

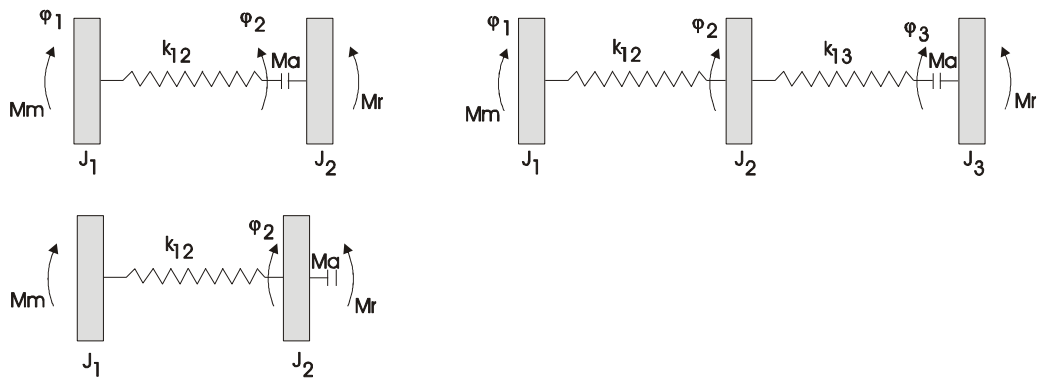
# PROPUNERE DE MODELE DINAMICE PENTRU SISTEMELE DE TRACTIUNE ALE UTILAJELOR TEHNOLOGICE AUTOPROPULSATE

Axinti Adrian Sorin – S.L.drd.ing.  
Facutatea de Inginerie din Braila  
Universitatea “ Dunarea de Jos” Galati

**Summary:** Presents classify it a draft systems after these structure, classifying the systems in: mechanic systems draft complete –STIM, the mechanic hydrostatical draft systems –STMH and hydrostatical systems draft complet -STIH. Each the model structural contains the components elemental from dynamic viewpoints: the engine thermic as the energy of source, the transmission of system of the draft system, the movement of system size from the wheels with his tire the caterpillars of equipment self-propelled. For structural each model is achieved the dynamic model which to achieved dynamic analyses through products, realizations excitation of road (the bed bearer). The models permitted his author the analysis of behavior dynamic produced, of the dislevelments, of the consistence road. The must these realization his due models needs of study the behavior dynamic and the draft of compare systems of structures miscellaneous, mechanics, mechanic hydraulics and hydraulics.

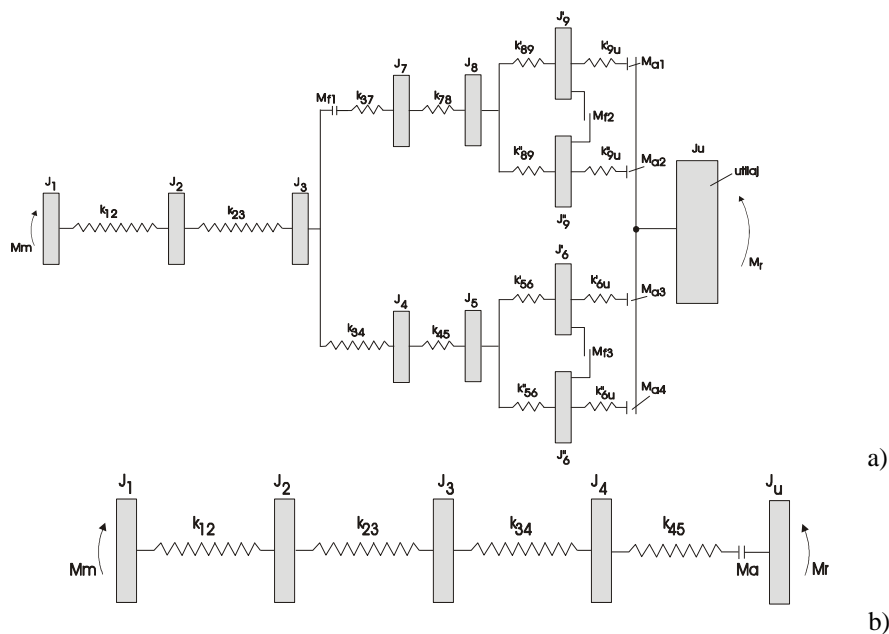
## 1. INTRODUCERE. CLASIFICAREA SISTEMELOR DE TRACTIUNE

Sistemele de tractiune ale utilajelor tehnologice sunt sisteme complexe formate dintr-un numar mare de componente mecanice, hidrostatice, sau combinatii ale acestora, componente ce interactioneaza reciproc in scopul deplasarii utilajului in diverse conditii de deplasare. Modelarea dinamica a acestora pentru toate situatiile intalnite in exploatare este imposibil de realizat, cel putin in conditiile si cu metodele de modelare disponibile in prezent. Sunt cunoscute modele realizate pentru studiul comportarii dinamice a sistemelor de tractiune in conditiile simularii demarajului sau a franarii mecanismului de deplasare, miscarea in diverse conditii de drum, miscarea in diverse conditii de reglare a parametrilor dinamici ai sistemului, etc. Pentru studiul comportarii dinamice se utilizeaza modele dinamice simple cu unul sau doua grade de libertate, la care sistemul de tractiune este substituit cu una, doua sau trei mase concentrate legate intre ele cu elemente de transmisie considerate sisteme elastice de o anumita rigiditate. Aceste modele sunt utilizate in mod exclusiv pentru sistemele de tractiune integral mecanice - STIM. In figura 1 sunt prezentate modele dinamice simple cu unu sau doua grade de libertate utilizate pentru studiul comportarii dinamice a sistemelor de tractiune a utilajelor tehnologice.



**Fig. 1. Modele pentru transmisia mecanica de deplasare a utilajelor tehnologice**

O alta categorie de modele utilizata pentru studiul comportarii dinamice a sistemelor de tractiune este data de modelele cu mai multe grade de libertate, utilizate in special pentru modelarea sistemelor integral mecanice –STIM, la care componentele mecanice ale sistemului sunt modelate ca elemente elastice caracterizate de o anumita rigiditate. Aceste modele permit sa se studieze influenta in comportamentul dinamic al ansamblului a unor anumitor componente ale transmisiei (cuplaje, cutie de viteze, transmisie cardanica, diferential, roata, pneu, etc). Un asemenea model este utilizat pentru un utilaj cu tractiune integrala 4x4, ce ia in considerare posibilitatile de patinare ale fiecarei roti a sistemului de deplasare, dar si de existenta ambreiajelor de cuplare si decuplare a puntii fata si a ambreiajelor de blocare a diferentialelor. Modelul este prezentat in figura 2.



**Fig. 2. Model dinamic cu mai multe de grade de libertate**  
a) Model dinamic complet, b) Model dinamic simplificat.

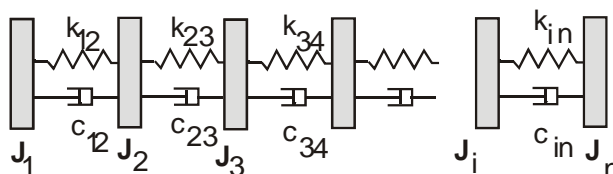
$J_i$  ( $i=1,2,3,\dots$ )-momente de inertie mecanice,  $k_{ij}$ - rigiditati ale componentelor sistemului de tractiune,  $M_m$ - momentul motor,  $M_r$ - momentul rezistent,  $M_{ai}$ -momentul de aderenta,  $M_{fi}$ -momente de frictiune in ambreiaje.

Modelul dinamic prezentat in figura 2 reprezinta un model complex, ramificat, ce tine cont de toate componentele fizice ale transmisiei, de aderenta pneurilor sistemului la calea de rulare, de existenta ambreiajelor si prin expresiile momentelor  $M_m$  si  $M_r$  de momentele motor si rezistent.

Dezavantajul acestui model consta in faptul ca este prea complicat, are prea multe variabile si marimi perturbatoare ce fac dificila utilizarea lui in special la modelele STMH la care pe langa variabilele sistemului mecanic (unghiurile si vitezele unghiulare de rotatie) intervin si variabilele sistemului hidraulic (presiuni, viteze unghiulare, debite, etc). Modelul prezentat se preteaza la

modelarea pe calculatoare analogice sau numerice la care ipotezele de simplificare ale modelului real trebuie bine controlate dar si variabilele sistemului trebuie bine conturate pentru a se obtine concluziile asupra comportarii sistemului. Modelul prezentat se poate simplifica obtinanduse modele cu unu sau doua grade de libertate ca cele prezentate in figura 1 care au dezavantajul ca nu permit determinarea solicitarilor dinamice decat pentru un numar redus de elemente ale transmisiei.

Un pas spre generalizarea modelelor dinamice pentru sistemele de tractiune il constituie modelele cu numar finit de grade de libertate, la care se iau in considerare in model pe langa rigiditatea componentelor mecanice ce compun structura sistemului de tractiune si factorii de amortizare introdusi de componentele sistemului. Marimile fizice ce caracterizeaza asemenea sisteme sunt rigiditatile elementelor structurale notate  $k_{ij}$  si amortizarile acelorasi elemente notate  $c_{ij}$ . in figura 3 se prezinta modelul dinamic al unui sistem de tractiune STIM, la care modelul unei componente este reprezentat de variatia rigiditatii si amortizarii acesteia.



**Fig. 3. Model dinamic cu numar finit de grade de libertate, cu elementele structurale modelate ca elemente elastice si cu amortizare**

$J_i$ - momentele de inerție ale componentelor structurale ,  $k_{ij}$ - rigiditatile elementelor structurale,  $c_{ij}$ - factorii de amortizare ai elementelor structurale.

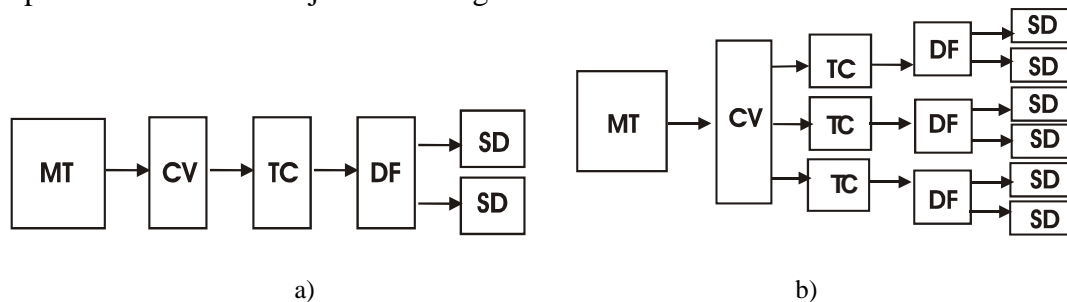
Pentru a se realiza modelele matematice pe care sa se studieze comportarea sistemului la excitatiile produse de denivelarile caii de rulare este necesara realizarea unei clasificari ale tipurilor caracteristice de sisteme de tractiune prezentate, tinand cont de caracteristicile dinamice ale componentelor acestor sisteme. Aceste tipuri contin elementele de baza ale transmisiei cuplate între ele astfel incat sa realizeze caracteristicile de tractiune specifice unui anumit utilaj autopropulsat. Modelele avute in vedere trebuie sa raspunda urmatoarele cerinte:

- Sa tina cont de caracteristicile dinamice produse de componentele transmisiei mecanice si modul de cuplare a acestora (angrenaje, arbori, cardane, planetare, cuplaje, etc);
- Sa tina cont de caracteristicile dinamice produse de componentele transmisiei hidrostatice si modul de cuplare a acestora (pompe si motoare hidraulice rotative, retea hidraulica, mediul hidraulic utilizat ca agent de lucru, etc);
- Sa tina cont de rigiditatea si amortizarea liniara si unghiulara introdusa de organul de deplasare (pneu sau senila) la excitatia produsa de calea de rulare;
- Sa tina cont de caracteristicile vascoelastice ale mediului din care este compusa calea de rulare si de gradul de deformabilitate a acestuia;
- Sa ia in considerare excitatia cinematica produsa de denivelarile calii de rulare, prin momentele rezistente la roțile utilajului;
- Sa tina cont de atingerea momentului de aderenta al utilajului, si deci de eventualele “patinari” ale organului de deplasare in raport cu calea;
- Sa tina cont de caracteristica moment – viteza unghiulara, de pe caracteristica externa a sursei (motor termic) si de legile de reglare ale sistemului hidraulic;
- Sa realizeze un model dinamic simplu dar concludiv pentru a estima, prin modelare numerica, influenta drumului asupra comportarii dinamice a sistemului de tractiune;
- Sa se realizeze modele pentru sisteme tipice de tractiune care sa permita compararea acestora la diverse solicitari induse de calea de rulare.

Din aceste puncte de vedere se pot realiza urmatoarele tipuri caracteristice de sisteme de tractiune:

## Sistemul de tractiune integral mecanic –STIM

Acest sistem de tractiune este caracterizat de faptul ca ansamblul realizat intre motorul termic, ca sursa de energie si organul de deplasare al utilajului, format din roți pe pneuri sau senile, este alcatuit in exclusivitate numai din componente mecanice sub forma de sisteme de roți dintate, axe si arbori, organizate in componente specifice (cutii de viteze, reductoare planetare, diferentiale, transmisii cardanice, cuplaje, etc). Aceste componente realizeaza schema functionala a utilajului prin diverse modalitati de cuplare, a ordinii de interventie in sistem si a locului de plasare a componentei in schema functionala. Aceasta organizare a schemei determina atingerea parametrilor functionali scontati pentru sistem dar si un anumit comportament dinamic al acestuia determinat de parametrii dinamici ai sistemului (momente de inertie, caracteristici de rigiditate si amortizare, etc). Tipologia acestor sisteme este redată in figura 4 ce include majoritatea sistemelor integral mecanice utilizate pentru actionarea utilajelor tehnologice.



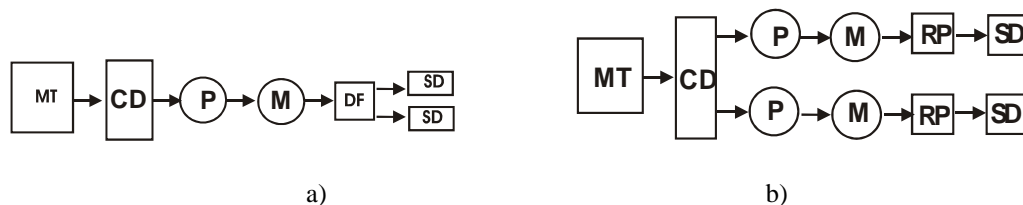
**Fig. 4. Modelul sistemelor de tractiune integral mecanice STIM**

a) sistem cu o linie energetică; b) sistem cu mai multe linii energetice.

M.T-motor termic; CV-transmisie mecanică cu roți dintate-cutie de viteze; TC-transmisie cardanică; DF-diferențial; OD/SD- organ/sistem de deplasare.

## Sistemul de tractiune mecano- hidrostatic –STMH

Este caracterizat de faptul ca sistemul realizat intre motorul termic ca sursa de energie si organul de deplasare al utilajului, format din roți pe pneuri sau senile, este alcatuit din componente mecanice de tipul celor prezentate anterior la care se adauga componente hidrostactice formate din pompe, motoare, aparatura de distributie si protectie, rețea hidraulică, etc. Acestea prin intermediul mediului lichid utilizat ca agent hidraulic contribuie la transmiterea energiei in sistem la parametrii doriti, dar prin caracteristicile dinamice proprii influenteaza comportarea dinamică a sistemului de tractiune al utilajului. Caracteristicile elastice si de amortizare ale agentului hidraulic si aparatelor hidraulice se adauga caracteristicilor componentelor mecanice utilizate, determinand comportarea dinamică a întregului sistem de tractiune. Tipologia acestor sisteme este redată in figura 5 ce include majoritatea sistemelor mecano-hidraulice utilizate pentru actionarea utilajelor tehnologice.



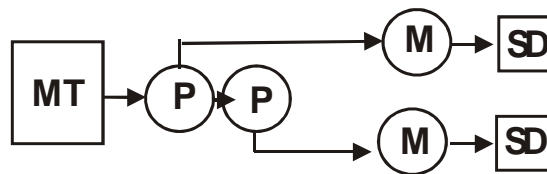
**Fig. 5. Modelul sistemelor de tractiune mecano-hidraulice STMH**

a) utilaje pe pneuri; b) utilaje pe senile.

MT-motor termic; CD, DF, RP-transmisie mecanică cu roți dintate(cutie de distributie,diferențial,reductor planetar); P, M-transmisie hidrostatică; OD/SD- organ/sistem de deplasare.

## Sistemul de tractiune integral hidrostatic- STIH

Este caracterizat de faptul ca actionarea realizata intre motorul termic ca sursa de energie si organul de deplasare al utilajului, format din roti pe pneuri sau senile, este alcatuita in exclusivitate din componente hidrostactice cuplate in circuit deschis sau inchis. Caracteristicile dinamice ale sistemului sunt influentate de caracteristicile dinamice ale componentelor hidrostactice utilizate, de modul de comanda si reglare a acestor componente si de modul de cuplare in sistem. Tipologia acestor sisteme este redata in figura 6 ce include majoritatea sistemelor integral hidrostactice utilizate pentru actionarea utilajelor tehnologice.



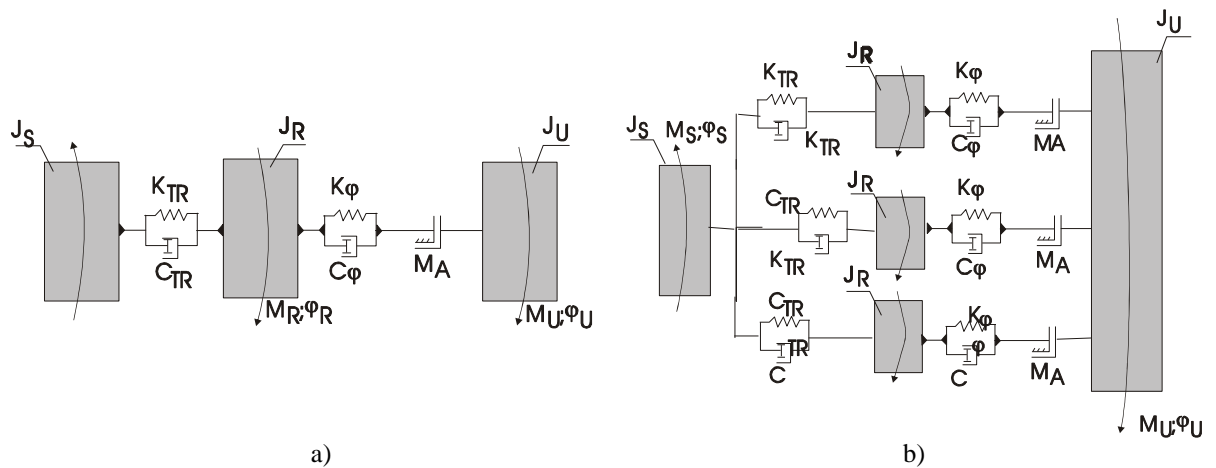
**Fig. 6. Modelul sistemelor de tractiune integral hidrostactice STIH**  
M.T-motor termic; P,M-transmisie hidrostatica; OD/SD- organ/sistem de deplasare.

In cazul acestui sistem motorul termic actioneaza direct pompa sau pompele volumice (montare tandem), iar motoarele volumice, in acest caz lente, actioneaza direct organul de deplasare al utilajului. Comportarea dinamica a sistemului de tractiune este influentata de comportarea dinamica a verigii hidrostactice (pompa-retea-motor-reglare hidraulica).

## 2. MODELE DINAMICE

### Structura modelului dinamic propus pentru- STIM

Sistemul de tractiune integral mecanic-STIM, avand componente mecanice de aceiasi natura, se reduce la un model dinamic echivalent cu doua grade de libertate, unul reprezentat de motorul termic al utilajului, ca sursa de energie autonoma, iar celalalt de organul de deplasare al utilajului, respectiv roata cu pneu sau senila utilajului. intre cele doua componente precizate se interpune transmisia mecanica a utilajului caracterizata de rigiditatea echivalenta  $k_{TR}$  si de factorul de amortizare echivalent al transmisiei  $c_{TR}$ . Modul de calcul al acestor marini a fost prezentat. Sistemul realizat este redus la axul motorului termic, caracterizat de unghiul de rotatie  $\phi_s$ . Momentul de inertie mecanic  $J_s$  este deasemenea redus la axul motorului termic si contine momentul propriu al motorului dar si momentele de inertie ale celorlalte componente ale transmisiei mecanice. Momentul  $M_s$  reprezinta momentul activ aplicat transmisiei si rezulta de pe caracteristica externa a motorului termic definita de o lege de forma  $M_s=f(\dot{\phi}_s)$ . Momentul de inertie mecanic  $J_R$  reprezinta momentul de inertie al organului de deplasare de pe aceiasi axa a utilajului (rotile cu pneu de pe aceiasi punte sau senilele). La acest moment de inertie se adauga momentul de inertie redus al utilajului  $J_u$  pana la atingerea momentului de aderenta  $M_A$  (figura 7a). In mod asemanator se procedeaza si la utilajeje cu mai multe axe active ( figura 7b). In cazul cutiilor de viteze cu mai multe trepte de viteze caracteristicile de rigiditate, amortizare, momentul de inertie mecanic redus si momentul activ vor fi evaluate pentru fiecare trapta si intra corespunzator in modelul dinamic.



**Fig. 7. Modelul dinamic pentru sistemele integral mecanice STIM**

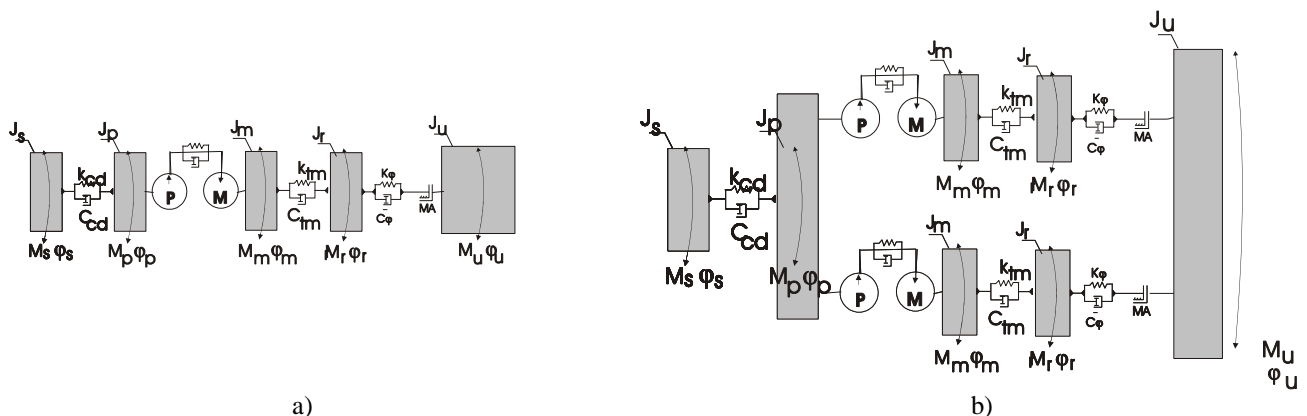
a) sistem cu o linie energetica; b) sistem cu mai multe linii energetice.

$J_S, M_S, \varphi_S$  -parametrii dinamici ai motorului termic;  $J_R, M_R, \varphi_R$  -parametrii dinamici ai organului de deplasare (roata sau senila);  $J_U, M_U, \varphi_U$  -parametrii dinamici ai utilajului ;  $k_{TR}, k_\phi$  -rigiditatile transmisiei mecanice si a elementului activ al sistemului de deplasare (pneu sau za);  $c_{TR}, c_\phi$  - factorii de amortizare corespunzatori transmisiei si sist. de depl.;  $M_A$  - limita de aderenta la organul de deplasare al utilajului.

In situatiile prezentate aspectul cel mai important in realizarea modelului dinamic se refera la determinarea rigiditatilor si factorilor de amortizare echivalenti ai componentelor mecanice utilizate in transmisia mecanica. Modelarea sistemului de tractiune se considera pentru cazul prezentat in figura 7a, a unui utilaj cu o singura punte motoare si echipat cu roti cu pneuri.

### Structura modelului dinamic propus pentru STMH

Sistemul de tractiune mecano-hidraulic-STMH, se reduce la un model dinamic echivalent format din doua sau mai multe sisteme cu doua sau trei grade de libertate, ce modeleaza comportarea dinamica a componentelor mecanice (cutii de distributie, cutii de viteze, reductoare, etc), legate intre ele prin componente hidrostactice ( pompa-retea-motor), figura 8.



**Fig. 8. Modelul dinamic pentru sistemele mecano-hidraulice STMH**

a) model cu o singura linie energetica; b) model cu doua linii energetice.

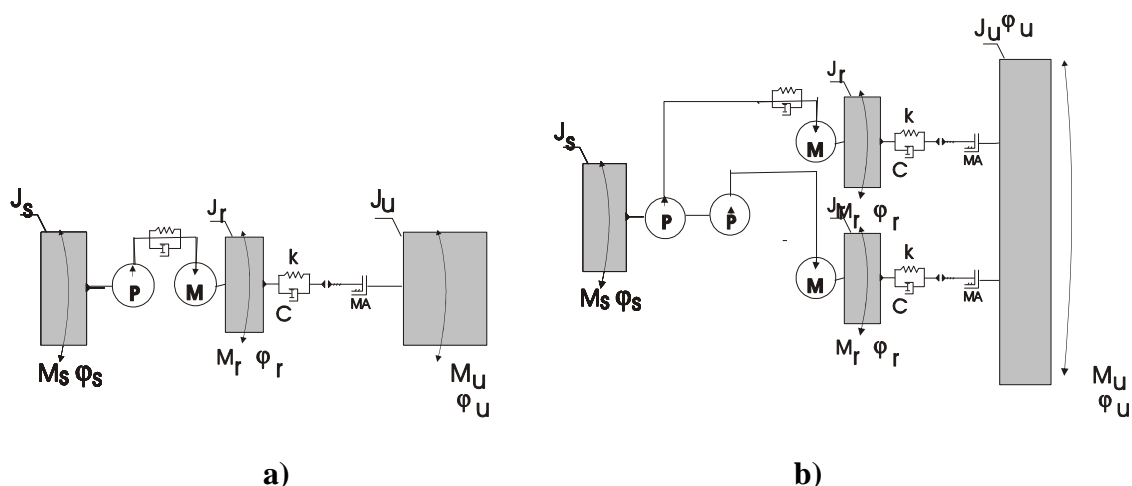
Pentru sistemele de tractiune cu o singura linie energetica, cum sunt utilajele pe pneuri cu o singura punte motoare (4x2) sau utilajele pe pneuri cu doua sau mai multe punti motoare (4x4; 6x4; 6x6), la care veriga hidrostatica (P-M) este interpusa intre sursa de energie (MT) si sistemul de tractiune realizat integral mecanic, modelul propus este cel din figura 8a. Motorul termic si cutia de distributie inclusiv cupajul sunt modelate ca un sistem cu doua grade de libertate, caracterizat de rigiditate si factor de amortizare echivalent, ce actioneaza componenta primara a sistemului

hidrostatic-pompa volumica-P. Sistemul de tractiune, inclusiv sistemul de deplasare sunt modelate ca un sistem cu trei grade de libertate, puse in miscare de componenta secundara a sistemului hidrostatic- motorul volumic-M. Componentele mecanice ale transmisiei sunt modelate ca elemente vascoelastice caracterizate de rigiditatea echivalenta- $k_{tm}$  si factorul de amortizare echivalent-  $c_{tm}$ . Prin intermediul acestora se pune in miscare organul de deplasare (pneuri sau senile) caracterizate la randul lor de rigiditatea si factorul de amortizare- $k_{\varphi}; c_{\varphi}$ , prin intermediul carora este pus in miscare utilajul ( $J_u$ ).

In cazul sistemelor de tractiune cu doua linii energetice, cum este cazul de echipare al utilajelor pe senile (buldozere, incarcatoare, excavatoare, tractoare, utilaje speciale, etc) a utilajelor pe pneuri cu directie prin derapare (incarcatoare, masini multifunctionale, etc) sau a utilajelor cu axe de tractiune activizate (remorci active, autotransportoare, platforme de transport, etc), modelul descris anterior este multiplicat cu numarul liniilor energetice, in cazul din figura 8b, cu doi. incarcarea celor doua linii energetice este impusa de solicitarea indusa de calea de rulare celor doua organe de rulare ale utilajului(punte cu pneuri sau senila). Si in cazul analizat pierderea starii de aderenta a utilajului este considerata prin atingerea valorii limita de aderenta- $M_A$ .

### Structura modelului dinamic propus pentru STIH

Sistemul de tractiune integral hidrostatic-STIH, este modelat ca un sistem dinamic cu doua grade de libertate, la care legaturile la componentele dinamice inertiiale ale motorului termic si sistemului de rulare (pneu sau senile) sunt realizate de catre componente hidrostatice, fara componente de tip pur mecanic (roti dintate, cuplaje, etc).



**Fig. 9. Modelul dinamic pentru sistemele integral hidraulice STIH**  
a) model cu o singura linie energetica; b) model cu doua linii energetice.

In modelul dinamic se considera o singura legatura vascoelastica, sau numai elastica realizata de organul de deplasare al utilajului (roti cu pneu sau senila). Aceasta legatura este interpusa intre calea de rulare si utilaj, fiind componentele modelului prin care se induce forta de tractiune produsa de sistemul de actionare.

### 3. CONCLUZII

In concluzie in urma analizei prezentate in lucrare rezulta ca sistemele de tractiune ale utilajelor tehnologice autopropulsate sunt caracterizate prin trei tipuri de modele structurale ce acopera majoritatea situatiilor practice. Se pun in evidenta deosebirile de fond care caracterizeaza modelele dinamice ale STIM, STMH, STIH. Pentru fiecare din modelele precizate sau realizat analize numerice si experimentale ale caror rezultate sunt prezentate in alte lucrari stintifice ale

autorului. Principala concluzie care se desprinde din lucrare este ca pentru modelarea proceselor ce au loc in sistemele de tractiune ale utilajelor autopropulsate era nevoie de modele concluzive care sa contina structurile esentiale ale utilajului: motor termic – sistem de tractiune format din transmisie si sistem de deplasare (roata, senila) - cale de rulare. Calea de rulare constituie factorul de excitatie a sistemului de tractiune la diverse perturbatii produse de denivelarile, starile, umiditatea, consistenta, etc, caii de rulare.

#### **4. BIBLIOGRAFIE**

- [1]. Axinti.G.- Contributii la modelarea proceselor dinamice din actionarea hidrostatica a sistemului de deplasare a utilajelor tehnologice autopropulsate. Proceedings of The 6 th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics, Timisoara, Romania, 2004. pg.292-298;
- [2]. Axinti G. - Actionari hidraulice si pneumatice, Note de curs, Universitatea Dunarea de Jos din Galati, 2007. Curs pe suport informatic.
- [3]. Borkowski. W., Konopka. S., Prochowski. L. - Dynamika maszyn roboczych. Podreczniki Akademickie-Mechanika. Wydawnictwa Naukowo- Techniczne.Warszawa.1996.pg.156-168;172-185;
- [4]. Boazu. D.- Contributii privind analiza vibratiilor provocate de angrenaje.Teza de doctorat. Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati,1998,pg.32-41.
- [5]. Debeleac. N.C.- Analiza regimului dinamic la incarcatoarele frontale rapide in vederea stabilirii performantelor de calitate.Teza de doctorat. Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati, 2006, pg.115-123.
- [6]. Gilespi.T.- Fundamentals of vehicle dynamics. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA, 1992.
- [7]. Mladin. Gh.- Masini de tractiune si sisteme de transport. Vol.I;II. Editura Impuls. Bucuresti. 1999.
- [8]. Untaru. M., Peres.Gh., Stoicescu.A.,s.a. - Dinamica autovehiculelor pe roti. Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti. 1981.