

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مکانیک گرایش طراحی
کاربردی

کنترل فعال ارتعاشات تیر یکسر گیردار چرخان با استفاده از میراکننده تکانه‌ای

استاد راهنما :

دکتر محمد علی حاج عباسی

استاد مشاور :

دکتر ملیحه مغفوری فرسنگی

مؤلف :

یوسف قنبری

بهمن ماه ۱۳۸۸



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: یوسف قنبری

استاد راهنما: آقای دکتر محمد علی حاج عباسی

استاد مشاور: خانم دکتر ملیحه مغفوری

داور ۱: آقای دکتر علیرضا سعیدی

داور ۲: آقای دکتر مجید فولادی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: آقای دکتر غلامرضا پور ابراهیم

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است

(ج)

تقدیم به :

پدر و مادرم که بزرگترین تکیه گاههای زندگییم هستند.

چکیده :

در این پایان نامه، کنترل فعال ارتعاشات تیر چرخان با استفاده از میراکننده تکانه‌ای به منظور کاهش ارتعاشات بازوی‌های مکانیکی انعطاف پذیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. تیر چرخان به صورت یک تیر یکسرگیردار اوپلر - برنولی در نظر گرفته می‌شود که یک میراکننده تکانه‌ای روی آن نصب شده است. میراکننده تکانه‌ای از یک محرک پیزوالکتریک تشکیل شده که قادر به اعمال نیروی مناسب جهت کنترل ارتعاشات تیر است. این نیروی کنترلی با استفاده از خاصیت انقباض - انبساط بلور پیزوالکتریک و ولتاژ کنترلی ارسال شده به آن شکل می‌گیرد. بررسی و تحلیل این موضوع با توجه به ارائه مدلی مناسب از دینامیک سیستم و بکارگیری قانون کنترلی مطلوب انجام می‌شود. در مدلسازی تیر از اصل همیلتون و روش مودهای فرضی استفاده شده و محرک پیزوالکتریک نیز به صورت یک سیستم یک درجه آزادی جرم - فنر - میراکننده مدل شده است. بدین ترتیب مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل کوپل به هم حاصل می‌شود که بیانگر دینامیک سیستم بوده و در تحلیلهای کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اثر پارامترهای موثر بر پایداری و کنترل پذیری سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان، یک قانون کنترل دینامیکی در تولید فرمانهای هیستریزیس برای انقباض و انقباض محرک پیزوالکتریک پیشنهاد شده است. بخش هیستریزیس فرمان کنترل با استفاده از یک معادله دیفرانسیل عادی غیر خطی مرتبه اول تولید می‌شود. نتایج شبیه‌سازی موثر بودن این قانون را اثبات می‌کند.

کلید واژه ها : تیر چرخان، میراکننده‌ای تکانه‌ای، محرک پیزوالکتریک و کنترل فعال

ارتعاشات

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱	فصل اول : مقدمه و مروری بر کارهای انجام شده
۱	۱-۱ زمینه‌های کاربردی موضوع پایان‌نامه
۴	۲-۱ مروری بر کارهای گذشته
۱۰	۳-۱ معرفی مسئله، روش تحلیل و اهداف
۱۲	فصل دوم : مدلسازی تیر چرخان و محرکهای پیزوالکتریک
۱۲	۱-۲ مدل یک تیر چرخان
۱۳	۱-۱-۲ تیر رایلی
۱۶	۲-۱-۲ تیر اوپلر-برنولی
۱۷	۳-۱-۲ مدل خمشی ساده
۱۸	۲-۲ مدل کردن محرکهای پیزوالکتریک
۱۸	۱-۲-۲ مقدمه
۲۲	۲-۲-۲ مدل هیستریزیس
۲۳	۳-۲-۲ مدل مکانیکی
۲۸	۳-۲ مدل مکانیکی از میراکننده‌ای تکانه‌ای
۳۱	فصل سوم : معادلات حاکم بر سیستم تیر چرخان و میراکننده‌ای تکانه‌ای
۳۱	۱-۳ حل‌های تقریبی
۳۲	۱-۱-۳ روش‌های تقریبی و توابع آزمایشی
۳۳	۲-۳ روش مدهای فرضی
۳۴	۱-۲-۳ روش مدهای فرضی برای تیر چرخان به همراه میراکننده تکانه‌ای
۴۴	۳-۳ اعتبارسنجی معادلات
۴۷	فصل چهارم : پایداری و کنترل فعال
۴۷	۱-۴ پایداری
۴۷	۱-۱-۴ قضایای پایداری
۴۸	۲-۱-۴ بررسی پارامترهای موثر در پایداری
۵۱	۳-۱-۴ کنترل پذیری
۵۲	۴-۱-۴ بررسی پارامترهای موثر در کنترل پذیری
۵۷	۲-۴ : کنترل فعال
۵۷	۱-۲-۴ قانونهای کنترل
۵۹	۲-۲-۴ : قانون کنترل دینامیکی
۶۰	۳-۲-۴ کاربرد قانون کنترل
۶۲	۴-۲-۴ : بررسی پارامترهای قانون کنترل دینامیکی

۶۵

۶۶

۶۶

۶۷

جمع بندی

نتیجه گیری

پیشنهادات

منابع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۲	جدول ۱-۱-۲: مقایسه مدل‌های تیر
۱۹	جدول ۱-۲-۲: تفاوت بین فرمان ولتاژ و شارژ
۲۶	جدول ۲-۲-۲: فرکانسهای میرا شده
۳۲	جدول ۱-۱-۳: طبقه بندی توابع آزمایشی
۵۱	جدول ۱-۱-۴: نقاط انشعاب
۵۱	جدول ۲-۱-۴: نقاط انشعاب
۵۶	جدول ۱-۴: مقادیر پرش ω_p در شکل‌های ۷-۱-۴ تا ۱۵-۱-۴
۶۰	جدول ۱-۲-۴: پارامترهای فیزیکی سیستم تیر-تویی در شبیه سازی
۶۰	جدول ۲-۲-۴: پارامترهای فیزیکی محرک در شبیه سازی

فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۲-۱: مدل ریاضی از میراکننده‌ای تکانه‌ای و سیستم یک درجه آزادی
۶	شکل ۲-۲-۱: یک تیر یکسر گیردار با لایه (PVDF)
۷	شکل ۳-۲-۱: تیر چرخان با محرک پیزوالکتریک
۸	شکل ۴-۲-۱: تیر یکسر گیردار با محرکهای پیزوالکتریک
۱۰	شکل ۱-۳-۱: تیر چرخان به همراه میراکننده تکانه‌ای
۱۳	شکل ۱-۱-۲: سیستم تیر-توپ‌پی
۱۳	شکل ۲-۱-۲: پیکربندی تغییر شکل یافته
۲۰	شکل ۱-۲-۲: پیکر بندی توده محرک پیزوالکتریک
۲۰	شکل ۲-۲-۲: مدل الکترومکانیکی از یک محرک پیزوالکتریک
۲۲	شکل ۳-۲-۲: حلقه هیستریزس واقع بینانه
۲۳	شکل ۴-۲-۲: محرک پیزوالکتریک در حالت‌های بدون تغییر شکل
۲۷	شکل ۵-۲-۲: زنجیره‌ای از سیستم های جرم- فنر- دمپر، یک مدل مکانیکی تقریبی از محرک پیزوالکتریک
۲۸	شکل ۱-۳-۲: مدل ریاضی از میراکننده‌ای تکانه‌ای
۳۰	شکل ۲-۳-۲: دیاگرام بود سیستم برای معادله (۲-۳-۶)
۳۴	شکل ۱-۲-۳: تیر چرخان به همراه میراکننده تکانه‌ای
۴۵	شکل ۱-۳-۳: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 0.1184 \text{ rad/s}$
۴۵	شکل ۲-۳-۳: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 0.3154 \text{ rad/s}$
۴۶	شکل ۳-۳-۳: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 0.9396 \text{ rad/s}$
۴۹	شکل ۱-۱-۴: نمودار قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب تغییرات γ_1 در سرعت توپی $\dot{\theta} = 10 \text{ rad/s}$
۴۹	شکل ۲-۱-۴: نمودار قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب تغییرات γ_1 در سرعت توپی $\dot{\theta} = 50 \text{ rad/s}$
۴۹	شکل ۳-۱-۴: نمودار قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب تغییرات γ_1 در سرعت توپی $\dot{\theta} = 100 \text{ rad/s}$
۵۰	شکل ۴-۱-۴: نمودار قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب تغییرات $\dot{\theta}$ ، در $\gamma_1 = 0.1$
۵۰	شکل ۵-۱-۴: نمودار قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب تغییرات $\dot{\theta}$ ، در $\gamma_1 = 0.4$
۵۰	شکل ۶-۱-۴: نمودار قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب تغییرات $\dot{\theta}$ ، در $\gamma_1 = 0.8$

۵۳	شکل ۴-۱-۷: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 10$ و $\gamma_1 = 0.1$
۵۳	شکل ۴-۱-۸: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 50$ و $\gamma_1 = 0.1$
۵۳	شکل ۴-۱-۹: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 100$ و $\gamma_1 = 0.1$
۵۴	شکل ۴-۱-۱۰: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 10$ و $\gamma_1 = 0.4$
۵۴	شکل ۴-۱-۱۱: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 50$ و $\gamma_1 = 0.4$
۵۴	شکل ۴-۱-۱۲: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 100$ و $\gamma_1 = 0.4$
۵۵	شکل ۴-۱-۱۳: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 10$ و $\gamma_1 = 0.8$
۵۵	شکل ۴-۱-۱۴: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 50$ و $\gamma_1 = 0.8$
۵۵	شکل ۴-۱-۱۵: نمودار رتبه ماتریس کنترل پذیری بر حسب تغییرات ω_p ، در $\dot{\theta} = 100$ و $\gamma_1 = 0.8$
۵۸	شکل ۴-۲-۱: قانون اول کنترل
۵۸	شکل ۴-۲-۲: قانون دوم کنترل
۵۹	شکل ۴-۲-۳: نمودار بلوکی سیستم
۶۱	شکل ۴-۲-۴: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 0.3 \text{ rad/s}$ و $\mu = 1$ و $K_h = 1$
۶۱	شکل ۴-۲-۵: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1 \text{ rad/s}$ و $\mu = 1$ و $K_h = 1$
۶۱	شکل ۴-۲-۶: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 4.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 1$ و $K_h = 1$
۶۲	شکل ۴-۲-۷: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 1$ و $K_h = 1$
۶۲	شکل ۴-۲-۸: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 1$ و $K_h = 5$
۶۳	شکل ۴-۲-۹: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 1$ و $K_h = 10$
۶۳	شکل ۴-۲-۱۰: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 5$ و $K_h = 1$
۶۳	شکل ۴-۲-۱۱: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 5$ و $K_h = 5$
۶۴	شکل ۴-۲-۱۲: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 5$ و $K_h = 10$
۶۴	شکل ۴-۲-۱۳: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 10$ و $K_h = 1$
۶۴	شکل ۴-۲-۱۴: جابه‌جایی سر تیر برای سرعت توپی $\dot{\theta} = 1.5 \text{ rad/s}$ و $\mu = 10$ و $K_h = 5$

فهرست علائم

A	ماتریس دینامیکی
A	سطح مقطع تیر
A_a	دامنه ورودی محرک
A_p	سطح مقطع پیزوالکتریک
A_i, B_i	توابع ثابت در معادله محرک پیزوالکتریک
C	خازن هر ویفر
c	ماتریس میرایی
c_p	ضریب میرایی میراکننده‌ای تکانه‌ای
D_a	انرژی تلف شده میراکننده‌ای تکانه‌ای
d_{33}	ضریب ثابت میراکننده‌ای تکانه‌ای
$D_p(s)$	چندجمله‌ای قطب محرک پیزوالکتریک
E	مدول یانگ تیر
E_p	مدول الاستیسیته پیزوالکتریک
e_1, e_2, e_3	بردارهای یکه
F	اثر سختی گریز از مرکز
F_a	نیروی میراکننده‌ای تکانه‌ای
F_p	نیروی انتقال داده شده در محرک پیزوالکتریک
F_e	نیروی اعمال شده از خارج محرک پیزوالکتریک
$f(u_h)$	تابع مربوط به حلقه هیستریزس
G(s)	تابع تبدیل
$g(u_h)$	تابع مربوط به حلقه هیستریزس
h_p	ضخامت یک تکه پیزوالکتریک
I	ماتریس همانی
I	ممان جرمی تیر
I_h	ممان جرمی توپی
K	ماتریس سختی
K_h	تقویت کننده کنترلر در قانون کنترل دینامیکی
k_p	سختی پیزوالکتریک

L	طول تیر
L_p	طول پیزوالکتریک
\mathbf{M}	ماتریس جرم
$M(s)$	تابع تبدیل محرک پیزوالکتریک
m_a	جرم موثر محرک پیزوالکتریک
m_b	جرم تیر
m_p	جرم محرک پیزوالکتریک
$N(y,t)$	نیروی نرمال در پیزوالکتریک
$N_p(s)$	چندجمله‌ای صفر محرک پیزوالکتریک
n	تعداد مدها
\bar{n}	تعداد ویفرها
$\mathbf{0}$	ماتریس صفر
r_0	شعاع توپی
$P(s)$	تابع تبدیل میراکننده‌ای تکانه‌ای
r_i	ثابت وزنی اختصاص داده شده به هر مد
r_m	نسبت جرم
\vec{r}	بردار موقعیت
Q_r, Q_o	نیروهای خارجی در میراکننده‌ای تکانه‌ای
q	شارژ کل محرک پیزوالکتریک
\dot{q}	جریان کل محرک پیزوالکتریک
q_p	شارژ انتقال داده شده از طرف قسمت مکانیکی محرک پیزوالکتریک
T	انرژی جنبشی کل
T_a	انرژی جنبشی میراکننده‌ای تکانه‌ای
T_{beam}	انرژی جنبشی تیر
T_{hub}	انرژی جنبشی توپی
T_{em}	اثر پیزو
$T_i(t)$	تابع ویژه در محرک پیزوالکتریک
t	زمان
\mathbf{u}	ورودی سیستم

U	انرژی پتانسیل کل
U_a	انرژی پتانسیل میراکننده‌ای تکانه‌ای
U_{beam}	انرژی پتانسیل تیر
u	جابه‌جایی طولی تیر
u_{pea}	ولتاژ ویفر پیزو
u_h	ولتاژ اثر پیزو
u_p	ولتاژ اثر پیزو
$v(x, t)$	جابه‌جایی عرضی تیر
$v_1(t)$	جابجایی جرم ثانویه
v_p	ولتاژ میراکننده‌ای تکانه‌ای
$w(y, t)$	جابه‌جایی محرک پیزوالکتریک
$w_i(z, t)$	مدهای ویژه برای پیزوالکتریک
$\mathbf{X}(t)$	بردار حالت
x_0	محل قرار گرفتن محرک روی تیر
x_p	اختلاف جابجایی بین تیر و جرم ثانویه
$\mathbf{y}(t)$	بردار خروجی سیستم
$Z_i(z)$	تابع ویژه در محرک پیزوالکتریک
x, y, z	محورهای مختصات مرجع ثابت
x', y', z'	محورهای مختصات مرجع جاری

زیر نویس

h	توبی
b	تیر
p	پیزوالکتریک
a	محرک

علائم یونانی

Γ_t	پیکربندی مرجع جاری
Γ_0	پیکربندی مرجع ثابت
ρ	چگالی تیر
θ	زاویه چرخش
$\dot{\theta}$	سرعت زاویه‌ای تویی
τ	گشتاور تویی
η_p	ویسکوزیسته پیزوالکتریک
$\eta_i(t)$	جابه‌جایی در مختصات تعمیم یافته
$\varphi_i(x)$	تابع ویژه
ρ	چگالی تیر
ρ_p	چگالی پیزوالکتریک
σ	تنش
ε	کرنش
β_i	i امین پارامتر فرکانسی بدون بعد
δ_{ij}	دلتای کرونیکر
$\omega_{u,i}$	فرکانس ویژه طبیعی مربوط به محرک پیزوالکتریک
$\omega_{d,i}$	فرکانس ویژه میرا شده محرک پیزوالکتریک
ω_p	فرکانس میراکننده‌ای تکانه‌ای
ξ	میرایی میراکننده‌ای تکانه‌ای
ζ_i	میرایی نسبی محرک پیزوالکتریک
λ	ضریب ثابت میراکننده‌ای تکانه‌ای
γ	عدد بدون بعد تیر
μ_i	عدد ثابت در معادله محرک پیزوالکتریک
μ	پارامتر اندازه و شکل منحنی هیستریزس در قانون کنترل دینامیکی
γ_1	عدد مربوط به مشخصات تیر
δW	کار انجام شده توسط گشتاور تویی

فصل اول : مقدمه و مروری بر کارهای انجام شده

مقدمه

در این فصل، ضمن معرفی زمینه‌های کاربردی موضوع پایان‌نامه به مروری بر کارهای تحقیقاتی انجام شده در سالهای اخیر پرداخته می‌شود. پس از شرح این دو بخش که اهمیت و جایگاه تحقیقاتی موضوع را مشخص می‌سازد، تعریف و بیان کامل و دقیقی از مسئله مورد توجه در این پایان‌نامه که مشتمل بر مفروضات، روش تحلیل و اهداف است ذکر می‌شود.

۱-۱ زمینه‌های کاربردی موضوع پایان‌نامه

در چند دهه اخیر، افزایش تقاضا برای سیستم‌های رباتیک با مصرف انرژی کم و کارایی بهتر در سرعت‌های بالا خصوصاً برای کاربردهای فضایی، نیاز به بازوهای مکانیکی با وزن کم را ایجاد کرده است [۱]. در چنین سازه‌های سبکی به خصوص وقتی که سرعت حرکت روبات بالا باشد، انعطاف‌پذیری حائز اهمیت خواهد بود و اثر آن در قالب ارتعاشات نامطلوب ظهور پیدا می‌کند که نمی‌توان از آن صرف نظر کرد.

سیستم مکانیکی که حرکتش مرکب از حرکت جسم صلب و انعطاف‌پذیر باشد را سیستم دینامیکی صلب - انعطاف‌پذیر^۱ می‌نامند [۱]. ساده‌ترین مثال از این نوع سیستم، تیر یکسرگیردار چرخان می‌باشد. ارتعاشات چنین ساختارهایی در زمان طولانی سبب خرابی، فرسودگی، ناپایداری و دیگر مسائل می‌شود. از اینرو کنترل ارتعاشات این ساختارها مهمترین نگرانی کاربران می‌باشد. مدل‌سازی و کنترل یک تیر انعطاف‌پذیر یکسرگیردار چرخان مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته است. این توجه ناشی از کاربردهای عملی مانند بازوهای روبات انعطاف‌پذیر، پره‌های روتور هلیکوپتر، تیغه‌های روتور توربین و متعلقات انعطاف‌پذیر فضاپیماها می‌باشد [۲]. تفاوت یک تیر چرخان با یک تیر غیرچرخان در کوپل شدن معادلات تغییر شکل‌های الاستیک و حرکت‌های جسم صلب می‌باشد. [۳]

با پیشرفتهای جدید در تکنولوژی محرکها و سنسورها، بسیاری از تحقیقات، روی روشهای کنترل برای جلوگیری از ارتعاشات ساختارهای انعطاف‌پذیر با استفاده از مواد هوشمند متمرکز شده است. بعنوان مثال آلیاژهای حافظه‌دار^۲، مواد رئوژیکال مغناطیسی^۳، مواد رئوژیکال الکتریکی^۴ و مبدلهای پیزوالکتریک^۵ جزء مواد هوشمند می‌باشند که به طور وسیع، بخصوص در حسگرها استفاده می‌شوند. محرکهای پیزوالکتریک با استفاده از اثر پیزوالکتریک معکوس، انرژی

1 Rigid – flexible coupling dynamic system

2 Shape Memory Alloys

3 Magnetorheological materials (MR)

4 Electrorheological materials(ER)

5 Piezoelectric transducers

الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند [۴]. مواد پیزوالکتریک در پاسخ به تغییر شکل‌های مکانیکی، شارژ الکتریکی و برعکس با اعمال شارژ الکتریکی، تغییر طول، تولید می کنند. در حقیقت مواد پیزوالکتریک در تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی میدان مغناطیسی ایجاد نمی کنند. [۵] اخیراً از مبدل‌های پیزوالکتریک برای میرایی ارتعاشات ساختارهای انعطاف پذیر کمک گرفته شده است. با اعمال ولتاژ کنترل توسط مواد پیزوالکتریک در ساختار انعطاف پذیر تغییر شکل ایجاد می شود و یک نیروی برشی برخلاف تغییر شکل جسم تولید می کند. ساختار مبدل‌ها معمولاً از دو نوع ماده می باشد.

۱ PVDF-۱

۲ PZT-۲

در حالت کلی، مورد کاربرد PZT در محرک‌ها و PVDF در سنسورها می باشد. توانایی PZT در میرا کردن ارتعاشات از PVDF بیشتر است زیرا ثابت کرنش آن پنج برابر و ثابت پیزوالکتریک آن یک دهم، PVDF می باشد. در عمل، محرک‌های PZT در ابعاد به نسبت کوچک ساخته می شوند مانند محرک Quick Pack از شرکت ACX. محرک‌های PVDF اغلب از یک لایه با مقطع یکسان با اعمال یک ولتاژ ثابت، کار می کنند ولی در سیستم‌های که از چند PZT استفاده می شود هر قطعه PZT باید به طور جداگانه کنترل شود. [۶]

کنترل ارتعاشات نامطلوب در تجهیزات مکانیکی و سازه‌ای همیشه موضوع تحقیق مهمی برای مهندسان و دانشمندان بوده است. برای کنترل این ارتعاشات ناخواسته از ابزارهای فعال و غیرفعال مختلف که به طور تئوری مورد مطالعه قرار گرفته و در عمل قابل اجرا می باشند، استفاده می شود. این ابزارها شامل خنثی کننده‌های ارتعاشات^۳، جاذب‌های آونگی^۴، جذب کننده‌های ارتعاشات اتوپارامتریک^۵، دمپرهای ضربه‌ای^۶ و غیره می باشند. هر کدام از این ابزارها به طور نسبی کار میرا کردن ارتعاشات را برعهده دارند. دمپرهای ضربه‌ای به طور موفقیت آمیزی برای کنترل ارتعاشات سیستم‌های مختلف با دامنه بالا، مانند ابزارهای قطع کردن، تیغه‌های توربین و ساختارهای انعطاف پذیر استفاده شده است. دمپرهای ضربه‌ای هنوز کاربرد کمتری دارند هر چند آنها در مقایسه با خنثی کننده‌های ارتعاشات موثرتر هستند. اساس کار دمپر ضربه‌ای با انتقال مومنتوم از یک جرم ثانویه در ضربه‌های متوالی به جرم اولیه انجام می شود. دو مزیت برجسته دمپرهای ضربه

¹ Polyvinylidene fluoride

² Piezoelectric lead zirconium titanate

³ Dynamic vibration neutralizers

⁴ pendulum absorbers

⁵ autoperametric vibration absorbers

⁶ Impact damper

ای، صورتهای ساختاری ساده و مشخصات دینامیکی قوی می‌باشد. کارهای تحقیقاتی زیادی روی طراحی و اجرای دمپ‌های ضربه‌ای برای کنترل ارتعاشات اجباری و آزاد سیستمهای خطی و غیر خطی گزارش شده است و تنها تعداد کمی از کارهای سالهای اخیر و بعضی از کارهای سالهای گذشته روی خود دمپ‌های ضربه‌ای بحث شده است. میراکننده تکانه‌ای^۱ برای اولین بار توسط کترجی^۲ [۷] برای کنترل فعال ارتعاشات عضوهای ساختاری انعطاف پذیر ارائه شد. میراکننده تکانه‌ای براساس مفهوم دمپ ضربه‌ای تعریف شده است. میراکننده تکانه‌ای از بلور پیزوالکتریک و یک جرم ثانویه تشکیل شده که قادر به اعمال نیروی مناسب در جهت عکس تغییر شکل ساختار می‌باشد. این نیروی کنترلی با استفاده از خاصیت انقباض - انبساط بلور پیزوالکتریک و ولتاژ کنترلی ارسال شده به آن شکل می‌گیرد. دمپ‌های ضربه‌ای در کنترل غیر فعال و دمپ‌های تکانه‌ای در کنترل فعال کاربرد دارند [۷].

دو مسئله اساسی برای بهبود کارایی لینکهای انعطاف پذیر، مدلسازی و کنترل آنها می‌باشد. اشکال اصلی کنترل‌هایی که براساس مدل کار می‌کنند نداشتن یک مدل دقیق می‌باشد. این موضوع ناشی از دشواری در مدلسازی، دانش کم درباره پارامترهای نامعلومی^۳ سیستم می‌باشد که به طور مستقیم در طراحی کنترلر لینک انعطاف پذیر اثر می‌گذارد. به این ترتیب برای راحتی در طراحی کنترلر بیشتر از مدل‌های مرتبه کاهش یافته با بعد محدود استفاده می‌شود. مدل مرتبه کاهش یافته با حفظ تنها تعداد کمی از اولین مدهای ارتعاشی (تعداد این مدها نیز اختیاری است) بدست می‌آید. این انتخاب معمولاً براساس این باور است که مقدار انرژی مدهای بالاتر در مقایسه با مدهای پایینتر ناچیز می‌باشد. در حالت کلی، ارتعاشات هر نقطه از لینک انعطاف پذیر می‌تواند با ترکیب تعداد نامحدودی از مدهای ارتعاشی توصیف شود. جلوگیری موفقیت آمیز همه این مدها، باعث حذف ارتعاشات در سیستم می‌شود. یک راهکار کامل کنترل به طراحی مدل، وابسته است. کوتاه سازی مدل منجر به ناپایداری و ایجاد پدیده اسپیلاور^۴ می‌شود. اسپیلاور یک آشکارسازی از مدهای صرف نظر شده یا مدهای کنترل شده و یا هر دو که باعث ناپایداری می‌شود، است. در طراحی کنترلر براساس مدهای ارتعاشی با بعد محدود اسپیلاورهای در رویت پذیری و کنترل پذیری به وجود می‌آید. در طراحی کنترلر تلاش بر این است که از کوتاه سازی مدل که موجب پایین آمدن کارایی سیستم می‌شود، تا حد امکان اجتناب کرد. [۸ و ۹]

سه گام لازم برای کنترل یک ساختار انعطاف پذیر موارد زیر می‌باشد:

¹ Impulse damper

² Chatterjee

³ robustness

⁴ Spillover

- ۱-مدلسازی خوب از سیستم موجود
- ۲-کنترلر خوب، که با طراحی قابل درک باشد.
- ۳-ورودی کنترلر که باید با دانش مربوط به پاسخ دینامیکی سیستم ساخته شود.

۲-۱ مروری بر کارهای گذشته

در سال ۱۹۹۱ چورا^۱ و همکاران یک مجموعه معادلات دیفرانسیل حاکم برای حرکت صفحه‌ای یک تیر انعطاف پذیر نازک چرخان بدست آوردند. آنها هر دو اثر کششی^۲ و خمشی^۳ را در بدست آوردن معادلات حاکم، لحاظ کردند. با استفاده از مدل خمشی ساده که ساده‌ترین مدل در مطالعات کنترل می‌باشد، یک راهکار کنترل حلقه باز پیشخور^۴ ارائه کرده‌اند که می‌تواند تقریب کلی از یک مد ارتعاشی معین شده در حین حرکت در زمان بحرانی محدود را بدهد. اعتبار مدل‌های ساده شده نسبت به مدل‌های دیگر در سرعت‌های زاویه‌ای پایینتر از مقدار فرکانس طبیعی اول می‌باشد [۱۰].

در سال ۲۰۰۵ چنگ^۵ و ژو^۵ رفتارهای ارتعاشی یک سیستم یک درجه آزادی را با یک دمپر ضربه‌ای مورد بررسی قرار دادند و بیان درستی از مقدار میرای دمپر ضربه‌ای، جابه‌جایی اولیه در یک ساختار یک درجه آزادی، رابطه بین ضرایب ارتجاعی و نسبت میرایی ضربه ارائه کردند. آنها نشان دادند که کاهش موثر پاسخ ارتعاشات، تقریباً مستقل از تعداد ضربه می‌باشد. در این مطالعه، کاربردی از یک دمپر ضربه‌ای در میرا کردن ارتعاشات تیر یکسرگیردار چرخشی ثابت میکند که دمپرهای ضربه‌ای برای تضعیف پاسخ کوتاه ساختارهای با پایداری غیر شرطی بدون نیاز به درستی اطلاعات مدل، مناسب هستند [۱۱].

در سال ۲۰۰۸ کترجی برای کنترل فعال ارتعاشات عضوهای ساختاری انعطاف پذیر، میراکننده تکانه‌ای را ارائه کرد. میراکننده تکانه‌ای براساس مفهوم دمپر ضربه‌ای توصیف شده است. در این مطالعه تاثیر میراکننده تکانه‌ای در سبک کردن ارتعاشات آزاد، ارتعاشات اجباری و ارتعاشات خودتحریک سیستم یک درجه آزادی مورد بررسی قرار گرفته است سیستم یک درجه آزادی به همراه میراکننده تکانه‌ای در شکل ۱-۲-۱ نشان داده شده است. تاثیر پارامترهای مختلف بر کنترل بهینه در کنترل ارتعاشات آزاد مطالعه شده است. یک قانون کنترل دینامیکی در تولید فرمانهای هیستریزیس برای انبساط و انقباض میراکننده‌ای تکانه‌ای ارائه شده است. میراکننده تکانه‌ای از بلور

¹ Choura

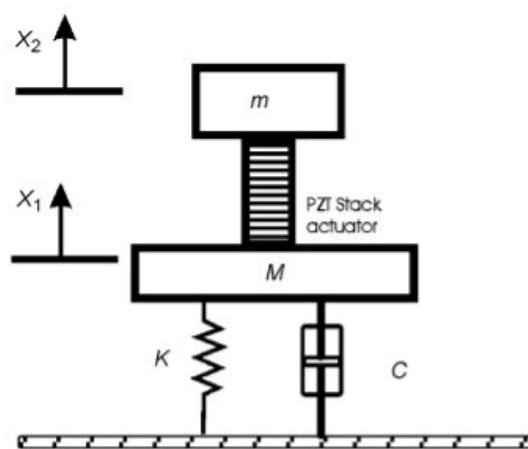
² extensional

³ flexural

⁴ Feed forward

⁵ Cheng and Xu

پیزوالکتریک (PZT) و یک جرم ثانویه (m) تشکیل شده که قادر به اعمال نیروی مناسب در جهت عکس تغییر شکل ساختار می باشد. این نیروی کنترلی با استفاده از خاصیت انقباض - انبساط بلور پیزوالکتریک و ولتاژ کنترلی ارسال شده به آن شکل می گیرد. میراکننده ای تکانه ای نیز به صورت یک سیستم یک درجه آزادی جرم M_p - فنر k_p - میراکننده c_p مدل شده است. کاربرد این طرح در اندازه های ماکرو تا میکرو مانند سیستم های میکرو الکترومکانیک، میکرو روباتها و دیگر ماشینهای در اندازه میکرو می باشد. این دمپر می تواند بدون نیاز به یک مدل ریاضی روشن از سیستم و اطلاعات دینامیکی کلی مربوط به آن، مورد استفاده قرار گیرد [۷].



شکل ۱-۲-۱: مدل ریاضی از میراکننده تکانه ای و سیستم یک درجه آزادی

در سال ۱۹۹۸ فنگ^۱ و همکاران یک تابع تبدیل غیر جبری یک ورودی-یک خروجی، طرح قطب- صفر برای یک تیر اویلر- برنولی که به سیستم بعد- نامحدود وابسته است، ارائه کردند. آنها در این مطالعه کنترل پذیری، رویت پذیری را برای پارامتر توزیع شده سیستم بررسی کردند و با بکارگیری کنترل فیدبک، یک محرک و سنسور قابل درک، بدون درگیر شدن با مدهای فرکانسی بالاتر طراحی را ارائه کردند [۸ و ۹].

در سال ۱۹۹۹ دیکن^۲، کنترل ارتعاشات یک تیر اویلر- برنولی الاستیک یکسرگردار چرخان را مورد مطالعه قرار داد و برای رسیدن به یک زاویه چرخش مطلوب از یک موتور فرمان یار^۳ و کنترل تناسبی- مشتقگیری^۴ استفاده کرد. نیروی برشی در ریشه تیر اندازه گیری شده، و در کنترل فیدبک ارتعاشات سر تیر استفاده شده است. روش جمع مدها و روشهای تلفیقی حوزه لاپلاس در

¹ Feng

² Diken

³ servomotor

⁴ PD