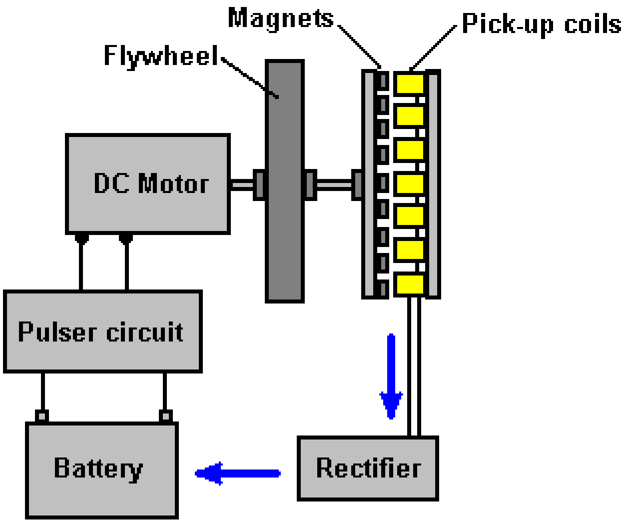
Setrvačníky a volná energie

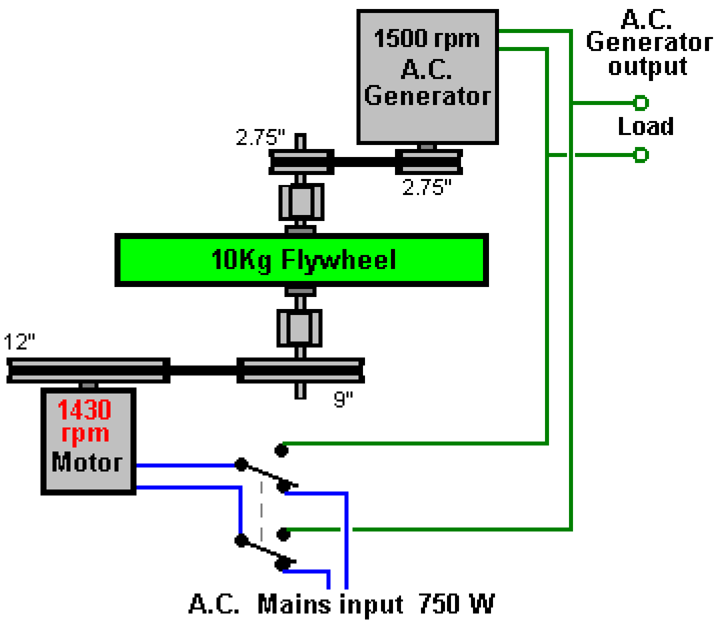
© Ing. Ladislav Kopecký, červen 2018

Pokud se začnete zajímat o tzv. volnou energii, dříve nebo později narazíte na skutečnost, že součástí systému volné energie je často masívní setrvačník. Je například součástí systému nabíjení baterie, jehož autorem je John Bedini (viz obr. 1).



Obr. 1: Bediniho systém nabíjení baterie

Existují však systémy, které jsou založeny výhradně na setrvačníku jako jediném zdroji volné energie. Takový systém tvoří konvenční motor, konvenční generátor, setrvačník a převody. Jeden takový systém vytvořil Australan Chas Campbell. Najdete jej na obr. 2.



Obr. 2: Systém se setrvačníkem Chase Campbella

Cílem tohoto článku není popis těchto a podobných systémů, ale zaměříme se na samotný setrvačník a výpočet jeho parametrů. Nebudeme se příliš zahloubávat do teorie, ale jen v míře nezbytně nutné pro pochopení problematiky a abychom byli schopni provádět praktické výpočty.

Obr. 3: Praktický systém se setrvačníkem

Setrvačníky mívají většinu hmoty rozloženou při svém obvodu, často mají tvar obruče (viz obr. 3). Není to náhoda, ale důvodem je definice momentu setrvačnosti. Abychom pochopili, co tento pojem znamená, budeme se na setrvačník dívat jako na soustavu hmotných bodů m_i. Kinetická energie hmotného bodu je

$$E_{ki} = 1/2.m_i.v_i^2 \tag{1}$$

Jestliže hmotný bod koná rotační pohyb, potom rychlost v_i hmotního bodu můžeme vyjádřit takto:

$$v_i = \mathbf{r_i.\omega} \tag{2}$$

kde $\mathbf{r_i}$ je vzdálenost hmotného bodu m_i od osy rotace a $\boldsymbol{\omega}$ je úhlová rychlost.

Takže můžeme kinetickou energii rotujícího hmotného bodu napsat následovně:

$$E_{ki} = 1/2.m_i.r_i^2.\omega^2 \tag{3}$$

Kinetická energie celého rotujícího tělesa se rovná součtu kinetických energií všech rotujících bodů tělesa:

$$E_k = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i r_i^2 \omega^2,$$

Předchozí rovnici můžeme přepsat na tvar:

$$E_k = \frac{1}{2}\omega^2 \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 = \frac{1}{2} J\omega^2,$$

kde J představuje moment setrvačnosti definovaný následovně:

$$J = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots + m_n r_n^2 = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$$

Výše uvedená definice momentu setrvačnosti platí pro obecnou soustavu hmotných bodů. Pokud uvažujeme homogenní hmotné těleso, potom hmotný bod m_i představuje element objemu dV vynásobený hustotou:

$$\rho = m/V \tag{4}$$

kde m je hmotnost tělesa a V je jeho objem, přičemž předpokládáme, že hmota je v tělese rozložena homogenně.

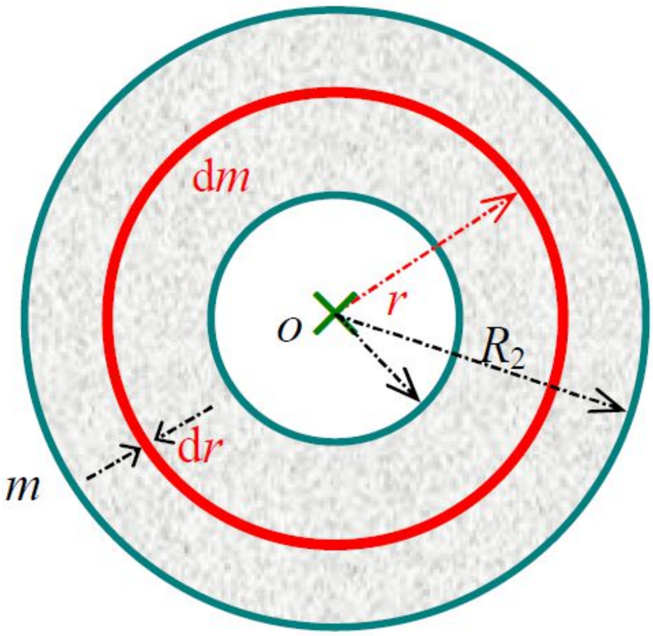
Takže když elementy m_i nahradíme elementy objemu dV krát hustota ρ, můžeme sumu nahradit integrálem. Pokud je těleso homogenní, tj. ρ = konst., můžeme moment setrvačnosti J definovat následovně:

$$J = \rho \int_V r^2 \, dV \tag{5}$$

Pokud by někdo chtěl momenty setrvačnosti geomentrických homogenních těles odvozovat pomocí integrálů, podrobnosti najde zde:

http://mech.fd.cvut.cz/education/bachelor/18sat/download/zajic_momenty_setrvacnosti.pdf

My se tím nebudeme zdržovat a rovnou uvedeme vzorec pro moment setrvačnosti dutého válce nebo prstence (obr. 4).



Obr. 4: Prstenec

$$\boxed{J = \frac{1}{2}\, m \left(R_2^{\,2} + R_1^{\,2}\right)}$$

Nyní trochu odbočíme. V klasické mechanice je definován pojem hybnost **p** tělesa, která je definována jako součin hmotnosti m a rychlosti **v**:

$$\mathbf{p} = m.\mathbf{v} \tag{6}$$

Poznámka: písmena p a v jsou zobrazena tučným písmem proto, že se jedná o vektorové veličiny.

Jestliže na těleso nepůsobí vnější síla, jeho hybnost se nemění a platí **p** = konst. Je to vlastně matematické vyjádření zákona setrvačnosti.
Pokud na těleso působí vnější síla **F**, je těleso buď urychlováno nebo bržděno v závislosti na momentální hybonosti **p** a směru síly **F**. Vztah mezi silou a hybností je následující:

$$\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt \qquad (7)$$

Pokud dosadíme za **p** podle (6), můžeme sílu vyjádřit vztahem:

$$\mathbf{F} = m.d\mathbf{v}/dt = m.\mathbf{a} \qquad (8)$$

kde **a** je zrychlení:

$$\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt \qquad (9)$$

Nyní se vrátíme k rotačnímu pohybu a budeme definovat moment hybnosti **b**, který je obdobou hybnosti **p**.

$$\mathbf{b} = J.\boldsymbol{\omega} \qquad (10)$$

V mechanice je také definován moment síly **M**. Mezi silou **F** a momentem síly je následující vztah:

$$\mathbf{M} = \mathbf{F} \times \mathbf{r} \qquad (11)$$

Operátor x je vektorový součin a všechny tři veličiny ve vztahu jsou vektory. Vektorový součin je definovaný jako vektor, který je kolmý k oběma vektorům. Více zde:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Vektorov%C3%BD_sou%C4%8Din

Moment síly však můžeme definovat i pomocí momentu hybnosti:

$$\mathbf{M} = d\mathbf{b}/dt = J.d\boldsymbol{\omega}/dt = J.\boldsymbol{\varepsilon} \qquad (12)$$

kde **ε** je úhlové zrychlení:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = d\boldsymbol{\omega}/dt \qquad (13)$$

Nyní provedeme druhou odbočku a budeme definovat mechanickou práci a výkon. Mechanická práce je definována jako skalární součin síly a dráhy:

$$A = \mathbf{F}.\mathbf{s} \qquad (14)$$

Zatímco síla a dráha jsou vektorové veličiny, práce je skalární veličina. Na definici skalárního součinu vektorů se můžete podívat zde:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Skal%C3%A1rn%C3%AD_sou%C4%8Din

Výkon je definován jako práce za jednotku času:

$$P = \Delta A/\Delta t \qquad (15)$$

Poznámka: Řecké písmeno Δ (delta) před znakem nějaké veličiny znamená její přírůstek.

Pokud v (15) konečné přírůstky Δ nahradíme nekonečně malými přírůstky, můžeme výkon definovat jako derivaci práce podle času. Jinými slovy, jako časovou změnu práce:

$$P = dA/dt \tag{16}$$

Dosadíme-li za A podle (14), můžeme výkon definovat jako součin síly a rychlosti:

$$P = \mathbf{F}.d\mathbf{s}/dt = \mathbf{F}.\mathbf{v} \tag{17}$$

kde rychlost **v** je definována jako časová derivace dráhy **s** podle času:

$$\mathbf{v} = d\mathbf{s}/dt \tag{18}$$

Vraťme se k rotačnímu pohybu. Jestliže v případě obecného pohybu byl výkon definován jako derivace práce podle času, u rotačního pohybu můžeme výkon definovat jako časovou změnu energie rotujícího tělesa:

$$P = dE_k/dt = 1/2.J.d\boldsymbol{\omega}^2/dt = 1/2.J.2\boldsymbol{\omega}.\boldsymbol{\varepsilon}$$

Poznámka: výraz $\boldsymbol{\omega}^2$ *musíme derivovat jako složenou funkci, tj. jako součin derivace vnitřní a vnější funkce: 2*$\boldsymbol{\omega}$*.d*$\boldsymbol{\omega}$*/dt. Derivace si můžete zopakovat například zde:* https://matematika.cz/derivace-priklady. *Pokud netušíte, co pojem derivace znamená, dozvíte se to tady:* https://matematika.cz/derivace

$$P = J.\boldsymbol{\omega}.\boldsymbol{\varepsilon} \tag{19}$$

S použitím vztahu (12) můžeme výkon rotačního stroje, například elektromotoru, definovat následovně:

$$P = \mathbf{M}.\boldsymbol{\omega} \tag{20}$$

Nakonec uvedeme postup při výpočtu setrvačníku ve tvaru dutého válce, prstence nebo obruče. Zvolíme následující parametry: vnitřní poloměr R1 = 28cm, vnější poloměr R2 = 30mm, šířka obruče h = 10cm. Budeme předpokládat, že obruč je vyrobena ze železa. Hustota železa je ρ = 7874kg/m^3. Pro výpočty použijeme nějaký tabulkový procesor, například Excel nebo OpenOffice Calc. Nejdříve vypočítáme objem V = 0,0036442475m^3 (předpolkádám, že kadý umí vypočítat objem válce). Potom tento objem vynásobíme hustotou a získáme hmotnost m = V. P = 28,6948kg. Moment setrvačnosti vypočítáme pomocí výše uvedeného vzorce ve žlutém rámečku:

$$J = 2{,}4164\text{kg/m}^2.$$

Zvolíme otáčky motoru. Protože předpokládáme použití dvoupólového asynchronního motoru, otáčky budou n = 2850 ot./min. Dále vypočítáme úhlový kmitočet:

$$\omega = 2.\pi.f = 298{,}4513\text{rad}^{-1}$$

a kinetickou energii:

$$E_k = 1/2.J.\omega^2 = 107604{,}97 \text{ Joulů}$$

Potom vypočítáme moment hybnosti:

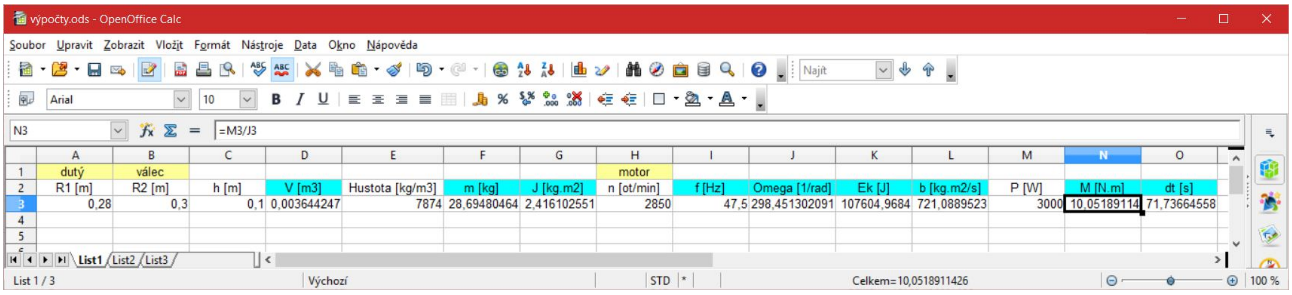
$$b = J.\omega = 721{,}089 \text{ kg.m}^2/\text{s}$$

Zvolíme výkon motoru P = 3000W a vypočítáme moment M podle (20) při jmenovitých otáčkách:

$$M = P/\omega = 10{,}0519 \text{ N.m}$$

Nakonec odhadneme dobu, za kterou se motor se setrvačníkem rozběhne z nuly na jmenovité otáčky. Zde se musíme dopustit nepřesnosti a zjednodušení. Toto zjednodušení bude spočívat v předpokladu, že moment M je při všech otáčkách stejný a rovná se momentu při jmenovitých otáčkách a jmenovitém výkonu (viz sloupec N na obr. 5). Dále budeme předpokládat, že otáčky se zvyšují od nuly se stále stejným úhlovým zrychlením ε. Vyjdeme ze vztahu (12) a napíšeme:

$$M = db/dt = J.d\omega/dt \approx J.\Delta\omega/\Delta t \Rightarrow \Delta t = J.\Delta\omega/M = 2{,}4161.298{,}4513/10{,}0519 = 71{,}7366 \text{ sekund}$$

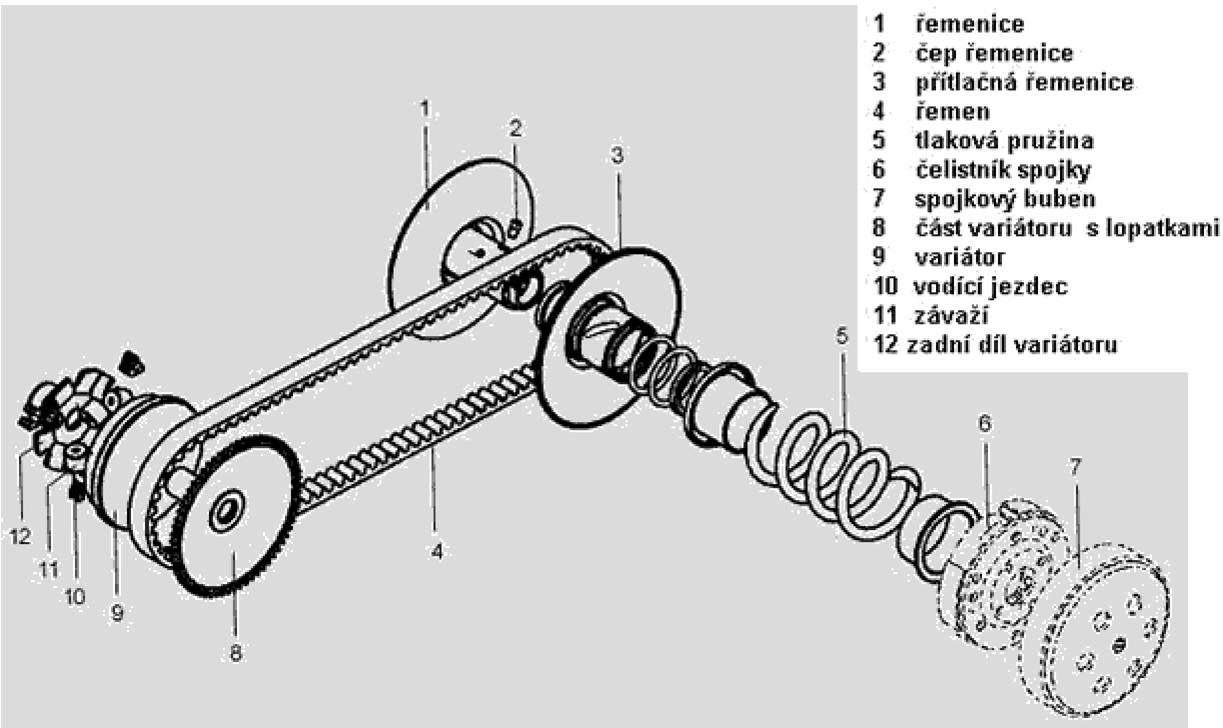


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	dutý	válec						motor							
2	R1 [m]	R2 [m]	h [m]	V [m3]	Hustota [kg/m3]	m [kg]	J [kg.m2]	n [ot/min]	f [Hz]	Omega [1/rad]	Ek [J]	b [kg.m2/s]	P [W]	M [N.m]	dt [s]
3	0,28	0,3	0,1	0,003644247	7874	28,69480464	2,416102551	2850	47,5	298,451302091	107604,9684	721,0889523	3000	10,05189114	71,73664558
4															
5															

Obr. 5: Tabuka programu OpenOffice Calc

Doba rozběhu setrvačníku je určující parametr pro volbu velikosti motoru pro danou velikost setrvačníku (nebo naopak pro volbu setrvačníku pro motor, jenž máme k dispozici). Tato doba by neměla být příliš dlouhá, aby nedošlo ke spálení motoru při rozběhu nebo k vyhození pojistek. Pokud bychom chtěli použít opravdu velký setrvačník a byl by problém zajistit rozběh motoru, je možné uvažovat o použití variátoru, případně o doplněného odstředivou spojkou. Tato technika se používá například u skútrů. O variátorech se můžete dočíst například zde:

https://www.scootland.cz/scooter-tuning-jaknato/jak-funguje-variator/



Obr. 6: Variátor