

به نام خدا

اصول اندازه گیری الکتریکی

ابوالفضل زبردست

شهر آشوب

۱۳۹۶

سرشناسه	زبردست، ابوالفضل، ۱۳۵۲-
عنوان و نام پدیدآور	اصول اندازه گیری الکتریکی / ابوالفضل زبردست.
مشخصات نشر	تهران: شهرآشوب، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۰ص.
شابک	: ۱۱۰۰۰۰ ریال: ۹۷۸-۹۶۴-۷۵۱۳-۸۳-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: ابزار اندازه گیری برقی
موضوع	: Electric meters
موضوع	: ابزار اندازه گیری
موضوع	: Measuring instruments
رده بندی کنگ	: ۱۳۹۵ الف ۳/۱ TK۳۰
رده بندی یوبی	: ۶۳۱/۳۷۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۳۸۱۸۸۱



انتشارات شهرآشوب

تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، کوچه اندیشه، پلاک ۸، طبقه سوم
تلفن: ۰۹۱۲۳۸۳۱۶۴۴-۶۶۴۴۶۸۰۷

عنوان	: اصول اندازه گیری الکتریکی
ناشر	: انتشارات شهرآشوب
مؤلف	: ابوالفضل زبردست
نوبت چاپ	: اول ۱۳۹۶
تیراژ	: ۵۰۰ نسخه
قیمت	: ۱۱۰۰۰۰ ریال
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۷۵۱۳-۸۳-۸

فهرست مطالب

۹	پیشگفتار مولف
۱۱	فصل اول: اندازه‌گیری و سیستم‌های اندازه‌گیری
۱۳	۱-۱- مقدمه
۱۳	۱-۲- اهمیت اندازه‌گیری الکتریکی
۱۴	۱-۳- تعریف اندازه‌گیری
۱۵	۱-۴- روش‌های اندازه‌گیری
۱۶	۱-۵- طبقه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری
۱۶	سیگنال چیست؟
۱۷	۱-۶- سیستم‌های اندازه‌گیری عمیق یافته
۱۹	فصل دوم: خطاهای اندازه‌گیری و بررسی آماری داده‌ها
۲۱	۲-۱- انواع خطاها
۲۱	۲-۱-۱- خطاهای فاحش
۲۲	۲-۱-۲- خطاهای سیستمی
۲۲	۲-۱-۲-۱- خطای دستگاه‌های اندازه‌گیری
۲۲	۲-۱-۲-۲- خطاهای محیطی
۲۳	۲-۱-۲-۳- خطاهای مشاهده‌ای
۲۳	۲-۱-۳- خطاهای تصادفی (بازمانده)
۲۴	۲-۲- بررسی آماری داده‌ها
۲۵	۲-۲-۱- نمودار ستونی
۲۶	۲-۲-۲- میانگین حسابی
۲۶	۲-۲-۳- انحراف
۲۷	۲-۲-۴- میزان پراکندگی حول مقدار میانگین
۲۸	۲-۲-۵- گستره
۲۸	۲-۲-۶- انحراف میانگین
۲۸	۲-۲-۷- انحراف معیار
۲۹	۲-۲-۸- واریانس
۳۰	۲-۳- خطای مطلق، نزدیکترین مقدار کمیت و خطای نسبی

۳۰	۲-۳-۱- خطای مطلق
۳۱	۲-۳-۲- خطای نسبی
۳۱	۲-۴- خطای حدی (خطای تضمین شده)
۳۳	۲-۵- ترکیب کمیت‌های دارای خطای حدی
۳۳	۲-۵-۱- جمع دو کمیت
۳۴	۲-۵-۲- تفریق دو کمیت
۳۴	۲-۵-۳- ضرب دو کمیت
۳۵	۲-۵-۴- تقسیم دو کمیت
۳۵	۲-۵-۵- توان به کمیت
۳۶	۲-۵-۶- توان توانها
۳۷	۲-۶- خطای معلوم
۳۹	تمرینات فصل دوم
۴۱	فصل سوم: اصول عملکرد و مشخصات اصلی دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ
۴۳	۳-۱- مقدمه
۴۳	۳-۲- رده‌بندی دستگاه‌های آنالوگ
۴۵	۳-۲- اصول عملکرد دستگاه‌های آنالوگ
۴۵	۳-۳-۱- اثر مغناطیسی
۴۷	۳-۳-۲- اثر گرمایی
۴۸	۳-۳-۳- اثر الکتروستاتیکی
۴۸	۳-۳-۴- اثر القایی
۴۸	۳-۳-۵- اثر هال
۴۹	۳-۴- مشخصات اصلی دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ
۴۹	۳-۴-۱- نوع کمیت مورد سنجش
۵۰	۳-۴-۲- حدود سنجش
۵۰	۳-۴-۳- ساختمان داخلی دستگاه
۵۰	۳-۴-۴- نوع جریان (مستقیم یا متناوب)
۵۰	۳-۴-۵- حدود فرکانس
۵۱	۳-۴-۶- وضعیت قرار گرفتن دستگاه
۵۱	۳-۴-۷- دقت دستگاه (کلاس دستگاه)
۵۱	۳-۴-۸- استقامت الکتریکی دستگاه
۵۲	۳-۴-۹- مشخصات پرونده دستگاه
۵۵	فصل چهارم: گالوانومتر دارسون وال و بررسی رفتار دینامیکی آن
۵۷	۴-۱- مقدمه

۴-۲	اجزاء تشکیل دهنده گالوانومتر دارسون وال	۵۸
۴-۳	مفهوم گشتاور و محاسبه گشتاور انحرافی در دستگاه دارسون وال	۶۱
۴-۴	قانون نیوتن در حرکت دورانی	۶۲
۴-۵	محاسبه گشتاور انحرافی در دستگاه دارسون وال	۶۳
۴-۵-۱	محاسبه گشتاور و زاویه انحراف در جریان (DC)	۶۳
۴-۵-۲	محاسبه گشتاور و زاویه انحراف در جریان (AC)	۶۵
۴-۶	مقیاس‌های خطی و غیر خطی در دستگاه دارسون وال	۶۵
۴-۷	رفتار دینامیکی گالوانومتر دارسون وال	۶۷
۴-۸	حرکت فرومیرای گالوانومتر دارسون وال	۶۹
۴-۹	حرکت میرای بحرانی گالوانومتر دارسون وال	۷۰
۴-۱۰	سیستم ای میراکننده	۷۱
۷۶	تمرینات فصل چهارم	

۷۷	فصل پنجم: راه ساده استگاه PMMC به عنوان آمپرسنج، ولتسنج و اهمسنج	
۷۹	۵-۱- مقدمه	
۷۹	۵-۲- شنت‌های آمپرسنج	
۸۱	۵-۳- آمپرسنجهای چند راه	
۸۳	۵-۴- ضرب‌کننده‌های ولتسنج	
۸۵	۵-۵- ولتسنجهای چندگستره	
۸۵	۵-۵-۱- ضرب‌کننده‌های منفرد	
۸۵	۵-۵-۲- مقسم ولتاژ	
۸۷	۵-۶- حساسیت	
۸۷	۵-۷- حساسیت ولتسنج و اثر بارگذاری	
۸۹	۵-۸- اهمسنج‌ها	
۸۹	۵-۸-۱- مقدمه	
۹۰	۵-۸-۲- اهمسنج سری	
۹۳	۵-۸-۳- اهمسنج موازی	
۹۶	تمرینات فصل پنجم	

۹۹	فصل ششم: کاربردهای دستگاه PMMC در جریان متناوب	
۱۰۱	۶-۱- مقدمه	
۱۰۱	۶-۲- محاسبه ضریب K برای شکل موجهای سینوسی	
۱۰۳	۶-۳- عناصر یکسوساز	
۱۰۴	۶-۴- ولتسنج با یکسوساز نیم موج	
۱۰۶	۶-۵- ولتسنج با یکسوساز تمام موج	

۶-۶- آمپرسنج‌های یکسوکننده‌دار.....	۱۰۸
۶-۷- به کارگیری دستگاه برای شکل موجهای غیر سینوسی.....	۱۰۹
۶-۸- روش ساده محاسبه مقادیر موثر و متوسط امواج غیر سینوسی.....	۱۱۱
تمرینات فصل ششم.....	۱۱۲
فصل هفتم: دستگاه اندازه‌گیری با آهن نرم گردان.....	۱۱۳
۷-۱- مقدمه.....	۱۱۵
۷-۲- محاسبه گشتاور انحرافی در دستگاه اندازه‌گیری با آهن متحرک.....	۱۱۷
۷-۳- شکل القای دایره‌ای در دستگاه اندازه‌گیری با آهن متحرک.....	۱۱۹
۷-۴- مزایا و معایب دستگاه اندازه‌گیری با آهن متحرک.....	۱۲۰
تمرینات فصل هفتم.....	۱۲۳
فصل هشتم: دستگاه اندازه‌گیری الکترو دینامیکی.....	۱۲۵
۸-۱- مقدمه.....	۱۲۷
۸-۲- محاسبه گشتاور انحرافی در دستگاه اندازه‌گیری الکترو دینامیکی.....	۱۲۸
۸-۲-۱- آمپرسنج الکترو دینامیکی.....	۱۳۱
۸-۲-۲- ولت‌سنج الکترو دینامیکی.....	۱۳۲
۸-۳- مزایا و معایب دستگاه اندازه‌گیری الکترو دینامیکی.....	۱۳۳
۸-۴- دستگاه اندازه‌گیری فرودینامیکی.....	۱۳۵
۸-۵- مزایا و معایب دستگاه اندازه‌گیری فرودینامیکی.....	۱۳۶
تمرینات فصل هشتم.....	۱۳۸
فصل نهم: سنجش توان در سیستم‌های تک‌فاز و سه فاز توسط دستگاه الکترو دینامیکی.....	۱۳۹
۹-۱- توان در مدارهای DC.....	۱۴۱
۹-۲- توان در مدارهای AC.....	۱۴۲
۹-۳- سنجش توان میانگین در مدار تک فاز.....	۱۴۲
۹-۴- سنجش توان میانگین در مدار سه فاز چهار سیم.....	۱۴۳
۹-۵- سنجش توان میانگین در مدار سه فاز سه سیم.....	۱۴۴
۹-۶- سنجش توان میانگین در مدار سه فاز سه سیم با دو واتمتر.....	۱۴۴
فصل دهم: دستگاه اندازه‌گیری القایی.....	۱۴۷
۱۰-۱- مقدمه.....	۱۴۹
۱۰-۲- دستگاه اندازه‌گیری القایی نوع قطب سایه‌دار.....	۱۵۲
۱۰-۳- مزایا و معایب.....	۱۵۵
۱۰-۴- سنجش انرژی توسط دستگاه القایی.....	۱۵۷

۱۵۷	۱-۴-۱- سیستم محرک
۱۵۸	۱-۴-۲- سیستم متحرک
۱۵۸	۱-۴-۳- سیستم ترمز
۱۵۹	۱-۴-۴- سیستم ثبت (شمارش)

فصل یازدهم: اندازه‌گیری ضریب توان و فرکانس

۱۶۳	۱۱-۱- مقدمه
۱۶۳	۱۱-۲- ضریب توان سنج الکتروپنایمیکی تکفاز
۱۶۶	۱۱-۳- ضریب توان سنج الکتروپنایمیکی سه فاز
۱۶۸	۱۱-۴- فرکانس سنج
۱۶۸	۱۱-۴-۱- فرکانس سنج با تشدید مکانیکی
۱۶۹	۱۱-۴-۲- فرکانس سنج با تشدید الکتریکی
۱۶۹	۱۱-۴-۲-۱- نوع فروپنایمیکی
۱۷۱	۱۱-۴-۲-۲- نوع الکتروپنایمیکی
۱۷۲	۱۱-۴-۳- فرکانس سنج رستون
۱۷۳	۱۱-۴-۴- فرکانس سنج راسبی

فصل دوازدهم: پل‌های اندازه‌گیری

۱۷۷	۱۲-۱- معرفی
۱۷۷	۱۲-۲- پل‌های تعادلی DC
۱۷۷	۱۲-۲-۱- پل وتستون
۱۷۸	۱۲-۲-۱-۱- خطاهای پل وتستون
۱۷۹	۱۲-۲-۱-۲- حساسیت پل وتستون
۱۷۹	۱۲-۲-۲- پل کلونین
۱۸۱	۱۲-۲-۳- تعیین محل اتصالی کابل و زمین
۱۸۲	۱۲-۳- پل‌های تعادلی AC
۱۸۳	۱۲-۳-۱- پل اندازه‌گیری خازن مجهول
۱۸۴	۱۲-۳-۲- پل اندازه‌گیری اندوکتانس مجهول
۱۸۵	۱۲-۳-۳- پل ماکسول
۱۸۶	۱۲-۳-۴- پل هی
۱۸۷	۱۲-۳-۵- پل شرینگ
۱۸۸	۱۲-۳-۶- پل وین برای اندازه‌گیری فرکانس مجهول
۱۸۸	۱۲-۳-۷- پل هوی ساید برای اندازه‌گیری اندوکتانس متقابل دو سیم‌پیچ
۱۹۱	تمرینات فصل دوازدهم

۱۹۵	فصل سیزدهم: اسیلوسکوپ
۱۹۷	۱۳-۱ - مقدمه
۱۹۷	۱۳-۲ - بلوک دیاگرام اسیلوسکوپ
۱۹۹	۱۳-۳ - لامپ اشعه کاتدی (Cathode Ray Tube)
۲۰۲	۱۳-۴ - انحراف اشعه در میدان الکتریکی
۲۰۷	۱۳-۵ - صفحات انحراف عمودی
۲۰۸	۱۳-۶ - صفحه حساس CRT
۲۰۹	۱۳-۷ - صفحه شطرنجی
۲۱۱	۱۳-۸ - اسیلوسکوپ چند کاناله
۲۱۲	۱۳-۹ - سیستم انحراف افقی
۲۱۳	۱-۹-۳ - مداتوماتیک (Auto Triggering Mode)
۲۱۴	۲-۹-۱۳ - تریگ خارجی (External Trigger)
۲۱۴	۳-۹-۱۳ - انتخاب حالت
۲۱۵	۴-۹-۱۳ - موج جارو و خیر باف
۲۱۶	۱۰-۱۳ - سیستم انحراف عمودی
۲۱۸	۱۱-۱۳ - پروب (Probe) های امیدار بالا
۲۲۱	۱۲-۱۳ - اسیلوسکوپ دیجیتال
۲۲۳	۱۳-۱۳ - کاربردها
۲۲۴	۱-۱۳-۱۳ - اندازه‌گیری ولتاژ
۲۲۴	۲-۱۳-۱۳ - اندازه‌گیری‌های دوره تناوب و فرکانس
۲۲۴	۳-۱۳-۱۳ - تعیین فرکانس با الگوهای لیسازو (Lissajous Patterns)
۲۲۶	۴-۱۳-۱۳ - محاسبه زاویه فاز
۲۲۹	فصل چهاردهم: معرفی اجمالی دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال
۲۳۱	۱-۱۴ - مقدمه
۲۳۱	۲-۱۴ - ویژگی‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال
۲۳۳	۳-۱۴ - فرآیند اندازه‌گیری در مالتی‌مترهای دیجیتال
۲۳۴	۴-۱۴ - مبدل A/D تک شیبی
۲۳۵	۵-۱۴ - مبدل A/D دو شیبی
۲۳۶	۶-۱۴ - مبدل A/D با تبدیل ولتاژ به فرکانس
۲۳۸	۷-۱۴ - بلوک دیاگرام یک مالتی‌متر دیجیتال
۲۳۹	مراجع

پیشگفتار مولف

بی‌شک بدون قابلیت اندازه‌گیری در هر حوزه مهندسی بخصوص در مهندسی برق، امکان هیچگونه تصمیم‌گیری در زمینه طراحی، نگهداری و کنترل سیستم‌ها فراهم نخواهد بود. لذا رسیدن به اهداف مطرح شده، مستلزم شناخت دستگاه‌های اندازه‌گیری و بررسی اساس کار آنها می‌باشد. گرچه پیشرفت‌های زیادی در زمینه دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال حاصل شده و این دستگاه‌ها کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند ولی همچنان دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ مورد استفاده قرار گرفته و در کاربردهای صنعتی جایگاه خود را حفظ کرده‌اند، بطوریکه در بعضی کاربردها جایگزینی آنها با دستگاه‌های دیجیتال عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. مباحث مربوط به اندازه‌گیری الکتریکی بسیار گسترده بوده با این حال در این کتاب سعی شده است که مهمترین و پرکاربردترین دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ مورد بررسی قرار گرفته به نحویکه سرفصل درس اندازه‌گیری الکتریکی در مقطع کارشناسی برق را تا حدود زیادی پوشش دهد. امید است که مورد استفاده دانشجویان عزیز قرار گیرد.

ابوالفضل زبردست