

دستگاه‌های اندازه‌گیری

الکتریکی و الکترونیکی

تألیف

دکتر محمدرضا فیضی

و

دکتر هیرش سیدی

سرشناسه	: فیضی، محمدرضا، ۱۳۳۱-
عنوان و نام پدیدآور	: دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی و الکترونیکی / تألیف محمدرضا فیضی و هیرش سیدی.
مشخصات نشر	: تبریز: دانشگاه تبریز، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	: ۳۷۶ ص.: مصور، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تبریز: ۵۱۱.
شابک	: ۷۵۰۰۰ ریال ۹۷۸-۶۱۰-۵۱۹۹-۳۰-۷
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیا
موضوع	: برق - - اندازه‌گیری
موضوع	: برق - - اندازه‌گیری - ابزار و وسایل
موضوع	: برق - - ابزار و وسایل
شناسه افزوده	: سیدی، هیرش، ۱۳۵۸-
شناسه افزوده	: دانشگاه تبریز
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۰ ۹۵۵/ف-۱/TK۳۰۱
رده‌بندی دیوئی	: ۶۲۱/۳۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۳۸۶۳۰۶



انتشارات دانشگاه تبریز

دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی و الکترونیکی

تألیف:	دکتر محمدرضا فیضی و دکتر هیرش سیدی
ویراستار علمی:	دکتر هادی ولادی
ناشر و فروست:	انتشارات دانشگاه تبریز: ۵۱۱
تاریخ و نوبت چاپ:	۱۳۹۰-اول
شمارگان:	۱۵۰۰ نسخه
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۵۱۹۹-۳۰-۷
قیمت:	۷۵۰۰۰/- ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه تبریز
کلیه حقوق اثر مزبور برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

پیش گفتار ix

مقدمه xi

فصل ۱ اصول اندازه گیری ۱

۱-۱ تعاریف اساسی ۱

۲-۱ کاربردهای اندازه گیری ۲

۳-۱ روش های اندازه گیری ۴

۴-۱ دستگاه اندازه گیری ۴

۵-۱ دستگاه اندازه گیری تعمیم یافته ۶

۶-۱ ویژگی های یک دستگاه اندازه گیری ۸

۷-۱ خطاهای اندازه گیری ۱۱

۸-۱ انواع خطاها ۱۱

۹-۱ تحلیل خطاهای اندازه گیری ۱۵

فصل ۲ دستگاه های اندازه گیری نشان دهنده آنالوگ ۲۳

۱-۲ دستگاه اندازه گیری آنالوگ ۲۳

۲-۲ دستگاه های اندازه گیری نشان دهنده ۲۳

۳-۲ گشتاورهای مؤثر در دستگاه های اندازه گیری نشان دهنده ۲۴

۴-۲ روش های تولید گشتاور مستهلک کننده ۲۸

۵-۲ بررسی پاسخ دینامیکی دستگاه های منحرف شونده در حالت کلی ۳۳

فصل ۳ دستگاه‌های اندازه‌گیری الکترومکانیکی ۴۵

- ۱-۳ دستگاه اندازه‌گیری قاب‌گردان با مغناطیس دائم ۴۶
- ۲-۳ دستگاه اندازه‌گیری آهن‌گردان MII ۵۶
- ۳-۳ دستگاه اندازه‌گیری الکترودینامیکی ۶۹
- ۴-۳ دستگاه اندازه‌گیری فرودینامیکی ۷۶
- ۵-۳ دستگاه‌های اندازه‌گیری حرارتی ۷۸
- ۶-۳ دستگاه اندازه‌گیری الکترواستاتیکی ۸۰
- ۷-۳ دستگاه اندازه‌گیری اندوکسیون ۸۳

فصل ۴ اندازه‌گیری شدت جریان و ولتاژ با استفاده از دستگاه‌های نشان‌دهنده... ۹۱

- ۱-۴ آمپر متر PMMC ۹۲
- ۲-۴ گالوانومتر دارسون وال ۱۱۰
- ۳-۴ ولت متر PMMC ۱۱۲
- ۴-۴ آمپر متر آهن گردان ۱۱۹
- ۵-۴ ولت متر آهن گردان ۱۲۱
- ۶-۴ آمپر متر الکترو دینامیکی ۱۲۴
- ۷-۴ ولت متر الکترو دینامیکی ۱۲۷

فصل ۵ اندازه‌گیری توان الکتریکی ۱۲۹

- ۱-۵ اندازه‌گیری توان در مدارهای dc ۱۳۰
- ۲-۵ اندازه‌گیری توان با استفاده از وات متر در حالت کلی ۱۳۲
- ۳-۵ بررسی حالات خاص ۱۳۵
- ۴-۵ اندازه‌گیری توان اکتیو مصرف کننده سه فاز ۱۳۹

۵-۵	واتمتر و وارمتر سه فاز.....	۱۵۳
۶-۵	خطاهای واتمتر فرودینامیکی.....	۱۵۵
فصل ۶ اندازه گیری انرژی الکتریکی.....		
۱-۶	ویژگی های یک دستگاه انتگرال گیر الکترومکانیکی.....	۱۶۲
۲-۶	کیلو وات ساعت متر اندوکسیونی.....	۱۶۶
۳-۶	کیلو وات ساعت متر اندوکسیونی سه فاز.....	۱۷۷
فصل ۷ اندازه گیری مقاومت.....		
۱-۷	اندازه گیری مقاومت با استفاده از ولت متر و آمپر متر.....	۱۸۰
۲-۷	اندازه گیری مقاومت با استفاده از اهم متر.....	۱۸۶
فصل ۸ دستگاه های اندازه گیری دیجیتالی.....		
۱-۸	مقدمه.....	۱۹۹
۲-۸	فرکانس متر دیجیتالی.....	۲۰۰
۳-۸	اندازه گیری زمان تناوب.....	۲۰۹
۴-۸	ولت متر دیجیتال (DVM).....	۲۱۳
فصل ۹ اسیلوسکوپ اشعه کاتدی.....		
۱-۹	بلوک دیاگرام خلاصه شده یک اسیلوسکوپ اشعه کاتدی.....	۲۳۹
۲-۹	انحراف الکترون در میدان الکتریکی.....	۲۴۱
۳-۹	ساختمان لامپ اشعه کاتدی (CRT).....	۲۴۸
۴-۹	صفحات انحراف دهنده.....	۲۵۳

- ۵-۹ شتابدهی ثانوی..... ۲۶۳
- ۶-۹ مشخصات صفحه تصویر لامپ اشعه کاندی..... ۲۶۵
- ۷-۹ طرز تشکیل یک تصویر روی صفحه..... ۲۷۴
- ۸-۹ مدارهای مربوط به انحراف افقی..... ۲۸۳
- ۹-۹ تریگر خارجی..... ۳۰۰

فصل ۱۰ مدارهای مربوط به انحراف عمودی..... ۳۱۱

- ۱-۱۰ اجزا تشکیل‌دهنده مدار انحراف عمودی..... ۳۱۱
- ۲-۱۰ طرز اعمال ولتاژ ورودی به دستگاه..... ۳۲۶
- ۳-۱۰ پروب اسیلوسکوپ..... ۳۲۷
- ۴-۱۰ اندازه‌گیری ولتاژ و فرکانس با استفاده از CRO..... ۳۲۹
- ۵-۱۰ اسیلوسکوپ‌های چندکاناله..... ۳۴۰

ضمیمه الف نیرو و گشتاور در سیستم‌های الکترومکانیکی..... ۳۴۵

ضمیمه ب مدارهای الکترونیکی دیجیتال و آنالوگ..... ۳۵۱

بیش گفتار

کتاب دستگاه‌های اندازه‌گیری تألیف جناب آقای مهندس مسعود سلطانی استاد محترم دانشکده فنی دانشگاه تهران، شاید اولین کتاب تخصصی در این زمینه به زبان فارسی بود که در سال ۱۳۴۹ توسط انتشارات دانشگاه تهران چاپ شد. کتاب فوق با توجه به سال انتشار خود از محتوای علمی بسیار غنی برخوردار بود و مهمتر آنکه اینجانب افتخار آن را داشتم که به عنوان دانشجوی رشته مهندسی برق از کلاس‌های استاد محترم آقای مهندس مسعود سلطانی بهره‌مند شوم. روش تدریس استاد و محتوای این درس آن قدر برای بنده جالب بود که بلافاصله پس از اتمام تحصیلات و شروع به کار در گروه مهندسی برق دانشکده فنی سابق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر فعلی، تدریس این درس را به عهده گرفتم. در طول بیش از بیست و پنج سال تدریس این درس، جزوه‌هایی نیز به صورت چاپ شده در اختیار دانشجویان قرار داده‌ام. همواره سعی داشتم نتایج مطالعات و تجربیات خود را در قالب یک کتاب جامع چاپ و در اختیار علاقه‌مندان قرار دهم ولی این خواسته به دلایل مختلف، از جمله در اولویت قرار گرفتن تألیف کتاب ماشین‌های الکتریکی مخصوص و به دنبال آن بعضی گرفتاری‌های شغلی، این عمل تا امروز میسر نشد. پس از آن که جناب آقای دکتر سیدی به گروه قدرت پیوسته و تدریس این درس را به عهده گرفتند، از ایشان در این رابطه دعوت به همکاری نمودم تا چاپ این کتاب بیش از این به تعویق نیفتد.

طی دو دهه اخیر کتاب‌های متعدد در زمینه اندازه‌گیری و دستگاه‌های اندازه‌گیری ترجمه و چاپ شده‌اند ولی هر کدام بر حسب مورد به قسمت‌هایی از موضوع پرداخته است. البته چند جلد کتاب نیز به صورت تألیف چاپ شده است که از آن جمله می‌توان به تألیف یک کتاب در همین زمینه توسط آقای مهندس ا-ک اشاره نمود. لازم به ذکر است آقای مهندس ا-ک از دانشجویان سابق اینجانب در درس اندازه‌گیری بودند و متأسفانه بدون رعایت اصول امانت، قسمت‌های زیادی از جزوات منتشر شده اینجانب را بدون ذکر منبع در کتاب خود آورده‌اند. دلیل اشاره به این موضوع صرفاً برای برطرف

نمودن تردید خوانندگان محترم در مورد وجود برخی تشابهات بین بعضی از مطالب کتاب حاضر و کتاب اشاره شده است.

کارهای مربوط به چاپ این کتاب در حدود دو سال طول کشید. بدون شک، انجام این کار در ساعات موظف کار اداری نمی‌گنجید و قسمت اعظم اوقات فراغت و اوقاتی که باید صرف خانواده‌ام می‌شد، به‌انجام این کار صرف شد. لذا، برای جبران قسمت کوچکی از کوتاهی‌های خود نسبت به‌اعضای خانواده‌ام، سهم خود را در تألیف این کتاب به همسر گرامی‌ام مهنا، و دو فرزند عزیزم آرشیا و آرش تقدیم می‌کنم.

دکتر محمدرضا فیضی

دانشگاه تبریز

بهار ۱۳۹۰

www.ketab.ir

اندازه‌گیری هنری است که با استفاده از آن می‌توان یک پدیده و واقعیت فیزیکی را به‌صورت کمی بیان نمود و هر فرد در طول زندگی خود، به‌صورت آگاهانه یا ناآگاهانه، خواسته یا ناخواسته با آن سر و کار دارد. شناخت پدیده‌ها و واقعیت‌های اطراف ما بدون اندازه‌گیری نمی‌تواند کامل باشد. مثلاً، اگر از گرمی یا سردی هوا صحبت شود ولی میزان آن را نتوان با یک عدد بیان نمود، نمی‌توان شناخت خود را بر آن کامل دانست زیرا سردی و گرمی یک حس شخصی است و قضاوت افراد مختلف در مورد یک حالت خاص می‌تواند متفاوت باشد.

امروزه، اندازه‌گیری یک نقش مهم در شاخه‌های مختلف مهندسی و علوم بازی می‌کند. به‌عنوان مثال، انجام یک پروژه، اعم از یک پروژه ساده مانند ساختن یک میز، تا یک پروژه معظم مانند احداث یک نیروگاه یا پالایشگاه، مستلزم اندازه‌گیری پارامترهای مختلف قطعات به‌کار رفته در مرحله ساخت و مونتاژ است. کنترل کیفیت محصولات یک کارخانه نیز بدون اندازه‌گیری غیرممکن است.

این کتاب شامل ده فصل، از جمله یک فصل در مورد دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال و دو فصل در مورد اسیلوسکوپ اشعه کاتدی است و تمام سرفصل‌های درس اندازه‌گیری الکتریکی دوره کارشناسی را در این زمینه پوشش می‌دهد. به‌علاوه سه فصل اشاره‌شده، شامل توضیحات نسبتاً کامل و تاحدی مستقل از هفت فصل اولیه بوده می‌تواند به‌عنوان یک مرجع مناسب برای درس اندازه‌گیری الکترونیکی استفاده شود.

اغلب شکل‌های موجود در این کتاب با استفاده از نرم‌افزارهای Visio یا Photo FrameMaker رسم شده‌اند و برخی نیز با استفاده از نرم‌افزارهای SnagIt یا MathType ویرایش شده‌اند. معادلات به‌کاررفته نیز با استفاده از نرم‌افزار MathType نوشته شده‌اند. در مراحل تایپ فصول اول الی هفتم فونت به‌کار رفته برای کلیه اعداد، چه در متن و چه در فرمول‌ها، به‌صورت فارسی بود ولی با ورود به‌فصل هشت یک عدم

هم‌آهنگی بین اعداد با فونت فارسی و اعدادی که الزاماً باید با فونت لاتین تایپ می‌شد، مشاهده شد و در نتیجه، فونت اعداد به کار رفته در کلیه فرمول‌ها و نیز اغلب اعداد موجود در متن به فونت لاتین تغییر داده شد. کارهای مربوط به نرم‌افزار فتوشاپ، و بالاخص طراحی روی جلد، توسط آقای الیار زواری، یکی از دانشجویان فعال در کلاس اندازه‌گیری الکتریکی اینجانب انجام شده است که بدینوسیله از نامبرده تشکر می‌شود.

در نگارش این کتاب فرض بر آن است که خوانندگان با مطالب دروس فیزیک الکتریسته‌شناسی کامل داشته باشند. آشنایی با مطالب دروس مدارهای الکتریکی ۱، الکترونیک ۱، قسمت تبدیل الکترومکانیکی ماشین‌های الکتریکی ۱ و مدارهای منطقی کمک شایانی در فهم بهتر مطالب این کتاب می‌نماید. خلاصه‌ای از مطالب مورد نیاز در باره تبدیل الکترومکانیکی و مدارهای منطقی در قالب دو ضمیمه در انتهای کتاب آمده‌است.

از خوانندگان این کتاب انتظار می‌رود بعد از اتمام مطالعه کتاب، آشنایی کافی با دستگاه‌های اندازه‌گیری معرفی شده و کاربرد آن‌ها داشته باشند. این عمل به توانایی آن‌ها در انتخاب دستگاه مناسب برای اندازه‌گیری کمیت خاص کمک می‌کند.