

## ANALIZA TRANSMISIBILITĂȚII ȘI A GRADULUI DE IZOLARE LA VIBRAȚII PENTRU SISTEMELE MECANICE ELASTICE 1DOF CU AMORTIZARE VÂSCOASĂ DE TIP ZENER

### ANALYSIS OF THE TRANSMISSIBILITY RATIO AND THE ISOLATION DEGREE OF THE VIBRATION FOR 1DOF MECHANICAL SYSTEMS WITH ZENER VISCOUS DAMPING MODEL

Gianina Cornelia SPÂNU (ȘTEFAN)<sup>1,2</sup>, Gigel Florin CĂPĂȚÂNĂ<sup>3</sup>  
Aurora Maria POTÎRNICHE<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, Romania  
Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET

<sup>2</sup>Scoala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială  
e-mail: spanugianina@yahoo.com

<sup>3</sup>Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, Romania  
Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET  
e-mail: gcapatana@ugal.ro

<sup>4</sup>Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, Romania  
Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET  
e-mail: Potarniche.Aurora@ugal.ro

**Rezumat:** *Articolul prezintă analiza parametrilor transmisibilitate și grad de izolare la un sistem mecanic elastic 1DOF cu element de amortizare vâscoasă de tip Zener. Modelul reologic Zener este un model compus dintr-un model Maxwell în paralel cu un model Hooke. Dacă sistemul mecanic 1DOF este acționat cu o forță armonică  $F_0 \sin \omega t$ , forța transmisă fundației este armonică și defazată în urma perturbației. Caracteristicile dinamice parametrice care sunt reprezentate grafic și analizate sunt transmisibilitatea  $T$  și gradul de izolare a vibrațiilor  $I$ .*

**Cuvinte cheie:** *model reologic Zener, amortizare vâscoasă, transmisibilitatea forței, grad de izolare dinamică*

**Abstract:** *The work presents the dynamic analysis of the transmissibility ratio and the isolation degree of 1DOF mechanical elastic system with rheological Zener viscous damping. The structure of the rheological Zener model consist in a Maxwell model in parallel with a Hooke model. If the mechanical elastic system is perturbed by a harmonic force  $F(t)=F_0 \sin \omega t$ , the transmitted force to the base is harmonic too, with a negative phase shift. The parametric dynamic characteristics that are drawn and analyzed are the transmissibility ratio  $T(\Omega, \zeta, N)$  and the isolation degree  $I(\Omega, \zeta, N)$ .*

**Keywords:** *rheological Zener model, viscous damping, transmissibility ratio, dynamic isolation degree*

## 1. INTRODUCERE. MODELUL REOLOGIC ZENER

Sistemele și materialele utilizate la elementele de rezemare elastică sau vâsco-elastică a mașinilor și utilajelor sau structurilor mecanice diverse sunt analizate din punct de vedere reologic precum și a răspunsului la solicitări dinamice în diverse lucrări care au ca subiect analiza amortizării șocurilor și vibrațiilor [1] [2] [3] [4]. Modelele reologice simple și modelele compuse sunt analizate în diverse lucrări de vâscoelasticitate [5] [6]. Deasemenea, problema modelării dinamice a sistemelor de amortizare sau combatere a șocurilor și vibrațiilor se găsesc în lucrările de vibrații ale sistemelor mecanice sau vibrațiile structurilor abordează [7] [8] [9] [10]. Cele mai simple modele reologice liniare sunt modelele Hooke (elastic) și Newton (vâscos). Cele mai uzuale și mai simple modele compuse, modelele Maxwell și modelul Voigt-Kelvin, se pot obține prin combinarea în serie sau în paralel a modelelor Hooke și Newton [11] [12].

În figura 1 este prezentat schematic modelul Zener care este compus dintr-un model elastic Hooke legat în paralel cu un model vâscos Maxwell [13] [14].

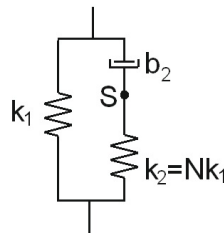


Fig. 1 Model reologic Zener [13] [14]

## 2. MODELAREA SISTEMULUI MECANIC 1DOF CU ELEMENT ZENER

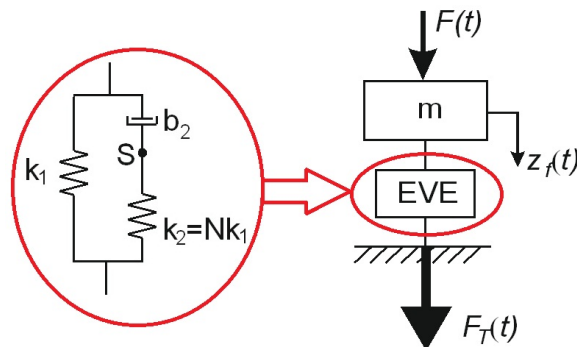


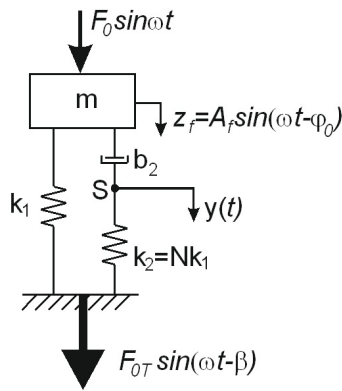
Fig. 2 Modelul fizic al sistemului mecanic 1DOF cu element Zener [15] [16]

În figura 2 este prezentat modelul fizic al sistemului mecanic cu un grad de libertate dinamică și element reazem vâsco-elastic (**EVE**) model reologic Zener. La aplicarea unei forțe perturbatoare  $F(t)$ , răspunsul sistemului este caracterizat de deplasarea pe verticală  $z_f(t)$ , care depinde atât de parametrii structurali ai sistemului ( $m, k_1, k_2 = Nk_1, b_2$ ) cât și de parametrii forței perturbatoare  $F(t)$ .

## Analiza transmisibilității și a gradului de izolare la vibrații pentru sistemele mecanice elastice 1DOF cu amortizare vâscoasă de tip Zener

În figura 3 este prezentat modelul simplificat de calcul dinamic al sistemului 1DOF, în care s-a pus în evidență și iar forța  $F_T(t)$  transmisă bazei. Forța transmisă bazei se face prin intermediul celor două modele reologice legate în paralel: modelul **H** și modelul **M**. Forțele corespunzătoare celor două modele sunt [17] [18]:

- ▶ forța transmisă prin intermediul modelului Hooke  $F_H(t) = k_1 \cdot z_f(t)$
- ▶ forța transmisă prin intermediul modelului Maxwell  $F_M(t) = k_2 \cdot y(t)$



**Fig. 3** Modelul de calcul a sistemului mecanic 1DOF cu element Zener [17] [18]

Forța totală transmisă la fundație prin intermediul elementului Zener este [19]:

$$F_T = F_H(t) + F_M(t) = k_1 z_f(t) + k_2 y(t) \quad (1)$$

Parametrii cinematici necesari pentru analiza răspunsului dinamic al sistemului precum și a caracteristicilor de transmisibilitate și de izolare dinamică, sunt  $(z_f, \dot{z}_f, \ddot{z}_f)$  și  $(y, \dot{y})$ .

### 3. TRANSMISIBILITATEA ȘI GRADUL DE IZOLARE DINAMICĂ

Considerând o forță perturbatoare armonică  $F(t) = F_0 \sin \omega t$ , ecuațiile diferențiale de mișcare ale sistemului sunt [13] [14] [15] [16]

$$\begin{cases} m\ddot{z} + b_2(\dot{z}_f - \dot{y}) + k_1 \cdot z_f = F_0 \sin \omega t \\ b_2(\dot{z}_f - \dot{y}) = k_2 \cdot y \\ F_T(t) = k_1 \cdot z_f + k_2 \cdot y \end{cases}, \quad (2)$$

unde:

$$z_f(t) = A_f \sin(\omega t - \varphi_0)$$

$$y(t) = A_y \sin(\omega t - \alpha)$$

$$F_T(t) = F_{0T} \sin(\omega t - \beta)$$

Forța transmisă bazei se poate scrie

$$F_{0T} \sin(\omega t - \beta) = kA_f \sin(\omega t - \varphi_0) + NkA_y \sin(\omega t - \alpha), \quad (3)$$

de unde, prin identificare, se obține amplitudinea acesteia [17] [18]

$$F_{0T} = F_0 \sqrt{\frac{N^2 + 4\zeta^2 \Omega^2 (N+1)^2}{N^2 (1-\Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \Omega^2 (N+1-\Omega^2)^2}}, \quad (4)$$

unde:  $p = \sqrt{\frac{k_1}{m}}$  - pulsația proprie a sistemului elastic (modelul H)

$\Omega = \frac{\omega}{p}$  - pulsația relativă

$\zeta = \frac{b_2}{b_{cr}} = \frac{b_2}{2\sqrt{mk_2}}$  - fracțiunea din amortizarea critică (modelul M)

Amplitudinea forței armonice transmise bazei se poate scrie în funcție de factorul de transmisibilitate a forței  $T(\Omega, \zeta, N)$

$$F_{0T} = F_0 \cdot T(\Omega, \zeta, N), \quad (5)$$

unde:

$$T(\Omega, \zeta, N) = \sqrt{\frac{N^2 + 4\zeta^2 \Omega^2 (N+1)^2}{N^2 (1-\Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \Omega^2 (N+1-\Omega^2)^2}} \quad (6)$$

Gradul de izolare dinamică este definit în funcție de transmisibilitatea  $T$  astfel:

$$I = 1 - T \quad (7)$$

#### 4. ANALIZA FACTORULUI DE TRANSMISIBILITATE ȘI A GRADULUI DE IZOLARE DINAMICĂ

În figurile 4-12 sunt prezentate diagramele de variație parametrică ale factorului de transmisibilitate a forței dinamice armonice la fundație în funcție de pulsația relativă  $\Omega$ . Parametrii luați în considerare sunt fracțiunea din amortizarea vâscoasă critică  $\zeta$  și raportul coeficienților de elasticitate  $N$ . În cazurile în care  $N=0$  sau  $\zeta=0$  ("anularea" modelului vâsco-elastic Maxwell, figura 4), modelul Zener devine modelul reologic elastic liniar Hooke iar funcția de variație a factorului de transmisibilitate este:

$$T_{N=0}(\Omega) \equiv T_{\zeta=0}(\Omega) = \frac{1}{|1-\Omega^2|} \quad (8)$$

Analiza transmisibilității și a gradului de izolare la vibrații pentru sistemele mecanice elastice 1DOF cu amortizare vâscoasă de tip Zener

În figurile 14-19 sunt reprezentate variațiile gradului de izolare dinamică a vibrațiilor în funcție de pulsația relativă  $\Omega$ . Ca și în cazul transmisibilității, parametrii sunt fracțiunea din amortizare critică  $\zeta$  și raportul coeficienților de elasticitate  $N$ .

Deoarece pentru valori mici ale pulsației relative  $\Omega$  sistemul mecanic se comportă ca un amplificator de forță transmisă fundației (în general factorul de transmisibilitate  $T(\Omega) > 1$ ), diagramele gradului de izolare dinamică  $I(\Omega, \zeta, N)$  sunt reprezentate în domenii semnificative pentru acestea ( $\Omega > 2$ ).

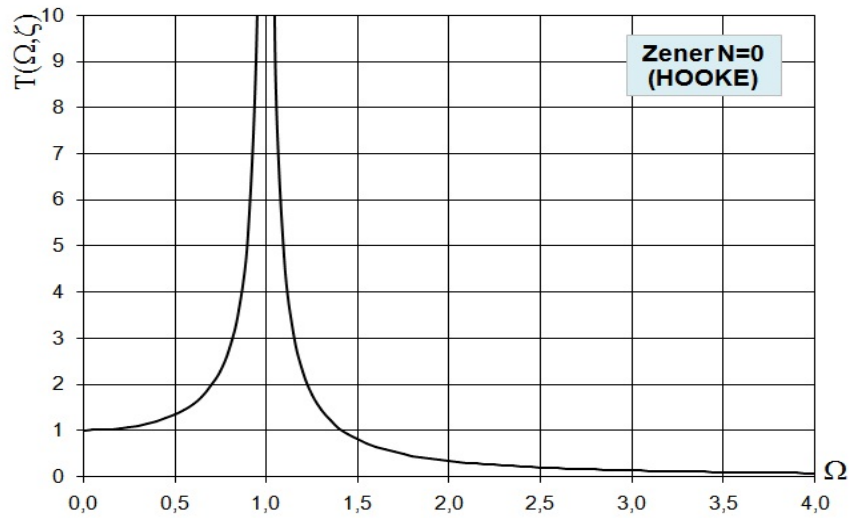


Fig. 4 Factorul de transmisibilitate - Model Zener  $N=0$  (Model Hooke)

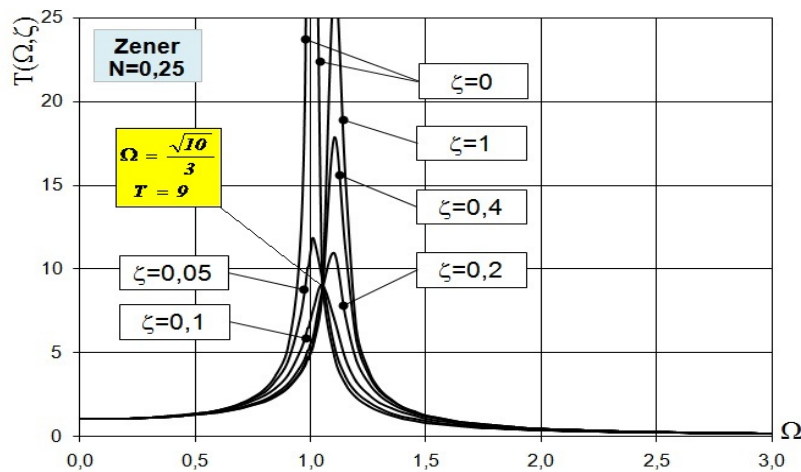


Fig. 5 Factorul de transmisibilitate - Model Zener  $N=0,25$

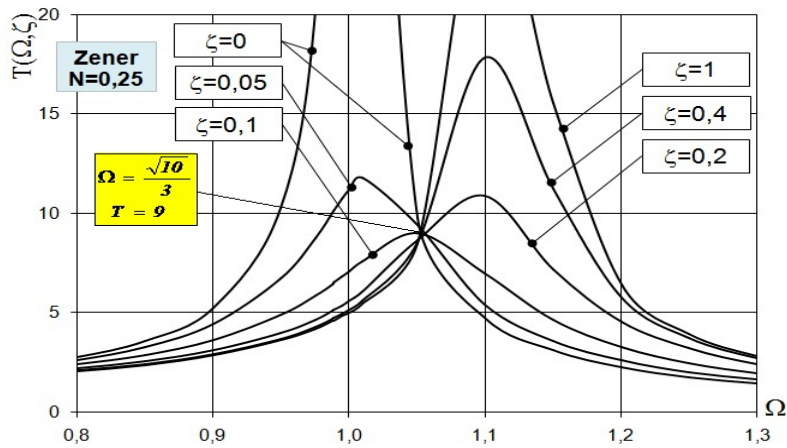


Fig. 6 Factorul de transmisibilitate - Model Zener  $N=0,25$  (detaliu)

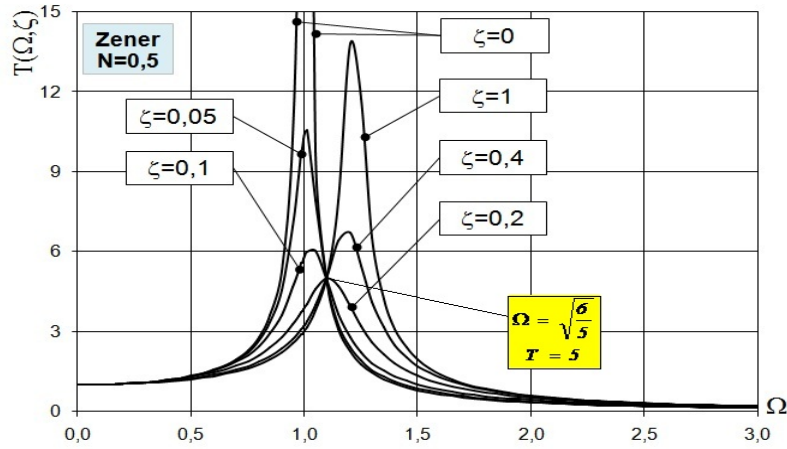


Fig. 7 Factorul de transmisibilitate - Model Zener  $N=0,5$

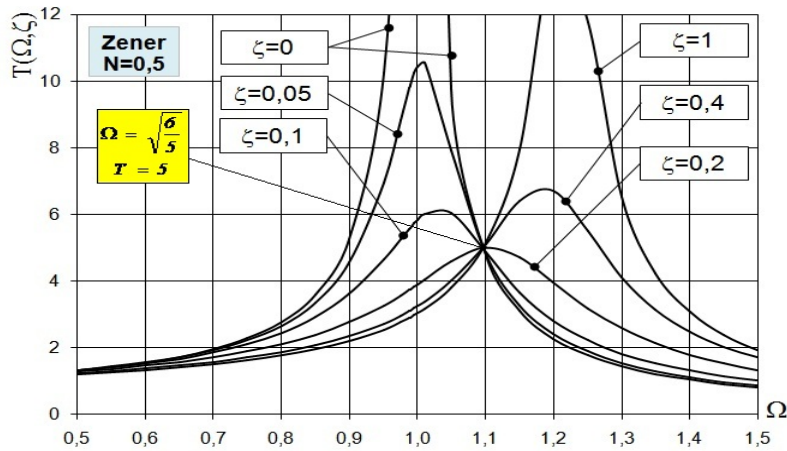


Fig. 8 Factorul de transmisibilitate - Model Zener  $N=0,5$  (detaliu)

Analiza transmisibilității și a gradului de izolare la vibrații pentru sistemele mecanice elastice 1DOF cu amortizare vâscoasă de tip Zener

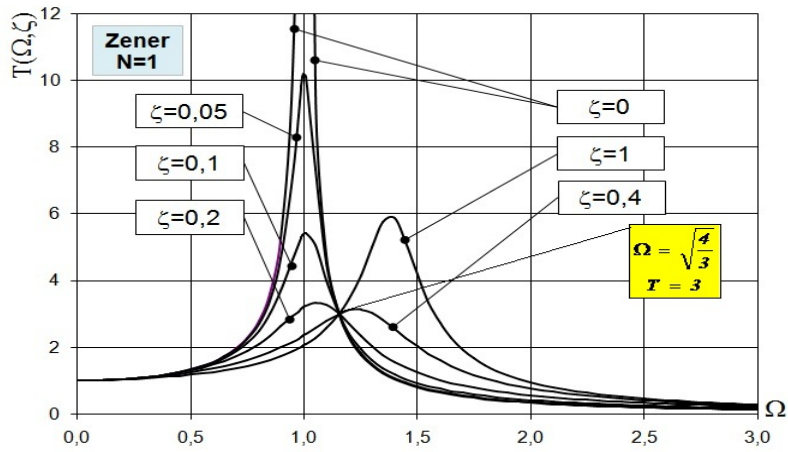


Fig. 9 Factorul de transmisibilitate - Model Zener N=1

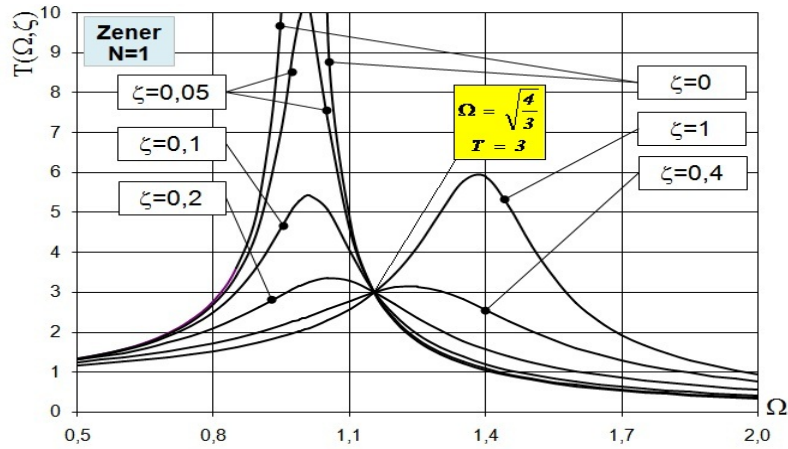


Fig. 10 Factorul de transmisibilitate - Model Zener N=1 (detaliu)

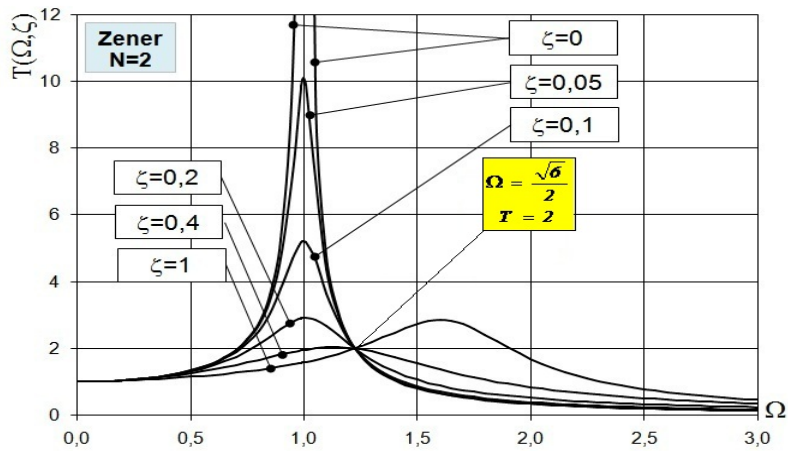


Fig. 11 Factorul de transmisibilitate - Model Zener N=2

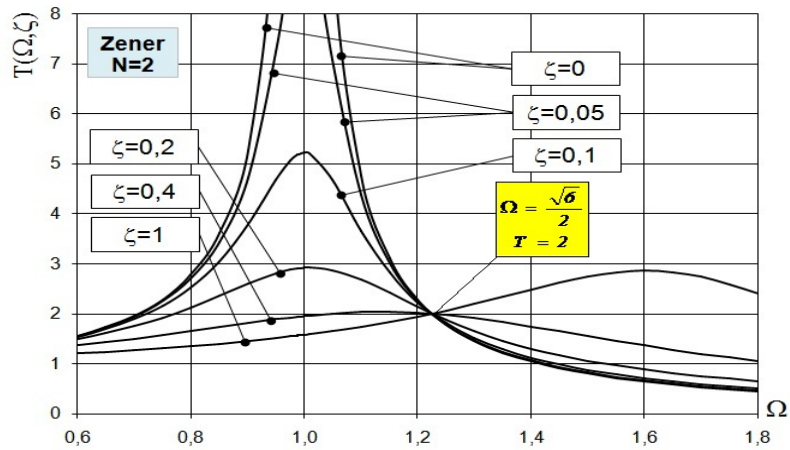


Fig. 12 Factorul de transmisibilitate - Model Zener  $N=2$  (detaliu)

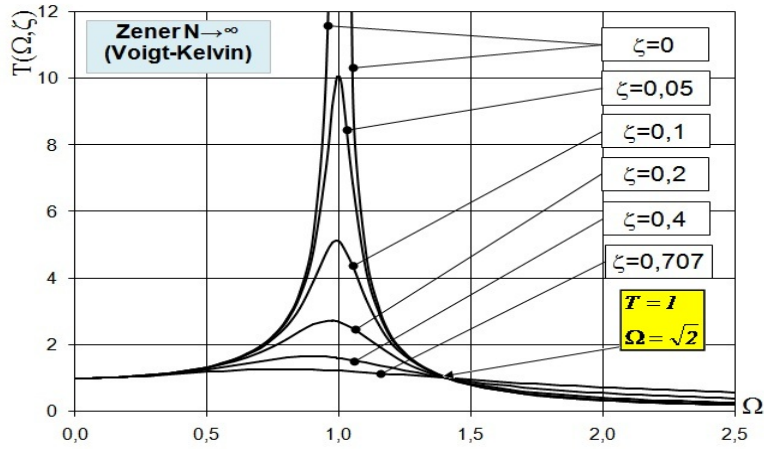


Fig. 13 Factorul de transmisibilitate - Model Zener  $N \rightarrow \infty$  (model V-K)

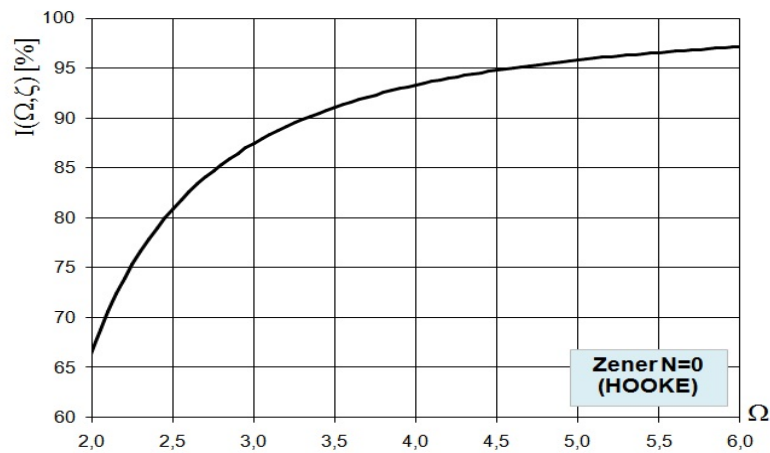


Fig. 14 Gradul de izolare dinamică - Model Zener  $N=0$  (Model Hooke)



Analiza transmisibilității și a gradului de izolare la vibrații pentru sistemele mecanice elastice 1DOF cu amortizare vâscoasă de tip Zener

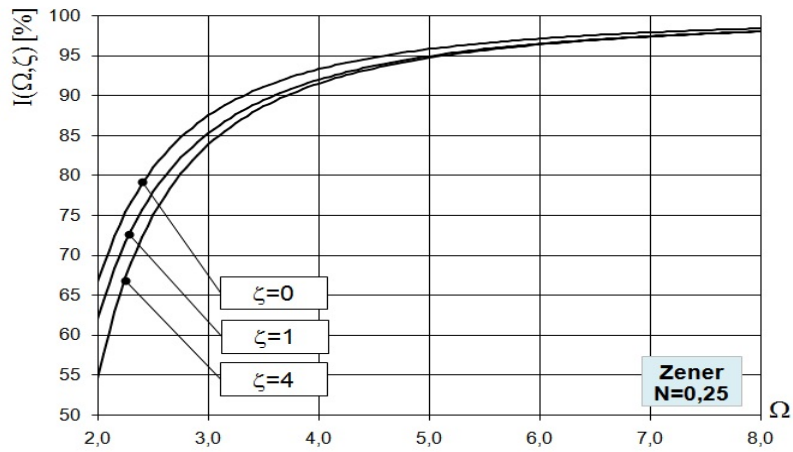


Fig. 15 Gradul de izolare dinamică - Model Zener N=0,25

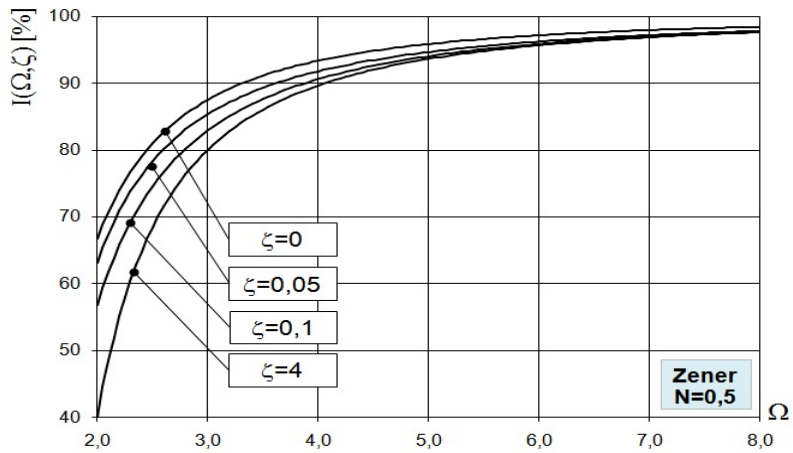


Fig. 16 Gradul de izolare dinamică - Model Zener N=0,5

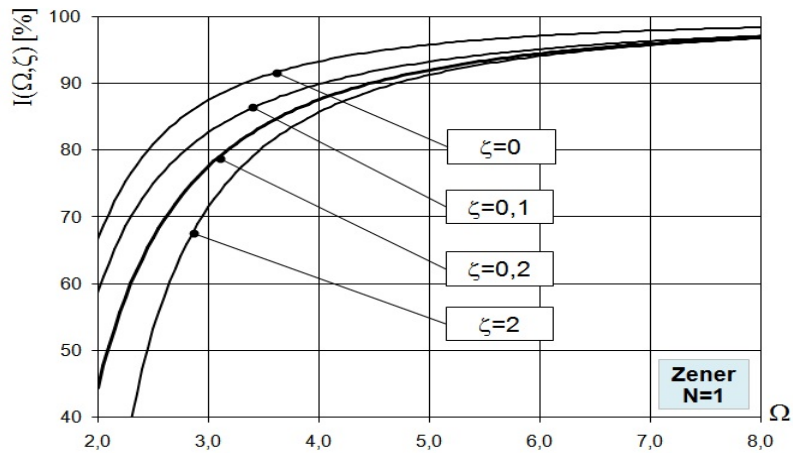


Fig. 17 Gradul de izolare dinamică - Model Zener N=1

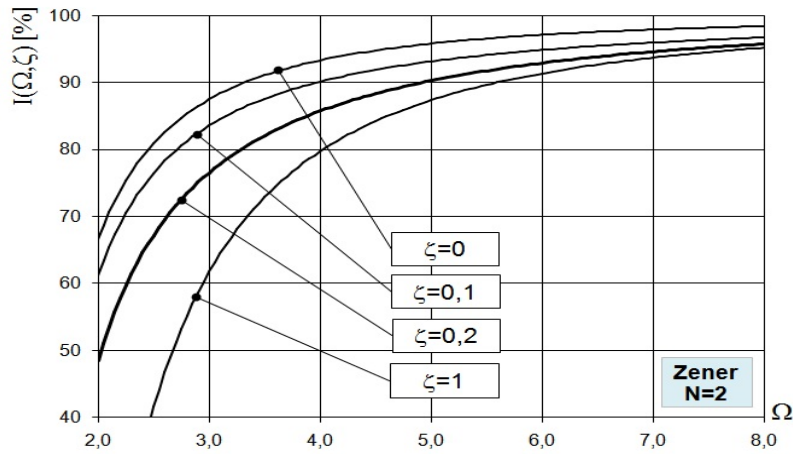


Fig. 18 Gradul de izolare dinamică - Model Zener N=2

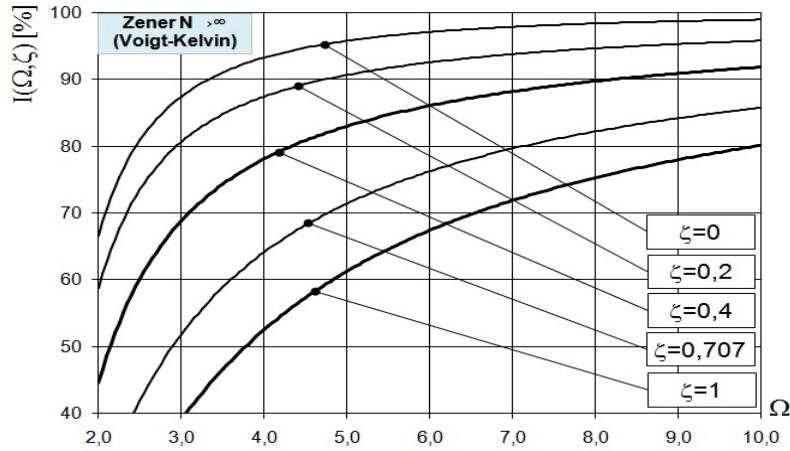


Fig. 19 Gradul de izolare dinamică - Model Zener  $N \rightarrow \infty$  (model V-K)

Pentru determinarea punctelor comune ale curbelor parametrice din diagramele factorilor de transmisibilitate a forței dinamice, se pune condiția

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{T(\Omega, \zeta_1, N) = T(\Omega, \zeta_2, N)} \\
 & \quad \downarrow \\
 & \sqrt{\frac{N^2 + 4\zeta_1^2 \Omega^2 (N+1)^2}{N^2 (1-\Omega^2)^2 + 4\zeta_1^2 \Omega^2 (N+1-\Omega^2)^2}} = \sqrt{\frac{N^2 + 4\zeta_2^2 \Omega^2 (N+1)^2}{N^2 (1-\Omega^2)^2 + 4\zeta_2^2 \Omega^2 (N+1-\Omega^2)^2}} \\
 & \Rightarrow \frac{N^2 + 4\zeta_1^2 \Omega^2 (N+1)^2}{N^2 (1-\Omega^2)^2 + 4\zeta_1^2 \Omega^2 (N+1-\Omega^2)^2} = \frac{N^2 + 4\zeta_2^2 \Omega^2 (N+1)^2}{N^2 (1-\Omega^2)^2 + 4\zeta_2^2 \Omega^2 (N+1-\Omega^2)^2}
 \end{aligned}$$

Analiza transmisibilității și a gradului de izolare la vibrații pentru sistemele mecanice elastice 1DOF cu amortizare vâscoasă de tip Zener

$$\begin{aligned}
 & N^4(1-\Omega^2)^2 + 4\zeta_1^2\Omega^2 N^2(1-\Omega^2)^2(N+1)^2 + 4\zeta_2^2 N^2\Omega^2(N+1-\Omega^2)^2 + 16\zeta_1^2\zeta_2^2\Omega^2(N+1)^2(N+1-\Omega^2)^2 = \\
 & = N^4(1-\Omega^2)^2 + 4\zeta_2^2\Omega^2 N^2(1-\Omega^2)^2(N+1)^2 + 4\zeta_1^2 N^2\Omega^2(N+1-\Omega^2)^2 + 16\zeta_1^2\zeta_2^2\Omega^2(N+1)^2(N+1-\Omega^2)^2 \\
 & 4\zeta_1^2\Omega^2 N^2(1-\Omega^2)^2(N+1)^2 + 4\zeta_2^2 N^2\Omega^2(N+1-\Omega^2)^2 = 4\zeta_2^2\Omega^2 N^2(1-\Omega^2)^2(N+1)^2 + 4\zeta_1^2 N^2\Omega^2(N+1-\Omega^2)^2 \\
 & \Rightarrow \zeta_1^2(1-\Omega^2)^2(N+1)^2 + \zeta_2^2(N+1-\Omega^2)^2 = \zeta_2^2(1-\Omega^2)^2(N+1)^2 + \zeta_1^2(N+1-\Omega^2)^2 \\
 & (\zeta_1^2 - \zeta_2^2) \left[ (N+1)^2(1-\Omega^2)^2 - (N+1-\Omega^2)^2 \right] = 0 \Rightarrow -N\Omega^2(\zeta_1 - \zeta_2)(\zeta_1 + \zeta_2) [2(N+1) - (N+2)\Omega^2] = 0
 \end{aligned}$$

Soluția acceptabilă este dată de:

$$2(N+1) - (N+2)\Omega^2 = 0 \Rightarrow \Omega = \sqrt{\frac{2(N+1)}{N+2}} \quad (9)$$

Punctele de intersecție ale curbelor parametrice  $T(\zeta)$  pentru cazurile considerate sunt următoarele (evidențiate în figurile 5-13):

$$\left. \begin{array}{l} N = 0,25 \\ \Omega = \sqrt{\frac{10}{9}} \end{array} \right\} \Rightarrow T\left(\sqrt{\frac{10}{9}}, \zeta, 0,25\right) = \sqrt{\frac{\frac{1}{16} + 4\zeta^2 \frac{13}{9} \left(\frac{5}{4}\right)^2}{\frac{1}{16} \left(1 - \frac{10}{9}\right)^2 + 4\zeta^2 \frac{10}{9} \left(\frac{5}{4} - \frac{10}{9}\right)^2}} = \sqrt{\frac{1 + \frac{1000}{9}\zeta^2}{\left(\frac{1}{9}\right)^2 \left(1 + \frac{1000}{9}\zeta^2\right)}} = 9$$

$$\left. \begin{array}{l} N = 0,5 \\ \Omega = \sqrt{\frac{6}{5}} \end{array} \right\} \Rightarrow T\left(\sqrt{\frac{6}{5}}, \zeta, 0,5\right) = \sqrt{\frac{1 + \frac{216}{5}\zeta^2}{\left(\frac{1}{5}\right)^2 \left(1 + \frac{216}{5}\zeta^2\right)}} = 5$$

$$\left. \begin{array}{l} N = 1 \\ \Omega = \sqrt{\frac{4}{3}} \end{array} \right\} \Rightarrow T\left(\sqrt{\frac{4}{3}}, \zeta, 1\right) = \sqrt{\frac{1 + \frac{64}{3}\zeta^2}{\left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(1 + \frac{64}{3}\zeta^2\right)}} = 3$$

$$\left. \begin{array}{l} N = 2 \\ \Omega = \sqrt{\frac{2}{2}} \end{array} \right\} \Rightarrow T\left(\sqrt{\frac{2}{2}}, \zeta, 2\right) = \sqrt{\frac{4 + 54\zeta^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(4 + 54\zeta^2\right)}} = 2$$

$$\left. \begin{array}{l} N \rightarrow \infty \\ \Omega = \sqrt{2} \end{array} \right\} \Rightarrow T(\sqrt{2}, \zeta, \infty) = \sqrt{\frac{I + 8\zeta^2}{I + 8\zeta^2}} = 1$$

## 6. CONCLUZII

1. Din analiza expresiei analitice a transmisibilității (6):

**a)** pentru  $N \rightarrow \infty$  elementul elastic din modelul Maxwell devine rigid astfel încât acesta se transformă într-un element vâscos Newton, iar modelul Zener devine un model Voigt-Kelvin; variația transmisibilității funcție de pulsația relativă este reprezentată în figura, iar expresia analitică a acesteia este:

$$T(\Omega, \zeta, N \rightarrow \infty) = \lim_{N \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{N^2 + 4\zeta^2 \Omega^2 (N+1)^2}{N^2 (1-\Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \Omega^2 (N+1-\Omega^2)^2}} \quad (10)$$

$$T_{V-K}(\Omega, \zeta) = \lim_{N \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{I + 4\zeta^2 \Omega^2 \left(1 + \frac{1}{N}\right)^2}{(1-\Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \Omega^2 \left(1 + \frac{1-\Omega^2}{N}\right)^2}} = \sqrt{\frac{I + 4\zeta^2 \Omega^2}{(1-\Omega^2)^2 + 4\zeta^2 \Omega^2}} \quad (11)$$

**b)** pentru modelul reologic simplu Hooke ( $N=0$  sau  $\zeta=0$ ), figura 4, valorile maxime ale factorului de transmisibilitate este la rezonanța de amplitudine  $\Omega=1$ ;

**c)** pentru modelul reologic Voigt-Kelvin ( $N \rightarrow \infty$ ), valorile maxime ale transmisibilității, funcție de fracțiunea din amortizarea vâscoasă  $\zeta$ , se obține pentru  $\Omega < 1$  (figura 13);

**d)** pentru modelul reologic complex Zener cu amortizare vâscoasă  $\zeta \neq 0$ , valorile maxime ale transmisibilității se obțin pentru  $\Omega > 1$ ; aceste maxime ale transmisibilității depind de raportul elasticităților  $N$ , (figurile 5-12);

2. gradul de izolare dinamică a vibrațiilor depinde atât de pulsația relativă  $\Omega$  cât și de fracțiunea din amortizare vâscoasă  $\zeta$ ; la aceeași pulsație relativă  $\Omega$ , gradul de izolare dinamică este mai mare cu cât amortizarea este mai mică;

3. pentru obținerea unor grade de izolare dinamică acceptabile ( $I > 90\%$ ), sistemele de rezemare vâsco-elastice trebuie proiectate pentru a lucra la valori ale pulsației relative  $\Omega > 3,5 \dots 4,0$ ;

4. pentru analiza sistemului echivalent neliniar a se vedea [20].

## BIBLIOGRAFIE

- [1] **N. Dragan**, *Studies on the Mechanical Elastic Systems Dynamics of the Rigid Body with Structural Symmetries. Modal Analysis. Transmitted Forces and Moments*, Proceedings of the 10<sup>th</sup> WSEAS International Conference on AUTOMATION & INFORMATION "ICAI'09", ISBN 978-960-474-064-2, ISSN 1790-5117, Prague, March 23-25 2009
- [2] **N. Dragan**, *Modal calculus of the reinforced concrete bridges modeled as a rigid solid beared on viscous elastic neoprene supports*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering Volume 2 Issue XVI, ISSN 1224-5615, Galați, 2010
- [3] **P. Bratu, N. Dragan**, *Theoretical and numerical considerations on the composite neoprene used at vibration and shock isolations isolators*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering Volume 2 Issue XVI, ISSN 1224-5615, Galați, 2010
- [4] **N. Dragan**, *Considerations on the composite neoprene vibration isolators used for the mechanical systems bearings. The dynamics of the non-linear models*, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering vol. XI (XXI) NR2, ISSN 1583-0691, 2012
- [5] **R.M. Christensen**, *Theory of Viscoelasticity*, Dover Publications Inc., New York, 2010
- [6] **P. Bratu**, *Sisteme elastice de rezemare pentru mașini și utilaje*, Ed. Tehnică, București, 1990
- [7] **Gh. Ene, C. Pavel**, *Introducere în tehnica izolării vibrațiilor și a zgomotului*, Editura Matrix Rom, București, 2012
- [8] **Gh. Buzdugan, L. Fetcu, M. Radeș**, *Vibrații mecanice*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [9] **P. Bratu**, *Analiza structurilor elastice. Comportarea la acțiuni statice și dinamice*, Ed. Impuls, București, 2011
- [10] **P. Bratu**, *Vibrațiile sistemelor elastice*, Ed. Tehnică, București, 2000
- [11] **G.C. Spânu (Ștefan), G.F. Căpățână**, *Analiza dinamică a sistemelor 1DOF cu reazeme elastomerice. Modelul reologic Maxwell*, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, Vol. 9 (2018) nr. 4, ISSN 2068-6331, Ed. MatrixRom, București, 2018
- [12] **N. Drăgan**, *Analiza dinamică a sistemelor mecanice cu reazeme elastomerice. Modelul Voigt-Kelvin*, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, Vol. 9 (2018) nr. 2, ISSN 2068-6331, Ed. MatrixRom, București, 2018
- [13] **N. Dragan**, *Rheological SLS model. Dynamic parameters of the systems with viscous damping. Part 2: Transmissibility factor and isolation degree*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224-5615, Galati, 2017
- [14] **N. Dragan**, *Rheological SLS model. Dynamic parameters of the systems with viscous damping. Part 1: Amplitude factor*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224-5615, Galati, 2017

- [15] **G.C. Spânu (Ștefan)**, *Analiza factorului de amplificare la sistemele mecanice cu amortizare structurală. Modelul Zener*, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, Vol. 9 (2018) nr. 1, ISSN 2068-6331, Ed. MatrixRom, București, 2018
- [16] **G.C. Spânu (Ștefan), N. Drăgan**, *Analiza transmisibilității și a gradului de izolare a vibrațiilor la sistemele mecanice cu amortizare structurală. Modelul Zener*, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, Vol. 8 (2017) nr. 4, ISSN 2068-6331, Ed. MatrixRom, București, 2017
- [17] **N. Dragan**, *Dynamic analysis of the parameters of the mechanical systems with structural damping. Viscoelastic SLS model. Part 1: Amplitude factor*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224-5615, Galati, 2016
- [18] **N. Dragan**, *Dynamic analysis of the parameters of the mechanical systems with structural damping. Viscoelastic SLS model. Part 2: Transmissibility factor and isolation degree*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224-5615, Galati, 2016
- [19] **N. Drăgan**, *Contribuții la analiza și optimizarea transportului prin vibrații - teza de doctorat*, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2002
- [20] **N. Dragan**, *Studies on the Mechanical Elastic Systems with nonlinear damping. Power and amplitude numerical analysis*, Proceedings of the 10<sup>th</sup> WSEAS International Conference on AUTOMATION & INFORMATION "ICAI'09", ISBN 978-960-474-064-2, ISSN 1790-5117, Prague, March 23-25 2009