

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اندازہ گیری الکتریکی

مؤلف:
دکتر محمود رضا طہماسب پور

سرشناسه:	طهماسب پور، محمودرضا، ۱۳۵۴ -
عنوان و نام پدیدآور:	اندازه گیری الکتریکی / مؤلف محمودرضا طهماسب پور ؛ ویرایش حسین خالقی راد، فرزاد جبرئیل زاده، عباس شفیعی.
مشخصات نشر:	تهران: برادری، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری:	۱۴۴ ص:؛ نمودار.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۶۷۹۰-۱۱-۴ ریال ۱۲۰۰۰
وضعیت فهرست نویسی:	فیبا
موضوع:	ابزار اندازه گیری
موضوع:	ابزار اندازه گیری برقی
موضوع:	اندازه گیری
شناسه افزوده:	خالقی راد، حسین، ۱۳۷۲ -، ویراستار
شناسه افزوده:	جبرئیل زاده، فرزاد، ۱۳۷۲ -، ویراستار
شناسه افزوده:	شفیعی، عباس، ۱۳۷۲ -، ویراستار
رده بندی کنگره:	۱۳۹۳ الف۵/ط۹: QC۱۰۰
رده بندی دیویی:	۵۳۰:۷
شماره کتابشناسی ملی:	۳۷۴۱۹۱۱



اندازه گیری الکتریکی

مؤلف:	دکتر محمودرضا طهماسب پور
ویرایش:	حسین خالقی راد، فرزاد جبرئیل زاده، عباس شفیعی
طرح جلد:	محسن خرقانی
چاپ:	اول - زمستان ۱۳۹۳
تیراژ:	۱۰۰۰ نسخه
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۶۷۹۰-۱۱-۴
لینوگرافی و چاپ:	افست گرافیک نوین
قیمت:	۱۲۰۰۰ تومان
انتشارات:	برادری
کلیه حقوق این اثر برای مؤلفان محفوظ است	
تلفن بخش:	۰۹۱۳-۲۷۱۷۸۱۰
نمابر:	۰۲۱-۳۳۱۲۵۰۲۶

فصل اول - اندازه‌گیری، اهمیت و کاربردها

- ۱-۱) اندازه‌گیری چیست؟ ۱
- ۲-۱) چگونه اندازه‌گیری می‌کنیم؟ ۱
- ۳-۱) کمیت‌های مرجع ۱
- ۴-۱) کالیبراسی (مدرج نمودن) دستگاه ۴
- ۵-۱) کاربردهای اندازه‌گیری ۴
- ۶-۱) سیستم اندازه‌گیری ۴
- ۷-۱) اندازه‌گیری الکتریکی ۵
- ۸-۱) اجزاء یک سیستم اندازه‌گیری الکتریکی ۵
- ۹-۱) روش تفاوتی و روش تعادلی ۶
- ۱۰-۱) دستگاههای قیاسی و دستگاههای رقمی ۷

فصل دوم - مشخصه‌های استاتیک دستگاهها و سیستمهای اندازه‌گیری

- ۱-۲) تعریف مشخصه (ویژگی) ۸
- ۲-۲) مشخصه‌های دینامیک و استاتیک دستگاه اندازه‌گیری ۸
- ۳-۲) مشخصه‌های استاتیک سیستم اندازه‌گیری ۸
- ۴-۲) صحت یا درستی ۹
- ۵-۲) خطا ۹
- ۶-۲) حساسیت ۱۰
- ۷-۲) قدرت تفکیک (تمایز) ۱۱
- ۸-۲) تکرار پذیری - دقت ۱۲
- ۹-۲) ارقام با معنی Significant figures ۱۳
- ۱۰-۲) خطای بودن و خطای سازی ۱۴
- ۱۱-۲) پسماند (Hysteresis) ۱۵
- ۱۲-۲) ناحیه مرده و زمان مرده ۱۶
- ۱۳-۲) اثرهای بارگذاری ۱۷
- ۱۳-۲) اثرهای بارگذاری ناشی از دستگاههای با اتصال موازی ۱۷
- ۱۳-۲) اثرهای بارگذاری ناشی از دستگاههای با اتصال متوالی (سری) ۱۹
- ۱۴-۲) تطبیق امپدانس و انتقال توان بیشینه ۲۰

فصل سوم - مشخصه‌های دینامیک سیستمهای اندازه‌گیری

- ۱۰-۳ پاسخ دینامیک (پویا)
 ۲-۳ حوزه فرکانس و حوزه زمان
 ۳-۳ مشخصه‌های دینامیک
 ۴-۳ خطای دینامیک (پویا)
 ۵-۳ مشخصه‌های دینامیک عناصر با تابع تبدیل درجه ۱
 ۱-۵-۳ پاسخ زمانی با فرض ورودی پله $(X = A_2 \cdot u(t))$ و ضربه $(X = A_2 \cdot \delta(t))$
 ۲-۵-۳ پاسخ فرکانسی (پاسخ حالت پایدار)
 ۳-۵-۳ عناصر با زمان تاخیر
 ۶-۳ مشخصه‌های دینامیک سیستم‌های درجه دوم
 ۱-۶-۳ پاسخ زمانی
 ۲-۶-۳ پاسخ فرکانسی
 ۷-۳ سیستم‌های با درجات بالاتر
 ۸-۳ کاهش خطای دینامیک

فصل چهارم - خطاها و آنالیز خطا

- ۱-۴ خطای حدی
 ۲-۴ ترکیب کمیت‌های دارای خطای حدی
 ۱-۲-۴ جمع دو کمیت
 ۲-۲-۴ تفاضل دو کمیت
 ۳-۲-۴ جمع یا تفاضل بیش از دو کمیت
 ۴-۲-۴ ضرب دو کمیت
 ۵-۲-۴ خارج قسمت
 ۶-۲-۴ ضرب و تقسیم بیش از دو کمیت
 ۷-۲-۴ توان یک کمیت
 ۸-۲-۴ ضرب توانها
 ۳-۴ انواع خطاها در اندازه‌گیری
 ۱-۳-۴ خطاهای آشکار
 ۲-۳-۴ خطاهای سیستمی
 ۳-۳-۴ خطاهای تصادفی
 ۴-۴ بررسی آماری داده‌ها
 ۱-۴-۴ میانگین حسابی
 ۲-۴-۴ پراکندگی
 ۳-۴-۴ منحنی نرمال (بهنجار) یا گوسی خطاها

فصل پنجم - اسیلوسکوپ (نوسان نما) اشعه کاتدی

۳۶

۳۶

۳۶

۳۷

۳۸

۴۰

۴۲

۴۳

۴۴

۴۵

۴۵

۴۵

۴۸

۴۹

۴۹

۴۹

۵۱

۵۳

۵۴

۵۴

۵۵

۱-۵) معرفی اسیلوسکوپ

۲-۵) اجزا و بلوک دیاگرام اسیلوسکوپ

۳-۵) لامپ اشعه کاتدی

۱-۳-۵) تفنگ الکترونی

۲-۳-۵) انحراف الکترواستاتیکی

۳-۳-۵) محدودیت فرکانس

۴-۳-۵) انحراف دهنده الکترومغناطیسی

۴-۵) اسیلوسکوپ چند کاناله

۵-۵) پردازش سیگنال عمودی

۱-۵-۵) تقویت عمودی

۲۰۵-۵) تضعیف کننده‌ها

۳-۵-۵) تزویج ac و dc

۶-۵) پروب

۷-۵) سیگنال افقی و مدار جاروب (سیستم انحراف افقی)

۱-۷-۵) تولید سیگنال افقی

۲-۷-۵) موج دندان اره‌ای

۳-۷-۵) انواع تریگر

۴-۷-۵) اثر سنکرون نبودن پالسهای تریگر با شکل موج ورودی عمودی

۵-۷-۵) ورودی افقی برای دیدن یک سیگنال بر حسب سیگنال دیگر

۸-۵) اندازه‌گیری فاز و فرکانس (منحنیهای لیسازو)

فصل ششم - دستگاههای اندازه‌گیری الکتریکی آنالوگ (قیاسی)

۵۷

۵۷

۵۷

۵۷

۵۸

۵۸

۵۸

۵۹

۵۹

۵۹

۱-۶) معرفی

۲-۶) اصول عملکرد

۱-۲-۶) اثر مغناطیسی

۲۰۲-۶) اثر گرمایی

۳-۲-۶) اثر الکترواستاتیکی

۴-۲-۶) اثر القایی

۵-۲-۶) اثر هال

۳-۶) نیروهای عامل

۱-۳-۶) نیروی انحراف دهنده

- ۵۹ (۲-۳-۶) نیروی کنترل کننده
- ۵۹ (۲-۳-۶) نیروی میرا کننده
- ۶۱ (۴-۶) علائم روی دستگاههای اندازه گیری آنالوگ و مفهوم آنها
- ۶۳ (۵-۶) یادآوری مفاهیم مقادیر متوسط، موثر، روابط فازوری در جریان و ولتاژ متناوب

فصل هفتم - گالوانومتر و کاربردهای آن در اندازه گیری

- ۶۹ (۱-۷) معرفی
- ۶۹ (۲-۷) معادله گشتاور در گالوانومتر (حالت استاتیک)
- ۷۰ (۳-۷) رفتار دینامیک گالوانومتر
- ۷۲ (۴-۷) استفاده از گالوانومتر به عنوان ثبات
- ۷۴ (۵-۷) آمپرسنج DC به کمک گالوانومتر قاب گردان (گالوانومتر دارسونوال)
- ۷۴ (۶-۷) ولت سنج DC به کمک گالوانومتر دارسونوال
- ۷۶ (۷-۷) اهم سنج با استفاده از گالوانومتر دارسونوال
- ۷۸ (۸-۷) اندازه گیری ولتاژ و جریان AC به کمک گالوانومتر دارسونوال
- ۸۰ (۹-۷) مالی متر
- ۸۳ (۱۰-۷) خطاهای دستگاه قاب گردان
- ۸۳ (۱۱-۷) دستگاه با قاب صلیبی

فصل هشتم - دستگاه آهن گردان

- ۸۶ (۱-۸) معرفی
- ۸۶ (۲-۸) معادله کلی گشتاور
- ۸۷ (۳-۸) توانایی کار با ac و dc
- ۸۷ (۴-۸) مقیاس
- ۸۸ (۵-۸) آمپرسنج با دستگاه آهن گردان
- ۸۸ (۶-۸) ولت سنج با دستگاه آهن گردان
- ۸۹ (۷-۸) مقایسه دستگاههای جذبی با دفعی
- ۸۹ (۸-۸) خطاهای آهن گردان
- ۸۹ (۱-۸-۸) خطاهای مشترک در ac و dc
- ۸۹ (۲-۸-۸) خطاهای منحصر به ac (خطای فرکانس)
- ۹۰ (۹-۸) مزایا و معایب
- ۹۰ (۱-۹-۸) مزایا
- ۹۱ (۲-۹-۸) معایب

فصل نهم - دستگاه الکترو دینامیکی

- ۹۳ (۱-۹) معرفی
- ۹۳ (۲-۹) معادله گشتاور
- ۹۴ (۳-۹) معادله تعادل در حالت dc
- ۹۵ (۴-۹) معادله تعادل در حالت ac
- ۹۵ (۵-۹) آمپرسنج الکترو دینامومتری
- ۹۶ (۶-۹) ولتسنج الکترو دینامومتری
- ۹۷ (۷-۹) سنجش توان با دستگاه الکترو دینامیکی
- ۹۷ (۱-۷-۹) واکمتر
- ۹۸ (۲-۷-۹) سنجش توان راکتیو (وارمتر)
- ۹۸ (۳-۷-۹) سنجش توان ظاهری
- ۹۹ (۸-۹) خطاهای دستگاه الکترو دینامیکی
- ۹۹ (۹-۹) مزایا و معایب
- ۹۹ (۱-۹-۹) مزایا
- ۹۹ (۲-۹-۹) معایب
- ۱۰۰ (۱۰-۹) دستگاه فرو دینامیکی
- ۱۱-۹ محاسبه ضریب توان ($\cos \phi$) با استفاده از دستگاه الکترو دینامیکی با قاب صلیبی
- ۱۰۰

فصل دهم - دستگاه الکترو استاتیکی

- ۱۰۳ (۱-۱۰) معرفی
- ۱۰۳ (۲-۱۰) معادله گشتاور
- ۱۰۴ (۳-۱۰) توسعه محدوده سنجش در ولتسنج الکترو استاتیکی
- ۱۰۴ (۱-۳-۱۰) مقسم ولتاژ مقاومتی
- ۱۰۵ (۲-۳-۱۰) مقسم ولتاژ خازنی
- ۱۰۶ (۴-۱۰) ویژگیهای دستگاه الکترو استاتیکی
- ۱۰۷ (۵-۱۰) مزایا و معایب
- ۱۰۷ (۱-۵-۱۰) مزایا
- ۱۰۷ (۲-۵-۱۰) معایب

فصل یازدهم - دستگاه القایی و انرژی سنجی

- ۱۰۸ (۱-۱۱) معرفی
- ۱۰۸ (۲-۱۱) معادله گشتاور
- ۱۰۹ (۳-۱۱) انواع دستگاههای القایی

۱۰۹	۱۱-۳-۱) نوع فراریس
۱۱۰	۱۱-۳-۲) نوع قطب سایه‌دار
۱۱۱	۱۱-۴) مزایا و معایب
۱۱۱	۱۱-۴-۱) مزایا
۱۱۱	۱۱-۴-۲) معایب
۱۱۲	۱۱-۵) سنجش انرژی بوسیله دستگاه القایی
۱۱۳	۱۱-۵-۱) سیستم محرک
	۱۱-۵-۲) سیستم متحرک
	۱۱۳
۱۱۳	۱۱-۵-۳) سیستم ترمز
۱۱۴	۱۱-۵-۴) سیستم ثبت (شمارش)
۱۱۴	۱۱-۶) سنجش توان و انرژی سه فاز ac
۱۱۵	فصل دوازدهم - پلهای اندازه‌گیری
۱۱۵	۱۲-۱) معرفی
۱۱۵	۱۲-۲) پلهای تعادلی
۱۱۵	۱۲-۲-۱) پل وتستون
۱۱۶	۱۲-۲-۲) خطاهای پل وتستون
۱۱۶	۱۲-۲-۳) حساسیت پل وتستون
۱۱۶	۱۲-۲-۴) پل کلوین
۱۱۸	۱۲-۲-۵) تعیین محل انصالی کابل و زمین
۱۱۸	۱۲-۳) پلهای تعادلی ac
۱۱۹	۱۲-۳-۱) پل اندازه‌گیری خازن
۱۲۰	۱۲-۳-۲) پل اندازه‌گیری سلف
۱۲۰	۱۲-۳-۳) پل ماکسول (اندازه‌گیری اندوکتانس مجهول با استفاده از خازن معلوم)
۱۲۱	۱۲-۳-۴) پل هی (اندازه‌گیری RL سری با Q بزرگ)
۱۲۱	۱۲-۳-۵) پل شرینگ برای اندازه‌گیری خازن با مقاومت سری خیلی کوچک
۱۲۲	۱۲-۳-۶) پل وین برای اندازه‌گیری فرکانس مجهول
۱۲۲	۱۲-۳-۷) پل هوی‌ساید برای اندازه‌گیری اندوکتانس متقابل دو سیم‌پیچ
۱۲۵	فصل سیزدهم - دستگاهها و روشهای اندازه‌گیری فرکانس
۱۲۵	۱۳-۱) فرکانس سنج با تشدید مکانیکی
۱۲۶	۱۳-۲) فرکانس‌سنج با تشدید الکتریکی
۱۲۶	۱۳-۲-۱) دستگاه فرودینامیکی

مقدمه

این امر خیلی مهم است که مهندسان برق و کامپیوتر، توانایی انجام آزمایش‌های موفقیت‌آمیز را داشته باشند و به همان اندازه نیز مهم است که بدانند یا بتوانند دقت اندازه‌گیری‌های خود را برآورد کنند. چنین امری مستلزم شناخت دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی و اساس کار آنها است.

این کتاب حاصل تجربه تدریس درس‌های اندازه‌گیری الکتریکی طی چندین ترم در دانشگاه در مقطع کارشناسی است که در آن سعی شده است مطالب و مباحث اساسی مورد نیاز ارائه شده و از اضافه‌گویی خودداری شود. این مطالب و مباحث به گونه‌ای است که درس سه واحدی اندازه‌گیری الکتریکی در مقطع کارشناسی را پوشش می‌دهد.

به دلیل ارتباط مستقیم درس اندازه‌گیری الکتریکی با الکترونیکی، سعی خواهد شد تا در اسرع وقت کتاب دیگری با عنوان اندازه‌گیری الکترونیکی با پوشش سر فصل‌های درس سه واحدی فوق در ادامه چاپ گردد.

لازم می‌دانم از مدیریت محترم گروه برق دانشگاه علم و فرهنگ تهران جناب آقای مهندس ذاکری بخاطر تشویق در چاپ کتاب و دانشجویان کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک دانشگاه علم و فرهنگ تهران آقایان فرزاد جبرئیل، حسین خالقی‌راد و عباس شفیعی به‌خاطر زحمت حروفچینی، صفحه‌آرایی، نمودارها و اشکال کتاب را تشکر و قدردانی نمایم.

در پایان از حمایت‌های معنوی پدر همسرم، همسر عزیزم و سهمی که ایشان و فرزند خویم آتنا با تحمل سختی‌های انکارناپذیر در موفقیت من و پدید آمدن این اثر داشته‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم.

محمود رضا طهماسب‌پور

زمستان ۱۳۹۳