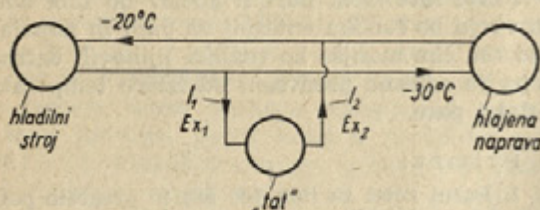


DK 620.92:536.7

Energija — eksnergija

Profesor Grassmann mi je nedavno v Zürichu povedal zanimiv primer v zvezi s hladilno napravo po naslednji shemi:



Hladilni stroj in hlajena naprava sta povezana z daljšim dvojnimi cevovodom, skozi katerega doteka hlajeni napravi vodna raztopina klorkalcija s koncentracijo 0,25 in temperaturo $T_1 = -30^\circ\text{C} = 243^\circ\text{K}$. V hlajeni napravi se slanica segreje za 10 stopinj na $T_2 = 253^\circ\text{K}$. Temperatura okolice $T_0 = 10^\circ\text{C} = 283^\circ\text{K}$. Nekdo navrti oba cevovoda in odvzema — »krade« — iz njih mrzlo slanico ter jo vrača segreto za 10 stopinj.

Ob tožbi »tatu« pa nastanejo težave pri formulaciji, kaj je pravzaprav »kradel«: slanice prav gotovo ne, saj je vso vrnil v cevni sistem; energije prav tako ne, saj jo celo dovaja slanici, ker jo segreva.

Pravi odgovor je: »ukradena« je bila eksnergija ali delozmožnost iz slanice.

Kontrolirajmo naše trditve z računom! Zato potrebni številčni podatki so:

Energijo in entropijo pričnemo šteti pri 0°C . Specifična toplota slanice je v danem območju sprememb stanja konstantna: $c = 2,89 \text{ kJ/kg}^\circ$.

Vse količine računamo za 1 kg odvzete slanice.

$$\begin{aligned} \text{Energije:} \quad i_1 &= 1,2,89 \cdot (-30) = -86,7 \text{ kJ} \\ i_2 &= 1,2,89 \cdot (-20) = -57,8 \text{ kJ} \\ \text{Prirastek energije} &= 28,9 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Eksnergija se izračunava po obrazcu

$$ex = i - i_0 - T_0(s - s_0),$$

pri čemer se indeks »o« nanaša na stanja v ravnotežju z okolico.

$$i_0 = 1,2,89 \cdot 10 = +28,9 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} s_1 - s_0 &= 1 \cdot c \cdot \int_0^1 \frac{dT}{T} = 1,2,89 \ln \frac{T_1}{T_0} = 1,2,89 \ln \frac{243}{283} = \\ &= -0,489 \text{ kJ/}^\circ\text{K} \end{aligned}$$

$$s_2 - s_0 = 1,2,89 \ln \frac{T_2}{T_0} = 1,2,89 \ln \frac{253}{283} = -0,324 \text{ kJ/}^\circ\text{K}$$

Iz gornjih vrednosti izhaja

$$ex_1 = -86,7 - 28,9 - 283(-0,489) = 22,9 \text{ kJ}$$

$$ex_2 = -57,8 - 28,9 - 283(-0,324) = 4,9 \text{ kJ}$$

$$\text{zmanjšanje eksnergije} = 18,0 \text{ kJ}$$

Kljub prirastku energije v »tatu« napravi za 28,9 kJ na vsak kg »izposojene« hladilne slanice se je tam eksnergija slanice zmanjšala za 18,0 kJ na vsak kg. To eksnergijo je »tat« porabil zase.

Prof. dr. ing. Z. Rant

DK 621—58

Regulirni pogoni

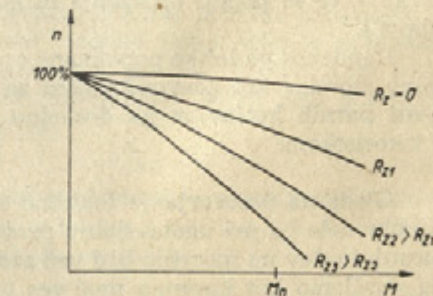
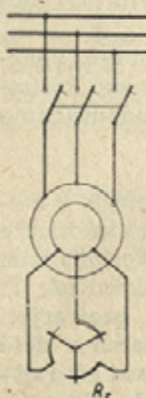
DRAGO MATANOVIČ

Razvoj električnega pogona orodnih strojev teži v čedalje večji meri ne samo k poedinskemu pogonu vsakega posameznega stroja, temveč k neposrednemu poedinskemu pogonu vsake posamezne delovne operacije. Tako nahajamo pri sodobnih orodnih strojih pogosto mnogo posameznih pogonskih motorjev.

V večini primerov ustrezajo navadni asinhronski motorji. Pomanjkljivost teh motorjev je, da imajo kot kletkasti motorji konstantno hitrost vrtenja, ki se sploh ne da spreminjati, kot motorji z drsnimi obroči in rotorskimi upori pa, da sicer lahko zmanjšujemo hitrost vrtenja v določenih mejah, vendar je ta regulacija hitrosti vrtenja pomanjkljiva.

V mnogih primerih zahtevamo, da lahko reguliramo hitrosti vrtenja v manjšem ali večjem območju ali pa je potrebno celo hitro reverziranje ipd. Zato ne bo odveč, če pogledamo posamezne možnosti, kakršne imamo in jih moramo upoštevati pri pravilni izbiri pogonskega motorja. Pri tem se hočemo v tem članku omejiti predvsem na zahteve glede regulacije hitrosti vrtenja in ne bomo obravnavali mnogih drugih zahtev glede izbire motorja, tako na primer glede na momentno karakteristiko gnanega bremena; glede zadostnega začetnega vrtilnega momenta motorja, glede izbire moči motorja pri prekinjevanem ali kratkotrajnem obratovanju itd.

Kakor smo že omenili, ne moremo regulirati hitrosti vrtenja navadnega asinhronskega motorja s kletko. To je možno edino s tem, da spreminjamo frekvenco napetosti, na katero je priključen. To bi bilo sicer izvedljivo preko posebnih strojnih skupin, vendar



Sl. 1

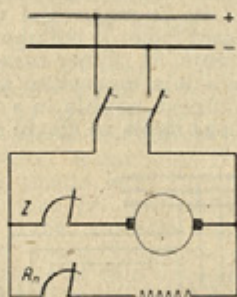
Sl. 2

je nerodna rešitev, ki navadno ne prihaja v poštev. Če pa se zadovoljimo z nekaterimi stopnjami hitrosti vrtenja, lahko uporabljamo kletkasti motor s preklopljivimi poli. V preprostejši izvedbi ima ta dve hitrosti vrtenja, ki sta si v razmerju 2:1 in je motor torej grajen na primer za število vrtiljajev 1440 in 720 min⁻¹. Statorsko navitje je izvedeno na poseben način in v njegovem dovodu imamo pretikalo za preklpitev tega navitja. Obstajajo tudi kletkasti motorji, katerih hitrost vrtenja lahko nastavljamo v več stopnjah, ki ustrezajo trem ali štirim različnim sinhronskim hitrostim. Motorjev z drsnimi obroči in rotorskimi upori ter pre-

klopljivimi poli običajno ne izdelujemo, ker je potrebno, da preklapljammo obenem s statorskim navitjem tudi rotorsko navitje, kar je precej nerodna in draga rešitev.

Pri asinhronskem motorju z drsnimi obroči lahko zmanjšujemo hitrost vrtenja z rotorskimi upori v vezavi po sl. 1. Pomanjkljivost tega načina reguliranja je, da porabljamo v rotorskih uporih delo. To izgubljeno delo je nasproti koristno oddanemu delu v istem sorazmerju, kakor je relativno zmanjšanje hitrosti vrtenja. Druga pomanjkljivost je ta, da je dosežena hitrost vrtenja odvisna ne samo od upornosti v rotorski krog vključenih uporov (R_{z1} , R_{z2} , R_{z3}) in od trenutnega momenta bremena. Zlasti vidimo, da ne moremo zmanjšati hitrosti vrtenja pri neobremenjenem stroju. Vidimo, da so te karakteristike tem položnejše, čim večja je upornost v rotorski krog vključenih uporov. Ta način reguliranja hitrosti uporabljamo v nekaterih primerih. Izgube so razmeroma majhne tedaj, če narašča moment bremena gnanega stroja s kvadratom hitrosti vrtenja. Takšno momentno karakteristiko imajo na primer ventilatorji.

Reguliranje hitrosti vrtenja dopuščajo nadalje kolektorski motorji na trifazni tok. Največ uporabljamo tako imenovani stranskostični kolektorski motor na trifazni tok, pri katerem napajamo rotor. Hitrost vrtenja reguliramo preprosto s prestavitvijo ščetk na kolektorju. Te motorje gradijo do moči nekaj sto kilowattov in dopuščajo dejansko zvezno regulacijo hitrosti vrtenja brez izgub v razmerju do približno 1:3. Večjo uporabo teh motorjev brani njihova razmeroma zelo visoka cena. Zato uporabljamo te motorje le v redkih primerih, kjer je važno stalno in zvezno reguliranje hitrosti vrtenja, na primer pri nekaterih tekstilnih strojih.



Sl. 3.

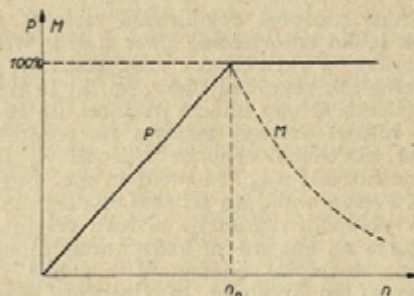
Zelo lepo lahko reguliramo hitrost vrtenja motorja na enosmerni tok v stranskem stiku. Slika 3 kaže shematično vezavo takšnega motorja z zaganjačem Z in regulirnim uporom R_n , ki je vključen kot regulator hitrosti vrtenja zaporedno z vzbujalnim navitjem neposredno na napetost omrežja. Oba upora sta lahko združena v enem aparatu. Če zanemarimo padec napetosti v kotvi, je inducirana notranja napetost E stroja sorazmerna produktu magnetnega fluksa Φ in hitrosti vrtenja n ($E = k_1 \Phi n$). Ta notranja napetost stroja mora držati ravnovesje zunanji gonilni napetosti U . Zato velja enačba $U = k_1 \Phi n$. Hitrost vrtenja je torej po enačbi $n = k \cdot U / \Phi$ z zadostno natančnostjo neposredno sorazmerna napetosti in obratno sorazmerna magnetnemu fluksu. Če bi hoteli upoštevati še ohmsko upornost R kotve, po kateri teče tok J obremenitve, pa velja enačba $n = k (U - JR) / \Phi$.

Večinoma imamo konstantno napetost napajanja. V tem primeru lahko povečamo hitrost vrtenja motorja na enosmerni tok v stranskem stiku z navedenim regulatorjem vrtljajev. Pri tem dosežemo regulirno

območje do 1:3 ali največ 1:4 pri posebni izvedbi stroja s kompenzirnim navitjem. V večjem območju zato ne moremo regulirati hitrosti vrtenja, ker je pri večji hitrosti vrtenja magnetno polje šibkejše in postaja končno razmeroma zelo šibko proti prečnemu polju kotve.

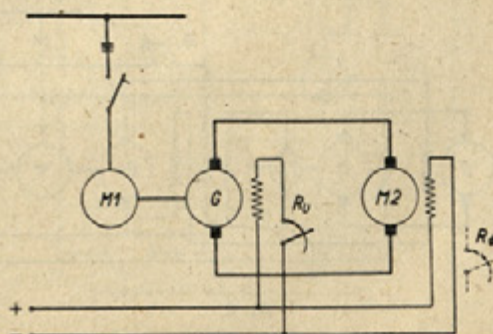
Enosmerne napetosti večinoma nimamo, temveč jo moramo dobiti z motorgeneratorji ali usmerniki iz trofaznega omrežja. Na tako dobljeno enosmerno napetost lahko priključujemo enosmerno omrežje za napajanje večjega števila motorjev na enosmerni tok, na primer v tovarni ali obratu tovarne. V tem primeru konstantne napetosti omrežja lahko torej hitrost vrtenja le povečamo. Motor na enosmerni tok v stranskem stiku moramo torej izbrati po osnovni hitrosti vrtenja, ki ustreza najmanjši hitrosti vrtenja pri najmočnejšem magnetnem fluksu. Pri tem moramo upoštevati, kako se spreminjata moč in moment motorja s hitrostjo vrtenja glede na moment bremena.

Moč motorja na enosmerni tok v stranskem stiku je $P = EJ = k_1 \Phi n J$ ter njegov vrtilni moment $M = P/\omega = k_1 \Phi J / 2\pi = k_2 \Phi J$.



Sl. 4.

Motor zaženemo navadno z največjim vzbujalnim tokom, to je z najmočnejšim fluksom. Zagonski tok spreminjamo z zagonskimi upori dejansko v nekih mejah. Če pa predpostavljamo poenostavljeno, da je v tem času zagona tok konstanten in enak imenskemu toku obratovanja, je moment motorja med zagonom konstanten, njegova moč pa narašča s hitrostjo vrtenja. Če hitrost sedaj povečamo preko osnovne hitrosti vrtenja n_0 z zmanjšanjem magnetnega fluksa, ostane moč konstantna, ker lahko smatramo, da je praktično produkt magnetnega fluksa in hitrosti vrtenja n konstanten, saj je ohmski padec napetosti v kotvi zelo majhen proti inducirani notranji napetosti stroja. Zato mora moment motorja v območju regulirane hitrosti vrtenja pojemati s hitrostjo vrtenja. Moč in moment motorja na enosmerni tok v stranskem stiku se spreminjata torej po diagramu slike 4. Pri dimenzioniranju motorja na enosmerni tok v stranskem stiku moramo torej pravilno izbrati motor tako, da ima pri vseh v postev prihajajočih hitrostih vrtenja zadosten vrtilni moment in zadostno moč.



Sl. 5.

Zelo pogosto dobimo enosmerno napetost za napajanje motorja na enosmerni tok s posebno strojno skupino, to je z motorgeneratorjem. Ta Ward Leonardova vezava omogoča zelo preprosto reguliranje hitrosti vrtenja, zlasti tudi pri majhnih hitrostih vrtenja. Osnovno vezavo kaže slika 5. Navadno imamo poseben vzbujalni generator na enosmerni tok, ki dela s konstantno napetostjo in imata torej generator in motor za enosmerni tok tuje vzbujaanje. Reguliramo pa predvsem napetost generatorja za enosmerni tok z regulirnim uporom, to je regulatorjem napetosti R_U . Tako dovajamo motorju M2 spremenljivo napetost $\bar{U}$ v poljubnih mejah od nič do neke največje napetosti U_0 . Ker je po prejšnjem obrazcu hitrost vrtenja motorja na enosmerni tok pri konstantnem magnetnem fluksu neposredno sorazmerna z napetostjo, lahko reguliramo hitrost vrtenja v širokih mejah prav tako od zelo majhne do neke največje hitrosti vrtenja n_0 , ki jo dosežemo pri največji enosmerni napetosti. Tu izkoriščamo torej prvo možnost reguliranja hitrosti vrtenja motorja na enosmerni tok z napetostjo, medtem ko smo prej uporabljali drugo možnost, to je spreminjanje magnetnega fluksa, ki omogoča, kakor smo videli, le povečanje hitrosti vrtenja nad določeno osnovno hitrost n_0 .

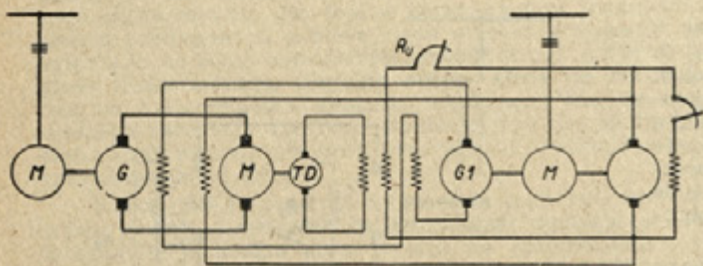
To drugo možnost reguliranja motorja na enosmerni tok lahko izkoriščamo sicer tudi v Ward Leonardovi vezavi, če vključimo v vzbujalni krog motorja na enosmerni tok regulirni upor R_U , ki je na sliki 5 označen črtkano. S tem imamo možnost, da še nadalje povečamo hitrost vrtenja motorja na enosmerni tok preko prej navedene osnovne hitrosti n_0 do neke maksimalne hitrosti n_{max} . Moment in moč pogonskega motorja M2 se spreminjata pri tem po diagramu vrtenja sl. 5. V območju regulacije hitrosti vrtenja pogonskega motorja na enosmerni tok s spreminjanjem napetosti generatorja za enosmerni tok ima pogonski motor konstanten moment in linearno naraščajočo moč, v območju regulacije s spreminjanjem vzbujaanja motorja samega pa ima konstantno moč in hiperbolično pojemajočo moment. V tem območju mora biti moč konstantna, ker dobi motor največjo napetost in ker jakosti toka ne smemo povečati preko nominalne vrednosti.

Ta Ward Leonardova vezava se odlikuje torej po tem, da lahko reguliramo hitrost vrtenja v širokem območju brez izgub v uporih. Hkrati pa moramo upoštevati, da imamo tri stroje, od katerih mora biti vsak grajen za vso moč in je celotni izkoristek vse skupine podan s produktom izkoristka posameznih strojev.

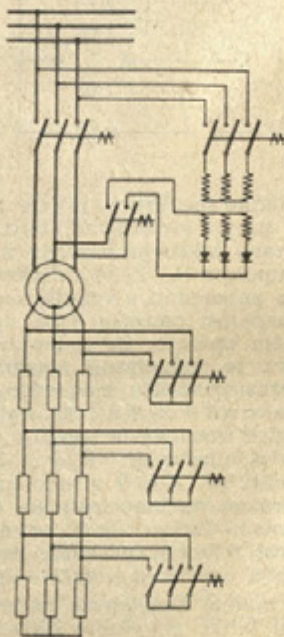
Padeč napetosti v kotvi generatorja in motorja za enosmerni tok, kakor tudi remanentni magnetizem, povzročata težave, če želimo zelo natančno regulirati hitrost vrtenja. Ohmski padeč napetosti v generatorju in motorju za enosmerni tok povzroča, da se hitrost vrtenja pogonskega motorja na enosmerni tok nekoliko zmanjša z obremenitvijo. Tako ima motor za posamezne stopnje vzbujaanja generatorja karakteristike vrtiljajev v obliki rahlo padajočih premic. Remanentni magnetizem pa obenem ne dopušča, da bi obratovali z zelo majhnimi hitrostmi vrtenja pogon-

skega motorja na enosmerni tok. Tem pomanjkljivostim se lahko izognemo na razne načine, predvsem pa s posebnimi načini vzbujaanja. Tako na primer imamo pogosto poseben vzbujalni stroj, tako za generator za enosmerni tok kakor tudi za pogonski motor na enosmerni tok. S tem dosežemo, da smo glede vzbujaanja vsakega posameznega stroja za enosmerni tok neodvisni in ne reguliramo več glavnega vzbujalnega toka obeh strojev za enosmerni tok, temveč vzbujalni tok obeh vzbujalnih generatorjev. To je velika prednost pri velikih strojih, pri katerih je glavni vzbujalni tok tudi razmeroma velik, kar zahteva zelo velike regulirne upore z mnogimi stopnjami, ki so dragi in jih že težko upravljamo. Razen tega je regulacija tedaj počasnejša zaradi velike časovne konstante takšnega vzbujalnega kroga.

S krmilnimi generatorji, ki so znani v nekoliko se razlikujočih izvedbah z različnimi imeni, kakor na primer amplidina, rototrol itd., se da doseči, da je hitrost vrtenja pogonskega motorja na enosmerni tok neodvisna od obremenitve oziroma da jo lahko napravimo preprosto odvisno od poljubne želene velikosti, glede katere hočemo regulirati, kakor na primer glede na hitrost vrtenja. Krmilni generator je torej poseben vzbujalni stroj, ki ima razen osnovnega vzbujalnega navitja vsaj še dvojico drugih vzbujalnih navitij, ki magnetita v nasprotnem smislu. Eno teh vzbujalnih navitij je pod vplivom velikosti, ki jo hočemo regulirati. Če je ta velikost na primer hitrost vrtenja, ki naj ostane konstantna, tedaj teče po drugem vzbujalnem navitju tok, ki je sorazmeren hitrosti vrtenja. Dobimo ga iz posebnega majhnega generatorja za enosmerni tok s permanentnimi magneti, tako imenovanega tahometrskega dinama. Tretje navitje pa je pod vplivom napetosti oziroma toka, ki je sorazmeren želeni hitrosti vrtenja, kakršno naj ima pogonski motor na enosmerni tok in ki jo na primer nastavimo s primernim uporom ali pa primerno spreminjamo, na primer v odvisnosti od časa. Če ima pogonski motor na enosmerni tok dejansko želeno hitrost vrtenja, si magnetilna vpliva drugega in tretjega vzbujalnega navitja nasprotujeta in učinkuje dejansko le magnetilni vpliv prvega navitja. Če pa pogonski motor iz poljubnega razloga nima želene hitrosti vrtenja, na primer zaradi trenutno večje obremenitve, prevladuje magnetilni vpliv ali drugega ali tretjega vzbujalnega navitja in s tem se spremeni napetost vzbujalnega stroja za glavni generator za eno-



Sl. 6.



Sl. 7.

smerni tok tako, da dobi motor spremenjeno napetost, pri kateri ima zopet pravilno hitrost vrtenja. Primer vezave Ward Leonardove skupine s takšnim vzbujalnim strojem G1 s tremi navitji kaže sl. 6. Zeleno hitrost vrtenja pogonskega motorja na enosmerni tok naravnano z regulirnim uporom R_L .

Velika prednost teh posebnih krmilnih vzbujalnih strojev je nadalje v tem, da z njimi lahko povečamo območje regulacije hitrosti vrtenja pogonskega motorja na enosmerni tok do zelo majhnih hitrosti vrtenja in da izredno hitro reguliramo. Pravzaprav močno ojačujemo prejete spremembe. Uporabljamo jih lahko zelo vsestransko za regulacijo, na primer za konstantno hitrost vrtenja ali za spreminjanje hitrosti vrtenja po vnaprej določenem programu, če prestavimo regulirni upor R_L na primer s profilnim grebenom avtomatsko v odvisnosti od poljubne veličine, na primer od poti, tlaka, temperature, od osvetljenosti ipd. Prav tako omogočajo zelo hitro reverziranje.

Namesto teh vrtečih se krmilnih strojev lahko uporabljamo za krmiljenje tudi elektronske ojačilnike, na primer tiratrone, ali pa magnetne ojačilnike. Le-ti so v bistvu transformatorji, ki delajo z dodatnim magnetenjem po enosmernem toku. Predaleč bi nas vodilo, če bi hoteli tu podrobneje tolmačiti njihovo delovanje.

Posebna zahteva se pojavlja včasih pri nekaterih pogonih, če moramo stroj pogosto zaganjati in precizno ustavljati ter morebiti še spreminjati smer vrtenja. To reverziranje lahko izvajamo pri vsakem asinhronskem motorju, bodisi z rotorjem na kletko bodisi z rotorjem z drsnimi obroči. Če motor odklopimo od omrežja, se ustavi prej ali slej in je ta čas zaviranja odvisen od obremenitve, od vztrajnostnega momenta vrtečih in premikajočih se mas ter od trenja. Nato ga lahko zaženemo na roko v drugo smer vrtenja s pretikalom, ki spreminja dva priključka motorja. Čas ustavljanja lahko bistveno skrajšamo, če motor mehansko ali električno zaviramo. To električno zaviranje lahko izvajamo na razne načine, na primer pri asinhronskem motorju tako, da njegov stator odklopimo od omrežja in ga takoj nato zopet priključimo za nasprotno smer vrtenja (zaviranje z nasprotnim tokom). Pri tem vzame iz omrežja tudi velik tok, čeprav vključimo pri tem načinu zaviranja pred kletkastim motorjem statorske upore. Večinoma pa uporabljamo motor z drsnimi obroči in zaviramo z vključenimi rotorskimi upori, ki služijo sicer tudi pri zagonu. Da zmanjšamo jakost toka pri tem načinu zaviranja in dobimo primerno velik zaviralni moment, moramo imeti v rotorskem krogu večinoma večje upore in v več stopnjah, kakor bi bile potrebne le za zagon. Pomanjkljivost tega zaviranja z nasprotnim tokom je, da trošimo pri zaviranju energijo iz omrežja. Glede tega je ugodnejše zaviranje z enosmernim tokom, tako da odklopimo stator od omrežja in ga napajamo z enosmernim tokom znatno nižje napetosti, na primer preko kovinskih usmernikov v vezavi sl. 7. Nadalje lahko zaviramo asinhronski motor do razmeroma zelo majhne hitrosti vrtenja s tem, da ga po odkloplitvi od omrežja frekvence 50 Hz priključimo na napetost znatno manjše frekvence, na primer 3 do 5 Hz, kakršno dobimo iz posebnega frekvenčnega pretvornika.

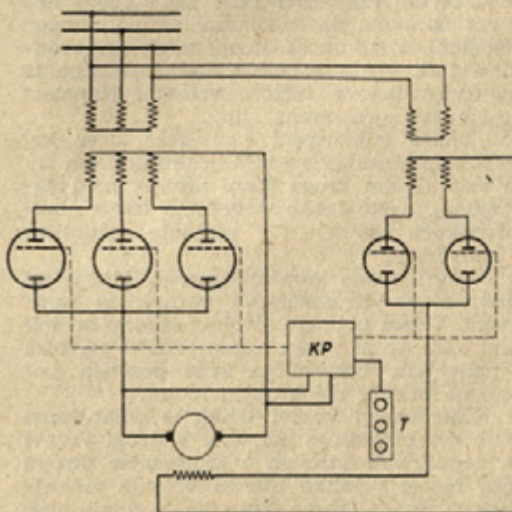
Pogosto reverziranje motorja, katerega hitrost vrtenja moramo obenem regulirati, izvajamo najlažje z motorjem na enosmerni tok v prej navedeni Ward Leonardovi vezavi, če imamo na gredi motorgeneratorja vztrajnik. To Ilgnerjevo strojno skupino uporabljamo pogosto, če želimo, da se ne prenašajo na omrežje sunki obremenitve, kakršni se pojavljajo na primer zlasti pri valjalnikih. Pogonski motor na enosmerni tok prenese sunek obremenitve na generator za enosmerni tok, dalje pa ga prestreže vztrajnik, ki oddaja potrebno delo. Pri tem se mora zmanjšati njegova hitrost vrtenja in prav tako hitrost vrtenja motorgeneratorja. Ker pa je hitrost vrtenja asinhronskega

motorja pri kratko sklenjenem rotorju le zelo malo odvisna od obremenitve, mu moramo pri sunku obremenitve umetno zmanjšati hitrost vrtenja z avtomatsko vključitvijo rotorskih uporov. Obratujemo lahko sicer tudi s stalno vključenimi rotorskimi upori, ker tedaj hitrost vrtenja asinhronskega motorja močnejše pojema z obremenitvijo, vendar bi bilo to manj gospodarna, pa tudi manj učinkovita rešitev. Zato pri Ilgnerjevem pogonu ne moremo uporabljati sinhronskega motorja kot pogonskega motorja motorgeneratorjske skupine, ker sinhronski motor s svojo togo karakteristiko vrtljajev ne dopušča zmanjšanja hitrosti vrtenja. Pri Ward Leonardovem pogonu pa lahko uporabljamo ali asinhronski ali sinhronski motor za pogon generatorja za enosmerni tok.

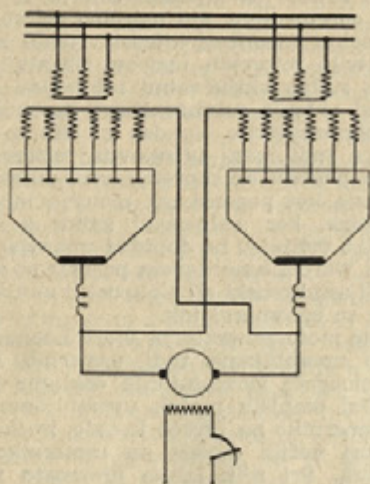
Namesto motorgeneratorja Ward Leonardove skupine lahko uporabljamo tudi usmernik s krmilno mrežo, ki omogoča spreminjanje dobljene enosmerne napetosti. Pri manjših močeh uporabljamo s plinom polnjene usmernike na žarečo katodo, imenovane tudi tiratrone, pri večjih močeh pa usmernike na paro živega srebra. Pri njih lahko preprosto reguliramo dobljeno enosmerno napetost v velikem območju in nam tako nadomeščajo motorgeneratorje. Vezava slike 8 omogoča tako spreminjanje napetosti v glavnem krogu kotve kakor tudi v posebnem vzbujalnem krogu motorja. To dosežemo s tem, da imajo usmerniki nakazane mreže, katerih potencial lahko spreminjamo preko posebne krmilne priprave KP. S tipkami T pa zaganjamo motor v eno ali drugo smer vrtenja ter spreminjamo njegovo hitrost vrtenja oziroma ga ustavljamo. Težave nastajajo le tedaj, če obstaja možnost, da bi moral delati pogonski motor v generatorskem območju, na primer pri spuščanju bremena z dvigalno napravo. Navaden usmernik namreč ne dopušča, da bi se spremenila smer energijskega toka. Zato moramo uporabljati v takih primerih posebne vezave dveh usmernikov, na primer po sl. 9. Za vsako smer vrtenja dela po en usmernik, drugi pa omogoča obenem generatorsko zaviranje.

Ti usmerniški pogoni se odlikujejo zlasti po tem, da je njihov izkoristek večji od izkoristka pogonov s strojnimi skupinami.

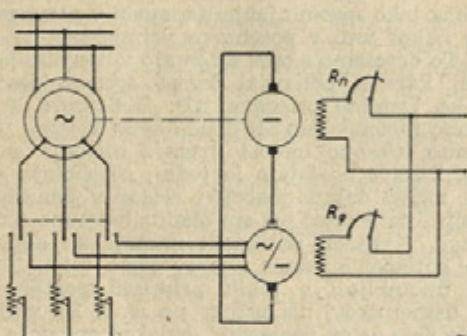
Omeniti moramo še Kraemerjevo vezavo. Asinhronski motor z drsnimi obroči je po shematični vezavi sl. 10 neposredno vezan s strojem za enosmerni tok. Rotor asinhronskega motorja ima zagonske upore po zagonu pa ga preklapimo na enokotveni konverter, ki spreminja prejeti trofazni tok rotorja v enosmerni tok, s katerim napajamo prej navedeni motor na enosmerni tok. Ta enokotveni konverter spreminja trofazno napetost rotorja asinhronskega motorja v enosmerno napetost za napajanje stroja za enosmerni



Sl. 8



Sl. 9.



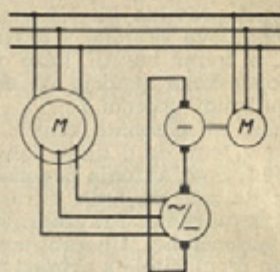
Sl. 10.

tok v določenem nespremenljivem razmerju. Enokotveni konverter predstavlja torej pravzaprav uporno napetost v rotorskem krogu, podobno kakor povzročajo tudi v rotorski krog vključeni upori uporno napetost. Iz tega izhaja, da mora teči asinhronski motor tem počasneje, čim večja je uporna napetost enokotvenega konverterja. In to uporno napetost enokotvenega konverterja lahko spreminjamo s tem, da spremenimo napetost stroja za enosmerni tok z regulirnim uporom R_n . Če zmanjšamo upornost tega regulirnega upora, se stroj za enosmerni tok vzbuja močneje in večji magnetni fluks povzroča večjo napetost. Če imamo na sponkah tega stroja za enosmerni tok večjo napetost, dobi tudi enokotveni konverter prav tako večjo napetost, in sicer ne samo na enosmerni strani, temveč tudi na izmenični. Zato mora imeti rotor asinhronskega motorja tudi večjo napetost, kar je možno le tako, da pojema njegova hitrost vrtenja. Napetost v rotorju je namreč sorazmerna slipu.

Ker se obnaša enokotveni konverter sicer kot sinhronski stroj, spreminjamo z regulirnim uporom R_r v njegovem vzbujalnem krogu fazni premik med napetostjo in tokom. Tako lahko povečamo $\cos \varphi$ glavnega asinhronskega motorja, če močneje vzbudimo enokotveni konverter.

Pri tej vezavi imamo konstantno moč. Možna pa je tudi spremenjena Kraemerjeva vezava za konstantni moment. V tem primeru stroj za enosmerni tok po shematični sliki 11 ni vezan neposredno z glavnim pogonskim motorjem, temveč ga žene poseben pogonski motor, na primer asinhronski motor.

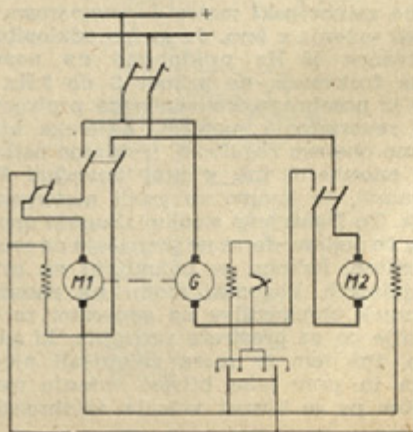
Pri tej Kraemerjevi vezavi lahko le zmanjšamo hitrost vrtenja asinhronskega motorja. V drugi vezavi z dodatnim regulirnim strojem v rotorskem krogu asinhronskega motorja lahko hitrost vrtenja zmanjšamo ali povečamo in razen tega še spreminjamo njegov fazni premik med napetostjo in tokom. V bistvu



Sl. 11.

dodaja regulirni stroj v krog rotorja napetost, katere velikost in fazno lego lahko poljubno spreminjamo proti napetosti rotorja samega. Te strojne skupine uporabljamo pravzaprav le redko, ker deluje trofazni kolektorski motor v bistvu prav po istem načelu.

Le v redkih primerih imamo na voljo enosmerno napetost iz omrežja. Tedaj bi sicer tudi lahko uporabljali Ward Leonardovo skupino z motorjem na enosmerni tok namesto asinhronskega motorja. Ta rešitev pa bi bila razmeroma draga in je ne uporabljamo, ker imamo za ta primer ugodnejšo strojno skupino z dodatnim generatorjem. Pogonski motor za enosmerni tok žene po osnovni vezavi sl. 12 generator za enosmerni tok, katerega napetost lahko reguliramo v primernih mejah, pogosto od nič do višine napetosti omrežja, in to napetost dodajamo v pozitivnem ali negativnem smislu napetosti omrežja. Motor M1 motorgeneratorske skupine se vrti s konstantno hitrostjo vrtenja. Napetost dodatnega generatorja lahko spreminjamo do poljubne primerne vrednosti U_1 , ki jo dodajamo napetosti U omrežja. Tako dobi motor poljubno napetost med mejama $(U + U_1)$ in $(U - U_1)$. Pri tem moramo napetost dodatnega generatorja izbirati po območju zelene regulacije hitrosti vrtenja motorja M2. Če je napetost dodatnega generatorja enaka napetosti omrežja ($U_1 = U$), dobi pogonski motor M2 napetost, ki ma poljubno višino od $U - U = 0$ do $U + U = 2U$. Grajen mora biti v tem primeru torej za dvojno napetost omrežja. Smer vrtenja tega pogonskega motorja lahko spreminjamo s tem, da spremenimo s pretikalom smer njegovega vzbujalnega toka. Prednost te strojne skupine proti Ward Leonardovi skupini je v tem, da mora biti motorgenerator dimenzioniran le za manjšo moč, to je za del moči pogonskega motorja M2, pri čemer je ta moč tem manjša, čim manjše območje regulacije zahtevamo. Pri popolni regulaciji hitrosti vrtenja, ko ima dodatni generator napetost, ki je enaka napetosti omrežja, morata imeti dodatni generator in njegov pogonski motor polovično moč pogonskega motorja M2, katerega hitrost hočemo regulirati, če ne upoštevamo še izgub v dodatnem generatorju.



Sl. 12.

Seveda obstajajo še nadaljnje možnosti, da v večjem ali manjšem obsegu reguliramo hitrost vrtenja motorjev. Tako lahko na primer vezemo dva povsem enaka sinhronska stroja z drsnimi obroči tako, da skupaj ženeta svoje breme. Ta dva neposredno vezana motorja sta priključena za nasprotno smer vrtenja in si tako tudi nasprotujeta njihova vrtilna momenta. Vsak motor ima svoje posebne rotorske upore, ki jih lahko posebej reguliramo neodvisno druge od drugih. Če imamo v rotorskem krogu vsakega teh dveh enakih motorjev rotorske upore različne upornosti, je vrtilni moment obeh motorjev različen in prevladuje vrtilni moment enega motorja. Tako lahko dosegamo vsako poljubno hitrost vrtenja. Ta način regulacije hitrosti pa je zelo negospodaren in ga zato navadno ne uporabljamo.

Nadalje lahko povezujemo dva asinhronska motorja z različnim številom polov, to je različno sinhronsko hitrostjo vrtenja. Motor z večjo sinhronsko hitrostjo vrtenja je asinhronski motor z drsnimi obroči in nanj priključenimi rotorskimi upori, s katerimi lahko zmanjšamo hitrost vrtenja navzdol, recimo od 960 na 730 vrtljajev na minuto. Drugi motor je šestpolen in se vrti normalno s 730 vrtljaji. Pri tej hitrosti vrtenja dela le drugi motor, ki je lahko manjši. Če ima rotorske upore, lahko nadalje zmanjšamo hitrost vrtenja. Ta dva neposredno vezana asinhronska motorja poganjata torej svoje breme izmenoma, in sicer močnejši motor z večjo sinhronsko hitrostjo vrtenja pri večjih hitrostih vrtenja, drugi motor manjše moči in manjše sinhronske hitrosti vrtenja pa pri manjših hitrostih vrtenja. Prednost te, sicer dražje rešitve bi bila le v tem, da zmanjšamo joulske izgube v rotorskih upo-

rih. Če pa vezemo stator drugega motorja na rotor prvega motorja in delata oba motorja, je hitrost vrtenja te skupine manjša in ustreza vsoti števila polov obeh motorjev. To je kaskadna vezava dveh asinhronskih motorjev, ki je tudi že zastarela.

Ker se čedalje v večji meri zahteva obširnejša in natančnejša regulacija hitrosti vrtenja pri raznih orodnih strojih, se tudi v čedalje večji meri uveljavljajo opisani regulirni pogoni in zlasti tudi usmerniški pogoni. Tako tudi opažamo, da je v zadnjih letih močno narastla proizvodnja motorjev na enosmerni tok, medtem ko so prej izdelovali po svetu pretežno le asinhronske motorje.

Tako vidimo, da imamo za regulacijo hitrosti vrtenja motorjev na izbiro prav različne poti. Izmed obilice teh možnosti moramo izbrati vselej primerno rešitev, ki ustreza tako našim zahtevam v tehniškem pogledu, kakor tudi glede stroškov pri nabavi in pri obratovanju. V splošnem ne bomo smeli izbirati dražje rešitve, če ne daje sicer bistvenih prednosti. Pri večjih dvigalnih napravah, na primer pri rudarskih izvažalnih strojih, lahko jemljemo asinhronski pogonski motor ali Ward Leonardov pogon. Pri tem se pokaže, da je naprava z asinhronskim pogonskim motorjem cenejša, je pa tudi manj gospodarna, ker troši več energije pri sicer enakih pogojih obratovanja. Gospodarski račun bi moral pravzaprav odločevati pri naši izbiri. V tehniški sploh, in zlasti v elektrotehniko, imamo pogosto možnost, reševati določen problem povsem različno in tedaj je važno, da izberemo tehnično in gospodarsko pravilno rešitev.

Avtor: prof. dr. ing. Drago Matanović, Oddelek za rudarstvo in metalurgijo Tehniške fakultete v Ljubljani

P O R O Č I L A

DK 621.187.2

KAKO SO V ANGLIJI PRI PLAMENOCEVNEM KOTLU DOSEGLI POVPREČNI IZKORISTEK 80 ODSOTKOV

Po statistiki iz leta 1953 obratuje v Veliki Britaniji še vedno okrog 120.000 kotlov tipa Lancashire, ki trošijo letno okrog 50 milijonov ton premoga ali približno 25 % domače proizvodnje. Od teh 50 milijonov ton se pokuri na kuriščih še vedno okoli 12 milijonov ton ročno.

Povprečni izkoristek vseh industrijskih in ostalih proizvajalcev pare (razen onih za proizvodnjo električne energije) cenijo na 50 do 55 %, medtem ko je možno z dobrim nadzorom in prizadevanjem izboljšati izkoristek kotlov Lancashire na povprečje tudi do 80 %.

Članek opisuje, kako so v neki škotski tovarni dosegli trajno dober izkoristek v parnem kotlu. Podrobnosti so naslednje:

Opis naprave

Naprava sestoji iz dveh kotlov iz leta 1939 s 190 m² ogrevne površine. Vsak kotel ima dvojne plamenične cevi z rešetko in nalagalnimi stroji Hodgkinson. Rešetka je dolga 2 m in ima 4,2 m² površine za vsak kotel.

Vsaki kotel ima predgrevalnik (economiser) s 100 m² ogrevne površine. Napajalna voda vstopa v rezervoar, od koder jo obe črpalke dovajata v predgrevalnik vode. Kondenzat se ne vrača v rezervoar napajalne vode, pregrevalnikov kotla nimata. Dimni plini gredo za predgrevalnikom v ciklonski čistilec in preko ekshavstora iz dimnika.

Merilni instrumenti so naslednji: merilnik za količino pare, merilniki temperature dimnih plinov v kurilšču, pred in za njim, dva registratorja za CO₂ tik za

kuriščem in za predgrevalnikom. Slednjič se meri tudi količina napajalne vode. Paro uporabljajo predvsem za gretje prostorov v sezoni kurjenja. Industrijske pare potrebujejo malo, toda obremenitev je zelo konstantna. Prevladujejo torej karakteristike gretja prostorov. Maksimalna obremenitev je bila pozimi 3,2 t/h, poleti pa 0,9 t/h, preden so se lotili ukrepov za bolj ekonomično porabo goriva. Po izvedenih izboljšavah je bila obremenitev pozimi 1,8 do 2,3 t/h, poleti pa 0,7 t/h in manj.

Iz gornjega je jasno razvidno, da je glede na obremenitev potreben en sam kotel, pa še ta ne bi bil izkoriščen v celoti. V ostalem prevladuje mnenje, da je možno doseči boljši izkoristek, če delajo te vrste kotli pri manjših obremenitvah. Razprava v nadaljnjem naj pokaže, da je z zares ekonomično kotlovsko napravo možno doseči dober izkoristek pri vsaki obremenitvi.

Ukrepi za doseg prihranka pri gorivu

Prva preizkušnja kotlov je pokazala pozimi izkoristek 66 %, poleti pa 53 %. Med drugo svetovno vojno, ko sta obratovala kotla s popolno obremenitvijo večji del leta, je bil najboljši doseženi izkoristek 78 %.

Pregled naprave je pokazal, da je možno brez težav izboljšati termodinamični cikel. Izpušno paro napajalne črpalke so speljali v grelec v rezervoarju napajalne vode. Tako se je dvignila temperatura napajalne vode za 28°.

Prva napaka, ki so jo našli med pogonom, je bil prevelik presežek zraka pri zgorevanju premoga. Presežek zraka so začeli postopoma zmanjševati, da bi se kurjači privadili, in ga zmanjševali vse dotlej, dokler se rešetke niso preveč grele. Dalje so odstranili neenakomerno dodajanje premoga zaradi okvare na dodajalnikih. Samo s temi izboljšavami so izboljšali povprečni izkoristek na približno 70 %.