

Prudký rozvoj techniky ovlivnil také řešení pohonu nejrůznějších druhů strojů a zařízení. Postupně se zvyšují nároky a mnohdy se objevují i velmi tvrdé požadavky konstruktérů nových strojů a zařízení na pohonné elektromotory. V tomto článku se echi zabývat nejpoužívanější kategorií motorů malých i středních výkonů (0,1 až 10 kW), které jsou výrobním programem n. p. MEZ Mohelnice.

Pracovní režim stroje je dnes ve většině případů i pracovním režimem pohonného motoru. Je proto správné, když konstruktér stroje nebo zařízení přijde k výrobci motorů konzultovat návrh pohonu, a to i v případě, kdy se jedná o nahrazování např. zastaralé typové řady motorů řadou novou, progresivní a technicky dokonalejší. Pokud taková konzultace byla provedena včas, tj. v potřebném předstihu před zahájením vlastní výroby, je vše v pořádku. Bohužel se však vyskytly a stále ještě vyskytují případy, kdy se teprve při praktickém ověření již vyrobeného stroje zjistí, že pohonný motor byl volen nevhodně. Důsledkem toho je provozní neschopnost zařízení, což s sebou nese někdy i vysoké škody (neplnění plánu).

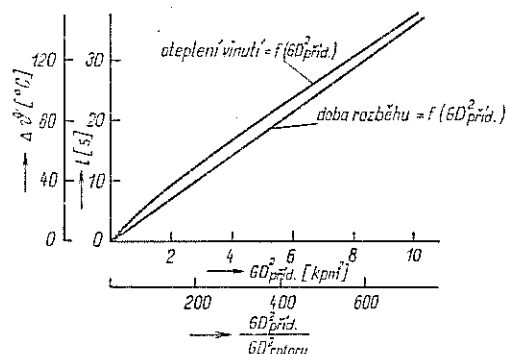
Při návrhu pohonného motoru je třeba respektovat ČSN 35 0000 (základní norma pro elektrické stroje točivé), konkrétně oddíl III. Technické požadavky. V tab. I „Druhy zatížení a výkonnosti“ je uvedena celá řada druhů zatížení s označením S1 až S8. Jak z tabulky patrné, platí označení S1 pro trvalé zatížení, které je nejjednodušší a pro pohonný motor nejméně náročné. Jsou to např. pohony ventilátorů, některé druhy čerpadel a patřil sem i dříve používaný společný pohon strojů soustavou transmisí. Ačkoli byl z transmisí odvozován pohon k jednotlivým obráběcím strojům, neměly tyto stroje přesto charakter zatížení S1, tj. jako hnací motor transmisie. Byly k transmisnímu pohonu řazeny pomocí různých mechanických spojek a převodů. V pozdějším období, kdy se počaly konstruovat stroje s individuálním pohonem, transmisie sice postupně vymizely, avšak mechanické (i reverzační) spojky a složité převodové skříně ještě na strojích zůstaly. V následujícím období, které souvisí s technicko-ekonomickým rozvojem výrobních prostředků, počali klást konstruktéři strojních zařízení na pohonné motory stále se zvyšující nároky. Mechanických i reverzačních spojek se používá jen v některých případech, a to převážně z bezpečnostních důvodů. Pohonný motor spojku plně nahrazuje. Jsou na něj někdy kladeny nároky časté hustoty spouštění, částečné, nebo „nízké“ reverzace, brzdění protiproudem nebo stejnosměrným proudem apod. Motory s přepínáním počtu pólů (přepínatelné) nahrazují mnohdy nejen nákladné převodové skříně, ale kromě toho jsou na ně kladeny podobné požadavky jako u motorů běžného provedení.

Souhrn všech takových a podobně nepříznivých okolností, které mají bezprostřední vliv na funkci spolehlivost pohonného motoru, by měl konstruktér, popř. návrhář pohonu bezpečně znát a v objednávce motoru je uvést. Takovou zásadu konečně určuje ČSN 35 0003. V běžné praxi se ovšem vyskytují případy, kdy je značně obtížné a někdy i nemožné zachytit s potřebnou přesností všechny údaje, které by

po vyhodnocení mohly být určujícím kritériem pro návrh pohonného motoru. Jsou to hlavně případy, kdy je např. třeba současně vyhodnotit vlivy počtu reverzací, přídavného GD^2 konstantního, popř. proměnného zatížení, pasivních odporů stroje atd. V provozní praxi se však setkáváme s případy složitějšími, kdy je nutno ještě navíc brát v úvahu vnější vlivy jako např. vysoké okolní teploty, prostředí s chemickými vlivy, prudké změny teplot apod. V takových případech se neobejdeme bez experimentálních ověření pohonného motoru přímo za provozních podmínek. Ty musí být pochopitelně stanoveny kvalifikovaně s přihlédnutím k možným extrémním případům zatěžování, pokud to je z hlediska výrobní technologie možné. Rozumí se tím např. větší hustota reverzací, častější spouštění, výkonové přetěžování motoru apod. To platí zejména v případech, kdy pracovní proces není automatizován a jednotlivé pracovní operace jsou ovlivněny obsluhujícím pracovníkem.

Na základě získaných a v nejrůznějších výrobních závodech „posbíraných“ zkušeností provedli jsme na mohelnické zkušebně celou řadu zkoušek a měření, jejichž cílem je alespoň v těch jednodušších případech usnadnit práci návrhářům pohonných motorů nových nebo renovovaných zařízení.

V následující stati jsou uvedeny některé závislosti, které lze aplikovat na nejčastější pracovní režim pohonných motorů. Přestože měření byla provedena na různých typech motorů, uvádím dále záměrně výsledky zkoušek motoru AP 100L-2; 3 kW; 380 V Y; 50 Hz; 2890 ot/min, vlastní $GD^2 = 0,014$ kpm². Je to z toho důvodu, že typová velikost 100 je přibližně velikostí střední, přičemž stroje dvoupólové ($2p = 2$) jsou při nekonstantním zatížení nejvíce namáhány.



Obr. 1. Závislost oteplení a doby rozběhu na přídavném GD^2 pro motory $2p = 2$.

Jedním ze základních určovacích hledisek vhodnosti motoru je velikost přídavného GD^2 . Z něho vyplývá doba rozběhu a tím samozřejmě oteplení vinutí.

Na obr. 1 jsou na základě měření graficky znázorněny průběhy:

- závislost doby rozběhu na přídavném GD^2 ,
- závislost oteplení vinutí na přídavném GD^2 .

Z obou závislostí vyplývá automaticky další, tj. závislost oteplení na době rozběhu. Na vodorovné ose jsou vyneseny dvě stupnice:

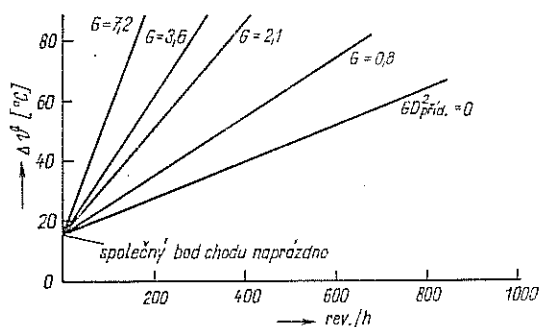
1. přídavný GD^2 v $[\text{kpm}^2]$ a
2. poměr GD^2 přídavného ku vlastnímu GD^2 motoru, což je pro praktickou potřebu výhodnější.

V dalším textu budeme výraz $GD^2_{\text{přid.}}/GD^2_{\text{vlast.}}$ označovat symbolem G .

Velikost oteplení, které se odvozuje z horní křivky, je oteplení po jednom rozběhu ze studeného stavu.

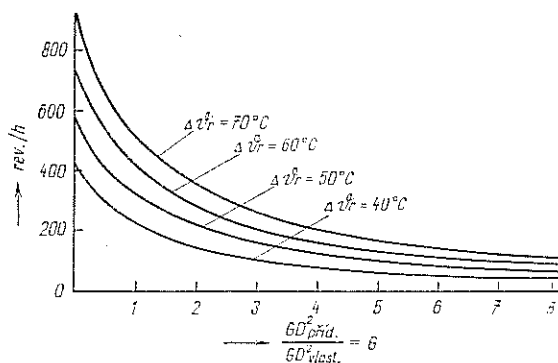
Neznáme-li např. přídavný GD^2 , můžeme jej stanovit pomocí grafu zpětně. Stačí jen při jmenovitém napětí změřit dobu rozběhu.

Častěji, než s jedním dlouhodobým rozběhem při vysoké hodnotě G se setkáváme v praxi sice s podstatně menším G (přibližně 1 až 10), ale zato však s četnou, popř. velmi četnou hustotou spouštění nebo reverzací, brzdění apod. Na obr. 2 jsou uvedeny závislosti oteplení vinutí na počtu reverzací za hodinu při různé velikosti G .



Obr. 2. Závislost oteplení na počtu reverzací při různém G pro motory $2p=2$.

Měření potřebná pro sestavení uvedených závislostí byla opět provedena na motoru AP 100L-2. Z obr. 2 je patrné, jak progresivně je nutno snižovat počet reverzací při zvyšující se hodnotě G . Pro lepší názornost byla z provedených měření odvozena závislost počtu reverzací na poměru G při konstantním oteplení vinutí — viz obr. 3.



Obr. 3. Závislost počtu reverzací na hodnotě G pro různé velikosti oteplení pro motory $2p=2$.

Potřebujeme-li např. pohonný motor reverzovat 300krát za hodinu a oteplení vinutí by nemělo přestoupit 60°C , může být $G \approx 1,6$. Při $G \approx 2,5$ a stejném počtu reverzací bude již oteplení vinutí 70°C . Velikost oteplení vinutí stanovená popsaným způsobem vyžaduje pouze teplotu vzniklou reverzacemi s přídavným GD^2 . Zbývá tedy ještě určit oteplení vinutí vzniklé vlastním pracovním zatížením. Poněvadž se obvykle pohonné motory určené pro reverzační režim volí s výkonovou rezervou, bylo by oteplení vinutí těchto mo-

torů při trvalém chodu a redukováném výkonu relativně nízké. Tato skutečnost však umožňuje volbu počtu reverzací v závislosti na G .

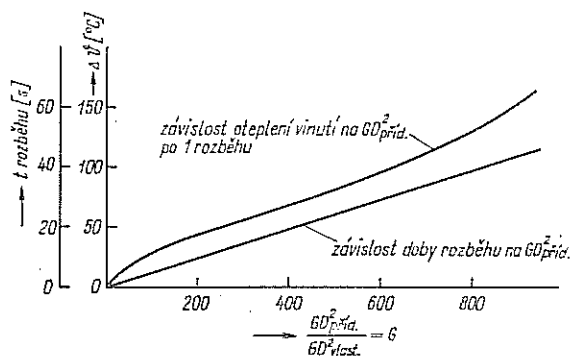
Příklad:

Motor AP 100L-2 hodláme reverzovat 400krát za hodinu, přičemž bude výkonově odlehčen ze 3 kW na 2,2 kW. Dotazem na zkušebně výrobce zjistíme, že oteplení $\Delta\theta_1$ vinutí při výkonu $P = 2,2$ kW je 40°C . Dovolené oteplení vinutí $\Delta\theta$ při používané izolační třídě E je 75°C . Pro reverzační režim zbývá max. dovolené oteplení

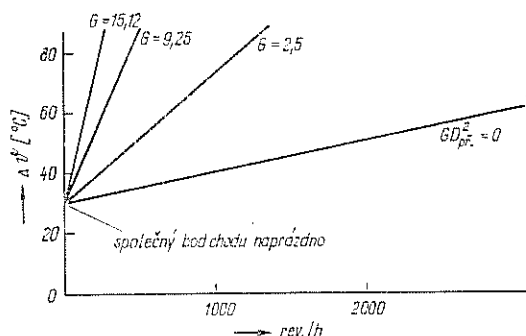
$$\Delta\theta_r = \Delta\theta - \Delta\theta_1 + \Delta\theta_0$$

přičemž $\Delta\theta_0$ je oteplení vinutí naprázdno odečtené z obr. 2 (je již obsaženo v oteplení při zatížení $\Delta\theta_1$).

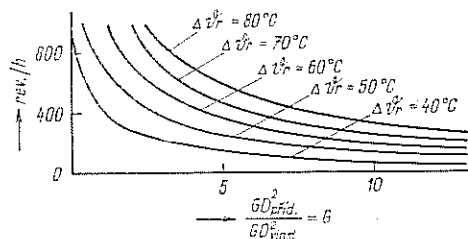
Po dosazení reálných hodnot do uvedeného vztahu ($\Delta\theta_r = 75 - 40 + 16$) zjistíme, že pro reverzační režim nám zbývá asi 51°C . Z obr. 3 na křivce $\Delta\theta_r = 50^\circ\text{C}$ nalezneme pro 400 reverzací za hodinu velikost $G \approx 0,5$. Jsme-li však nuceni uvažovat např. $G = 2$; potom na téže křivce odečteme přípustný počet reverzací asi 200 za hodinu.



Obr. 4. Závislost doby rozběhu a oteplení na přídavném GD^2 pro motory $2p=4$.



Obr. 5. Závislost oteplení na počtu reverzací při různém G pro motory $2p=4$.



Obr. 6. Závislost počtu reverzací na hodnotě G pro různé velikosti oteplení pro motory $2p=4$.

Tab. 1.

Typ motoru	P [kW]	Vlastní GD^2 [kpm ²]	Rozběh		Typ motoru	P [kW]	Vlastní GD^2 [kpm ²]	Rozběh	
			s GD^2 příd. [s/kpm ²]	na- prázdně [s]				s GD^2 příd. [s/kpm ²]	na- prázdně [s]
AP 90S-2	1,5	0,0059	12,4/1	0,0732	2AP 63-2s	0,18	0,00077	11,2/0,1	0,086
AP 90L-2	2,2	0,0075	14,4/2	0,054	2AP 63-2	0,25	0,00099	7,3/0,1	0,072
AP 100L-2	3,—	0,014	11/2	0,077	2AP 71-2s	0,37	0,0019	14/0,3	0,089
AP 112M-2s	4,—	0,027	8,7/2	0,118	2AP 71-2	0,55	0,0024	11/0,34	0,078
AP 112M-2	5,5	0,034	10/3	0,113	2AP 80-2s	0,75	0,0037	7,5/0,34	0,081
AP 132S-2	7,5	0,057	7/4	0,1	2AP 80-2	1,1	0,0041	6,9/0,4	0,07
AP 132M-2	10,—	0,082	7,6/6	0,104	2AP 90S-2	1,5	0,0064	11,2/1,-	0,072
					2AP 90L-2	2,2	0,008	8,5/1,-	0,068
AP 90S-4	1,1	0,011	13,4/3	0,0492	2AP 63-4s	0,12	0,0011	11,5/0,3	0,042
AP 90L-4	1,5	0,015	13/5	0,039	2AP 63-4	0,18	0,0014	8,2/0,3	0,038
AP 100L-4s	2,2	0,024	7/4	0,042	2AP 71-4s	0,25	0,0025	9/0,5	0,045
AP 100L-4	3,—	0,030	7,6/6	0,038	2AP 71-4	0,37	0,0029	8,2/0,6	0,04
AP 112M-4	4,—	0,049	6,6/6	0,054	2AP 80-4s	0,55	0,0060	9,2/1,—	0,055
AP 132S-4	5,5	0,093	4,3/6	0,067	2AP 80-4	0,75	0,0072	12,6/2,-	0,045
AP 132M-4	7,5	0,12	5,8/11	0,064	2AP 90S-4	1,1	0,012	8,5/2,-	0,051
					2AP 90L-4	1,5	0,014	10/3,-	0,047
AP 90S-6	0,75	0,012	10,8/6	0,026	2AP 80-6s	0,37	0,0060	6,2/1,-	0,037
AP 90L-6	1,1	0,016	9,9/6	0,0262	2AP 80-6	0,55	0,0072	8,6/3,-	0,021
AP 100L-6	1,5	0,033	8,6/6	0,0475	2AP 90S-6	0,75	0,013	9,7/3,-	0,042
AP 112M-6s	2,2	0,049	3,5/5	0,034	2AP 90L-6	1,1	0,016	9,8/5,-	0,031
AP 112M-6	3,—	0,066	7/11	0,042					
AP 132S-6	4,—	0,15	5,2/11	0,071	2AP 90S-8	0,55	0,013	8,8/4	0,028
AP 132M-6	5,5	0,19	3,8/11	0,065	2AP 90L-8	0,75	0,016	11/8	0,022
AP 90S-8	0,55	0,012	9,2/4	0,028					
AP 90L-8	0,75	0,016	12/8	0,024					
AP 100L-8	1,1	0,033	11,5/11	0,0345					
AP 112M-8s	1,5	0,049	4,9/6	0,04					
AP 112M-8	2,2	0,065	3,8/6	0,041					
AP 132S-8	3,—	0,15	5/11	0,068					
AP 132M-8	4,—	0,19	3,2/11	0,055					

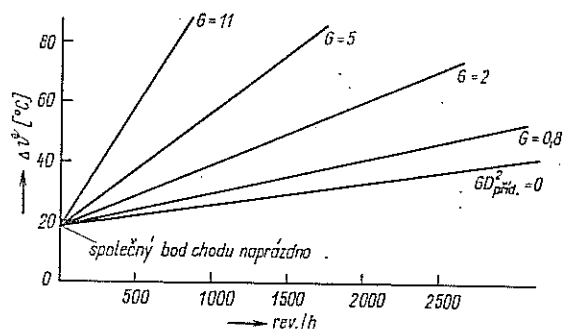
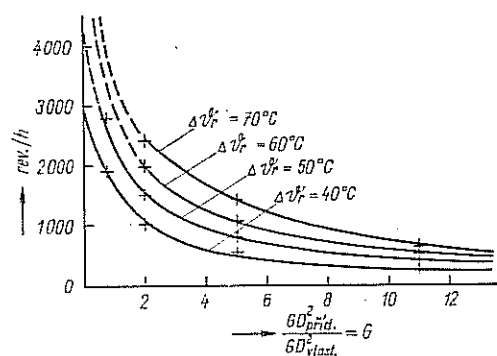
Obdobné závislosti byly stanoveny pro motory čtyřpólové ($2p = 4$). Na obr. 4 jsou opět závislosti doby rozběhu a oteplení pro G po jednom rozběhu. Výsledky byly získány měřením na stroji 3AP 90L-4; 1,5 kW; 220/380 V; 50 Hz; 1420 ot/min, GD^2 vlastní = 0,012 kpm².

Obr. 5 znázorňuje závislost oteplení vinutí na počtu reverzací při různém G a na obr. 6 jsou uvedeny křivky oteplení vinutí pro přípustný počet reverzací v závislosti na G . Výsledky byly opět získány měřením motoru 3AP 90L-4.

Grafických závislostí na obr. 4, 5 a 6 lze použít i pro stroje $2p = 6$ a $2p = 8$ do výkonu $P = 2,2$ kW. Pro výkony vyšší je třeba se na použití grafických závislostí informovat ve výrobním podniku.

V případech, kdy pracovní režim stroje, vyplývající z technologického postupu, vyžaduje pouze časté spuštění a zastavení motoru, mohou se s výhodou použít motory brzdové (řada APB 90 ÷ 112 a 2APB 63 + 90; viz katalogy ZSE Praha, č. katalogů 01. 3406, 01.552). Jejich brzdový moment je dostatečně veliký, takže není třeba používat např. brzdění protiproudem nebo stejnosměrným proudem, což obojí představuje další nežádoucí zdroje tepla. Vinutí brzdových motorů s elektromagnetickou brzdou je tedy přidavně ohříváno jen vlivem rozběhového proudu, takže počet spouštění (i v obou smyslech otáčení) může být vyšší, než u běžného motoru brzděného ztrátami ve vinutí. To je kočně patrno z obr. 7, kde jsou nakresleny závislosti oteplení vinutí statoru na počtu rozběhů při různých hodnotách G .

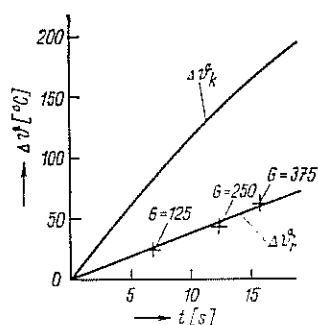
Měření bylo provedeno na brzdovém motoru 2APB 90L-4; 1,5 kW; 50 Hz; 1410 ot/min; 220/380 V; GD^2 vlastní = 0,026 kpm². Na dalším obr. 8 jsou křivky

Obr. 7. Závislost oteplení na počtu reverzací při různém G pro motory brzdové $2p = 4$.Obr. 8. Závislost počtu reverzací na hodnotě G pro různé velikosti oteplení pro motory brzdové $2p = 4$.

oteplení pro stanovení přípustného počtu reverzací v závislosti na velikosti G .

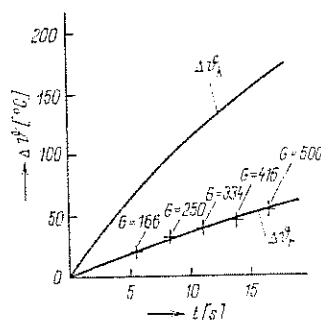
Ze vzájemného srovnání obrázků 5 a 7 a dále 6 a 8 je patrná výhoda brzdových motorů, které lze provo-

zovat s větší hustotou spouštění. Na druhé straně je ovšem třeba vzít u brzdových motorů v úvahu možnost větší poruchovosti, což vyplývá z jejich složitější konstrukce.



Obr. 9. Závislost oteplení na čase během rozběhu ($\Delta\theta_r$) a ve stavu nakrátko ($\Delta\theta_k$) pro motory $2p = 2$.

Často je užitečné a žádoucí znát průběh oteplení vinutí statoru v závislosti na čase ve stavu motoru nakrátko (zablokovaný rotor — např. havarijní stav.) Na obr. 9 a 10 jsou takové závislosti uvedeny spolu s průběhy oteplení při rozběhu. Společně proto, aby bylo možno udělat si názorný obrázek o poměru nárůstu oteplení v jednotlivých případech.



Obr. 10. Závislost oteplení na čase během rozběhu ($\Delta\theta_r$) a ve stavu nakrátko ($\Delta\theta_k$) pro motory $2p = 4$.

Čára oteplení v závislosti na čase během rozběhu je označena $\Delta\theta_r$, čára oteplení v závislosti na čase při chodu nakrátko je značena $\Delta\theta_k$.

Měření na obr. 9 přísluší motoru 2AP 90L-2; 2,2 kW, 220/380 V; 50 Hz; 2850 ot/min; GD^2 vlastní = 0,008 kpm². Charakteristiky na obr. 10 byly získány měřením motoru 3AP 90L-4; 1,5 kW; 220/380 V; 50 Hz; 1420 ot/min; GD^2 vlastní = 0,012 kpm². Zobrazené grafické závislosti lze opět aplikovat na obdobné typové velikosti: obr. 9 na stroje dvoupólové, obr. 10 na stroje čtyř a vícepólové, v obou případech do výkonu asi $P = 2,2$ kW.

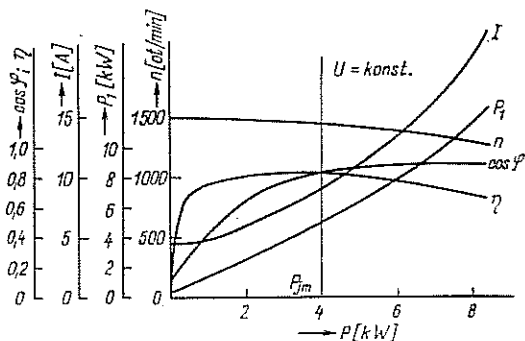
Aby bylo možné obecněji využít dříve popisovaných a uvedených výsledků zkoušek, bylo provedeno měření doby rozběhů s různě velkými přídatnými GD^2 u všech základních typů elektromotorů v Mohelnici vyráběných. V přehledné tabulce 1 jsou uvedeny doby rozběhů s konkrétně měřenými přídatnými GD^2 a doby rozběhů motorů naprázdno, tj. jen s GD^2 vlastních rotorů.

S ohledem na použitou metodu měření, danou částečně technickým vybavením zkušebny, je nutno naměřené výsledky hodnotit jako přibližné. Doba rozběhu motorů naprázdno (jen s vlastním GD^2 rotoru) byla přepočítána, lze se však podle ní orientovat.

Až dosud jsme se zabývali otázkou správné volby pohonného motoru z hlediska hustoty spouštění, event. reverzací ve vztahu k jeho přídatné setrvačné hmotě (době rozběhu). Zbývá ještě určit velikost zatížení motoru, tj. výkon, který na hřídeli odevzdává. Tato úloha je poměrně snadná, máme-li k dispozici tzv. za-

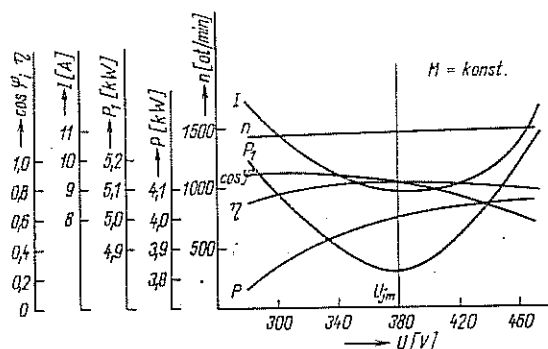
těžovací charakteristiky toho typu motoru, který chceme ověřovat.

Motor zatížený provozním výkonem, tj. při běžných pracovních podmínkách stroje, připojíme přes měřicí soupravu (např. měřicí kufr METRA Blansko) k síti a odečítáme naměřené hodnoty proudu I , příkonu P_1 a event. otáček n . Zjištěné hodnoty porovnáme s průběhy uvedenými na obr. 11, přičemž na ose X odečteme výkon P , který motor odevzdává.



Obr. 11. Zatěžovací charakteristiky motoru AP 112M-4, 4 kW, 380 V D.

Podmínkou správného měření je jmenovité napětí sítě, jinak se dopustíme určité chyby, zvláště při zvýšeném napětí, kdy se nepříznivě projeví vliv nasycení magnetického obvodu. Jak se takový motor chová při odchylkách jmenovitého napětí sítě $U_{jm} \pm 20\%$, je patrné z obr. 12. Motor byl přitom trvale zatěžován jmenovitým momentem M .



Obr. 12. Zatěžovací charakteristiky motoru AP 112M-4, 4 kW, 380 V D a závislosti na napětí.

Zatěžovací charakteristiky, tj. závislosti:

a) I ; P_1 ; n ; $\cos \varphi$; $\eta = f(P)$ při $U = \text{konst.}$ — viz obr. 11

b) I ; P_1 ; n ; $\cos \varphi$; $\eta = f(U)$ při $M = \text{konst.}$ — viz obr. 12 byly získány měřením motoru AP 112M-4; 4 kW; 380 V D.

Je vhodné ještě poznamenat, že ze zatěžovacích křivek je možno kromě odevzdávaného výkonu P zjistit, při jaké účinnosti η a jakém účinníku $\cos \varphi$ motor za provozních podmínek pracuje.

Účelem článku bylo předložit konstruktérům, popř. návrhářům pohonů, kteří používají motorů mohelnické výroby, část výsledků provedených měření pro praktické použití. Bude jistě na místě zdůraznit skutečnost, že vhodně zvolený pohonný motor zvýší spolehlivost a životnost celého zařízení. V mnoha případech může dojít i k úspoře elektrické energie, což je při současné energetické situaci zvláště důležité.

621.313.13:621.34