

اصول مهندسی کار دیو-الکترو مکانیک

www.ketab.ir

محمّد رضا همایی نژاد

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



شماره ۵۵۴

سرشناسه: همایی‌نژاد، محمدرضا
عنوان و نام پدیدآور: اصول مهندسی کاردیو - الکترومکانیک / محمدرضا همایی‌نژاد؛ سرویراستار سیدحجت‌الحق حسینی
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۴۰۳.

مشخصات ظاهری: ۲۴۷ص: مصور، جدول، نمودار.

فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۵۵۴.

ISBN: 978-622-5234-37-6

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۵۲۳۴-۳۷-۶

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: واژه‌نامه.

یادداشت: کتابنامه: ص. [۲۲۱]-۲۲۴.

موضوع: فولاد - الکتروکاردیوگرافی / Electrocardiography

مهندسی پزشکی / Biomedical engineering

الکترونیک پزشکی / Medical electronics

قلب - کالبدشناسی / Heart - Anatomy

قلب -- خواص الکتریکی / Heart - Electric properties

قلب - بیماری‌ها - تشخیص - داده‌پردازی / Heart - Diseases -- Diagnosis -- Data processing

شناسه افزوده: حسینی، سید حجت‌الحق، ۱۳۵۱، - ویراستار

رده بندی کنگره: ۷۷/۵/۴۸۳ RC

رده بندی دیویی: ۶۱۶/۱۲۰۷۵۴۷

شماره کتابشناسی ملی: ۹۷۰۳۷۹۸

press.kntu.ac.ir



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: اصول مهندسی کاردیو - الکترومکانیک

مؤلف: محمدرضا همایی‌نژاد

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: مرداد ۱۴۰۳

شمارگان: ۲۰۰ جلد

سرویراستار: سید حجت‌الحق حسینی

چاپ و صحافی: گرنامی

قیمت: ۴۵۰,۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - شماره ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

پیش‌گفتار

کتابی که پیش روی شماست در دهه دوم تحقیقات نگارنده آن در مورد سیستم‌های دینامیکی، مکانیکی، مکترونیک و کنترلی، جزو اولین تلاش‌هایی در سطح کشورمان ایران است که سعی دارد رفتار متقابل الکتریکی و مکانیکی قلب را در قالب پزشکی و مهندسی بیان کند. با توجه به پیچیدگی و گستردگی علوم دخیل در این حوزه، کتاب حاضر اصول مهندسی کاردیو-الکترومکانیک نام گرفت تا هم از یک‌سو تأکید کند که موضوع مورد بحث می‌تواند خود به‌تنهایی یک شاخه مهندسی را به دنیای مهندسان معرفی کرده و از سوی دیگر، اصول پزشکی و الکتروفیزیولوژی قلب را که نیز پزشکان عهده‌دار پیشبرد مرزهای دانش آن هستند؛ در ساختار این کتاب، نقشی حیاتی دارد. نگارنده این کتاب پس از انجام بیش از یک دهه تحقیق در زمینه مهندسی مکانیک، سیستم‌های دینامیکی، مکانیک نیوتنی و اصول پردازش سیگنال‌های قلب، بر این باور است که قلب انسان، بی‌تردید پیچیده‌ترین سیستمی است که در آن برهم کنش‌های الکتریکی و مکانیکی، رفتار نهایی را تولید می‌کنند. برای پایه‌گذاری اصول مهندسی کاردیو-الکترومکانیک، ابتدا لازم است تا خواننده با رفتار الکتروفیزیولوژی در سطح سلول‌های ماهیچه‌ای، عصبی و ماهیچه‌ای-عصبی، آناتومی قلب و عروق و عملکرد مکانیکی قلبی آشنا شود. اندازه‌گیری‌هایی که در سطح سلول انجام می‌شوند؛ می‌توانند از طریق مدل‌سازی‌های ریاضی، رفتار الکتریکی، مکانیکی و صوتی قلب را به گونه‌ای مبسوط توجیه کنند.

در کتاب اصول مهندسی کاردیو-الکترومکانیک ابتدا رفتار سلول‌های قلبی تحلیل و بررسی شده و در کنار آن آناتومی قلب، رفتار الکتریکی، مکانیکی و اکوستیکی آن به‌دقت مورد بحث قرار می‌گیرند. پس از آنکه به فراخور نیاز و کفایت در مورد مشخصه‌های عملکردی قلب، چه به لحاظ الکتریسته و چه به لحاظ مکانیک، مطالبی برای خواننده ارائه شد؛ نحوه مرتبط ساختن اندازه‌گیری‌های انجام شده از سطح پوست انسان، یعنی الکتروکاردیوگرافی، فونوکاردیوگرافی و فشار خون شریانی به رفتارهای درون قلب و سلول‌های آن مورد بحث قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، در گام نخست نشان داده می‌شود که چگونه می‌توان از کنار هم گذاشتن رفتار الکتریکی و مکانیکی سلول‌های قلبی به مشاهدات انجام شده در سطح پوست رسید و سپس در گام بعد، مدل‌سازی معکوس مدنظر قرار می‌گیرد. مدل‌سازی معکوس به این معنی است که چگونه می‌توان از روش‌های مدل‌سازی مهندسی، با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده در سطح پوست انسان، به پدیده‌های رخ داده در عملکرد سلولی قلب پی برد. اگرچه سالیان طولانی است که محققان در سراسر دنیا برای به‌دست آوردن مدل معکوس جامع و دقیق در حال تلاش و پژوهش می‌باشند؛ اما پیچیدگی ذاتی قلب انسان و تنوع بسیار زیاد آن در افراد مختلف باعث شده تا این تحقیقات در عمل در گام‌های نخستین خود باشد. پراکندگی تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مهندسی پزشکی، مهندسی برق، مهندسی کامپیوتر و مهندسی مکانیک، نویسنده را بر آن داشت تا کتاب اصول مهندسی کاردیو-الکترومکانیک را که به صورت نظام‌مند نحوه برخورد با مسائل این حوزه را تبیین می‌کند؛ به رشته

تحریر درآورد. در نگارش کتاب سعی زیادی شده است تا مطالب به گونه‌ای بیان شوند که هم برای دانشجویان مهندسی و هم برای دانشجویان رشته‌های پزشکی و الکتروفیزیولوژی قابل درک، فهم و تعمیم باشد. در صورتی که محققان مهندسی و محققان رشته‌های پزشکی بتوانند در حوزه مشترکی که نام آن مهندسی کاردیو-الکترومکانیک گذاشته شده است؛ به صورت متداخل و مشترک به انجام تحقیقات و پژوهش بپردازند، امیدواری زیادی در مورد تشخیص بیماری‌های قلبی به کمک ماشین‌های کامپیوتری به وجود خواهد آمد که این اتفاق از آرزوهای نویسنده این اثر است.

کتاب حاضر از هفت فصل تحت عناوین: آناتومی قلب، الکتروفیزیولوژی قلب، معرفی سیگنال الکتروکاردیوگرام به بیان ساده، رسانایی الکتریکی قلب و مشکلات آن، انواع ریتم‌های قلبی، آشنایی با الگوریتم‌های پردازش سیگنال‌های فونوکاردیوگرام، الکتروکاردیوگرام و فشار خون شریانی و برخی کاربردهای پزشکی الگوریتم‌های ارائه شده که حاصل چندین سال ممارست و تحقیقات نگارنده کتاب اصول مهندسی کاردیو-الکترومکانیک می‌باشد؛ تشکیل شده است. خواننده با مطالعه فصل‌های گفته شده ابتدا به نحوه مدل‌سازی مستقیم رفتارهای سلول‌های عصبی، ماهیچه‌ای و میوسیت‌های قلب آشنا شده و درمی‌یابد تحت اثر چه فرآیندی که قابل توصیف با زبان مهندسی است، سیگنال‌های قابل اندازه‌گیری از سطح پوست نمایان می‌گردند. با مطالعه دو فصل انتهایی، الگوریتم کلی که می‌تواند مدل معکوسی بین اندازه‌گیری‌های مشاهده شده در سطح پوست انسان و رفتارهای میکروسکوپی قلب را توصیف نماید؛ برای خواننده تشریح شده است.

با توجه به اینکه نویسنده کتاب، بطور مرتب از دانش تولید شده توسط دکتر علی غفاری، استاد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دکتر راجر مارک، استاد مهندسی برق و استاد پزشکی انستیتو فناوری ماساچوست و دکتر گری دیوید کلیفورد، استاد مهندسی پزشکی دانشگاه آکسفورد بهره گرفته است؛ صمیمانه از آن‌ها تشکر می‌کند. همچنین از تجربه‌های بسیار ارزشمند دکتر رضا رحمانی، فلوشیپ قلب و عروق بیمارستان امام خمینی (ره) و استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران و دکتر علیرضا ایمانی، عضو هیأت علمی دانشکده پزشکی دانشگاه تهران، بهره‌هایی گرفته شده است که بدینوسیله از آن‌ها تشکر و قدرشناسی فراوان می‌شود.

ضروری می‌دانم از زحمات و نظرات ارزشمند آقای علی سوردی، دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی که کمک شایانی به نویسنده این کتاب داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدرشناسی شود.

نویسنده کتاب امیدوار است که خوانندگان کتاب، نظرات اصلاحی و پیشنهادی خود را از طریق mrhomaeinezhad@kntu.ac.ir با وی در میان گذارند تا کیفیت مطالب کتاب هرچه بیشتر ارتقاء یابد.

محمدرضا همایی نژاد

دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ اردیبهشت ۱۴۰۳

فهرست

۱	فصل اول: آناتومی قلب (Cardiac Anatomy)
۱	۱-۱ مقدمه
۸	۲-۱ ساختار میکروسکوپی و ارگانیزم مولکولی
۸	۱-۲-۱ میوسیت‌ها (Myocytes)
۱۹	۲-۲-۱ اتصالات فواصل (Gap Junctions)
۲۲	۳-۲-۱ ساختارهای بافت اتصال دهنده (Connective Tissue Structures)
۲۳	۳-۱ ساختارهای ماکروسکوپی (Macroscopic Structures)
۲۳	۱-۳-۱ بطن‌ها (Ventricles)
۲۹	۲-۳-۱ دهلیزها (Atria)
۳۰	۳-۳-۱ رگ‌های خونی (Blood Vessels)
۳۲	۴-۳-۱ شیرها (Valves)
۳۲	۵-۳-۱ سیستم رسانایی تحریک و آغاز (ECI)
۳۴	۶-۳-۱ سیستم عصبی (Nervous System)
۳۴	۴-۱ مدل‌سازی آناتومی
۳۴	۱-۴-۱ نگاه کلی
۳۵	۲-۴-۱ مدل‌های تحلیلی (Analytical Models)
۳۷	۳-۴-۱ سیستم‌های تصویربرداری و منابع داده
۳۷	۴-۴-۱ مدل‌سازی جهت‌گیری و ورقی بودن میوسیت‌ها
۳۸	۵-۴-۱ مدل‌هایی از Visible Human Project-VHIP
۴۲	۶-۴-۱ مدل‌های به‌دست آمده از Magnetic Resonance Imaging-MRT
۴۵	فصل دوم: الکتروفیزیولوژی قلب (Cardiac Electrophysiology)
۴۵	۱-۲ مقدمه
۴۶	۲-۲ الکتروفیزیولوژی سلولی (Cellular Electrophysiology)
۴۶	۱-۲-۲ مطالعات آزمایشگاهی
۵۲	۲-۲-۲ مدل‌سازی اجزاء سلولی
۵۹	۳-۲-۲ مدل میوسیت‌های قلبی
۷۶	۳-۲ انتشار تحریک (Excitation Propagation)
۷۶	۱-۳-۲ مطالعات تجربی و آزمایشگاهی

۱۹۵	آشکارسازی فشار دیکروتیک	۲-۴-۶
۱۹۷	صحه‌گذاری الگوریتم‌های ارائه‌شده جهت آشکارسازی رخدادهای سیگنال فشار خون شریانی	۳-۴-۶
۱۹۸	بررسی مقاومت در برابر نویز الگوریتم‌های تشخیص رخدادهای فشار خون شریانی	۴-۴-۶
۲۰۰	طبقه‌بندی نظارت‌شده آیتمی‌های قلبی با استفاده از سیگنال الکتروکاردیوگرام	۵-۶
۲۰۰	مقدمه	۱-۵-۶
۲۰۲	استخراج ویژگی‌های مناسب جهت طبقه‌بندی نظارت‌شده کمپلکس‌های QRS سیگنال الکتروکاردیوگرام	۲-۵-۶
۲۰۵	خوشه‌بندی ضربان‌های بطنی سیگنال الکتروکاردیوگرام هولتر	۶-۶
۲۰۷	فصل هفتم: برخی کاربردهای پزشکی الگوریتم‌های ارائه شده	
۲۰۷	آشکارسازی و اندازه‌گیری توربولانس نرخ ضربان قلبی	۱-۷
۲۱۵	طراحی الگوریتم آشکارسازی ضربان‌های زود هنگام بطنی به کمک آزمون کامپوزیت باینری نیمه-پرسون	۱-۱-۷
۲۱۷	پیش‌بینی شوک کاردیوژنیک و آب‌زودهای حاد افت فشار خون در ICU	۲-۷
۲۱۹	اندازه‌گیری آلترنانس‌های تکه‌های ST/T سیگنال الکتروکاردیوگرام	۳-۷
۲۲۵	فهرست مراجع	
۲۲۹	واژه‌نامه	
۲۳۳	نمایه	