

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI” DIN
IAȘI**

**Școala Doctorală
a Facultății de Construcții de Mașini și Management Industrial**

**Metode și tehnici de cercetare în domeniu.
Planificarea cercetării.
Training pe aparatură/Software
performante**

- curs -

Conf.dr.ing. Mihăiță Horodincă

2011

1. ASPECTE ALE MONITORIZĂRII ASISTATE DE CALCULATOR A PUTERII ÎN SISTEMELE MECANICE ACȚIONATE ELECTRIC.

1.1 Generalități privind puterea mecanică

În general procesele de natură mecanică sunt acționate cu aport de energie extern, furnizat de către un actuator (cel mai adesea un electromotor, uneori un electromagnet, un actuator Lorentz sau un actuator piezoelectric). Energia electrică absorbită este convertită de către actuator în energie mecanică și disipată în proces sub formă de lucru mecanic și căldură. Pentru descrierea transferului energetic se folosește cel mai adesea puterea. Pentru transferul în forma electrică se folosește puterea activă P (numită și putere reală). Pentru transferul în forma mecanică se folosește puterea mecanică N . În definiția puterii mecanice intervin doi vectori: forța și viteza (F, v). Dacă aceștia au modul constant, aceeași direcție și sens, puterea mecanică este descrisă cu:

$$(1.1) \quad N = F \cdot v$$

Evident, definiția cunoscută a puterii mecanice: puterea este lucrul mecanic raportat la timp se regăsește aici ($N = L/t = F \cdot d/t = F \cdot v$, d fiind notația pentru deplasare).

Dacă vectorii F și v au modul constant dar drepte suport diferite, concurente, atunci puterea mecanică este descrisă cu o relație generalizată:

$$(1.2) \quad N = F \cdot v \cdot \cos(\theta)$$

Aici θ este unghiul dintre cei doi vectori. Cu $\theta = 0$ se obține relația (1.1). Din relația (1.2) rezultă clar faptul că puterea transferată către sistemul mecanic poate fi:

- **pozitivă** (dacă se satisface relația: $-\pi/2 < \theta < \pi/2$), sistemul mecanic absoarbe și disipă energie de la sistemul de acționare (valoare maximă pentru $\theta = 0$, adică forța și viteza sunt coliniare și în același sens);
- **negativă** (dacă se satisface relația: $\pi/2 < \theta < 3\pi/2$), sistemul mecanic produce energie pe care o transmite sistemului de acționare (valoare minimă pentru $\theta = -\pi$, adică forța și viteza sunt coliniare dar în sensuri contrare);
- **nulă** (dacă se satisfac relațiile: $\theta = \pi/2$ sau $\theta = -\pi/2$, vectorii fiind în ambele situații perpendiculari).

În cazul sistemelor mecanice excitate punctual cu o forță armonică $F_{ex} = F \cdot \sin(\omega \cdot t)$, care dezvoltă în punctul de excitație o viteză $v_{ex} = v \cdot \sin(\omega \cdot t - \alpha)$, care se comportă deci ca sisteme care vibrează, se definește mai întâi produsul forță-viteză, numit și putere mecanică instantanee $N_i(t)$:

$$(1.3) \quad N_i(t) = F_{ex} \cdot v_{ex} = F \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot v \cdot \sin(\omega \cdot t - \alpha)$$

În (1.3) F respectiv v sunt amplitudinile forței respectiv a vitezei, ω este pulsația (cunoscută și sub denumirea de frecvență unghiulară, $\omega = 2\pi \cdot f$, f fiind frecvența), t este timpul, α este diferența de fază dintre forță și viteză. Evident, puterea mecanică instantanee este exprimată ca evoluție parametrică, parametrul fiind timpul.

Matematic, relația (1.3) poate fi dezvoltată după cum urmează:

$$(1.4) \quad N_i(t) = F \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot v \cdot [\sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\alpha) - \cos(\omega \cdot t) \cdot \sin(\alpha)]$$

adică:

$$(1.5) \quad N_i(t) = F \cdot v \cdot [\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\alpha) - \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \sin(\alpha)]$$

O simulare grafică a evoluției puterii instantanee și a constituenților (forță și viteză instantanee $-F_{ex}$, v_{ex} , conform cu (1.3)) se realizează cu ajutorul următorului program Matlab:

Program fig1p1

```
close all;clear all;frecventa=1;k=1;
for t=0:0.01:1;
    f(k)=1*sin(2*pi*t);v(k)=1*sin(2*pi*t-pi/6);
    putinst(k)=f(k)*v(k);timp(k)=t;k=k+1;
end
plot(timp,f,'r','LineWidth',1.5);hold on
plot(timp,v,'b','LineWidth',1.5);
plot(timp,putinst,'k','LineWidth',1.5);grid
```

Se consideră o secvență temporală cu durata de o secundă. Se consideră că amplitudinile celor două mărimi armonice sunt unitare și că defazajul între acestea este $\alpha = \pi/6$. Frecvența

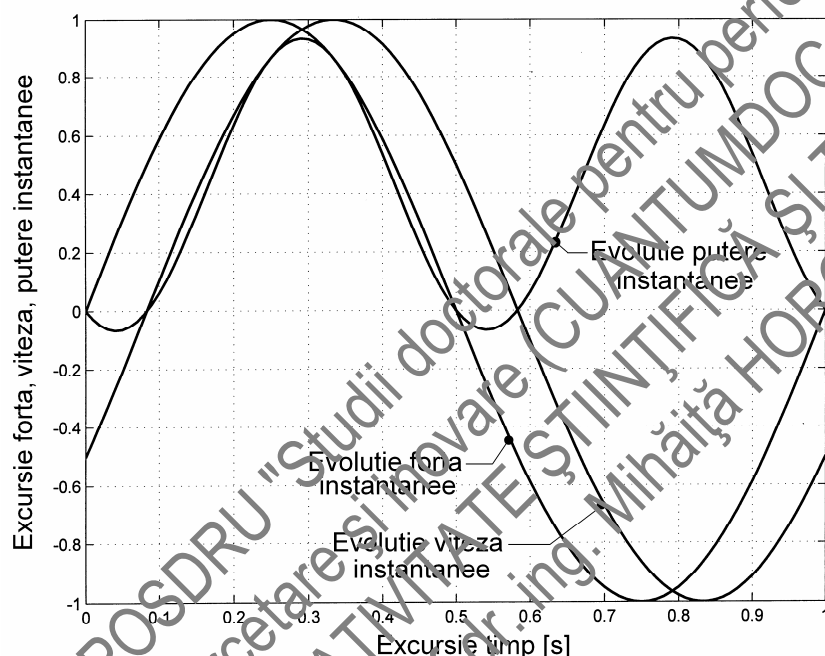


Figura 1.1. Simulare grafică forță, viteză și putere instantanee.

Perioada acestora este jumătate din cea a constituenților, respectiv frecvența este dublă. Puterea instantanee are o componentă constantă (valoarea medie pe o perioadă T) și una variabilă. Cea variabilă este vehiculată între sursă (actuator) și consumator (sistemul mecanic) fără să producă lucru mecanic sau căldură (ea se mai numește și putere mecanică imaginară). Dimpotrivă, componenta constantă a acestora (numită și putere mecanică reală, notată cu N) este absorbită și utilizată de către sistemul mecanic. Matematic aceasta se definește prin integrare, conform cu figura 1.1, ca arie a suprafeței mărginite de abscisă și de puterea instantanee pe un domeniu egal cu perioada T sau cu semiperioada $T/2$, conform cu:

$$(1.6) \quad N = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T N_i(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T F_{ex}(t) \cdot v_{ex}(t) \cdot dt = \frac{2}{T} \int_{t=0}^{T/2} F_{ex}(t) \cdot v_{ex}(t) \cdot dt$$

Sau, ținând seama de (1.5):

$$(1.7) \quad N = F \cdot v \cdot \frac{1}{T} \int_{t=0}^T [\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\alpha) - \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \sin(\alpha)] \cdot dt$$

Sau:

$$(1.8) \quad N = F \cdot v \cdot [\cos(\alpha) \cdot \frac{1}{T} \int_{t=0}^T [\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot dt - \sin(\alpha) \cdot \frac{1}{T} \int_{t=0}^T \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot dt]$$

În relația (1.8) termenul al doilea dintre parantezele pătrate este nul din cauză că rezultatul integralei este nul. Demonstrația se poate face imediat dacă intervalul infinit mic dt se transformă în increment $\Delta t \approx dt$ de descriere temporală a mărimilor de sub integrală, aceasta transformându-se în sumă, conform cu:

$$(1.9) \quad \frac{1}{T} \int_{t=0}^T \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot dt \approx \frac{1}{n \cdot \Delta t} \cdot \sum_{t=0}^{n \cdot \Delta t} [\sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \Delta t] = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n \cdot \Delta t} [\sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t)]$$

În relația (1.9) $n \cdot \Delta t = T$, n fiind numărul de eșantioane, de valori ale timpului, sau $n = T / \Delta t$, raportul perioadă/increment (considerând că acesta este un număr întreg). Ultima expresie din relația (1.9) este nulă, aspect confirmat și de simularea Matlab realizată cu programul:

Program sincos

```
close all;clear all;puls=2*pi;per=2*pi/puls;med=0;k=1;
for t=0.0001:0.0001:per;
    ord(k)=sin(puls*t)*cos(puls*t);med=med+ord(k);absc(k)=t;k=k+1;
end
k=k-1;;med=med/k
```

```
plot(absc,ord,'k','LineWidth',1.5);grid
```

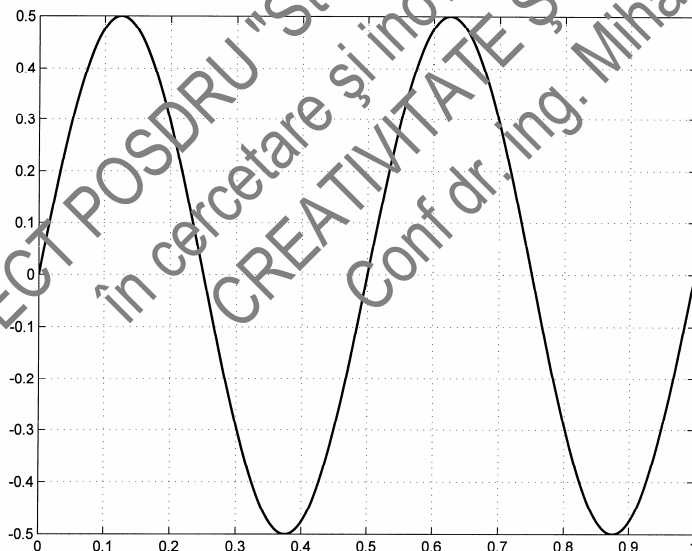


Figura 1.2 Reprezentare grafică a funcției $\sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t)$ pe un interval egal cu perioada $T=1$ s. Media este nulă.

Programul calculează valoarea ultimei relații din (1.9), folosind datele deja definite anterior, considerând valoarea $\Delta t=0,0001$ s, pentru $T=1$ s rezultând $n=10000$. Rezultatul este rezident în variabila med și afișat la rularea programului adică $med=7,8266 \cdot 10^{-18}$, valoare foarte apropiată de zero, (totuși diferită de aceasta din cauza dificultăților Matlab de descriere a numerelor foarte apropiate de zero). O confirmare suplimentară a acestei concluzii este oferită și de reprezentarea grafică în funcție de timp a argumentului $\sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t)$ al sumei,

conform figurii 1.2. Valoarea medie a acestei evoluții este evident zero. Deci se poate scrie:

$$(1.10) \quad \frac{1}{T} \int_{t=0}^T \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot dt = 0$$

Cu aceasta, expresia (1.8) devine:

$$(1.11) \quad N = F \cdot v \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{1}{T} \int_{t=0}^T [\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot dt]$$

Pe baza considerațiilor care au condus la (1.9) se poate rescrie factorul integral din (1.11) ca:

$$(1.12) \quad \frac{1}{T} \int_{t=0}^T [\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot dt] \approx \frac{1}{n \cdot \Delta t} \cdot \sum_{t=0}^{n \cdot \Delta t} [\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \Delta t] = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n \cdot \Delta t} [\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t)]$$

Valoarea ultimei expresii din (1.12) poate fi dedusă în manieră absolut asemănătoare, prin simulare Matlab, folosind un program structural identic cu cel precedent:

Program sînsin

```
close all;clear all;puls=2*pi;per=2*pi/puls;med=0;k=1;
for t=0.0001:0.0001:per;
    ord(k)=sin(puls*t)*sin(puls*t);med=med+ord(k);absc(k)=t;k=k+1;
end
k=k-1;;med=med/k
plot(absc,ord,'k','LineWidth',1.5);grid
```

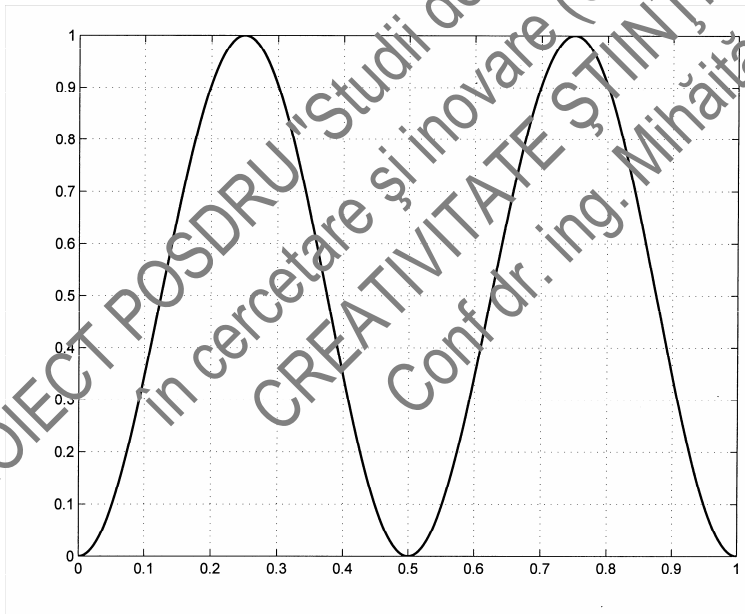


Figura 1.3 Reprezentare grafică a funcției $\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t)$ pe un interval egal cu perioada $T=1$ s. Media este $1/2$.

Singura deosebire între cele două programe este secvența marcată cu caractere îngroșate. Variabila med listează valoarea expresiei, aici $\text{med}=0,5$. Aspectul este confirmat și de reprezentarea grafică în funcție de timp a expresiei $\sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t)$, conform figurii 1.3. Media acesteia este evident $0,5$.

Cu aceasta se poate scrie:

$$(1.13) \quad \frac{1}{T} \int_{t=0}^T \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot dt = \frac{1}{2}$$

Ceea ce înseamnă că expresia

puterii mecanice din (1.11) devine:

$$(1.14) \quad N = \frac{1}{2} F \cdot v \cdot \cos(\alpha)$$

Sau:

$$(1.15) \quad N = \frac{F}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\alpha)$$

Sau încă:

$$(1.16) \quad N = F_{rms} \cdot v_{rms} \cdot \cos(\alpha)$$

În (1.16) $F_{rms} = F/\sqrt{2}$ respectiv $v_{rms} = v/\sqrt{2}$ se numesc rădăcini medii pătratice ale forței instantanee respectiv ale vitezei instantanee, numite formal și valori *rms* ale forței respectiv vitezei. Calculul rădăcinii medii pătratice relativ la forță se face pe o perioadă a acesteia ($T=n \cdot \Delta t$) după cum urmează:

$$(1.17) \quad F_{rms} = \sqrt{\frac{F_{ex}^2(\Delta t) + F_{ex}^2(2 \cdot \Delta t) + \dots + F_{ex}^2(n \cdot \Delta t)}{n}} = \frac{F}{\sqrt{2}}$$

Ultima egalitate este confirmată de o simulare Matlab, realizată cu programul:

Program valrms

```
close all; clear all
puls=2*pi; per=2*pi/puls; med=0; k=1; inc=0.0001;
for t=inc:inc:per;
    ord(k)=(sin(puls*t))^2; med=med+ord(k); k=k+1;
end
k=k-1; med=med/k; med=med*0.5
```

în care se consideră o amplitudine unitară a forței, un increment $\Delta t = 0,0001s$ și o valoare a perioadei $T=1s$ (deci $n=10000$).

Rularea programului permite listarea valorii *rms* a forței armonice cu amplitudine unitară, rezidentă în variabila *med*, adică $med = 0,7071 = 1/\sqrt{2}$. Evident că același rezultat se obține în cazul deduceri valorii *rms* a vitezei armonice de amplitudine unitară. Se confirmă astfel relația (1.17) și considerațiile care au condus la relația (1.16).

Se observă faptul că relația (1.16) este structural identică cu relația (1.2). Unghiul α de defazaj forță-viteză este același cu unghiul dintre fazorul forței și al vitezei.

Și aici, ca și în cazul relației (1.2) se pot defini cele trei regimuri distincte de putere mecanică (pozitivă, negativă sau nulă).

În cazul **puterii pozitive**, valoarea maximă este atinsă când $\alpha = 0$ (forța și viteza sunt în fază), sistemul aflându-se la rezonanță mecanică. Se spune că sistemul mecanic are disponibilitate maximă în a absorbi și a stoca energie mecanică furnizată de sistemul de acționare. Sistemul mecanic își crește sistematic amplitudinea vibrațiilor. În absența unor fenomene limitative evoluează până la distrugere.

În cazul **puterii negative**, valoarea minimă este atinsă când $\alpha = \pi$ (forța și viteza sunt în opoziție de fază, *out of phase*). Sistemul de acționare preia energia furnizată de către sistemul mecanic (care se presupune că vibra anterior instalării acestui regim) și își reduce sistematic amplitudinea vibrației până la anularea acesteia. În acest regim de funcționare se realizează amortizarea vibrațiilor.

Pentru situația în care $\alpha = \pi/2$ sau $\alpha = -\pi/2$, puterea vehiculată între sistemul de acționare

și cel mecanic, vibrator, **este nulă**. Se spune că sistemul mecanic este izolat față de sistemul de acționare.

Aceste aspecte vor fi instrumentate practic la laborator.

Pentru cazul sistemelor care execută mișcări de rotație definiția puterii mecanice poate fi dedusă prin analogie conform cu:

$$(1.18) \quad N = M_t \cdot \omega$$

Adică produsul dintre momentul de torsiune M_t și viteza unghiulară ω . Se presupune aici că este eliminată confuzia dintre viteza unghiulară și pulsație (folosită anterior) chiar dacă se folosește aceeași notație.

Relația (1.18) rezultă din (1.1) dacă viteza este scrisă sub forma: $v = ds/dt$, ca viteză de parcurgere a unui arc elementar de cerc, de lungime ds . Dacă R este raza cercului și $d\theta$ este unghiul la centru (valoare în radiani) ce subîntinde arcul ds , atunci viteza se poate scrie ca: $v = R \cdot d\theta/dt = R \cdot \omega$, unde $\omega = d\theta/dt$ este viteza unghiulară a punctului de aplicație al forței. Cu aceasta, relația (1.2) se poate scrie ca:

$$(1.19) \quad N = F \cdot v = F \cdot R \cdot \omega = M_t \cdot \omega$$

Obținându-se exact relația (1.18).

Puterea poate fi în acest caz pozitivă sau negativă după cum momentul și viteza unghiulară au același sens sau sensuri contrare. În relația (1.19) se prezumă că forța și viteza sunt coliniare (ambele tangențiale la cercul descris de punctul de aplicație).

Măsurarea fizică a puterii mecanice pentru mișcarea de translație presupune determinarea cu ajutorul unor traductori adecvați a modului vectorului forță (sau a valorii *rms* în cazul vibrațiilor), a modului vectorului viteză (sau a valorii *rms* în cazul vibrațiilor) și a unghiului dintre aceștia (respectiv a defazajului în cazul vibrațiilor).

Măsurarea fizică a puterii mecanice pentru mișcarea de rotație presupune determinarea cu ajutorul unor traductori adecvați a momentului de torsiune, a vitezei unghiulare precum și a relației de sens dintre acestea.

Evaluarea evoluției în timp a puterii mecanice presupune evaluarea în timp a componentelor de definiție a acesteia.

1.2 Generalități privind puterea electrică

Pentru caracterizarea circuitului de alimentare electrică a unui consumator alimentat la o rețea de curent alternativ monofazat, în regim staționar, se pot defini o serie de mărimi armonice după cum urmează:

-tensiunea instantanee:

$$(1.20) \quad u(t) = U \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

-curentul instantaneu:

$$(1.21) \quad i(t) = I \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$$

-puterea instantanee:

$$(1.22) \quad p(t) = u(t) \cdot i(t) = U \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot I \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$$

În relația (1.20) U este amplitudinea (valoarea maximă) tensiunii instantanee, $\omega=2\cdot\pi\cdot f$ este pulsația (sau frecvența unghiulară), f este frecvența (de exemplu, pentru rețelele din țară frecvența este de 50 Hz), t este timpul.

În relația (1.21) I este amplitudinea (valoarea maximă) curentului instantaneu, φ este defazajul dintre curentul și tensiunea instantanee. Semnul minus din fața defazajului indică caracterul inductiv al reactanței consumatorului (de exemplu un electromotor).

În relațiile (1.22) și (1.3) se observă similitudinea matematică perfectă a descrierilor din membrul drept, diferența fiind legată doar de notații și de semnificațiile parametrilor care intervin.

Relațiile (1.20), (1.21) și (1.22) pot fi utilizate pentru o simulare grafică în condiții absolut identice cu cele din figura 1.1.

Ca și în cazul puterii mecanice (relația (1.6)), partea reală a puterii electrice instantanee (numită și putere activă, regăsită în lucru mecanic sau căldură) se definește ca integrală definită, conform cu:

$$(1.23) \quad P = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T p(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T u(t) \cdot i(t) \cdot dt = \frac{2}{T} \int_{t=0}^{T/2} u(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

Aceasta înseamnă că tot demersul matematic realizat anterior poate fi parcurs și aici, în termeni identici, obținându-se relația de definire a puterii electrice active, prin similitudine cu (1.16), conform cu:

$$(1.24) \quad P = U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos(\varphi)$$

Uzual factorii U_{rms} și I_{rms} se numesc și valori eficace ale tensiunii respectiv ale curentului. Evident că ele păstrează aceeași manieră de definire ca în cazul F_{rms} respectiv v_{rms} , adică $U_{rms} = U / \sqrt{2}$ respectiv $I_{rms} = I / \sqrt{2}$.

O înțelegere mai clară a valorilor rms este intermediată de semnificația valorii I_{rms} . Fizic I_{rms} este valoarea unui curent continuu aplicat unui rezistor care produce prin efect Joule aceeași cantitate de căldură ca în situația aplicării unui curent alternativ de amplitudine I .

În relația (1.24) factorul $\cos(\varphi)$ se mai numește și factor de putere.

Similitudinea relațiilor (1.16) și (1.24) este extrem de interesantă. Două tipuri diferite de energie (partea reală a energiei mecanice respectiv electrice) au aceeași descriere matematică formală. Ca și anterior, se pot defini trei situații distincte de putere electrică activă (pozitivă, negativă sau nulă).

În cazul puterii **pozitive**, valoarea maximă este atinsă când $\varphi = 0$ (tensiunea și curentul instantaneu sunt în fază). Se spune că sistemul mecanic are disponibilitate maximă în a absorbi și a stoca energie mecanică furnizată de sistemul de acționare (impedanță electrică minimă).

În cazul puterii **negative**, valoarea minimă este atinsă când $\varphi = \pi$ (tensiunea și curentul instantaneu sunt în opoziție de fază, *out of phase*). Circulația de putere se face invers, dinspre consumator către rețea.

Pentru situația în care $\varphi = \pi/2$ sau $\varphi = -\pi/2$, puterea absorbită este nulă. Se spune că există impedanță infinită a consumatorului.

Conform relației (1.24) măsurarea puterii mecanice active necesită măsurarea celor trei parametri distincți, tensiune eficace, curent eficace și factor de putere.

Pentru consumatorii electrici alimentați în curent continuu cu o tensiune U și care absorb un curent I , puterea electrică activă este definită prin particularizarea relației (1.24) cu:

$$(1.25) \quad P = U \cdot I$$

Această situație este considerată marginală în contextul prelegerii de față. Dimesul în continuare va fi concentrat pe consumatori alimentați în curent alternativ.

Dacă consumatorul alimentat electric este un sistem de acționare și convertește energia (puterea) electrică în energie (putere) mecanică, atunci este evident că legătura dintre acestea este de forma:

$$(1.26) \quad N = \mu \cdot P$$

Aceasta permite măsurarea puterii mecanice prin intermediul puterii electrice. Măsurarea puterii electrice este mai ușor de realizat. În relația (1.26) μ reprezintă randamentul conversiei, evident $\mu < 1$.

Toate fenomenele care au reflectare în absorbție de putere mecanică, de natură statică sau dinamică, au un echivalent în evoluția puterii electrice active, și pot fi astfel monitorizate, pe baza relației (1.26).

2. Aspecte ale evaluării asistate de calculator a evoluției puterii electrice active absorbite de sistemele de acționare alimentate în curent alternativ

Conceptual evaluarea asistată de calculator a evoluției temporale a puterii electrice active se poate introduce pe baza considerentelor din figura 1.4. Sistemul de curent alternativ,

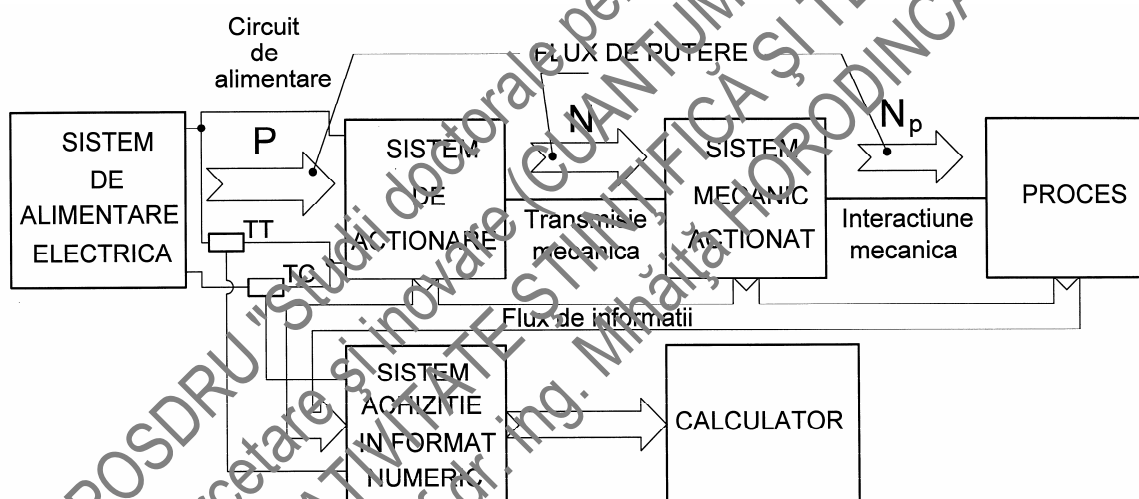


Figura 1.4 Elemente conceptuale ale evaluării asistate de calculator a puterii electrice active

monofazat, de alimentare cu energie electrică, alimentează sistemul de acționare (de exemplu un electromotor) prin intermediul unui transformator de curent înseriat TC. Un transformator de tensiune TT este plasat în paralel. Cele două transformatoare servesc pentru constituirea informației de curent și tensiune instantanee ($u(t)$ și $i(t)$) și separare galvanică a circuitului de alimentare de circuitul de măsură. În absența necesității separării galvanice transformatorul de curent TC poate fi substituit printr-un shunt rezistiv (un rezistor calibrat de pe care se prelevează o cădere de tensiune proporțională cu curentul prin rezistor). Cele două informații sunt practic două tensiuni proporționale cu $u(t)$ și $i(t)$ (evident, cu factor de proporționalitate cunoscut) accesibile unui sistem de achiziție a datelor în format electronic. De exemplu, în laborator se folosește un osciloscop numeric ADC 212-50 (PicoScope Technology), cu două canale, cu rezoluție de 12 biți și cu amplificator de instrumentație incorporat. Sistemul convertește informația în format analogic de la intrare în format numeric la ieșire, accesibil

calculatorului. Cu utilizarea facilităților de calcul din mediul de programare Matlab se poate realiza constituirea descrierii puterii electrice active, evident în evoluție temporală.

Utilizarea relației (1.24) pentru evaluarea puterii electrice active este relativ dificilă. Ea presupune detecția maximelor (a amplitudinilor) de tensiune și curent, calculul valorilor eficace (*rms*), determinarea unghiului de defazaj (φ) și calculul factorului de putere $\cos(\varphi)$. Unghiul de defazaj provine din convertirea decalajului temporal dintre tensiunea instantanee și curent.

Din acest motiv mai comodă este utilizarea relației (1.23), rescrisă prin aproximarea integralei definite ca sumă, în condiții procedurale deja definite și testate anterior, conform relațiilor (1.9) și (1.12). Relația (1.23) de definire a puterii electrice active poate fi rescrisă după cum urmează:

$$(1.27) \quad P_I = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T u(t) \cdot i(t) \cdot dt \approx \frac{1}{n \cdot \Delta t} \cdot \sum_{t=0}^{n \cdot \Delta t} u[t] \cdot i[t] \cdot \Delta t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=0}^{n \cdot \Delta t} u[t] \cdot i[t]$$

În relația (1.27) cu $u[t]$ și $i[t]$ s-au notat valorile discrete convertite în format numeric ale tensiunii și curentului instantaneu. Tot aici Δt este incrementul temporal dintre două conversii succesive ($1/\Delta t$ este chiar rata de conversie, sau numărul de achiziții pe secundă) iar n este numărul de achiziții pe perioada T , ($T=n \cdot \Delta t$) a tensiunii instantanee (evident aceeași cu cea a curentului instantaneu). Corespunzător frecvenței de 50 Hz, perioada T este de $1/50 \text{ s} = 20 \text{ ms}$.

Puterea electrică activă din relația (1.27) este scrisă pentru o primă perioadă T . Prin analogie se poate scrie expresia acesteia pentru o perioadă oarecare, generică, notată cu g , presupunând o secvență de descriere cu durată de g perioade T după cum urmează:

$$(1.28) \quad P_g \approx \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=(g-1) \cdot n \cdot \Delta t}^{g \cdot n \cdot \Delta t} u[t] \cdot i[t] \quad \text{cu } g = 1 \div p$$

Rata de descriere a puterii active din scrierea (1.28) este evident egală cu frecvența tensiunii instantanee (se obține câte o valoare pe fiecare perioadă T), adică 50 s^{-1} (valori pe secundă). Propunem drept exercițiu deducerea unei formule care să permită descrierea puterii active cu o rată de 100 s^{-1} , plecând de la relația (1.23), puterea electrică activă se poate defini și prin medierea produsului $u(t) \cdot i(t)$ pe o semiperioadă $T/2$.

Dacă admitem descrierea tensiunilor $u[t]$ și $i[t]$ prin intermediul transformatoarelor TT și TC ca fiind date de:

$$(1.29) \quad u[t] = k_{TT} \cdot u_{TT}[t] \quad \text{și} \quad i[t] = k_{TC} \cdot u_{TC}[t]$$

adică produsul dintre descrierile $u_{TT}[t]$, $u_{TC}[t]$ ale tensiunii și curentului instantaneu prin transformatoarele TT și TC și rapoartele de transformare k_{TT} și k_{TC} al transformatoarelor. Raportul k_{TT} este adimensional, raportul k_{TC} este dimensional (unitatea de măsură este amper/volt adică A/V).

Atunci relația (1.28) devine:

$$(1.30) \quad P_g \approx \frac{k_{TT} \cdot k_{TC}}{n} \cdot \sum_{t=(g-1) \cdot n \cdot \Delta t}^{g \cdot n \cdot \Delta t} u_{TT}[t] \cdot u_{TC}[t]$$

Această relație este foarte facil de implementat pe structurile de calcul din mediul Matlab, necesitând operații matematice de rutină.

Dacă circuitul de alimentare din figura 1.4 este trifazat (cazul cel mai întâlnit în practică, atunci transformatorul de curent TC se plasează cu înfășurarea primară în serie pe o fază), transformatorul de tensiune TT se plasează între o fază și nulul rețelei (sau cu totul excepțional, dacă nulul rețelei nu este accesibil, între o fază și priza de pământ, sau nulul de protecție). În relația (1.30) se adaugă un factor egal cu trei, dacă consumatorul este simetric și echilibrat (puterea fiind măsurată pe o singură fază), expresia (1.30) devenind:

$$(1.31) \quad P_g \approx \frac{3 \cdot k_{TT} \cdot k_{TC}}{n} \cdot \sum_{t=(g-1) \cdot n \cdot \Delta t}^{g \cdot n \cdot \Delta t} u_{TT}[t] \cdot u_{TC}[t]$$

Cu titlu general să notăm că în figura 1.4 se definește un flux direct, de putere $P > N > N_p$ din cauza pierderilor, dar și un flux invers, de informații privind procesul, sistemul mecanic acționat și sistemul de acționare, accesibil prin intermediul achiziției de date care constituie relația (1.30) și explorabil prin intermediul facilităților de analiză asistată de calculator a semnalului de descriere a puterii electrice active.

Sistemul de acționare are dublu rol: cel consacrat, de conversie a energiei electrice în energie mecanică, pe fluxul direct, dar și de traductor natural de încărcare prin intermediul fluxului invers, pe baza relației 1.31. Acest al doilea rol va fi reliefat în subcapitolul următor.

3. Exemplu practic. Aspecte ale implementării experimentale.

Calitățile unei asemenea maniere de monitorizare a evoluției puterii electrice active rezultă din următorul exemplu practic. Se consideră ca sistem mecanic acționat cutia de viteze a strungului SNA 360, redată în figura 1.5 (reproducere a unei figuri utilizate într-o publicație

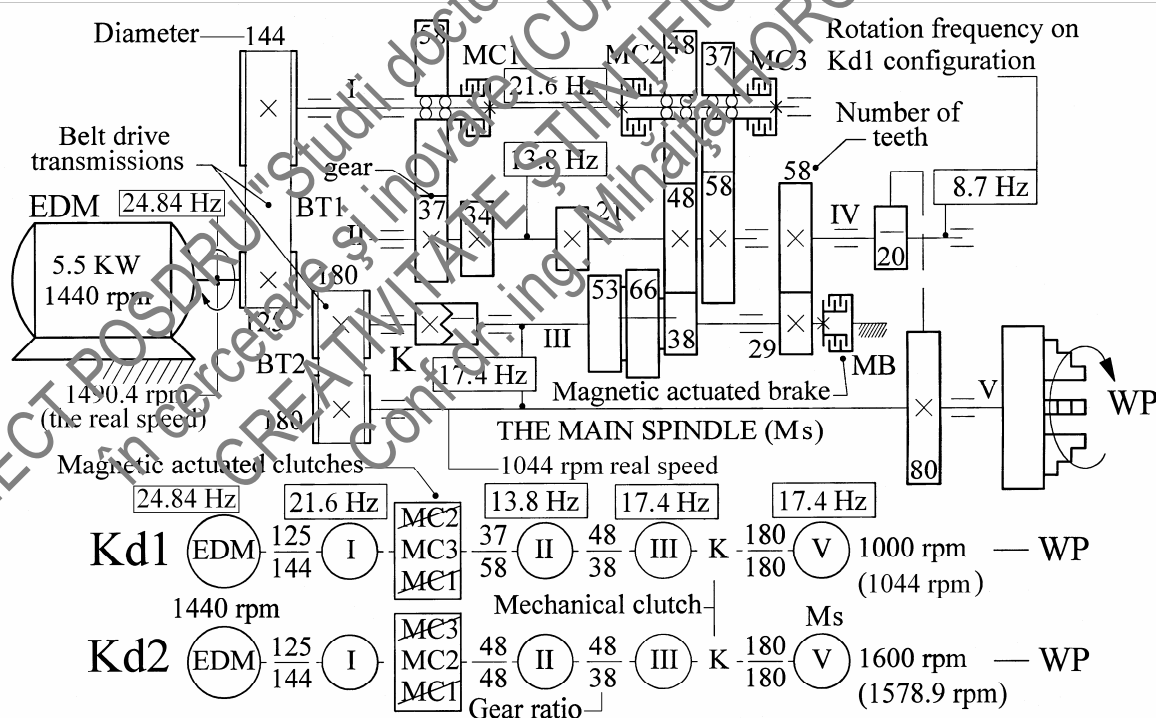


Figura 1.5 Sistem mecanic acționat. Cutia de viteze a strungului SNA 360. Schemă cinematică.

proprie, redactată în limba engleză). Ca sistem de acționare se folosește un electromotor asincron trifazat (EDM pe figură) cu putere nominală de 5,5 KW și turația de 1440 rot./min. Se folosește aici configurația Kd1 a cutiei (fluxul cinematic este evidențiat în partea inferioară

a figurii) având drept finalitate antrenarea arborelui principal al strungului cu turația de 1000 rot./min. (turație teoretică, valoarea reală este de 1044 rot./min.).

Pe o fază de alimentare a acestora se plasează cele două transformatoare, de curent TC și de tensiune TT așa cum s-a specificat anterior.

Se va cerceta aici reflectarea în evoluția puterii electrice active a fenomenelor legate de cuplarea-decuplarea cutiei de viteze (prin intermediul cuplajului electromagnetic MC3 (cu discuri, prin fricțiune). Corespunzător s-a realizat o secvență de achiziție cu durată de 10 s în timpul căreia s-au prelevat numeric evoluția tensiunilor de descriere $u_{TT}[t]$, $u_{TC}[t]$ a tensiunii și a curentului instantaneu.

Tensiunile de descriere $u_{TT}[t]$, $u_{TC}[t]$ sunt utilizate pentru prelucrare până la constituirea informației de putere activă conform relației (1.31) și reprezentarea grafică a evoluției acestora în timp, cu ajutorul programului Matlab `evput` listat mai jos:

Program evput

```
clear all;close all;inreg=10;load putporp1.txt;l=size(putporp1);
timp1=putporp1(:,1);amplit=putporp1(:,2);
timp=timp1(1:l/2)/1000000;tens=amplit(1:l/2);l1=l(1)/2+1;
curent=amplit(l1:l);
putinst=tens.*curent*0.0025737;plot(timp,putinst);
sup=round(l(1)/(2*inreg*100));p=1;lim=l1-sup;
for i=1:sup:lim;med=0;
    for j=1:sup;med=med+putinst(i+j);end;med=med/sup;putact(p)=med;
    timpputact(p)=timp(i+round(sup/2));p=p+1;
end
clear timp
%rutina filtrare
d=size(putact);p=1;k=1;
for i=1+p:d(2);med=0;
    for j=1:p;med=med+putact(i-j);end
    putactf(k)=med/p;timpf(k)=(i)*0.01;k=k+1;
end
for i=1:p;putactf(i)=putactf(p+1);timpf(1)=i*0.01;end
plot(timp,putactf,'k','Linewidth',1.5);grid
Title('EVOLUTIE PUTERE ACTIVA')
xlabel('Excursie timp s');ylabel('Excursie putere W')
```

În matricea `putporp1` (încărcată cu instrucțiunea `load putporp1.txt` din prima linie), structurată pe 2 coloane și 2 x 61036 linii se află salvate setul de date ce descriu valorile tensiunilor de descriere $u_{TT}[t]$, $u_{TC}[t]$.

Notă:

Programul `evput` și matricea `putporp1` sunt puse la dispoziție ca fișiere separate. Pot fi folosite pentru exerciții proprii pe marginea cursului.

Prima jumătate a matricii (2 coloane și 61036 linii) descrie numeric evoluția în timp a tensiunii $u_{TT}[t]$ (pe prima coloană timpul în microsecunde, pe a doua tensiunea în milivolti). În mod identic, a doua jumătate a matricii (2 coloane și 61036 linii) descrie numeric evoluția în timp a tensiunii $u_{TC}[t]$ (pe prima coloană timpul în microsecunde, pe a doua tensiunea în milivolti).

Rezultă de aici imediat frecvența de eșantionare a celor două tensiuni (numărul de valori convertite din format numeric în format analogic într-o secundă), adică 61036 valori/10 s = 6103,6 s⁻¹.

În liniile 2, 3 și 4 se extrag și se definesc matricile de definire a timpului (`load`), a tensiunii $u_{TT}[t]$ (matricea `tens`) și a tensiunii $u_{TC}[t]$ (matricea `curent`).

În linia 5:

```
putinst=tens.*curent*0.0025737;plot(timp,putinst);
```

se calculează și se depune în matricea `putinst` puterea instantanee în termenii relației (1.22), rescrisă ținând cont de: tensiunile $u_{TT}[t]$, $u_{TC}[t]$ (exprimate în milivolți), constantele de transformare k_{TT} și k_{TC} , factorul de multiplicare (3) aferent utilizării unei rețele trifazate. Adică, se folosește expresia:

$$(1.32) \quad p[t] = \frac{3 \cdot k_{TT} \cdot k_{TC}}{1000000} \cdot u_{TT}[t] \cdot u_{TC}[t] = 0,0025737 \cdot u_{TT}[t] \cdot u_{TC}[t]$$

Ultima instrucțiune din linia 5 (`plot(timp,putinst);`) realizează reprezentarea evoluției temporale a puterii instantanee. Reprezentarea se obține permanent dacă se copie toate instrucțiunile de până aici, se transferă și se execută în fereastra de comandă Matlab.

Următorul set de 5 instrucțiuni, adică:

```
sup=round(1(1)/(2*inreg*100));p=1;lim=11-sup;
for i=1:sup:lim;med=0;
    for j=1:sup;med=med+putinst(i+j);end;med=med/sup;putact(p)=med;
    timpputact(p)=timp(i+round(sup/2));p=p+1;
end
```

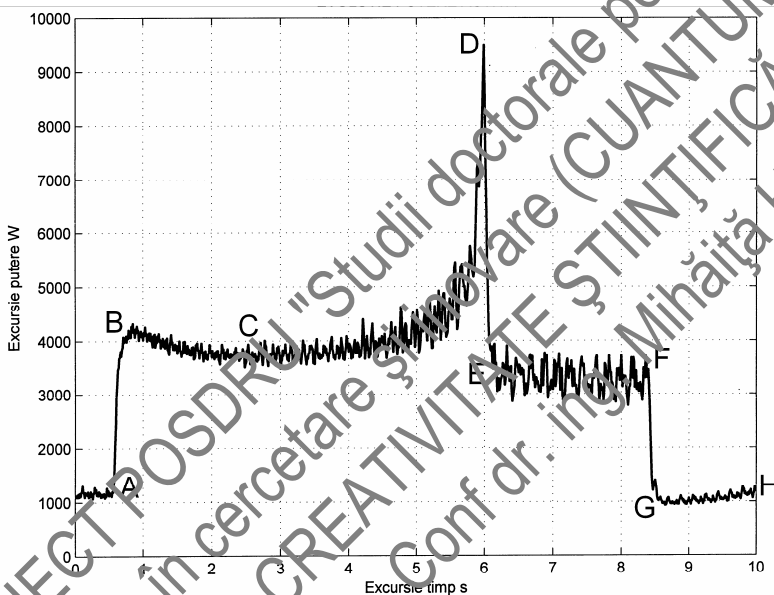


Figura 1.6 Evoluția puterii electrice active absorbite de electromotor pentru un ciclu de cuplare-decuplare a cutiei de viteze (1000 rpm la arborele principal)

realizează calculul puterii electrice active P_g (rezultatul este depus în matricea `putact`) conform cu relația (1.31) scrisă pentru o rată de descriere de 100 s^{-1} (n din relația (1.31) este definit cu relația $n = T/(2 \cdot \Delta t)$). Reprezentarea evoluției temporale a puterii electrice active ($P_g[t_g]$) se asigură prin calculul valorilor $t_g = g \cdot n \cdot \Delta t$, depuse în matricea `timpputact`.

Matricea `putact` are evident 1000 elemente (100 de valori pe secundă multiplicat cu 10 s).

Următorul set de instrucțiuni adică:

```
clear timp
```

```
%rutina filtrare
d=size(putact);p=1;k=1;
for i=1+p:d(2);med=0;
    for j=1:p;med=med+putact(i-j);end
    putactf(k)=med/p;timp(k)=(k)*0.01;k=k+1;
end
for i=1:p;putactf(i)=putactf(p+1);timp(i)=i*0.01;end
```

realizează filtrarea taie sus a evoluției puterii electrice active. Sunt reținute doar componentele de joasă frecvență. Filtrarea presupune realizare unei medii alunecătoare (*moving average filter*) de p valori experimentale ale puterii electrice active. Cu $p=1$, nu se realizează filtrare. Același rezultat se poate obține direct cu instrucțiunea Matlab `putactf=smooth(putact,p)`.

Ultimele trei instrucțiuni:

```
plot(timp,putactf,'k','LineWidth',1.5);grid
Title('EVOLUTIE PUTERE ACTIVA')
xlabel('Excursie timp s');ylabel('Excursie putere W')
```

realizează reprezentarea grafică a evoluției puterii electrice active (nefiltrate, $p=1$), conform figurii 1.6.

Pe figură sunt marcate câteva momente importante ale evoluției. La momentul A se realizează alimentarea electrică a cuplajului MC3. Anterior, electromotorul EDM antrena doar transmisia cu curele BT1 și arborele I, consumul înregistrat fiind de cca. 1150 W. Din momentul A se produce salt de putere, cutia de viteze (partea de după MC3) devine sarcină a electromotorului EDM. Antrenarea acesteia presupune acoperirea energetică a puterii disipate prin frecare uscată și vâscoasă în organele de mașini în mișcare precum și a fenomenelor de natură dinamică care intervin. Există în faza de accelerare a cutiei de viteze o componentă de putere mecanică absorbită numită putere dinamică (ea produsă dintre momentul dinamic și viteză). Momentul dinamic poate fi definit global ca produsul dintre accelerația unghiulară și momentul de inerție (ambele reduse la nivelul rotorului electromotorului).

Tendința ascendentă a puterii absorbite este stopată în E, aici trecându-se de pe front pe palierul C. Intervine o limitare a puterii absorbite din cauza patinării curelei din transmisia BT1, momentul dinamic fiind mai mare decât momentul forțelor de frecare dintre curea și roata mică de curea (de pe rotorul EDM). Fatinarea înseamnă încălzirea curelei, deci alungirea acesteia, deci reducerea momentului forțelor de frecare, de unde tendința ușor descendentă pe palierul C după momentul B.

În D, cu cea mai mare probabilitate se produce dispariția patinării, a alunecării relative a curelei față de roata mică de curea, fenomen însoțit de creșterea severă a coeficientului de fricțiune. Există totuși probabilitatea ca aici să survină un alt fenomen încă neinstrumentat corespunzător.

În E faza dinamică a cuplării cutiei de viteze a încetat, cutia de viteze funcționează în regim staționar din punctul de vedere al turației, urmează evoluția pe palierul F, puterea absorbită aici (cca. 3200 W) acoperă energetic puterea disipată prin frecări.

În F se realizează decuplarea cutiei de viteze (cuplajul electromagnetic MC3 este deconectat), puterea electrică absorbită scade evident până în G (a dispărut o parte din sarcina mecanică de pe rotorul EDM).

Evoluția dintre G și H are o explicație foarte interesantă. Cuplajul MC3 are două seturi de discuri cu fricțiune. Un set este solidar la rotație cu arborele I, celălalt set este solidar cu roata cu 37 de dinți de pe arborele I (când cuplajul MC3 nu este alimentat roata este liberă la rotație față de arborele I, fiind plasată pe un rulment). În momentul G al decuplării dispare forța (cuplul) de frecare dintre discuri, ambele seturi de discuri se rotesc cu aceeași viteză. Ulterior setul solidar cu roata 37 își scade viteza odată cu cutia de viteze până la zero (fie acesta momentul H). Diferența de putere dintre momentele G și H (cca. 150 W) reprezintă pierderile prin frecare între cele două seturi de discuri.

Aparent evoluția din figura 1.6 are o componentă semnificativă de zgomot. O tehnică de eliminare a acesteia o reprezintă filtrarea trece jos, prezentată anterior. Se înscrie în secvența de filtrare o nouă valoare a parametrului filtrului ($p = 18$):

```

clear timp
%rutina filtrare
d=size(putact); p=18; k=1;
for i=1+p:d(2); med=0;
for j=1:p; med=med+putact(i-j); end
putactf(k)=med/p; timp(k)=(k)*0.01; k=k+1;
end
for i=1:p; putactf(i)=putactf(p+1); timp(i)=i*0.01; end

```

Rularea programului `evput` în aceste circumstanțe conduce la reprezentarea grafică a evoluției puterii electrice active filtrate trece jos (taie sus), conform rezultatului grafic din figura 1.7.

Dispariția componentei variabile este evidentă. Pe figură se pot localiza evenimentele A, B...H deja definite în figura 1.6. Se observă de asemenea o consecință nedorită a filtrării,

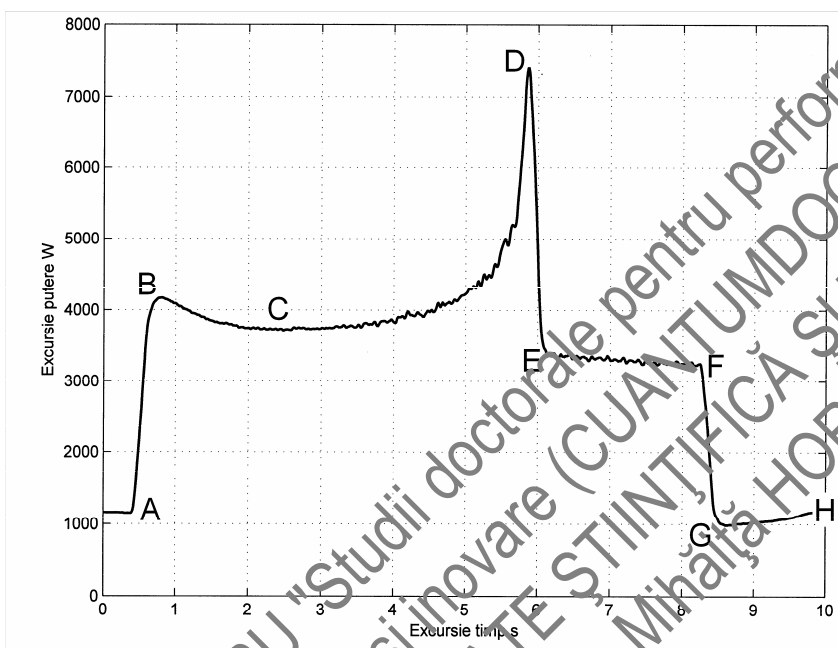


Figura 1.7 Evoluția din figura 1.6 redată cu filtrare numerică taie sus (parametrul filtrului $p = 18$)

orizontala dusă prin E iar la partea superioară de curba de evoluție a puterii electrice active este egală cu energia cinetică a cutiei de viteze.

Propunem drept exercitiu simularea caracteristicii filtrului (evoluția raportului dintre amplitudinea semnalului la ieșirea și la intrarea în filtru, în funcție de frecvență).

Cu titlu informativ, componenta variabilă a puterii dintre limitele E și F (pe figura 1.6) are caracter strict determinist, este corelată cu o serie de fenomene din cutia de viteze. Aspectul va fi aprofundat la laborator.

Maniera aceasta de monitorizare asistată de calculator a evoluției puterii active poate fi utilizată pentru cercetarea unor regimuri diferite de funcționare a strungului (și în general a oricărei mașini-unelte) în gol și în proces. De asemenea pot fi cercetate o serie de procese acționate electric dintre cele mai diverse (electrodinamic, piezoelectric, etc.). Cu titlu inedit, se poate instrumenta și pune în evidență fenomenul de rezonanță mecanică și o serie de alte fenomene conexe pentru sisteme slab amortizate natural, acționate în această manieră. Aspectul va fi reliefat la laborator.

Conf. dr. ing. Mihăiță HORODINCĂ

Elemente teoretice privind utilizarea efectului Hall (senzorul magnetic comutator β SM 234) în monitorizarea asistată de calculator a evoluției vitezei unghiulare (turației).

1. Introducere.

Viteza unghiulară a corpurilor echilibrate dinamic în mișcare de rotație este un parametru cinematic important, determinarea exactă a acesteia precum și a evoluției temporale este, în ciuda aparențelor, încă o problemă relativ dificil de rezolvat, cu interesante provocări, mai ales din perspectiva sistemelor moderne de prelevare/prelucrare a datelor din proces (în special cu utilizarea metodelor fără contact fizic, de proximitate)

Determinarea valorii absolute a vitezei unghiulare în regim staționar și a evoluției acesteia în fazele caracterizate de regimuri tranzitorii de funcționare (accelerare/decelerare) sunt elemente esențiale ale cercetării experimentale (în special pentru diagnoza lanțurilor cinematice) în domeniul mașinilor-unelte (evoluția temporală a vitezei unghiulare ω permite determinarea -prin derivare grafică- a accelerațiilor unghiulare ε care împreună cu momentul de inerție J definește momentul de torsiune dinamic $M_d = J \cdot \varepsilon$).

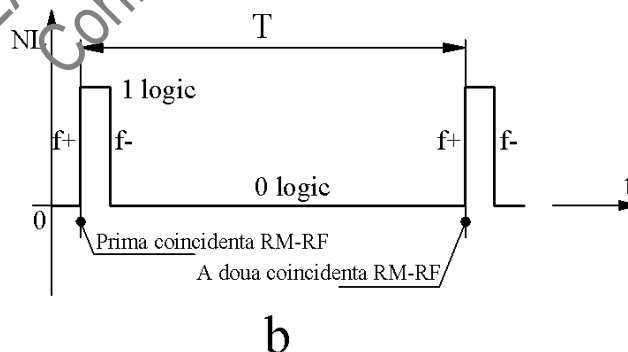
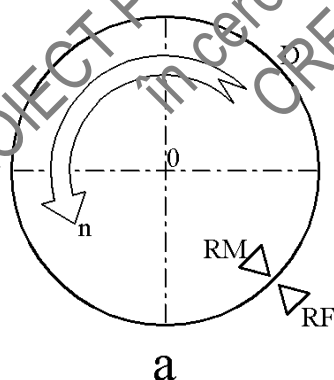
În acest sens, lucrarea își propune să ilustreze o serie de posibilități practice și de proceduri experimentale asistate de calculator (constituire date/senale experimentale, prelevare, gestionare și prelucrare) care să concretizeze o serie de valențe cu caracter formativ dobândite de către studenții programului de studii universitare de licență MASINI-UNELTE SI SISTEME DE PRODUCTIE la disciplinele de specialitate, și -în nota generală- să dea coerență actului didactic formativ ingineresc.

2. Metode de monitorizare a vitezei unghiulare (turației).

Se vor avea în vedere în continuare o serie de metode aplicabile monitorizării prin mijloace de proximitate (cu impulsuri declanșate de realizarea proximității), fără contact fizic cu corpul în mișcarea de rotație.

2.1. Metoda evaluării perioadei (MEP).

Cea mai simplă metodă se prezintă pe baza considerațiilor din figura 1. Pe un disc D aflat în



mișcare de rotație cu turația n (figura 1. a), se plasează un reper mobil RM , care are corespondent în proximitate un reper fix RF exterior. Să presupunem că realizarea coincidenței

dintre cele două repere (cu discul D în mișcare de rotație) declanșează frontul pozitiv (crescător, $f+$) al unui impuls logic (conform evoluției temporale a nivelelor logice NL din figura 1. b,

presupunând utilizarea unor dispozitive electronice adecvate). Durata impulsului este fixă, și nu are legătură cu turația discului.

Este evident faptul că durata unei rotații complete (perioada T) se definește între fronturile crescătoare ($f+$) ale două impulsuri succesive (sau la fel de bine între fronturile negative, descrescătoare, $f-$). Pe baza perioadei T [s] se poate constitui succesiv informația legată de frecvența de rotație ν [Hz], viteza unghiulară ω [radiani/s], respectiv turația n [rotații/min] :

$$(1.1) \quad \nu = \frac{1}{T} ;$$

$$(1.2) \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} ;$$

$$(1.3) \quad n = 60 \cdot \nu = \frac{60}{T} ;$$

Aplicarea acestei metode presupune determinarea exactă a perioadei T . Evoluția în timp a parametrilor din (1.j) se poate obține dacă se măsoară și se stochează valorile succesive ale perioadei T cu ajutorul sistemelor performante de prelevare a datelor.

Utilizarea unui reper mobil RM atașat discului cu mișcare de rotație are însă un dezavantaj, deplasează centrul de masă de pe centrul de rotație (apare dezechilibru dinamic).

2.2. Metoda evaluării duratei de succesiune (MEDS).

Dezvoltată ca alternativă de salt calitativ la MEP, metoda rezolvă două neajunsuri ale

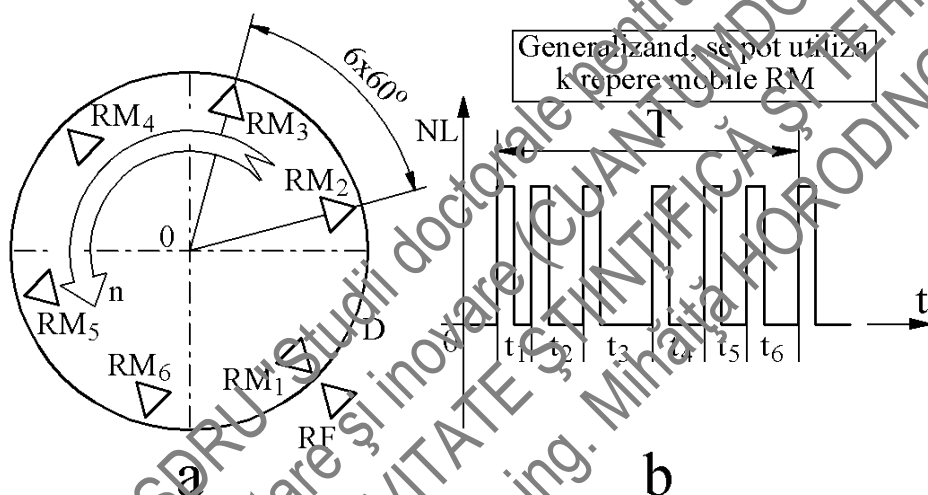


Figura 2. Determinarea viteze unghiulare (turației) pe baza metodei MEDS.

componente variabile (periodice) ale vitezei unghiulare (turației) cu perioadă mai mică decât perioada T a unei rotații complete a discului. MEDS dezvoltă MEP, diferența constând esențial în utilizarea unui număr de k (sau generalizând k) repere mobile $RM_1, RM_2, \dots, RM_{6(k)}$, echidistante unghiular, conform figurii 2. a. Fiecare aliniere a reperelor mobile RM_i cu reperul fix RF produce un impuls logic (conform figurii 2. b), pe fiecare rotație completă a discului D rezultând $6(k)$ impulsuri succesive, decalate temporal cu intervalul t_i , cu relația evidentă:

$$(2) \quad \sum_{i=1}^k t_i = T$$

Fiecare dintre valorile t_i [s] servesc constituirii informației de descriere a valorii curente a frecvenței de rotație ν_i [Hz], vitezei unghiulare ω_i [radiani/s], respectiv a turației n_i [rotații/min]:

$$(3.1) \quad \nu_i = \frac{1}{k \cdot t_i} ;$$

$$(3.2) \quad \omega_i = \frac{2 \cdot \pi}{k \cdot t_i} ;$$

$$(3.3) \quad n_i = 60 \cdot \nu_i = \frac{60}{k \cdot t_i} ; \quad i = 1 \div k$$

Relațiile (3.j) rezultă din (1.j) considerând o perioadă convențională de rotație $T_i = k \cdot t_i$ asociată fiecărui impuls de durată t_i .

Rezultă astfel k descrieri ale parametrilor de mai sus pe fiecare rotație completă a discului D (se spune că s-a realizat o rată de descriere egală cu k). Ca și în cazul MEP aplicarea acestei metode presupune determinarea exactă a intervalelor de timp t_i . Evoluția în timp a parametrilor din (2.i) se poate obține dacă se măsoară și se stochează valorile succesive t_i .

2.3. Metoda evaluării duratei de succesiune, cu generalizare (MEDSG).

Metoda MEDS are și o variantă de generalizare (MEDSG), pentru situația în care reperele mobile RM_i nu sunt plasate echidistant unghiular. În condiții asemănătoare cu cele prezentate în figura 2, fie α_i [radiani] spațiul unghiular dintre reperele mobile RM_i și RM_{i+1} și t_i [s] durata corespunzătoare între succesiunea celor două repere mobile față de reperul fix RF . Pe baza acestor valori se pot constitui informațiile de descriere a valorii curente a frecvenței de rotație v_i [Hz], vitezei unghiulare ω_i [radiani/s], respectiv a turației n_i [rotații/min]:

$$(4.1) \quad v_i = \frac{\alpha_i}{2 \cdot \pi \cdot t_i} ; \quad (4.2) \quad \omega_i = \frac{\alpha_i}{t_i} ; \quad (4.3) \quad n_i = 60 \cdot v_i = \frac{30 \cdot \alpha_i}{\pi \cdot t_i} \text{ cu } i = 1 \div k$$

Relațiile (4.j) rezultă din (1.j) considerând o perioadă convențională de rotație $T_i = 2 \cdot \pi \cdot t_i / \alpha_i$ asociată fiecărui impuls de durată t_i . Dacă α_i este constant (același pentru toate intervalele), cu $k_i = 2 \cdot \pi / \alpha_i$ relațiile (4.j) se transformă în (3.j), adică MEDSG devine MEDS.

Rezultă astfel k descrieri ale parametrilor de mai sus pe fiecare rotație completă a discului D (se spune că s-a realizat o rată de descriere egală cu k). Aplicarea acestei metode presupune însă în afară de determinarea exactă a intervalelor de timp t_i , cunoașterea valorilor α_i corespunzătoare. Dacă valorile α_i pot fi determinate precis în prealabil, corespondența cu intervalele de timp este aparent imposibil de determinat (nu se poate determina poziția de debut a discului corespunzător căruia se obține trenul de impulsuri din fig. 2 b.). Rezolvarea acestei probleme se poate face cu utilizarea unui al doilea reper fix ($RF1$), și a unui reper mobil suplimentar RMS (numit de origine unghiulară). Coincidența $RF1$ - RMS condiționează debutul trenurilor de impulsuri din figura 2.b. În lucrarea de față se va cerceta experimental posibilitatea utilizării metodei fără cele două repere suplimentare.

Să mai observăm că dacă se utilizează relația (2) de definire a perioadei T , MEDS și MEDSG pot asigura utilizarea MEP deci a relațiilor (1.j).

2.4. Metoda numărării impulsurilor (MNI).

Este eficace în cazul monitorizării vitezelor unghiulare mari și foarte mari, situație în care

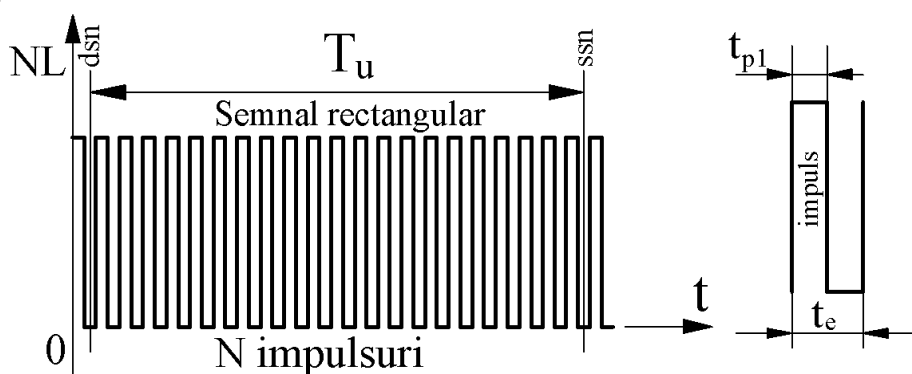


Figura 3 Aspecte temporale ale aplicării MNI.

evaluarea exactă a duratelor t_i și a perioadei T este dificilă. MNI utilizează elementele structurale deja prezentate în figurile 1 respectiv 2. Nu se mai realizează însă evaluarea intervalelor de timp t_i respectiv T

ci numărarea impulsurilor generate de coincidența reperelor mobile cu cel fix pe o durată de timp cunoscută (timp unitar T_u), conform elementelor din figura 3. Durata unei perioade elementare t_e a semnalului rectangular va fi dată de:

$$(4) \quad t_e \approx \frac{T_u}{N}$$

Semnul $\approx$ suplinește egalitatea din cauza erorii principiale de măsurare. Debutul sevenței de numărare (dsn) se poate suprapune peste un front negativ (f-) al semnalului rectangular în timp ce sfârșitul secvenței (ssn) se poate suprapune peste un front pozitiv (f+) sau invers, numărul N de impulsuri fiind același. Fără a insista asupra acestui tip de eroare (de altfel MNI nu constituie obiectul principal de studiu al prezentei lucrări), să precizăm totuși că pentru N foarte mare eroarea este neglijabilă (considerându-se mai sus cu o bună aproximație semnul $=$).

Valorile medii (pe durată unitară T_u) ale frecvenței de rotație ν_m [Hz], vitezei unghiulare ω_m [radiani/s], respectiv a turației n_m [rotații/min] sunt date de:

$$(5.1) \quad \nu_m = \frac{N}{k \cdot T_u} ; (5.2) \quad \omega_m = 2 \cdot \pi \cdot \nu_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{k \cdot T_u} ; (5.3) \quad n_m = 60 \cdot \nu_m = \frac{60 \cdot N}{k \cdot T_u} ;$$

Relațiile (5.j) au fost deduse din relațiile (1.j) în contextul figurii 2, considerând o perioadă medie (durata unei rotații complete a discului D) definită cu: $T_m = t_e \cdot k$ respectiv $T_m = T_u \cdot k/N$, ținând seama de (4). Utilizarea MNI în contextul figurii 1 se face considerând mai sus $k=1$.

Se mai impune o precizare aici, așa cum s-a precizat anterior durata impulsului (t_{pl}) este fixă în timp ce perioada elementară t_e depinde de viteza unghiulară (turația) discului. De aici rezultă imediat condiția obligatorie $t_e > t_{pl}$ care face posibilă utilizarea metodei (altfel nu se generează impulsuri). Tehnicile actuale permit realizarea unor impulsuri extrem de scurte (cu durata de ordinul zecilor de nanosecunde) ceea ce face condiția de mai sus necritică.

Cu titlu general, MNI nu poate oferi decât imaginea asupra valorilor medii ale vitezei unghiulare respectiv turației, fiind destinată evaluării regimurilor staționare sau lent variabile.

2.5. Concluzii privind aplicarea experimentală.

Aplicarea experimentală a fiecăreia dintre cele 4 metode de măsurare, evaluare și monitorizare presupune rezolvarea a două mari probleme de ansamblu:

A. Generarea impulsurilor semnalelor rectangulare pe baza realizării proximității între reperi mobile și reperul fix cu utilizarea unor senzori și a unor sisteme electronice adecvate (tratare în § 3.)

B. Măsurarea intervalelor de timp din semnalul rectangular, prelevarea datelor de măsurare și determinarea vitezei (turației) eventual în evoluție temporală. Ideală este aici utilizarea unui sistem asistat de calculator pentru achiziția datelor experimentale (tratare în § 4).

3. Generarea impulsurilor de proximitate cu utilizarea efectului Hall (a senzorului magnetic comutator β SM 234)

Sesizarea proximității dintre reperi mobile și cel fix presupune utilizarea unei interacțiuni fără contact fizic direct între acestea, prin proximitate.

3.1. Prezentare sumară a efectului Hall.

Interacțiunea de proximitate, fără contact, se poate face de exemplu prin intermediul unui câmp, în particular un câmp magnetic. Ca reper mobil se poate utiliza un magnet permanent (de

tip disc, cu polarizare axială), ca reper fix se poate utiliza un senzor magnetic comutator β SM

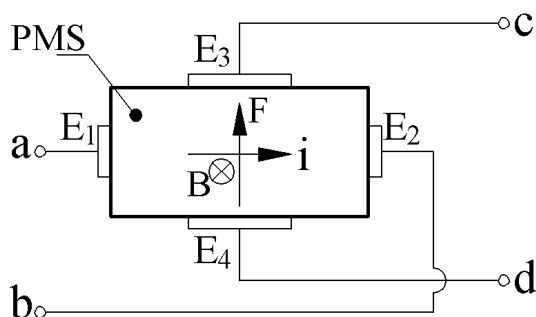


Figura 4. Elemente descriptive asupra efectului Hall.

magnetic de intensitate B atunci apare o forță Lorenz F (interacțiunea câmp-curent). Din punct de vedere extern forța F acționează asupra PMS, din punct de vedere intern ea acționează asupra electronilor din fluxul de particule, determinând devierea (creșterea densității) acestora către electrodul E_3 și diminuarea densității către electrodul E_4 , ceea ce are ca efect apariția unui câmp electric între cei doi electrozi, deci a unei tensiuni între bornele c, d (fie această U_{cd}). Intensitatea câmpului electric deci valoarea tensiunii U_{cd} este proporțională cu curentul i și cu intensitatea B câmpului magnetic, constituindu-se într-o măsură a acestuia. Structura din figura 4 se regăsește în interiorul senzorului magnetic comutator β SM 234, care conține în plus un comparator activat atunci când U_{cd} depășește o valoare de prag (corespunzătoare unui câmp magnetic cu intensitatea de 50 mT). La ieșire se regăsește un semnal continuu cu amplitudinea sursei de alimentare (+5V) care basculează la masă (0V) când se realizează condiția de comutație. Altfel spus, se generează direct semnalul rectangular la care s-a făcut referire în figurile 1, 2 și 3.

3.2. Generarea impulsurilor de proximitate în cazul MEP.

Un exemplu de utilizare se prezintă în figura 5. Pe discul D se plasează un magnet permanent cilindric MP (cu polarizare axială, realizat din așa numitele pământuri rare, NeFeB, neodim-fier-bor,) ca reper mobil RM (conform figurii 1). În proximitatea acestuia, la distanța d

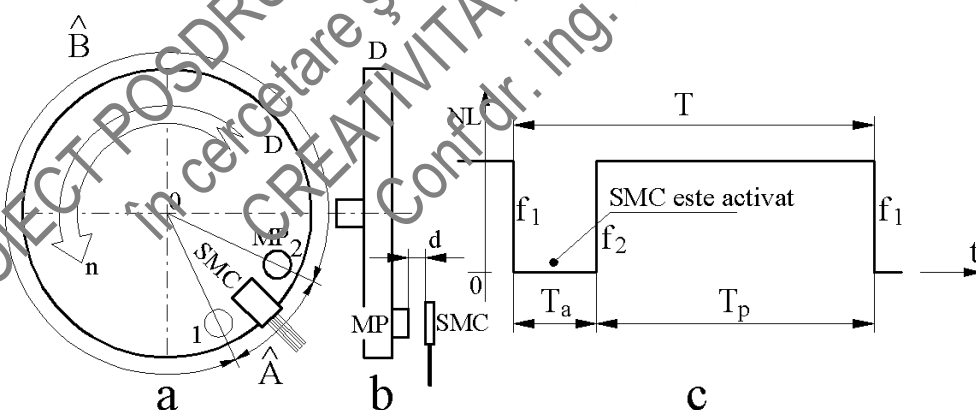


Figura 5. Elemente de bază privind utilizarea senzorului magnetic comutator β SM 234 la determinarea vitezei unghiulare (cu un singur reper mobil RM1).

senzor pentru o rotație completă a discului D . Principiul de funcționare a senzorului asigură generarea unui impuls 1-0-1 logic (cu durata T_a pe figură) atunci când acesta este activat (de către MP, prin rotația discului), altfel spus la trecerea MP din poziția 1 în 2 (corespunzătoare unui unghi de rotație $< A$). Cu 1 și 2 s-au notat limitele (stânga și dreapta) de activare a senzorului. Când MP se află în poziția 1 se generează frontul f_1 , când MP se află în poziția 2 se

generează frontul f_2 (pe durata T_a intensitatea câmpului magnetic în zona de plasare a SMC este superioară valorii de 50 mT). Este evident că intervalul de timp dintre două plasări succesive a MP în poziția 1 definește perioada $T = T_a + T_p$ utilă definirii parametrilor din relațiile (1.j).

3.3. Generarea impulsurilor de proximitate în cazul MEDSG.

În condițiile figurii 5 se poate ușor observa faptul că există proporționalitate între unghiurile $\angle A$, $\angle B$ și intervalele de timp T_a , T_p ($\angle A \rightarrow T_a$, $\angle B \rightarrow T_p$) prin intermediul vitezei unghiulare. Cu aceasta se pot utiliza relațiile (4.j), pentru descrierea frecvenței, vitezei unghiulare și a turației (câte două valori pe rotație) conform cu (6.j) și (7.j):

$$(6.1) \quad v_1 = \frac{\angle A}{2 \cdot \pi \cdot T_a}; \quad (6.2) \quad \omega_1 = \frac{\angle A}{T_a}; \quad (6.3) \quad n_1 = 60 \cdot v_1 = \frac{30 \cdot \angle A}{\pi \cdot T_a}$$

$$(7.1) \quad v_2 = \frac{\angle B}{2 \cdot \pi \cdot T_p}; \quad (7.2) \quad \omega_2 = \frac{\angle B}{T_p}; \quad (7.3) \quad n_2 = 60 \cdot v_2 = \frac{30 \cdot \angle B}{\pi \cdot T_p}$$

Relații obținute din (1.j) considerând pentru fiecare situație câte o perioadă formală $T_1 = 2 \cdot \pi \cdot T_a / (\angle A)$ respectiv $T_2 = 2 \cdot \pi \cdot T_p / (\angle B)$. Evident, trebuie cunoscute valorile unghiurilor de mai sus.

Realizarea veritabilă a condițiilor de lucru a metodei MEDSG se face cu utilizarea mai multor repere mobile (mai mulți magneți permanenți MP) pe discul D din figura 5, de exemplu

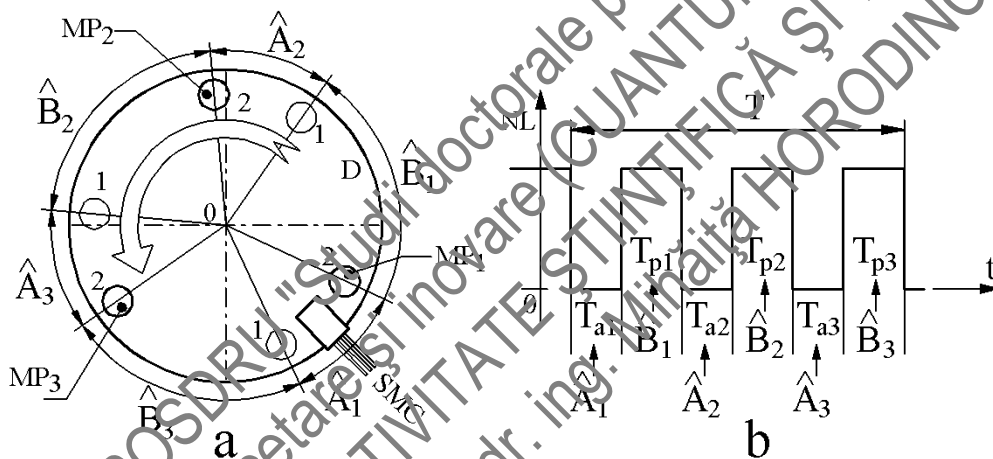


Figura 6. Elemente de bază privind utilizarea senzorului magnetic comutator βSM 234 la determinarea vitezei unghiulare (cu trei repere mobile). Metoda MEDSG.

conform figurii 6.a (cu trei magneți permanenți). Pentru fiecare magnet se definesc pe discul D spațiile unghiulare $\angle A_i$ pentru care SMC este activat (și corespunzător duratele T_{ai} pe semnalul

rectangular din figura 6.b) respectiv spațiile unghiulare $\angle B_i$ pentru care SMC este inactiv (și corespunzător duratele T_{pi} pe fig. 6.b).

Cu aceasta, se pot defini relațiile pentru calculul frecvenței, vitezei unghiulare respectiv turației, cu generalizarea relațiilor (6.j) și (7.j), rezultând câte 6 valori pe fiecare rotație a discului D, conform cu:

$$(8.1) \quad v_i = \frac{\angle A_l}{2 \cdot \pi \cdot T_{al}}; \quad (8.2) \quad \omega_i = \frac{\angle A_l}{T_{al}}; \quad (8.3) \quad n_i = \frac{30 \cdot \angle A_l}{\pi \cdot T_{al}} \quad \text{cu } i = 1,3,5 \text{ și } l = 1,2,3$$

$$(9.1) \quad v_i = \frac{\angle B_l}{2 \cdot \pi \cdot T_{pl}}; \quad (9.2) \quad \omega_i = \frac{\angle B_l}{T_{pl}}; \quad (9.3) \quad n_i = \frac{30 \cdot \angle B_l}{\pi \cdot T_{pl}} \quad \text{cu } i = 2,4,6 \text{ și } l = 1,2,3$$

În relațiile (8.j) și (9.j) se impune obligatoriu cunoașterea valorilor unghiurilor $\angle A_i$, $\angle B_i$. Cel mai

comod din punct de vedere experimental ar fi ca $\angle A_i = \angle B_i$ oricare ar fi i . Altfel valorile unghiurilor implicate trebuiesc foarte bine cunoscute. Dacă se consideră definirea perioadei T ca fiind dată de:

$$(10) \quad T = T_{a1} + T_{p1} + T_{a2} + T_{p2} + T_{a3} + T_{p3}$$

se poate aplica MEP, pe baza relațiilor (1.j). Se obține însă câte o singură descriere pe rotație a parametrilor respectivi.

Să notăm și faptul că utilizarea reperelor mobile multiple evită apariția dezechilibrului dinamic pe discul D.

3.4 Concluzii

Elementele de principiu ale monitorizării turației (vitezei unghiulare) au fost formulate în vederea aplicării cu utilizarea unui aparat experimental minimal, cu utilizarea calculatorului în prelevarea, stocarea și procesarea datelor experimentale, pe baza unor medii de programare accesibile, comune utilizatorilor.

Bibliografie

1. Bodea M., Vătășescu A., Marinescu N., Segal A., Râpeanu R., Puchianu S., Gheorghiu V., (1984) *Circuite integrate liniare, Manual de utilizare*, vol. III, Editura Tehnică, București, 1984.
2. Horodincă M., (2004) *Utilizarea parametrilor energetici în monitorizarea diagnoza și conducerea sistemelor de prelucrare*, Editura PERFORMANTICA Iași, ISBN: 973-7994-91-4, 2004.
3. Horodincă M., (2003) *Introducere în tehnica prelucrării informației*, Editura TEHNOPRESS, Iași, ISBN: 973-8377-31-5, 265 pagini, 2003.

Cercetări experimentale privind utilizarea efectului Hall (senzorul magnetic comutator β SM 234) în monitorizarea asistată de calculator a evoluției vitezei unghiulare (turației)

4. Confirmare experimentală, validarea premiselor teoretice

Pe baza aspectelor teoretice prezentate, s-a procedat în continuare la realizarea unor elemente de stand experimental cu prelevare asistată de calculator a datelor, cu o prezentare sumară după cum urmează.

4.1 Detalii de plasare magneți permanenți, senzor magnetic comutator.

Practic s-a urmărit simularea unor condiții de experiment determinare viteză unghiulară



Figura 7. Vedere asupra manierei de plasare a magneților permanenți MP_i și a senzorului magnetic comutator SMC.

distanței d din figura 5, (*l.a.*) cu ajutorul săniilor longitudinală și transversală. Deliberat poziționarea magneților permanenți nu s-a făcut echidistant unghiular și la aceeași rază, unghiurile $\angle A_i$, $\angle B_i$ din figura 6 (*l.a.*) având valori oarecare, diferite.

Pentru unele etape ale demersului experimental (inclusiv varianta MEP de monitorizare) s-a folosit un singur magnet permanent.

4.2 Schema bloc a sistemului de prelevare date experimentale.

Se prezintă în figura 8. Senzorul magnetic comutator SMC se prezintă sub forma unui circuit integrat cu trei terminale (sursă de alimentare -1, masă - 2, și terminal de ieșire - 3).

Semnalul de ieșire se asigură cu ajutorul unui divizor rezistiv (rezistorii $R1$, $R2$), ca potențial u_{SR} al unui semnal rectangular de forma celui deja descris în figura 6 (l.a), în condițiile în care universalul strungului din figura 7 se rotește iar senzorul SMC este plasat

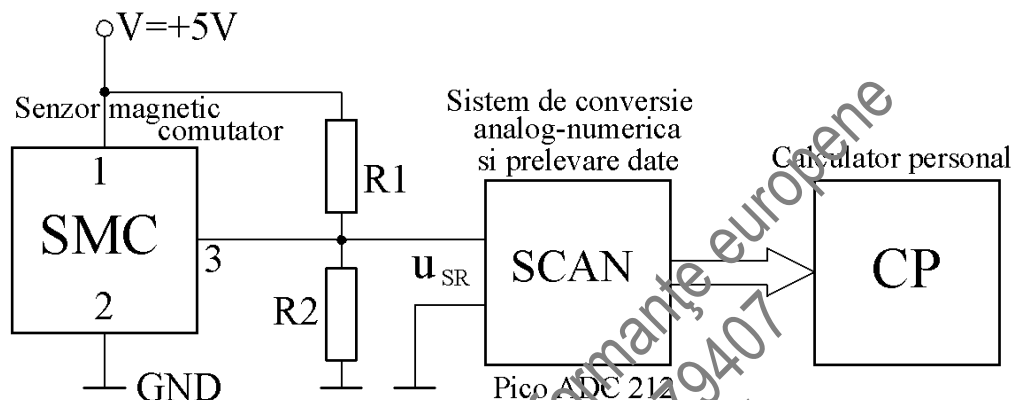


Figura 8. Schema bloc a sistemului de prelevare date experimentale.

corespunzător (suficient de aproape de magneții permanenți pentru a fi activat). Pentru a se asigura tratarea asistată de calculator a semnalului u_{SR} pe baza relațiilor teoretice deja definite anterior, se utilizează un sistem specializat de conversie analog-numerică și prelevare date SCAN

(osciloscop numeric virtual ADC 212-50, Pico Technology, cu rezoluție 12 biți, 2 canale, buffer de date, port paralel aservit funcțional unui calculator personal CP.

Datele de descriere a evoluției temporale a tensiunii u_{SR} se pot archiva în format ASCII și se prelucrează în mediul Matlab.

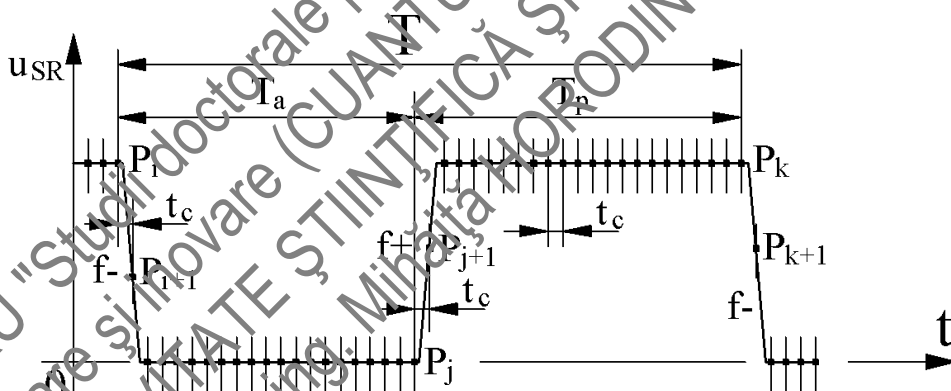


Figura 9. Aspecte privind discretizarea semnalului u_{SR} .

4.3 Elemente de principiu ale tratării semnalului furnizat de senzorul magnetic comutator.

Conform aspectelor teoretice prezentate, evoluția în timp a tensiunii u_{SR} (cu universalul în mișcare de rotație) trebuie analizată pentru detecția fronturilor de semnal, și determinarea intervalelor de timp implicate în descrierea analitică a frecvenței și vitezei unghiulare (turației). Analiza se face evident cu utilizarea unor proceduri asistate de calculator, pe semnalul prelevat și stocat în prealabil, pe baza elementelor de principiu din figura 9, considerând utilizarea elementelor din figura 5 (l.a, metoda MEP). Semnalul convertit în format numeric apare sub forma unor puncte experimentale echidistante temporal (cu durata t_c , ca interval dintre două conversii succesive din format analogic în format numeric, de eșantionare, $1/t_c$ descriind rata de

conversie, numărul de conversii în unitatea de timp), pentru fiecare punct existând stocată o valoare numerică ce descrie momentul de timp în raport cu debutul secvenței de achiziție și o valoare numerică ce descrie elongația (nivelul) semnalului u_{SR} . De exemplu punctul P_i poate fi asimilat ca având coordonatele $P_i(t[i], u_{SR}[i])$. Definirea intervalelor de timp T_a și T_p se poate face pe baza detecției fronturilor de semnal. De exemplu detecția primului front negativ (f-) se poate face cu pseudo instrucțiunea: dacă $(u_{SR}[i+1] - u_{SR}[i]) < -u_p$ atunci memorează $t[i]$. Detecția primului front pozitiv se poate face cu pseudo instrucțiunea: dacă $(u_{SR}[j+1] - u_{SR}[j]) > u_p$ atunci memorează $t[j]$. Raționamentul se poate aplica identic pentru al doilea front negativ (detecție și memorare $t[k]$). Cu u_p s-a notat o valoare de prag pozitivă.

Cu aceasta intervalele de timp T_a, T_p , respectiv perioada T se pot defini cu

$$(11) \quad T_a = t[j] - t[i], \quad T_p = t[k] - t[j], \quad T = T_a + T_p = t[k] - t[i]$$

și se pot utiliza relațiile (6.j) și (7.j) (din l.a) cu condiția cunoașterii unghiurilor $\angle A, \angle B$ sau relațiile (1.j) (din l.a) numai pe baza perioadei T .

Precizia de determinare a intervalelor de timp T_a, T_p este cu atât mai mare cu cât rata de conversie este mai mare (respectiv intervalele t_c mai mici).

Aceleași elemente de identificare a intervalelor temporale se pot utiliza pentru metoda MEDSG.

4.4 Rezultate experimentale în monitorizarea evoluției turației cu utilizarea metodei MEP.

Un prim experiment evidențiază posibilitățile de monitorizare a evoluției turației arborelui principal al strungului SNA 360 prin metoda MEP (un singur reper mobil, magnet

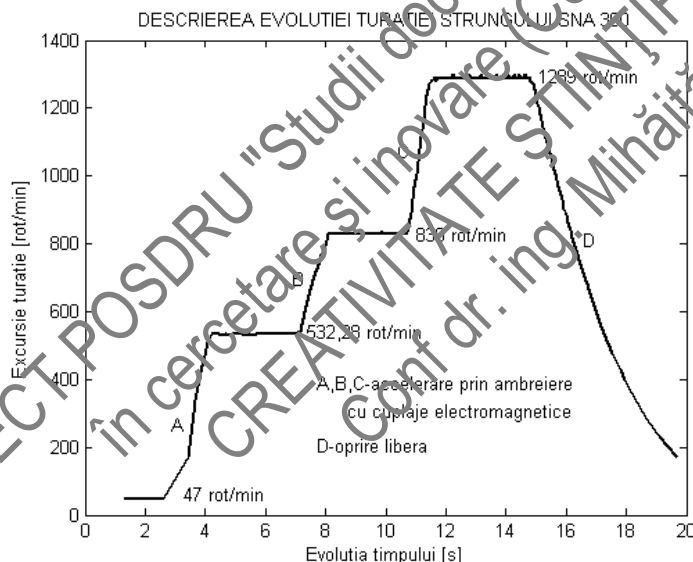


Figura 10. Exemplu privind monitorizarea evoluției turației arborelui principal al strungului SNA 360 în regim mixt (tranzitoriu și stabilizat). Utilizarea metodei MEP.

permanent pe universal) conform figurii 10, cu utilizarea relației (1.3) din l.a. S-a ales un regim mixt de funcționare (tranzitoriu și stabilizat) cu utilizarea posibilității schimbării configurației cutiei de viteze (a raportului de transfer) deci a turației arborelui principal prin cuplaje electromagnetice, între turațiile teoretice de 500 rot/min, 800 rot/min și 1250 rot/min. Se observă pe figură cele trei paliere corespunzătoare (cu valorile reale ale turației) precum și zonele de regim tranzitoriu (A, B, C accelerare și D decelerare prin debreiere și oprire liberă

cu disipare a energiei prin frecări naturale). Palierul de debut de 47 rot/min corespunde turației asigurate de momentul de frecare rezidual din ambreiaj. Evoluția turației din figura 10 este utilă cercetării experimentale mai ales pentru diagnoza regimurilor tranzitorii (accelerare/decelerare). Pentru obținerea reprezentării s-a utilizat programul Matlab:

```

load detur.txt;l1=size(detur);l=l1(1)-1;
timp=detur(:,1)/1000000;semnal=detur(:,2);
plot(timp,semnal);k=1;p=1;
for i=1:l
    if semnal(i+1)-semnal(i)<-1000;t1(k)=timp(i);k=k+1;flag(k)=i;
        if flag(k)-flag(k-1)<2;k=k-1;else end
    else end
end
d1=size(t1);d=d1(2)-1;
for i=1:d
    tur1(i)=60/(t1(i+1)-t1(i));
    t11(i)=(t1(i+1)+t1(i))/2;
end
plot(t11,tur1,'k','LineWidth',1.5)
Title('DESCRIEREA EVOLUTIEI TURATIEI STRUNGULUI SNA 360')
xlabel('Evolutia timpului [s]')
ylabel('Excursie turatie [rot/min]')
gtext('47 rot/min');gtext('532,28 rot/min');gtext('830 rot/min');gtext('1289
rot/min')
gtext('A');gtext('B');gtext('C');gtext('D');
gtext('A,B,C-accelerare prin ambreiere');gtext('cu cuplaje
electromagnetice');gtext('D-oprire libera')

```

În care s-a utilizat o secvență discretizată (descrisă numeric) a semnalului u_{SR} cu durată de 20 s, corespunzător unei rate de conversie analog-numerică de 3048 s^{-1} respectiv unui interval de eșantionare $t_c = 328 \mu\text{s}$. Secvența a fost salvată de către SCAN în fișierul *detur* și preluată în vederea prelucrării cu prima instrucțiune din a doua linie de program (`load detur.txt;`).

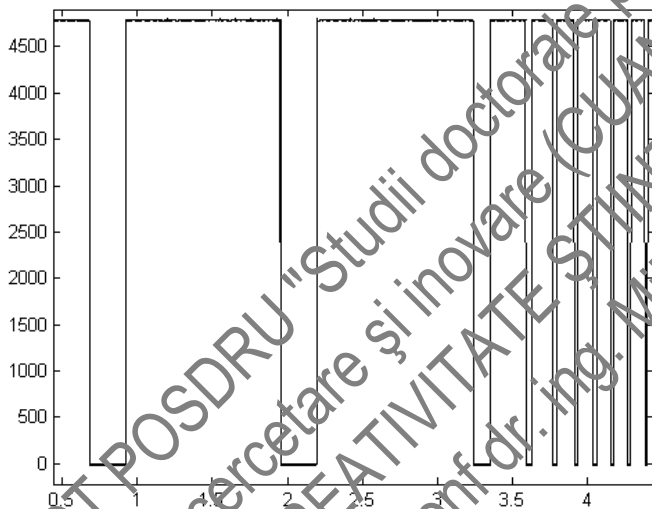


Figura 11. Reprezentare parțială (afărentă zonei A din figura 10) a evoluției temporale a semnalului u_{SR} generat de SMC.

Secvența de program marcată cu bold realizează detecția (momentelor de timp ale) fronturilor pozitive din u_{SR} .

O reprezentare parțială a evoluției temporale a semnalului u_{SR} pe baza căruia s-a obținut evoluția din figura 10 (din zona A) se prezintă în figura 11. Pe abscisă s-a reprezentat timpul în [s] pe ordonată elongația în tensiune în [mV]. Se

observă scăderea perioadei T cu creșterea turației.

În figura 10 se observă în zona detaliului A o descriere discutabilă a debutului evoluției, dezavantaj al metodei, neperformantă pentru turații reduse.

În contextul figurii 5 (*l.a.*) se poate aplica a doua metodă de monitorizare a turației, cu utilizarea duratelor T_a și T_p (relațiile (6.3) și (7.3) din *l.a.*) în condițiile cunoașterii unghiurilor $\angle A$ și $\angle B$. Pentru determinarea acestora se aplică un procedeu simplu. Se realizează detecția momentelor de declanșare a tuturor fronturilor al semnalului u_{SR} . Se consideră semnalul u_{SR} în intervalul temporal corespunzător primului palier din figura 10 (pe care turația deci perioada de rotație T)

este constantă (538,28 rot/min). Se calculează media aritmetică a valorilor de timp pe care SMC este activat (T_a^m) și media aritmetică a intervalelor de timp pe care SMC nu este activat (T_p^m).

Perioada de rotație medie T^m va fi dată de:

$$(12) \quad T^m = T_a^m + T_p^m$$

Cum perioadei T^m i se asociază o rotație completă (360°), rezultă imediat valoarea unghiului $\angle A$ pe care SMC este activ, respectiv a unghiului $\angle B$ pe care SMC este inactiv:

$$(13.1) \quad \angle A = \frac{T_a^m}{T^m} \cdot 360^\circ \quad (13.2) \quad \angle B = \frac{T_p^m}{T^m} \cdot 360^\circ$$

În continuare se prezintă listingul de program Matlab care permite redarea evoluției turației pe baza considerentelor de mai sus, conform figurii 12:

```
close all;clear all;
load detur.txt;l1=size(detur);l=l1(1)-1;
timp=detur(:,1)/1000000;semnal=detur(:,2);
for i=1:l
    if semnal(i+1)-semnal(i)<=-500;t1(k)=timp(i);s(k)=-1;k=k+1;flag(k)=i;
        if flag(k)-flag(k-1)<2;k=k-1;else end
    else end
    if semnal(i+1)-semnal(i)>500;t1(k)=timp(i);s(k)=1;k=k+1;flag(k)=i;
        if flag(k)-flag(k-1)<2;k=k-1;else end
    else end
end
med1=0;med2=0;k=0;
for i=25:2:64
    med1=med1+(t1(i+1)-t1(i));med2=med2+(t1(i+2)-t1(i+1));k=k+1;
end
med1=med1/k;med2=med2/k;a1=
fa1=med1*360/(med1+med2);a2=
lfa2=med2*360/(med1+med2);
d1=size(t1);d=d1(2)-1;
for i=1:d
    if s(i)==-1;
        tur1(i)=60*a1/((t1(i+1)-
t1(i))*360);t11(i)=(t1(i+1)+t1(i))/2;
    else end
        if s(i)==1;
            tur1(i)=60*a2/((t1(i+1)-
t1(i))*360);t11(i)=(t1(i+1)+t1(i))/2;
        else
            end;end;plot(t11,tur1)
```

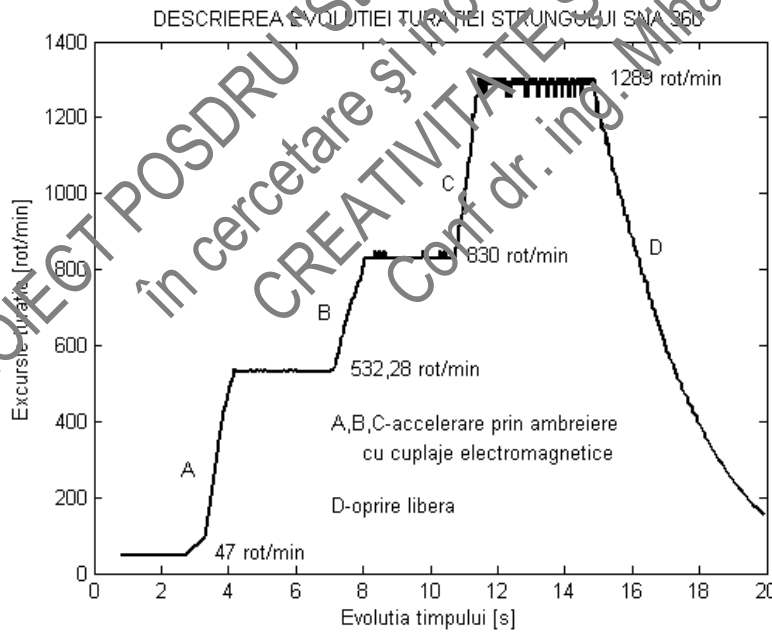


Figura 12. Echivalentul figurii 10 cu utilizarea evaluării turației pe baza constituenților perioadei (T_a și T_p)

In zona marcată cu bold se realizează detecția fronturilor (și cele negative și cele pozitive), în zona marcată

cu bold și subliniere se realizează calculul celor două unghiuri $\angle A$ și $\angle B$ pe baza relațiilor (13). S-au folosit notațiile α_1 și α_2 , obținându-se valorile de $66,6626^\circ$ respectiv $293,3374^\circ$.

Prima instrucțiune **tur1(i)=** materializează relația (6.3), a doua instrucțiune **tur1(i)=** materializează relația (7.3) din *l.a.*

Evoluția din figura 12 este cvasiidentică cu cea din figura 10, excepție faptul că descrierea în zona de accelerare A este mai bună la debut (se utilizează câte două valori ale turației pe rotația universalului). Apare însă și un inconvenient, a crescut zgomotul pe palierale de turație constantă (mai ales pe cel de 1289 rot/min). Explicația este legată de creșterea impreciziei de descriere a duratelor de timp T_a , T_p față de cea a duratei T , pe considerentele figurii 9.

$$(14) \quad \frac{t_c}{T} < \frac{t_c}{T_a} \text{ respectiv } \frac{t_c}{T} < \frac{t_c}{T_p}$$

având în vedere detecția imprecisă a fronturilor de semnal. Cea mai redusă imprecizie posibilă pentru T și t_c fixate se realizează când $T_a = T_p$. Zgomotul de măsurare din figura 12 se poate evident reduce prin filtrare numerică (vezi figura 21).

Pe reprezentarea din figura 12 s-a considerat că fiecare descriere a turației are abscisa dată de media aritmetică a valorilor momentelor de timp ale fronturilor succesive din care s-a dedus turația.

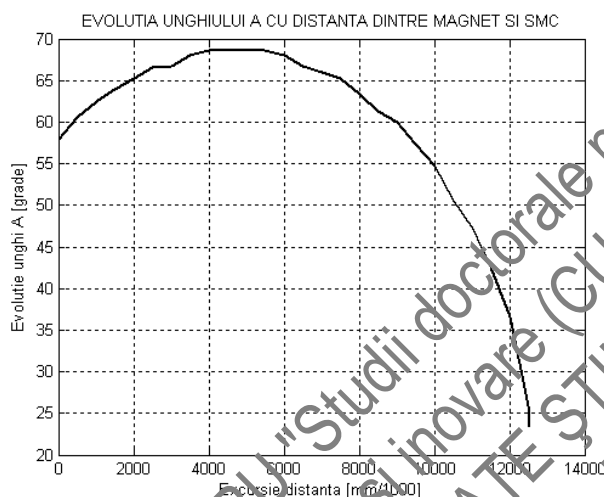


Figura 13. Dependința unghiului de activare de interstițiul d dintre SMC și magnetul permanent (conform considerațiilor din figura 7)



Figura 14. Vedere asupra sistemului de măsurare a deplasării saniei longitudinale în vederea evaluării interstițiului d .

Să facem observația că unghiul $\angle A$ pe care SMC este activ în raport cu magnetul permanent depinde de distanța d (interstițiul, marcat pe figura 5 din *l.a.*) dintre aceștia. Determinarea evoluției acestuia cu distanța d se poate face cu procedura deja prezentată (care a condus la relația (13.1)), pe baza achiziției semnalului u_{SR} în condițiile în care universalul se rotește cu turație constantă. În figura 13 se prezintă această evoluție. Se observă faptul că SMC poate fi activat pentru un domeniu al interstițiului de până la 12 mm. Este de preferat evident plasarea în zona în care unghiul de activare este maxim ($d \approx 5mm$).

Pentru măsurarea exactă a interstițiului s-a utilizat un comparator cu afișaj numeric Mitutoyo cu precizie de $1 \mu m$, prezentat în poziția de măsură în figura 14. Deplasarea SMC în raport cu magnetul permanent s-a realizat folosind sania longitudinală a strungului.

4.5 Rezultate experimentale în monitorizarea evoluției turației cu utilizarea metodei MEDSG.

Utilizarea mai multor magneți permanenți (repere mobile) și aplicarea MEDSG se impune cu necesitate dacă se dorește creșterea rezoluției descrierii turației în special la valori joase.

4.5.1 Calibrare unghiulară

Dacă MEP asigură una respectiv două evaluări ale turației pe rotația arborelui principal, MEDSG cu trei repere mobile (conform figurilor 6 din l.a și 7) asigură 6 evaluări. S-a preferat aici tratarea MEDSG pentru generalitate și pentru a ilustra cum se poate soluționa în realitatea virtuală (cu ajutorul calculatorului) o problemă constructivă (ce decurge din dificultatea de a dispune reperele mobile perfect echidistant unghiular).

Aplicarea MEDSG presupune conform figurii 6 și relațiilor (8.2) și (9.3) din l.a. determinarea exactă a valorilor unghiurilor $\langle A_i, \langle B_i$, care se poate face cu o procedură foarte simplă, având în vedere și considerațiile de la § 4.4.

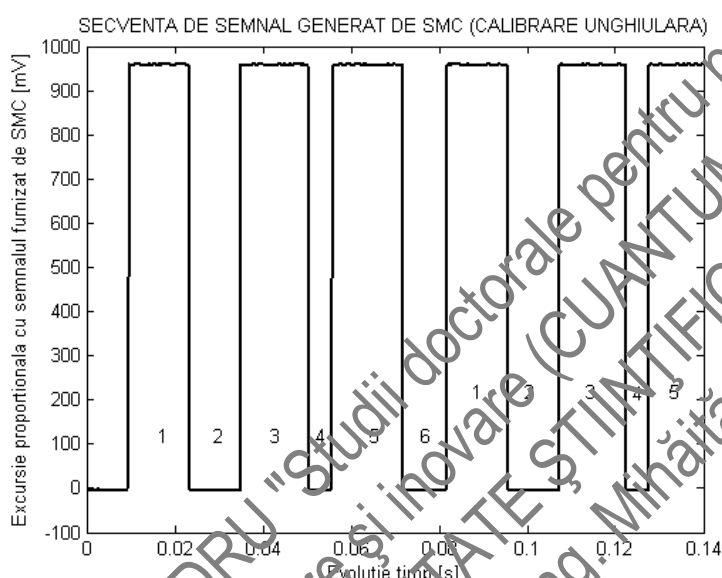


Figura 15. Secvență de semnal SMC (u_{SR}) în condiții de calibrare.

Fiecărui interval temporal T_i ($i = 1 \div 6$) îi corespunde un unghi pe universal, fără însă a se putea preciza care anume (în absența reprezentării grafice nu se poate preciza nici măcar categoria din care face parte, A_i sau B_i). Fiecare dintre cele 6 intervale temporale are un corespondent unghiular pe universalul strungului dat de:

$$(15) \quad \alpha_i = 360^\circ \cdot \frac{T_i}{T} \quad \text{în care} \quad T = \sum_{i=1}^6 T_i$$

în condițiile în care viteza de rotație este constantă.

Intervalele de timp neegale din figura 15 sugerează faptul că unghiurile din 15 sunt mult diferite ca valoare unele față de altele.

O determinare mai exactă a valorilor acestor șase unghiuri se poate face dacă în semnalul u_{SR} se consideră N pachete complete, succesive, de câte șase impulsuri. Evident că vor exista N impulsuri T_i ($i = 1 \div 6$), durata impulsului i din setul k ($k = 1 \div N$) fiind notată cu T_i^k . Valoarea medie a duratei impulsului i (notată cu $\bar{T}_i$) fiind dată de:

$$(16) \quad \bar{T}_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N T_i^k \text{ cu } i = 1 \div 6 \text{ și } k = 1 \div N$$

Cu ajutorul duratelor medii din (16) se pot defini valorile medii ale unghiurilor avute în vedere în (15) conform cu:

$$(17) \quad \bar{\alpha}_i = 360^\circ \cdot \frac{\bar{T}_i}{\bar{T}} \text{ în care } \bar{T}_i \text{ este dată de (16) și } \bar{T} = \sum_{i=1}^6 \bar{T}_i = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N T_i^k \right)$$

Cu $\bar{T}$ s-a notat valoarea medie a perioadei de rotație. Evident că $\sum_{i=1}^6 \bar{\alpha}_i = 360^\circ$.

Aplicarea acestei maniere de determinare a celor șase unghiuri pentru semnalul u_{SR} din care s-a extras secvența din figura 15 cu ajutorul secvenței Matlab de mai jos conduce la rezultatele din figura 16 în care sunt descrise grafic, în ordine, cele șase valori $\bar{\alpha}_i$ din (17).

```
close all;clear all;
load detur.txt;l1=size(detur);l=l1(1)-1;
timp=detur(:,1)/1000000;semnal=detur(:,2);
%plot(timp,semnal);
k=1;
for i=1:l
    if semnal(i+1)-semnal(i)<-500;t(k)=timp(i);k=k+1;flag(k)=i;
        if flag(k)-flag(k-1)<2;k=k-1;else end
    else end
    if semnal(i+1)-semnal(i)>500;t(k)=timp(i);k=k+1;flag(k)=i;
        if flag(k)-flag(k-1)<2;k=k-1;else end
    else end
end
dim1=size(t);dim=dim1(2)-1;
for i=1:dim;
    t1(i)=t(i+1)-t(i);
end
%determinare perioada
k=0;dim1=size(t1);dim=dim1(2)-6;med1=0;med=0;
for i=1:6:dim;for j=0:5;med1=med1+t1(i+j);end
med=med+med1;med1=0;k=k+1;
end;per=med/k;
%determinare unghiuri activare, dezactivare magneti
for j=1:6;med=0;k=0;
for
i=j:6:dim;med=med+t1(i);k=k+1;end;int(
j)=360*(med/k)/per;
end;save('int');
```

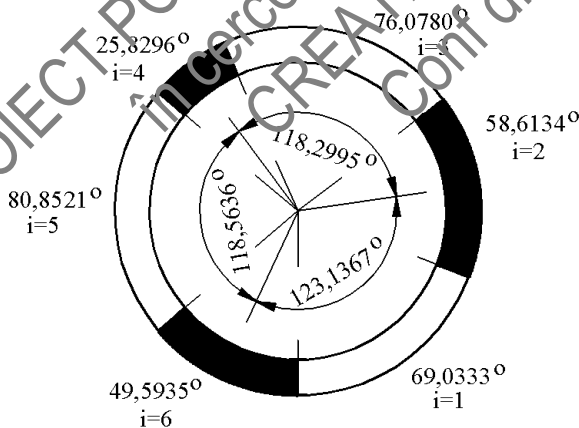


Figura 16. Evidențierea valorilor medii $\bar{\alpha}_i$ determinate prin analiza semnalului u_{SR} descris parțial în figura 15.

După cum se observă în figura 16 cele 6 valori unghiulare sunt mult diferite. Din considerente logice (conform figurii 13 unghiurile $\langle A_i \rangle$ nu pot fi mai mari de 70°). În consecință s-au marcat cu suprafețe înegrite cele trei sectoare de coroană circulară corespunzătoare zonelor pentru care fiecare dintre cei trei magneți permanenți sunt activi în raport cu SMC. Deși magneții permanenți sunt identici, valorile diferite ale unghiurilor de activare a SMC se datorează plasării sub raze

diferite față de axa universalului. Se poate ușor determina și spațiul unghiular dintre cei trei

magneți permanenți, conform figurii. Cele trei spații sunt foarte apropiate de 120° , magneții fiind plasați pe frontalul bacurilor universalului. Pe figura 16 se precizează prin indicele $i=1$ sectorul de coroană corespunzător primului interval de timp din figura 15.

Rularea programului permite și determinarea valorii medii a perioadei, (variabila per) adică $T = 0,0722$ s, căreia îi corespunde o turație medie $n = 60/0,0722 = 831,02$ rot/min, valoare foarte apropiată de cea dedusă deja în figura 10.

Rezultatele referitoare la unghiurile $\bar{\alpha}_i$ se pot folosi după cum urmează. Fiecărui interval de timp al evoluției u_{SR} din care s-a prelevat figura 15 îi corespunde un unghi $\bar{\alpha}_i$. Împreună determină câte o valoare de turație. Admițând că există un număr total de P intervale și o variabilă de iterație notată cu l ($l = 1 \div P$), atunci se pot defini P valori succesive de turație, cu valoarea generică descriptibilă după modelul relației (8.3) conform cu:

$$(18) \quad n_l = \frac{60 \cdot \bar{\alpha}_i}{360 \cdot T_l} \quad \text{cu} \quad l = 1 \div P \quad \text{și} \quad i = i(l) \quad (\text{conform cu (19)})$$

În (18) -comparativ cu (8.3) din l.a.- s-a utilizat descrierea unghiurilor în grade și nu în radiani. Evident că între variabilele de iterație l și i există o relație care se poate descrie sintetic după cum urmează. Valorile 1, 7, 13.... de turație (interval de 6) se determină folosind duratele T_1, T_7, T_{13}și unghiul $\bar{\alpha}_1$. Valorile 2, 8, 14.... de turație (interval de 6) se determină folosind duratele T_2, T_8, T_{14}și unghiul $\bar{\alpha}_2$. Valorile 3, 9, 15.... de turație se determină folosind duratele T_3, T_9, T_{15}și unghiul $\bar{\alpha}_3$. Și în fine, continuând același raționament, valorile 6, 12, 18.... de turație se determină folosind duratele T_6, T_{12}, T_{18}și unghiul $\bar{\alpha}_6$. Pe baza acestui raționament, relația dintre l și i se poate descrie analitic conform cu:

$$(19) \quad i = 6 \cdot \left(\frac{l}{6} - INT\left(\frac{l}{6}\right) \right) \quad \text{cu} \quad l = 1 \div P$$

În (19) funcția $INT(x)$ realizează aproximarea prin lipsă la partea întreagă a argumentului x . De exemplu $INT(2,9)=2$, $INT(2,1)=2$, $INT(2)=1$. A nu se confunda funcția $INT(x)$ cu matricea int din secvența Matlab de mai sus.

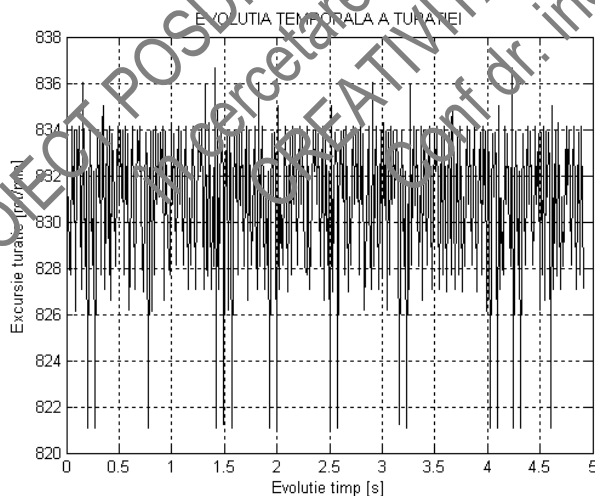


Figura 17. Evoluția temporală a turației asociată semnalului u_{SR} redat parțial în figura 15.

Cu această observație se poate verifica corespondența dintre descrierile sintetică și analitică a dependenței $i = i(l)$.

Aplicarea relației (18) la deducerea evoluției turației aferente semnalului u_{SR} de mai sus se poate face dacă secvența Matlab anterioară (care a condus la rezultatele din figura 16) se completează cu instrucțiunile:

```
k=1; for i=1:dim; j=round((i/6-  
round(i/6-0.5005))*6);
```

```
tur(k)=60*int(j)/(t1(i)*360); timp1  
(k)=t(i)+(t(i+1)-t(i))/2;  
k=k+1; end; plot(timp1, tur, 'k');
```

Să observăm materializarea relației cu entitatea marcată mai sus prin îngroșare și subliniere. Funcția Matlab round(x) realizează cea

mai bună aproximare la partea întreagă a argumentului. Funcția Matlab `round (x-0.50005)` are exact aceeași finalitate cu funcția $INT(x)$ de mai sus.

În secvența Matlab de mai sus s-au folosit alte notații pentru indici (i este echivalentul lui l , j este echivalentul lui i). S-a aplicat încă o dată rotunjirea membrului drept din (19), deoarece j este indice, obligatoriu întreg, iar prin calcul (fără rotunjire), rezultatul din (19) poate fi formal neîntreg.

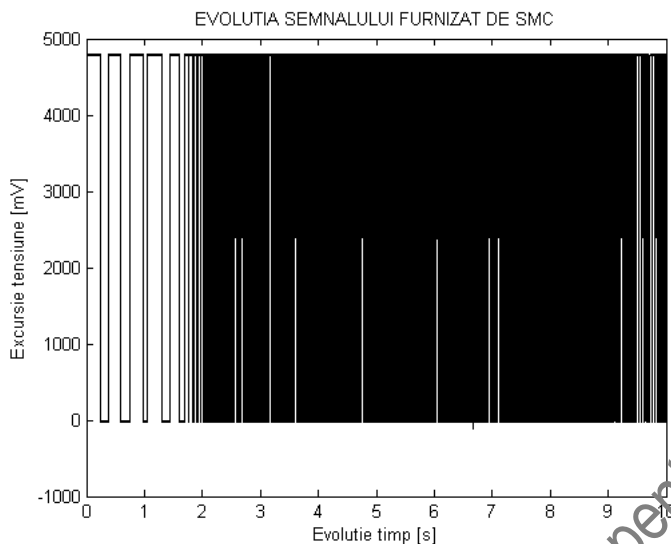


Figura 18. Secvență u_{SR} aferentă unui regim cu turație variabilă

s-a făcut pornind din momentul de debut al semnalului u_{SR} .

4.5.2. Rezultate experimentale privind monitorizarea turației pentru unele regimuri de funcționare în gol a strungului SNA 360.

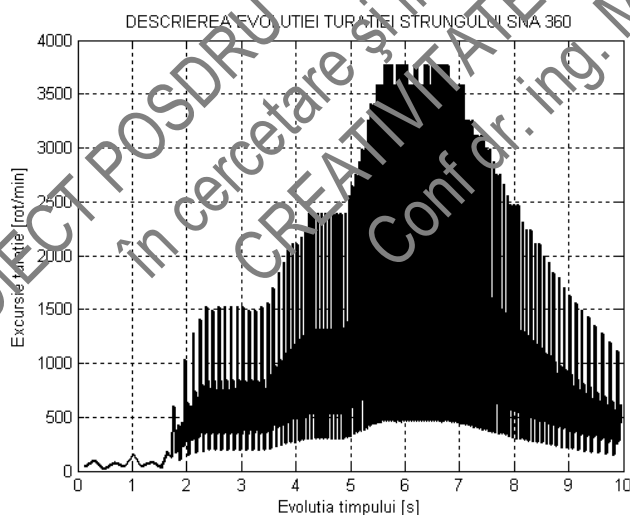


Figura 19. Rezultat al evaluării (inccorecte, cu margini mari de zgomot de redare) a evoluției temporale a turației.

pe baza unui program Matlab structural identic celui care a condus la obținerea figurii 17) conduce la rezultatul din figura 19.

Rularea completă a celor două secvențe conduce la rezultatul din figura 17. Turația (presupusă anterior constantă) are în realitate fluctuații (sub 2% în jurul unei valori medii. Așa cum s-a specificat anterior cauzele sunt legate de imprecizia principală de detecție a fronturilor semnalului u_{SR} , conform figurii 9, această imprecizie depinde direct proporțional de mărimea intervalului de eșantionare t_c . Evident însă că există și fluctuații de turație, din păcate necuantificabile aici (neajuns al metodelor de monitorizare). Să mai notăm faptul că aplicarea relației (19) este posibilă doar dacă determinarea valorilor α_i

Utilizarea MEDSG în monitorizarea turației cu aplicarea relațiilor (18) respectiv (19) presupune cu necesitate cunoașterea prealabilă a celor 6 valori unghiulare α_i . Fie conform figurii 18 o achiziție de semnal u_{SR} cu durata de 10s prelevată în aceleași condiții cu cele corespunzătoare figurilor 10 și 12. Din cauza intervalelor temporale extrem de scurte dintre fronturi, la turații ridicate, semnalul apare grafic compact.

Prelucrarea acestui semnal în maniera arătată anterior (cu utilizarea relațiilor (18) și (19) respectiv a valorilor α_i determinate la § 4.5.1 (și

Față de evoluția așteptată (similară celei din figura 10) reprezentarea din figura 19 este evident cel puțin ciudată. Explicația acestei evoluții este că primul interval de timp (T_1) dintre primele două fronturi ale semnalului u_{SR} nu corespunde unghiului α_1 , poziția universalului strungului la debutul înregistrării nefiind cunoscută. Acesta este de fapt dezavantul esențial al MEDSG, originea reprezentărilor unghiulare din figura 16 nu poate fi controlată. Soluțiile imediate ale problemei sunt constant aplicate în practică, fie se asigură realizarea condiției ca toate unghiurile α_i să aibă aceeași valoare, fie se realizează o origine unghiulară controlată pe universal (de exemplu cu un magnet permanent și un al doilea SMC, independent de primul, cu prelevarea semnalului furnizat de acesta cu ajutorul unui al doilea canal al osciloscopului ADC 212. Ambele soluții complică mult condițiile experimentale, lucrarea își propune rezolvarea acestui impediment pe baza unei constatări simple. Intervalul de debut (T_1) poate să corespundă oricăreia dintre cele 6 valori α_i . Să presupunem că T_1 corespunde lui α_4 ($T_1 \rightarrow \alpha_4$). Evident atunci că $T_2 \rightarrow \alpha_5$, $T_3 \rightarrow \alpha_6$, $T_3 \rightarrow \alpha_1$, $T_4 \rightarrow \alpha_2$, ș.a.m.d.

Dacă se reușește rezolvarea determinării corespondenței $T_i \rightarrow \alpha_i$ ($i = ?$) se poate realiza evaluarea corectă a evoluției turației. Altfel spus din cele 6 evoluții posibile ($T_i \rightarrow \alpha_i$, $i = 1 \div 6$) doar una este corectă (celelalte cinci sunt grevate de zgomot puternic, asemănător evoluției din figura 19) Din perspectiva relației (18) aceasta este echivalent cu schimbarea dependenței $i = i(l)$ din (19) conform cu:

$$(20) \quad i = 6 \cdot \left[\frac{l+m}{6} - \text{INT}\left(\frac{l+m}{6}\right) \right] \quad \text{cu} \quad l = 1 \div P, \quad \text{cu} \quad m = 0 \div 5 \text{ nedeterminat}$$

Cu $m = 0$ rezultă $i=1$ deci $T_1, T_7, T_{13} \dots \rightarrow \alpha_1$, ($T_2, T_8, T_{14} \dots \rightarrow \alpha_2$, $T_3, T_9, T_{15} \dots \rightarrow \alpha_3$ ș.a.m.d), cu $m = 1$ rezultă $i=2$ deci $T_1, T_7, T_{13} \dots \rightarrow \alpha_2$, ($T_2, T_8, T_{14} \dots \rightarrow \alpha_3$, $T_3, T_9, T_{15} \dots \rightarrow \alpha_4$ ș.a.m.d), cu $m = 5$ rezultă $i=6$, deci $T_1, T_7, T_{13} \dots \rightarrow \alpha_6$, ($T_2, T_8, T_{14} \dots \rightarrow \alpha_1$, $T_3, T_9, T_{15} \dots \rightarrow \alpha_2$ ș.a.m.d).

Aplicarea relației (18) în condițiile relației (19) -considerând $m = 0$ - pentru determinarea evoluției turației se face cu instrucțiunile Matlab.

```
m=0; k=1;
for
i=1:dim; j=round(((i+m)/6-
round((i+m)/6-0.5005))*6);
tur(k)=60*int(j)/(t1(i)*360)
;
timpl(k)=t(i)+(t(i+1)-
t(i))/2;
k=k+1;
end
```

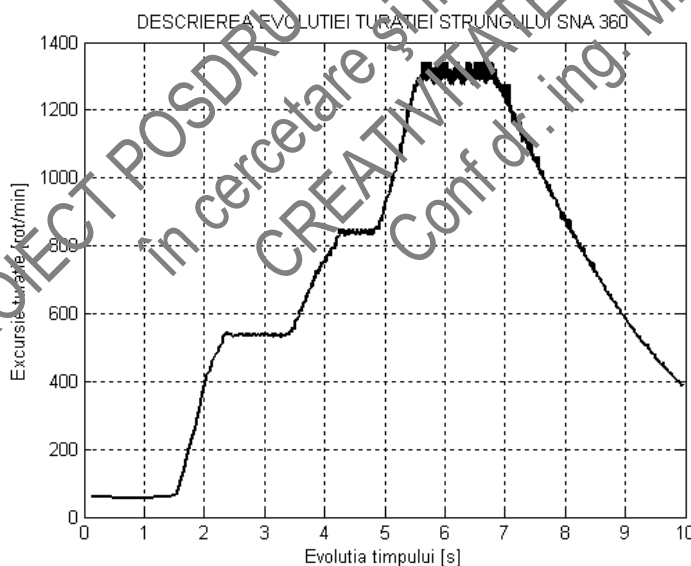


Figura 20. Rezultat al evaluării MEDSG corecte a evoluției temporale turației, în condiții asemănătoare cu cele din figura 10. Selecție pe baza zgomotului de redare minim.

Problema se reduce la determina valoarea lui m . Cea mai simplă cale este de a realiza rularea

repetată a programului Matlab de determinare a evoluției turației pentru toate valorile posibile ale lui m . Reprezentarea care va avea cel mai mic zgomot de redare corespunde evoluției corecte a turației. De exemplu, la rularea cu $m = 3$ s-a obținut zgomotul cel mai redus, conform și cu figura 20 (alura evoluției este asemănătoare celei din figura 10).

Evident că programarea în mediul Matlab oferă posibilitatea detecției exacte a evoluției corecte pe baza zgomotului de redare minim, dimensiunea fizică a lucrării nu permite tratarea problemei aici.

Să facem două observații aici:

1. determinarea valorilor α_i se poate face chiar în cadrul acestei evoluții de semnal, cu

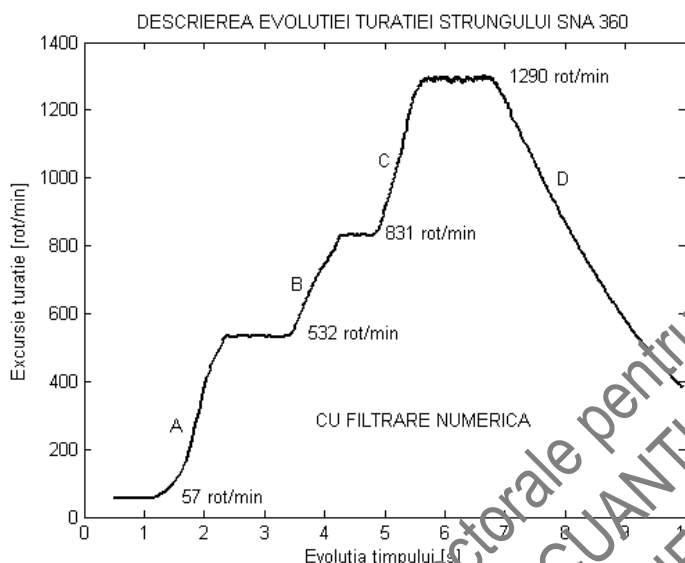


Figura 21. Evoluția din figura 21 cu filtrare numerică taie sus.

procedurile deja consacrate anterior, în condiția utilizării unui palier cu turație constantă;

2. evoluția din figura 20 se poate filtra numeric cu un filtru taie sus (pentru a înlătura componentele de zgomot datorate erorilor de măsurare). Cu observația că filtrarea taie sus reduce și panta fronturilor corespunzătoare variației lente a turației în timp.

Redarea figurii 20 în aceste condiții se face conform figurii 21. Se observă similitudinile cu figurile 10 și 11. S-a procedat la determinarea unghiurilor α_i folosindu-se palierul de 535 rot/min, obținându-se setul de valori $48,8687^\circ$; $69,7360^\circ$; $57,9450^\circ$; $76,9325^\circ$; $24,7464^\circ$; $81,6450^\circ$ (apropiate de cele din figura 16, diferențele se explică prin mediere pe un număr mai mic de intervale). S-a procedat (prin încercări) la determinarea valorii m din relația (20), obținându-se $m=5$.

Programul Matlab folosit pentru obținerea figurii 21 este redat în continuare:

```
close all;clear all;load cvunghi
load detur.txt;l1=size(detur);l=l1(1)-1;
timp=detur(:,1)/1000000;semnal=detur(:,2);
%plot(timp,semnal,'k');
k=1;
for i=1:l
    if semnal(i+1)-semnal(i)<=-500;t(k)=timp(i);k=k+1;flag(k)=i;
        if flag(k)-flag(k-1)<2;k=k-1;else end
    else end
    if semnal(i+1)-semnal(i)>500;t(k)=timp(i);k=k+1;flag(k)=i;
        if flag(k)-flag(k-1)<2;k=k-1;else end
    else end
end
diml=size(t);dim=diml(2)-1;
for i=1:dim;t1(i)=t(i+1)-t(i);end
m=5;k=1;
```

```

for i=1:dim;j=round(((i+m)/6-round((i+m)/6-0.5005))*6);
    tur(k)=60*evunghi(j)/(t1(i)*360);timp1(k)=t(i)+(t(i+1)-t(i))/2;
    k=k+1;
end
p=5;k=1;
for i=1+p:dim;medp=0;medt=0;
    for j=1:p;medp=medp+tur(i-j);medt=medt+t2(i-j);end
    turmed(k)=medp/p;timpmed(k)=medt/p;k=k+1;
end
plot(timpmed,turmed,'k','LineWidth',1.5);
%rutina determinare unghiuri (pe palierul de 538 rpm)
medl=0;
for j=0:5;med=0;k=0;
for i=44+j:6:87;med=med+t1(i);k=k+1;end;medl=medl+med/k;
evunghi(j+1)=360*(med/(k))/0.1127;
end
save('evunghi')
Title('DESCRIEREA EVOLUTIEI TURATIEI STRUNGULUI SNA 360')
xlabel('Evolutia timpului [s]')
ylabel('Excursie turatie [rot/min]')
gtext('57 rot/min');gtext('532 rot/min');gtext('831 rot/min');gtext('1290
rot/min')
gtext('A');gtext('B');gtext('C');gtext('D');
gtext('CU FILTRARE
NUMERICA')

```

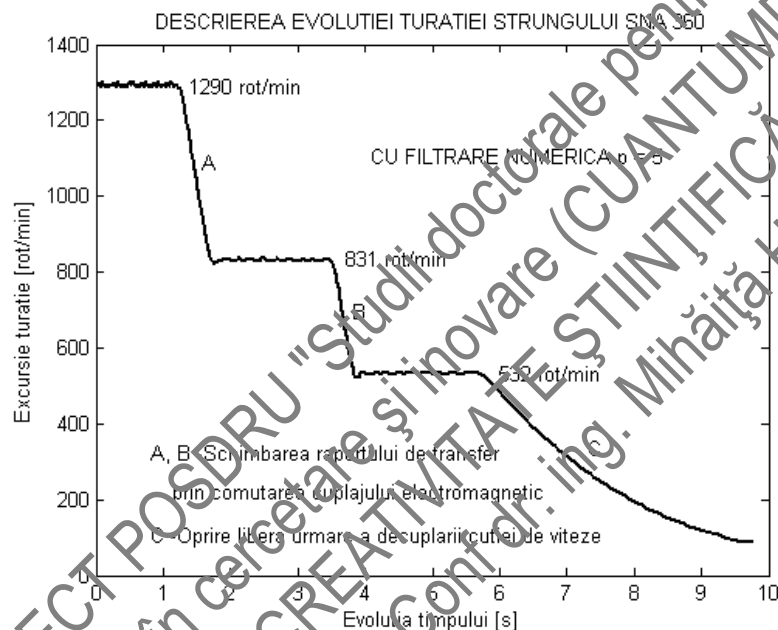


Figura 22. Ilustrare a evoluției turăției în regim constant/decelerat.
Monitorizare cu ajutorul procedurilor MEDSG.

ajutorul cuplajelor electromagnetice cu discuri de fricțiune. Pornind de la palierul de 1290 rot/min la arborele principal (universal), într-o primă etapă se realizează (zona A) schimbarea raportului de transfer pentru turația de 831 rot/min. Într-o a doua etapă, se realizează (zona B) schimbarea raportului pentru turația de 532 rot/min. În ultima etapă (zona C) se realizează decuplarea cutiei de viteze, cu oprire naturală, liberă, a arborelui principal.

Se observă evoluțiile foarte abrupte ale turației din zonele A și B, datorate momentului de frânare foarte puternic exercitat de către motorul electric de acționare. În fazele A și B, motorul lucrează ca generator, energia cinetică a cutiei de viteze este folosită pentru antrenarea rotorului generatorului, puterea electrică astfel rezultată fiind transmisă în rețeaua de alimentare ca putere negativă [2]. În zona C evoluția este mai puțin abruptă, momentul de frecare în cutia de viteze

Zona redată cu caractere îngroșate descrie filtrul taie sus, cu $p = 5$ parametrul de filtrare. Filtrul este de tip medie alunecătoare de p valori.

Pe această cale se poate realiza monitorizarea evoluției turației pentru alte regimuri ale strungului. De exemplu în figura 22 se prezintă evoluția turației cutiei de viteze în regim constant/decelerat. Ca și în evoluțiile anterioare se utilizează o caracteristică interesantă a strungului, posibilitatea schimbării raportului de transfer al cutiei de viteze în funcționare, cu

este mai redus, se observă tendința către evoluția de tip exponențial (scădere mai puțin pronunțată la turații mici), fără îndoială datorată componente vâscoase a momentului de frecare (proportionalitate a forțelor/cuplurilor de frecare cu viteza/turația).

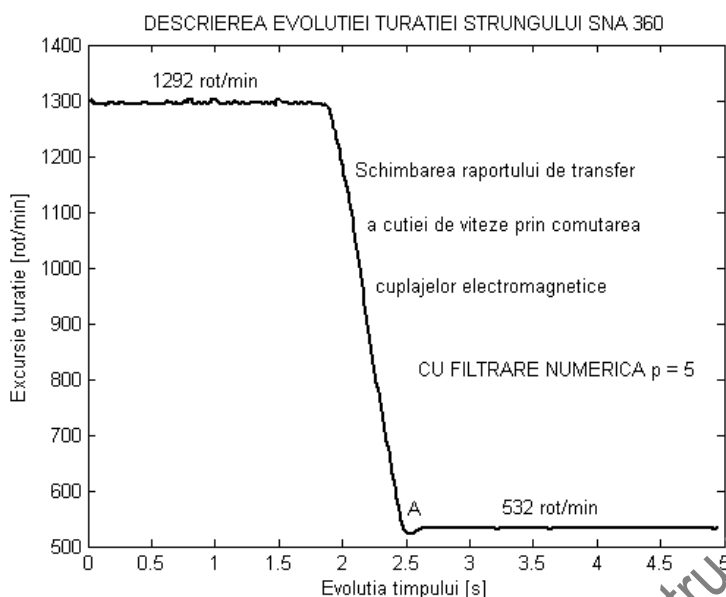


Figura 23. Descrierea în evoluția turației a unui regim de comutare a cuplajelor electromagnetice.

Pentru $\Delta n = 532 - 1292 = -760 \text{ rot/min}$ (diferența dintre turația finală și cea inițială) se obține o accelerație medie $\varepsilon = -113,63 \text{ rad/s}^2$ (semnul minus corespunde decelerării).

De observat în zona A un fenomen foarte interesant. Înaintea plasării pe palierul de 532 rot/min se observă ușoara suprarotire negativă (evoluția coboară sub palier și apoi revine)

4.5.3. Rezultate experimentale în monitorizarea turației în regimurile tranzitorii cu schimbare de sens de rotație

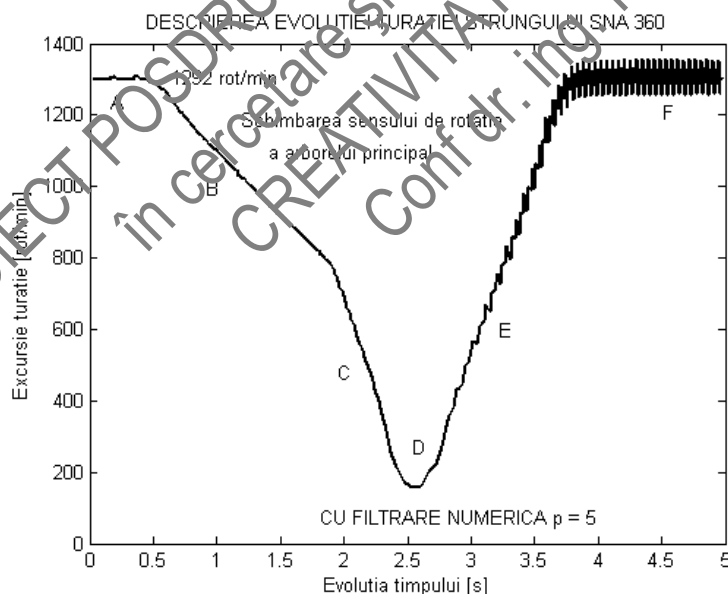


Figura 14. Evoluția turației în regim de schimbare a sensului de rotație a arborelui principal (cu zgomot de redare). Se reține evoluția în valori absolute (nu se detectează sensul de rotație).

În figura 23 se prezintă evoluția turației la comutarea cuplajelor electromagnetice de pe configurația 1292 rot/min pe configurația 532 rot/min. Tranziția se face în aproximativ 0,7 s în prezența unei decelerări importante (ca și în cazul figurii 23, datorate momentului de frânare exercitat de către electromotor). Pe baza diferenței de turație (convertită în diferență de viteze unghiulare) și a duratei tranziției ($\Delta t = 0,7 \text{ s}$) se poate calcula valoarea medie a accelerației unghiulare cu formula:

$$(21) \quad \varepsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

În cercetările de până acum s-a tratat numai situația în care sensul de rotație este același pe toată durata analizată. Metodele prezentate nu permit detecția sensului de rotație, ci numai valorile absolute ale turației. Să încercăm acum monitorizarea unui regim în care arborele principal se rotește în gol pe palierul de 1292 rot/min și se realizează comanda de schimbare de sens (posibilă datorită sistemului de acționare comandat, se utilizează un joystick care, comutat, realizează într-o primă etapă debreiere mecanică a cutiei de viteze apoi schimbare de sens a electromotorului de acționare și

ambreierie). Procedând în maniera deja arătată s-a obținut reprezentarea din figura 24. S-a utilizat procedura de determinare a unghiurilor α_i pe primul palier de turație constantă (notat cu

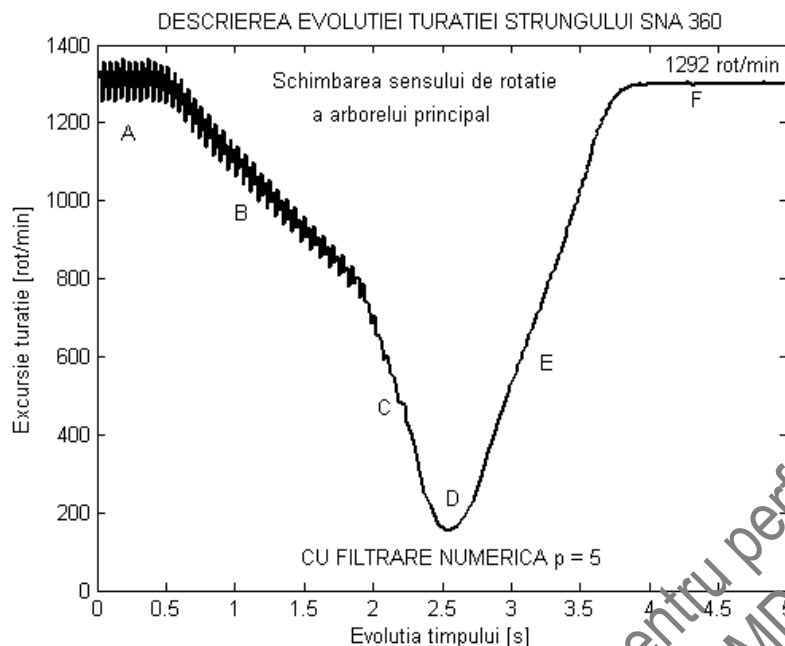


Figura 25. Evoluția turației din figura 24 cu schimbarea strategiei de determinare a unghiurilor α_i (cu zgomot de redare).

(inversarea de sens presupune obligatoriu oprire fizică, chiar dacă pentru un timp extrem de scurt). Din cauza metodei de măsurare, schimbarea sensului de rotație este însoțită firesc de schimbarea sensului de parcurgere a

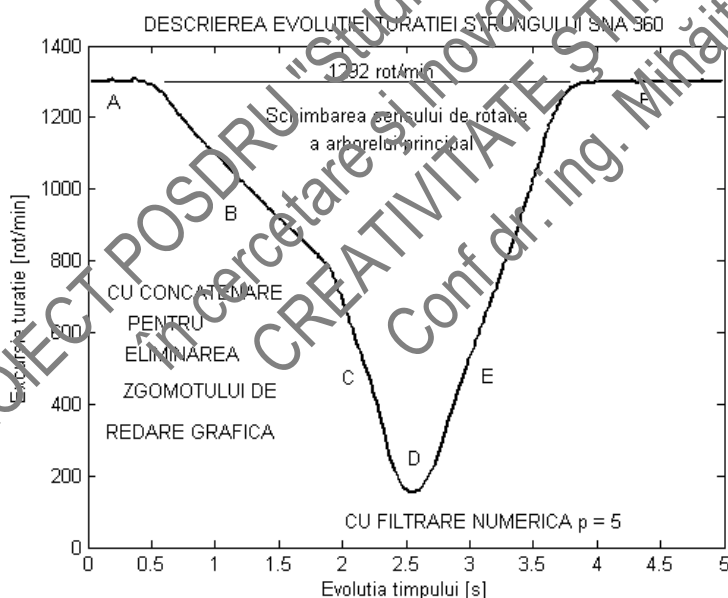


Figura 26. Descrierea evoluției turației la schimbarea sensului de rotație. Reprezentare în valori absolute (nu se detectează sensul). Concatenare a figurilor 24 și 25.

(pe figura 24) respectiv E (pe figura 25, $\varepsilon=87,42 \text{ rad/s}^2$). Se poate proceda la modificarea programului de redare cu concatenarea celor două figuri (24 și 25) astfel încât să se rețină numai

A). Se observă un zgomot de redare important în zonele E și F (pe reprezentare redus prin filtrare). În zona B joystick-ul decuplează (debreiază) cutia de viteze, are loc reducerea naturală a turației prin trecări interne. Imediat înainte de zona C joystick-ul realizează schimbarea de sens a motorului de acționare și apoi la debutul zonei C cuplarea cutiei de viteze prin ambreiere. Se observă scăderea turației cu pantă mai severă (net diferită de cea din zona B), deoarece motorul lucrează ca o frână dinamică pentru cutia de viteze. În mod normal evoluția turației ar trebui să ajungă la zero

valorilor α_i prealabil determinate (nedetectabilă de către programul de redare grafică). Din acest motiv evoluția din zonele E și F este grevată de zgomot, iar trecerea turației prin zero nu este detectabilă. Soluționarea problemei zgomotului din zonele E și F se poate face dacă

unghiurile α_i se determină prin analiza palierului F, cu consecința evidentă a apariției zgomotului în zonele A, B așa cum rezultă și din figura 25 dar cu avantajul că se poate realiza studiul caracterului evoluției turației pe zonele E și F (zona E are accelerație aproape constantă datorită evoluției momentului motor). Cu procedura arătată la (21) se pot calcula valorile medii ale accelerației pe zonele B, C

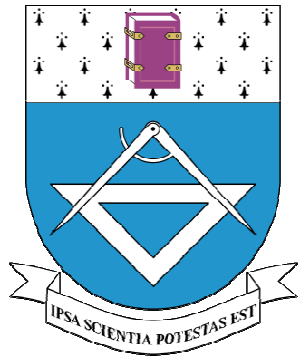
zonele neafectate de zgomot din fiecare. Rezultatul este prezentat în figura 26. Utilitatea unei asemenea evoluții pentru diagnoza mașinii-unelte este evidentă. De exemplu, dacă se constată modificarea în timp a pantei din zona B atunci au apărut probabil probleme legate de ungerea cutiei de viteze sau de compromiterea lagărelor. Modificarea pantelor în zonele C și E este legată fie de alunecare sistematică a transmisiei cu curele (de la motor la cutia de viteze) fie de apariția alunecării în cuplajele (ambreiajele) electromagnetice.

5. Concluzii, dezvoltări ulterioare

Metodele prezentate pentru monitorizarea evoluției temporale a turației (vitezei unghiulare) au o utilitate practică evidentă, ușor de aplicat, cu un aparat experimental minimal, asistat de calculator. În lucrare sunt evidențiate avantajele și limitările metodelor, cu ilustrații grafice aferente. S-a pus accentul pe valorificarea resurselor de programare în mediul Matlab pentru surmontarea diferitelor aspecte de natură experimentală. În viitor se intenționează rezolvarea unui neajuns esențial al sistemului de monitorizare propus, anume rezoluția scăzută a descrierii evoluției turației, datorită căreia micile fluctuații de turații nu pot fi urmărite corect.

Bibliografie:

1. Bodea M., Vătășescu A., Marinescu N., Segal A., Râpeanu R., Puchianu S., Gheorghiu V., (1984) *Circuite integrate liniare, Manual de utilizare*, vol. III. Editura Tehnică, București, 1984.
2. Horodincă M., (2004) *Utilizarea parametrilor energetici în monitorizarea diagnoza și conducerea sistemelor de prelucrare*, Editura PERFORMANTICA Iași, ISBN: 973-7994-91-4, 2004.
3. Horodincă M., (2003) *Introducere în tehnica prelucrării informației*, Editura TEHNOPRESS, Iași, ISBN: 973-8377-31-5, 263 pagini, 2003.
4. *** Strungul SNA 369, Cartea tehnică.



SOME NEW RESOURCES ON COMPUTER ASSISTED EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ABSORBED ELECTRIC POWER IN MANUFACTURING SYSTEMS

By **Mihaițǎ HORODINCĂ**, PhD

Department of Machine-tools and Tools
Machine Manufacturing and Industrial Management Faculty
"Gh. Asachi" Technical University of Iasi
Romania

Short abstract

The slides present some theoretical considerations and experimental results on computer aided research of manufacturing systems (e.g. machine-tools) using the evolution of the absorbed electric power (EP) of the driving motors.

The main idea: To use the electrical driving motor as power supply and loading sensor as well.

Experimental features of the electrical power bench test

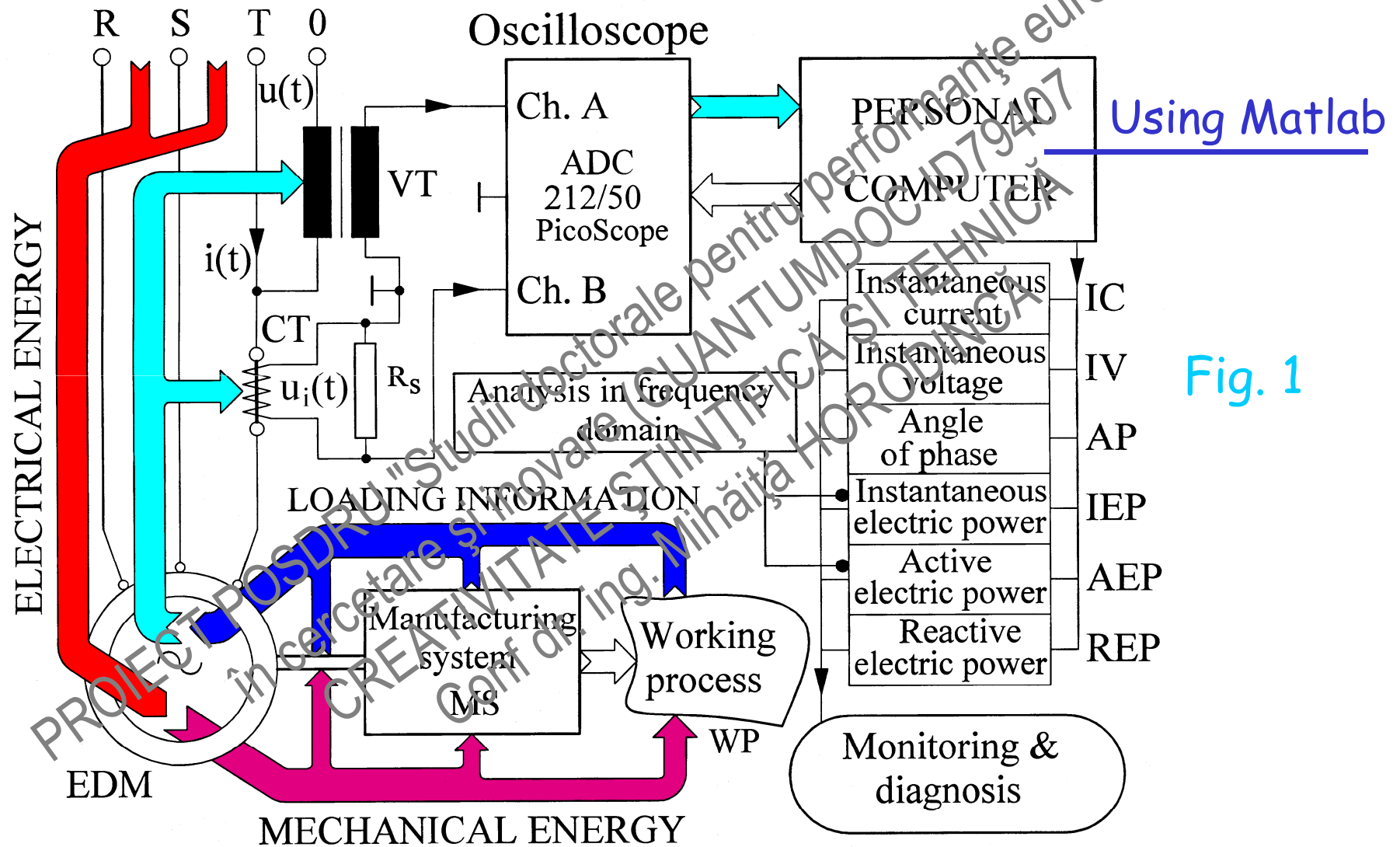
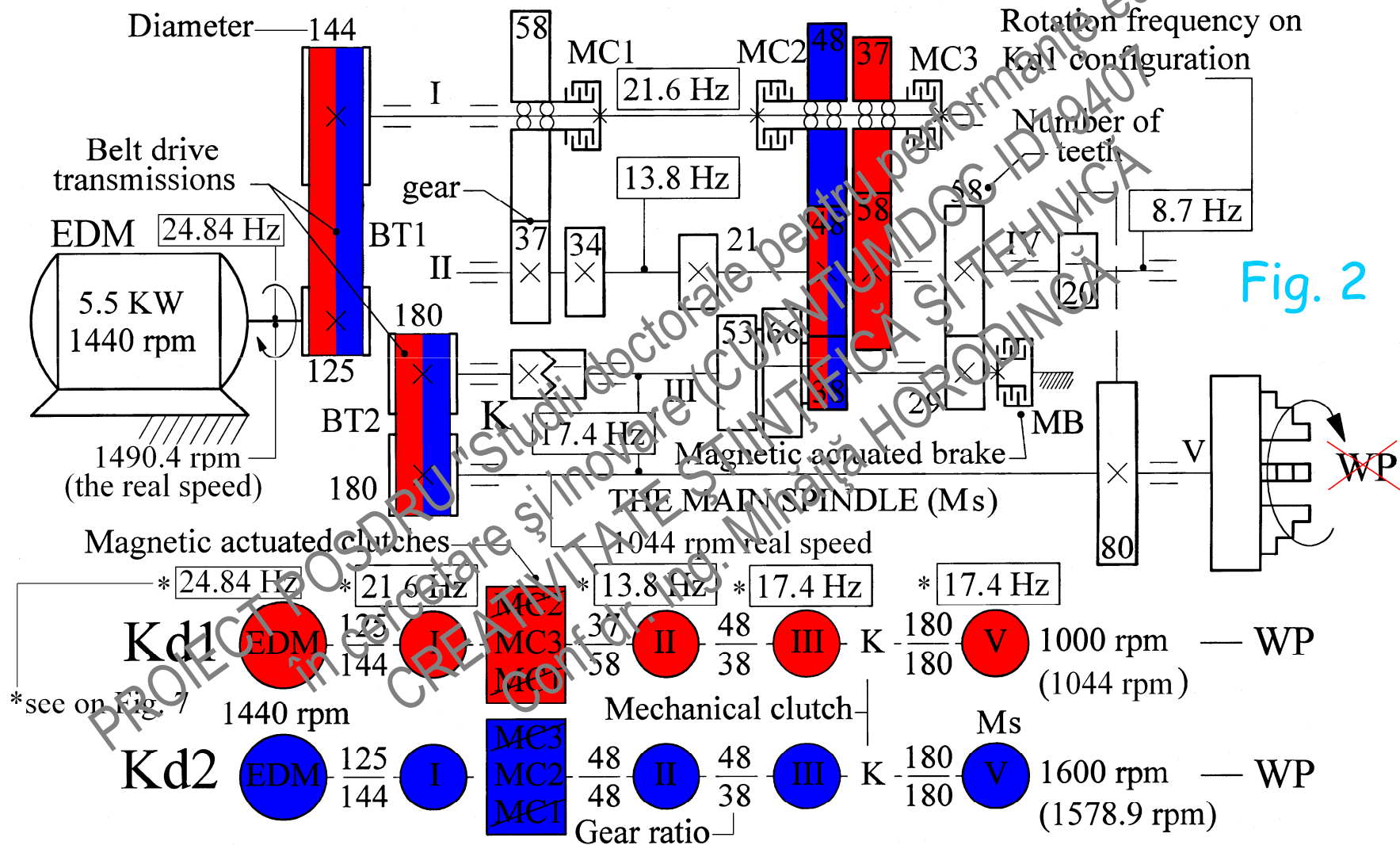


Fig. 1

Overview on the kinematics of the SNA 360 Romanian lathe used as manufacturing system



Theoretical terms of electrical power monitoring

The active electrical power (AEP) definition

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt = \frac{3}{T} \cdot \int_0^T u(t) \cdot i(t) \cdot dt = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

The numerical description of the AEP

$$P[t_l] \approx \frac{3}{T} \sum_{k=n \cdot l+1}^{n \cdot (l+1)} (u[t_k] \cdot i[t_k] \cdot \Delta t) = \frac{3}{n} \cdot \sum_{k=n \cdot l+1}^{n \cdot (l+1)} (u[t_k] \cdot i[t_k])$$

$n = T/\Delta t$

Shift of phase between current and voltage

$$\varphi[t_l] \approx \arccos \frac{P[t_l]}{3 \cdot U[t_l] \cdot I[t_l]}$$

Reactive electrical power (REP)

$$Q[t_l] \approx 3 \cdot U[t_l] \cdot I[t_l] \cdot \sin(\varphi[t_l])$$

Monitoring: The AEP evolution during EDM starting procedure (no mechanical loading on the EDM's rotor*).

*the BT1 belt was removed

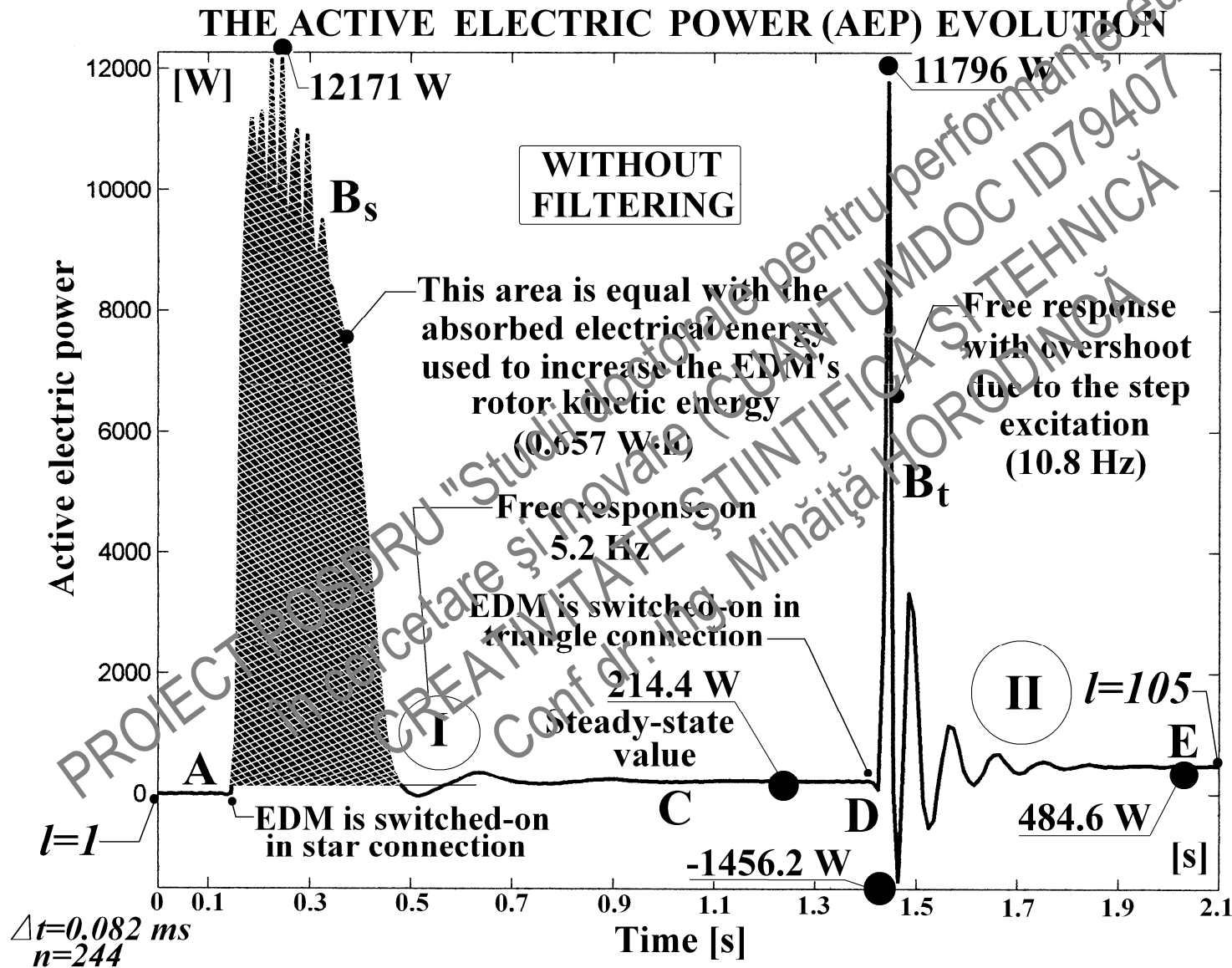


Fig. 3

Monitoring: The SNA 360 gearbox start-stop clutching dynamics (on Kd1 configuration) mirrored in AEP evolution

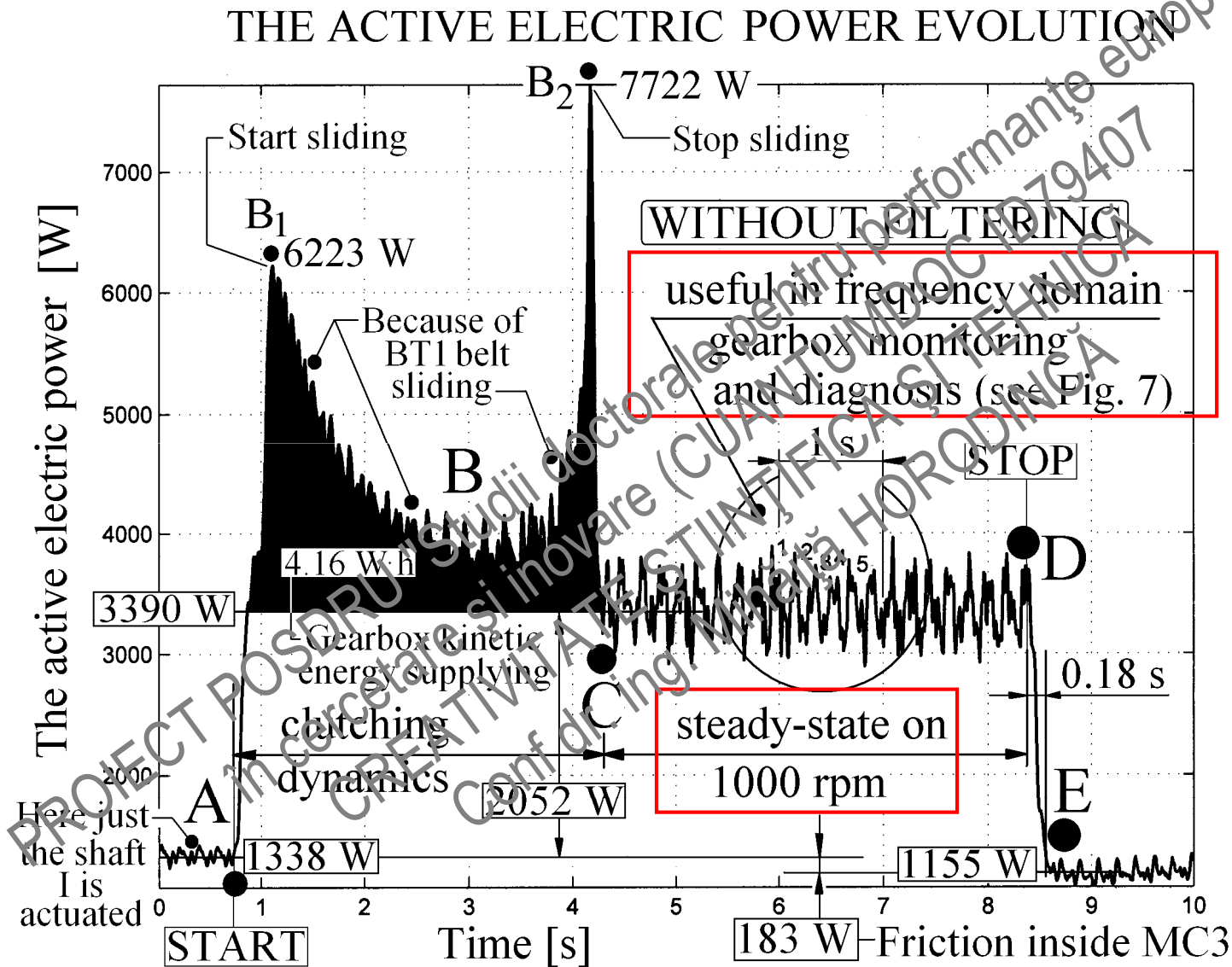


Fig. 4

Without working process

Monitoring: The SNA 360 gearbox start-stop clutching dynamics (on Kd1 configuration) mirrored in AEP and REP evolution (with numerical filtering)

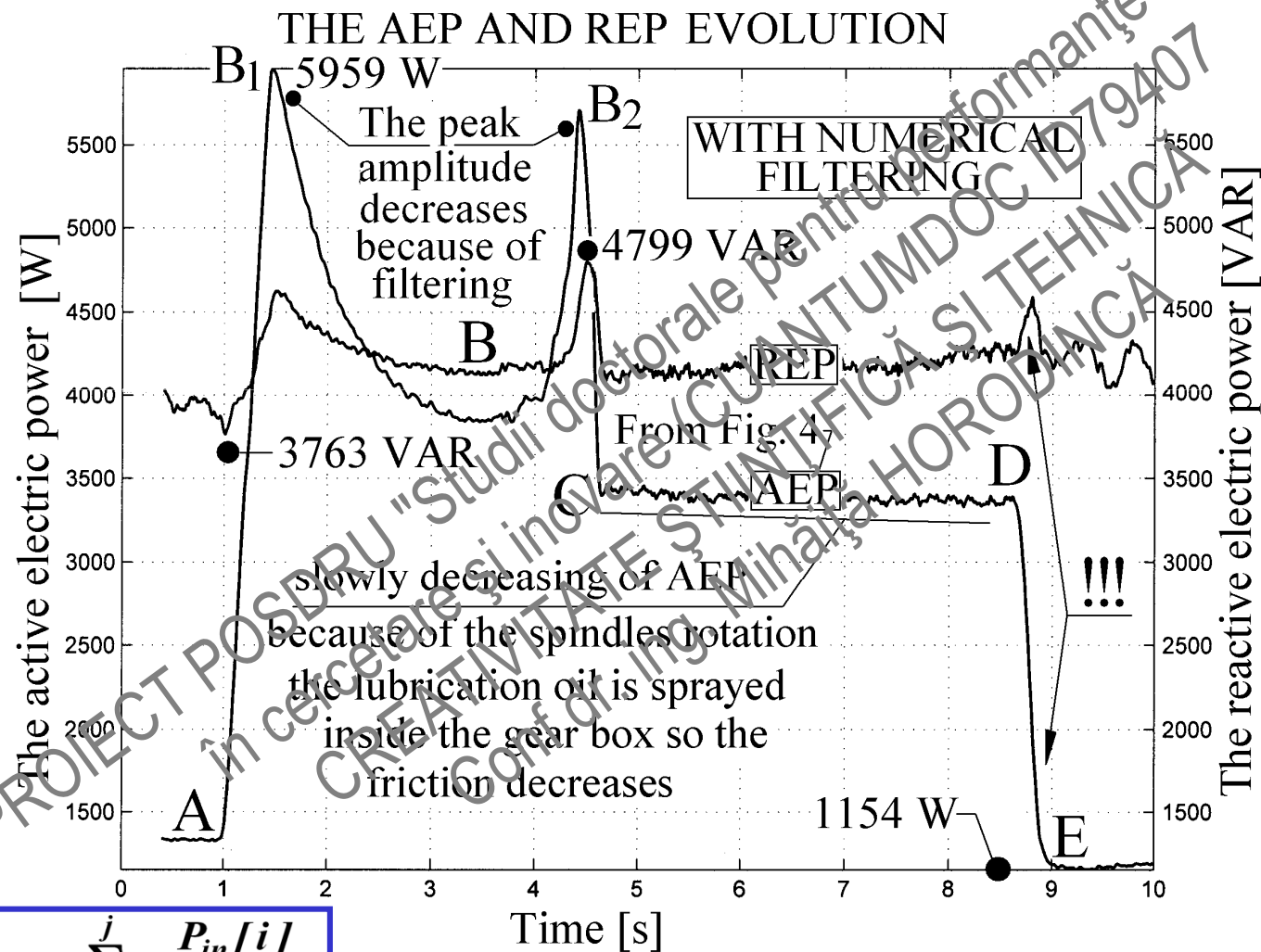
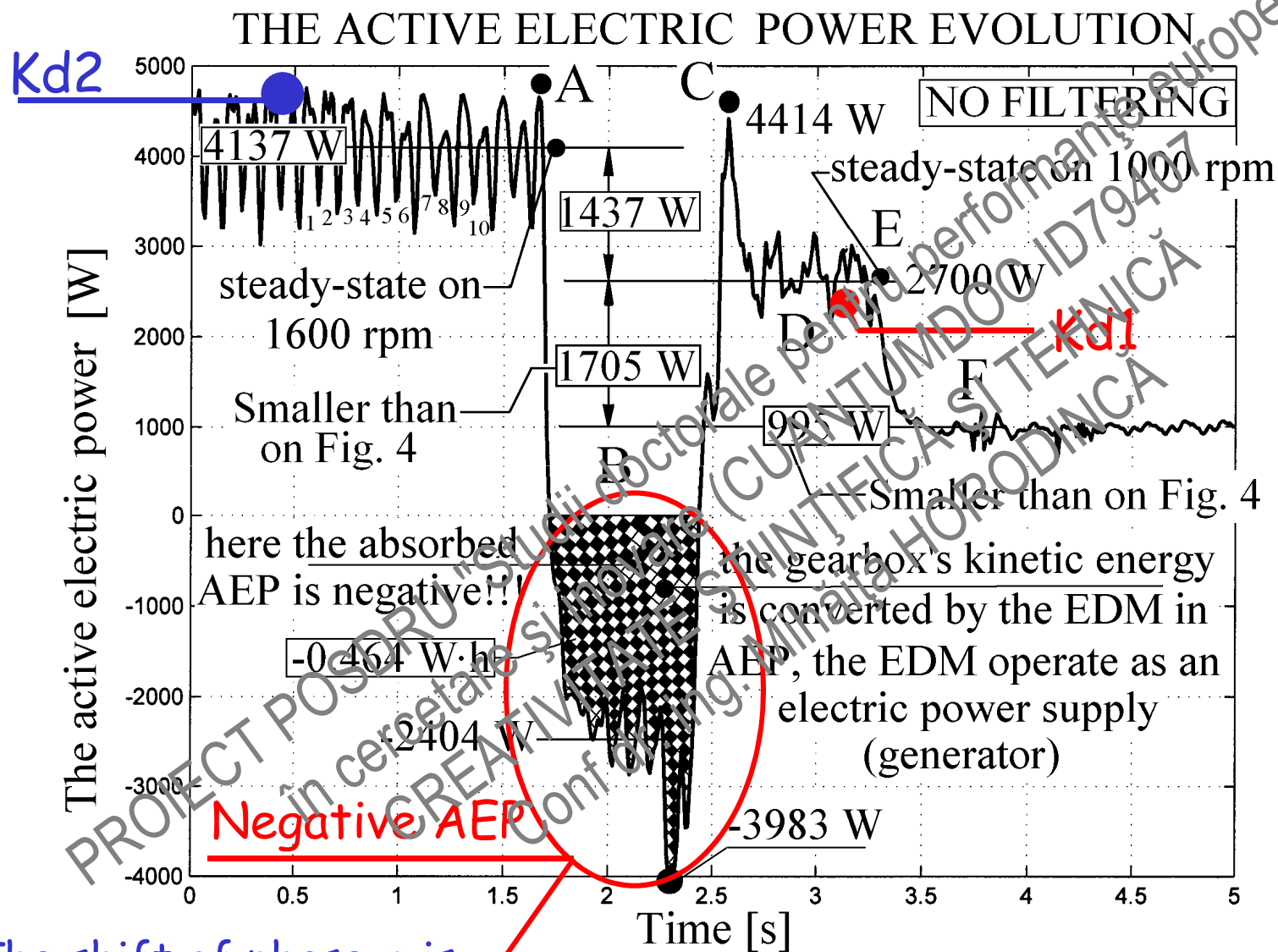


Fig. 5

$$P_{out}[j] = \sum_{i=j-k+1}^j \frac{P_{in}[i]}{k}$$

Description of filter, here k=10

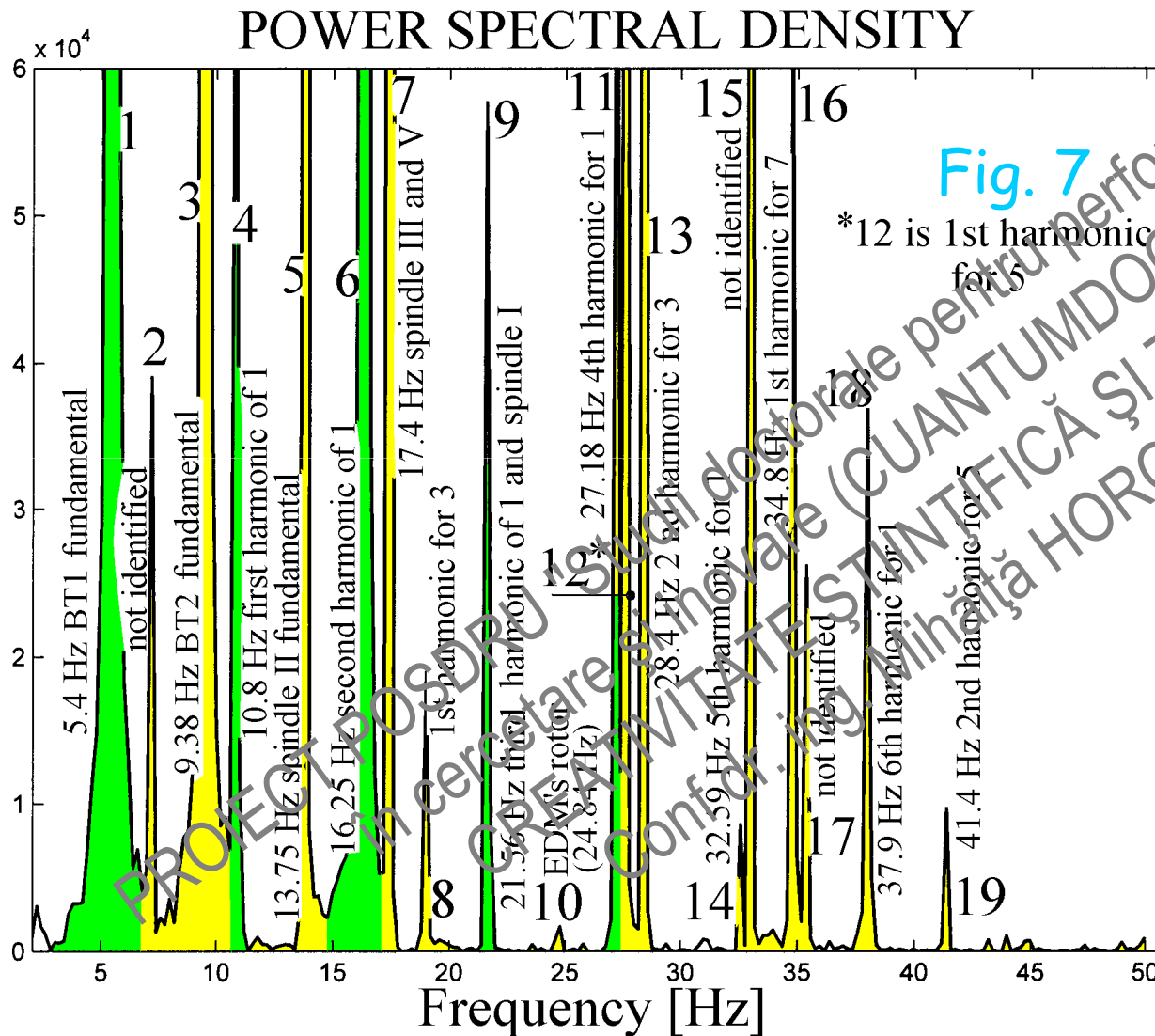
Monitoring: Clutching dynamics with negative AEP



The shift of phase φ is bigger than $\pi/2$

Fig. 6

Diagnosis: The evolution of power spectral density (PSD) of the AEP signal absorbed on 1000 rpm (steady-state)*.

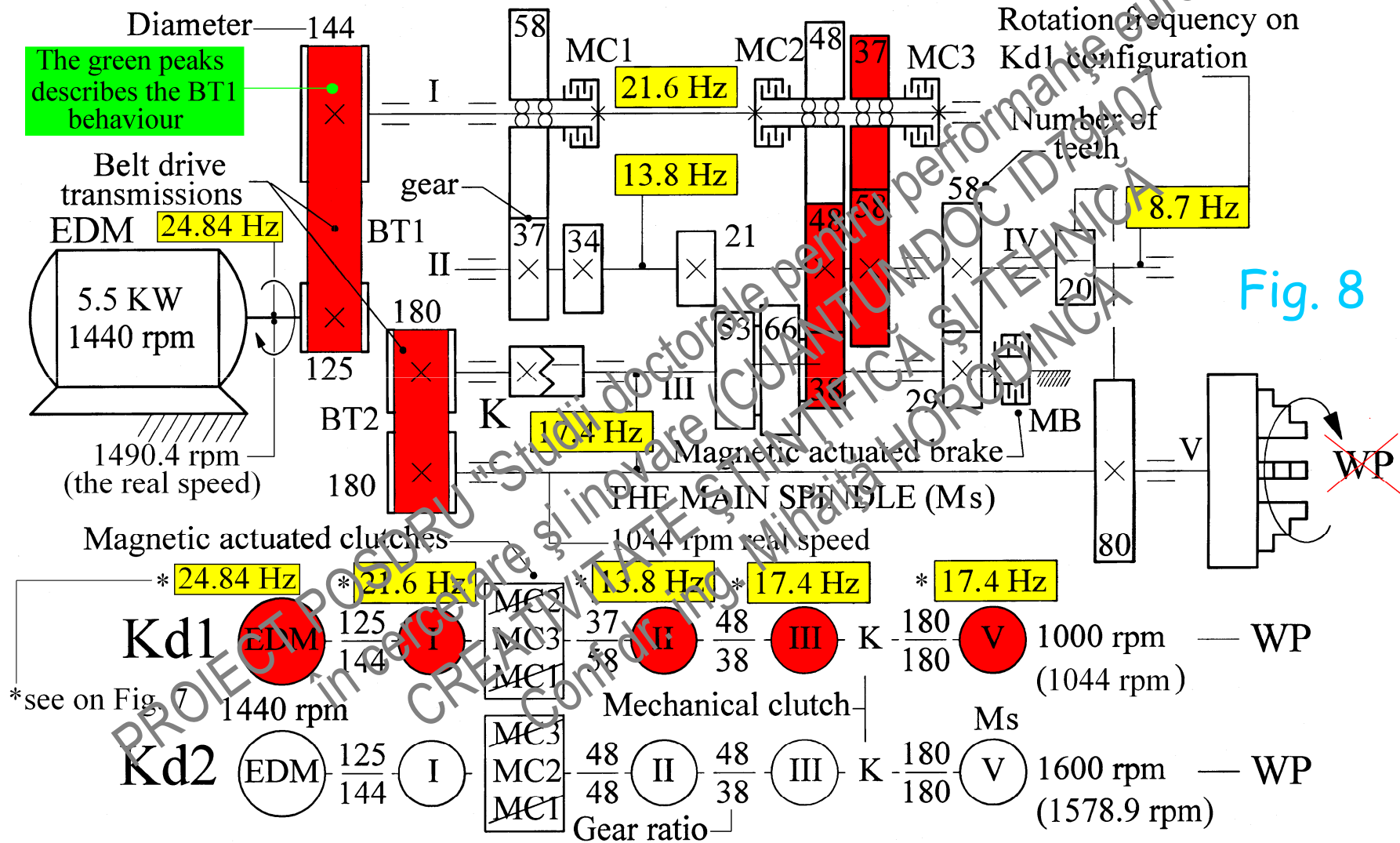


*see on Figure 4

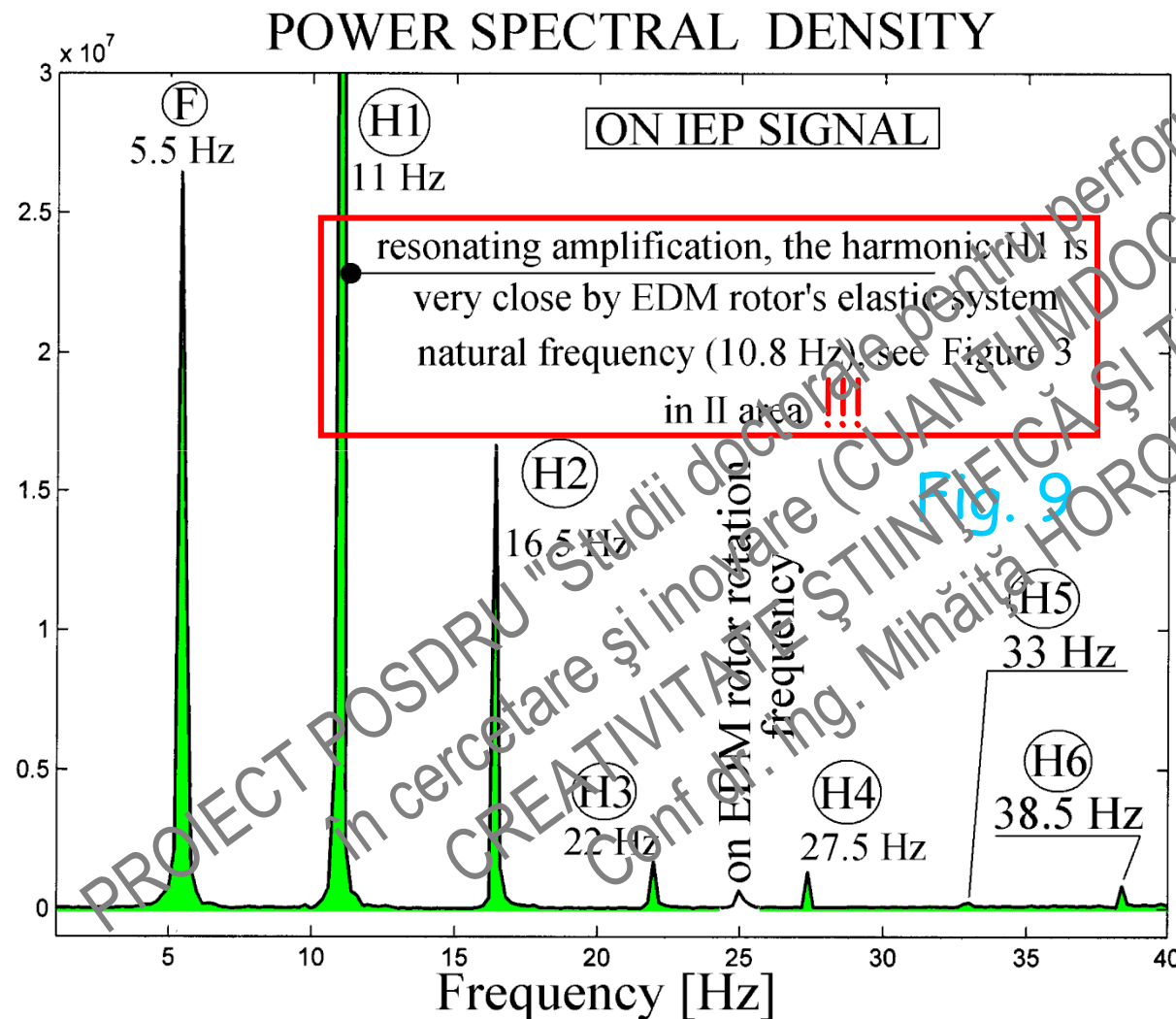
Each variable (harmonic) AEP signal's component has a peak on PSD. Each peak describes the behavior of a gearbox's part (belts, spindles, gears, et cetera). The correlation between AEP signal's components (PSD peaks) and gearbox's parts can be done using the frequency and the speed of rotation (on Fig.2).

Using Fast Fourier Transform applied on AEP evolution

The correlation between AEP signal's components (PSD peaks frequency) and gearbox's parts



Diagnosis: The behaviour of drive flat belt from BT1 transmission mirrored in power spectral density evolution.

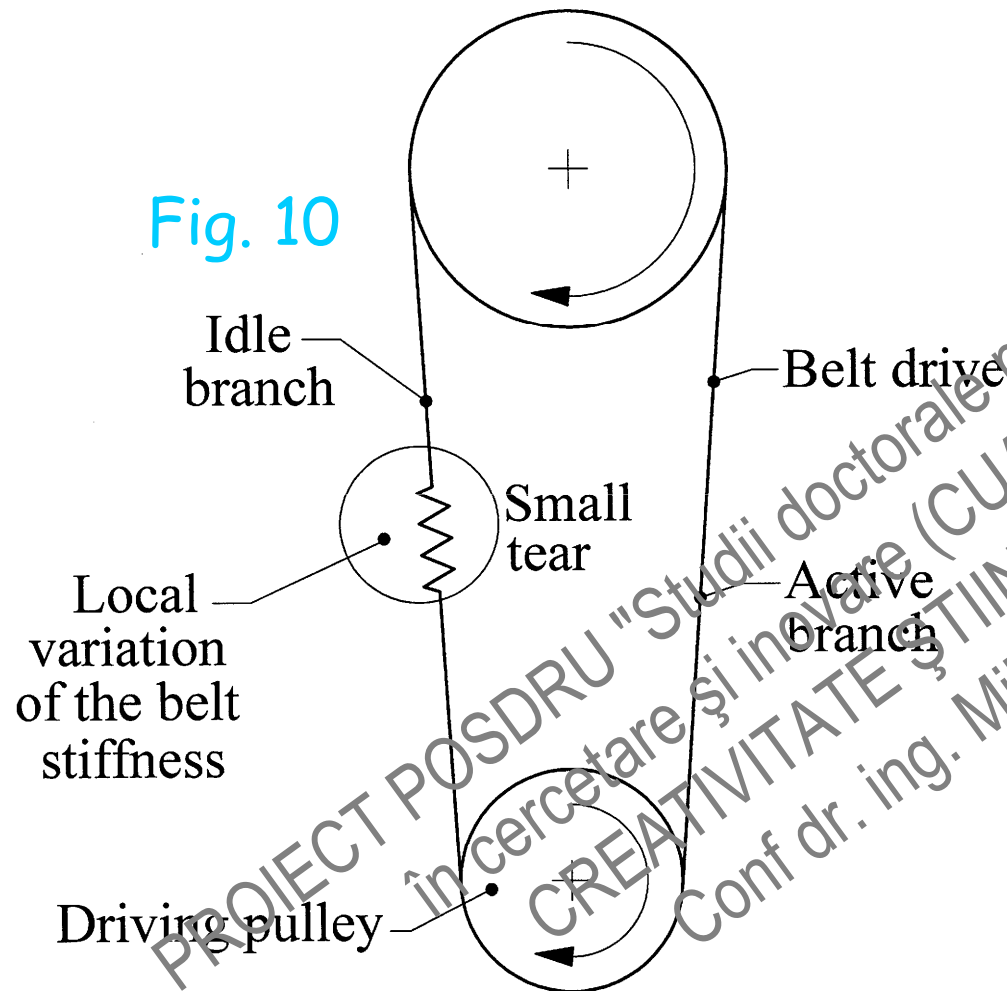


The EDM actuate just the BT1 transmission and the shaft I. All the clutches are disengaged.

Here occurs a peak on 5.5 Hz (as fundamental frequency F) and six harmonic peaks H1,...,H6 with 5.5 Hz between.

This means that the power belt generate a strong periodical component of active and instantaneous power with 5.5 Hz frequency.

Question: Why the drive flat belt from BT1 transmission generate a periodical variation of the AEP?



When the local variation of the belt stiffness (LVBS, e. g. a small tear) is placed on the active branch the AEP transmitted to the actuated pulley decreases. When the LVBS is placed on the idle branch the AEP transmitted increases. The fundamental frequency of this AEP variable component is the same with the frequency of the belt cycling motion.

Conclusions

1. It si proved that the computer-assisted monitoring of EP parameters on manufacturing systems (or any other electric actuated equipment) can be an available experimental research procedure.
2. The computer assisted EP monitoring uses very simple procedures of data acquisition and processing. Using these research features, it is possible to detect and study a lot of new static and dynamic phenomena from kinematic chain.

MECHANICAL STRUCTURES DYNAMICS CORRECTION USING MODAL ABSORBERS

Mihăiță HORODINCA

Machine-tools and Tools Department

Faculty of Machine Manufacturing and Industrial

Management

TECHNICAL UNIVERSITY GHEORGHE ASACHI OF

IASI, ROMANIA

UNDESIRABLE DYNAMIC BEHAVIOUR OF MECHANICAL STRUCTURES

- Catastrophic and high amplitude resonating modes of vibration due to periodical excitation (e.g. earthquakes) or internal disturbing sources (e.g. engines).
- Instability with self generated vibrations (e.g. wind induced aero elastic flutter, chatter in cutting processes).
- Bad accuracy of the response due to step or impulse excitation (e.g. overshoot)

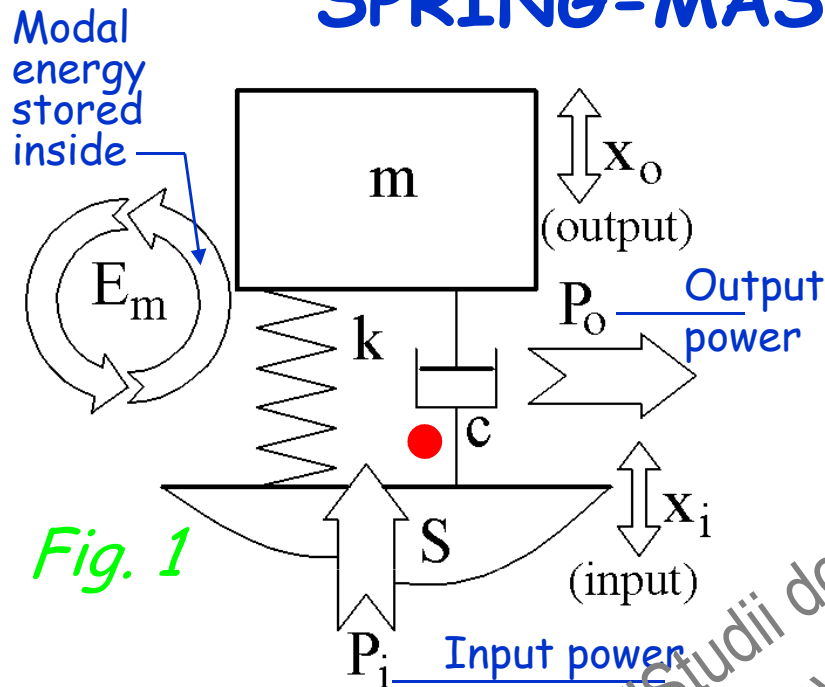
WHY IT IS HAPPENS ?

-Because of low natural damping ratio or low mechanical modal impedance as well

WHAT TO DO ?

- To increase the natural damping ratio or the mechanical impedance if it is possible;
- To use active and passive vibration isolation systems;
- To eliminate the modal energy stored inside using active or passive dynamic absorbers;

DAMPING IN 1 DEGREE OF FREEDOM (1DOF) SPRING-MASS-DAMPER STRUCTURE

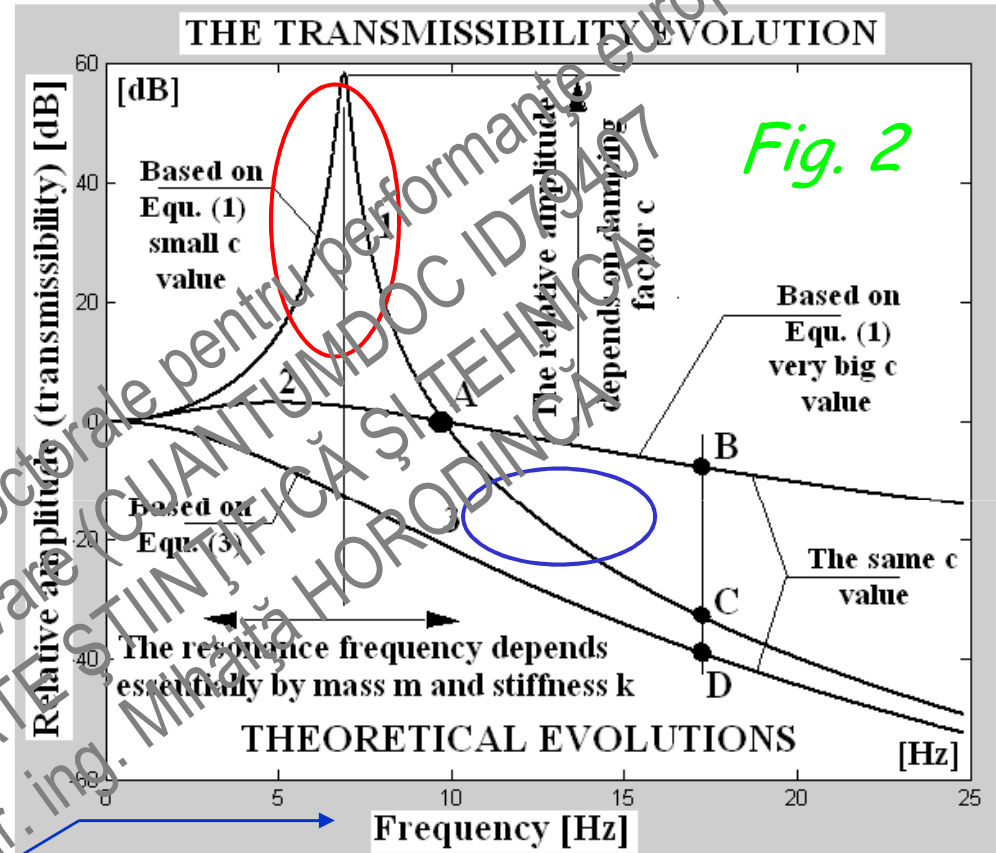


$$(1) \frac{X_o}{X_i} = \sqrt{\frac{1 + (2\xi\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2\xi\eta)^2}}$$

The frequency of excitation

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

$$\eta = \frac{2\pi\nu\sqrt{m}}{\sqrt{k}}$$



The aims of optimal damping:

- to reduce the resonance peak amplitude (see the red area);
- to keep the low level of the transmissibility after the resonance frequency (see the blue area)

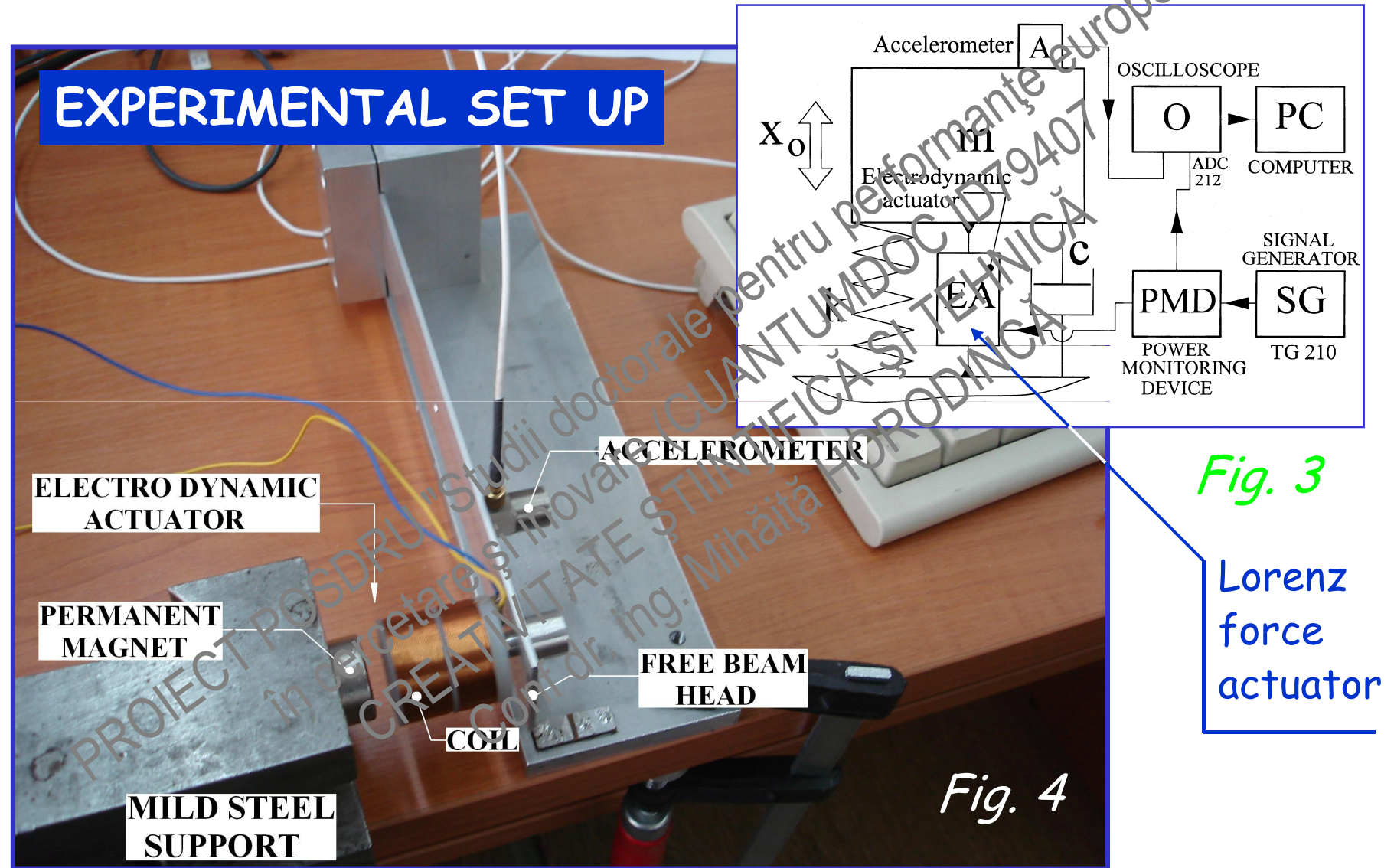
THE RESONANCE IN EXPERIMENTAL TERMS

LOGICAL QUESTION: WHY THE AMPLITUDE OF VIBRATIONS INCREASES A LOT ON THE FREQUENCY OF RESONANCE?

LOGICAL ANSWER: BECAUSE THE ABSORBED POWER FROM THE EXCITATION SOURCE IS BIGGEST ON THIS FREQUENCY. A BIG AMOUNT OF MODAL ENERGY IS STORED IN THE SPRING-MASS-DAMPER SYSTEM.

CONSEQUENCE: THE STRUCTURE HAS MINIMUM MECHANICAL IMPEDANCE ON RESONANCE FREQUENCY.

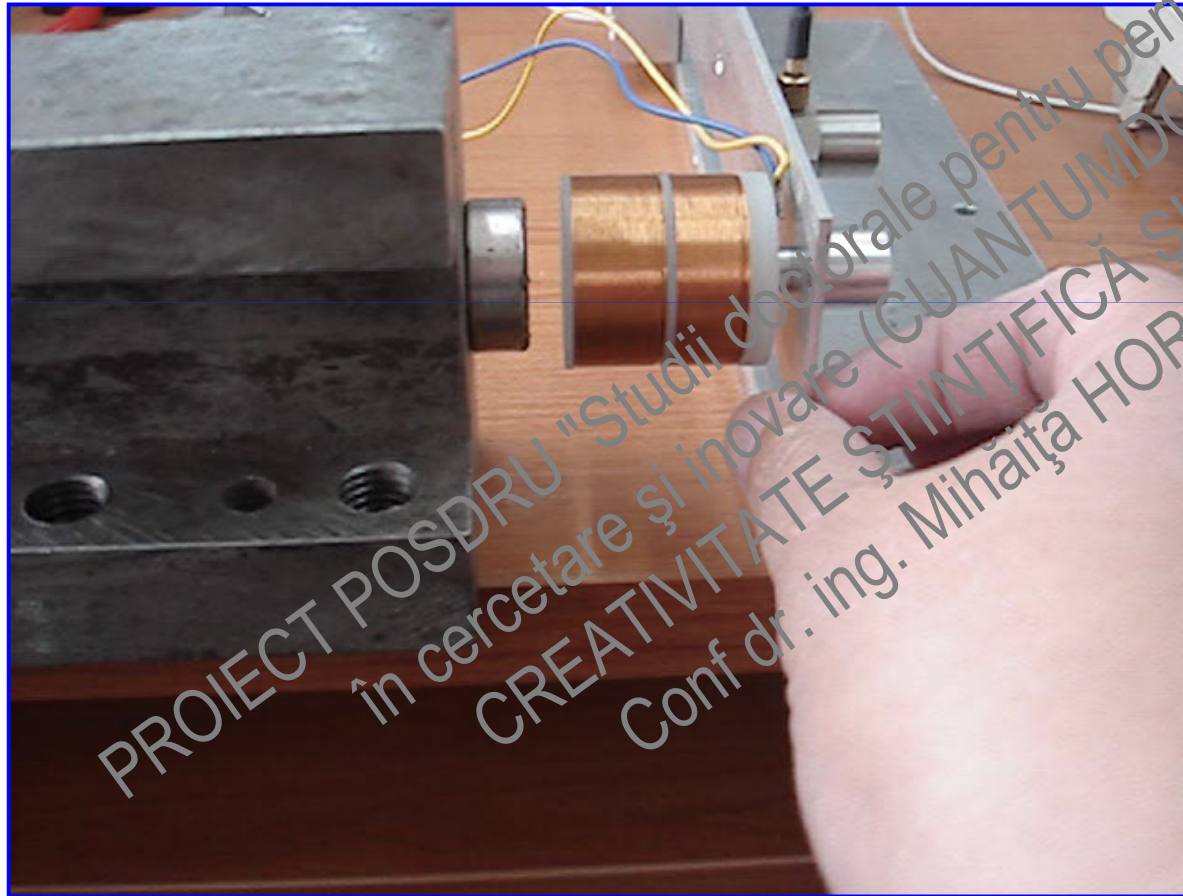
THE ABSORBED POWER EVOLUTION AT RESONANCE



7/23

THE BEHAVIOUR OF THE BEAM HEAD EXCITED ON RESONANCE FREQUENCY (15 61 Hz)

On video



The excited motion has constant amplitude, but using a low speed camera, on video it appears to be as a beating vibration motion

8/23

THE BEHAVIOUR OF THE BEAM HEAD EXCITED ON RESONANCE FREQUENCY (15.61 Hz)

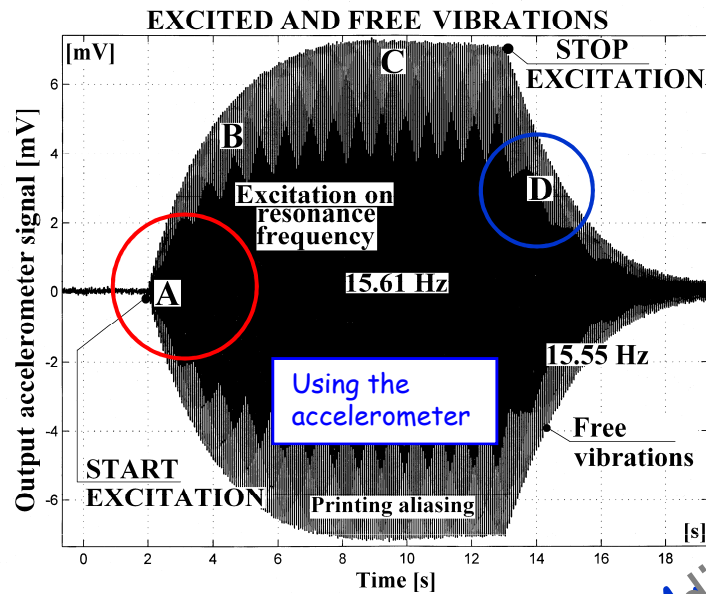


Fig. 7

Zoom on
Figure 5, see
encircled red
area →

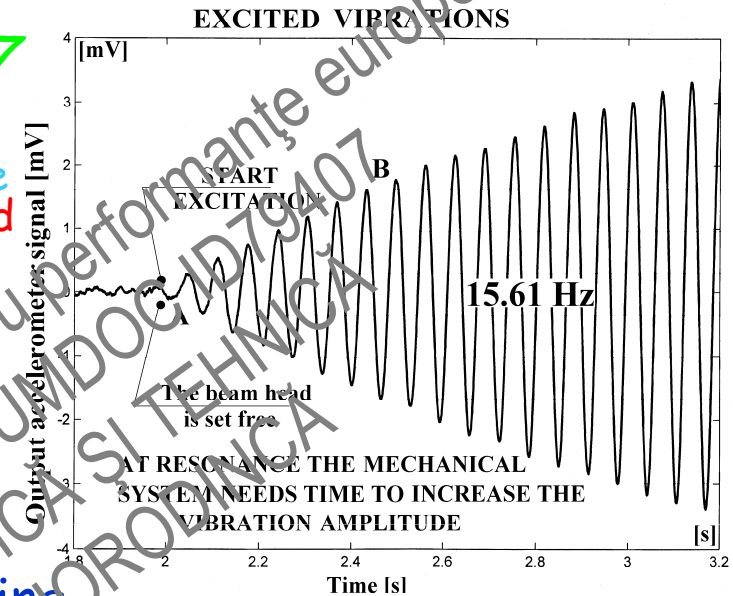


Fig. 8

Numerical filtering

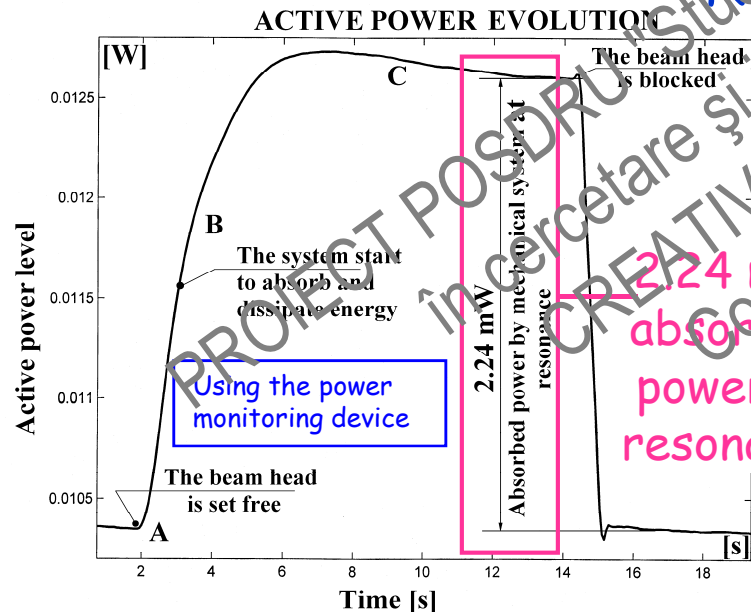
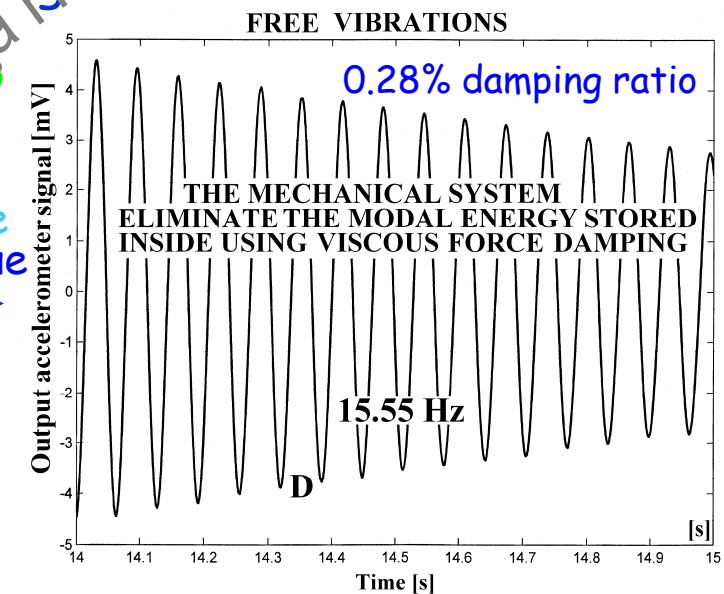


Fig. 6

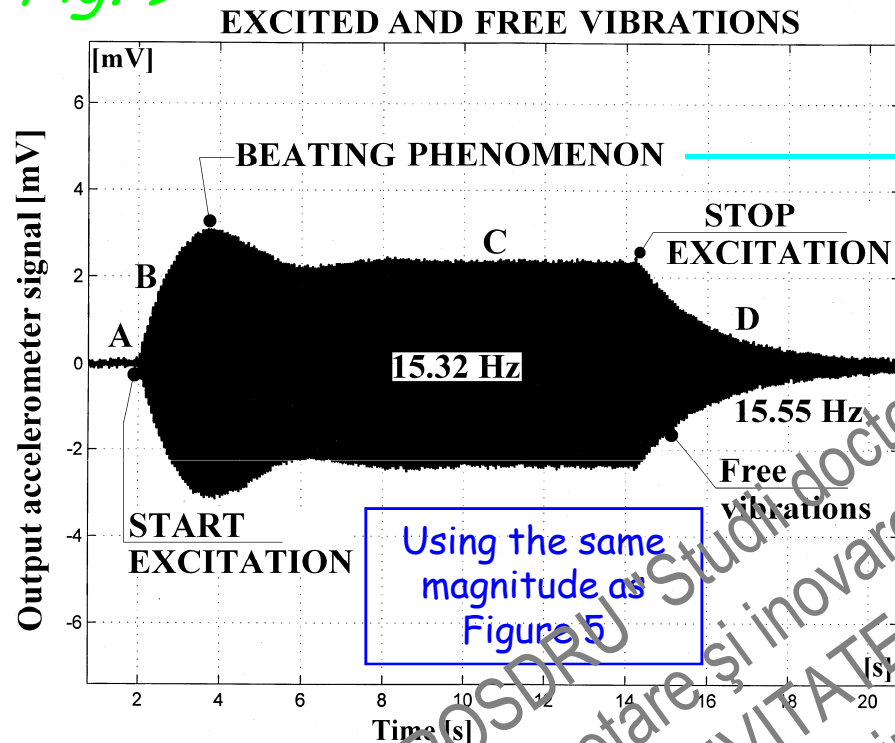
Zoom on
Figure 5, see
encircled blue
area →



9/23

THE BEHAVIOUR OF THE BEAM HEAD EXCITED UNDER THE RESONANCE FREQUENCY (15.32 Hz, 1.5% LESS)

Fig. 9



0.455 mW absorbed power when the excitation is under the resonance frequency

10.11 mW absorbed power, dissipated on the coil (heating)

Beating between the exciting and free response frequencies (15.32 and 15.55 Hz) mirrored in motion and absorbed power

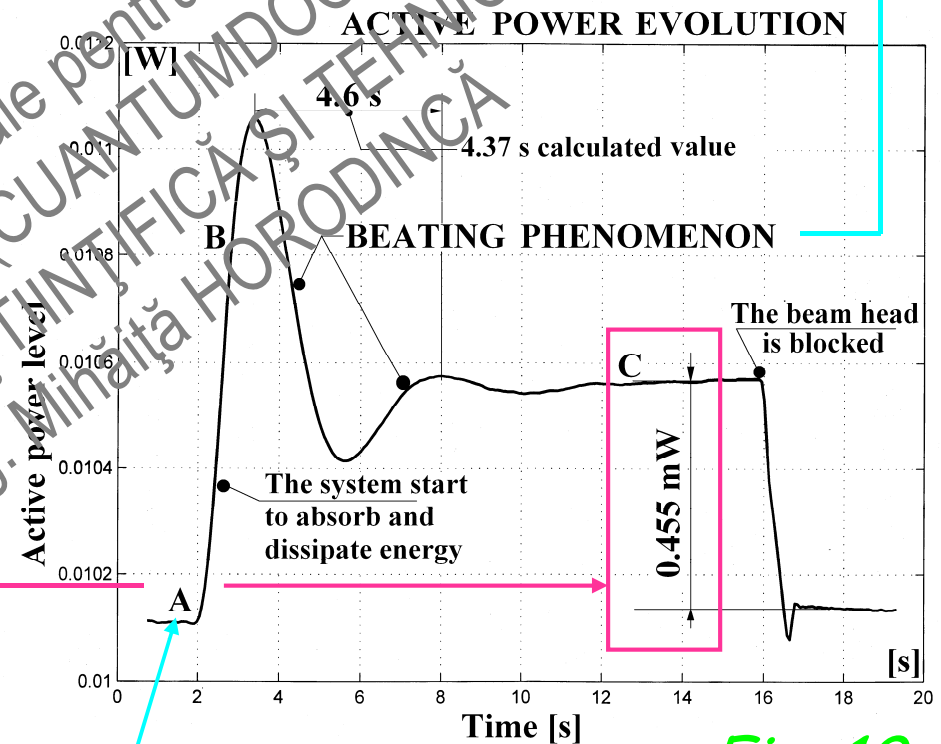


Fig. 10

THE BEST WAYS TO AVOID THE ACCUMULATION OF MODAL ENERGY (DYNAMIC BEHAVIOUR CORRECTION)

1. The excitation source can not supply with modal energy (it should contain a cut-off filter frequency).
2. The mechanical system and the excitation source are separated with a mechanical cut-off filter (isolator).
3. Increasing the mechanical impedance of the system by:
 - 3.1. Using a passive damper inside the structure.

3.2. Using damping solutions who works just in resonance frequency area (modal absorbers):

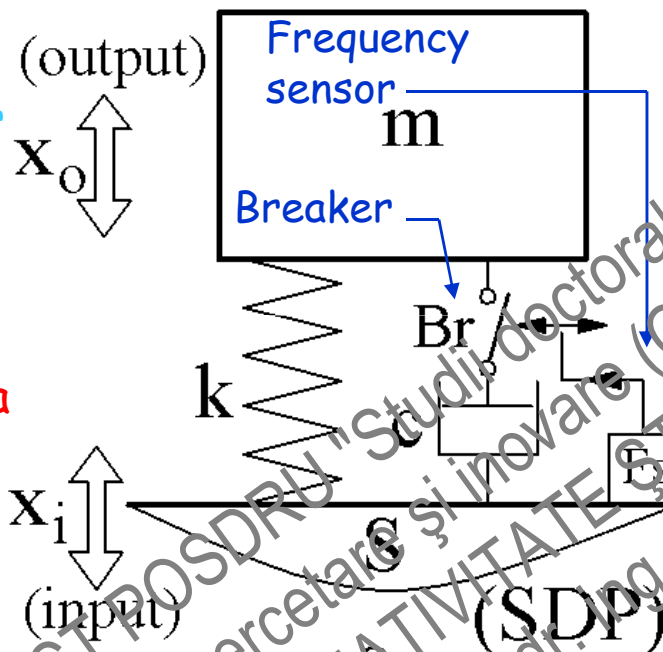
Reducing the peak of resonance and keeping a low transmissibility at high frequency

- 3.3.1. Smart damper principle;
- 3.3.2. Active damper principle;
- 3.3.3. Passive modal energy absorber (PMEA) or tune mass damper principle;

11/23 USING DAMPING SOLUTIONS WHO WORKS JUST IN RESONANCE FREQUENCY AREA (modal absorbers):

ADP needs sensor, actuator, regulator (inverted amplifier), power supply

In theory the breaker Br can be replaced by a passive low-pass frequency filter, just a spring. No frequency sensor Fs



SMART DAMPER PRINCIPLE

The breaker Br is opened by frequency sensor Fs just in resonance frequency area

Self generated viscous friction force

The ADP works as an active sky-hook damper

(output)

x_o

$F = -g \cdot dx_o / dt$

Regulator

$-g$

velocity

V_s

feedback loop

force

Actuator

S

$b.$

(ADP)

Fig. 11

Fig. 11

Fig. 11

Fig. 11

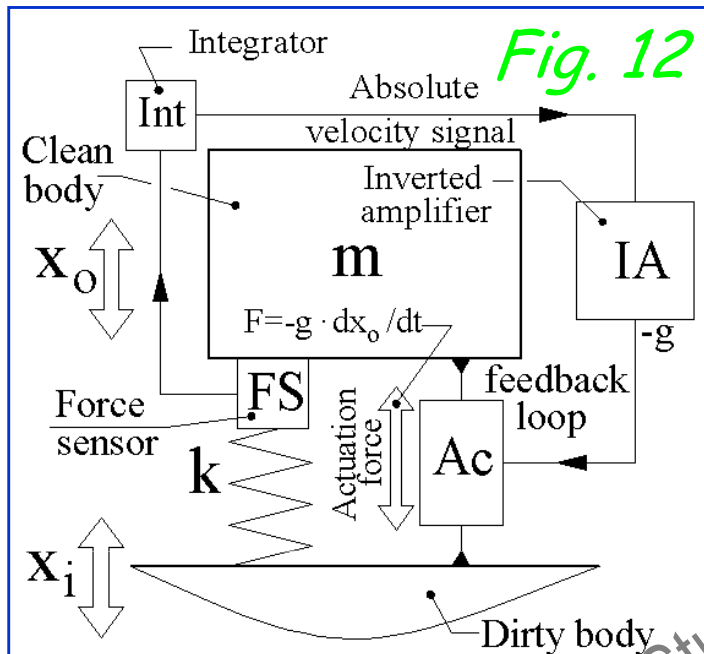
Fig. 11

Fig. 11

ACTIVE DAMPER PRINCIPLE

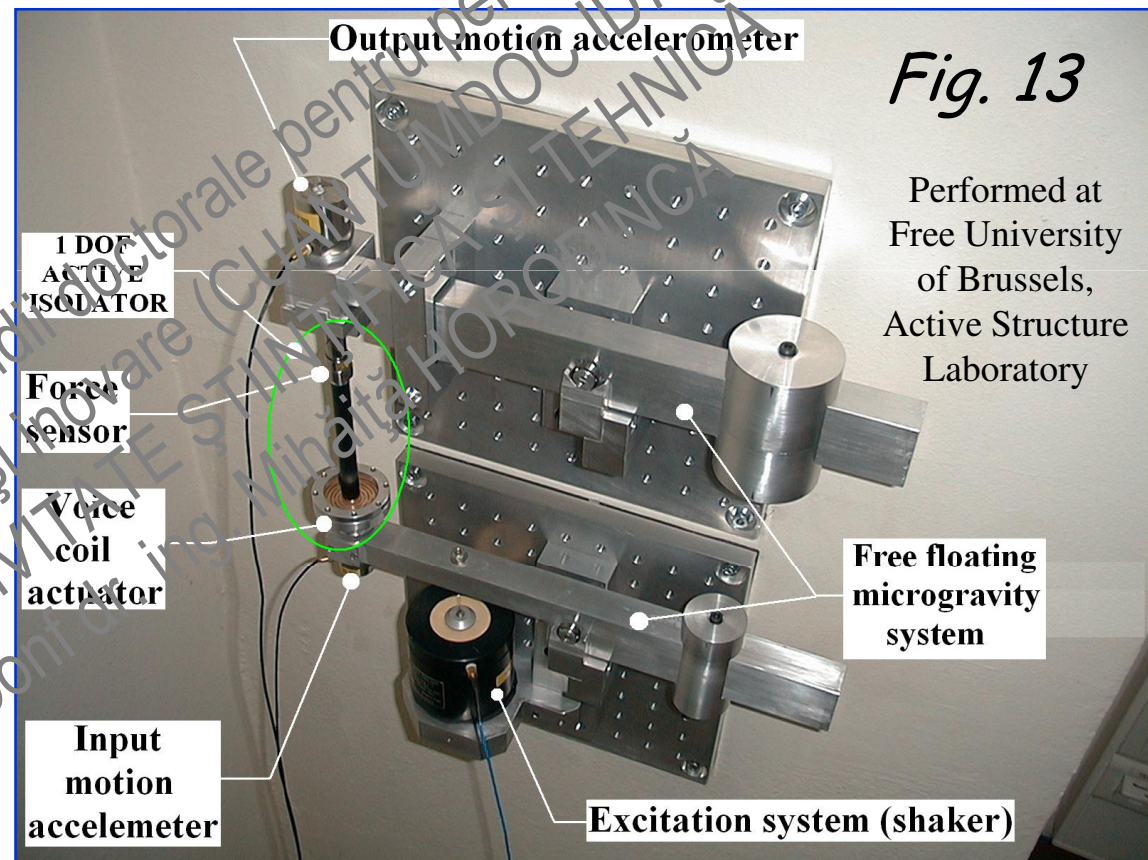
Active velocity-force feedback with collocated sensor Vs and actuator Ac

ADP USING INTEGRAL FORCE-FEEDBACK



The input sensor in the feedback loop is a force sensor placed between mass and spring. The force generated is proportional with the output acceleration and the mass. The integration of force signal produce a signal proportional with the mass velocity, used as before in Figure 11 b.

Experimental set up to test 1 DOF active strut used on 6 DOF soft isolator based on Stewart platform (cubic architecture).

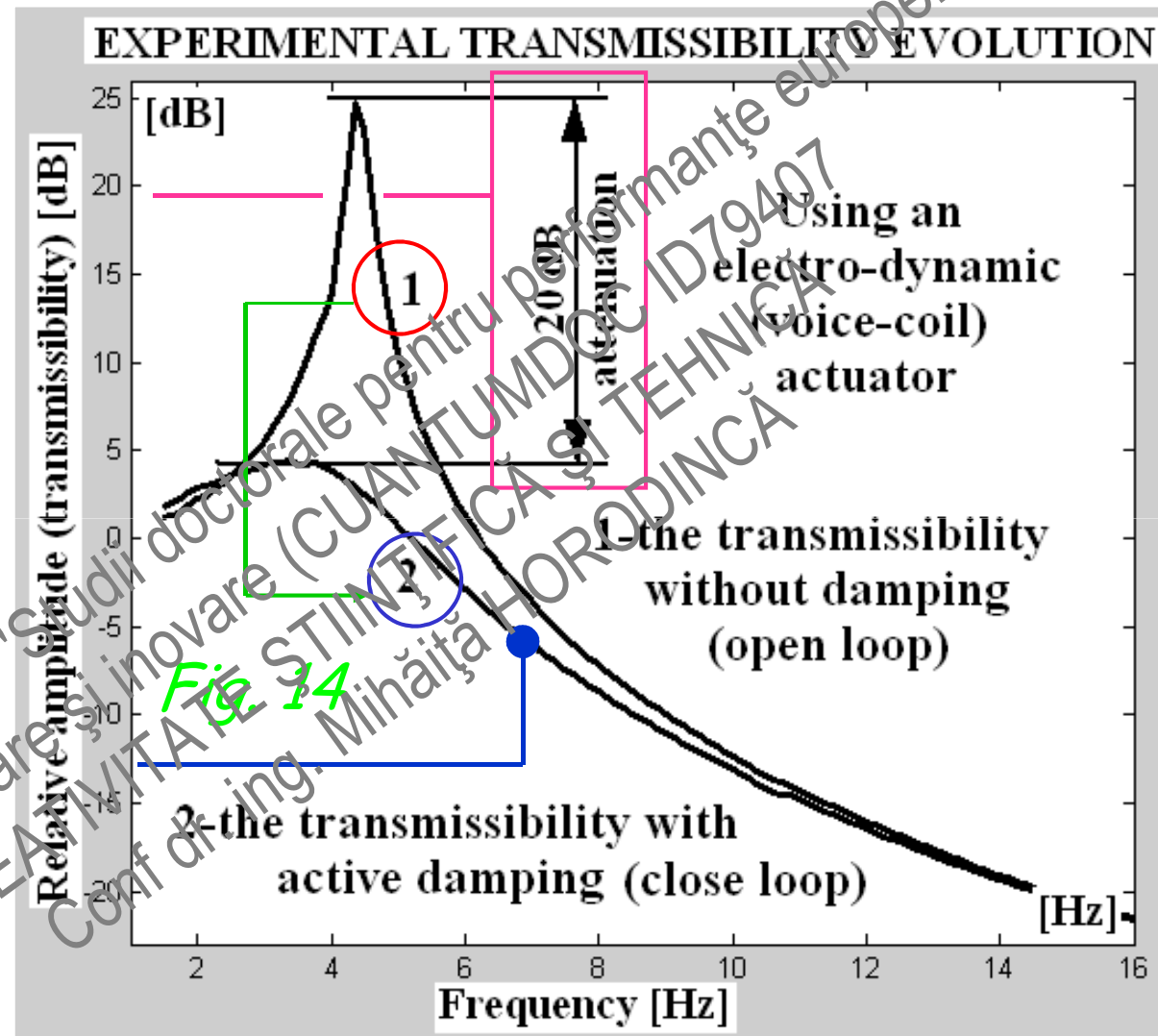


EXPERIMENTAL RESULT ON ACTIVE DAMPING PRINCIPLE USING INTEGRAL FORCE FEEDBACK

20 dB
attenuation

The available modal energy stored inside the mechanical system is eliminated using a sensor, an actuator, electronic devices and an external electrical power supply

At high frequency the ADP kept a low transmissibility of the isolator



THE PASSIVE EQUIVALENT OF ACTIVE DAMPING PRINCIPLE SKY-HOOK DAMPER (SDP)

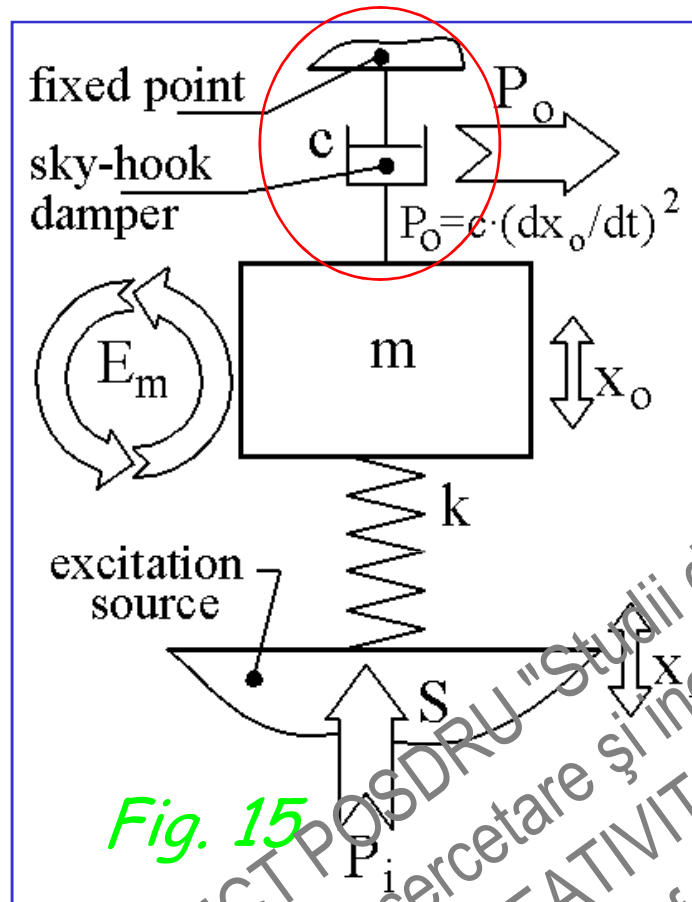
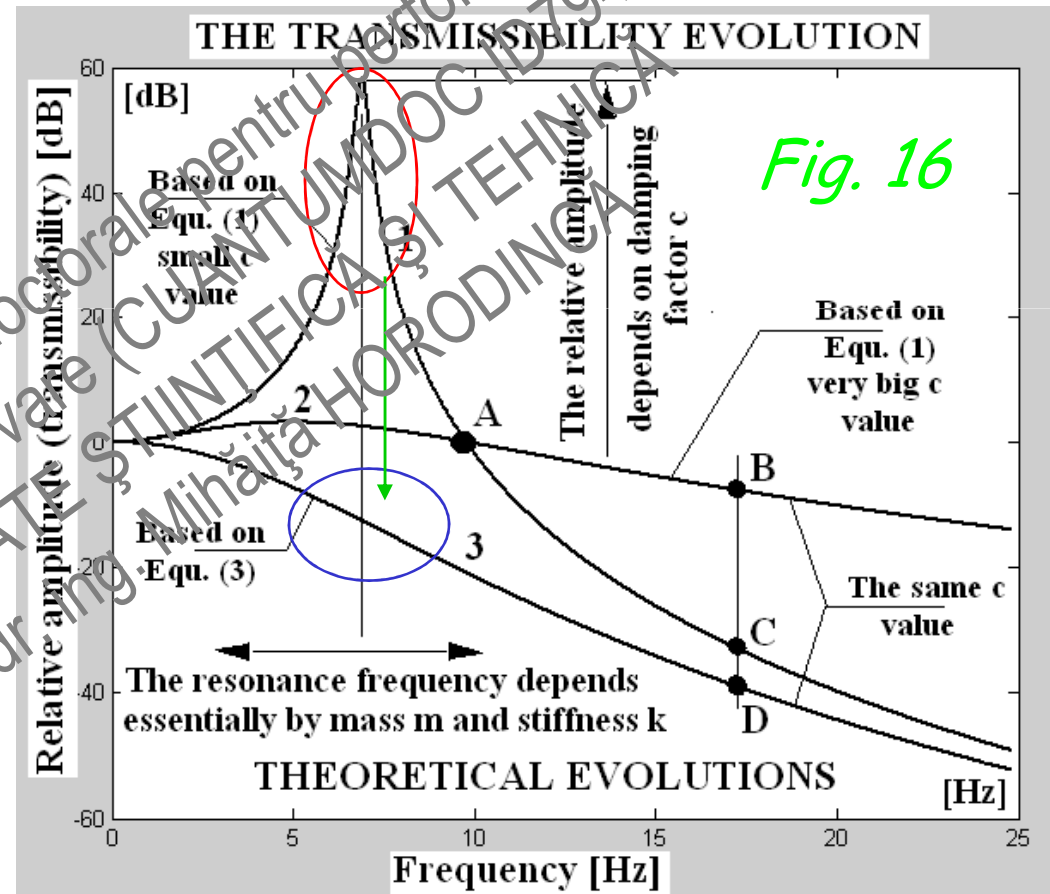


Fig. 15

(3)
$$\frac{X_o}{X_i} = \sqrt{\frac{1}{(1 - \eta^2)^2 + (2\xi\eta)^2}}$$

Very cheap solution, no sensor, actuator, electronics and power supply **but** usually the fixed point is not available so SDP is impossible to use



PASSIVE MODAL ENERGY ABSORBER (PMEA) OR TUNE MASS DAMPER PRINCIPLE

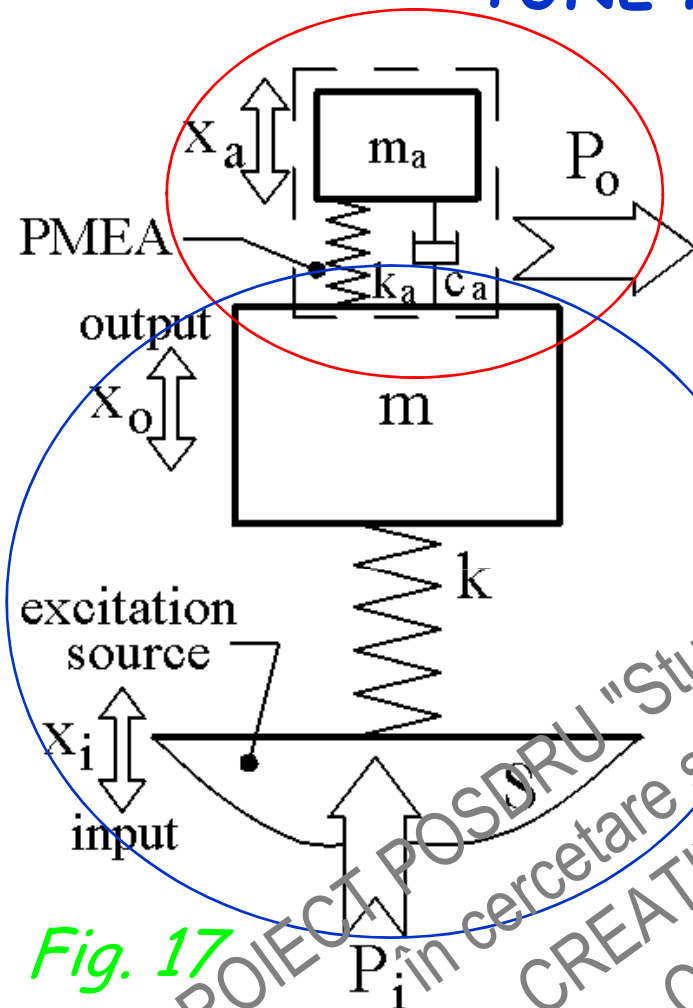


Fig. 17

PMEA set up on the main structure (2 DOF system)

The transmissibility model for a spring-mass-damper system with passive modal energy absorber

$$(4) \frac{X_o}{X_i} = \sqrt{\frac{1 + \frac{\rho^2}{(\xi_1 \eta)^2}}{(\eta^2 - 1 + \alpha \eta^2)^2 + \left[\frac{\alpha \eta \beta}{2\xi_1} - \frac{(\eta^2 - 1)\rho^2}{2\xi_1 \eta} \right]^2}}$$

$$\mu = \frac{m_a}{m}, \quad \beta = \frac{2\pi(k_a / m_a)^{0.5}}{2\pi(k / m)^{0.5}}, \quad \xi_1 = \frac{c}{2\sqrt{k_a m_a}}$$

$$\rho = (\eta^2 - \beta^2)$$

Based on Thomas and Laville

The PMEA efficacy is given by:

- the co-resonance condition ($\beta=1$);
- the PMEA mass m_a value;
- the c_a damper value

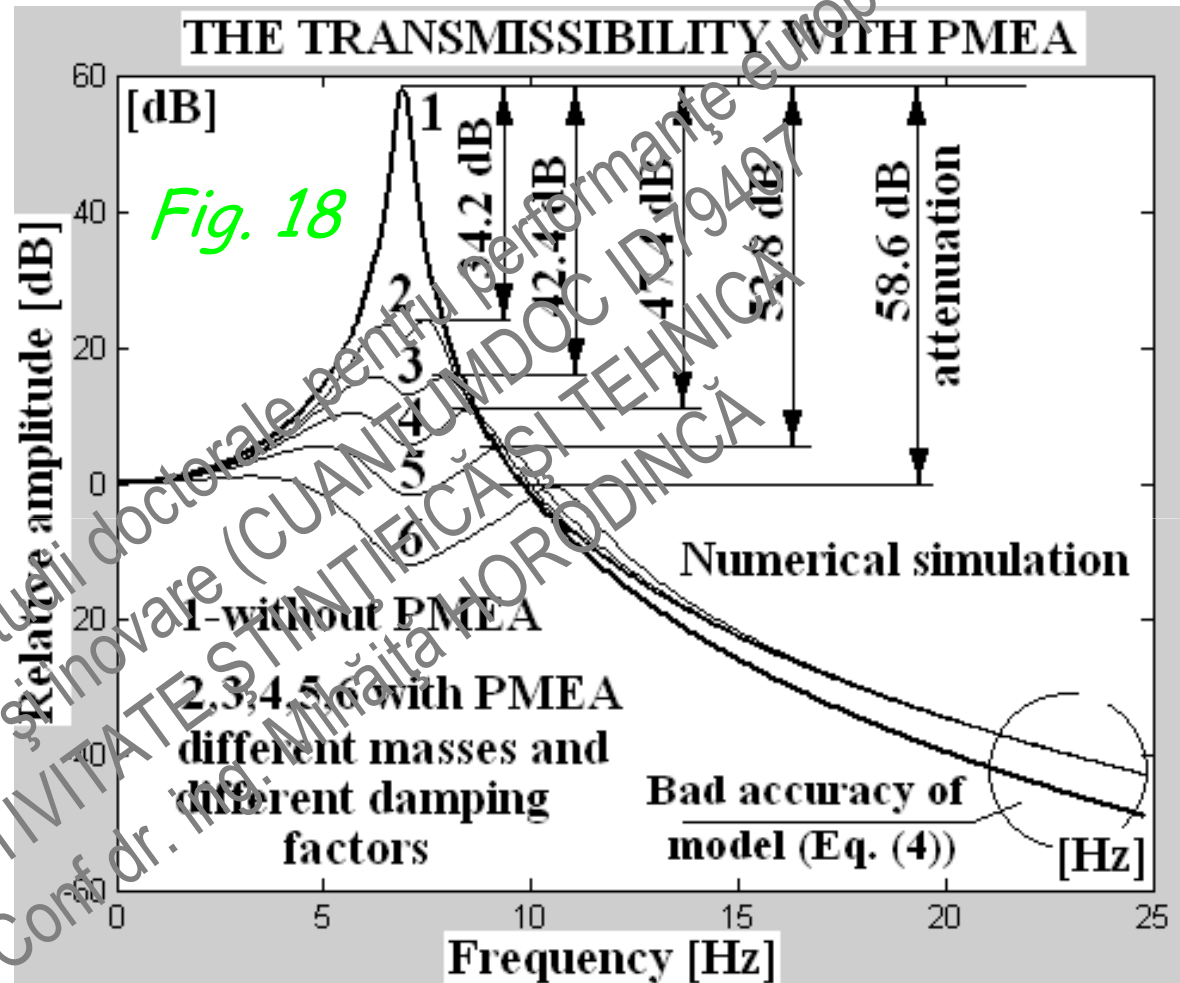
PMEA EFFICIENCY IN RESONANCE CORECTION (NUMERICAL SIMULATION)

For curve 2:

$\mu=0.5\%$ and $\xi=3\%$;

For curve 6:

$\mu=100\%$ and $\xi=13\%$;



See the two peaks on the damped
transmissibility (because of 2 DOF system)

NEW PMEa DESIGN USED TO REDUCE THE AMPLITUDE OF THE FIRST TORSIONAL VIBRATION MODE OF METRO WHEEL SET*

*In order to reduce the rail rutting corrugation

Design
overview

EXPLODED VIEW

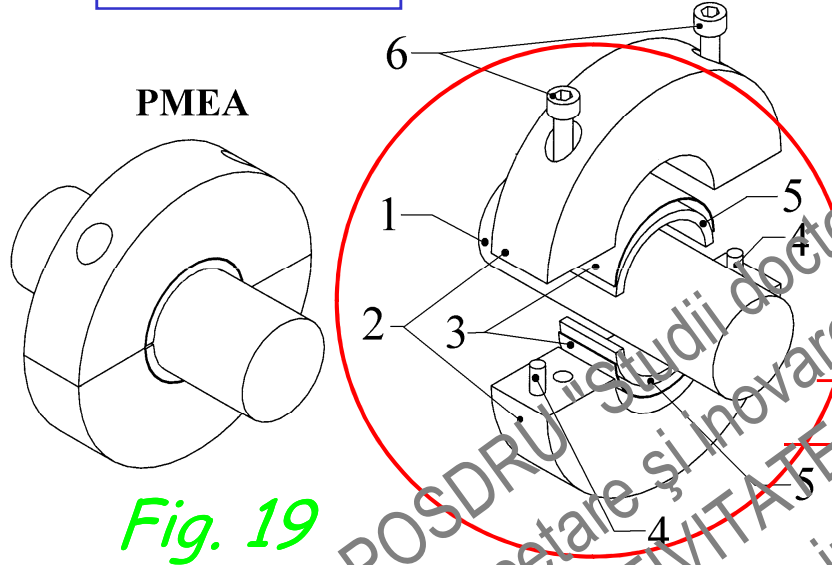


Fig. 19

1-metro wheel set shaft; 2-inertial ring structure; 3-visco elastic material (spring-damper system); 4- pins; 5-ring; 6-screws

PMEa for first torsional mode

PMEa for second torsional mode

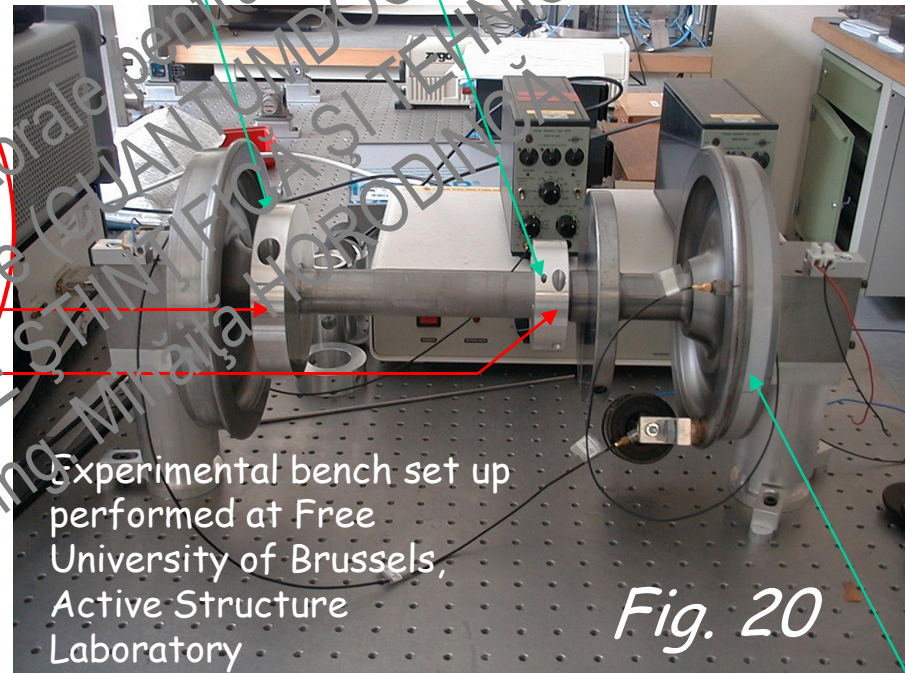


Fig. 20

1/4 scale reduced metro wheel set

PMEA EFFICIENCY IN EXPERIMENTAL TERMS*

*The transmissibility correction of the first torsional mode on the metro wheel set (228.7 Hz frequency)

Experimental research set up

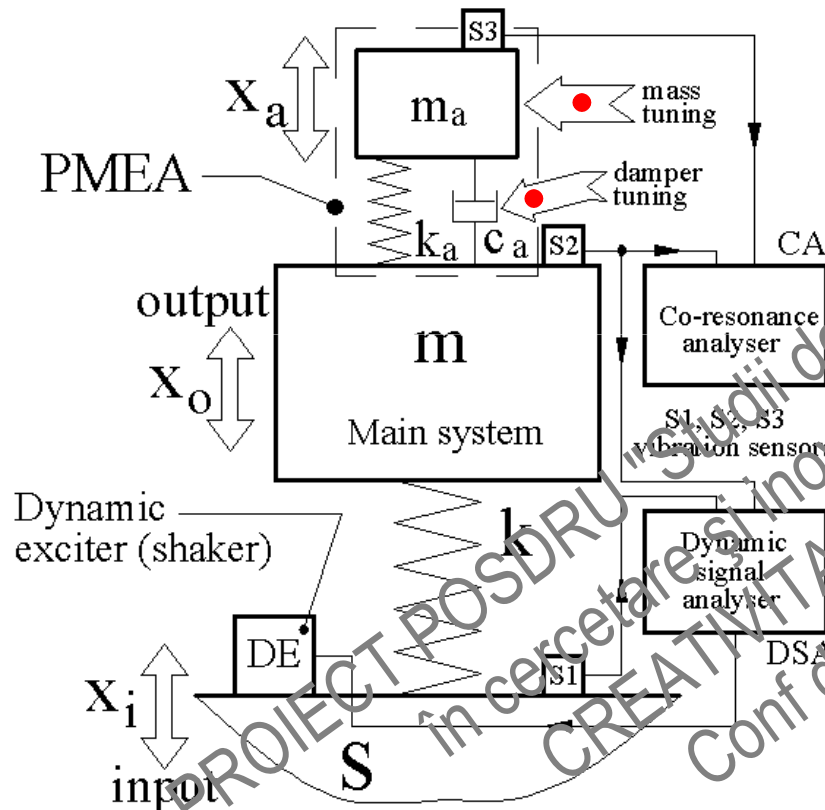


Fig. 21

Experimental transmissibility evolution

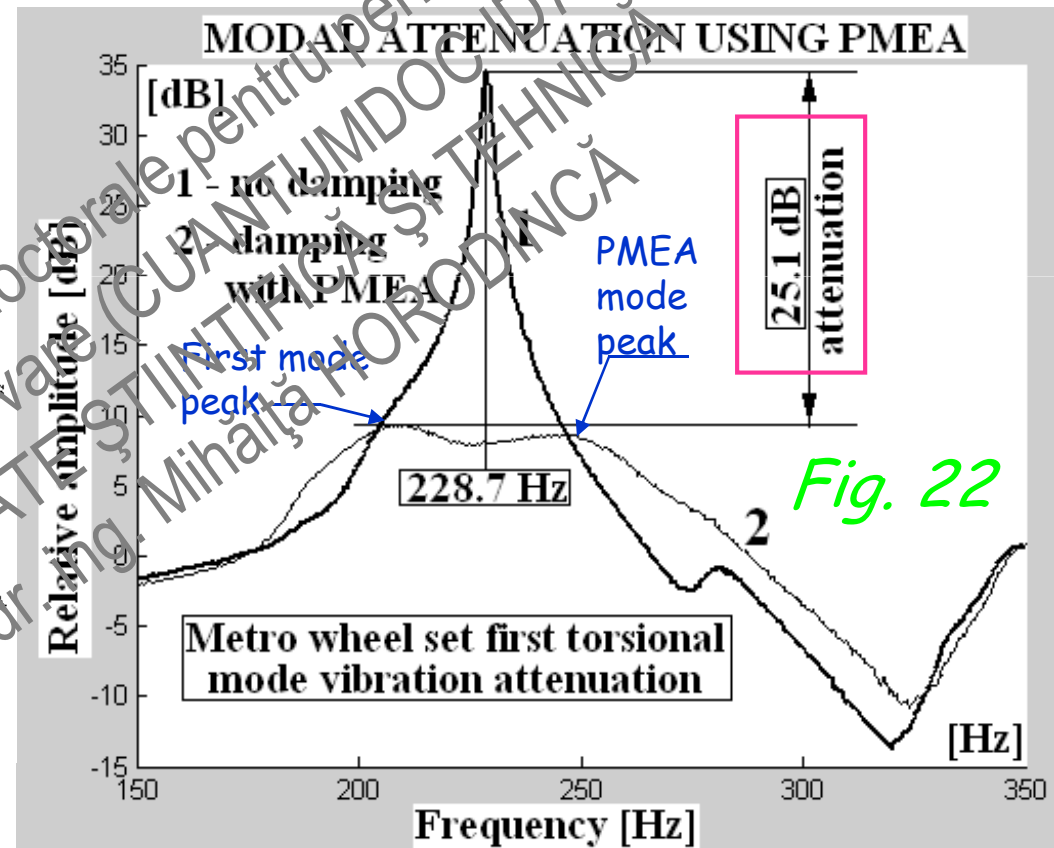
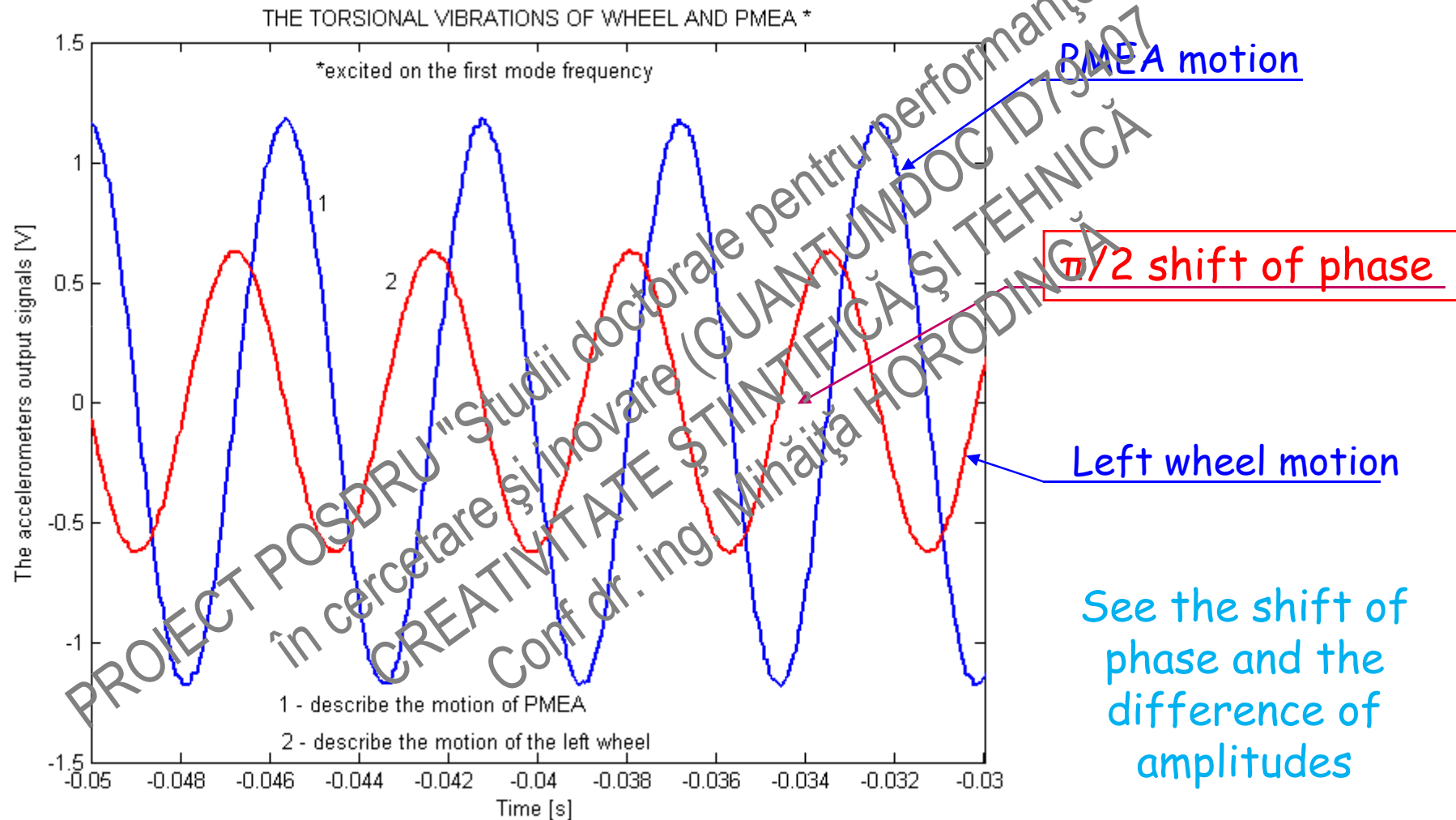


Fig. 22

PMEA EFFICIENCY IN EXPERIMENTAL TERMS*

*The co-resonance of the main system and the PMEA

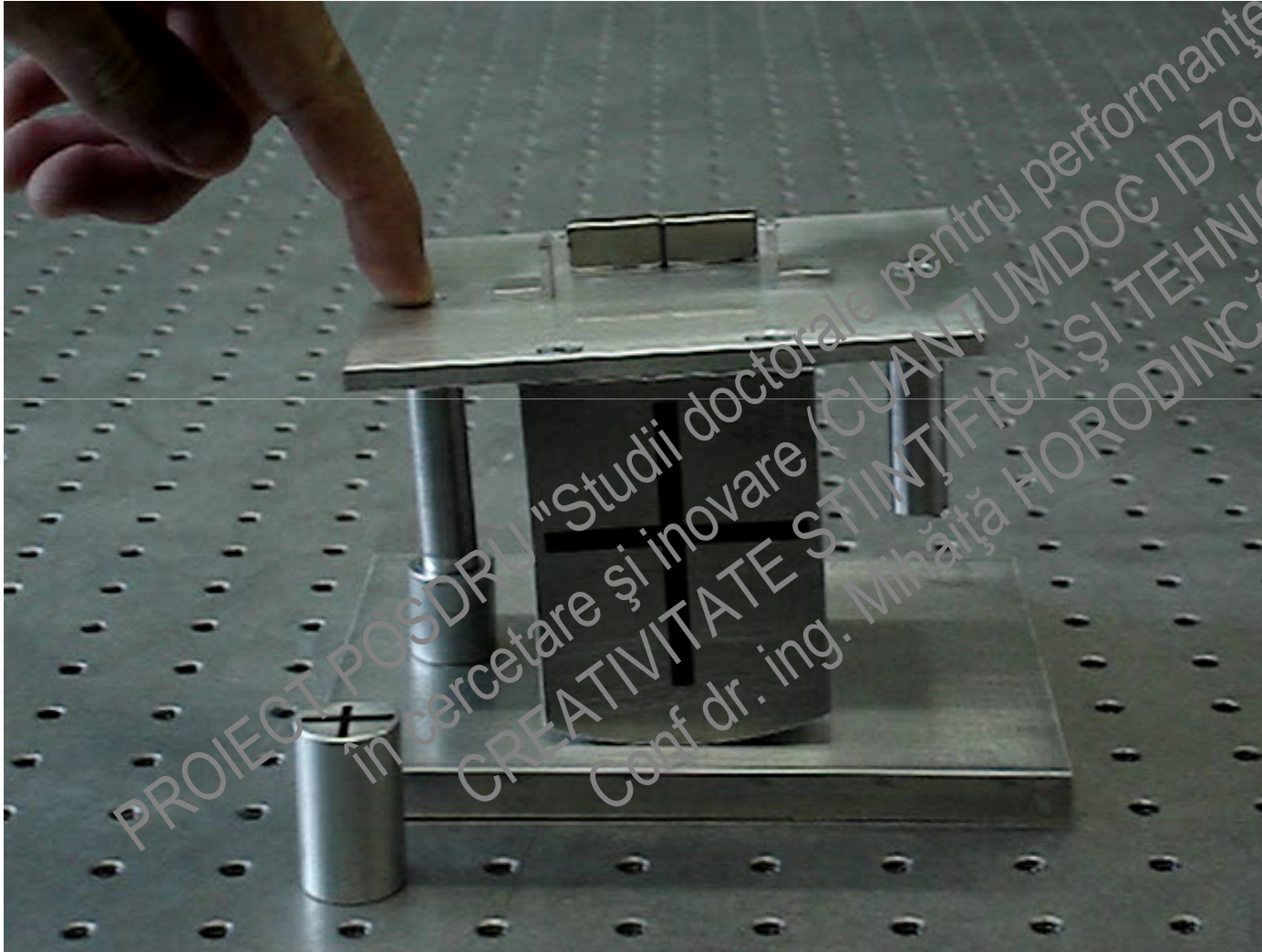
illustrated with the shift of phase in vibration torsion motion



PMEA EFFICIENCY IN EXPERIMENTAL TERMS**

**Damping a very low frequency mechanical vibration mode (1.15 Hz) of a mechanical structure

On video



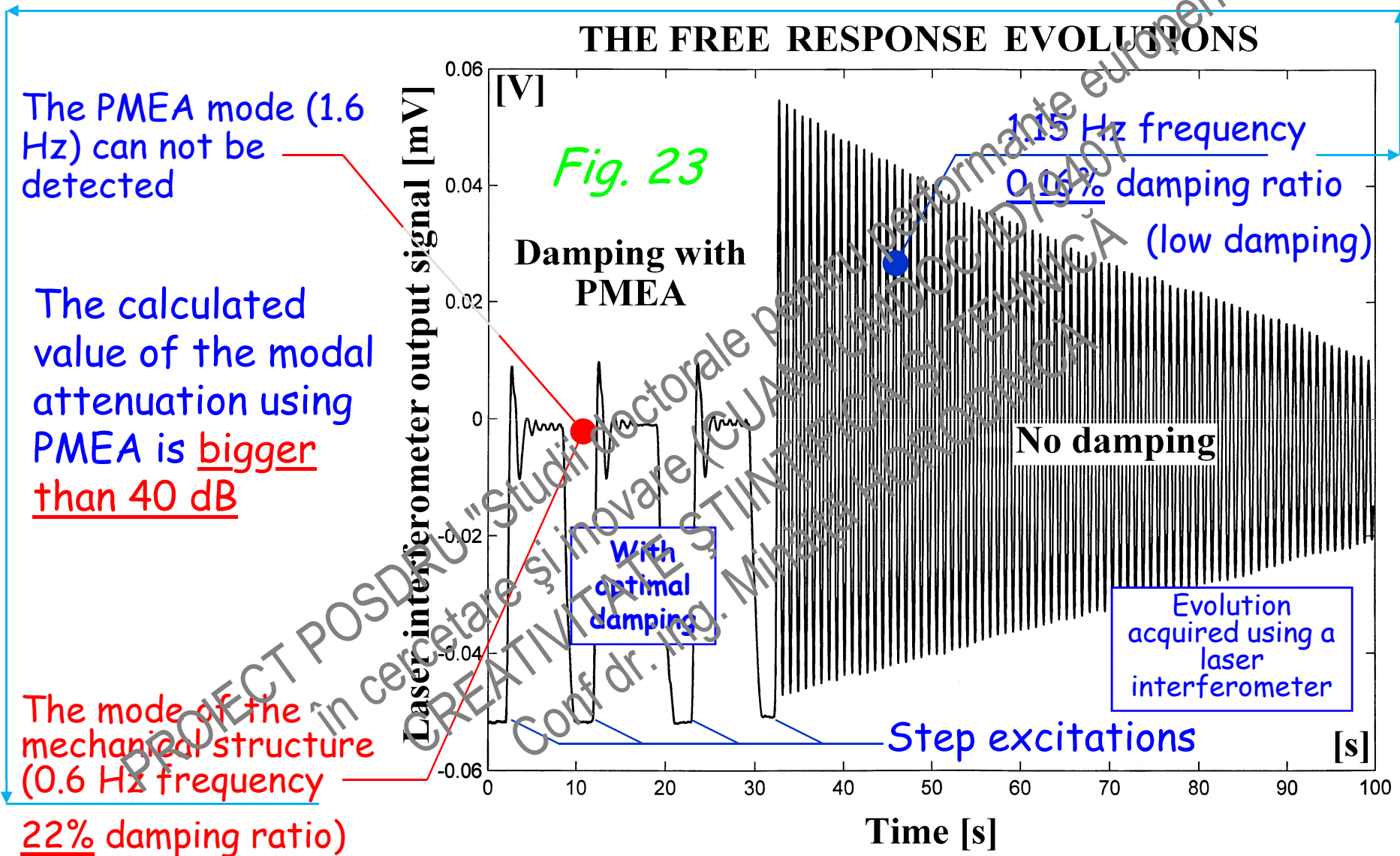
Mirrored in the free response of the mechanical structure.

Step excitation

Eddy currents damper.

Experimental bench set up performed at Free University of Brussels, Active Structure Laboratory

PMEA EFFICIENCY IN EXPERIMENTAL TERMS**



CONCLUSIONS:

1. On the active damping with negative feedback:

Positive : High efficiency even if the modal frequency of the structure is changed.

Negative: It uses an expensive equipment

2. On the passive damping with PMEA:

Positive : Very low cost. Easy to manufacturing and to tune. PMEA assure a very high modal attenuation (up to 40 dB). If PMEA uses viscoelastic materials the PMEA works as a wide band-pass frequency modal energy absorber. Useful in cutting processes chatter reduction (e.g manufacturing boring bars with PMEA)

Negative: It needs available space on the mechanical structure. It increases the total mass of the system.

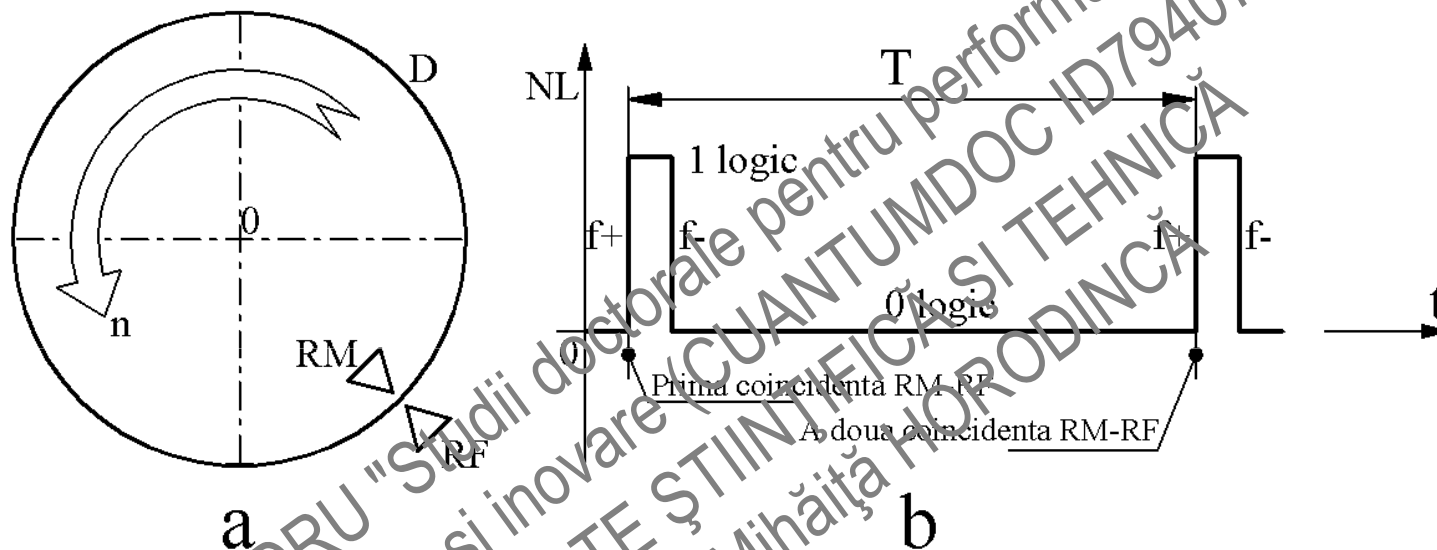
Elemente teoretice privind utilizarea efectului Hall (senzorul magnetic computer BSM 234) în monitorizarea asistată de calculator a evoluției vitezei unghiulare (turației).

conf. dr. ing. Mihăiță HORODINCA

Metode de monitorizare asistată de calculator a evoluției turației (vitezei unghiulare) :

- metoda evaluării perioadei (MEP);
- metoda evaluării duratei de succesiune (MEDS);
- metoda evaluării duratei de succesiune cu generalizare (MEDSG);
- metoda numărării impulsurilor (MNI).

METODA EVALUĂRII PERIOADEI (MEP)



FRECVENȚA: ν VITEZA UNGHIULARĂ ω TURAȚIA: n

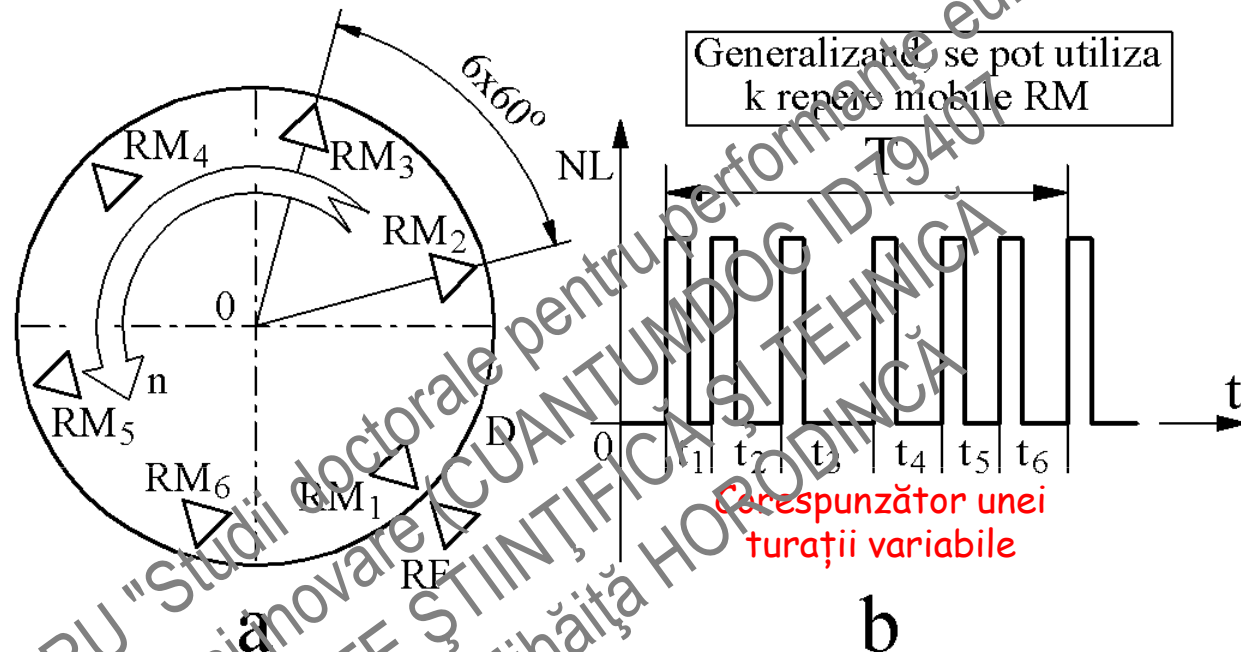
$$\nu = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

$$n = 60 \cdot \nu = \frac{60}{T}$$

METODA EVALUĂRII INTERVALULUI DE SUCCESIUNE (MEDS)

Considerând
repererele RM_i
echidistante
unghiular



FRECVENȚA: v_i VITEZA UNghiULARĂ: ω_i

$$v_i = \frac{1}{k \cdot t_i}$$

$$\omega_i = \frac{2 \cdot \pi}{k \cdot t_i}$$

TURAȚIA: n_i

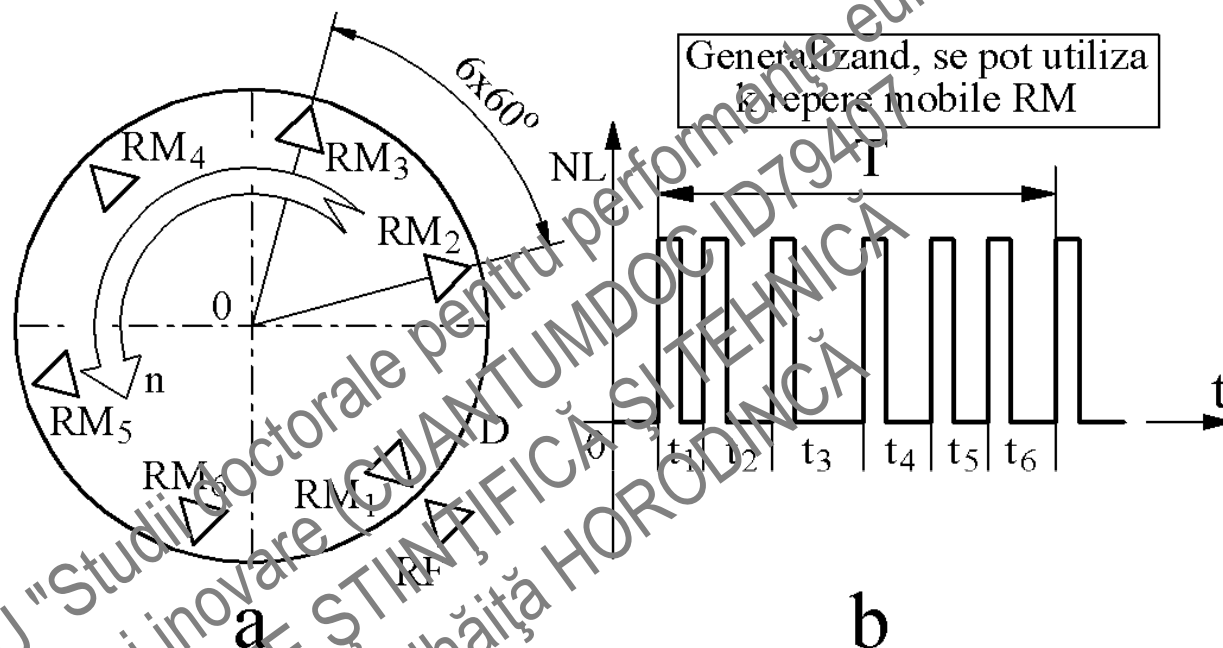
$$n_i = 60 \cdot v_i = \frac{60}{k \cdot t_i}$$

$$i = 1 \div k$$

PERIOADĂ FORMALĂ: $T_i = k \cdot t_i$

METODA EVALUĂRII INTERVALULUI DE SUCCESIUNE CU GENERALIZARE (MEDSG)

Fie α_i unghiul
generic
dintre două
repere mobile
succesive
(Valori oarecare)



Generalizand, se pot utiliza
k repere mobile RM

FRECVENȚA:

$$\nu_i = \frac{\alpha_i}{\pi \cdot t_i}$$

$$i = 1 \div k$$

VITEZA UNGIULARĂ:

$$\omega_i = \frac{\alpha_i}{t_i}$$

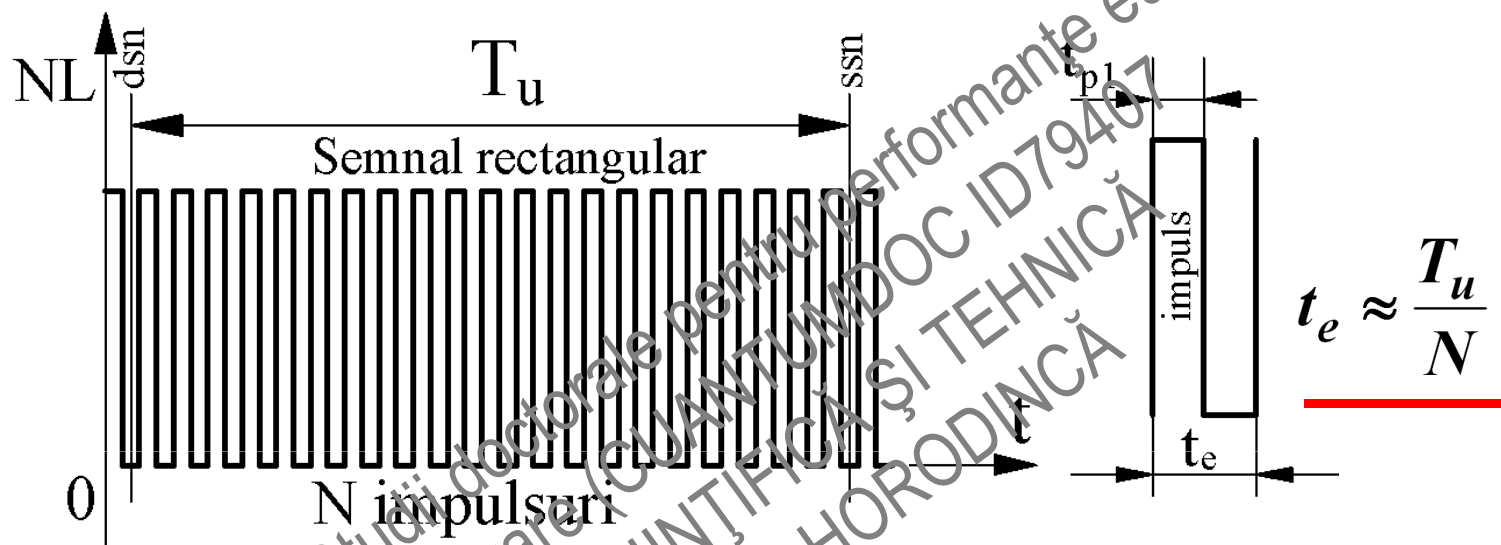
PERIOADĂ FORMALĂ: $T_i = 2 \cdot \pi \cdot t_i / \alpha_i$

TURAȚIA:

$$n_i = 60 \cdot \nu_i = \frac{30 \cdot \alpha_i}{\pi \cdot t_i}$$

METODA NUMĂRĂRII IMPULSURILOR (MNI)

(cu k repere mobile pe discul D)



Impulsuri produse prin rotația discului D, la coincidența reperelor mobile cu reperul fix RF

FRECVENTA:

$$\nu_m = \frac{1}{k \cdot T_u}$$

(valoare medie)

VITEZA UNGHILARĂ:

$$\omega_m = 2 \cdot \pi \cdot \nu_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{k \cdot T_u}$$

(valoare medie)

TURAȚIA:

$$n_m = 60 \cdot \nu_m = \frac{60 \cdot N}{k \cdot T_u};$$

(valoare medie)

PERIOADĂ FORMALĂ $T_m = t_e \cdot k = T_u \cdot k / N$ (valoare medie)

PROBLEME ALE APLICĂRII EXPERIMENTALE

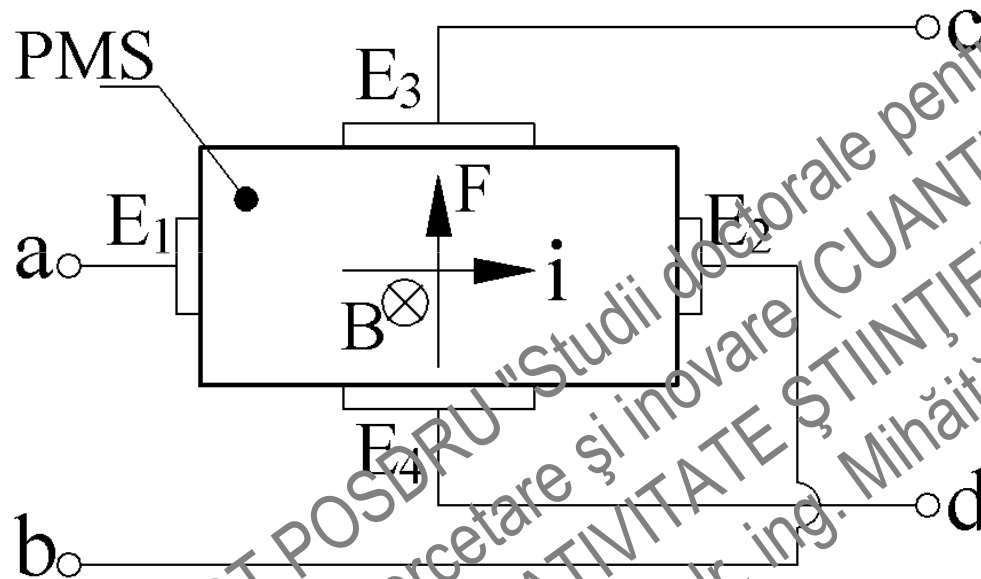
A. Generarea impulsurilor semnalelor rectangulare pe baza realizării proximității între reperele mobile RM_i și cel fix RF (cu senzori adecvați).

B. Măsurarea intervalelor de timp din semnalul rectangular, prelevarea datelor, și determinarea vitezei (turației) eventual în evoluție temporală (cu calculatorul).

C. Determinarea experimentală a valorilor unghiulare (prin analiza semnalului rectangular)

SESIZAREA PROXIMITĂȚII CU UTILIZAREA EFFECTULUI HALL

(senzorul magnetic comutator BSM 234)



Electronii care definesc curentul i creat în placă din material semiconductor (PMS, dopată cu impurități de tip n) prin aplicarea unei diferențe de potențial pe electrozii E_1 , E_2 , sunt deviați de către forța Lorentz F . Forța F este creată prin interacțiunea dintre câmpul magnetic (de intensitate B) și curentul I (cu vectori reciproc perpendiculari). Se creează o diferență de densitate a electronilor în vecinătatea electrozilor E_3 și E_4 adică un câmp electric,

prelevat ca diferență de potențial pe bornele a , b . Diferența de potențial este proporțională cu intensitatea B a câmpului magnetic. Diferența de potențial este apoi aplicată unui comparator care generează o tensiune egală cu potențialul sursei care basculează la zero dacă câmpul magnetic este mai mare ca 50 mT (miniTesla). În acest fel se generează semnalele rectangulare la care s-a făcut referire anterior.

UTILIZAREA SENZORULUI MAGNETIC COMUTATOR (SMC)

The diagram illustrates the use of a magnetic commutator (SMC) sensor. It consists of three parts: (a) a cross-sectional view of the disk with a radial slot and a permanent magnet (MP) mounted on a shaft; (b) a cross-sectional view of the disk with a radial slot and a permanent magnet (MP) mounted on a shaft; (c) a cross-sectional view of the disk with a radial slot and a permanent magnet (MP) mounted on a shaft.

MP - magnet permanent



A - unghi pe care SMC este activat

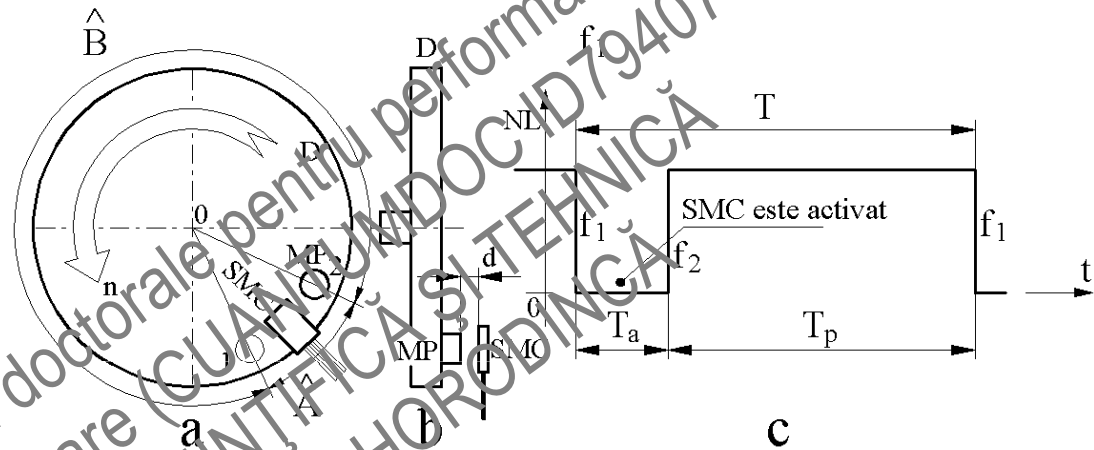
B - unghi pe care SMC nu este activat

METODA EVALUĂRII PERIOADEI (MEP) CU UTILIZAREA SENZORULUI MAGNETIC COMUTATOR (SMC)

Definire frecvență:

$$v_1 = \frac{\angle A}{2 \cdot \pi \cdot T_a} \text{ și } v_2 = \frac{\angle B}{2 \cdot \pi \cdot T_p}$$

(două valori pe rotație)



Definire viteză unghiulară

$$\omega_1 = \frac{\angle A}{T_a} \text{ și } \omega_2 = \frac{\angle B}{T_p}$$

(două valori pe rotație)

Definire turație

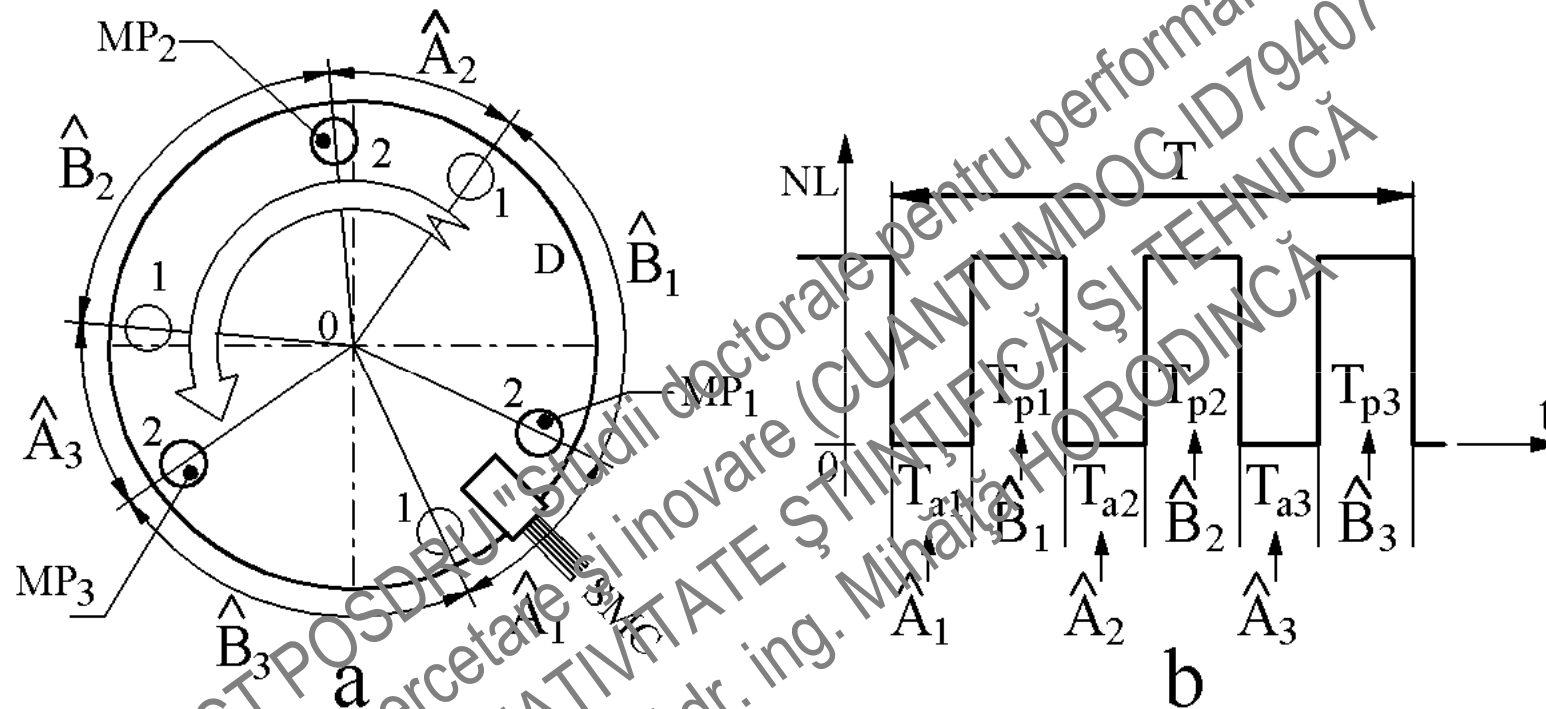
$$n_1 = \frac{30 \cdot \angle A}{\pi \cdot T_a} \text{ și } n_2 = \frac{30 \cdot \angle B}{\pi \cdot T_p}$$

(două valori pe rotație)

Perioade formale

$$2 \cdot \pi \cdot T_a / (\angle A) \text{ și } T_2 = 2 \cdot \pi \cdot T_p / (\angle B)$$

METODA EVALUĂRII DURATEI DE SUCEESIUNE CU GENERALIZARE (MEDSG) CU UTILIZAREA SENZORULUI MAGNETIC COMUTATOR (SMC)



$$T = T_{a1} + T_{p1} + T_{a2} + T_{p2} + T_{a3} + T_{p3}$$

Se utilizează trei magneți permanenți
MP₁, MP₂, MP₃

METODA EVALUĂRII DURATEI DE SUCEESIUNE CU GENERALIZARE (MEDSG) CU UTILIZAREA SENZORULUI MAGNETIC COMUTATOR (SMC)

$$v_i = \frac{< A_l}{2 \cdot \pi \cdot T_{al}} ; \quad \omega_i = \frac{< A_l}{T_{al}} ; \quad n_i = \frac{30 \cdot < A_l}{\pi \cdot T_{al}}$$

cu $i = 1, 3, 5$ și $l = 1, 2, 3$

$$v_i = \frac{< B_l}{2 \cdot \pi \cdot T_{pl}} ; \quad \omega_i = \frac{< B_l}{T_{pl}} ; \quad n_i = \frac{30 \cdot < B_l}{\pi \cdot T_{pl}}$$

cu $i = 2, 4, 6$ și $l = 1, 2, 3$

Șase valori pe rotație

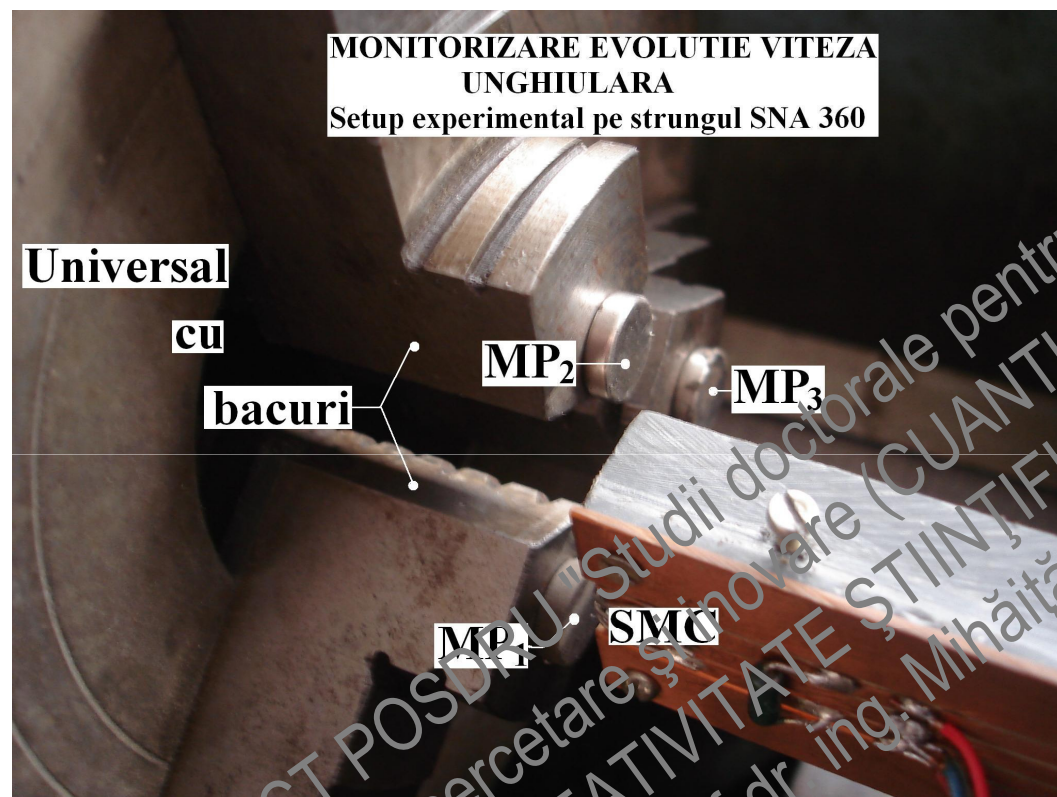
CONCLUZII

Elementele de principiu ale monitorizării turației (vitezei unghiulare) au fost formulate în vederea aplicării cu utilizarea unui aparat experimental minimal, cu utilizarea calculatorului în prelevarea, stocarea și procesarea datelor experimentale, pe baza unor medii de programare accesibile, comune utilizatorilor.

Cercetări experimentale privind utilizarea
efectului Hall (senzorul magnetic comutator
 β SM 234) în monitorizarea asistată de
calculator a evoluției vitezei unghiulare
(turației)

conf. dr. ing. Mihăiță HORODINCA

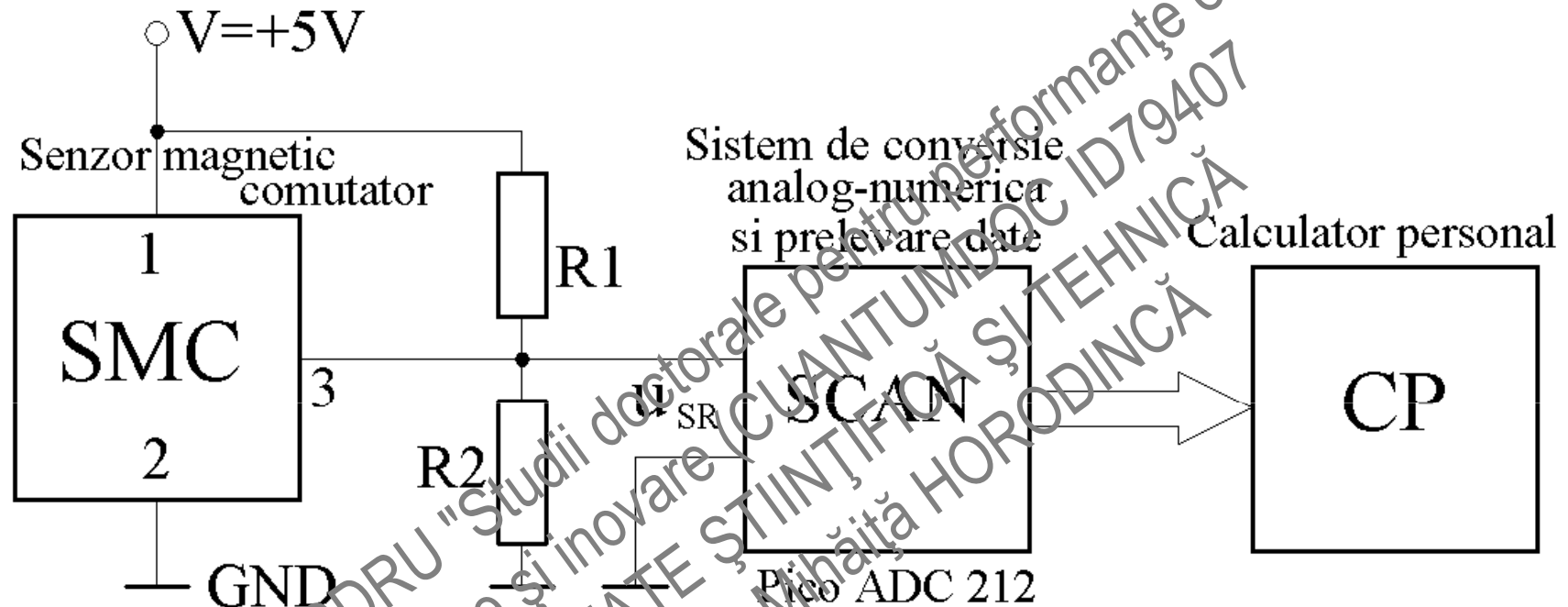
DESCRIERE SETUP EXPERIMENTAL (STRUNGUL SNA 360)



Se utilizează trei
magneți
permanenți
cilindrici cu
polarizare axială,
fixați pe bacurile
universalului

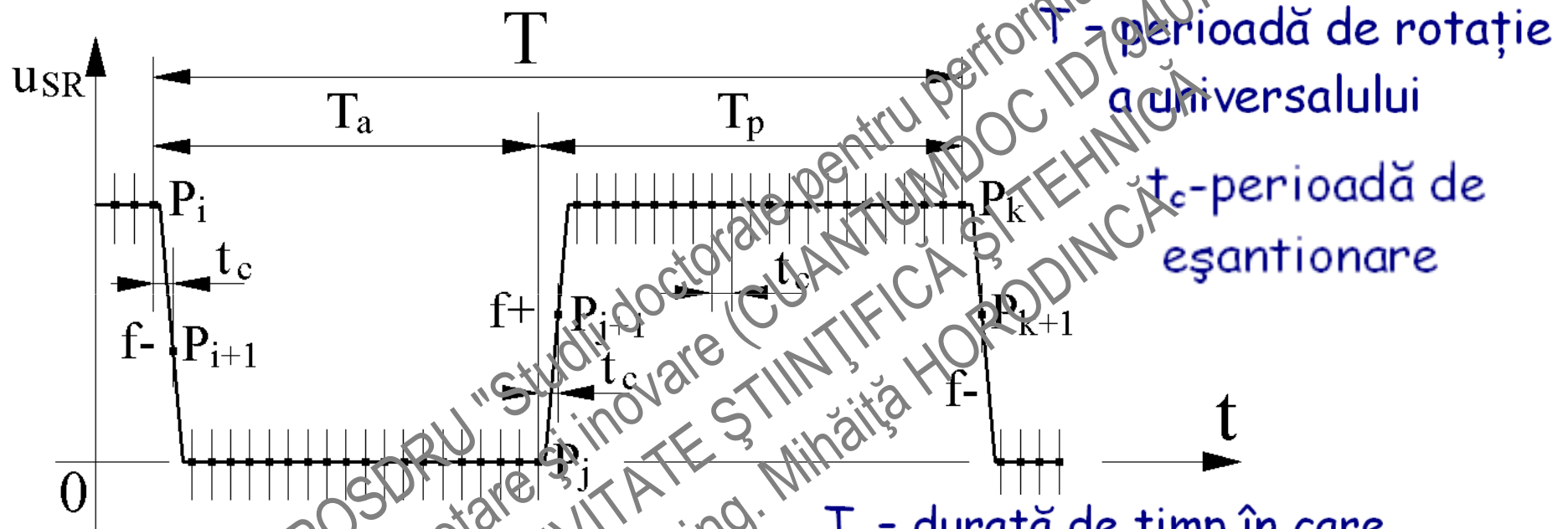
Senzorul magnetic comutator plasat în suportul
port-sculă, cu proximitate față de magneți
controlabilă cu săniile longitudinală și transversală

SCHEMA BLOC A SISTEMULUI DE PRELEVARE DATE EXPERIMENTALE



Semnalul la intrarea SCAN este rectangular. SMC este activat de proximitatea cu magneții permanenți ($B > 50$ mT) și comută din unu în zero logic. Altfel, cu SMC neactivat, semnalul rămâne sistematic în unu logic.

ASPECTE PRIVIND DISCRETIZAREA SEMNALULUI RECTANGULAR (CONVERSIA ANALOG-NUMERICA). CAZUL MEP.



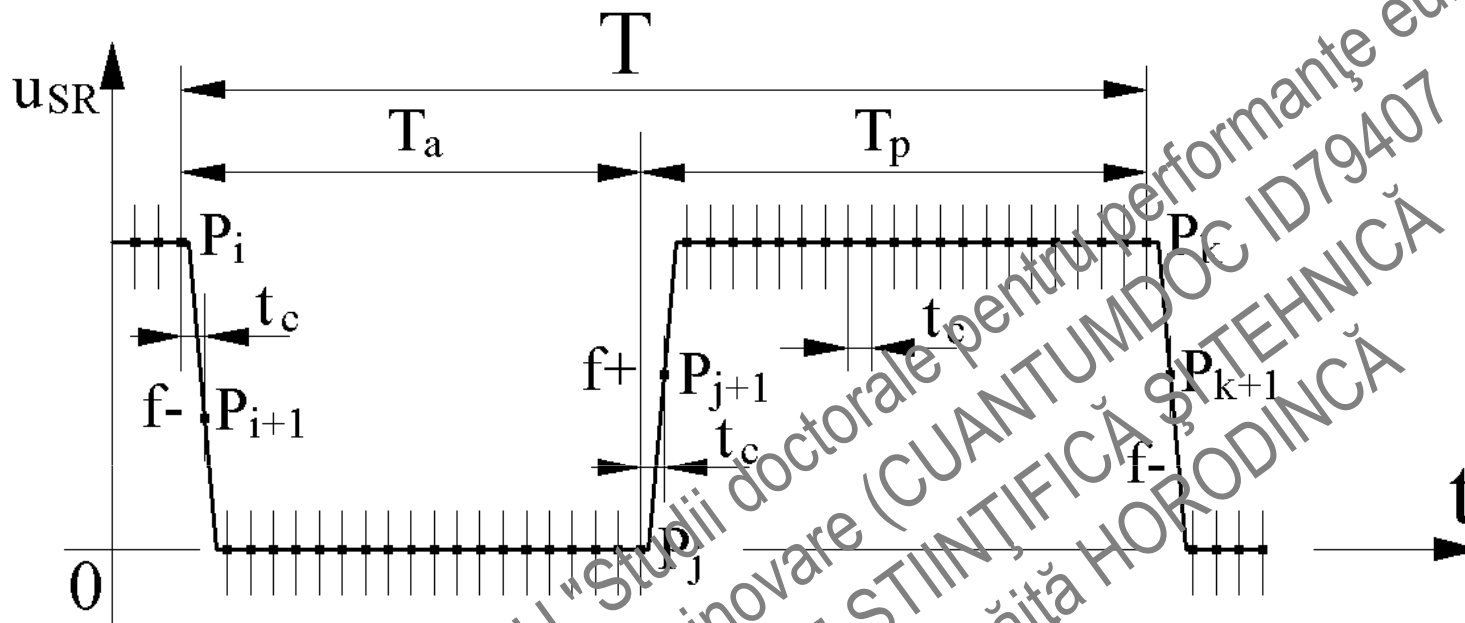
$P_i(t[i], u_{SR}[i]), P_j, P_k$ - puncte de discretizare a semnalului u_{SR}

$f-, f+$ - fronturi de semnal, descrescător respectiv crescător

T_a - durată de timp în care SMC este activat (corespunzător unghiului A)

T_p - durată de timp în care SMC nu este activat (corespunzător unghiului B)

ASPECTE PRIVIND DETECȚIA FRONTURILOR SEMNALULUI u_{SR}



Detecție f-

Dacă $(u_{SR}[i+1] - u_{SR}[i]) < -u_p$ atunci memorează $t[i]$.

Dacă $(u_{SR}[k+1] - u_{SR}[k]) < -u_p$ atunci memorează $t[k]$.

$$T_a = t[j] - t[i]$$

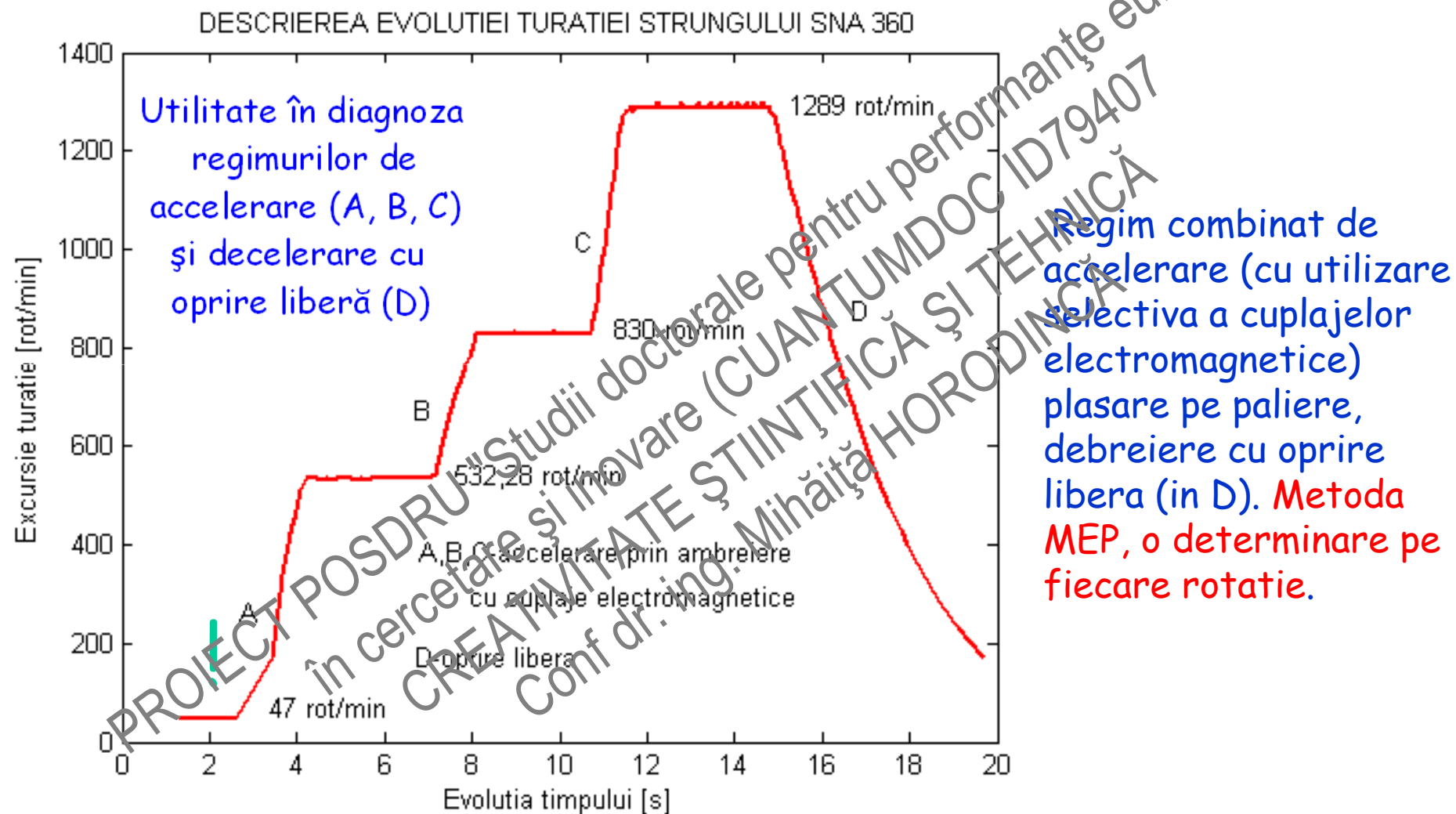
Detecție f+

Dacă $(u_{SR}[j+1] - u_{SR}[j]) > u_p$ atunci memorează $t[j]$.

$$T_p = t[k] - t[j]$$

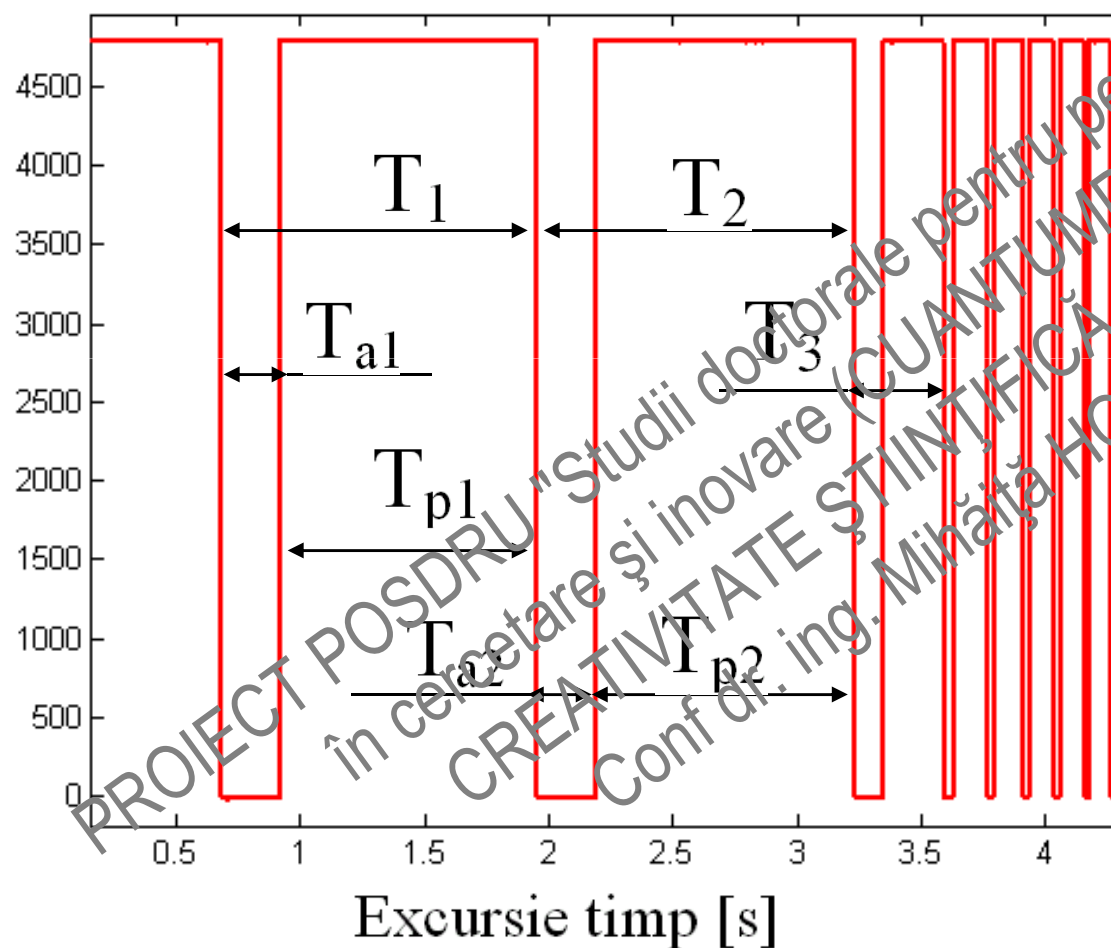
$$T = T_a + T_p = t[k] - t[i]$$

REZULTATE EXPERIMENTALE IN MONITORIZAREA TURAȚIEI PRIN METODA MEP



DESCRIEREA SEMNALULUI RECTANGULAR UTILIZAT IN METODA MEP

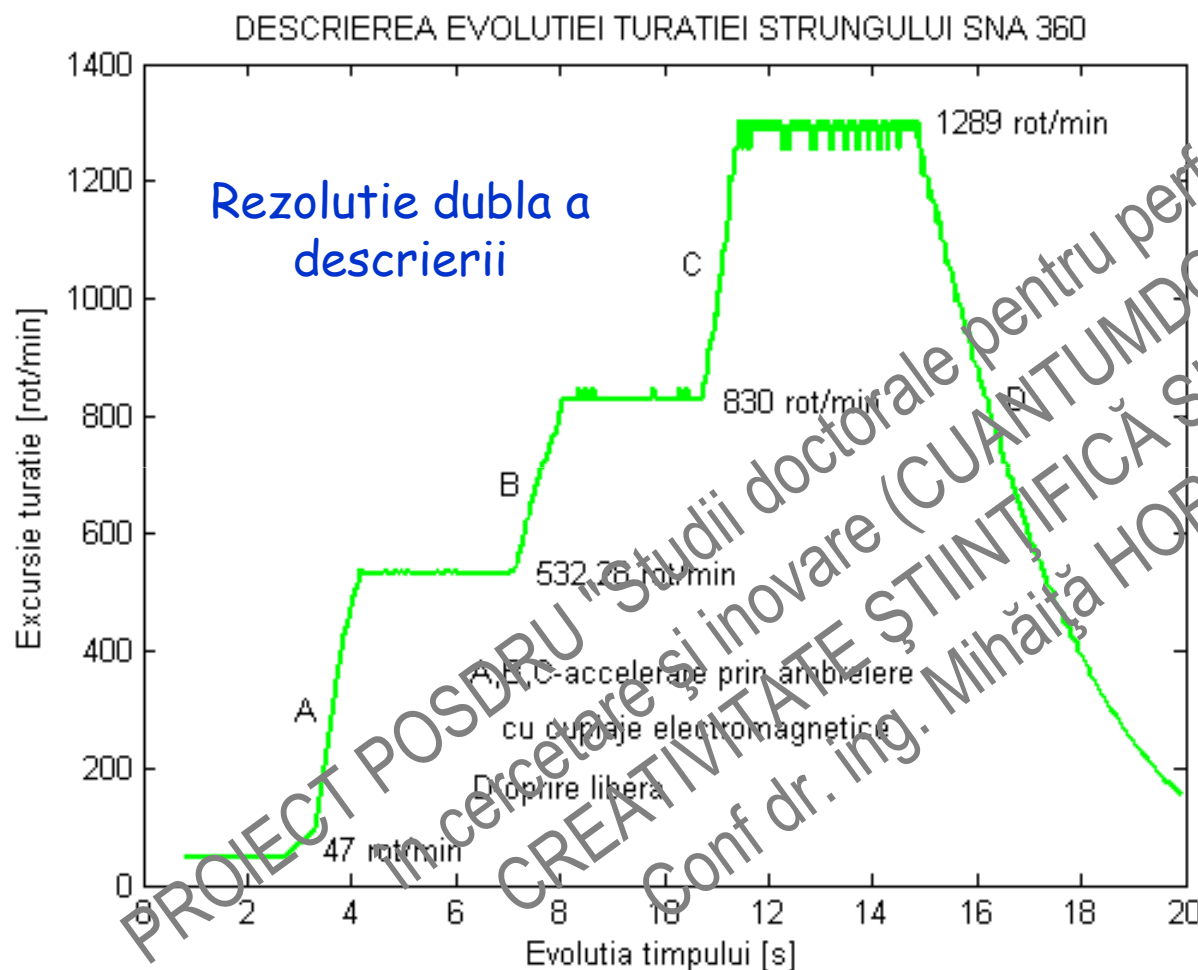
SECVENTA DE SEMNAL u_{SR} IN ZONA DE DEBUT



Secventa aferenta zonei A din figura precedenta. Se observa scaderea perioadei T cu cresterea turatiei.

Valorile mari ale perioadei la turatii mici implica rezolutii reduse de descriere (numar mic de valori experimentale ale turatiei in unitatea de timp)

REZULTATE EXPERIMENTALE IN MONITORIZAREA TURAȚIEI PRIN METODA MEP*



Evoluție pentru același regim combinat, monitorizat cu metoda MEP. Doua valori de turație pe fiecare rotație a universalului.

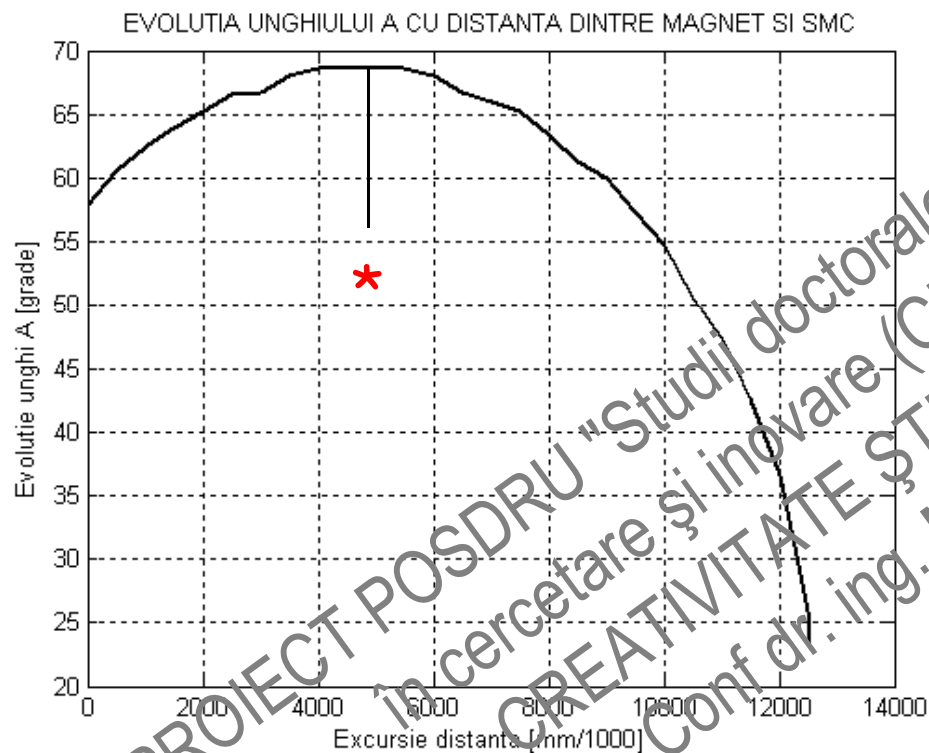
Creste zgomotul de redare pe paliere (din cauza perioadei de esantionare, a erorii principale de descriere a duratelor de timp T_{ai} și T_{pi})

$$\angle A = 66,6626^\circ$$

$$\angle B = 293,3374^\circ$$

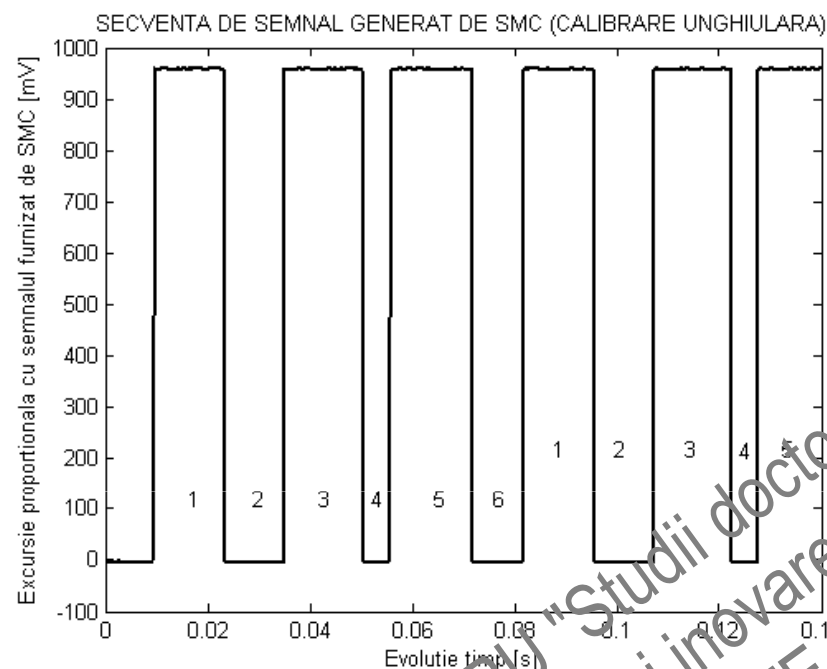
*Cu utilizarea intervalelor T_{ai} și T_{pi} din perioada curentă T_i

DETERMINARE EXPERIMENTALA A DEPENDENTEI DINTRE MARIMEA INTERSITIULUI DE PROXIMITATE SI UNGHIUL (α) DE ACTIVARE A SMC

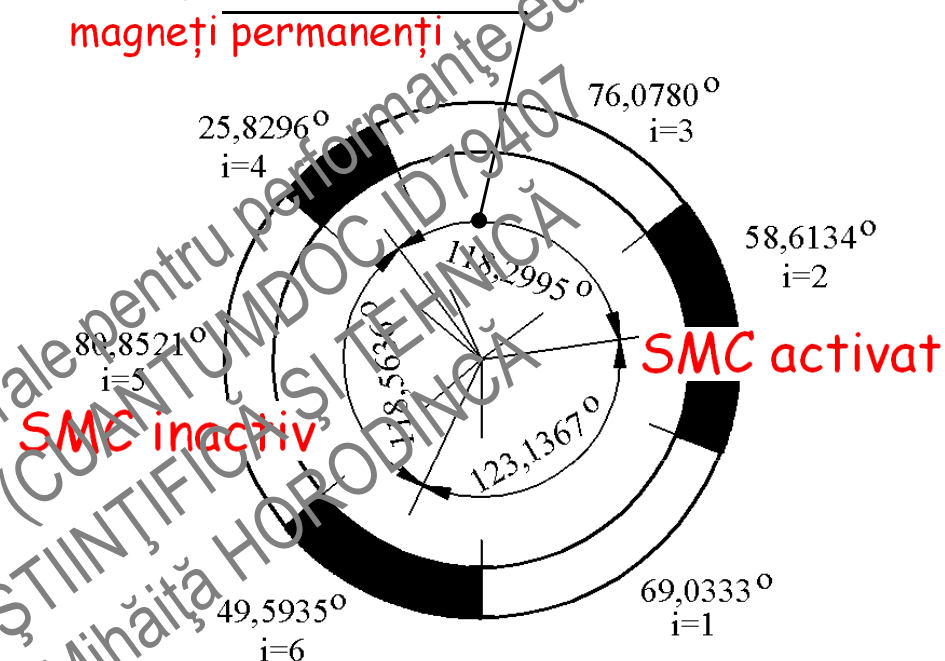


* Marimea optima a intersitiului $d \approx 5 \text{ mm}$

CALIBRARE UNGHIULARA EXPERIMENTALA LA MONITORIZAREA TURATIEI PRIN METODA MEDSG



Poziție relativă
magneți permanenți



$$\bar{T}_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N T_i^k \text{ cu } i=1 \div 6 \text{ și } k=1 \div N$$

$$\bar{\alpha}_i = 360^\circ \cdot \frac{\bar{T}_i}{T}$$

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^6 \bar{T}_i = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N T_i^k \right)$$

Valori determinate prin prelucrarea
semnalului rectangular in conditiile in
care arborele principal se roteste cu o
turatie constanta, oarecare

DESCRIEREA NUMERICA A TURAȚIEI PRIN METODA MEDSG

$$n_l = \frac{60 \cdot \bar{\alpha}_i}{360 \cdot T_l} \quad \text{cu } l = 1 \div P$$

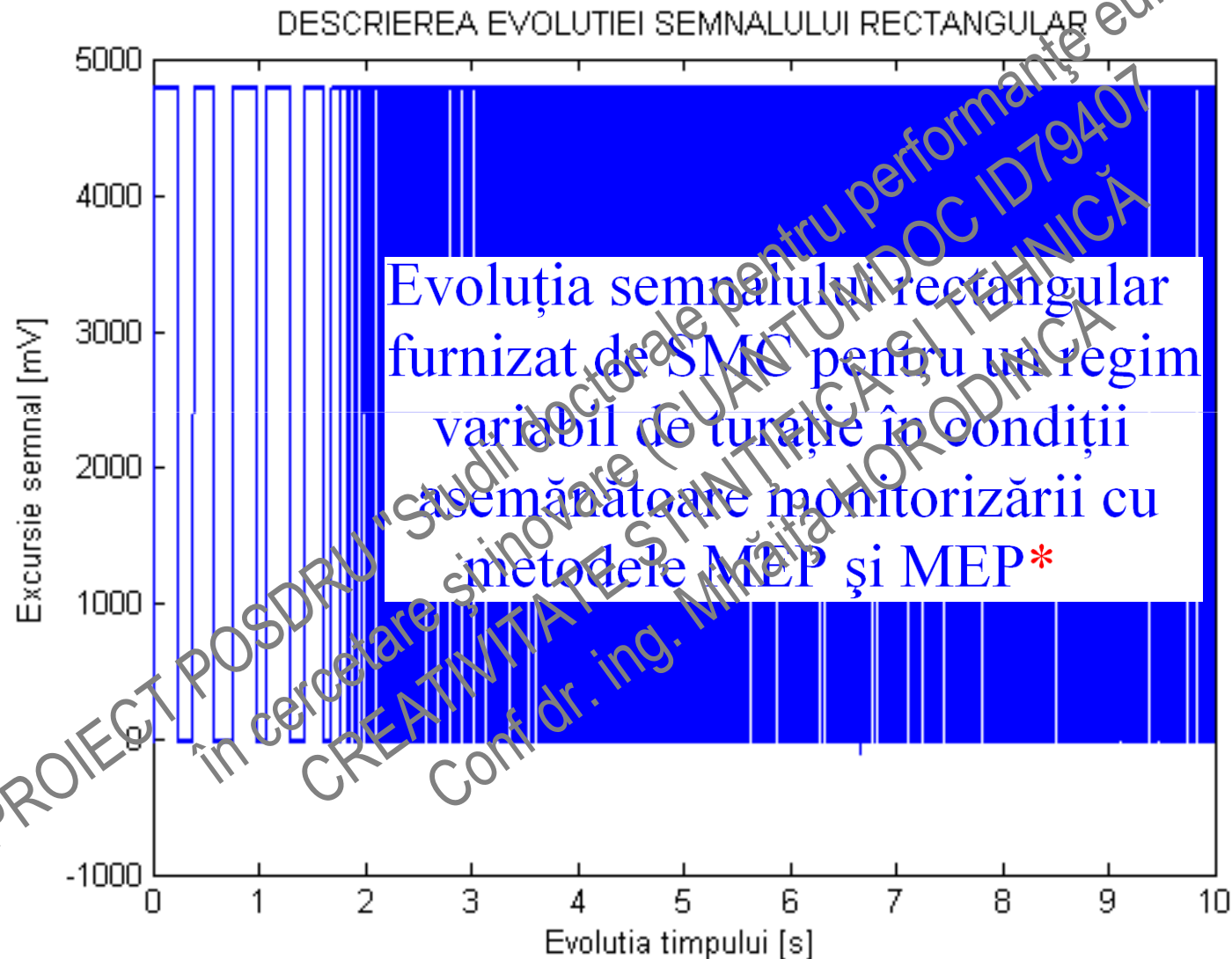
$$i = 6 \cdot \left[\frac{l+m}{6} - \text{INT} \left(\frac{l+m}{6} \right) \right]$$

n_l – turația asociată intervalului de timp curent T_l P – numărul total de intervale temporale din semnalul rectangular

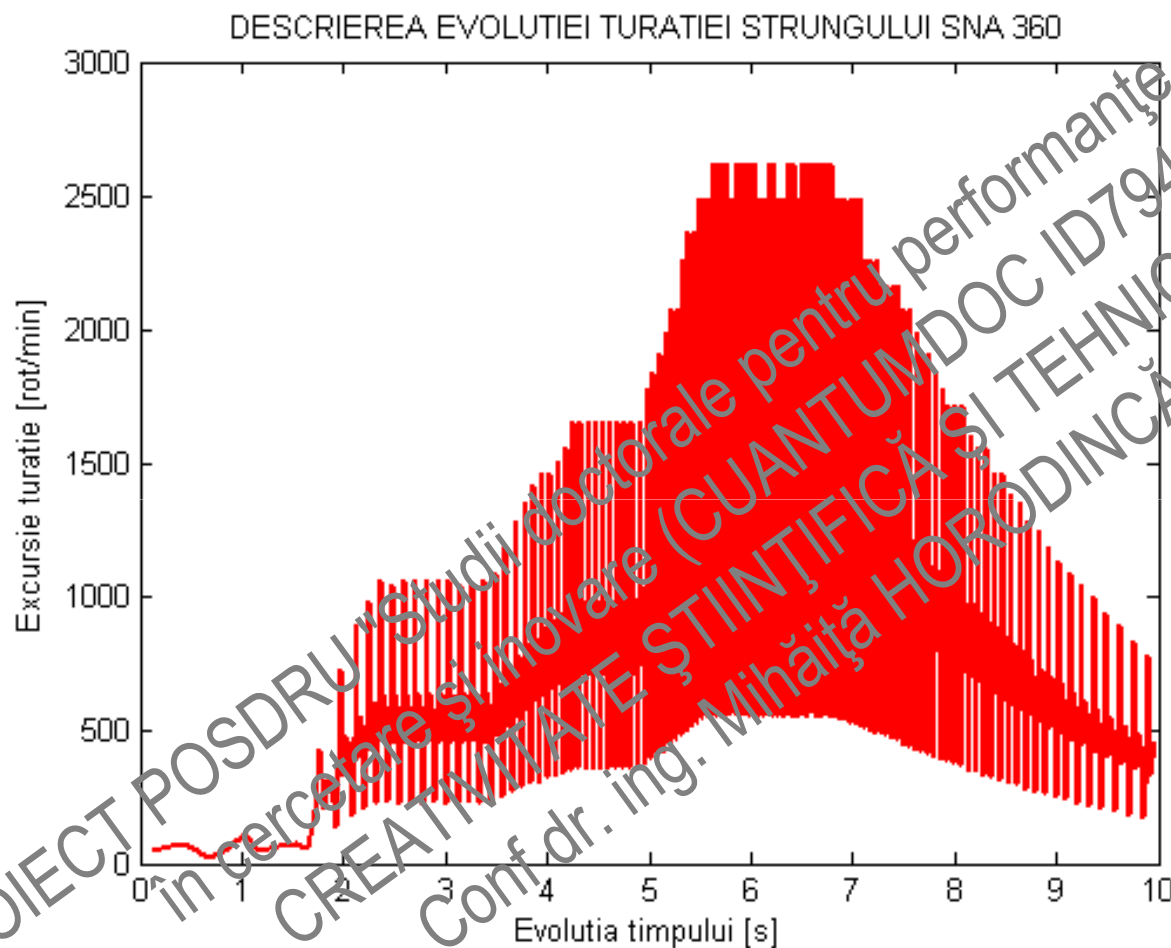
m – constantă de corespondență

între unghiul curent $\bar{\alpha}_i$ adecvat și intervalul temporal T_l ($m = 0 \div 5$)

REZULTATE EXPERIMENTALE IN MONITORIZAREA TURAȚIEI PRIN METODA MEDSG

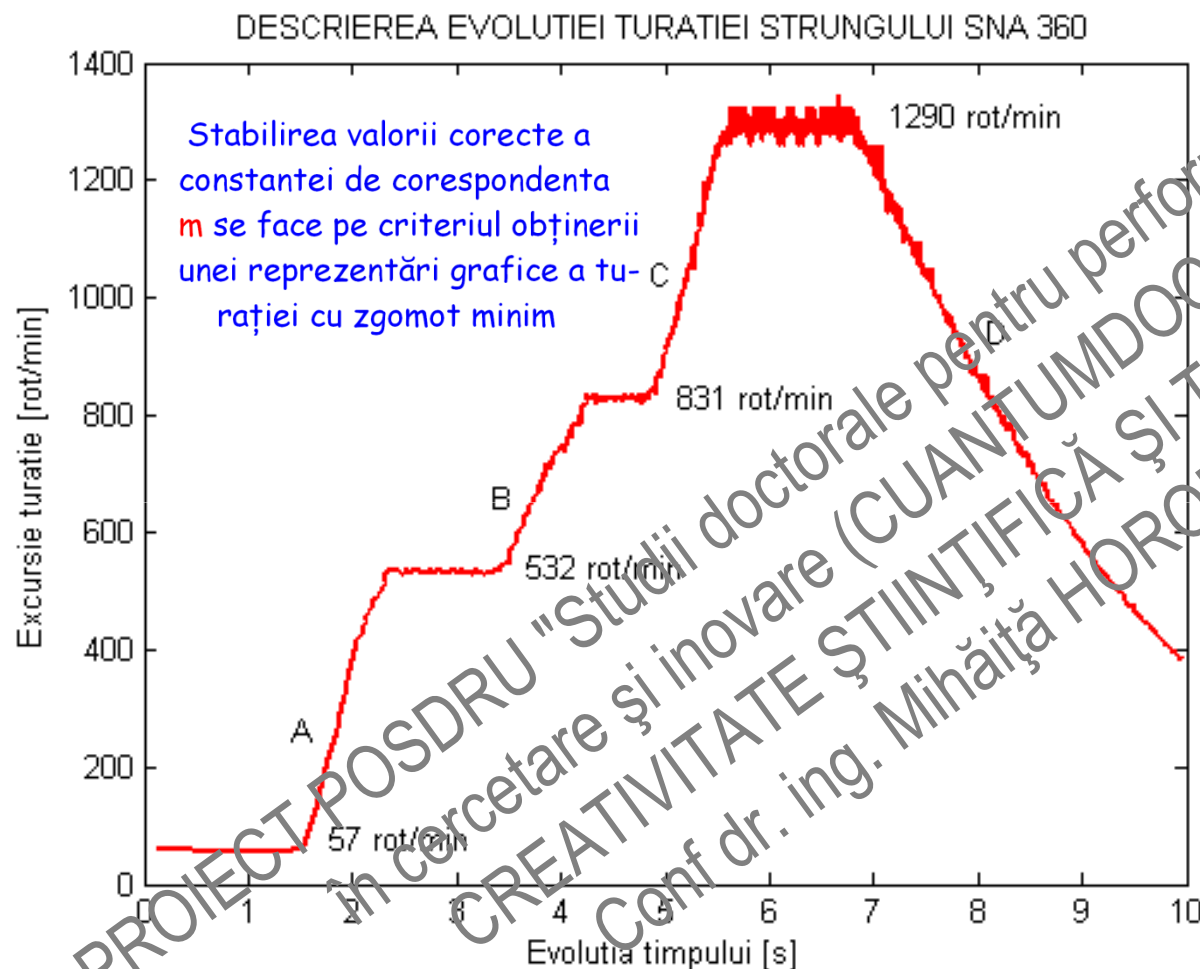


DEDUCEREA EVOLUȚIEI TEMPORALE A TURĂȚIEI PRIN PRELUCRAREA SEMNALULUI RECTANGULAR



Redare viciată (cu zgomot) datorită utilizării unei valori neadecvate a
constantei de corespondență m

DEDUCEREA EVOLUȚIEI TEMPORALE A TURĂȚIEI PRIN PRELUCRAREA SEMNALULUI RECTANGULAR

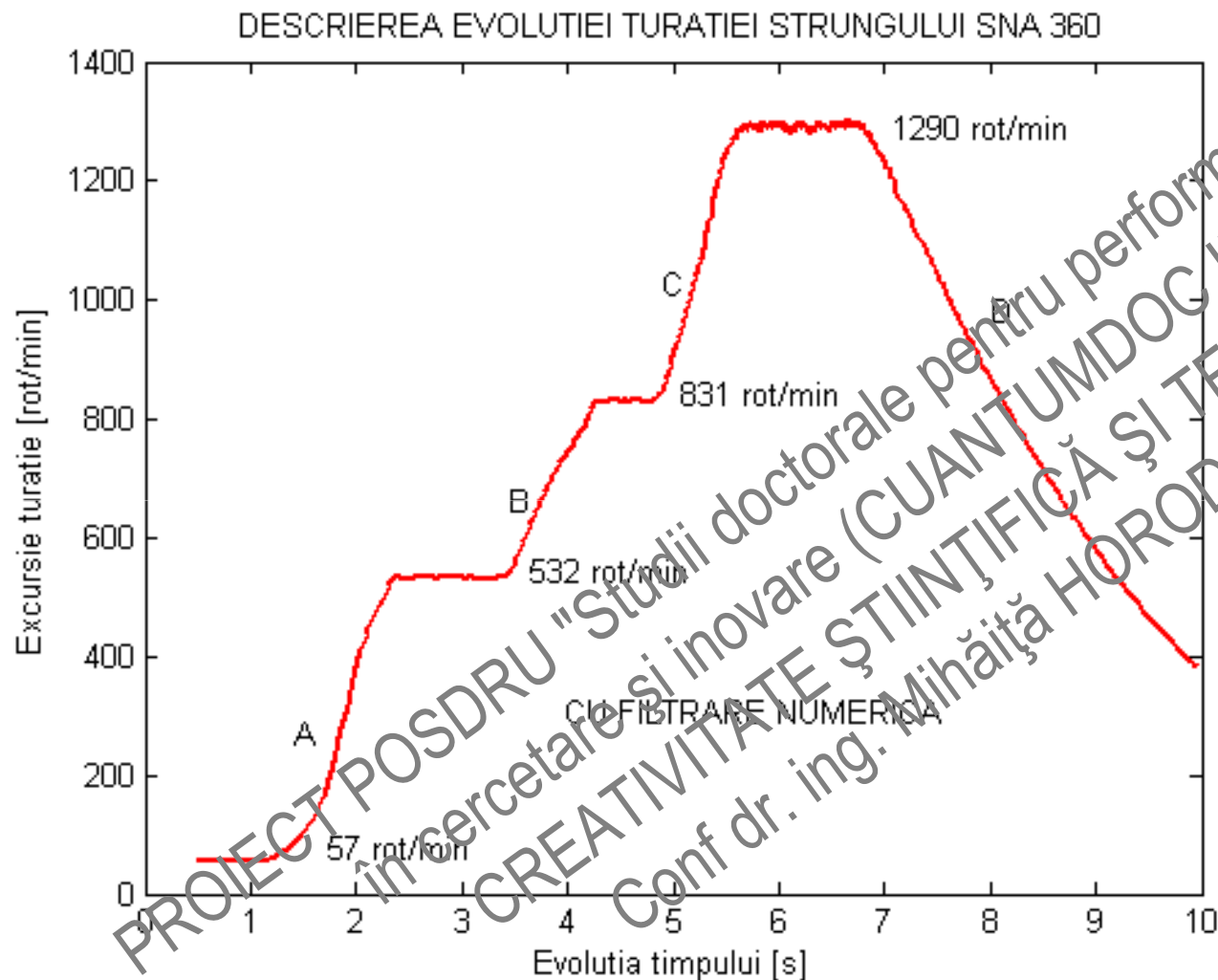


Cresterea rezolutiei de descriere a turatiei (sase valori pe fiecare rotatie a arborelui principal) asigura o descriere mai buna la turatii mici (vezi debutul fazei A).

Zgomotul de pe palierul de 1290 rot/min poate fi inlaturat prin filtrare numerica

Redare corecta datorită utilizării unei valori adecvate a constantei de corespondență m ($m=5$)

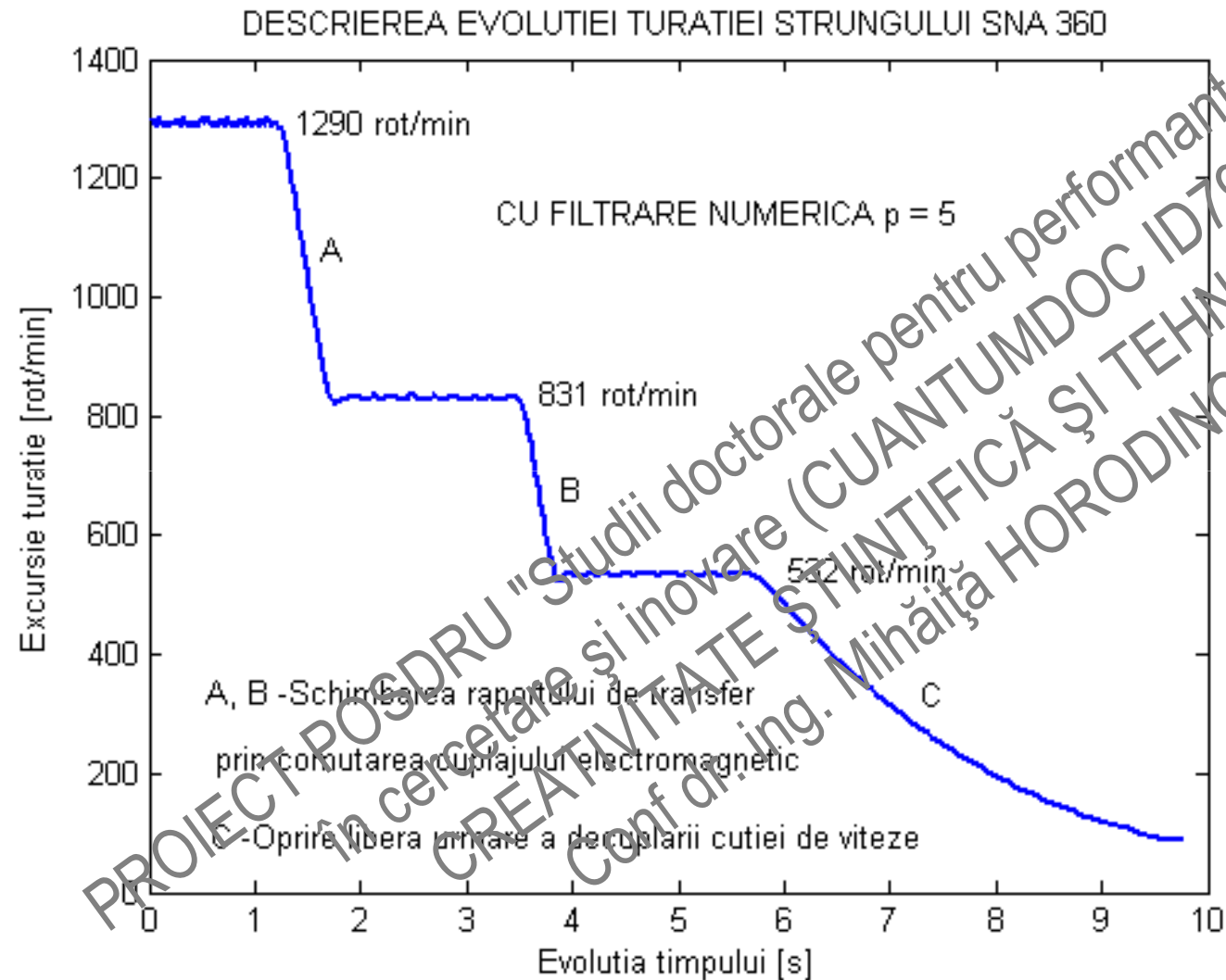
REDAREA EVOLUȚIEI TEMPORALE A TURAȚIEI CU FILTRARE NUMERICĂ*



Filtrarea numerica reduce zgomotul dar trebuie utilizata cu prudenta, se reduce panta fronturilor de semnal (a se compara debutul zonei A aici si in figura anterioara)

* Cu filtru de tip medie alunecatoare materializat virtual (software)

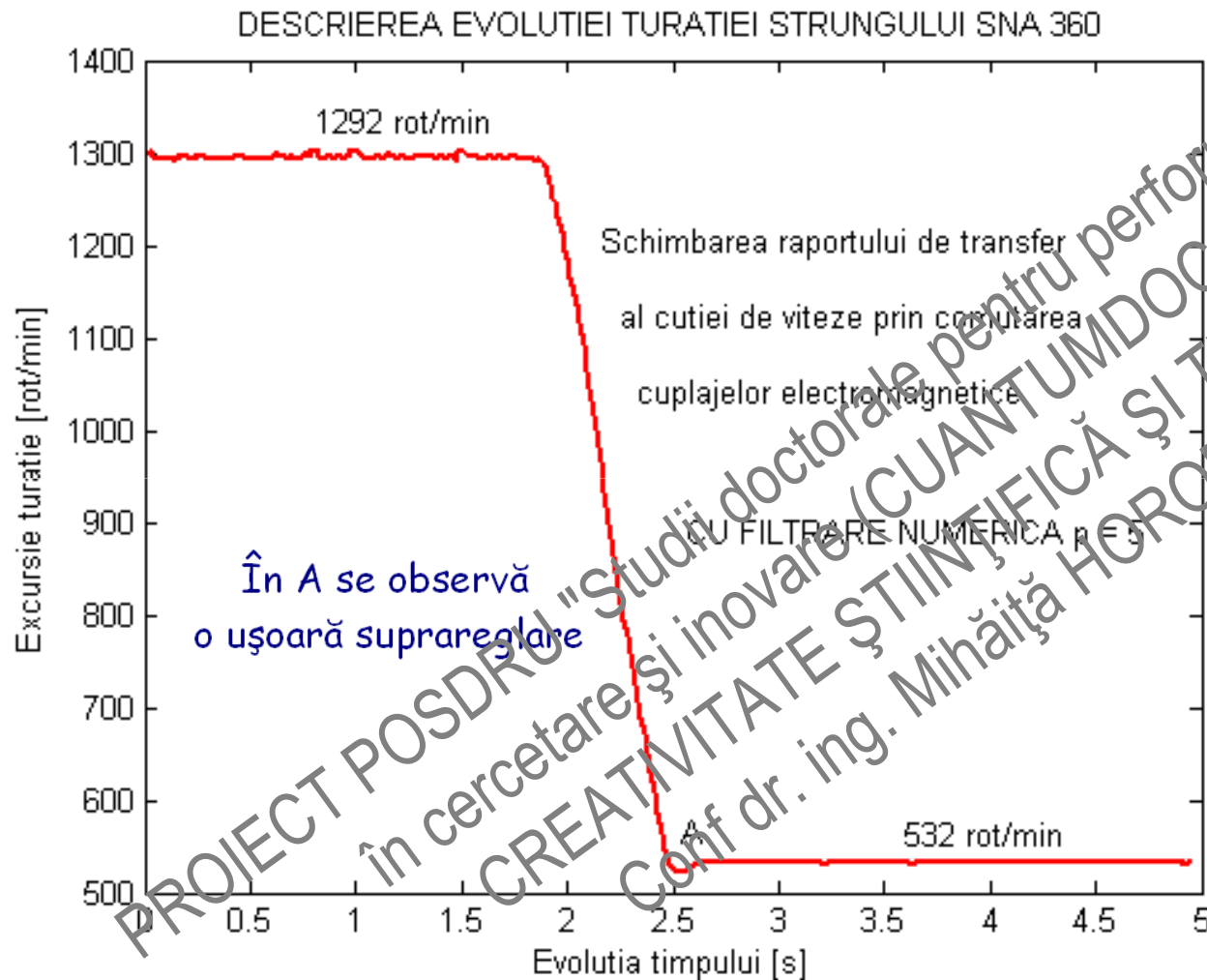
ALTE REGIMURI CU TURATIE VARIABILA MONITORIZATE PRIN METODA MEDSG



Evolutie utila in
diagnoza
regimurilor de
decelerare cu
franare (A, B)

Cu comutatie cuplajelor cu trecere intre paliere descrescatoare (A, B)
si decuplare cu oprire libera (C)

ALTE REGIMURI CU TURATIE VARIABILA MONITORIZATE PRIN METODA MEDSG



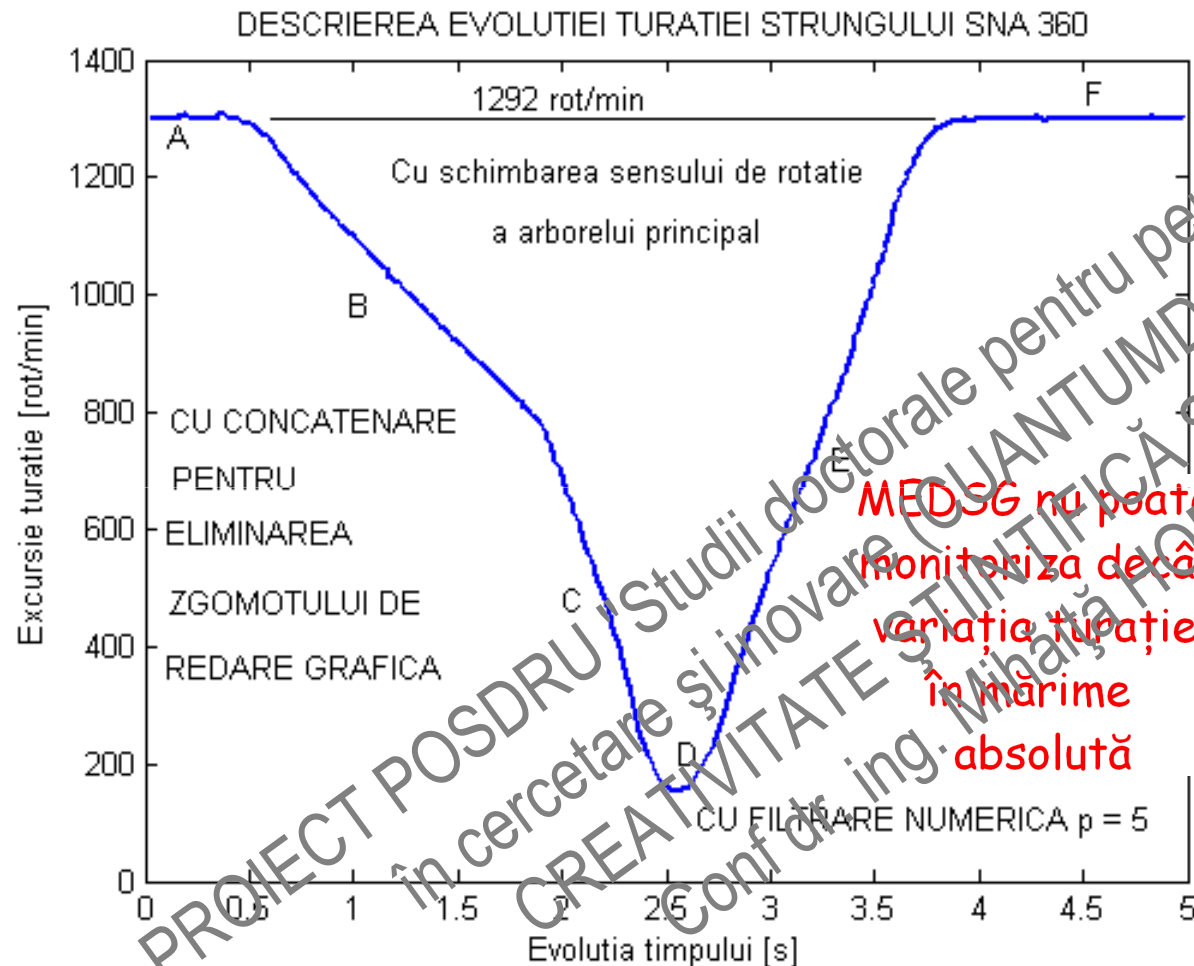
Se poate calcula
acceleratia unghiuri-
lăra pe front

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

Cu $\Delta n = -760$ rot/min
și $\Delta t = 0,7$ s rezultă:
 $\varepsilon = -113,63 \text{ rad/s}^2$

Cu comutarea cuplajelor cu trecere între paliere descrescătoare (de la 1290 rot/min la 532 rot/min). Electromotorul lucrează ca frână.

ALTE REGIMURI CU TURATIE VARIABILA MONITORIZATE PRIN METODA MEDSG



MEDSG nu poate monitoriza decât variația turăției în mărime absolută

La trecerea din A în B se realizează debrayerea cutiei de viteze (reducere naturală a vitezei prin frecări interne). Anterior instalării lui C se realizează inversarea sensului de rotație al motorului. Instalarea lui C se produce prin ambreiere, urmată de franare de către motor. D corespunde momentului trecerii turăției prin zero (nesesizabil). În E se produce accelerarea cutiei de viteze.

Cu schimbarea sensului de rotație a arborelui principal

CONCLUZII. DEZVOLTĂRI ULTERIOARE

Metodele prezentate pentru monitorizarea evoluției temporale a turației (vitezei unghiulare) au o utilitate practică evidentă, ușor de aplicat, cu un aparat experimental minimal, asistat de calculator. În lucrare sunt evidențiate **avantajele și limitările** metodelor. S-a pus accentul pe valorificarea resurselor de programare în mediul Matlab pentru surmontarea diferitelor aspecte de natură experimentală. În viitor se intenționează rezolvarea unui neajuns esențial al sistemului de monitorizare propus, anume **rezoluția scăzută** a descrierii evoluției turației,