



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

بررسی عملکرد دمپرهای ضربه ای به منظور کنترل نوسانگرهای اصطکاک محرک به کمک روشهای اختلال میانگین گیری و اختلال هموتویی

انوشیروان فرشیدیان فر^۱، عارف افشارفرد^{۲*}

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، aref.afsharfard@stu-mail.um.ac.ir

چکیده

نوسانگر محرک با نیروی اصطکاک نمونه ای از نوسانات خود محرک است که در آن نیروی اصطکاک، عامل حرکت پریودیک می باشد. هدف از این پژوهش کنترل نوسانگر محرک با نیروی اصطکاک به وسیله دمپر ضربه ای است، بدین منظور ابتدا مدل ریاضی نوسانگر را بدست آورده و معادله ی غیر خطی حاکم بر آنرا با دو روش تحلیلی اختلال هموتویی و اختلال میانگین گیری حل می کنیم و میزان خطای هر یک از این روشها را بدست می آوریم. در ادامه نوسانگر مورد بحث را مدلسازی نموده و به کمک مدل ساخته شده، اثرات عواملی نظیر سختی فنر ضربه گیر و جرم گوی ضربه زننده را بر عملکرد دمپر ضربه ای به منظور کنترل هر چه سریعتر نوسانگر مورد بررسی قرار می دهیم. **واژه‌های کلیدی:** اختلال هموتویی - اختلال میانگین گیری - دمپر ضربه ای - ضریب ارتجاعی ضربه گیر- سیکل محدود

۱- مقدمه

نوسانگر محرک با نیروی اصطکاک یک نمونه از نوسانات خود محرک است که در آن نیروی اصطکاک، عامل حرکت پریودیک نوسانگر می باشد. باید توجه داشت که نیروی اصطکاک متناسب با نیروی عمودی سطح، سرعت برشی و ویژگیهای سطوح درگیر می باشد [۱]. نوسانگرهایی که نیروی محرکه ی آنها اصطکاک است، از درجات غیرخطی بالایی برخوردارند و معادلات حاکم بر آنها گسسته و نا مانوس است. در اینجا لازم به ذکر است که در این سری مسائل، عواملی که باعث حرکت دائمی نوسانگر می شوند مواردی نظیر چسبندگی- لغزش^۱، چتر^۲، آشوب^۳ و... است [۲،۳]. البته باید توجه داشت که یکی از مهمترین عوامل ایجاد ناپایداری در اثر اصطکاک، میرایی منفی است که در مقابل سرعت لغزشی پدیدار می شود [۴]. در این موارد انرژی مورد نیاز برای نوسانات به وسیله ی نیروی اصطکاک شروع به رشد می کند تا آنجا که میرایی منفی به وسیله ی اثرات غیرخطی خود مانع از رشد آن شده و این روند تکرار می شود و در نهایت یک حرکت پایا که با عنوان سیکل محدود^۴ شناخته می شود به وجود می آید. به طور معمول در یک مدل غیر خطی از اصطکاک این نیرو را به صورت تابعی از سرعت لغزشی و حداکثر تا درجه ی ۴ در نظر می گیرند [۵،۶]. در این پژوهش ابتدا مدل ریاضی حاکم بر نوسانگر را بدست آورده و معادله ی غیر خطی حاکم بر آنرا با دو روش تحلیلی اختلال هموتویی و اختلال میانگین گیری حل می کنیم. در ادامه برای بدست آوردن میزان خطای هریک از این روشها فواصل قله تا قله^۵ منحنی نوسانات بدست آمده از دو روش حل تحلیلی را با مقدار

1. Stick-slip
2. Chatter
3. Chaos
4. Limit cycle
5. Peak to peak



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۲-۱۰ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

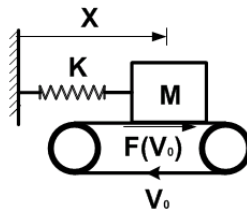


دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دقیق آن مقایسه می کنیم. پس از آن نوسانگر مورد بحث را مدل سازی نموده و به کمک مدل ساخته شده، اثرات عواملی نظیر سختی فنر ضربه گیر و جرم گوی ضربه زننده را بر عملکرد دمپر ضربه ای در کاهش هر چه سریعتر ارتعاشات ناخواسته، مورد بررسی قرار می دهیم.

۲- بدست آوردن مدل ریاضی نوسانگر

در شکل (۱) جرم متصل به فنری را مشاهده می نمایید که بر روی تسمه ای متحرک قرار گرفته است و می تواند نمایشگر مدلی از یک نوسانگر محرک با نیروی اصطکاک باشد.



شکل ۱- شمای کلی نوسانگر محرک با نیروی اصطکاک بدون دمپر ضربه ای.

نتیجه ی بدست آمده از آزمایشات تجربی که بر روی این نمونه صورت گرفته، نشان می دهد که همواره $\dot{x} < V_0$ و این بدان معناست که در این نمونه لغزش خالص بدون چسبیدن را می توان عامل نوسانات ناپایدار سیستم دانست و مدل حاکم بر آن را بر این اساس بدست آورد [۷]. حال می توان معادله ی حرکت حاکم بر حرکت جرم بر روی تسمه را به فرم زیر نوشت:

$$M\ddot{X}(t) + KX(t) = F(V_0 - \dot{X}(t)) \quad ; \quad \dot{X}(t) < V_0 \quad (1)$$

در رابطه ی شماره ی (۱)، K مبین سختی فنر بوده و خطی فرض شده است. برای راحت تر شدن محاسبات از تغییر متغیر زیر استفاده می کنیم:

$$x(t) = X(t) - \frac{F(V_0)}{K} \quad (2)$$

با توجه به روابط (۱) و (۲) می توان نوشت:

$$M\ddot{x}(t) - Kx(t) = F(V_0 - \dot{x}(t)) - F(V_0) \quad (3)$$

حال ترمهای مبین نیروی اصطکاک در رابطه ی (۳) را با سه جمله ی اول حاصل از سری تیلور معادل آن جایگزین می کنیم، البته باید توجه داشت که لازمه این کار استفاده از این فرض است که $\dot{x}(t)$ خیلی بزرگ نباشد در غیر اینصورت نیاز است تا مراتب بالاتری از جملات سری تیلور را برای بیان رفتار ترمهای مبین نیروی اصطکاک استفاده کنیم.

$$F(V_0 - x(t)) - F(V_0) = F_V^{(1)}\dot{x}(t) + \frac{1}{2}F_V^{(2)}\dot{x}^2(t) - \frac{1}{6}F_V^{(3)}\dot{x}^3(t) \quad (4)$$

که در رابطه ی (۴) داریم:

$$F_V^{(1)} = \left. \frac{dF}{dV} \right|_{V=V_0} ; F_V^{(2)} = \left. \frac{d^2F}{dV^2} \right|_{V=V_0} ; F_V^{(3)} = \left. \frac{d^3F}{dV^3} \right|_{V=V_0} \quad (5)$$

حال می توان فرم بدون بعد شده ی رابطه ی (۴) را به صورت زیر نوشت:

$$u''(\tau) + u(\tau) + \alpha u'(\tau) - \beta u^2(\tau) + \gamma u^3(\tau) = 0 \quad (6)$$

که در آن داریم:

$$\tau = \sqrt{\frac{K}{M}}t ; x_0 = \frac{F(V_0)}{K} ; u(\tau) = \frac{x(\tau)}{x_0} ; \alpha = \frac{F_V^{(1)}}{\sqrt{MK}} ; \beta = \frac{F_V^{(2)}}{2MK} ; \gamma = \frac{F_V^{(3)}}{6(MK)^{3/2}} \quad (7)$$



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۲-۱۰ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

به منظور شناسایی مقادیر γ, β, α در رابطه ی (۶) آزمایشی ترتیب داده می شود که در آن با بدست آوردن شکل نوسانات جرم M در حالت آزاد می توان این مقادیر را شناسایی نمود. در اینجا با در نظر گرفتن $M=0.56 \text{ kg}$ و $K=763 \text{ N/m}$ مقادیر γ, β, α به صورت زیر بدست آمده اند [۷].

$$\alpha = -0.04 ; \beta = -0.0099 ; \gamma = 0.0088 \quad (۸)$$

۳- حل معادله به روش اختلال میانگین گیری

در این قسمت هدف حل معادله ی نوسانات نوسانگر محرک با اصطکاک با روش اختلال میانگین گیری و با تصحیحات کرایلف-بوگولیوبوف می باشد. معادله حرکت که در رابطه ی (۶) نشان داده شده است را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\ddot{x} + x + \varepsilon f(x, \dot{x}) = 0 \quad \& \quad f(x, \dot{x}) = \alpha \dot{x} - \beta \dot{x}^2 + \gamma \dot{x}^3 \quad (۹)$$

حال اگر ε را برابر صفر در نظر بگیریم، به عبارت دیگر معادله را خطی فرض کنیم، پاسخ به صورت زیر خواهد بود:

$$x = X \sin(t + \phi) \quad (۱۰)$$

اگر ϕ و X را ثابت و یا غیر ثابت در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$\dot{X} = \dot{\phi} = 0 \rightarrow \dot{x} = X \cos(t + \phi) \quad (۱۱)$$

$$\dot{X} \neq 0, \dot{\phi} \neq 0 \rightarrow \dot{x} = \dot{X} \sin(t + \phi) + X \dot{\phi} \cos(t + \phi) + X \cos(t + \phi) \quad (۱۲)$$

روابط (۱۱) و (۱۲) را مساوی قرار می دهیم، بنابراین داریم:

$$X \cos(t + \phi) = \dot{X} \sin(t + \phi) + X \dot{\phi} \cos(t + \phi) + X \cos(t + \phi) \quad (۱۳)$$

با مشتق گیری از رابطه (۱۲) خواهیم داشت:

$$\ddot{x} = \dot{X} \cos(t + \phi) - X \dot{\phi} \sin(t + \phi) - X \sin(t + \phi) \quad (۱۴)$$

حال با جایگذاری رابطه (۱۴) و (۱۰) در رابطه (۹) داریم:

$$\dot{X} \cos(t + \phi) - X \dot{\phi} \sin(t + \phi) - X \sin(t + \phi) + X \sin(t + \phi) + \varepsilon f = 0 \quad (۱۵)$$

با توجه به روابط (۱۳) و (۱۵) می توان نوشت :

$$\begin{cases} \dot{X} = -\varepsilon f \cos(t + \phi) \\ \dot{\phi} = \frac{\varepsilon f}{A} \sin(t + \phi) \end{cases} \quad (۱۶)$$

از طرفی با توجه به روابط (۹) و (۱۱) داریم:

$$f = \alpha X \cos(t + \phi) - \beta X^2 \left(\frac{1 + \cos(2t + 2\phi)}{2} \right) + \alpha X^3 \left(\frac{\cos(3t + 3\phi) + 3 \cos(t + \phi)}{4} \right) \quad (۱۷)$$

حال با جایگذاری رابطه (۱۷) در (۱۶) داریم (برای سادگی در نوشتار فرض می کنیم: $\tau = \omega t + \phi$):

$$\begin{cases} \dot{X} = -\varepsilon \left\{ -\frac{\alpha X}{2} - \frac{3\gamma X^3}{8} - \frac{3\beta X^2}{4} \cos \tau + \frac{\gamma X^3}{2} \cos 2\tau - \frac{\beta X^2}{4} \cos 3\tau + \frac{\gamma X^3}{8} \cos 4\tau \right\} \\ \dot{\phi} = \varepsilon \left\{ \frac{3\beta X^2}{4} \sin \tau + \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\gamma X^2}{4} \right) \sin 2\tau - \frac{\beta X^2}{4} \sin 3\tau + \frac{\gamma X^3}{8} \sin 4\tau \right\} \end{cases} \quad (۱۸)$$

با توجه به روش کرایلف-بوگولیوبوف و با حذف ترمهایی که تغییرات کوچک دارند ، داریم:



$$\begin{cases} \dot{X} = -\varepsilon \left\{ \frac{\alpha X}{2} - \frac{3\gamma X^3}{8} \right\} \\ \dot{\phi} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

با توجه به اینکه معادلات وندریل دارای سیکل محدود می باشند، انتظار می رود که $\dot{X} = 0$ بنابراین خواهیم داشت:

$$\dot{X} = -\varepsilon \left\{ \frac{\alpha X}{2} - \frac{3\gamma X^3}{8} \right\} = 0 \rightarrow X = \sqrt{\frac{4\alpha}{3\gamma}} \quad (20)$$

که این مقدار مبین سیکل محدود است. لذا با توجه به روابط (۱۹) و (۲۰) می توان گفت مقادیر X و ϕ ثابت هستند، بنابراین با توجه به شرایط اولیه، می توان شکل نوسانات به صورت زیر بدست آورد:

$$x(0) = 10\text{mm} \ \& \ \dot{x}(0) = -22 \frac{\text{mm}}{\text{Sec}} \rightarrow x(t) = -2.4168 \sin(t - 0.4266) \quad (21)$$

۴-حل معادله به روش اختلال هموتوبی

در این قسمت هدف حل معادله ی حاکم بر نوسانگر محرک با اصطکاک با روش اختلال هموتوبی که روشی جدید برای حل معادلات با درجات بالای غیر خطی است، می باشد. معادله ی نوسانات به شکل زیر می باشد:

$$\ddot{x} + x + \alpha\dot{x} - \beta\dot{x}^2 + \gamma\dot{x}^3 = 0; x(0) = 10\text{mm} \ \& \ \dot{x}(0) = -22 \frac{\text{mm}}{\text{Sec}} \quad (22)$$

در این روش فرض می شود که جواب نهایی به فرم زیر خواهد بود:

$$x = p^0 x_0 + p^1 x_1 + p^2 x_2 + \dots \quad (23)$$

در این مرحله ترم خطی را از باقی معادله جدا می کنیم:

$$\ddot{x} + \omega^2 x + p \left\{ (1 - \omega^2)x + \alpha\dot{x} - \beta\dot{x}^2 + \gamma\dot{x}^3 \right\} = 0 \quad (24)$$

ابتدا فرض می کنیم $p=0$ بنابراین داریم:

$$\ddot{x}_0 + \omega^2 x_0 = 0 \quad ; x_0(0) = A \ \& \ \dot{x}_0(0) = 0 \quad (25)$$

در نتیجه داریم:

$$x_0(t) = X \cos \tau \quad ; \tau = \omega t + \phi \quad (26)$$

با جایگذاری رابطه ی (۲۶) در رابطه ی (۲۴) خواهیم داشت:

$$\ddot{x}_1 + \omega^2 x_1 + X \left\{ M + N - \frac{\beta\omega^2 X}{2} (1 - \cos \tau) + \frac{3\omega^3 X^2}{4} (\sin 3\tau) \right\} = 0 \quad (27)$$

$$M = (1 - \omega^2) \cos \tau \quad , N = - \left(\alpha\omega + \frac{3}{4} \gamma X^2 \right) \sin \tau \quad (28)$$

در رابطه (۲۸) ترمهای M و N ترمهای متاثر از زمان^۱ می باشند که با صفر کردن آنها فرکانس نوسانات و سیکل محدود به صورت زیر بدست می آیند:

^۱. Secular term



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۳۸۸ اسفند ماه ۱۰-۱۲

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

$$\begin{cases} 1 - \omega^2 = 0 \Rightarrow \omega = 1 \\ \alpha + \frac{3}{4}\gamma X^2 = 0 \Rightarrow X = \sqrt{\frac{-4\alpha}{3\gamma}} \end{cases} \quad (29)$$

همانطور که مشاهده می شود مقدار سیکل محدود با رابطه ی (۲۱) یکسان بدست آمده است. در ادامه با توجه به روابط (۲۷) و (۲۹) خواهیم داشت :

$$\ddot{x}_1 + \omega^2 x_1 = \frac{\beta \omega^2 X^2}{2} - \frac{\beta \omega^2 X^2}{2} \cos 2\tau + \frac{3\omega^3 X^3}{4} \sin 3\tau \quad ; x_1(0) = 0 \ \& \ \dot{x}_1(0) = 0 \quad (30)$$

با حل معادله (۳۰) داریم :

$$x_1 = \frac{\beta X^2}{2} + \frac{\beta X^2}{6} \cos 2\tau + \frac{\gamma X^3}{32} \sin 3\tau \quad (31)$$

حال با توجه به رابطه ی (۲۳) ، (۲۶) و (۳۱) می توان نوشت:

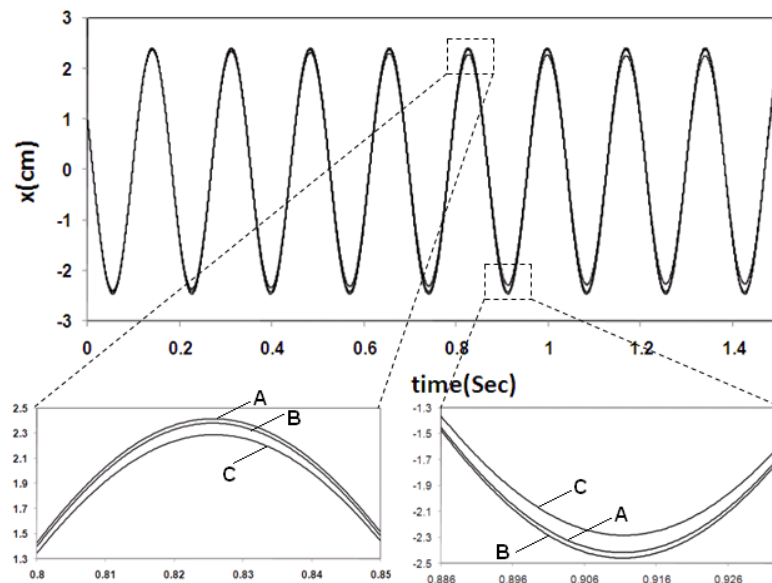
$$x = X \cos \tau + p \left\{ \frac{\beta X^2}{2} + \frac{\beta X^2}{6} \cos 2\tau + \frac{\gamma X^3}{32} \sin 3\tau \right\} \quad (32)$$

با توجه به شرایط اولیه ی مسئله و مقادیر α, β, γ ارائه شده در رابطه ی (۸) خواهیم داشت:

$$x = -0.029 + 2.417 \cos(t + 1.144) - 0.010 \cos(2t + 2.288) + 0.004 \cos(3t + 3.433) \quad (33)$$

۴- مقایسه روشهای اختلال هموتوبی ، اختلال میانگین گیری و حل عددی

از آنجا که میزان غیرخطی بودن مسئله بالا نیست لذا انتظار می رود میزان خطای دو روش میانگین گیری و هموتوبی مقادیری کوچک و نزدیک به هم باشند، ولی در عین حال انتظار می رود روش هموتوبی که روشی جدیدتر است، خطای کمتری داشته باشد. در ادامه این دو حل را با حل عددی مقایسه می نماییم .



شکل ۲- حل معادله با روشهای میانگین گیری (A) ، هموتوبی (B) و عددی (C)



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

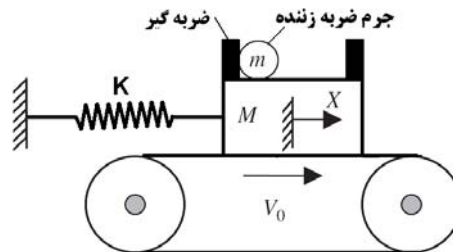
برای محاسبه خطای هر یک از روشها اختلاف نصف فاصله قله تا قله نمودار حاصل از هر یک از روشها را با مقدار سیکل محدود اندازه گیری شده به وسیله آزمایش و مقدار دقیق محاسبه شده ی آن مقایسه می نماییم .

جدول ۱ - مقادیر نوک و قعر بدست آمده با روشهای هموتویی ، میانگین گیری و عددی و خطای حاصل از استفاده از این روشها

روش عددی	روش میانگین گیری	روش هموتویی	
۲/۳۸۴۵ cm	۲/۴۱۶۸ cm	۲/۴۲۰۷ cm	نصف فاصله ی قله تا قله
۳/۱۴ %	۱/۸۳ %	۱/۶۷ %	خطا نسبت به سیکل محدود محاسبه شده
۴/۶۲ %	۳/۳۳ %	۳/۱۷ %	خطا نسبت به سیکل محدود حاصل از آزمایش

۵- مدل سازی دمپر ضربه ای

به طور کلی می توان حرکت جرم ضربه زننده در دمپر ضربه ای را به دو قسمت تقسیم نمود: حرکت اول مربوط به زمانی است که جرم ضربه زننده مابین ضربه گیرها حرکت می کند. حرکت دوم مربوط به زمان برخورد جرم ضربه زننده با ضربه گیرها می باشد که در این حالت جرم و ضربه گیر متصل به یکدیگر در نظر گرفته می شوند.



شکل ۳ - طرح شماتیک نوسانگر محرک به کمک اصطکاک با به کار گیری دمپر ضربه ای

به طور کلی معادله ی حرکت جرم اصلی در حین حرکت اول مشابه رابطه ی (۱) می باشد و نیز رابطه ی حاکم بر حرکت دوم را می توان به کمک اصل بقاء تکانه به صورت زیر نوشت:

$$M\dot{x}_B + mv_1 = M\dot{x}_A + mv_2 \quad (34)$$

که در آن m و M به ترتیب جرم جسم ضربه زننده و جرم جسم اصلی، \dot{x}_A و \dot{x}_B به ترتیب سرعت جرم اصلی قبل و بعد از برخورد و نیز v_1 و v_2 به ترتیب سرعت جرم ضربه زننده قبل و بعد از برخورد می باشد. در این پژوهش برای بدست آوردن شکل نوسانات جرم اصلی به همراه دمپر ضربه ای، حرکت جرم اصلی به کمک جعبه ابزار سیم مکانیکز (SimMechanics) در نرم افزار MATLAB مورد بررسی قرار گرفته است و معادلات حاکم بر آن به روش ode45 و با سایز گام ۰/۰۱ حل شده



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

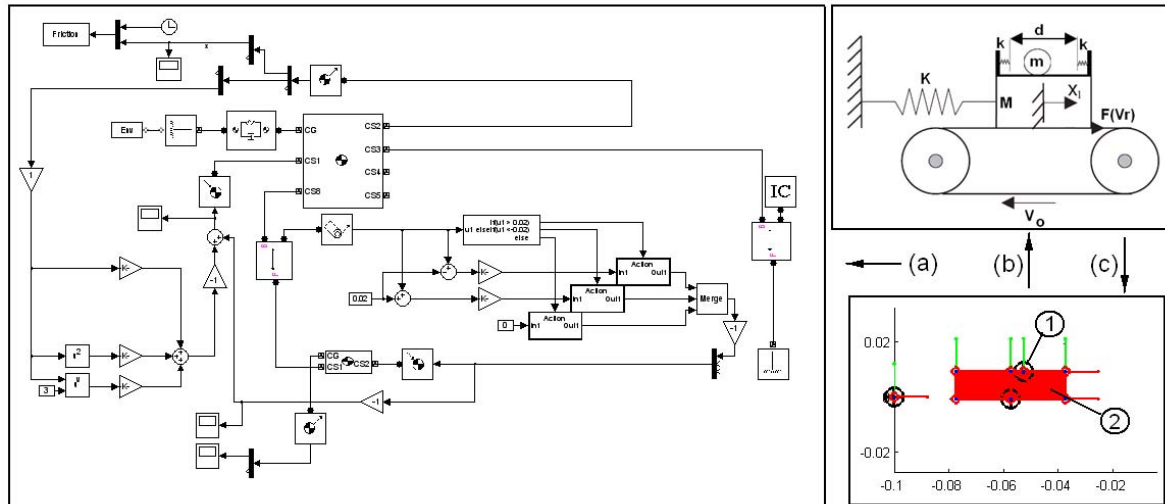
۱۲-۱۰ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



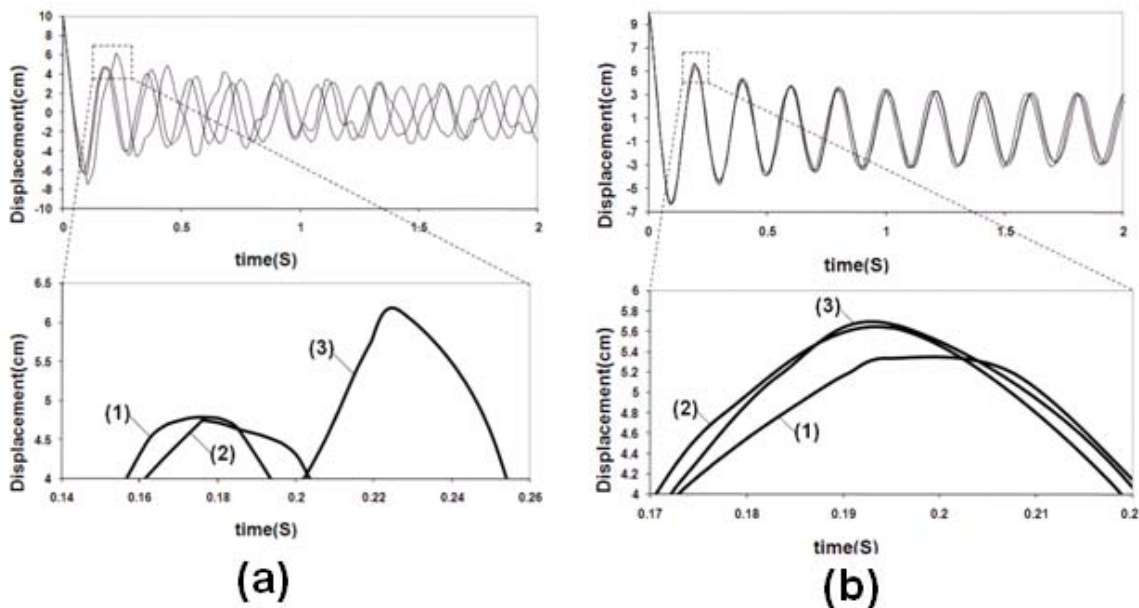
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

است. استفاده از این نرم افزار به ما این امکان را می دهد که با تغییر پارامترهای اصلی دمپره های ضربه ای اثر آنها بر عملکرد دمپره های ضربه ای در کاهش هر چه سریعتر نوسانات نا خواسته مورد بررسی قرار دهیم.

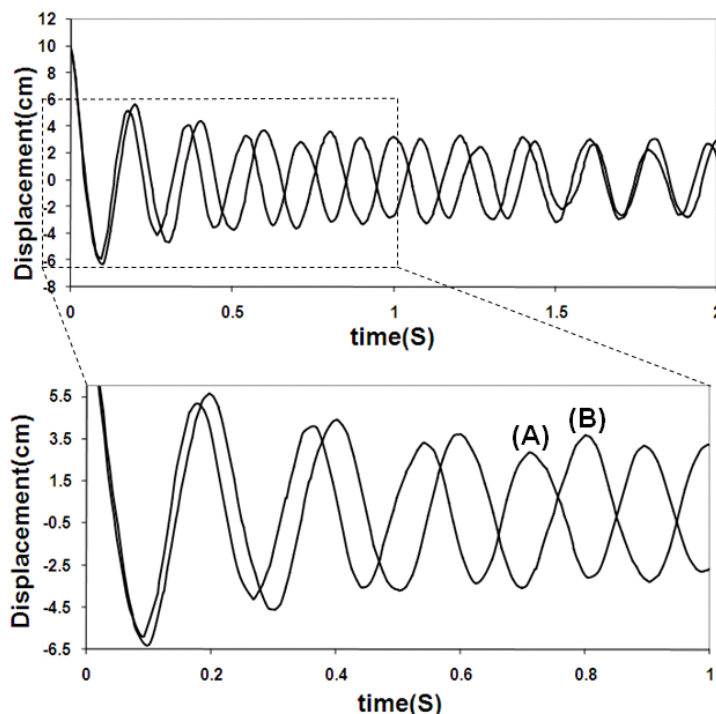


شکل ۴ - (a) مدل دمپر ضربه ای ، (b) طرح شماتیک مدل دمپر ضربه ای ، (c) شمای مدل در نرم افزار که در آن ۱-جرم ثانویه ۲-جرم اصلی است.

شکل (۵) نشان دهنده ی نتایج حاصل از نوسانات نوسانگر به همراه دمپر ضربه ای است. در شکل (۵) قسمت (a) مشاهده می شود جرم ضربه زنده ی ۵۰ گرمی عملکرد بهتری نسبت به جرمهای ۱۰۰ و ۳۰۰ گرمی دارد و در قسمت (b) مشاهده می شود که نرم شدن ضربه سختی فنر از ۲۵۰۰ تا ۱۰۰۰ نیوتن بر متر باعث بهبود عملکرد دمپر به منظور کاهش سریعتر دامنه ارتعاشات می شود. در شکل (۶) اثر حضور دمپر ضربه ای بر کاهش سریع نوسانات را مشاهده می نمایید.



شکل ۵ - (a) اثرات جرم ضربه زنده بر نوسانات جرم اصلی برای (۱)- ۵۰ گرم، (۲)- ۱۰۰ گرم و (۳)- ۳۰۰ گرم ، (b) اثرات سختی فنر ضربه گیر بر نوسانات جرم اصلی برای سه سختی (۱)- ۱۰۰۰، (۲)- ۱۵۰۰ و (۳)- ۲۵۰۰ نیوتن بر متر



شکل ۶ - مقایسه ی حضور دمپر ضربه ای (A) و عدم حضور دمپر ضربه ای (B) بر نوسانات

۶- نتیجه گیری

با توجه به مطالب ذکر شده در این پژوهش می توان نتیجه گرفت که روشهای اختلال جدید نظیر اختلال هموتویی علاوه بر راه حل کوتاهتر جوابهای دقیق تری نسبت به روشهای کلاسیک نظیر اختلال میانگین گیری ارائه می دهند، این امر را می توان در نتایج حاصل از حل معادله حاکم بر نوسانگر محرک با نیروی اصطکاک که در جدول (۱) نمایش داده شده است، مشاهده نمود. در ادامه به بررسی عملکرد یک نمونه دمپر ضربه ای می پردازیم. بدین منظور نوسانات نوسانگر محرک با نیروی اصطکاک را در حضور یک نمونه دمپر ضربه ای مورد بررسی قرار می دهیم. در این پژوهش ضریب ارتجاعی ضربه گیر، جرم ضربه زننده و فاصله ی بین دو ضربه گیر به عنوان پارامترهای موثر بر عملکرد دمپر ضربه ای مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت نتیجه گیری شد که معمولا کاهش ضریب ارتجاعی ضربه گیر و کوچک بودن جرم ضربه زننده نسبت به جرم اصلی باعث کارایی بهتر دمپرهایی ضربه ای می گردد.

مراجع

1. R.A. Ibrahim, Friction-induced vibration, chatter, squeal and chaos. Part I: mechanics of contact and friction, Applied Mechanics Reviews 47 (7) (1994) 209-226.
2. R.A. Ibrahim, Friction-induced vibration, chatter, squeal and chaos. Part II: dynamics and modeling, Applied Mechanics Reviews 47 (7) (1994) 227-253.
3. N. Hinrichs, M. Oestreich, K. Popp, On the modelling of friction oscillators, Journal of Sound and Vibration 216 (3) (1998) 435-459.
4. A. Fidlin, Nonlinear Oscillations in Mechanical Engineering, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
5. S.L. Qiao, R.A. Ibrahim, Stochastic dynamics of system with friction-induced vibration, Journal of Sound and Vibration 223 (1) (1999) 115-140.
6. J. Das, A.K. Mallik, Control of friction-driven oscillation by time-delayed state feedback, Journal of Sound and Vibration 297 (3) (2006) 578-594.
7. P.B. Zinjade, A.K. Malik, "Impact damper for controlling friction-driven oscillations", Journal of sound and vibration 306(2007) 238-251