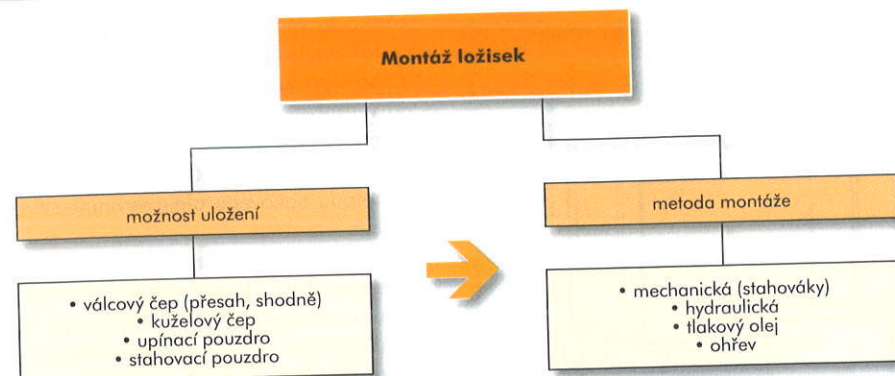


5.2 Vřetena obráběcích strojů

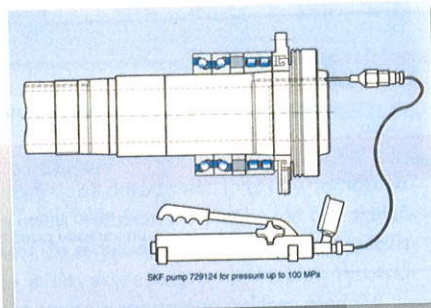


Obr. 5.56. Metody montáže ložisek v závislosti na typu uložení

než je teplota hřídele (vřetena). Ložiska se však nesmějí ohřívat na teplotu vyšší, než je 125 °C, aby nedošlo k metalurgickým změnám materiálu [7].

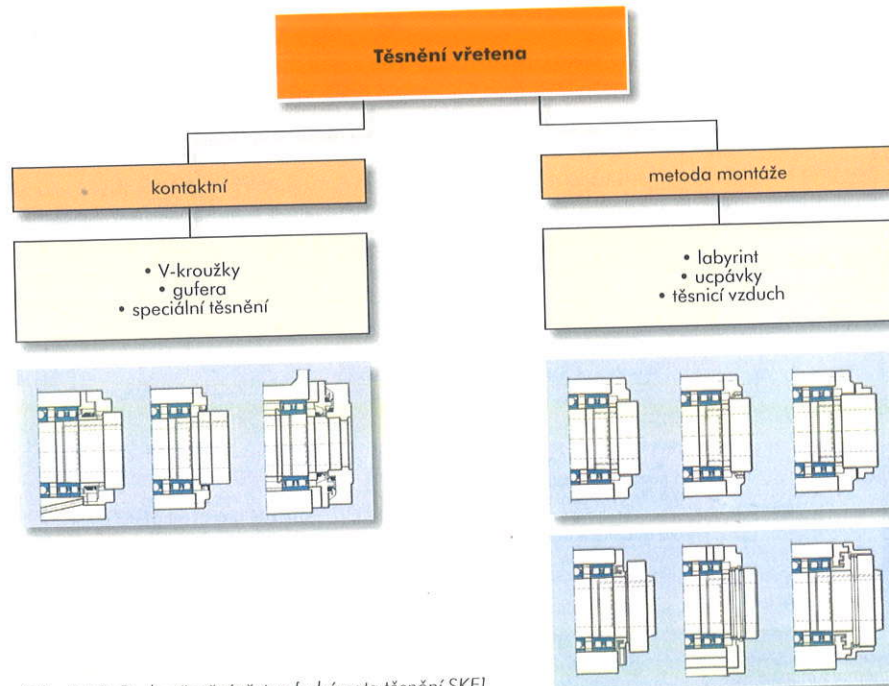
Ložiska vřetena musejí být efektivně utěsněna, aby bylo zabráněno vnikání nečistot a tím znehodnocení maziva a poškození ložiska. Druhy těsnění jsou znázorněny na obr. 5.58.

Kontaktní těsnění produkuje díky třecí síle teplo, které může mít nepříznivé účinky. Tento druh těsnění je výhodné používat, pokud součinitel $n.d_m \leq 200\,000$. Bezkontaktní těsnění je mnohem příznivější, ale pracnější a dražší. Pokud použijeme jako těsnění přetlakový vzduch, je zajištěno, že nedojde ke vniknutí řezné kapaliny do některého ložiska. Velmi výhodné je též před



Obr. 5.57. Tlaková metoda pro montáž vřetenových ložisek [SKF]

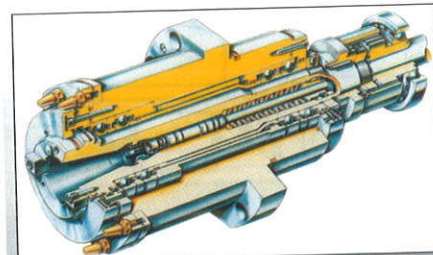
vlastní labyrint vestavět ještě jeden labyrint a mezi nimi umístit „V“ zápch na vřetenu jako odstříkovací drážku. Vůle v labyrintu je 0,1 – 0,2 mm. Ve spodní části labyrintu (vodorovné provedení vřetena) musejí být



Obr. 5.58. Druhy těsnění vřeten [schémata těsnění SKF]

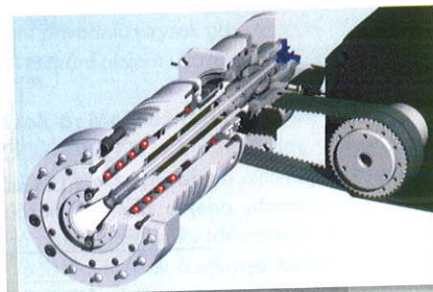
vyvrtány odtokové otvory pro odvod směsi oleje a řezné kapaliny, která vnikla mezi první a druhý labyrint.

K přenosu řezného výkonu na nástroj musí být vřeteno spojeno s náhonovým servomotorem. Náhon je možno provést tak, jak prezentuje obr. 5.59.



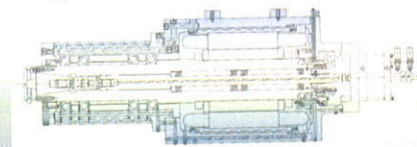
Obr. 5.60. Přímý náhon vřetena servopohonem [Starragheckert]

Přímý náhon (obr. 5.60) se používá spíše pro oblast vysokorychlostního obrábění, kdy je potřeba dynamicky stabilní náhon. Náhon s vloženým ozubeným převodem jako předloha nebo dvoustupňová převodovka je zobrazen na obr. 5.61. Elektrovřeteno je



Obr. 5.61. Náhon vřetena řemenovým převodem [IMID]

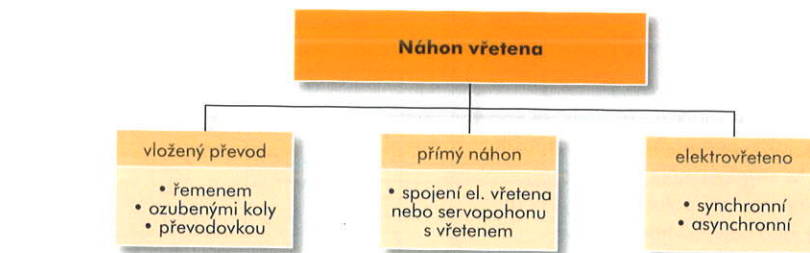
tvořeno rotorem, který se lisuje na vřeteno. Ve vnějším plášti je vinutí s chlazením (obr. 5.62). Vnitřkem vinutí prochází těleso vřetena s nalisovaným rotorem, a proto se také někdy hovoří o tzv. průvlekovém vřetenu.



Obr. 5.62. Elektrovřeteno [Victor Taichung]

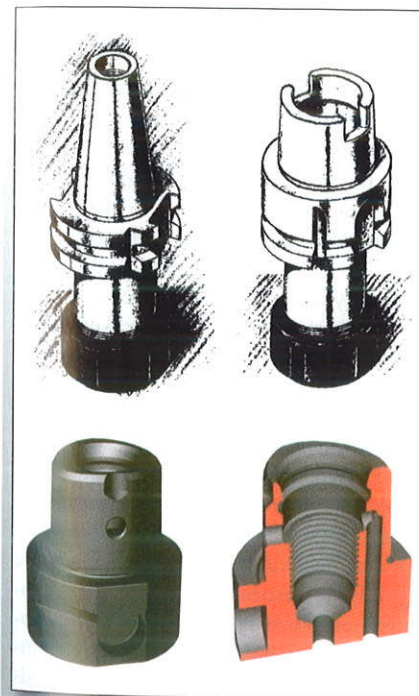
Podle dutiny vřetena, která je umístěna na pracovní straně, užíváme následující nástrojové držáky (obr. 5.63):

- kuželová stopka ISO (kuželovitost 7 : 24);
- krátká kuželová stopka HSK (kuželovitost 1 : 10);



Obr. 5.59. Druhy náhonu vřetena

- válcová stopka (méně často);
- speciální profil, např. trojúhelníkový Sandvik Coromant Capto;
- BIG Plus (v podstatě jako ISO sedící na čele).



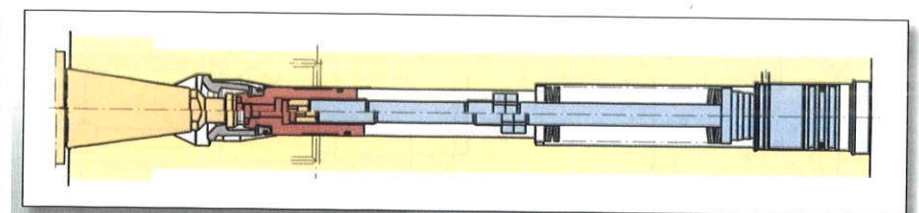
Obr. 5.63. Stopky nástrojových držáků

Základní rozdíl mezi ISO stopkou a HSK stopkou je v tom, že ISO stopka při upnutí má mezi čelem vřetena a stopkou vůli, na rozdíl od HSK stopky, která dosedá na čelo vřetena.

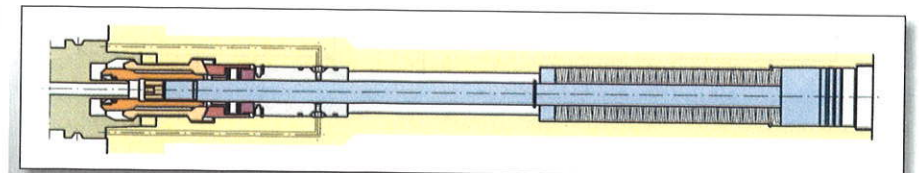
Upnutí je provedeno svazkem talířových pružin přes kuličky, které vtahují nástrojový držák (ISO) do dutiny vřetena přes upí-

nací šroub (viz obr. 5.64), našroubovaný do zadní části nástrojového držáku.

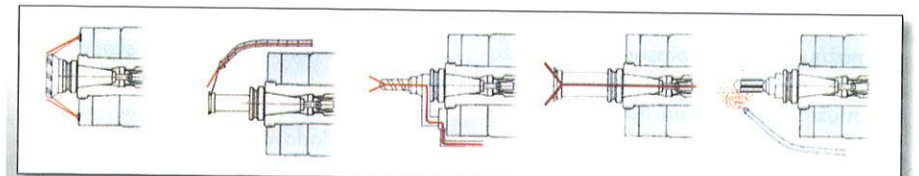
HSK kužel je upínán za vnitřní dutinu táhly a předepjatými talířovými pružinami (obr. 5.65). K uvolnění v obou případech



Obr. 5.64. Upínání kužele ISO [OTT Jakob]



Obr. 5.65. Upínání kužele HSK [OTT Jakob]



Obr. 5.66. Druhy přívodů řezné kapaliny [Victor Taichung]

Typ kužele	Otáčky vřetena [min ⁻¹]	Poznámka
ISO (SK)	10 000	ISO 40
	8000	ISO 50
HSK	18 000	HSK 63
	15 000	HSK 100
Coromant Capto	11 000	C6
BIG Plus	8000	C8
	11 000	BIG Plus 50

Tab. 5.14. Otáčky vřetena v závislosti na typu kužele

dochází pomocí hydraulického válce, který tlačí sloupec talířových pružin.

Válec, který stlačuje svazek upínacích talířových pružin, může být konstruován jako vestavěný nebo nástavný v tzv. uvolňovací jednotce. Kromě přívodu oleje musí uvolňovací jednotka umožňovat přívod chladicí (řezné) kapaliny, čistícího a kontrolního vzduchu. Upínací kleštiny mají v sobě integrovan i mechanický násobič síly, aby svazek pružin nevycházel neúměrně velký. Různé druhy přívodu řezné kapaliny k břítku nástroje ukazuje obr. 5.66. Maximální možné otáčky dosažitelné na vřetenu určuje typ kužele a způsob upnutí – viz tab. 5.14.

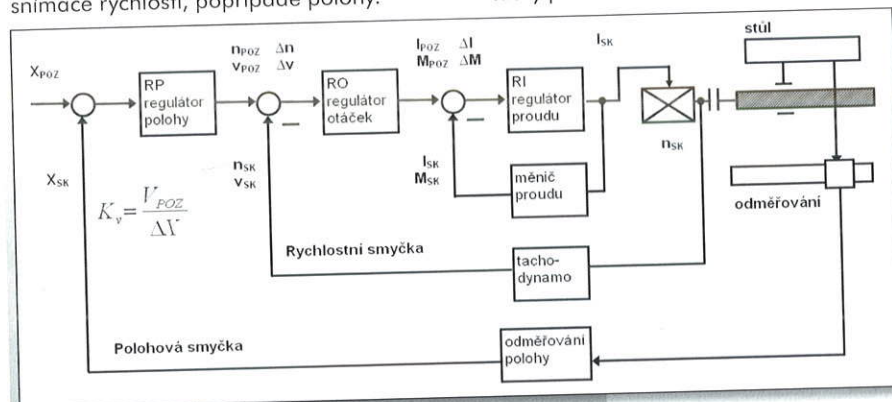
5.3.

Posuvové soustavy lineární

V současné době se využívá ve stavbě obráběcích center pro realizaci posuvu elektromechanická posuvová soustava nebo náhon lineárními servomotory.

V případě elektromechanické posuvové soustavy je digitální (méně často analogový) elektrický servomotor napojen na hřídel kulčkového šroubu. Elektrický servomechanismus je regulační soustava tvořená elektromotorem, výkonovým polovodičovým měničem pro napájení a řízení motoru a regulátorem pro řízení polohy, respektive otáček. Součástí motoru bývají obvykle podle druhu užitého odměřování snímače rychlosti, popřípadě polohy.

nerovnoměrnost malých rychlostí. Je definována jako poměr kolísání okamžité rychlosti ke střední rychlosti pohonu;
– dosažitelné zesílení polohové smyčky definované jako nejvyšší hodnota K_v ;
– dynamická tuhost. Informuje nás o chování pohonu při působení vnějších sil proměnných v čase. Definujeme ji jako rázovou (odezva na skokovou změnu zatížení) nebo jako frekvenční (odezva na harmonicky proměnnou zatěžující sílu).



Obr. 5.67. Blokové schéma rychlostně polohového servomechanismu

Rychlostní (otáčkový) servomechanismus (obr. 5.67) má pouze otáčkovou zpětnou vazbu. Zpětná vazba slouží pro sledování okamžité hodnoty veličiny (např. otáček) a umožňuje rychlé a přesné sledování zadávané rychlosti, přičemž zadávaná rychlost může být výstupem nadřazeného regulátoru, kterým je regulátor polohy. Polohový servomechanismus (obr. 5.67) slouží pro řízení polohy – buď úhlu natočení, nebo posuvové dráhy.

Na posuvové soustavy je kladena vysoká tuhost, velký regulační rozsah, přijatelná dynamika a kinematika a přesnost signálu bez zkreslení a kvalitní regulace. Elektromechanická posuvová soustava se skládá (obr. 5.67) z části CNC systému určeného pro řízení polohy, servomechanismu, mechanické části posuvu a zpětné vazby na stroji či servomotoru (odměřování).

Pro splnění těchto požadavků na posuvové soustavy posuzujeme následující parametry servopohonu [8]:

– propustné pásmo rychlostní smyčky bez polohové vazby a bez zátěže. Jedná se o nejvyšší frekvenci vstupního signálu, kterou dokáže pohon ještě sledovat $f \geq 70$ Hz;

Při regulování polohy CNC obráběcích strojů užíváme tzv. vlečnou (sledovací) regulaci, kdy regulovaná veličina s časovým zpožděním sleduje zadávanou řídicí veličinu. Realizace je provedena jako tzv. kaskádová regulace.

Polohová smyčka je nadřazena rychlostní smyčce. Požadovanou polohu X_{POZ} vypočítává CNC řídicí systém. Odměřování polohy udává skutečnou polohu stolu obráběcího stroje X_{SK} . Regulátor polohy pak průběžně vypočte regulační odchylku (5.46)

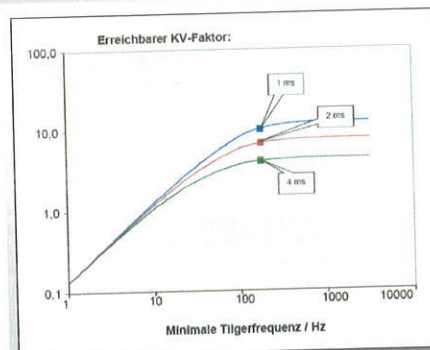
$$\Delta X = X_{POZ} - X_{SK}$$

a dává pohonu signál o požadované rychlosti V_{POZ} .

Požadovaná rychlost V_{POZ} je úměrná rychlostnímu zesílení K_v a regulační odchylce (5.47)

$$V_{POZ} = K_v \cdot \Delta X$$

Rychlostní zesílení K_v charakterizuje zpětnovazební přenos nebo jinak řečeno str-



Obr. 5.68. Maximálně dosažitelný koeficient KV v závislosti na mechanické frekvenci [Siemens]

most charakteristiky zesilovače signálu odměřovacího zařízení. Čím větší je nastaveno zesílení K_v , tím pohon reaguje rychleji. Nastavení zesílení je nutné konfrontovat s mechanickými vlastnostmi pohybového mechanismu, zejména pak redukovaným momentem setrvačnosti na hřídel motoru a vlastní mechanickou frekvencí. Pak lze pro určité mechanické vlastnosti pohybové osy docílit pouze určité hodnoty K_v (obr. 5.68).

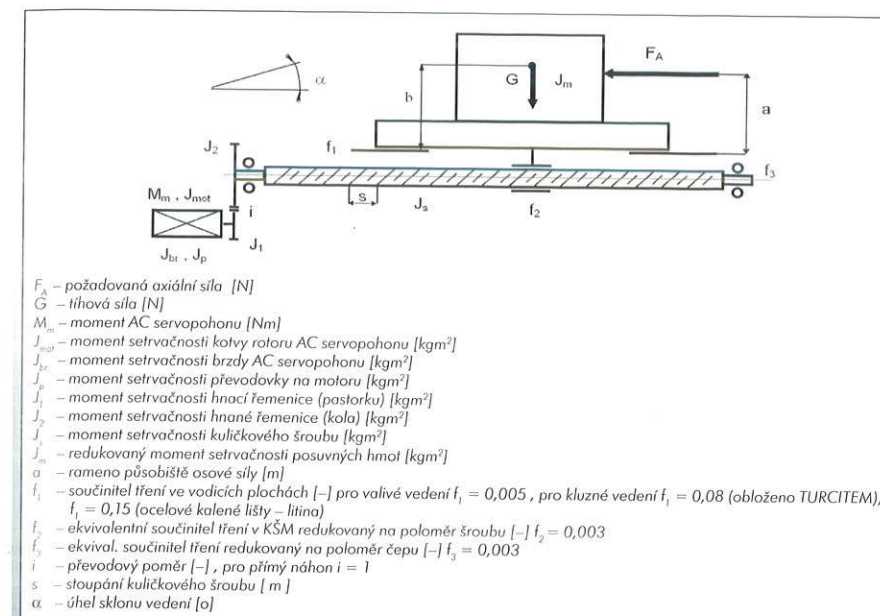
Tachodynamo dává informace o skutečném stavu otáček n_{SK} (V_{SK}). Rozdíl otáček (5.48)

$$\Delta n = n_{POZ} - n_{SK}$$

díky PI regulátoru otáček generuje požadavek na zvýšení proudu I_{POZ} , který je porovnán se skutečnou hodnotou I_{SK} . Velikosti proudu je úměrný i moment M_{POZ} nebo M_{SK} . Když je dosaženo polohy X_{POZ} požadovanými otáčkami n_{POZ} (protože je zmenšována diference polohy ΔX a diference otáček Δn), motor se zastaví. Jak plyne z předchozího, k činnosti rychlostně polohového mechanismu potřebujeme vznik regulační odchylky Δ . Tento handicap způsobený nadřazeností polohové smyčky rychlostní smyčce je odstraňován přednastavováním rychlosti V_{POZ} .

Servomotory jsou většinou v dnešní době realizovány jako digitální. Mohou být však realizovány i jako analogové. Při užití těchto druhů motoru je odlišný i způsob regulace otáček. Pro digitální motor je nutný pouze jeden snímač úhlu natočení kotvy servomotoru, který se dá navíc použít i pro nepřímé odměřování polohy.

Na obr. 5.69 je znázorněno obvyklé uspořádání mechanické části posuvové soustavy s kulčkovým šroubem.



Obr. 5.69. Posuvová souřadnice

V souladu s obr. 5.69 lze určit z hlediska statického (vyvození posuvové – technologické síly) potřebný moment motoru dle následující rovnice: (5.49)

$$M_m = \frac{F_A \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^i \cdot \eta_r} + M_{zsrhm}$$

kde značí:

η_c – celková účinnost posuvové soustavy [–]

$$\eta_c = \eta_s \cdot \eta_r \cdot \eta_L^i \cdot \eta_p$$

η_s – účinnost KŠM, $\eta_s = 0,92$

η_v – účinnost vedení,

kluzné: $\eta_v = 0,8$

valivé: $\eta_v = 0,98$

η_L – účinnost jednoho ložiska kulčkového:

$\eta_L = 0,99$

η_L – účinnost jednoho ložiska válečkového:

$\eta_L = 0,95$

i – počet valivých ložisek

pro jednostranné uložení

– v kulčkových ložiskách $\eta_L^i = 0,97$

– oboustranné uložení $\eta_L^i = 0,92$

– jednostranné uložení

ve válečkových ložiskách $\eta_L^i = 0,95$

– oboustranné uložení $\eta_L^i = 0,90$

η_p – účinnost převodu

ozubené kolo: $\eta_p = 0,96$

ozubený řemen: $\eta_p = 0,99$

M_{zsrhm} – statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru [Nm]

Statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru M_{zsrhm} se skládá z následujících složek:

• při skloněném vedení působí moment od tíhové složky: (5.50)

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c}$$

kde značí:

g – tíhové zrychlení

$g = 9,82 \text{ ms}^{-2}$

Poznámka: Při $\alpha = 0^\circ$ je složka tíhového momentu zátěže $M_{GT} = 0$.

• moment zátěže od třecích sil přesouvajících hmot (5.51)

$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^i \cdot \eta_p}$$

• moment zátěže od třecích sil v ložisku a předepnutí kulčkového šroubu

Je zde proveden pouze odhad třecího momentu, není zohledňován vliv třecích momentů nezávislých na zatížení (od maziva, konstrukcí ložiska atd.). Pak můžeme psát: (5.52)

$$M_L = \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_L \cdot f_2}{i \cdot \eta_p}$$

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^i} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^i}$$

kde značí:

d_L – průměr hřídele pro ložisko [m]

d_s – střední průměr KŠM [m]

F_p – předepnutí kulčkového šroubu [N]

např. $[F_p = 0,35 \cdot F_A]$

• moment zátěže od vyosení axiální síly
Vlivem vyosení osové síly může vzniknout klopný moment, díky němuž bude ve vedení vznikat třecí síla. Podmínka pro vznik této třecí síly v kluzném vedení je: (5.53)

$$m \cdot g \leq \frac{6 \cdot F_A \cdot a}{L}$$

kde:

L – délka stolu [m]

Při určování třecí síly vznikající v kluzném vedení je nutno rozlišit dva stavy:

1. úhel sklonu vedení $\alpha = \{0^\circ, < 90^\circ\}$ (5.54)

$$F_{TV} = \left(\frac{3 \cdot F_A \cdot a}{L} \right) \cdot f_1 + m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha$$

2. úhel sklonu vedení $\alpha = 90^\circ$ (5.55)

$$F_{TS} = \frac{3 \cdot (m \cdot g \cdot b + F_A \cdot a) \cdot f_1}{L}$$

kde:

b – vzdálenost těžiště přesouvající hmoty od svislého vedení [m]

Pro redukci těchto sil na hřídel motoru můžeme psát: (5.56)

$$M_F = \frac{F_{TV} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^i \cdot \eta_p}$$

pro $\alpha = \{0^\circ, < 90^\circ\}$

$$M_F = \frac{F_{TS} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^i \cdot \eta_p}$$

pro $\alpha = 90^\circ$

Poznámka:

1) při splnění podmínky (5.53) je složka momentu zátěže $M_F = 0$

2) v případě užití valivého vedení je $M_F = 0$