

# MAŠINA SA OSCILATORNIM SISTEMOM EKSCENTRIČNOG ZAMAJCA I DISKA

Nebojša Simin, fizičar  
Alekse Šantića 47, 21000 Novi Sad, Srbija  
e-mail: [nebsimin@eunet.rs](mailto:nebsimin@eunet.rs)

Novi Sad (Srbija), 03. januar 2009.

## APSTRAKT

U ovoj studiji se razmatra pojava mogućeg uvećanja uložene energije u mašini koju pokreće dvostepeni oscilatorni sistem ekscentričnog zamajca i diska. Ekscentrični zamajac, koji osciluje na obodu diska, predstavlja primarni a disk je sekundarni oscilator. Disk osciluje prinudno, pod dejstvom ekscentričnog zamajca. Stacionarno kretanje ovog dvostepenog oscilatornog sistema se održava radom spoljne sile, koja deluje isključivo na ekscentrični zamajac. Korisnički sistem prigušuje oscilovanje diska. Pri tome, ukupna snaga oscilatornog sistema ostaje nepromenjena u odnosu na situaciju kada korisnički sistem ne prigušuje oscilovanje diska. Na promenu ukupne snage ekscentričnog zamajca i diska mogu da utiču jedino sile trenja i otpora kretanju ekscentričnog zamajca. Kada je rad sila trenja i otpora kretanju ekscentričnog zamajca dovoljno mali, a rad sile sa kojom korisnički sistem prigušuje oscilovanje diska dovoljno velik, rad spoljne sile koja održava stacionarno oscilovanje ekscentričnog zamajca i diska je manji od korisnog rada mašine. U tom slučaju, koeficijent korisnog dejstva mašine je veći od jedinice.

*Ključne reči: oscilatorni sistem ekscentričnog zamajca i diska, uvećanje uložene energije*

## CILJ I REZULTATI STUDIJE

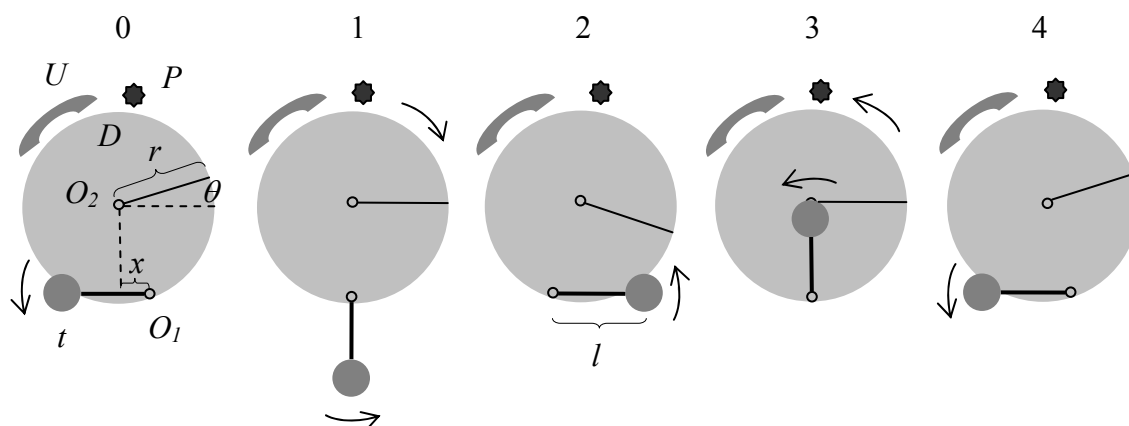
Cilj ove studije je da se objasni pojava mogućeg uvećanja uložene energije u radu ekscentričnog zamajca i diska<sup>[1]</sup>.

Izvedene su formule za koristan rad i koeficijent korisnog dejstva mašine, koja pored ovog dvostepenog oscilatornog sistema ima još dva podsistema: pokretački mehanizam koji održava stacionarno oscilovanje ekscentričnog zamajca i korisnički sistem koji preuzima deo energije diska koju bi ovaj imao da ga ne prigušuje korisnički sistem. Koeficijent korisnog dejstva mašine je veći od jedinice ukoliko je snaga korisničkog sistema dovoljno velika i ukoliko je rad sila trenja i otpora kretanju ekscentričnog zamajca dovoljno mali. Ovo je moguće zahvaljujući tome što ukupna snaga dvostepenog oscilatornog sistema ne zavisi od toga da li korisnički sistem prigušuje ili ne prigušuje oscilovanje diska, s obzirom da je oscilovanje diska prinudno. Energija koja se oslobađa prigušivanjem oscilovanja diska nepovratno se emituje prema korisničkom sistemu i okruženju, bez smanjenja ukupne snage oscilatornog sistema ekscentričnog zamajca i diska.

Sličan efekat se javlja i u slučaju dvostepenog oscilatornog sistema klatna i dvokrake poluge koji je izumeo, patentirao i konstruisao Veljko Milković ([www.veljkomilkovic.com](http://www.veljkomilkovic.com)), a koji su kasnije izučavali B. Berrett i drugi<sup>[1, 2, 3]</sup>.

## OSCILATORNI SISTEM EKSCENTRIČNOG ZAMAJCA I DISKA

Kretanje ekscentričnog zamajca i diska se odvija u horizontalnoj ravni (Slika 1.). Ležište osovine diska  $O_2$  je nepokretno u odnosu na podlogu. Ležište osovine ekscentričnog zamajca  $O_1$  se nalazi na pokretnom rubu diska  $D$ , odnosno na rastojanju  $r$  od tačke  $O_2$ , gde je  $r$  radijus diska. Korisnički sistem  $U$  prigušuje oscilovanje diska, tako da disk osciluje kao da je njegova inercijalna masa veća od stvarne. Korisnički sistem je, recimo, dinamo mašina. Pokretački mehanizam  $P$  održava stacionarne uslove rotiranja ekscentričnog zamajca, a time i oscilovanje diska koji prinudno osciluje. Na kraju drške ekscentričnog zamajca je teg  $t$  u kome je skoncentrisana praktično celokupna masa ekscentričnog zamajca. U daljoj analizi se za dužinu ekscentričnog zamajca uzima tzv. redukovana dužina  $l$ . Amplituda oscilovanja diska  $x$  u tački  $O_1$  zavisi od niza faktora. Iz više razloga, poželjno je da ta amplituda bude relativno mala u odnosu na radijus diska.



**Slika 1.** Ležište osovine diska  $O_2$  je nepokretno, a ležište osovine ekscentričnog zamajca  $O_1$  je na pokretnom obodu diska  $D$ , čiji radijus je  $r$ . Pokretački mehanizam  $P$  održava stacionarno oscilovanje ekscentričnog zamajca, čija redukovana dužina je  $l$ . Na kraju drške ekscentričnog zamajca je teg  $t$ . Pozicije: 0, 1, 2, 3 i 4, odgovaraju fazama oscilovanja ekscentričnog zamajca:  $0, \pi/2, \pi, 3/2\pi$  i  $2\pi$ . Za dati ugao  $\theta$ , amplituda oscilovanja oboda diska  $x$  zavisi od stepena prigušenja oscilovanja diska, izazvanog delovanjem korisničkog

Razmotrimo najpre fizički sistem koji se sastoji od dva međusobno zavisna podsistema: ekscentričnog zamajca i diska. Ekscentrični zamajac je jednokratno pokrenut i rotira na obodu diska, a disk prinudno osciluje. Usled povratnog delovanja diska na ekscentrični zamajac, brzina kretanja tega ekscentričnog zamajca se nužno menja u toku vremena. Samim tim, menja se i rotaciona energija ekscentričnog zamajca koja predstavlja ukupnu mehaničku energiju ekscentričnog zamajca. Istovremeno se kinetička energija diska periodično pretvara u potencijalnu energiju diska i obrnuto. Sličan je slučaj sa oscilatornim sistemom tega na opruzi, u kome teg igra ulogu diska a opruga ulogu ekscentričnog zamajca, s tom razlikom što se kinetička energija opruge periodično pretvara u potencijalnu energiju opruge i obrnuto. Ipak, postoji bitna razlika između ova dva oscilatorna sistema. Kod oscilatornog sistema tega na opruzi ukupna mehanička energija oscilatornog sistema ostaje nepromenjena u toku vremena. Kod oscilatornog sistema ekscentričnog zamajca i diska to nije slučaj. Ekscentrični zamajac ne trpi promenu potencijalne već samo promenu kinetičke energije, što znači da se njegova ukupna mehanička energija

menja u toku jednog obrta. S druge strane, ukupna mehanička energija diska, ukoliko se ova predstavi zbirom kinetičke i potencijalne energije, ostaje nepromenjena. To znači da se ukupna mehanička energija dvostepenog oscilatornog sistema ekscentričnog zamajca i diska menja u toku vremena. Ovo je jedinstven slučaj u mehanici. Slučaj koji se protivi zakonu održanja energije. Samo po sebi to možda i ne bi bilo previše interesantno, s obzirom da je promena ukupne mehaničke energije ovog dvostepenog oscilatornog sistema povratna. Međutim, kada se ovaj dvostepeni oscilatorni sistem proširi sa još jednim podsistemom, koji ima ulogu korisničkog sistema, energetska razmena unutar ovog proširenog sistema postaje nepovratna.

Korisnički sistem prigušuje oscilovanje diska, oduzimajući deo njegove početne oscilatorne energije. Ova energija se dalje nepovratno prenosi u okolinu. Posledica prigušenja diska je smanjenje razlike između maksimalne i minimalne rotacione energije ekscentričnog zamajca, što bi se desilo i u slučaju da je inercijalna masa diska veća od stvarne. Pri tome, maksimalna rotaciona energija ekscentričnog zamajca zavisi isključivo od jednokratno uloženog rada inicijalne sile kojom se čitav sistem dovodi do stanja stacionarnog oscilovanja. Drugim rečima, performanse diska, uključujući njegovo prigušenje od strane korisničkog sistema, utiču jedino na razliku između maksimalne i minimalne rotacione energije ekscentričnog zamajca. Pri tome je promena rotacione energije ekscentričnog zamajca u toku jednog obrta povratna, a ne nepovratna. To znači da se delovanjem korisničkog sistema na disk ne menja ukupna snaga dvostepenog oscilatornog sistema ekscentričnog zamajca i diska. Istovremeno, prenos energije na korisnički sistem je nepovratan. S obzirom da izlazni rad nema uticaja na ukupnu snagu mašine, mogu se zamisliti uslovi pod kojima mašina u proizvoljnom vremenskom periodu proizvodi više energije nego što se ulaže za održanje njenog stacionarnog unutrašnjeg kretanja. Ovaj zaključak se lako izvodi ukoliko se zanemari rad sila trenja koji se tiče rotacije ekscentričnog zamajca. U tom slučaju, snaga dvostepenog oscilatora sistema ostaje nepromenjena uprkos nepovratnoj potrošnji energije koja nastaje kao rezultat dejstva korisničkog sistema na disk. Ukoliko se uzme u obzir rad sila trenja koji se tiče rotacije ekscentričnog zamajca, račun je nešto složeniji. Taj račun će biti prikazan u ovom radu nešto kasnije.

Oscilatorni proces u sistemu ekscentričnog zamajca i diska, pri kome se deo zamišljene oscilatorne energije neopterećenog diska nepovratno prenosi na korisnički sistem u toku svake oscilacije diska, može da se posmatra i na sledeći način. U intervalima vremena u kojima disk povećava brzinu kretanja u odnosu na podlogu, rotaciona energija ekscentričnog zamajca se smanjuje, a u intervalima vremena u kojima disk smanjuje brzinu, rotaciona energija ekscentričnog zamajca se povećava. Ukupan rad ekscentričnog zamajca u odnosu na disk je jednak nuli i ukupan rad diska u odnosu na ekscentrični zamajac je jednak nuli. Rad diska u odnosu na ekscentrični zamajac je jednak nuli i kada korisnički sistem prigušuje njegovo oscilovanje, ali je rad diska u odnosu na korisnički sistem pozitivan. Ukupan zbir kinetičke energije ekscentričnog zamajca i diska ostaje nepromenjen, u svakom trenutku je isti, uprkos tome što korisnički sistem sukcesivno prigušuje oscilovanje diska i tako nepovratno preuzima deo zamišljene oscilatorne energije neopterećenog diska.

U realnim uslovima, posmatrani fizički sistem mora da se proširi za još dva podsistema. Prvi od ta dva podsistema je manje ili više nediferencirano fizičko okruženje koje na dvostepeni oscilatorni sistem deluje silama trenja i otpora, a drugi je pokretački mehanizam koji je zadužen da periodično kompenzuje rad sila trenja i

otpora. Mašina koja sadrži ovih pet podsistema može da ima stepen korisnog dejstva veći od jedinice, što je glavni zaključak ovog rada.

Oscilatorni sistem ekscentričnog zamajca i diska može da se dovede do stanja stacionarnog oscilovanja inicijalnim radom spoljne sile. Posle toga, rotiranje ekscentričnog zamajca se održava energijom  $E_O$  koja se periodično ulaže iz spoljne sredine putem pokretačkog mehanizma.

Period rotacije ekscentričnog zamajca  $T_E$  je jednak periodu oscilovanja diska  $T_D$ :

$$T_E = T_D = T \quad (1)$$

Ako je odnos između amplitude oboda diska  $x$  i radijusa diska  $r$  relativno mali, putanja tega ekscentričnog zamajca ima približno oblik elipse (Slika 2.).

Teg ekscentričnog zamajca prolazi kroz tačku  $D$  u fazi  $\pi/2$ , i kroz tačku  $B$  u fazi  $\pi$ . Međutim, u slučaju da korisnički sistem ne deluje na disk, teg ekscentričnog zamajca prolazi kroz tačku  $C$ . U tom slučaju, amplituda oscilovanja oboda diska je maksimalna:

$$x_{\max} \approx z = x + y \quad (2)$$

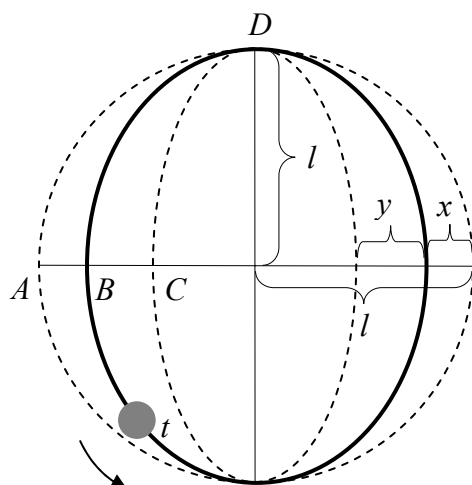
Kada je snaga korisničkog sistema maksimalna, teg ekscentričnog zamajca prolazi kroz tačku  $A$ . U tom slučaju varijabla  $y$  ima najveću moguću vrednost:

$$y_{\max} \approx z = x + y \quad (3)$$

Amplituda oboda diska  $x$  opada sa rastom snage korisničkog sistema, sve do granične vrednosti snage korisničkog sistema, kada je amplituda oboda diska  $x$  približno jednaka nuli. U tom slučaju je promena rotacione energije ekscentričnog zamajca u toku jednog obrta takođe jednaka nuli.

Disk osciluje prinudno, pod dejstvom osovine ekscentričnog zamajca. U uslovima stacionarnog oscilovanja, zbirni rad sile sa kojom ekscentrični zamajac deluje na disk je jednak nuli, s obzirom da se oscilatorna energija diska ne menja. Zbirni rad sile sa kojom disk povratno deluje na kretanje ekscentričnog zamajca takođe je jednak nuli, nezavisno od intenziteta prigušenja diska. Doduše, rotaciona energija ekscentričnog zamajca se u toku jedne oscilacije menja, ali je ta promena, kao što je već rečeno, povratna. S obzirom na ove okolnosti, energija koja se ulaže iz spoljne sredine  $E_O$  u cilju održanja rotacije ekscentričnog zamajca zavisi isključivo od rada sila trenja i otpora kretanju ekscentričnog zamajca  $A_{FE}$ :

$$E_O = A_{FE} \quad (4)$$



**Slika 2.** Putanja tega ekscentričnog zamajca  $t$  ima približno oblik elipse. Amplituda oboda diska je  $x$ , a redukovana dužina ekscentričnog zamajca  $l$ . Teg ekscentričnog zamajca prolazi kroz tačke  $D$  i  $B$ . Međutim, ukoliko spoljne sile neznatno prigušuju oscilovanje diska, teg ekscentričnog zamajca prolazi kroz tačku  $C$ . Kada je snaga korisničkog sistema maksimalna, teg ekscentričnog zamajca prolazi kroz tačku  $A$ .  $CB + BA = y + x$ .

Rad sila trenja i otpora kretanju ekscentričnog zamajca  $A_{FE}$  zavisi od perioda oscilovanja  $T$ . Isti rad neznatno zavisi od ugla  $\theta$ .

Brzina tega ekscentričnog zamajca se menja iz faze u fazu (Slika 4.). Najveća brzina tega ekscentričnog zamajca je u tački  $B$ :

$$v_{\max} = \frac{2\pi \cdot l}{T} \quad (5)$$

Najmanja brzina tega ekscentričnog zamajca je u tački  $D$ :

$$v_{\min} = \frac{2\pi(l-x)}{T} \quad (6)$$

Iz relacije (5) proizilazi maksimalna rotaciona energija ekscentričnog zamajca:

$$E_{E\max} = \frac{1}{2}m \frac{4\pi^2 l^2}{T^2} \quad (7)$$

Iz relacije (6) proizilazi minimalna rotaciona energija ekscentričnog zamajca:

$$E_{E\min} = \frac{1}{2}m \frac{4\pi^2 (l-x)^2}{T^2} \quad (8)$$

predstavlja stvarnu oscilatornu energiju diska  $E_D$ .

Iz relacija (7) i (8) sledi da razlika između maksimalne i minimalne rotacione energije ekscentričnog zamajca  $E_R$  iznosi:

$$E_R = E_{E_{\max}} - E_{E_{\min}} = \frac{2\pi^2}{T^2} m (2l \cdot x - x^2) \quad (9)$$

Ova razlika predstavlja stvarnu oscilatornu energiju diska  $E_D$ :

$$E_D = E_R \quad (10)$$

Najveća moguća vrednost oscilatorne energije diska nastaje kada korisnički sistem ne deluje na disk. U tom slučaju je razlika između maksimalne i minimalne rotacione energije ekscentričnog zamajca jednaka maksimalnoj oscilatornoj energiji diska  $E_{D_{\max}}$ :

$$E_{D_{\max}} = \frac{2\pi^2}{T^2} m (2l \cdot z - z^2) \quad (11)$$

Razlika između maksimalne i stvarne oscilatorne energije diska  $E_P$  iznosi:

$$E_P = E_{D_{\max}} - E_D = \frac{2\pi^2}{T^2} m (2l \cdot y - 2x \cdot y - y^2) \quad (12)$$

Ova razlika predstavlja četvrtinu gubitka oscilatorne energije diska u toku jedne oscilacije, koji je nastao usled prigušenja oscilovanja diska. Gubitak oscilatorne energije diska istovremeno predstavlja energiju koja se nepovratno emituje u okolinu. Deo te nepovratno emitovane energije se odnosi na energiju koju u toku jedne oscilacije diska preuzima korisnički sistem u vidu korisnog rada  $A_U$ , a deo na energiju koja se rasipa na okruženje usled rada sila trenja i otpora kretanju diska  $A_{FD}$ :

$$4 \cdot E_P = A_U + A_{FD} \quad (13)$$

Iz relacija (12) i (13) sledi:

$$A_U = \frac{8\pi^2}{T^2} m (2l \cdot y - 2x \cdot y - y^2) - A_{FD} \quad (14)$$

Rad sila trenja i otpora kretanju diska  $A_{FD}$  zavisi od perioda oscilovanja  $T$  i od ugla  $\theta$ .

Koeficijent korisnog dejstva mašine  $\eta$  je:

$$\eta = \frac{A_U}{E_O} \quad (15)$$

Iz relacija (4), (14) i (15) sledi:

$$\eta = \frac{1}{A_{FE}} \frac{8\pi^2}{T^2} m (2l \cdot y - 2x \cdot y - y^2) - \frac{A_{FD}}{A_{FE}} \quad (16)$$

Koeficijent korisnog dejstva mašine je veći od jedinice ukoliko je snaga korisničkog sistema dovoljno velika i ukoliko je rad sila trenja i otpora kretanju ekscentričnog zamajca dovoljno mali.

Ukupna snaga dvostepenog oscilatornog sistema  $P$  zavisi isključivo od maksimalne rotacione energije ekscentričnog zamajca (7). U slučaju da je amplituda oscilovanja ruba diska relativno mala ((5), (6)), maksimalna rotaciona energija ekscentričnog zamajca se ne menja sa promenom inercijalne mase diska i mogućom promenom oscilatorne energije diska. Zahvaljujući tome, ukupna snaga dvostepenog oscilatornog sistema ne zavisi od toga da li korisnički sistem prigušuje ili ne prigušuje oscilovanje diska. Naime, prigušenje oscilovanja diska usled delovanja korisničkog sistema ima isto dejstvo na snagu ekscentričnog zamajca koje bi nastalo i u slučaju realnog povećanja inercijalne mase diska. To znači da prigušenje oscilovanja diska dovodi do nepovratnog emitovanja energije iz sistema dvostepenog oscilatornog sistema, bez smanjenja njegove snage. Deo ove emitovane energije preuzima korisnički sistem, a deo se rasipa na okruženje usled rada sila trenja i otpora.

Optimalni uslovi rada ovakve mašine se postižu odgovarajućim dimenzionisanjem opisanih podsistema, kao i podešavanjem rotacione brzine ekscentričnog zamajca, kako bi se u uslovima relativno male amplitude  $x$  postigla najveća moguća brzina promene fluksa u pogledu kretanja diska u odnosu na korisnički sistem.

## ZAKLJUČAK

U ovoj studiji je objašnjena pojava mogućeg uvećanja uložene energije u toku rada dvostepenog oscilatornog sistema ekscentričnog zamajca i diska. Kada se ovde opisani dvostepeni oscilatorni sistem koristi kao deo mašine za proizvodnju energije, koeficijent korisnog dejstva mašine može da bude veći od jedinice.

Periodično delovanje spoljne sile na primarni oscilator obezbeđuje stacionarno oscilovanje dvostepenog oscilatora. Koristan rad mašine se javlja kada korisnički sistem prigušuje oscilovanje diska. Energija koja se ulaže iz spoljne sredine u cilju održanja stacionarnog oscilovanja sistema zavisi isključivo od rada sila trenja i otpora kretanju ekscentričnog zamajca, s obzirom da je zbirni rad sile sa kojom disk deluje na kretanje ekscentričnog zamajca u uslovima stacionarnog oscilovanja diska jednak nuli. Koeficijent korisnog dejstva mašine je veći od jedinice ukoliko je snaga korisničkog sistema dovoljno velika, i ukoliko je rad sila trenja i otpora kretanju primarnog oscilatora dovoljno mali.

## REFERENCE

- [1] V. Milković, N. Simin, *Perpetuum mobile* (Vrelo, Novi Sad, Srbija, 2001.)
- [2] B. Berrett, *Energy Abundance Now* (Ohio, USA, 2007.)
- [3] Veljko Milković - internet prezentacija <http://www.veljkomilkovic.com>