# POHONY SE STEJNOSMĚRNÝMI MOTORY

Pohony se stejnosměrnými motory byly v minulosti velmi rozšířeny, zejména jako regulační pohony. V současnosti jsou ve velké míře nahrazovány pohony s asynchronními motory.

**Výhody** pohonů se stejnosměrnými cize buzenými motory:

- jednoduché řízení rychlosti, snadná změna smyslu otáčení,
- velký rozsah výkonů a otáček (není vázáno na kmitočet napájecí sítě),
- malý spouštěcí proud, snadné přizpůsobení pracovním požadavkům.

**Nevýhody** pohonů se stejnosměrnými cize buzenými motory:

- maximální rychlost stroje je omezena komutací a komutátorem,
- zvýšené nároky na údržbu a větší poruchovost (komutátor),
- větší rozměry.

## *1. Matematický model motoru*

Stejnosměrný motor má tři obvody, z nichž každý je zásobníkem energie – budící obvod s magnetickou budící energií, obvod kotvy s magnetickou energií vytvořený proudem kotvy a mechanický obvod s kinetickou energií rotujících hmot. Výstupními parametry jsou nejčastěji točivý moment **M** úhlová rychlost **ω**.

Pro obvod kotevního obvodu platí:

$$u_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + u_i$$

Pro obvod buzení platí:

$$u_b = R_b i_b + N_b \frac{d\phi_b}{dt} \qquad i_b = f(k\phi)$$

Pro momentovou rovnováhu platí známá rovnice:

$$M = J \frac{d\omega}{dt} + M_z$$



ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni, reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

Moment motoru **M** a velikost indukovaného napětí $\mathbf{u_i}$ jsou:

$$M = k.\phi.i_a \qquad u_i = k.\phi.\omega$$

Pro další vyšetřování bude pro účel tohoto skripta uvažován ustálený stav chodu motoru. Některé předchozí rovnice tedy můžeme upravit na:

$$U_a = R_a I_a + U_i \qquad M = k.\phi.I_a \qquad U_i = k.\phi.\omega \qquad 0$$

## *2. Charakteristické údaje stejnosměrných motorů*

a) **elektromechanické** - jmenovitý výkon $P_N$
jmenovitá rychlost $\omega_N$
jmenovitý moment $M_N$

b) **energetické** - účinnost $\eta_N$

c) **elektrické** - jmenovité napájecí napětí $U_N$
jmenovité budící napětí $U_{bN}$
jmenovitý proud kotvy $I_N$
jmenovitý budící proud $I_{bN}$

d) **zatěžovací** - maximální proud $I_{max}$ (nebo přetižitelnost $I_{max}/I_N$)
maximální moment $M_{max}$ (přetižitelnost $M_{max}/M_N$)

e) **mechanické** - moment setrvačnosti J
moment zátěže (jmenovitý) $M_z$

## *3. Způsoby řízení otáček cize buzených motorů*

Z předchozích rovnic můžeme odvodit:

$$U_a = R_a I_a + U_i \Rightarrow U_a = R_a I_a + k\phi\omega \Rightarrow U_a - R_a I_a = k\phi\omega$$

$$\omega = \frac{U_a}{k\phi} - \frac{R_a I_a}{k\phi} = \omega_0 - \Delta\omega$$

Pro jmenovité hodnota pak platí:

$$\omega_N = \frac{U_{aN}}{k\phi_N} - \frac{R_{aN} I_{aN}}{k\phi_N} = \omega_{0N} - \Delta\omega_N$$

Nyní můžeme sestrojit přirozenou charakteristiku (viz. obrázek) a následně vytvořit tabulku možných způsobů řízení otáček a brzdění cize buzeného stejnosměrného motoru.

| **Název řízení** | **$U_a$** | **$k\phi$** | **$R_p$** | obrázek |
|---|---|---|---|---|
| Přirozená charakteristika | $U_{aN}$ | $k\phi_N$ | 0 | 11-2 |
| Řízení napětím | $-U_{aN}$…..$+U_{aN}$ | $k\phi_N$ | 0 | 11-3.a |
| Řízení tokem | $U_{aN}$ | $k\phi_{Nmin}$ ….. $k\phi_N$ | 0 | 11-3.b |
| Řízení odporem | $U_{aN}$ | $k\phi_N$ | 0…$R_{pmax}$ | 11-3.c |
| Brzdění protiproudem | - $U_{aN}$ | $k\phi_N$ | 0…$R_{pmax}$ | 11-3.d |
| Brzdění odporové | 0 | $k\phi_N$ | 0…$R_{pmax}$ | 11-3.e |

*Tabulka 1 - Možnosti řízení cize buzených stejnosměrných motorů*

**a) Řízení napětím** je nejpoužívanější. Při tomto řízení se nezvyšují ztráty, není další omezení maximálního momentu a snadno se provádí reverzace (změna otáček).

**b) Řízení tokem** se používalo zejména jako doplňkové. Nevýhodou je kromě omezení maximálních otáček i snížení maximálního momentu a pomalost regulace. Navíc je nutné hlídání buzení – stejnosměrný stroj se nesmí odbudit !!

**c) Řízení odporem** je velmi ztrátové a používalo se zejména ke spouštění.

## *3. Zdroje pro napájení stejnosměrných motorů*

Pro napájení stejnosměrných strojů jsou obvykle zapotřebí dva zdroje – pro napájení kotvy a pro napájení budícího vinutí. Základní dělení zdrojů lze provést na točivé a netočivé (měniče).

Princip **točivých zdrojů** spočívá v získání elektrické energie proměnného napětí pomocí elektricko - mechanicko - elektrické přeměny. Jedná se obvykle o velké zdroje s velmi nízkou účinností a se špatnou dynamikou řízení. V praxi se často používal tzv. Ward-Leonardův měnič (asynchronní motor - budič – dynamo +

**Netočivé zdroje** jsou dnes zastoupeny polovodičovými měniči. Pro napájení budících obvodů stačí neřízené měniče (pokud nechceme regulovat tokem). Pro napájení kotvy pak použijeme měniče dle požadavků na provoz. Můžeme použít řiditelné usměrňovače nebo pulzní měniče. Měniče (usměrňovače neřízené i řízené, stejnosměrné měniče) musí splňovat především tyto základní funkce:

a) měnit proudovou soustavu,

b) zesilovat (řídící napětí z regulátoru),

c) umožňovat požadované změny toku energie.

## *4. Reverzační měniče*

V elektrických pohonech se smysl otáček a momentu střídá podle technologických potřeb poháněného mechanizmu. Přitom se střídají režimy brzdění a motorického chodu. Motor má tak v každém kvadrantu charakteristik jiný režim. Podle počtu kvadrantů, ve kterém pohon pracuje, pak dělíme pohon na jedno, dvou či čtyř kvadrantový.

Samotný stejnosměrný motor může pracovat ve všech 4 kvadrantech momentových charakteristik pouze tehdy, jestliže to umožní napájecí soustava. Takový reverzační pohon tedy musí umožňovat reverzaci rychlosti i reverzaci momentu. (reverzace = změna smyslu otáček/momentu).

Běžný řízený usměrňovač může při napájení kotvy stejnosměrného cize buzeného motoru umožnit práci ve dvou kvadrantech – je umožněna změna polarity napětí a tím může pohon pracovat v I. a ve IV. kvadrantu. U mnoha pohonů je ale požadavek na práci v I. a ve II. kvadrantu – požaduje se tedy reverzace momentu při zachování polarity otáček – jsou to například pohony ventilátorů, čerpadel atd. Velká většina pohonů pak potřebuje pracovat ve všech 4 kvadrantech. Patří sem například elektromobily, pohony lodních šroubů, válcovací stolice apod.

Práci ve 4. kvadrantech umožňuje tzv**. reverzační měničová skupina** (viz. obrázek). Předpokládejme, že kladné napětí usměrňovače **1** je též kladným napětím motoru a proud vytvořený tímto měničem a protékající motorem bude rovněž kladný. Pokud tedy bude měnič 1 pracovat v usměrňovačovém chodu, bude napětí na motoru záporné. Naopak měnič **2** je zapojen antiparalelně s měničem 1. Znamená to, že kladné napětí měniče 2 je současně záporným napětím motoru a naopak. Proud měniče 2, protékající motorem je pak vzhledem k orientaci proudem motoru záporným.

Pro správnou činnost měničů je třeba zajistit, aby (v okruhu) mezi měniči neprotékal proud. To lze zajistit dvojím způsobem:

a) řízením bez okruhových proudů – v činnosti je pouze jeden měnič, druhý měnič je blokován,

b) řízením s okruhovými proudy – celkové napětí měničů musí být rovno nule, tj. $U_{d1} = -U_{d2}$. Měniče tedy působí v obvodu proti sobě a usměrňovače se nebudou vzájemně zatěžovat.

**Možné pracovní režimy pohonu:**

*V prvém případě* (pracovní bod **$P_1$)** je ukázán provoz v I. kvadrantu charakteristik. Napětí zdroje je větší (o úbytky na RL motoru) než indukované napětí motoru $U_i$. Napětí motoru i proud jsou kladné. Motor odebírá energii ze zdroje a pracuje v motorickém režimu. V činnosti je *měnič 1*, pracující v usměrňovačovém chodu.

*V druhém případě* (pracovní bod **$P_2$)** je ukázán provoz v II. kvadrantu charakteristik. Napětí zdroje je menší než indukované napětí motoru $U_i$ a je kladné. Proud motoru (a tím i moment) je záporný. V činnosti je *měnič 2*, pracující ve střídačovém chodu (Napětí měniče je tedy záporné, ale vzhledem k orientaci napětí na motoru je kladné). Motor pracuje v generátorickém chodu, energie je dodávána z motoru do sítě.

*V třetím případě* (pracovní bod **$P_3$)** je ukázán provoz v III. kvadrantu charakteristik. Napětí zdroje je větší než indukované napětí motoru $U_i$. Napětí motoru i proud jsou záporné. Motor pracuje v motorickém režimu. V činnosti je *měnič 2*, pracující v usměrňovačovém chodu. (Napětí měniče je sice kladné, ale vzhledem k orientaci napětí na motoru je záporné). Energie je dodávána ze zdroje do motoru.

*Ve čtvrtém případě* (pracovní bod **$P_4$)** je ukázán provoz v IV. kvadrantu charakteristik. Napětí zdroje je menší než indukované napětí motoru $U_i$ a je záporné. Proud motoru (a tím i moment) je kladný. V činnosti je *měnič 1*, pracující ve střídačovém chodu. Motor pracuje v generátorickém chodu, energie je dodávána z motoru do sítě.