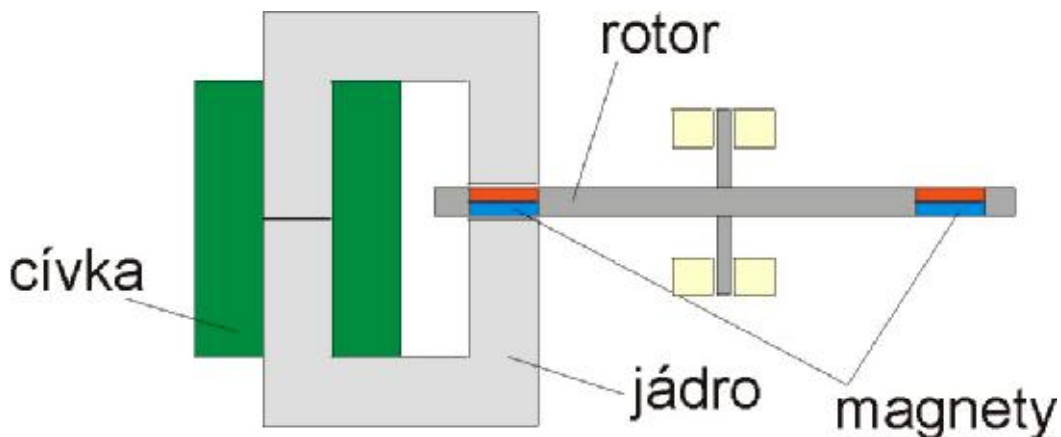


## Adamsův versus rezonanční motor

© Ing. Ladislav Kopecký

V tomto článku se budeme zabývat srovnáním rezonančního a Adamsova motoru. Základní informace o posledně jmenovaném motoru najdete v článku "Adamsův motor" v sekci "Vynálezy a objevy". Nejdříve si stručně shrneme, co Adamsův motor je, na jakém pracuje principu a jaké má výhody proti klasickému motoru. Jedno z možných konstrukčních uspořádání Adamsova motoru můžete vidět na obr. 1.

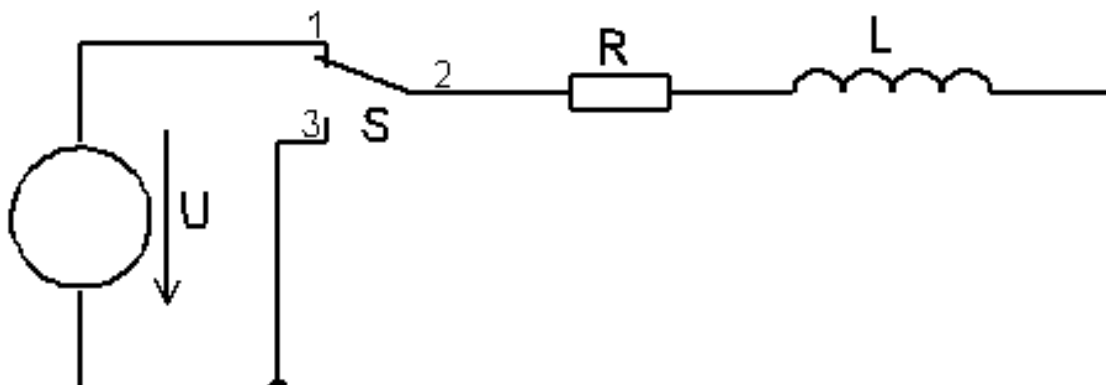


Obr. 1

Stator tvoří dvě C jádra a cívka. V mezeře mezi C jádry se pohybuje rotor s permanentními magnety. Všechny permanentní magnety mají shodnou polarizaci Sever-Jih. Cívka je zapojena tak, aby rotorové magnety odpuzovala. Je-li cívka bez proudu, jeden z magnetů v rotoru je přitážen do mezery mezi C jádry. Po přivedení proudu do cívky je magnet z mezery vypuzen a rotor se roztočí. Cívka je buzena impulzy v závislosti na poloze rotoru. Při určitém časování a střídě impulzů lze dosáhnout optimální účinnosti. Uvádí se, že optimální střída je 1: 4.

Motor je napájen stejnosměrnými impulzy, což má výhodu v tom, že v jádře statoru neexistují hysterezní ztráty jako u klasického motoru. Další výhodou je to, že reakce cívky způsobená vypnutím proudu do cívky nepůsobí proti pohybu rotoru, ale naopak ho urychluje.

Nyní provedeme rozbor ztrát Adamsova motoru. Náhradní schéma obvodu statoru je nakresleno na obr. 2.



Obr. 2

Přepínač S periodicky přepíná s periodou  $T$ , přičemž je na napětí  $U$  připojen po dobu  $T_1$ . Po přepnutí přepínače do polohy 1 se v obvodu zvyšuje proud podle diferenciální rovnice

$$u = R \times i + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

V článku "Spínání induktivní zátěže" jsme odvodili vztah pro průběh proudu protékajícího obvodem

$$i(t) = \frac{U}{R} (1 - e^{-t/\tau}) , \quad (2)$$

kde  $\tau = L/R$  je časová konstanta RL obvodu.

Průběh napětí na odporu R bude

$$u_R = R \times i = U (1 - e^{-t/\tau}) \quad (3)$$

Nyní odvodíme průběh napětí na cívce. Součet napětí na odporu  $u_R$  a na cívce  $u_L$  se rovná napájecímu napětí U:

$$U = u_R + u_L \quad (4)$$

Odtud

$$u_L = U e^{-t/\tau} \quad (5)$$

Celkový příkon RL obvodu je dán integrálem součinu napájecího napětí a okamžitých hodnot proudu, daných vztahem (2), vyděleným intervalem  $T_1$ :

$$P_c = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} U i(t) dt = \frac{U^2}{T_1 R} \int_0^{T_1} (1 - e^{-t/\tau}) dt \quad (6)$$

Po vyřešení integrálu (6) dostaneme

$$P_c = \frac{U^2}{R} \frac{L}{T_1} (1 - e^{-T_1/\tau}) , \quad (7)$$

kde  $I = U/R$  je ustálená hodnota proudu procházejícího RL obvodem.

Energie, která se spotřebuje na vybuzení cívky je dána integrálem součinu okamžitých hodnot napětí indukovaného v cívce  $u_L$  a proudu  $i$ , který cívku prochází:

$$W_L = \int_0^{T_1} u_L(t) i(t) dt = \frac{U^2}{R} \int_0^{T_1} (1 - e^{-t/\tau}) e^{-t/\tau} dt \quad (8)$$

Odtud

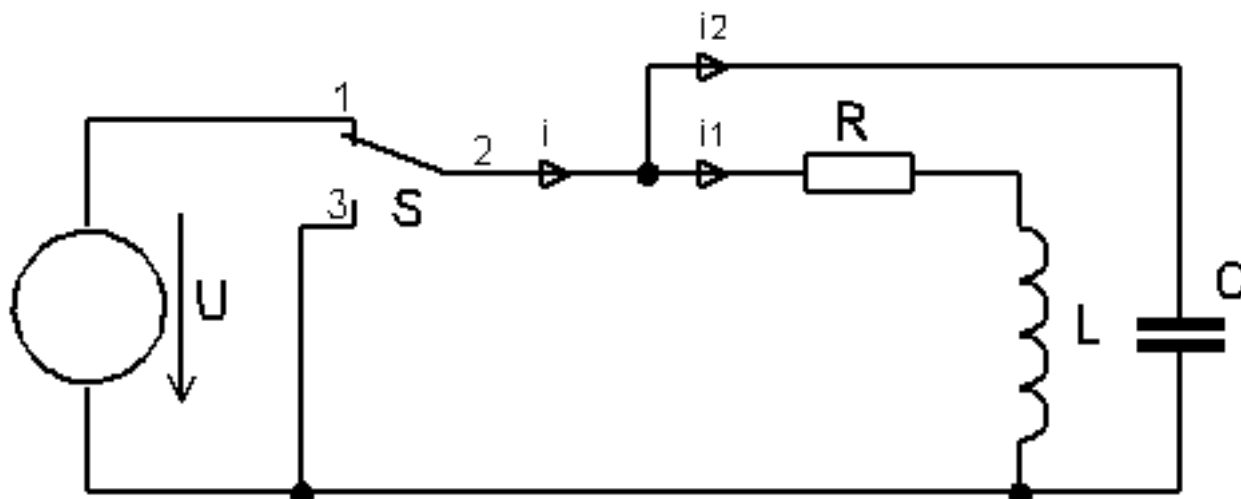
$$W_L = 1/2 L I^2 (1 + e^{-2T_1/\tau} - 2e^{-T_1/\tau}) \quad (9)$$

Energie daná vztahem (9) se při vhodném konstrukčním uspořádání Adamsova motoru nepromarní jako u klasického motoru. Po přepnutí přepínače S do polohy 3 proud v cívce postupně zanikne. Energie nahromaděná v cívce se pomocí odporu R přemění na teplo, ale proud procházející cívku koná zároveň užitečnou práci v podobě kroutícího momentu rotoru.

Z této analýzy vyplývá, že v Adamsově motoru neexistují reaktanční ztráty, ale pouze ztráty činné, podobně jako tomu je u rezonančního motoru. Adamsův motor však má proti rezonančnímu

motoru jednu nevýhodu. U Adamsova motoru totiž s otáčkami rychle klesá výkon, protože při velké časové konstantě  $t$  vzhledem k době  $T_1$ , kdy je cívka připojena na napájecí napětí, nevzroste v cívce dostatečně proud a krouticí moment je malý. Tento problém můžeme řešit tak, že snížíme časovou konstantu zvětšením odporu  $R$  obvodu cívky. Tím však se zvýší činné ztráty a následkem toho klesne celková účinnost. Na druhou stranu musíme připustit, že - na rozdíl od rezonančního motoru - u Adamsova motoru nejsou hysterezní ztráty.

Nyní budeme přemýšlet, jak výše uvedený problém vyřešit bez nutnosti zvyšovat ztráty Adamsova motoru. Nejdříve provedeme analýzu paralelního připojení kondenzátoru k cívce statoru. Obvod podle obr. 3 vyřešíme metodou uzlových napětí.



Obr. 3

$$i(j\omega) = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R + j\omega L} + U j\omega C \quad (10)$$

Po úpravě:

$$i(j\omega) = \frac{U(R + j\omega(R^2C + \omega^2 L^2 C - L))}{R^2 + (\omega L)^2} \quad (11)$$

Za podmínky rezonance

$$R^2C + \omega^2 L^2 C - L = 0 \quad (12)$$

se vztah (11) zjednoduší na tvar

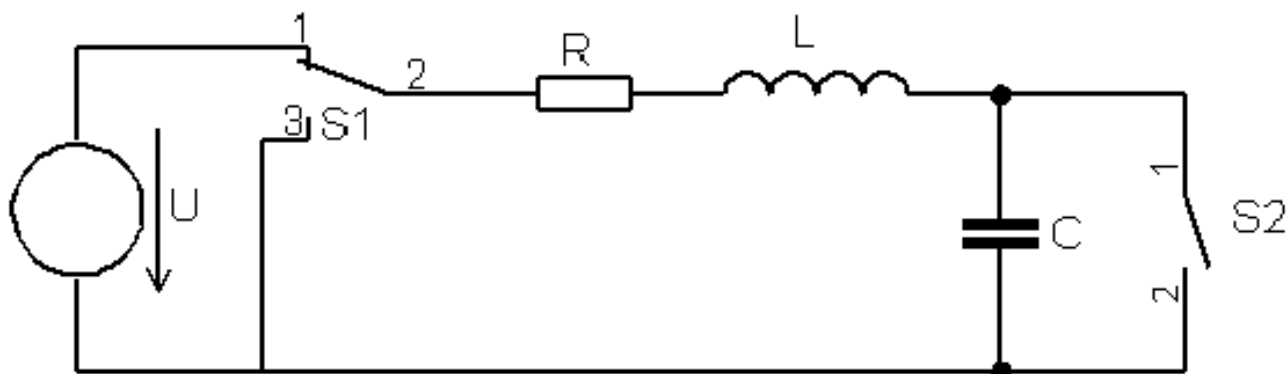
$$i(j\omega) = \frac{UR}{R^2 + (\omega L)^2} \quad (13)$$

Jalová složka je v celém obvodu sice vykompenzována, ale proud  $i_1$ , který protéká cívkou statoru, klesá s kmitočtem podle vzorce:

$$i_1 = \frac{U}{R + j\omega L} \quad (14)$$

Můžeme tedy říci, že připojení paralelního kondenzátoru k cívce náš problém neřeší.

Nyní vyšetříme případ, kdy je kondenzátor zapojen v sérii s cívkou. Všimněte si, že na obr. 4 je kondenzátor C překlenut spínačem S2. Jeho funkce bude vysvětlena později.



Obr. 4

$$i(j\omega) = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R + j\omega L + 1/j\omega C} \quad (15)$$

Po úpravě:

$$i(j\omega) = U \frac{\omega^2 RC^2 + j\omega C(1 - \omega^2 LC)}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2} \quad (16)$$

Za podmínky rezonance

$$1 - \omega^2 LC = 0 \quad (17)$$

se vztah (11) zjednoduší na tvar

$$i(j\omega) = \frac{U}{R} \quad (18)$$

Ze vztahu (18) vyplývá, že v rezonanci je proud procházející cívkou maximální a je dán pouze činným odporem.

Nyní vysvětlíme funkci spínače S2 na obrázku 4. Při rozběhu Adamsova motoru je spínač S2 sepnut, protože ze vztahu (16) vyplývá, že mimo rezonanci je impedance obvodu velká. Jakmile se úhlový kmitočet přiblíží k rezonančnímu kmitočtu

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (19)$$

je spínač S2 rozepnut a motor přejde samočinně do rezonance. Otáčky motoru lze od této chvíle řídit změnou velikosti kapacity kondenzátoru, spojeného v sérii s cívkou.

## Závěr

Zapojením kondenzátoru do série se statorovou cívkou Adamsova motoru jsme dosáhli toho, že se na tento motor můžeme dívat jako na rezonanční motor (RM), přičemž jsme vyřešili problém rozběhu RM a zároveň se nám podařilo ještě zjednodušit řízení. Tento druh RM můžeme nazvat "Rezonanční motor se zpětnou vazbou odvozenou od polohy rotoru". Pro klasický Adamsův motor (AM) s výhodou použijeme levný materiál pro magnetický obvod, protože AM dokáže eliminovat hysterezní ztráty a vyšší činné ztráty zvýší jeho kmitočtový rozsah. Naproti tomu rezonanční motor vyžaduje kvalitní materiál pro magnetický obvod statoru, zato však jeho účinnost a kmitočtový rozsah rostou úměrně s kvalitou tohoto materiálu.