

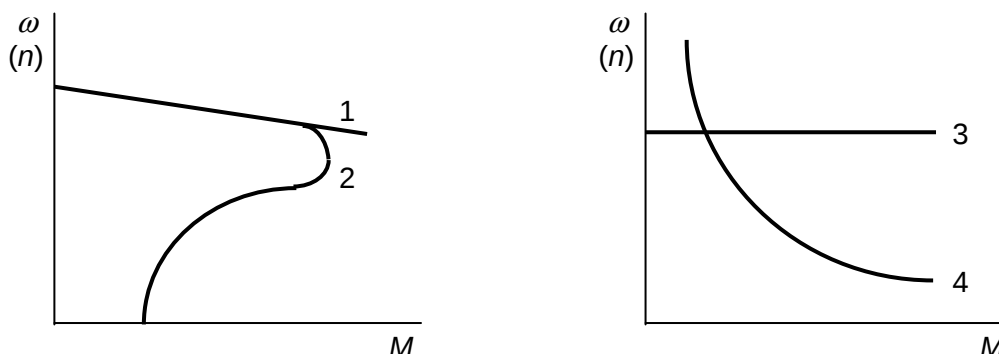
8. Elektromotori i radni strojevi

8.1. Karakteristike elektromotora

Elektromotori (pogonski strojevi) pojavljuju se u vrlo različitim izvedbama. Među-sobno se mogu razlikovati prema:

- načinu gibanja (rotacijski, translacijski)
- načinu pretvorbe energije (kontinuirano, diskontinuirano)
- obliku mehaničke karakteristike $\omega = f(M)$ ili $n = f(M)$ (poredna, serijska, sinkrona)
- vrsti uzbude (istosmjerno magnetsko polje, okretno ili translacijsko, upravljivo ili permanentno itd.)
- konstrukcijskoj izvedbi rotora (unutarnji ili vanjski rotor, cilindrični, pločasti ili zvonasti rotor itd.)
- stupnju zaštite (otvorena izvedba, zaštita od prodora krutih tijela ili tekućina)
- položaju pri radu (horizontalno, vertikalno) itd.

Mehanička karakteristika osnovni je kriterij u izboru vrste motora za pogon nekog radnog stroja.



Za upravljane i regulirane pogone najpovoljnija je **tvrda** (poredna) karakteristika. Nju imaju istosmjerni poredni motori, *karakteristika 1*, i asinkroni, *karakteristika 2*. Motori s takvom karakteristikom slabo naginju njihanju (mehaničkim oscilacijama).

Krutu (sinkronu) karakteristiku imaju sinkroni, koračni i reluktantni motori, *karakteristika 3*. Kod njih je problematičan proces zaleta, za što su potrebne dodatne mjere pri priključivanju na električnu mrežu. Skloni su njihanjima pri promjenama napona napajanja ili momenta tereta, pa se poduzimaju mjere za prigušivanje nastalih oscilacija.

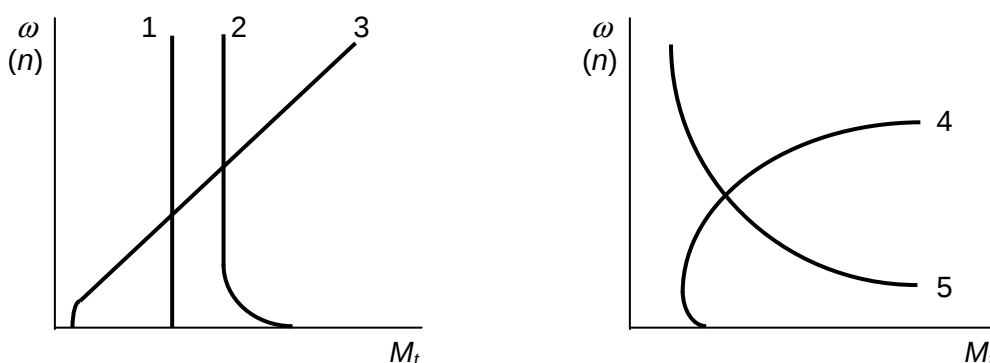
Meku (serijsku) karakteristiku imaju istosmjerni i izmjenični serijski motori, *karakteristika 4*, pa im pri porastu momenta tereta nastaje znatno smanjenje brzine vrtnje. Kod vozila se upravo to i traži, pa se koriste za pogon svih vrsta vozila.

8.2. Radni strojevi i njihove karakteristike

U radni mehanizam električnog pogona se uz radni stroj, koji obavlja nekakav rad, svrstava i prijenosni mehanizam. On služi za mehanički prijenos snage od osovine pogonskog stroja na radni i time je bitan suučesnik u dimenzioniranju motora i u definiranju električnog dijela pogona.

U industrijskim postrojenjima prisutan je veliki broj različitih radnih strojeva za koje je predviđen pogon električnim motorima. Svaki takav radni stroj djeluje na motor i time na električni dio pogonskog sustava svojim otpornim momentom odnosno momentom tereta M_t . Električni pogon se dimenzionira tako da on udovolji traženom M_t .

Moment tereta M_t može osim o brzini vrtnje radnog mehanizma ovisiti još i o vremenu, kutu, putu, specifičnosti tehnološkog procesa itd. Najbrojniji su radni mehanizmi kod kojih je moment tereta ovisan samo o brzini vrtnje. Svrstavaju u **prvu skupinu**, a funkcionalne im se ovisnosti $\omega = f(M_t)$ mogu grupirati u nekoliko tipičnih karakteristika prikazanih u iduće dvije slike.



Karakteristiku 1 imaju npr. dizala i dizalice. Moment tereta M_t ovisan je o težini tereta F_g , kako pri dizanju tako i pri spužtanju, a neovisan o brzini kretanja. Za moment tereta preneseno na osovinu motora vrijedi izraz:

$$M_t = \frac{1}{\eta} F_g \frac{v}{\omega_m} = konst.$$

η : stupanj djelovanja prijenosnog mehanizma (reduktor, ovjes užeta i sl.)

v : brzina kretanja tereta

ω_m : kutna brzina osovine motora

Srednja snaga potrebna za pogon radnog stroja:

$$P = M_t \cdot \omega_m$$

Karakteristiku 2 imaju vozila, kako tračnička tako i cestovna, ali i obradni strojevi za odvajanje strugotina s konstantnim presjekom strugotine. Pri pokretanju potreban je povećani moment, koji zatim ostaje približno konstantan, a veličina mu ovisi o težini vozila F_g i o otporu vožnje w_v uvjetovanom u prvom redu podlogom na kojoj se vozilo kreće kao i nagibima na voznoj trasi. U pogonu vozila preneseno na osovinu motora vrijedi izraz:

$$M_t = \frac{1}{\eta} F_g \cdot w_v \frac{v}{\omega_m}$$

v : brzina kretanja vozila

Srednja snaga potrebna za pogon radnog stroja određuje se izrazom kao i u slučaju karakteristike 1.

Karakteristiku 3 imaju valjaonički stanovi za valjanje metalnih i papirnih traka te plastičnih folija. Za njih važi da je potrební moment M_t proporcionalan kutnoj brzini:

$$M_t \approx k \cdot \omega_m$$

Konstanta k u ovom izrazu određuje se najčešće eksperimentalno. U određivanju snage motora mora se uzeti u obzir i η radnog stroja.

Karakteristika 4 javlja se pri transportu plinova i tekućina ventilatorima, kompresorima i pumpama. Tu vrijedi izraz:

$$M_t \approx k \cdot \omega_m^2$$

Moment tereta M_t ovdje je ovisan o veličini protoka medija i o razlici tlaka na ulazu i na izlazu radnog stroja. Srednja snaga potrebna za pogon radnog stroja određuje se izrazom:

$$P = \frac{1}{\eta} q_v p$$

q_v : volumni protok

p : ukupni tlak koji stvara radni stroj

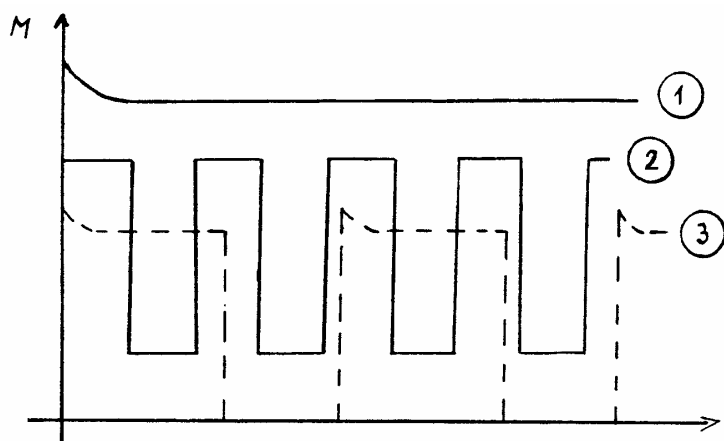
Karakteristiku 5 imaju motalice za namotavanje metalne žice i traka, papirnih traka, metalnih i plastičnih folija i sl. Tu vrijedi izraz:

$$M_t = k \frac{1}{\omega_m}$$

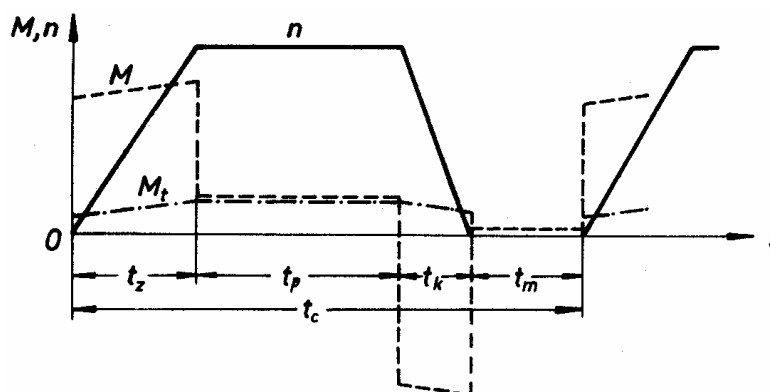
Kod velikog broja radnih strojeva teško je jednoznačno odrediti karakteristiku $\omega = f(M_t)$. Ona može biti podložna brojnim utjecajima, koji mogu nastupiti zajednički ali i odvojeno. Primjer za to su drobilice, mješalice, mlinovi, rotacijske peći i sl. Karakteristike im se najčešće određuju eksperimentalno. Ovi se radni strojevi daju grupirati u tri preostale skupine.

Iduću odnosno **drugu skupinu** radnih mehanizama tvore oni čiji je moment tereta M_t uz brzinu vrtnje ω ovisan i o vremenu $M_t = f(\omega, t)$. Mnogi radni procesi predstavljaju periodički promjenljivo opterećenje. Ono može biti definirano ili programom, kao npr. kod valjaoničkih stanova, numerički upravljanih alatnih strojeva itd., ili može biti slučajno kao što je to primjerice u električnoj vuči, drobilici kamena, mlinovima s kotačima i sl.

Izbor karakteristika $M_t = f(t)$ prikazan je u idućoj slici. Karakteristiku 1 imaju npr. pogoni dizanja i pogoni transportnih traka, karakteristiku 2 imaju štanice, a karakteristiku 3 dizalice kod kojih se periodički izmjenjuju dizanje-mirovanje-spuštanje-mirovanje.



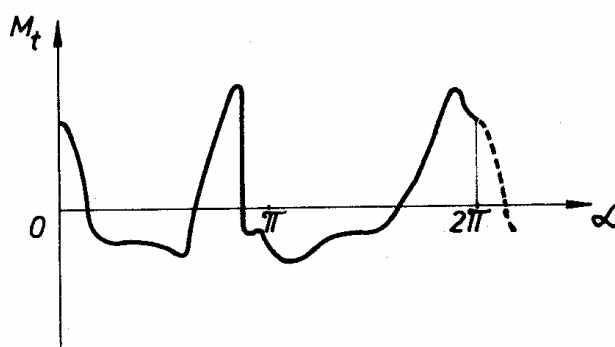
U idućoj slici prikazan je jedan primjer opterećenja kakav se javlja u pogonu vozila. U slici je t_c vrijeme ciklusa, t_z vrijeme zaleta, t_p vrijeme pogona, t_k vrijeme kočenja i t_m vrijeme mirovanja. Uz karakteristiku tereta $M_t = f(t)$ u slici su ucrtane i karakteristike pogonskog motora $M = f(t)$ te karakteristika brzine vrtnje pogona $n = f(t)$.



O izboru odgovarajućeg pogonskog motora i o određivanju njegove snage bit će riječi kasnije.

Treću skupinu radnih mehanizama tvore oni čiji je moment tereta M_t uz brzinu vrtnje ω ovisan i o kutu zakreta radnog mehanizma α , znači $M_t = f(\omega, \alpha)$.

U idućoj slici prikazan je primjer klipnog kompresora kod kojeg se sa stapajem mijenja snaga klipa. Uz to pomicanjem klipa i time vezanih ubrzavanja ili usporavanja masa, javlja se i dio momenta tereta ovisan o kutu zakreta α .



Ovakva promjena momenta tereta M_t izaziva i neravnomjernu rotaciju. To ima za posljedicu da motor iz mreže uzima i pulzirajuću snagu. Da bi se to ublažilo, u takvim se pogonima koriste veliki zamašnjaci koji se ugrađuju u mehanički spoj pogonskog motora i radnog mehanizma (npr. kod škara za rezanje metala, kod presa, kovačkih strojeva i sl.).

Četvrtu i ujedno najmanju skupinu tvore radni mehanizmi kojima je moment tereta funkcija i brzine vrtnje, i vremena, i položaja, i prevaljenog puta, i obrađivanog materijala itd., $M_t = f(\omega, t, \dots)$. Tu se mogu spomenuti primjerice centrifuge, strojevi za obradu kože, mješalice u proizvodnji gume i sl.

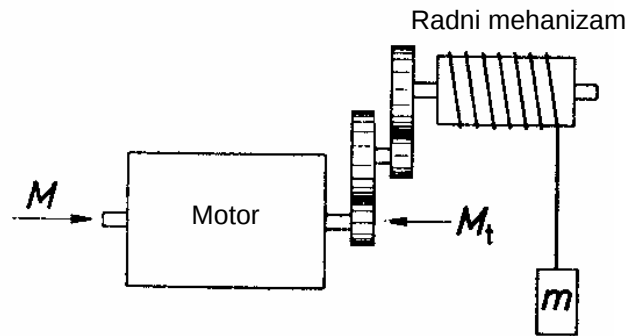
8.3. Prijenosni mehanizmi

Prijenosni mehanizam povezuje elektromotor s radnim strojem. On omogućuje optimalnu prilagodbu radnog područja elektromotora radnom stroju. U najznačajnije elemente prijenosnog mehanizma ubrajaju se osovine, reduktori, spojke, užad, plosnati i nazubljeni remeni i sl. Prijenosni mehanizam akumulira prenesenu energiju u zamašnim masama i opružim mehanizmima. Njihov utjecaj na ponašanje cjelokupnog pogonskog sustava dolazi posebno do izražaja pri dinamičnim stanjima pogona.

U mnogim slučajevima može se prijenosni mehanizam, isto kao i radni stroj, promatrati kao sustav s koncentriranim masama, koje su međusobno povezane elastičnim osovinama. Pri gibanju kinetička energija se akumulira u zamašnim masama, a

potencijalna u napregnutim elastičnim osovinama. Pri promjeni okretnog momenta u elektromotoru ili u radnom stroju, dakle u dinamičkom pogonu, dolazi do uzbuđivanja mehaničkog sustava i pojavljuju se mehaničke oscilacije. Pri njihovim visokim frekvencijama može doći do ugrožavanja cjelokupnog pogonskog sustava.

U idućoj slici prikazan je jedan tipični primjer prijenosnog mehanizma, s reduktorom i s bubnjem za namatanje užeta pri dizanju tereta.



Moment tromosti cjelokupnog pogona J mora se preračunati na osovinu motora. Tako određeni moment tromosti mjerodavan je za dinamičko ponašanje cjelokupnog pogonskog sustava. O njemu će biti više riječi pri proučavanju dinamike pogona.

Primjeri:
