

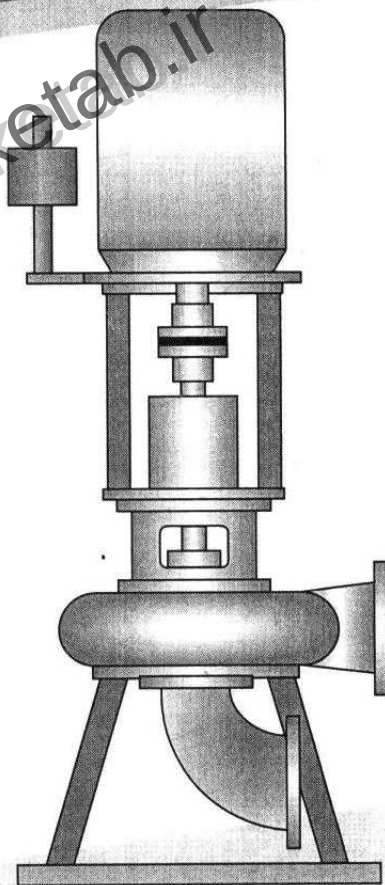
جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات

www.ketab.ir

دکتر غلامرضا راشد
دانشیار دانشگاه صنعت نفت
مهندس رضا فروتن



نویدان



این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر یا پخش کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه	: راشد، غلامرضا، ۱۳۴۱
عنوان و نام پدیدآور	: جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات / غلامرضا راشد، رضا فروتن
مشخصات نشر	: تهران، نوپردازان، ۱۴۰۰
مشخصات ظاهری	: دوازده، ۱۲۸ ص.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۹۷۵-۳۱۲-۶
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه
یادداشت	: نمایه
موضوع	: ارتعاش
موضوع	: Vibration
موضوع	: Dynamic
شناسه افزوده	: فروتن، رضا، ۱۳۷۴
رده‌بندی کنگره	: TA۳۵۵
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۰/۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۵۹۷۷۱

جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات

www.ketab.ir

تألیف	غلامرضا راشد، رضا فروتن
ناشر	نوپردازان
قطع	وزیری
نوبت چاپ	اول
تاریخ چاپ	۱۴۰۰
تیراژ	۲۰۰
صفحات	۱۲۸
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۹۷۵-۳۱۲-۶

دفتر انتشارات تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد غربی، پلاک ۲۱۵
تلفن ۶۶۵۶۸۰۹۶-۸

۴۰۰۰۰ تومان

خرید اینترنتی: www.nakketab.com ناک کتاب سایت رسمی فروش کتاب آیبز، نوپردازان و گهواره کتابیران

مرکز پخش کتابیران تلفن: ۶۶۴۱۴۴۷۴ - ۶۶۴۱۴۵۱۵ - ۶۶۴۱۱۱۷۳ - ۶۶۴۹۴۴۰۹ WWW.Ketabiran.ir

آغاز سخن

هدف و منظور از این کتاب دو مطلب می باشد:

(الف) تشریح تئوری حاکم بر طراحی جاذب های دینامیکی ارتعاشات، از سیستم خطی دو جرمی تا سیستم های چند جرمی و غیرخطی و پیوسته، میرا (دارای دمپر) و نامیرا (بدون دمپر)، در هر دو فاز اکتیو و پسیو.

(ب) تشریح کاربردهای عملی جاذب های دینامیکی ارتعاشات در بسیاری از زمینه های مهندسی از جمله وسایل نقلیه سطحی، هلیکوپتر، دودکش، پل، ابزار ماشینی، موتورهای الکتریکی و بسیاری دیگر.

این کتاب دارای ۶ فصل می باشد. فصل اول مروری بر برخی مبانی ارتعاشات است. فصل دوم درخصوص انواع مختلف جاذب های با پارامترهای مجزا متصل به سیستم های اصلی ارتعاشی با پارامترهای مجزا می باشد. فصل سوم درخصوص جاذب های با پارامترهای مجزا و جاذب های با پارامترهای پیوسته متصل به سیستم های اصلی ارتعاشی پیوسته، و همچنین جاذب های متفرقه دیگر می باشد. فصل چهارم برخی کاربردهای مهندسی جاذب های دینامیکی ارتعاشات را توصیف می کند. فصل پنجم درخصوص جاذب های ضربه ای ارتعاشات بوده و فصل ششم درخصوص جاذب های دینامیکی ارتعاشات اکتیو می باشد.

جاذب های دینامیکی ارتعاشات بیش از هزاران سال پیش از اینکه به فکر مهندسان برسند، در عالم خلقت به کار گرفته شده اند. دارکوب برای یافتن حفره هایی که ممکن است حشراتی در آن ها وجود داشته باشد، نوک خود را به درختان و ستون های چوبی می کوبد. این ضربه زدن به عنوان وسیله ای ارتباطی نیز به کار می رود. یک دارکوب در طول روز با نیروی قابل توجهی، حدوداً ۵۰۰ الی ۶۰۰ بار با فرکانس نسبتاً ثابت ۱۷ هرتز به درختان ضربه می زند و با این حال مغزش آسیب نمی بیند. سوسک مرگ^۱ برای برقراری ارتباط با جنس ماده، با سر خود با فرکانسی دقیقاً برابر با ۱۲ هرتز ضربه می زند و باز احتمالاً مغزش

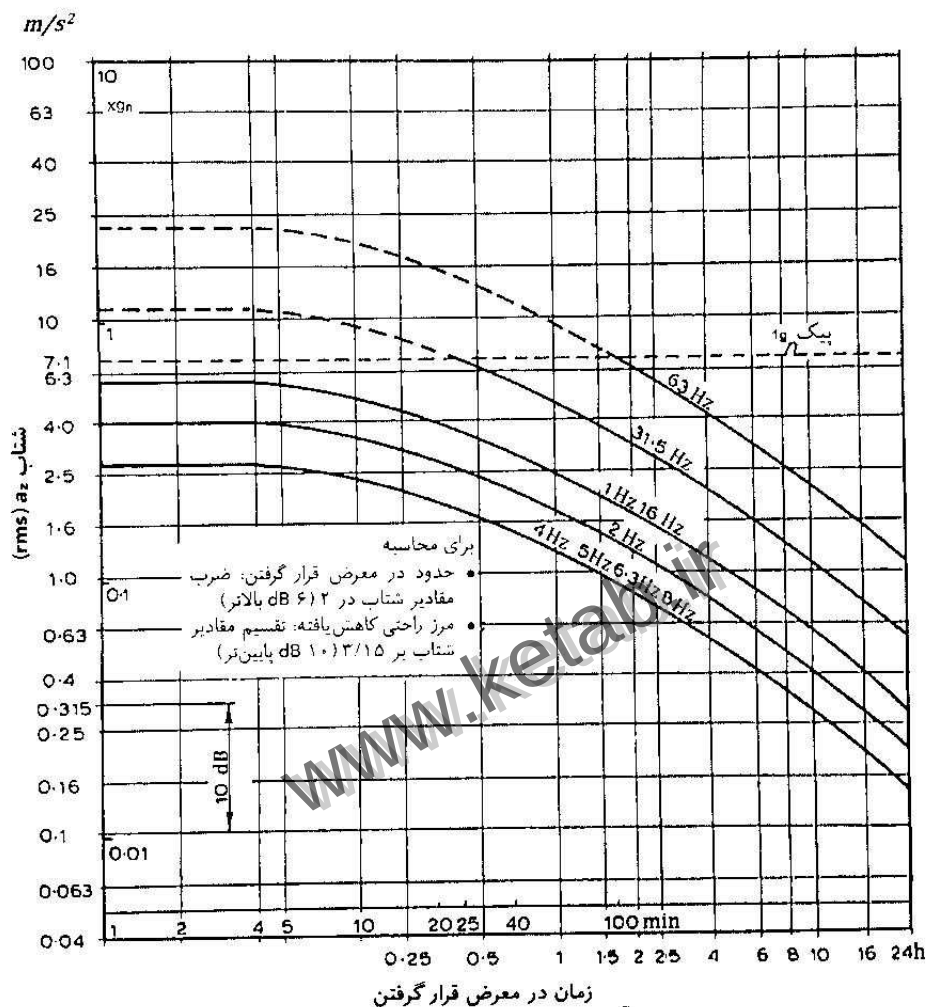
آسیب نمی‌بیند. ثابت بودن فرکانس ضربه زدن نشان‌دهنده‌ی جاذب دینامیکی ارتعاشات تنظیم شده دقیقی است، که به‌عنوان عاملی حمایتی دامنه‌ی ارتعاشات مغز در حجمه را به حداقل می‌رساند. به‌همین ترتیب زرده، سفیده و پوسته تخم یک پرنده، می‌تواند یک جاذب دینامیکی ارتعاشات را برای محافظت از جنین در برابر آسیب در طول مراحل شکل‌گیری تشکیل دهد. این واقعیت که سفیده تخم می‌تواند به‌عنوان یک دمپر مؤثر عمل کند، را می‌توان به‌راحتی اثبات کرد. یک تخم مرغ نیخته بردارید. با یک انگشت آن را روی یک سطح افقی در راستای محور عمودی نگه دارید. تخم مرغ را رها کنید و بنگرید که پس از افتادن، هیچ حرکت نوسانی‌ای رخ نمی‌دهد. در واقع حرکت به‌صورت میرایی فزاینده^۱ یا تپش مرده^۲ (ضربان صفر) می‌باشد. حالا تخم مرغ را بپزید و همین کار را تکرار کنید. در خواهید یافت که پیش از سکون چندین بار نوسان رخ خواهد داد.

این پدیده‌ی طبیعی در بیان مهندسی می‌تواند توضیح داده شود؛ با در نظر گرفتن پاسخ یک سیستم مکانیکی یک درجه آزادی که در معرض یک نیروی ارتعاشی خطی، که در فرکانسی برابر با فرکانس تشدید سیستم اعمال می‌شود، قرار گرفته است. پاسخ می‌تواند با اضافه کردن جرمی ثانویه که نسبت به سیستم اصلی حرکت داشته باشد کاهش یابد. این جرم دوم و تکیه‌گاه آن عموماً یک جاذب دینامیکی ارتعاشات نامیده می‌شوند. جرم دوم در حقیقت انرژی جذب نمی‌کند. تأثیر اضافه کردن جرم ثانویه در حقیقت دور کردن فرکانس تشدید از سیستم مکانیکی اصلی. در فرکانس اعمال شده نیروی تحریک ارتعاشی می‌باشد. با اضافه شدن جرم دوم سیستم یک درجه آزادی تبدیل به یک سیستم دو درجه آزادی و با دو فرکانس طبیعی (تشدید) می‌گردد که هیچکدام از این فرکانس‌های طبیعی سیستم منطبق بر فرکانس تحریک اعمال شده نخواهند بود. با تنظیم دقیق جاذب، پاسخ سیستم به نیروی ارتعاشی در فرکانس اعمالی، می‌تواند به مقادیر قابل چشم‌پوشی تقلیل یابد. بنابراین جاذب دینامیکی ارتعاشات نامیرا تنها برای سیستم با سرعت ثابت مؤثر است.

با اتصال دمپر به‌صورت سری با جرم ثانویه و موازی با تکیه‌گاه آن، پهنای باند فرکانسی که پاسخ سیستم در آن کاهش یافته، به‌طور قابل توجهی می‌تواند افزایش یابد؛ اگرچه کاهش در پاسخ به بزرگی کاهش پاسخ حاصل از جاذب‌های دینامیکی نامیرا به‌دست نخواهد آمد. وقتی از دمپر استفاده می‌شود، انرژی در دمپر سیستم ثانویه تلف شده و سیستم به یک جاذب دینامیکی ارتعاش واقعی تبدیل می‌گردد. نقش عملکردی جاذب دینامیکی ارتعاشات، سیستم را از دمپرهای ماده‌ای ارتعاش، یعنی آلیاژی با میرایی بالا یا الاستومرها و عایق‌های ارتعاشات^۳، متمایز می‌کند. صفت "خطی" حوزه‌ی بررسی در این کتاب را به حرکت در خط مستقیم محدود می‌کند، از این‌رو جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات پیچشی مطرح نخواهند شد. معایب حاصل از ناگزیر بودن در تنظیم جاذب، به‌گونه‌ای که تنها در پهنای باندی

بسیار باریک مؤثر است، با اضافه کردن یک سرومکانیسم^۱ که پاسخ‌ها و تغییرات پیوسته مشخصات تکیه‌گاه جرم و دمپر را مانیتور می‌کند، می‌تواند پوشش داده شود. از این‌رو پاسخ دلخواه در یک بازه فرکانس بسیار گسترده حاصل می‌شود. چنین سیستمی، جاذب دینامیکی ارتعاش اکتیو (فعال) نامیده می‌شود. همچنین سیستم ساده‌تر بدون بازخورده جاذب دینامیکی ارتعاش پسیو (غیرفعال) نام دارد. علت رغبت به جاذب دینامیکی ارتعاشات در آن است که این سیستم فرعی می‌تواند به یک ماشین موجود در حال کار (مکانیزم اصلی)، زمانی که در حین عملیات دامنه‌های ارتعاش بیش از اندازه ایجاد شود، و این مسئله موجب اثرات مخرب بر پرسنل و دستگاه یا نقص در دقت محصول شود، غالباً به‌عنوان اقدامی درمانی برای کاهش دامنه ارتعاشات افزوده شود. شاید اولین کاربرد ثبت شده از یک جاذب پسیو تنظیم شده نامیرا، برای استفاده درمانی مشابهی بوده باشد. در سال ۱۸۸۳ واتس (۱) نتایج آزمایشات خود بر یک کشتی جنگی ۹۲۰۰ تنی را منتشر کرد. این کشتی وقتی به یک جاذب نامیرا با وزن ۵۰ تن مجهز شد، دامنه چرخش به نصف کاهش پیدا کرد. جرم جاذب آب بود و سیستم با راه دادن آب به یک تانکر، تا زمان رسیدن به کمترین دامنه چرخش، تنظیم می‌شد. اثر مشابه می‌توانست با افزایش اندازه‌ی زبانه‌های بدنه بیرونی کشتی به دست بیاید، ولی افزایش سطح آب‌خور موجب کاهش در سرعت پیشینه گشته و عمق افزایش یافته زبانه نیز می‌تواند باعث کاهش مانورپذیری در بندر شود. تمایلات دریانوردی برای کاهش گردش کشتی، نه برای راحتی خدمه، که به‌علت نیاز برای بهبود دقت بالستیک به‌وسیله ثبات در سکوی توپ جنگی ترویج یافت! این کاربرد در تاریخ مورد علاقه و استفاده بوده است، اگر چه به‌علت اینکه کاملاً سیستمی پیشگامی می‌باشد، نباید در این کتاب جایی داشته باشد. شاید اولین کاربرد ثبت شده جاذب میرای ارتعاش پسیو، همانی باشد که در درخواست ثبت اختراع تکمیل شده توسط فرام (۲) در سال ۱۹۰۹ تشریح شده است. قسمتی از این درخواست عنوان می‌کند: "...ابزاری برای میرا کردن نوسانات جسم ثانویه، همچون ابزاری که با نیروی بزرگتری در قسمت‌های انتهایی حرکت‌های نوسانی جسم ثانویه عمل می‌کند..." که آن، جاذب دینامیکی ارتعاشات غیرخطی (یعنی، معادله حرکت جسم ثانویه یک معادله دیفرانسیل مرتبه دوم غیرخطی خواهد بود) می‌باشد.

جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات غالباً زمانی به ماشین‌ها و سازه‌ها وصل می‌شوند که شتاب ارتعاشات به‌اندازه کافی از باندهای فرکانس معینی که عامل آزدگی برای متصدیان ماشین و دیگر پرسنل می‌باشند، بزرگتر باشد. چهار فاکتور فیزیکی دارای اهمیت اصلی در محاسبه پاسخ انسانی به ارتعاش: شدت، فرکانس، جهت و مدت زمان (در معرض قرار گرفتن) ارتعاش، می‌باشند. استاندارد بین‌المللی مربوطه (ISO 2631-1978 (E)) سه شاخص عمده انسانی استفاده شده در محاسبه تأثیر این فاکتورهای فیزیکی را مشخص می‌کند. این فاکتورها به این شرح می‌باشند: (الف) حفظ بهره‌وری کار (ب) حفظ



شکل (الف): محدودیت‌های شتاب طولی (a_z) به عنوان تابعی از زمان در معرض قرار گرفتن و فرکانس (فرکانس مرکز از سومین باند اکتاو): "مرز چیرگی کاهش خستگی".
(این استخراجی از استاندارد بین‌المللی ISO 2631 پاز تولید شده با اجازه ISO می‌باشد. استاندارد کامل می‌تواند از ISO و نهادهای عضو آن دریافت گردد (در بریتانیا، مؤسسه استانداردهای بریتانیا)).

سلامت و ایمنی و (ج) حفظ آسایش و آسودگی. اولین شاخص محدودیتی را معین می‌کند که فراتر از آن در معرض ارتعاش قرار گرفتن، می‌تواند به عنوان حامل یک ریسک قابل ملاحظه از اختلال بهره‌وری کار در انواع وظایف در نظر گرفته شود، خصوصاً وظایفی که در آنها تأثیرات وابسته به زمان به عنوان کاهش‌دهنده کارایی شناخته می‌شوند؛ برای مثال در راندن وسیله نقلیه، مرز بهره‌وری کار در شکل (الف)

به عنوان تابعی از فرکانس و زمان قرار گرفتن در معرض ارتعاشات، برای تحریک طولی نشان داده شده است. باید ذکر گردد که حساس‌ترین طیف فرکانس از ۴ تا ۸ هرتز می‌باشد. مرز سلامت و ایمنی به همان فرم کلی است که در شکل الف نشان داده شده است. ولی سطوح متناظر، با فاکتور ۲ افزایش یافته‌اند. مرز آسایش و آسودگی تقریباً در یک سوم مرز بهره‌وری کار متناظر قرار می‌گیرد. مشخصاً محدودیت‌هایی برای سودمندی این استاندارد وجود دارد. مرزهای توصیف شده برای شرایط عادی شامل افراد سالم مناسب برای استرس یک روز کاری متوسط، تعیین شده‌اند. تنظیماتی نیاز است که برای موقعیت‌های خاص صورت پذیرد؛ برای مثال، زمان توصیف محدودیت‌های ارتعاش سازه مربوط به خانه‌های شخصی، خصوصاً در شب، یا اینکه آیا شخص برای آسایش و راحتی خود در وسیله نقلیه هزینه می‌کند یا خیر.

تحقیقات زیادی برای یافتن بهترین پارامترهای جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات صورت گرفته است. همچنین برای استحصال انرژی از سیستم‌های مکانیکی از سه شیوه الکترواستاتیک، الکترومگنتیک و پیزوالکتریک نیز استفاده شده است؛ که مواد پیزوالکتریک به دلیل استخراج چگالی بیشتر انرژی، مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. رفتار دینامیکی سیستم ارتعاشی اصلی در حضور سیستم‌های فرعی (جاذب دینامیکی ارتعاشات) مجهز به لایه‌های پیزوالکتریک و یا سیستم‌های فرعی از پیزوالکتریک و الکترومگنتیک نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست

آغاز سخن	۱
فصل ۱ پیش درآمد و مروری بر برخی مبانی ارتعاشات	۱
۱-۱ تعریف "جاذب دینامیکی ارتعاشات"	۱
۲-۱ اهمیت "جاذب دینامیکی ارتعاشات"	۲
۳-۱ روش های کنترل ارتعاشات ناخواسته سازه ها و ماشین ها	۲
۴-۱ پیشینه تاریخی	۳
۵-۱ مروری بر برخی مبانی ارتعاشات	۳
۶-۱ ارتعاش عرضی تیرها	۱۲
۷-۱ انتقال پذیری نیرو و جابجایی	۱۵
فصل ۲ جاذب های با پارامترهای مجزا متصل به سیستم های اصلی با پارامترهای مجزا	۲۱
۱-۲ سیستم اصلی میرا و جاذب میرا	۲۱
۲-۲ بهینه سازی جهت پایین ترین پاسخ دینامیکی بیشینه برای سیستم اصلی میرا و جاذب میرا	۲۳
۳-۲ سیستم اصلی نامیرا و جاذب میرا	۲۵
۴-۲ بهینه سازی برای پایین ترین پاسخ دینامیکی بیشینه با سیستم اصلی نامیرا	۲۶
۵-۲ حرکت نسبی بین سیستم اصلی و جاذب	۲۸
۶-۲ بهینه سازی برای میرایی بیشینه	۲۸
۷-۲ جاذب دینامیکی با میرایی جامد	۳۰
۸-۲ جاذب های دینامیکی با فتر غیرخطی	۳۲
۹-۲ اجزاء سه گانه و جاذب های دوگانه	۳۵
۱۰-۲ جاذب معمول دارای تحریک فرکانس مربعی	۳۵
۱۱-۲ خاصیت انتقال جابه جایی	۳۷
فصل ۳ "جاذب های با پارامترهای مجزا" و جاذب های با پارامترهای پیوسته "متصل به سیستم های اصلی پیوسته و جاذب های متفرقه"	۳۹
۱-۳ سیستم اصلی تیر یک سر گیردار و جاذب با پارامترهای مجزای میرا	۳۹
۲-۳ سیستم اصلی تیر یک سر گیردار با جاذب تیر یک سر گیردار میرا	۴۳
۳-۳ سیستم اصلی یک تیر یک سر گیردار و جاذب میرای ویسکوالاستیک	۴۴
۴-۳ تأثیر بارگذاری جرم بر ارتعاشات طولی یک میله	۴۵
۵-۳ سیستم اصلی نامیرای طولی و جاذب میرای با پارامترهای مجزا	۴۷
۶-۳ سیستم اصلی پانل و جاذب دینامیکی میرای شبه صفحه ای	۴۹
۷-۳ جاذب آونگی گریز از مرکزی	۵۳
۸-۳ جاذب ارتعاشی پارامتر خودکار (خود تنظیم)	۵۶

فصل ۴ کاربردهای جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات پسیو مستقیم الخط

- ۵۹ ۱-۴ کاربرد در ماشین‌های زمین‌پیما (حرکت‌کننده بر زمین)
- ۵۹ ۲-۴ کاربرد در کامیون‌های سنگین
- ۶۱ ۳-۴ کاربرد در واگن‌های حمل و نقل راه‌آهن
- ۶۳ ۴-۴ کاربرد در مجموعه موتور- ژنراتور
- ۶۶ ۵-۴ کاربرد جهت کاهش ارتعاش تیر
- ۶۸ ۶-۴ کاربرد در پایه‌ی یاتاقان ژنراتور
- ۷۱ ۷-۴ کاربرد در فونداسیون (پی) کمپرسور
- ۷۱ ۸-۴ کاربرد در پل پیاده‌رو
- ۷۲ ۹-۴ کاربرد در یک دودکش ۲۰۰ متری
- ۷۵ ۱۰-۴ کاربرد در کابل‌های معلق
- ۷۶ ۱۱-۴ کاربرد در ماشین تراش‌های (صورت تراش، ریش تراش) الکتریکی
- ۷۷ ۱۲-۴ کاربرد در آویزهای کف جاده‌ی پل معلق
- ۷۸ ۱۳-۴ کاربرد در ارتعاشات بدنه و پوسته کشتی
- ۸۰ ۱۴-۴ کاربرد در سازه‌های چلند خفیه
- ۸۱ ۱۵-۴ کاربرد در هلیکوپترها
- ۸۳

فصل ۵ دمپرهای شتابی یا جاذب‌های ضربه‌ای ارتعاشات

- ۸۷ ۱-۵ تئوری جاذب ضربه‌ای ارتعاشات
- ۸۷ ۲-۵ پایداری جاذب ضربه‌ای ارتعاشات
- ۹۱ ۳-۵ کاربرد در تیغه‌های توربین بخار
- ۹۳ ۴-۵ کاربرد در سازه‌های بلند
- ۹۵ ۵-۵ کاربرد در ماشین‌های برش فلز
- ۹۶

فصل ۶ جاذب‌های اکتیو با پارامترهای مجزا، متصل شده به سیستم‌های اصلی با پارامترهای مجزا، و

- ۹۹ سیستم‌های اصلی پیوسته
- ۹۹ ۱-۶ مقایسه‌ی "جاذب‌های دینامیکی ارتعاشات" اکتیو و پسیو
- ۱۰۳ ۲-۶ کاربرد در هلیکوپترها
- ۱۰۵ ۳-۶ کاربرد در تیرها
- ۱۰۶ ۴-۶ کاربرد در صندلی هواپیما
- ۱۰۷ ۵-۶ جاذب الکترو دینامیکی ارتعاشات