به نام آنکه جان را فکرت آموخت

سیستم‌های اندازه‌گیری

مولف:

دکتر منصور رفیعیان

(استادیار دانشگاه یزد)

فدک ایساتیس

سرشناسه	:	رفیعیان، منصور،۱۳۴۶-
عنوان و نام پدیدآور	:	سیستم‌های اندازه‌گیری/ مولف منصور رفیعیان.
مشخصات نشر	:	تهران: فدک ایساتیس، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	:	۴۴۴ ص. مصور، جدول.
شابک	:	۱۳۵۰۰۰ ریال : ۵-۰۲۶-۱۶۰-۶۰۰- ۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	نمایه.
موضوع	:	اندازه‌گیری
موضوع	:	ابزار اندازه‌گیری
رده بندی کنگره	:	۱۳۸۹ ۹س۷ر/۵۰ T
رده بندی دیویی	:	۵۳۰/۸
شماره کتابشناسی ملی	:	۲۲۷۱۱۸۱

فدک ایساتیس

سیستم‌های اندازه‌گیری

مولف	:	**منصور رفیعیان**
مدیر تولید	:	**مجیدرضا زروئی**
حروفچینی و صفحه‌آرایی	:	**واحد تولید انتشارات فدک ایساتیس (مریم یوزباشی)**
نوبت چاپ	:	**اول – ۱۳۸۹**
تیراژ	:	**۱۰۰۰**
چاپ و صحافی	:	**گنج‌شایگان**
قیمت	:	**۱۳۵۰۰۰ ریال**
شابک	:	**۵- ۰۲۶ - ۱۶۰ - ۶۰۰ - ۹۷۸**

دفتر انتشارات : **تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت- بین‌لبافی‌نژاد و جمهوری- ساختمان ۱۰ (۱۲۶ قدیم)**
تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱

نمایندگی تهران : **خیابان انقلاب- نبش ۱۲فروردین- پلاک۱۳۱۲- انتشارات صانعی**
تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴- ۶۶۴۰۵۳۸۵

نمایندگی یزد: **میدان آزادی (باغ ملی)- ابتدای خیابان فرخی- جنب مجتمع ستاره**
تلفن: ۶۲۲۷۴۷۵- ۶۲۲۶۷۷۱- ۶۲۲۶۷۷۲

www.fadakbook.ir- info@fadakbook.ir

کلیهٔ حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایساتیس می‌باشد. هرگونه برداشت،تکثیر،کپی‌برداری به هرشکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایساتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
انتشارات فدک ایساتیس

تقدیم به شهیدان

آنان که با چشمانی به تلؤلؤ خورشید.....

و به زیبایی ماه.....

بر ما می‌نگرند.....

که چه سان حقشان پاس می‌داریم

و از فراز قله‌های بی‌نیازی بر گوشمان نصیحت‌وار ترنم می‌کنند که

اگر از خاک تمنای گریز داری

بایدت علم به جان عزیز داری

مقدمه‌ی مؤلف

سپاس فراوان به پیشگاه خداوند بزرگ و مهربان که توفیق تهیه‌ی کتابی در زمینه‌ی سیستم‌های اندازه‌گیری ویژه‌ی مخصوص دانشجویان رشته‌ی مهندسی مکانیک را به این بنده‌ی کوچک خود عنایت فرمود. به‌نظر اینجانب که چندین سال به تدریس سیستم‌های اندازه‌گیری به دانشجویان رشته‌ی مهندسی مکانیک اشتغال دارم، جای چنین کتابی در زبان فارسی کاملاً خالی به‌نظر می‌رسید. با بررسی‌های اولیه معلوم شد که تعدادی از اساتید رشته‌های برق و مکانیک، در تدریس ابزاردقیق به دانشجویان، از بخش‌های عمده‌ای از کتاب "ابزاردقیق برای اندازه‌گیری‌های مهندسی" تألیف : دالی، ریلی و مک‌کانل استفاده می‌کنند. اما این کتاب علی‌رغم مزیت‌های خود، دارای عیوبی نظیر خالی بودن متن از مثال‌ها و قلت تصاویر وسایل مختلف اندازه‌گیری نیز هست. بنابراین، تهیه‌کننده‌ی کتاب حاضر تصمیم گرفت که نواقص نامبرده را برطرف کند. در نتیجه در تهیه‌ی کتاب حاضر، ضمن تألیف فصل اول به طور کاملاً متفاوت با کتاب اصلی، به‌گونه‌ای که دانشجو را با مفاهیم اولیه آشنا می‌کند، به حذف فصل هفتم کتاب اصلی که مطالب بنیادی آن در دیگر فصول آمده بود، اقدام شد. تلاش زیادی شده تا با ارائه‌ی تصاویر تکمیلی و جداول کاربردی در هر مبحث از اینترنت، به‌منظور تفهیم بهتر مباحث اقدام شود. امید است این مجموعه در ارتقای بینش دانشجویان مکانیک در خصوص سیستم‌های‌اندازه‌گیری- به دلیل اهمیت فراوان آن به‌گونه‌ای که بی‌اطلاعی دانش‌آموختگان این رشته از این مطالب جایز نخواهد بود- سهم به‌سزایی داشته باشد. چنانکه می‌دانیم کمتر محیط کاری را می‌توان یافت که در آن یکی از انواع وسایل اندازه‌گیری به کار گرفته نشده باشد. همچنین در انجام بسیاری از امور غیرحرفه‌ای نیز به اندازه‌گیری نیاز است. حتی در مقام تصمیم‌گیری برای خرید وسایل اندازه‌گیری نیز الزام به داشتن حداقلی از این اطلاعات وجود دارد.

ضمن آرزوی مفید بودن کتاب حاضر برای دانشجویان و مهندسان و نیز اساتید محترمی که از آن برای تدریس استفاده خواهند کرد، امیدوارم همه‌ی این عزیزان با ارائه‌ی انتقادات و رهنمودهای ارزشمند خود نویسنده را در غنای هرچه بیشتر کتاب در چاپ‌های بعدی یاری فرمایند.

سرانجام تشکر و قدردانی خویش را از خانواده‌ام به سبب زحماتی که در طول تدارک کتاب به آنان تحمیل کردم و با صبوری و بردباری کم نظیری تحمل کردند و همچنین از آقای مهندس مهدی معمار اردستانی به‌خاطر بازخوانی و ارائه‌ی پیشنهادهای اصلاحی ارزنده و نیز از مدیریت محترم انتشارات فدک که به چاپ این نوشته همت گماشتند، ابراز می‌دارم.

منصور رفیعیان
زمستان ۱۳۸۹

تلفن : ۰۹۱۳۳۱۴۴۸۱۲
پست الکترونیکی : rafeeyan@yazduni.ac.ir

فهرست مطالب

فصل اول **مقدمه** **۱-۱۷**

۱.۱ لزوم آشنایی ۱
۲.۱ مفاهیم و تعاریف ۲
۳.۱ ابزارهای اندازه‌گیری ۳
۴.۱ طبقه‌بندی وسایل اندازه‌گیری ۵
۵.۱ کالیبراسیون وسایل اندازه‌گیری ۶
۶.۱ رفتار مطلوب یک سیستم اندازه‌گیری ۷
۷.۱ مشخصه‌های وسایل اندازه‌گیری ۷
۸.۱ خطاها ۱۴
۹.۱ محاسبه‌ی خطا ۱۵

فصل دوم **سیستم‌های ابزاردقیق الکترونیکی** **۱۹-۳۴**

۱.۲ معرفی ۱۹
۲.۲ اجزای‌سیستم ابزاردقیق الکترونیکی ۲۰
۳.۲ کاربرد سیستم‌های ابزار دقیق الکترونیکی ۲۱
۴.۲ تحلیل مهندسی ۲۱
۵.۲ مانیتورینگ و کنترل فرایندها ۲۲
۶.۲ تجهیزات کنترل فرایند ۲۳

فصل سوم **تحلیل مدارهای الکتریکی** **۳۵-۴۴**

۱.۳ مقدمه و تعاریف ۳۵
۲.۳ اجزای الکتریکی پایه ۳۶
۳.۳ قوانین کیرشهف ۳۷
۴.۳ قضیه‌ی تونن ۳۷
۵.۳ قضیه‌ی نورتن ۳۸

۶.۳ دیود، ترانزیستور و دروازه ۳۸
۷.۳ مدارهای جریان مستقیم DC ۴۰
۸.۳ مدارهای جریان متناوب AC ۴۰
۹.۳ تابع پاسخ فرکانسی ۴۱
۱۰.۳ سازگاری امپدانس ۴۲

فصل چهارم ابزارهای دقیق ثبت آنالوگ ۴۵-۶۷

۱.۴ مقدمه ۴۵
۲.۴ مشخصه‌های عمومی ابزارهای ثبت ۴۵
۳.۴ ولتمترهای مربوط به اندازه‌گیری‌های حالت دائمی ۴۹
۱.۳.۴ گالوانومتر دارسون‌وال ۴۹
۲.۳.۴ آمیتر ۵۰
۳.۳.۴ ولت‌مترهای DC ۵۱
۴.۳.۴ خطاهای بارگذاری ولتمتر ۵۲
۵.۳.۴ ولتمترهای تقویت‌شده ۵۲
۶.۳.۴ ولتمترهای پتانسیومتری ۵۳
۴.۴ ولتمترهای سیگنال‌های با تغییرات آرام ۵۳
۱.۴.۴ ثبات‌های نمودار باز ۵۳
۲.۴.۴ ثبات‌های X-Y ۵۴
۵.۴ ولتمترهای سیگنال‌های با تغییرات سریع ۵۵
۱.۵.۴ اسیلوگراف ۵۵
۲.۵.۴ پاسخ زمانی گالوانومترها ۵۶
۳.۵.۴ پاسخ گالوانومترها به سیگنال متناوب ۵۹
۴.۵.۴ اسیلوسکوپ ۶۳
۵.۵.۴ نوار ضبط مغناطیسی ۶۴

فصل پنجم ابزارهای دقیق ثبت دیجیتال ۶۹-۹۵

۱.۵ مقدمه ۶۹
۲.۵ کدهای دیجیتال ۷۰
۳.۵ فرایندهای تبدیل سیگنال ۷۱
۴.۵ مبدل‌های دیجیتال به آنالوگ ۷۴
۵.۵ مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال ۷۵

۱.۵.۵ روش تقریب متوالی ۷۵
۲.۵.۵ روش انتگرال‌گیری ۷۷
۳.۵.۵ روش موازی یا بی‌درنگ ۷۹
۶.۵ توزیع داده‌ها ۸۰
۱.۶.۵ ساختارهای باس ۸۲
۷.۵ واسطه‌ها ۸۴
۸.۵ ولتمترهای دیجیتال ۸۶
۹.۵ سیستم‌های ثبت اطلاعات ۸۶
۱۰.۵ سیستم‌های اخذ داده ۸۷
۱۱.۵ سیستم‌های اخذ داده‌ی مبتنی بر PC ۸۸
۱۲.۵ اسیلوسکوپ‌های دیجیتال ۸۹
۱۳.۵ ثبات‌های موجگون ۸۹
۱۴.۵ الیازینگ ۹۰
۱.۱۴.۵ فیلترهای ضد الیاز ۹۲

فصل ششم حسگرهای به‌کاررفته در مبدل‌ها ۹۷-۱۳۳

۱.۶ مقدمه ۹۷
۲.۶ پتانسیومترها ۹۷
۳.۶ ترانسفورمرهای تفاضلی ۱۰۰
۴.۶ کرنش‌سنج‌های مقاومتی ۱۰۴
۵.۶ حسگرهای خازنی ۱۰۷
۶.۶ حسگرهای جریان گردابی ۱۱۰
۷.۶ حسگرهای پیزوالکتریک ۱۱۲
۸.۶ حسگرهای پیزومقاومتی ۱۱۵
۹.۶ حسگرهای فتوالکتریک ۱۱۶
۱.۹.۶ آشکارسازهای لوله – خلأ ۱۱۹
۲.۹.۶ سلول‌های رسانای نور ۱۲۱
۳.۹.۶ دیودهای نوری نیمه رسانا ۱۲۲
۱۰.۶ آشکارسازهای دمای مقاومتی ۱۲۳
۱۱.۶ ترمیستورها ۱۲۴
۱۲.۶ ترموکوپل‌ها ۱۲۶
۱۳.۶ نوسانگرهای کریستالی ۱۲۸

فصل هفتم **مدارهای آماده‌ساز سیگنال** **۱۳۵-۱۷۷**

۱.۷ مقدمه ۱۳۵
۲.۷ منابع تغذیه ۱۳۵
۱.۲.۷ باتری‌ها ۱۳۵
۲.۲.۷ منابع ولتاژ خط ۱۳۷
۳.۷ مدار پتانسیومتر (ولتاژ ثابت) ۱۳۸
۴.۷ مدار پتانسیومتر (جریان ثابت) ۱۴۰
۵.۷ پل وتسون (ولتاژ ثابت) ۱۴۱
۶.۷ پل وتسون (جریان ثابت) ۱۴۴
۷.۷ پل‌های جریان متناوب ۱۴۶
۸.۷ پل‌های نابالانس ۱۴۹
۹.۷ تقویت‌کننده‌ها ۱۵۰
۱۰.۷ تقویت‌کننده‌های عملیاتی ۱۵۴
۱.۱۰.۷ تقویت‌کننده‌ی وارون‌گر ۱۵۶
۲.۱۰.۷ تقویت‌کننده‌ی تفاضلی ۱۵۷
۳.۱۰.۷ تعقیب‌کننده‌ی ولتاژ ۱۵۷
۴.۱۰.۷ تقویت‌کننده‌ی جمع‌کننده ۱۵۹
۵.۱۰.۷ تقویت‌کننده‌ی انتگرالی ۱۵۹
۶.۱۰.۷ تقویت‌کننده‌ی مشتقی ۱۶۰
۱۱.۷ فیلترها ۱۶۰
۱.۱۱.۷ فیلتر بالاگذر ۱۶۱
۲.۱۱.۷ فیلتر پایین‌گذر ۱۶۲
۳.۱۱.۷ فیلتر فعال ۱۶۳
۱۲.۷ مودولاسیون و دمودولاسیون دامنه ۱۶۵
۱۳.۷ مدارهای اندازه‌گیری زمان ۱۶۷
۱.۱۳.۷ واحد شمارش‌گر دودویی ۱۶۷
۲.۱۳.۷ دروازه‌ها در کاربردهای شمارنده ۱۶۸
۳.۱۳.۷ ماشه‌ها ۱۶۸
۴.۱۳.۷ ابزارهای دقیق شمارش ۱۷۰

فصل هشتم **اندازه‌گیری نیرو، گشتاور و فشار** **۱۷۹-۲۰۸**

۱.۸ مقدمه ۱۷۹

۲.۸ اندازه‌گیری نیرو (سلول‌های نیرو) ۱۸۰
۱.۲.۸ سلول نیروی میله‌ای ۱۸۰
۲.۲.۸ سلول نیروی تیری ۱۸۱
۳.۲.۸ سلول نیروی حلقه‌ای ۱۸۳
۴.۲.۸ سلول نیروی بال برشی ۱۸۵
۳.۸ اندازه‌گیری گشتاور پیچشی (سلول‌های گشتاور پیچشی) ۱۸۶
۱.۳.۸ سلول‌های گشتاور پیچشی–مفاهیم‌طراحی ۱۸۶
۲.۳.۸ سلول‌های گشتاورپیچشی–انتقال‌اطلاعات ۱۸۷
۴.۸ اندازه‌گیری همزمان نیرو و گشتاور یا گشتاور پیچشی ۱۸۹
۱.۴.۸ اندازه‌گیری توأم نیرو–گشتاور ۱۸۹
۲.۴.۸ اندازه‌گیری توأم نیرو–گشتاور پیچشی ۱۹۱
۵.۸ اندازه‌گیری فشار (سلول فشار) ۱۹۳
۱.۵.۸ مبدل فشار جابه‌جایی ۱۹۳
۲.۵.۸ مبدل فشار دیافراگمی ۱۹۴
۳.۵.۸ مبدل فشار پیزوالکتریک ۱۹۵
۶.۸ کمینه کردن خطاها در مبدل‌ها ۱۹۷
۱.۶.۸ حساسیت دوگانه ۱۹۸
۲.۶.۸ جابه‌جایی صفر با تغییر دما ۱۹۹
۳.۶.۸ بالانس پل ۱۹۹
۴.۶.۸ تنظیم ظرفیت ۱۹۹
۵.۶.۸ تغییر ظرفیت با دما ۲۰۰
۷.۸ پاسخ فرکانسی مبدل‌ها ۲۰۰
۱.۷.۸ پاسخ یک مبدل‌نیرو به یک تابع شیبی خط ثابت ۲۰۱
۲.۷.۸ پاسخ یک مبدل نیرو به تابع نیروی سینوسی ۲۰۳
۸.۸ کالیبراسیون مبدل‌ها ۲۰۴

فصل نهم اندازه‌گیری جابه‌جایی، سرعت و شتاب ۲۰۹-۲۵۸

۱.۹ مقدمه ۲۰۹
۲.۹ مدل مبدل لرزه‌ای ۲۱۰
۳.۹ پاسخ دینامیکی مبدل لرزه‌ای ۲۱۱
۱.۳.۹ تحریک سینوسی ۲۱۱
۲.۳.۹ تحریک‌های گذرا ۲۱۲
۴.۹ مبدل‌های حرکتی لرزه‌ای ۲۱۴

۱.۴.۹ مبدل‌های جابه‌جایی لرزه‌ای ۲۱۴
۲.۴.۹ مبدل‌های سرعت لرزه‌ای ۲۱۵
۳.۴.۹ مبدل‌های شتاب لرزه‌ای ۲۱۵
۵.۹ مبدل‌های نیروی پیزوالکتریک ۲۱۹
۶.۹ مدارهای حسگر پیزوالکتریک ۲۲۰
۱.۶.۹ مدل حساسیت باری ۲۲۱
۲.۶.۹ مدار تقویت‌کننده‌ی ولتاژ ۲۲۱
۳.۶.۹ مدار تقویت‌کننده‌ی بار ۲۲۳
۴.۶.۹ تقویت‌کننده‌های ولتاژ توکار ۲۲۶
۷.۹ پاسخ مدارهای پیزوالکتریک به سیگنال‌های گذرا ۲۲۸
۸.۹ کالیبراسیون شتاب‌سنج ۲۳۱
۹.۹ کالیبراسیون‌دینامیکی مبدل‌های نیرو ۲۳۴
۱.۹.۹ کالیبراسیون مبدل نیرو به‌وسیله‌ی ضربه ۲۳۵
۱۰.۹ کالیبراسیون کلی سیستم ۲۳۷
۱۱.۹ منابع خطای مبدل‌های پیزوالکتریک ۲۳۸
۱۲.۹ اندازه‌گیری‌های جابه‌جایی در یک دستگاه مرجع ثابت ۲۴۱
۱.۱۲.۹ اندازه‌گیری‌های جابه‌جایی با پتانسیومترهای مقاومتی ۲۴۲
۲.۱۲.۹ اندازه‌گیری‌های جابه‌جایی با وسایل چند مقاومتی ۲۴۴
۳.۱۲.۹ مبدل‌های جابه‌جایی فوتوالکتریک ۲۴۵
۱۳.۹ اندازه‌گیری‌های جابه‌جایی به روش نوری ۲۴۶
۱.۱۳.۹ سیستم تقویت‌کننده‌ی نوری ۲۴۶
۲.۱۳.۹ تحلیل حرکت دوربین ویدئویی ۲۴۷
۱۴.۹ اندازه‌گیری‌های سرعت ۲۴۸
۱.۱۴.۹ اندازه‌گیری‌های سرعت خطی ۲۴۹
۲.۱۴.۹ اندازه‌گیری‌های سرعت زاویه‌ای ۲۵۰
۳.۱۴.۹ سیستم لیزر–دوپلر ۲۵۱

فصل دهم تحلیل سیستم‌های ارتعاشی ۲۵۹-۳۰۶

۱.۱۰ مقدمه ۲۵۹
۱.۱.۱۰ میانگین موقت ۲۶۱
۲.۱.۱۰ میانگین مربعی موقت و جذر میانگین مربعی موقت ۲۶۱
۲.۱۰ تحلیل سیگنال سینوسی ۲۶۱
۳.۱۰ مشخصه‌های سیگنال ۲۶۴
۱.۳.۱۰ سیگنال‌های متناوب ۲۶۴

۲.۳.۱۰ سیگنال‌های گذرا ۲۶۵
۳.۳.۱۰ سیگنال‌های تصادفی ۲۶۸
۴.۱۰ مدل‌های‌ارتعاشی‌جرم و فنر فشرده ۲۷۰
۱.۴.۱۰ فرکانس طبیعی نامیرایی و مود شیپ ۲۷۱
۲.۴.۱۰ پاسخ ارتعاش اجباری (حل مستقیم) ۲۷۱
۳.۴.۱۰ پاسخ ارتعاش اجباری (حل مودال) ۲۷۲
۵.۱۰ مدل‌های ارتعاشی سیستم‌های پیوسته ۲۷۳
۱.۵.۱۰ معادله‌ی بنیادی حرکت ۲۷۴
۲.۵.۱۰ حل مودال ماندگار ۲۷۴
۶.۱۰ مدل ورودی – خروجی خطی ۲۷۶
۱.۶.۱۰ پاسخ ضربه ۲۷۷
۲.۶.۱۰ روابط ورودی–خروجی تصادفی ۲۷۹
۷.۱۰ مبانی تحلیل‌گر فرکانسی دیجیتال ۲۷۹
۱.۷.۱۰ فرایند نمونه‌برداری زمانی ۲۸۰
۲.۷.۱۰ کانولوشن ۲۸۱
۳.۷.۱۰ نشت فیلتر ۲۸۴
۴.۷.۱۰ دیاگرام جعبه‌ای ۲۸۶
۸.۱۰ استفاده از یک تحلیل‌گر فرکانسی ۲۸۷
۱.۸.۱۰ روابط تحلیل‌گرهای فرکانسی ۲۸۷
۲.۸.۱۰ مشخصه‌های فیلتر ۲۸۹
۳.۸.۱۰ چهار تابع پنجره‌ی معمول ۲۹۱
۴.۸.۱۰ نامعینی در اندازه‌ی خطوط طیفی ۲۹۲
۵.۸.۱۰ خلاصه‌ی کاربرد پنجره ۲۹۳
۹.۱۰ حساسیت محور عرضی شتاب‌سنج ۲۹۴
۱.۹.۱۰ مدل اتصال محور عرضی یک شتاب‌سنج ۲۹۴
۲.۹.۱۰ مدل شتاب‌سنج سه محوره ۲۹۵
۳.۹.۱۰ اصلاح قرائت‌های ولتاژ شتاب‌سنج ۲۹۵
۴.۹.۱۰ کاربرد در تحلیل مودال سیگنال‌ها ۲۹۶
۵.۹.۱۰ تشدید محور عرضی ۲۹۸
۱۰.۱۰ تداخل مبدل نیرو–سازه ۲۹۸
۱.۱۰.۱۰ مدل مبدل نیروی دو درجه آزادی عمومی ۲۹۸

فصل یازدهم اندازه‌گیری دما ۳۰۷-۳۵۷

۱.۱۱ مقدمه ۳۰۷

۲.۱۱ روش‌های‌انبساطی اندازه‌گیری دما ۳۰۹
۳.۱۱ دماسنج‌های مقاومتی ۳۱۰
۱.۳.۱۱ آشکارسازهای دمای مقاومتی ۳۱۰
۲.۳.۱۱ RTDها و پل وتسون ۳۱۴
۳.۳.۱۱ ترمیستورها ۳۱۶
۴.۱۱ ترموکوپل‌ها ۳۲۰
۱.۴.۱۱ اصول رفتار ترموکوپل ۳۲۲
۲.۴.۱۱ مواد ترموالاستیک ۳۲۵
۳.۴.۱۱ دمای نقطه‌ی اتصال مرجع ۳۲۸
۴.۴.۱۱ شیوه‌های نصب و ساخت ۳۳۱
۵.۴.۱۱ ابزارهای ثبت ترموکوپل‌ها ۳۳۳
۶.۴.۱۱ حذف نویز در مدارهای ترموکوپل ۳۳۵
۵.۱۱ حسگرهای دمای مدار مجتمع ۳۳۶
۶.۱۱ پاسخ دینامیکی حسگرهای دما ۳۳۷
۷.۱۱ منابع خطا در اندازه‌گیری‌های دما ۳۴۰
۸.۱۱ روش‌های کالیبراسیون ۳۴۲
۹.۱۱ روش‌های تشعشعی (آذرسنجی) ۳۴۴
۱.۹.۱۱ اصول تشعشع (تابش) ۳۴۴
۲.۹.۱۱ آذرسنج نوری ۳۴۶
۳.۹.۱۱ آذرسنج‌های زیر قرمز ۳۴۸
۴.۹.۱۱ ابزارهای دمایی آشکارساز فوتونی ۳۵۰

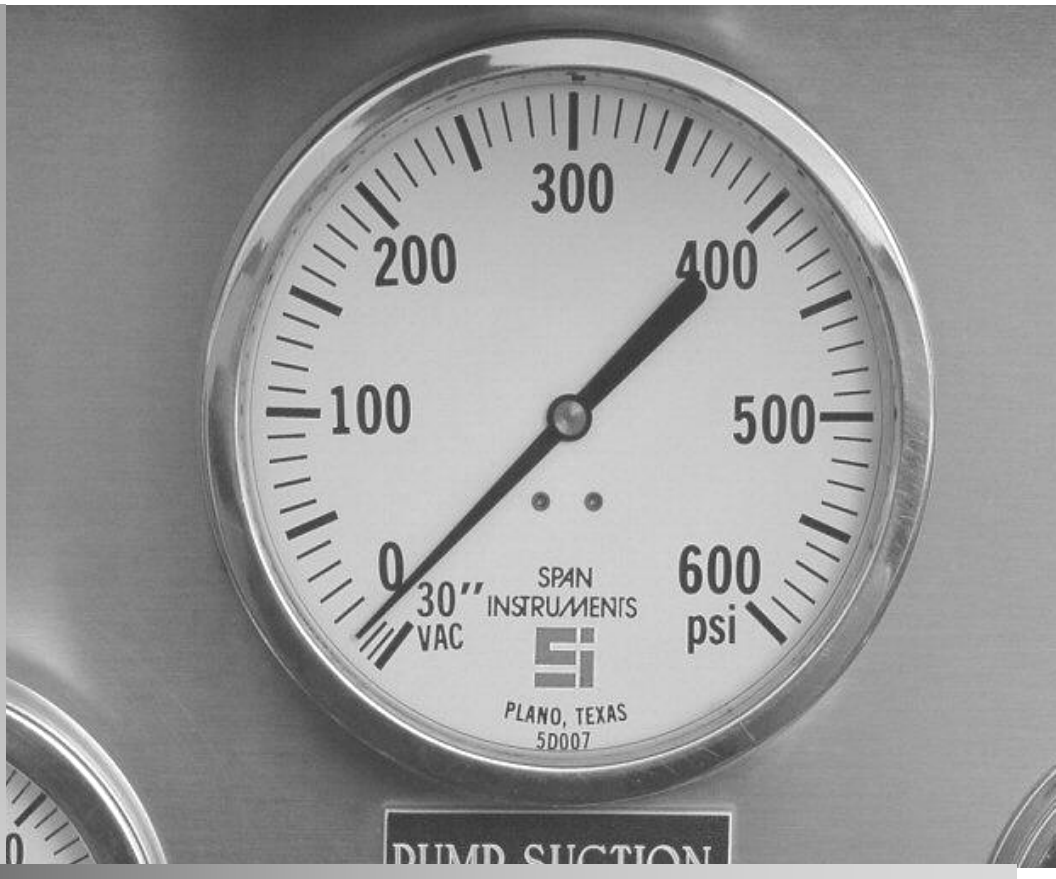
فصل دوازدهم اندازه‌گیری جریان سیالات ۳۵۹-۴۰۱

۱.۱۲ مقدمه ۳۵۹
۲.۱۲ سرعت جریان (مبدل‌های داخل گذاردنی) ۳۶۱
۱.۲.۱۲ لوله پیتوت (جریان تراکم ناپذیر) ۳۶۲
۲.۲.۱۲ لوله‌ی پیتوت (جریان تراکم‌پذیر) ۳۶۵
۳.۲.۱۲ جریان‌سنج‌های سیم داغ و فیلم داغ ۳۶۷
۴.۲.۱۲ مبدل‌های سرعت نیروی مقاوم ۳۷۲
۵.۲.۱۲ جریان‌سنج‌ها ۳۷۵
۶.۲.۱۲ جریان‌سنج‌های توربینی ۳۷۷
۷.۲.۱۲ مبدل‌های گردابه‌ساز ۳۷۷
۳.۱۲ نرخ جریان در سیستم‌های حلقه بسته با اندازه‌گیری تغییرات فشار ۳۷۸

۱.۳.۱۲ ونتوری‌متر ۳۷۹
۲.۳.۱۲ نازل جریان ۳۸۱
۳.۳.۱۲ اریفیس‌متر ۳۸۲
۴.۳.۱۲ زانویی‌متر ۳۸۳
۴.۱۲ نرخ‌جریان در سیستم‌های نیمه‌بسته ۳۸۴
۵.۱۲ نرخ جریان در کانال‌های باز با استفاده از اندازه‌گیری‌های فشار ۳۸۶
۱.۵.۱۲ دروازه‌ی آب‌گیر ۳۸۶
۲.۵.۱۲ سرریزها ۳۸۷
۶.۱۲ اثرات جریان تراکم‌پذیر در سیستم‌های بسته ۳۸۸
۷.۱۲ دیگر روش‌های اندازه‌گیری جریان در سیستم‌های بسته ۳۸۹
۱.۷.۱۲ جریان‌سنج مویی ۳۹۰
۲.۷.۱۲ جریان‌سنج‌های جابه‌جایی مثبت ۳۹۰
۳.۷.۱۲ مبدل‌های جریان جرمی فیلم داغ ۳۹۲
۴.۷.۱۲ سیستم‌های سرعت‌سنج لیزری ۳۹۲

پیوست الف ۴۰۳

پیوست ب ۴۱۷



فصل ۱

مقدمه

۱.۱ لزوم آشنایی

شاید به‌جرأت بتوان گفت که اندازه‌گیری هر کمیتی، پایه و اساس بررسی و تصمیم‌گیری در همان حوزه است. به‌عنوان مثال، اندازه‌گیری جمعیت هر کشور و شاخص‌های آن، مثل نرخ رشد جمعیت، در فرایند تصمیم‌گیری‌های اجتماعی و اقتصادی یک کشور نقشی تعیین‌کننده دارد و می‌تواند وظایف سازمان‌ها و تشکیلات مختلف دولتی و خصوصی را در یک جامعه مشخص کند. مثلاً سازمان‌های بهداشتی مکلفند براساس آمار به‌دست آمده برای تهیه داروهای مختلف با توجه به نرخ رشد اقدام کنند. یا مثلاً چنانچه نرخ رشد جمعیت بالا باشد، نهادهای آموزشی فعال باید در زمینه‌ی تنظیم خانواده در راستای کاهش آن اقدام کنند. همچنین تأمین آب، غذا، انرژی، راه و مسکن از دیگر مواردی هستند که اندازه‌گیری جمعیت می‌تواند در برنامه‌ریزی کوتاه مدت و درازمدت آنها تأثیر گذاشته و درنهایت باعث رشد متناسب همه‌ی بخش‌های جامعه شود.

در امور پزشکی و درمان بیماران بیشتر اوقات یک پزشک نیاز به اندازه‌گیری کمیت خاصی نظیر فشار خون دارد تا با استفاده از آن، علت بیماری را تشخیص دهد و به درمان آن بپردازد. چه بسا یک اشتباه کوچک که به‌علت بی‌اطلاعی فرد اندازه‌گیر از دستگاه موردنظر حاصل می‌شود جان بیماری را به خطر بیندازد. آشنایی با خطاهای هر اندازه‌گیری عامل مهمی در اطمینان به اعداد به‌دست آمده خواهد بود. شرایط اندازه‌گیری هرکمیتی نیز مهم است. مجموعه‌ی این آگاهی‌ها برای فرد اندازه‌گیر و شخصی که از این مقادیر در مقام قضاوت استفاده می‌کند، لازم و ضروری است.

در فرایندهای مهندسی نظیر سیستم‌های تولید انرژی، آب، مواد شیمیایی، غذا و غیره، سیستم‌های اندازه‌گیری نقشی تعیین‌کننده در عملکرد این صنایع چه از نظر کیفیت و چه از نظر کمیت و سرعت تولید به عهده دارند. علاوه بر این، تقریباً برای