

DK 621—531

Naravna neenakomernost strojev

BRANKO KOZINA

Če hočemo govoriti o neenakomernosti strojev, si moramo najprej urediti definicije teh pojmov. Literatura navaja za posamezne vrste strojev najmanjše dopustne neenakomernosti, in sicer:

$\frac{1}{300}$ za generatorje za izmenični tok,

$\frac{1}{100}$ za predilne stroje,

$\frac{1}{80}$ za obdelovalne stroje,

$\frac{1}{20}$ za črpalke in kompresorje itd.

Če je neenakomernost generatorja večja od predpisane, tedaj se, kakor je znano, frekvenca toka menjava tako močno, da je spremenljiva svetloba in tudi razdelitev obtežbe med generatorji omrežja. Pri predilnih strojih se zaradi neenakomernosti pogonov trgajo niti, pri obdelovalnih strojih so obdelane površine neenakomerne itd.

Pojem neenakomernosti je v literaturi opredeljen kot neenakomernost kotne hitrosti

$$\delta_{\omega} = \frac{2(\omega_0 - \omega)}{\omega_0 + \omega}$$

Da ta definicija ni določena smotrno, vidimo kar iz prvega primera. Na predilnih strojih se trgajo niti, če je vlečna sila preveč neenakomerna, če se hitrost *hitro* spreminja, torej če so pospeški veliki. Vzrok neenakomernosti krožnega gibanja rotorjev so spremenljivi vrtilni momenti, spremenljive kotne hitrosti pa so samo njihova posledica. Zato moramo neenakomernosti strojev pravilno obravnavati kot *neenakomernost kotnih pospeškov oziroma vrtilnih momentov*

$$\delta = \frac{M}{M_0}$$

kjer pomeni M_0 osnovni enakomerni vrtilni moment, M pa spremenljivega.

Tudi drugo pomanjkljivost literature na področju neenakomernosti strojev moramo odpraviti. Nepravilna je namreč postala predpostavka, da pogonski stroj ne sme imeti večje stopnje neenakomernosti kakor delovni stroj ali ne more imeti manjše, saj imamo sedaj na voljo tudi zelo prožne gredne vezi, prožne sklopke in jermene, ki omogočajo *povezavo dveh strojev z različnimi stopnjami neenakomernosti*. S tem da spremenljivih vrtilnih momentov z določenimi pogoji skoraj sploh ne prenašajo, jih namreč lokalizirajo na stroje, kjer so

nastali. Ti imajo zato lahko večjo stopnjo neenakomernosti od priključenega stroja. Zato moramo ločiti

$$\delta_1 = \frac{M_1}{M_0} \quad \text{in} \quad \delta_2 = \frac{M_2}{M_0}; \quad M = M_1 + M_2$$

δ_1 — stopnjo neenakomernosti stroja, kjer spremenljivi vrtilni moment M nastaja in δ_2 drugega stroja, ki smo ga s prožno gredno vezjo zaščitili proti prenosu neenakomernega vrtilnega momenta od sosednjega stroja. Čim prožnejša je gredna vez, tem manjši je navadno vrtilni moment M_2 , ki ga prenaša na drugi rotor. Tem večji je potem M_1 , ki pospešuje prvi rotor. Natančnejše podatke sem podal v Strojniškem vestniku št. 1/56.

Več ko stoletna tradicija praktično togega povezovanja strojev — med njimi je bil navadno vsaj eden za neenakomernosti bolj ali manj občutljiv — je ustvarila v strojništvu osnovno predstavo, da je vsak stroj tem boljši, čim enakomernije dela. V ta namen opremljamo stroje, ki so že po naravi neenakomerni, kakor n. pr. batni stroji, z vztrajniki in jih umetno delimo na več edinic s tako razporeditvijo, ki dopušta medsebojno zmanjševanje neenakomernosti. Ali je vse to početje pravilno? Ali nam ne prinašajo povsod drugod v strojništvu ravno nasprotni ukrepi napredek: lahke konstrukcije in združevanje naprav v čimmanj velikih edinic? Do pravega spoznanja bomo prišli le tedaj, če si bomo zamislili medsebojno popolnoma neodvisno povezavo strojev, torej tako prožne gredne vezi, da ne bodo prenašale občutnih neenakomernosti od rotorja na rotor, kakor že ne prenašajo radialnih ali aksialnih obremenitev od ležajev enega stroja na ležaje sosednjega. Šele to nam bo dopuščalo ločeno in popolnoma neodvisno obravnavanje posameznih vrst pogonskih in delovnih strojev. Potrebno je prav tako, kakor specializacija v proizvodnji.

Na vsakem stroju se pojavljajo sicer spremenljivi vrtilni momenti, vendar samo na nekaterih zelo veliki, na drugih razmeroma majhni. Zato razlikujemo zelo neenakomerne vrste strojev in razmeroma enakomerne.

Navadno nastajajo spremenljivi vrtilni momenti nezaželeno kot posledica kinematike mehanizmov ali njih nepravilnosti. Včasih so pa tudi potrebni in deluje posamezen stroj tem zadovoljiveje, čim večje sunke lahko povzroča. Zato se nastajanju niti velikih niti majhnih spremenljivih momentov ne moremo izogniti. Njihov vpliv na delovanje posameznih strojev je različen; nekatere vrste v njihovem delovanju ovirajo, drugih zopet ne

Zato moramo ločiti za neenakomernost občutljive vrste strojev in neobčutljive vrste.

Občutljivosti za neenakomernost in neobčutljivosti so seveda pri različnih vrstah strojev postavljene določene meje. Pri občutljivih strojih neenakomernosti ne bomo zmanjševali bolj, kakor je ravno še potrebno, saj bi to podražilo konstrukcijo, izdelavo in obratovanje. Nasprotno pa je strojem, ki morajo ali lahko obratujejo neenakomerno, odrejena visoka meja neenakomernosti, pri kateri je izvedba še racionalna. Za vsako vrsto stroja je torej ravno neka določena stopnja neenakomernosti najprimernejša, imenujemo jo *naravno stopnjo neenakomernosti* δ_n . Izraz naravno stopnja sem izbral zato, ker je prirejena naravi posameznega stroja in gradimo dandanes mnogo strojev za umetno zmanjšane stopnje neenakomernosti, za tako majhne stopnje, kakršne so potrebne pri togi vezavi s stroji, ki so občutljivi za neenakomernost.

Navadno dobivamo nalogo, da povežemo stroj z veliko naravno stopnjo neenakomernosti δ_{n1} , na katerem nastaja spremenljivi vrtilni moment M , z drugim strojem z majhno stopnjo neenakomernosti δ_{n2} , pri čemer je na tem drugem stroju nastajajoči spremenljivi moment tako majhen, da ga lahko zanemarimo. V takem primeru je lahko

$$\delta_{n1} = \frac{M_1}{M_0}; \quad \delta_{n2} = \frac{M_2}{M_0};$$

saj se spremenljivi moment prenaša le v eni smeri, kakor smo to obravnavali že zgoraj. Z naravno stopnjo neenakomernosti drugega stroja δ_{n2} je podan M_2 , ki ga gredna vez lahko prenaša.

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

J_1 in J_2 sta vztrajnostna momenta obeh rotorjev. Določen je s tem tudi relativni faktor prenosljivosti gredne vezi ζ in njena prožnost.

Če je gredna vez tako prožna, da lahko oba stroja obratujeta vsak s svojo naravno stopnjo neenakomernosti, tedaj je pri obeh odvečno umetno zmanjševanje neenakomernosti z dodajanjem vztrajnostnih mas. To je za oba stroja kar se da ugodno. Niti še prožnejša gredna vez bi ne prinesla izboljšanja, marveč bi bila le brez potrebe dražja. Zato imenujemo zvojno prožnost gredne vezi, ki dopušča obratovanje strojev z naravno stopnjo neenakomernosti, *optimalno prožnost* za agregat.

Če nastaja tudi na občutljivem rotorju spremenljivi moment M_B , ki ga moramo upoštevati povrh momenta M_A na neenakomernem stroju, se spremenljivi moment prenaša v obeh smereh od stroja A na stroj B in obratno. V takem primeru je relacija med δ_{n2} in ζ oziroma prožnostjo gredne vezi podobna;

$$\delta_{n2} = \frac{M_{A2} + M_{B1}}{M_0}; \quad M_{A2} = \frac{M_A}{1+c} \zeta$$

$$M_{B1} = \frac{M_B}{1+c} (1-\zeta)$$

Potrebna pa je tudi kontrola, če ostaja δ_{n1} pod dopustno mejo

$$\delta_{n1} = \frac{M_{A1} + M_{B2}}{M_0}; \quad M_{A1} = \frac{M_A}{1+c} (1-\zeta)$$

$$M_{B2} = \frac{M_B}{1+c} (1-\zeta)$$

Z definicijo novega pojma naravne stopnje neenakomernosti strojev smo si potemtakem ustvarili osnovo, ki omogoča določitev najprimernejše prožnosti za povezavo teh strojev v agregate. Dosedanji način obravnavanja prožnosti grednih vezi je namreč zelo pomanjkljiv. Poslužujemo se »zelo prožne« gredne vezi, kadar želimo zmanjšati prenos sunkov. Sunki sami nas manj motijo kakor njihove posledice; to pa so neenakomernosti strojev in le-te moramo z računom zajeti čim točneje. Dosedanji splošni pojem prožnosti je ravno tako nezadosten, kakor je bil pojem »vročine« pri tehnoloških postopkih, za katere je potrebna ugotovitev temperaturnih področij. Tudi ugotovitev lastne frekvence sistema dveh prožno vezanih rotorjev ni dovoljna, čeprav je bližja definiciji optimalne zvojne prožnosti.

Pojem naravne stopnje neenakomernosti pa potrebujemo tudi še na drugem področju, in sicer kot osnovo za pravilno uvrščanje prožnih grednih vezi med naprave z namenom zmanjševanja neenakomernosti strojev. Vztrajnik zmanjšuje neenakomernost rotorja, ki mu je prigraden in na katerem se pojavlja spremenljivi moment. Tudi prožne gredne vezi zmanjšujejo neenakomernosti strojev, če s prožnostjo preprečujejo, da se na njih ne prenašajo neenakomerni momenti od sosednjih strojev. Obratovanje z naravnimi stopnjami neenakomernosti strojev povzroča najmanjšo izvedljivo velikost vztrajnikov in zato potrebno prožnost. Iz gospodarskih in drugih razlogov se lahko tudi oddaljujemo od nekoč ugotovljenega optima.

Zelo prožne gredne vezi in sklopke so že z uspehom uvedene na nekaterih ozkih področjih za uporabo. Pri tem pa obetajo novo pripravo za zmanjševanje neenakomernosti strojev, ki odpira široko področje možnosti za gradnjo lažjih in cenejših agregatov. Na poti do sredine tega področja pa so za zdaj še tri ovire: pomanjkanje občutka, da so za mnoge vrste strojev ugodnejše večje neenakomernosti od današnjih, pomanjkanje podatkov o naravnih stopnjah neenakomernosti strojev in pomanjkanje konstrukcij grednih vezi s še večjo prožnostjo od današnjih »zelo prožnih«. Vsi pogoji za odstranitev teh ovir so dani.