

MODELUL VÂSCOELASTIC COMPLEX ZENER PENTRU IZOLAREA DINAMICĂ A VIADUCTELOR LA MIȘCĂRI SEISMICE

prof. univ. Emerit, dr. ing. Polidor BRATU
conf. univ., dr. ing. Sergiu BEJAN
dr. ing. Ruslan BORDOS

Universitatea Dunărea de Jos din Galați
Universitatea Tehnică a Moldovei

ABSTRACT

Protecția construcțiilor la acțiuni seismice, în condiții de siguranță, a produs o emulație intensă, în ultima perioadă de timp, pentru inovarea unor soluții eficiente de izolare a bazei. Astfel, în noile condiții ale dezvoltării industriale a dispozitivelor antiseismice, la un nivel ridicat și garantat de performanță, pot fi realizate sisteme de izolare dinamică rezultate din asamblarea în diverse configurații ale dispozitivelor simple. În acest context, proiectanții au realizat, pe baza dispozitivelor antiseismice elastomerice și a disipatoarelor fluidice, unități individuale, în sistem modular. Acestea, prin instalare – montare într-un număr suficient de mare, sunt concepute să asigure gradul de izolare dinamică. În prezenta lucrare se prezintă un sistem modular de tip E/(E-V), model Zener, care este alcătuit din două dispozitive elastomerice și un disipator fluidic cu amortizare vâscoasă. Pentru izolarea unei clădiri trebuie să fie utilizate un număr suficient de module care să definească în sistem unitar de izolare a bazei pentru o clădire dată. În consecință, lucrarea va cuprinde modelul dinamic bazat pe schematizarea Zener a întregului sistem de izolare și parametrii specifici de calcul și evaluare a nivelului de izolare dinamică.

Cuvinte cheie: *izolare a bazei, model Zener, dispozitive elastomerice, disipator fluidic cu amortizare vâscoasă*

1. Introducere

Modelul reologic complex Zener, pentru întreg sistemul de izolare dinamică a bazei, este echivalent cu ansamblul modulelor de izolare, fiecare fiind alcătuit dintr-un element reologic Zener, individualizat prin două conexiuni în paralel Hooke și Maxwell. În acest caz, rigiditățile și amortizările individuale, prin combinarea corespunzătoare a elementelor reologice, asigură rigiditățile

echivalente și amortizările echivalente ale sistemului de izolare, pentru ansamblul clădirii.

Excitația cinematică a mișcării seismice este reprezentată prin deplasarea instantanee a primului mod de mișcare vibratorie, din compoziția spectrală a cutremurului de pământ. Astfel, componenta fundamentală, adică primul mod de mișcare, este deplasarea spectrală $x_0 = X_0 \sin \omega t$ sau $\tilde{x}_0 = X_0 e^{j\omega t}$, unde (ω, X_0) reprezintă pulsația și respectiv amplitudinea primului mod spectral, cu perioada $T_0 = \frac{2\pi}{\omega}$.

Răspunsul dinamic al clădirii este reprezentat de deplasarea instantanee $x = x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_1)$ sau $\tilde{x} = \tilde{A} e^{j\omega t}$, unde $\tilde{A} = A e^{j\varphi_1}$. De asemenea, coordonata instantanee a punctului de legătură în serie, între elementul elastic și elementul vâscos, notat cu B, este $y = y(t) = B \sin(\omega t + \varphi_2)$ sau $\tilde{y} = \tilde{B} e^{j\omega t}$, unde $\tilde{B} = B e^{j\varphi_2}$. Unitatea imaginară s-a notat cu $j = \sqrt{-1}$. În esență, lucrarea evidențiază răspunsul dinamic, forța transmisă de cutremur la clădire, prin intermediul sistemului de izolare dinamică, cât și energia disipată pe dispozitivul de amortizare cu fluid vâscos.

2. Amplitudinile mișcărilor ca răspuns la excitația spectrală fundamentală a seismului

În fig.1 se prezintă modelul dinamic echivalent Zener, unde rigiditatea k și amortizarea c reprezintă mărimi echivalente pentru întregul sistem de izolare dinamică pe ansamblu, în care s-a introdus N ca factor de multiplicare real și pozitiv.

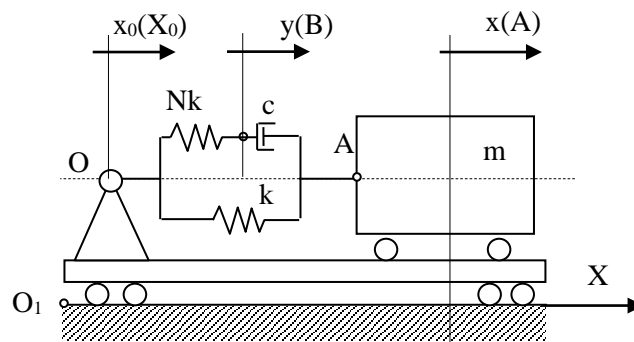


Fig. 1. Schema dinamică a sistemului de izolare a bazei

Ținând seama de faptul că $x_0 > x$ și $y > x$, prin ipoteză, ecuațiile de mișcare, în formalismul complex, sunt

$$\begin{cases} m\ddot{\tilde{x}} - k(\tilde{x}_0 - \tilde{x}) - c(\dot{\tilde{y}} - \dot{\tilde{x}}) = 0 \\ c(\dot{\tilde{y}} - \dot{\tilde{x}}) - Nk(\tilde{x}_0 - \tilde{y}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Soluțiile sistemului (1) sunt $\tilde{x} = \tilde{A}e^{j\omega t}$, cu $\tilde{A} = Ae^{j\varphi_1}$ și $\tilde{y} = \tilde{B}e^{j\omega t}$, cu $\tilde{B} = Be^{j\varphi_2}$, ce trebuie să verifice sistemul de ecuații. Astfel, se obțin amplitudinile A și B sub forma

$$A = X_0 \sqrt{\frac{N^2 k^4 + c^2 \omega^2 k^2 (1+N)^2}{D}} \quad (2)$$

$$B = X_0 \sqrt{\frac{N^2 k^2 (k - m\omega^2)^2 + c^2 \omega^2 k^2 (1+N)^2}{D}} \quad (3)$$

unde D are expresia

$$D = N^2 k^2 (k - m\omega^2)^2 + c^2 \omega^2 [(k - m\omega^2) + Nk]^2 \quad (4)$$

Datele inițiale ale unui caz în lucru sunt următoarele: $m = 3$ Mkg, $k = 8$ MN/m, $X_0 = 0,3$ m, $N = 10$, $c = (1, 2, 3, 4, 5)$ MNs/m au permis calculul analitic și reprezentarea familiilor de curbe pentru A și B , în fig.2.

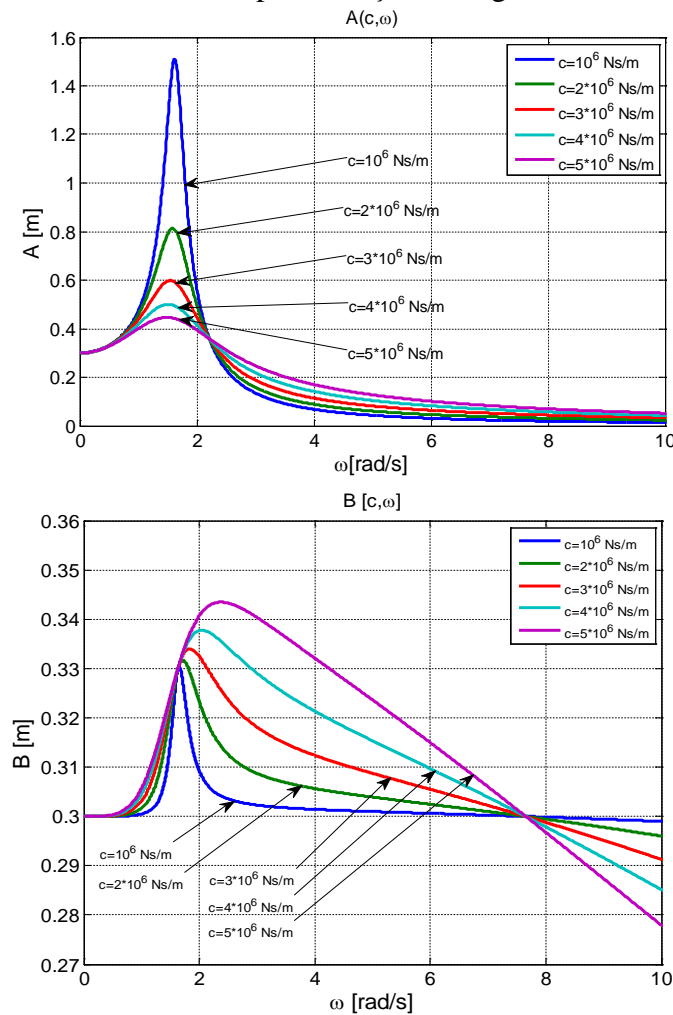


Fig. 2. Curbele de variație ale amplitudinilor A și B în raport cu variația curentă ω și variabila discretă c

3. Deformația maximă a amortizorului vâscos

Pe baza schemei din fig.1 poate fi exprimată deformația instantanee $z_v = z_v(t)$ a amortizorului vâscos sub forma

$$\tilde{z}_v = \tilde{z}_v(t) = \tilde{y} - \tilde{x} \quad (5)$$

unde $\tilde{z}_v = \tilde{Z}_v e^{j\omega t}$, cu $\tilde{Z}_v = Z_{0v} e^{j\varphi}$ în care φ este defazajul dintre deformația \tilde{z}_v și deplasarea instantanee \tilde{y} .

Înlocuind în relația (5) expresiile mărimilor complexe $\tilde{z}_v, \tilde{y}, \tilde{x}$, obținem

$$\tilde{Z}_v = \tilde{B} - \tilde{A} \quad (6)$$

iar pe baza relațiilor anterioare pentru A și B rezultă amplitudinea Z_{0v} sub formă analitică astfel

$$Z_{0v} = X_0 \frac{mk\omega^2 N}{\sqrt{D}} \quad (7)$$

4. Deformația maximă a sistemului elastic Nk

Deformația instantanee \tilde{z}_e a sistemului elastic Nk , pe ramura Hooke a modelului Zener. Este dată de relația

$$\tilde{z}_e = \tilde{x}_0 - \tilde{y} \quad (8)$$

sau sub forma

$$\tilde{Z}_e = X_0 - \tilde{B} \quad (9)$$

Pe baza expresiilor din relația (9) rezultă amplitudinea deformației instantanee elastice Nk sub forma

$$Z_{0e} = -X_0 \frac{mc\omega^3}{\sqrt{D}} \quad (10)$$

5. Forța maximă transmisă

Forța maximă transmisă $\tilde{Q}_T = \tilde{Q} e^{j\omega t}$, unde $\tilde{Q} = Q_0 e^{j\theta}$, în care θ este defazajul dintre \tilde{Q}_T și \tilde{x}_0 , poate fi exprimată astfel

$$\tilde{Q} = \tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 \quad (11)$$

Forțele \tilde{Q}_1 și \tilde{Q}_2 din ramura modelului Maxwell și respectiv din ramura Hooke sunt de forma

$$\begin{cases} \tilde{Q}_1 = c\omega \tilde{Z}_v \\ \tilde{Q}_2 = k(X_0 - \tilde{A}) \end{cases} \quad (12)$$

Efectuând toate calculele operaționale pe baza relațiilor (11) și (12) se obține amplitudinea forței transmise sub forma

$$Q_0 = \frac{X_0}{D} \sqrt{R^2 + I^2} \quad (13)$$

unde avem

$$\begin{cases} R = -N^2 k^2 m \omega^2 (k + c \omega) (k - m \omega^2) - k m c^2 \omega^4 (k + k N - m \omega^2) \\ I = N k m c \omega^3 [c \omega (k - m \omega^2) + N k (k + c \omega)] \end{cases} \quad (14)$$

În fig.3 sunt reprezentate curbele de variație ale lui Q_0 în raport cu ω și c .

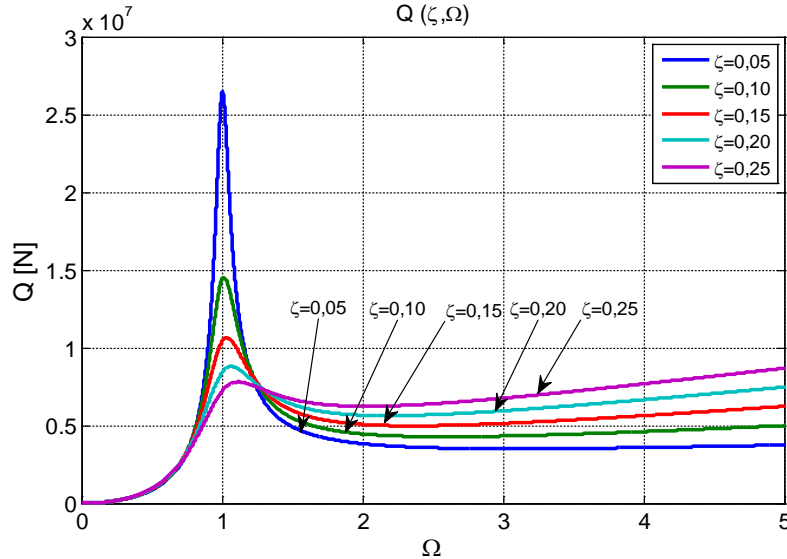


Fig.3. Familia de curbe $Q_0(c, \omega)$

6. Transmisibilitatea mișcării

Prin definiție transmisibilitatea T a mișcării este dată de relația

$$T = \frac{A}{x_0} \quad (15)$$

sau ținând seama de expresia lui A , avem

$$T(c, \omega) = \sqrt{\frac{N^2 k^4 + c^2 \omega^2 k^2 (1+N)^2}{D}} \quad (16)$$

cu reprezentarea din figura 4.

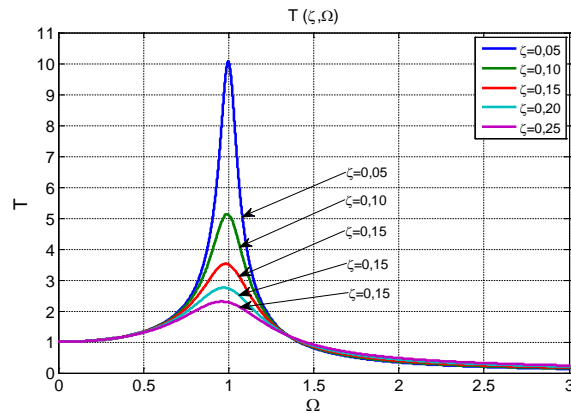


Fig.4. Curbele de variație a transmisibilității

7. Energia disipată

Energia disipată în sistemul de amortizare compus care are constanta echivalentă c este dată de relația

$$W_d = \pi c \omega Z_{0v}^2 \quad (17)$$

În relația (17) introducem relația (7) și obținem

$$W_d(c, \omega) = \pi X_0^2 \frac{m^2 k^2 c \omega^5 N}{D} \quad (18)$$

cu reprezentare în fig.5.

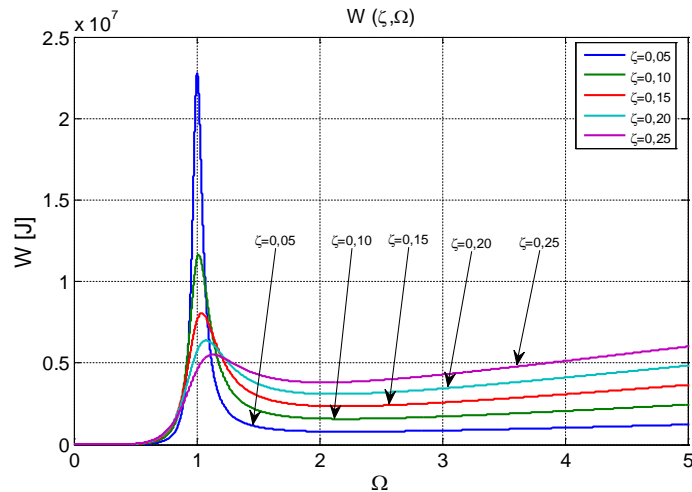


Fig.5. Curbele de variație a energiei disipate W_d în funcție de ω și c

8. Concluzii

Realizarea sistemelor compuse de dispozitive antiseismice elastomerice de tip ADRB, LRB, în conexiune cu dispozitive antiseismice de disipare de tip FVD astfel încât să poată fi obținut un model echivalent Zener, poate fi abordată conceptual pe baza următoarelor metode de calcul și anume:

- a) identificarea elementelor masice, a configurației geometrice și a comportamentului de rigid al clădirii ce trebuie izolată la bază;
- b) Stabilirea nivelului maxim de accelerație și a primei componente spectrale (fundamentale) pentru cutremurele de pământ din zona seismică a amplasamentului clădirii;
- c) conceperea schemei de rezemare și deplasarea laterală a clădirii așezată pe sistemul de izolare la bază;
- d) realizarea schemei de conexiune complexă după model Zener cu precizarea tuturor paramerilor de rigiditate elastică și vâscoasă;
- e) evaluarea analitică a răspunsului dinamic și de izolare dinamică.

În acest context, lucrarea prezintă relațiile de calcul pe baza cărora se pot face analize dinamice de optimizare a izolării la bază, astfel încât transmisibilitatea trebuie să fie de cel mult 20% - 30%.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Dobrescu, C., *The rheological behaviour of stabilized bioactive soils during the vibration compaction process for road structures*, 22th International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, 12-16.07.2015
- [2] Johnson, Erik A., Ramallo, Juan C., Spencer, Billie F. Jr, Sain, Michael K., *Intelligent base isolation systems*, 2nd World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, 1998
- [3] Mitu, A.M., Sireteanu, T., Ghita, G., *Passive and Semi-Active Bracing Systems for Seismic Protection: A Comparative Study*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 12 Issue: 1 Pages: 49-56, 2015
- [4] Sireteanu, T., *Smart Suspension Systems*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 13 Issue: 1 Pages: 2-2, 2016
- [5] Stanescu, N.D., *Vibrations of a Shell with Clearances, neo-Hookean Stiffness, and Harmonic Excitations*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 13 Issue: 2 Pages: 104 -111, 2016
- [6] Vasile, O., *Active Vibration Control for Viscoelastic Damping Systems under the Action of Inertial Forces*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Volume: 14 Issue: 1 Pages: 54-58, 2017
- [7] Wang, Yen-Po, *Fundamentals of seismic base isolation*, International training programs for seismic design of building structures hosted by National Center of Research on Earthquake Engineering, Taiwan