

درس کنترل لرزه‌ای سازه‌ها (Seismic Control of Structures)

مدرس: دکتر کاوه کرمی

هدف: آشنایی دانشجویان با جداسازی لرزه‌ای و انواع روش‌های کنترل نیمه فعال و فعال سازه‌ها در برابر زلزله و نحوه تحمل سازه‌ها در مقابل این بارهای لرزه‌ای به صورت کنترل شده و نه لزوماً به طور مقاوم در برابر زلزله است. نرم‌افزارهای محاسباتی مدل‌سازی و تحلیلی برای انجام تمرینات و پروژه درس لازم است.

سرفصل مطالب:

۱. مرور مختصری از تحلیل دینامیکی سیستم‌های سازه‌ای، مفهوم کلی کنترل سازه اعم از کنترل غیرفعال، نیمه فعال، فعال و هیبریدی.
۲. سیستم جداسازی پی (Base Isolation) در سیستم یک درجه آزاد با شیفت پریود برای کاهش سطح نیروها، مثال عددی با تحریک لرزه‌ای.
۳. کاربرد جداسازی لرزه‌ای در پل‌ها و ساختمان‌ها، محدودیت‌های کاربردی در طراحی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای، مثال‌هایی از اجرای سیستم در ایران و جهان.
۴. کنترل فعال: یادآوری برخی مطالب مورد نیاز از ریاضیات چون تبدیل لاپلاس و حساب تغییرات، روش فرکانسی و استفاده از تبدیل لاپلاس.
۵. کنترل فعال سیستم ارتعاشی با تئوری مدرن کنترل، کنترل بهینه نوسانات، اندیس بهینه عملکرد کنترل.
۶. تئوری‌های کلاسیک و مدرن کنترل، روش تخصیص قطب روش پاسخ فرکانس.
۷. تئوری کنترل کلاسیک بهینه برای حالت مختلفی چون Open Loop، Open Loop و Closed Loop. حل عددی معادلات مربوطه.
۸. تئوری کنترل بهینه لحظه‌ای (Instantaneous Optimal Control) برای حالات Open Loop و Closed Loop. عددی معادلات مربوطه.
۹. اولویت‌ها و محدودیت‌های سیستم‌های مختلف کنترل بهینه از لحاظ خطاهای مربوطه تأثیر تأخیر زمانی (Time Delay)، قابلیت کنترل و قابلیت شناسایی سیستم‌های ارتعاشی.
۱۰. سایر مکانیزم‌های کنترل: بررسی کلی سایر روش‌های کنترل فعال چون روش پالسی، کنترل فضای مودی مستقل، ...
۱۱. مکانیزم‌های اعمال نیرو شامل AVS، AVD، Active Tendons، ATMD، ... کاربرد سیستم کابلی فعال، میراگر جرمی فعال (AMD) و درایور جرمی فعال، موارد استفاده شده تا به حال.
۱۲. کنترل نیمه فعال بررسی عملکرد میراگرهای ER، MR و مصالح هوشمند مانند مواد پیزو الکترونیک و SMA.

مباحث مورد بررسی:

۱. مبانی کنترل سازه‌ها (مباحث اولیه کنترل):
 - انواع کنترل سازه‌ها.
 - کنترل سازه‌ای: گذشته، حال و آینده.
 - مبانی کنترل غیرفعال سازه‌ها.
۲. جداسازی سازه‌ها از ارتعاشات:
 - هدف استفاده از جداگرها (به منظور جلوگیری از ورود نیروی زلزله به سازه می‌باشد. اولین بار در ریل‌ها برای جلوگیری از ارتعاشات ترافیک استفاده شد).
 - اثر جداگر در کاهش اثر ارتعاشات بر سازه‌ها.
 - محدودیت‌ها در جداسازی لرزه‌ای.
 - نکات اجرایی.
 - انواع جداگرها:
 - سیستم‌های اصطکاکی.
 - سیستم‌های لایه‌ای با میرایی زیاد.
 - سیستم‌های لایه‌ای با هسته سربی (LRB).
 - کاربرد جداگرها.
 - مدل‌سازی جداگرها.

۳. کنترل فعال سازه‌ها:

- مبانی کنترل فعال سازه‌ها (نیروی خارجی توسط محرک به سازه وارد می‌شود).
- سیستم‌های کنترل مدار باز، مدار بسته، مدار باز- بسته.
- کنترل نیمه‌فعال.
- کنترل بازخورد در حالت شبه استاتیکی - روش حداقل مربعات.
- کنترل با بازخورد سختی و میرایی برای SDOF.
- راه‌اندازها (دستگاه‌های محرک).
- انواع راه‌اندازها و نحوه کارکرد آن‌ها.
- روش انتقال نیرو از راه‌انداز به سازه.
- کنترل‌گرهای نیمه‌فعال.

۴. معادلات حرکت در فضای حالت:

- فضای حالت.
- قطری کردن معادلات در فضای حالت.
- جواب در فضای حالت، با روش قطری کردن - حرکت آزاد.

۵. تحلیل کنترل سازه‌ای (انواع روش‌ها)

- مبانی تحقیق کنترل سازه‌ها.
- انواع روش‌ها.
- مسائل مطرح در زمینه‌های پژوهشی کنترل سازه‌ها.
- روش تخصیص قطب‌ها.
- روش بهینه خطی کلاسیک.
- روش کنترل بهینه لحظه‌ای (کنترل بهینه مدرن)
- معادله لیاپانوف.
- تاخیر زمانی.

۶. کنترل پیش‌بین یا تطبیقی (Adaptive Control)

- مقدمه
- الگوریتم پیش‌بین.
- کاربرد.

۷. استفاده از نرم‌ها (H_{∞})

- مقدمه.
- الگوریتم.
- کاربرد.

۸. شناسایی سیستم (بررسی سلامت سازه‌ای)

- مقدمه.
- الگوریتم.
- کاربرد.

1. Connor, Jerome J. *Introduction to structural motion control*. Prentice Hall, 2003.
(مربوط به دانشگاه MIT است. مباحث اولیه و جدید کنترل را پوشش می‌دهد. اصولاً برای تدریس نگارش شده است. بیشتر مباحث این درس از این کتاب است.)
2. Connor, Jerome, and Laflamme, Simon. *Structural Motion Engineering*. Germany, Springer International Publishing, 2014.
3. Cheng, Franklin Y., et al. *Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Response Control*. United States, CRC Press, 2008.
4. M.C. Constantinou, T.T. Soong. *Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering*. Austria, Springer Vienna, 2014.
5. Komodromos, Petros Ioannis. *Seismic isolation for earthquake-resistant structures*. Wit Press, 2000.
(یکی از منابع خوب در زمینه جدایشگر لرزه‌ای می‌باشد.)
6. Skinner, Robert Ivan, William H. Robinson, and Graeme H. McVerry. *An introduction to seismic isolation*. John Wiley & Sons, 1993.
(یکی از منابع خوب در زمینه جدایشگر لرزه‌ای می‌باشد.)
7. Chopra, Anil K. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 4th Edn., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2012.
(یکی از مراجع معروف در زمینه دینامیک سازه‌ها می‌باشد. در مورد جداگرها مقداری بحث شده و مثالی در این زمینه حل شده است.)
8. Soong, T. T., Dargush, G. F. *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, Wiley, 1997.
9. Leipholz, U., and M. Abdel-Rohman. *Control of structures*. Vol. 11. Springer Science & Business Media, 2012.
(بیش از ۳۰۰ مقاله کنترلی دارد. مباحث غیر عمرانی در آن نیز موجود است.)
10. Gawronski, W. *Balanced Control of Flexible Structures*, Springer Berlin Heidelberg, 2006.
11. Gawronski, W. *Advanced Structural Dynamics and Active Control of Structures*, Springer New York, 2007.
(مباحث خاص کنترل سازه‌ها در آن است. سطح آن بالاتر از Ref.1 است. مباحث جدید تا سال ۲۰۰۴ را پوشش می‌دهد.)
12. Soong, T. T. *Active structural control: theory and application*. New York: Long-an Scientific and Technical Publishing, 1990.
(آشنا و قدیمی. نویسنده آن از بنیان‌گذاران کنترل است. در دانشگاه Buffalo آمریکا تدریس می‌کند. از اساتید برجسته در زمینه کنترل و بسیار قوی در این زمینه کار می‌کند. دو کتاب دیگر از این نویسنده موجود است که مجموعه مقالات وی می‌باشد. روش Pole Assignment از این کتاب گفته می‌شود.)
13. Clark, Robert L., William R. Saunders, and Gary P. Gibbs. *Adaptive structures: dynamics and control*. Vol. 28, no. 2. New York: Wiley, 1998.
(برای رشته برق نوشته شده است. اما بعضی از بخش‌های آن در زمینه سازه به کار گرفته می‌شود. مبحث پیش‌بینی نیروی کنترل از این کتاب استفاده می‌شود.)
14. Dorf, R. C., Bishop, R. H. *Modern Control Systems*, Pearson Education, 2016.
15. Chu, S. Y., Soong, T. T., Reinhorn, A. M. *Active, Hybrid, and Semi-active Structural Control: A Design and Implementation Handbook*, Wiley, 2005.
16. Preumont, A., Seto, K. *Active Control of Structures*, Wiley, 2008.
17. Wagg, D., Bond, I., Weaver, P., Friswell, M. *Adaptive Structures: Engineering Applications*, Wiley, 2008.
18. Casciati, F., Magonette, G., Marazzi, F. *Technology of Semiactive Devices and Applications in Vibration Mitigation*, Wiley, 2006.
19. Preumont, A. *Vibration Control of Active Structures: An Introduction*, Springer Netherlands, 2012.
20. Geering, H. P. *Optimal Control with Engineering Applications*, Springer Berlin Heidelberg, 2007.
21. Strojic, Vladimir. *State space theory of discrete linear control*. John Wiley & Sons, Inc., 1981.
(ریاضیات آن ساده و پیچیدگی خاصی در آن نیست.)
22. Brogan, William L. *Modern control theory*. Pearson education india, 1982.
(نویسنده آن یکی از بنیان‌گذاران تئوری‌های مختلف مانند Pole Assignment در زمینه کنترل است.)
23. Jacobs, Oliver Louis Robert. *Introduction to control theory*. (1974).
(کتاب ساده‌ای است در دوره کارشناسی در رشته برق تدریس می‌شود.)
24. Wilde, J. D., and C. S. Beightler. *Fundamentals of Optimization*. 1967.
25. Belanger, Pierre R. *Control engineering: a modern approach*. Oxford University Press, Inc., 1995.
26. Xue, D., Chen, Y. Q., Atherton, D. P. *Linear Feedback Control: Analysis and Design with MATLAB*, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007.
27. Hatch, Michael R.. *Vibration Simulation Using MATLAB and ANSYS*. United Kingdom, Taylor & Francis, 2001.

سیستم ارزشیابی

نمره	موضوع
۱۵	امتحان پایان ترم
۳	تکالیف و پروژه
۲	تحقیق
۲۰	جمع

وبسایت دانلود مباحث درسی

<https://prof.uok.ac.ir/Ka.Karami/Teaching-Experience.html>

نکات قابل توجه

۱. حضور و غیاب در فعالیت کلاسی منظور می‌گردد.
۲. تکالیف به صورت منظم، گویا و تمیز در تاریخ تعیین شده باید تحویل گردد.