

کنترل هوشمند سیستم تعلیق فعال ۱/۴ خودرو با عملگر هیدرولیکی

پریسا پولادزاده* کارو لوکس** محمدرضا جاهد مطلق*** علی اکبر لطفی نیستانک****

چکیده: در این مقاله پیاده‌سازی کنترل‌کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز^۱ بر روی سیستم تعلیق فعال ۱/۴ خودرو با مدل غیر خطی عملگر هیدرولیکی بررسی شده است. کنترل‌کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز، تعدادی پارامتر با درجه آزادی در اختیار استفاده‌کننده قرار می‌دهد که می‌توان با تنظیم آن‌ها به پاسخ مناسبی دست یافت. با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی عملگر هیدرولیکی سیستم و همچنین با توجه به استفاده از کنترل هوشمند و دارا بودن مکانیزم یادگیری این کنترل‌کننده عملکرد سیستم در زمان طولانی‌تر بهبود یافته است و با بررسی شتاب اعمالی به سرنشینان و انحراف تعلیق نشان می‌دهد که ساختار کنترلی پیشنهادی راحتی بیشتری برای سرنشینان ایجاد نموده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم یا ورودی جاده، عملکرد مطلوب سیستم حلقه بسته را تأیید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: سیستم تعلیق فعال، عملگر هیدرولیکی، مدل غیرخطی، ورودی تصادفی جاده، کنترل‌کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز.

عملگرهای نیوماتیکی و یا هیدرولیکی استفاده می‌شود که به موازات فنرها و کمک‌فنرها قرار داده می‌شوند و با استفاده از اطلاعات حاصل از ارتعاشات بدنه، استراتژی مناسب کنترل اعمال می‌شود. چهار پارامتر مهمی که باید در طراحی هر سیستم تعلیق مورد توجه قرار گیرد عبارتند از:

راحتی سفر.

حرکت بدنه اتومبیل.

پایداری بر روی جاده.

حرکت اجزای سیستم تعلیق.

البته هیچ سیستم تعلیقی نمی‌تواند به‌طور هم‌زمان چهار پارامتر ذکر شده در بالا را بهینه سازد، بلکه با ایجاد مصالحه‌ای بین آن‌ها راحتی سرنشینان را در ضمن حفظ پایداری تأمین می‌کند. در سیستم تعلیق فعال امکان به‌دست آوردن یک مصالحه بهینه بین پارامترها میسر است. طراحی سیستم‌های فعال تعلیق خودرو موضوع بسیاری از تحقیقات به روز صنعت خودرو در جهان می‌باشد. در این تحقیقات مدل‌های متنوعی از خودرو در نظر گرفته شده است، در حالی که رفتار غیر خطی عملگر هیدرولیکی سیستم در نظر گرفته نشده است. این در حالی است که آزمایشات عملی اهمیت رفتار غیر خطی عملگر را در تعیین مصالحه‌ی مناسب در سیستم تعلیق خودرو نشان می‌دهد. مدل در نظر گرفته شده سیستم تعلیق خودرو بر اساس نتایج تجربی مرجع (۵-۳) یک مدل ۱/۴ اتومبیل است که در شکل ۱ به تصویر کشیده

۱. مقدمه

نیاز به راحتی سفر و ایمن و سوانح نقلیه، بسیاری از صنایع خودروسازی را بر آن داشته است تا از تعلیق فعال استفاده نمایند. چنین سیستم‌های تعلیقی که با ابزارهای الکترونیکی کنترل می‌شوند، کیفیت حرکت خودرو و ایمنی آن را بهبود می‌بخشند. از نظر کیفیت عملکرد سیستم‌های تعلیق اتومبیل به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند. سیستم‌های تعلیق غیرفعال، سیستم‌های تعلیق نیمه فعال و سیستم‌های تعلیق فعال که در آن برای کنترل دقیق میزان ارتعاشات خودرو از عملگرهای نیوماتیکی و یا هیدرولیکی استفاده می‌شود [۱]. کنترل سیستم‌های فعال موضوع بسیاری از تحقیقات صنعت خودرو است که یکی از این روش‌های کنترل، کنترل هوشمند می‌باشد. در کنترل هوشمند گرایش شدیدی برای الهام از سیستم‌های طبیعی وجود دارد مانند کنترل‌کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی [۲]. در سیستم‌های تعلیق فعال برای کنترل دقیق میزان ارتعاشات خودرو از

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق - دانشگاه آزاد اسلامی

آدرس پست الکترونیک: Pr_pouladzadeh@yahoo.com

** عضو هیأت علمی دانشگاه تهران آدرس پست الکترونیک: lucas@ipm.ir

*** عضو هیأت علمی - دانشگاه علم و صنعت ایران

آدرس پست الکترونیک: Jahedmr@iust.ac.ir

**** کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - دانشگاه علم و صنعت ایران

آدرس پست الکترونیک: aaklotfi@yahoo.com

^۱BELBIC

سرعت مطابق یک تقریب یکنواخت از تابع Signum مدل می‌شود.

$$|\dot{Z}_s - \dot{Z}_u| > 0.01m/s \text{ if} \quad (6)$$

$$F_f = \mu \operatorname{sgn}(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u)$$

$$|\dot{Z}_s - \dot{Z}_u| < 0.01m/s \text{ if} \quad (7)$$

$$F_f = \mu \sin\left(\frac{\dot{Z}_s - \dot{Z}_u}{0.01} \frac{\pi}{2}\right)$$

برای اعمال روش‌های کنترلی لازم است مدل فضای حالت سیستم و یا تابع تبدیل حاکم بر آن استخراج گردد. در اینجا، هم مدل فضای حالت سیستم ارائه می‌شود. توجه شود که خروجی سیستم، شتاب بدنه خودرو است. به این ترتیب متغیرهای حالت به صورت معادلات ۸ تا ۱۳ انتخاب می‌شوند.

$$x_1 = Z_s - Z_u \quad (8)$$

$$x_2 = \dot{Z}_s \quad (9)$$

$$x_3 = Z_u - Z_r \quad (10)$$

$$x_4 = \dot{Z}_u \quad (11)$$

$$x_5 = P_1 - P_2 \quad (12)$$

$$x_6 = x_v \quad (13)$$

و معادلات حالت سیستم به صورت معادلات ۱۴ تا ۲۰ نشان داده می‌شوند:

$$\dot{x}_1 = x_2 - x_4 \quad (14)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{M_s} (-K_s x_1 - B_s (x_2 - x_4) + Ax_5 - F_f) \quad (15)$$

$$\dot{x}_3 = x_4 - \dot{Z}_r \quad (16)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{1}{M_u} (K_s x_1 + B_s (x_2 - x_4) - K_t x_3 - Ax_5 + F_f) \quad (17)$$

$$\dot{x}_5 = -\beta x_5 - \alpha A (x_2 - x_4) + \lambda x_6 \sqrt{P_s - \operatorname{sgn}(x_6) x_5} \quad (18)$$

$$\dot{x}_6 = \frac{1}{\tau} (-x_6 + u) \quad (19)$$

$$y = Ax_5 - F_f \quad (20)$$

تعاریف پارامترهای استفاده شده در سیستم تعلیق عبارتند از:

$$\rho = \text{چگالی سیال هیدرولیکی} \quad \beta = \alpha C_{tm}$$

$$\alpha = (4\beta / V_t) \quad C_d = \text{ضریب تخلیه}$$

$$U = \text{ورودی سروولوی} \quad W = \text{پهنای شیر کنترل}$$

$$V_t = \text{حجم عملگر} \quad P_s = \text{فشار منبع}$$

$$C_{tm} = \text{ضریب نشست}$$

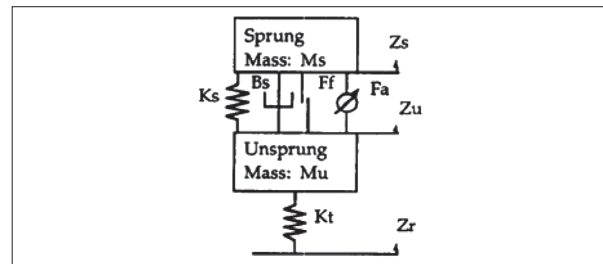
پارامترهای سیستم نیز به صورت تجربی در جدول ۱ نشان داده شده است:

شده است. در این مدل تنها حرکات عمودی بدنه بر روی یک چرخ در نظر گرفته شده است و در بسیاری از مراجع به منظور تأیید استراتژی کنترل ارائه شده مورد استفاده قرار گرفته است (۸، ۷، ۶، ۳) در این مدل:

M_s جرم یک چهارم بدنه

M_u جرم یک چرخ و ادوات تعلیق آن

چرخ اتومبیل به صورت یک فنر با ضریب فنریت K_f مدل شده است و فرض شده که میرایی آن ناچیز است. عنصر مولد نیرو در سیستم تعلیق فعال یک عملگر هیدرولیکی با شیر سوزنی در نظر گرفته شده است این عنصر با ایجاد یک نیروی متغیر با زمان باعث جبران اغتشاش حاصل از ناهمواری سطح جاده می‌شود. حرکت شیر سوزنی به وسیله یک شیر تیغه‌ای با یک جریان ورودی مستقیم کنترل می‌شود. مطابق آزمایشات انجام شده دینامیک سرو ولوآ که شامل شیر تیغه‌ای و سوزنی است. در واقع دارای سه قطب ناشی از سیستم‌های هیدرولیکی، مکانیکی و الکتریکی می‌باشد. اما قطب غالب سیستم مربوط به سیستم هیدرولیکی آن بوده و در نتیجه با یک سیستم درجه یک که از طریق آزمایش شناسایی می‌شود، مدل شده است.



شکل ۱. مدل سیستم تعلیق ۱/۴ خودرو و عملگر هیدرولیکی

مدل سیستم تعلیق با استفاده از روش نیوتن - اوایلر به صورت زیر تعیین شده است. [۴۶]

$$M_s \ddot{Z}_s = -K_s (Z_s - Z_u) - B_s (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + F_A - F_f \quad (1)$$

$$M_u \ddot{Z}_u = K_s (Z_s - Z_u) + B_s (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) - K_t (Z_u - Z_r) - F_A + F_f \quad (2)$$

که در آن:

Z_r : ورودی اغتشاشی جاده

F_A : نیروی عملگر هیدرولیکی

F_f : نیروی اصطکاک عملگر هیدرولیکی

l : ورودی

رابطه، غیرخطی بین حرکت شیر سوزنی و نیروی عملگر * $F = P_L A$ به صورت زیر نشان داده می‌شود. [۸]

روابط غیر خطی موجود در عملگر در روابط سه تا پنج آورده شده است.

$$\frac{V_t}{4\beta_e} \dot{P}_L = Q_L - C_{tm} P_L - A(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) \quad (3)$$

$$Q_L = C_d \omega x_v \sqrt{\frac{P_s - \operatorname{sgn}(x_v) P_L}{\rho}} \quad (4)$$

$$\dot{F}_A = A\alpha \left[C_d \omega x_v \sqrt{\frac{P_s - \operatorname{sgn}(x_v) P_L}{\rho}} - C_{tm} P_L - A(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) \right] \quad (5)$$

نیروی اصطکاک عملگر قابل توجه بوده و به صورت تجربی با منحنی نیروی

$$A_i = S_i V_i \quad (21)$$

$$O_i = S_i W_i \quad (22)$$

که در آن‌ها A_i و Q_i به ترتیب خروجی گره‌ها رد ساختار شبکه‌ای آمیگدالا و قشر اربیتوفرانثال و W_i و V_i وزن گره‌ها و ورودی‌های حسی هستند. تغییرات W_i و V_i در فرایند یادگیری به ترتیب با استفاده از روابط ۲۳ و ۲۴ محاسبه می‌شوند.

$$\Delta V_i = k_a \left(S_i \left[R_w - \sum_j A_j \right]^+ \right) \quad (23)$$

$$\Delta W_i = k_o \left(S_i (E' - R_w) \right) \quad (24)$$

$$E' = \sum_i A_i - \sum_i O_i \quad (25)$$

(بدون در نظر گرفتن ورودی تالاموس)

که در این روابط K_o و K_a ضرایب یادگیری هستند که با تنظیم آن‌ها ضرایب یادگیری تنظیم می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر A_i نمی‌توانند کاهش پیدا کنند، یعنی این که آمیگدالا اطلاعات آموخته را فراموش نمی‌کند. در حقیقت «فراموش کردن» یا به تعبیری بازدارندگی وظیفه قشر اربیتوفرانثال است و نهایتاً خروجی مدل از رابطه ۲۵ و ۲۶ به دست می‌آید.

$$E = \sum_i A_i - \sum_i O_i \quad (26)$$

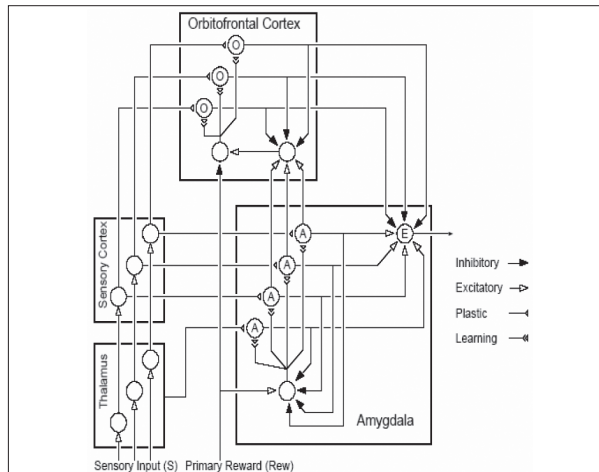
در شکل ۳، کنترل کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز را نشان داده شده است.

سیگنال تقویتی R_w و ورودی‌های حسی به ترتیب به کمک روابط ۲۷ و ۲۸ بر اساس خروجی سیستم، سیگنال کنترلی و مقادیر خودشان محاسبه می‌شوند. فرم کلی آن‌ها به صورت زیر است [۱۱].

$$R_w = J(S_1, S_2, \dots, S_n, E, PO_1, \dots, PO_m) \quad (27)$$

$$S_i = f(E, PO_1, \dots, PO_m) \quad (28)$$

در ضمن بایستی توجه کرد که K_o و K_a ، مقادیر اولیه A و A_{th} و O و تابع f و J باید به نحو مناسب انتخاب شوند.



شکل ۳. مدل محاسباتی سیستم یادگیری عاطفی مغز [۹]

³ Sensory Input

⁴ Reward

جدول ۱. مقادیر عددی پارامترهای استفاده شده در سیستم

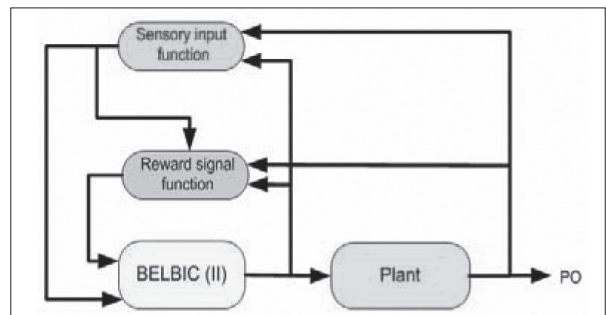
M_s	۲۹۰ kg	P_s	۱۰۳۴۲۵۰۰ pa
M_u	۵۹ kg	K_t	۱۹۰۰۰۰ N/m
K_s	۱۶۸۱۲ N/m	α	۴،۵۱۵e۱۳ N/m ⁵
γ	۱،۵۴۹e۹ $Nl(m^{5/2} kg^{1/2})$	β	۱،۰۰
A	۳،۳۵۹e-۴ m ²		

۲. کنترل بر اساس یادگیری عاطفی

معمولاً پروسه‌ها با سیستم‌هایی که قرار است کنترل گردند کاملاً ناشناخته هستند و با نایقینی‌هایی در مدل‌سازی و اغتشاشات و نویز در سیستم حلقه بسته‌شان موجود است. در این شرایط قانون کنترل بایستی انعطاف‌پذیری لازم برای مواجهه با شرایط مختلف را دارا باشد. در این میان، کنترل هوشمند شاخه‌ای از کنترل می‌باشد که الگوریتم کنترلی بر پایه سیستم‌های بیولوژیکی هوشمند بنا نهاده می‌شود. بسیاری از پیشرفت‌های موجود در گرایش‌ها و موضوعات مختلف مدیون این روش کنترلی می‌باشند و این روش به خوبی توانسته است بر این مشکل فائق آید.

منطق فازی، شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های تکاملی از جمله روش‌های کنترلی هوشمند هستند که توانسته‌اند راه‌حل‌های کنترلی برای بسیاری از مسائل حل نشده معرفی کنند. در این میان، بررسی رفتار و برخورد انسان در تقابل با محیط اطراف مدل‌های متفاوت زیادی را معرفی کرده است [۹].

فرایند تصمیم‌گیری در مغز انسان محدود به محاسبه و منطق که توسط قشر فوقانی آن انجام می‌گیرد نیست بلکه عواطف که منشأ آن‌ها در مخچه و مغز میانی می‌باشد نیز در تصمیم‌گیری دخیل می‌باشد. [۱۰] آمیگدالا بخشی از مغز است که مسئولیت پردازش‌های عاطفی را بر عهده دارد و با لایحه حسی، غده تالاموس و قشر اربیتوفرانثال در ارتباط می‌باشد (شکل ۲). آمیگدالا و قشر اربیتوفرانثال در مدل محاسباتی دارای ساختاری شبکه‌هایی هستند که در هر کدام از آن‌ها به‌ازای هر ورودی حسی یک گره وجود دارد. در آمیگدالا یک گره نیز برای ورودی تالاموس موجود می‌باشد که مقدار این ورودی برابر با حداکثر مقدار ورودی‌های حسی می‌باشد.



شکل ۲. سیستم کنترل با BELBIG

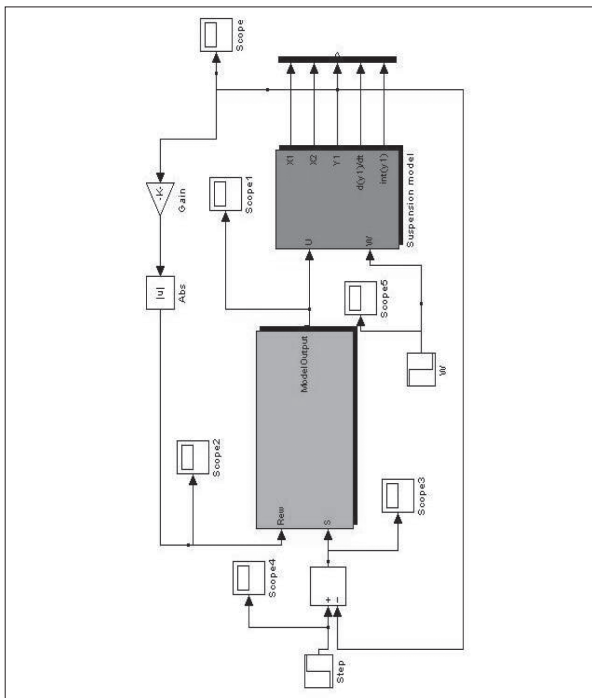
خروجی گره‌ها در آمیگدالا و قشر اربیتوفرانثال به ترتیب بر اساس معادلات ۲۱ و ۲۲ محاسبه می‌شوند.

۳. تکمیل و بهبود مدل کنترلر عاطفی

با توجه به نتایج بخش قبل به وجود مشکل در پارامترهای یادگیرنده کنترل کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز، که به صورت بی پایان طی یک عمل انتگرال گیری به سمت بی نهایت می روند پی بردیم، اما به دلیل بزرگ شدن دو پارامتر که توانایی خنثی کردن اثر همدیگر را داشتند خروجی سیستم دچار ناپایداری اساسی در مراحل اولیه نمی شود، اما در ادامه با گذر بیشتر زمان و رسیدن پارامترها به اعداد بسیار بزرگ محاسبات دچار مشکل می گردد و امکان ادامه عمل کنترلی وجود نخواهد داشت. به طور مثال اگر خروجی را فقط در چند پله اول دنبال کنیم نتایج را رضایت بخش می بینیم و ممکن است که به اشتباه بیفتیم که این سیستم درست عمل می کند اما کمی تأمل و ادامه شبیه سازی ممکن است ناپایداری را مشاهده نمایید. نکته قابل توجه آن است که در برخی مدل ها به ویژه مدل های خطی، ناپایداری در خروجی مشاهده نمی شود اما حتی در این موارد نیز پارامترهای V و W به سمت بی نهایت رفته و ناپایداری داخلی ایجاد می کنند. برای رفع این مشکل راه حل پیشنهادی به صورت تغییر در فرمول های زیر بیان گردیده است.

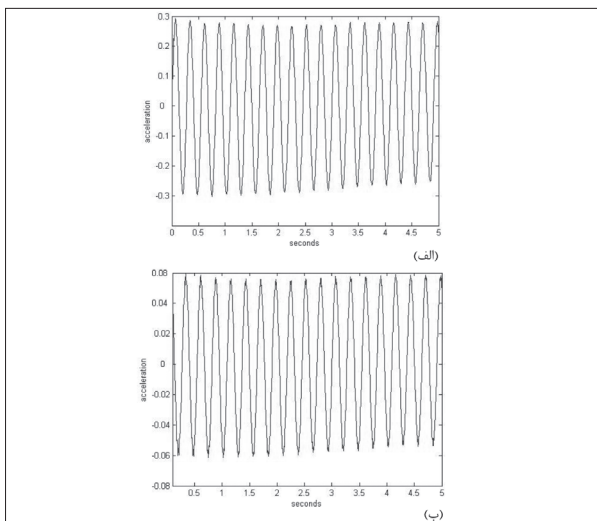
$$\Delta V_i = \alpha (\max(0, S_i (\text{stress} - \sum A_j))) \quad (29)$$

$$\Delta W_i = \beta (S_i \sum (O_j - \text{stress})) \quad (30)$$



شکل ۴. مدل سیستم همراه با کنترلر BELBIC

ابتدا به بررسی مشخصات شتاب بدنه مربوط به سیستم غیر فعال و سیستم فعال با عملگر هیدرولیکی و تفاوت بین آن ها خواهیم پرداخت. شکل ۵ الف مشخصه شتاب بدنه مربوط به سیستم غیر فعال را نمایش می دهد. سیستم تعلیق فعال باید بتواند راحتی سواری را در این فرکانس برای سرنشین فراهم سازد. از مقایسه شکل های ۵ الف و ۵ ب مشاهده می شود که سیستمی که تحت کنترل عملگر هیدرولیکی می باشد دارای شتاب بدنه تقریباً ۱/۳ حالت غیر فعال است. که این نتیجه عملکرد مطلوب سیستم فعال را نمایش می دهد.



شکل ۵. مقایسه پاسخ سیستم به ورودی سینوسی (الف) بدون سیستم کنترل (ب) با سیستم کنترل

۴. نمایش نتایج به دست آمده

نتایج حاصل از شبیه سازی باید از چند جنبه مورد بررسی قرار گیرد. اولاً باید بررسی شود که حلقه فیدبک طراحی شده تا چه حد کاهش تأثیر اغتشاشات وارده در سیگنال خروجی و سیگنال کنترل مؤثر می باشد. ثانیاً لازم است توانایی حلقه فیدبک در مقابل نامعینی های سیستم مورد ارزیابی قرار گیرد. مدل نمایش داده شده در شکل ۴ مربوط به سیستم تعلیق مورد مطالعه می باشد. که از ناحیه پایین، اغتشاشات جاده ای به آن وارد می شود و همچنین، همان طور که در شکل ۴ ملاحظه می گردد از طریق فیدبک سیگنال خروجی و گذراندن سیگنال خطا از کنترلر و اعمال سیگنال استرس به سیستم کنترلی حلقه فیدبک کامل شده است.

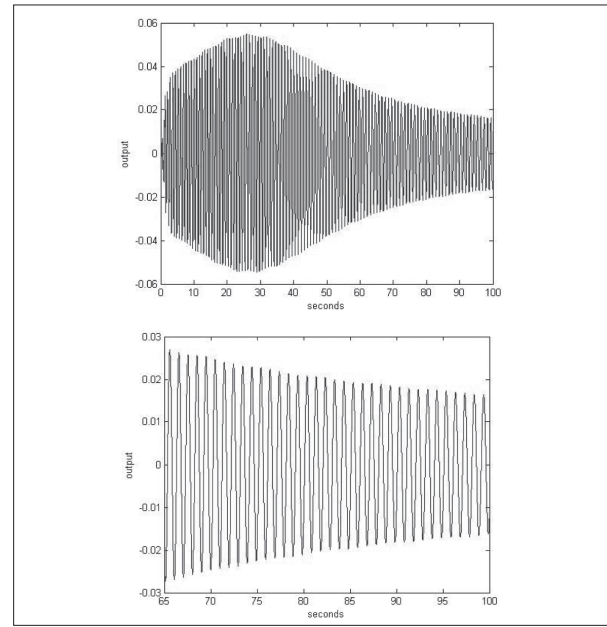
۵. بررسی عملکرد سیستم تعلیق فعال

حال برای مشاهده تأثیر حلقه فیدبک در کم کردن تأثیر اغتشاشات جاده ای در حوزه زمان یک ورودی سینوسی از ناحیه جاده به سیستم وارد می شود. در این جا با استفاده از یک ورودی سینوسی از ناحیه جاده میزان کارایی حلقه کنترلی مورد ارزیابی قرار می گیرد. همان طور که در بخش دوم بیان شد، اغتشاشاتی که در بازه فرکانسی ۱-۱۰۰ red/sec قرار دارند دینامیک قوی تر را روی سیگنال خروجی اعمال می کنند. حال فرض می شود اغتشاش جاده به صورت یک نوسان سینوسی با فرکانس ۱ Hz دامنه ۲/۵۴ cm اعمال شود. انتظار می رود که تأثیرات اغتشاش روی سیگنال خروجی قابل توجه باشد. در اینجا برای نشان دادن میزان کارایی حلقه فیدبک طراحی شده روی کم کردن تأثیر اغتشاش جاده نمایش داده شده است.

منابع

- [1] Lane R. Miller, 1988, "Tuning Passive, Semi-active, and fully active suspension systems", Proceedings of the 27th conference on Decision and Control.
- [2] Hwang k., Tan S., Tsai M., 2003, "Reinforcement IDD Trans, on System, Man, and Cybernetics- Part B: Cybernetics, Vol. 33, No. 3, 2003.
- [3] R. Rajamani, J. k. Hedrick, 1994, "Performance of active automotive Suspensions with hydraulic actuators", Proceedings of the American Control Conference, pp. 1214-1218,
- [4] R, Rajamani, J. K. Hedrick, 1995, "Adaptive observers Cfor active automotive suspensions", IEEE Trans. on Control systems Technology, Vol 3. No. 1, pp. 86-93.
- [5] A. Alleyne, J. K. Hedrik, 1995, "Nonlinear adaptive Control of active suspensions", IEEE Trans, an Control systems Technology, Vol. 3. No. 1. pp. 94—101.
- [6] Niklas karlsoon, Mohammand Dahleh, Davor Hrovat, June 2001, "Nonlinear Hoo Control of active suspensions", Proceedings of the American Control Conference, pp. 3329-3334.
- [7] Takanori Fukao, Akira Yamawaki, Norihiko Adachi, Dec 1999, "Nonlinear and Hoo control of active suspension systems with hydraulic actuator", Proceedings of the 38th conference on Decision & Control, pp. 5125-5128.
- [8] H. E. Merritt, 1967 "Hydraulic control systems", New York: Wiley.
- [9] C. Lucas, D. Shahmirzadi, and N. Sheikholeslami, 2003, "Introducing BELBIC: Brain Emotional Learning Based Intelligent Automation and Soft Computing, vol. 10, no. 1, pp. 11-22.
- [10] J, LeDoux, 1996, "The emotional brain", New York: Simon and Schuster.
- [11] P.Pouladzadeh, M.R.jamali, C. Lucas September 2007, "Emotional Control of automotive suspension system" proceedings of Sixth International Conference on Computer Science and Information Technologies.

در این قسمت به بررسی کاهش انحراف تعلیق پرداخته شده که نتایج شبیه‌سازی در شکل ۶ نشان می‌دهد که انحراف تعلیق توسط این سیستم به خوبی کاهش می‌یابد. همچنین این کنترل‌کننده به علت دارا بودن مکانیزم یادگیری در زمان طولانی‌تر عملکرد سیستم را به اندازه زیادی بهبود می‌بخشد.



شکل ۶. انحراف تعلیق سیستم فعال

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله کنترل عاطفی سیستم تعلیق فعال ۱/۴ مورد بررسی قرار گرفته است. با مدل‌سازی سیستم ۱/۴ خودرو و در نظر گرفتن رفتار غیرخطی عملگر هیدرولیکی سیستم نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر سیستم تعلیق فعال در مقایسه با غیرفعال می‌باشد. و همچنین با توجه به استفاده از کنترل هوشمند و دارا بودن مکانیزم یادگیری این کنترل‌کننده عملکرد سیستم در زمان طولانی‌تر بهبود یافته است. و با بررسی شتاب اعمالی به سرنشینان و انحراف تعلیق نشان می‌دهد که ساختار کنترلی پیشنهادی راحتی بیشتری برای سرنشینان ایجاد نموده است.