



ارتعاشات مکانیکی

(جلد اول)

ویلیام جی پالم

ترجمہ

دکتر انوشیروان فرشیدیان فر — مهندس ندا نیک مهر

سرشناسه:	پالم، ویلیام جان، ۱۹۴۴ م - Palm, William John
عنوان و پدید آور:	ارتعاشات مکانیکی (جلد اول) / تألیف ویلیام جی پالم؛ ترجمه انوشیروان فرشیدیان فر، ندا نیک مهر.
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری:	۸۱۶ ص.
فروست:	(انتشارات دانشگاه فردوسی، ۵۴۳).
شابک:	۱۱۵۰۰۰ ریال (ISBN: 978-964-386-04-212-1)
وضعیت فهرست نویسی:	فیفا.
یادداشت:	عنوان اصلی: Mechanical vibration, c 2007.
موضوع:	ارتعاش.
موضوع:	میرایی (مکانیک).
شناسه افزوده:	فرشیدیان فر، انوشیروان، مترجم.
شناسه افزوده:	نیک مهر، ندا، ۱۳۶۴ - ، مترجم.
رده بندی کنگره:	۱۳۸۸ الف ۲ پ / TA ۳۵۵
رده بندی دیویی:	۶۲۰/۳
شماره کتابخانه ملی:	۱۸۷۳۰۱۵



کتابخانه ملی ایران

انتشارات، شماره ۵۴۳

ارتعاشات مکانیکی

(جلد اول)

تألیف

ویلیام جی پالم

ترجمه

دکتر انوشیروان فرشیدیان فر - مهندس ندا نیک مهر

وزیری، ۸۱۶ صفحه، ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول، پاییز ۱۳۸۸

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

بها: ۱۱۵۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

۱۱	پیشگفتار مترجم
۱۳	پیشگفتار مولف
۲۱	فصل اول : آشنایی با ارتعاشات مکانیکی
۲۲	۱-۱ مقدمه
۲۵	۲-۱ توصیف حرکت ارتعاشی
۲۶	حرکت هارمونیک ساده
۲۷	انواع توابع هارمونیک
۲۹	نوسانات دارای دامنه نمایی
۳۲	فرمول اولر (Euler) و اعداد مختلط
۳۴	ریشه ها و اعداد مختلط
۳۶	واحدها
۳۸	۳-۱ عناصر فیزی
۳۹	روابط نیرو- تغییر شکل
۴۰	آزمون کششی میله
۴۲	روابط ثابت فنر
۴۴	روش تحلیلی تعیین ثابت فنر
۴۶	عناصر های فیزی پیچشی
۴۹	عناصر فیزی موازی و متوالی
۵۲	خطی سازی
۵۶	روش تحلیلی خطی سازی
۵۸	روابط فنر غیر خطی
۶۴	۴-۱ عناصر میرایی
۶۵	میراگر
۶۶	نمادهای میراگر
۶۷	مکانیزم بستن درب
۶۹	جاذب های ارتعاشی
۷۴	عناصر میرایی لزج
۸۰	میراگرهای متوالی و موازی

۴ ارتعاشات مکانیکی

۸۲	۵-۱ تقریب پارامترها
۸۳	تعیین توابع به کمک داده ها
۸۸	روش حداقل مربعات
۸۹	مدل خطی کلی
۹۵	ساخت مدلی که از یک نقطه داده شده بگذرد
۹۶	یافتن تابعی با توان مشخص
۹۷	کیفیت تابع بدست آمده در تقریب
۹۹	۶-۱ استفاده از نرم افزار MATLAB
۱۰۳	یافتن تابع درجه ۳ جهت مدل فنی
۱۰۵	۷-۱ خلاصه فصل
۱۰۷	مسائل

فصل دوم : مدل های یک درجه آزادی

۱۲۵	۱-۲ سینماتیک و درجات آزادی
۱۲۷	انواع حرکت صفحه ای
۱۲۸	مختصات و درجات آزادی
۱۳۲	۲-۲ حرکت صفحه ای جسم صلب
۱۴۰	چرخش حول یک محور ثابت
۱۴۲	محاسبه اینرسی
۱۴۴	دینامیک پولی
۱۴۷	حرکت صفحه ای عمومی
۱۴۸	انتقال منحنی الخط
۱۵۱	بررسی مجدد آونگ
۱۵۳	حرکت لغزشی نسبت به حرکت غلتشی
۱۵۸	۳-۲ روش های کار-انرژی
۱۶۰	پایستاری انرژی مکانیکی
۱۶۰	انرژی پتانسیل گرانشی
۱۶۳	انرژی پتانسیل الاستیک
۱۶۳	انرژی و حرکت چرخشی
۱۶۴	قانون کار و انرژی
۱۶۵	۴-۲ روش های ضربه-مومنتوم
۱۷۰	قانون ضربه-مومنتوم خطی
۱۷۰	

فهرست ۵

۱۷۳	قانون ضربه-مومنتوم زاویه ای
۱۷۵	ضربه
۱۷۵	کاربرد مطالب فوق در حرکت جسم صلب
۱۸۱	۵-۲ جرم و اینرسی معادل
۱۸۳	جرم معادل چرخ
۱۸۵	جرم معادل چرخ دستی
۱۸۷	اینرسی معادل
۱۸۹	جرم معادل المان های فنری
۱۹۱	جرم معادل سایر فنرها
۱۹۴	مبدل های مکانیکی
۱۹۴	سیستم های دارای چرخ دنده
۱۹۸	۶-۲ سیستم شامل المان های فنری
۱۷۸	عناصر فنری ایده آل در مقایسه با حالت واقعی
۱۹۹	اثرات طول آزاد فنر و هندسه جسم
۲۰۱	در نظر گرفتن وضعیت تعادل به عنوان مرجع مختصات
۲۰۵	ورودی های جابجایی
۲۰۸	۷-۲ خلاصه فصل
۲۱۰	مسائل
۲۳۳	فصل سوم : بررسی ارتعاشات آزاد سیستم های یک درجه آزادی
۲۳۵	۱-۳ پاسخ سیستم مرتبه یک
۲۳۸	روش جرم مجازی
۲۳۹	سیستم های دارای چرخش مطلق
۲۴۰	اتلاف توان در میرایی
۲۴۳	۲-۳ ارتعاشات آزاد نامیرا
۲۴۳	فرکانس طبیعی سیستم ω_n
۲۴۴	پاسخ عمومی جهت ارتعاشات آزاد
۲۴۵	شرایط اولیه
۲۵۰	حرکت هارمونیک ساده
۲۵۴	سیستم های چرخشی
۲۵۶	تقریب زاویه کوچک
۲۵۸	روش خطی سازی عمومی
۲۵۸	خطی سازی و ثابت های فنری

۶ ارتعاشات مکانیکی

۲۶۵	۳-۳ روش ریلی
۲۷۲	۴-۳ ارتعاشات آزاد دارای میرایی ویسکوز
۲۷۵	حالت فوق میرا
۲۷۵	حالت میرایی بحرانی
۲۷۶	حالت کم میرا
۲۷۸	تقریب ریشه غالب
۲۹۰	۵-۳ تحلیل ریشه های مشخصه
۲۹۱	نسبت میرایی
۲۹۴	فرکانس های طبیعی و میرای نوسان
۲۹۵	تعبیر ترسیمی
۲۹۹	کاهش لگاریتمی
۳۰۴	نمایش ترسیمی حرکت ریشه ها
۳۰۴	تغییر ثابت فنر
۳۰۶	تغییر ثابت میرایی
۳۰۹	تغییر جرم
۳۱۱	۶-۳ پایداری
۳۱۸	پایداری کلی و محلی
۳۱۹	دقت مدل های خطی شده
۳۲۰	۷-۳ مدل های ارتعاشی با میرایی ویسکوز
۳۳۵	۸-۳ ارتعاشات آزاد دارای میرایی کولمب
۳۳۹	۹-۳ توابع حل کننده های ode در MATLAB
۳۴۱	معرفی توابع حل کننده
۳۴۵	کاربرد حل کننده های MATLAB در معادلات مرتبه بالاتر
۳۴۹	۱۰-۳ آشنایی با Simulink
۳۵۱	دیاگرام های شبیه سازی
۳۶۵	خلاصه
۳۶۶	۱۱-۳ خلاصه فصل
۳۶۸	مسائل

۴۰۳ فصل چهارم : پاسخ هارمونیک سیستم های یک درجه آزادی

۴۰۴	۱-۴ روش یافتن پاسخ هارمونیک
۴۰۵	پاسخ حالت آزاد

فهرست ۷

۴۰۵	پاسخ سینوسی با ریشه های مختلط
۴۰۹	پاسخ حالت پایدار
۴۱۳	نسبت بزرگ نمایی و تابع تبدیل فرکانسی
۴۱۴	تابع تبدیل
۴۱۶	رابطه بین دو تابع تبدیل
۴۱۸	استفاده از پارامترهای بدون بعد
۴۲۳	نمودار های لگاریتمی
۴۲۶	۲-۴ رزونانس و پهنای باند
۴۲۸	پدیده تپش
۴۳۰	تشدید
۴۳۳	تشدید و راه اندازی
۴۳۴	پهنای باند
۴۳۹	طراحی تجهیزات
۴۴۳	۳-۴ تحریک پایه
۴۴۴	انتقال پذیری جابجایی
۴۴۷	انتقال پذیری نیرویی
۴۵۳	۴-۴ نامیزانی دورانی
۴۵۵	جداسازی ارتعاشی و نامیزانی دورانی
۴۶۰	۵-۴ سرعت بحرانی محورهای دوار
۴۶۷	۶-۴ میرایی معادل
۴۶۸	انرژی تلف شده در دمپر ویسکوز
۴۶۹	میرایی معادل با استفاده از پاسخ تشدید
۴۷۰	میرایی هیستریک
۴۷۶	میرایی مجذور سرعت
۴۷۷	۷-۴ ارتعاشات اجباری دارای میرایی کولمب
۴۸۱	۸-۴ پاسخ غیر خطی
۴۸۳	مشخصات مدل های دینامیکی غیر خطی
۴۸۶	تحلیل پایداری معادله دافینگ به روش خطی سازی
۴۹۱	پاسخ حالت آزاد یک سیستم غیر خطی
۴۹۲	پاسخ هارمونیک معادله دافینگ
۴۹۴	نمودارهای صفحه فاز و چرخه های حدی
۴۹۶	خلاصه ای از مشخصات پاسخ غیر خطی
۴۹۷	۹-۴ پاسخ فرکانسی به کمک MATLAB

۸ ارتعاشات مکانیکی

۴۹۸	روش های تابع تبدیل
۵۰۰	تابع <code>lsim</code>
۵۰۱	تابع <code>bode</code>
۵۰۶	تابع <code>evalfr</code>
۵۰۷	تابع <code>freqresp</code>
۵۰۷	۴-۱۰ کاربردهای Simulink
۵۰۸	شبیه سازی مدل های تابع تبدیل
۵۱۶	پاسخ اجباری یک سیستم دارای اصطکاک کولمب
۵۲۲	بلوک Dead Zone
۵۲۶	۴-۱۱ خلاصه فصل
۵۲۹	مسائل

فصل پنجم: پاسخ اجباری عمومی

۵۴۷	۵-۱ پاسخ به ورودی های تناوبی عمومی
۵۴۹	سری فوریه
۵۵۲	پاسخ حالت پایدار حاصل از یک تابع نیرویی تناوبی
۵۵۵	طیف پاسخ
۵۶۰	۵-۲ تبدیل لاپلاس
۵۶۶	تعریف و توضیح روش
۵۶۷	خواص تبدیل لاپلاس
۵۷۲	بسط کسره های جزئی
۵۷۳	تبدیل توابع سینوس و کسینوس
۵۷۵	پاسخ بر حسب ζ و ω_n
۵۷۵	سایر خواص تبدیل
۵۷۶	۵-۳ پاسخ اجباری با استفاده از تبدیل لاپلاس
۵۷۷	کاربرد در سیستم های یک درجه آزادی
۵۷۸	تابع تبدیل
۵۷۹	تعیین پاسخ
۵۷۹	حالت عمومی
۵۸۲	حالت ریشه های حقیقی مجزا
۵۸۲	حالت ریشه های تکراری
۵۸۵	محاسبات پاسخ در حالت ریشه های مختلط
۵۸۸	

فهرست ۹

۵۹۰	شکل های دیگری از پاسخ پله
۵۹۱	تحلیل پاسخ پله
۵۹۵	خصوصیات پاسخ گذرا
۶۰۴	۴-۵ مثال های بیشتری در رابطه با پاسخ سیستم ها
۶۱۹	پاسخ به شکل تابع سینوسی با انتقال فاز
۶۲۵	کاربرد قانون انتقال
۶۳۰	۵-۵ پاسخ پالس و ضربه
۶۳۱	تابع پالس
۶۳۲	تابع ضربه
۶۳۳	پاسخ ضربه یک مدل مرتبه اول
۶۳۴	پاسخ ضربه یک مدل مرتبه - دو
۶۳۶	قابلیت کاربرد قضیه مقدار اولیه
۶۳۶	کاربردهای برخورد
۶۴۱	تأثیر دینامیک صورت
۶۴۲	تقریب پاسخ پالسی
۶۴۳	شوک
۶۴۷	۶-۵ MATLAB و تبدیل لاپلاس
۶۵۱	۷-۵ کاربردهای MATLAB
۶۵۲	تابع freqresp
۶۵۲	محاسبه ضرایب سری فوریه
۶۵۴	تابع Step
۶۶۰	تابع impulse
۶۶۳	تابع Isim
۶۶۴	۸-۵ کاربردهای Simulink
۶۶۵	توابع نیرویی تناوبی
۶۶۸	توابع نیرویی غیرتناوبی
۶۶۸	۹-۵ خلاصه فصل
۶۷۰	مسائل
۶۹۳	فصل ششم: سیستم های دو درجه آزادی
۶۹۵	۶-۱ مدل های سیستم های دو درجه آزادی
۷۰۷	پاسخ حالت آزاد

۱۰	ارتعاشات مکانیکی
۷۱۳	صرف نظر کردن از میرایی
۷۱۳	۲-۶ معادلات لاگرانژ
۷۱۴	مختصات عمومی
۷۱۵	نیروی عمومی
۷۱۹	۳-۶ مودها و پاسخ سیستم
۷۲۶	مودها و میرایی
۷۲۷	مودها، مدل‌های متغیر حالت و پایداری
۷۲۹	تأثیر شرایط اولیه
۷۳۲	۴-۶ پاسخ هارمونیک
۷۳۳	توابع تبدیل فرکانسی
۷۳۶	تفسیر نمودار فازی
۷۳۷	۵-۶ پاسخ اجباری عمومی
۷۳۸	توابع تبدیل سیستم‌های تعلیق
۷۴۰	پاسخ پله
۷۴۳	گزینه‌های دیگری به جای ورودی پله
۷۴۵	۶-۶ گره‌ها و پاسخ مودال
۷۵۳	ایزولاسیون سواری و طراحی سیستم تعلیق خودرو
۷۵۴	کیفیت سواری
۷۵۶	۷-۶ تحلیل مکان هندسی ریشه‌ها با MATLAB
۷۵۷	قرار دادن شبکه (ζ, ω_n)
۷۵۸	بدست آوردن اطلاعات از نمودار
۷۶۴	۸-۶ تحلیل پاسخ به کمک MATLAB
۷۶۶	تعیین پاسخ حالت آزاد
۷۶۸	بدست آوردن توابع تبدیل و پاسخ اجباری
۷۶۹	تعیین نسبت‌های مود
۷۷۲	تعیین عباراتی برای پاسخ
۷۷۳	۹-۶ کاربردهای Simulink
۷۸۰	۱۰-۶ خلاصه فصل
۷۸۲	مسائل
۷۹۹	واژه نامه انگلیسی فارسی
۸۱۵	فهرست منابع و مآخذ

پیشگفتار مترجم

مکانیک بهشت ریاضیات است زیرا در اینجا است که ما به زیبایی‌های ریاضیات پی می‌بریم.
لئوناردو داوینچی

بدون تردید یکی از دستاوردهای مهم بشر در حال حاضر توسعه دانش مهندسی مکانیک می‌باشد. این علم در واقع تلفیقی از چند قانون فیزیکی و ریاضیات کاربردی است. این علم از مدتها پیش شروع شده اما از قرن شانزدهم میلادی تاکنون به صورت یک علم کلاسیک درآمده است.

مبحث دینامیک بخشی از علم مکانیک است که به رفتار اجسام در حال حرکت می‌پردازد و تغییرات پدیده‌ها را در مسیر زمان بررسی می‌کند. در میان حرکات و تغییرات جهان هستی، نوع تکراری و تناوبی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند زیرا بسیاری از این پدیده‌ها از نوع پریودیک می‌باشند. شاخه‌ای از علم دینامیک که به بررسی اینگونه پدیده‌ها می‌پردازد ارتعاشات نامیده می‌شود. با یک بررسی اجمالی شاید بتوان ادعا کرد که ارتعاشات یکی از مهمترین پدیده‌های دینامیکی اطراف ماست که در زمینه‌های مختلف مهندسی و غیر مهندسی کاربرد فراوانی دارد.

دانش کامل از این پدیده باعث استفاده صحیح از مزایای مفید و جلوگیری از آثار مخرب آن می‌شود. خوشبختانه پس از گسترش وسیع علم و تکنولوژی، امروزه اهمیت این علم برای محققین و دانشمندان بیش از پیش روشن شده و مقالات و کتب بیشتری در این زمینه منتشر می‌شود.

در بین کتابهای موجود در زمینه ارتعاشات (که هر روز بر تعداد آنها افزوده می‌شود) به جرات می‌توان گفت که کتاب حاضر حاوی تمام مزایای یک کتاب به روز و جدید درسی است، که شامل تئوری و کاربرد ارتعاشات می‌باشد. این کتاب که توسط پروفسور پالم، استاد دانشگاه رودآیلند آمریکا نوشته شده است حاصل سالها تجربه و کارهای صنعتی نامبرده است که در این کتاب ارزشمند خلاصه شده است.

با توجه به حجم بالای مطالب این کتاب در دو جلد یک و دو ترجمه شده است، که جلد اول شامل شش فصل اول کتاب بوده که عموماً برای درس ارتعاشات در دوره کارشناسی پیشنهاد می‌شود در جلد دوم که حاوی پنج فصل باقیمانده کتاب می‌باشد جهت دوره کارشناسی ارشد و دکترای توصیه می‌شود.

ترجمه کتاب حاضر حاصل تجربه و تدریس بیست ساله اینجانب در درس ارتعاشات در دوره‌های کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای می‌باشد. در ترجمه کتاب رعایت امانت‌داری در حفظ و متن اصلی شده است و تا حد امکان سعی شده از کلمات، عبارات و جملات واضح و قابل فهم استفاده شود و در جایی که ابهام در ترجمه وجود داشته باشد کلمات مترادف انگلیسی در زیرنویس صفحات نوشته شده، همچنین در انتهای کتاب واژه‌نامه انگلیسی-فارسی کلمات کلیدی آورده شده است. بنابراین کتاب حاضر را شاید بتوان به عنوان یک مرجع مفید جهت درس ارتعاشات و تحلیل سازه‌های دینامیکی جهت دانشجویان رشته‌های مهندسی مکانیک و عمران در نظر گرفت.

به جاست که از همه دست‌اندرکاران تهیه این کتاب در خود کتاب تشکر نمایم. لذا از همکاران محترم معاونت پژوهشی دانشگاه و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد که کار چاپ و نشر را به عهده داشته‌اند، از آقای دکتر حمید اختراعی طوسی که با دقت فراوان ویرایش علمی کتاب را متقبل شده‌اند و آقای قندهاری که بخش ویراستاری ادبی کتاب را انجام دادند و آقای محمدحسین فرشیدیان‌فر که در بازبینی متن اصلی همکاری داشته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از کلیه صاحب‌نظران و خوانندگان گرامی تقاضا دارم غلط‌هایی را که علی‌رغم کوشش فراوان باز هم ممکن است در کتاب یافت شوند متذکر شوند تا انشا... در چاپ‌های بعدی تصحیح شود.

انوشیروان فرشیدیان‌فر
دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد
پاییز ۱۳۸۸

پیشگفتار مولف

اهداف کتاب:

در فصول مختلف این کتاب، مدل سازی، تحلیل و طراحی سیستم های ارتعاشی به کمک تمرین ها و مثال های گوناگون، بیان کاربرد ها و استفاده از نرم افزارهای جدید آموخته می شود. سیستم های ارتعاشی بسیار گسترده و مختلف هستند - از جمله مثال های ملموس می توان به ارتعاشات چوب بیس بال (base ball) در هنگام ضربه به توپ و لرزش زمین به علت زلزله اشاره کرد - . شناخت مبانی ارتعاشات، به مهندسان کمک می کند تا محصولات و سیستم هایی را طراحی کنند که لرزش های ناخواسته در آنها از بین رفته یا کنترل شده است. تحلیل ارتعاشی از مدل ریاضی سیستم شروع شده که علاوه بر سادگی باید دارای جزئیات کافی جهت شناخت رفتار سیستم باشد. در نتیجه برای رسیدن به این مهم، شناخت کافی دینامیک مسائل در تحلیل و مدل سازی مکانیزم ها، بسیار ضروری است. به همین دلیل در فصل ۲ مقدمه ای در رابطه با شناخت دینامیک سیستم های ارتعاشی ارائه می شود. فصل های بعد شامل مسائل پیچیده تر به همراه مجموعه ای از مثال های ارزشمند، کاربرد ها و تمرینات جهت آماده سازی برای مدل کردن و تحلیل دامنه گسترده ای از مسائل ارتعاشی می باشد. روش های کامپیوتری در مدل سازی و تحلیل ارتعاشات مکانیکی بسیار مفید هستند. ABET استفاده از ابزارهای جدید مهندسی را در برنامه آموزشی تقویت کرده است. در این کتاب از نرم افزار MATLAB که معمول ترین برنامه مورد استفاده مهندسان می باشد و از Simulink جهت شبیه سازی و تحلیل استفاده شده است. در انتهای اکثر فصول بخش MATLAB یا Simulink برای نشان دادن چگونگی استفاده از این ابزارها جهت حل مسائلی که با روش های تحلیلی سازگار نیستند، ارائه می شود.

ویژگی‌های کتاب:

متن کتاب:

۱. بکار بردن دانش ریاضی به منظور حل مسائل ارتعاشات مهندسی. فصل ۲ شامل یادآوری قوانین دینامیک مورد نیاز فصول بعد می باشد. در مورد معادلات دیفرانسیل و جبر ماتریسی در فصول مختلف بر حسب نیاز در حل مسائل ارتعاشی، بحث می شود.
۲. تمرینات کافی جهت شناخت، فرمول بندی و حل مسائل ارتعاشی. مثال های مختلف و مسائل، امکان بکاربردن مباحث مطرح شده در این کتاب را برای شبیه سازی، تحلیل و حل مسائل مختلف، ایجاد می کند.
۳. استفاده از ابزارهای جدید مهندسی:
 - هر کدام از فصول در انتها شامل بخش MATLAB جهت نشان دادن چگونگی استفاده از این ابزار استاندارد مهندسی برای حل مسائل ارتعاشی، می باشد. ضمیمه A آشنایی با نرم افزار MATLAB را برای افرادی که شناخت کافی نسبت به آن ندارند، ارائه می کند.
 - فصل های ۴ و ۵ و ۸ توابع MATLAB را در جعبه ابزار Control system جهت کاربردهای ارتعاشی، معرفی می کند.
 - یکی از ویژگی های منحصر به فرد کتاب، آشنایی با Simulink در زمینه ارتعاشی است. در این ابزار استفاده از محیط گرافیکی جایگزین برنامه نویسی شده است که کاربرد آن را ساده تر می کند. Simulink زمانی مناسب است که نوشتن برنامه MATLAB جهت حل مسائل ارتعاشی مشکل باشد مانند مدل کردن تاثیرات اصطکاک خشک و یا شبیه سازی سیستم هایی که دارای خصوصیات غیر خطی هستند.
 - در فصل ۱۱ روش اجزا محدود که تحلیل دقیق تری نسبت به روش مدل سازی سیستم با اجزای متمرکز ارائه می کند، بیان شده که مسائل پیچیده را نسبت به معادلات دیفرانسیل جزئی، آسان تر حل می کند.

۴. در این کتاب اطلاعات کافی در زمینه طراحی و تحلیل داده های تجربی ارائه شده است:
- فصل ۱: شامل مباحث منحصر به فرد برای استفاده از روش حداقل مربعات جهت مشخص کردن سختی و میرایی با توجه به داده ها، می باشد.
 - فصل ۹: به مطالعه روش های اندازه گیری ارتعاشات و تست کردن سیستم ها و همچنین معرفی سخت افزار مورد نیاز برای تولید ارتعاشات در مکانیزم ها و اندازه گیری پاسخ، پرداخته شده است. جهت تحلیل داده ها نیاز به شناخت الگوریتم ها و نرم افزارهای لازم، می باشد. در این فصل استفاده از نرم افزار MATLAB برای یافتن فرکانس های طبیعی توسط داده های آزمایشگاهی آموزش داده می شود.
 - ۵. در ابتدای هر فصل مقدمه ای کوتاه در زمینه مطالب آن قسمت ارائه می شود.
 - ۶. خلاصه ای از مباحث هر فصل در انتهای آن بیان می شود.
 - ۷. در فصل ۷ به مطالعه روش کنترل فعال ارتعاشات در تجهیزات ورزشی پرداخته شده است.

محتوای کتاب:

فصل ۱ شامل مقدمه ای بر تئوری پایه ارتعاشات و المان های فنر و دمپر است. همچنین چگونگی استفاده از روش حداقل مربعات، جهت تعیین سختی و میرایی توسط داده ها، بررسی می شود. مبحث مذکور معمولاً در کتاب های ارتعاشی مطرح نمی شود اما مورد نیاز مهندسان در هنگام کار با تجهیزات واقعی است.

بسیاری از مسائل و روش های تحلیلی ارتعاشی توسط مدل سیستم های یک درجه آزادی توضیح داده میشود که در فصل ۲ به مطالعه آنها پرداخته شده است. معادله دیفرانسیلی حرکت سیستم ها به کمک قانون نیوتن تعیین شده و روش های دیگری نیز که نیاز به نوشتن معادله حرکت ندارند توضیح داده می شوند: مانند روش های انرژی و روش ضربه - مومنتوم. در این فصل همچنین مباحثی در زمینه چگونگی بدست آوردن جرم و اینرسی معادل سیستم ها بیان شده

که مدل کردن مکانیزم های دارای اعضای چرخشی و انتقالی و سیستم های دارای جرم گسترده را آسان می کند.

در فصل ۳ روش بدست آوردن پاسخ ارتعاشات آزاد سیستم های میرا و غیر میرا یک درجه آزادی بیان می شود. این فصل شامل مثال های گوناگونی از سیستم های دارای میرایی ویسکوز و کولمب است و همچنین دو قسمت مجزا جهت معرفی روش های کامپیوتری تحلیل و شبیه سازی سیستم ها، اختصاص داده شده است.

در فصل ۴ روش نیوتن جهت یافتن پاسخ سیستم های ارتعاشی یک درجه آزادی تحت تحریک هارمونیک ارائه شده و دو خصوصیت مهم این سیستم ها - رزونانس و پهنای باند - بررسی می شود. منابع میرایی به غیر از منابع خطی مثل هیستریزیس، نیروی درگ سیال و اصطکاک کولمب، باعث ایجاد مشخصات غیر خطی در مکانیزم می شوند و این بخش شامل مبحثی در زمینه تاثیرات عوامل غیر خطی بر پاسخ سیستمها است. در این فصل توابع گوناگونی از نرم افزار MATLAB که برای تحلیل پاسخ اجباری هارمونیک سیستم ها مناسب است و همچنین دستورات Simulink جهت شبیه سازی سیستم های غیر خطی که در MATLAB و سایر نرم افزارها مشکل است، ارائه شده است.

در فصل ۵ روش تعیین پاسخ سیستم های یک درجه آزادی تحت تحریک توابع نیرویی غیرهارمونیک مطالعه می شود. با استفاده از سری فوریه می توان عبارت پرلودیک معادل تابع غیر هارمونیک را بر حسب سینوس و کسینوس بدست آورده و سپس نتایج فصل ۴ را جهت یافتن پاسخ بکار بریم. در ادامه این بخش تبدیل لاپلاس معرفی شده که این روش در مشخص کردن پاسخ سیستم های خطی با هر درجه و تحت تحریک هر نوع نیرو، بسیار مفید می باشد. در این فصل چگونگی استفاده از تبدیل لاپلاس در نرم افزار MATLAB نیز نشان داده می شود. در انتهای بخش، پروسه بکارگیری Simulink را جهت یافتن جواب عمومی اجباری، می آموزیم.

بسیاری از مکانیزم های معمول ارتعاشی نیاز به مدل چند درجه آزادی جهت تحلیل پاسخ و مشخصات سیستم دارند. در فصل ۶ مدل های دو درجه آزادی بررسی شده و معادلات لاگرانژ را جهت تعیین مدل سیستم با استفاده از قوانین نیوتن، معرفی می کنیم. سه بخش آخر فصل ۶ به

معرفی توابع موجود در نرم افزار MATLAB و Simulink، مرتبط با مطالب این فصل، اختصاص داده شده است. MATLAB نرم افزار قدرت مندی برای تحلیل سیستمهای بیش از یک درجه آزادی می باشد، به عنوان مثال به کمک جعبه ابزار control system می توان مکان هندسی ریشه ها را رسم کرده که از کاربردهای مفیدی در ارتعاشات برخوردار است، این در حالی است که در متون ارتعاشی روش رسم مکان هندسی را نمی آموزیم. همچنین نرم افزار MATLAB علاوه بر اینکه برای حل عددی معادلات دیفرانسیلی مناسب است، روش هایی را نیز جهت حل تحلیلی مسائل ارائه می کند. از Simulink می توان در مواقعی استفاده کرد که المان های سختی و میرایی غیرخطی بوده و یا ورودی تابع پیچیده ای از زمان باشد.

در فصل ۷ مطالبی در رابطه با طراحی سیستم هایی که در آنها اثرات ارتعاشات ناخواسته حذف و یا حداقل شده است، بررسی می شود. جهت تعیین میزان کاهش ارتعاشات نیاز به دانستن سطح مضر و یا ناخواسته ارتعاشی داریم و شناختن منبع ارتعاش نیز قدم اصلی کاهش اثرات است. این دو مهم در ابتدای فصل مطالعه خواهد شد. در ادامه فصل جداسازهای ارتعاشی که شامل المان های سختی و یا میرایی هستند معرفی می شوند که بین منبع ارتعاشی و محیط اطراف نصب خواهند شد. طراحی جاذب های ارتعاشی نیز در این فصل بررسی می شود. همچنین مبحثی در رابطه با استفاده از کنترل فعال ارتعاشی - که در آن از یک منبع نیرویی مانند سیلندر هیدرولیک یا موتور الکتریکی برای تولید نیرو در مقابل نیروهای مسبب ارتعاشات ناخواسته، استفاده می شود- ارائه خواهد شد.

جبر مورد نیاز جهت تحلیل سیستم های بیش از دو درجه آزادی بسیار پیچیده بوده و در این مواقع بهتر است از معادلات ماتریسی برای تحلیل مکانیزم ها استفاده کنیم. مطالب فصل ۸ مرتبط با این موضوع بوده و در ابتدای آن چگونگی نوشتن معادلات حرکت را به فرم ماتریسی می آموزیم. پروسه سیستماتیک تحلیل پاسخ مدل نیز بررسی می شود. علاوه بر نشان دادن چگونگی نوشتن معادلات حرکت به شکل ماتریسی و خلاصه، توابعی در نرم افزار MATLAB و Simulink نیز به عنوان ابزار قدرت مند جهت تحلیل مودال و شبیه سازی معرفی خواهند شد. این عناوین در انتهای فصل مطالعه می شوند.

در برخی از مسائل تعیین معادله دیفرانسیلی حرکت سیستم با استفاده از قوانین پایه مانند قوانین نیوتن، مشکل است. در این مواقع نیاز به اندازه گیری پاسخ سیستم می باشد. در فصل ۹ روش های اندازه گیری ارتعاشات و تست کردن را می آموزیم و علاوه بر آن سخت افزار لازم جهت تولید ارتعاشات و اندازه گیری پاسخ، معرفی خواهد شد.

در فصل ۱۰ ارتعاشات سیستم هایی بررسی می شود که توصیف آنها به صورت مدل پارامتری متمرکز و معادلات دیفرانسیلی معمولی امکان پذیر نیست. این بخش با بررسی چگونگی مدل کردن ساده ترین سیستم گسترده مانند کابل و یا ریسمان تحت کشش آغاز می شود. ارتعاشات پیچشی و طولی میله ها نیز با این مدل توصیف خواهد شد. مدل معادله دیفرانسیل جزئی - معادله موج - درجه دو بوده و دو روش جهت حل آن ارائه خواهیم کرد. روش حل دوم - جداسازی متغیرها - برای حل مدل درجه ۴ نیز که ارتعاشات تیر را توصیف می کند، مناسب است. در ادامه فصل، روش استفاده از نرم افزار MATLAB، جهت حل معادلات حاصل و یافتن فرکانس های طبیعی بیان می شود.

در فصل ۱۱ روش اجزای محدود معرفی می شود که علاوه بر ارائه توصیف دقیق تری نسبت به مدل پارامتری متمرکز، استفاده از آن در سیستم های پیچیده نسبت به حل معادلات دیفرانسیل جزئی آسان تر است. این روش برای تحلیل سیستم های نامنظم که دارای مقاطع سطحی متفاوت هستند نیز مناسب می باشد. توابع مرتبط نرم افزار MATLAB جهت بکارگیری روش اجزای محدود در انتهای فصل بررسی خواهند شد.

این کتاب دارای سه ضمیمه است: ضمیمه A آشنایی با نرم افزار MATLAB می باشد، ضمیمه B شامل معرفی روش های عددی جهت حل معادلات دیفرانسیلی است و به صورت اختصاصی الگوریتم های رانگ-کوتا را مطالعه می کند، در ضمیمه C مشخصات فیزیکی مواد معمول آورده شده است.

خلاصه فصول

هفت فصل اول شامل مباحث اصلی ارتعاشات مکانیکی است. در چهار فصل انتهایی مطالبی افزوده شده که بنا بر تصمیم استاد درس مطرح خواهند شد. این چهار بخش از عناوین ذیل برخوردار هستند:

- ۱- فصل ۸: ارائه روش های ماتریسی و تحلیل مودال
 - ۲- فصل ۹: معرفی روش های آزمایشگاهی که شامل آنالیز طیفی و تبدیل فوریه سریع هستند.
 - ۳- فصل ۱۰: مدل های پارامتری گسترده
 - ۴- فصل ۱۰ و ۱۱: روش اجزای محدود
- فصل های ۸ تا ۱۱ به هر ترتیبی می توانند آموزش داده شوند با این استثنا که فصل ۱۰ حتما قبل از فصل ۱۱ بیان شود.