

DK 621.825.7

**Prožne gredne vezi in njihove razvojne možnosti**

BRANKO KOZINA

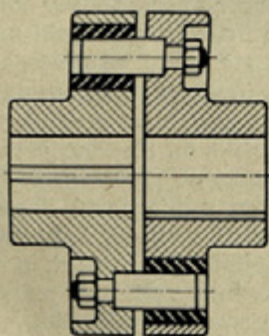
Pogonske in gnane stroje vežemo navadno tako, da povezujemo konce njihovih gredi. Po večini zadostujejo enostavne razstavljive zveze, ki omogočajo izmenjavo posameznih strojev. To so gredne vezi. Med njimi prevladujejo prožne gredne vezi, v posebnih primerih pa uporabljamo tudi toge in pomične gredne vezi. Gredne vezi so enostavne naprave, s katerimi gredi pri montaži povezujemo v celoto. Moramo jih ločiti od sklopok, kajti to so po izraznem pomenu v slovenščini lahko le naprave, ki dopuščajo ponovna sklapljanja in razklapljanja med obratovanjem. Obrazložitev potrebe za razlikovanje izrazov gredne vezi in sklopke podajam v terminološkem kotičku te številke.

Pogonski in delovni stroji so dandanes že do velike popolnosti razvite konstrukcije, saj so z izdelki specializiranih tovarn z dolgoletnimi izkušnjami ali vsaj oprtimi nanje razvite nove konstrukcije. O grednih vezeh tega ne moremo trditi. Prepogosto nam povzročajo okvare in motnje v obratovanju ali ne dopuščajo popolnega izkoriščanja agregatov. Povezavi strojev in izvedbam grednih vezi posvečamo zato vedno večjo pozornost. Vodilne strojne tovarne prinašajo vsako leto na tržišče številne nove in vedno popolnejše konstrukcije. Ravno ta vidni razvoj grednih vezi moramo pravzaprav imeti tudi za znak morebitne nedozorelosti in nepopolnosti današnjih izvedb. Če jih hočemo odpraviti, jih moramo najprej ugotoviti. V ta namen sem posamezne značilne nove konstrukcije združil v skupni analizi in skušal iz njih določiti smer dosedanjega razvoja. Z uvrstitvijo v trenutno tehniško raven sem ugotovil za prožne gredne vezi tolikšne razvojne možnosti, da je vredno nanje opozoriti širši krog strojnikov.

**DANAŠNJE KONSTRUKCIJE**

Kot prvo nalašč omenjam prožno gredno vez s prožnimi pušami (slika 1), deloma zato, ker se pri nas splošno uporablja, nekaj pa zato, ker je najbolj nepopolna in ima šibke dele, ki so pri poznejših izvedbah že ojačeni. Za to vrsto grednih vezi navaja literatura, kakor pač splošno za prožne gredne vezi, da

»prevzemajo sunke vrtilnih momentov, ker energijo sunka nakopičijo v prožnih pušah in jo s časovno zakasnitvijo oddajajo na gnani del vezi«. Seveda prenašajo stalne vrtilne momente od gonilne na gnano gred — saj je to glavna naloga vseh vrst grednih vezi — in sicer tudi tedaj brez večjih dodatnih obremenitev gredi in ležajev, če obe osi koncev gredi ne ležita točno v isti smeri. Prožni deli omogočajo podobno lahke medsebojne pomike koncev gredi, kakor pomične gredne vezi.

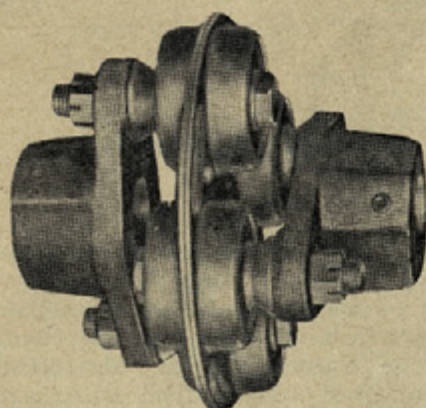


Sl. 1. Prožna gredna vez s prožnimi pušami, ki pa nimajo ugodne življenjske dobe.

Da omenjena predstava o prevzemu sunkov vrtilnih momentov ni točna, bom razložil v naslednjem poglavju. Za zdaj naj zadostuje ugotovitev, da prožni elementi grednih vezi dopuščajo vidne deformacije in s tem medsebojne, kotne in radialne ter aksialne pomike štrcljev obeh vezanih gredi. Bistvo konstrukcije je v teh deformacijah prožnih vložkov, imenujmo jih kar pravilno vzmeti. Tudi za prožne gredne vezi uporabljamo jeklene in gumijaste vzmeti. Razvrstiti in imenovati jih hočemo, kakor je za vzmeti splošno v navadi, po oblikah in po vrstah naprežanj, s katerimi povzročamo zaželeno deformacije. Kakor za vzmeti, postavljamo tudi za gredne vezi karakteristike, to so v diagramih zajete relacije med zunanjimi silami in deformacijami. Za prožne gredne vezi dobivamo pogosto zvojno karakteristiko kot glavno osnovo, žal pa skoraj vedno manjkajo podatki o prožnosti v radialni in aksialni smeri, ki so tudi važni. Razen prožnosti upoštevamo pri oceni posameznih izvedb tudi ceno, težo, vztrajnostni moment in velikost, ki naj bi bile vse čimmanjše. Montaža in vzdrževanje ter zunanja oblika morajo biti čim enostavnejše, med posebne zahteve pa spada odpornost proti vlagi, visokim obratovalnim temperaturam in nestrokovnemu ravnanju.

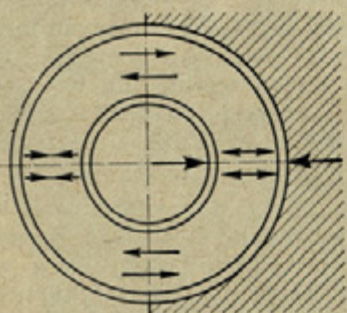
Oglejmo si nekaj današnjih značilnih konstrukcij, ki izpopolnjujejo te zahteve, posamezne med njimi bolj, druge manj. Izvedba z gumijastimi obročnimi vzmetmi po sliki 2 (glej tudi sliko 11, stran 70 v 3. številki Strojniškega vestnika 1955) kaže izboljšano izvedbo zgoraj omenjene s prožnimi pušami po sliki 1. Vložene štiri obročne vzmeti so namreč na notranjem in zunanjem obodu obložene





Sl. 2. Izboljšana izvedba z gumijastimi obročnimi vzmetmi izkazuje večjo nosilnost in prožnost.

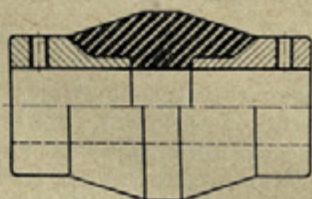
in spojene s togo jekleno oblogo. Leva dva vijaka, ki dovajata obodno silo, in desna dva, ki jo odvajata, pritiskata zato na notranjo pušo vzmeti. Ta stiska guma v smeri obodne sile, na nasprotni strani pa jo razteguje, saj se guma ne more odmakniti od togega zunanjšega obroča, ker je z njim spojena (sl. 3). Tudi ostali del obročne vzmeti se ustavlja radialnemu premiku notranje puše s strižnimi napetostmi. Guma — in to je najšibkejši in najvažnejši del konstrukcije — je torej obremenjena in izkoriščena na celotnem obodu. Nosilnost vzmeti z oblogo je zato večja od navadnih prožnih puš v konstrukciji po sliki 1. Te namreč vijaki stiskajo le na delu oboda, ki leži pravokotno na smer pritiskne sile. Razen tega je na teh delih možnost preobremenitve vložkov, kajti za plastično deformacijo ali razširitvijo lukenj pridejo namreč ob prenosu izpremenljivih vrtilnih momentov dodatne dinamične obremenitve. Vložki so potem kmalu dobesedno stolčeni. Na sliki 3 vidimo dobro, da so vzmeti vložene v vencu iz tanke pločevine in sta masivni le pesti z nastavki za naslon vijakov. Te gredne vezi so zato lažje, imajo manjši vztrajnostni moment in so pri serijski izdelavi tudi cenejše. Tanke zaščitne pločevine, ki daje konstrukciji enostavno zunanjo obliko, na sliki ni. Dopusčajo kotne



Sl. 3. Notranja in zunanja toga obloga obročne vzmeti porazdeljuje radialno obremenitev na celoten obod gumijastega obroča.

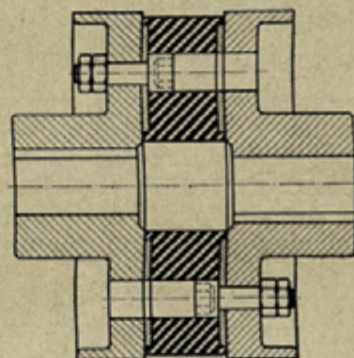
pomike do  $5^\circ$  in tudi milimetreške aksialne in radialne pomike.

Posebno enostavna je mufna gumijasta izvedba (slika 4). Obe pesti sta namreč spojeni z gu-



Sl. 4. Mufna gumijasta izvedba je po obliki zelo enostavna, neugodni pa sta dolžina in montaža.

mijastim obročem v eno celoto, ki je tako le obročna zvojnica vzmet z oblogo, vendar je toliko posebne oblike, da dopušča pritrditev na gredi s pritisknimi vijaki. Uporabljiva je zato le za prenos majhnih moči, dopušča pa tem večje kotne in prečne pomike, čim daljša je. Velika dolžina in nerodno navlačenje pri montaži sta pač cena za enostavnost konstrukcije.



Sl. 5. Kolutna izvedba gredne vezi z gumijasto obročno vzmetjo v sredini dopušča enostavno montažo in dobro izkorišča prostor ter material.

Zelo enostavno montažo dopušča kolutna gredna vez z gumijastim obročem, vloženim v sredini (slika 5). Čelna obloga navadne zvojnice vzmeti omogoča enakomerno porazdelitev obremenitve gume po obodu in pritrditev z vijaki na kolute. Prostor in material sta dobro izkoriščena.

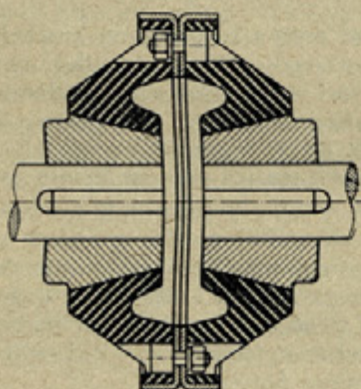
Zelo velika prožnost, posebno pa kotni pomiki do  $20^\circ$ , so glavna značilnost grednih vezi z gumijastimi flanšami (slika 6). Flanšno pesto je ulito, venc kotnega profila pa pločevinast. Oba se spojita pri vulkaniziranju z gumijasto flanšo. Oba venca vezemo pri montaži z vijaki. Naprežanja v gumiju so enakomerna, zato sta trdnost in trpežnost teh zelo prožnih grednih vezi tudi pri zelo neenakomernih pogonih razmeroma veliki.

Enako velja za zelo prožno gredno vez z gumijastim vencem (glej sl. 12, stran 71 v 3. številki Strojniškega vestnika 1955).

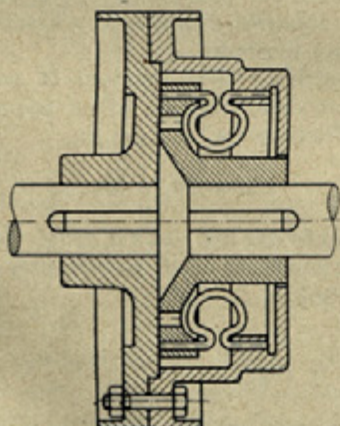


Konstrukcijo zelo prožne gredne vezi z jeklenimi vzmetmi ponazarja slika 7. Vzmetne zanke so zvite iz okrogle žice. Ravni konci so vloženi v ohlapnih izvrtinah, tako da so aksialni pomiki gredi zelo lahki. Prenos vrtilnega momenta vzmeti zvije, gnana gred lahko zaostaja za velik kot. Te palične vzmeti so paralelno obremenjene. Zato lahko prožnost določene velikosti gredi zvečamo, če število palic zmanjšamo, kar gre seveda na škodo njene nosilnosti. Take možnosti prilagoditve prožnosti gredne vezi pri drugih izvedbah ni. Tudi grejejo se konstrukcije z jeklenimi vzmetmi manj kakor ostale z gumijastimi. Notranje trenje jeklenih vzmeti je namreč mnogo manjše. Dušenje nihanj je zato tudi manjše, kar pa navadno ni pomanjkljivost, kakor bomo obravnavali še pozneje. V primeri z do sedaj naštetimi konstrukcijami so slabe lastnosti grednih vezi z zankastimi jeklenimi vzmetmi njihova večja teža, cena in vztrajnostni moment.

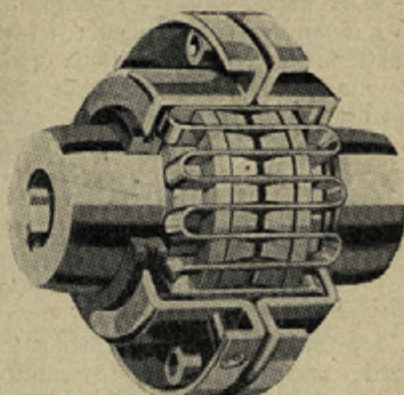
Posebnost izvedbe z jekleno obodno vzmetjo (sl. 8) je močno ukrivljena karakteristika. Vijugasto zvita jeklena vzmet je namreč na obodu obeh kolotov vložena v ozke zareze, ki pa so na stični



Sl. 6. Zelo prožna gredna vez z gumijastimi flanšami dopušča kotne pomike do  $20^\circ$ .



Sl. 7. Izvedba z jeklenimi zankastimi vzmetmi dopušča tudi velike kotne pomike.



Sl. 8. Konstrukcija z jekleno obodno vzmetjo ima zelo ukrivljeno karakteristiko, ker se upogibna dolžina vzmeti manjša s povečano obodno silo.

strani malo razširjene. Pri prenosu obodne sile ravni trakovi upognejo vzmeti, in to tem bolj, čim bolj se obodna sila večja. Upogibna dolžina se pri tem zmanjšuje od cele dolžine za rez na širino reze med koloti pri največji obremenitvi, ko se trakovi vlečejo ob zakrivljene boke zarez. Kotni pomiki med gredmi rastejo zato pri prenosu majhnih vrtilnih momentov hitro, z njihovim večanjem pa vedno počasneje.

Številnih ostalih vrst ne bom navajal, deloma zato, ker se bistveno ne razlikujejo od navedenih značilnih izvedb, ali pa zato, ker so manj popolne od njih. Ta pregled današnjih konstrukcij prožnih grednih vezi je pa tudi že tako urejen, da iz njega lahko izluščimo glavne značilnosti dosedanjega razvoja:

1. izpopolnjena trdnost z oblikovanjem prožnih delov kot vzmeti,
2. povečana zvojna prožnost s povečanjem dolžine vzmeti in
3. ukrivljena karakteristika.

#### NAČIN DELOVANJA

Prednosti vezave strojev z zelo prožnimi grednimi vezmi bomo v celoti izrabljali šele tedaj, če si bomo razčistili predstave o načinu delovanja oziroma če jih bomo popravili, kolikor so razlage v literaturi napačne ali nepopolne.

Bistvo delovanja prožne gredne vezi je v tem, da omogoča znatne kotne pomike med gredmi oziroma rotorji, torej povrh enakomernega krožnega gibanja tudi medsebojno prehitevanje in zaostajanje, se pravi različna pospeševanja obeh rotorjev, močnejše pospeševanje tistega rotorja, na katerem se je pojavil neki zunanji spremenljivi moment, in šibkejšo pospeševanje drugega rotorja.

Napačna je predstava, da prožna gredna vez nastajajoče sunke prenaša na vgrajene vzmeti in jih kopiči v obliki deformacijskega dela, kakor tudi da sunke zmanjšuje ali deluje kot vztrajnik.

Vzmeti prevzemajo namreč lahko le majhen del energije sunka. Glavni del prehaja navadno na



tisti rotor, ki je neposredno izpostavljen sunku in ga izravna z delom svoje kinetične energije. Spremembo kinetične energije tega rotorja opazimo kot spremembo njegove kotne hitrosti kot zaostajanje ali prehitevanje za drugim rotorjem. Razmeroma manjši spremembi pa je izpostavljen drugi rotor, saj je prepuščen le delu energije sunka in nanj deluje preko vzmeti gredne vezi.

Na to predstavo pa že lahko opremo formulo cijo treh značilnosti za prožno povezavo dveh rotorjev, ki so pravilna razlaga, kako delujejo prožne gredne vezi.

1. S primerno povečano prožnostjo gredne vezi lahko zmanjšujemo prenos spremenljivih vrtilnih momentov od stroja, kjer nastajajo, na drug stroj.

2. S prehodom od toge vezave rotorjev na prožno povzročamo samo spremembo pri porazdelitvi spremenljivega vrtilnega momenta, ki nastaja na enem rotorju, pospešuje pa oba. Prenos preko prožne vezi na drug rotor sicer lahko zmanjšamo, za enak iznos pa povečamo del spremenljivega momenta, ki vpliva na prvi rotor in ga pospešuje.

3. Pri prožni vezavi rotorjev sta stopnji neenakomernosti rotorjev različni; večja je neenakomernost rotorja, ki je spremenljivemu vrtilnemu momentu neposredno izpostavljen, manjša pa je stopnja neenakomernosti drugega rotorja.

### OBREMENITVE

Glavna obremenitev grednih vezi so vrtilni momenti, ki jih prenašajo med pogonskim in delovnim strojem. Medsebojni aksialni in radialni pomiki koncev gredi, ki so mogoči le z deformacijami vezi, pomenijo sicer dodatno obremenitev, ki pa je navadno tako minimalna, da je ne jemljemo v poštev, saj so toplotne dilatacije, napake pri montaži in deformacije gredi ter podpor med obratovanjem skoraj vedno večkrat manjše od zvojnih deformacij, za katere so prirejene vzmeti.

Osnovna obremenitev grednih vezi je enakomerni vrtilni moment  $M_0$ , ki ga prenaša od pogonskega stroja na delovni stroj. Če bi bila pogon in obremenitev enakomerna, bi bilo tudi krožno gibanje obeh rotorjev enakomerno, kar pa skoraj nikdar ni dosegljivo popolnoma, saj nastajajo ved-

no tudi nezaželeni ali potrebni spremenljivi vrtilni momenti  $M$ . Njihovi izvori so zelo različni.

a) Pri večini pogonskih in delovnih strojev nastajajo kot posledica kinematike vgrajenih mehanizmov (n. pr. ročičnih) ali njih nepravilnosti (n. pr. ekscentričnih mas). Pri teh izvorihi opažamo vrtilne momente, ki se periodično spreminjajo v nekem stalnem ritmu. Sestavljeni so iz več harmoničnih komponent z obliko (sl. 9)

$$M = M_1 \sin i \omega t.$$

$M_1$  je največji iznos glavne harmonične komponente, ki se spreminja s frekvenco  $\frac{i\omega}{2}$ .

b) Drug izvor je neenakomernost obremenitve, ker je pač skoraj nikoli ni mogoče razporediti popolnoma enakomerno. Tako nastajajo na delovnih strojih vrtilni momenti, ki se spreminjajo popolnoma neperiodično. Razčlenimo jih lahko v posamezne »momentne sunke«, na posamezne časovne intervale, ko se osnovna enakomerna obremenitev  $M_0$  poveča za stalno vrednost  $M_p$ . Za časa trajanja te spremembe je spremenljivi moment  $M$

$$M = M_p.$$

Posebno močna in pogostna kratkotrajna preobremenitev se pojavlja ob zagonih z asinhronskimi motorji. Izvori neenakomernosti vrtilnega momenta so v teh primerih motorji, ker imajo pač tako karakteristiko, da je zagonski moment 2- do 3-krat večji od imenskega pri polnem številu vrtljajev.

c) Redkejši so pravi sunki, ki nastajajo ob trku dveh mas ali rotorjev in povzročajo posamezne kratkotrajne spremembe obremenitve. Maksimalni iznos vrtilnega momenta  $M_k$  in trajanje sunka sta odvisna od prožnosti kontaktnega področja in seveda tudi od energije sunka. Spremenljivi moment  $M$  se spreminja harmonično

$$M = M_k \sin \omega_c t.$$

Znan primer trka so udarci zobnikov z napakami v delitvi pri prehodu prijema na naslednji par zob in rotacijski drobilci, ki s kladivi razbijajo padajoče kose premoga.

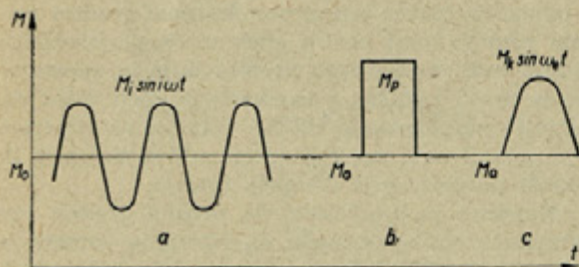
Spremenljivi vrtilni moment  $M$  pospešuje ali zavira oba rotorja, prvega, ki na njem nastaja, z delom  $M_1$ , drugega pa z delom  $M_2$ .

$$M = M_1 + M_2.$$

$M_2$  prenaša gredna vez na drugi rotor. Zato je  $M_2$  tudi obremenitev vezi, povzročena s spremenljivim momentom  $M$ .

$$M_2 = \frac{M}{1+m} \zeta; \quad \text{pri tem je } m = \frac{J_1}{J_2},$$

$J_1$  ter  $J_2$  sta vztrajnostna momenta obeh rotorjev,  $\zeta$  je relativni faktor prenosljivosti. Pri togi vezavi je  $\zeta = 1$ , pri prožni vezavi je lahko manjši.



Sl. 9. Tri značilne zvojne dinamične obremenitve: a) periodično spremenljivi vrtilni moment, b) spremembe osnovne obremenitve, c) trk dveh mas.



Za harmonično spremenljivi moment  $M = M_1 \sin i \omega t$  je  $\zeta = \zeta_1 =$  resonančni faktor = 
$$= \frac{1}{1 - \left(\frac{i \omega}{\omega_E}\right)^2}$$
 če trenja ne upoštevamo.  $\frac{\omega_E}{2\pi}$  je

pri tem lastna frekvenca prostega medsebojnega zvojnega nihanja obeh rotorjev.

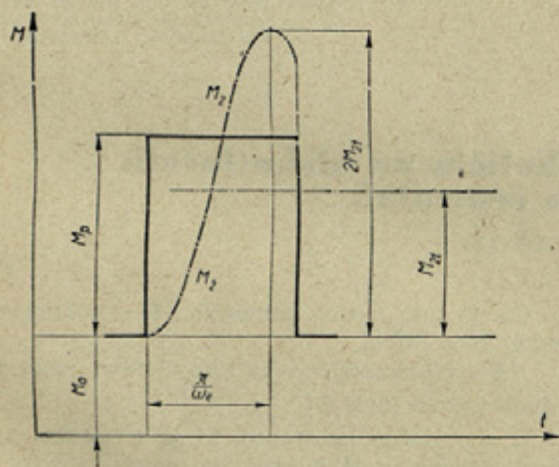
$$\omega_E = \sqrt{\frac{C(1+m)}{J_1}}$$

Pri tem je  $C$  merilo za »togost« gredne vezi — ali natančneje — enotna sila ustrezajoče zvojne vzmeti. Če je gredna vez zelo prožna, je vrednost  $C$  majhna, pri togi izvedbi limitira proti neskončnosti. Enako velja tudi za  $\omega_E$  z dodatkom, da nanjo vplivajo tudi velikosti obeh vztrajnostnih momentov. Zaželeno prednost prožne vezave, torej za  $\zeta_1$  čimmanjšo vrednost od 1 dosežemo, če je lastna frekvenca sistema precej manjša od frekvence motilnega momenta. Z zgoraj opisanimi, zelo prožnimi izvedbami gredi to lahko v večini primerov dosežemo za momentne sunkove.

$$M = M_p \quad \text{je} \quad \zeta = \zeta_p = (1 - \cos \omega_E t).$$

Tudi vrednost tega faktorja je lahko ugodna, manjša od 1, če je  $\omega_E t$  manjši od  $0,5\pi$ . Ni pa edini pogoj nizka lastna frekvenca, kajti tudi trajanje sunka  $t$  mora biti primerno kratko.

Z uvedenimi, zelo prožnimi grednimi vezmi lahko zmanjšujemo večinoma le prenos sunkov, ki so krajši od nekaj stotink sekunde. Tako kratki so samo sunki, ki nastajajo ob trku mas. Močne spremembe obremenitve trajajo večinoma mnogo dalj časa. Zato moramo ugotoviti, da tudi uvedene vrste zelo prožnih grednih vezi ne zadržujejo sunkov pri obremenitvi. Prav posebno velja to še za obremenitve ob zagonih z asinhronskimi motorji.



Sl. 10. Ob spremembi osnovne obremenitve  $M_0$  za  $M_p$  prenaša prožna gredna vez na drugi rotor moment  $M_2$ , ki je v začetku manjši kakor pri togi vezavi  $M_1$  in harmonično naraste na  $2 M_0$ , če traja sprememba  $t = \pi/\omega_E$ , to je čas polovice nihalne dobe pri prostem zvojnem nihanju obeh rotorjev.

Vrednost za  $\zeta_p$  lahko naraste na 2, če je trajanje sunka  $t$  daljše od  $\frac{\pi}{\omega_E}$ . Pri dolgih sunkih torej

obremenitev prožne gredne vezi harmonično naraste na dvojni iznos toge vezave (sl. 10). Navidezne prednosti toge vezave ne moremo izrabljati, ker so gredi strojev vedno malo prožne in se zato tako ne moremo izogniti zvojnemu nihanju ob vsaki spremembi obremenitve. Nasprotno, prožna zveza je ugodnejša, saj zmanjšuje frekvenco nihanja in s tem število sunkov te dodatne dinamične obremenitve kakor tudi nevarnost porušitve zaradi utrujenosti materialov.

Za določanje učinkovitosti prožnih grednih vezi pri prenosu momentnih sunkov, povzročenih s trkom, zadostuje, če računamo, da je

$$\zeta_k = \zeta_p = (1 - \cos \omega_E t).$$

Za točen račun, ki bi bil zelo zamuden, tako nimamo ustreznih podatkov za  $M_k$ .

Zvojna nihanja z motilno frekvenco periodično spremenljivega momenta ali pa z lastno frekvenco pri posameznih sunkih so neizbežen pojav ob vsakem pojavu spremenljivih vrtilnih momentov. Literatura poudarja nevarnost znanega resonančnega področja, ko zvojna obremenitev grednih vezi pri nihanju brez dušenja lahko naraste neskončno, pri jeklenih vzmeteh pa na približno 100-kratno vrednost spremenljivega momenta in pri gumijastih na 10-kratno. Vsekakor zaniha sistem do teh visokih amplitud šele po več ko sto nihajih, tako da se te velike obremenitve ne pojavljajo, če ne obratujemo vprav v resonančnem področju. Toda 90 odst. naših pogonov teče danes z asinhronskimi motorji in ti obratujejo le v ozkem področju s sinhronskim številom vrtiljajev. Če je prožnost gredne vezi tolikšna, da je lastna frekvenca sistema vsaj dvakrat manjša od motilne, je nevarnost resonance odpravljena. Tudi prehod preko resonančnega področja med zagonom ni nevaren, saj je pri elektromotorjih tako hiter, da sistem ne utegne zanihati na večje amplitude. Motorji z notranjim zgorevanjem obratujejo sicer v širšem območju spremenljive vrtilne hitrosti, vendar je njihov zagon večinoma tako težak, da jih moramo opremljati s sklopki, ki so hkrati tudi lahko zaščita proti preobremenitvam.

Pri standardnih izvedbah prožnih grednih vezi naj zato ne bo poudarjena pretirana trdnost iz strahu pred resonanco, temveč primerna prožnost. Zavedati se moramo, da so pri enakih izvedbah grednih vezi manjše velikosti prožnejše od večjih. Če iz previdnosti izberemo večjo velikost, obratujemo z manjšo prožnostjo. Zaščito proti preobremenitvi imamo tako v elektromotorju in njegovi elektrotehniški opremlitvi.

Tudi prednost velikega notranjega trenja pri izvedbah z gumijastimi vzmetmi je pogosto pretirano poudarjena v prospektih, saj navadno ne koristi niti med obratovanjem niti med zagonom. Močnejši izvor dušenja je asinhronski motor sam,



kajti njegova karakteristika je v področju obratovalne vrtilne hitrosti zelo strma in je zato s spremembo kotne hitrosti občutno spremenljiv vrtilni moment, ki ga oddaja.

Podobni pomisleki veljajo tudi za izvedbe grednih vezi z ukrivljenimi karakteristikami.

Če torej s pravilno določitvijo prožnosti gredne vezi izločimo možnost obratovanja v resonančnem območju, je ocenitev zvojne obremenitve med obratovanjem enostavna:

$$M_z = M_o + \zeta_l M_l + 2 M_p + 2 M_h.$$

Pri pogonih z asinhronskimi motorji se pojavljajo sunki z zagonskim momentom 2 do 3  $M_o$ , torej zvojna nihanja z obremenitvijo do 6  $M_o$ .

### RAZVOJNE MOŽNOSTI

Oglejmo si najprej razvojne možnosti, ki izhajajo iz glavnih značilnosti današnjih konstrukcij in njihovega dosedanjega razvoja.

1. Mogoča je še nadaljnja izpopolnitev nosilnosti prožnih členov pri grednih vezeh, če jih še smotrneje obravnavamo kot vzmeti. Za primerjavo in oceno posameznih vrst vzmeti sta v navadi faktorja vrednosti oblike in teže vzmeti. Ne moremo trditi, da bi bile pri današnjih grednih vezeh uporabljane oblike že najugodnejše. Potreba po popolni izrabi vzmetnega materiala postaja vedno občutnejša, ker prehajamo na izvedbe z večjo prožnostjo.

2. Mogoče je še nadaljnje zvečanje zvojne prožnosti, deloma s tem, da se priredi oblika vzmeti, deloma pa tudi z manj previdnim dimenzioniranjem. Tudi ta smer razvoja je zelo potrebna, saj današnje izvedbe ne morejo zadrževati prenosa momentnih sunkov zaradi obremenitve.

Iz popravljene definicije o delovanju prožnih grednih vezi povzemamo naslednjo možnost:

3. Tudi področje za uporabo zelo prožnih grednih vezi se lahko razširi. Ker dopuščajo povezavo in obratovanje dveh strojev z različnimi stopnjami ne-

enakomernosti, nadomeščajo v mnogih področjih vztrajnike.

Analiza zvojnih obremenitev grednih vezi kaže, da so podane v glavnem s karakteristikami pogonskega stroja, v veliki večini primerov asinhronskega motorja in da se moramo prav posebno ozirati na obratovalne pogoje ob zagonu. Močnejše dimenzioniranje vzmeti zaradi preobremenitev zmanjšuje njih prožnost. Iz tega lahko zaključujemo naslednje:

4. Obravnavanje prožnih grednih vezi kot dela celotnega elektromotorskega pogona daje za veliko večino primerov možnost za točno določitev obremenitev in skupno zaščito proti preobremenitvam in s tem osnovo za primerno prožno oblikovanje.

Za zaključek lahko ugotovimo, da razvoj današnjih prožnih grednih vezi še ne sme veljati za zaključen. Predvsem je mogoče še precej povečati zvojno prožnost, za kar je danih dovolj možnosti. Sebe potem bodo gredne vezi lahko postale to, kar potrebujemo, namreč priprave za tako povezavo pogonskih in delovnih strojev, da se razen normalnega vrtilnega momenta ne bodo prenašale od stroja na stroj nobene druge obremenitve. Za radialne in aksialne obremenitve je stvar že urejena, saj jih prevzemajo ležaji stroja, na katerem so nastale. Nesmiselna bi bila zahteva po določitvi večjega motorja zato, ker gredna vez od delovnega stroja prenaša močne aksialne obremenitve. Da delamo nekaj podobnega zaradi dodatnih zvojnih nihanj obremenitev, niti ne občutimo. Vendar obetajo nakazane možnosti za razvoj zelo prožnih grednih vezi, da lahko tudi neenakomernosti vrtilnih momentov lokaliziramo na stroj, na katerem nastajajo, in jih ne prenašamo na priključeni stroj. Take popolne gredne vezi bodo tudi v razvoju pogonskih naprav in delovnih strojev prinesle bistvene poenostavitve. Zato posvečajmo tudi njihovem razvoju primerno pazljivost.

Avtor: prof. dr. ing. Branko Kozina,  
Oddelek za strojništvo tehniške fakultete, Ljubljana

DK 621.311.21—791.2

## Stalna kontrola pretočnih količin na nizekotlačnih hidroelektričnih centralah

MILOŠ SFILIGOJ

Nizekotlačne hidrocentrale so najtežje dostopne za meritve pretočnih količin vode. Z opisano metodo pa dosežemo možnost stalne kontrole turbinskih agregatov oz. celotne hidrocentrale, hkrati pa daje ta kontrola, če je stalna, možnost, da se vodijo hidrološki podatki (seveda se ti lahko ugotavljajo samo, če z meritvami ugotovimo absolutne količine vode).

Kakor je znano, lahko vsak pretok fluida določimo z enačbo:

$$Q = K \sqrt{\Delta h} \quad (1)$$

Če imamo vodo, pomenijo:  $Q$  = volumenski pretok vode [ $m^3/s$ ],

$\Delta h$  = piezometrično razliko tlakov, merjenih v dveh točkah [ $m H_2O$ ],

$K$  = pretočno konstanto, ki je v vsakem primeru različna in jo je običajno potrebno določiti eksperimentalno.

Pri vseh hidrocentralah, kjer je dotok vode po tlačnem cevovodu, je razmeroma preprosto dobiti mesta, kjer se pojavlja dovolj velika tlačna diferenca. Že trenje v ravnem cevovodu da poten-