Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete and Steel Structures Course

Lecture -5

Active, Semi Active, Hybrid Control Systems

Dr.Eng. Dalia Najjar

2019-2020

1- مقدّمة Introduction:

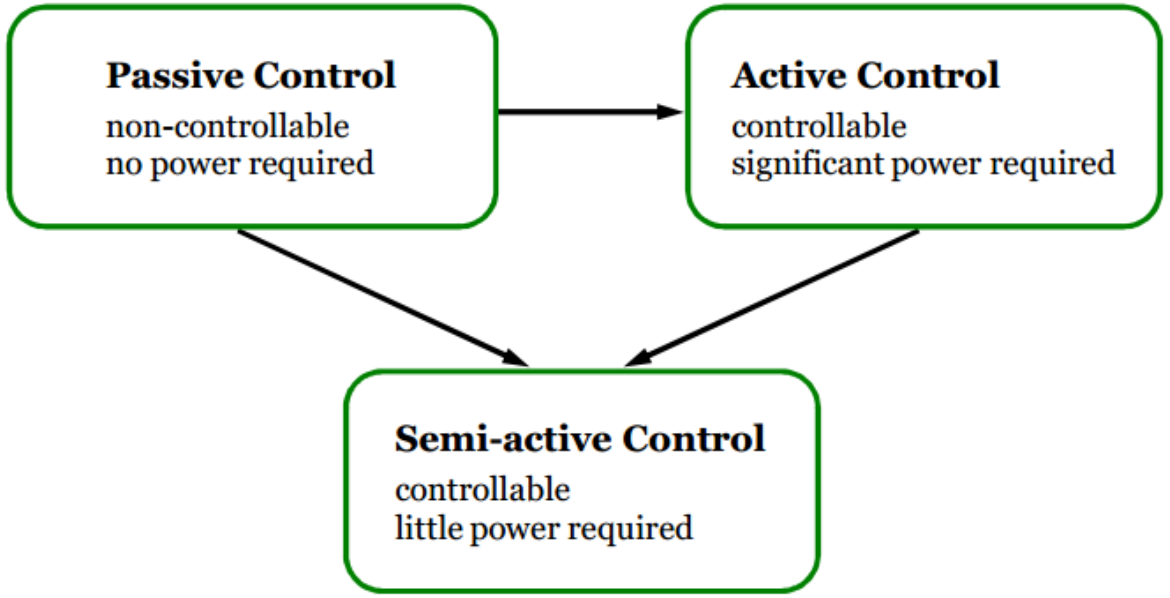
تُستخدَم أنظمة التّحكّم الزّلزالي لمقاومة قوى الزّلازل وتبديد الطّاقة الدّيناميكيّة، وبالتّالي تقليل الأضرار التي قد تحدث للمنشأ. تُصنّف أنظمة التّحكّم عموماً إلى أنظمة سلبيّة (كما مرّ سابقاً في المحاضرة الثّالثة) وأنظمة إيجابيّة، وأنظمة نصف إيجابيّة، وأنظمة هجينة. ذُكر سابقاً أنّ أنظمة التّحكّم السّلبي لا تتطلّب مصدر طاقة إضافي لتعمل وتنشط تحت تأثير الزّلازل، إنّما تقوم تلك الأنظمة بتبديد الطّاقة بتجاوبها مع حركة المنشأ مما يؤدّي إلى توليد حركة نسبيّة ضمن جهاز التّحكّم، أو يتمّ تبديد الطّاقة عبر تحويل الطّاقة الحركيّة إلى حرارة، كما أنّ كلفة صيانتها منخفضة نسبيّاً، أمّا بالنّسبة لبقيّة أنواع الأنظمة فتعرّف الأنظمة بأنّها إيجابيّة كونها تتطلّب مصدر طاقة ومحرك تحكّم لتعمل وذلك عن طريق الحاسوب (Computer-Actuators Controlled)، حيث أنّ الدّعامات الخاصّة والمخمّدات الكتليّة المعايرة تتوضّع على كامل البناء. تكون الأنظمة الإيجابيّة أكثر تعقيداً من الأنظمة السّلبيّة، حيث أنّها تعتمد على التّحكّم عن طريق الحاسوب (Computer Control)، وأجهزة حسّاسة للحركة (Motion Sensors)، وتقنيّات استرجاع (Feedback Mechanism)، وأجزاء متحرّكة قد تتطلّب إصلاح أو صيانة.

تحتاج هذه الأنظمة إلى مصدر طاقة احتياطي لتضمن عملها خلال الزّلزال الرّئيسي أو أيّ هزّة فوريّة، حيث تكون الأنظمة الإيجابيّة أكثر فعاليّة من الأنظمة السّلبيّة بسبب قدرتها على التّلاؤم مع حالات التّحميل المختلفة والتّحكّم بأنماط الاهتزاز المختلفة، لكن بما أنّ المقدار الكبير من القوّة المطلوبة لتلك العمليّة قد لا تكون موجودة خلال الزّلزال وبالتّالي تكون غير جديرة بالثّقة، كذلك فإنّ الكلفة والصّيانة لهذه الأنظمة تكون أعلى بشكلٍ ملحوظٍ من الأنظمة السّلبيّة.

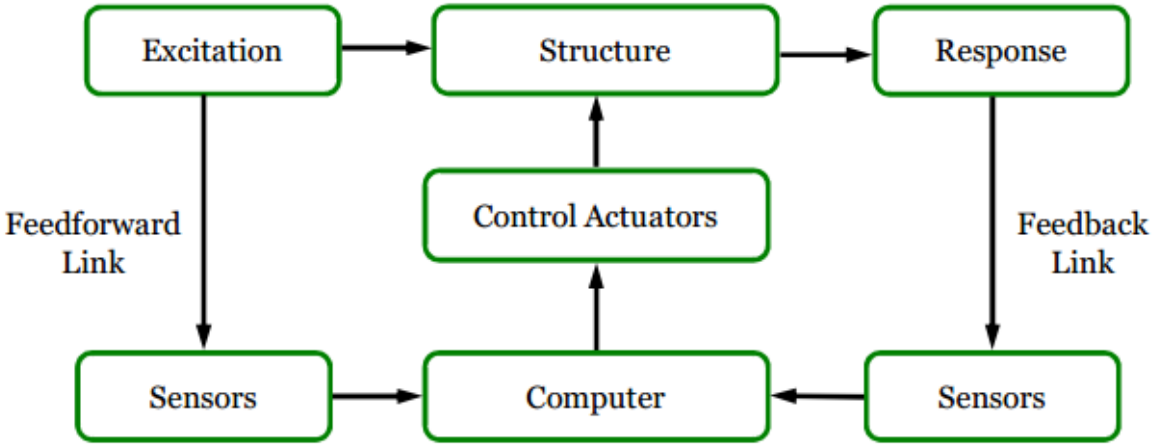
Dr. Eng. Dalia Najjar

• Classification of Structural Control

Passive, Active, Semi-active Control



Active Control Systems



2- أنواع أنظمة التّحكّم الإيجابي Types of Active Control Systems:

تُقسم أهمّ أنواع أنظمة التّحكّم الإيجابي وفق ما يلي:

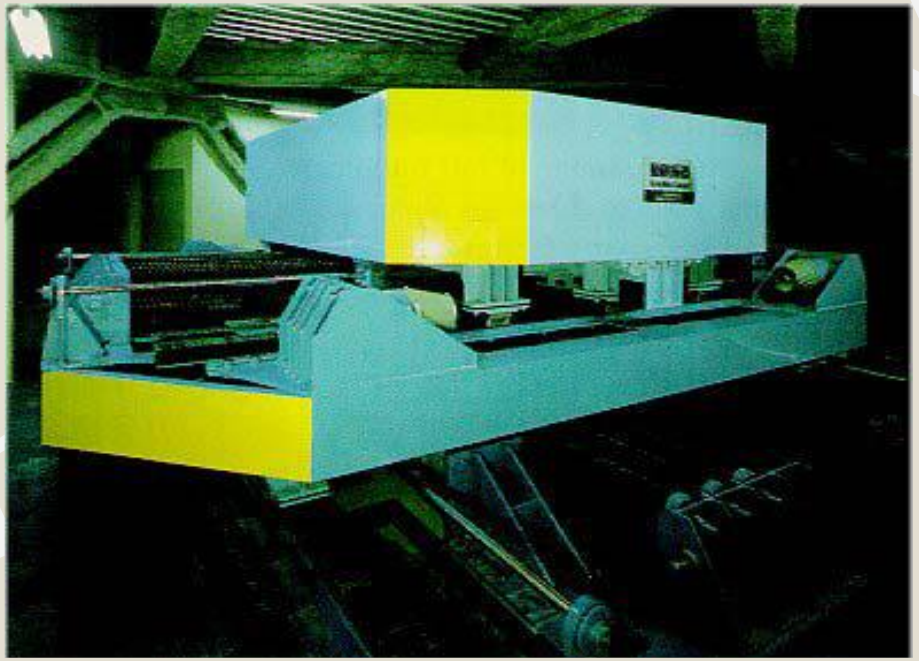
2-1- المخمّدات الكتليّة الإيجابيّة Active Mass Dampers (AMD):

يُعتبر المخمّد الكتلي الإيجابي (AMD) المخمّد الأكثر شيوعاً بين أنظمة التّحكّم الإيجابي وهو مشابه من حيث الاستخدام للمخمّد الكتلي المعاير (TMD) والذي سيتمّ شرحه لاحقاً، بحيث أنّه يستخدم أيضاً نظام مخمد كتلي نابضي. يُعرف المخمّد الكتلي الإيجابي (AMD) بأنّه عبارة عن كتلة إضافيّة صغيرة تستند على السّطح العلوي للمبنى وموصولة مع المبنى بواسطة محرّك، وكما هو معروف بأنّ المخمّد الكتلي المعاير (TMD) فعّال فقط في التّحكّم باستجابة المنشأ عند سيطرة الطّور الأوّل مثل الاهتزاز الإنشائي النّاتج عن الرّياح، بينما يركّز المخمّد (AMD) على محاولة التّحكّم في استجابة المنشأ الزّلزاليّة وذلك ضمن مجال واسع من التّواترات، وبالتّالي من المتوقّع بأنّ المخمّد (AMD) سيبدي فعاليّة أكبر مقارنةً مع المخمّد (TMD).

تُقاس الاستجابة والأحمال في المواقع الأساسيّة للمبنى وتُرسَل إلى جهاز تحكّم عن طريق الحاسوب (Computer Control)، ثمّ يقدّم الحاسوب المعلومات وفقاً لخوارزمية (Algorithm) ويرسل إشارة ملائمة إلى محرّك المخمّد (AMD Actuator)، ثمّ يؤثّر المحرّك بتطبيق قوى تحكّم عطالة للمبنى لتقليل الاستجابة بطريقة أفضل.

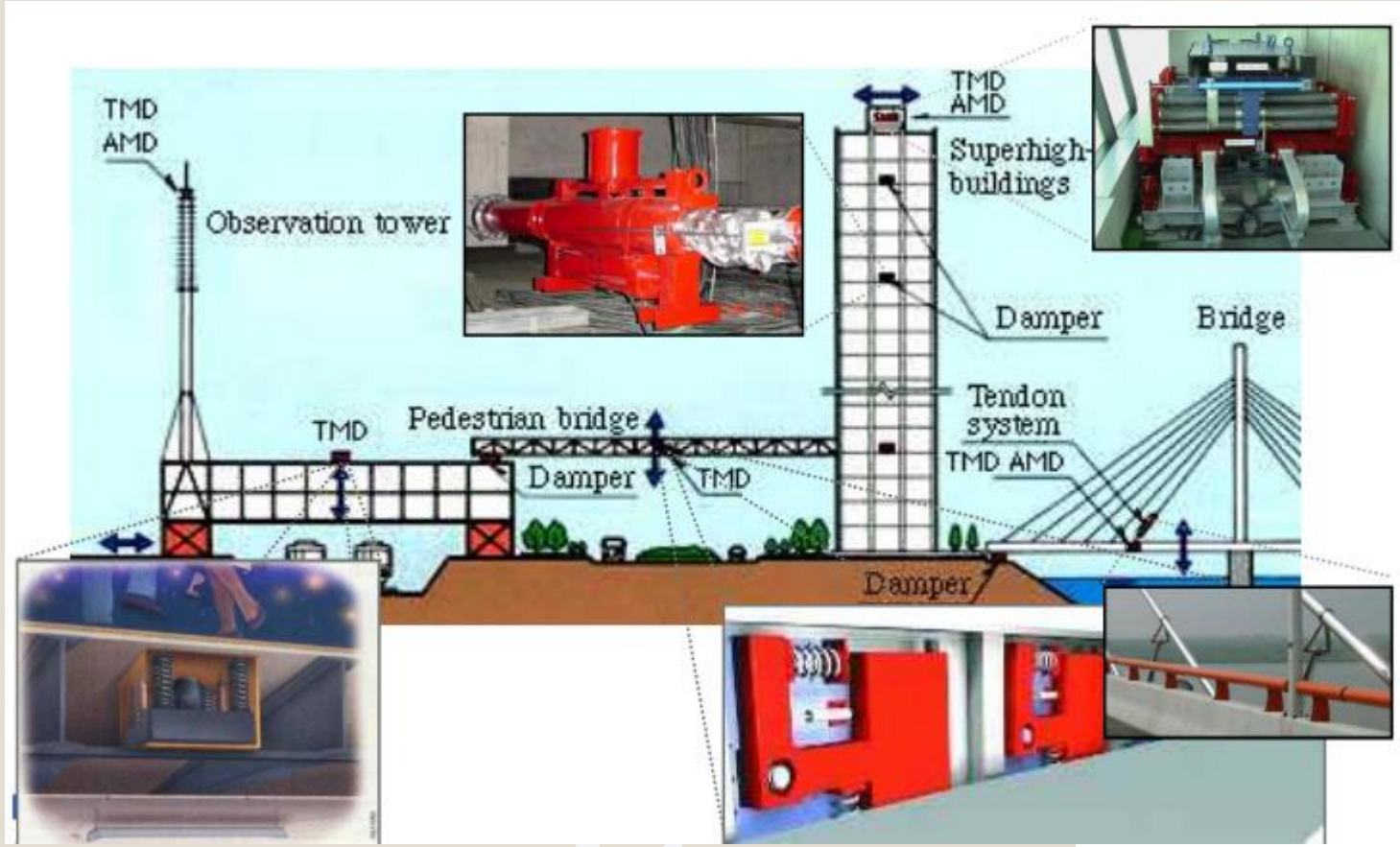
Dr. Eng. Dalia Najjar

ومن الجدير بالذّكر ضرورة التّنويه إلى المخمّد الكتلي المعاير (Tuned Mass Damper, TMD) والذي يُصنّف بأنّه من **أنظمة التّحكّم السّلبي**، وهو عبارة عن نظام مخمد كتلي نابضي يتوضّع في أعلى المنشأ لمقاومة حركة الأرض كما هو مبين بالشّكل الآتي.



حيث يتألّف المخمّد الكتلي المعاير (TMD) من كتلة إضافيّة (m_d) ونابض (k_d) ومخمّد (c_d)، تكون هذه المجموعة مستندة أو متّصلة بالمنشأ الأساسي وعادةً ما تكون متوضّعة في أعلى المنشأ، كما تُستخدم مثل هذه المخمّدات بهدف تعديل الدّور الطّبيعي للمنشأ مما يعني التّقليل من سعة الاهتزازات.

Dr. Eng. Dalia Najjar



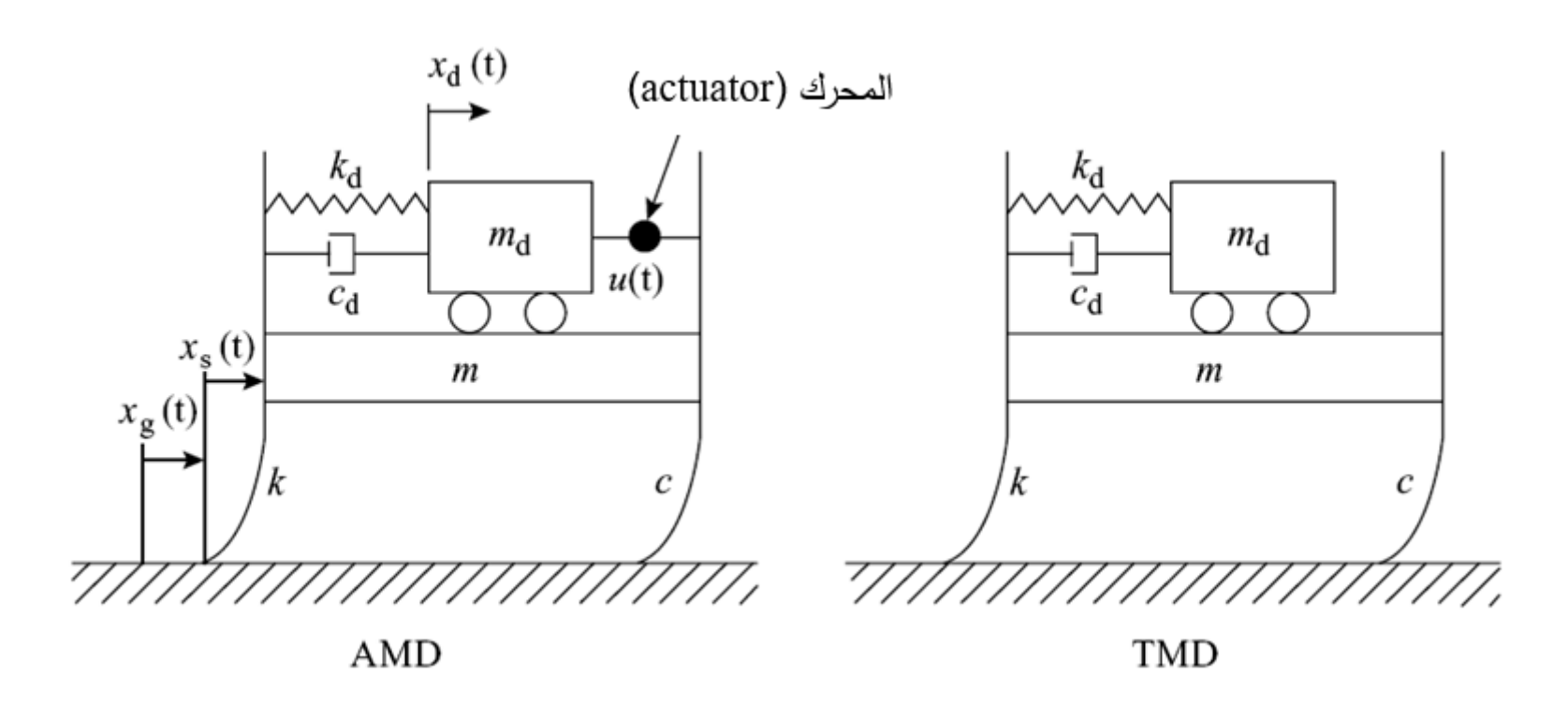
Wind-excited Structures

Tokyo Wan Aqua-line, Tokyo, Japan

After completion of the superstructure, oscillation with an amplitude over 0.5 m was observed.

To suppress it, 16 tuned mass dampers(TMD) were installed.
Part of the steed deck was stiffened.

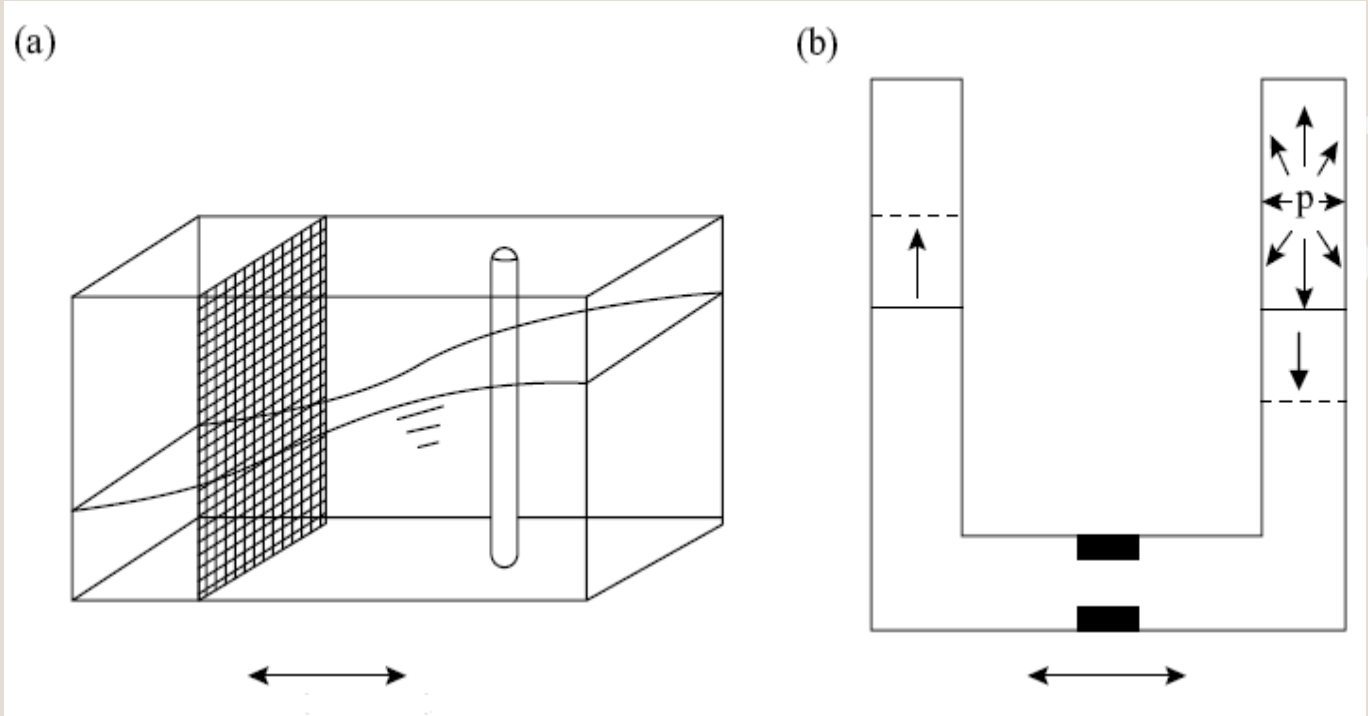
يبيّن الشّكل التّالي مقارنة تخطيطيّة باستخدام المخمّد الكتلي الإيجابي (AMD) والمخمّد الكتلي المعاير (TMD)، مع العلم أنّه قد تمّ استخدام المخمّد الكتلي الإيجابي في تحسين الاستجابة الزّلزاليّة للعديد من المباني العالية والأبراج في اليابان.



وقبل الانتقال إلى التّعرّف على النّوع الثّاني من أنظمة التّحكّم الإيجابي، وفي إطار الحديث عن المخمّدات المعايرة، سيتمّ التّطرّق بشكلٍ مختصرٍ إلى نوعٍ آخر من أنظمة التّحكّم السّلبي ألا وهو المخمّد السّائل المعاير (Tuned Liquid Damper, TLD)، يُستخدَم في هذا النّوع من المخمّدات الماء أو أيّ سائل آخر ككتلة للحركة وتتولّد القوّة المسترجعة بواسطة الجاذبيّة الأرضيّة، وبالتّالي فإنّ اهتزاز المنشأ يحرّك المخمّد (TLD) ويولّد حركة السّائل داخل الخزّان، حيث يحوّل الاضطراب الحاصل نتيجة تدفّق السّائل، بالإضافة إلى الاحتكاك بين السّائل المتدفّق والخزان، الطّاقة الدّيناميكيّة النّاتجة إلى حرارة. يختلف المخمّد (TLD) اختلافاً طفيفاً عن المخمّد من النّوع (TMD) حيث أنّ الكتلة الإضافيّة والتّخامد وآليّة الاسترجاع تؤمّن عن طريق السّائل، وقد وجد أنّ المخمّد من النّوع (TLD) أقلّ فعاليّة من المخمّد من النّوع (TMD).

يبيّن الشّكل الآتي نوعين نموذجيّين للمخمّد من النّوع (TLD)، حيث أنّ النّوع الأوّل هو المخمّد الذي يعتمد على تدفّق الماء (Sloshing Damper)، علماً أنّه توضع شبكات وقضبان ضمن حيز السّائل بهدف تأمين التّخامد اللازم، وبالتّالي يُحدَّد التّواتر الطّبيعي وفقاً لحجم الخزّان وعمق السّائل ضمنه، أمّا النّوع الثّاني فيُدعى بالمخمّد العمودي (Column Damper)، حيث يولّد هذا المخمّد اضطراباً في تدفّق السّائل الذي يرتفع عبر فوهة وذلك لتأمين التّخامد، ويُحدَّد التّواتر الطّبيعي في هذه الحالة وفقاً لشكل العمود وضغط الهواء.

Dr. Eng. Dalia Najjar



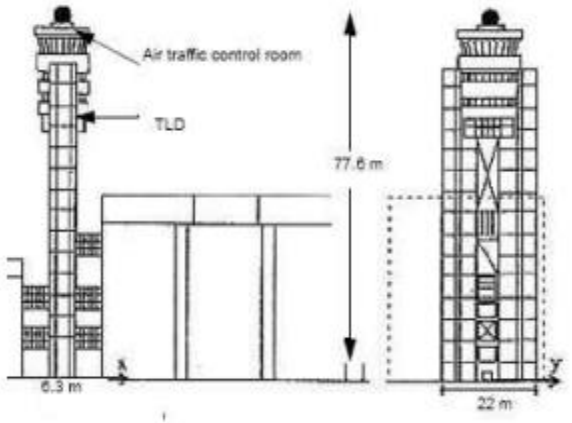
المخمد السائل المعاير (TLD):

(a) المخمد الذي يعتمد على تدفق الماء (Sloshing Damper) مع شبكات وقضبان،

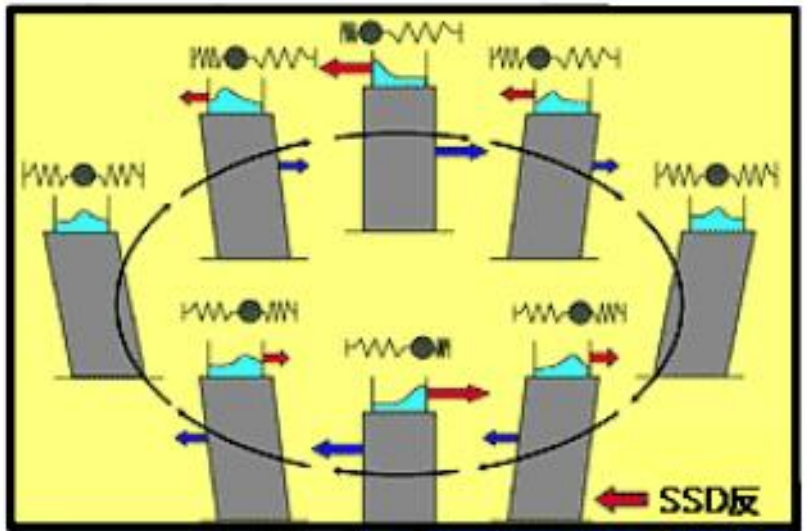
(b) المخمد العمود (Column Damper) مع فوهة

Dr. Najjar

Haneda Airport Air Traffic Control Tower
(1993, H=77.6m)

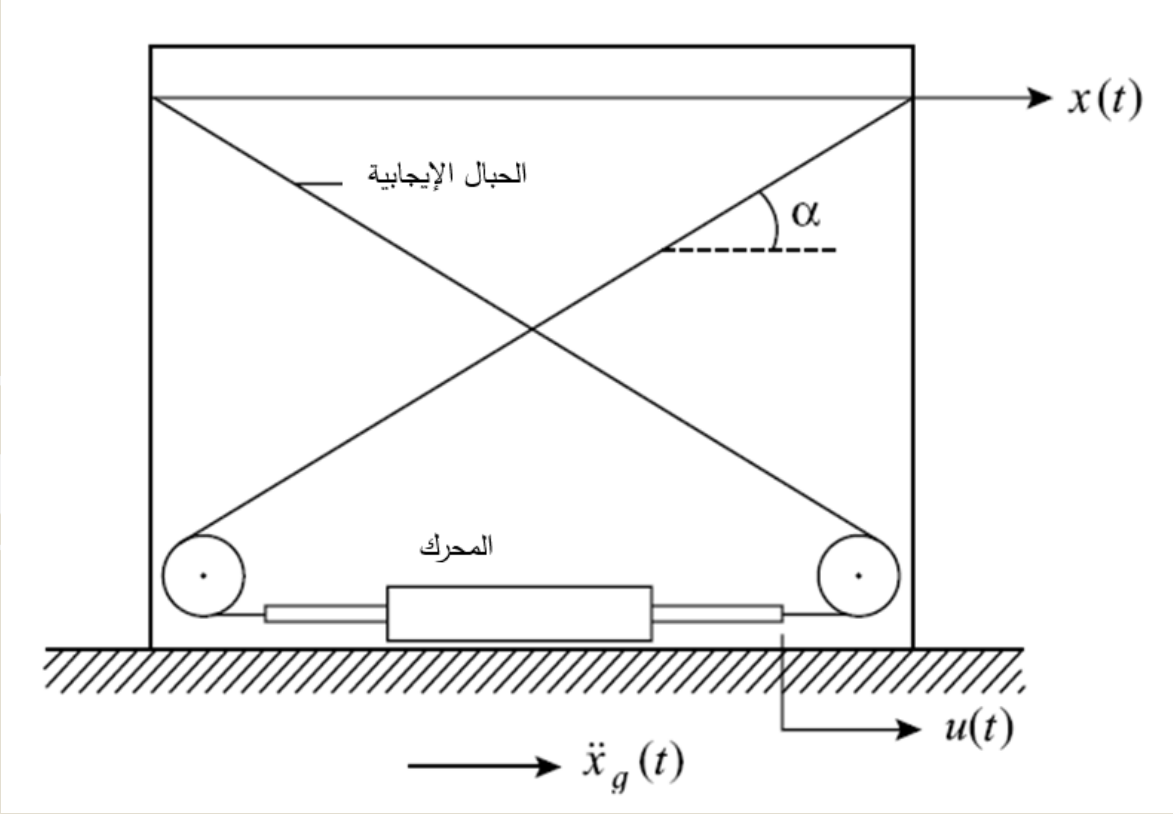


Tokyo Dome Hotel



2-2- أنظمة الأوتار الإيجابيّة Active Tendons Systems:

تتألّف أنظمة الأوتار الإيجابيّة من مجموعة من الحبال الفولاذيّة مسبقة الإجهاد مُسيطر عليها من قبل جهاز هيدروليكي كهربائي، يبيّن الشّكل التّالي الشّكل النّموذجي لنظام التّحكّم الإيجابي باستخدام الأوتار الإيجابيّة.



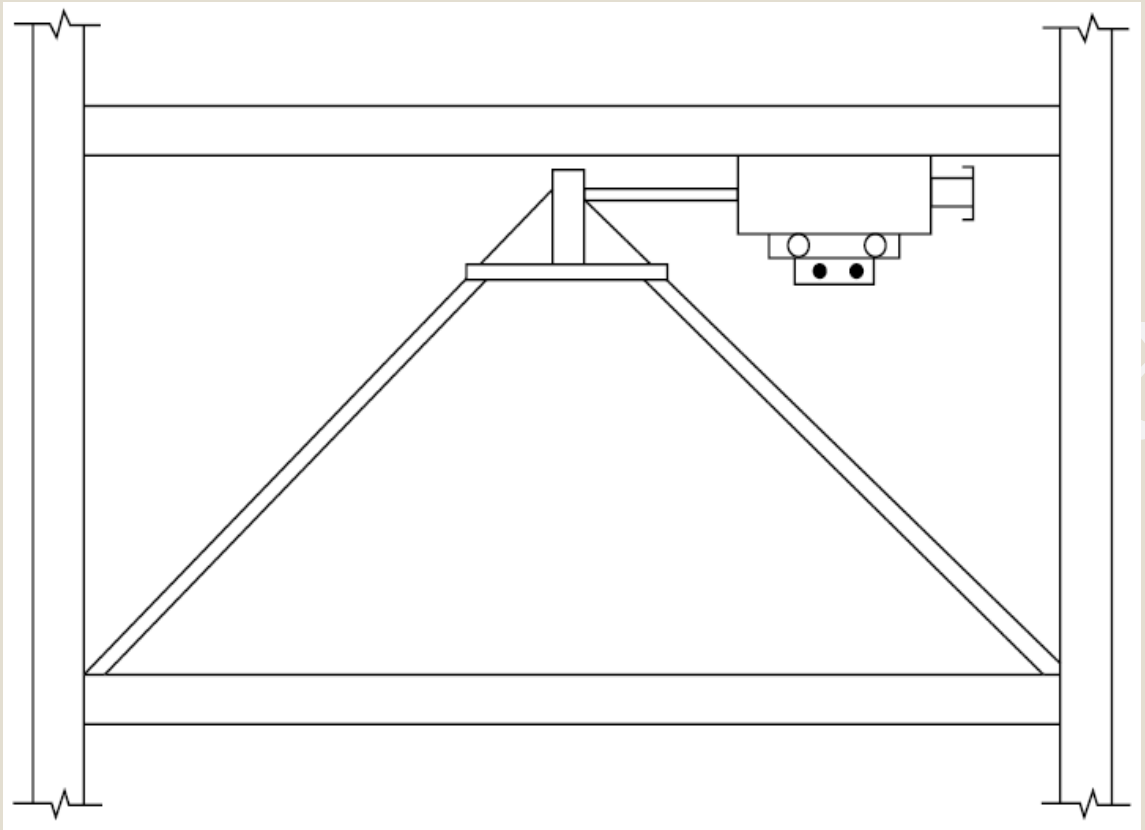
تتوضّع الأوتار الإيجابيّة بين طابقيّ المبنى الإنشائي، حيث تتّصل أسطوانة المحرّك بالطّابق السّفلي وتتّصل إحدى نهايتي الوتر بالطّابق العلوي وتتّصل النّهاية الأخرى بأسطوانة المحرّك. يولّد الاهتزاز الإنشائي خلال التّحريض الزّلزالي إزاحة تقود لحركة نسبيّة بين مكبس المحرّك وأسطوانة المحرّك، الأمر الذي يؤدّي إلى تطبيق قوّة تحكّم ديناميكيّة للمنشأ تقلّل بدورها من الاستجابة الزّلزاليّة.

3-2- أنظمة الدّعامات الإيجابيّة Active Brace Systems:

تُعرف أنظمة الدّعامات الإيجابيّة بكونها دعامات إنشائيّة موجودة لتنصيب جهاز التّحكّم الإيجابي على المنشأ، حيث يمكن أن تُستخدَم ثلاثة أنواع من أنظمة الدّعامات، الدّعامات القطريّة والدّعامات بشكل (K) والدّعامات بشكل (X)، يتميّز محرّك التّحكّم الهيدروليكي بأنّه قادر على توليد قوّة تحكّم كبيرة مطبّقة على نظام التّدعيم وذلك بين طابقين متجاورين.

يبيّن الشّكل الآتي نظام الدّعامات الإيجابي المزوّد بمحرّك هيدروليكي متوضّع على دعامة بشكل (K)، حيث تُعلّق أسطوانة المحرّك بالأرضيّة الإنشائيّة ويتّصل مكبس المحرّك بالدّعامة.

Dr. Eng. Dalia Najjar



يتألّف هذا الجهاز من صمّام آلي (Servo Valve) ومحرّك هيدروليكي ومزوّد طاقة هيدروليكي وجهاز استقبال وحاسوب تحكّم وخوارزميّة تحكّم محدّدة، يقيس جهاز الاستقبال حركة المنشأ النّاتجة عن التّنبيه الزّلزالي، ويستخدم الحاسوب خوارزميّة تحكّم لإنجاز هذه القياسات ولتوليد إشارة تحكّم، ثمّ يستخدم الصّمام الآلي إشارة التّحكّم لينظّم اتّجاه الحركة والشّدة التي تؤدّي إلى اختلاف في الضّغط في حجرتي المحرّك، وهكذا يولّد اختلاف الضّغط قوّة تحكّم لمقاومة الأحمال الزّلزاليّة المؤثّرة على المنشأ، تُدرَس أنظمة الدّعامات الإيجابيّة بالتّحليل والتّجريب، كما تقدّم تلك الأنظمة نفس فائدة أنظمة الأوتار الإيجابيّة مع التّقليل من تعديل المنشأ بسبب وجود عناصر إنشائيّة تُستخدَم لتركيب المحرّك.

4-2- أنظمة التّوليد النّبضي Pulse Generation Systems:

تُستخدم أنظمة التّوليد النّبضي مولّد كهربائي نبضي بدلاً من المحرّك الهيدروليكي، وتستخدم المولّدات النّبضيّة تقنيّات الهواء المضغوط لتوليد قوّة تحكّم إيجابيّة، وتستخدم تقنيّات كهذه الهواء المضغوط لتوليد قوّة فعّالة نبضيّة تختلف عن المحرّكات الهيدروليكيّة التي تستخدم سائلاً عالي الضّغط، يمكن وضع المولّدات النّبضيّة في مواقع متعدّدة داخل المنشأ.

عندما تتولّد سرعة نسبيّة كبيرة في أحّد أجزاء المنشأ، تُثار المولّدات النّبضيّة وتطبّق قوّة تحكّم على المنشأ مواجهة للسّرعة، إنّ المولّدات النّبضيّة التي تستخدم طاقة الغاز المضغوط ليست مكلفة، ولكن قد تكون طاقة الغاز ليست كبيرة بالشّكل الكافي لدفع المنشآت، ومن ناحيةٍ أخرى قد يكون لدى أنظمة المولّدات النّبضيّة لا خطيّة كبيرة حيث أنّ القوّة المتولّدة بمحرّكات الهواء المضغوط قد تنحرف عن الشّكل النّبضي المثالي.

Applicable range of structural control systems

Structure \ Disturbance		Energy absorbing mechanisms			Mass control	Active control	
		Hysteresis damper	Viscous damper	Friction damper	TMD	AMD	Tendon system
		Low-yield-point steel	Viscous polymer	Steel surface treatment			
Superhigh-rise building	Earthquake	○	○	○			
	Wind		○		○	○	
Observation tower & lattice tower	Earthquake	○			○		
	Wind				○		
Long-span structure	Earthquake	○	○				○
	Traffic vibration				○	○	
Bridge	Earthquake	○	○				
	Wind				○		○
	Traffic vibration				○		○

3- أنواع أنظمة التّحكّم نصف الإيجابي Types of Semi-Active Control Systems:

لا تُدخِل أنظمة التّحكّم نصف الإيجابي الطّاقة إلى نظام التّحكّم، لكن لديها خصائص ميكانيكيّة يمكن أن تُضبَط لتحسين عملها، تعتمد التّغيّرات في الخصائص الميكانيكيّة للأنظمة على التّغذية المسترجعة (Feedback) من الاستجابات المقاسة و/أو اهتزاز الأرض (Ground Excitation)، بما أنّ الطّاقة الخارجيّة تُستَخدَم فقط لتغيير خصائص النّظام كالتّخامد والصّلابة وليس لتوليد قوّة تحكّم وبالتّالي فإنّ متطلّبات الطّاقة تكون منخفضة، ومن محاسن هذا النّوع من الأنظمة أنّها تضمن أداء أفضل من أنظمة التّحكّم السّلبي، كما تتميّز بأنّها تعمل كأنظمة سلبيّة في حال تعطّل الطّاقة.

نشأت هذه الأنظمة انطلاقاً من أنظمة التّحكّم السّلبي، وعُدّلت لتسمح بتعديل الخصائص الميكانيكيّة التي تعتمد على التّغذية المسترجعة (Feedback) من الإثارة أو الاستجابة المقاسة، وبالتّالي فهي تشابه أنظمة التّحكّم الإيجابي حيث ترصد القياسات المسترجعة وتولّد إشارة أمر ملائمة، كما أنّها تشابه أنظمة التّحكّم السّلبي حيث تتحكّم بالقوى المتولّدة نتيجةً لحركة الزّلزال وتعمل على مقاومة الحركة.

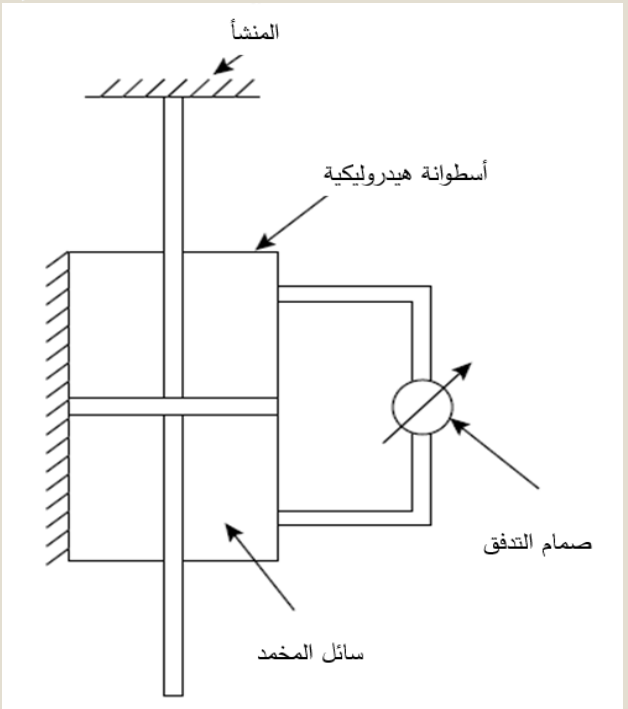
تتضمّن الأنظمة من هذا النّوع: المخمّدات المتغيّرة الفتحة (Variable-Orifice Dampers)، وأجهزة التّحكّم المتغيّرة الصلّابة (Variable-Stiffness Control Devices)، والمخمّدات الكتليّة المعايرة نصف الإيجابيّة (Semi-Active Tuned Mass Dampers)، ومخمّدات الأعمدة السّائلة المعايرة القابلة للتّعديل (Adjustable Tuned Liquid Column Dampers)، والمخمّدات السّائلة المطاوعة (Controllable Fluid Dampers).

Dr. Eng. Dalia Najjar

1-3- المخمّدات المتغيّرة الفتحة Variable-Orifice Dampers:

تتألّف المخمّدات المتغيّرة الفتحة من مخمّدات سائلة هيدروليكيّة تقليديّة متلائمة مع صمّامات كهربائيّة ميكانيكيّة مطاوعة متغيّرة الفتحة تتميّز بقدرتها على تغيير المقاومة المتدفّقة ممّا يعني تغيير مقدار التّخامد الحاصل في المنشأ، يتولّد التّخامد من السّائل اللزج وتُضبَط الصلّابة بفتح صمّام التّدفق، فإذا أُغلِق الصّمام فإنّ المخمّد يعمل كنابض صلب، وإذا فُتِح الصّمام فإنّ السّائل يمكن أن يتدفّق بسهولة عبر القناة ويؤمّن صلابة صغيرة للمنشأ كما هو مبيّن في الشّكل التّالي.

يبيّن الشّكل التّالي تطبيق عملي لاستخدام مثل هذا النّوع من الأنظمة (المخمّدات)، حيث تمّ استخدامه في تحسين الاستجابة الزّلزاليّة لأحّد الجسور.



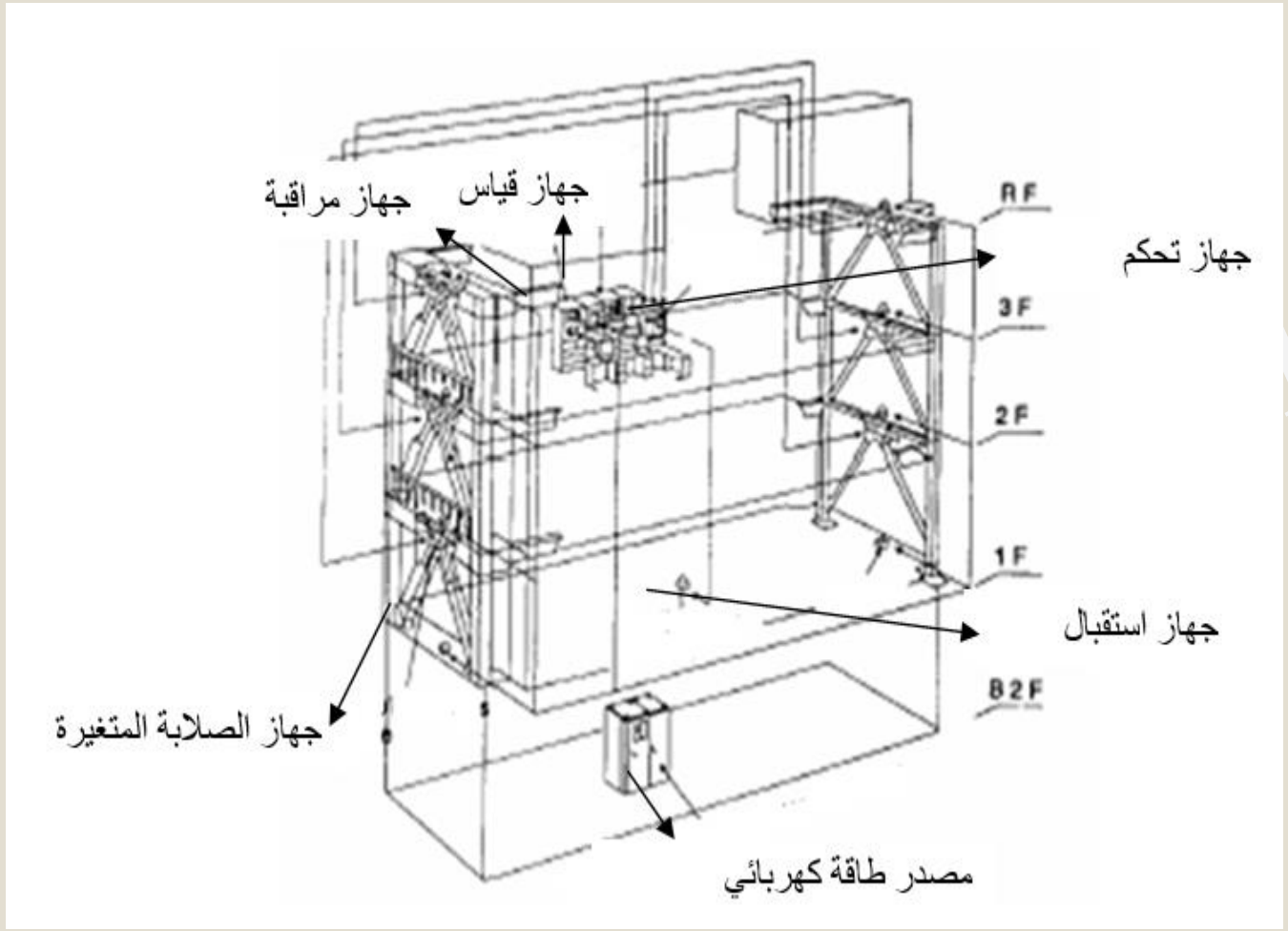
Dr Dalia Najjar

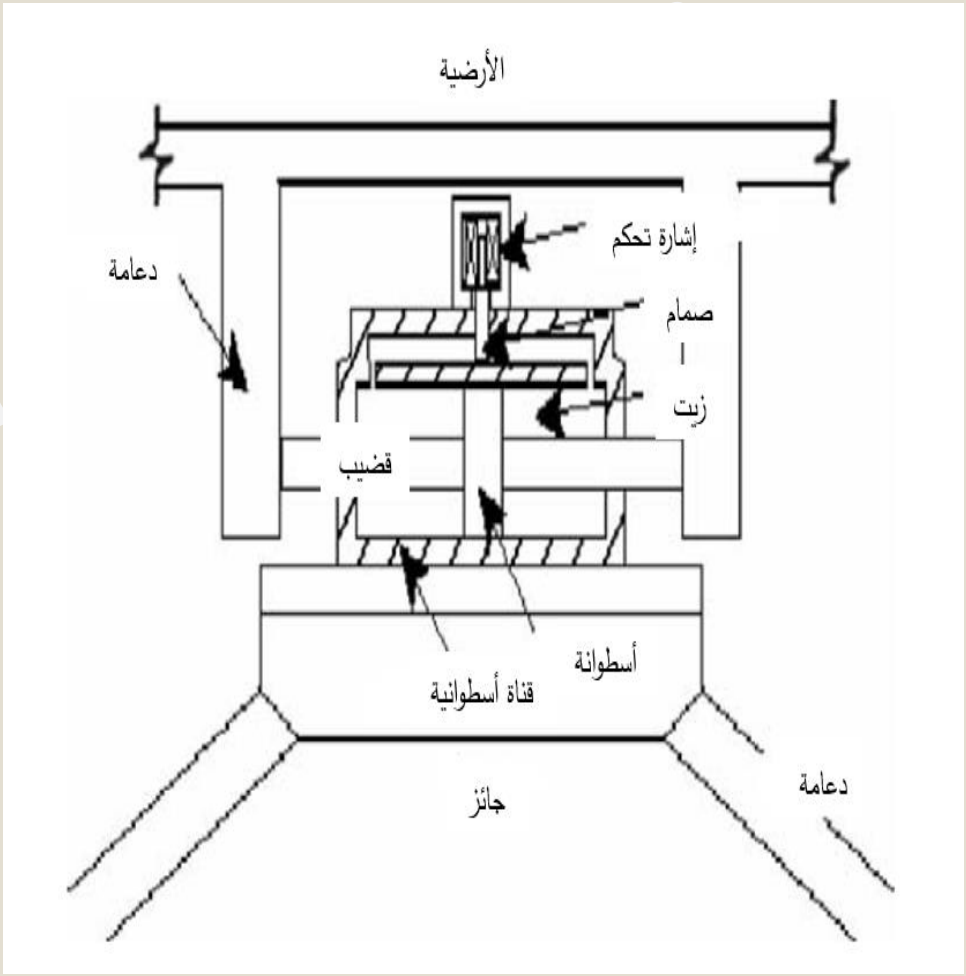
2-3- أجهزة التّحكّم المتغيّرة الصّلابة Variable-Stiffness Control Devices:

اقتُرحت أجهزة التّحكّم المتغيّرة الصّلابة (VSD) أيضاً كنوع من التّحكّم نصف الإيجابي، تملك هذه الأنظمة القدرة لتعديل صلابة المنشأ وبالتّالي التّواتر الطّبيعي للمنشأ للتغلّب على حالات الطّنين، وتتوضّع في الأنظمة المدعّمة وتُربط أو تُحرَّر لتغيّر صلابة الأبنية كما تقتضي الحاجة.

تكون الطّاقة المستهلكة قليلة جدّاً بحالة الأنظمة (الأجهزة) نصف الإيجابيّة، حوالي 20 واط، وتُصمَّم أيضاً لتبقى آمنة من التّعطّل وذلك في حالة نقص الطّاقة، تتشارك الأجهزة أوتوماتيكيّاً مع بعضها لزيادة صلابة المنشأ وذلك كما هو مبيّن في الأشكال التّالية. يتألّف المخمّد من النّوع (VSD) من أسطوانة هيدروليكيّة متوازنة ومكبس يعمل باتّجاهين وصمّام تحكّم لولبي يكون عادةً مغلق وقناة متّصلة بفتحتي الأسطوانة، حيث يمكن للصّمام أن يُفتَح ويُغلَق، عندما يُفتَح الصّمام يتدفّق السّائل بحريّة ويحرّر وصلات دعامة الجائز وهذا بدوره يُنقص الصّلابة الإنشائيّة، أمّا عندما يُغلَق الصّمام لا يتدفّق السّائل ويقفل الجائز مع الدّعامة وهذا بدوره يزيد الصّلابة الإنشائيّة، يتمّ بشكلٍ عام ضمن هذه التّقنية تعديل صلابة نظام التّدعيم الإنشائي ممّا يعني تقليل الاستجابات الإنشائيّة النّاتجة عن الأحداث الزّلزاليّة.

Dr. Eng. Dalia Najjar


جهاز مراقبة
جهاز قياس
جهاز تحكم
جهاز استقبال
جهاز الصلابة المتغيرة
مصدر طاقة كهربائي
RF
3F
2F
1F
B2F

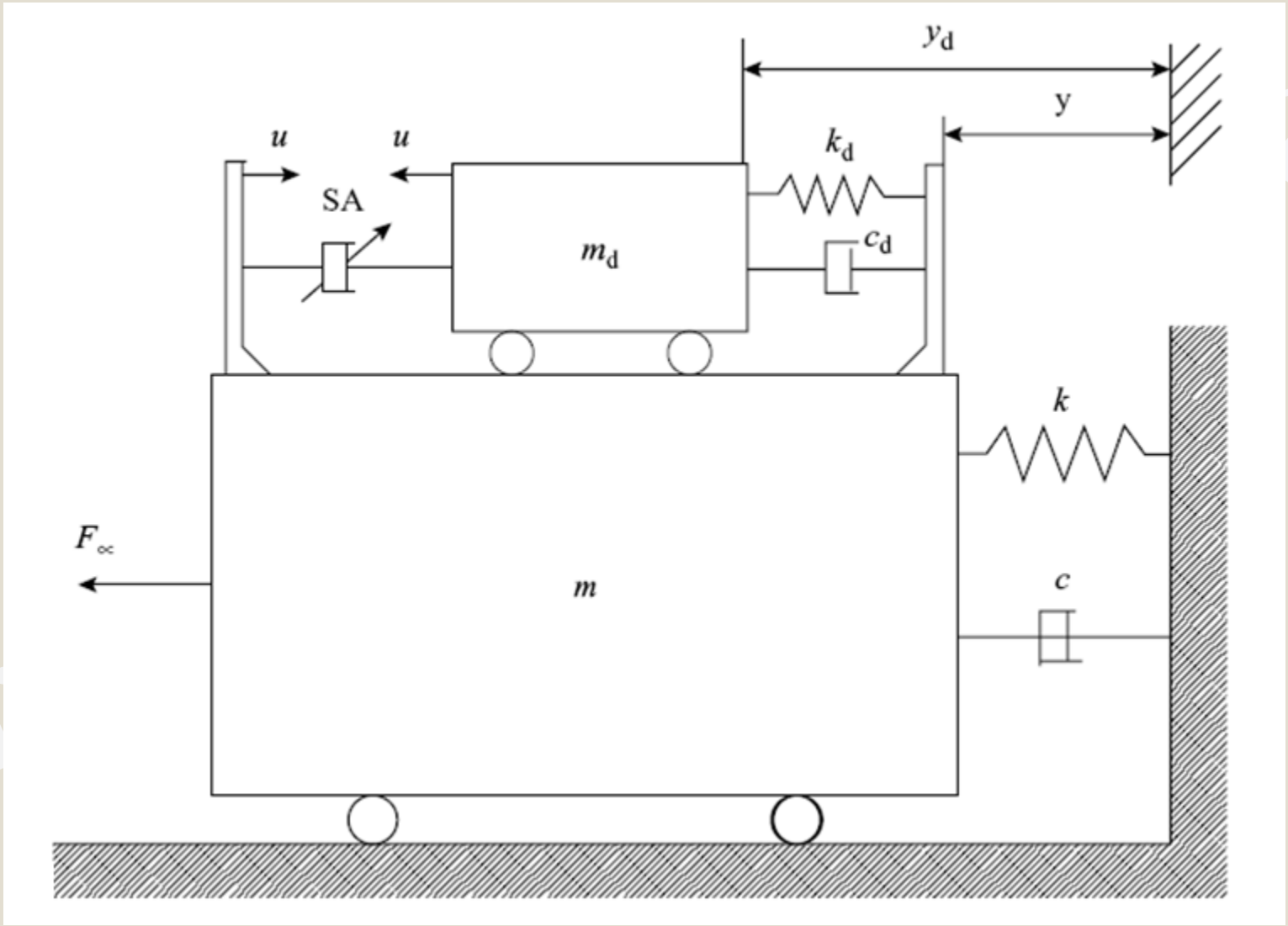

الأرضية
إشارة تحكم
دعامة
صمام
زيت
قضيب
أسطوانة
قناة أسطوانية
جائز
دعامة

3-3- المخمّدات الكتليّة المعايرة نصف الإيجابيّة Semi-Active Tuned Mass Dampers:

طُوّرت المخمّدات الكتليّة المعايرة نصف الإيجابيّة أيضاً لإنقاص اهتزازات الرّياح، حيث تُعتبر هذه المخمّدات مشابهة للمخمّدات من النّوع (TMD) مع قدرتها على تغيير مستوى التّخامد، يفوق عمل هذه المخمّدات نصف الإيجابيّة تلك التي من النّوع (TMD) ولكنّه مشابه لعمل المخمّدات من النّوع (AMD).

يتألّف هذا النّظام من المخمّد الكتلي المعاير (TMD) بالإضافة إلى محرّك متوضّع أعلى المنشأ الرّئيسي، يملك المخمّد (TMD) نصف الإيجابي كتلة (m_d) وتخامد (c_d) وصلابة (k_d)، بينما الخصائص الدّيناميكيّة للمنشأ الرّئيسي موضّحة بالكتلة (m) والتّخامد (c) والصّلابة (k)، يولّد المحرّك المشار إليه بالرّمز (SA) قوّة تحكّم (u) كما هو مبيّن في الشّكل التّالي، حيث تضبط قوّة التّحكّم (u) تخامد المخمّد (TMD)، وبالتّالي فإنّ قوّة التّحكّم الإيجابيّة تلك تُستخدم لتغيير قوّة التّخامد للمخمّد (TMD)، علماً أنّها تتطلّب مقداراً قليلاً من الطّاقة الخارجيّة لإنجاز هذا الضّبط.

Dr. Eng. Dalia Najjar


y_d
y
u
u
SA
k_d
c_d
m_d
k
c
F_∞
m

4-3- مخمّدات الأعمدة السّائلة المعايرة القابلة للتّعديل Adjustable Tuned Liquid Column Dampers:

تُصنّف مخمّدات الأعمدة السّائلة المعايرة القابلة للتّعديل (TLCD) بأنّها نوع آخر من أنظمة التّحكّم نصف الإيجابي، حيث تستخدم هذه المخمّدات، كالمخمّدات السّلبيّة من النّوع (TLD)، تدفّق السّائل (Sloshing) الذي تسبّبه حركة المنشأ وذلك لتقليل الاهتزاز الإنشائي.

اقتُرحت استراتيجيّات مختلفة لتغيير خصائصها وبالتّالي تغيير الدّور الطّبيعي لها، كتغيير طول العمود السّائل أو المقطع العرضي لوعاء الخض أو حتّى استخدام فتحة متغيّرة ضمن العمود السّائل، ومن أهمّ ميّزات هذا النّظام أنّه عندما يكون هناك تغيّرات في الخصائص الميكانيكيّة للمنشأ الأساسي بعد أن يكتمل الإنشاء أو بعد حدوث الزّلزال، فإنّ ثوابت النّظام (TLCD) والتي هي عبارة عن الكتلة والتّواتر (Frequency and Mass) يمكن بسهولة أن تُعاير بضبط ارتفاع السّائل في الأنبوب.

يمكن أن ينجز المخمّد (TLCD) نصف الإيجابي تحسّناً ملحوظاً مقارنةً مع المخمّد (TLCD) السّلبي، ولكن على أيّ حال فإنّ أداء المخمّد (TLCD) نصف الإيجابي أو السّلبي مُقيّد بنسب الكتلة وضبط سائل الأنبوب، علماً أنّ نسبة الكتلة الأكبر يمكن أن تزيد الصّلابة المطلوبة للمنشأ الأساسي لكي تدعم الكتلة الأكبر في الأعلى، الأمر الذي يُنتج تصميماً غير اقتصادي، كما أنّ قيم نسب الكتلة والضّبط (التّعديل) محدّدة بالفراغ والطّول المتاح للمخمّد.

Dr. Eng. Dalia Najjar

5-3- المخمّدات السّائلة المطاوعة Controllable Fluid Dampers:

يُعرف هذا النّوع من المخمّدات بأنّه من أهمّ أنواع الأنظمة نصف الإيجابيّة، والتي تشمل مخمّدات مع سوائل لديها القابليّة للتّغيير العكسي للزوجتها، يُقسم السّائلان المطاوعان المستخدَمان في أنظمة التّحكّم الإنشائي إلى:

- ❑ سائل يعتمد على التّحريض الكهربائي Electro Rheological (ER)
- ❑ سائل يعتمد على التّحريض المغناطيسي Magneto Rheological (MR).

يتألّف المخمّد السّائل المطاوع من عازل كهربائي قطبي أو جسيمات قطبيّة مغناطيسيّة مُعلّقة في سائل ناقل، ولديها القدرة على التّغيير العكسي من سوائل لزجة حرّة التّدفق (Free-flowing Viscous Fluids) إلى سوائل نصف صلبة مع مقاومة مطاوعة لدنة (Controllable Yield Strength) في جزء من ألف من الثّانية، مع تغيير في الحقل المغناطيسي والكهربائي على التّوالي لجعلها مثاليّة لاستخدام المخمّدات المطاوعة، بالإضافة لمتطلّبات هذه المخمّدات للطّاقة المنخفضة، وبالتّالي فإنّ هذه الأنظمة لديها ميزة جيّدة كونها بسيطة ميكانيكيّاً.

Dr. Eng. Dalia Najjar

●MR Damper-based Control System

Full-scale Applications: Building

Nihon-Kagaku-Miraikan, Tokyo

National Museum of Emerging Science a nd Innovation

Two 30-ton, MR Fluid dampers b uilt by *Sanwa Tekki* using Lord MR fluid are installed between 3 rd and 5th floors

●MR Damper-based Control System

Full-scale Applications: Base-isolated Building

4- أنواع أنظمة التّحكّم الهجينة Types of Hybrid Control Systems:

تتضمّن هذه الأنظمة ميّزات أنظمة التّحكّم السّلبي والإيجابي، وقد تتضمّن هذه الأنظمة مخمّدات الاحتكاك المتغيّرة، والمخمّدات اللزجة المتغيّرة، ومساند العزل نصف السّلبيّة.

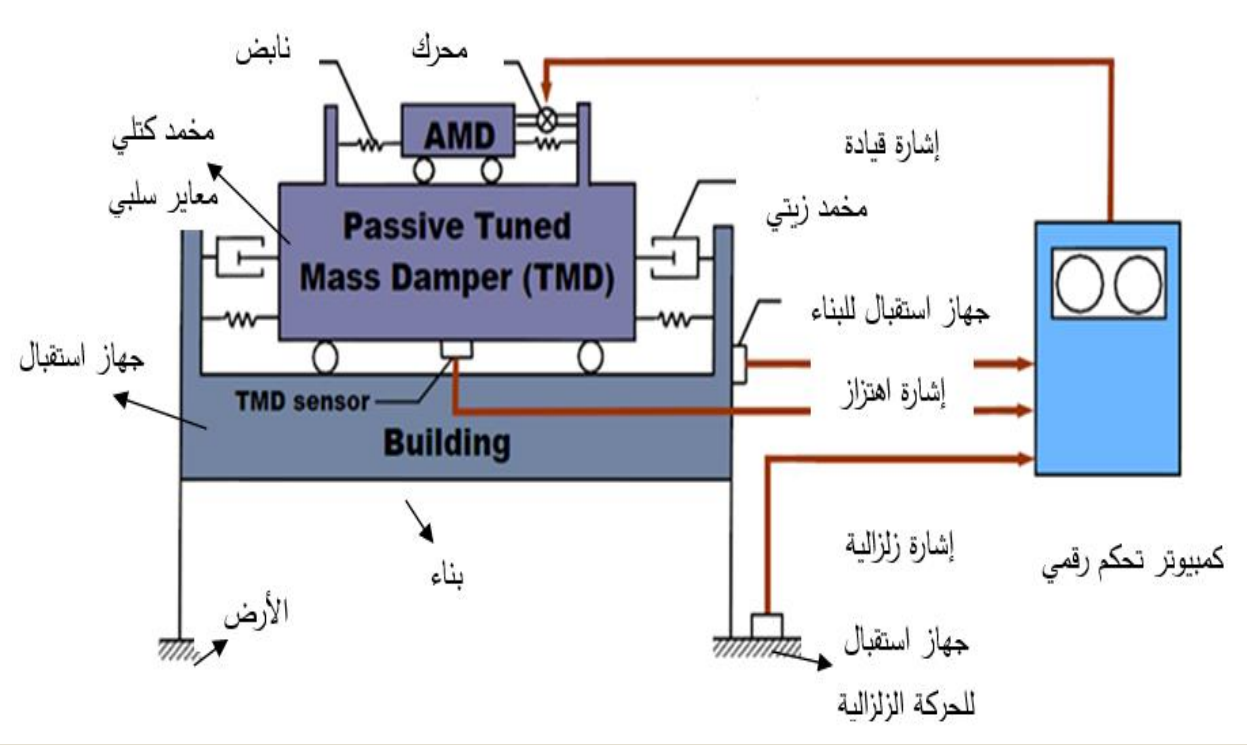
4-1- المخمّدات الكتليّة الهجينة Hybrid Mass Dampers:

يُعرف المخمّد الكتلي الهجين (HMD) بأنّه جهاز شائع الاستخدام في الأبنية الهندسيّة الإنشائيّة الضّخمة، حيث يتألّف المخمّد (HMD) من دمج المخمّد الكتلي المعاير (Tuned Mass Damper) مع محرّك تحكّم إيجابي (Active Control Actuator).

يبيّن الشّكل المجاور هذا النّوع من المخمّدات.

Dalia Najjar

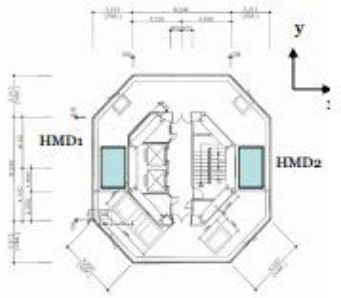
تعتمد فعاليّة المخمّد (HMD) على القوى النّاجمة عن محرّك التّحكّم، حيث يتطلّب المخمّد (HMD) طاقةً أقلّ ليعمل مقارنةً مع المخمّدات الكتليّة الإيجابيّة التّامة.



تُستخدَم قوى المحرّك فقط لتزيد فعاليّة وشدّة التّغيّرات في الخصائص الدّيناميكيّة الإنشائيّة، حيث يضبط المخمّد من النّوع (TMD) الطّور الأساسي للمنشأ، بينما يُصمَّم المخمّد من النّوع (AMD) ليحسّن فعاليّة التّحكّم للأطوار الأعلى، وبالتّالي فإنّ الطّاقة والقوى المطلوبة لتشغيل المخمّد (HMD) أقلّ من تلك اللازمة لتشغيل (AMD) بأداء مشابه.
يبيّن الشّكل المجاور مخطّط المخمّد الكتلي الهجين.

HMD for Air-traffic Control Tower (Incheon Int'l Airport)

Air Traffic Control Tower: 100. 4 m
Natural Freqeuncy: 0.71 Hz



Location of HMDs: 19th Floor
(80 m above ground)

Hybrid Mass Damper (HMD)

Shanghai World Financial Center: HMD

- Active tuned mass damper
  - Two dampers on the 90th floor.
  - Sensors are used to measure the building sway with a computer to control

- *Shape*
  - The Hole in the building reduces vortex-shedding induced force.

2-4- العزل الزّلزالي الهجين الإيجابي Active Hybrid Seismic Isolation:

هناك نوع آخر من أنظمة التّحكّم الهجين ألا وهو نظام العزل الزّلزالي الهجين الإيجابي، يُشير هذا النّوع من العزل إلى إدخال أجهزة التّحكّم الإيجابيّة ضمن المنشآت المعزولة قاعديّاً.

على الرّغم من أنّ العزل الزّلزالي القاعدي باستخدام المساند المطّاطيّة لديه القدرة على تقليل الإزاحات الطّابقيّة والتّسارعات الإنشائيّة، إلا أنّه يزيد من انتقالات القاعدة (نظام العزل)، لهذا السّبب تظهر الحاجة لاستخدام أجهزة التّحكّم الإيجابيّة.

تؤمّن المساند المطّاطيّة عالية التّخامد على سبيل المثال (High Damping Rubber Bearings) والتي يتمّ اختيارها للعزل الزّلزالي القاعدي كلّ من الصّلابة الجانبيّة (Lateral Stiffness) التي تتحكّم بدور الاهتزاز الطّبيعي (Natural Vibration Period) بالإضافة إلى التّخامد الهيستيري (Hysteretic Damping)، وبالتّالي يأتي التّحكّم الإيجابي ليكون مُتمّماً لعمل نظام العزل التّقليدي، حيث يتمّ وضع مخمّدات لزجة عند قاعدة المنشأ تتحكّم بانتقالات المبنى ككلّ، ويجدر التّنويه أنّه قد تمّ تطبيق مثل هذه الأنظمة في إعادة تأهيل بعض الأبنية والمنشآت في العالم.

Dr. Eng. Dalia Najjar

3-4- التّحكّم الهجين المتضمّن الأجهزة نصف الإيجابيّة Hybrid Control Involving Semi-Active Devices:

تُستخدَم أجهزة التّحكّم نصف الإيجابي أيضاً بالاتّحاد مع الأنظمة السّلبيّة، حيث يشير التّركيب الأكثر شيوعاً إلى العزل المتطوّر الذي يتضمّن وضع المخمّدات نصف الإيجابيّة: كالمخمّدات السّائلة الحاوية على سائل يعتمد على التّحريض المغناطيسي (Magneto Rheological (MR))، ومخمّدات الصّلابة نصف الإيجابيّة (Semi-Active Stiffness Dampers)، ومخمّدات الاحتكاك الكهرومغناطيسيّة نصف الإيجابيّة (Semi-Active Electromagnetic Friction Dampers)، والتي تُزوّد بها المنشآت المعزولة قاعديّاً.

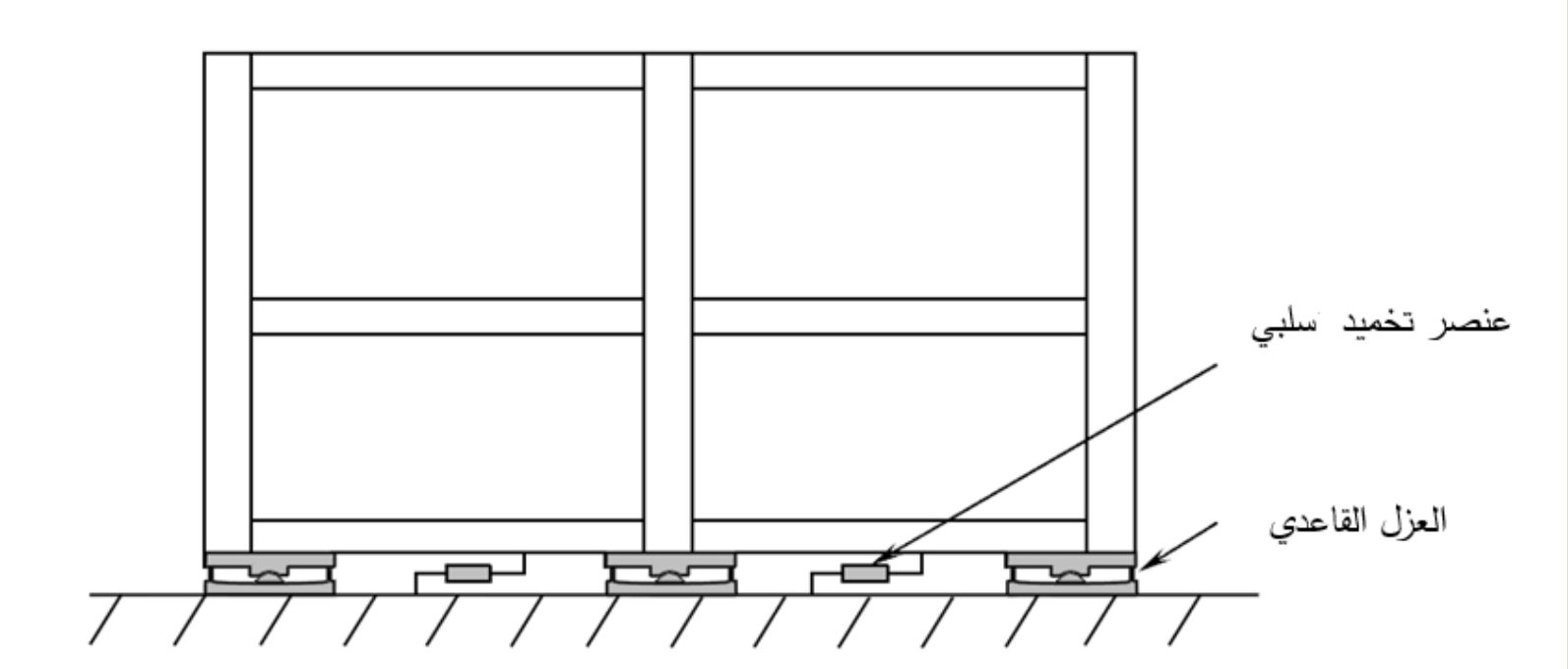
على الرّغم من أنّ العزل الزّلزالي القاعدي فعّال في تبديد الطّاقة الزّلزاليّة، فقد وجد أنّ الأجهزة نصف الإيجابيّة توثّر على الاستجابة الزّلزاليّة للمنشآت المعزولة قاعديّاً، حيث أنّ هذه الإستراتيجيّة تُقلّل الانتقالات القاعديّة بمقدار النّصف مقارنةً مع المنشآت بدون أجهزة التّحكّم، وبالتّالي فإنّ عمل أنظمة العزل المزوّدة بالأجهزة نصف الإيجابيّة من شأنه أن يفوق عمل الأنظمة السّلبيّة التّقليديّة، حيث يؤدّي إلى مضاعفة تخفيض قوى القصّ في المنشأ.

يستخدم النّموذج الجديد محاسن كلّ من أنظمة التّحكّم السّلبي ونصف الإيجابي، وبهذه الطّريقة يتمّ تحسين الأداء الإجمالي والقدرة على العمل، وهذا يُظهر أنّ نموذج التّحكّم الهجين فعّال بشكلٍ ملحوظٍ في تقليل استجابة المنشآت تحت تأثير التّنبيهات الزّلزاليّة المختلفة، ولا بدّ من الإشارة أنّ النّظام المقترح يستبعد الحاجة إلى متطلّبات الطّاقة الكبيرة وذلك بشكلٍ مغايرٍ لأنظمة التّحكّم الهجين الأخرى حيث تتّحد الأنظمة السّلبيّة مع الإيجابيّة.

Dr. Eng. Dalia Najjar

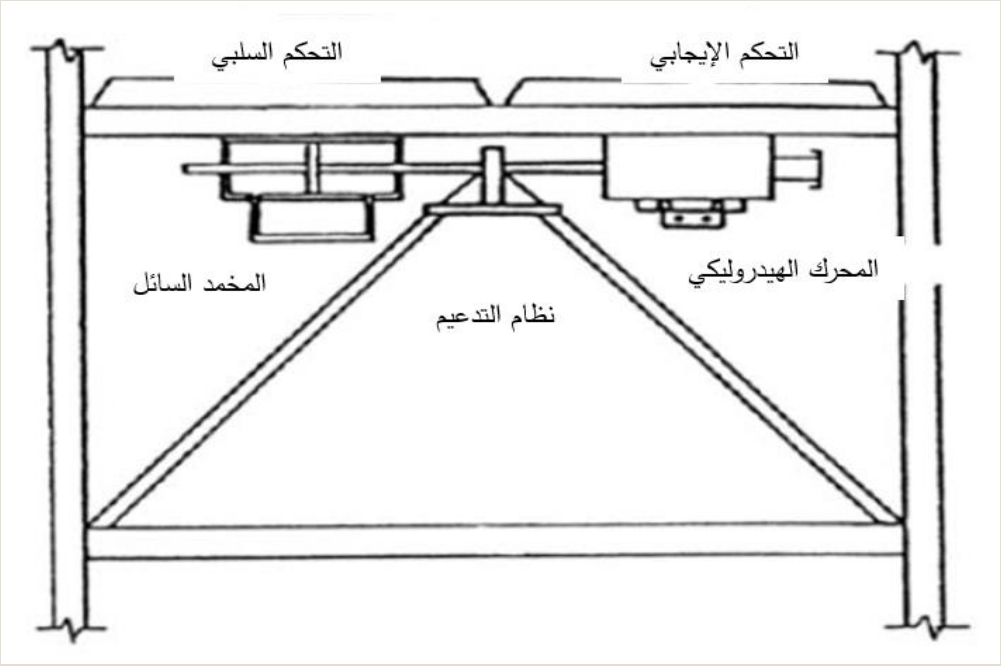
4-4- العزل الزّلزالي الهجين السّلبي Passive Hybrid Seismic Isolation:

تتألّف أنظمة العزل الزّلزالي الهجين السّلبي من مساند العزل التّقليديّة (السّلبية) (Passive Isolation Bearings) بالتّرافق مع أنظمة التّخامد السّلبيّة (أنظمة تبديد الطّاقة) كما هو مبيّن في الشّكل التّالي.



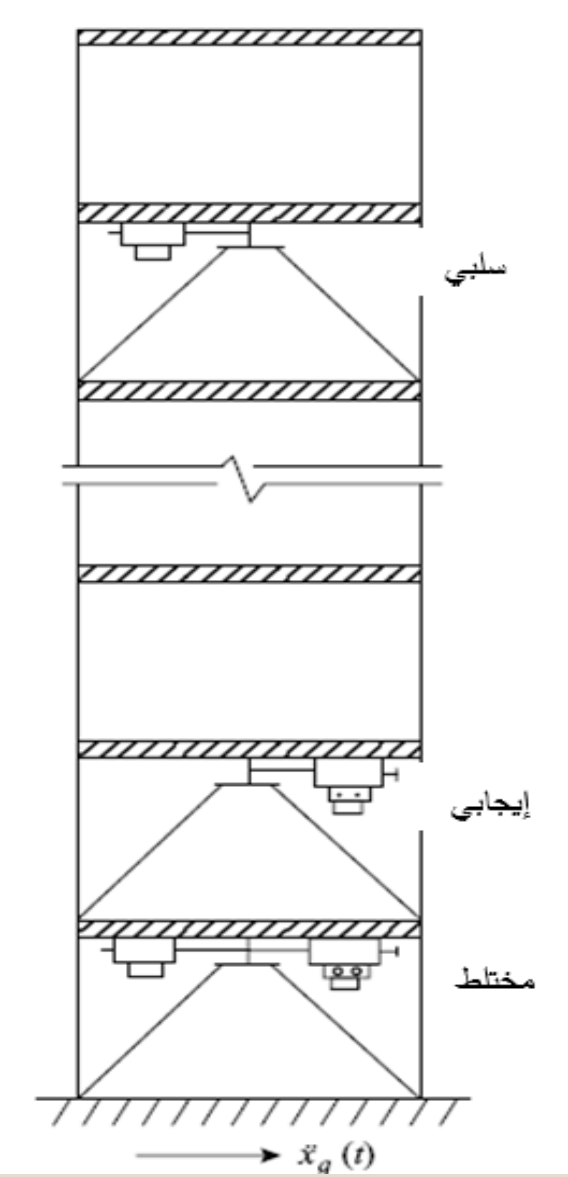
تكون مثل هذه الأنظمة فعّالة جدّاً في التّحكّم باستجابة المنشآت حيث أنّ مساند العزل التّقليديّة تزيد من الدّور الأساسي للاهتزاز والنّاتج عن تقليل التّسارعات الطّيفيّة، بينما تحدّ المخمّدات من الانتقالات عند مستوي العزل، ويجدر التّنويه إلى أنّ التّطبيقات الحاليّة لأنظمة العزل الزّلزالي الهجين السّلبي تستخدم إمّا مساند العزل المطّاطيّة أو أنظمة نواس الاحتكاك وذلك بالتّرافق مع المخمّدات السّائلة اللزجة.

5-4- أنظمة التّحكّم ذات الدّعامات الهجينة Hybrid Damper-Actuator Bracing Control:



تتوضّع أنظمة التّحكّم ذات الدّعامات الهجينة على المنشأ وذلك على دعامات على شكل (K) كما هو مبيّن في الشّكل التّالي، حيث يمكن أن يتمّ اختيار عدّة أنواع من أنظمة التّحكّم السّلبي مثل المخمّدات السّائلة اللزجة، بالإضافة إلى المحرّكات الهيدروليكيّة كأجهزة تحكّم إيجابيّة بسبب قوّتها الكبيرة المولّدة للطّاقة كما هو مبيّن في الشّكل المجاور.

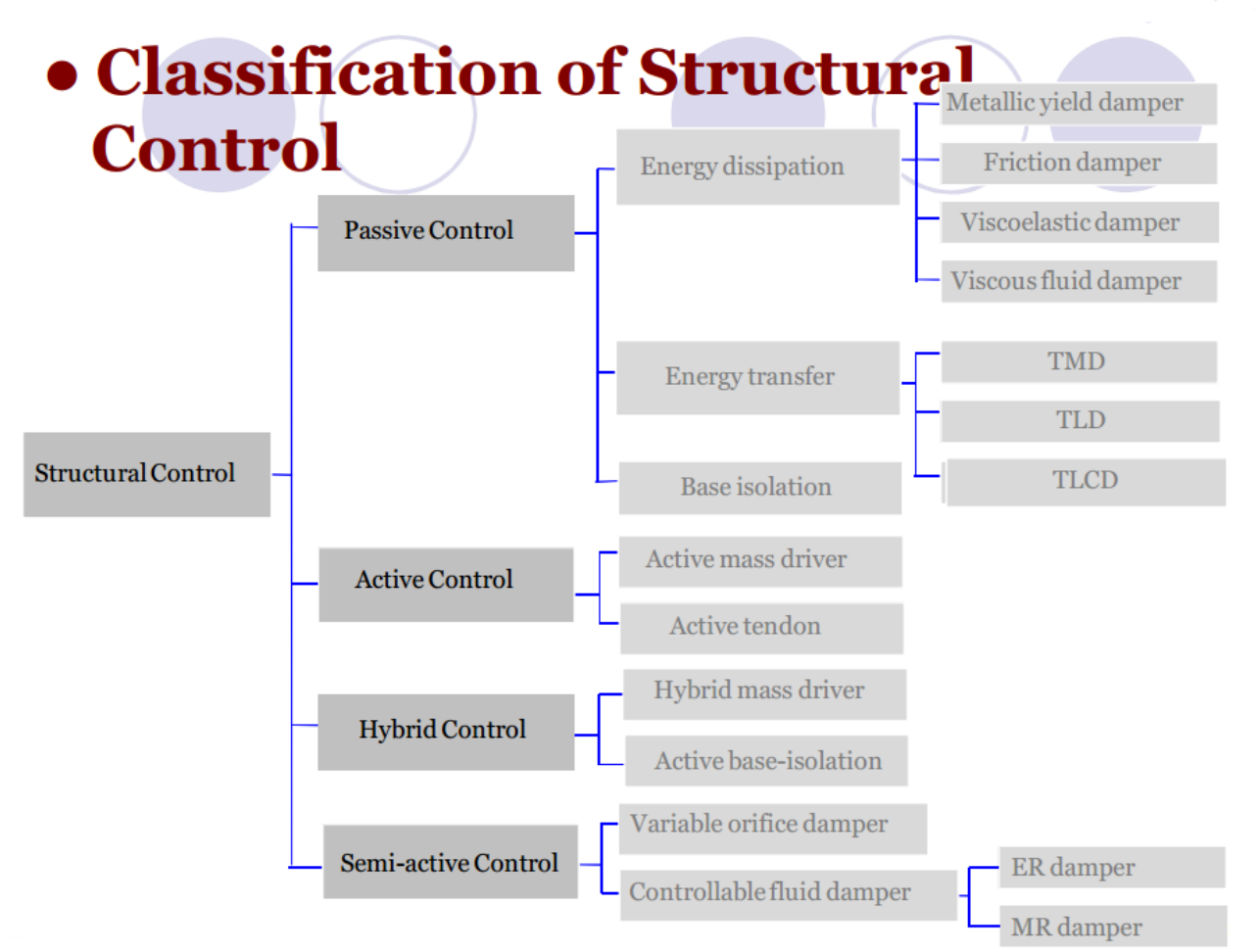
alia Najjar



يُعتبر هذا النّوع من الأنظمة الهجينة مفضّلاً أكثر من الأنظمة الهجينة الأخرى بسبب الفوائد الإضافيّة له، ففي هذا النّظام الهجين هناك إمكانيّة لأن يتمّ جمع أو فصل كلّ من المخمّد والمحرّك، بالإضافة إلى أنّ تركيب أجهزة التّحكّم على المنشأ بإمكانه الاعتماد على دعامات إنشائيّة موجودة، وبالتّالي تُطبّق قوى التّحكّم الإيجابيّة مباشرةً على المنشأ، مما يعني أنّ كلفة هذا النّظام الهجين أقلّ من نظام العزل الزّلزالي القاعدي الهجين، كما يمتلك طاقة تحكّم أكبر من المخمّد الكتلي الهجين (HMD). تتغلّب أنظمة كهذه على مساوئ أنظمة التّحكّم السّلبي والإيجابي ونصف الإيجابي بينما تحقّق إمكانيّات أنظمة التّحكّم السّلبي وطاقة أنظمة التّحكّم الإيجابي.

وبالتّالي يمكن القول أنّ النّظام الهجين عموماً يمتلك طاقة أكبر وفعاليّة أكثر من النّظام السّلبي، ويتطلّب طاقة خارجيّة أصغر من نظام التّحكّم الإيجابي.

Dr. Eng. Dalia Najjar



5- الخاتمة Conclusion:

تطوّرت وتنوّعت تقنيّات التّحكّم الزّلزّالي أو ما يُدعى ضمن المراجع **بالتّحكّم الإنشائي** Structural Control للحدّ من تأثيرات الاهتزازات سواء النّاتجة عن الحركات الأرضيّة (الزّلازل) أو النّاتجة عن الرّياح أو النّاتجة عن حركة القوافل، والتي تتعرّض لها منشآت الهندسة المدنيّة مثل المباني والأبراج والجسور، حيث أنّ استخدام أنظمة التّحكّم الزّلزالي والتي تُقسم إلى أنظمة التّحكّم السّلبي، أنظمة التّحكّم الإيجابي، أنظمة التّحكّم نصف الإيجابي وأنظمة التّحكّم الهجين، من شأنه أن يؤدّي إلى الحفاظ على ديمومة المنشآت بالإضافة إلى تحقيق مستوى الأمان المطلوب.

Question
&
Answer