

ایہ نامہ تہر بہترین سر انجناز
پیہ نامہ تہر نامہ کی گنہ ہار

ابزار دقیق

تئوری و عملی

John Turner, Martyn Hill : مؤلف

مهندس محمد طلوع خراسانیان : مترجم

سرشناسنامه	: ترنر، جان دیوید
	Turner, John David
عنوان و نام پدیدآورنده	: ابزار دقیق : تئوری و عملی / مولف [جان دیوید ترنر، مارتیل هیل]؛ مترجم محمد طلوع خراسانیان.
وضعیت ویراست	: ویراست ۲.
مشخصات نشر	: تهران : طراح، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۰ ص.
شابک	: 978-964-2917-69-3
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت : عنوان اصلی	: Instrumentation for engineers and scientists, 1999.
یادداشت	: ویراست قبلی کتاب حاضر تحت عنوان «تئوری و عملی ابزار دقیق» توسط انتشارات طراح در سال ۱۳۸۲ منتشر شده است.
عنوان دیگر	: تئوری و عملی ابزار دقیق
موضوع	: مهندسی - ابزار و وسایل
موضوع	: صنایع الکترونیک
شناسه افزوده	: هیل، مارتین، Hill, Martyn. طلوع خراسانیان، محمد، ۱۳۳۷ - مترجم
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ت۴/ت۱۶۵ TA
رده‌بندی دیویی	: ۶۸۱/۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۷۹۲۹۵۶

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر، پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۲۹۱۷-۶۹-۳
ISBN 978-964-2917-69-3

 **نشر طراح**

- نام کتاب : ابزار دقیق تئوری و عملی
- مؤلف : John david Turner
- مترجم : مهندس محمد طلوع خراسانیان
- ناشر : نشر طراح
- تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
- نوبت چاپ : اول، پاییز ۱۳۹۱

کلیه حقوق برای نشر طراح محفوظ است.

مرکز پخش و فروش : خیابان انقلاب - روبه‌روی دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - طبقه دوم
واحد ۵۰۶ و واحد ۲۰۸

فکس : ۶۶۹۵ ۳۶۲۶ و ۶۶۹۵ ۷۹۹۹ و ۶۶۹۵ ۱۸۳۲ و ۶۶۹۵ ۱۸۳۱ و ۳ و ۱۱۲ ۱۱۲ ۹۱۳ - ۰ (ت)

مقدمه

علم ابزار دقیق برای دانشجویان علوم و مهندسی، از اهمیت خاصی برخوردار است. بدون اندازه‌گیری صحیح، نه تجربیات علمی محقق خواهد شد و نه ساده‌ترین سیستم مهندسی قابل کنترل خواهد بود. سنسورها، در واقع، چشم و گوش فن‌آوران است حتی قوه بویایی نیز به طور مصنوعی ساخته شده و قابل استفاده است.

بدون وجود سنسورها و عملیات مربوط به آنها مانند: فرآوری سیگنالهای خروجی از سنسورها، پردازش سیگنالهای خروجی و تحلیل اطلاعات و داده‌ها و همین‌طور بدون وجود سیستمهای ذخیره اطلاعات، دنیای اطراف ما سرد، تاریک و غیرقابل تحمل بود. حمل و نقل به شکل امروزی ممکن نبود و اگر شخصی مریض می‌شد، تنها راه مراقبت از او، همان روشهای ابتدایی طب قدیم بود.

پیشرفتی که تقریباً در همه زمینه‌های فنی نصیب بشر شده است، تقریباً متناسب با سرعتی است که انسان، طی آن، وسایل اندازه‌گیری دقیق را ابداع کرده است.

در همه زمینه‌های رقابت مهندسی، آن رشته‌ای که اندازه‌گیریهای بهینه، قابل اعتماد و ارزان را ارائه کند، غالباً سخت‌ترین رشته‌هاست. به عنوان مثال، در مهندسی پیشرفته، میکروپروسسورها برای انجام وظایفی چون اندازه‌گیریهای موتور، سریع رشد کرده‌اند و این بیشتر به این دلیل است که هزینه توان پردازش (که غالباً به عنوان نسبت هزینه - کارایی و یا $PPR [price - performance\ ratio]$ مطرح می‌شود) به مقدار باور نکردنی پایین می‌آید. در دهه اخیر شاخص PPR در مورد میکروپروسسورها هزار برابر شده است. به گونه‌ای مشابه، کاربرد موتورهای الکتریکی در اتومبیلها، رشد بسیار سریعی داشته‌است: بسیاری از وظایف مانند تنظیم آینه و صندلیها و پایین کشیدن شیشه اتومبیلها و غیره هم‌اکنون توسط همین موتورها انجام می‌شود. باز هم علت به کارگیری این ابزار در اتومبیل، PPR یا همان نسبت هزینه - کارایی است. در مورد موتورهای الکتریکی، بسته به نوع موتور، این نسبت بین 50 تا 100 برابر بهبود پیدا کرده است. اما سنسورها، مانند موارد فوق نبوده‌اند. بیشتر مطالعات نشان داده است که در بیست سال اخیر، شاخص PPR برای سنسورها تنها حدود 10 تا 20 برابر بهبود یافته است. توضیحات فوق این مطلب را آشکار می‌کند که چرا بسیاری از وظایف هدایت، مانند کنترل سرعت، خاموش و روشن کردن برف‌پاک‌کنها، لامپهای جلو، گرم کردن شیشه‌ها و غیره معمولاً به وسیله انسان کنترل می‌شود.

به هر حال، همه چیز لزوماً در حال تغییر و دگرگونی است. فن‌آوریهای ساخت که تاکنون جهت ساخت و تولید میکروپروسسور استفاده می‌شده است، اکنون جهت تولید سنسور مورد استفاده قرار می‌گیرد و محصولات ساخته شده (که سنسورهای میکروماشین نامیده می‌شوند) بسیار ارزان‌تر و باثبات‌تر از ترانسیدوسرهایی که با روشهای معمولی تولید می‌شوند، به بازار عرضه خواهند شد. چون سنسورهای میکروماشین با استفاده از

روشهای تولید قطعات و مدارهای الکترونیک تولید می‌شوند، می‌توان در داخل آنها، سیستمها و مدارات مربوط به پردازش سیگنال را نیز تعبیه کرد. تقویت‌کننده‌ها، فیلترها و مدارات تبدیل‌کننده سیگنال آنالوگ به دیجیتال، به همراه سنسورها در یک بسته جا می‌گیرند. به طور مثال، برای اندازه‌گیری درجه حرارت ترانسدیوسر و تصحیح خروجی آن از نظر نشت حرارتی، قبل از ارتباط دادن سنسور به دنیای خارج، از این تجهیزات در داخل بسته سنسور استفاده می‌شود.

تولید لوازم اندازه‌گیری به روش میکروماشین باعث تغییرات عمده در شاخص PPR مربوط به سنسورها شده که این روش به نوبه خود باعث تغییرات زیادی در راههای تولید وسایل اندازه‌گیری به کار برده شده در محصولات مکانیکی مانند اتومبیلها، لوازم خانگی و تجهیزات آزمایشگاهی گردیده است و در آینده نیز نقش مهمتری در محصولات تولیدی خواهد داشت.

در هر صورت این عنوان مهم، غالباً در سطوح تخصصی آموزش داده نمی‌شود. به نظر ما، اینکه مهندسين و تکنسینها، دانش کاربرد قوانین اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها را داشته باشد بسیار حیاتی است. برای این که بهترین نتیجه از اندازه‌گیری و کنترل سیستم گرفته شود، بایستی نقاط ضعف نیز مانند نقاط قوت آن بیان شوند. بدیهی است که (اگرچه برای یکبار تکرار می‌ارزد) بحرانی‌ترین سیمای هر قطعه الکترونیک و یا هر سیستم الکترونیک، پارامترهایی هستند که سازنده آن، آنها را در دیتاشیت مربوط نگنجانده است. هدف ما این است که متنی در سطح آموزشی تهیه شود تا برای دانشجویان سال آخر علوم و مهندسی مفید بوده و همین‌طور یک راهنمای عملی برای کاربردهای ابزار دقیق باشد که برای مهندسين و محققین کاربردی مورد استفاده قرار گیرد.

ساوت همتون

M. H. و J. D. T.

نوامبر ۱۹۹۸

فصل اول طراحی کلی سیستمهای ابزار دقیق - تحلیل خطا (۱۱-۱)

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱ کلیات طراحی ابزار دقیق ۳
- ۳-۱ تحلیل خطا و روش اجرای یک سیستم اندازه‌گیری ۵
- ۱-۳-۱ خطاهای تصادفی یا بی‌نظمی (random errors) ۶
- ۲-۳-۱ خطاهای سیستماتیک (systematic errors) ۷
- ۳-۳-۱ اندازه‌گیریهای غیرمستقیم ۹
- ۴-۳-۱ ترکیب خطاها در جمع، تفریق و حاصلضرب چندکمیت و خطا در تابع نمایی ۱۰
- ۴-۱ نتیجه ۱۱

فصل دوم سنسورهای حرارت (۲۸-۱۳)

- ۱-۲ مقدمه ۱۳
- ۲-۲ ترانسدیوسرهای دمای مقاومتی ۱۵
- ۱-۲-۲ سنسورهای مقاومتی فلزی ۱۵
- ۲-۲-۲ ترمیستورها ۱۶
- ۳-۲-۲ مدارات پُل سنسورهای دمای مقاومتی ۱۸
- ۳-۲ ترموکوپل ۱۹
- ۱-۳-۲ جُبران سازی ترموکوپل ۲۰
- ۲-۳-۲ آرایشهای چند ترموکوپلی ۲۲
- ۴-۲ سنسورهای دما از نوع بی‌متال ۲۳
- ۵-۲ سنسورهای اتصال PN ۲۴
- ۶-۲ سنسورهای دما از نوع کریستال مایع ۲۵
- ۷-۲ انتشار مادون قرمز و گرماسنجی ۲۶
- ۸-۲ گیجهای فلوی حرارتی ۲۷
- مراجع ۲۸

فصل سوم تشخیص جابه‌جایی

(۲۹-۴۸)

۲۹	۱-۳ مقدمه
۲۹	۲-۳ پتانسیومترها
۲۹	۱-۲-۳ خطی بودن پتانسیومتر
۳۲	۲-۲-۳ ریزولوشن پتانسیومتر
۳۳	۳-۲-۳ مسائل نوین الکتریکی در پتانسیومترها
۳۳	۳-۳ ترانسدیوسرهای جابه‌جایی القایی
۳۳	۱-۳-۳ ترانسدیوسرهای رلوکتانس متغیر
۳۶	۲-۳-۳ ترانسفورمرهای تزویج متغیر: LDT و LVDT
۳۸	۳-۳-۳ ترانسدیوسرهای تغییر مکان جریان اِدی
۳۹	۴-۳ ترانسدیوسرهای تغییر مکان خازنی
۴۱	۱-۴-۳ رفتار خطی ترانسدیوسرهای تغییر مکان خازنی
۴۱	۵-۳ سنسورهای حرکت از نوع نوری
۴۲	۱-۵-۳ گُذ کنند‌های زاویه‌ای نوری
۴۳	۲-۵-۳ انکودرهای نوری حرکت انتقالی
۴۴	۶-۳ ترانسدیوسرهای تغییر مکان فراصوت
۴۶	۷-۳ سنسورهای حرکت از نوع اثر هال
۴۷	۱-۷-۳ سنسورهای پراب هال سرعت چرخش
۴۷	۲-۷-۳ سیستمهای اندازه‌گیری تغییر مکان اثر هال
۴۸	مراجع

فصل چهارم ترانسدیوسرهای سرعت و شتاب

(۴۹-۷۲)

۴۹	۱-۴ مقدمه
۵۰	۲-۴ تئوری شتاب‌سنج و لرزه‌سنج
۵۱	۱-۲-۴ لرزه‌سنج
۵۲	۲-۲-۴ شتاب‌سنجها

۵۳	 ۳-۲-۴ اعوجاج فاز در شتاب‌سنجها
۵۴	 ۴-۲-۴ فرکانسهای تشدید (رزنانس) شتاب‌سنج
۵۵	 ۳-۴ سنسورهای سرعت خطی
۵۶	 ۴-۴ سنسور سرعت در حرکت چرخشی
۵۷	 ۵-۴ ایده‌های طرحی شتاب‌سنج
۵۷	 ۱-۵-۴ شتاب‌سنجهای پیزوالکتریک
۶۰	 ۲-۵-۴ پاسخ فرکانسی شتاب‌سنجهای پیزوالکتریک
۶۰	 ۳-۵-۴ حساسیت محورهای مقاطع شتاب‌سنجهای پیزوالکتریک
۶۱	 ۴-۵-۴ شتاب‌سنجهای پیزورزیستو
۶۳	 ۵-۵-۴ شتاب‌سنجهای پیزورزیستور سیلیکونی
۶۶	 ۶-۵-۴ شتاب‌سنجهای پیزورزیستو لایه ضخیم
۶۷	 ۷-۵-۴ شتاب‌سنجهای خازنی
۶۹	 ۸-۵-۴ اثرات محیطی روی شتاب‌سنجها
۶۹	 ۹-۵-۴ حساسیت حرارتی شتاب‌سنجها
۶۹	 ۱۰-۵-۴ رطوبت
۷۰	 ۱۱-۵-۴ حساسیت اکوستیک شتاب‌سنجها
۷۰	 ۱۲-۵-۴ حساسیت کرنش پایه
۷۰	 ۱۳-۵-۴ داخل الکترومغناطیسی (EMI) و شتاب‌سنجها
۷۱	 ۱۴-۵-۴ روشهای نصب شتاب‌سنج
۷۱	 ۱۵-۵-۴ کابل‌های اتصال شتاب‌سنج
۷۲	 مراجع

فصل پنجم تکنیکهای اندازه‌گیری کرنش

(۷۳-۸۹)

۷۳	 ۱-۵ مقدمه
۷۴	 ۲-۵ کرنش‌سنجهای لایه فلزی و سیمی
۷۶	 ۳-۵ کرنش‌سنجهای نیمه هادی
۷۶	 ۴-۵ کرنش‌سنجهای لایه ضخیم
۷۶	 ۵-۵ ترانسدیوسرهای کرنش‌سنج

۷۸	۶-۵ مدارات پُل جهت ترانسدیوسرهای کرنش سنج
۷۹	۱-۶-۵ تعادل پُل
۸۰	۲-۶-۵ پُل یک چهارم (ربعی)
۸۲	۳-۶-۵ نیم پُل
۸۵	۴-۶-۵ پُل کامل
۸۷	۵-۶-۵ پُل‌های AC
۸۹	۷-۵ خلاصه
۸۹	مراجع

فصل هشتم سنسورهای فشار

(۹۱-۱۰۹)

۹۱	۱-۶ مقدمه
۹۳	۲-۶ سنسورهای فشار ارتجاعی
۹۴	۱-۲-۶ لوله‌های بوردون
۹۵	۲-۲-۶ فانوسی
۹۵	۳-۲-۶ دیافراگمها و ممبرانها
۹۹	۴-۲-۶ روشهای تولید سنسورهای فشار دیافراگمی
۱۰۰	۳-۶ سنسورهای فشار خازنی
۱۰۲	۱-۳-۶ میکروفنهای خازنی
۱۰۴	۴-۶ سویچهای فشار
۱۰۶	۵-۶ ملاحظات جانبی در خصوص سنسورهای فشار
۱۰۶	۱-۵-۶ اثرات مخرب شیمیایی
۱۰۸	۲-۵-۶ اثرات خارج از محدوده
۱۰۸	۳-۵-۶ حساسیت به شتاب سنسور فشار
۱۰۸	۴-۵-۶ حساسیت گرمایی سنسورهای فشار
۱۰۹	مراجع

فصل هفتم اندازه‌گیری گشتاور و توان مکانیکی

(۱۱۱-۱۲۴)

۱۱۱	۱-۷ مقدمه و تعاریف
-----	--------------------------

فهرست IX

۲-۷	روشهای مکانیکی اندازه‌گیری گشتاور	۱۱۳
۳-۷	ترانسدیوسرهای گشتاور از نوع کرنش سنج	۱۱۶
۴-۷	میله‌های پیچش	۱۱۸
۵-۷	روشهای مغناطیسی غیرتماسی	۱۲۱
۶-۷	ترانسدیوسرهای موج اکوستیک سطحی (SAW)	۱۲۳
	مراجع	۱۲۴

فصل هشتم سنسورهای جریان سیال

(۱۳۳-۱۲۵)

۱-۸	مقدمه	۱۲۵
۲-۸	ترانسدیوسرهای جریان برداری	۱۲۵
۱-۲-۸	ترانسدیوسرهای سیم داغ و جریان لایه داغ	۱۲۵
۲-۲-۸	سنسورهای جریان لوله پیتوت	۱۲۷
۳-۸	سنسورهای جریان حجم	۱۲۸
۱-۳-۸	صفحات اُریفیس	۱۲۸
۲-۳-۸	جریان‌سنجهای توربینی	۱۲۹
۳-۳-۸	چرخش‌سنج	۱۲۹
۴-۸	دوپلر لیزری و ترانسدیوسرهای جریان همبستگی	۱۳۰
۵-۸	جریان‌سنجهای اولتراسونیک	۱۳۰
۶-۸	جریان‌سنجهای مانع گردابی	۱۳۲
	مراجع	۱۳۳

فصل نهم مدارهای فرآوری سیگنال

(۱۶۱-۱۳۵)

۱-۹	مقدمه	۱۳۵
۲-۹	اصول مدار تقویت‌کننده عملیاتی	۱۳۷
۳-۹	تحلیل مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی	۱۳۸
۱-۳-۹	مثالهایی از قوانین تقویت‌کننده‌های عملیاتی مثال ۱	۱۳۹

۱۴۰	 ۲-۳-۹ مثال ۲
۱۴۱	 ۳-۳-۹ مثال ۳
۱۴۲	 ۴-۹ پاسخ فرکانسی و حاصلضرب بهره در پهنای باند
۱۴۴	 ۵-۹ انحراف تقویت کننده عملیاتی از حالت ایده آل
۱۴۴	 ۱-۵-۹ تداخل مُد مشترک
۱۴۵	 ۲-۵-۹ نسبت حذف ولتاژ تغذیه (VSRR)
۱۴۶	 ۳-۵-۹ ولتاژ آفست ورودی (IOV) (Input Offset Voltage)
۱۴۶	 ۴-۵-۹ جریان بایاس ورودی
۱۴۶	 ۵-۵-۹ سرعت چرخش (اسلیو ریت) (slew rate)
۱۴۷	 ۶-۵-۹ امپدانسهای ورودی مدارا معکوس کننده و غیرمعکوس کننده
۱۴۷	 ۶-۹ انتخاب مدار آپ امپ (تقویت کننده عملیاتی) (Operational Amplifier)
۱۴۸	 ۷-۹ مدارهای تقویت کننده عملیاتی رایج
۱۴۸	 ۱-۷-۹ تقویت کننده معکوس کننده
۱۴۸	 ۲-۷-۹ تقویت کننده غیرمعکوس کننده
۱۵۰	 ۳-۷-۹ تقویت کننده های AC
۱۵۱	 ۴-۷-۹ منبع جریان ثابت یا مبدل ولتاژ به جریان
۱۵۲	 ۵-۷-۹ تقویت کننده های جمع کننده
۱۵۲	 ۶-۷-۹ تقویت کننده تفاضلی
۱۵۳	 ۷-۷-۹ مدارات فیلتر
۱۶۱	 مراجع

(۱۶۹-۱۶۳)

فصل دهم تبدیل شکل سیگنالها و دریافت اطلاعات

۱۶۳	 ۱-۱۰ مقدمه
۱۶۳	 ۲-۱۰ تبدیل آنالوگ به دیجیتال
۱۶۵	 ۱-۲-۱۰ خطای کوانتیزه کردن
۱۶۸	 ۳-۱۰ به دست آوردن دیتا به وسیله کامپیوتر
۱۶۹	 مراجع

فصل یازدهم تحلیل فرکانس - روش حوزه فرکانس (۱۷۱-۱۸۶)

۱-۱۱	مقدمه	۱۷۱
۲-۱۱	سری فوریه	۱۷۲
۳-۱۱	تبدیل فوریه	۱۷۶
۴-۱۱	تحلیل فرکانس دیجیتال - تبدیل فوریه گسسته	۱۷۷
۵-۱۱	نمونه برداری و آلیازینگ (Aliasing)	۱۷۸
۶-۱۱	ویندوینگ	۱۸۱
	مراجع	۱۸۶