



Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska

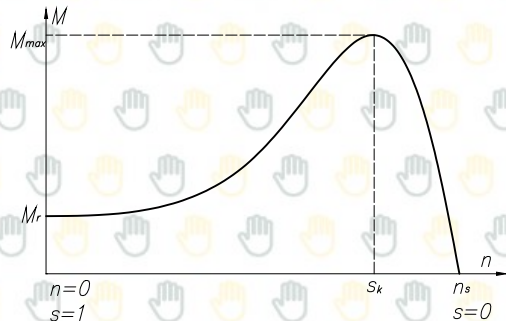
Projektowanie

mgr inż. Grzegorz Kamiński

11 marca 2025

Charakterystyka silników elektrycznych

- * silniki prądu stałego (regulacja liczby obrotów),
- * silniki prądu zmiennego:
 - ** synchroniczne (częstotliwość obrotowania jest sztywno powiązana z częstotliwością prądu); zalety: duża sprawność, niewrażliwość na zmiany napięcia w sieci; zastosowanie: napędy o dużych mocach,
 - ** asynchroniczne (częstotliwość obrotowania spada wraz ze wzrostem obciążenia); zalety: prosta konstrukcja, tanie, wysoka sprawność.



Dobór mocy silnika przy pracy ciągłej

Obciążenie silnika jest stałe w czasie M_0
i znana jest prędkość obrotowa ϖ_N

$$P_N = M_0 \cdot \varpi_N$$

Uwzględniając istnienie przekładni oraz strat

$$P_N = \frac{M_0 \cdot \varpi_N}{i \cdot \eta_N}$$

Z katalogu dobiera się silnik o najbliższy spełniający powyższe równanie.
Następnie sprawdza się pozostałe warunki na M_{max} i M_r .

Współczynnik sprawności

$$\eta_N = \prod_{i=1}^n \eta_i$$

Zgodnie z [1]

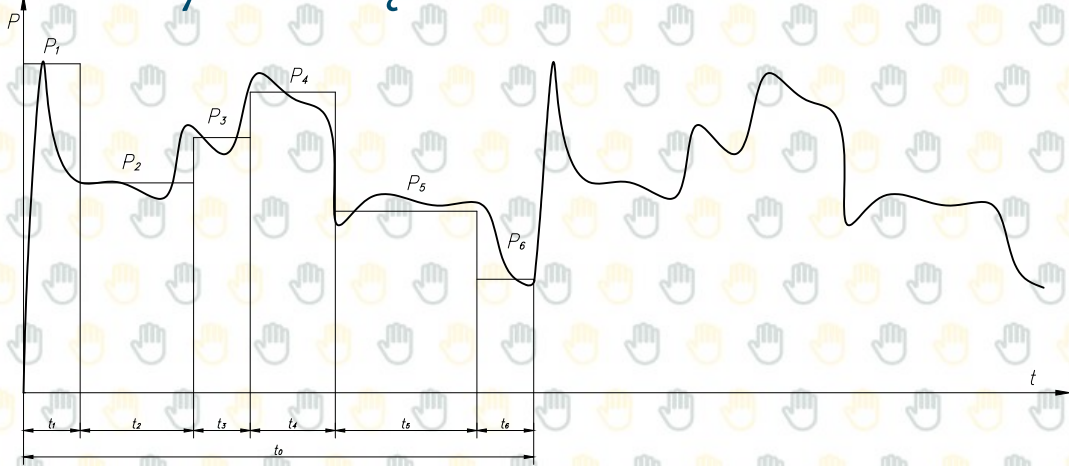
rodzaj przekładni	zamknięta	otwarta
walcowa przekładnia zębata	0,95 ÷ 0,98	0,92 ÷ 0,94
stożkowa przekładnia zębata	0,94 ÷ 0,97	0,91 ÷ 0,93
przekładnia ślimakowa niesamohamowana dla liczby zwojów ślimaka $z_1 = 1$	0,68 ÷ 0,72	0,52 ÷ 0,62
przekładnia ślimakowa niesamohamowana dla liczby zwojów ślimaka $z_1 = 2$	0,73 ÷ 0,78	0,60 ÷ 0,70
przekładnia ślimakowa samohamowana dla liczby zwojów ślimaka $z_1 = 4$	0,78 ÷ 0,85	
przekładnia ślimakowa samohamowana dla liczby zwojów ślimaka $z_1 = 1$	0,45	0,4
przekładnia łańcuchowa	0,94 ÷ 0,96	0,90 ÷ 0,93
przekładnia cierna	0,88 ÷ 0,94	0,70 ÷ 0,85
przekładnia pasowa o pasie klinowym, zębatym	0,93 ÷ 0,95	
przekładnia pasowa o pasie płaskim	0,94 ÷ 0,96	
łożyska toczne (jedna para)	0,99 ÷ 0,995	
łożyska ślizgowe o tarcu płynnym (jedna para)	0,99 ÷ 0,995	
łożyska ślizgowe o tarcu mieszanym (jedna para)	0,975 ÷ 0,985	
sprzęgła	0,97 ÷ 0,98	

Zalecane przełożenia

Zgodnie z [1]

Rodzaj przekładni	Przełożenie	
	zalecane	graniczne
zamknięta walcowa szybkobieżna	$3,1 \div 5,0$	8
zamknięta walcowa wolnobieżna	$2,5 \div 4,0$	6,3
zamknięta walcowa o zębach daszkowych	$3,0 \div 5,0$	6,3
zamknięta stożkowa o zębach prostych	$2,0 \div 3,0$	5
zamknięta stożkowa o zębach skośnych	$4,0 \div 6,0$	7
otwarta walcowa	$4,0 \div 7,0$	12
otwarta stożkowa	$3,0 \div 5,0$	7
ślimakowa dla liczby zwojów ślimaka $z_1 = 1$	$28 \div 50$	80
ślimakowa dla liczby zwojów ślimaka $z_1 = 2$	$14 \div 40$	60
ślimakowa dla liczby zwojów ślimaka $z_1 = 4$	$8 \div 30$	40
pasowa o pasie klinowym, zębatym	$2 \div 5$	7
pasowa o pasie płaskim	$2 \div 4$	6
tańcuchowa	$2 \div 5$	7

Dobór mocy silnika przy pracy ciągłej i zmiennym obciążeniu



Metody postępowania

- * strat średnich,
- * prądu zastępczego,
- * momentu zastępczego,
- * mocy zastępczej,

Metoda strat średnich

Każdej wartości obciążenia P_i odpowiadają straty ΔP_z , prąd I_i oraz ciepło wydzielane w maszynie Q_i .

W czasie t_0 wydzielili się ciepło $Q = \sum_n^{i=1} Q_i$ straty zastępcze będą wynosić

$$\Delta P_z = \frac{\sum_n^{i=1} \Delta P_i \cdot t_i}{t_0}$$

Moc silnika dobiera się tak, by spełniony był warunek:

$$\Delta P_N = P_N \cdot \frac{1 - \eta_N}{\eta_N} \geq \Delta P_z$$

Metoda strat średnich

Metoda jest iteracyjna:

- * wyznaczyć orientacyjną moc silnika $P = 1,1 \div 1,3 \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot t_i}{t_0}$,
- * na podstawie wykresu $\eta = f(P)$ wyznacza się straty $\Delta P_i = P_i \cdot \frac{1-\eta_i}{\eta_i}$,
- * oblicza się ΔP_N .

Metoda strat średnich

Gdy okres t_0 zawiera czas postępu t_s lub okres hamowania t_h i rozruchu t_r to przy przewietrzaniu własnym silnika straty własne pogarszają się;

$$\Delta P_z = \frac{\Delta P_r \cdot t_r + \sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot t_i + \Delta P_h \cdot t_h}{\alpha \cdot (t_r + t_h) + \sum_{i=1}^n t_i + \beta \cdot t_s}$$

Współczynnik β przyjmuje się dla silników:

- * zamkniętych bez przewietrzania $\beta = 0,9 \div 0,95$,
- * zamkniętych z przewietrzaniem $\beta = 0,4 \div 0,6$,
- * półotwartych z przewietrzaniem $\beta = 0,25 \div 0,35$.

$$\alpha = \frac{1+\beta}{2}$$

Metoda momentu zastępczego

Stosowana gdy dany jest $M_0 = f(t)$ i moment obrotowy silnika jest funkcją liniową prądu (silniki obcozbudne, bocznikowe prądu stałego i indukcyjne bez fazy rozruchu i hamowania).

$$M_z = \sqrt{\frac{1}{t_0} \int_{i=1}^{t_0} M^2 dt} = \sqrt{\frac{M_r^2 \cdot t_r + \sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i + M_h^2 \cdot t_h}{\alpha \cdot (t_r + t_h) + \sum_{i=1}^n t_i + \beta \cdot t_s}}$$

Moment znamionowy musi spełniać warunek $M_N \geq M_z$ oraz musi być spełniony warunek przeciążalności $\frac{M_{max}}{M_n} \leq p_m$

Katalogi



SEW
EURODRIVE

Przykład

Dobrać napęd elektryczny dla znanych:

$$F_{wyj} = 340 \text{ N}$$

$$v_{wyj} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_{wyj} = 300 \text{ mm}$$

Oznaczenia:

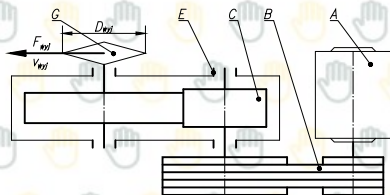
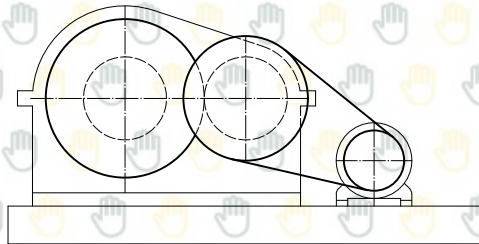
A — silnik,

B — przekładnia pasowa o pasie klinowym,

C — przekładnia walcowa,

E — węzeł łożyskowy,

G — koło przekładni łańcuchowej.



Przykład

Moc na wałku wyjściowym:

$$P = F_{wyj} \cdot v_{wyj} = 3,4 \text{ kW}$$

Współczynnik sprawności napędu:

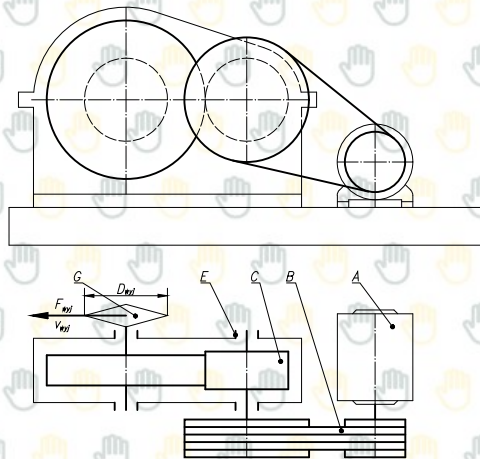
$$\eta = \eta_{PP} \cdot \eta_L \cdot \eta_{PW} \cdot \eta_L = 0,894$$

Moc obliczeniowa silnika wynosi:

$$P_o = \frac{P}{\eta} = 3,804 \text{ kW}$$

Częstotliwość obrotów wałka
wyjściowego:

$$n_{wyj} = \frac{v_{wyj}}{\pi \cdot D_{wyj}} = 63,662 \text{ min}^{-1}$$



Przykład

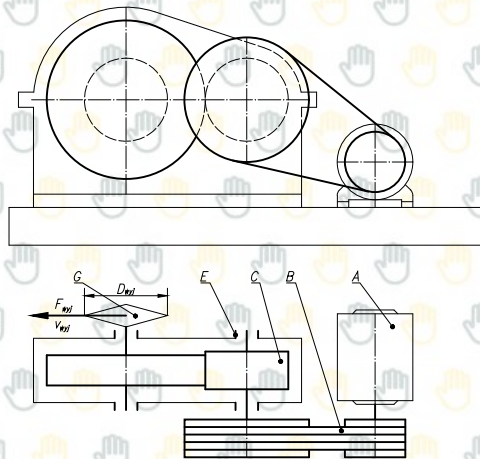
Zalecane przełożenie powinno znajdować się między $i_{min} = 6$ a $i_{max} = 24$, zatem częstotliwość obrotowa wałka wyjściowego mieści się w przedziale:

$$n_{min} = i_{min} \cdot n_{wyj} = 382 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{max} = i_{max} \cdot n_{wyj} = 1528 \text{ min}^{-1}$$

Z katalogu dobrano silnik elektryczny o mocy $P_s = 4 \text{ kW}$ ($P_s > P_o$) oraz $n_s = 950 \text{ min}^{-1}$. Rzeczywiste przełożenie w układzie wynosi

$$i_{rzech} = \frac{n_s}{n_{wyj}} = 14,92$$



Bibliografia

- [1] L. W. KURMAZ AND O. L. KURMAZ. *Podstawy konstruowania węzłów i części maszyn: podręcznik konstruowania*. SAMODZIELNA SEKCJA "WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŚWIĘTOKRZYSKIEJ", 2011. ISBN: 9788388906343.



Dziękuję
za uwagę

grzegorz.kaminski@pw.edu.pl