



A XVIII-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”  
CLUJ NAPOCA, 2018

## **STUDIU ASUPRA UTILITĂȚII GIROSCOAPELOR CU MOMENT CONTROLAT PENTRU STABILIZAREA DINAMICII AUTOTURISMELOR**

Mihnea Vlad VITAN

### **STUDY REGARDING THE USE OF CONTROL MOMENT GYROSCOPE FOR THE STABILIZATION OF AUTOMOTIVE DYNAMICS**

The application of gyroscopes in the naval and aerospace sectors has gained momentum during the Second World War, bringing these hitherto relatively obscure devices to the technological forefront from the area of experimental physics. The main application in these areas are gyrocompasses and control moment gyroscopes (CMGs).

The CMG is a relatively efficient torque generator and is based on the gyroscopic principle from physics (mechanics). As such, they are used to counteract the roll and pitch of seagoing vessels, a CMG of 100kg being able to generate a control-torque in the order of thousands of Nm.

The aim of this paper is to examine the possible application of CMGs on road going vehicles in order to improve comfort and stability.

Keywords: gyroscope, automotive dynamics, CMG, stability and confort

Cuvinte cheie: giroscop, dinamica autovehiculelor, GMC, confort si stabilitate

#### **1. Introducere**

Aplicațiile principale din tehnică ale giroscopelor cu volant rotativ: girobusolele și giroscopae cu moment controlat (engl. control moment gyroscope). Prima categorie este și cea mai prevalentă,

girobusolele jucând un rol foarte important în sistemele de ghidaj și navigație ale navelor maritime, aeronavelor, rachetelor și proiectilelor. Avantajele girobusolelor sunt faptul că indică nordul geografic (și nu cel magnetic) cu o acuratețe foarte mare (efectul Coriolis stabilizând axa de rotație a girobusolei în jurul axei de rotație a pământului) și nu prezintă efecte nedorite când sunt poziționate în preajma sistemelor electrice și electronice, mai mult nu sunt deviate de prezența obiectelor metalice, fiind multă vreme singura soluție pentru ghidarea submarinelor.

A doua aplicație a giroscopelor, anume cele cu moment controlat (GMC), sunt dispozitive de stabilizare directă a variilor vehicule – principalul lor avantaj este ca se elimină nevoia introducerii de forțe din exterior. Astfel unele nave maritime și o bună parte a vehiculelor spațiale au ajuns să folosească un dispozitiv interior și energie electrică proprie pentru a induce momente de echilibrare întregului vehicul – sisteme destul de ușor de automatizat, de altfel, și care necesită doar energie electrică (eficientă și ieftină) pentru a îndeplini o funcție crucială. Aceste giroscopae constituie tema lucrării de față..

## 2. Metodologia studiului

Pentru elaborarea acestei lucrări s-a procedat conform următorului plan:

- S-a elaborat un model simplificat Simulink al unui autoturism cu doar 3 grade de libertate (2 deplasări pe verticală și
- S-a elaborat un model al GMC amortizat care acționează în modul semi-pasiv și *in the Loop*
- Modelul compus este suspus unui scenariu arbitrar unde se releva eficacitatea surprinzătoare a GMC în anularea aproape completă a interacțiunii dintre calea de rulare și caroseria autopurtantă a autoturismului.

## 3. Modelul autoturismului

Pentru început vom construi un model simplificat al unui autoturism cu punți rigide în față și în spate. Autoturismul în sine va avea 3 grade de libertate: tangaj și salt pe verticală.

### 3.1 Formularea ecuațiilor forțelor și momentelor

Figura 1 ilustrează punțile în configurația simplă arc-amortizor.

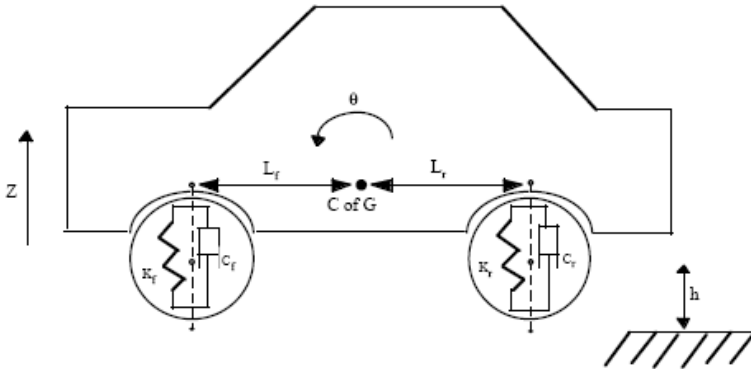


Fig. 1 Diagramă simplificată a autovehiculului [17]

Pentru scopul nostru, un model mai detaliat (care ar modela și roțile sub formă de arc-amortzor și ar include și un tren de rulare) nu este necesar. Cele două grade de libertate menționate în paragraful de mai sus (tangaj și salt) corespund următoarelor patru stări: deplasarea pe verticală, viteza verticală, deplasarea unghiulară de tangaj și viteza unghiulară de tangaj.

Astfel putem surprinde influența suspensiei față în saltul autovehiculului în ecuația 3.1:

$$F_{față} = 2K_f(L_f\theta - z) + 2C_f(L_f\theta' - z') \quad (3.1)$$

Unde  $F_{față}$ ,  $F_{spate}$  sunt forțele care acționează pe verticală asupra caroseriei, datorită punților față/spate;  $K_f$ ,  $K_s$  – constantele de elasticitate ale respectivelor suspensii;  $C_f$ ,  $C_s$  – constantele de amortizare;  $L_f$ ,  $L_s$  – distanțele pe orizontală de la centrul de greutate la suspensii;  $\theta$ ,  $\theta'$  – unghiul de tangaj și viteza unghiulară a tangajului;  $z$ ,  $z'$  – saltul pe verticală (distanță).

Contribuția punții față asupra momentului de tangaj este dată de ecuația 3.2

$$M_{față} = -L_f \cdot F_f \quad (3.2)$$

Similar cu puntea față se scriu ecuațiile pentru puntea spate:

$$F_s = -2K_s(L_s\theta + z) - 2C_s(L_s\theta' + z') \quad (3.3)$$

$$M_s = L_s \cdot F_s \quad (3.4)$$

Conform celei de-a doua legi a lui Newton, obținem deplasările caroseriei:

$$m_b z'' = F_f + F_s - m_b g \quad (3.5)$$

$$I_{yy} \theta'' = M_f + M_s + M_y \quad (3.6)$$

### 3.2 Modelul autoturismului

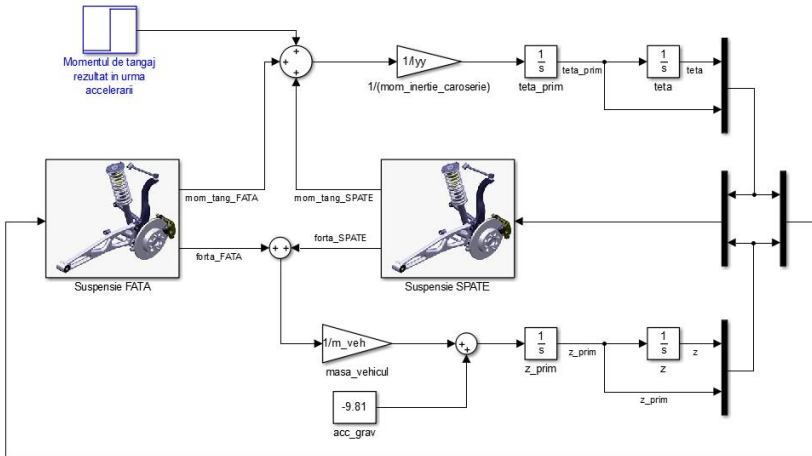


Fig. 2 Model longitudinal simplificat al ansamblului punți față/spate și caroserie al unui autoturism

Foarte des, în practică, varii subansamble ale unui model vor fi compuse într-un bloc compus. Rolul acestuia este de simplifica și, mai ales, de a modulariza modelul complet. Blocurile compuse au avantajul de a putea fi refolosite și stocate în biblioteci de module. Astfel, în cazul de față, s-a creat un singur subansamblu, „Suspensie”, și s-a refolosit de câte ori a fost nevoie. Trebuie observat că intrarea în bloc este un semnal compus din  $\theta$ ,  $\theta'$ ,  $z$  și  $z'$ , iar ieșirile sunt chiar  $F_{față}$  și  $M_{față}$

conforma ecuațiilor (3.1) și (3.2.) În figura 3 prezentăm ce se află în spatele blocului *Suspensie*.

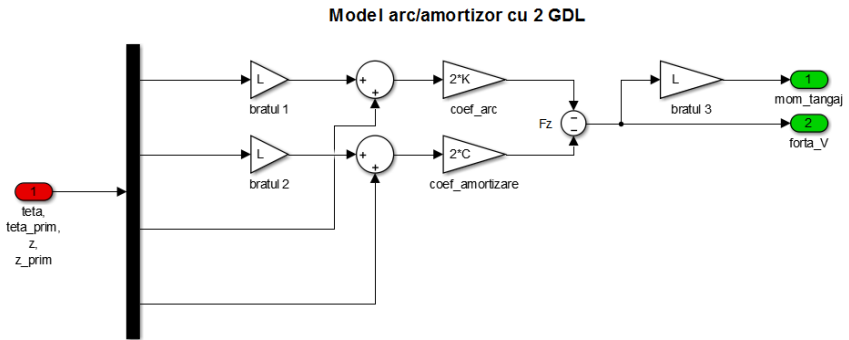


Fig. 3 Modelul *Suspensie*, cu titlul „Model arc/amortizor cu 2 grade de libertate”

#### 4. Modelarea giroscopului

Folosindu-se elemente teoretice explicitate în bibliografie s-a construit modelul GMC ilustrat mai jos:

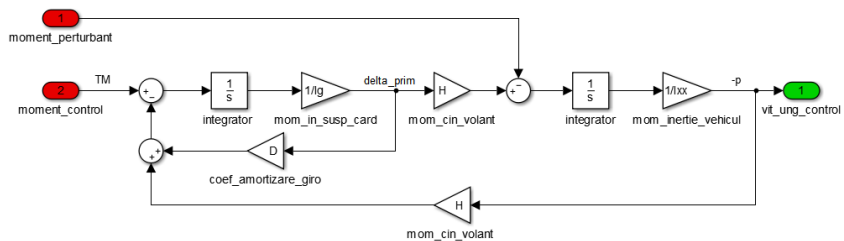


Fig. 4 Schema bloc al GMC

GMC are două intrări:

- *momentul perturbant*, adică orice moment care deplasează caroseria din planul orizontal;
  - *momentul de control*, momentul pentru controlul activ al GMC.
- leşirea GMC este o *viteză unghiulară de echilibrare*.

##### 4.1 Schema bloc integrală

S-au prezentat aşadar toate elementele necesare pentru derularea simulărilor.

În figura 5 aceste elemente au fost compuse în modelul complet de simulare.

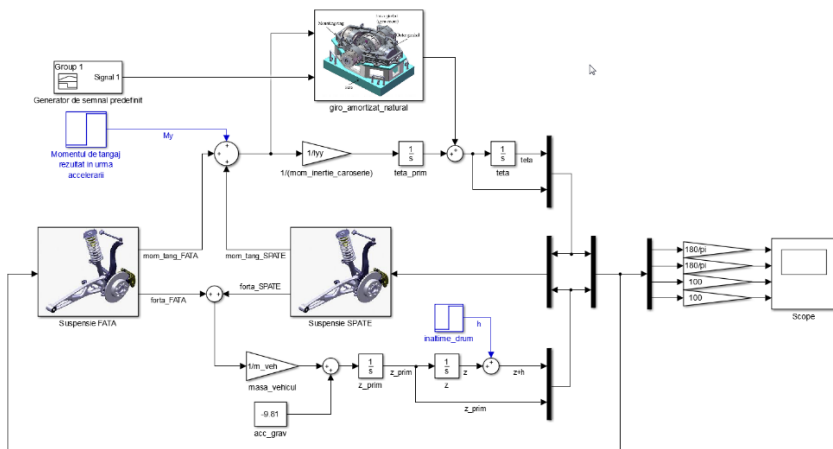


Fig. 5 Modelul complet

Momentul perturbant pentru GMC este dat de sumatorul momentelor din modelul vehiculului. Viteza de echilibrare – ieşirea blocului GMC – este sumată la viteza unghiulară de tangaj. S-a mai folosit un bloc de gerare de semnal predefinit pentru a produce comanda de control.

## 4.2 Descrierea scenariului de simulare

În scenariul de faţă autovehiculul se deplasează rectiliniu neuniform. A fost adăugată o oscilaţie iniţială pentru a solicita şi mai mult GMC. Astfel vehiculul începe fiind deja într-un tangaj perceptibil. La momentul  $t_1 = 5$  s, autoturismul este accelerat brusc, fapt care rezultă într-un moment de tangaj adiţional de 150 Nm. La momentul  $t_2 = 9$  s, autoturismul urcă o bordură de înălţime 10 cm.

Simularea va fi efectuată în 3 etape:

1. Simulare cu GMC dezactivat,
2. Simulare cu GMC în modul de funcţionare pasiv

Pentru iniţializarea parametrilor s-a executat scriptul Matlab din figura 5.4. De menţionat că volantul giroscopului cântăreşte 25 kg, are o

rază de 10 cm, se rotește cu viteza de 5000 rotații/minut și este controlat cu un moment aplicat suspensiei cardanice de doar 1 Nm.

```

val_init.m  x  +
1      %% Valori de initiere a modelului autoturismului
2
3 -    Lf = 0.9;    % distanta longitudinala a suspensiei de la Cg spre fata in [m]
4 -    Lr = 1.2;    % distanta longitudinala a suspensiei de la Cg spre spate in [m]
5 -    Ls = 0.6;    % distanta longitudinala a suspensiei de la Cg spre stanga in [m]
6 -    Ld = 0.7;    % distanta longitudinala a suspensiei de la Cg spre dreapta in [m]
7 -    m_veh = 1200; % masa autoturismului [kg]
8 -    Iyy = 2100;  % momentul de inertie al caroseriei in jurul axei y in [kg m^2]
9 -    Ixx = 1300;  % momentul de inertie al caroseriei in jurul axei x in [kg m^2]
10 -   kf = 28000;  % constanta elastica a arcurilor puntii fata in [N/m]
11 -   ks = 21000;  % constanta elastica a arcurilor puntii spate in [N/m]
12 -   cf = 2500;  % coeficientul de amortizare a amortizoarelor puntii fata in [Ns/m]
13 -   cs = 2000;  % coeficientul de amortizare a amortizoarelor puntii spate in [Ns/m]
14 -   v = 12;     % viteza initiala a autoturismului in [m/s] (echivalent 43.2 km/h)
15 -   r = 15;     % raza curbei spre dreapta efectuate de autoturism in [m]
16 -   z = 0.02;  % garda la sol in [m]
17
18      %% Valori de initiere a modelului GMC
19
20 -   mv = 25;    % masa volantului in [kg]
21 -   om = 523.59; % viteza de rotatie a volantului in [rad/s] (echivalent cu 5000 rot/min)
22 -   R = 0.01;  % raza volantului in [m]
23 -   H = 1/2*(mv*R^2)*om; % momentul cinetic al volantului in [kg m^2/s]
24 -   Ig = 50;   % momentul de inertie al suspensiei cardanice in jurul axei x in [kg m^2]
25 -   D = 0.1;  % coef de amortizare de rotatie al lagarelor GMC in [Nm*s/rad]

```

Fig. 6 Valorile parametrilor modelului complet

Urmează să se prezinte rezultatele simulărilor. Dat fiind numărul relativ mare de mărimi ce pot fi surprinse în blocul scope, s-a decis prezentarea a doar 4 din cele mai relevante, anume, în ordine, unghiul de tangaj, viteza de tangaj, deplasarea pe verticală și viteza pe verticală. Mărimile folosite în mode sunt în SI, dar cu scopul înlesnirii urmăririi rezultatelor, radianii au fost transformați în grade și metrii în centimetrii.

## 5. Rezultatele simulării

### 5.1 GMC dezactivat

Se observă oscilațiile inițiale relativ mari și efectul minim al accelerării. Întâlnirea bordurii provoacă un șoc puternic. Autoturismul este însă bine amortizat și nu prezintă perioade lungi de tangaj.

### 5.2 GMC în regimul semi-activ

În figura 8 GMC nu este controlat. Se prezintă amortizarea

naturală a acestuia.

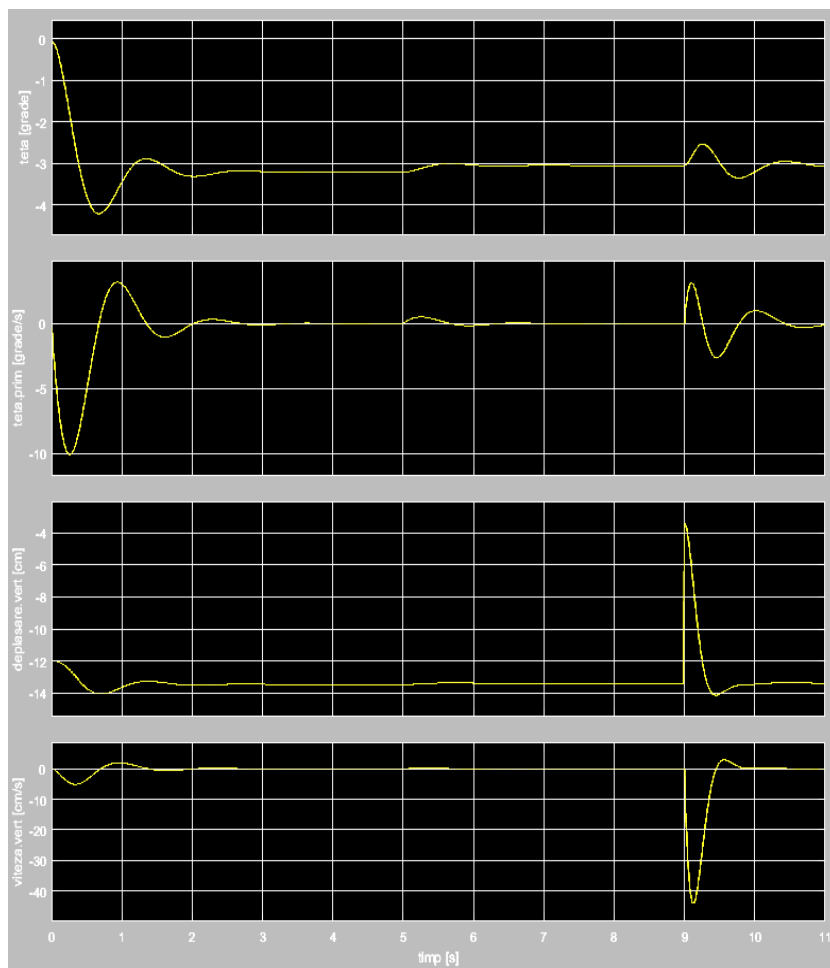


Fig. 7 Simularea cu GMC dezactivat

Tangajul și viteza de tangaj au fost amortizate puternic, de câteva ordine de magnitudine chiar; și mișcarea pe verticală a fost stabilizată mai rapid.

Modelul relevă o mișcare uniformă, singura perturbație fiind cea rezultată din urcarea bordurii.



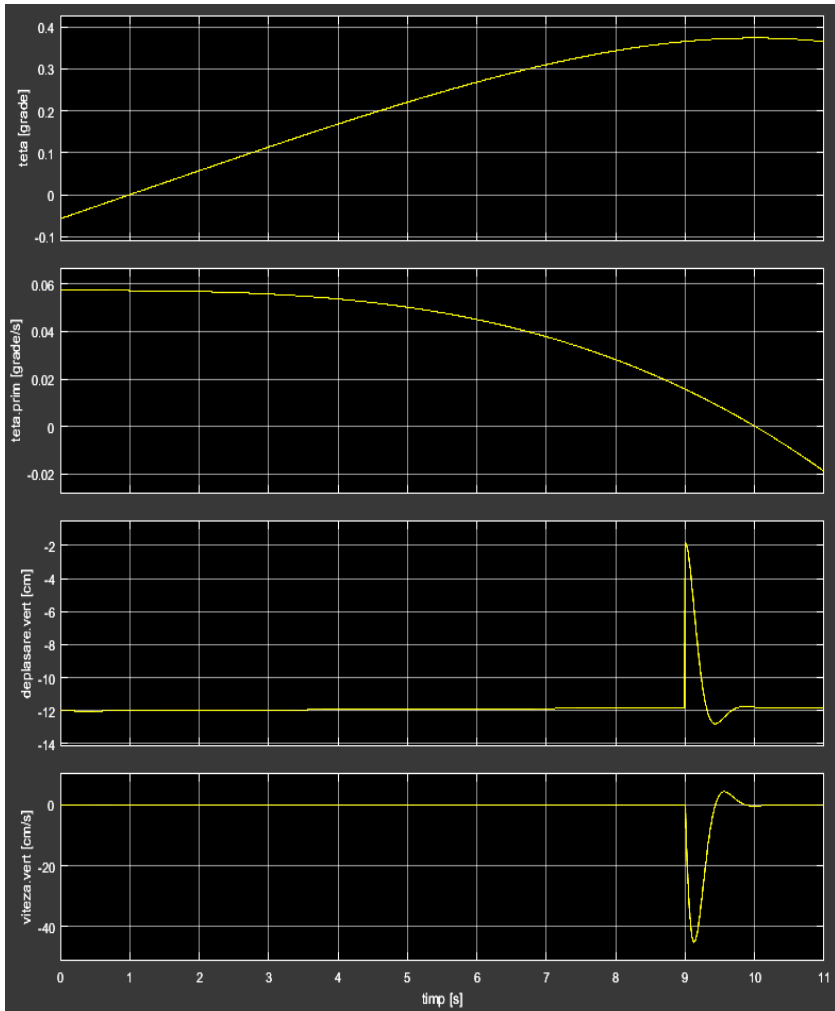


Fig. 8 GMC în regim pasiv

## 6. Concluzii finale

Rezultatele simulării arată că, într-adevăr GMC au potențial de aplicabilitate la autovehiculele rutiere, demonstrând un potențial important pentru amortizarea și contracararea mișcărilor nedorite ale

caroseriei. Se întrevide chiar un potențial pentru sporirea siguranței rutiere în cazul manevrelor bruște, iar răsturnarea la performarea testului elanului ar putea fi făcută imposibilă.

Sunt însă unele considerente care trebuiesc avute în vedere. Una ar fi saturația. GMC trebuie dimensionat în așa fel încât să poată susține o manevră suficient de lungă, existând realul pericol ca la apariția saturației și, asociată cu aceasta, dispariția momentului de control, autovehiculul să întâmpine un transfer de mase suficient de brusc încât să se ajungă la pierderea aderenței. Se pot lua măsuri de precauție și se pot instala sisteme de desaturare compromițând o mică parte din capacitatea GMC de control.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Kurokawa, Haruhisa. *Survey of Theory and Steering Laws of Single-Gimbal Control Moment Gyros*. 2007, Journal of Guidance, Control and Dynamics, pg. 1331-1340.
- [2] *Gyroscope Physics. Real World Physics*. [Interactiv] 2009-2017. [Citat: 2 Decembrie 2016.] <http://www.real-world-physics-problems.com/gyroscope-physics.html>.
- [3] Dohogne, J. E. și Morrison, R. F. *The Control Moment Gyroscope*. s.l. : Edit. Sperry Eng. Rev., 1965.
- [4] Kuo, Benjamin C. și Golnaraghi, Farid. *Automatic Control Systems*. s.l. : Edit. WSE, 2012.
- [5] Center, NASA Marshall Space Flight. *A Comparison CMG Steering Laws for High Energy Astronomy Observatories*. s.l. : NASA TM X-64727, 1972.
- [6] Cornick, D. E. *Singularity Avoidance Control Laws for Single Gimbal Control Moment Gyros*. s.l. : AIAA Paper 79-1698, 1979.
- [7] Hefner, R. D. și McKenzie, C. H., *A Technique for Maximizing the Torque Capability of Control Moment Gyro Systems*. 1983, Astrodynamics, pg. 905-920.
- [8] *Feedback Control and Steering Laws for Spacecraft Using Single Gimbal Control Moment Gyro*. Oh, H. și Vadali, S. 1991, Journal of the Astronautical Sciences, pg. 183-203.
- [9] Gyroscope. *Wikimedia*. [Interactiv] 4 Decembrie 2016. [Citat: 6 Ianuarie 2017.] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D\\_Gyroscope.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Gyroscope.png).
- [10] Jacot, A. Dean și Liska, Donald J. *Control Moment Gyros in Attitude Control*. 1966, Journal of Spacecraft and Rockets, pg. 1313-1320.

Mihnea Vlad VITAN

Departamentul de Autovehicule Rutiere și Transporturi,  
Facultatea de Mecanică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca  
email: mihnea.vlad.vitan@gmail.com  
telefon: 0740 692 605