



ELEKTRICKÉ STROJE - POHONY

Ing. Petr VAVŘIŇÁK

2013

2.1 OBECNÉ ZÁKLADY EL. POHONŮ

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2. ELEKTRICKÉ POHONY

Pod pojmem elektrický pohon rozumíme soubor elektromechanických vazeb a vztahů mezi elektromechanickou soustavou (motorem) a pracovním mechanismem (zátěží).

Jedná-li se o točivý pohon, pak se na hřídeli motoru projevuje jeho hnací síla jako tzv. točivý hnací moment a odpor proti otáčení hřídele se projevuje jako tzv. točivý zátěžný moment.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2. ELEKTRICKÉ POHONY

Pod pojmem elektrický pohon rozumíme soubor elektromechanických vazeb a vztahů mezi elektromechanickou soustavou (motorem) a pracovním mechanismem (zátěží).

Jedná-li se o lineární pohon, pak pohyblivá část motoru vytváří hnací sílu a poháněný pracovní mechanismus vytváří proti této síle odpor, tedy zátěžnou sílu.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2.1 OBECNÉ ZÁKLADY EL. POHONŮ

Pro seznámení s elektrickými pohony v obecné rovině si musíme nejdříve definovat základní veličiny, vztahy a přepočty mezi nimi a základní pohybové stavy.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2.1.1 Základní veličiny pohybu a vztahy mezi nimi

Pohyb těles po dráze rozdělujeme podle tvaru dráhy na **přímocharý**, tedy pohyb po přímce, a na **otáčivý**, tedy pohyb po kružnici. Můžeme se také setkat s jejich kombinací.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Dráha, rychlost a zrychlení, základní veličiny otáčivého pohybu jsou: úhel, úhlová rychlost a úhlové zrychlení

Přímočarý pohyb		Otáčivý pohyb	
Dráha	a, b, c, d, l, s, \dots [m]	Úhel	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$ [rad]
Rychlost	$v = \frac{ds}{dt} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Úhlová rychlost	$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$ [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]
Zrychlení	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{ds^2}{d^2t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	Úhlové zrychlení	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\alpha^2}{d^2t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$]

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Otáčky, moment síly (točivý moment), moment setrvačnosti, poloměr setrvačnosti, síla, tíha, výkon

Otáčky	$n \text{ [min}^{-1}\text{]}$	Moment setrvačnosti	$J \text{ [kg}\cdot\text{m}^2\text{]}$
Moment síly	$M \text{ [N}\cdot\text{m}\text{]}$	Poloměr setrvačnosti	$R \text{ [m}\text{]}$
Výkon	$P \text{ [W}\text{]}$	Síla (tíha)	$F (G) \text{ [N}\text{]}$

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Otáčky = počet otočení tělesa (hřídele) za minutu.

Vztahy mezi otáčkami (n) a úhlovou rychlostí (ω):

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad n = \frac{60 \cdot \omega}{2 \cdot \pi} \Rightarrow \text{jsou přímo úměrné}$$

Vztahy mezi rychlostí přímočarého (v) a otáčivého (ω) pohybu:

$$v = r \cdot \omega \quad \omega = \frac{v}{r} \Rightarrow \text{jsou přímo úměrné}$$

ROBOTI

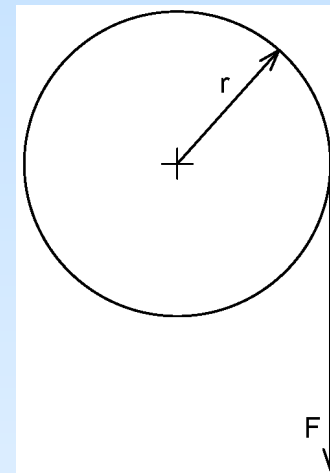
2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Vztahy mezi rychlostí (v) a otáčkami (n):

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{60} \quad n = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Moment síly (M) = míra otáčivého účinku síly.

Je dán součinem síly a ramene síly $M = F \cdot r$



ROBOTI



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Moment setrvačnosti (J) = vyjadřuje míru setrvačnosti tělesa při otáčivém pohybu.

- závisí na rozložení hmoty v tělese vzhledem k ose otáčení.
- zjišťuje se:
 - výpočtem z geometrických rozměrů otáčejícího se tělesa
 - měřením pomocí rozběhové zkoušky
 - měřením pomocí doběhové zkoušky.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Z **geometrických rozměrů** určíme moment setrvačnosti na základě vztahu: $J = m \cdot R^2$, kde m je hmotnost rotujícího tělesa a R je tzv. poloměr setrvačnosti.

Tento výpočet je možný jen u rotačních těles (setrvačnick, příruba, ...), u těles složitých tvarů je velice náročný či dokonce nemožný bez spousty zjednodušujících předpokladů.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

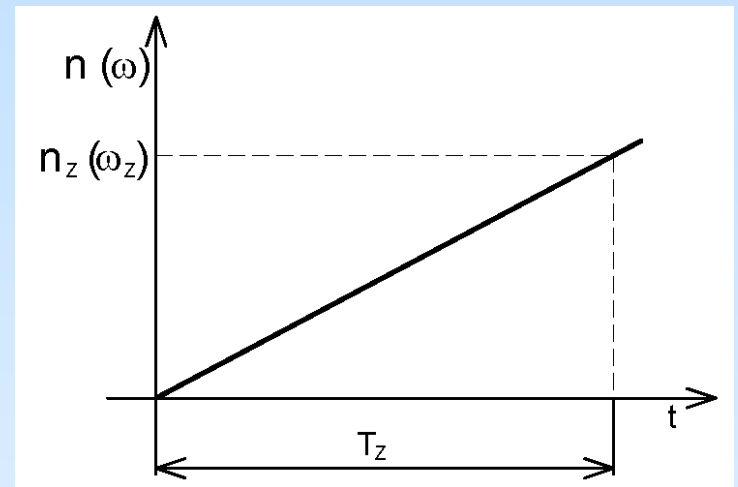
2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Z **rozběhové zkoušky** určíme moment setrvačnosti poháněného tělesa při jeho roztáčení motorem, přičemž moment motoru musí být konstantní a mnohem větší než moment zátěžný (rozběh je pak rovnoměrně zrychlený).

Pak můžeme moment setrvačnosti určit

ze vztahu: $J = M_m \cdot \frac{T_z}{\omega_z}$, kde M_m je moment

motoru, T_z je čas naměřený při dosažení úhlové rychlosti zkoušky ω_z (odpovídá otáčkám n_z).

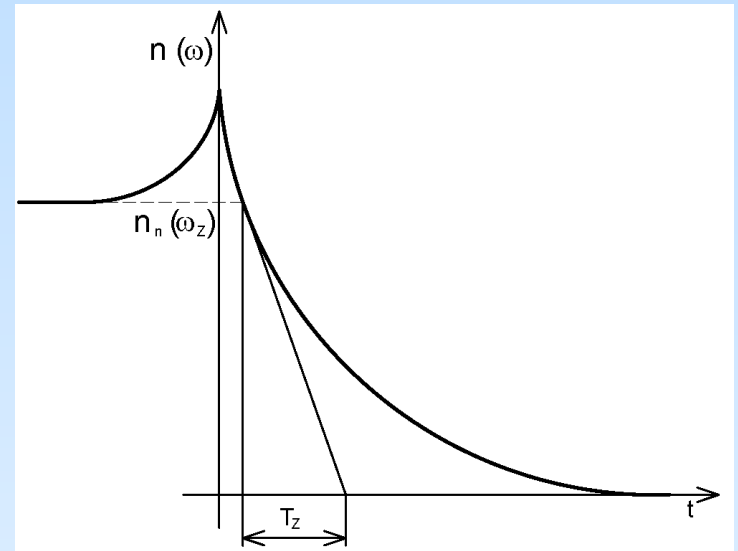


ROBOTI

2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Při **doběhové zkoušce** se nejdříve těleso roztočí na otáčky vyšší, než jsou jmenovité (otáčky zkoušky) a poté se zařízení odpojí od energie a těleso se nechá doběhnout.

Zároveň se vykresluje doběhová křivka.



ROBOTI

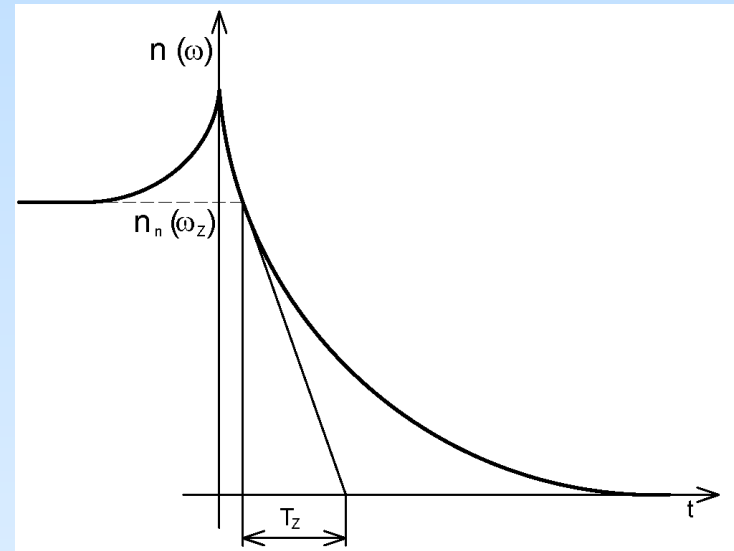
2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

V bodě jmenovitých otáček vyneseme tečnu a ta nám vytne na ose času úsek T_Z .

Dosadíme do vztahu:

$$J = M_T \cdot \frac{T_Z}{\omega_Z} = P_M \cdot \frac{T_Z}{\omega_Z^2}, \text{ kde } M_T \text{ je zátěžný}$$

moment tělesa, ω_Z je úhlová rychlost zkoušky (nejčastěji při jmenovitých otáčkách motoru n_n) a P_M je výkon motoru při jmenovitých otáčkách (změřený před zrychlením a vypnutím).



ROBOTI



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Poloměr setrvačnosti (R) = poloměr myšlené kružnice, ve které by byla soustředěna veškerá hmotnost otáčejícího se tělesa.

Výkon přímočarého pohybu (P) = práce (W) potřebná pro přesun tělesa po přímočaré dráze (s), silou (F) za čas (t):

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$$

Vztahy mezi výkonem (P) a točivým momentem (M)

$$P = F \cdot v = F \cdot r \cdot \omega = M \cdot \omega \quad M = \frac{P}{\omega} \quad (v = r \cdot \omega; M = F \cdot r)$$

ROBOTI



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Síla (F) (tíha G) = vyjadřuje míru vzájemného působení těles, která se projevuje účinky statickými - deformací tělesa, nebo dynamickými - způsobuje změny pohybového stavu tělesa, je dána vztahem $F = m \cdot a$ ($G = m \cdot g$), kde m je hmotnost tělesa, a je zrychlení tělesa a g je tíhové zrychlení (závisí na geografické šířce a nadmořské výšce: na rovníku v úrovni mořské hladiny má hodnotu $g = 9,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, na 45° šířky $g = 9,8067 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \Rightarrow g_{\text{ČR}} = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, na pólu $g = 9,832 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, na jeden metr výšky nad mořem se g snižuje o $3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

ROBOTI



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Klidový moment M_{kl} = zátěžný moment v okamžiku pohnutí tělesa:

$$M_{kl} = G \cdot r = m \cdot g \cdot r$$

Záběrný moment M_z = moment motoru, který je schopen vyvodit v okamžiku zapnutí (má-li motor pohnout tělesem s klidovým momentem M_{kl} musí být záběrný moment motoru M_z větší $\Rightarrow M_z > M_{kl}$).

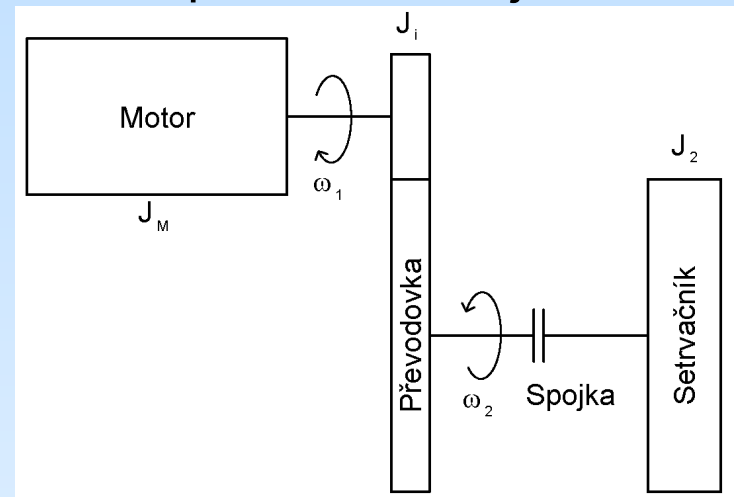
ROBOTI

2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Přepočítání momentu setrvačnosti při různých otáčkách

Jelikož do rovnic pohybových stavů (viz dále) můžeme dosazovat jenom momenty vztažené ke stejným otáčkám respektive ke stejné úhlové rychlosti, musíme u pohonů využívajících převod na jiné otáčky přepočítat momenty setrvačnosti na otáčky motoru:

$$J_{2,1} = J_2 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 = J_2 \cdot \left(\frac{1}{i}\right)^2$$



ROBOTI



2.1.1 Zákl. vel. pohybu a vztahy mezi nimi

Přepočítání točivého momentu při různých otáčkách

$$M_{2,1} = M_2 \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = M_2 \cdot \frac{1}{i}$$

Přepočítání hmotnosti přímočaré se pohybujícího se tělesa na moment setrvačnosti

$$J_{př} = m \cdot \left(\frac{v}{\omega}\right)^2$$

Přepočítání síly přímočarého pohybu na točivý moment

$$M_{př} = F \cdot \frac{v}{\omega}$$

ROBOTI

2.1.2 Pohybové stavy

Každá změna úhlové rychlosti vede ke změně kinetické energie pohonu (soustavy motor - poháněný pracovní mechanismus).
Matematickou úpravou na základě zákona o zachování energií můžeme odvodit **základní pohybovou rovnici** pro konstantní moment setrvačnosti:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_{pm}$$

ROBOTI



2.1.2 Pohybové stavy

Na základě pohybové rovnice můžeme rozlišit tyto pohybové stavy:

- Rozběh a zrychlování
- Chod ustálenou rychlostí
- Zpomalování a zastavení

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



2.1.2 Pohybové stavy

Rozběh a zrychlování

Rozběh je změna stavu z klidu do pohybu.

Zrychlování je zvyšování rychlosti pohybu.

Hnací moment je při rozběhu a zrychlování vždy **větší než moment zátěžný** $M_h > M_{pm}$ (při rozběhu je záběrný moment motoru větší než klidový moment poháněného pracovního mechanismu, tedy $M_z > M_{kl}$):

$M_h = M_{pm} + M_a$, kde M_h je moment hnací (motoru), M_{pm} je moment zátěžný (pracovního mechanismu) a M_a je moment akcelerační

(zrychlovací) $M_a = J \cdot \varepsilon = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_h - M_{pm}$.

ROBOTI



2.1.2 Pohybové stavy

Chod ustálenou rychlostí

Hnací moment je stejně velký jako zátěžný $M_h = M_{pm}$ (pohon pracuje v ustáleném stavu – průsečíku otáčkových charakteristik motoru a pracovního mechanismu).

Tento stav také nazýváme stacionární chod (průsečík otáčkových charakteristik motoru a pracovního mechanismu, pak nazýváme stacionárním bodem).

ROBOTI



2.1.2 Pohybové stavy

Zpomalování a zastavení

Zpomalování je snižování rychlosti pohybu.

Zastavení je změna stavu z pohybu do klidu.

Hnací moment motoru je **menší než zátěžný moment** pracovního mechanismu $M_h < M_{pm}$ (při zastavení zatěžovací zařízení brzdí motor na nižší otáčky, až jej úplně zastaví).

Rozlišujeme tři druhy zastavení:

- **Doběh** - přeruší se dodávka energie k motoru ($M_h = 0$), soustrojí se nebrzdí a zastaví se jen vlivem tření. Celý zátěžný moment se stává momentem zpomalovacím: $M_{az} = M_{pm}$.

ROBOTI

2.1.2 Pohybové stavy

Zpomalování a zastavení

- **Zvolněné zastavení** - dodávka energie se postupně snižuje a zpomalovací moment je dán rozdílem zátěžného a hnacího momentu: $M_{az} = M_{pm} - M_h$.
- **Zrychlené zastavení** - hnací moment změnil svůj smysl a stává se momentem brzdícím (M_b). Zpomalovací moment je pak dán součtem tohoto brzdícího momentu a momentu zátěžného: $M_{az} = M_{pm} + M_b$.

ROBOTI



2.1.2 Pohybové stavy

Klidový stav

Pracovní mechanismus ani motor se nepohybují.

Moment pracovního mechanismu v klidovém stavu nazýváme klidový moment M_{kl} . Ten je dán gravitační silou všech pohyblivých částí pracovního mechanismu a ramenem páky, přes kterou budeme mechanismem pohybovat $M_{kl} = G \cdot r = m \cdot g \cdot r$.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU