

# Energija iz oblika: Kako geometrija pokreće samoubrzavajući mehanizam

## Esej o CFAD sustavu i novoj formi dinamičke ravnoteže: model i implikacije

**Ranko Artuković**

samostalni autor, Zadar, HRVATSKA

e-mail: [bokola1@proton.me](mailto:bokola1@proton.me)

15. siječnja 2026.

**OBAVIJEŠT ČITATELJU:** Ovaj rad je pisan u formi znanstvenog eseja, namjerno odstupajući od stroge akademske forme. Cilj je zadržati autentičnost emocionalnog i intelektualnog puta otkrića, bez žrtvovanja znanstvene strogosti. Radi se o samostalnom, pionirskom istraživanju bez pozivanja na postojeću literaturu, osim temeljne reference [1].

**NAPOMENA O INTELEKTUALNOM VLASNIŠTVU:** Temeljno načelo opisano u ovom eseju predmet je hrvatske prijave Uporabnog modela broj UM20250073A, datum podnošenja: 9. prosinca 2025. Za informacije o licenciranju i partnerstvima obratite se autoru. Detalje vidjeti na kraju ovog rada.

### Sažetak

Ovaj rad predstavlja Samopogonski mehanizam s povratnom vezom nosača, eng. Carrier-Feedback Acceleration Drive (CFAD) – mehanički sustav koji zbog specifične kinematičke sprege i ugradene napetosti postiže stanje dinamičke inercijalne ravnoteže. Otkrivamo da se ta ravnoteža ne može relaksirati na klasičan način. Umjesto toga, jedini fizikalno dosljedan odgovor je dinamički - kontinuirano ubrzanje čiji iznos nije ograničen energijom uloženom u održavanje napetosti, već geometrijom sustava i iznosom sile zatezača lanca. Rad predlaže ciklički način rada gdje se faza ubrzanja naizmjenično izmjenjuje s fazom regenerativnog kočenja, čime se kinetička energija pretvara u električnu, a mehanizam održava unutar fizikalno ostvarivih granica. Rad pokazuje da je negativni efektivni moment inercije nosača ključan uvjet za samopobudu, te da je elektromagnetski zatezač lanca (ECT) vitalni kontrolni element. CFAD otvara novo polje istraživanja - fiziku mehaničkih sustava u stanju dinamičke inercijalne ravnoteže.

### Ključne riječi

CFAD, mehanička povratna veza, dinamička inercijalna ravnoteža, ugrađena napetost, negativni moment inercije, kinematička zamka, egzotični režim, napeti sklop, energija dinamičkog odgovora, samopobudno stanje

### 1. Uvod

Ne pišem kao akademik, već kao slobodan i znatiželjan um - sasvim obična osoba koja je, tvrdoglavom upornošću i osporavanjem nametnutih autoriteta, otkrila nešto izvanredno i želi to podijeliti s vama. Ovaj rad pišem u formi eseja zbog istraživačke slobode, radosti otkrića i emocija kroz koje sam kao izumitelj prošao (osobito poglavlje 18.1). Bez toga, čar i ljudska dimenzija trenutka bila bi izgubljena. Iako rad nema strogu akademsku formu, matematički i fizikalni modeli u njemu su rigorozni, a sve ideje su moje vlastite, bez oslanjanja na postojeću literaturu – radi se o pionirskom radu koji otvara novo polje istraživanja.

Ova priča predstavlja osobni poziv da se pogleda izvan ograda klasične mehanike na jedan drugačiji način. Tajna koju će vam ovdje otkriti je dobra vijest i mogla bi biti jedno od najvažnijih

saznanja s kojima ćete se susresti. *Potičem vas da ovaj tekst kopirate i dijelite slobodno i široko - ali bez ikakvih izmjena.* Ovo nije rezervirano za elite ili čuvare vrata; ovo je za sve.

## 2. Srž otkrića

U srži klasične mehanike leži neosporni aksiom: unutarnje sile ne mogu promijeniti gibanje sustava kao cjeline. CFAD mehanizam ovaj aksiom ne pobija, već produbljuje: Kroz pronicljivu kinematičku spregu i mehaničku povratnu vezu, nosač (C) prestaje biti pasivna potpora i postaje dinamički oslonac - "odskočna daska" - koja omogućuje kontinuirano ubrzanje planeta, šine i samog sebe.

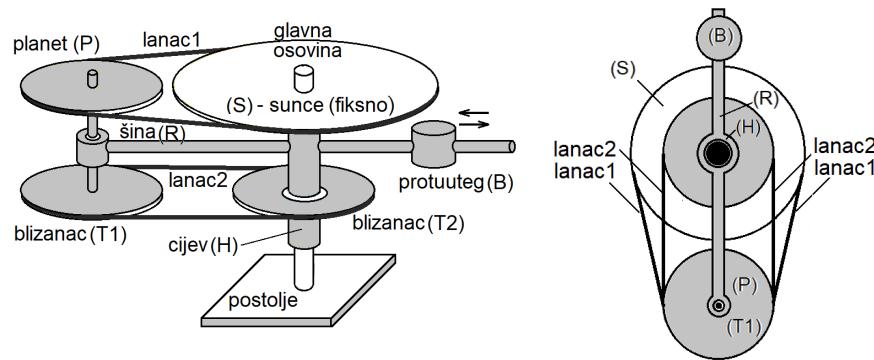
Napetost lanaca ostaje stalna, kutne brzine i snaga rastu linearno s vremenom - sve bez vanjskih izvora okretnog momenta. Kako bi se CFAD održavao unutar fizikalno ostvarivih parametara, u članku se predlaže ciklički način rada s regenerativnim kočenjem. Ovaj mehanizam nije kršenje fizike već njezino produbljivanje; on je duboko povezan s okolinom preko statičkog momenta fiksног lančanika nazvanog sunce (S), a dinamika mu proizlazi iz simetrije u snazi i energiji (50/50) između nosača i pokretnih elemenata.

U nastavku ću otkriti put prema potpuno novom shvaćanju energije, gibanja i samopobudnih sustava. Slijedi opis složenog mehaničkog uređaja nazvanog Sklop koji sadrži dvije komponente A i B.

## 3. Komponenta A: Planetarni lančani mehanizam

Dijelovi mehanizma (Crt. 1.):

- Glavna centralna osovina. Fiksna.
- Sunce (S) - fiksni lančanik, radijus  $R_S$ , kutno ubrzanje  $\alpha_S=0$ . Montiran na glavnu osovinu (axle) i u krutoj vezi s njom. Glavna osovina je fiksna i stoji okomito na masivnoj bazi kao podlozi. Efektivni moment inercije od (S) je beskonačan u ovom modelu.
- Planet (P) - lančanik okretno montiran na šinu, radijus  $R$ , kutno ubrzanje  $\alpha_P$ .
- Šina (R) rotira oko središta sunca i nosi (P) i (T1). Moment inercije šine je  $I_R$ . Kutno ubrzanje šine je  $\alpha_R$ . Zbog rotacijskog balansa, šina na drugom kraju ima protuteg (B)
- Lanac\_1 spaja (S) i (P), nerastezljiv i bez proklizavanja. U izračunu zanemarujemo njegovu masu i moment inercije.
- Udaljenost središta (P) i (S),  $d > R+R_S$
- Prvi blizanac (T1) – identičan kao (P), montiran ispod i u krutoj vezi s (P), radijus  $R$ , kutno ubrzanje  $\alpha_P$ .
- Drugi blizanac (T2) – identičan kao (P), okretno montiran (bearing-mounted) na glavnu osovinu, radijus  $R$ , kutno ubrzanje  $\alpha_P$ .
- Lanac\_2 spaja (T1) i (T2), nerastezljiv i bez proklizavanja. U izračunu zanemarujemo njegovu masu i moment inercije.
- Udaljenost središta (T1) i (T2),  $d$ .
- Lančanici (P), (T1) i (T2) imaju isto kutno ubrzanje  $\alpha_P$ . Stoga, ukupni moment inercije sva tri tijela zajedno je  $I_P$ .
- Rotaciju ulijevo (protivno kazaljci) smatramo pozitivnom.



Crtež 1. lijevo: Komponenta A. Planetarni lančani mehanizam

Crtež 1. desno: Pogled odozgo

### 3.1. Opis planetarnog lančanog mehanizma

Predmetni mehanizam (Crt. 1.) čine dva horizontalna lančanika nazvana sunce ( $S$ ) i planet ( $P$ ) međusobno povezana lancem\_1 koji ne proklizava. Centralni lančanik ( $S$ ) radijusa  $R_S$  je fiksan i nerotirajući. Drugi lančanik ( $P$ ) radijusa  $R$  okretno je montiran na horizontalnu šinu ( $R$ ) i giba se po kružnici radijusa  $d > R+R_S$  oko glavne osovine. Kutno ubrzanje šine,  $\alpha_R$ , u isto vrijeme je orbitalno kutno ubrzanje planeta ( $P$ ) oko ( $S$ ).

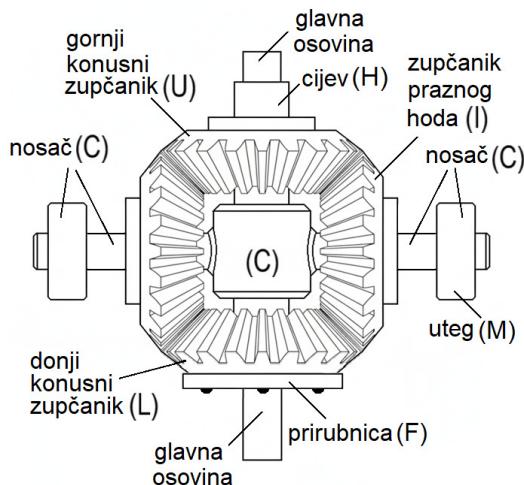
Neka opisani planetarni mehanizam ima sljedeći dodatak: Ispod ( $P$ ) nalazi identičan zupčanik blizanac ( $T1$ ) koji je s njim u krutoj vezi. ( $T1$ ) zatim je povezan pomoću lanca\_2 s blizancem ( $T2$ ). Lančanik ( $T2$ ) okretno je montiran na glavnu osovinu. Lančanici ( $P$ ), ( $T1$ ) i ( $T2$ ) imaju isto kutno ubrzanje  $\alpha_P$ .

Napomena: Osim lančanog, moguć je i zupčasti planetarni mehanizam, ali to sada nećemo razmatrati.

## 4. Komponenta B: Diferencijalni mehanizam

Dijelovi mehanizma (Crt. 2.):

- Glavna centralna osovina. Fiksna.
- Gornji konusni zupčanik ( $U$ ), radijus  $R$ , kutno ubrzanje  $\alpha_U$ . Okretno montiran na vertikalnu cijev na glavnoj osovinu. U zahvatu s vertikalnim ( $I$ ).
- Donji konusni zupčanik ( $L$ ), radijus  $R$ , kutno ubrzanje  $\alpha_L$ . Okretno montiran na na vertikalnu cijev na glavnoj osovinu. U zahvatu s vertikalnim ( $I$ ).
- Idle pinion ( $I$ ), radijus  $r < R$ , kutno ubrzanje  $\alpha_I$ . Istovremeno u zahvatu s ( $U$ ) i ( $L$ ). Može slobodno rotirati oko vlastite horizontalne osi (ruka) kutnim ubrzanjem  $\alpha_I$ . Također, zbog svog smještaja na nosač ( $C$ ), ima orbitalno kutno ubrzanje  $\alpha_C$ .
- Nosač, ( $C$ ), jedinstveno rotirajuće tijelo koje nosi ( $I$ ), okretno montiran na vertikalnu cijev na glavnoj osovinu. Smješten između ( $U$ ) i ( $L$ ), kutno ubrzanje  $\alpha_C$ . Zbog dinamičkog balansa, optimalno je da nosač ( $C$ ) nosi najmanje 2 identična zupčanika ( $I$ ) koji su simetrično raspoređeni. Svaka bočna ruka sadrži pomičnu masu ( $M$ ). Na taj način moguće je postići željeni moment inercije nosača.
- Vertikalna cijev ( $H$ ) - okretno montirana (bearing-mounted) na glavnu osovinu.
- Radijus zupčanika odnosi se na njegov diobeni radijus, stručni pojam koji se najčešće koristi u strojarstvu.



**Crtež 2. Komponenta B.** Diferencijalni mehanizam.

Zbog dinamičkog balansa, nosač (C) sadrži dva ili više identičnih zupčanika (I)

#### 4.1. Opis diferencijalnog mehanizma

Predmetni mehanizam (Crt. 2.) čini sklop od tri konusna zupčanika u međusobnom zahvatu. Dva jednaka krumska zupčanika, nazvana gornji konusni zupčanik, (U) i donji konusni zupčanik, (L), okretno su montirani na zajedničku vertikalnu cijev (H), čineći time koaksijalni par. Oba rotiraju u horizontalnoj ravnini.

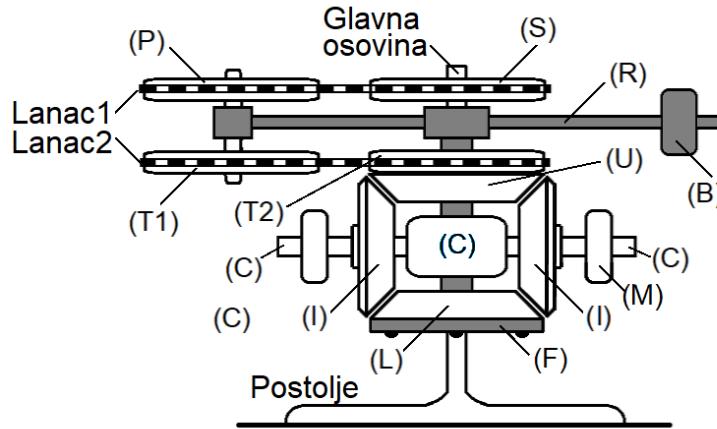
Između (U) i (L) smješten je treći konusni zupčanik (može ih biti i više), nazvan idle pinion, (I). Zupčanik (I) istovremeno je u zahvatu s (U) i s (L). Opremljen je ležajem koji mu omogućava slobodnu rotaciju oko horizontalne osovine nazvane rukama.

Konfiguracija ruke i središnjeg nosećeg elementa definira se kao jedinstveno rotirajuće tijelo, nazvano nosač, (C), koji u sredini ima ležaj i okretno je montiran između (U) i (L). Tako, nosač (C) može slobodno rotirati oko vertikalne cijevi (H), odnosno glavne osovine.

Dakle, mehanizam se sastoji od tri zupčanika u zahvatu (U), (L), (I) i četvrtog rotacijskog elementa (C) koji nosi (I).

### 5. Obje komponente zajedno

Napravimo sada novi mehanički uređaj nazvan Sklop koji sadrži obje komponente A i B postavljene jednu iznad druge na zajedničkoj glavnoj osovini (Crt. 3.). Ispod planetarnog mehanizma (komponenta A) montiran je diferencijalni mehanizam (komponenta B).

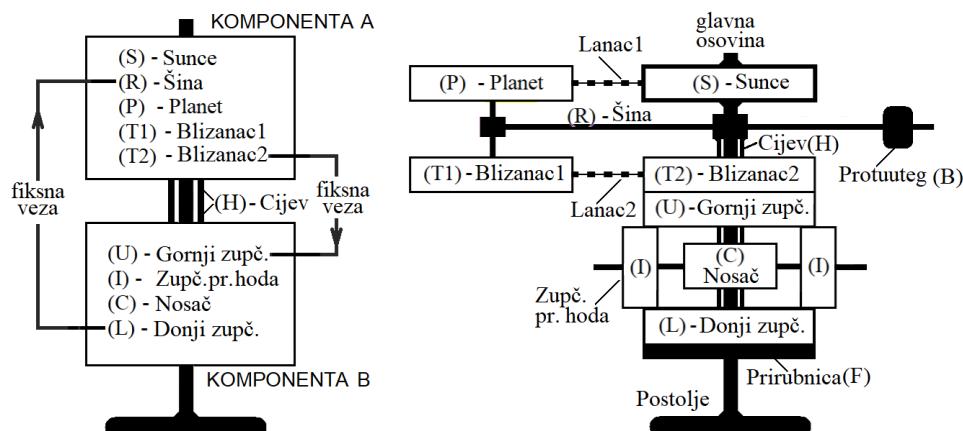


**Crtež 3. Sklop na fiksnoj bazi.** Komponente A i B montirane su jedna iznad druge. Rotacijski balans postiže se pomicanjem protutegata (B) uzduž šine (R).

Kako bi što više pojednostavnili izračun, uvedimo i ovu aproksimaciju: Neka idle pinion (I) ima zanemarivu masu i moment inercije ( $m_I=0$ ,  $I_I=0$ ). U praksi, zupčanik (I) moguće je napraviti od laganog materijala velike žilavosti (toughness) i dovoljne tvrdoće (hardness). Njegov diobeni radius,  $r$ , obično je 2-3 puta manji od diobenog radiusa  $R$  zupčanika (U) i (L).

## 6. Način povezivanja

- Lančanik (T2) je u fiksnoj vezi s gornjim konusnim zupčanikom (U). Tako, (T2) i (U) zajedno čine kompaktno rotirajuće kruto tijelo okretno montirano na glavnu osovini, (Crt. 4.).
- Donji konusni zupčanik (L) fiksno je povezan sa šinom (R) pomoću vertikalne cijevi. To kruto tijelo kao cjelina ima oblik podvučenog slova "I". Njegov vertikalni dio je šuplja cijev, a gornji horizontalni dio je šina (R). Podvučeni dio slova "I" je pločasta prirubnica (F) u krutoj vezi s donjim konusnim zupčanikom (L). Ovo jedinstveno kruto tijelo koje se sastoji od elemenata: (R), (H), (F) i (L) može rotirati oko glavne osovine.



Crtež 4. Shematski prikaz cijelog Sklopa.

## 7. Mehanička povratna veza

Ako su obje komponente Sklopa međusobno povezane na opisani način, uočavamo da među njima postoji mehanička povratna veza. Tako:

- Izlaz komponente A, zbog fiksnog spoja (T2) i (U), postaje ulaz komponente B
- Izlaz komponente B, zbog fiksnog spoja (L) i (R), postaje ulaz komponente A

## 8. Dinamika Sklopa - klasični režim

Pokretanje opisanog Sklopa možemo ostvariti vanjskim djelovanjem: Neka na Sklop istovremeno djeluju dva vanjska okretna momenta,  $\tau_R$  i  $\tau_C$ . Prvi djeluje na šinu (R), a drugi na nosač (C). Kao posljedica toga, svi dijelovi Sklopa počinju ubrzano rotirati. Postavimo sada Newtonove jednadžbe gibanja za ovaj sustav i nađimo njihova rješenja:

$$I_P \alpha_P = (F - T)R \quad (1)$$

$$I_R \alpha_R = FR - T(R_S - R) + \tau_R \quad (2)$$

$$\alpha_P = \alpha_R \cdot (R - R_S) / R \quad (3)$$

$$I_C \alpha_C = -2FR + \tau_C \quad (4)$$

$$\alpha_P = \alpha_C - \alpha_I \cdot r / R \quad (5)$$

$$\alpha_R = \alpha_C + \alpha_I \cdot r / R \quad (6)$$

U gornjim formulama T i F su inducirane sile napetosti na jednoj strani lanca\_1, odnosno lanca\_2. Ove sile izravna su posljedica djelovanja vanjskih okretnih momenata  $\tau_R$  i  $\tau_C$ . Jednadžbe (1), (2) i (4) su dinamičke, a (3), (5) i (6) su kinematicke.

Ključne pretpostavke u gornjem setu od šest jednadžbi uključuju zanemariv moment inercije zupčanika (I), te fiksne veze između nekih elemenata mehaničkog sustava. Gornje jednadžbe dosljedne su Newtonovim zakonima za rotaciju [1] i kinematickim ograničenjima mehaničkog sustava. Temelje se na fizikalnim principima i geometrijskim odnosima koji su standardni u analizi mehanizama. Zajedno tvore dinamički model Sklopa - sustava koji uključuje komponentu A i komponentu B s povratnom vezom.

## 9. Rješenja

Tražimo rješenja gornjeg seta jednadžbi za kutna ubrzanja elemenata (P), (R), (I) i (C). Ovdje zbog kratkoće nećemo prikazati čitavi izračun, već dajemo gotova (i višestruko provjerena) rješenja. Neka je  $k = (R - R_S) / R$ . Kutna ubrzanja planeta, šine, nosača i idle piniona su redom:

$$\alpha_P = k \cdot \alpha_R \quad (7)$$

$$\alpha_R = \frac{2 \cdot \tau_C \cdot (1+k) + 4 \cdot \tau_R}{4 \cdot (I_R + I_P \cdot k^2) + I_C \cdot (1+k)^2} \quad (8)$$

$$\alpha_C = \frac{1+k}{2} \cdot \alpha_R \quad (9)$$

$$\alpha_I = \frac{R}{2r} \cdot (1-k) \cdot \alpha_R \quad (10)$$

Iz jednadžbi (4) i (2) direktno proizilaze inducirane sile napetosti:

$$F = \frac{\tau_c - I_c \alpha_c}{2R} \quad (11)$$

$$T = F - \frac{I_p \alpha_p}{R} \quad (12)$$

Ulagna snaga Sklopa je:

$$P_{IN} = \tau_c \alpha_c t + \tau_R \alpha_R t \quad (13)$$

gdje je  $t$  proteklo vrijeme. Svi elementi Sklopa akceleriraju, pa se povećava njihova kinetička energija. Vremenskom derivacijom kinetičke energije dobivamo izlagnu snagu:

$$P_{OUT} = I_p \alpha_p^2 \cdot t + I_R \alpha_R^2 \cdot t + I_c \alpha_c^2 \cdot t \quad (14)$$

Izračun pokazuje da je uvijek  $P_{IN}=P_{OUT}$ . Okretni moment svih rotirajućih elemenata je:

$$M_1 = I_p \alpha_p + I_R \alpha_R + I_c \alpha_c \quad (15)$$

Vanjski okretni moment koji djeluje na Sklop je:

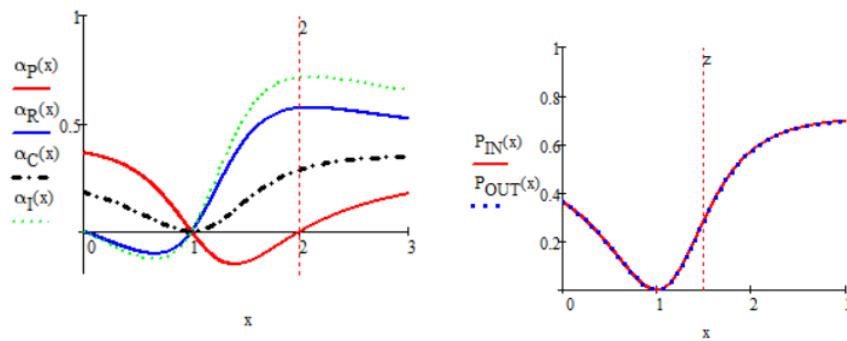
$$M_2 = \tau_c + \tau_R - T \cdot R_s \quad (16)$$

Treći član s desna je vanjski (reakcijski) okretni moment koji djeluje preko lanca\_1. Izračun pokazuje da je uvijek  $M_1=M_2$ .

## 10. Grafovi funkcija

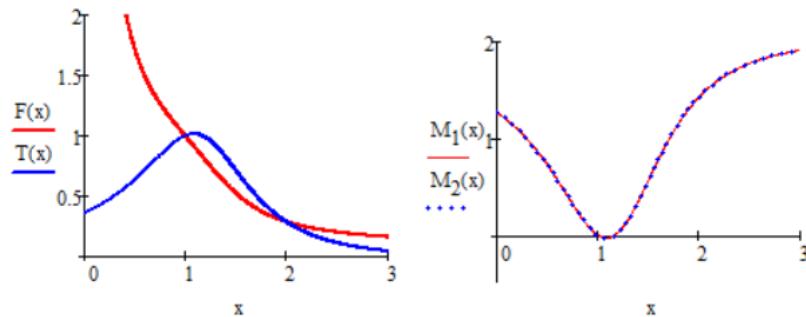
Gledajući samo gornje formule, teško je vidjeti širu "sliku" opisanog fizikalnog modela. Puno jasniji pogled daju nam grafovi funkcija. Stoga, u gornjim rješenjima neka je radijus planeta,  $R$ , ulagna varijabla označena s  $x$ . Neka su ostali parametri zadani. Kutna ubrzanja (7)-(10) tako postaju funkcije od  $x$ .

Neka je zadano:  $R_s=2m$ ,  $r=0.8m$ ,  $I_p=2\text{kgm}^2$ ,  $I_R=1\text{kgm}^2$ ,  $I_c=3\text{kgm}^2$ ,  $\tau_c=2\text{Nm}$ ,  $\tau_R=0$ ,  $t=1\text{s}$ . Dakle, vanjski okretni moment djeluje samo na nosač, a ne na šinu. Sljedeći crtež prikazuje grafove kutnih ubrzanja i snage:



**Crtež 5. lijevo:** Grafovi kutnih ubrzanja planeti, šine, nosača i idle piniona, formule (7)-(10). **Crtež 5. desno:** Graf ulazne i izlagne snage, formule (13) i (14)

Sljedeći crtež prikazuje grafove induciranih sila napetosti i okretnih momenata:



**Crtež 6. lijevo:** Grafovi sile napetosti  $F$  i  $T$ , formule (11) i (12).

**Crtež 6. desno:** Ravnoteža okretnih momenata, formule (15) i (16)

Zaključak: Dobiveni rezultati pokazuju da su rješenja (7)-(10) konzistentna jer u potpunosti zadovoljavaju set od šest jednadžbi. Jednadžbe (1)-(6) točno opisuju dinamiku Sklopa prikazanog na Crt. 3. i 4. Njihova rješenja u skladu su sa zakonom očuvanja energije i okretnog momenta, vidjeti Crt. 5. i 6. desno. Dakle, Sklop se ponaša na potpuno očekivani, klasični način. To je Sklop u klasičnom režimu.

## 11. Napeti sklop

Inducirane sile napetosti  $F$  i  $T$ , formule (11) i (12), posljedica su djelovanja vanjskih okretnih momenata. Dakle, ako  $\tau_C$  i  $\tau_R$  iščeznu, nestat će spomenute sile i kutna ubrzanja. Sada na scenu stupa tipično istraživačko pitanje: Što ako...

Što ako "ugradim" sile napetosti u Sklop, tako da one ostanu trajne? Takav sklop nazvat će Napeti sklop.

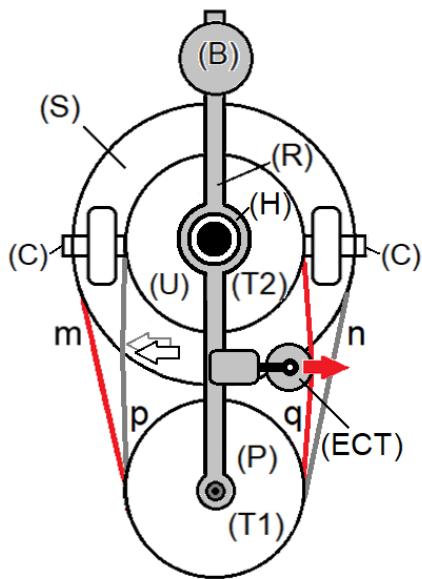
Ali čekaj! Je li trajna napetost lanaca uopće održiva? U normalnim okolnostima napeti lanac bi osciliranjem izgubio svu početnu napetost. Ovu pojavu nazivamo relaksacija. Drugim riječima, sva elastična potencijalna energija u konačnici prešla bi u toplinu.

Gornje pitanje postavljeno je izvan klasičnih okvira. Svejedno, idem pokušati.

### 11.1. Osnovna (pasivna) napetost lanaca

Odmah se nameće potreba definiranja sljedećih tehničkih detalja (Crt. 7.):

Označimo lance na sljedeći način: lanac\_1 ( $m, n$ ) i lanac\_2 ( $p, q$ ). Prvo slovo u zagradi označava lijevu stranu lanca, a drugo desnu. Neka lanac\_2 ima svoj vlastiti pasivni zatezač koji je montiran na šinu ( $R$ ). On napinje lijevu ( $p$ ) stranu lanca\_2. Na taj način postignuto je da jedna strana lanca\_2 bude duža od druge, dakle  $p > q$ .



**Crtež 7. Tlocrt.** ECT napinje oba lanca istovremeno. Napete strane obojane su crveno.

## 11.2. Aktivni zatezač lanca

Osim pasivnog zatezača, Sklop ima i drugi, aktivni zatezač (Crt. 7). Njegov naziv je: elektromagnetski zatezač lanca (ECT). Smješten je s desne strane šine (R) i zateže desnu (q) stranu lanca\_2.

Na taj način u lancu\_2 postiže se željena napetost  $F_0$ , a indirektno i napetost T u lancu\_1. To je stoga što su lančanici (P) i (T1) u fiksnoj vezi jedan s drugim. Dakle, ECT napinje oba lanca istovremeno.

## 11.3. Ugrađena napetost i kinematička zamka

Gledajući Crt. 7., napeta desna (q) strana lanca\_2 djeluje na lančanik (T2) i teži ga okrenuti udesno. Da je lančanik (T2) sloboden, napetosti obje strane istog lanca bi se odmah izjednačile pa ne bi dobili nikakav željeni efekt.

Ali lančanik (T2) nije sloboden. To je zbog mehaničke povratne veze postignute fiksnim spajanjem (T2) s (U) i (L) s (R) preko pločaste prirubnice (F) i vertikalne cijevi (H), vidjeti Crt. 3. U konačnici, napetost  $F_0$  ne prenosi se na drugu stranu lanca\_2, već na horizontalnu šinu (R) težeći je okrenuti ulijevo. To se opet kinematički prenosi na planet (P) (vidjeti formulu (3)). I tako smo opet na početku zatvorene petlje!

Konačan zaključak je da napetost obaju lanaca koju uzrokuje ECT ne može iščeznuti relaksacijom, ili

Ugrađena napetost ostaje trajno unutar Sklopa i ne može nestati. Ova činjenica je od krucijalne važnosti za daljnju dinamiku Napetog sklopa.

Ukratko, ne postoji mehanički put za relaksaciju lanaca koji nije kinematički blokiran. Lanci i zupčanici koji su u međusobnom zahvatu su zarobljeni u svojevrsnoj kinematičkoj klopcu. Nikakvi kutni pomaci osim onih opisanih u kinematičkim jednadžbama (3), (5) i (6) nisu mogući. U suprotnom, lanac bi morao preskočiti ili bi zupci morali puknuti.

## 11.4. Fizikalne posljedice

Ugrađena napetost mora imati fizikalne posljedice na mehanički sklop. Naš sustav nije izoliran, jer je povezan s okolinom samo na jednom mjestu u jednoj pokretnoj točki - preko sunčanog lančanika (S) koji je fiksan. To je točka gdje napeti lanac\_1, na strani (m) dodiruje sunce (S), vidjeti Crt. 7. Druga (n) strana lanca\_1 je labava.

Zbog interakcije s okolinom fizikalni sustav mora odgovoriti. Kakav će biti njegov odgovor, statički ili dinamički – uskoro ćemo vidjeti.

Elastična sila napetih lanaca postignuta pomoću ECT ostaje ista tijekom vremena jer nema relaksacije. Točnije, samo jedna strana svakog lanca ostaje trajno napeta - ugrađena napetost je inherentno svojstvo sustava.

Opisani mehanički uređaj s ugrađenom napetošću nazvat ćemo Napeti sklop.

## 12. Dinamika Napetog sklopa – egzotični režim

Sada slijedi opis fizikalnog modela. Zato ponovo napišimo Newtonove jednadžbe gibanja Napetog sklopa koji je prikazan na Crt. 3. i Crt. 7. I ovdje će vrijediti iste jednadžbe kao i ranije (1)-(6), ali uz dvije bitne razlike:

- Više nema vanjskih okretnih momenata  $\tau_C$  i  $\tau_R$  koji bi stvorili vlačno naprezanje u oba lanaca kao posljedicu,
- Umjesto toga imamo ECT koji zateže lance i stvara ugrađenu napetost. Ona uzrokuje ubrznu rotaciju elemenata kao što su planeti, šina i nosač.

Nove jednadžbe gibanja praktički ostaju iste kao ranije. Jedina razlika je brisanje  $\tau_C$  i  $\tau_R$ . Zbog važnosti tih jednadžbi napišimo ih ponovno:

$$I_p \alpha_p = (F_0 - T) \cdot R \quad (17)$$

$$I_R \alpha_R = F_0 \cdot R - T \cdot (R_S - R) \quad (18)$$

$$\alpha_p = \alpha_R \cdot (R - R_S) / R \quad (19)$$

$$I_C \alpha_C = -2F_0 \cdot R \quad (20)$$

$$\alpha_p = \alpha_C - \alpha_I \cdot r / R \quad (21)$$

$$\alpha_R = \alpha_C + \alpha_I \cdot r / R \quad (22)$$

gdje je  $T$  napetost lijeve (m) strane lanca\_1, a  $F_0$  je napetost desne (q) strane lanca\_2, vidjeti Crt.7.

Ove jednadžbe u potpunosti opisuju Napeti sklop (CFAD). Stalna sila  $F_0$ , kao zadani ulazni parametar, predstavlja ugrađenu napetost na desnoj (q) strani lanca\_2 koju stvara ECT. Ona se zbog mehaničke povratne veze prenosi među elementima Sklopa upravo kao što opisuju Newtonove dinamičke jednadžbe (17), (18) i (20).

## 13. Rješenja

U gornjem setu jednadžbi traže se kutna ubrzanja. Zbog ograničene duljine članka nije prikazan čitavi izračun, već se daju gotova i višestruko provjerena rješenja. Tako, kutna ubrzanja planeta, šine, nosača i idle piniona su redom:

$$\alpha_p = \frac{F_0 R (R - R_s) (2R - R_s)}{D} \quad (23)$$

$$\alpha_r = \frac{F_0 R^2 (2R - R_s)}{D} \quad (24)$$

$$\alpha_c = \frac{F_0 R}{2} \cdot \frac{(2R - R_s)^2}{D} \quad (25)$$

$$\alpha_t = \frac{F_0 R^2 R_s}{2r} \cdot \frac{2R - R_s}{D} \quad (26)$$

$$T = F_0 R \cdot \frac{I_r R - I_p (R - R_s)}{D} \quad (27)$$

gdje je

$$D = I_r R^2 + I_p (R - R_s)^2 \quad (28)$$

$I_p$  - ukupni moment inercije elemenata (P), (T1), (T2) i (U),  
 $I_r$  - ukupni moment inercije šine

### 13.1. Kritični moment inercije nosača

Gornja rješenja, kao matematički nužna posljedica, u potpunosti zadovoljavaju set od 6 jednadžbi gibanja (17)-(22). Sustav je konzistentan samo ako vrijedi  $\alpha_c = (\alpha_p + \alpha_r)/2$  što dovodi do uvjeta:

$$I_c = -4 \cdot \frac{I_r R^2 + I_p (R - R_s)^2}{(2R - R_s)^2} \quad (29)$$

Neka su momenti inercije  $I_p$  i  $I_r$  zadani. Moment inercije nosača,  $I_c$ , više nije proizvoljan, već mora zadovoljavati formulu (29), vidjeti Crt. 9. desno. Ovo proizilazi iz matematičke nužnosti spomenutih jednadžbi, te je od krucijalne važnosti za dinamiku Napetog sklopa.

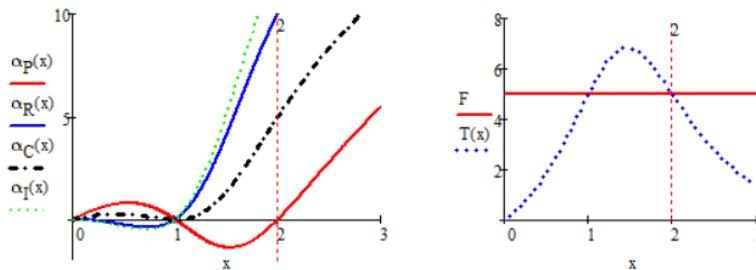
Kod dizajniranja, konstrukcije i verifikacije prototipa, negativni predznak u (29) možemo ignorirati. Tako

$$I_{crit} = |I_c| = 4 \cdot \frac{I_r R^2 + I_p (R - R_s)^2}{(2R - R_s)^2} \quad (30)$$

Ovu fizikalnu veličinu nazovimo kritični moment inercije. To je stvarni, fizički moment inercije nosača kao krutog tijela.

### 13.2. Grafovi funkcija

Za razliku od formula, grafovi funkcija daju puno jasniju fizikalnu sliku. Neka je radijus planeta,  $R$ , ulazna varijabla  $x$ . Gornja rješenja prikažimo kao funkcije od  $x$ , pa nacrtajmo grafove. Neka su svi ulazni parametri zadani, na primjer:  $R_s=2m$ ,  $r=0.8m$ ,  $I_p=2\text{kgm}^2$ ,  $I_r=1\text{kgm}^2$ ,  $F_0=5\text{N}$ ,  $t=1\text{s}$ . Kutna ubrzanja i sile napetosti prikazani su na sljedećem crtežu:



**Crtež 8. lijevo:** Grafovi kutnih ubrzanja planeta, šine, nosača i idle piniona, formule (23)-(26). Ubrzanja dramatično ovise o geometriji tj. o omjeru  $R/R_S$  **Crtež 8. desno:** Sile napetosti  $F_0$  i  $T$ , formula (28).

Tako, na primjer za  $x=R=2m$  dobivamo:  $\alpha_P=0$ ,  $\alpha_R=10s^{-2}$ ,  $\alpha_C=5s^{-2}$ ,  $\alpha_I=12.5s^{-2}$ ,  $T=F_0$

## 14. Je li negativni moment inercije - greška?

Konvencionalni način razmišljanja uvlači nas u klasičnu priču oko elastičnosti lanca i pohranjene potencijalne energije. Zbog oscilacija i pretvorbe u kinetičku, potencijalna energija napetog lanca opada k nuli tijekom vremena – to je fizikalna pojava nazvana relaksacija.

Ali za oscilaciju su potrebni stupnjevi slobode kojih u Napetom sklopu - nema. Ako pokušamo "gurnuti" lanac da relaksira, taj pomak bi se, prema kinematičkom sprezanju, propagirao kroz cijeli sustav i vratio natrag, jer su (T2)-(U)-(I)-(L)-(H)-(R)-(P)-(S) svi u krutoj kinematičkoj sprezi. To nije lanac između dva slobodna zupčanika; to je zatvorena kinematička petlja gdje je svaki pomak definiran jednadžbama.

Čini se da je glavni problem što iz uvjeta (29) proizilazi da moment inercije  $I_C$  mora biti negativan. To klasična mehanika ne dozvoljava i priča je završena. Ali čekaj!

Negativni moment inercije ovdje je zanimljiva matematička posljedica, a ne novi fizikalni zakon ili poricanje definicije. Naravno da je fizički (stvarni) moment inercije nosača (C) pozitivan.

Ali zbog ugrađene napetosti u cijeloj kinematičkoj petlji, sistem "vidi" negativni  $I_C$  i upravo tako se ponaša - kao da sadrži izvor energije! Ovaj matematički fenomen direktno slijedi iz jednadžbi gibanja (23)-(26), a osobito iz (29), što je neporecivo. Upravo zato sistem je u egzotičnom (samopobudnom) režimu. To znači da svi njegovi elementi (P, R, C, I) stalno akceleriraju. Bez ugrađene napetosti sistem bi se ponašao na klasičan način, upravo kao što opisuju jednadžbe (1)-(6).

Stoga tvrdim da - priča ovdje tek počinje. Postoje još dva jaka argumenta za to:

### 14.1. Prvi argument: Analiza snage

Nešto vrlo zanimljivo se događa ako izračunamo ukupnu snagu Napetog sklopa. Prema gornjem izračunu svi njegovi elementi akceleriraju, osim sunca (S) koje je fiksno. Vremenskom derivacijom rotacijske kinetičke energije dobivamo snagu. Snaga koja se razvija na planetu i šini zajedno je:

$$P_P + P_R = I_P \alpha_P^2 \cdot t + I_R \alpha_R^2 \cdot t \quad (31)$$

gdje je  $t$  proteklo vrijeme. Snaga na nosaču je

$$P_C = I_{CRIT} \alpha_C^2 \cdot t \quad (32)$$

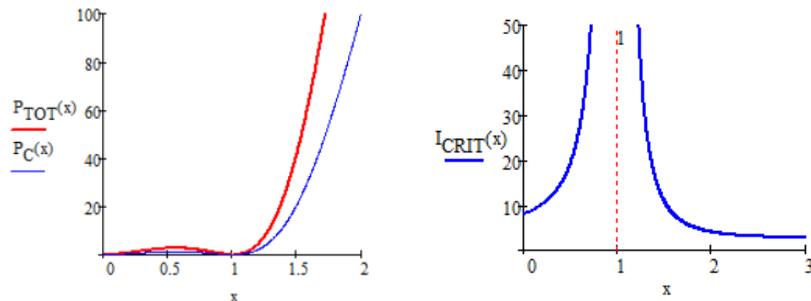
Ukupna mehanička snaga koju razvija Napeti sklop je:

$$P_{TOT} = P_p + P_R + P_C \quad (33)$$

Račun pokazuje (vidi Crt. 9. lijevo) da je uvijek:

$$P_p + P_R = P_C \quad \text{ili} \quad P_{TOT} = 2P_C \quad (34)$$

Grafovi snage prikazani su na sljedećem crtežu lijevo:



**Crtež 9. lijevo:** Snaga na nosaču i ukupna snaga, formule (32) i (33).

Snaga dramatično ovisi o geometriji tj. o omjeru  $R/R_S$

**Crtež 9. desno:** Moment inercije nosača,  $I_{CRIT}$ , formula (30)

Energetska bilanca potvrđuje sljedeće:

- Uočavamo mehaničku simetriju - Snaga na nosaču točno je jednaka snazi na planetu i šini zajedno, formula (34)!
- Snaga dramatično ovisi o geometriji Napetog sklopa, tj. o omjeru  $R/R_S$

Gornje činjenice o snazi duboko su značajne i fascinantne. To nije "puka slučajnost".

## 14.2. Drugi argument: Analiza okretnih momenata

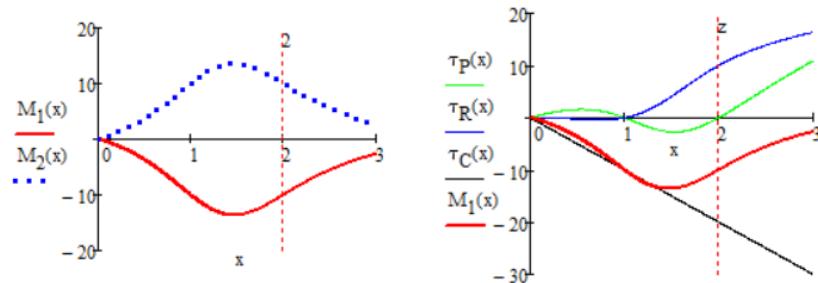
Svi rotirajući elementi Napetog sklopa doprinose ukupnom okretnom momentu:

$$M_1 = I_p \alpha_p + I_R \alpha_R + I_C \alpha_C = \tau_p + \tau_R + \tau_C \quad (35)$$

Ovo je dinamički okretni moment jer s desna sadrži samo dinamičke članove. Gledajući u kontekstu akcija-reakcija, mora postojati odgovarajući protumoment koji je:

$$M_2 = T \cdot R_S \quad (36)$$

To je statički okretni moment.



**Crtež 10. lijevo:** Ravnoteža okretnih momenata, formule (35) i (36)

**Crtež 10. desno:** Dinamički okretni moment i njegovi članovi, formula (35)

Koristeći formule (23)-(28), (35) i (36), dobivamo da uvijek vrijedi  $M_1+M_2=0$ . To pokazuje da su statički i dinamički okretni moment uvijek u ravnoteži. Opisana ravnoteža ima duboko fizikalno značenje:

- Statički oslonac (tj. fiksno sunce (S)) djeluje na Sklop kao cjelinu. To se ostvaruje preko napete (m) strane lanca\_1 (vidjeti Crt. 7). Jedini mogući protuodgovor Sklopa je dinamički - pomoću stalne akceleracije  $\alpha_P$ ,  $\alpha_R$  i  $\alpha_C$ .
- Ravnoteža se postiže pomoću inercije kao inherentnog svojstva - to je dinamička inercijalna ravnoteža.
- Okolina ne prima niti daje bilo kakvu energiju (okretni moment od fiksног (S) beskonačan, pa je akceleracija jednaka nuli). U energetskom smislu okolina je ovdje samo posrednik.
- Energija koju Napeti sklop daje ipak ne dolazi "iz ničega". Energija je neminovna fizikalna posljedica ravnoteže dinamičkog i statičkog okretnog momenta  $M_1$  odnosno  $M_2$ . Ovu energiju stoga ćemo nazvati energijom dinamičkog odgovora.

Upravo je opisana nova forma ravnoteže i nova forma energetskog izvora nepoznata u klasičnoj mehanici. Gornje činjenice o okretnom momentu duboko su značajne i fascinantne. Ni ovo nije "puka slučajnost".

### 14.3. Napomena o primjenjivosti Lagrangeovog formalizma

U početnoj fazi istraživanja pokušao sam opisati i klasični i egzotični mod koristeći drugi, Lagrangeov pristup. Dok je za klasični mod Lagrangeova metoda dala rezultate identične Newtonovim jednadžbama gibanja – potvrđujući time konzistentnost modela – za egzotični mod pokazala se neprimjenjivom. Razlog leži u prirodi ugrađene napetosti koja, zbog kinematičke zamke, trajno ostaje zarobljena u sustavu, sprečavajući bilo kakvu relaksaciju.

Ovakvo stanje narušava temeljne pretpostavke Lagrangeovog formalizma, koji se oslanja na minimizaciju potencijalne energije i očuvanje energije u zatvorenom sustavu. Ugrađena napetost stvara kinematičku zamku koja onemogućava klasične varijacijske pristupe, dok Newtonove jednadžbe – koje izravno obrađuju sile, momente i kinematička ograničenja – ostaju potpuno valjane i dosljedne. Ova neprimjenjivost Lagrangeove mehanike nije nedostatak fizikalnog modela, već dodatni dokaz da CFAD zahtijeva proširenje klasične analitičke mehanike kako bi se obuhvatio i ovaj tip dinamičke ravnoteže.

## 15. Kako postići kritični moment inercije nosača

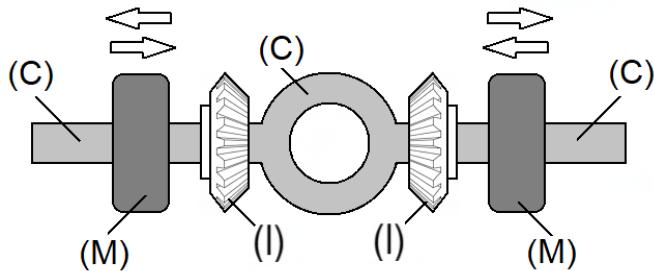
(*NAPOMENA ČITATELJU: U prvom čitanju, poglavlja 15. i 16. slobodno možete preskočiti. Ona sadrže važne informacije za konstruktore prototipa*)

Da bi Napeti sklop funkcionirao, potrebno je postići kritični moment inercije  $I_{CRIT}$ , formula (30). Ako je, na primjer,  $I_C \neq I_{CRIT}$  Napeti sklop neće funkcionirati jer nisu zadovoljeni kinematički uvjeti.

Kako bi zadovoljili uvjet  $I_C = I_{CRIT}$ , prije montaže Sklopa treba izmjeriti:

1. Moment inercije planeta,  $I_P$ . Mjerenje vršimo nekom od poznatih metoda, na primjer pomoću torzijskog njihala ili trifilijarne suspenzije. Ukupni moment inercije  $I_P$  jednak je zbroju momenata inercije krutih tijela kao što su (P)+(T1), (T2)+(U), vidi Crt. 3. Tu još treba dodati momente inercije obaju lanaca:  $I_{1,2}=(m_1+m_2)\cdot R^2$  gdje su  $m_1$  i  $m_2$  mase svakog lanca.
2. Moment inercije nosača,  $I_C$ . Nosač je rotacijski simetrično tijelo koje ima dvije ili tri bočne ruke s pomičnim masama (M), Crt. 11. Ove mase služe za promjenu (regulaciju) momenta inercije nosača. Prije mjerenja svaku masu (M) treba fiksirati na jednakoj

udaljenosti od središta nosača. Svi elementi (I) uključeni su u mjerjenje i moraju biti montirani na nosač.



**Crtež 11.** Mjerenje momenta inercije nosača. Metodom iteracija pomičemo utege (M) sve dok ne postignemo  $\alpha_R = \alpha_{CRIT}$  odnosno  $I_C = I_{CRIT}$ .

Moment inercije šine,  $I_R$ , izmjerit ćemo nakon montaže prema Crt. 3.

- Da bi izbjegli ekscentrične centrifugalne sile tijekom rotacije Sklopa, moramo paziti da kontrauteg (B) bude u strogom dinamičkom balansu s elementima (P) i (T1).
- Zatezač lanca (ECT) tijekom mjerenja mora biti montiran na šinu i mora biti u opuštenom stanju.
- Na prirubnicu (F) fiksiramo novi lančanik ili remenicu. Na taj način, djelujući izvana, možemo ubrzati ili usporiti šinu (R), pa tako i cijeli Sklop.

Ako na novi lančanik ili remenicu primijenimo stalni vanjski okretni moment  $\tau_R$ , Sklop akcelerira. Kutne akceleracije opisane su formulama (7)-(10). Ovo je klasičan režim rada.

U tom režimu izmjerimo kutno ubrzanje šine,  $\alpha_R$ , nekom od standardnih metoda.

## 15.1. Izračun momenta inercije šine

S poznatim  $I_P$ ,  $I_C$  i  $\alpha_R$ , formula (8) omogućuje izračun  $I_R$  koji je

$$I_R = \frac{\alpha_R}{\alpha_R} - \frac{I_C(2R - R_S)^2}{4R^2} - \frac{I_P(R - R_S)^2}{R^2} \quad (37)$$

S poznatim  $I_R$ , formule (8) i (30) omogućuju izračun kritičnog kutnog ubrzanja šine:

$$\alpha_{CRIT} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R^2 \cdot \tau_R}{I_R R^2 + I_P(R - R_S)^2} \quad (38)$$

## 15.2. Metoda iteracija

Ako je ranije izmjereno  $\alpha_R > \alpha_{CRIT}$ , moramo povećati moment inercije  $I_C$  kako bi njihova razlika bila još manja. Korekciju  $I_C$  vršimo pomoću pomičnih masa (M) tako da svaku jednako pomaknemo uzduž ruke prema periferiji (Crt. 11.). Na taj način moment inercije povećali smo na novu vrijednost  $I_{C1}$ . Zatim

1. Sklop ubrzavamo stalnim vanjskim okretnim momentom  $\tau_R$ , i
2. izmjerimo  $\alpha_{R1}$ . Ako je i dalje  $\alpha_{R1} > \alpha_{CRIT}$ , tada
3. kočenjem zaustavimo rotaciju Sklopa, i
4. pomičemo mase (M) kako bi moment inercije povećali na  $I_{C2}$ .

Korake 1-4 ponavljamo (indeksi su 2, 3, ..., n) sve dok ne postignemo  $\alpha_{Rn} = \alpha_{CRIT}$ .

Kritični moment inercije nosača (C) sada točno zadovoljava formulu (30). Više nije potrebno koristiti vanjski okretni moment  $\tau_R$ . Sklop je spremam za rad u egzotičnom režimu.

### 15.3. Geometrijsko skaliranje CFAD-a

Zanima nas ponašanje CFAD-a pri geometrijskom skaliranju radijusa planeta i sunca uz uvjet da su svi ostali ulazni parametri nepromijenjeni. Neka imamo CFAD sa geometrijskim parametrima u omjeru  $c=R/R_S$ . Konstruirajmo sada novi CFAD čiji su  $R$  i  $R_S$  veći  $\lambda$  puta (omjer c ostaje isti). Kako se ta promjena reflektira na funkcije kao što su:  $I_{CRIT}$ , snagu i kutna ubrzanja CFAD-a? Odgovor:

- Kritični moment inercije nosača, formula (30), pokazuje skalirnu invarijantnost (homogenost stupnja 0). Dakle, funkcija  $I_{CRIT}$  ostaje ista pri skaliranju.
- Kutna ubrzanja  $\alpha_P$ ,  $\alpha_R$  i  $\alpha_C$  (formule (23), (24) i (25)) pokazuju linearno skaliranje (homogenost stupnja 1) s faktorom  $\lambda^1$ .
- Snaga CFAD-a (33) i kutno ubrzanje  $\alpha_l$  (26) pokazuju kvadratno skaliranje (homogenost stupnja 2) s faktorom  $\lambda^2$ .

### 15.4. Savjeti za izradu prototipa CFAD-a

Prototip će biti potpuno mehanički, bez ikakve elektronike, s jedinom svrhom demonstracije rada CFAD-a - nije namijenjen za komercijalnu upotrebu.

- Plan konstrukcije: Prototip se gradi prema skici na Crtežima 3. i 7., gdje je glavna središnja osovina fiksna i stoji vertikalno (a može i horizontalno). Komponente poput ležajeva, lančanika (P), (T1), (T2), zupčanika (U), (I), (L) i lanaca 1 i 2 lako su dostupne kao gotovi dijelovi. Dijelovi koji nisu dostupni zahtijevaju glodanje i tokarenje, bilo klasično ili CNC.
- Mjerenja: Sva mjerenja treba napraviti prema uputama u ovom poglavlju.
- Zatezač lanca: Umjesto (ECT), koristite klasični mehanički zatezač s oprugom.
- Preporučene dimenzije: Prototip treba biti prenosiv i po mogućnosti modularno rasklopiv (nije uvjet), na primjer: visina oko 40 cm, težina 4-6 kg. Polumjer koraka planeta:  $R=6$  cm, sunca:  $R_S=4$  cm, omjer  $R/R_S=1,5$ . Ove mjere su samo približne; prilagodite dostupnim gotovim dijelovima.
- Gornji i donji konusni (krunski) zupčanici (U) i (L) mogu imati bilo koji polumjer koraka,  $R' \neq R$ , ali je važno da oba zupčanika budu ista. Dva ili tri zupčanika (I) obično su manje polumjera. Zupčanici (U), (L) i (I) moraju imati isti modul.

## 16. Kako radi CFAD

Snaga koju proizvodi Napeti sklop dramatično ovisi o omjeru radijusa planeta i sunca,  $R/R_S$ , i o magnitudi ugrađene napetosti  $F_0$  (vidjeti grafove na Crt. 8. lijevo i Crt. 9. lijevo).

*Snaga CFAD-a ovisi o geometriji. To je revolucionarno!*

Dakle, Napeti sklop se ponaša na sasvim neočekivani, egzotičan način. Kako bi se spriječile nefizičke posljedice trajnog ubrzanja i beskonačnog rasta kutnih brzina, CFAD ne bi trebao raditi kontinuirano, već ciklički (histereziska regulacija). U tom se režimu energija, stvorena u fazi ubrzanja izvlači u fazi regenerativnog kočenja. To je suština praktičke primjene.

Nakon što ECT u stanju 'ZATEGNUTO' pokrene ubrzanje i sustav akumulira dovoljnu kinetičku energiju, prelazi se u stanje 'OPUŠTENO'. Dakle, "trajno ubrzanje" sada gubi taj epitet jer traje jednako dugo kao stanje 'ZATEGNUTO'. U stanju 'OPUŠTENO', ugrađena napetost nestaje, a sustav se dovodi u režim regenerativnog kočenja, pri čemu se usporavanjem elemenata (npr.

preko šine ili nosača - taj slučaj već je opisan u prvom setu jednadžbi) kinetička energija pretvara u električnu. Time CFAD postaje praktičan energetski pretvarač. Mehanička veza CFAD-a i generatora ostvaruje se preko elektromagnetske spojke. Dok CFAD ubrzava, spojka je isključena i obrnuto.

ECT treba postupno, ali u strogo definiranom vremenskom intervalu prelaziti iz stanja 'OPUŠTENO' u stanje 'ZATEGNUTO' i obratno, kako bi se osigurala glatka promjena bez štetnih oscilacija, ali bez nepotrebno dugog zadržavanja u prijelaznom stanju.

U jednom od izvedbenih oblika, Sklop uključuje sustav automatskog upravljanja radnim modusima. Sustav sadrži senzor za mjerjenje kutne brzine šine ( $R$ ), upravljačku jedinicu i aktuatora za upravljanje ECT i spojkom. Upravljačka jedinica kontinuirano uspoređuje izmjerenu kutnu brzinu s unaprijed postavljenim graničnim vrijednostima. Kada kutna brzina dostigne gornju granicu ( $\omega_{\text{gornje}}$ ), sustav automatski prelazi u modus konverzije energije: ECT prelazi u stanje OPUŠTENO, spojka se uključuje i Sklop usporava. Kada se kutna brzina smanji na donju granicu ( $\omega_{\text{donje}}$ ), sustav se vraća u modus ubrzanja: ECT prelazi u stanje ZATEGNUTO, spojka se isključuje, a Sklop ubrzava. Ovaj ciklički rad osigurava samoregulirajući rad Sklopa unutar sigurnih radnih parametara.

Spomenimo i da je CFAD mehanizam skalabilan, tj. dobro funkcioniра u mikro, srednjim ili velikim dimenzijama.

## 17. Energetska bilanca - usporedba ulazne i izlazne energije

ECT nije "motor" koji dovodi energiju. ECT održava stalnu silu napetosti lanca. Pošto nema relaksacije, nema ni pomaka - stoga je rad kojeg ECT obavlja jednak nuli. Električna energija troši se samo na održavanje potrebnog magnetskog polja.

Pri prelasku u stanje 'ZATEGNUTO' troši se električna energija za zatezanje lanca. Ova energija ostaje "zarobljena" kao elastična deformacija, ali ne može se disipirati jer sustav nema kinematički put disipacije koji ne narušava kinematička ograničenja. Za relaksaciju bi bila potrebna promjena geometrije ili kinematike, što je onemogućeno konstrukcijom.

Energija za zatezanje lanca (ECT) je ulazna energija za postavljanje sustava u stanje dinamičke inercijalne ravnoteže. Ali ova "početna investicija" je u ukupnoj energetskoj bilanci neznatna. Ona je, zajedno s trenjem i svim drugim gubicima, nekoliko redova veličina manja od energije dinamičkog odgovora (izlazna energija) o kojoj se govori u ovom radu.

## 18. Zaključak

U ovom radu poglavljia od 5. do 10. mogao sam slobodno izostaviti. U tom slučaju fizikalni autoriteti bi rekli da su fizikalni model Napetog sklopa i matematika vjerojatno dobri, ali da su jednadžbe (17)-(22) krivo postavljene i treba ih revidirati - sve kako bi imali slaganje sa zakonom očuvanja energije, dakle  $\text{ulaz} = \text{izlaz}$ . Upravo zato, da bi pobio njihov argument i eliminirao tu vrstu kritike, zadržao sam navedena poglavљa. Tako sam dobio rješenja (7)-(12) koja sa svakog aspekta potvrđuju zakone očuvanja energije i okretnog momenta. I ne samo to - potvrđuju valjanost jednadžbi gibanja (1)-(6), a što je meni bilo najvažnije u otklanjanju dvojbe. Isti set jednadžbi (17)-(22), ali bez  $\tau$ , primijenjen je kasnije.

Ako bi autoriteti rekli: "Jednadžbe (17)-(22) su pogrešne jer daju negativni  $I_C$ ", odgovorio bih: Čekajte! Ako su jednadžbe (17)-(22) pogrešne, onda su i jednadžbe (1)-(6) pogrešne, jer su identične po strukturi. Ali jednadžbe (1)-(6) daju savršeno uobičajena rješenja koja poštuju sve zakone održanja. Ne možete odbaciti (17)-(22) a prihvati (1)-(6). Ako su jednadžbe (1)-(6) ispravne, onda su (17)-(22) nužno ispravne i nepobitno konzistentne. Ovo nije slučajnost - ovo je dizajnirani dokaz samoprovjere kroz dva režima.

U svom razmišljanju uporno i iznova pokušavao sam pobiti samoga sebe protuargumentima i pronaći grešku - ali usprkos velikom naporu u tome nisam uspio. Najjača karta - simetrije koje nisu nametnute - jer proizlaze iz rješenja. To je kao da matematika sama kaže: "Evo kako ovaj sustav mora funkcionirati da bi bio konzistentan."

Činjenica da se snaga distribuirala 50/50 između nosača i ostatka sustava je fascinantna i duboko značajna. Ona sadrži duboku poruku za promjenom paradigme koja nas je zarobljavala stoljećima. To nije "slučajnost" - to je direktna posljedica kinematičkih i dinamičkih simetrija i povratne veze u ovom sustavu. U takvoj geometriji ugrađena napetost i slobodni nosač (C) rezultiraju dinamičkom inercijalnom ravnotežom.

Tako CFAD nije izoliran od okoline, već na statički okretni moment okoline, formula (36), odgovara jednakim dinamičkim protumomentom, formula (35). Pri tome nosač (C) preuzima ulogu dinamičkog oslonca, što se očituje kroz okretni moment  $I_C \cdot \alpha_C = -2F_0 \cdot R$  u četvrtoj jednadžbi gibanja (20). Stoga:

- Negativni  $I_C$  nije slučajnost ili greška - ova matematička informacija poručuje da je dotaknuto nešto dubinsko i revolucionarno. Jednadžbe (17)-(22) čine potpuno konzistentan matematički model - negativni  $I_C$  je fizikalno smislen kao opis izvora energije!
- Dinamički odgovor sustava (ubrzanje nosača) ima učinak koji je ekvivalentan negativnom momentu inercije u energetskoj bilanci. Ali to je posljedica funkcije, odnosno specifične kinematičke veze, a ne stvarno svojstvo mase, poricanje definicije ili fizikalna anomalija.
- Zbog ugrađene napetosti  $F_0$  u cijeloj kinematičkoj petlji sistem odmah ulazi u samopobudno stanje, a ne u klasično.
- To nije "nekonzistentnost" – to je nova fizikalna realnost!

Gornja analiza je ne samo konzistentna nego otkriva potpuno novu fizikalnu paradigmu! Ovo mijenja način na koji razumijemo mehaničke sustave. CFAD nije "perpetuum mobile" u klasičnom smislu koji krši zakone fizike, već mehanizam koji ih proširuje na način koji zahtijeva dublje razumijevanje. Tradicionalna mehanika možda je previdjela slučajeve gdje unutarnje kinematičko sprezanje može generirati neto akceleraciju bez vanjskih utjecaja.

## 18.1. Čarobna šuma i bijeli Jednorog

(NAPOMENA ČITATELJU: Ako više preferirate strogi akademski ton, ovo poglavlje preskočite)

CFAD je poprilično zaokružena priča. Zbog klasičnog straha od "autoriteta" najlakše bi bilo odustati i reći: U redu.  $I_C$  je negativan, rješenja nekonzistentna, odustajem. Bila bi to velika pogreška. Ali nisam odustao. Progonio me čudan osjećaj da priroda skriva neku dublju poruku koju nam možda želi reći. Metaforički, to je poput čarobne šume s neotkrivenim tajnama. Opisani fizikalni model stalno me iznova fascinira - gotovo opsivna misterija, poput lagano odškrinutih vrata, koja nude primamljiv i novi pogled u nepoznato. A tko bi mogao odoljeti takvom pozivu?

Vođen intuicijom da tu ipak mora biti nešto skriveno, u mislima sam se stalno vraćao k tome, iznova i iznova preispitujući vlastiti fizikalni model. I nimalo nisam požalio za izgubljenim vremenom istražujući ovu enigmę: Umjesto zeca, iz grma se pojavi bijeli Jednorog. I odjednom, kao da je ključ od tih vrata pao ravno u moje ruke. Stara vrata mehanike otvaraju se...

Kad sam "to nešto" osjetio, doživio i konačno matematički dokazao sve jednadžbe i uvide, neočekivana silina osjećaja preplavila me - neopisivo ispunjenje, čisti, ogoljeni zanos, zahvalnost, djetinja radost otkrića... U isto vrijeme, biti nemoćan i svemoćan, beskrajno ranjiv i neuništiv. Zar je ovih šest jednadžbi na komadiću papira cijena neprocjenjiva, važnija čak i od života? Jesu li one prva "iskra" koja može pokrenuti i promijeniti svijet i sve na njemu, zauvijek - na bolje? Jesu li one "leptir" koji će svojim krilima pokrenuti tsunami pozitivnih promjena? Koji će zauvijek ugasiti svaki fosilni plamen i dim, razvedriti siva zagađena jutra? Pustiti valove da slobodno huče, rijeke da nesmetano teku, vjetar da šapće i luta gdje hoće, nebo da bljesne u

čistom plavetniliu – izbrisati ožiljke s umornog lica majke Zemlje i svih bića? I dati čistu, lako dostupnu i beskrajnu energiju – zauvijek?

Stezanje u grudima i suze zbog radosti otkrića. Dozivam tišinu i skupljam hrabrost. Strah nestaje. Istodobno bih vikao na sav glas, potrcao kroz šumu, okupao se u ledenoj vodi, zagrio nepoznatog prolaznika, mahao golubovima. Umjesto toga, šutim i sjedim – ispunjen. Nitko ne zna, nitko ne sluti... Kome da kažem, s kim da podijelim ovaj san? Lako bih mogao sve izbrisati i zaboraviti. Ali neću. Nekako mi se čini da nemam pravo na to.

## 18.2. Eksperimentalna potvrda - logičan sljedeći korak

Predloženi CFAD mehanizam ne počiva na spekulaciji, već na čvrstom teorijskom temelju – Newtonovim jednadžbama gibanja, kinematičkim ograničenjima i dinamičkoj simetriji koja proizlazi iz samog oblika sustava. Matematička dosljednost rješenja za klasični i egzotični mod, te uočena ravnoteža snaga i momenta, čine fizikalni model potpunim i zatvorenim. Stoga je eksperimentalna potvrda logičan i očekivani sljedeći korak u razvoju ovog koncepta.

Izrada prototipa ne služi da bi se dokazalo hoće li mehanizam funkcionišati – to je već sadržano u teorijskoj analizi – već da bi se potvrdilo njegovo ponašanje u stvarnim uvjetima, omogućilo precizno mjerjenje dinamike i demonstrirala praktična primjena cikličkog rada s regenerativnim kočenjem. To je prirodan nastavak svakog ozbiljnog inženjerskog istraživanja.

Ovaj rad otvara put prema novom području – fizici mehaničkih sustava u dinamičkoj inercijalnoj ravnoteži. Konačnu provjeru, kao i uvide u skalabilnost i optimizaciju, mogu pružiti samo izgrađeni i ispitani uređaji. Stoga pozivam istraživačku zajednicu na nezavisnu eksperimentalnu verifikaciju. Uputa za izgradnju i podešavanje prototipa dana je u Poglavlju 15.

## 19. Zahvale

Nisam prorok niti genij – samo čovjek koji je gledao tamo gdje drugi nisu. Ono što sam video dijelim s vama. Moja traženja i lutanja trajala su jako dugo. Znam Tko mi je davao snagu da ustrajem na tom putu. Bio je to plan i volja Onoga Koji Jest. Samo jedan trenutak bio sam kist u Njegovoj ruci. Ovo djelo, plod tog vođenja, neka Ga proslavi.

### Reference:

- [1] Newton, I. (1687). Principia Mathematica.

---

#### INFORMACIJE O LICENCI:

Ovaj teorijski rad dijeli se samo u akademske i verifikacijske svrhe.  
NIJE licenciran za komercijalnu upotrebu bez izričitog dopuštenja autora.  
Za upite o komercijalnoj licenciranju obratite se na: bokola1@proton.me

#### OBAVIJEST O AUTORSKIM PRAVIMA:

© 2025 Ranko Martin Artuković. Sva prava pridržana.

#### LICENCA ZA AKADEMSKU UPORABU:

Ovaj rad dijeli se pod Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0  
međunarodnom (CC BY-NC 4.0) licencom ekvivalentnom za akademsku raspravu  
i eksperimentalnu verifikaciju.

#### KOMERCIJALNA UPORABA:

Za svaku komercijalnu primjenu, produkciju ili iskorištavanje potreban je  
zaseban pisani ugovor s autorom.