav, JIRÁSKO Petr. Research and Application of Displacement Laws of Electronic Cams. 12th IFToMM World Congress, Besançon (France), June18-21, 2007
- [20] JIRÁSKO Petr, BUŠEK Martin. POSITION ACCURACY OF MOTION FUNCTIONS OF ELECTRONIC CAMS. IFToMM Liberec 2008
- [21] VÁCLAVÍK Miroslav, JIRÁSKO Petr. MECHATRONICKÉ VARIANTY POHONŮ PRACOVNÍCH ČLENŮ VÝROBNÍCH STROJŮ. IFToMM Liberec 2008
- [22] A. Bílkovský, O. Marek, P. Jirásko, Z. Volanský. New conception of waving machine CamEl drive. IFToMM Liberec 2012
- [23] VÁCLAVÍK Miroslav, JIRÁSKO Petr. The problems of electronic cam applications. 13th World Congress in Mechanism and Machine Science, Guanajuato, México, 19-25 June, 2011
- [24] VÁCLAVÍK Miroslav, JIRÁSKO Petr. ELECTRONIC CAMS IN SERIAL AND PARALLEL COMBINATION WITH CONVENTIONAL MECHANISMS IN THE DRIVES OF MECHANISM WORKING LINKS. The First IFToMM Asian Conference on Mechanism and Machine Science, October 21 - 25, 2010, Taipei, Taiwan

[25] JIRÁSKO Petr, DOSTRAŠIL Pavel, VÁCLAVÍK Miroslav. Approximation of non-periodic step displacement laws with a Fourier series in the applications of electronic cams. 14th World Congress in Mechanism and Machine Science, Taipei, Taiwan, 25-30 October, 2015

[26] JIRÁSKO Petr, VÁCLAVÍK Miroslav. RESIDUAL SPECTRA OF DISPLACEMENTS OF CONVENTIONAL AND ELECTRONIC CAMS. Inženýrská mechanika Svratka 2009\Word - konference IM2009.

[27] LINDR David, RYDLO Pavel, JIRÁSKO Petr. Simplified Inverse Control Method for Two-Mass Servomechanism Vibration Suppression. 10th International Conference ELEKTRO 2014, Žilina

[28] JIRÁSKO Petr, VÁCLAVÍK Miroslav. Calculation of the contours of a radial double cam based on an approximate course of the 2nd derivative of the displacement law of a working link. TMM 2016 TUL, Liberec

Patenty udělené v zahraničí

Z databáze patentového úřadu (číslo přihlášky/zápisu), (podíl autorství v %):

např. DE69310377D1 (dále CA, CN, EP,US, WO), viz 1.7 (podíl 25%) –
- Způsob zanášení útkové niti do prošlupu na tryskovém tkacím stroji a zařízení k provádění způsobu, licence 281555 firmě AMOCO (USA)

EP2078882 (podíl 100%) - Způsob a zařízení k pohonu členů strojních mechanismů

DE 3607175 A1 (podíl 25%) - Drážkový rotační rozvaděč příze

DE 3607174 A1 (podíl 25%) - Drážkový rotační rozvaděč příze

DE 10112149 A1 (podíl 25%) - Způsob vytváření přerušovaného rotačního pohybu a zařízení k provádění způsobu

EP2703532A1 (český patent je v řízení), (podíl 25%) - Způsob a zařízení k rozběhu tkacího stroje

Patenty udělené v ČR

Z databáze patentového úřadu (číslo přihlášky/zápisu), (podíl autorství v %):

248924 (podíl 25%) - Zařízení pro navíjení kónických nebo variokónických cívek

251875 (podíl 25%) - Drážkový rotační rozvaděč příze

252558 (podíl 25%) - Drážkový rotační rozvaděč příze

255181 (podíl 12.5%) - Zařízení pro navíjení kónických nebo variokónických cívek

255735 (podíl 25%) - Zařízení k navíjení kuželových a variokónických cívek na textilních strojích

266181 (podíl 25%) - Zařízení pro pohon přímočarého vratného orgánu

281555 (podíl 25%), (původce + 3) - Způsob zanášení útkové niti do prošlupu na tryskovém tkacím stroji a zařízení k provádění způsobu

297846 (podíl 25%) - Způsob vytváření přerušovaného rotačního pohybu a zařízení k provádění způsobu

301095 (podíl 100%), (původce) - Způsob a zařízení k pohonu členů strojních mechanismů

Užitné vzory

Z databáze patentového úřadu (číslo přihlášky/zápisu), (podíl autorství v %):

1994-3142/3043 (25%) - Otopné konvektorové těleso

1995-3413/3137 (33.3%) - Otopná konvektorová lavice

1995-3544/3172 (33.3%) - Konvektorová skříň

1995-4596/4384 (100%) - Skříň otopného tělesa

1996-5162/4765 (100%) - Otopný registr dvouřadý

2015-31873/29166 (33.3%) - Zařízení pro testování životnosti stykových ploch