

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سیستم های مدرن جنب انرژی در

سازه های فولادی

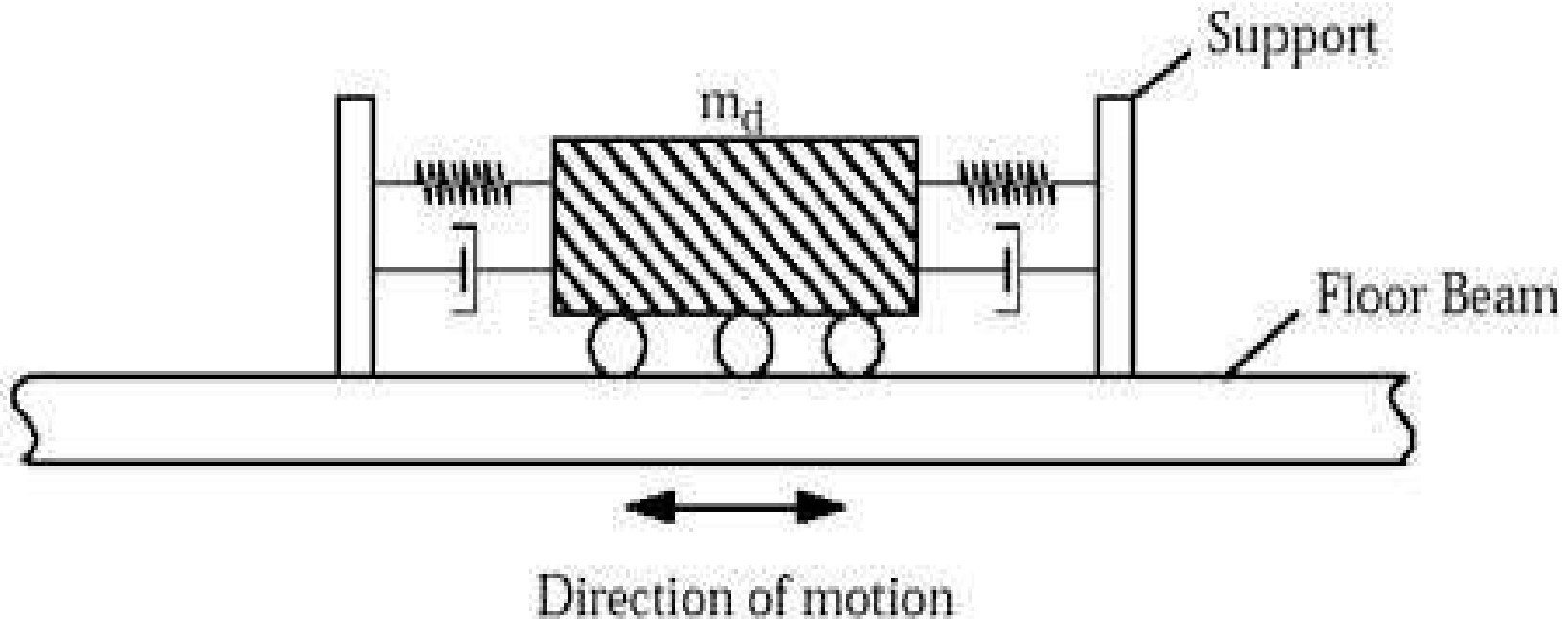
سیستم‌های تنظیم شده (*TUNED SYSTEMS*)

- میراگر تنظیم شده، ابزاری است که جهت کاهش پاسخ نیروی زلزله به سازه متصل می‌شود و تحت اثر حرکات جانبی سازه شروع به ارتعاش مینماید.
- فرکانس میراگر بگونه‌ای تنظیم میشود که سازه در آن فرکانسی که تحریک می‌گردد، میراگر در فاز مخالف شروع به ارتعاش نماید.
- نیروی اینرسی میراگر باعث از بین رفتن انرژی ارتعاشی سازه می‌شود.

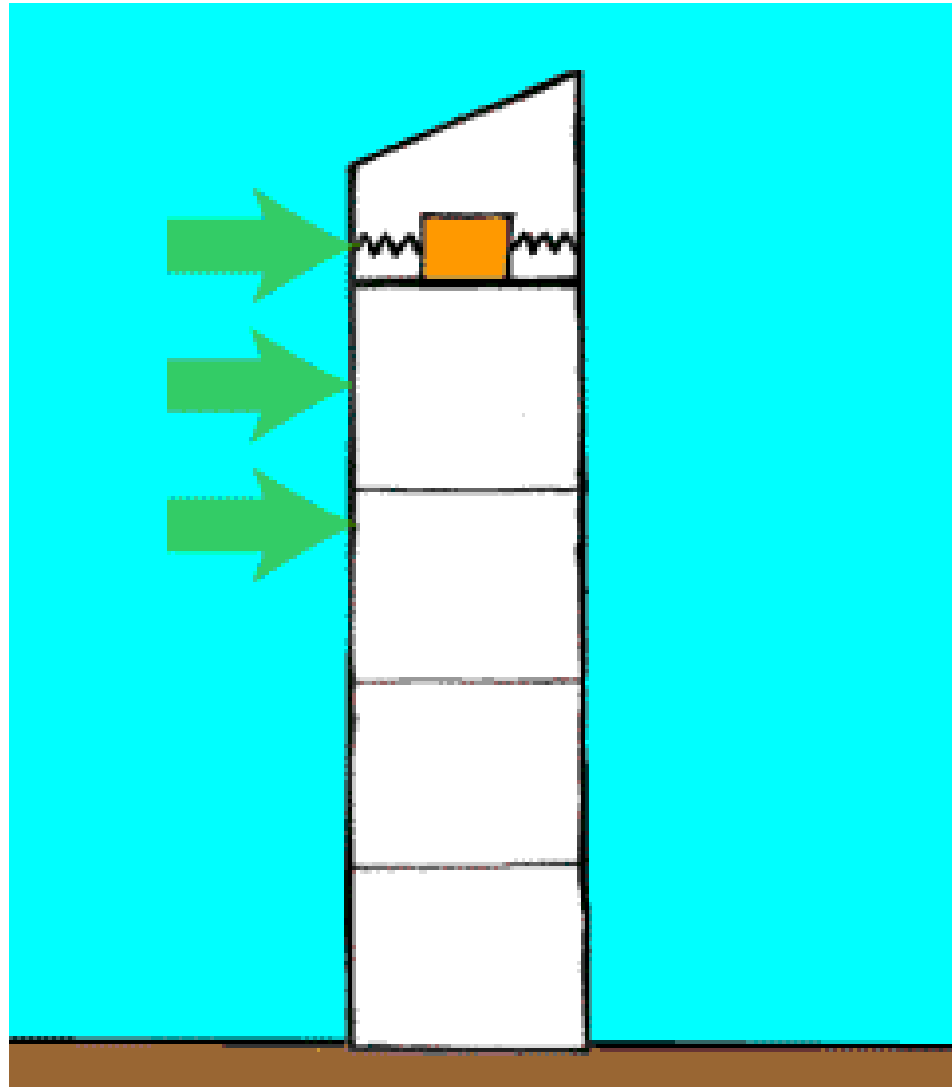
■ میراگرهای جرمی تنظیم شده

Tuned Mass Dampers

- جرم روی یک تکیه گاه که به عنوان غلتک عمل می‌نماید، قرار می‌گیرد که به جرم اجازه می‌دهد به صورت انتقالی - جانبی نسبت به کف حرکت نماید.
- فنرها و میراگرها بین جرم و اعضای تکیه گاهی عمودی مجاور قرار می‌گیرند که این اعضای تکیه گاهی نیروی جانبی «در فاز مخالف» را به سطح کف و سپس به قاب سازه‌ای انتقال می‌دهند.



TMD نمایی شماتیک از عملکرد

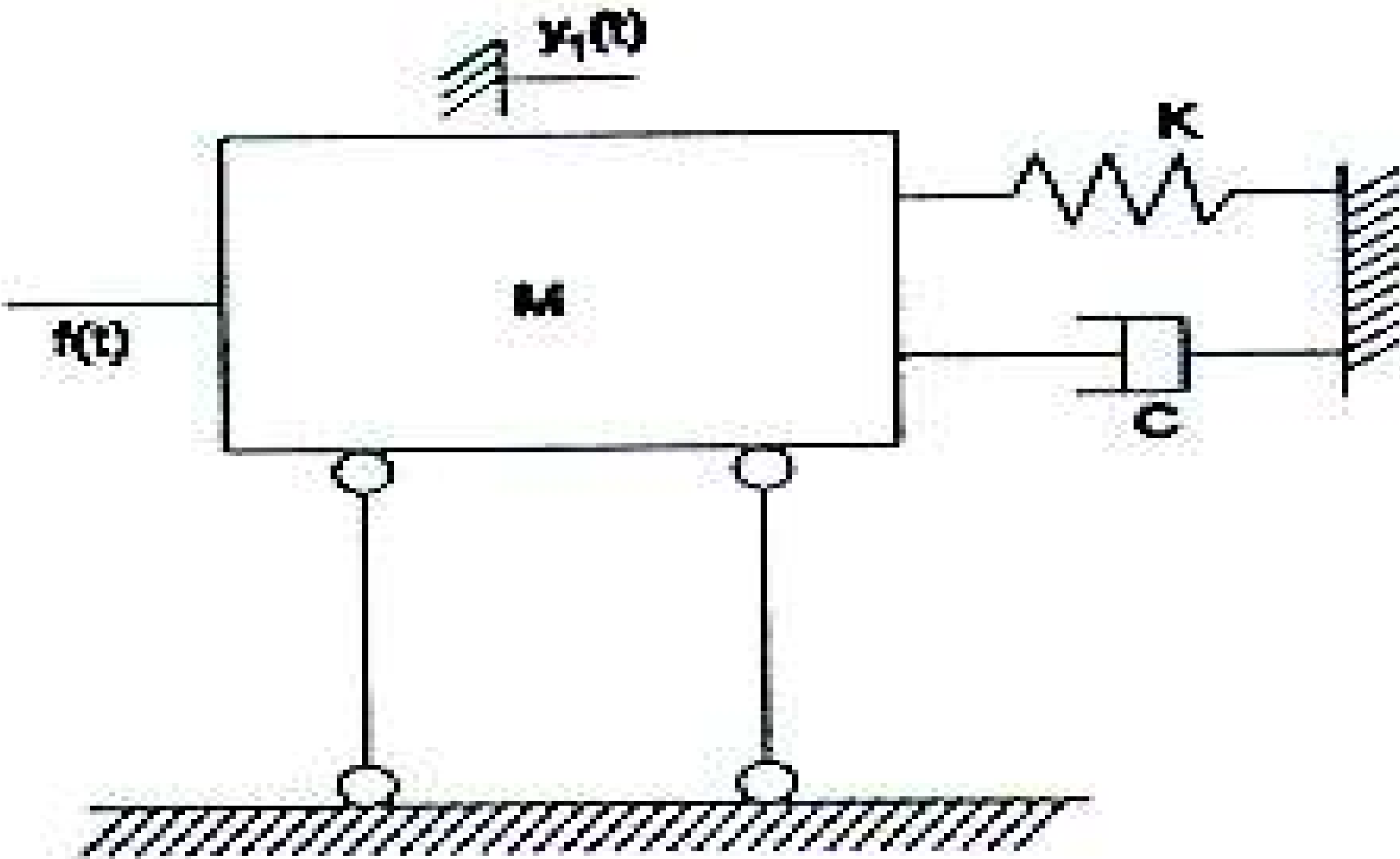


TMD

جرم داخلي ميراگر

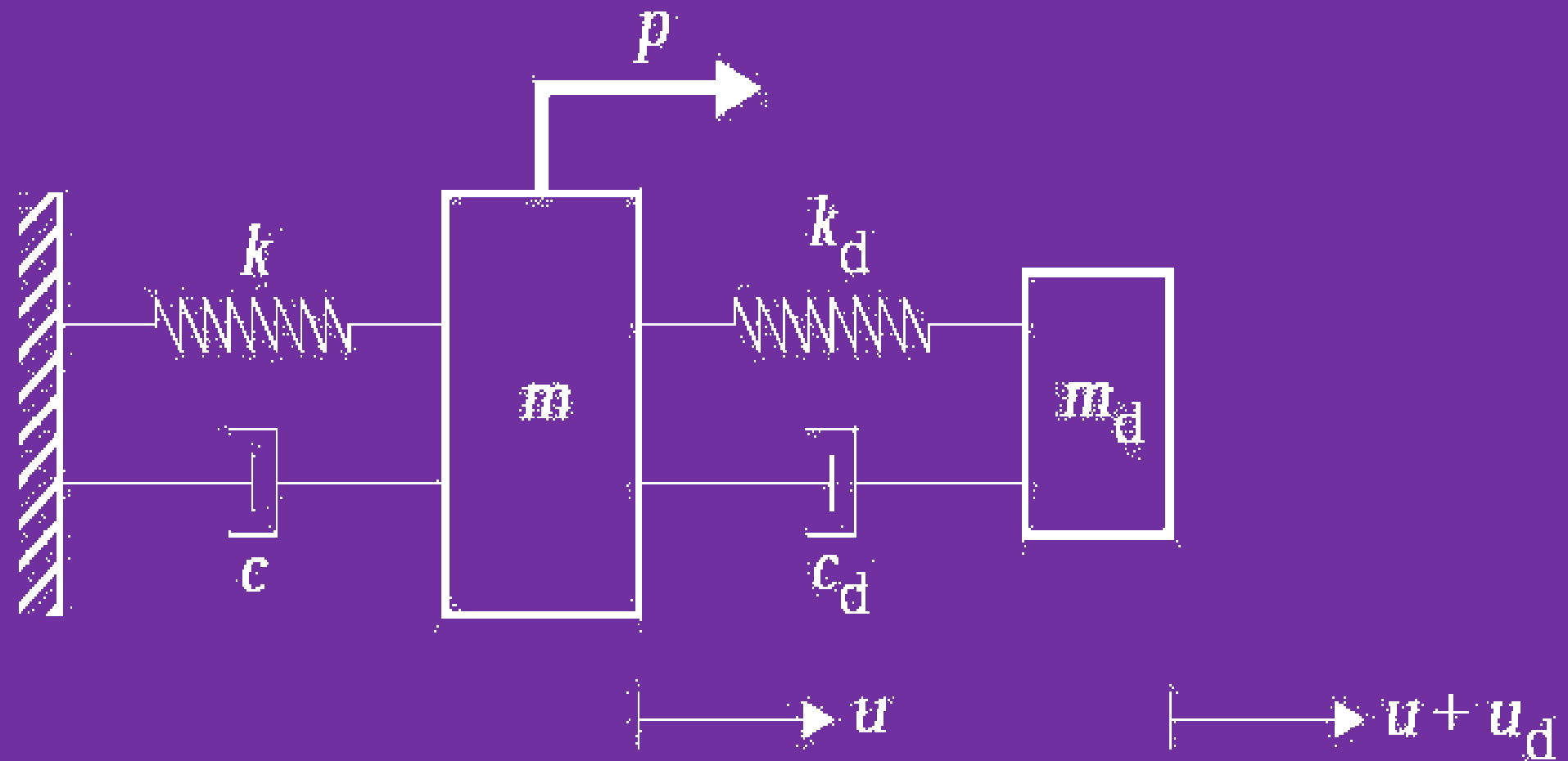
فنز داخلي ميراگر

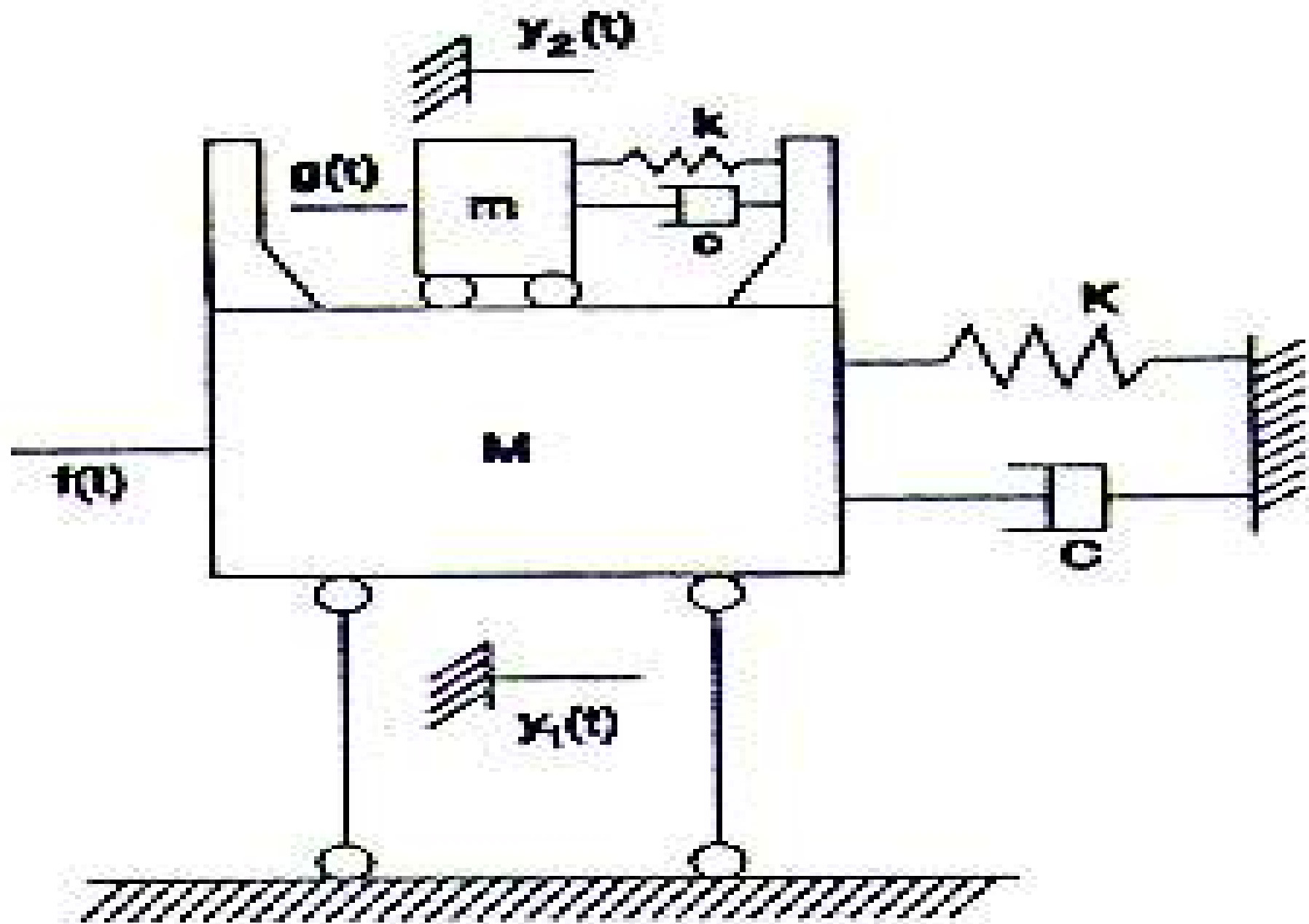
دمپينگ داخلي



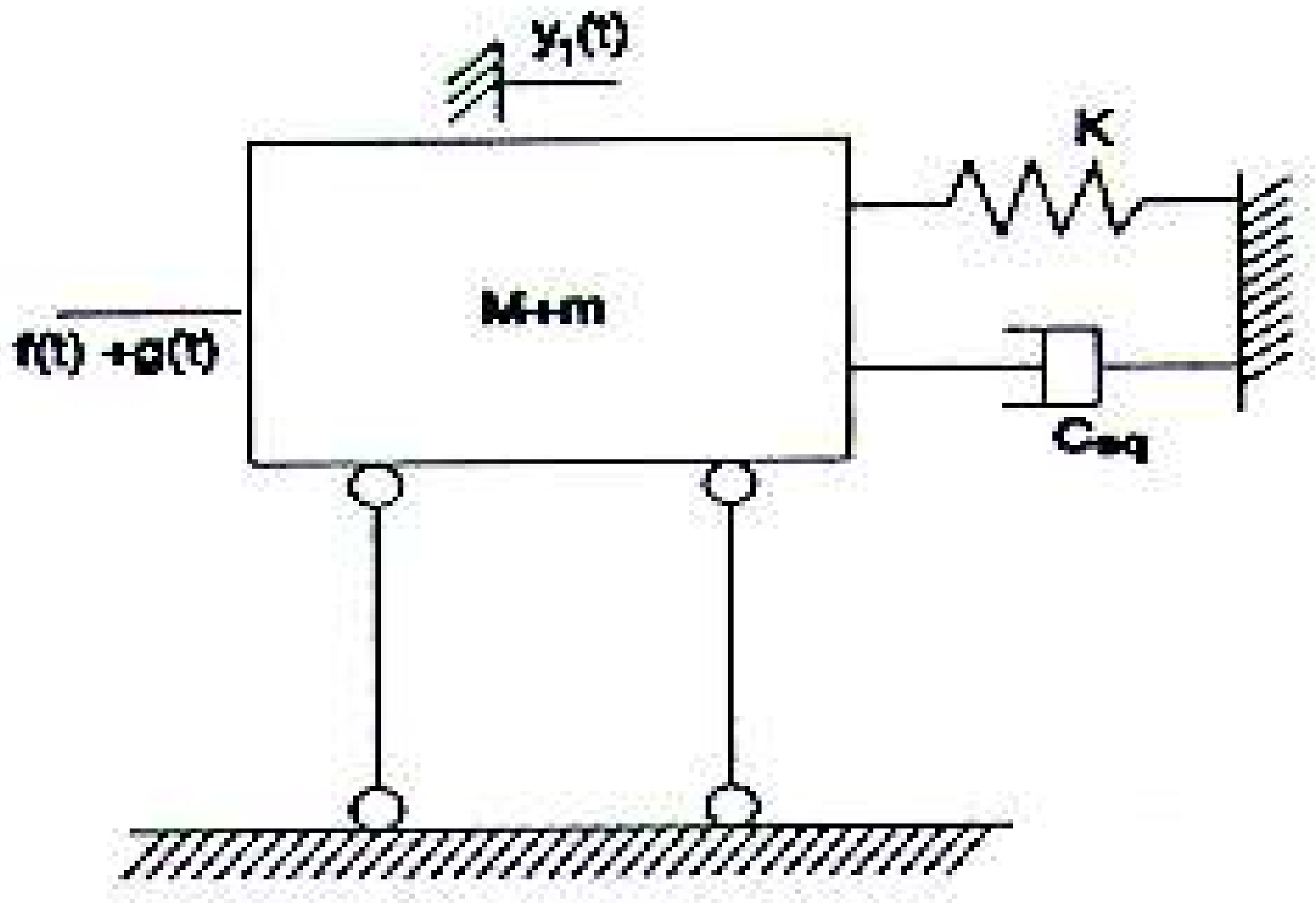
(a)

نمای شماتیک TMD

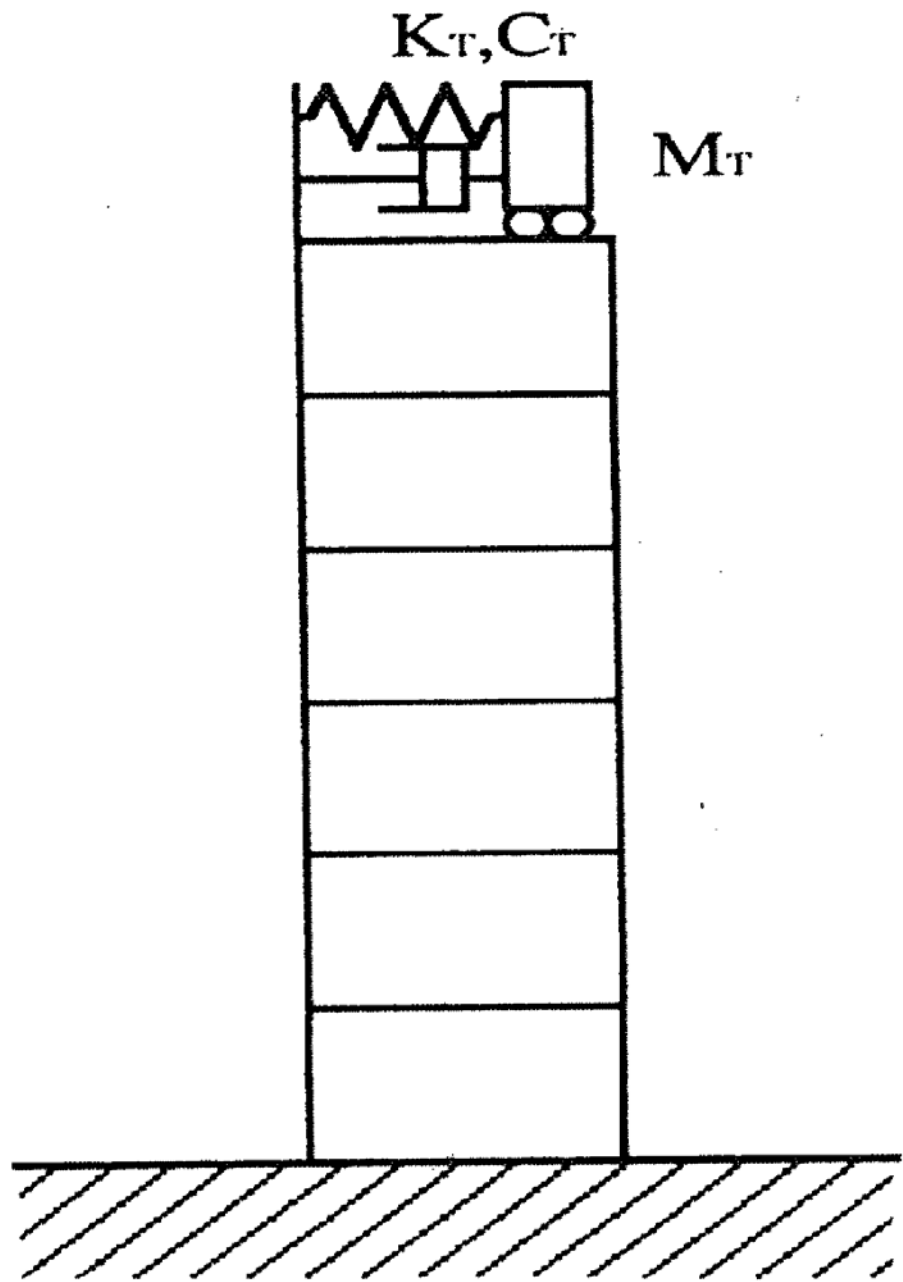




(b)



(c)

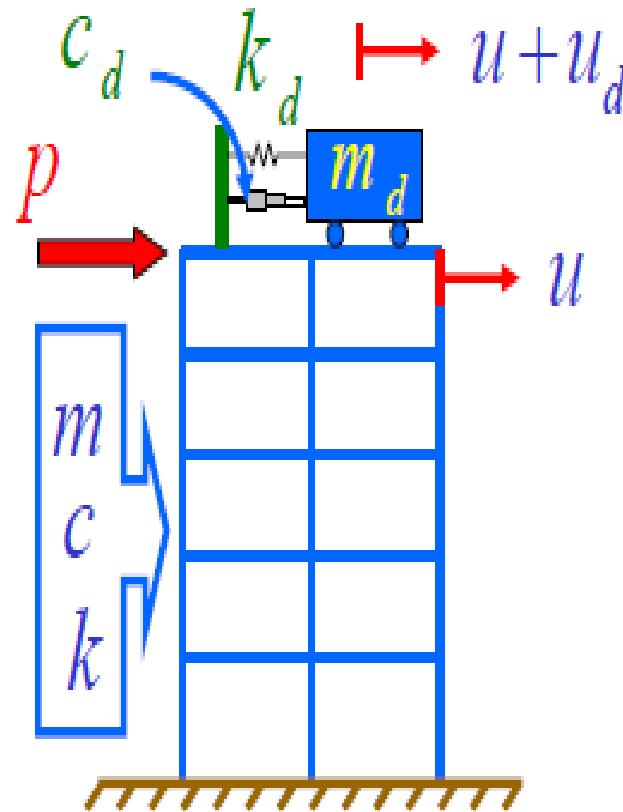


Tuned mass damper on a structure

John Hancock Tower



Tuned Mass Dampers



Building

$$(1 + \bar{m})\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2u = \frac{P}{m} - \bar{m}\ddot{u}_d$$

$$\bar{m} = \frac{m_d}{m} \quad \omega_i^2 = \frac{k_i}{m_i}$$

Damper

$$\ddot{u}_d + 2\xi_d\omega_d\dot{u}_d + \omega_d^2u_d = -\ddot{u}$$

$$c_i = 2\xi_i\omega_i m_i$$

John Hancock Tower

- طبقات برج : ۶۰ طبقه
- دو میراگر در طبقه 58 به فاصله 67 از یکدیگر و هر کدام به وزن ۲۷۰۰ کیلونیوتن
- میراگرها شامل یک جعبه فولادی پر شده از سرب به ابعاد $5.2m * 5.2m$
- تکیه گاهها از نوع هیدرواستاتیکی (یک لایه روغن تزریق شده به حفرات یک صفحه فولادی)
- عملکرد اتوماتیک در صورتی که شتاب جانبی در دو سیکل متوالی به $0.3g$ برسد
- هزینه : ۳ میلیون دلار
- اثر : کاهش جابجائی جانبی بین 40 تا 50 درصد

Citicorp Center



Citicorp Center

● ارتفاع برج : 279 متر با پیروود غالب 6.0 ثانیه و میرایی یک درصد در هر جهت

● میراگر در طبقه 63 و به وزن 366 مگا گرم و جرم مودال موثر آن در مد اول 2 درصد

● جرم بلوک بتنی به ابعاد $9.1m * 9.1m * 2.6m$

● پیروود کارکرد موثر آن 6.25 ثانیه و میرایی خطی قابل تنظیم 8 الی 14% و تغییر مکان نسبی 1.4 متر

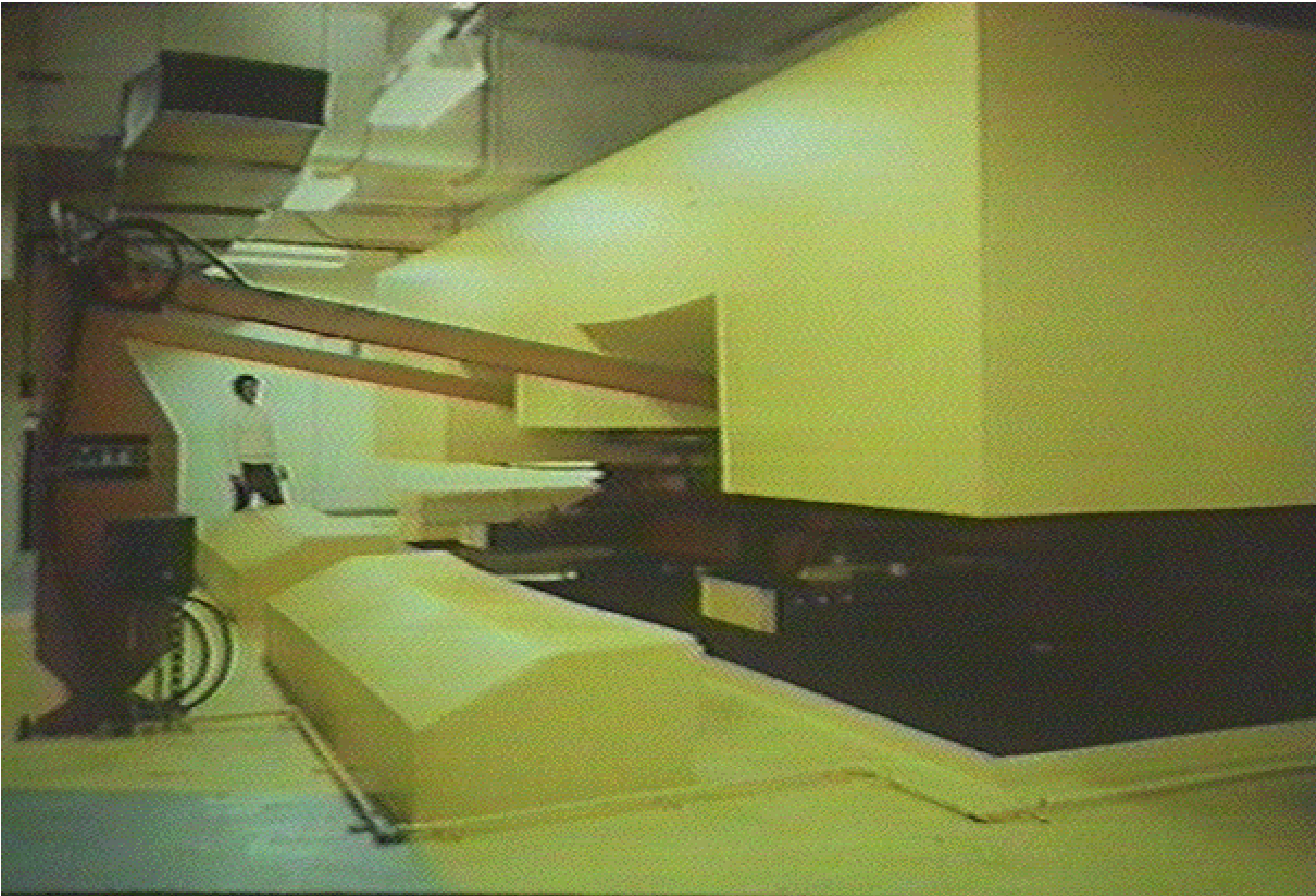
● این میراگر 250 برابر بزرگتر از سایر نمونه ها بوده و 50% دامنه حرکت نسبی ساختمان را کاهش میدهد.

● عملکرد اتوماتیک در صورتی که شتاب جانبی در دو سیکل متوالی به $0.3g$ برسد

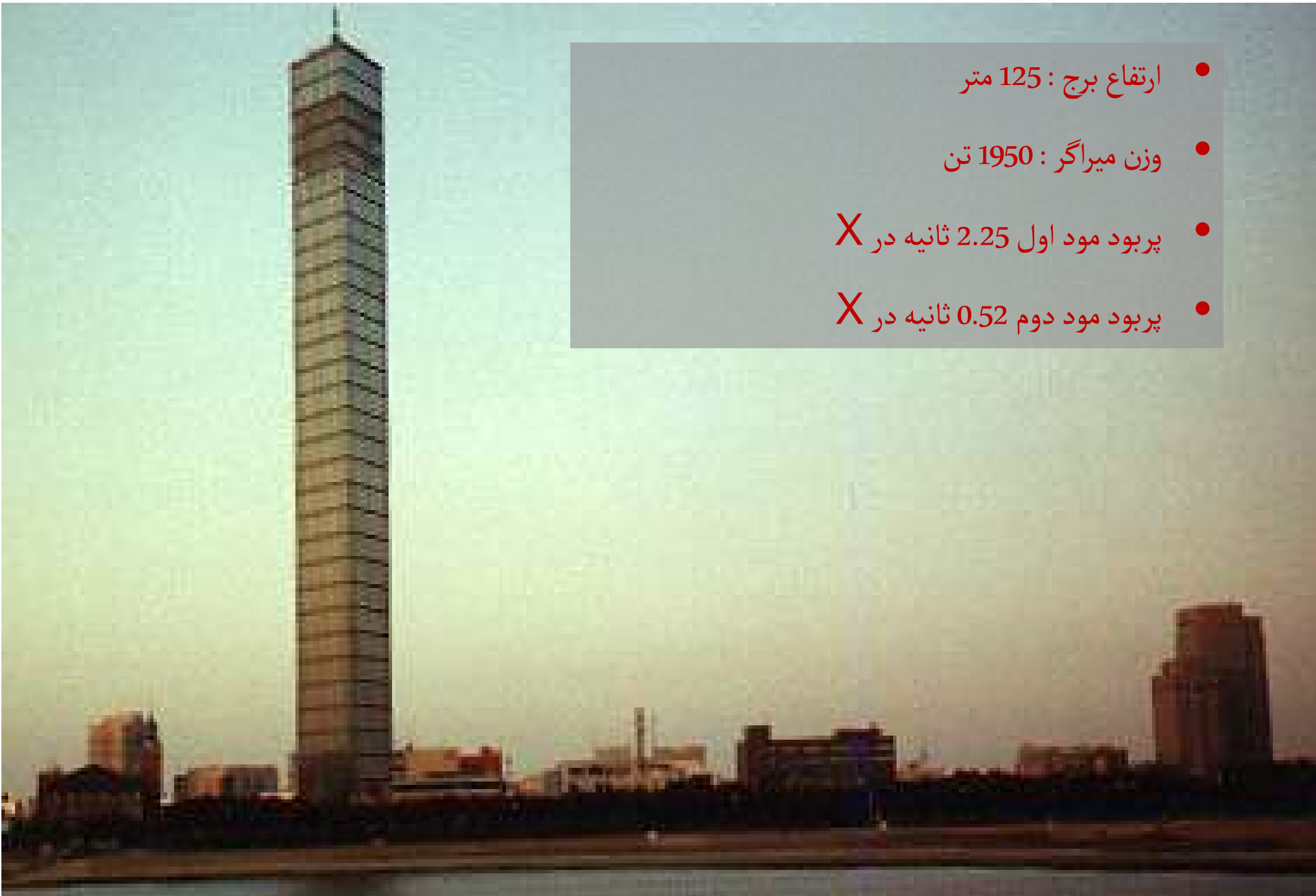
● هزینه : 1.5 میلیون دلار که نسبت به تقویت سازه ای حدود 3.5 الی 4 میلیون دلار صرفه جوئی شده است

● اثر : کاهش جابجائی جانبی تا 50 درصد که برابر است با افزایش میرایی ذاتی سیستم به 4%

Citicorp Center



Chiba Bay Tower



• ارتفاع برج : 125 متر

• وزن میراگر : 1950 تن

• پربود مود اول 2.25 ثانیه در X

• پربود مود دوم 0.52 ثانیه در X

این برج که در سال 1986 تکمیل شد و اولین برج در ژاپن بود که با TMD مجهز گردید.

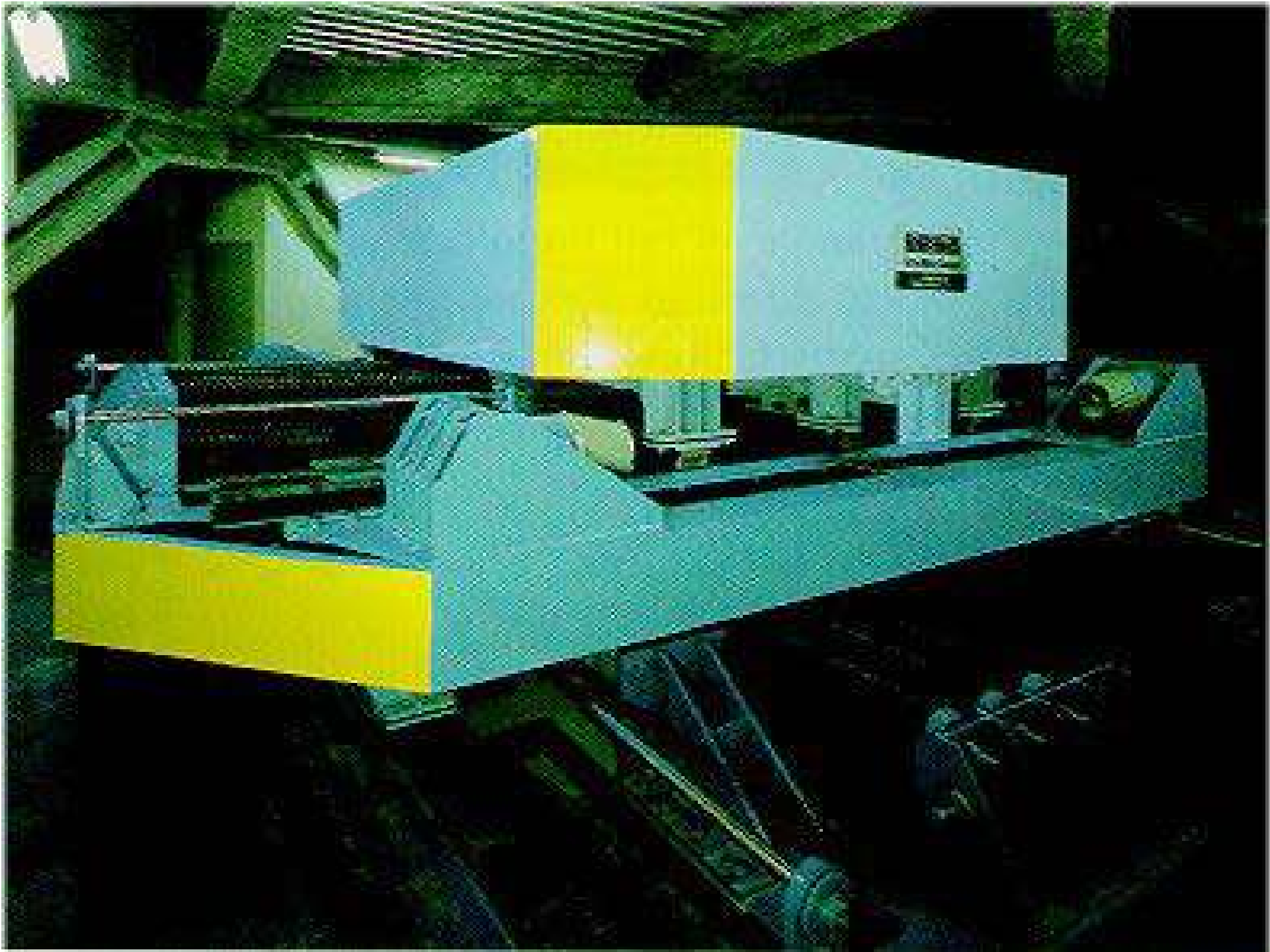
• یک سازه فولادی با ارتفاع 125 متر و وزن 1950 تن با پلان لوزی شکل با طول ضلع 15 متر.

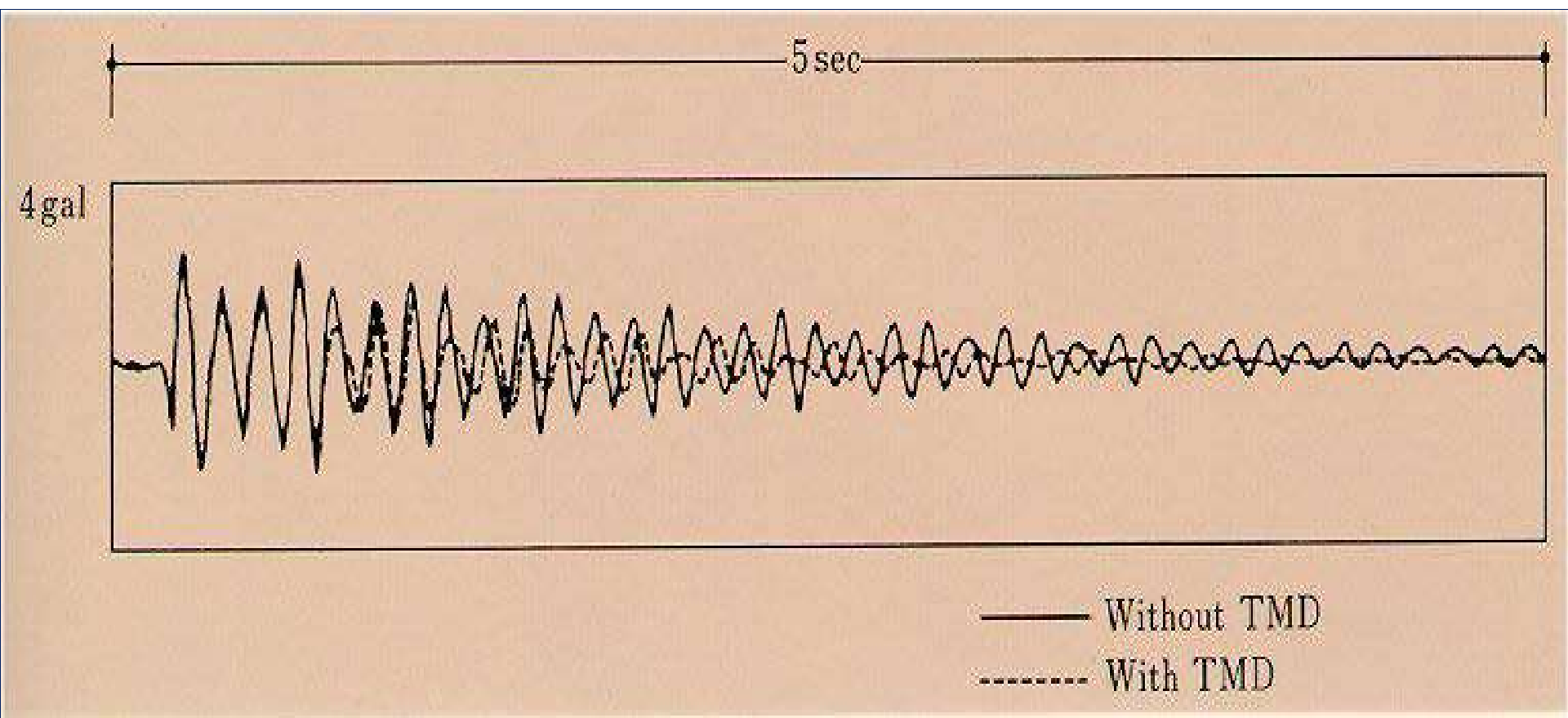
• پریدهای مود اول و دوم 2.52 و 0.51 ثانیه برای جهت X و 2.7 و 0.57 ثانیه برای جهت Y .

• میرایی مود اصلی 0.5% تخمین زده می شود.

• میراگر، نسبت جرمی (با توجه به جرم مودی مود اول) حدود 1/20 در جهت X و 1/80 در جهت Y دارد، پرید در جهات X و Y به ترتیب 2.24 و 2.72 ثانیه است و نسبت میرایی 15% است.

• حداکثر تغییر مکان نسبی میرگر نسبت به برج حدود ± 1 در هر جهت می باشد. کاهش حدود 30 تا 40% در تغییر مکان و کاهش 30% در ممان پیشینه خمشی مورد انتظار است .





- **TMD** های نخستین، مکانیزم پیچیده ای برای تکیه گاه ها و المان های میرایی داشتند

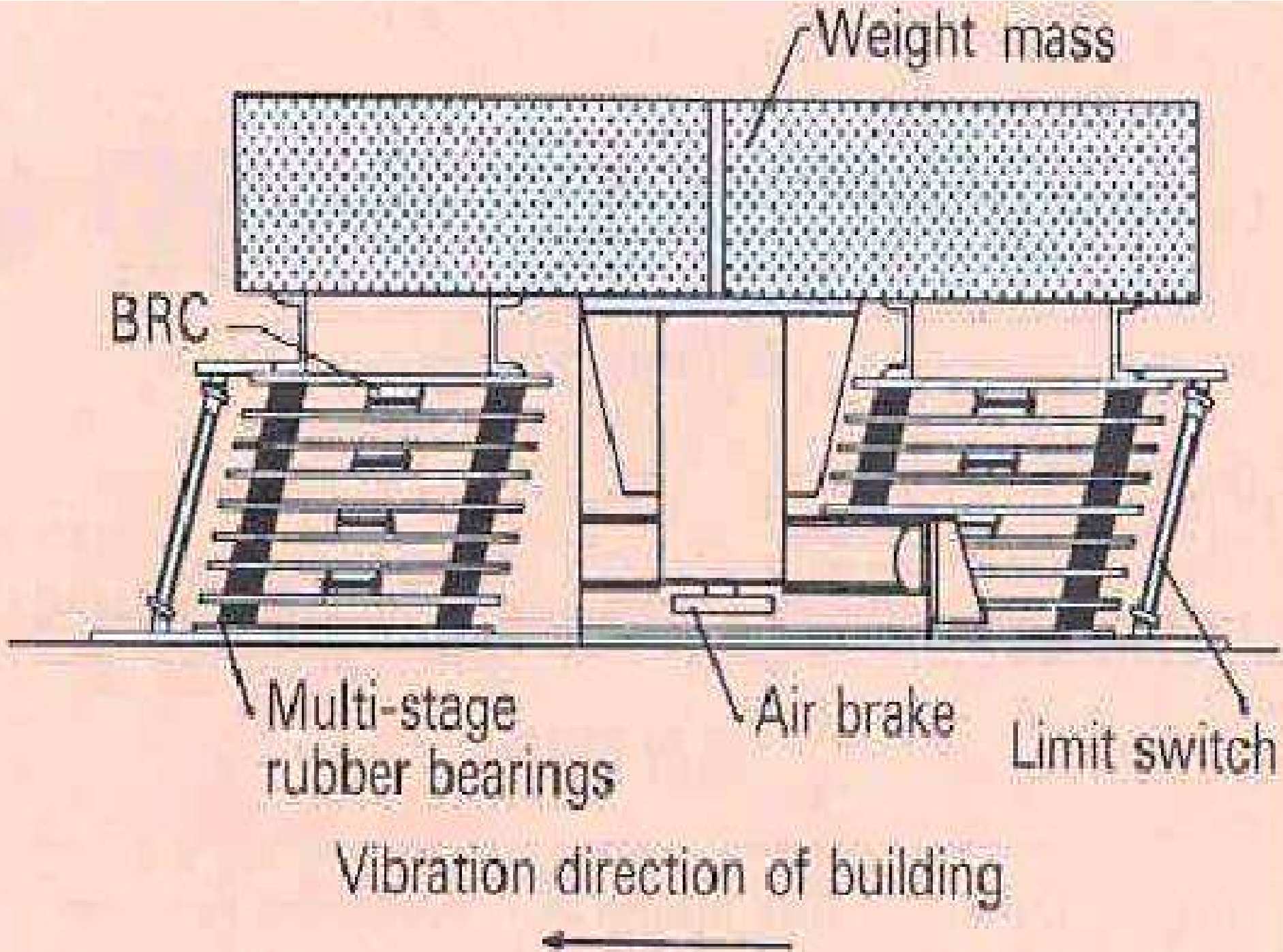
- همچنین به طور نسبی سنگین بوده
- و به طور قابل ملاحظه ای فضا اشغال می نمودند
- و نیز تا حدودی گران بودند.

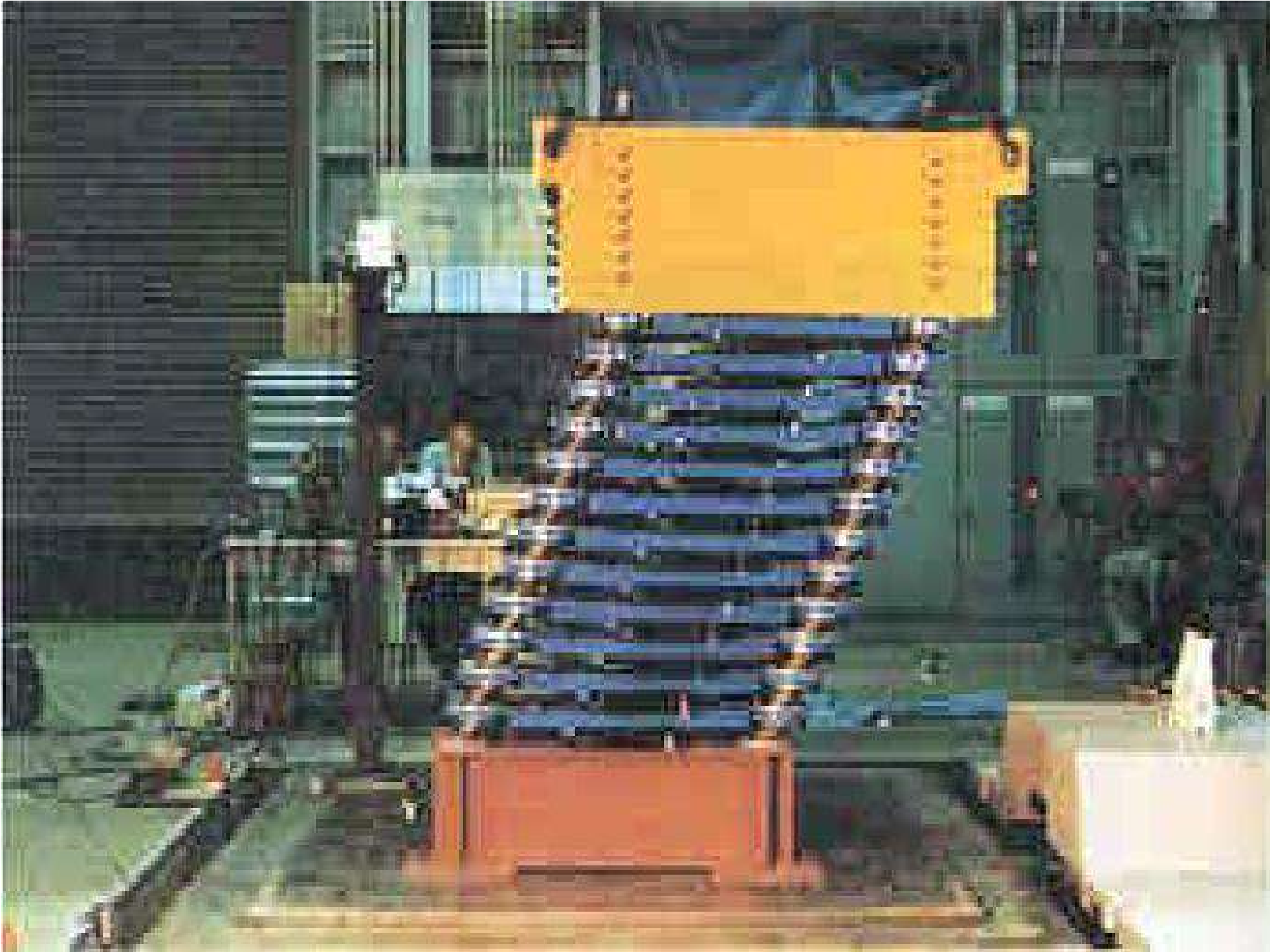
- در نسخه های اخیر مطابق طرح نشان داده شده در شکل صفحه بعد به جای غلتک مکانیکی از غلتک های لاستیکی که امکان عملکرد در جهت های مختلف را دارا میباشند و همانند فنر های برشی عمل میکنند استفاده شده است.

- این طرح چند تکیه گاه لاستیکی الاستومریک روی هم سوار شونده دارد که به عنوان یک فنر برشی عمل می نماید و المان های «مواد لاستیکی قیری» (BRC) دارد که قابلیت میرایی ویسکوالاستیک را فراهم می آورند.

- وسیله مزبور کوچک و فشرده است و نیاز به کنترل پیچیده ندارد.

- چند جهت می باشد و به آسانی روی هم سوار شده و به آسانی اصلاح و تعمیر می گردد.

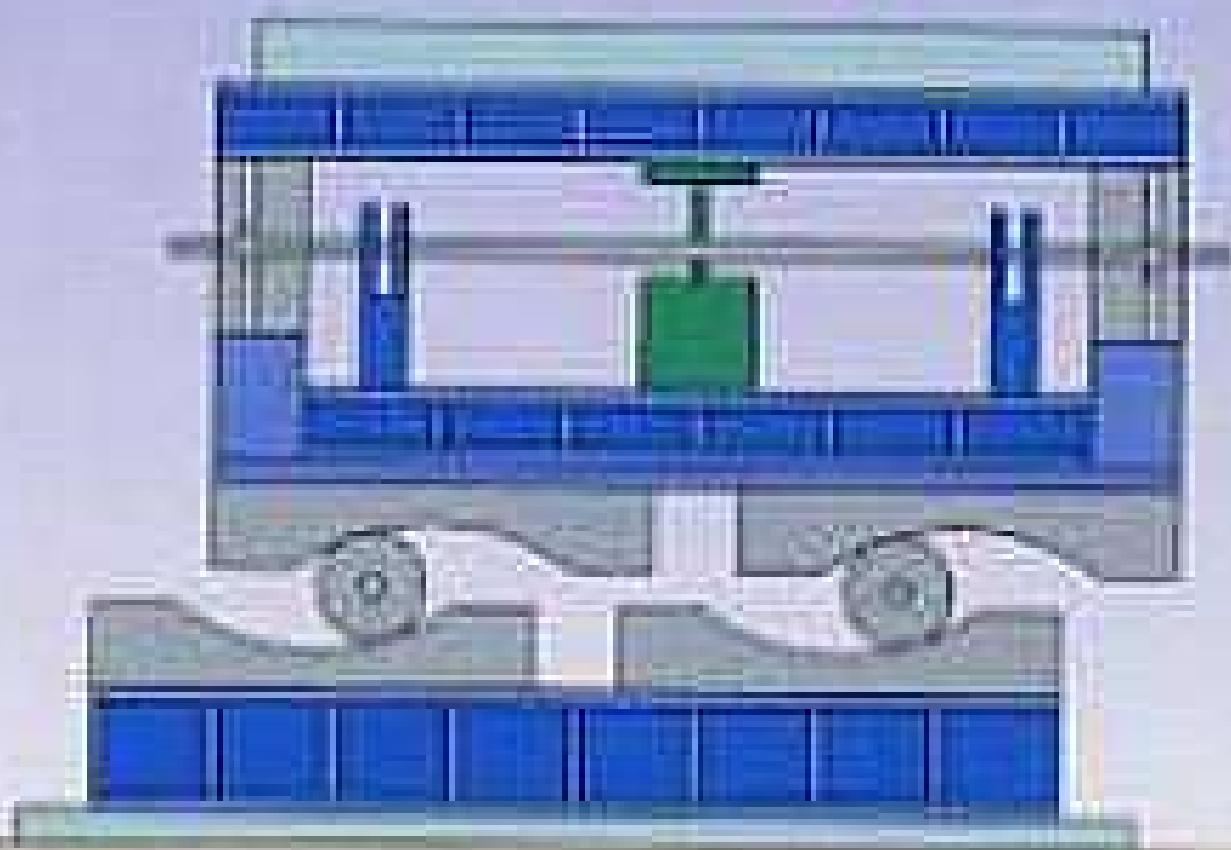






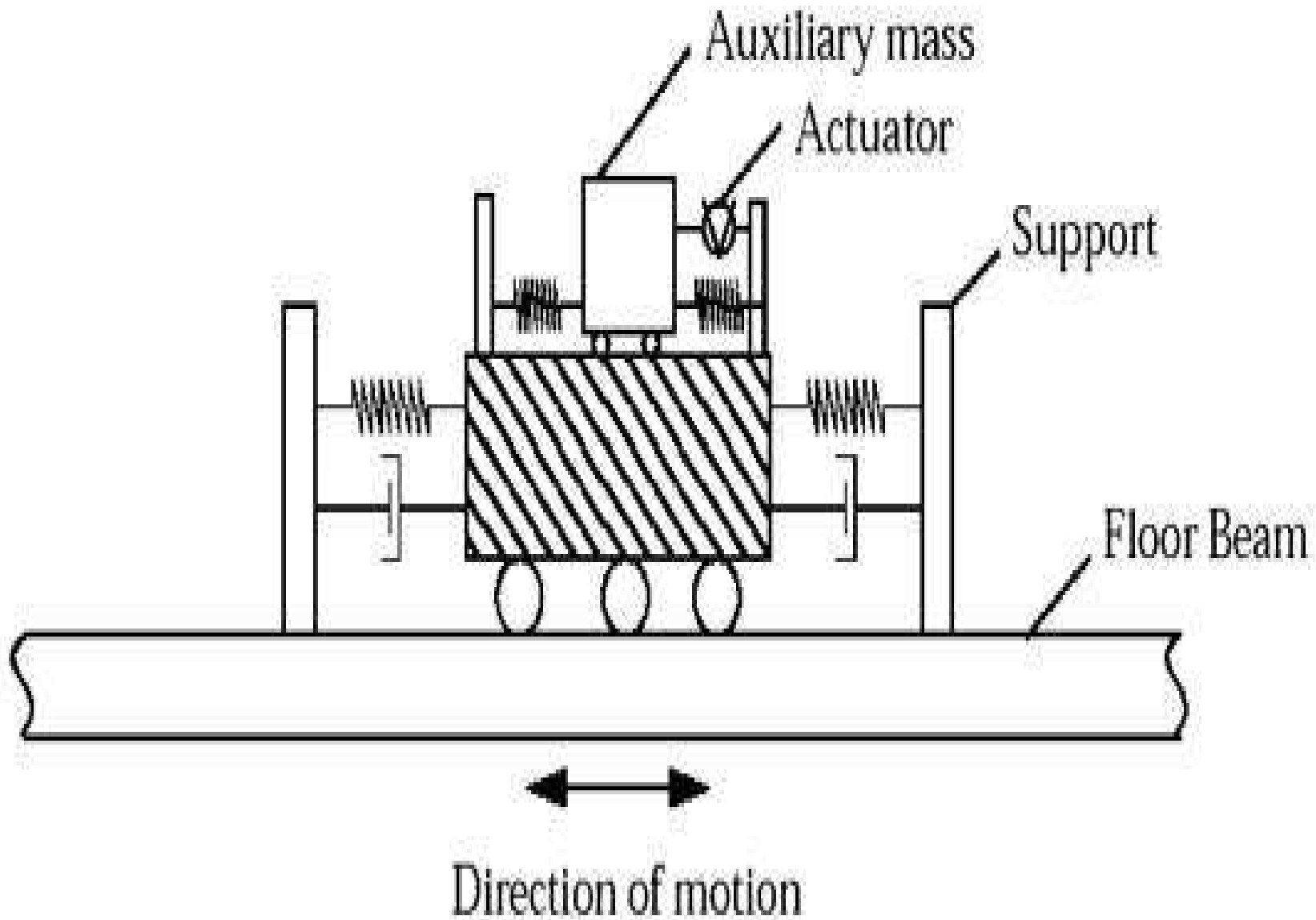
نمونه ای از TMD های جدید در برج Ten Bosch ناگاساکی

Damper Moving 

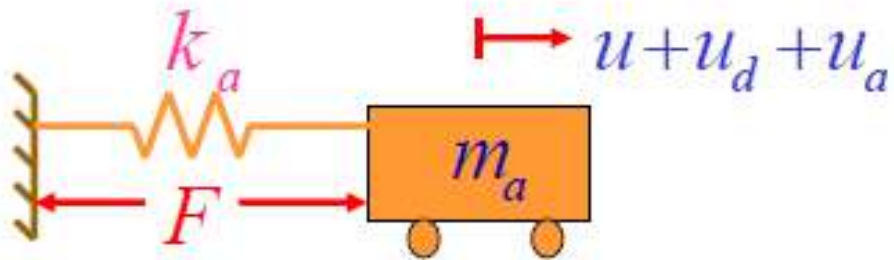
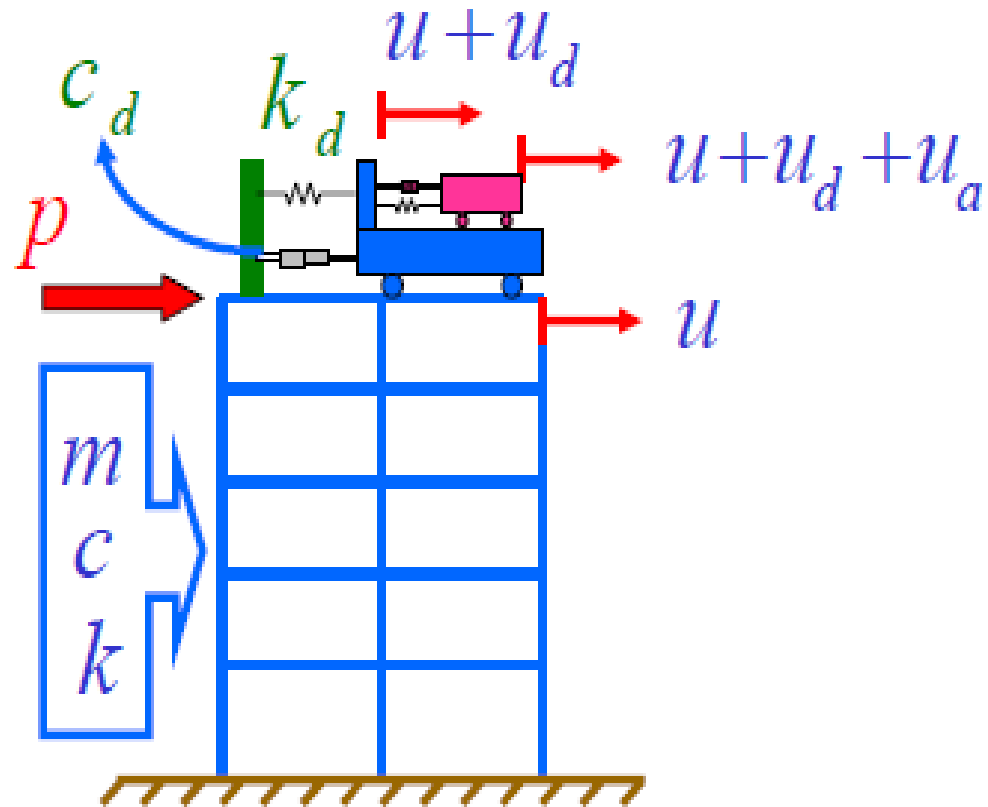


 **Vibration**

- موثر عمل نمودن یک TMD با افزودن و اتصال یک جرم کمکی و یک actuator (جک هیدرولیکی پیشرفته) به جرم، افزایش می‌یابد اگر چه، هدایت این جرم با actuator به نحوی صورت می‌گیرد که پاسخ کلی با پاسخ (response) جرم تنظیم شده در فاز مخالف است .
- اثر هدایت این جرم کمکی ایجاد یک نیروی اضافی است که نیروی تولید شده توسط جرم تنظیم شده را کامل می‌کند و بنابراین میرایی معادل TMD را افزایش می‌دهد .
- می‌توان چنین رفتاری را با اتصال مستقیم یک actuator به جرم تنظیم شده نیز بدست آورد که در این صورت نیاز به استفاده از جرم کمکی از بین می‌رود.
- از آنجاییکه actuator نیاز به یک منبع انرژی بیرونی دارد این سیستم به عنوان «میراگر جرمی تنظیم شده فعال» شناخته می‌شود.



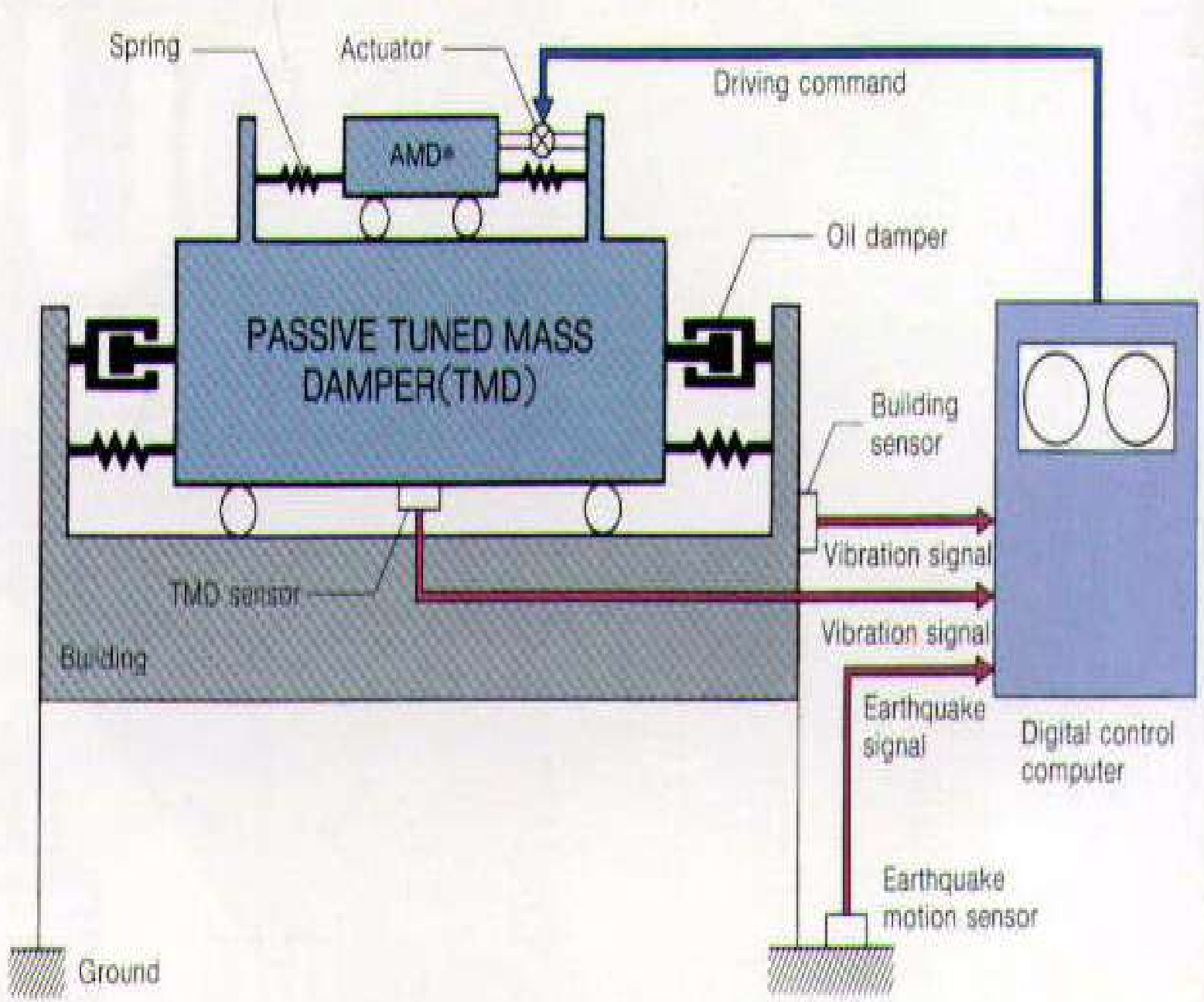
Hybrid Mass Dampers



$$\ddot{u}_a + \omega_a^2 u_a = -(\ddot{u} + \ddot{u}_d) + \frac{F}{m_a}$$

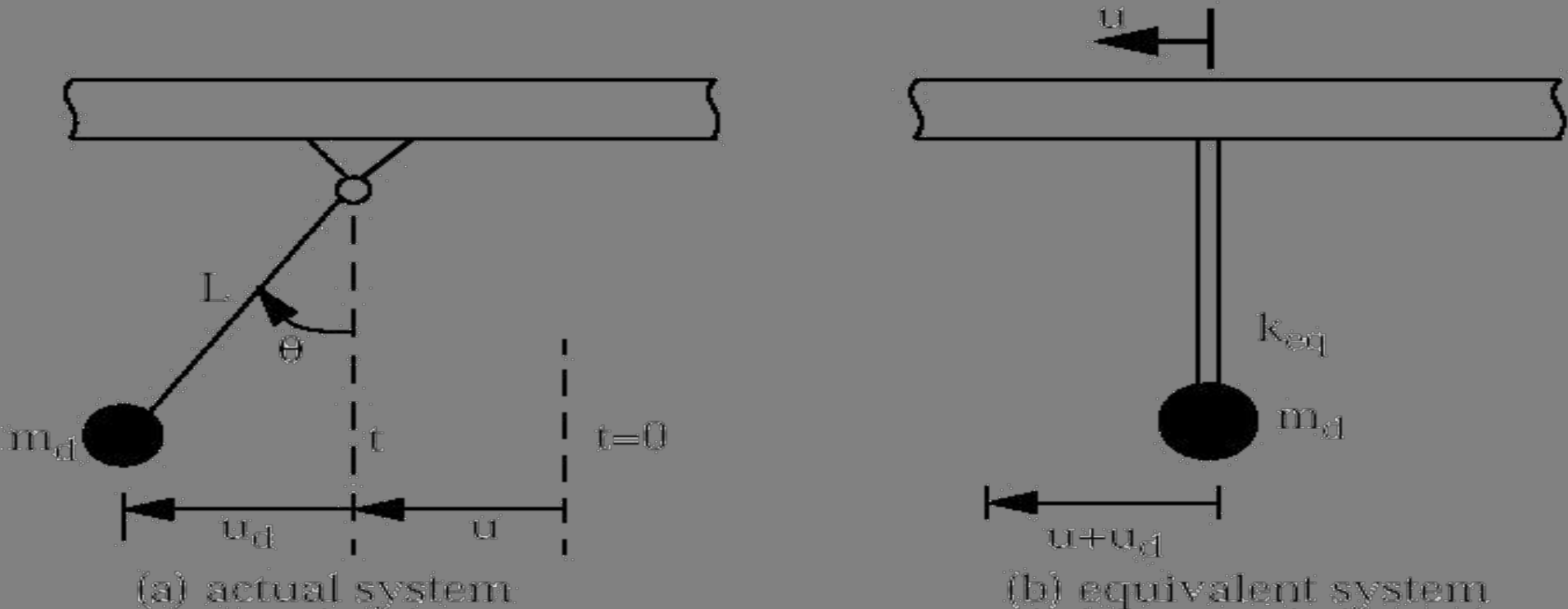
■ Conceptual Diagram of DUOX

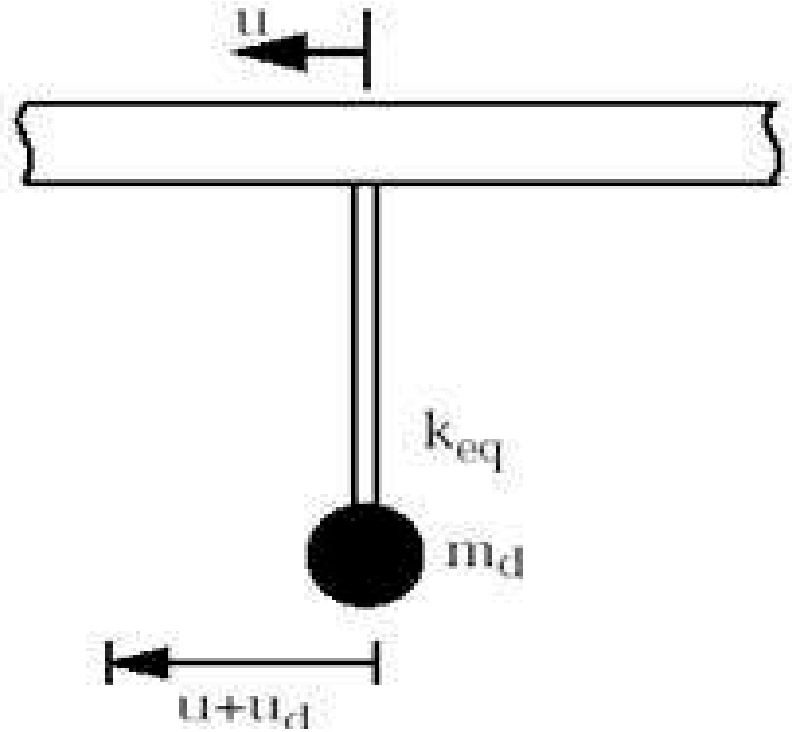
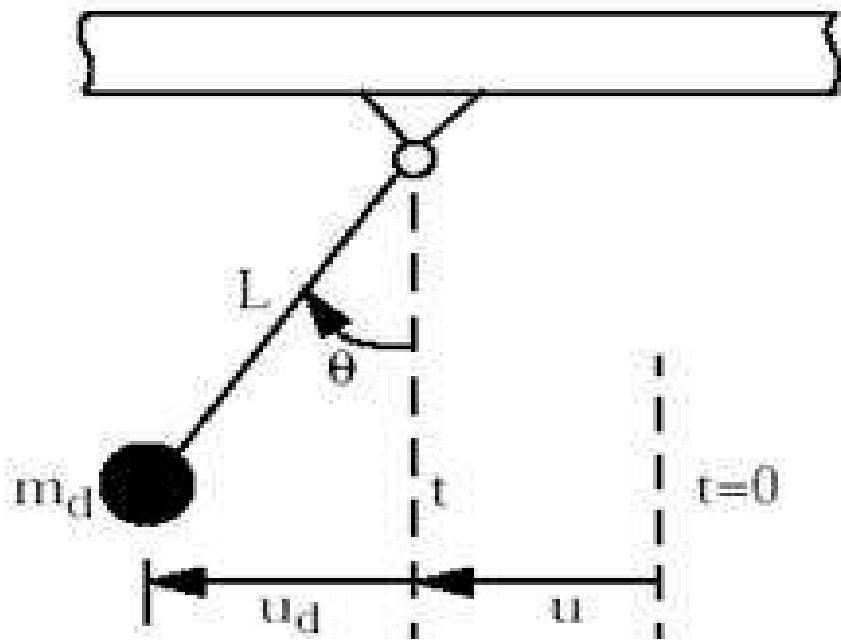
*AMD=Active Mass Driver (weight drive unit)



■ میراگر جرمی تنظیم شده پاندولی

- مشکل مربوط به تکیه گاه ها با استفاده از نگهداری جرم با یک سری کابل ها برطرف می شود که این کابل ها به سیستم اجازه می دهد که به صورت یک پاندول رفتار نماید.
- شکل زیر یک پاندول ساده را نشان می دهد که به کف متصل شده است.
- حرکت کف پاندول را تحریک می نماید و حرکت نسبی پاندول یک نیروی افقی ایجاد می کند که در خلاف جهت حرکت کف است. این عمل توسط یک سیستم یک درجه آزادی SDOF که به کف متصل شده نشان داده می شود.





معادله حرکت در جهت افقی عبارتست از :

$$T \sin \theta + \frac{W_d}{g} (\ddot{u} + \ddot{u}_d) = 0$$

$$u_d = L \sin \theta \approx L \theta$$

$$T \approx W_d$$

$$m_d \ddot{u}_d + \frac{W_d}{L} u_d = -m_d \ddot{u}$$

که در آن T کشش کابل می باشد. با تقریب لازم

با بکار بردن این تقریب در معادله اول :

سختی فنر برشی معادل بصورت زیر می باشد :

$$k_{eq} = \frac{W_d}{L}$$

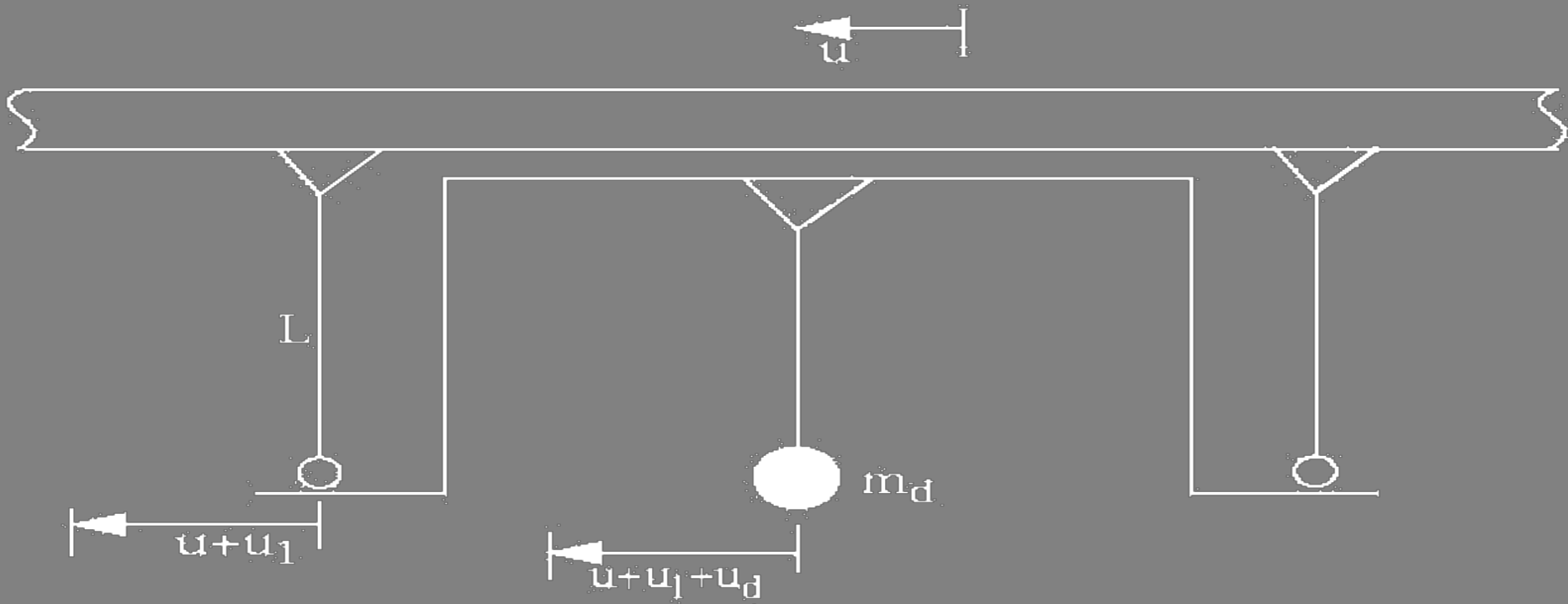
فرکانس طبیعی پاندول با معادله زیر ارتباط پیدا می کند :

$$\omega_d^2 = \frac{k_{eq}}{m_d} = \frac{g}{L}$$

با توجه به معادله فوق پریود نوره تناوب طبیعی پاندول عبارت است از :

$$T_d = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

- در عمل این نوع میراگر ها دارای محدودیتهایی جدی هستند. چون پریود بستگی به L دارد، طول مورد نیاز برای T_d بزرگ، ممکن است از ارتفاع طبقه بیشتر باشد.
- به عنوان مثال طول مورد نیاز برای پریود 5 ثانیه 6.2 متر است، در حالیکه ارتفاع طبقه 4 تا 5 متر می باشد.
- برای حل این مشکل از رابط صلب داخلی استفاده مینمایند که باعث افزایش حرکت ساپرت پاندول میگردد. برای مثال در شکل اسلاید بعدی، طول موثر پاندول برابر $2L$ میباشد.



معادله تعادل زیر حاصل می گردد:

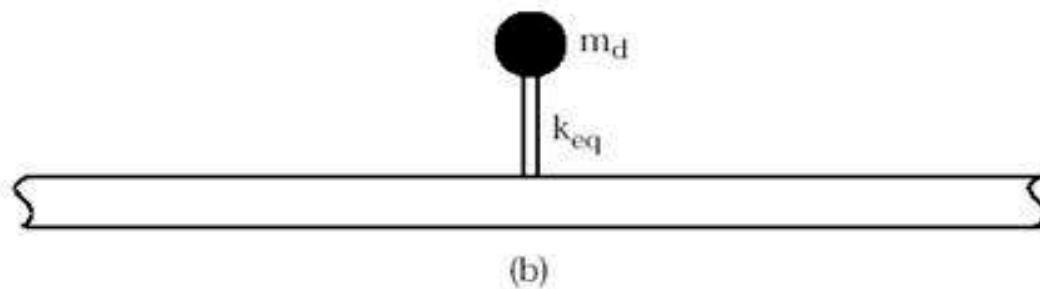
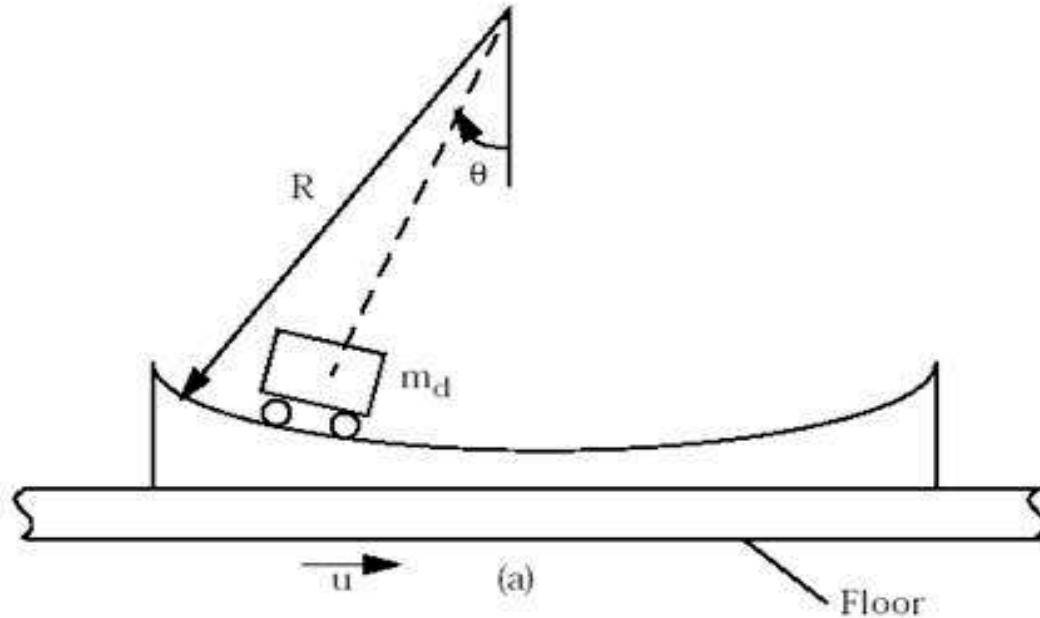
$$m_d(\ddot{u} + \ddot{u}_1 + \ddot{u}_d) + \frac{W_d}{L}u_d = 0$$

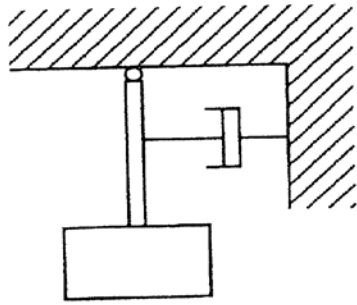
رابط صلب در فاز میراگر حرکت می کند و همان دامنه تغییر مکان را دارد. پس با قراردادن $u_1 = u_d$ در معادله فوق

$$m_d\ddot{u}_d + \frac{W_d}{2L}u_d = -\frac{m_d}{2}\ddot{u}$$

سختی معادل $W_d/2L$ است و نتیجه میگیریم طول موثر مساوی $2L$ است. هر ساپورت اضافی طول موثر را به اندازه L افزایش می دهد.

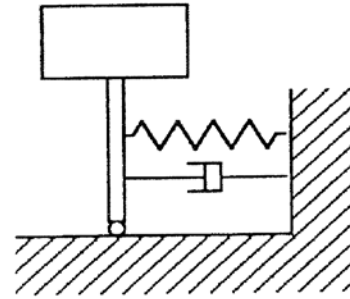
- یک نسخه اصلاح شده از میراگر پاندولی در شکل زیر نشان داده شده است. نیروی دوباره ذخیره شونده که توسط کابل‌ها تامین می‌شود توسط انحنای سطح ساپورت (تکیه گاه) تولید می‌شود و همین انحنا به جرم اجازه می‌دهد که در این سطح بغلتد. حرکت قائم وزن به یک انرژی ورودی نیاز دارد. با فرض اینکه کوچک است، معادلات برای حالتی که سطح دایروی است، مشابه معادلات پاندول متداول با طول کابل L می‌باشند که در آن با شعاع سطح R باید جایگزین شود.





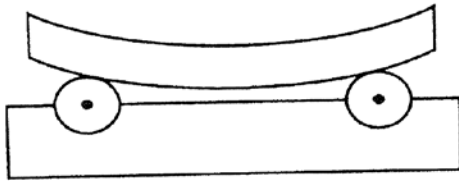
Pendulum with Damper

(a)



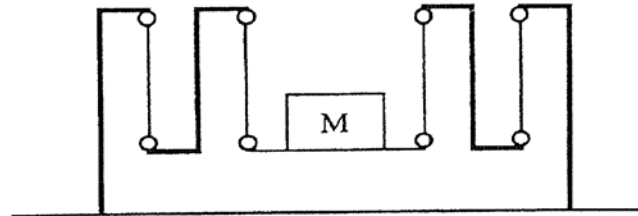
Inverted Pendulum with Spring and Damper

(b)



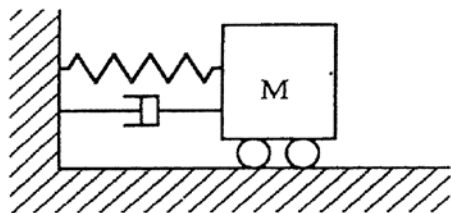
Swinging Mass on Rotational Bearings

(c)



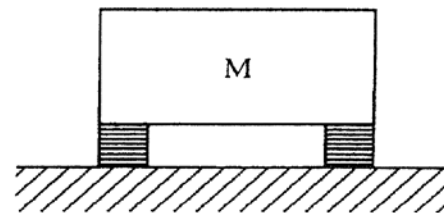
Pendulum of which hangers are wound to save space

(d)



Sliding Mass with Spring and Damper

(e)



Mass on Rubber Bearings

(f)

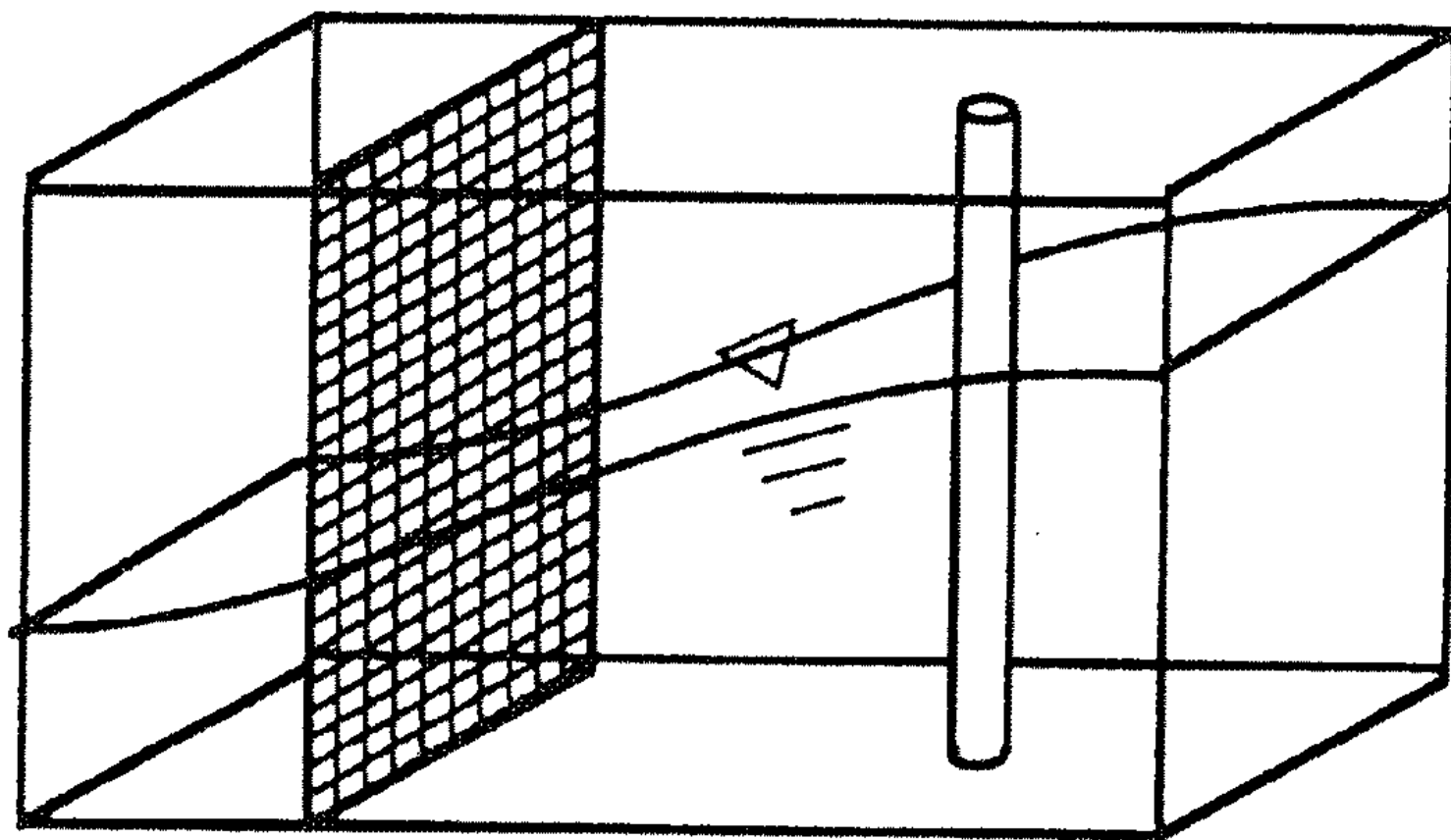
TMD کارآیی سیستم های

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				○		○

▪ میراگرهای مایع

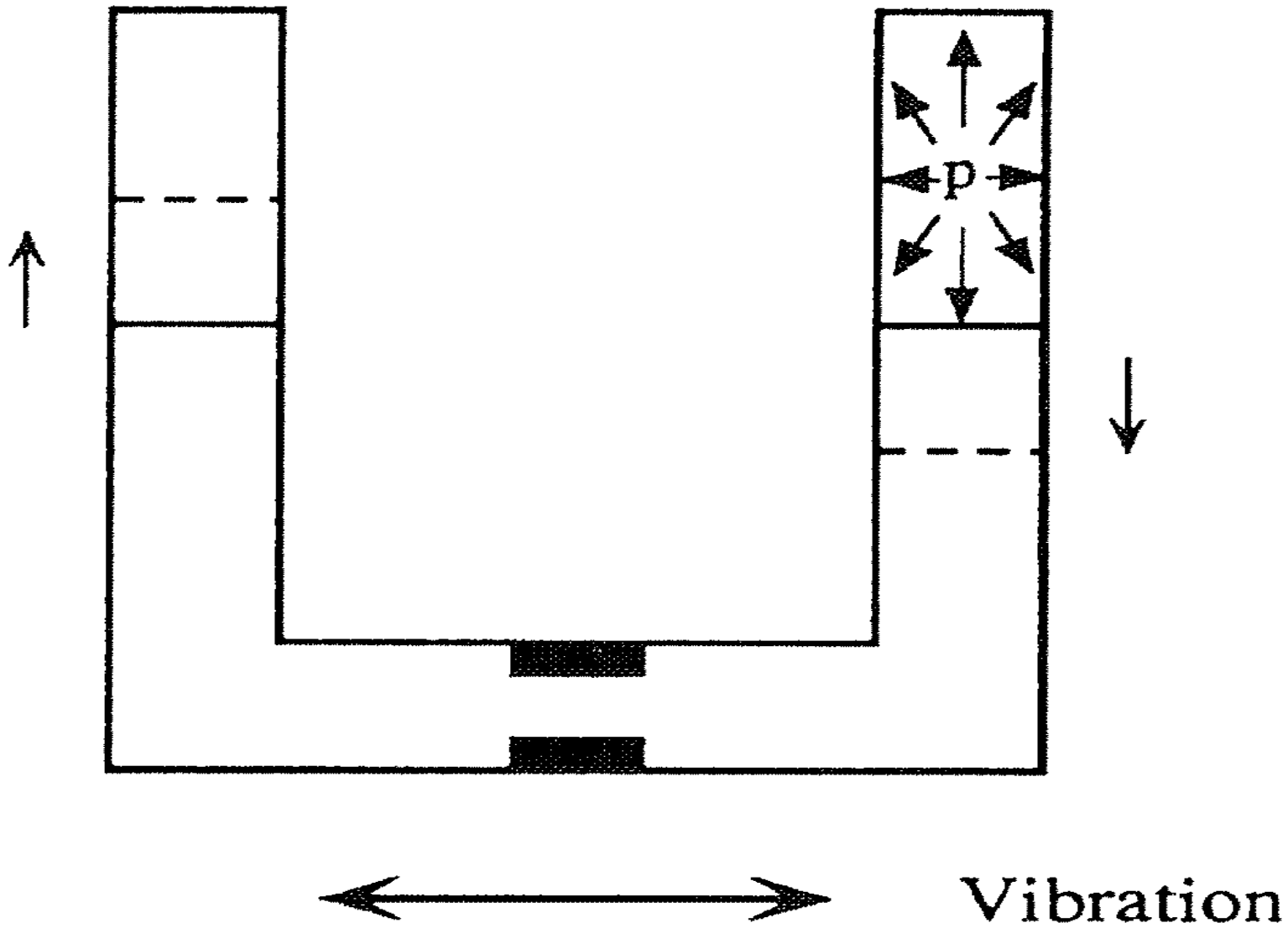
Tuned Liquid dampers

- میراگرهای قابل تنظیم مایعی مشابه میراگرهای قابل تنظیم جرمی می باشند و برای کار به مقدار زیادی مایع نیاز می باشد.
- این میراگرها تنها زمانی موثر واقع می شوند که فرکانس نیروی وارده نزدیک به فرکانس طبیعی سیستم باشد، بعلاوه این سیستم مزایای زیادی از قبیل هزینه کم، تنظیمات ساده فرکانس طبیعی، نصب راحت و هزینه نگهداری کم دارد.
- وزن آب درون مخزن TLD در بالای ساختمانهای بلند، حدود ۱ الی ۳ در صد وزن کل ساختمان می باشد.
- نسبت وزنی TLD به وزن کل ساختمان تقریباً نسبت خطی با ضریب میرایی دارد. اگر نسبت وزنی TLD ۱٪ باشد، این میراگر در حدود ۱٪ به میرایی ساختمان اضافه خواهد کرد.



Vibration

Tuned Sloshing Damper with Meshes and Rods



Tuned Liquid Column Damper with Orifice

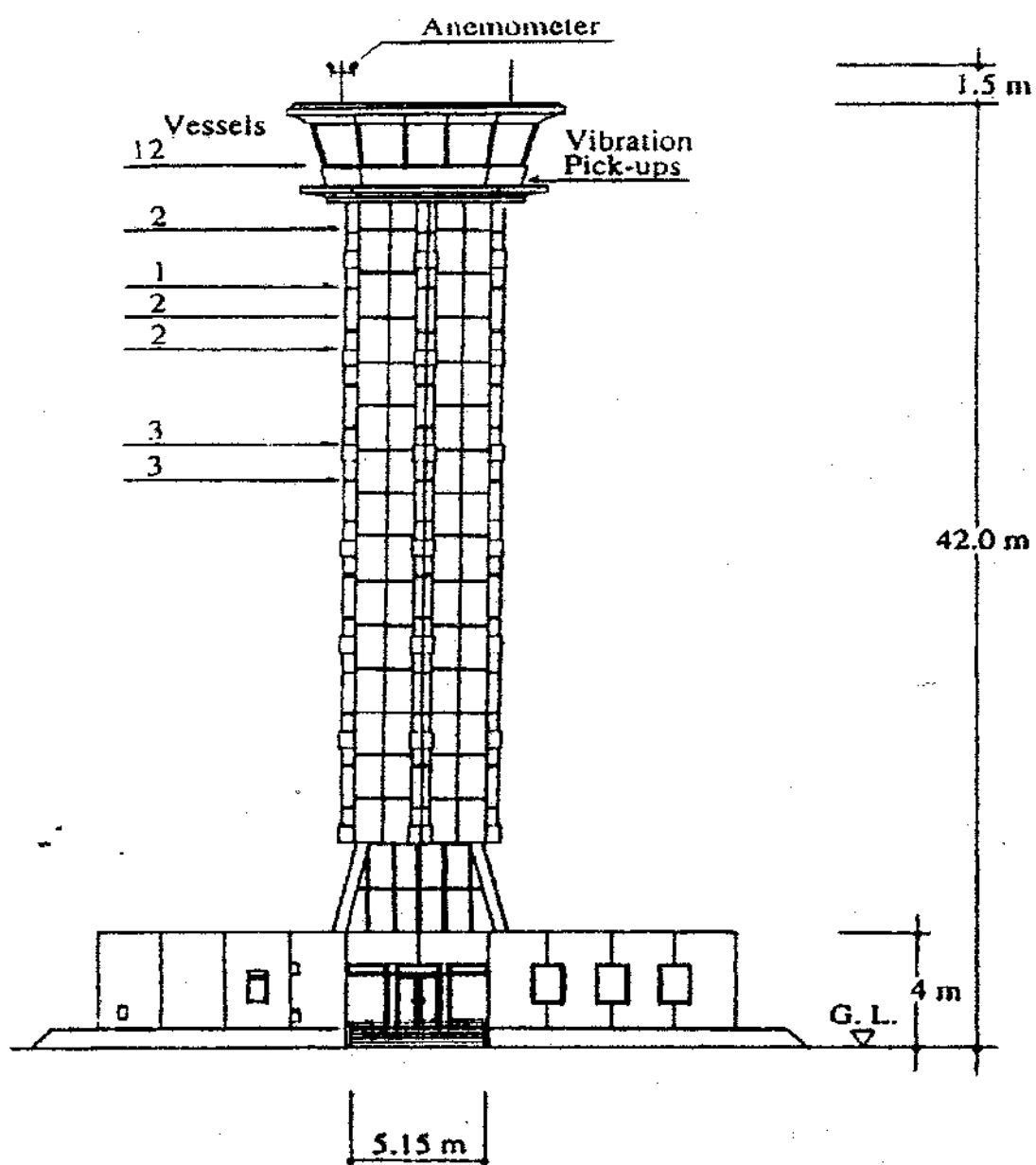


Figure 1 Nagasaki Airport Tower (NAT)

Application •

frame tower at Nagasaki Airport –

25 tuned sloshing damper •

50 cm height tank •

7 layers - 7cm height •

Water depth 4.8cm •

Tank diameter 38cm •

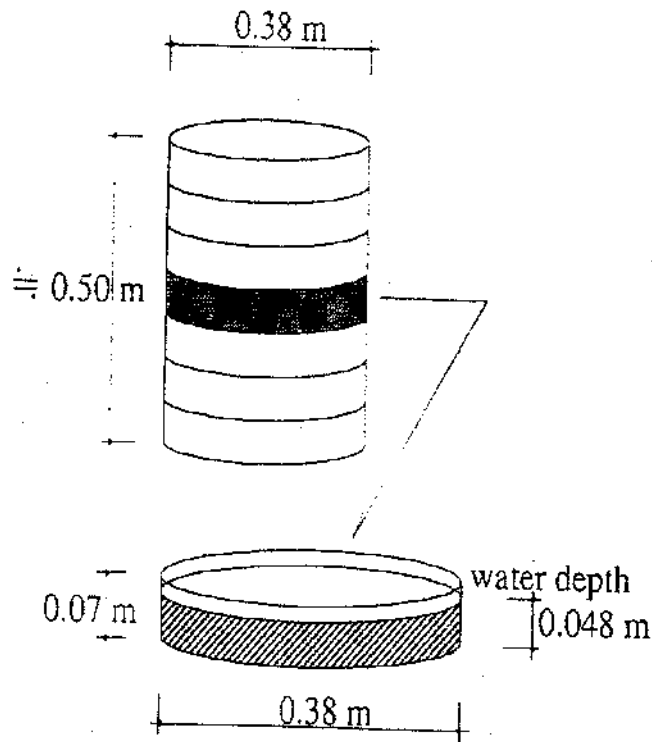


Figure 2 TLD vessel installed on NAT

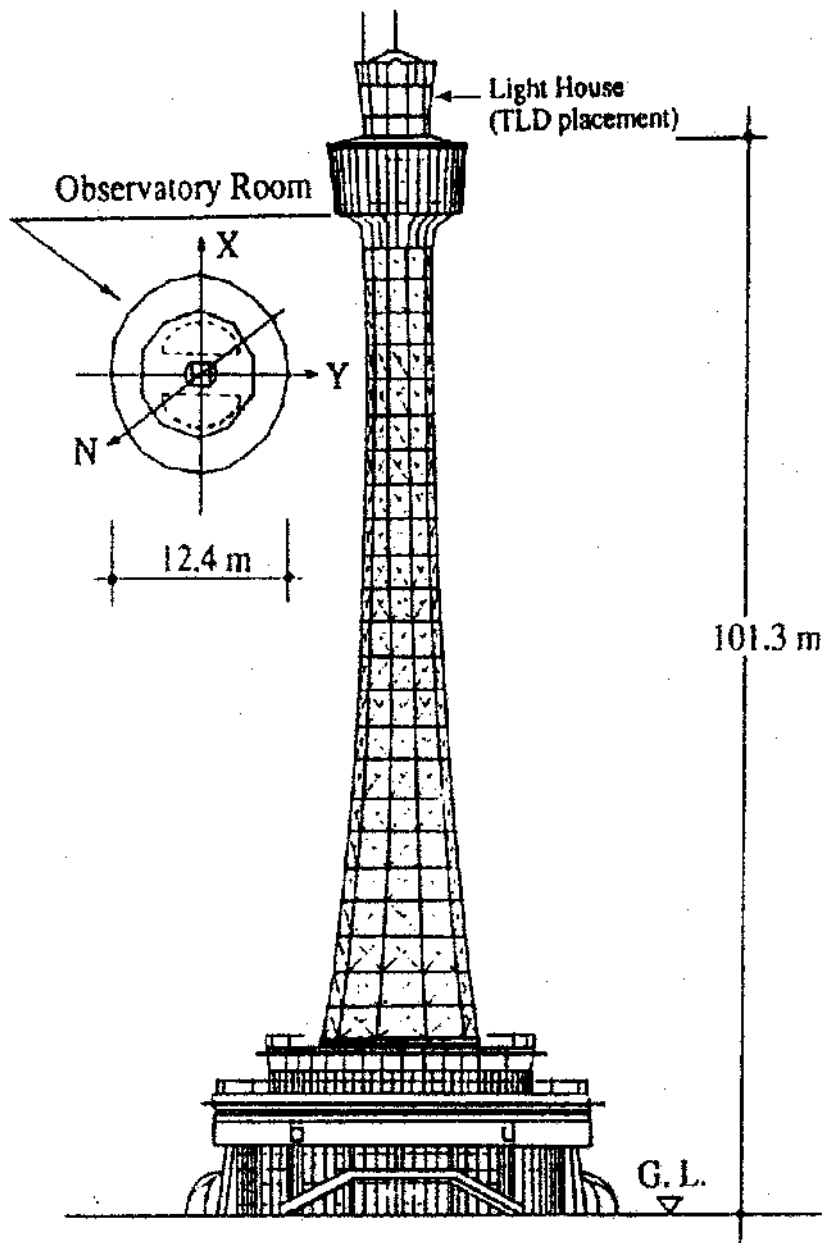
→ 1.6% of effective mass in fundamental mode Mass of water •

→ 0.59% of total mass of structure

Result –

→ 4.7% with damper (5 times of without Critical damping ratio •
damper)

Yokohama Marine Tower Case –



- 39 tuned sloshing damper
- 50cm height cylinder container
- 10 layers of 5cm with water height 2.1cm
- Tank diameter 49cm
- Total mass of water/tank 1% of effective modal mass
- 0.3% of total mass of structure

Figure 7 Yokohama Marine Tower (YMT)

کاربرد و رفتار انواع میراگرها

ردیف	نوع میراگر	مدل رفتاری	کاربرد
1	تسلیمی	وابسته به تغییر مکان	سازه های کوتاه و متوسط در مقابل زلزله
2	اصطکاکی	وابسته به تغییر مکان	سازه های کوتاه و متوسط در مقابل زلزله
3	آلیاژی	سایر وسایل (نه وابسته به سرعت و نه وابسته به تغییر مکان)	کنترل لرزه ای موضعی
4	ویسکوز	وابسته به سرعت	اکثر سازه ها در مقابل باد و زلزله
5	ویسکوالاستیک	وابسته به سرعت و تغییر مکان	سازه های کوتاه و متوسط در مقابل باد و زلزله
6	جرمی	سایر وسایل (نه وابسته به سرعت و نه وابسته به تغییر مکان)	سازه های بلند در مقابل باد و زلزله

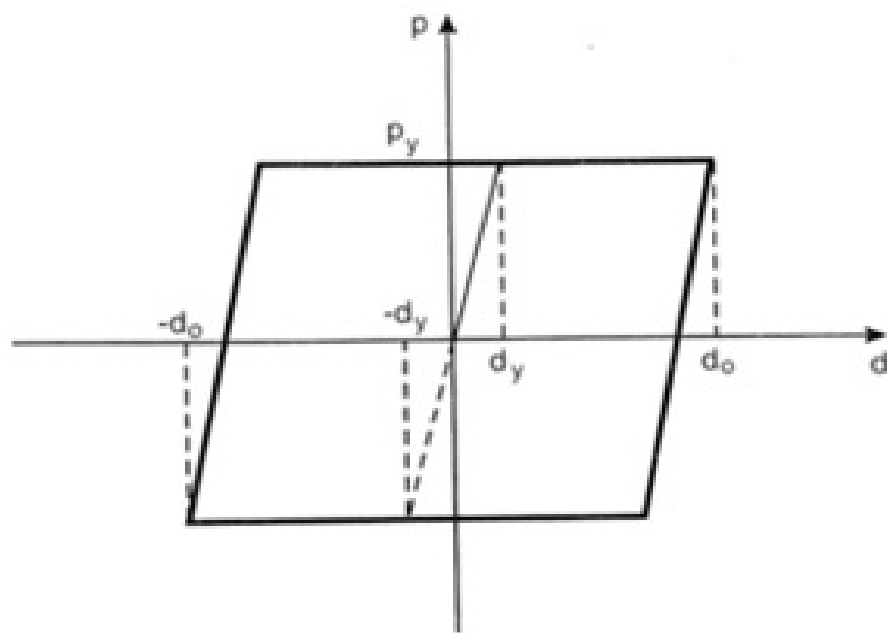
● مشخصات کاربردی میراگرها

● میراگرهای وابسته به تغییر مکان (شامل انواع اصطکاکی و تسلیمی)

● این میراگرها انرژی زلزله را از طریق تسلیم فلز و یا اصطکاک سطوح تماسی مستهلک میکنند. استهلاک انرژی در هردو این وسایل به نیرو و تغییر مکان نسبی داخلی آنها بستگی دارد. بنابراین، هر دو با روابط هیستریزیس نیرو - تغییر شکل مدل میشوند.

● رفتار نیرو-تغییر شکل این میراگرها به سه روش الاستوپلاستیک، دو خطی و چند خطی که در شکل نشان داده شده اند، مدل میشوند.

● مشخصه های پسماند این مدلها از روی منحنی نیرو-تغییر شکل مشخص میشوند. سطح داخل این منحنیها معرف میزان انرژی مستهلک شده در هر سیکل میباشد. در شکل زیر سیکل کامل چرخهای این میراگرها تا بازگشت به نقطه آغاز نشان داده شده است. میرایی ویسکوز معادل با برابر قراردادن سطح داخل حلقه پسماند با سطح داخل سیکل میراگر ویسکوز تعیین میگردد.



الف: مدل الاستویلاستیک منسوب
برای میراگرهای اصطکاکی

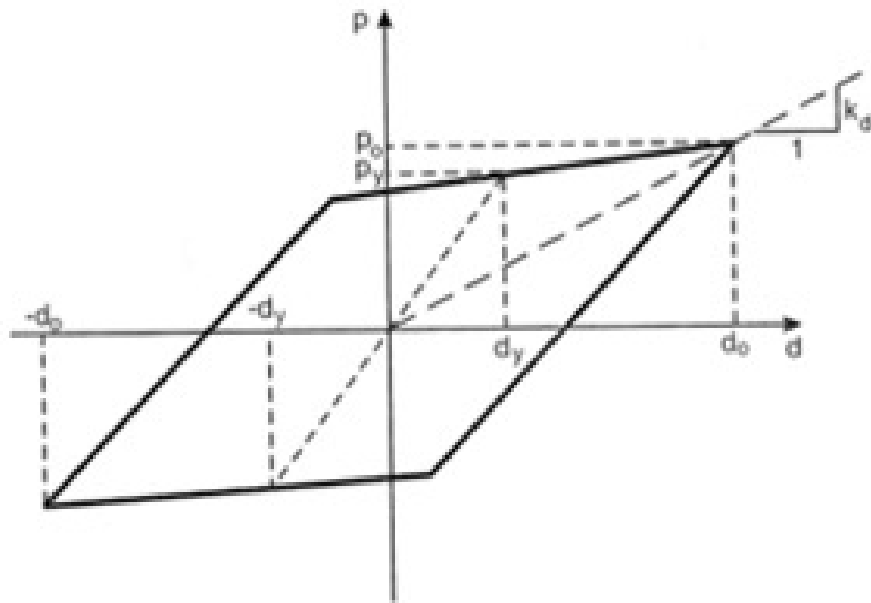
سختی الاستیک اولیه (میراگر) از تقسیم نیروی تسلیم تجربی بر تغییرمکان نظیر حاصل می‌شود:

$$k_e = \frac{P_y}{d_y}$$

P_y و d_y به ترتیب نیرو و تغییرمکان تسلیم می‌باشند، استهلاک انرژی در هر سیکل (E) معادل با سطح داخل حلقه پسماند میان نقاط (d_o, P_y) و $(-d_o, -P_y)$ می‌باشد و از رابطه (8-7) تعیین می‌گردد.

$$E = 4P_y(d_o - d_y), \quad d_o \geq d_y$$

(8-7)

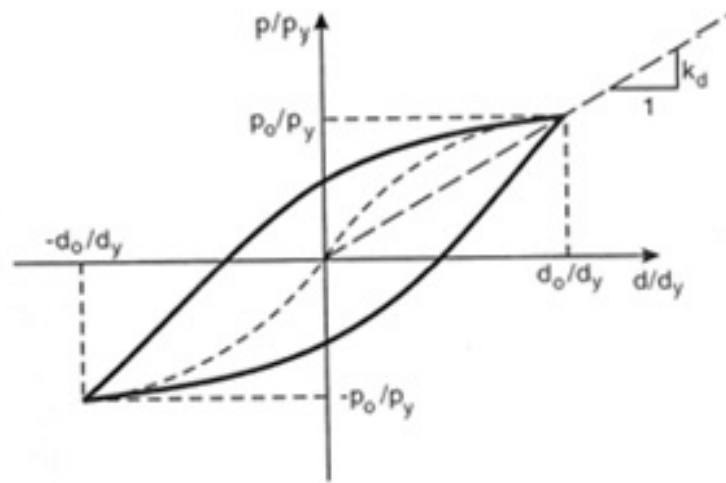


ب: مد دوخطی مناسب برای
میراگرهای فولادی تسلیم شونده

سختی الاستیک اولیه این مدل همانند مدل الاستوپلاستیک می باشد. شیب ثانویه که به شیب کرنش سخت شدگی معروف است با پارامتر k_h تعریف می شود. کرنش سخت شدگی هم بر انرژی مستهلک شده و هم بر نیروی بازگرداننده تاثیر می گذارد. رابطه استهلاک انرژی دوخطی براساس شکل منحنی آن برابر است با:

$$E = 4(k_e - k_h)d_y(d_o - d_y), \quad d_o \geq d_y$$

معادله بالا نشان میدهد که با افزایش تغییر مکان تسلیم (d_y)، نیروی بازگرداننده افزایش می یابد و با افزایش سختی ثانویه از میزان استهلاک انرژی در هر سیکل کاسته می شود.



پ: مدل غیرخطی پیوسته به عنوان جایگزین مدل ب

در این مدل رابطه نیرو-تغییر مکان برابر است با:

$$\frac{d}{d_y} = \frac{P}{P_y} + \alpha \left(\frac{P}{P_y} \right)^r$$

d = تغییر مکان میراگر

d_y = تغییر مکان تسلیم میراگر

P = نیروی وارده به میراگر

P_y = نیروی تسلیم میراگر

α = ضریب ثابت مثبت

r = عدد صحیح مثبت فرد بزرگتر از یک

در این مدل سطح زیر حلقه پسماند در حد فاصل (d_0, P_y) و $(-d_0, -P_y)$ از رابطه (11-7) تعیین می‌گردد.

$$E = 4d_y P_y \left[\frac{(r-1)}{(r+1)} \right] \left(\frac{P_0}{P_y} \right)^{r+1} \quad (11-7)$$

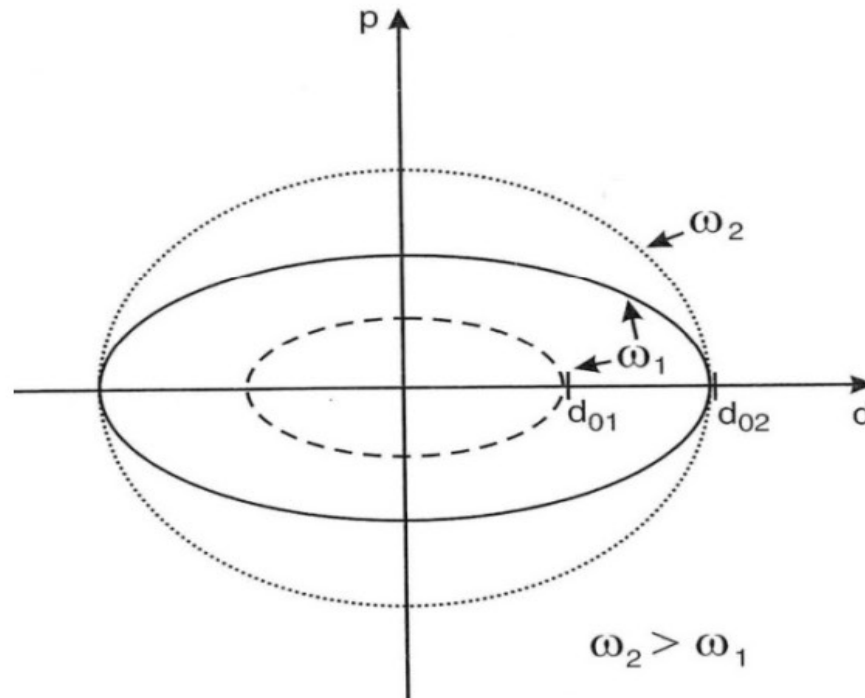
مقادیر ضرایب d_y, α, r, P_y از آزمایشات تجربی بر روی میراگرها بدست می‌آید.

● میراگر وابسته به سرعت شامل انواع میراگرهای ویسکوز

● میراگرهای ویسکوز منفذی با مکانیزم شبیه به میل لنگ و پیستون برای مصارف صنعتی و نظامی توسعه یافته اند. در محفظه داخل سیلندر ماده سیلیکون غیرقابل فشرده شدن با اعمال نیرو توسط پیستون به حرکت درمیآید. سرپیستون از منافذی با ترموستات فلزی غیرفعال برای خنثی نمودن تغییرات حرارتی تشکیل شده است. و برای محصور نگه داشتن محتویات داخل آن از درپوشهای با مقاومت بالا استفاده شده است. نیروی ایجاد شده در میراگر ویسکوز براساس شکل منفذ برابر با رابطه زیر میباشد:

$$P(t) = c_v(\omega) |\dot{d}|^\alpha \text{sgn}(\dot{d})$$

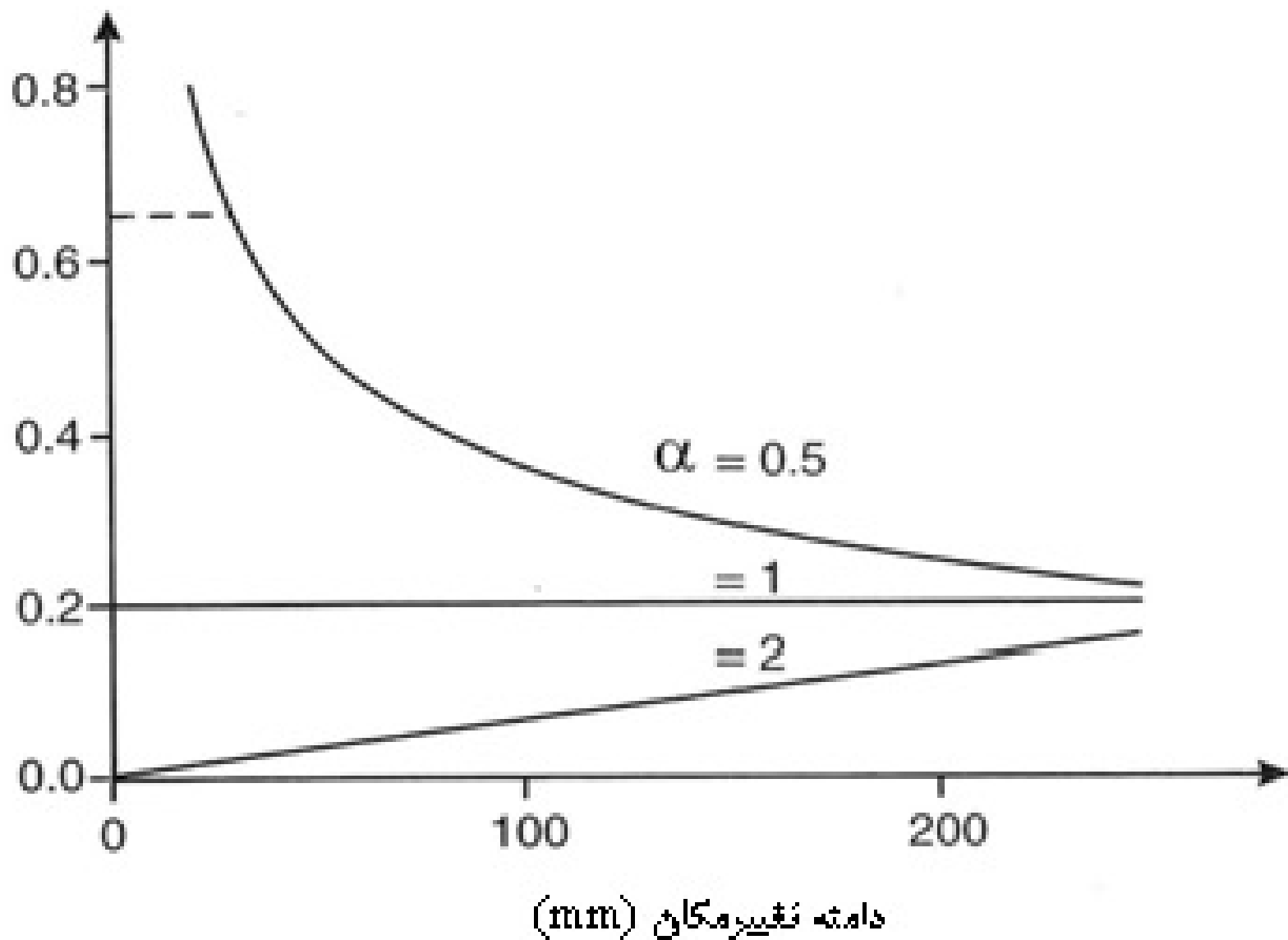
ضریب میرایی برای فرکانس تقریباً 4 هرتز بوده و محدوده α از 0/3 تا 2 متغیر است. در صورتیکه α برابر با یک باشد رفتار میراگر خطی است و در سایر حالات رفتار میراگر غیرخطی خواهد بود. مقادیر کوچک α (برای مثال 0/5) در کاهش شوکهای با سرعت بالا موثر هستند. درمقابل مقدار $\alpha \cong 1$ برای استفاده در سازه در مقابل باد و زلزله مطلوب هستند. در شکل حلقه‌های نیرو-تغییر شکل وابستگی آنها را به دامنه و فرکانس ارتعاش نشان می‌دهد.



رابطه نیرو-تغییر مکان میراگر ویسکوز

برای $\alpha < 1$ ضریب میرایی با افزایش دامنه حرکت کاهش می‌یابد. درمقابل برای $\alpha > 1$ با افزایش دامنه حرکت، میرایی افزایش می‌یابد و برای $\alpha = 1$ ضریب میرایی مستقل از دامنه حرکت خواهد بود.

نسبت هیدراری



نسبت هیدراری هیدراری و دستگاه‌های ویسکوزیته‌سنجی تابعی از دایره حرکت

- میراگرهای ویسکوالاستیک جامد (وابسته به سرعت و تغییر مکان)

- خاصیت اصلی در طراحی میراگر ویسکوالاستیک مدول برشی ذخیره G' و مدول برشی از دست رفته G'' میباشد. مدول برشی ذخیره نشاندهنده سختی برشی و مدول برشی از دست رفته نشاندهنده سختی ویسکوز یا سختی وابسته به سرعت میباشد.

- روابط تنش- کرنش مواد ویسکوالاستیک به شرح زیر میباشد:

$$\tau(f) = G' \gamma(f) \pm \frac{G'' \gamma(f)}{\omega}$$

پارامترهای بالا به شرح زیرند:

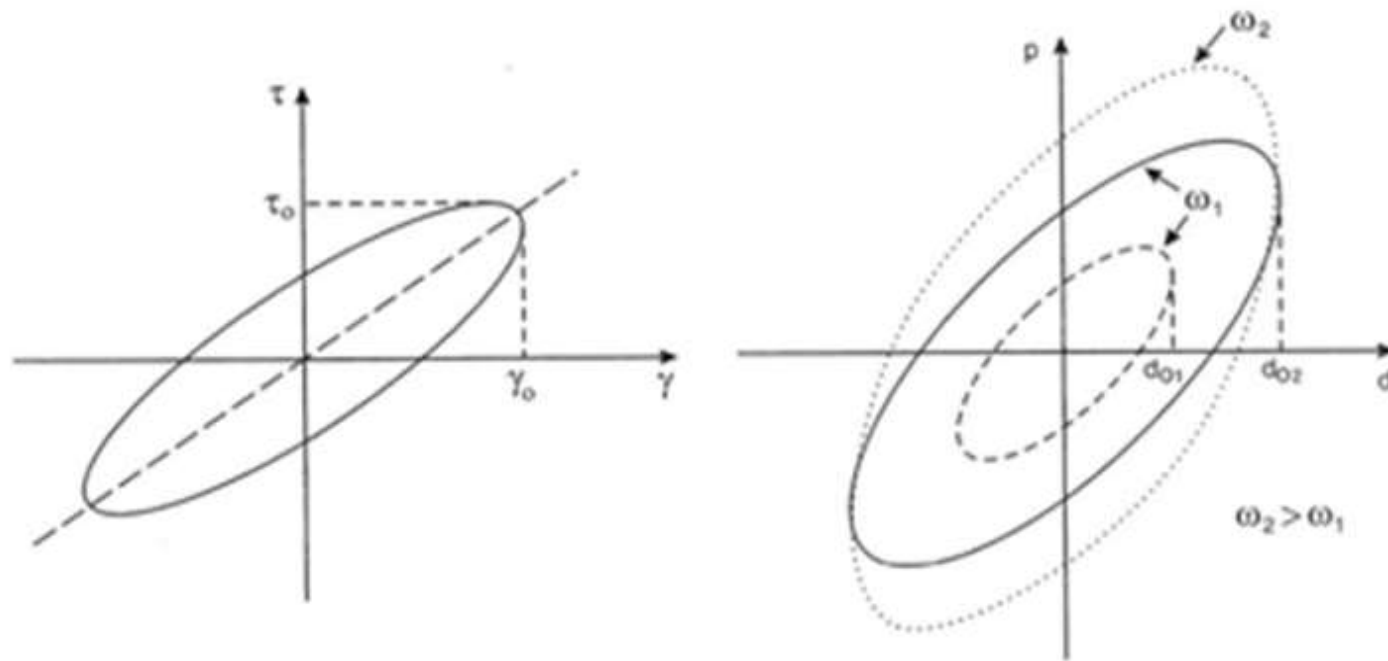
$\alpha(t)$ = تنش برشی وابسته به زمان t

$\gamma(t)$ = کرنش برشی وابسته به زمان t

$\dot{\gamma}(t)$ = سرعت تغییر کرنش برشی (سرعت برشی) وابسته به زمان t

ω = فرکانس دورانی بر حسب رادیان برثانیه

در شکل 25-7 مشاهده می‌شود که رابطه تنش - کرنش، بعضی با شیب غیر صفر است، شیب به پارامتر G' و سطح بیضی به G'' بستگی دارد. بنابراین رابطه‌ای ساده میان انرژی مستهلک شده توسط میراگر ویسکوالاستیک و میراگرهای ویسکوز برفراز می‌باشد. شکل 25-7 وابستگی این میراگر را به سرعت و دامنه ارتعاش نشان می‌دهد.



رابطه تنش برشی - کرنش برشی

رفتار سیکلیک

شکل 7-25- اشکال منحنی هیستریزیس میراگر ویسکوالاستیک جامد

سختی موثر صفحه‌ای از مواد ویسکوالاستیک با ضخامت h و سطح A برابر است با:

$$k_d = \frac{AG'(\omega)}{h}$$

ضریب میرایی ویسکوز معادل یا موثر از رابطه

$$c_d = \frac{AG''(\omega)}{\omega h}$$

تعیین می‌شود.

نسبت مدول برشی از دست رفته به مدول برشی ذخیره، ضریب از دست رفتگی η نامیده می‌شود.

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)}$$

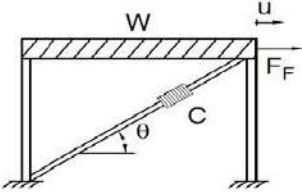
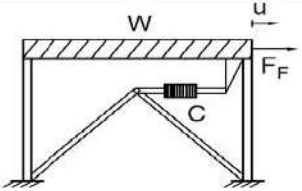
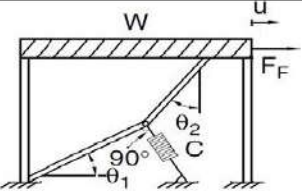
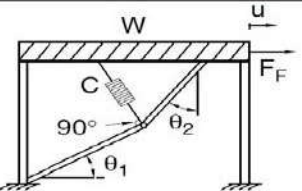
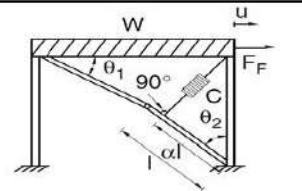
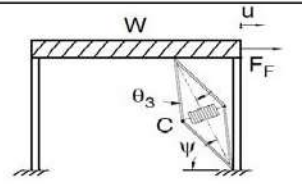
نتایج تجربی نشان می‌دهند که اگرچه G' و G'' توابعی از فرکانس ارتعاش هستند اما ضریب از دست رفتگی η نسبت به تغییر

فرکانس حساس نمی‌باشد. زمانیکه از ضریب از دست رفتگی استفاده شود میرایی ویسکوز موثر برابر خواهد بود با:

$$c_d = \frac{k_d \eta}{\omega}$$

پس با فرکانس مشخص ضریب میرایی متناسب با سختی می‌باشد.

اشکال مختلف قرارگیری میراگر در قاب سازه ای

قطری		$f = \cos \theta$	$\theta = 37^\circ$ $f = 0.799$ $\beta = 0.032$
جناغی		$f = 1.00$	$f = 1.00$ $\beta = 0.05$
اتصال میراگر از پایین به بادبند		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)}$	$\theta_1 = 31.9^\circ, \theta_2 = 43.2^\circ$ $f = 2.662$ $\beta = 0.344$
اتصال میراگر از بالا به بادبند		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} + \sin \theta_1$	$\theta_1 = 31.9^\circ, \theta_2 = 43.2^\circ$ $f = 3.191$ $\beta = 0.509$
معکوس میراگر از بالا به بادبند		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} - \cos \theta_2$	$\theta_1 = 30^\circ, \theta_2 = 49^\circ, \alpha = 0.7$ $f = 2.521$ $\beta = 0.318$
اتصال تقسیمی میراگر		$f = \frac{\cos \psi}{\tan(\theta_3)}$	$\theta_3 = 9^\circ, \psi = 70^\circ$ $f = 2.159$ $\beta = 0.233$

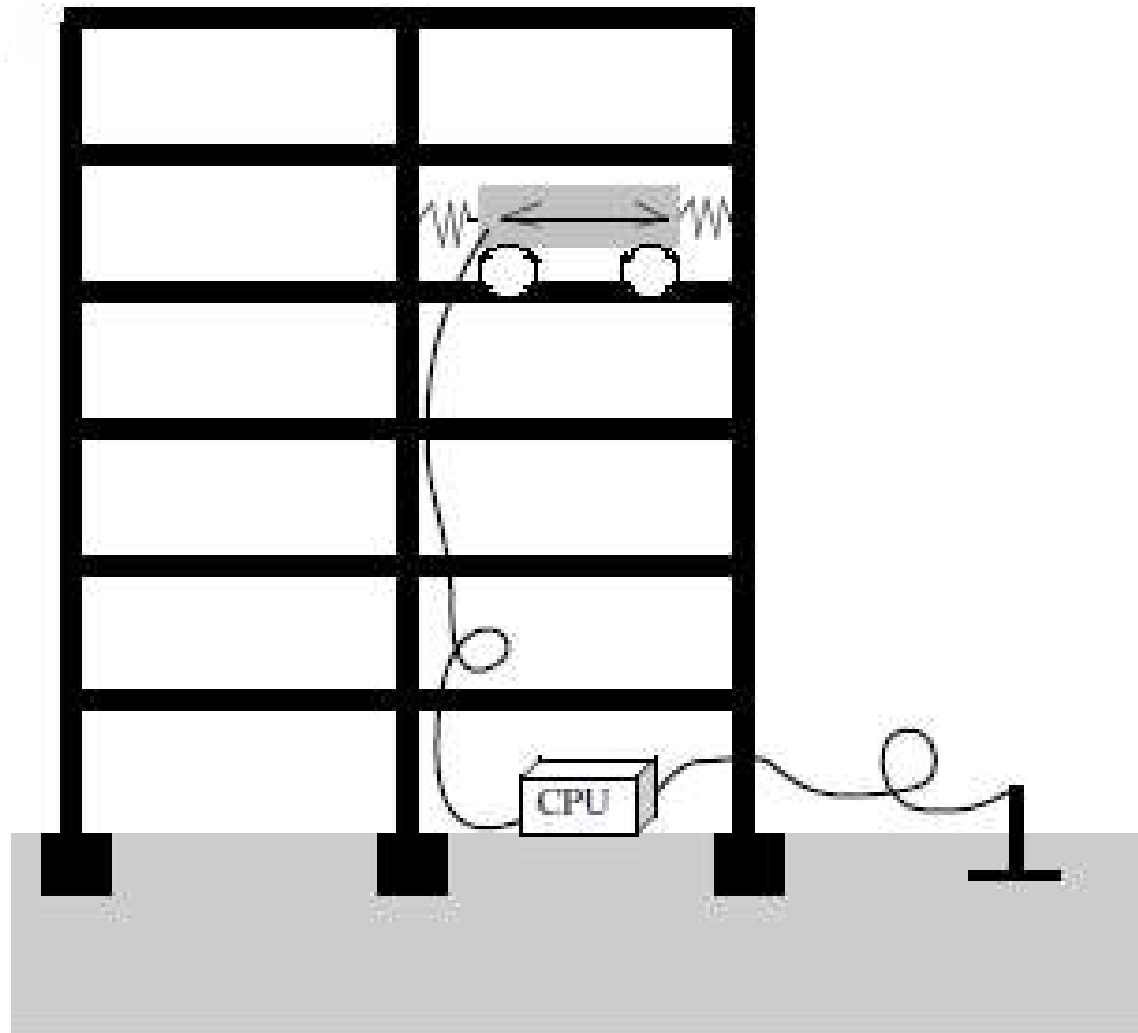
قابلیت جداگر لرزه‌ای و میراگرها در تامین سطوح عملکرد سازه

عملکرد		جداسازی لرزه‌ای	میراگر
سطح	محدوده		
قابلیت استفاده بی وقفه	کنترل خسارت	بسیار مناسب	توصیه نمی‌شود
خرابی محدود	کنترل خسارت	مناسب	مناسب
ایمنی جانی	ایمنی محدود	توصیه نمی‌شود	مناسب
آستانه فروریزش	ایمنی محدود	غیر عملی	توصیه نمی‌شود

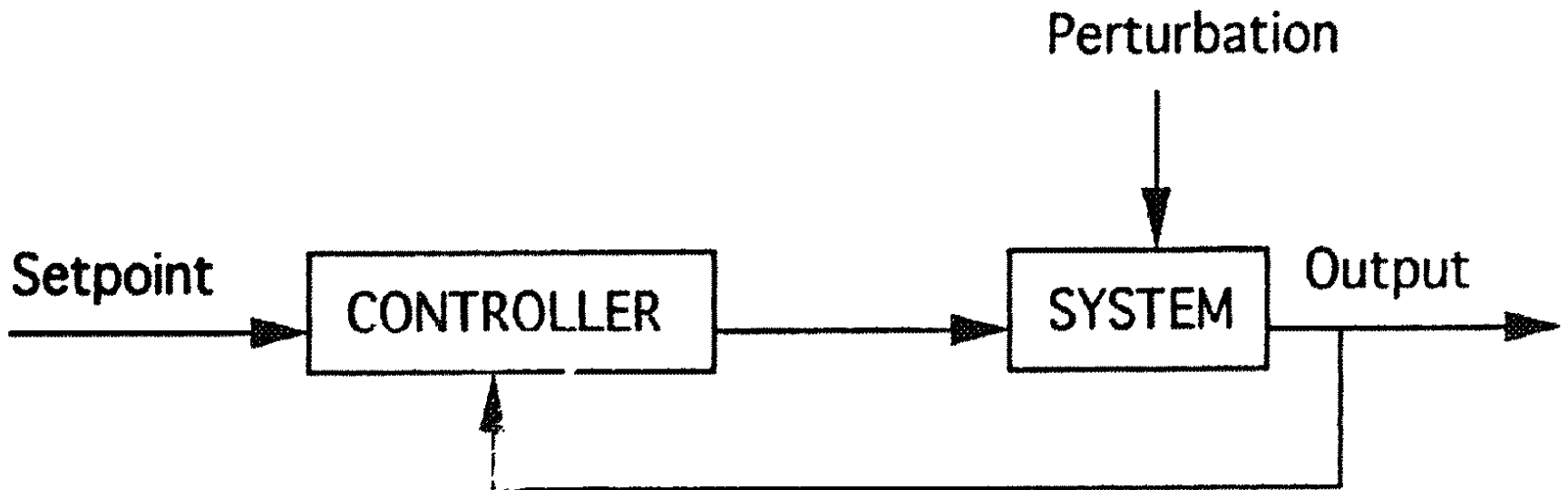
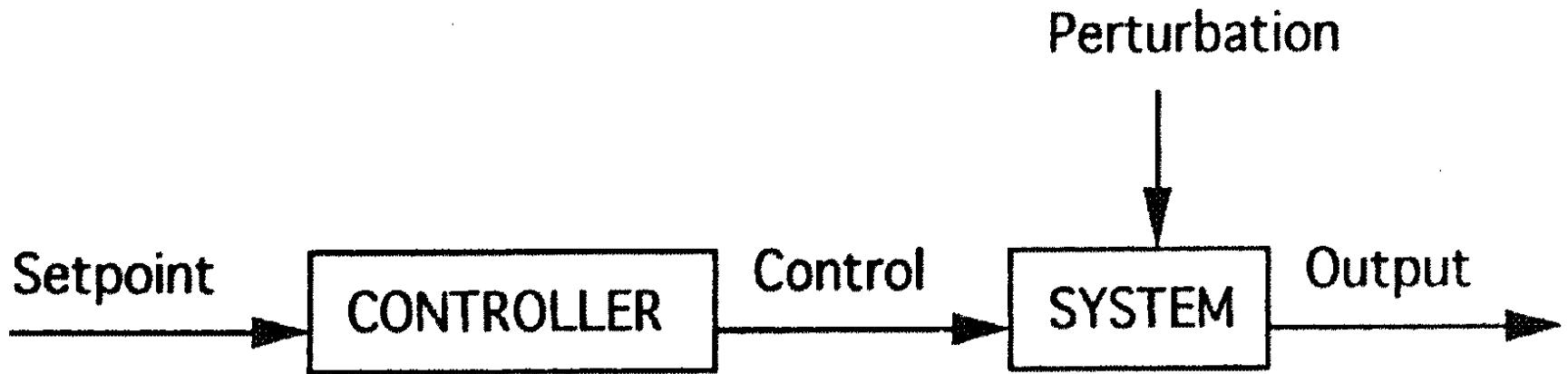
□ سیستم‌های کنترل فعال

- سیستم‌های کنترل فعال بر پایه اطلاعات پاسخ بدست آمده از سازه و انرژی خارجی وارد شده به سازه استوار می‌باشد که باعث تولید نیروی مناسب برای کاهش پاسخ ناخوشایند سازه می‌شود.
- این وسایل شامل جرم فعال و سختی متغیر فعال می‌باشند.
- شتاب زمین و پاسخ سیستم اعم از جابجائی و سرعت و شتاب در محل مشخصی هر لحظه تعیین گشته و نیروی کنترل به سازه توسط محرک‌هایی اعمال می‌گردد.
- یک سیستم کنترل فعال قادر می‌باشد مشخصات دینامیکی سازه را تغییر دهد.
- در مقایسه با سیستم‌های کنترل غیر فعال سیستم کنترل فعال استراتژی شکل‌پذیری دارد ولی قبل از استفاده گسترده مطالعات بیشتری لازم است.
- بر پایه مطالعات تجربی انجام یافته ممکن است به این نتیجه برسیم که کنترل فعال روش موفق‌تری برای کنترل و تخفیف خطر زلزله می‌باشد بویژه زمانی که به همراه وسایل کنترل غیر فعال مانند هیبرید کنترل استفاده شود.

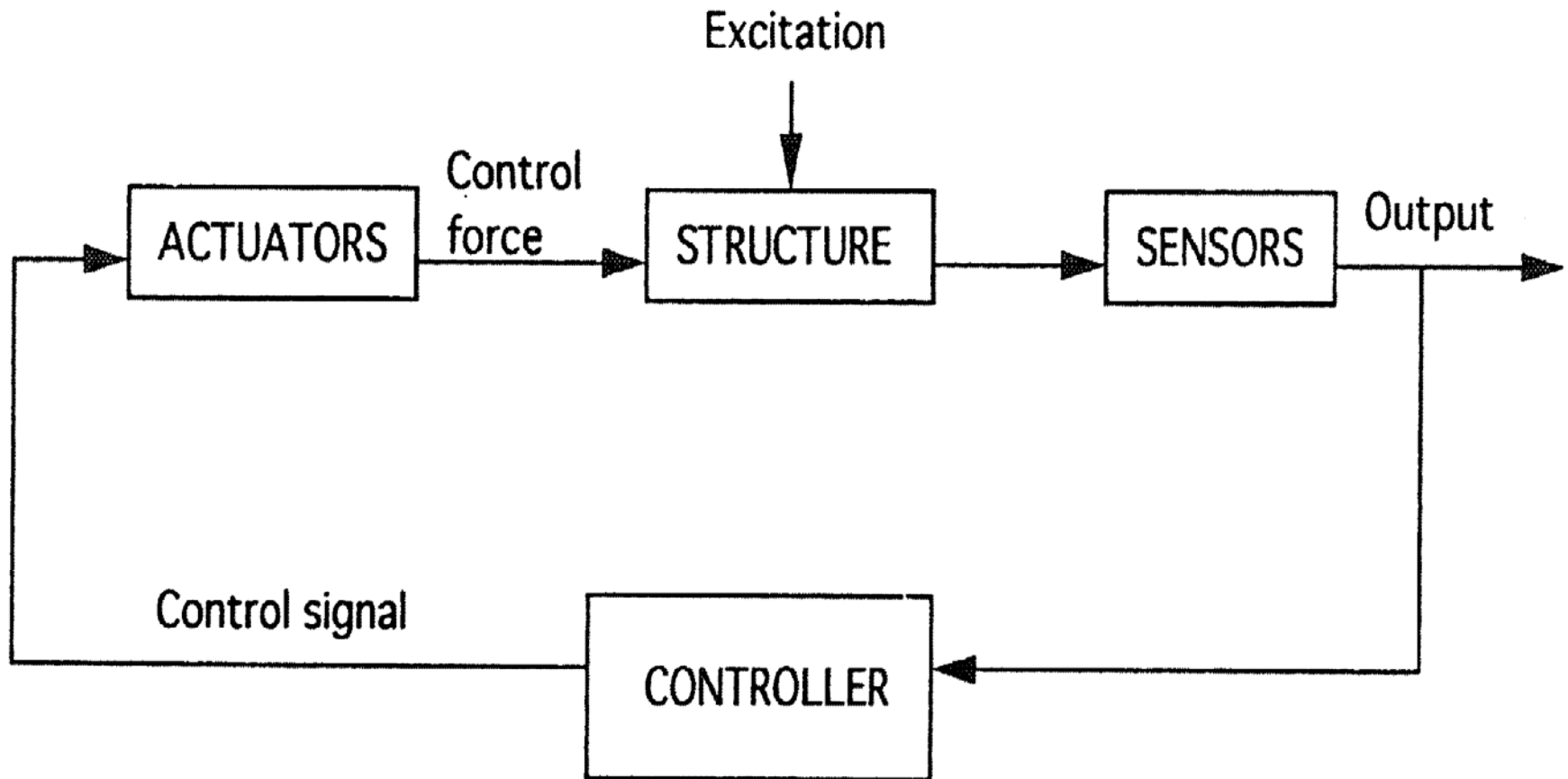
(f)



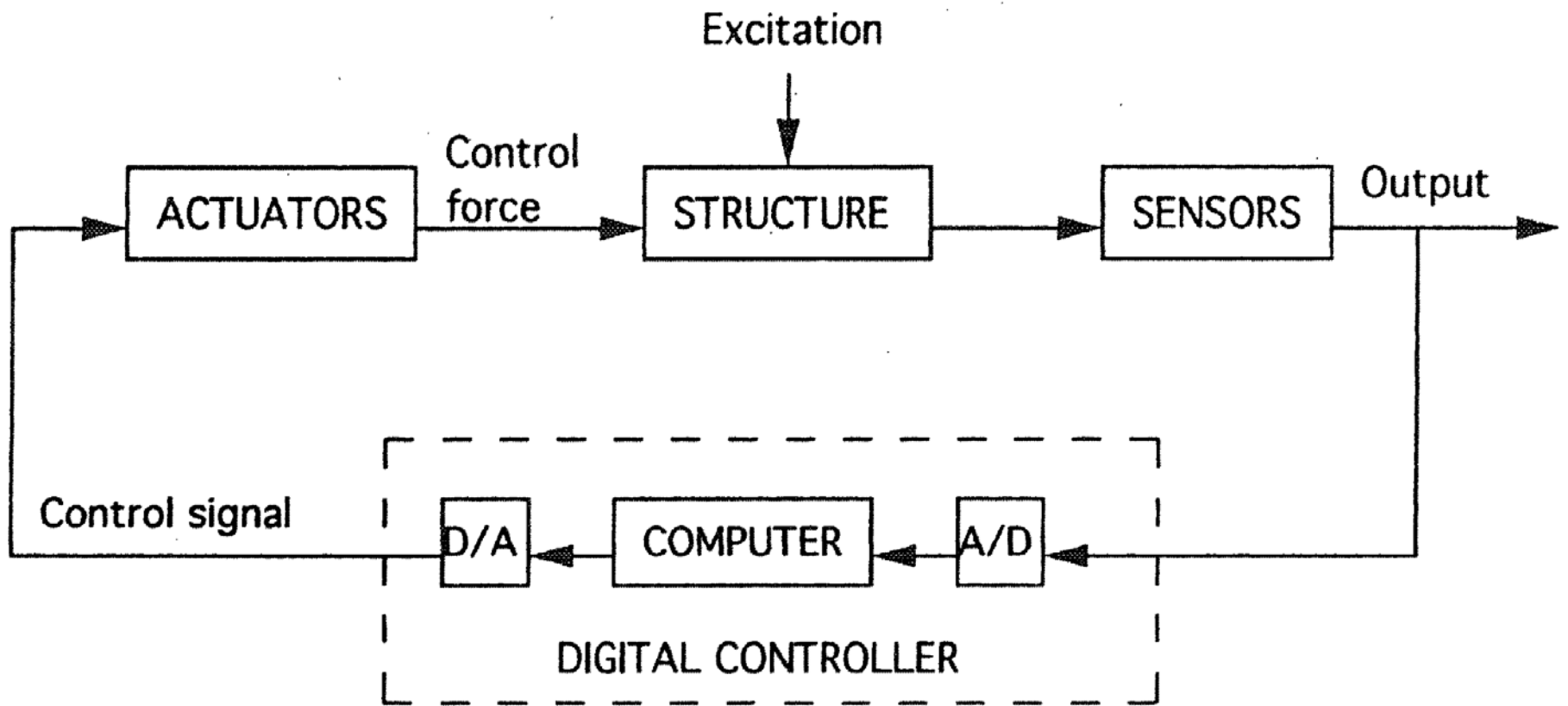
Active control system: ground motion sensor, processor, and controlled mass



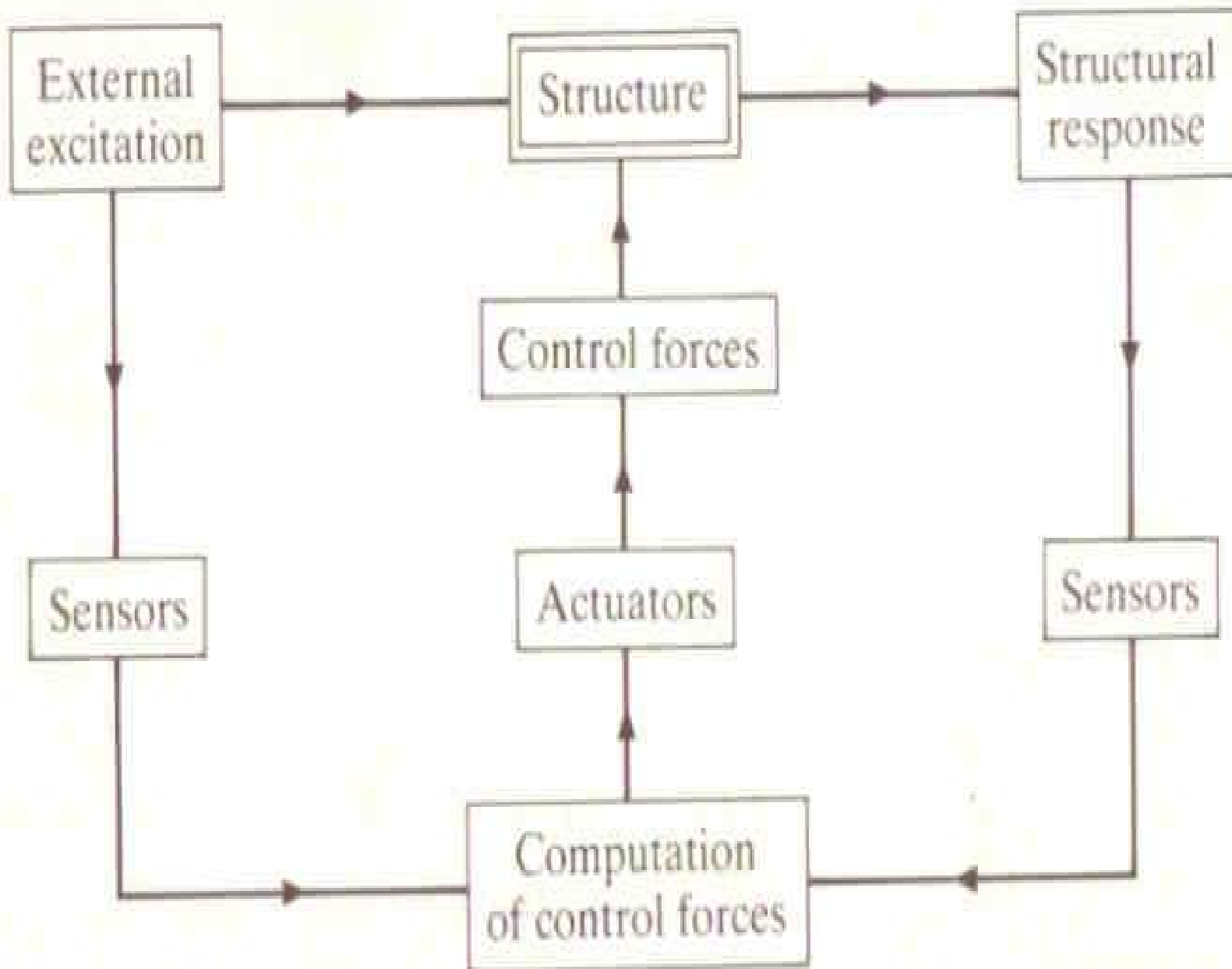
Open and Closed Loop Control •

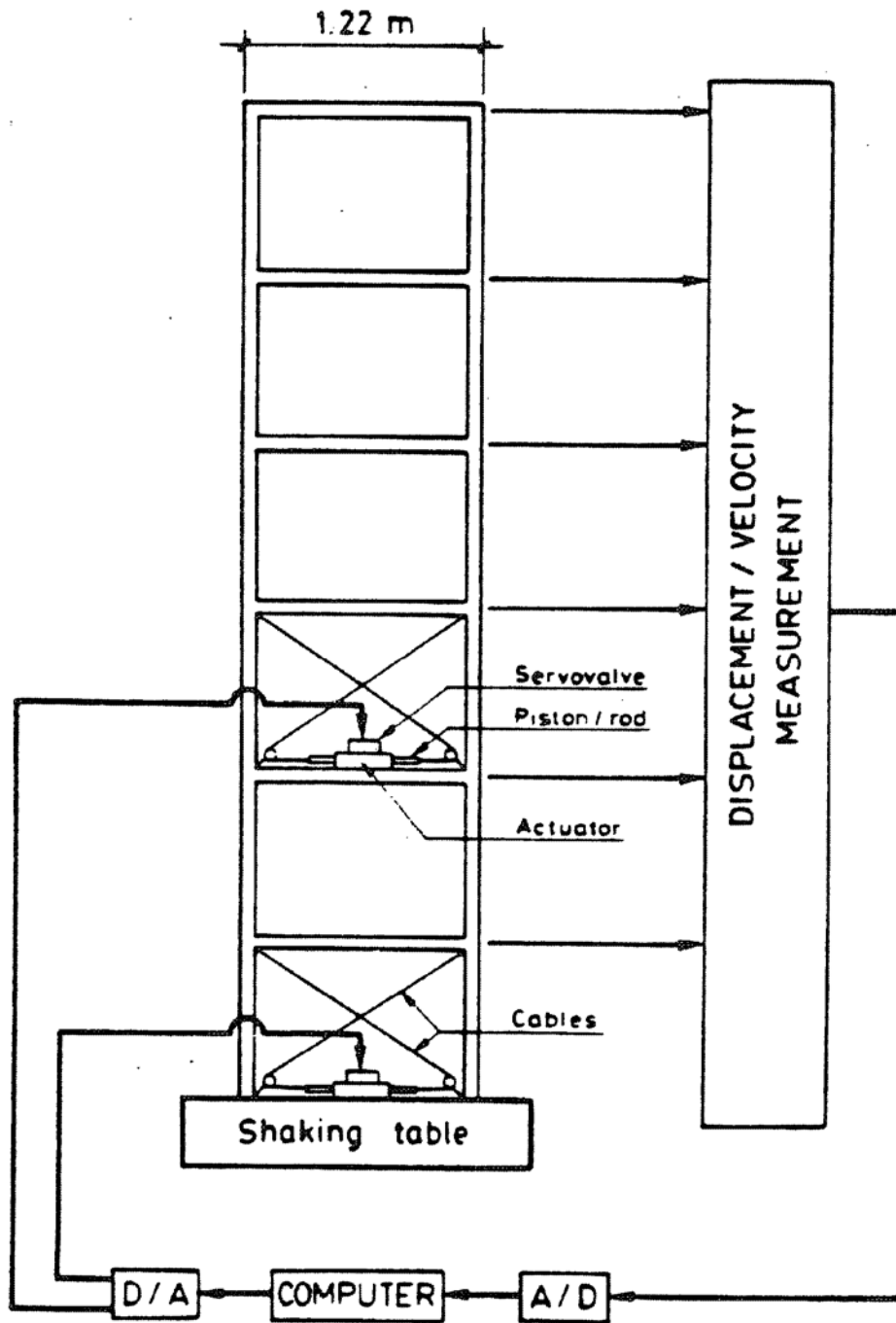


Basic elements of an active control loop •



Basic elements of an active digital control loop •





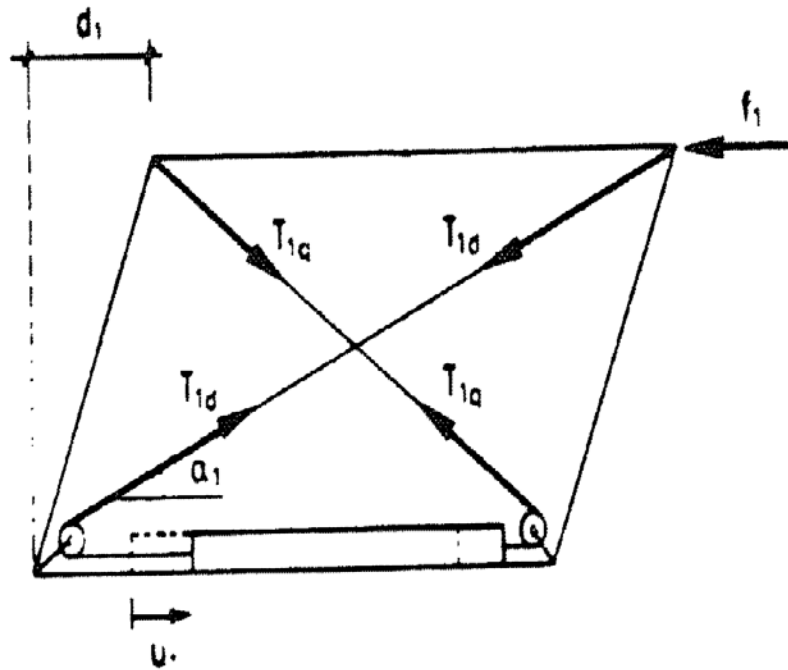


Fig. 6.—Control force applied on the structure by the actuator 1.

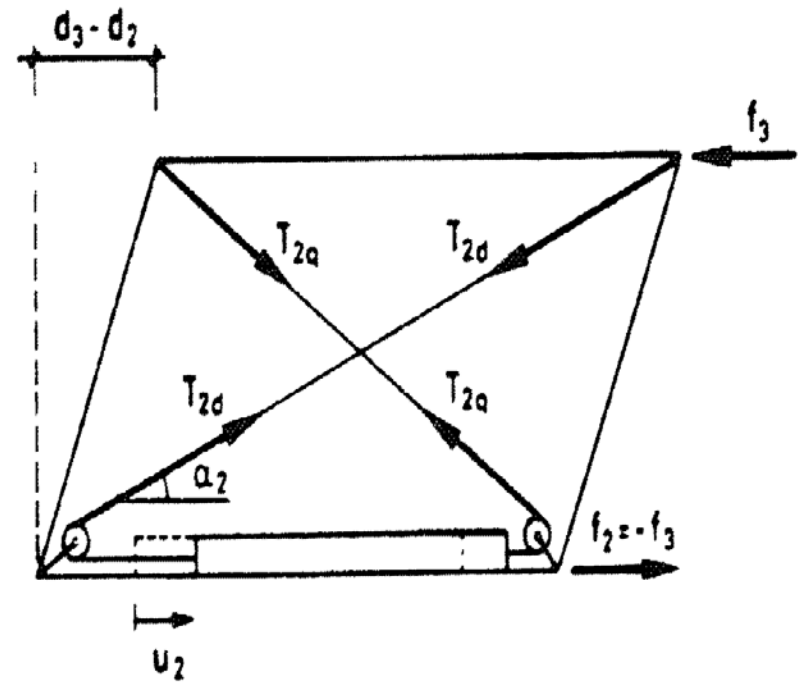
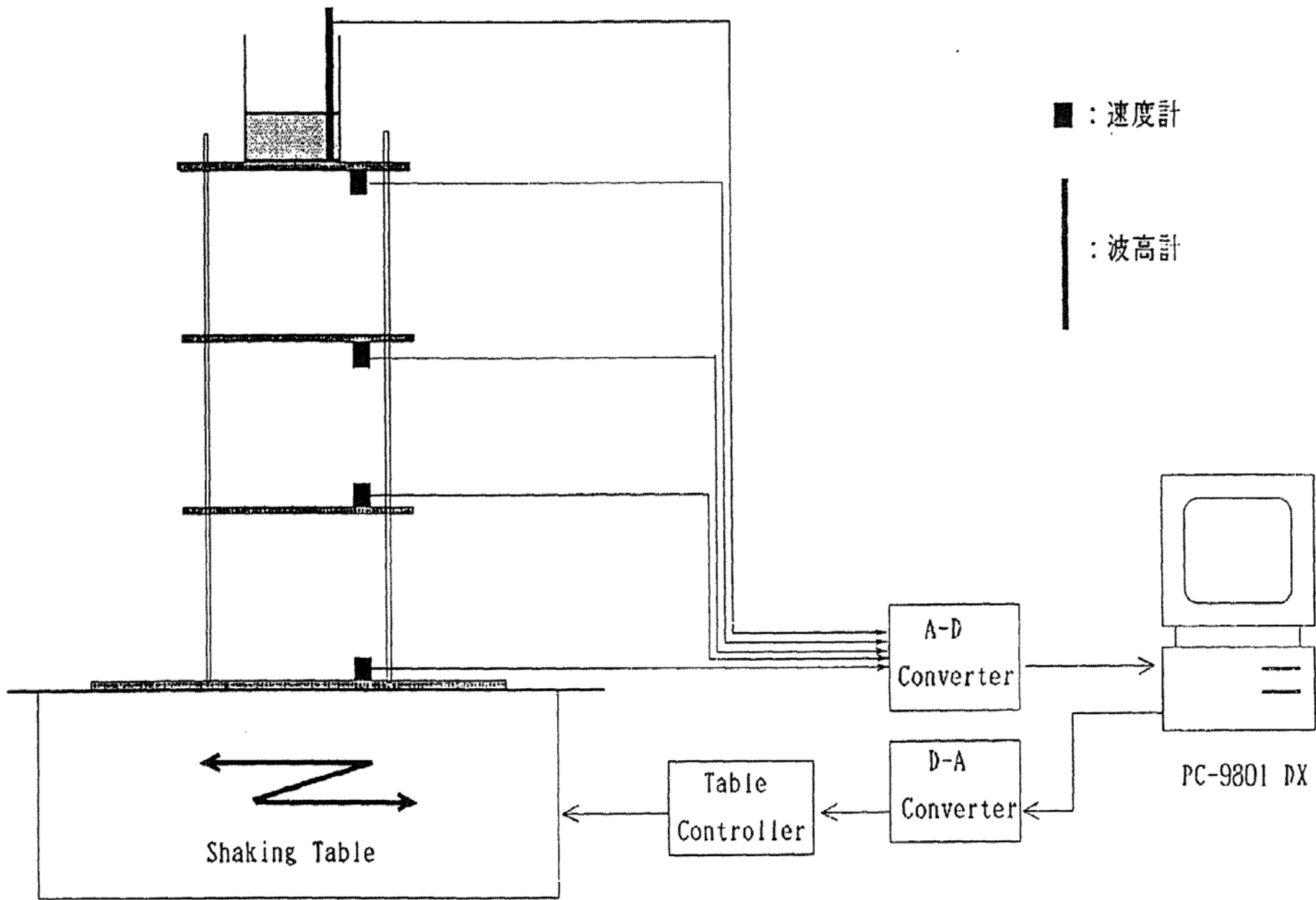
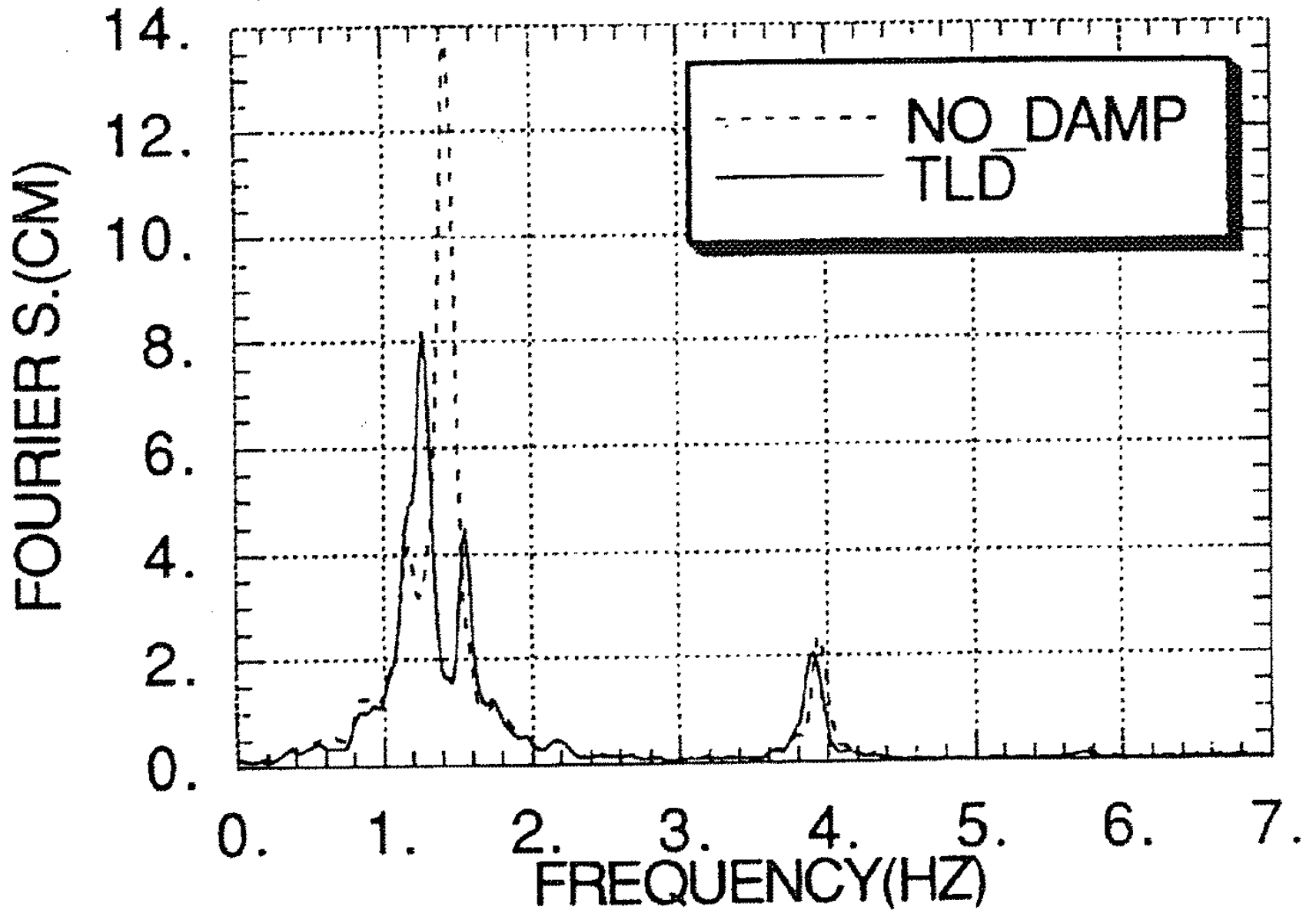


Fig. 7.—Control forces applied on the structure by the actuator 2.

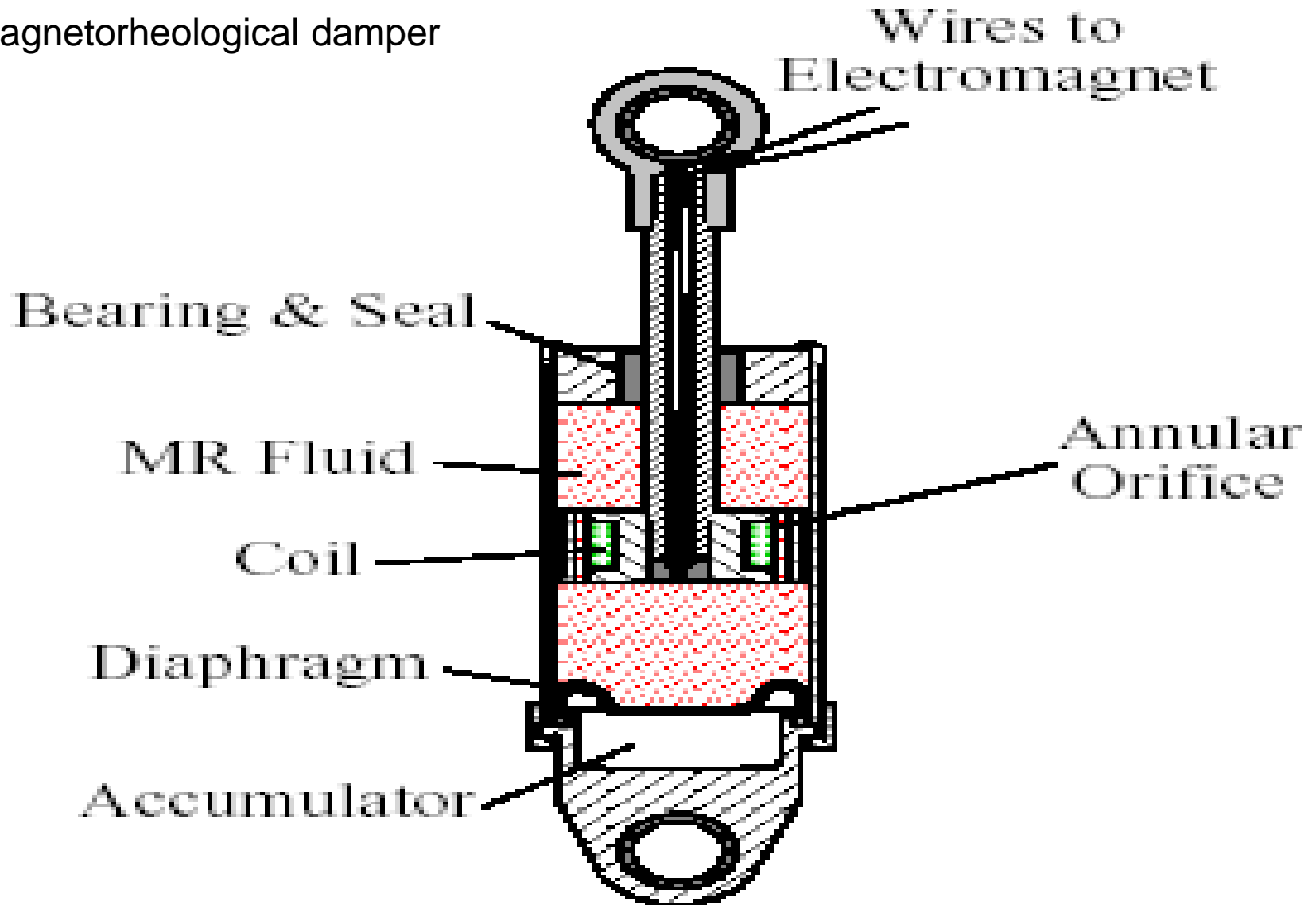


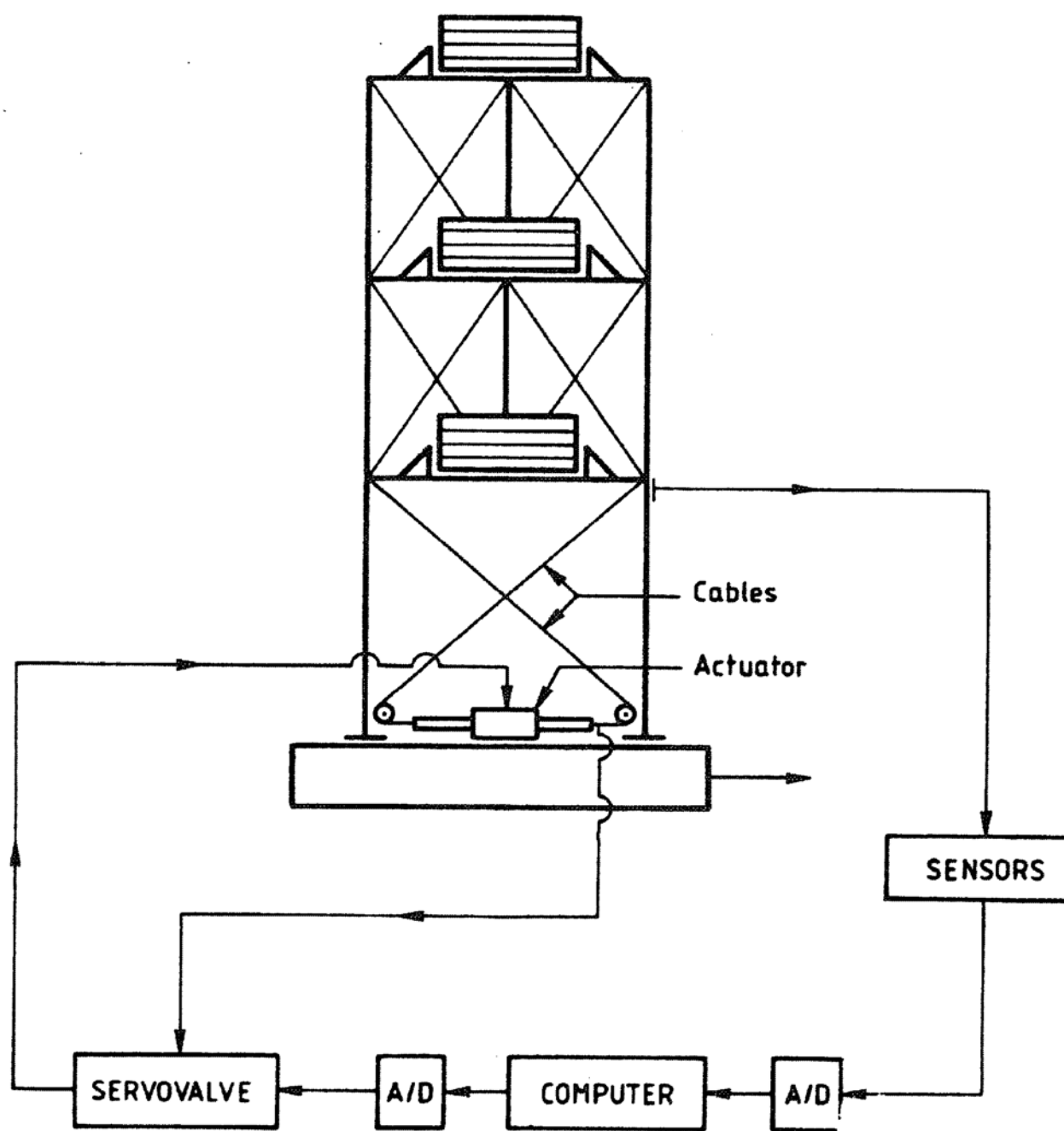
EL CENTRO



Actuators – MR Damper

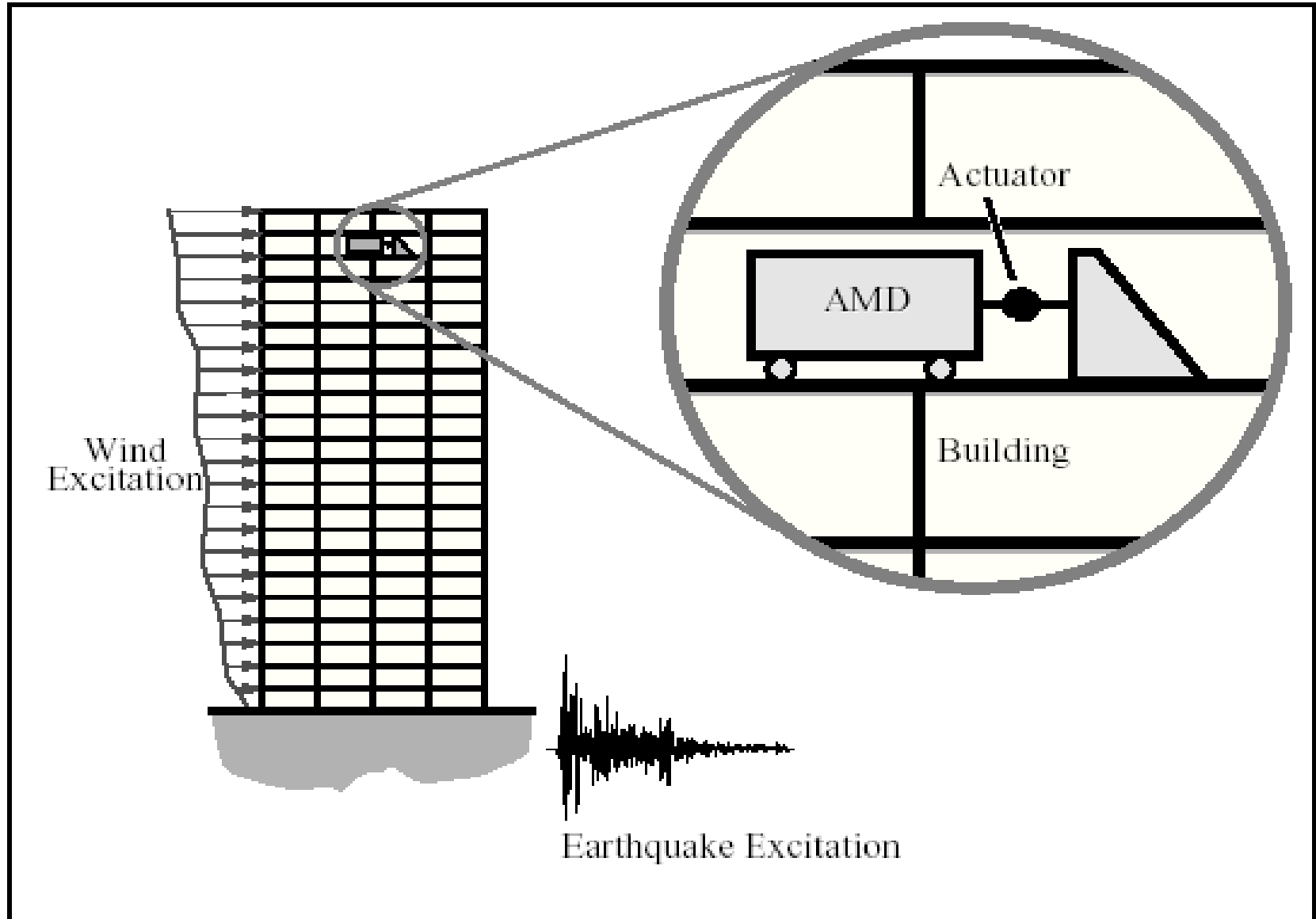
Magnetorheological damper



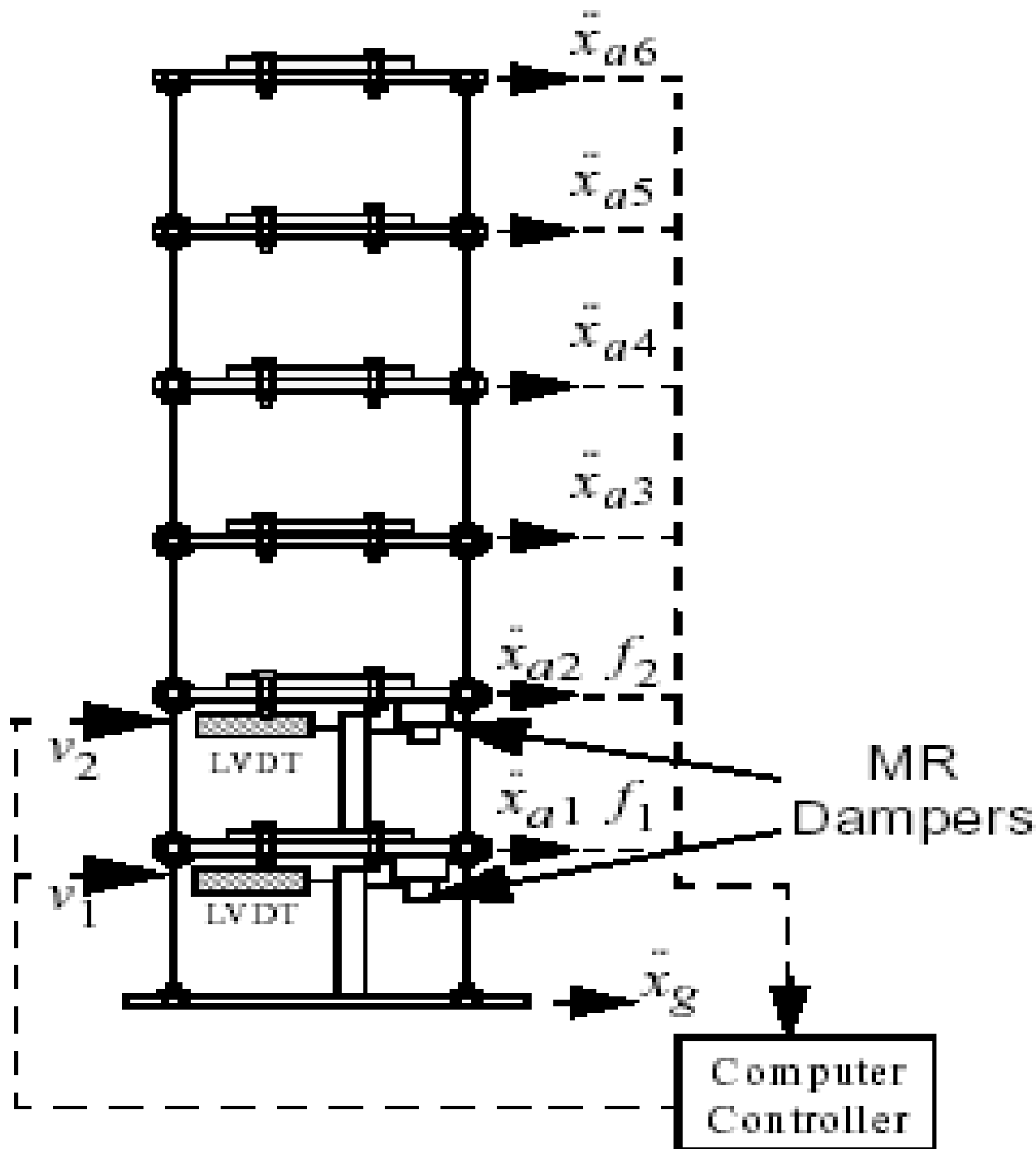


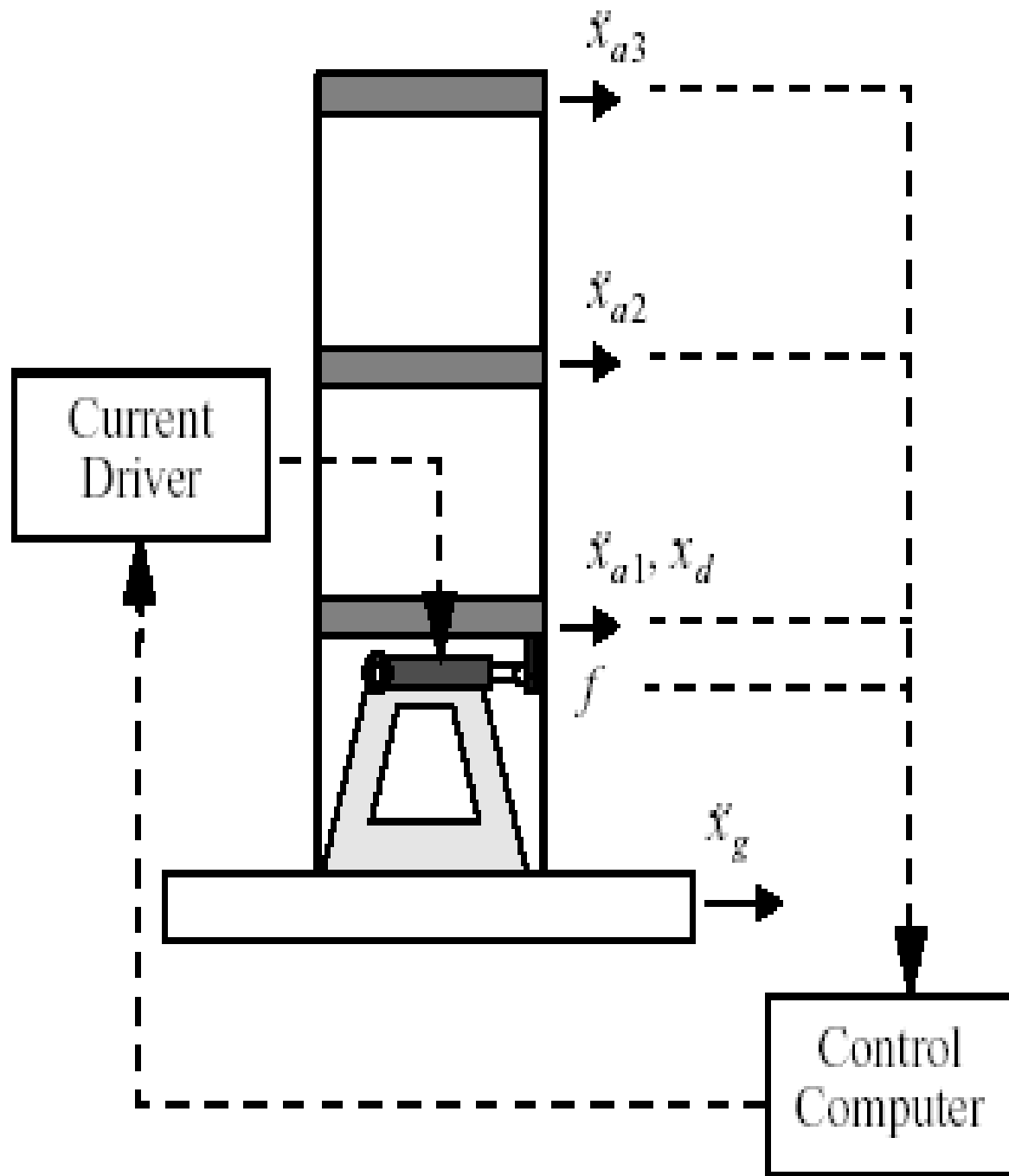
SUNY-Buffalo experimental control system.

Active control with TMD



Semi-Active control with MRD





Semi-Active •
control with
MRD